



**GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİNDE KULLANILAN FOTOVOLTAİK
PANELİN MODELLENMESİ VE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ**

AKİF AKBULUT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

DR. ÖĞR. ÜYESİ Cem EMEKSİZ

Mayıs 2018

Her hakkı saklıdır

**T.C.
GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİNDE KULLANILAN
FOTOVOLTAİK PANELİN MODELLENMESİ
VE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ**

AKİF AKBULUT

**TOKAT
Mayıs - 2018**

Her hakkı saklıdır

Akif AKBULUT tarafından hazırlanan “Güneş Enerjisi Sistemlerinde Kullanılan Fotovoltaik Panelin Modellenmesi Ve Performans Değerlendirmesi” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 10/05/2018 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği / Oy Çokluğu ile Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
DR. ÖĞR. ÜYESİ Cem EMEKSİZ
Gaziosmanpaşa Üniversitesi



Üye
DR. ÖĞR. ÜYESİ Mehmet Serhat CAN
Gaziosmanpaşa Üniversitesi



Üye
DR ÖĞR. ÜYESİ Vekil SARI
Cumhuriyet Üniversitesi



ONAY



Prof. Dr. Ebubekir ALTUNTAŞ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

21/05/2018



TEZ BEYANI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

AKİF AKBULUT

10 Mayıs 2018

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİNDE KULLANILAN FOTOVOLTAİK PANELİN MODELLENMESİ VE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

AKİF AKBULUT

GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ CEM EMEKSİZ

Gün geçtikçe nüfus artışına paralel olarak artan enerji talebi, fosil yakıtların tükenmeye başlaması ile yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi artırmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları çevre dostu, temiz ve maliyeti düşük kaynaklardır. Ülkemizin sahip olduğu yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli oldukça yüksektir. Özellikle güneş enerjisi ülkemizde hem ısıtma hem de elektrik enerjisi üretimi bakımından gün geçtikçe değer kazanmaktadır. Güneş enerjisinin çevreci ve temiz olması, yatırım maliyetlerini kısa sürede karşılaması gibi özellikleri bu enerji kaynağına olan talebi artırmıştır. Güneş enerjisi kullanımının giderek artması, fotovoltaik teknolojisindeki gelişmeleri de beraberinde getirmektedir. Bu gelişmelerle ilk kurulum maliyeti yüksek olan fotovoltaik sistemlerin hedeflenen güce en yakın şekilde daha verimli kullanılması amaçlanmaktadır. Fotovoltaik sistemin verimliliği güneş ışınım şiddeti, sıcaklık ve güneş ışınlarının geliş açısı gibi birçok parametreye bağlıdır. Bu tez çalışmasında Tokat ilinde kurulması düşünülen fotovoltaik sistem verimliliği üzerine bir durum değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışmada referans olarak kabul edilen Komaes 140 W PV modülü kullanılmıştır. Modül verimliliğinin belirlenmesi için tek diyot PV modellemesi tercih edilmiştir. Modelleme için gerekli parametreler RETScreen yazılımı kullanılarak sağlanmıştır. Matlab programı ile modelleme analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler aylık çalışmalar yapılarak değerlendirilmiştir. Referans seçilen PV modül verimliliği ile elde edilen hesaplamalar arasındaki farklılıklar üç ayrı uzaklık yöntemiyle incelenmiştir. Rüzgar enerjisiyle ilgili yapılan çalışmalarda rüzgar hızına ait dağılım fonksiyonlarının belirlenmiş olmasına rağmen güneş enerjisiyle ilgili böyle bir çalışmaya literatürde rastlanılmamıştır. Bu nedenle yapılan çalışmada ayrıca güneş enerjisi ve fotovoltaik sistem parametrelerinin dağılım fonksiyonları da ayrı ayrı incelenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçların karşılaştırılmasında istatistiksel performans göstergeleri olarak ortalama, basıklık, çarpıklık ve varyans değerleri kullanılmıştır.

2018, 77 SAYFA

ANAHTAR KELİMELER: Yenilenebilir Enerji, Güneş Enerjisi, Fotovoltaik Etki, PV Hücre Karakteristiği, Tek Diyot Model

ABSTRACT

MASTER THESIS

MODELING AND PERFORMANCE EVALUATION OF PHOTOVOLTAIC PANELS USED IN SOLAR ENERGY SYSTEMS

AKİF AKBULUT

GAZIOSMANPASA UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING

SUPERVISOR: ASST. PROF. DR. CEM EMEKSİZ

The increasing demand for energy in parallel with population growth has led to a shift in the direction of renewable energy sources as fossil fuels start to run out. Renewable energy sources are environmentally friendly, clean and low-cost sources. The renewable energy sources that our country has are potentially quite high. Especially in the solar energy country, the day is increasingly appreciated both in terms of heating and electricity energy production. Solar energy is environment-friendly and clean, investment costs to meet in a short time features such as increased demand for this energy source. Increasing use of solar energy also brings improvements in photovoltaic technology. These developments are aimed to make photovoltaic systems, which have a high initial installation cost, more efficient to use in the nearest targeted manner. The efficiency of the photovoltaic system depends on many parameters such as solar radiation intensity, temperature and sunlight angle. In this thesis study, a situation evaluation on photovoltaic system efficiency, which is considered to be established in Tokat province, has been made. The Komaes 140 W PV module, which is considered as a reference in the study, is used. Single diode PV modeling is preferred for determining module efficiency. The parameters required for modeling are provided using RETScreen software. Modeling analysis was performed with Matlab program. Analyzes were evaluated monthly. The differences between the calculations obtained with the reference selected PV module efficiency were examined with three different distance methods. Despite the fact that the distribution functions of the wind speed have been determined in the studies related to wind energy, such a study about solar energy has not been found in the literature. In this study, the distribution functions of solar energy and photovoltaic system parameters are examined separately. The mean, kurtosis, skewness and variance values were used as statistical performance indicators in the comparison of the results obtained in the study.

2018, 77 PAGES

KEYWORDS: Renewable Energy, Solar Energy, Photovoltaic Effect, Characteristics of PV Cell, Single Diode Model

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim süresince çalışmamın planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda hoşgörü ve desteğini esirgemeyen engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım çok değerli ve saygıdeğer hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Cem EMEKSİZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Akif AKBULUT

10 Mayıs 2018

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR	vi
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
3. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI	8
3.1. Güneş Enerjisi	9
3.2. Rüzgar Enerjisi	15
3.3. Hidrolik Enerji.....	18
3.4. Jeotermal Enerji.....	20
3.5. Biyokütle Enerjisi	23
3.6. Hidrojen Enerjisi	26
3.7. Dalga Enerjisi	27
4. FOTOVOLTAİK HÜCRE	29
4.1. Fotovoltaik Hücrelerde Kullanılan Yarıiletkenler.....	31
4.2. Fotovoltaik Etki	32
4.3. Fotovoltaik Hücrede Enerji Dönüşümü.....	33
5. MATERYAL ve METOD	36
5.1. Tek Diyot PV Hücre Eşdeğer Devresi.....	36
5.2. Çift Diyot PV Hücre Eşdeğer Devresi.....	36
5.3. Tek Diyot PV Hücre Parametrelerinin Belirlenmesi.....	37
5.3.1. Foton akımının belirlenmesi (I_L)	38
5.3.2. Diyot saturasyon (doyum) akımının belirlenmesi (I_0)	39
5.3.3. Seri direnç (R_s) ve paralel direncin (R_{sh}) belirlenmesi	39
5.4. Modellemede Referans Olarak Kullanılan Panelin Karakteristik Özellikleri	40
5.5. Modelleme Yapılan Bölgenin Işınım ve Sıcaklık Değerleri	40
5.6. PV Modülün Aylara Göre Akım - Gerilim Karakteristiklerinin Elde Edilmesi....	43

5.7. Hücre Parametrelerinin İstatistiksel Analizi.....	55
5.8. Kümeleme Tekniklerinde Kullanılan Uzaklık Fonksiyonları	58
5.8.1. Öklid uzaklığı	58
5.8.2. Manhattan uzaklığı	58
5.8.3. Minskowski uzaklığı	59
5.9. I_{\max} , V_{\max} , P_{\max} ve E_{\max} Değerlerinin Dağılım Fonksiyonlarının İncelenmesi	60
5.9.1. Normal dağılımı.....	60
5.9.2. Weibull dağılımı	60
5.9.3. Gamma dağılımı	61
5.9.4. Nakagami dağılımı	61
5.9.5. Lognormal dağılımı	61
5.10. Meteorolojik Verilerin Dağılım Fonksiyonlarının İncelenmesi	66
6. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	70
7. KAYNAKLAR.....	73
8. ÖZGEÇMİŞ	77

SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
V_{OC}	Açık devre voltajı
α	Akım sıcaklık katsayısı
A	Amper
NO_x	Azotoksit
k	Boltzman sabiti
C	Coulomb
I_0	Diyot saturasyon akımı
a	Diyot idealite faktörü
eV	Elektronvolt
q	Elektrik yükü
E	Elektrik enerjisi
I	Panel akımı
V	Panel gerilimi
I_L	Foton akımı
g	Gram
H_2S	Hidrojen Sülfür
J	Joule
CO_2	Karbondioksit
CO	Karbonmonoksit
K	Kelvin
I_{sc}	Kısa devre akımı
kcal	Kilokalori
km	Kilometre
kWh	Kilowatt saat
kWp	Kilowatt peak
SO_2	Kükürtdioksit
I_{max}	Maksimum panel akımı
V_{max}	Maksimum panel gerilimi

P_{max}	Maksimum panel gücü
MW	Megawatt
MWh	Megawatt saat
m	Metre
mm	Milimetre
Pcs	Modül hücreleri
Ω	Ohm
I_{opt}	Optimum panel akımı
V_{opt}	Optimum panel gerilimi
G_{Tc}	Ölçülen güneş ışınım şiddeti
T_c	Ölçülen sıcaklık
n_s	Paneldeki seri hücre sayısı
R_{sh}	Paralel direnç
G_{Tcref}	Referans güneş ışınım şiddeti
α_{ref}	Referans güneş ışınım şiddeti ve sıcaklık değerindeki akım sıcaklık katsayısı
V_{mpref}	Referans güneş ışınım şiddeti ve sıcaklık değerindeki akım sıcaklık katsayısı
V_{ocref}	Referans koşulunda açık devre voltajı
I_{scref}	Referans koşulunda kısa devre akımı
I_{mpref}	Referans koşulunda maksimum panel akımı
T_{cref}	Referans sıcaklığı
$^{\circ}C$	Santigrat derece
cm	Santimetre
R_s	Seri direnç
T	Sıcaklık
TWh	Terawatt saat
V_T	Termal gerilim eşdeğeri
V	Volt

Kısaltmalar

AR-GE

AB

ABD

MATLAB

DA

ETKB

PV

WAsP

TÜREB

RETScreen

Açıklama

Araştırma-Geliştirme

Avrupa Birliği

Amerika Birleşik Devletleri

Çok Paradigmatlı Sayısal Hesaplama
Yazılımı ve Program Dili

(Matrix Laboratory)

Doğru Akım

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı

Fotovoltaik Sistem

(Photovoltaic)

Rüzgar Atlas Analizi ve Uygulama
Programı

(Wind Atlas Analysis and Application
Program)

Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği

Yenilenebilir Enerji Teknolojileri Analiz
Yazılımı

(Renewable Energy Technology Screen)

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Güneşten gelen ışınım dağılımı	10
Şekil 3.2. AB ve Türkiye'nin güneş enerjisi haritası	11
Şekil 3.3. Toplam güneş radyasyonu dağılımı.....	11
Şekil 3.4. Aylık ortalama güneşlenme süreleri	12
Şekil 3.5. Aylık ortalama global radyasyon değerleri	12
Şekil 3.6. Türkiye'nin kurulu elektrik gücünün yakıt cinslerine göre dağılımı 14	
Şekil 3.7. Türkiye'de güneş enerjisinin kurulu güç içerisindeki katkı payı	15
Şekil 3.8. Dünya rüzgar enerjisi teknik potansiyelinin ülkelere göre dağılımı. 16	
Şekil 3.9. Türkiye rüzgar atlası.....	17
Şekil 3.10. Türkiye'deki rüzgar enerjisi santralleri için yıllık kurulum	17
Şekil 3.11. Türkiye rüzgar enerjisi santralleri için yıllık kümülatif kurulum ...	18
Şekil 3.12. Hidroelektrik enerji üretimi akış şeması.....	19
Şekil 3.13. Türkiye'de hidrolik enerji kurulu gücünün yıllar içerisindeki değişimi.....	20
Şekil 3.14. İdeal jeotermal sistemin şematik gösterimi	21
Şekil 3.15. Türkiye için jeotermal kaynaklar ve uygulama haritası	22
Şekil 3.16. Biyokütle enerjisi döngüsü	24
Şekil 3.17. Türkiye toplam biyokütle potansiyeli.....	25
Şekil 4.1. Fotovoltaik hücrelerin paralel bağlanması	29
Şekil 4.2. Fotovoltaik hücrelerin seri bağlanması.....	29
Şekil 4.3. Np tane koldan ve her kolun da Ns tane modülden oluştuğu PV panel.....	30
Şekil 4.4. PV hücre, modül panel ve dizisi	30
Şekil 4.5. Becquerel'in fotovoltaik etkiyi gözlemlediği deney düzeneği	33
Şekil 4.6. p- ve n- tipi yarıiletken malzemelerin enerji bant diyagramları	34
Şekil 4.7. n- tipi ve p- tipi katkılama	34
Şekil 5.1. Tek diyot PV eşdeğer devresi	36
Şekil 5.2. Çift diyot PV eşdeğer devresi	37

Şekil 5.3. Saha referans koşullarının seçimi	41
Şekil 5.4. Seçilen saha referans koşullarına ait iklim verilerinin..... görüntülenmesi.....	42
Şekil 5.5. Panelin aylara göre hesaplanan I-V karakteristik eğrileri	44
Şekil 5.6. Aylık ortalama ışınım ve sıcaklık parametrelerinin panelin ürettiği akım-gerilime olan etkisi	45
Şekil 5.7. Ocak ayına ait grafik optimizasyonu	46
Şekil 5.8. Şubat ayına ait grafik optimizasyonu	46
Şekil 5.9. Mart ayına ait grafik optimizasyonu	47
Şekil 5.10. Nisan ayına ait grafik optimizasyonu	47
Şekil 5.11. Mayıs ayına ait grafik optimizasyonu	48
Şekil 5.12. Haziran ayına ait grafik optimizasyonu	48
Şekil 5.13. Temmuz ayına ait grafik optimizasyonu	49
Şekil 5.14. Ağustos ayına ait grafik optimizasyonu	49
Şekil 5.15. Eylül ayına ait grafik optimizasyonu	50
Şekil 5.16. Ekim ayına ait grafik optimizasyonu	50
Şekil 5.17. Kasım ayına ait grafik optimizasyonu	51
Şekil 5.18. Aralık ayına ait grafik optimizasyonu	51
Şekil 5.19. Panelin aylara göre hesaplanan maksimum güç değerleri	52
Şekil 5.20. Basıklık ve çarpıklığın grafiksel gösterimi.....	56
Şekil 5.21. Maksimum akım (I_{max}) için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının dağılım grafiği.....	62
Şekil 5.22. Maksimum gerilim (V_{max}) için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının dağılım grafiği.....	63
Şekil 5.23. Maksimum güç (P_{max}) için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının dağılım grafiği.....	64
Şekil 5.24. Maksimum enerji (E_{max}) için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının dağılım grafiği.....	65
Şekil 5.25. Işınım şiddeti için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının	66
Şekil 5.26. Aylık güneşlenme süreleri için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının dağılım grafiği.....	67

Şekil 5.27. Sıcaklık verisi için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının dağılım grafiği..... 68



ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli	13
Çizelge 3.2. Türkiye'nin bölgelere göre yıllık güneş enerjisi potansiyeli dağılımı.	14
Çizelge 3.3. Biyokütle enerjisi elde edilen hammaddeler ve enerji miktarları.	25
Çizelge 4.1. Hücre malzemelerinin performans değerleri ve alan gereksinimleri	32
Çizelge 5.1. Komaes 140W PV modülünün elektriksel özellikleri.	40
Çizelge 5.2. Tokat ili için aylık güneş ışınımı ve sıcaklık değerleri.....	43
Çizelge 5.3. Panelin aylara göre hesaplanan parametre değerleri	44
Çizelge 5.4. Panelin aylara göre ürettiği optimum akım (I_{opt}), optimum gerilim (V_{opt}) ve maksimum güç (P_{max}) değerleri	52
Çizelge 5.5. Panelin aylara göre hesaplanan maksimum akım (I_{max}), maksimum gerilim (V_{max}) değerleri	53
Çizelge 5.6. Tokat ili aylık ortalama güneşlenme süreleri	54
Çizelge 5.7. Panelin aylara göre üretmiş olduğu maksimum enerji (E_{max}) değerleri.	55
Çizelge 5.8. Panel verilerinin istatistiksel analizleri.....	57
Çizelge 5.9. I_{max} , V_{max} , P_{max} , E_{max} verilerinin istatistiksel analizleri	57
Çizelge 5.10. Meteorolojik verilerin istatistiksel analizleri	58
Çizelge 5.11. Hesaplanan aylık güç değerlerinin veri madenciliğine göre referans güce olan uzaklıkları	60
Çizelge 5.12. Maksimum akım (I_{max}) için dağılımlara göre varyans ve ortalama değerleri	62
Çizelge 5.13. Maksimum gerilim (V_{max}) için dağılımlara göre varyans ve ortalama değerleri	63
Çizelge 5.14. Maksimum güç (P_{max}) için dağılımlara göre varyans ve ortalama değerleri	64

Çizelge 5.15. Maksimum enerji (E_{max}) için dağılımlara göre varyans ve ortalama değerleri	65
Çizelge 5.16. Işınım şiddeti için dağılımlara göre varyans ve ortalama değerleri	67
Çizelge 5.17. Aylık güneşlenme süreleri için dağılımlara göre varyans ve ortalama değerleri.....	68
Çizelge 5.18. Sıcaklık verisi için dağılımlara göre varyans ve ortalama değerleri	69



1. GİRİŞ

Enerji Yunanca kökenli olan ‘‘energon’’ sözcüğünden türemiştir. En iç, ergon ise iş anlamına gelmektedir. Enerji, hareketin meydana gelmesini sağlayan ve harekete hazır olan etkidir. Günlük hayatın hemen hemen her alanında kullanılan enerji kimyasal, nükleer, mekanik (potansiyel ve kinetik), termal (ısı), jeotermal, hidrolik, güneş, rüzgar, elektrik enerjisi formlarında kullanılmaktadır. Bu formların birbirlerine dönüştürülme özelliğinden faydalanılarak ilgili çalışma alanlarında tercih edilir. Farklı yöntemlerle birçok kaynaktan enerji elde edilebilmektedir. Enerji eldesinde kullanılan kaynaklar sürekliliği bakımından yenilenemeyen enerji kaynakları ve yenilenebilir enerji kaynakları olmak üzere ikiye ayrılır. Yakın bir gelecekte tükenebileceği öngörülen yenilenemeyen enerji kaynakları çekirdek kaynaklılar ve fosil kaynaklılar olmak üzere iki farklı şekilde gruplandırılmaktadır (Şenel, 2012). Bu kaynaklardan uranyum (nükleer enerji) çekirdek kaynaklılar grubuna girerken kömür, doğalgaz ve petrol ürünleri (propan, dizel ve benzin akaryakıtlar) ise fosil kaynaklar grubuna girmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları kaynağını doğrudan ya da dolaylı olarak güneşten alan ve uzun vadede kullanım imkanı sağlayan, tükenmeden kendisini yenileyebilen enerji kaynaklarıdır. Jeotermal enerji, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, hidroelektrik ve biyokütle enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları çeşitleri arasında yer almaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım kolaylığı, fosil yakıtlar gibi çevre ve insan sağlığına olumsuz etkilerinin olmaması, ucuzluğu ve sürekliliği gibi avantajları bu kaynakların diğer kaynaklara alternatif olarak kullanılmasını sağlamıştır. Son yıllarda küresel ısınma ve fosil yakıtlara bağlı sera gazı etkisi dünyanın geleceğini tehdit eden en önemli unsur haline gelmiştir. Bu da dünya geleceği açısından yenilenebilir enerji kaynakları arayışının artışıdaki en önemli etkenlerden biridir. Artan insan nüfusunun ihtiyacı olan enerjiyi karşılamakta kullanılan fosil yakıtlar hızla tükenmekte ve hızlı kentleşmeyle birlikte elektrik enerjisine olan ihtiyaç da artmaktadır.

Güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında büyük bir öneme sahiptir. Atmosfer ve yeryüzündeki oluşumları etkileyerek doğada madde ve enerji akışına sebep olmakta, su döngüsünün devamlılığını sağlamaktadır. Güneş enerjisi doğal enerji

kaynaklarının birçoğunun kökenini oluşturmakta ve çok amaçlı kullanılmaktadır (Varınca ve Gönüllü, 2006). Hiçbir ulaştırma maliyetinin olmaması, kentlerde yapılan herhangi bir altyapı ya da üstyapı çalışmasından etkilenmemesi, karmaşık bir teknoloji gerektirmemesi güneş enerjisinin kullanımını artıran önemli sebeplerdir. Günümüzde güneş enerjisi hemen hemen her sahada kullanım alanı bulmaktadır. Bunlar; ev ve iş yerlerinin iklimlendirilmesi (ısıtma-soğutma), yemek pişirme, sıcak su temini ve yüzme havuzlarının iklimlendirilmesi; tarım, sera ısıtması ve tarım ürünlerini kurutmada; sanayide, güneş ocakları, güneş fırınları, pişiricileri, deniz suyundan tuz ve tatlı su üretilmesi (arıtma), güneş pompaları, güneş pilleri, güneş havuzları, ısı borusu uygulamalarında; ulaşım-iletişim araçlarında, sinyalizasyon ve kumanda sistemleridir.

Özellikle güneş enerjisinden elektrik elde edilmesinde kullanılan fotovoltaiklerin kullanımı (güneş pilleri) son zamanlarda oldukça yaygınlaşmıştır. Fotovoltaik sistemler üzerlerine düşen güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürme prensibiyle çalışırlar. Sistem çıkışında bir gerilim üretilir. Üretilen gerilim, gelen güneş ışığı miktarına bağlı olarak doğru orantılı bir değişim gösterir (Bayrak ve Cebeci, 2012). Fotovoltaik sistemlerin herhangi bir yakıtı ihtiyaç duymaması, kirlilik ve gürültü oluşturmamaları büyük avantajlarıdır. Buna karşılık yatırım maliyetlerinin yüksek ve enerji üretim oranının düşük olması gibi olumsuz özellikleri fotovoltaik sistemlerin geliştirilmesine yönelik çalışmaları hızlandırmıştır.

Bu çalışmada, Tokat iline ait güneş ışınım şiddeti ve sıcaklık değerlerini kullanarak Komaes 140 W PV modülü referans alınıp modellenmiştir. Modellemede güneş enerjisinde kullanılan meteorolojik veriler ayrı ayrı hücre parametrelerinde işlenmiş ve modülün tek diyot eşdeğer devresine ait parametreler nümerik olarak hesaplanmıştır. Aylık ortalama verilerin kullanıldığı hesaplamalar neticesinde panelin maksimum gücü ile bu panelin Tokat bölgesi şartlarında kullanıldığında elde edilecek maksimum gücü arasındaki farklılık üç ayrı yöntemle incelenmiştir. Bu yöntemler Öklid uzaklığı, Manhattan uzaklığı, Minskowski uzaklığıdır. Panele ait optimum akım ve gerilim değerlerinin belirlenmesinde ise grafik optimizasyon tekniği kullanılmıştır. Kullanılan bu teknikte elde edilen değerlerin, akım-gerilim eğrilerinin elde edilmesinde kullanılan verilerle örtüştüğü gözlenmiştir. Güneşlenme süreleri kullanılarak aylık olarak paneldeki enerji kaybı da ortaya konulmuştur. Panel ve meteorolojik parametrelerin

istatistiksel özellikleri ortalama, basıklık, çarpıklık ve varyans parametreleri kullanılarak tanımlanmıştır. Ayrıca panel parametrelerinin (I_{max} , V_{max} , P_{max} ve E_{max}) ve meteorolojik verilerin (ışınım, sıcaklık ve güneşlenme süreleri) dağılım yoğunluk fonksiyonları çıkartılmıştır.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Boztepe, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde 2002 yılında yaptığı bir çalışmada Visual Basic 5.0 programını kullanarak bir simülasyon hazırlamış enerji kesintilerinde de yükü besleyen, hem şebekeye bağlı hem de şebekeden bağımsız çalışan bir PV sistem tasarımı yaparak klasik şebekeye bağlı sistemle kıyaslamasını yapmıştır. Elektrik faturasını sıfırlayan bir modelleme önererek İzmir'in koşullarında bir ev için hesaplama gerçekleştirmiştir. Çalışmada maksimum güç noktası izleme, optimum modül eğimi, kayıplar, sistem kurulumu, performans oranı, direkt tüketim, ekonomik analiz ve boyutlandırma, invertör tasarımının ayrıntıları incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde kurulan 530 Wp'lik sistemle karşılaştırılmıştır (Boztepe, 2002).

Işıker ve arkadaşları 2006 yılında Şanlıurfa'da Harran Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde yaptıkları bir çalışmada panelin yüzey sıcaklığı, panelin eğim açısı ve elektriksel yüklenmesine bağlı direnç değerlerinin panelin çıkışındaki güç değerlerine olan etkilerinin teorik ve deneysel olarak incelemesini yapmışlar, aldıkları sonuçlara göre PV sistem tasarımlarında yük direnci ve eğim açısına bağlı olarak optimum değerlere ulaşmanın mümkün olduğuna varmışlardır. İncelemeye göre panel yüzeyindeki farklı noktalara göre yapılan sıcaklık dağılımları belirlenerek 7-8 °C'ye varan farklılıklar olduğu belirlenmiştir (Işıker ve ark., 2006).

Demirtaş ve arkadaşları 2008 yılında Gazi Üniversitesi'nde yaptıkları bir çalışmada mikrodenetleyici esasına dayanan bir DA/DA yükselten dönüştürücü tasarımı ve uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Dönüştürücü girişinden aldıkları akım ve gerilim bilgilerini mikrodenetleyiciye okutarak sistemin gücünü hesaplatmışlar, çıkıştan alınan gücün maksimum değerinde sürekliliğini sağlamak içinse maksimum güç noktası takibi uygulamasını geliştirmişlerdir. Çalışma sonucunda aldıkları verilere göre dönüştürücü çıkışındaki gerilim dalgalanmasının IEC 61204 standardına uygun olduğu tespit edilmiş ve dönüştürücüde kullanılan maksimum güç takibi sayesinde sistemin normale göre % 36 daha fazla verimle çalıştığı, yükselten dönüştürücünün veriminin ise % 92 olduğu deneysel olarak tespit edilmiştir (Demirtaş ve ark., 2008).

Onat ve Ersöz 2009 yılında yaptıkları bir çalışmada güneş panellerinin performanslarının güneş ışınlarının panelle yaptığı açı ve panel sıcaklığına bağlı olduğunu, bu yüzden maksimum güç noktasında çalıştırmanın her zaman mümkün olmadığını bu problemin çözümü içinse bir maksimum güç noktası izleyicisi olarak adlandırılan anahtarlamalı güç konvertörü kullanılabileceğini öngörmüşlerdir. Çalışmada sistem tasarımında en çok kullanılan maksimum güç noktası izleyici algoritmalarını incelemişler, aldıkları sonuçlara göre algoritmaların sınıflarını, tanımları ve temel denklemlerini karşılaştırarak analizlerini yapmışlardır (Onat ve Ersöz, 2009).

Özçalık ve arkadaşları 2013 yılında Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi'nde yaptıkları bir çalışmada Matlab & Simulink programını kullanarak tek diyot PV hücre modellemesi yapmışlar ve güneş enerjisinden elektrik üretimine etki eden faktörlerin karakteristikleri nasıl etkilediğini incelemişlerdir. Modellemede ortam sıcaklığı, gün ışığı, eşdeğer devre seri direnci, seri bağlı hücre sayısı, paralel kol sayısı, yarı iletkenlik gibi parametreler göz önünde bulundurulmuş, alınan sonuçlara göre PV güneş panelinin akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristikleri incelenmiştir (Özçalık ve ark., 2013).

Bikaneria ve arkadaşları 2013 yılında yaptıkları bir çalışmada Matlab & Simulink programını kullanarak tek diyot PV hücre modellemesi yapmışlar, simülasyonda farklı sıcaklık verilerini (0-75 °C) girdi olarak vererek çalışmanın sonucunda aldıkları grafikleri ideal diyota göre kıyaslamışlardır (Bikaneria ve ark., 2013).

Shannan ve arkadaşları 2013 yılında yaptıkları bir çalışmada Matlab programını kullanarak tek diyot PV ve çift diyot PV modellemesini yaparak farklı sıcaklık değerlerinde her iki modelinde çalışmasını test etmişler, aldıkları sonuçları göz önünde bulundurarak her iki modelinde maksimum gerilim, maksimum güç açısından negatif ve pozitif yanlarını karşılaştırmışlardır (Shannan ve ark., 2013).

Jazayeri ve arkadaşları 2013 yılında yaptıkları bir çalışmada Matlab & Simulink programını kullanarak tek diyot PV modellemesi yapmışlar, modelin parametrelerini üreticilerin veri sayfalarından elde etmişler; şönt dirençleri, açık devre voltajı, kısa devre akımı ve ışık saçma değerlerine bakılarak SimPowerSystems arayüzü ile

hesaplama yapmışlardır. Araştırma sonucunda alınan verilere göre modellemeyle modül özelliklerinin seri ve şönt dirençleri gibi hücre parametrelerinin etkilerinin araştırılmasının yanı sıra mevcut bir ticari kristal silikon güneş modülünün akım-gerilim karakteristikleri ve çevresel koşulların (sıcaklık ve ışık saçma) etkileri ölçülerek doğrulanmıştır. Bu önerilen modelin ileri analiz gereksinimleri için basit ve yardımcı bir araç olarak güneş enerjisi araştırmacıları, sistem analizcileri ve tasarımcıları tarafından kullanılmaya yeterli olduğu öngörülmüştür (Jazayeri ve ark., 2013).

Dash ve Ali 2014 yılında yaptıkları bir çalışmada Matlab programını kullanarak tek diyot PV ve iki diyot PV modellemesi yapmışlar, simulasyon sırasında programa girdi olarak verdikleri güneş radyasyonu, sıcaklık, idealite faktörlerinin çalışma sonucunda aldıkları gerilim-akım, güç-akım grafiklerinde farklılıklara sebep olduğunu görmüşler ve panelin çalışmasına etki eden faktörlerin bunlar olduğunu belirlemişlerdir (Dash ve Ali, 2014).

Tamrakar ve arkadaşları 2015 yılında yaptıkları bir çalışmada 120 W bir polikristal solar modüle ait gerekli olan doğrusal olmayan matematiksel denklemleri çıkış akımı tahminlemesi yapmak için Matlab programına girdi olarak vermiş; Newton-Raphson iteratif tekniğini kullanarak tek diyot PV ve iki diyot PV modellemesi yaparak akım-gerilim, güç-gerilim grafiklerini programdan çıktı olarak almışlardır. Çalışma sonucunda elde ettikleri verilerle karakteristik eğriler elde edip modellemenin doğruluğunu değerlendirmişlerdir (Tamrakar ve ark., 2015).

Ahmad ve arkadaşları 2016 yılında yaptıkları bir çalışmada Matlab & Simulink kullanarak PV sistemleri incelemiş, tek diyot ve çift diyot PV modellemesi yapmışlardır. Yapılan çalışmada tek diyot ve çift diyot PV sistemler aynı çalışma şartlarında modellenerek her iki sisteminde çalışma eğrileri çıkartılmış ve bu eğriler karşılaştırılarak verimlilikleri değerlendirilmiştir (Ahmad ve ark., 2016).

Mohammad ve arkadaşları 2017 yılında yaptıkları bir çalışmada fotovoltaik analizi amaçlayan bir simulasyon yapmışlardır. Yapılan çalışmada PV sistem verimliliğini etkileyen iç ve dış parametrelerin incelenebilmesi için tek diyot PV modellemesi

yaklaşımını kullanmışlardır. Çalışma sonucunda elde ettikleri karakteristik eğrilerine göre PV sistem performansını etkileyen parametreler ve bu parametrelerin sistem çalışmasına olan etkisini tartışmışlardır (Mohammad ve ark., 2017).

Azad ve arkadaşları 2017 yılında yaptıkları bir çalışmada Matlab & Simulink ortamında güneş pilinin doğrusal olmayan denklemlerini kullanarak tek diyot PV modellemesi yapmışlardır. Yapılan çalışmada sıcaklık ve ışınım gibi çevresel parametrelerin güneş pilinin çalışma performansına etkisini gözlemleyebilmek için akım-gerilim ve güç-gerilim eğrileri çıkartmışlardır. Çalışmanın sonucunda elde edilen karakteristik eğrilerini karşılaştırarak çevresel faktörlerin sistem verimliliği üzerine olan etkisini değerlendirmişlerdir (Azad ve ark., 2017).

3. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Talep edilen enerji miktarının her geçen gün artmasıyla birlikte enerji kaynaklarının yakın bir gelecekte tükenme tehlikesiyle karşı karşıya olduğu bilimsel olarak doğrulanmıştır. Dünyanın enerjiye gereksinimi arttıkça doğaya verilen tahribatın ve emisyon değerlerinin sabit tutulması mümkün değildir. Doğaya verilen bu zararın temelinde yenilenemeyen enerji kaynakları olan fosil yakıtlar vardır. Yenilenemeyen enerji kaynaklarının tükenme tehlikesiyle karşı karşıya olması, ekonomik açıdan oldukça maliyetli olması, insan ve çevre sağlığına olan etkileri, kullanımıyla birlikte küresel ısınmanın artması ve deniz seviyelerinin yükselmesi gibi sonuçları tüm dünyada enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını gerekli hale getirmiştir. Modern toplumların enerji olmadan varlıklarını sürdüremeyeceği gerçeği açıkça görülmektedir (Acar, 2008). Yenilenebilir enerji kaynaklarının kendilerini yenileyebilmesinin yanı sıra çevre ve insan sağlığına karşı zararlarının olmaması bu kaynakların daha çok tercih edilmesini ön plana çıkartmaktadır. Günümüzde yenilenebilir enerjiye gösterilen ilgi giderek artmakta, ekonomik açıdan gerekli desteklerin sağlanması içinde çalışmalar hız kazanmaktadır.

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA)'nın 2020 yılı tahminlerinde enerji kullanımına bağlı CO₂ emisyon oranlarının % 6 artış göstereceğine, bu duruma engel olabilmek için ise enerji verimliliği ve daha az karbon teknolojisi gerektiren alanlara yönelerek 430 milyar dolar ek yatırımın 2020 yılına kadar yapılması gerektiğine değinilmiştir (IEA, 2009).

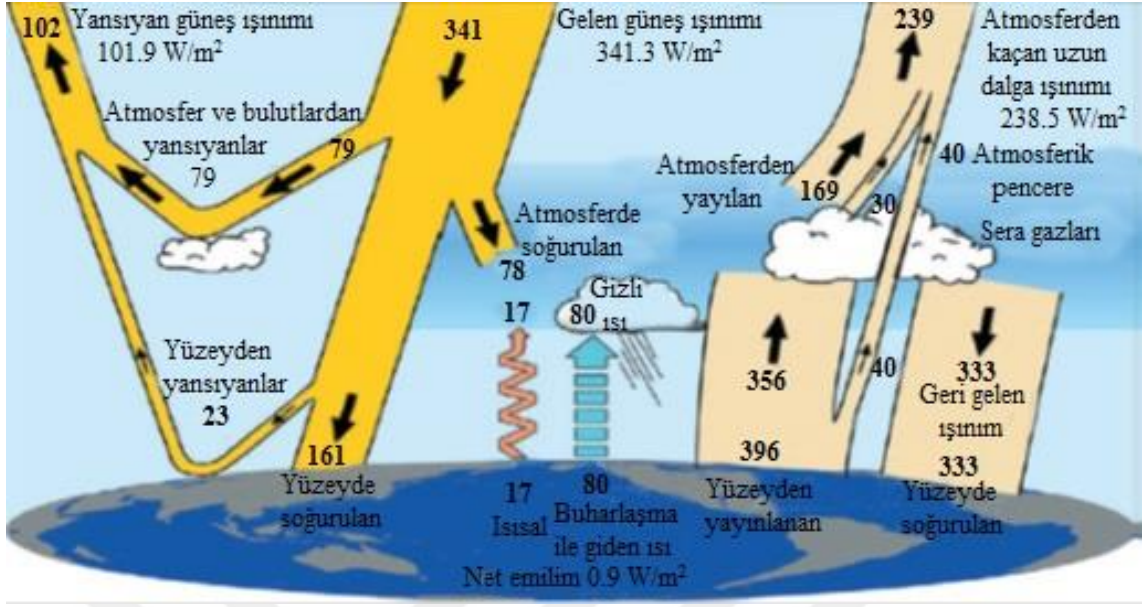
Yenilenebilir enerji kaynaklarının en büyük dezavantajı ilk kurulum maliyetlerinin, AR-GE masraflarının yüksek oluşu ve bazı teknolojik donanımlarının temin edilmesinin zor olmasıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının geleneksel kaynaklara alternatif olarak kullanılmasını sağlamak için yapılması gereken en önemli nokta yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulum ve işletim maliyetlerini düşürmektir.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında en fazla kullanım alanı bulanlar güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidrolik enerji, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi ve hidrojen enerjisidir. Dalga enerjisi de yenilenebilir bir enerji olmasına karşılık, ekonomik

getirisinin azlığı ve işletim zorluğu gibi olumsuzluklarından dolayı pek tercih edilmemektedir.

3.1. Güneş Enerjisi

Dünya'nın 110 katı büyüklüğünde olan Güneşin çapı 1,4 milyon km'dir. Yüksek sıcaklık ve basınca sahip olan Güneş Dünya'dan $1,5 \times 10^{11}$ m uzaklıkta bir yıldızdır (Varınca ve Gönüllü, 2006). Güneş enerjisi güneş çekirdeğinde yer alan ışınım enerjisinin füzyon süreci ile dışarıya ısı ve ışık olarak çıkmasıdır. Hidrojenin helyuma dönüşmesi sırasında ortaya çıkan bu enerji uzay boşluğuna yayılarak dünyaya çok kısa sürede ulaşır. Güneşin radyasyon olarak açığa çıkardığı bu enerjinin kayıpsız olarak yeryüzüne ulaşması mümkün değildir. Dünya'nın dönüşü, Güneş ekseninin asimetrikliği ve atmosferin katmanlı yapısı gibi nedenler güneş enerjisinin yeryüzüne ulaşmasını engelleyen başlıca etkenlerdir. Güneş enerjisinin yaklaşık % 50'lik kısmı atmosferi geçerek yeryüzüne ulaşırken yaklaşık % 30'luk bir kısmı atmosfer katmanlarından geri yansıtılır. Yeryüzüne ulaşan güneş ışınımının tamamı sonunda ısıya dönüşerek tekrar uzaya döner (TÇV, 2006). 173.104 kW atmosferin dış yüzeyine ulaşırken bu miktarın 1.395 kW kadarı yeryüzüne gelebilmektedir. Yeryüzüne gelebilen enerji miktarının bu kadar düşmesinin nedeni atmosferde bulunan ozon, su buharı ve karbondioksit gibi gazların ışınımına olan absorbe etkisinin yanı sıra, Güneş ve Dünya arasında ışınımın seyretmesi gereken yolun uzunluğudur. Işınım kayıpları olmadan önce, atmosfer dış yüzeyindeki ışınım şiddeti 1367 W/m^2 dir ve bu değer güneş sabiti olarak 2 alınır. Yeryüzüne ulaşan güneş ışınımı değeri pratik olarak 1000 W/m^2 kabul edilmektedir. Güneş ışınımının daha milyonlarca yıl süreceği öngörülmektedir. Bundan dolayı Dünya için sonsuz bir enerji kaynağı, aynı zamanda da tüm enerji kaynaklarına doğrudan ya da dolaylı olarak kaynaklık eden bir enerji çeşididir (Karamanav, 2007). Şekil 3.1'de Güneşten gelen ışınım dağılımı verilmiştir.

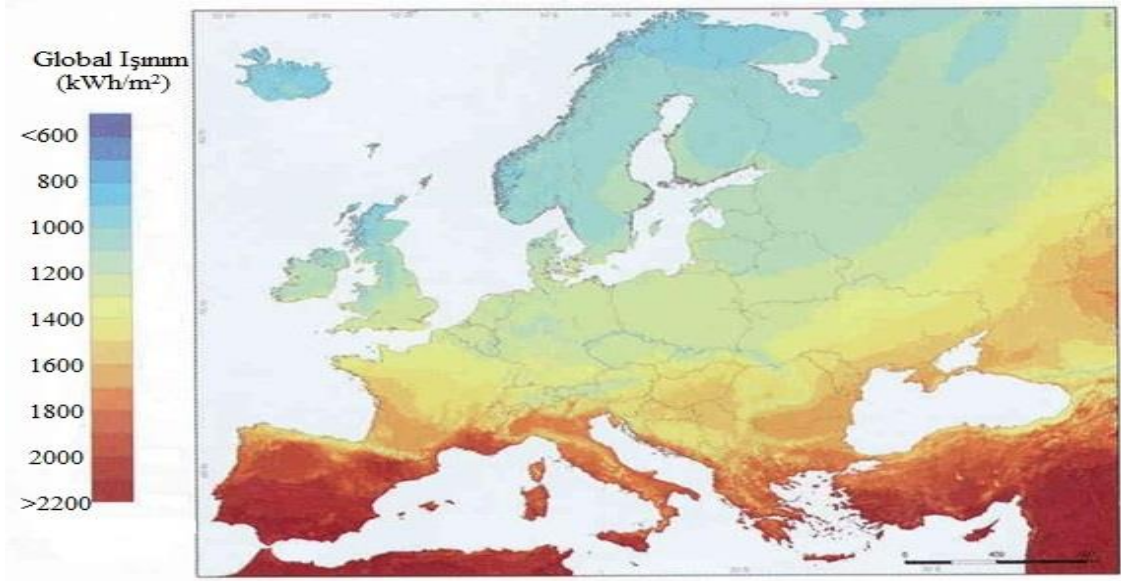


Şekil 3.1. Güneşten gelen ışınım dağılımı (Kevin ve ark., 2009)

Güneş ışınları Dünya'nın yörünge yarıçapı olan 150 milyon kilometrelik yolu aşarak 8 dakika içerisinde yeryüzüne ulaşır. Bu denli uzun bir yol geçerek yeryüzüne ulaşmasına rağmen dünya üzerinde bir senede tüketilebilecek toplam enerjiyi yerküre 40 dakika içerisinde soğurur. Güneşin çeşitli yöntemlerle ölçülen sıcaklığı 5800 °C, bir saniyede ışımaya yoluyla açığa çıkardığı enerji yaklaşık olarak 4×10^{23} kW tır. Bu enerji Güneşin tüm yüzeyine homojen olarak dağılmıştır (Arslan, 2015).

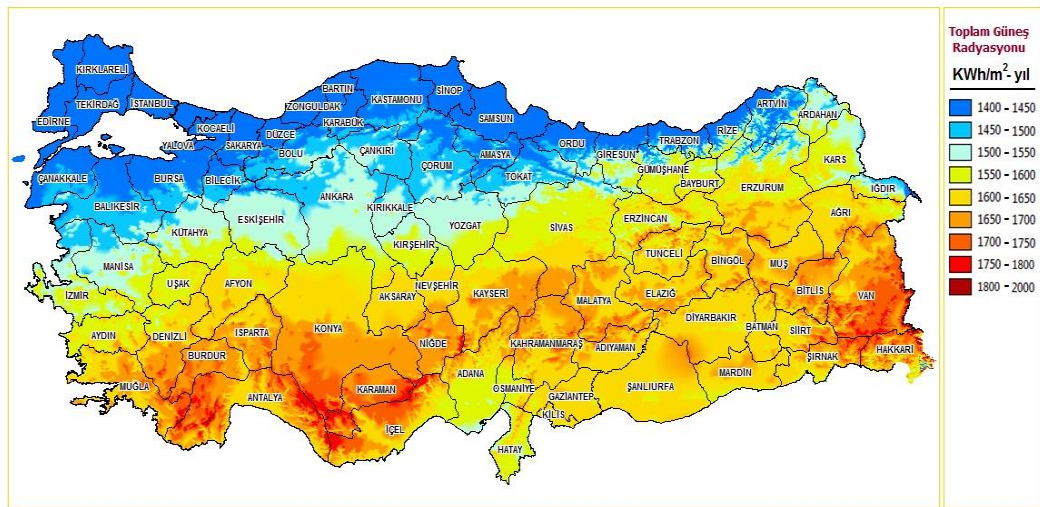
Güneş enerjisinin yeryüzüne gelen kısmı global ekosistem, hidrolik ve atmosferik dönüşümler ve fotosentez gibi canlı devamlılığı için gerekli olaylarda kullanılmaktadır. Güneş enerjisini değerlendirmek için iki temel metot kullanılmaktadır. Bunlar; güneş enerjisinin ya elektrik enerjisine dönüştürülmesi ya da ısıya dönüştürülmesidir.

Türkiye'nin coğrafi konumundan dolayı kuzey ve güney bölgeleri arasında güneş ışınım şiddetleri açısından farklılıklar vardır. Kuzey bölgelerinde, yıllık yaklaşık 1.400-1.800 KWh/m² arası güneş enerjisi potansiyeli bulunurken; ülkenin güney ve güneydoğu kısımlarında bu rakam 1.800-2.100 KWh/m²'ye kadar yükselmektedir (Suri ve ark., 2007). Türkiye'nin diğer AB ülkeleriyle kıyaslandığında güneş enerjisi potansiyelinin daha yüksek olduğu Şekil 3.2'de görülmektedir.



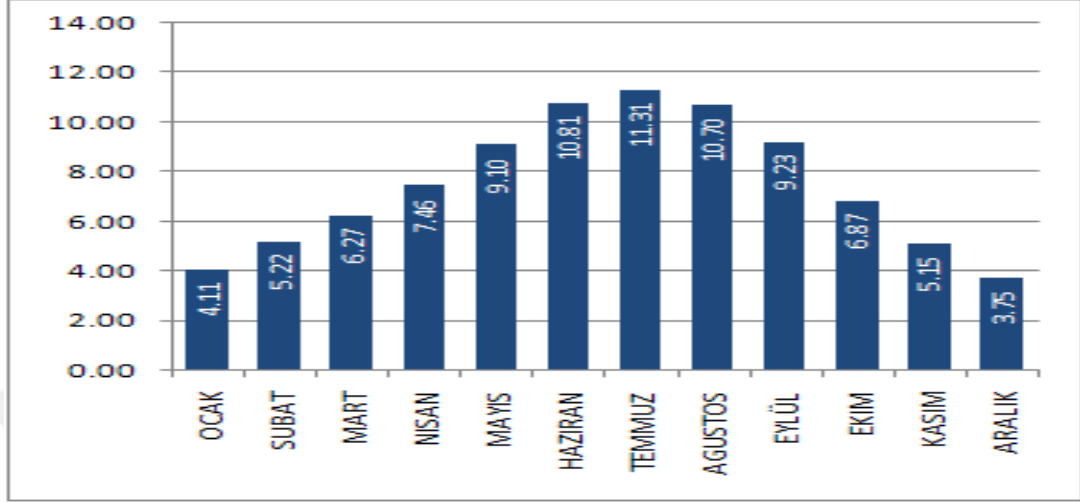
Şekil 3.2. AB ve Türkiye'nin güneş enerjisi haritası (Suri ve ark., 2007)

Türkiye orta kuşakta bulunduğu için ortalama güneşli gün sayısının yüksek olduğu ülkeler arasındadır. Son zamanlarda ülkemizde de tüm dünyada olduğu gibi güneş enerjisi santrallerine yapılan yatırımlar hız kazanmakta, kurulu güç potansiyelinin sürekli olarak artırılması hedeflenmektedir. Şekil 3.3'de Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) verilerinden alınan Türkiye geneli toplam güneş radyasyonu gösterilmiştir (Yılmaz, 2012).



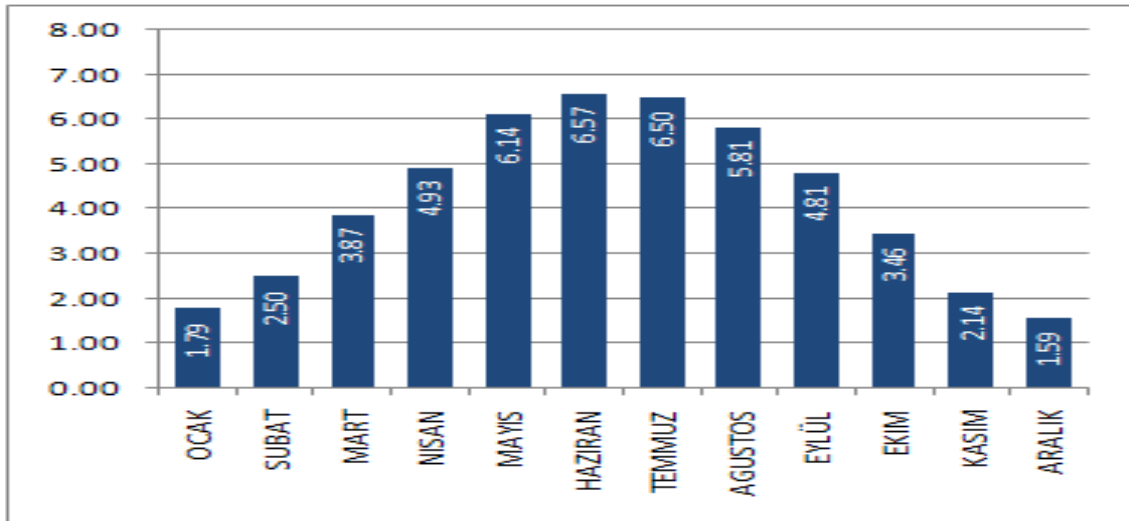
Şekil 3.3. Toplam güneş radyasyonu dağılımı (Yılmaz, 2012)

Şekil 3.4’de Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası verilerinden alınan Türkiye için aylık ortalama güneşlenme süreleri saat olarak görülmektedir.



Şekil 3.4. Aylık ortalama güneşlenme süreleri (Yılmaz, 2012)

Şekil 3.5’de Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası verilerinden alınan Türkiye için aylık ortalama global radyasyon değerleri kWh/m²-gün olarak görülmektedir.



Şekil 3.5. Aylık ortalama global radyasyon değerleri (Yılmaz, 2012)

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nde (DMİ) mevcut bulunan 1966-1982 yılları arasında yapılan ölçümleri esas alan güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verileriyle yapılan Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü çalışmalarına göre Türkiye’nin ortalama yıllık güneşlenme süresi 2640 saattir. Buda yaklaşık olarak günlük 7.2 saate denk

gelmektedir. Ortalama toplam ışı nım şiddeti ise 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3.6 kWh/m²) olarak tespit edilmiştir (YEGM, 2016). Çizelge 3.1’de Türkiye’nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli verilmiştir

Çizelge 3.1. Türkiye’nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli (YEGM, 2016)

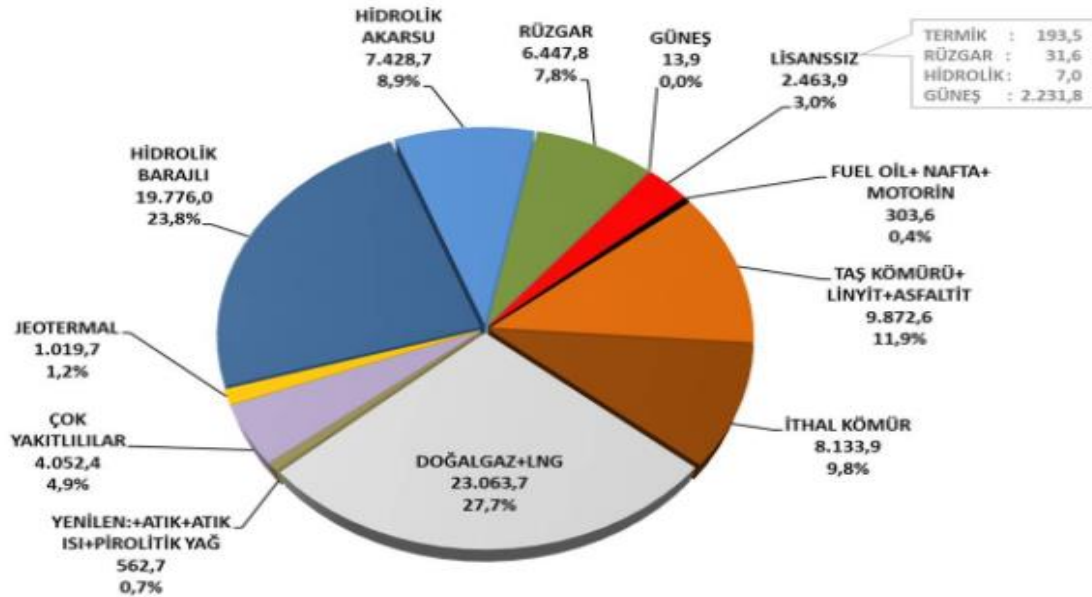
Aylar	Aylık Toplam (kcal/cm²)	Güneş Enerjisi (kWh/m²)	Güneşlenme Süresi (saat/ay)
Ocak	4.45	51.75	103.0
Şubat	5.44	63.27	115.0
Mart	8.31	96.65	165.0
Nisan	10.51	122.23	197.0
Mayıs	13.23	153.86	273.0
Haziran	14.51	168.75	325.0
Temmuz	15.08	175.38	365.0
Ağustos	13.62	158.40	343.0
Eylül	10.60	123.28	280.0
Ekim	7.73	89.90	214.0
Kasım	5.23	60.82	157.0
Aralık	4.03	46.87	103.0
Toplam	112.74	1311	2640
Ortalama	308 cal/cm ² gün	3.6 kWh/m ² gün	7.2 saat/gün

Türkiye’de en fazla güneş alan bölge Güneydoğu Anadolu Bölgesi olup bu bölgeyi ikinci sırada Akdeniz bölgesi takip etmektedir (YEGM, 2016). Çizelge 3.2’de Türkiye'nin bölgelere göre yıllık güneş enerjisi potansiyeli dağılımı gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. Türkiye'nin bölgelere göre yıllık güneş enerjisi potansiyeli dağılımı (YEGM, 2016)

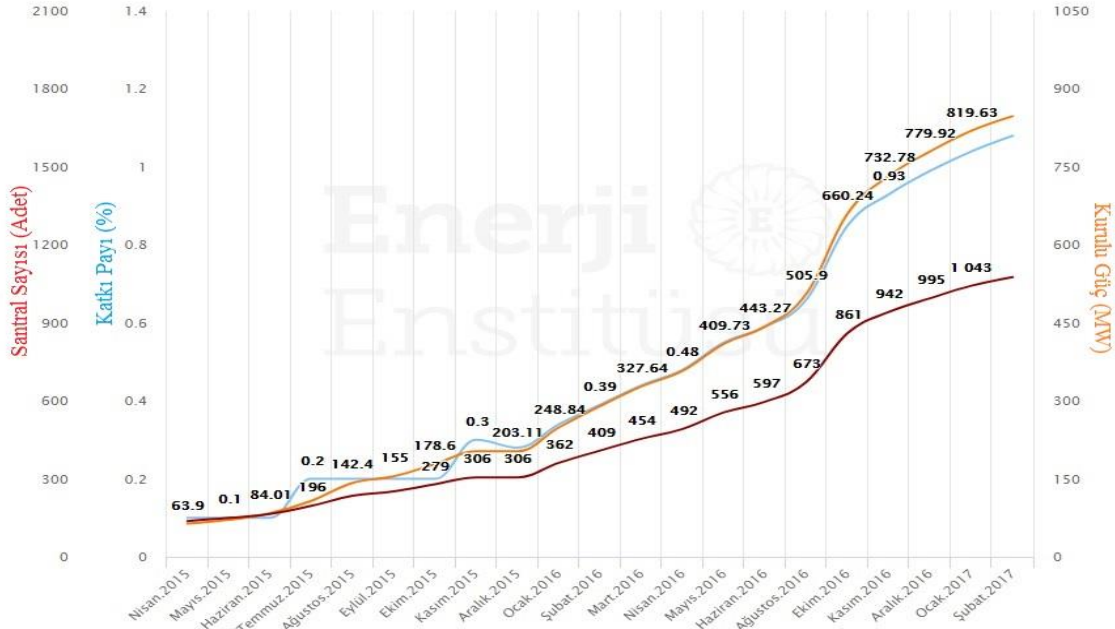
Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ²)	Güneşlenme Süresi (saat/yıl)
Güneydoğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Güneş enerjisi alanında yapılan bu çalışmalar 1966-1982 yılları arasındaki verileri kapsadığı için Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından ölçme amaçlı kurulan şuanki istasyonlarda devam eden ölçüm sonuçlarına göre Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin önceki değerlere oranla % 20-25 daha yüksek çıkması öngörülmektedir. Şekil 3.6'da Türkiye'nin kurulu elektrik gücünün yakıt cinslerine göre dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Türkiye'nin kurulu elektrik gücünün yakıt cinslerine göre dağılımı (EMO, 2017)

Güneş enerjisine yapılan yatırımların artmasıyla birlikte işletmeye alınan santral sayısı ve kurulu güç son yıllarda belirgin şekilde artmaktadır. Şekil 3.7’de Türkiye’de güneş enerjisinin kurulu güç içerisindeki katkı payı gösterilmiştir.



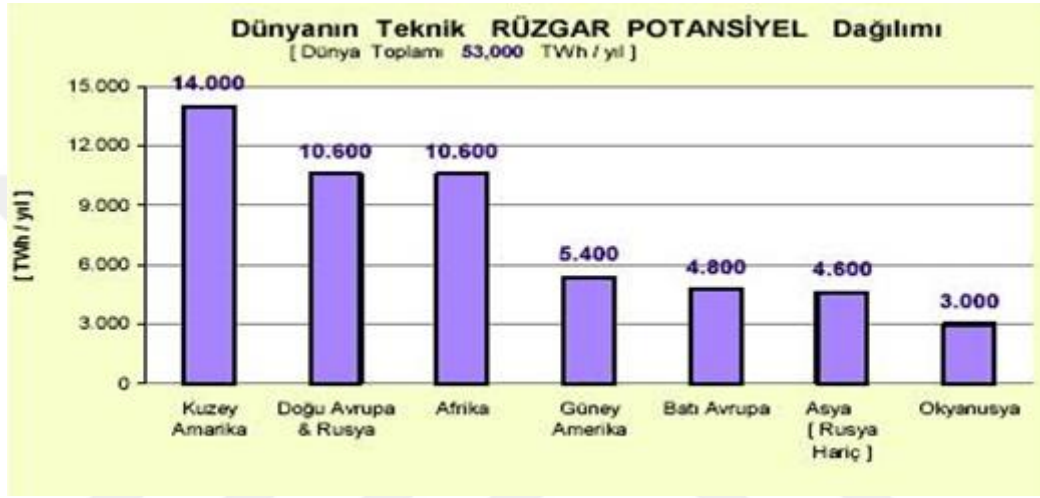
Şekil 3.7. Türkiye’de güneş enerjisinin kurulu güç içerisindeki katkı payı (Anonim-1, 2017)

3.2. Rüzgar Enerjisi

Yatay hava hareketi olarak adlandırılan alçak basınçla yüksek basınç bölgesi arasında yer değiştiren hava akımına rüzgar denir. Rüzgar enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında büyük bir öneme sahiptir. Rüzgar enerjisi temel kaynağını güneşten alır. Güneşten yeryüzüne ulaşan enerjinin % 2’si rüzgar enerjisine dönüşmektedir (Kıncay ve ark., 2009). Rüzgar enerjisinin karbon emisyonu ve çevre kirliliği gibi zararlı etkileri yoktur. Atmosferdeki hava kütleleri daha soğuk ve yüksek basınçlı noktalardan daha sıcak ve alçak basınçlı noktalara hareket ederler. Rüzgar yönünü tespit etmek için rüzgar gülü, hızını ölçmek için ise anemometre adı verilen cihazlar kullanılır. Yüksek yerlerde rüzgar hızının ölçülmesinde balonlardan da faydalanılır.

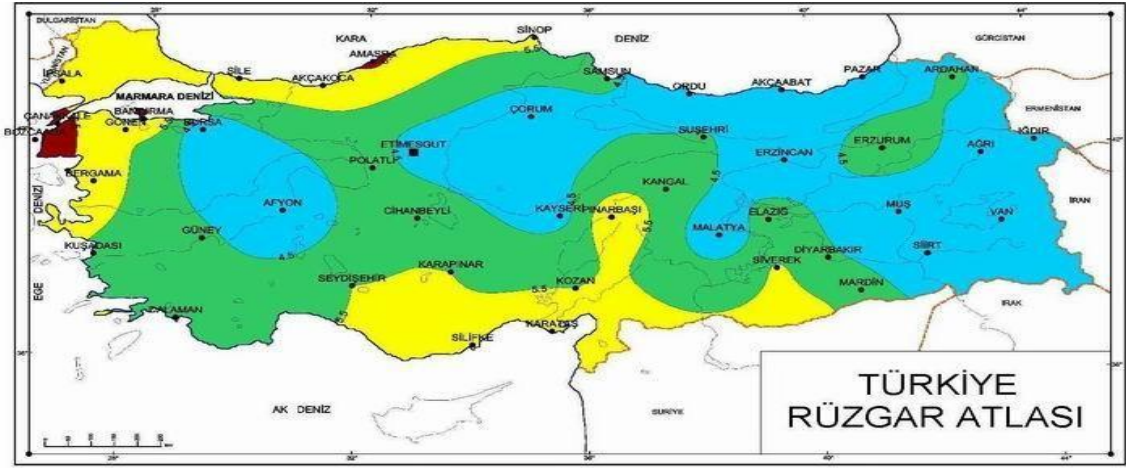
Rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olanı WASP programı kullanılarak yapılan istatistiksel analizlerdir. Bu programla saatlik rüzgar hızı, rüzgar yönü, pürüzlülük, topoğrafya ve yakın çevre engel bilgileri girilerek analiz yapılabilir. Okyanus ve deniz kenarlarına kıyıları olan

karalarda sıcaklık farkları yüksek olduğu için rüzgar oluşumu oldukça yoğundur. World Energy tarafından yapılan çalışmalarda rüzgar hızı 5.1 m/s olan bölgelerin uygulamaya yönelik ve toplumsal nedenlerden dolayı % 4'ünün kullanılabilceği varsayılarak dünya rüzgar enerjisi teknik potansiyeli 53 000 TWh/yıl olarak hesaplanmıştır (Akalin, 2014). Bu değerlerin dünya üzerindeki dağılımları Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8. Dünya rüzgar enerjisi teknik potansiyelinin ülkelere göre dağılımı (Akalin, 2014)

Türkiye'nin etrafı denizlerle çevrili olduğu için rüzgar potansiyeli oldukça yüksek bir ülkedir. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü çalışmalarına göre Türkiye Rüzgar Atlası hazırlanırken homojen dağılımlı Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğüne bağlı 45 adet istasyondan alınan veriler göz önünde bulundurulmuş ve Şekil 3.9'da gösterilen Türkiye Rüzgar Atlası belirlenmiştir. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından yapılan çalışmalarda Türkiye'de rüzgar enerjisi potansiyeli açısından yoğun olan yerler Hatay, Bandırma, Kumköy, Mardin, Sinop, Gökçeada, Çanakkale, Çorlu olarak tespit edilmiştir (MGM, 2016).

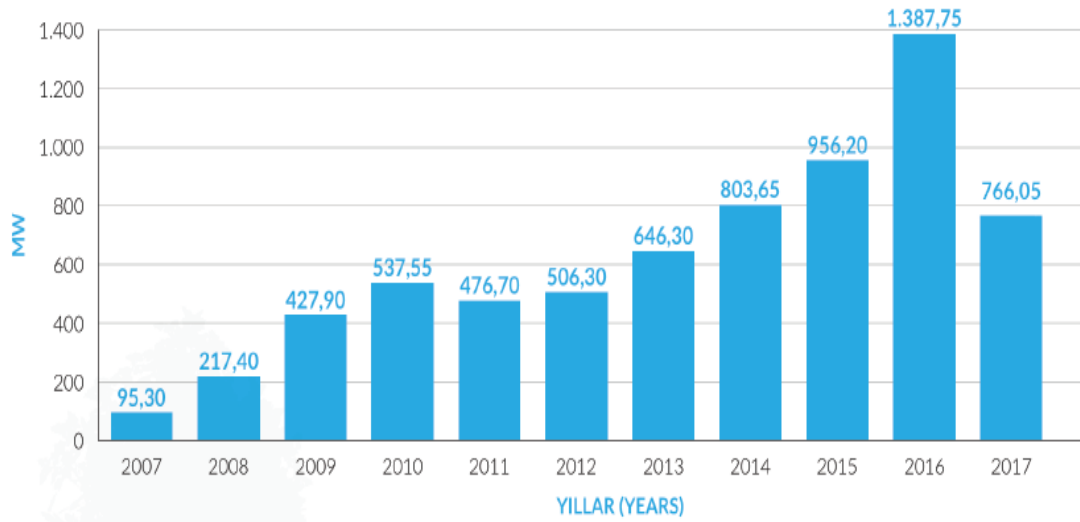


	Dark Blue	Red	Yellow	Green	Light Blue
U (m/s)	> 7.5	6.5 – 7.5	5.5 – 6.5	4.5 – 5.5	< 4.5
P (W/m²)	> 500	300 - 500	200 - 300	100 - 200	< 100

* Açık yüzeyler için (yer düzeyinden 50 m yükseklikteki) rüzgar potansiyeli sınıf aralıkları

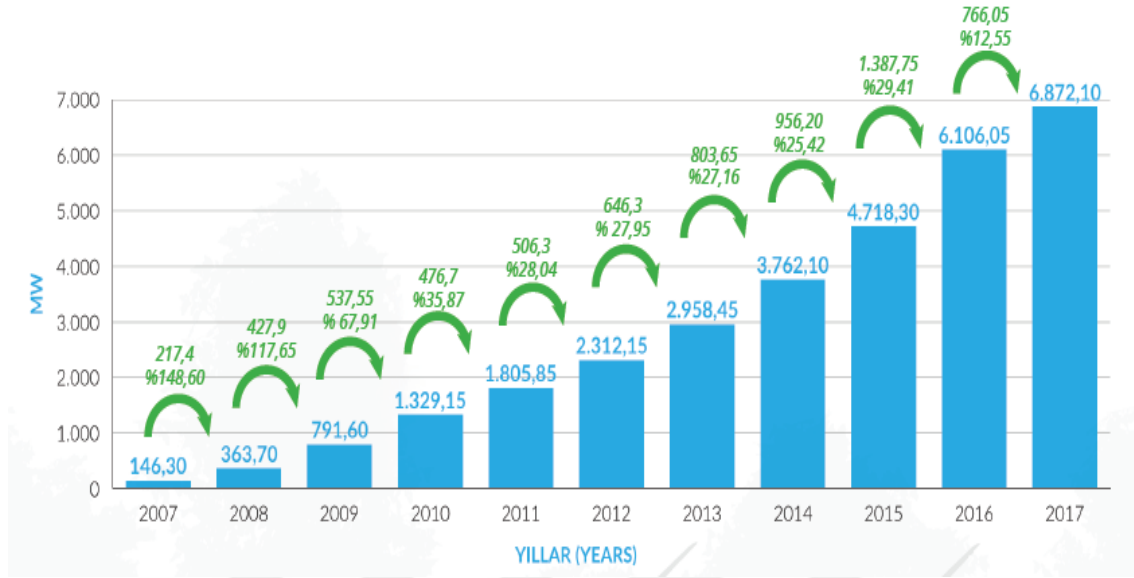
Şekil 3.9. Türkiye rüzgar atlası (MGM, 2016)

Türkiye’de rüzgar potansiyelinin yüksek olmasından dolayı rüzgar enerjisine yapılan yatırımlar her geçen gün artmaktadır. Çizelge 3.10’da Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği’nin 2018 yılı Ocak ayı istatistik raporuna göre yıllara ait Türkiye’deki rüzgar enerjisi santralleri için yıllık kurulum grafiği verilmiştir (TÜREB, 2018).



Şekil 3.10. Türkiye’deki rüzgar enerjisi santralleri için yıllık kurulum (TÜREB, 2018)

Şekil 3.11’de Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği’nin 2018 yılı Ocak ayı istatistik raporuna göre Türkiye’de rüzgar enerjisi santralleri için yapılan yatırımların yıllık artış miktarları (kümülatif kurulum) verilmiştir (TÜREB, 2018).



Şekil 3.11. Türkiye rüzgar enerjisi santralleri için kümülatif kurulum (TÜREB, 2018)

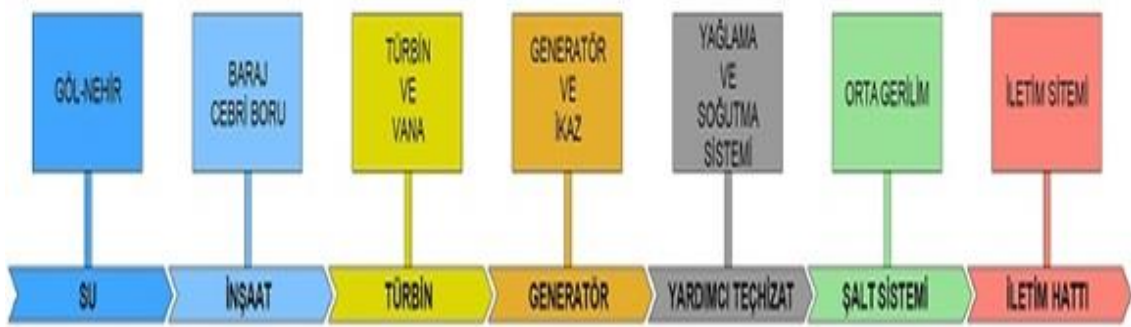
3.3. Hidrolik Enerji

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında teknolojik gelişim bakımından en ileri düzeyde olan enerji kaynağı hidrolik enerjidir. İnsanlık tarihi boyunca kullanımı devam eden enerji kaynaklarından birisi olan hidrolik enerji kaynağını sudan almaktadır. Bu sebeple hidroelektrik santralleri mutlak suretle bir su kaynağı üzerinde olmalıdır. Hidroelektrik santralleriyle akan suyun enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülür. Üretilen enerji miktarı akan suyun debisine göre değişkenlik gösterir. Büyük akarsular yüksek miktarda hidrolik enerji potansiyeline sahiptir. Hidrolik enerji potansiyeli suyu yüksek bir noktadan aşağıya akıtma metoduyla artırılabilir. Borular ve kanallar yardımıyla su türbinlere doğru yüksek bir enerjiyle taşınır ve türbinlere çarparak dönmesini sağlar. Jeneratörlere bağlı olan türbinler dönerek mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüşümünü sağlarlar (Özcan, 2013).

Hidroelektrik santralleri yenilenebilir bir enerji kaynağı olan suyu kullanmaları, sera gazı etkisi yaratmamaları, inşaatının yerli imkanlarla yapılması, uzun ömürlü ve yakıt gerektirmemesi, işletme bakım maliyetlerindeki düşüklük, istihdam sağlamaları ve

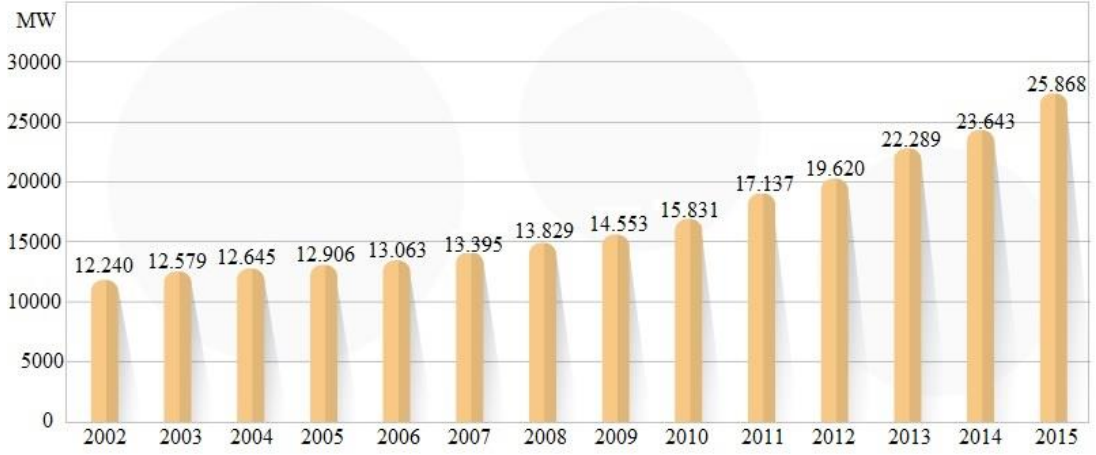
kırsal kesimlerde ekonomiye kattığı canlılıktan dolayı yüksek miktarda yatırım yapılan santrallerdir. Hidrolik enerji elektrik üretiminin dışında da birçok alanda kullanılmaktadır. Sulama, taşkın ve sel baskınlarının önlenmesinde, balıkçılık faaliyetlerinin geliştirilmesinde, ağaçlandırmada, turizm faaliyetlerinin geliştirilmesinde ve ulaşım faaliyetlerinin kolaylaştırılmasında hidrolik enerjiden faydalanılmaktadır.

Hidrolik enerjinin ülke ve toplum açısından birçok avantajı olmasına rağmen aynı zamanda bünyesinde birtakım dezavantajlarda barındırmaktadır. Bu dezavantajların bazıları; toplam kurulum süresinin uzun olması, yağışlardan ve iklim şartlarından olumsuz şekilde etkilenmesi ve ekonomik yatırım maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Şekil 3.12’de Hidroelektrik enerji üretimi akış şeması verilmiştir.



Şekil 3.12. Hidroelektrik enerji üretimi akış şeması

Türkiye’de engebeli arazilerin çokluğu ve akarsu miktarındaki fazlalıktan dolayı hidrolik enerjisine yapılan yatırımlar her geçen gün artmaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın 2015 yılı faaliyet raporuna göre alınan verilerden hidrolik enerjisi kurulu gücünün yıllar içerisindeki değişimi Şekil 3.13’de gösterilmiştir (ETKB, 2015).

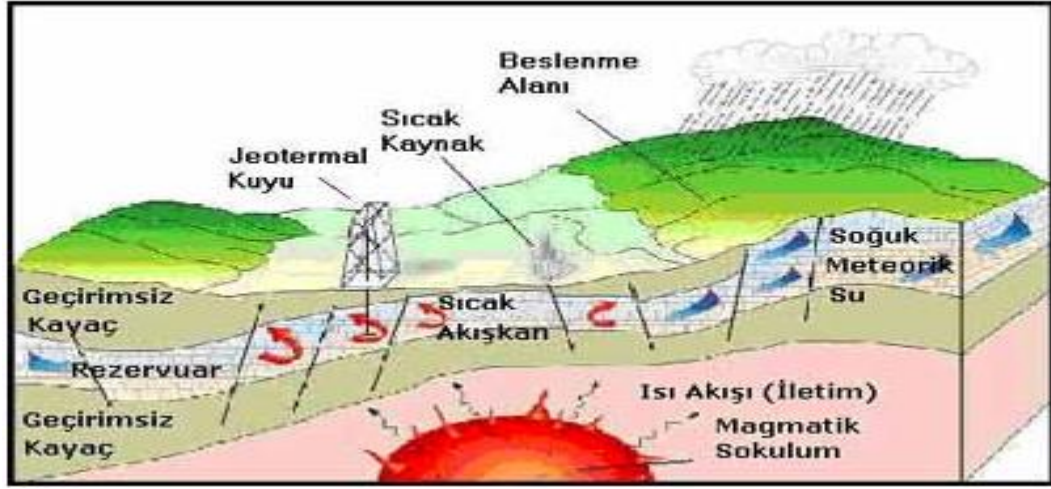


Şekil 3.13. Türkiye’de hidrolik enerji kurulu gücünün yıllar içerisindeki değişimi (ETKB, 2015)

3.4. Jeotermal Enerji

Yunan dilinde yer anlamına gelen “geo” ve ısı anlamına gelen “therme” kelimelerinin bir araya gelerek oluşturduğu jeotermal sözcüğü yer ısısı, yeryüzü ısısı anlamına gelmektedir. Jeotermal enerji yer kabuğunun katmanlarında birikmiş olan ısının oluşturduğu sıcaklığı sürekli olarak 200 °C olan ve içeriğinde normal sulara göre yüksek miktarda mineral, erimiş tuz, ve gazlar barındıran sıcak su ve buharı olarak tanımlanabilir. Yaklaşık olarak 4 milyar yıl önce sıcaklıkla bir araya gelmiş toz ve gazlardan kaynaklanan yerkürenin iç ısısı kayalar içerisindeki radyoaktif elementlerin reaksiyonları sonucunda sürekli kendisini yenilemektedir (Ataman, 2007). Jeotermal kaynaklar meteorik kökenli suların oluştuğundan dolayı sürekli beslenerek yenilenmektedir. Yerkabuğunun derinliklerine inen yağmur, kar ve diğer kaynak suları magma tabakasına yaklaştıkça ısınarak tekrar yeryüzüne çıkar ve bu durum jeotermal enerjiyi yenilenebilir yapan en önemli esastır.

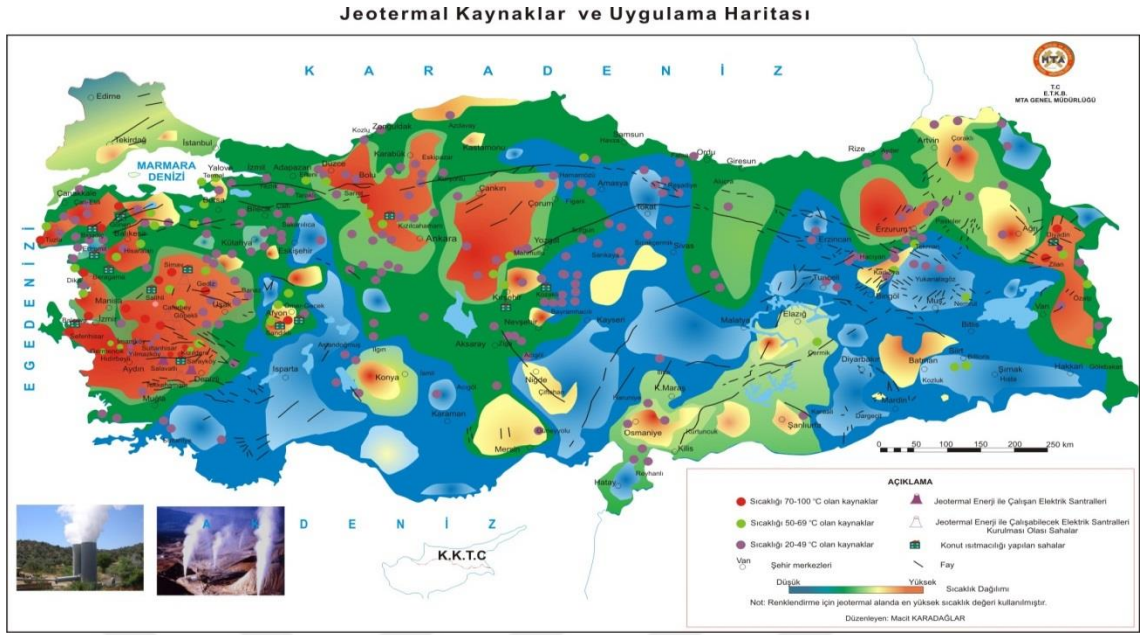
Jeotermal kaynaklardan 20. yüzyıl başlarına kadar yiyecek pişirme ve sağlık gibi çok az alanda yararlanılırken günümüzde bu kaynakların kullanım alanı teknolojinin gelişmesiyle çok genişlemiştir. Bu kullanım alanlarının başlıcaları elektrik üretimi, endüstriyel alanda çeşitli uygulamalar ve ısıtmadır (Gedik, 2015). Şekil 3.14’de İdeal jeotermal sistemin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.14. İdeal jeotermal sistemin şematik gösterimi (Gedik, 2015)

Jeotermal enerji temiz, çevre dostu, tükenmeyen, yenilenebilir ve dışa bağımlı olmayan bir enerji olması gibi avantajlarından dolayı kullanım alanı bulan bir enerjidir. Jeotermal enerji hava değişimlerinden etkilenmez aynı zamanda da güvenli bir kaynaktır. Jeotermal enerjiyi iki farklı yolla değerlendirmek mümkündür. Bunlardan ilki ısı enerjisi kaynağı olarak kullanmak diğeri ise elektrik enerjisine çevirerek değerlendirmektir. Jeotermal enerjinin elektrik enerjisine dönüşümü yaklaşık olarak 135 °C civarında yapılabilmektedir (McVeigh, 1984). Günümüzde yapılan “Binary Cycle” ve “Multi Flashing System” gibi tekniklerle daha düşük sıcaklıklarda da elektrik üretimi yapılmaktadır. Bu teknikler sayesinde birim enerji maliyetleri de düşürülmüştür.

Türkiye genç tektonik oluşumlu bir ülke olduğu için bundan doğan volkanizmaya bağlı oluşan jeotermal rezervler açısından oldukça zengindir. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA)’nın yürüttüğü sıcak su varlığına dair belirleme çalışmalarının ardından 1962 yılında ülkemiz için jeotermal enerji uygulamaları başlamıştır (Şimşek, 2001). MTA tarafından yapılan çalışmalarla oluşturulan Türkiye için jeotermal kaynaklar ve uygulama haritası Şekil 3.15’de verilmiştir.



Şekil 3.15. Türkiye için jeotermal kaynaklar ve uygulama haritası (MTA, 2016)

MTA Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen çalışmalarda ülkemiz genelinde farklı bölgelerde dağılım gösteren 190 adet jeotermal alanın olduğu belirlenmiştir. Bu alanların % 79'u Batı Anadolu'da, % 8.5'i Orta Anadolu'da, % 7.5'i Marmara Bölgesinde, % 4.5'i Doğu Anadolu'da ve % 0.5'i diğer bölgelerde yer almaktadır. Türkiye'de jeotermal enerji ve kullanımını amaçlayan çalışmalar yoğun olarak Ege Bölgesi'nde yürütülmektedir. İzmir'in Narlıdere ve Balçova ilçelerinde 15 000 konutun ısınma ihtiyacı jeotermal enerji ile karşılanmaktadır. Yapılan hesaplamalara göre İzmir'in ilçelerindeki jeotermal kaynakların kullanılmasıyla 220 000 konutun ısınma ihtiyacının karşılanacağı öngörülmektedir. Türkiye'de jeotermal enerji alanında yapılan yatırımlar diğer enerji kollarına göre daha yavaş ilerlemektedir. Şuan Türkiye'de aktif olan 15 adet jeotermal enerji santrali bulunmaktadır. Bu santraller Aydın'da 10 adet, Denizli'de 3 adet, Manisa'da 1 adet, Çanakkale'de 1 adettir. Bunlardan hariç Aydın'da 4, Manisa'da 2, Denizli'de 1 adet jeotermal santral kurulumu devam etmektedir (MTA, 2016).

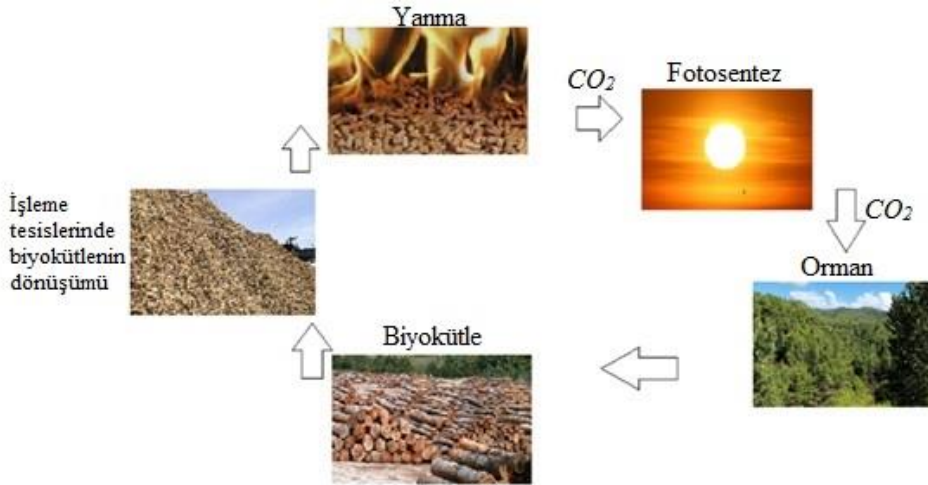
3.5. Biyokütle Enerjisi

Yakın zamanda yaşamış veya yaşayan canlılardan elde edilen, bir bölümü enerji üretiminde kullanılabilen fosilleşmemiş biyolojik malzemeye biyokütle adı verilir. Fosil kaynaklar uzun yıllar yüksek basınç altında kendiliğinden doğal parçalanmaya maruz kaldıklarından dolayı biyokütleden farklıdır. Biyokütle enerjisinin hızla sanayileşen günümüz dünyası için anlamı canlı atıklarından elde edilen doğal organik kaynakların çeşitli sistemlerde kullanılmak üzere işlenerek yakıt türlerine dönüştürülmesidir (Cassedy, 2000). Bitkisel ve hayvansal kökenli organik maddeler biyokütle enerjisine kaynaklık etmektedir. Biyokütleden elde edilecek enerji dünyanın enerji ihtiyacının yaklaşık olarak on katını karşılayacak düzeydedir. Biyokütle ikiye ayrılmaktadır. Bunlardan ilki klasik biyokütledir. Bu tür; ormanlardan klasik olarak sağlanan odunlar, bitkisel ve hayvansal atıklardır. İkincisi ise modern biyokütledir. Modern biyokütle ise enerji ormancılığı, şehir atıkları, bitkisel ve tarım kökenli endüstriyel atıklardır.

Doğal organik atıklar toplanılarak birçok sistemde kullanılan farklı yakıtlara dönüştürülmek amacıyla çeşitli işlemlere tabi tutulurlar. Dünya üzerindeki organik atıklar, tarım ürünleri, orman ürünleri, deniz ve orman bitkileri, ev ve endüstri atıkları toplandıktan sonra tesislerde çeşitli aşamalardan geçirilerek enerji üretiminde kullanılmaktadır. Biyokütle genellikle taşıtlarda yakıt olarak kullanılmak üzere sıvı ya da gaz halinde üretilir.

Fotosentez yoluyla canlı yaşamının devamlılığı için gerekli oksijen üretilirken enerji kaynağı olan organik maddeler de sentezlenir. Bitkisel biyokütle bu şekilde oluşur. Bazı ağaç ve bitkilerin büyüme hızları diğerlerine göre daha fazladır. Yüksek güneş ışığı altında kalan bölgelerde yetişen, suyu yüksek oranda değerlendiren, havadaki karbondioksit oranı çok düşük olduğu durumlarda dahi fotosentez yapabilen bitkiler ve kurak sezonlara daha dayanıklı olan bitkilere karbon bitkileri adı verilmektedir. Şehir katı atıkları iyi bir biyokütle enerji kaynağı olmasına karşın bu atıkların çöplerinde organik ve inorganik maddelerin ayrıştırılmasının zor olmasından dolayı bu işlem yüksek maliyetlidir. Biyokütlenin elektrik enerjisi üretiminde kullanılması termik santrallerdeki gibidir. Organik maddeler doğrudan yakılarak açığa çıkardığı ısıyla elde edilen buharın türbinleri çevirmesiyle bu enerji elektrik enerjisine çevrilir.

Biyogaz tarımsal üretim sonucu meydana gelen bitkisel artıkların, hayvansal dışkının ve organik bileşen bakımından yüksek suların hava bakımından yalıtılmış tanklar içerisinde sabit sıcaklıkta oksijensiz bakteriler tarafından parçalanmasıyla açığa çıkan ısı değeri yüksek bir gazdır. Biyogaz bileşiminde % 60-70 metan, % 30-40 karbondioksit bulunur. Bu gazlar haricinde yapısında hidrojen sülfür, hidrojen, su buharı, karbonmonoksit, amonyak ve azot bulunduran yanıcı bir gazdır. Biyogazın yanma değerini etkileyen en önemli etken içerisinde barındırdığı metan oranıdır. Genel olarak biyogazın ısı değeri 4700-6000 kcal/m³ civarındadır (Mutlu, 2013). Bu bakımdan biyogaz enerji üretiminde kullanılacak bir kaynak durumundadır. Günümüzde şehir atıklarının ve çöplerin çürümesiyle elde edilen metan gazını kullanan çöp termik santralleri bulunmaktadır. Şekil 3.16'da Biyokütle enerjisi döngüsü verilmiştir.



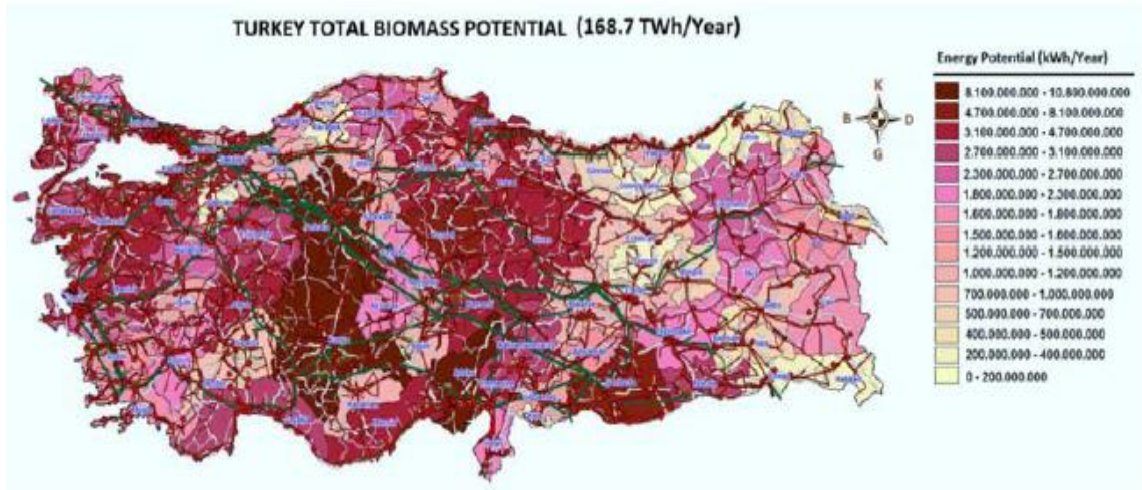
Şekil 3.16. Biyokütle enerjisi döngüsü

Dünyada biyokütle kullanımı ile yıllık yaklaşık olarak 23 080 000 MW civarında enerji üretilmektedir (TÇV, 2006). Bu enerji miktarı dünya için yüksek bir potansiyeldir. Bu enerjinin elde edildiği hammaddeler ve karşıladıkları enerji miktarları Çizelge 3.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Biyokütle enerjisi elde edilen hammaddeler ve enerji miktarları (TÇV, 2006)

Tür	Enerji Miktarı (MW)
Saman	1 120 000
Hayvansal atıklar	500 000
Orman atıkları	1 360 000
Evsel atıklar	2 400 000
Enerji tarlaları	17 700 000
Toplam	23 080 000

Şekil 3.17’de Türkiye toplam biyokütle potansiyeli gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Türkiye toplam biyokütle potansiyeli (MEF, 2009)

Biyokütle kaynaklı çevreye duyarlı yakıtların en önemlisi biyodizeldir. Biyodizel dizel motorlu araçlarda sorunsuz olarak kullanılabilmektedir. Biyodizel kullanımının başlangıcı Rudolf Diesel'in 1895'de ürettiği ilk dizel motorda bitkisel yağ kullanmasına dayanmaktadır. Şuan dünya üzerinde birçok ülkede biyodizel normu tamamlanmış olup akaryakıt istasyonlarında satışı yapılmaktadır. Kanola, ayçiçek, ispir vb. yağlı bitkilerin tohumlarından elde edilebildiği gibi hayvansal yağların bir katalizör ve alkolle reaksiyonu sonucunda açığa çıkarakta oluşabilir.

Bitkisel kaynaklı kızartma yağlarının yakıt olarak kullanılması için birçok çalışma yürütülmektedir. Soya, ayçiçeği, aspir, kolza, yerfıstığı, keten tohumu, fındık ve pamuk tohumu yağı, kızartma yağları araçlarda biyodizel olarak kullanılan yağlardır. Biyodizel, motor çalışma karakteristiklerini iyileştiren, ısınma ve enerji üretimi amacıyla kullanılabilen bir yakıttır. Dizel motorlarda herhangi bir tasarım değişikliğine ihtiyaç duymadan yakıt olarak kullanılabilen biyodizel, kara ve deniz taşımacılığında ticari öneme sahip bitkisel kaynaklı, çevre dostu bir biyokütledir (Ataman, 2007). ABD’de tohumlardan elde edilen bir yağ olan biyomotorin saf ya da değişik oranlarda karışımlarla dizele katılarak kullanılmaktadır. Etanol ve biyobenzinin de petrol ve akaryakıt piyasasındaki payı yüksektir. Benzin ve etanol karışım oranları ülkeden ülkeye farklılıklar göstermektedir. Etanol üretimi bakımından ilk sırada yer alan Brezilya’da araçların % 40’ı katkısız etanolla çalışırken, diğer araçlar tarafından kullanılan benzinde de % 20 civarında etanol katkısı bulunmaktadır (CCEC, 2005).

3.6. Hidrojen Enerjisi

Hidrojen birincil bir enerji kaynağı olmayan başka bir enerjinin tüketilmesiyle oluşan sentetik yapıdaki enerji taşıyıcısı olan bir yakıt türüdür. Hidrojen renksiz, kokusuz ve havaya nazaran 14.4 kat daha hafif olan bir gazdır. Petrol ürünlerine göre hidrojen 1.33 kat daha verimlidir. Hidrojenin keşfi 1500’lü yıllarda yapılmış yanabilirliği ise 1700’lü yıllarda ortaya çıkmıştır. Hidrojen evrenin en temel enerji kaynağıdır. Güneş ve yıldızların termonükleer tepkimelerle açığa çıkardığı ısının yakıtı hidrojendir. Hidrojen gazı -252.77 °C’de sıvılaştırılabilir. Gaz halindeki hidrojen sıvı haldeki hidrojenden hacim olarak 700 kat daha büyüktür. 1 kg hidrojenin yanması ile açığa çıkan enerji 2.1 kg doğalgazın, 2.8 kg petrolün yanmasıyla açığa çıkardığı enerjiye eşdeğerdir. Hidrojen doğada bileşenleri halinde bulunmaktadır. Su yapısında hidrojen bulunduran bir moleküldür. En çok bilinen hidrojen eldesi yöntemi suyun elektrolizi yöntemidir. Hidrojenin enerji üretiminde kullanılması sonucunda açığa çıkan su buharı haricinde çevreye olumsuz etki edecek hiçbir unsur yoktur. Hidrojenin yanması yüksek sıcaklıkta olursa havada nitrit oluşabilir. Hidrojen enerji kaynağından ziyade bir enerji taşıyıcısı olarak kullanılmaktadır (Ataman, 2007).

1960'lı yıllarda başlayan uzay araştırmalarıyla hidrojenin yakıt olarak kullanılabilirliği fikri yeniden doğmuştur. Nükleer enerji, deniz dalga enerjisi, hidrolik enerji, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi ve jeotermal enerji kullanılarak hidrojen yakıtı üretimi yapılabilmektedir (Alkan, 2009). Hidrojenin elektrikle ya da solar enerjiyle üretiminde, taşınması sırasında, depolanmasında ve son kullanımı sonucunda çevre ve insan sağlığına zararlı herhangi bir etkisi olmamaktadır. Hidrojen çok temiz ve çevreci bir yakıttır. Hidrojenin yakıt hücrelerinde tüketilmesi veya yanması sonucunda açığa çıkan son ürün sadece sudur. Hidrojen yüksek sıcaklıklarda yanarsa havada bulunan azot ve oksijen gazlarından NO_x meydana gelebilir. Fakat bu problem diğer yakıtlardada görülebilir ve kontrol altına alınabilecek düzeydedir. Diğer yakıtların kullanımı sonucu görülen SO₂, CO, CO₂ gibi uçucu toksit gazlar hidrojen kullanımında görülmemektedir. Hidrojen büyük ölçekli depolama gerektiren uygulamalarda gaz halinde, havacılık ve uzay uygulamalarında sıvı halde, araçlarda ve daha küçük uygulamalarda ise metal ve hibrit halinde depolanabilir. Çok düşük sıcaklık değerleri gerektirdiğinden dolayı hidrojenin sıvı halde depolanması oldukça zordur (Mutlu, 2013).

Türkiye'nin uzun kıyı şeridine sahip olan denizi Karadeniz'in tabanında kimyasal biçimde depolanmış olarak hidrojen bulunmaktadır. Karadeniz'in suyunun % 90'ı oksijensizdir ve H₂S içermektedir. H₂S'den hidrojen üretimi konusunda yapılmış çalışmalar mevcuttur. Ayrıca güneş ve rüzgar enerjisinden faydalanılarak, Karadeniz'in H₂S içeren suyundan hidrojen üretimi için çalışmalar yapılmıştır (Gedik, 2015).

Dünya üzerinde hidrojen enerjisinin kullanımını amaçlayan birçok çalışma yürütölmektedir. Hidrojen enerjisiyle ilgili başta Amerika ve Japonya olmak üzere İzlanda, Kanada gibi birçok ölkede şirketler tarafından yakıt pilleri ve hidrojen enerjisi ve kullanımına yönelik çalışmalar vardır.

3.7. Dalga Enerjisi

Dünya yüzeyindeki farklı sıcaklık dağılımından dolayı kaynaklanan rüzgarların deniz ve okyanus yüzeylerinde esmesi ile oluşan güçten elde edilen enerjiye dalga enerjisi adı verilir. Dalga enerjisi yerçekimi ve arşimet prensibi arasında çıkan büyük bir potansiyele sahip enerjidir. Dalgalar atmosferdeki hava hareketlerinin sebep olduğu rüzgarların deniz ve okyanus yüzeyine sürtünerek oluşturduğu su seviyesindeki

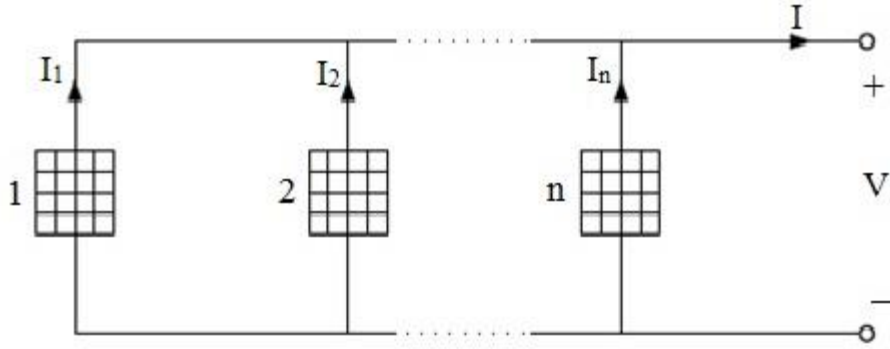
kabarmalardır. Dalga enerjisinin en büyük avantajları kirletici etkisi olmaması, rüzgar estikçe, dünya-güneş-ay arası çekim kuvveti devam ettikçe var olacak olması ve yakıt maliyetininin olmamasıdır. Deniz ve okyanus dalgalarındaki birtakım yapısal problemler bu kaynakların enerji üretimindeki ekonomikliğini azda olsa kısıtlamaktadır. Günümüzde elektrik enerjisi talebinin giderek artması, dalga kaynaklarının avantajlı konumlarını korumalarını sağlamaktadır (Scheer, 2007).

Dalga hareketlerinden enerji üretme düşüncesinin temelleri yaklaşık 200 yıl öncesine kadar uzanmaktadır. Çok sayıda mekanik üreticinin patenti 1799 yılından itibaren alınmaya başlanmasına rağmen doğrudan enerji üretimini amaçlayan çalışmalar 20. yüzyılda Amerika'nın San Francisco ve California eyaletlerinde yürütülmüştür (Mutlu, 2013). Dünya üzerinde dalga hareketleri en yoğun olarak Atlas Okyanusu'nda görülür. Avrupa'nın batı kıyıları yüksek dalga potansiyelli bölgelerdir. ABD ve Kanada'nın kuzey kıyıları, Güney Afrika ve Avusturalya kıyıları dalga potansiyeli bakımından zengin bölgelerdir.

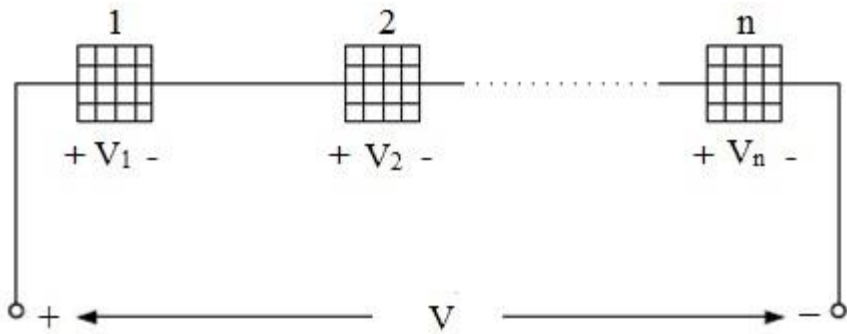
Yapılan hesaplamalar sonucunda Dünya'nın yıllık dalga potansiyelinin yaklaşık olarak 36 milyar MWh olduğu belirlenmiştir. 8210 km'lik kıyısı bulunan ülkemizin de önemli boyutlarda dalga enerjisi potansiyeli vardır. Dalga enerjisi, kullanımı en çok tavsiye edilen yenilenebilir enerji teknolojileri arasındadır. Üç tarafı denizlerle çevrili olan ülkemiz için solunabilir sağlıklı temiz hava sağlayarak doğal dengeyi koruyan, ülke ekonomisine katkı sağlayan, ucuz ve temiz bir enerji kaynağı olan dalga enerjisi faydalanılması gereken önemli yenilenebilir enerji kaynakları arasındadır. Türkiye'de Marmara Denizi dışında açık deniz kıyıları 8210 km'yi bulmasına karşın dalga rasatları ve bunlara ilişkin ölçüm verileri yoktur. Dalga cephesinin gücü Akdeniz kıyıları için ortalama 13 kW/m olarak verilmektedir (Terzi ve Alkan, 2006).

4. FOTOVOLTAİK HÜCRE

Fotovoltaik hücreler güneş enerjisinin doğrudan elektrik enerjisine çevrilmesini sağlayan yarıiletken malzemelerdir. Fotovoltaik hücelere güneş hücreleri veya güneş pilleri adı da verilmektedir. Fotovoltaik hücrelerin yüzeyine güneş ışığı temas ettiği anda fotovoltaik etkiden dolayı uçları arasında bir elektriksel potansiyel oluşur. Fotovoltaik hücreler dairesel yapıda ya da dikdörtgen şeklinde üretilebilmektedir. Fotovoltaik hücrelerin çoklu olarak seri ya da paralel birbirlerine bağlanmasıyla fotovoltaik modüller (paneller) oluşturulur. Fotovoltaik hücrelerin paralel bağlanmasıyla PV modülün çıkışından elde edilen akım miktarı artırılabilir (Ayaz, 2012). Şekil 4.1’de Fotovoltaik hücrelerin paralel bağlanması gösterilmiştir. Şekil 4.2’de gösterilen fotovoltaik hücrelerin seri bağlanmasıyla ise PV modülün çıkışından elde edilen gerilim miktarı artırılabilir.

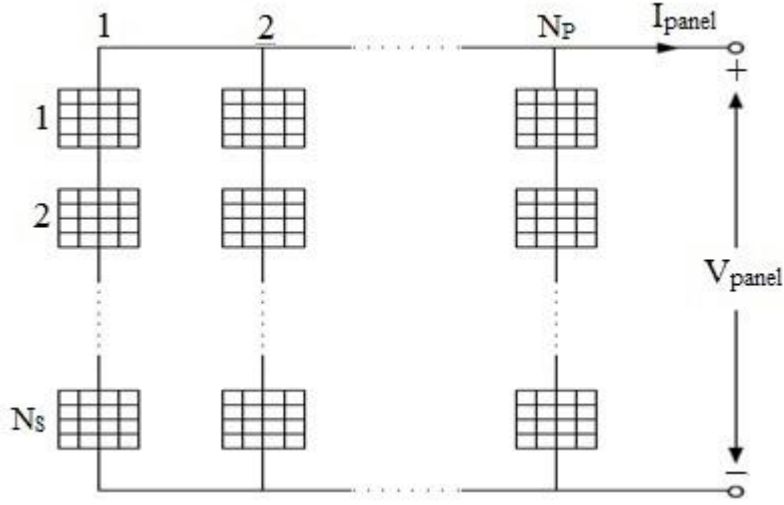


Şekil 4.1. Fotovoltaik hücrelerin paralel bağlanması (Ayaz, 2012)



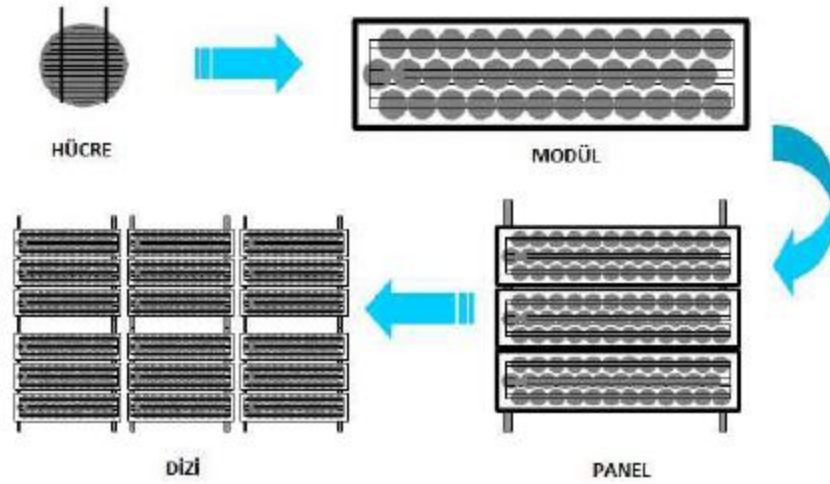
Şekil 4.2. Fotovoltaik hücrelerin seri bağlanması (Ayaz, 2012)

N_P tane koldan ve her kolun da N_S tane modülden oluştuğu PV panel Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. N_p tane koldan ve her kolun da N_s tane modülden oluştuğu PV panel (Ayaz, 2012)

Çıkıştan alınan güç değerini artırabilmek için Şekil 4.4’de görüldüğü gibi çok sayıda hücre seri ya da paralel bağlanarak “modül”, modüller birleştirilerek “panel” ve paneller birleştirilerek “dizi” elde edilir (Çelebi, 2002).



Şekil 4.4. PV hücre, modül, panel ve dizisi (Çelebi, 2002)

Fotovoltaik hücrelerin yüzey alanları genellikle 100 cm^2 civarında olup kalınlıkları ise 0.2-0.4 mm arasında değişmektedir. Fotovoltaik hücrelerin verimleri yapılarına bağlı olarak değişmektedir. Bu verim günümüzde % 40 civarındadır. Güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümü fotovoltaik hücre yapısına bağlı olarak uygulamada % 5 ile % 20 arasında bir verimle sağlanmaktadır. Fotovoltaik hücre verimi uygulamada %

15 ve üzerindeyse verimli olarak kabul edilebilir. Fotovoltaik hücrelerin olumsuz yönleri verimlilikleri değil üretim maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Fotovoltaik hücreler genel olarak 0.3-2 W, modüller 10-300 W, diziler ise daha yüksek güçlerdedir (Kılıç, 2015).

4.1. Fotovoltaik Hücrelerde Kullanılan Yarıiletkenler

Fotovoltaik hücre üretiminde birçok farklı yarıiletken malzeme kullanılmaktadır. Bunlardan element halinde olanlar silisyum ve germanyumdur. Bileşik halinde bulunanlar ise galyum arsenit, indiyum fosfor, bakır indiyum diselenid, kadmiyum tellür, kadmiyum diarsenik, kurşun sülfürdür. Silisyum, fotovoltaik hücrelerde en çok kullanılan yarı iletken malzemedir (Quaschnig, 2005). Silisyumdan sonra en çok kullanılan yarıiletkenler galyum arsenit ve kadmiyum tellürdür. Bu malzemelerin yasak bant enerjileri ise silisyum için 1.1 eV, germanyum 0.7 eV, galyum arsenit 1.4 eV, kadmiyum tellür 1.4 eV, indiyum fosfor 1.2 eV, kadmiyum diarsenik için ise 1.0 eV'tur (Kılıç, 2015).

Fotovoltaik hücrelerin yapısında kullanılan yarıiletken malzemenin türüne göre verimleri de çeşitlilik göstermektedir. Kristal silisyumun verimi tek kristal silisyum blokla üretilen güneş pilleri için laboratuvar şartlarında üretilen güneş pilleri için % 24, ticari modüllerde ise % 15 civarındadır. Dökme silisyum bloklardan elde edilen çok kristalli silisyum güneş pillerinde ise verim laboratuvar şartlarında % 18, ticari modüllerde ise % 14 civarındadır. Galyum arsenit kullanılarak yapılan güneş pillerinde laboratuvar şartlarında % 25 - % 28 verim elde edilmiştir. Çok eklemli galyum arsenit pillerde ise bu verim % 30 civarındadır. Kristal yapı göstermeyen amorf silisyum pillerden elde edilen verim laboratuvar şartlarında % 10, ticari modüllerde ise % 5-7 civarındadır. Bundan dolayı daha çok küçük elektronik uygulamalarda, ışınımı az olan bölgelerin santral projelerinde, bina dış cephelerinden elektrik üretimi projelerinde kullanılmaktadır. Çok kristal yapıda bir malzeme olan kadmiyum tellürün verimi ise laboratuvar şartlarında % 16, ticari modüllerde ise % 7 civarındadır. Bakır indiyum diselenid de çok kristal malzeme yapısına sahiptir ve laboratuvar şartlarında hücre verimi olarak % 17.7, ticari modül olarak ise verimi % 10.2 civarındadır. Optik yoğunlaştırıcı hücreler ile hücre ve ticari modül olarak verim artışı sağlanabilmektedir.

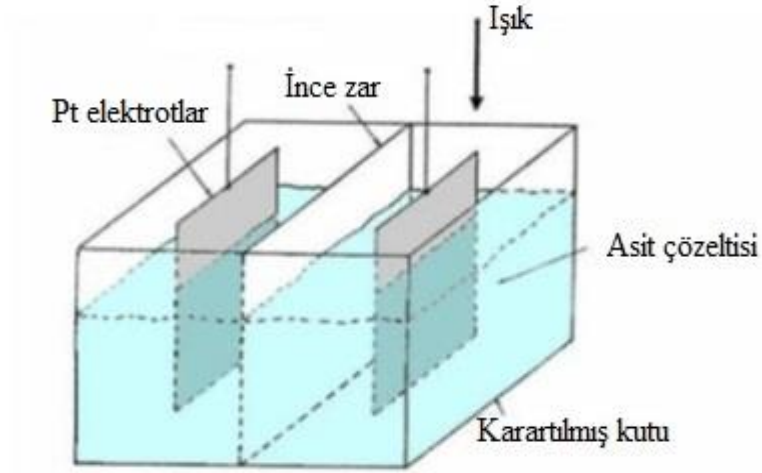
Yoğunlaştırıcılar plastik veya cam malzemeden yapılmakta ve kullanımlarıyla hücresel bazda verim % 30'un üzerine çıkmaktadır. Ticari modüllerde kullanılmasıyla birlikte sağladıkları verim ise % 20'nin üzerindedir (Kılıç, 2015). Çizelge 4.1'de farklı malzemelerle üretilen güneş hücrelerinin performans değerleri ve alan gereksinimleri verilmiştir (Prasad ve Snow, 2005).

Çizelge 4.1. Hücre malzemelerinin performans değerleri ve alan gereksinimleri (Prasad ve Snow, 2005)

Panel Tipi	Performans (%)	Alan (m ² /kWp)
Yüksek Performanslı	17-18	6-7
Mono Kristal Silisyum	12-15	7-9
Poli Kristal Silisyum	11-14	7-10
İnce Film Bakır İnd. Selenoid	9-11	9-11
İnce Film Kadmiyum Tellür	6-8	12-17
İnce Film Amorf Silisyum	5-7	14-20

4.2. Fotovoltaik Etki

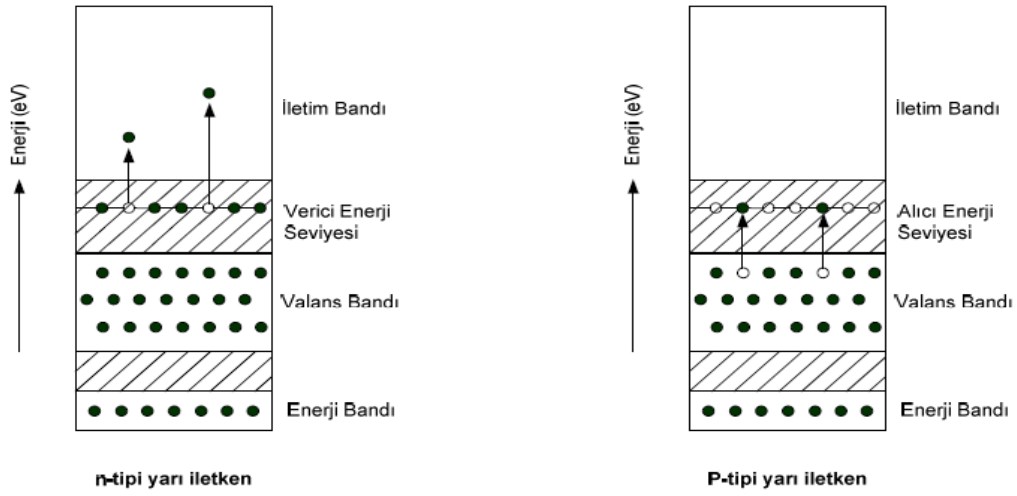
Yarıiletken malzeme içerisinde valans bandındaki bir elektronun, yarıiletken malzemenin yasak bant enerjisiyle eşit ya da enerjisi daha yüksek bir fotonla karşılaşarak iletim bandına geçmesiyle elektron-boşluk çifti oluşmasına fotovoltaik etki adı verilir. Fotovoltaik hücredeki enerji dönüşümü elektron-boşluk çiftinden kaynaklanmaktadır. Fotovoltaik etkiyi ilk olarak Fransız fizikçi Alexandre Edmond Becquerel 1839 yılında çalışmaları sırasında kurduğu Şekil 4.5'de gösterilen deney düzeneği üzerinde keşfetmiştir (Gül, 2008).



Şekil 4.5. Becquerel'in fotovoltajik etkiyi gözlemlediği deney düzeneği (Gül, 2008)

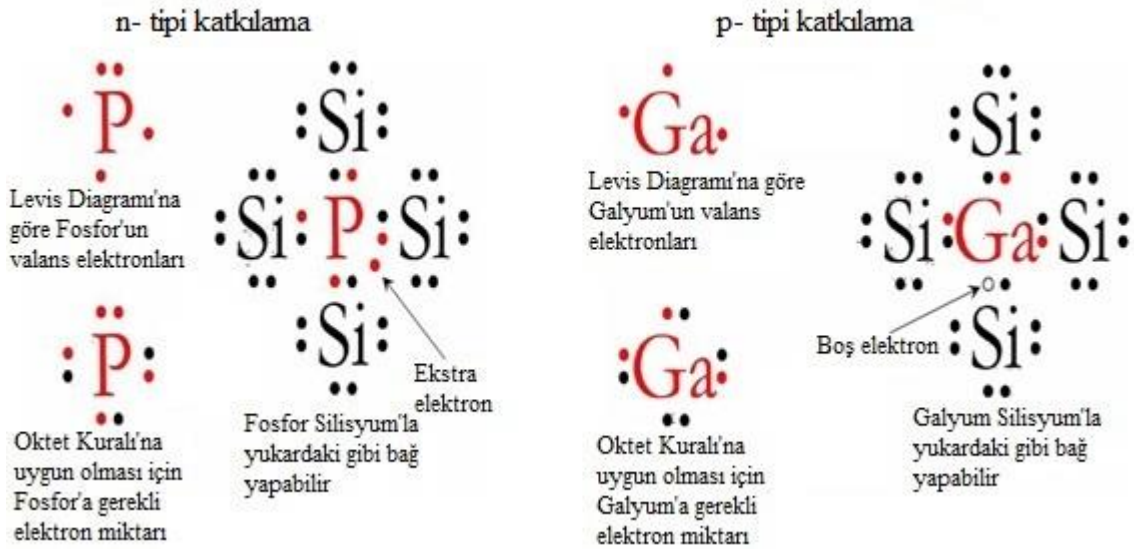
4.3. Fotovoltajik Hücrede Enerji Dönüşümü

Yarıiletken malzemelerin güneş pili olarak kullanılabilmesi için temel şart n- ya da p- tipi olarak katkılama olmasıdır. Saf ya da yarıiletken malzemelerin içerisine istenilen katkı maddelerinin belirli oranlarda eklenmesiyle yapılır. Eklenen katkı maddesine göre elde edilen yarıiletken n- ya da p- tipi olur. Yarı iletken malzemelerin valans bantları ilave elektron katkısı barındırıyorsa bu tip malzemelere n- tipi yarı iletken denir. Örneğin kendi aralarında kovalent bağlarla bağlı silisyum veya germanyum atomlarının yapısına valans elektron sayısı 5 olan arsenik, antimon, bizmut ve fosfor gibi atomların az miktarda eklenmesi ile n- tipi malzeme oluşur. Yarı iletken malzemelerin valans bantlarındaki elektron katkısı azaltılırsa bu tip malzemelere p- tipi yarı iletken denir. Örneğin kendi aralarında kovalent bağlarla bağlı silisyum veya germanyum atomlarının yapısına valans elektron sayısı 3 olan indiyum, boron, alüminyum ve galyum gibi atomların az miktarda eklenmesi ile p- tipi malzeme oluşur. Yarıiletken malzeme olarak çok kristalli silisyum kullanılmaktadır (Kılıç, 2015). Şekil 4.6'da p- ve n- tipi yarıiletken malzemelerin enerji bant diyagramları verilmiştir.



Şekil 4.6. p- ve n- tipi yarıiletken malzemelerin enerji bant diyagramları (Anonim-2, 2016)

p- ve n- tipi yarıiletken malzemeler bir araya getirilmeden önce her iki malzemede elektriksel yük olarak nötrdür ve aralarında bir elektrik akımı oluşmaz. p-n eklemi oluşumu sırasında p- ve n- tipi yarıiletken malzemeler üst üste gelerek sandwich adı verilen bir yerleşim şekli gösterirler (Paul, 2010). Oluşan bu eklemden bir elektrik alanı meydana gelir. Şekil 4.7’de n- tipi ve p- tipi katkılama gösterilmiştir (Barutçu, 2009).



Şekil 4.7. n- tipi ve p- tipi katkılama (Barutçu, 2009)

p-n eklem oluştuğunda, n- tipindeki çoğunluk taşıyıcısı olan elektronlar, p- tipine doğru akım oluştururlar. Bu olay her iki tarafta da yük dengesi oluşana kadar devam eder ve bu sayede elektrik akımı oluşur (Markvart, 2000).

Eklem bölgesinde fotovoltatik dönüşüm sağlanmadan yarıiletken eklem güneş pili olarak çalışmaz. Fotovoltatik dönüşüm iki aşamalıdır. İlk aşamada eklem bölgesine düşürülen ışık sayesinde elektron-tutucu çiftler oluşturulur. İkinci adımda ise oluşturulan bu çiftler bölgedeki elektriksel alan sayesinde birbirlerinden ayrılırlar. Elektron-boşluk çiftlerinin birbirlerinden ayrılmalarıyla birlikte fotovoltatik pilinin uçları kapalı bir devreye bağlanarak oluşan akımlar toplanır.

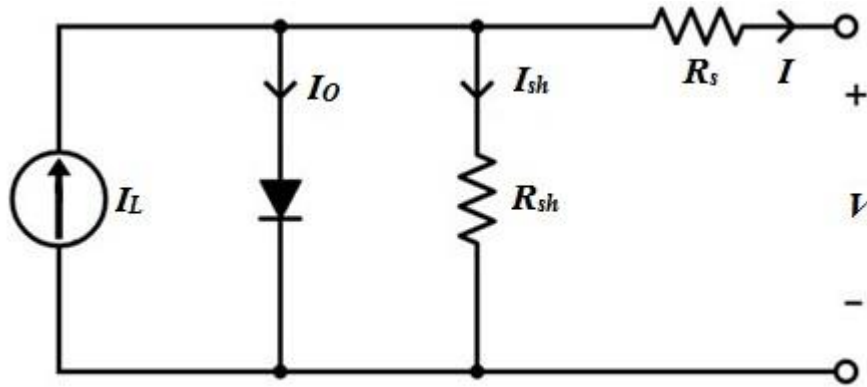


5. MATERYAL ve METOD

Güneş pillerinin kullanımı her geçen gün hız kazandıkça benzetim modelleri ile ilgili çalışmalarda hızla artmaktadır. Güneş pillerinin karakteristikleri klasik doğru akım ve alternatif akım kaynaklarından farklıdır. Buldukları ortam, yüzeylerine düşen ışınım miktarı ve çalışma şartları hızlı bir şekilde panelin çıkışından alınan voltajı etkilemektedir. Çalışma sıcaklığı, ortam sıcaklığı ve güneş ışığı şiddeti sürekli olarak değişim göstermektedir. Fotovoltaik sistemlerin verimli bir şekilde modellenmesi açısından karakteristiklerinin iyi bilinmesi gerekir. Bu kapsamda fotovoltaik hücrelerin modellenmesinde iki temel elektriksel eşdeğer devre kullanılır. Bunlar tek diyot eşdeğer ve çift diyot eşdeğer devre modelleridir.

5.1. Tek Diyot PV Hücre Eşdeğer Devresi

PV sistemler için kullanılan en temel devre PV tek diyot devredir. Şekil 5.1'de Tek diyot PV hücre eşdeğer devresi verilmiştir. Bu devrede ışınımdan dolayı üretilen elektrik akımı bir akım kaynağı olarak, PV hücresi ise yarıiletken bir diyot olarak modellenmiştir. Modellemede aynı zamanda yarıiletkenin iç direncini ve bağlantı noktalarındaki iç direncini temsil eden bir direnç, kaçak akımları temsil eden bir şönt dirençte yer almaktadır.

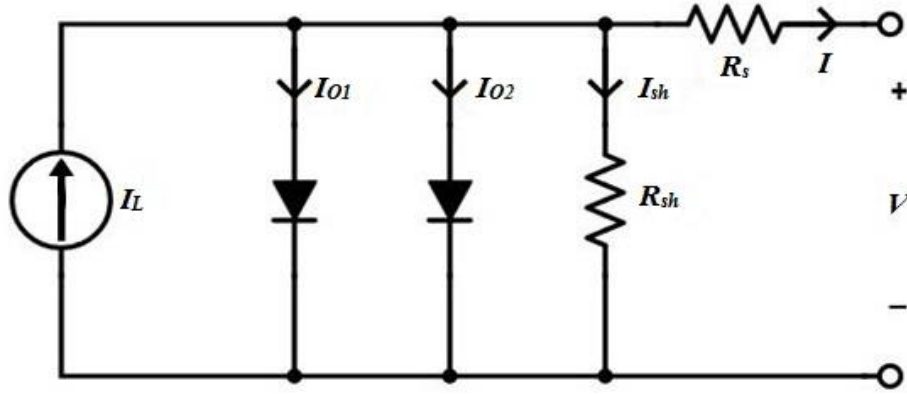


Şekil 5.1. Tek diyot PV eşdeğer devresi (Ramakumar ve ark., 2000)

5.2. Çift Diyot PV Hücre Eşdeğer Devresi

Tek diyotlu model tek üssel model olarak, çift diyotlu model ise çift üssel model olarak adlandırılmaktadır. Tek diyotlu olan model, tek üssel ifade içerdiğinden ve iki diyotlu

modele göre daha basit yapıda olduğundan simülasyon çalışmaları için daha geniş bir kullanıma sahiptir, fakat iki diyotlu olan model daha doğru sonuç vermekte birlikte, çift üssel ifade içerdiğinden sıcaklık ve ışınım ile değişen parametrelerin hesaplanması daha zor olmaktadır (Dzimano, 2008). Şekil 5.2’de Çift diyot PV eşdeğer devresi verilmiştir.



Şekil 5.2. Çift diyot PV eşdeğer devresi (Tamrakar ve ark., 2015)

5.3. Tek Diyot PV Hücre Parametrelerinin Belirlenmesi

Bir güneş pilinin tek diyot modellemesinde hücredeki akım gerilim arasındaki ilişki belirlenirken aşağıdaki denklem kullanılır (Cubas ve ark., 2014).

$$I = I_L - I_0 \left(e^{\frac{(V + R_s I)}{a V_T}} - 1 \right) - \frac{V + I R_s}{R_{sh}} \quad (5.1.)$$

Bu denklemde;

I : Panel akımı (A)

V : Panel gerilimi (V)

I_L : Foton akımı (A)

I_0 : Diyot saturasyon akımı (A)

R_s : Seri direnç (Ω)

R_{sh} : Paralel direnç (Ω)

a : Diyot idealite faktörü

V_T : Termal gerilim eşdeğeri (V)

5.3.1. Foton akımının belirlenmesi (I_L)

Fotonlar tarafından ışıınım yoluyla elde edilen I_L akımı, sıcaklık ve ışıınım değerlerine bağılı bir fonksiyon olarak aşığıdaki denklemler kullanılarak hesaplanabilir (Townsend, 1989).

$$I_L = \frac{I_{scref}}{G_{T_{cref}}} G_{T_c} - \alpha(T_c - T_{cref}) \quad (5.2.)$$

Bu denklemde;

G_{T_c} : Ölçülen güneş ışıınım şiddeti (W/m^2)

$G_{T_{cref}}$: Referans güneş ışıınım şiddeti ($1000 W/m^2$)

I_{scref} : Referans koşulunda kısa devre akımı (A)

T_c : Ölçülen sıcaklık

T_{cref} : Referans sıcaklığı ($25^\circ C$)

α : Akım sıcaklık katsayısı

$$\alpha = \frac{T_{cref}+273}{T_c+273} \alpha_{ref} \quad (5.3.)$$

α_{ref} : Referans güneş ışıınım şiddeti ve sıcaklık değerindeki akım sıcaklık katsayısı ($1000W/m^2$ ve $25^\circ C$)

$$\alpha_{ref} = \frac{2V_{mpref} - V_{ocref}}{\frac{I_{scref}}{I_{scref} - I_{mpref}} + \ln\left(1 - \frac{I_{mpref}}{I_{scref}}\right)} \quad (5.4.)$$

V_{mpref} : Referans güneş ışıınım şiddeti ve sıcaklık değerindeki maksimum panel voltajı (V) ($1000 W/m^2$ ve $25^\circ C$)

V_{ocref} : Referans koşulunda açık devre voltajı (V)

I_{mpref} : Referans koşulunda maksimum panel akımı (A)

5.3.2. Diyot saturasyon (doyum) akımının belirlenmesi (I_0)

Diyot saturasyon (doyum) akımı hesaplanırken hücre sıcaklığında meydana gelen değişimlerin sonuçları göz önünde tutularak aşağıdaki denklemler kullanılır (Bikaneria ve ark., 2013).

$$I_0 = \frac{(R_{sh} + R_s)I_{sc} - V_{oc}}{R_{sh} e^{\left(\frac{V_{oc}}{aV_T}\right)}} \quad (5.5.)$$

$$V_T = \frac{n_s k T}{q} \quad (5.6.)$$

q : Elektrik yükü ($1.60217646 \times 10^{-19}$ C)

n_s : Paneldeki seri hücre sayısı

k: Boltzmann sabiti ($1.3806503 \times 10^{-23}$ J/K)

T: Sıcaklık (K)

5.3.3. Seri direnç (R_s) ve paralel direncin (R_{sh}) belirlenmesi

Seri ve şönt direnç hesaplanırken aşağıdaki eşitlikler kullanılır (Bikaneria ve ark., 2013).

$$R_s = \alpha_{ref} \ln \left[1 - \frac{I_{mpref}}{I_{scref}} \right] + V_{ocref} - V_{mpref} \quad (5.7.)$$

$$R_{sh} = \frac{(V_m - I_m R_s)(V_m - R_s(I_{sc} - I_m) - aV_T)}{(V_m - I_m R_s)(I_{sc} - I_m) - aV_T I_m} \quad (5.8.)$$

Paralel direncin yüksek olması, seri direncin ise çok düşük olmasından dolayı her ikisi de ihmal edilebilir (Bikaneria ve ark., 2013).

5.4. Modellemede Referans Olarak Kullanılan Panelin Karakteristik Özellikleri

Çalışmada kullanım oranı en yüksek PV panel teknolojisi olan Komaes KM (P) 140 seçilmiştir. Komaes 140W PV modülünün elektriksel özellikleri Çizelge 5.1’de gösterilmiştir (Anonim-3, 2017).

Çizelge 5.1. Komaes 140W PV modülünün elektriksel özellikleri (Anonim-3, 2017)

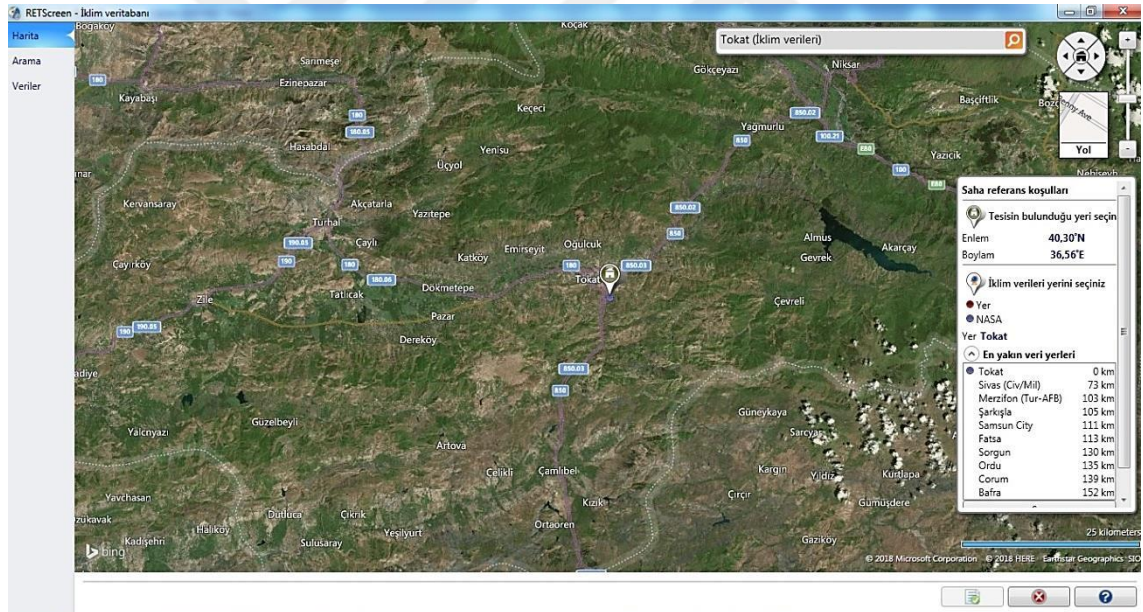
Maksimum Güç	P_{max} (W)	140
Maksimum Güç Voltajı	V_m (V)	18.36
Maksimum Güç Akımı	I_m (A)	7.65
Açık Devre Voltajı	V_{oc} (V)	21.96
Kısa Devre Akımı	I_{sc} (A)	8.17
Modül Hücreleri	Pcs	36(4x9)
Sıcaklık Katsayısı I_{sc}	%/°C	+0.05
Sıcaklık Katsayısı V_{sc}	%/°C	-0.35

5.5. Modelleme Yapılan Bölgenin Işınım ve Sıcaklık Değerleri

PV panellerin doğru modellenebilmesi için çalışma koşullarına ait parametrelerin göz önüne alınması gerekir. Sıcaklık arttığında elektriksel öz direncin düşmesi yarıiletkenleri metallere ayıran önemli bir özelliktir (Alaçakır, 1997). Yapılan çalışma için Tokat ili meteorolojik verilerini RETScreen programı ve Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nden bulmak mümkündür. Işınım ve sıcaklık parametreleri için Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü resmi istatistikleri 1929-2016 yılları arasında yapılan ölçümlerin ortalamasını içermektedir. Ölçüm periyodunun genişliğinden dolayı son yıllardaki iklim değişikliklerinin ortalamaya etkisini görmek zordur. Son yıllardaki iklim değişikliklerinin ışınım ve sıcaklık üzerindeki etkisinin doğru incelenmesi, çalışmanın daha güncel verilere dayanması için ışınım ve sıcaklık verileri RETScreen programından çekilmiştir. RETScreen programı Kanada hükümetinden, endüstriden ve üniversitelerden çeşitli uzmanların oluşturduğu bir kadronun ürünü olup 35 dilden fazla dil desteği mevcuttur ve ücretsizdir. Program mühendisler, mimarlar ve ekonomistler için temiz enerji projelerinin modellenmesinde ve analiz edilmesinde büyük kolaylıklar

sağlamakta ve kullanıcılar için duyarlılık risk analizi, maliyet analizi, finansal analiz ve emisyon analizinin yanı sıra enerji analizi de içermektedir (Keskin, 2012).

RETScreen çalışması Microsoft Excel altyapısına dayanan bir programdır. Kullanıcının isteğine göre basit ya da detaylı analizleri kolaylıkla yapmayı sağlayan programın yenilenebilir enerji projelerinde kullanımı oldukça yaygındır. Program açıldığında kullanıcıyı karşılayan sayfada çalışmaya ait kapak verilerinin girilebileceği bir bölüm bulunmaktadır. Bu bölümün hemen aşağısında ise analiz için kullanılan temel verilerin girilebileceği bir alan bulunmaktadır. Girilmesi gereken veriler seçilen projenin tipine göre farklılık göstermektedir. “Başlatma” sayfasında girilmesi gereken saha referans koşulları girdisi, internet veri tabanı ile entegre olan iklim veri bankası sayesinde program otomatik olarak çalışabilmektedir. Şekil 5.3’de program üzerinde saha referans koşulları seçimi gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Saha referans koşullarının seçimi (RETScreen, 2017)

RETScreen iklim veri bankasında enlem, boylam, rakım değerleri, aylara göre hava sıcaklığı, bağıl nem, güneş radyasyonu, atmosferik basınç, rüzgar hızı, yer sıcaklığı, ısıtma ve soğutma ihtiyaçları değerleri görülebilmektedir (Doğan ve ark., 2012). Şekil 5.4’de Seçilen saha referans koşullarına ait iklim verilerinin görüntülenmesi gösterilmiştir.

RETScreen - İklim veritabanı

Harita Ülkü Türkiye

Arama İl/İyalel Tokat

Haritalara bakınız

NASA

Veriler

Enlem °N 40,3

Boylam °E 36,6

İklim bölgesi SC Serin - Denize ait

Rakım M 1.002

Isıtma tasarım sıcaklığı °C -5,4

Soğutma tasarım sıcaklığı °C 24,2

Yer sıcaklığı amplitüdü °C 20,2

Kaynak NASA

	AçHava sıcaklığı °C	Bağıl nem %	Yağış mm	Günlük güneş radyasyonu - yatay kWh/M ² /g	Atmosferik basınç kPa	Rüzgar hızı M/s	Yer sıcaklığı °C	Isıtma derece-gün 18 °C °C-g	Soğutma derece-gün 10 °C °C-g
Ocak	-0,4	82,9%	80,22	1,85	91,0	4,1	-0,8	570	0
Şubat	0,0	79,2%	73,46	2,60	90,8	4,0	0,0	504	0
Mart	3,9	73,0%	75,12	3,64	90,7	3,3	4,9	437	0
Nisan	9,6	66,4%	70,25	4,52	90,6	3,1	11,5	252	0
Mayıs	13,3	66,2%	65,97	5,62	90,8	2,9	15,6	146	102
Haziran	16,4	65,1%	43,69	6,53	90,7	2,9	19,3	48	192
Temmuz	18,7	66,9%	26,87	6,48	90,7	3,5	21,9	0	270
Ağustos	18,8	67,3%	23,05	5,77	90,8	3,7	21,9	0	273
Eylül	16,0	64,6%	40,81	4,69	91,0	3,4	18,5	60	180
Ekim	11,8	67,8%	66,19	3,19	91,2	3,2	13,0	192	56
Kasım	5,9	76,1%	71,07	2,14	91,1	3,6	5,8	363	0
Yıllık	9,7	71,4%	727,26	4,05	90,9	3,5	11,1	3.090	1.073
Kaynak	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA
Ölçüm yeri:					M	10	0		

Şekil 5.4. Seçilen saha referans koşullarına ait iklim verilerinin görüntülenmesi (RETScreen, 2017)

Çizelge 5.2’de Tokat ili aylık güneş ışıını ve sıcaklık değerleri görölmektedir (RETScreen, 2017). Çizelge 5.2. incelendiğinde Tokat ilinde güneş ışıını şiddetinin en yüksek olarak haziran ayında en düşük olarak ise aralık ayında olduğu, ortalama sıcaklığın ise en yüksek seyrettiği ayın ağustos ve en düşük seyrettiği ayın ocak ayı olduğu görölmektedir.

Çizelge 5.2. Tokat ili aylık güneş ışıını ve sıcaklık değerleri

Ay	Güneş Işını (kWh/m ² /gün)	Sıcaklık (°C)
Ocak	1.85	-0.4
Şubat	2.60	0.0
Mart	3.64	3.9
Nisan	4.52	9.6
Mayıs	5.62	13.3
Haziran	6.53	16.4
Temmuz	6.48	18.7
Ağustos	5.77	18.8
Eylül	4.69	16.0
Ekim	3.19	11.8
Kasım	2.14	5.9
Aralık	1.54	1.3
Yıllık ortalama değer	4.05	9.7

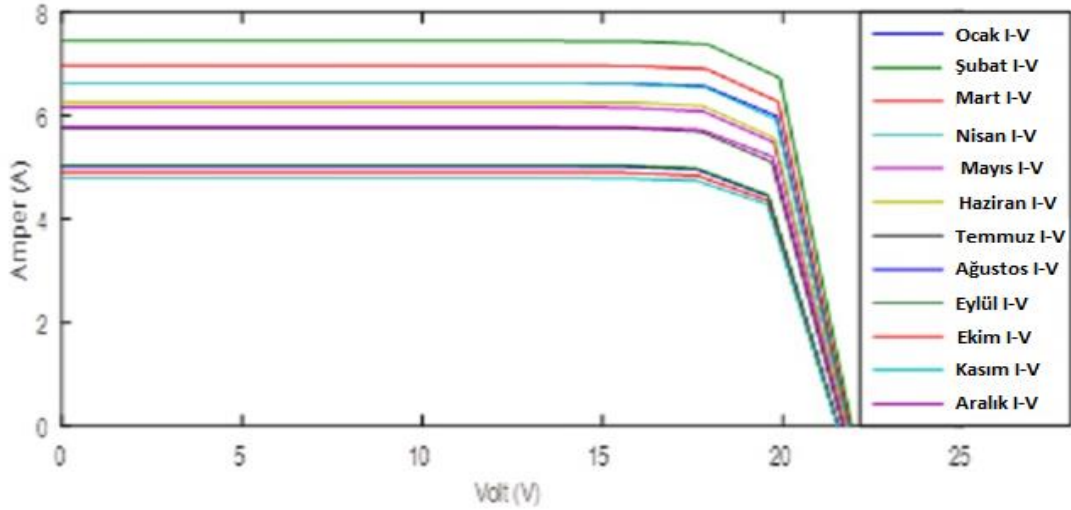
5.6. PV Modülün Aylara Göre Akım - Gerilim Karakteristiklerinin Elde Edilmesi

Tek diyot modelinde sabitler (Elektron yükü ve Boltzman sabiti), konum değişkenleri (Işını ve sıcaklık) veri sayfasından alınan bilgilere göre PV panelin elektrik ve termal değerlerini tanımlama, seri ve paralel direnç bulma, doğrusal olmayan I-V denklemlerinin MATLAB programında çözümlenmesi ile I-V karakteristik eğrileri sırasıyla aylara göre elde edilmiştir. I-V karakteristiklerinin belirlenmesinde kullanılan ve Bölüm 5.2’de verilen denklemler MATLAB yazılımı kullanılarak aylara göre ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda sabit olarak alınan elektrik yükü ve Boltzman sabiti dışındaki parametreler sırasıyla I_L , R_s , R_{sh} değerleri tablo halinde Çizelge 5.3’de sunulmuştur.

Çizelge 5.3. Panelin aylara göre hesaplanan parametre değerleri

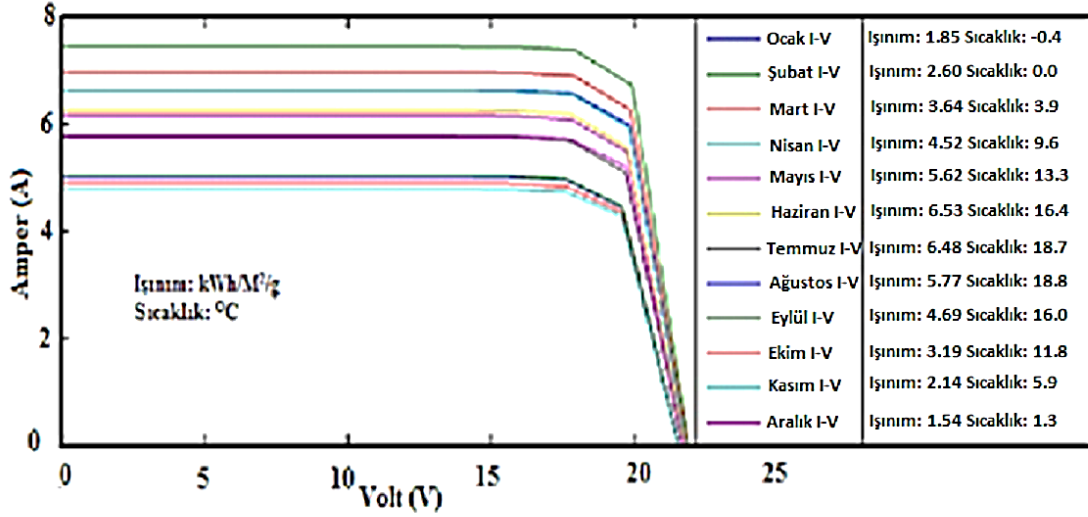
Aylar	I_L (A)	R_s (Ω)	R_{sh} (Ω)
Ocak	6.6223	0.1700	125.1051
Şubat	7.4370	0.1750	126.3658
Mart	6.9630	0.2232	140.4064
Nisan	6.6182	0.2913	168.9292
Mayıs	6.1536	0.3341	195.7300
Haziran	6.2562	0.3691	226.6874
Temmuz	5.7605	0.3945	257.5630
Ağustos	5.0242	0.3956	259.1120
Eylül	5.0382	0.3646	222.1060
Ekim	4.8978	0.3169	183.8043
Kasım	4.7889	0.2474	149.1086
Aralık	5.7755	0.1912	130.6755

Belirlenen bu parametrelerin ışığında her bir aya ait elde edilen panel akım-gerilim karakteristiği Şekil 5.5’de gösterilmiştir.



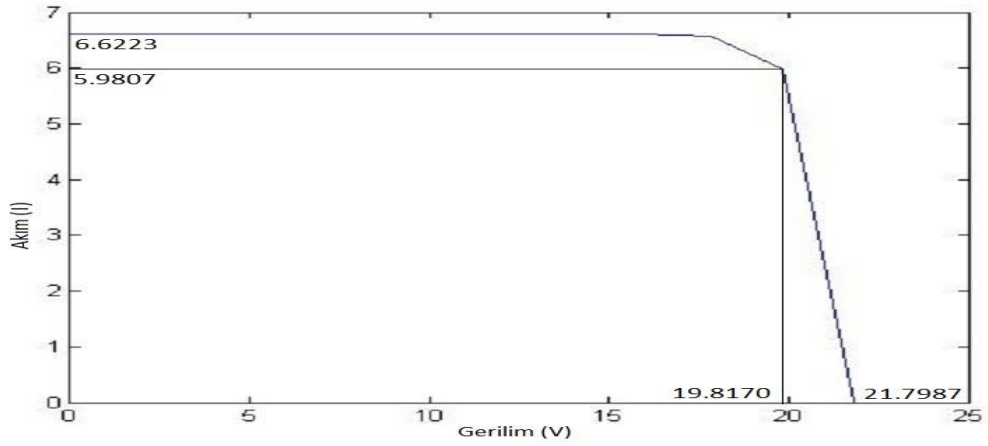
Şekil 5.5. Panelin aylara göre hesaplanan I-V karakteristik eğrileri

Literatür incelendiğinde artan güneş ışınımına bağlı olarak panelden elde edilecek akım ve gerilim değerinin yükselmesi beklenirken sıcaklıkla bu ters orantılı olarak değişmektedir. Şekil 5.6. incelendiğinde sıcaklık etkisinin daha baskın olduğu görülmektedir.



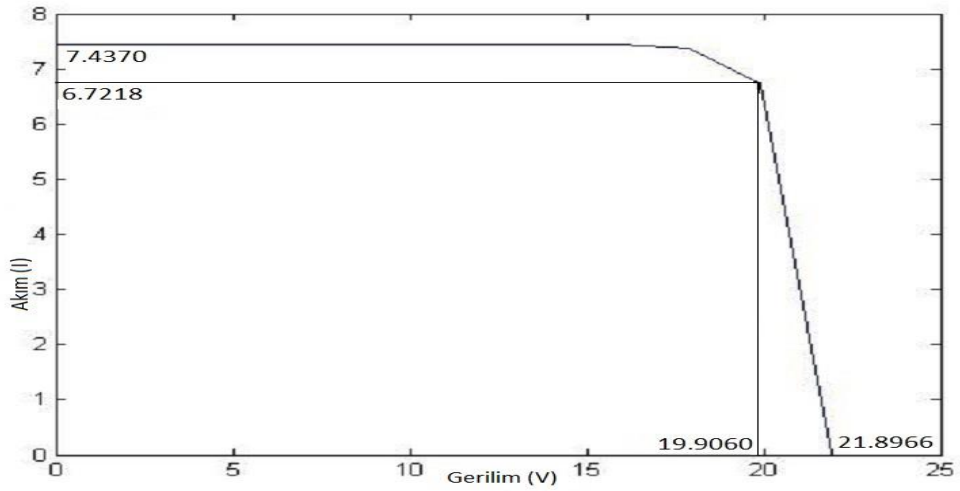
Şekil 5.6. Aylık ortalama ışınım ve sıcaklık parametrelerinin panelin ürettiği akım-gerilime olan etkisi

Panelin aylara göre I-V grafiği kullanılarak grafik optimizasyon tekniği yöntemi ile maksimum ve minimum değerleri belirlenip her bir aya ait maksimum güç değerleri hesaplanmıştır. Ocak ayı I-V karakteristiğinde yapılan grafik optimizasyonunda panele ait maksimum güç koşulunu sağlayan optimum çalışma akımının 5.9807 A, optimum çalışma geriliminin ise 19.8170 V olduğu Şekil 5.7’de görülmektedir.



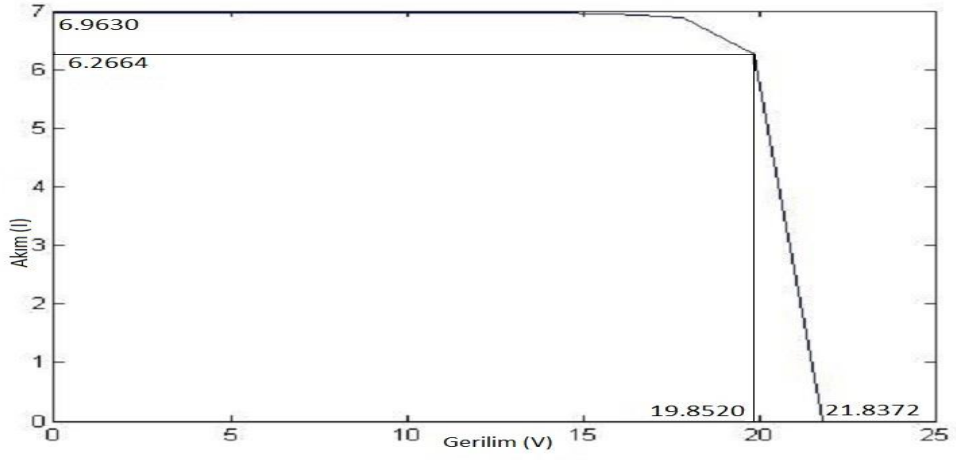
Şekil 5.7. Ocak ayına ait grafik optimizasyonu

Şubat ayı I-V karakteristiğinde yapılan grafik optimizasyonunda panele ait maksimum güç koşulunu sağlayan optimum çalışma akımının 6.7218 A, optimum çalışma geriliminin ise 19.9060 V olduğu Şekil 5.8’de görülmektedir



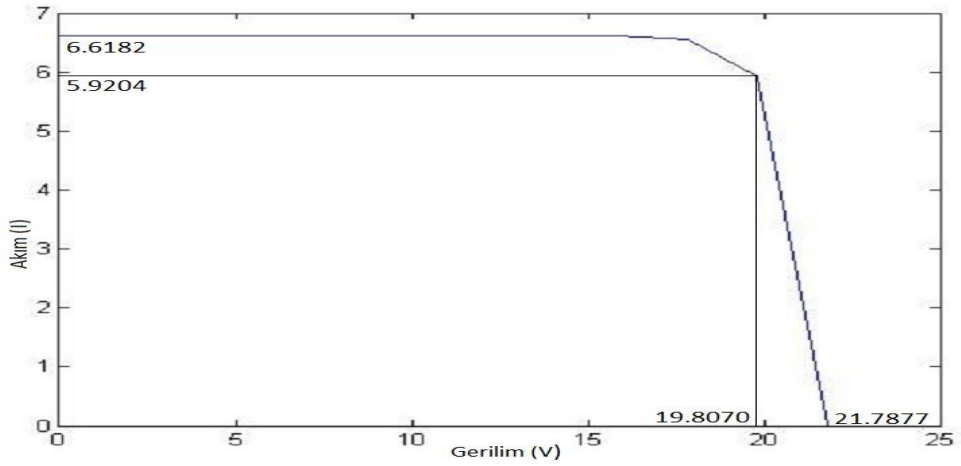
Şekil 5.8. Şubat ayına ait grafik optimizasyonu

Mart ayı I-V karakteristiğinde yapılan grafik optimizasyonunda panele ait maksimum güç koşulunu sağlayan optimum çalışma akımının 6.2664 A, optimum çalışma geriliminin ise 19.8520 V olduğu Şekil 5.9’da görülmektedir.



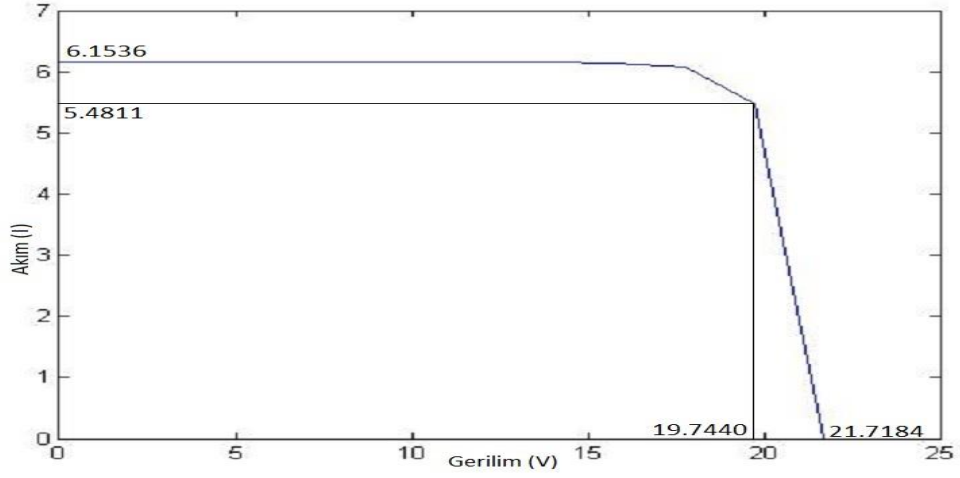
Şekil 5.9. Mart ayına ait grafik optimizasyonu

Nisan ayı I-V karakteristiğinde yapılan grafik optimizasyonunda panele ait maksimum güç koşulunu sağlayan optimum çalışma akımının 5.9204 A, optimum çalışma geriliminin ise 19.8070 V olduğu Şekil 5.10'da görülmektedir.



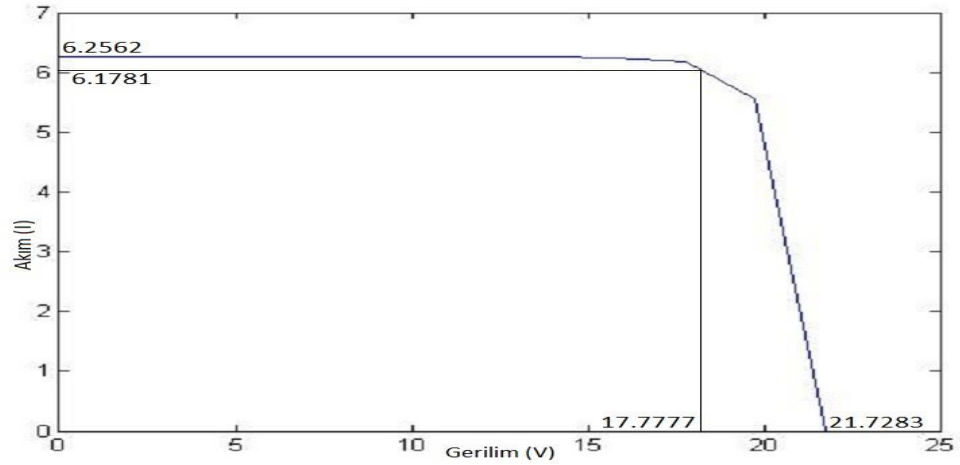
Şekil 5.10. Nisan ayına ait grafik optimizasyonu

Mayıs ayı I-V karakteristiğinde yapılan grafik optimizasyonunda panele ait maksimum güç koşulunu sağlayan optimum çalışma akımının 5.4811 A, optimum çalışma geriliminin ise 19.7440 V olduğu Şekil 5.11'de görülmektedir.



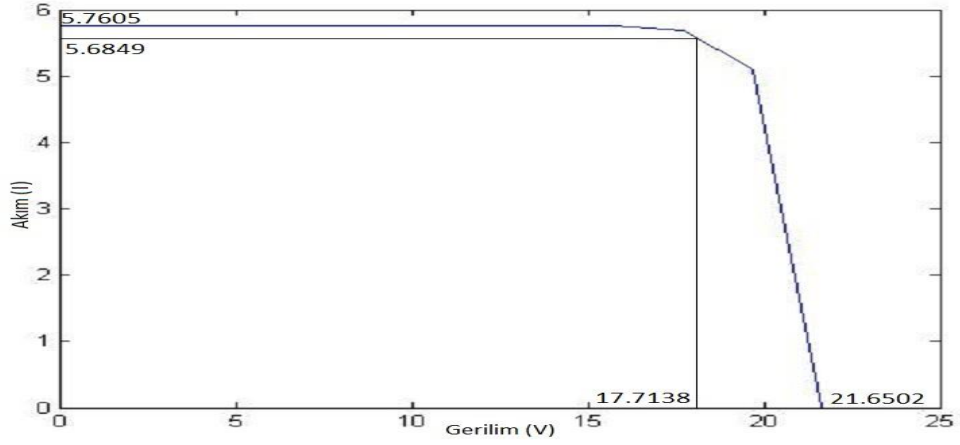
Şekil 5.11. Mayıs ayına ait grafik optimizasyonu

Haziran ayı I-V karakteristiğinde yapılan grafik optimizasyonunda panele ait maksimum güç koşulunu sağlayan optimum çalışma akımının 6.1781 A, optimum çalışma geriliminin ise 17.7777 V olduğu Şekil 5.12’de görülmektedir.



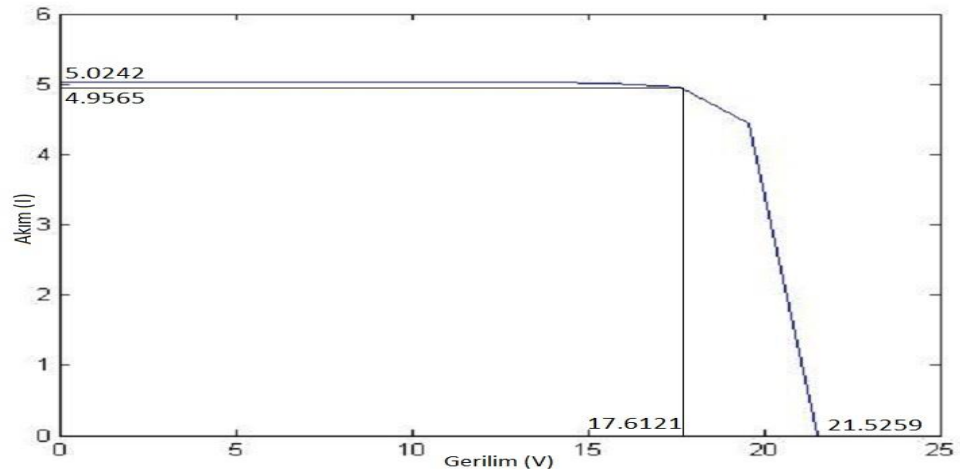
Şekil 5.12. Haziran ayına ait grafik optimizasyonu

Temmuz ayı I-V karakteristiğinde yapılan grafik optimizasyonunda panele ait maksimum güç koşulunu sağlayan optimum çalışma akımının 5.6849 A, optimum çalışma geriliminin ise 17.7138 V olduğu Şekil 5.13’de görülmektedir.



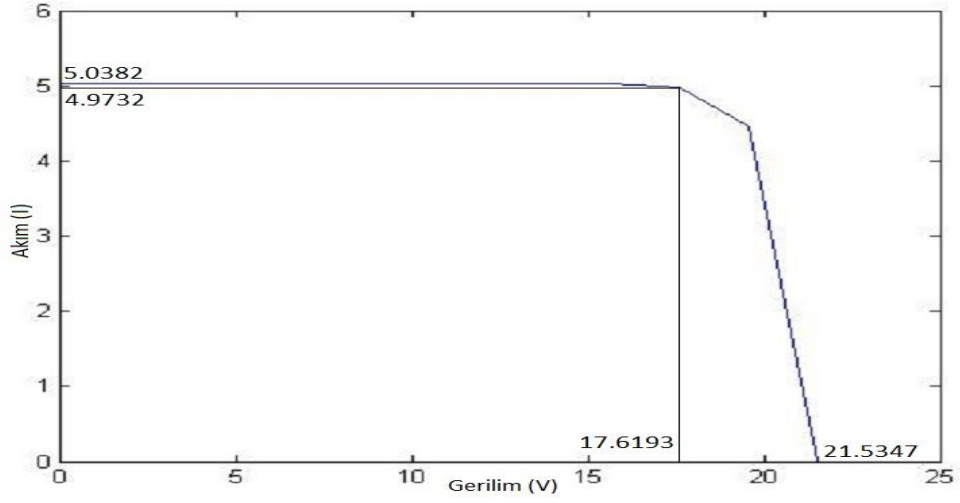
Şekil 5.13. Temmuz ayına ait grafik optimizasyonu

Ağustos ayı I-V karakteristiğinde yapılan grafik optimizasyonunda panele ait maksimum güç koşulunu sağlayan optimum çalışma akımının 4.9565 A, optimum çalışma geriliminin ise 17.6121 V olduğu Şekil 5.14’de görülmektedir.



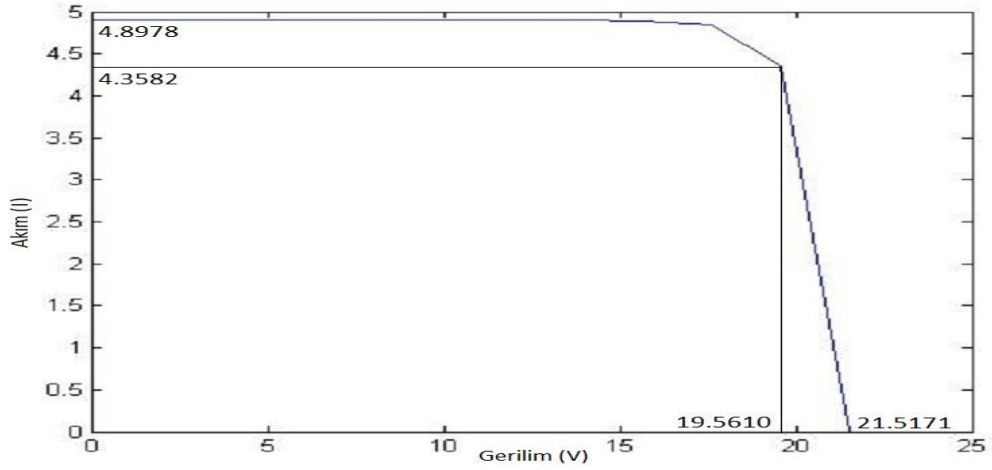
Şekil 5.14. Ağustos ayına ait grafik optimizasyonu

Eylül ayı I-V karakteristiğinde yapılan grafik optimizasyonunda panele ait maksimum güç koşulunu sağlayan optimum çalışma akımının 4.9732 A, optimum çalışma geriliminin ise 17.6193 V olduğu Şekil 5.15’de görülmektedir.



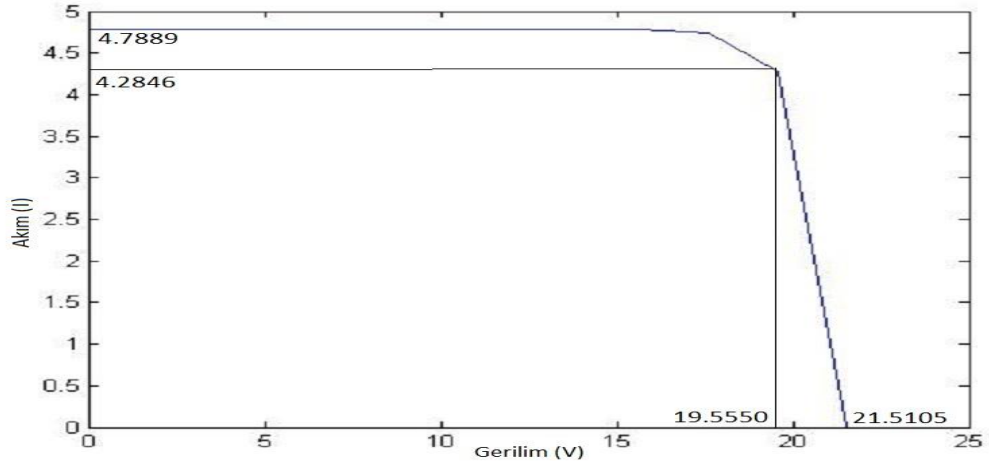
Şekil 5.15. Eylül ayına ait grafik optimizasyonu

Ekim ayı I-V karakteristiğinde yapılan grafik optimizasyonunda panele ait maksimum güç koşulunu sağlayan optimum çalışma akımının 4.3582 A, optimum çalışma geriliminin ise 19.5610 V olduğu Şekil 5.16'da görülmektedir.



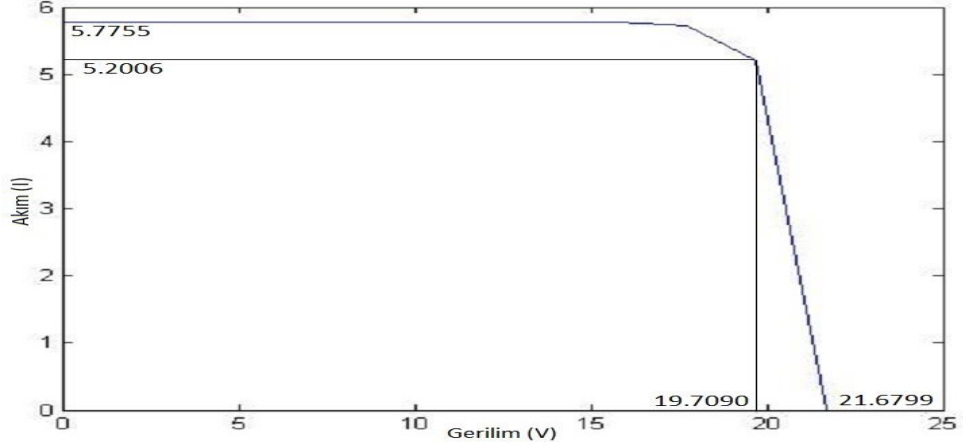
Şekil 5.16. Ekim ayına ait grafik optimizasyonu

Kasım ayı I-V karakteristiğinde yapılan grafik optimizasyonunda panele ait maksimum güç koşulunu sağlayan optimum çalışma akımının 4.2846 A, optimum çalışma geriliminin ise 19.5550 V olduğu Şekil 5.17'de görülmektedir.



Şekil 5.17. Kasım ayına ait grafik optimizasyonu

Aralık ayı I-V karakteristiğinde yapılan grafik optimizasyonunda panele ait maksimum güç koşulunu sağlayan optimum çalışma akımının 5.2006 A, optimum çalışma geriliminin ise 19.7090 V olduğu Şekil 5.18’de görülmektedir.



Şekil 5.18. Aralık ayına ait grafik optimizasyonu

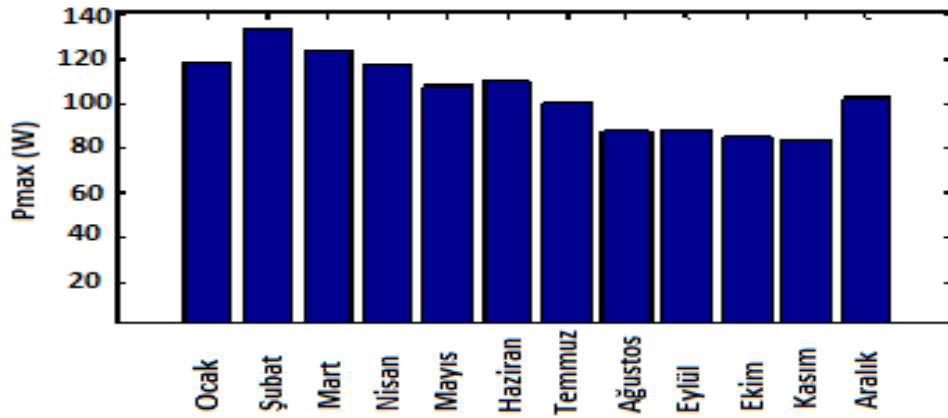
Panelin aylara göre ürettiği optimum akım ve optimum gerilim ve maksimum güç (P_{max}) değerleri Çizelge 5.4’de gösterilmektedir. Çizelge 5.4. incelendiğinde panelin aylara göre ürettiği I-V karakteristiğinde optimum çalışmadaki akım, gerilim ve bunlara bağlı maksimum güç değerlerinin en yüksek olduğu ayın şubat, en düşük olduğu ayın ise kasım ayı olduğu görülmektedir. Sıcaklık ortalamalarının daha yüksek olduğu yaz aylarında sıcaklık ortalamasının düşük olduğu aylara göre optimum akım, gerilimin ve

bunlara bağılı elde edilen maksimum gücün daha düşük seyrettiğı görölmektedir. Bu durum sıcaklık parametresinin panel çalışmasına etkisinin daha baskın olduğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 5.4. Panelin aylara göre ürettiğı optimum akım (I_{opt}), optimum gerilim (V_{opt}) ve maksimum güç (P_{max}) değerleri

Aylar	I_{opt} (A)	V_{opt} (V)	P_{max} (W)
Ocak	5.9807	19.8170	118.5195
Şubat	6.7218	19.9060	133.8041
Mart	6.2664	19.8520	124.4005
Nisan	5.9204	19.8070	117.2653
Mayıs	5.4811	19.7440	108.2188
Haziran	6.1781	17.7777	109.8324
Temmuz	5.6849	17.7138	100.7011
Ağustos	4.9565	17.6121	87.2943
Eylül	4.9732	17.6193	87.6243
Ekim	4.3582	19.5610	85.2507
Kasım	4.2846	19.5550	83.7853
Aralık	5.2006	19.7090	102.4986

Panelin aylık optimum çalışma akım ve gerilimine göre hesaplanan maksimum güç değerleri grafiksel olarak Şekil 5.19’da gösterilmiştir.



Şekil 5.19. Panelin aylara göre hesaplanan maksimum güç değerleri

Panelin aylara göre ürettiği maksimum akım (I_{max}), maksimum gerilim (V_{max}) değerleri MATLAB programında hesaplanarak Çizelge 5.5’de gösterilmiştir. Çizelge 5.5. incelendiğinde panelden elde edilen maksimum akım ve gerilim değerlerinin optimum çalışma verimliliği sağlanan ay olan şubat ayında olduğu görülmektedir. Maksimum akım ve gerilim en düşük seyrettiği ayın ise optimum akım ve gerilimin en düşük seyrettiği kasım ayı olduğu görülmektedir. Panel çıkışından elde edilen maksimum akım-gerilim değerleri ortalama sıcaklığın düşük olduğu kış aylarında yüksek seyrederken sıcaklığın arttığı yaz aylarında daha düşük değerler göstermektedir. Bu durum bize panel çalışmasında sıcaklığın olumsuz etkisini göstermektedir.

Çizelge 5.5. Panelin aylara göre hesaplanan maksimum akım (I_{max}), maksimum gerilim (V_{max}) değerleri

Aylar	I_{max} (A)	V_{max} (V)
Ocak	6.6223	21.7987
Şubat	7.4370	21.8966
Mart	6.9630	21.8372
Nisan	6.6182	21.7877
Mayıs	6.1536	21.7184
Haziran	6.2562	21.7283
Temmuz	5.7605	21.6502
Ağustos	5.0242	21.5259
Eylül	5.0382	21.5347
Ekim	4.8978	21.5171
Kasım	4.7889	21.5105
Aralık	5.7755	21.6799

Her bir aya ait ortalama güneşlenme süresi ve optimum çalışmadaki güç değerleri kullanılarak panelin ürettiği aylık ortalama enerji miktarı hesaplanmıştır. Güneşlenme sürelerine ait veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden alınmış olup Çizelge 5.6’da gösterilmiştir. Çizelge 5.6. incelendiğinde Tokat ili için en uzun güneşlenme süresinin ağustos, en kısa güneşlenme süresinin ise aralık ayında olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.6. Tokat ili aylık ortalama güneşlenme süreleri (MGM, 2017)

Aylar	Ortalama Güneşlenme Süresi (Saat)
Ocak	75
Şubat	95.2
Mart	135
Nisan	183
Mayıs	216
Haziran	246
Temmuz	255
Ağustos	276
Eylül	249
Ekim	165
Kasım	123
Aralık	71.3
Yıllık	174.125

Panelin aylık ortalama güneşlenme sürelerine göre ürettiği maksimum enerji değerleri Çizelge 5.7’de gösterilmiştir. Çizelge 5.7. incelendiğinde panelin aylık optimum akım ve gerilimde çalışmasına bağlı olarak elde edilen maksimum güç değerlerinin aylık güneşlenme sürelerine entegrasyonu ile hesaplanan maksimum enerji değerleri görülmektedir. Üretilen enerji miktarı bakımından en yüksek ayın haziran ayı olduğu, en düşük ayın ise aralık ayı olduğu görülmektedir. Maksimum gücün değerinin en yüksek olduğu ay olan şubat ayında üretilen enerji miktarının en yüksek olması beklenirken güneşlenme süresinin kısalığından dolayı bu durum farklılık göstermektedir. Panel çıkışından elde edilen gücün yüksek olduğu kış ayları aylık toplam güneşlenme sürelerinin kısalığından dolayı üretilen enerji miktarı bakımından panelin daha az güç ürettiği yaz aylarının gerisinde kalmaktadır.

Çizelge 5.7. Panelin aylara göre üretmiş olduğu maksimum enerji (E_{max}) değerleri

Aylar	E_{max} (kWh)
Ocak	8.88896
Şubat	12.73815
Mart	16.79406
Nisan	21.45954
Mayıs	23.37526
Haziran	27.01877
Temmuz	25.67878
Ağustos	24.09322
Eylül	21.81845
Ekim	14.06636
Kasım	10.30559
Aralık	7.30815

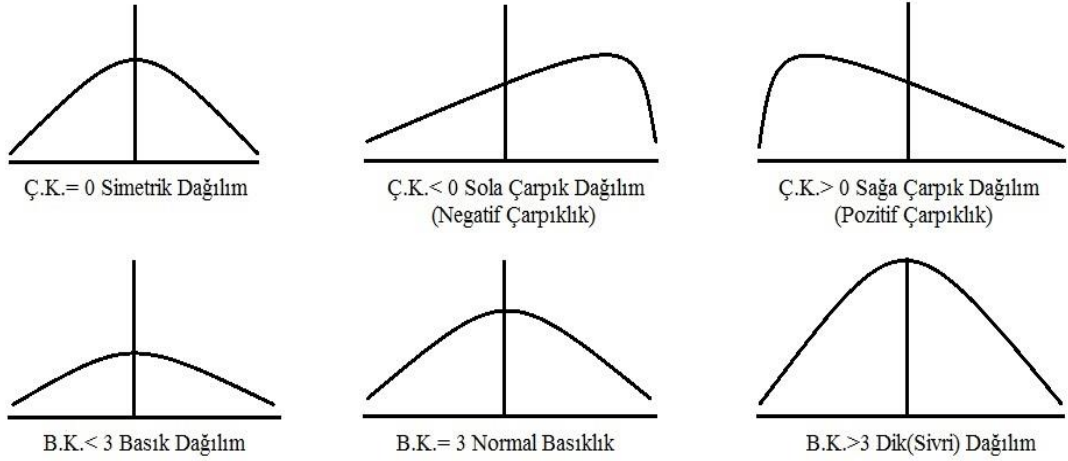
5.7. Hücre Parametrelerinin İstatistiksel Analizi

Bu bölümde hücre parametrelerinin istatistiksel analizleri yapılmıştır. Elde edilen değerler ortalama, basıklık, çarpıklık ve varyans gibi istatistiksel analiz ölçütleri ile değerlendirmeye tutulmuştur.

- **Ortalama:** Bir grup verinin ortalaması verilerin toplamının verilerin sayısına oranlanmasıyla elde edilir.
- **Basıklık:** Verilerin normal bir dağılım gösterip göstermediğinin ölçüsüdür. Basıklık katsayısı 3 ise dağılımın basıklığı normal ile aynıdır. Basıklık katsayısı 3'ten büyükse dağılım normal dağılımdan daha diktir. Basıklık katsayısı 3'ten küçük ise dağılım normal dağılımdan daha basıktır.
- **Çarpıklık:** Veri dağılımının normalden uzaklaşarak sağa veya sola doğru meyil eden bir yamuk şeklini almasını ifade eden kavramdır. Normal bir dağılımda çarpıklık katsayısı sıfırdır. Çarpıklık katsayısı sıfıra eşitse dağılım simetriktir. Negatif ise dağılım sola çarpık, pozitif ise sağa çarpıktır.

- **Varyans:** Dağılımdaki tüm verilerin aritmetik ortalama ile olan farklarının veri sayısına bölümü ile elde edilir. Bir seri için varyans hesaplamak o serideki sayıların, sayıların ortalamasına olan uzaklıklarını bulmayı sağlar.

Şekil 5.20’de Basıklık ve çarpıklığın grafiksel gösterimi verilmiştir. Şekil 5.20. incelendiğinde çarpıklığın yönünün ve büyüklüğünün sırası ile çarpıklık katsayısının işaretini ve değerini belirlediği görülmektedir. Aynı zamanda çarpıklık katsayısı, serideki frekans dağılımının simetrik dağılıma olan uzaklığının ölçüsünü göstermektedir. Basıklık katsayısının değeri, verilerin normal dağılıma kıyasla ortalama civarında gösterdiği yoğunluğun ölçüsüdür. Basıklık katsayısının büyüklüğü ortalama civarında dağılım gösteren veri yoğunluğunun fazlalığını göstermektedir. Basıklık katsayısının küçüklüğü ise ortalama civarında dağılım gösteren veri yoğunluğunun azlığını belirtmektedir.



Şekil 5.20. Basıklık ve çarpıklığın grafiksel gösterimi

Hesaplanan panel verilerinin aylık değerlerine göre yapılan istatistiksel analizleri Çizelge 5.8’de gösterilmiştir. Çizelge 5.8. incelendiğinde verilerin tamamının basıklık katsayılarının 3’den küçük olduğu görülmektedir. Bu durumda veri dağılımları normal dağılımdan daha basık karakter sergilemektedir. Aynı veriler çarpıklık katsayısı bakımından incelendiğinde I_L , I_O ve R_{sh} ’ in çarpıklığının pozitif olduğu yani veri dağılımlarının sağa çarpık olduğu görülmektedir. R_s ise çarpıklık katsayısı olarak negatif olduğundan dolayı veri dağılımı sola çarpıktır.

Çizelge 5.8. Panel verilerinin istatistiksel analizleri

	I_L (A)	I_O (A)	R_s (Ω)	R_{sh} (Ω)
Ortalama	5.9446	1.3863×10^{-10}	0.2895	182.1328
Basıklık	1.8092	1.6281	1.5221	1.6865
Çarpıklık	0.1136	0.2939	-0.1696	0.3315
Varyans	0.770884	$1.798270964 \times 10^{-8}$	7.29316×10^{-3}	9.77151

I_{max} , V_{max} , P_{max} ve E_{max} verilerinin aylık değerlerine göre yapılan istatistiksel analizleri Çizelge 5.9’da gösterilmiştir. Çizelge 5.9. incelendiğinde verilerin tamamının basıklık katsayısına göre 3’den küçük olduğu görülmektedir. Bu durumda veri dağılımları normal dağılımdan daha basık karakter sergilemektedir. Aynı veriler çarpıklık katsayılarına göre incelendiğinde I_{max} ve P_{max} ’ın çarpıklık katsayılarının pozitif olduğu yani veri dağılımlarının sağa çarpık olduğu görülmektedir. V_{max} ve E_{max} ’ın ise çarpıklık katsayılarının negatif olduğu yani veri dağılımlarının sola çarpık olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.9. I_{max} , V_{max} , P_{max} ve E_{max} verilerinin istatistiksel analizleri

	I_{max} (A)	V_{max} (V)	P_{max} (W)	E_{max} (kWh)
Ortalama	5.9446	21.6821	104.9329	17.7954
Basıklık	1.8092	1.6713	1.8451	1.5969
Çarpıklık	0.1136	-0.0031	0.1670	-0.2159
Varyans	0.77105961	0.01836025	277.562264	48.50136368

Meteorolojik verilerin aylık değerlerine göre yapılan istatistiksel analizleri Çizelge 5.10’da gösterilmiştir. Çizelge 5.10. incelendiğinde verilerin tamamının basıklık katsayısına göre 3’den küçük olduğu görülmektedir. Bu durumda veri dağılımları normal dağılımdan daha basık karakter sergilemektedir. Aynı veriler çarpıklık katsayılarına göre incelendiğinde ışınım parametresinin çarpıklık katsayısının pozitif olduğu yani veri dağılımlarının sağa çarpık olduğu görülmektedir. Güneşlenme süresi ve sıcaklık parametreleri ise çarpıklık katsayısı bakımından negatiftir yani sola çarpık veri dağılımı sergilemektedirler.

Çizelge 5.10. Meteorolojik verilerin istatistiksel analizleri

	Işınım (kWh/m ² /gün)	Güneşlenme Süresi (Aylık Saat)	Sıcaklık (°C)
Ortalama	4.0475	174.1250	9.6083
Basıklık	1.5746	1.5405	1.5156
Çarpıklık	0.0324	-0.0690	-0.1330
Varyans	3.2643	17.92064896	52.76424321

5.8. Kümeleme Tekniklerinde Kullanılan Uzaklık Fonksiyonları

Referans alınan panelin maksimum gücü 140 W'tır. Aylara göre hesaplanan maksimum güç değerleri ile referans güç arasındaki uzaklıklar veri madenciliğinde yer alan kümeleme yöntemlerindeki uzaklık fonksiyonlarıyla gerçekleştirilmiştir. Bu fonksiyonlar Öklid, Manhattan, Minkowski uzaklığıdır.

5.8.1. Öklid uzaklığı

Matematikte öklid uzaklığı ya da öklid metriği adı verilen uzaklık boşluktaki iki noktanın birleştirilmesiyle aralarında oluşan doğru parçasının uzunluğunun ölçüsüdür. Kartezyen koordinatlarda $A = (A_1, A_2, \dots, A_n)$ ve $B = (B_1, B_2, \dots, B_n)$ Öklid n uzayında iki nokta varsa uzaklık(d), A noktasından B veya B'den A'ya Pisagor formülüyle verilir (Emeksiz ve ark., 2017).

$$d(A, B) = \sqrt{(A_1 - B_1)^2 + (A_2 - B_2)^2 + \dots + (A_n - B_n)^2} \quad (5.9.)$$

Bu denklem şu şekilde gösterilebilir:

$$d(A, B) = \sqrt{\sum_{i=1}^p (A_i - B_i)^2} \quad (5.10.)$$

5.8.2. Manhattan uzaklığı

Manhattan uzaklık metriği genellikle kentsel bölgelerde tanımlanan belirli noktalar arasındaki seyahat giderlerinin hesaplanmasında kullanılan ortogonal uzaklık algoritmasıdır. Boşlukta belirlenen iki nokta arasındaki uzaklığın ölçümü noktaların

kartezyen koordinatlarının mutlak farklarının toplamı alınarak yapılır (Emeksiz ve ark., 2017).

Manhattan uzaklığı formülü şu şekilde gösterilebilir:

$$d(i, j) = |X_{i1} - X_{j1}| + |X_{i2} - X_{j2}| + \dots \quad (5.11.)$$

5.8.3. Minkowski uzaklığı

Minkowski uzaklığı Öklid ve Manhattan uzaklıklarının genelleştirilmesi olarak kabul edilebilen normalleştirilmiş vektör uzayındaki bir metriktir (Emeksiz ve ark., 2017).

Minkowski uzaklığı şu şekilde tanımlanır:

$$d(i, j) = [|X_{i1} - X_{j1}|^m + |X_{i2} - X_{j2}|^m + \dots + |X_{im} - X_{jm}|^m]^{1/m} \quad (5.12.)$$

Yukarıda belirtilen uzaklık metotlarına göre panelin teorik şartlardaki maksimum gücü (P_{\max}) referans alınarak (140W) hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar referans güç değeri ile panelin çalışması durumunda ürettiği aylık maksimum güç değerleri arasındaki uzaklıkların bulunmasına yöneliktir. Hesaplamalar doğrultusunda elde edilen değerler Çizelge 5.11'de gösterilmiştir. Çizelge 5.11. incelendiğinde Öklid uzaklığı bakımından en düşük uzaklıktaki ayın panel çalışmasında en yüksek verimliliğe sahip olan şubat ayı olduğu görülmektedir. Panel çalışmasında en düşük verimi gösteren kasım ayının ise Öklid uzaklığında en yüksek uzaklık gösteren ay olduğu görülmektedir. Manhattan ve Minkowski uzaklığı bakımından da şubat ayı en düşük uzaklığı, kasım ayı ise en yüksek uzaklığı göstermektedir. Üç uzaklık metodunun da en yüksek verimli ay olan şubat ayında en düşük uzaklığı, en düşük verimli kasım ayında ise en yüksek uzaklığı göstermesi çalışmanın doğruluğunu kanıtlar niteliktedir.

Çizelge 5.11. Hesaplanan aylık güç değerlerinin veri madenciliğine göre referans güce olan uzaklıkları

Aylar	Öklid Uzaklığı	Manhattan Uzaklığı	Minskowski Uzaklığı
Ocak	445.895	651.766	199.311
Şubat	361.105	533.913	160.663
Mart	391.222	573.564	174.029
Nisan	401.174	582.325	178.576
Mayıs	432.161	622.071	192.617
Haziran	408.133	585.651	181.766
Temmuz	448.138	639.078	199.892
Ağustos	538.385	759.781	242.965
Eylül	526.058	741.888	236.821
Ekim	575.231	809.249	261.269
Kasım	618.088	866.046	282.895
Aralık	530.120	759.333	239.895

5.9. I_{max} , V_{max} , P_{max} ve E_{max} Değerlerinin Dağılım Fonksiyonlarının İncelenmesi

Akım, gerilim, güç ve enerjinin maksimum değerlerinin dağılım fonksiyonları MATLAB yazılımı kullanılarak belirlenmiştir. Bu dağılımın belirlenmesinde beş temel olasılık yoğunluk fonksiyonu esas alınmıştır. Bu fonksiyonlar arasındaki değerlendirmelerde varyans ve ortalama değer parametreleri kriter olarak seçilmiştir.

5.9.1. Normal dağılımı

İki temel parametreye sahip olan Normal dağılımı literatürde Gauss dağılımı adıyla bilinmektedir. Normal dağılımının iki temel parametresinden birisi rastgele değişkenin ortalaması, diğer temel parametresi ise rastgele değişkenin standart sapmasıdır (Ülke ve Baran, 2005).

5.9.2. Weibull dağılımı

Weibull dağılımı literatürde sıklıkla kullanılan dağılımlardandır. Dağılımın

parametreleri bulunurken en küçük kareler yöntemi, moment ve maksimum likelihood yöntemlerinin yanısıra bu yöntemlere yapılan uyarlamalarda kullanılmaktadır. En küçük kareler ve maksimum likelihood yöntemlerinin analizleri uzun sürmektedir. Bunun nedeni veri sayılarının fazla olmasıdır (Kurban ve ark., 2007).

5.9.3. Gamma dağılımı

Lognormal dağılımla benzer olarak dağılım değişkenlerinin tamamının pozitif olduğu, pozitif çarpıklık gösteren bir dağılımdır. Gamma dağılımının tek parametresi olduğundan dolayı iki veya üç parametrelili gama dağılımları tanımlanarak diğer frekans dağılımlarına benzetilmesi kolaylaştırılmaktadır. Aynı şekilde üç parametrelili gama dağılımında iki parametrelili gama dağılımına indirmek mümkündür (Ülke ve Baran, 2005).

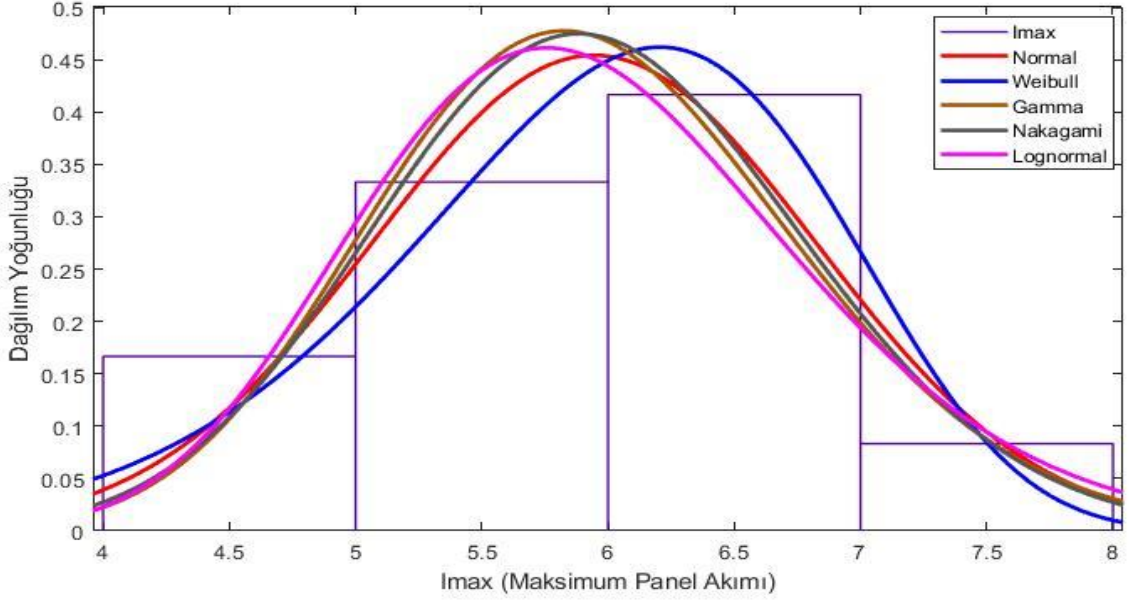
5.9.4. Nakagami dağılımı

Nakagami dağılımı ilk olarak geri dönen radar sinyallerinin istatistiklerinin incelenebilmesi için önerilen bir dağılımdır. Ultrasonik sinyallerin olasılık yoğunluk fonksiyonları çıkartılırken nakagami dağılımı kullanmak diğer diğer olasılık yoğunluk fonksiyonlarına göre pratiklik sağlamaktadır. Nakagami fonksiyonu özellikle hidroloji ve tıbbi görüntüleme çalışmalarında yoğun olarak kullanılmaktadır (Shankar, 2000).

5.9.5. Lognormal dağılımı

Normal olmayan dağılımların normal dağılımın kolaylığı ve temel özelliklerinin iyi bilinmesinden dolayı normal dağılıma benzetilmesi yoluyla kullanılan dağılımdır. Lognormal dağılımında logaritmik dönüşüm esası kullanılır. Lognormal dağılımı pratikteki birçok değişkenle iyi uyum sağlamaktadır. Bunun nedeni dağılımın pozitif çarpıklık sergilemesi ve dağılımdaki rastgele değişkenlerin sadece pozitif değerlerde tanımlı olmasıdır. Lognormal dağılımı kullanan hesaplamalarda normal dağılım tablosundan yararlanılarak değişkenlerden birisi elde edilir ve analiz yapılır (Ülke ve Baran, 2005).

Maksimum akım (I_{max}) için olasılık yoğunluk fonksiyonunun dağılımı Şekil 5.21’de gösterilmiştir.



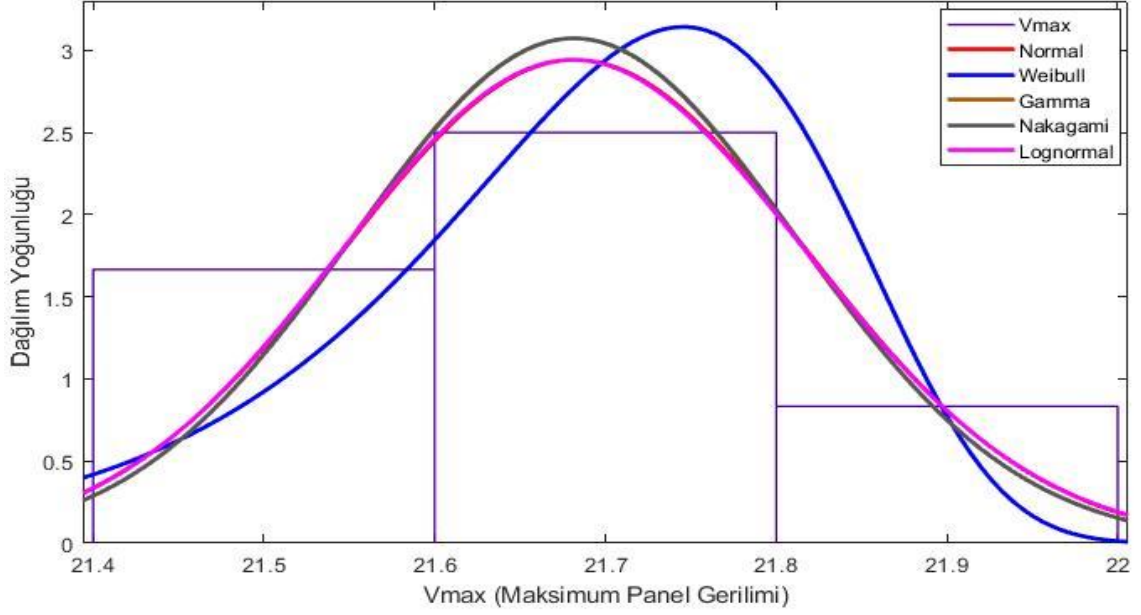
Şekil 5.21. Maksimum akım (I_{max}) için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının dağılım grafiği

Çizelge 5.12’de Maksimum akım (I_{max}) için dağılımlara göre varyans ve ortalama değerleri gösterilmiştir. Çizelge 5.12. incelendiğinde varyans değerinin en düşük Nakagami dağılımında olduğu görülmektedir. Bu durumda I_{max} fonksiyonu Nakagami dağılım fonksiyonu özelliği göstermektedir.

Çizelge 5.12. Maksimum akım (I_{max}) için dağılımlara göre varyans ve ortalama değerleri

Dağılım	I_{max}	
	Varyans	Ortalama
Normal	0.770982	5.94462
Weibull	0.802144	5.94113
Gamma	0.709268	5.94462
Nakagami	0.703347	5.94490
Lognormal	0.789812	5.95034

Maksimum gerilim (V_{max}) için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının dağılım grafiği Şekil 5.22’de gösterilmiştir.



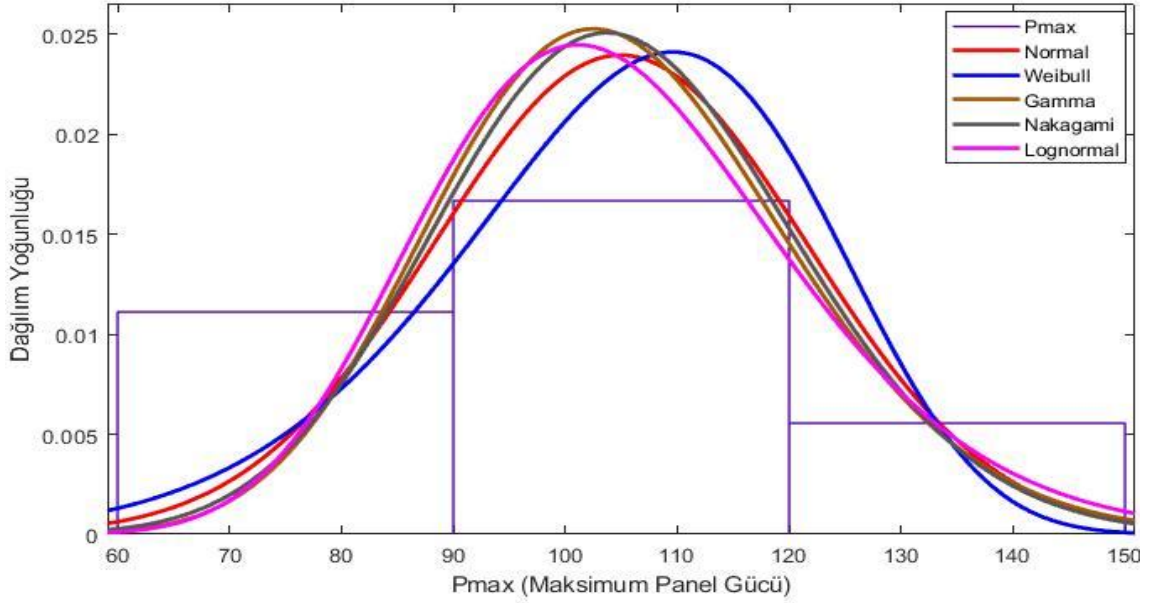
Şekil 5.22. Maksimum gerilim (V_{max}) için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının dağılım grafiği

Çizelge 5.13’de Maksimum gerilim (V_{max}) için dağılımlara göre varyans ve ortalama değerleri gösterilmiştir. Çizelge 5.13. incelendiğinde varyans değerinin en düşük Nakagami dağılımında olduğu görülmektedir. Bu durumda V_{max} fonksiyonu Nakagami dağılım fonksiyonu özelliği göstermektedir.

Çizelge 5.13. Maksimum gerilim (V_{max}) için dağılımlara göre varyans ve ortalama değerleri

Dağılım	V_{max}	
	Varyans	Ortalama
Normal	0.0183713	21.6821
Weibull	0.0222000	21.6793
Gamma	0.0168410	21.6821
Nakagami	0.0168405	21.6821
Lognormal	0.0183729	21.6821

Şekil 5.23’de Maksimum güç (P_{max}) için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının dağılım grafiği gösterilmiştir.



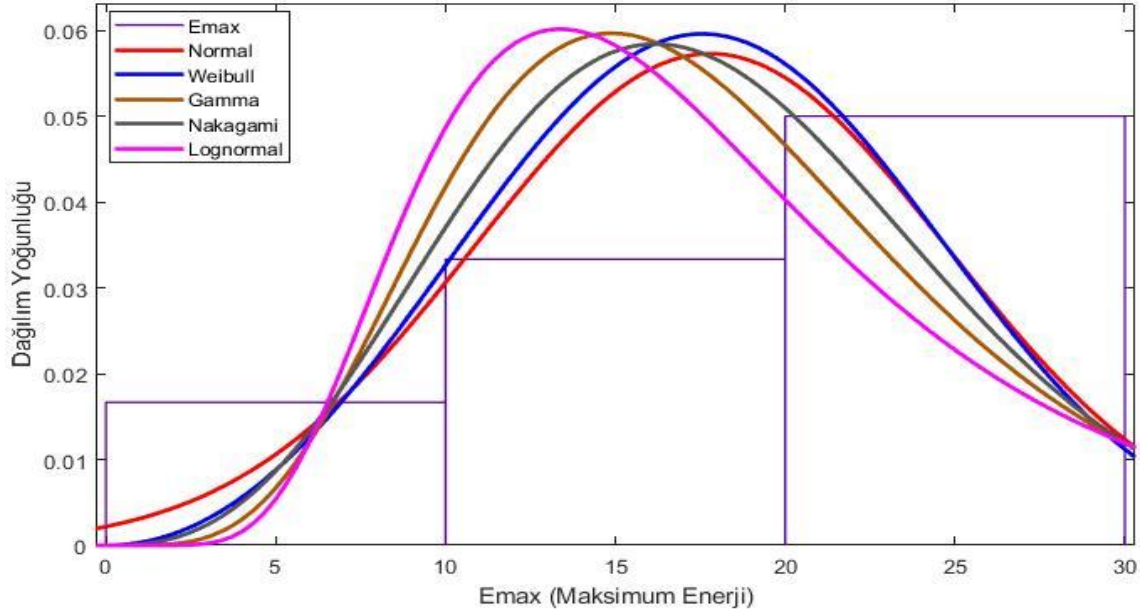
Şekil 5.23. Maksimum güç (P_{max}) için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının dağılım grafiği

Çizelge 5.14’de Maksimum güç (P_{max}) için dağılımlara göre varyans ve ortalama değerleri gösterilmiştir. Çizelge 5.14. incelendiğinde varyans değerinin en düşük Nakagami dağılımında olduğu görülmektedir. Bu durumda P_{max} fonksiyonu Nakagami dağılım fonksiyonu özelliği göstermektedir.

Çizelge 5.14. Maksimum güç (P_{max}) için dağılımlara göre varyans ve ortalama değerleri

Dağılım	P_{max}	
	Varyans	Ortalama
Normal	277.561	104.933
Weibull	290.228	104.855
Gamma	254.365	104.933
Nakagami	252.479	104.942
Lognormal	283.510	105.047

Şekil 5.24’de Maksimum enerji (E_{max}) için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının dağılım grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5.24. Maksimum enerji (E_{max}) için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının dağılım grafiği

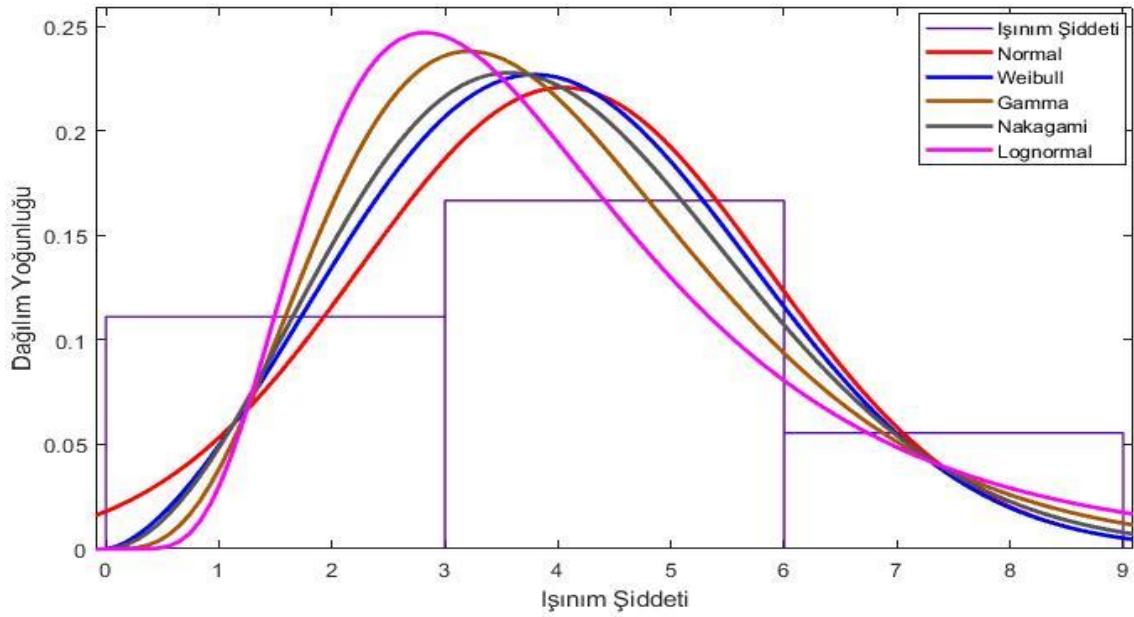
Çizelge 5.15’de Maksimum enerji (E_{max}) için dağılımlara göre varyans ve ortalama değerleri gösterilmiştir. Çizelge 5.15. incelendiğinde varyans değerinin en düşük Weibull dağılımında olduğu görülmektedir. Bu durumda E_{max} fonksiyonu Weibull dağılım fonksiyonu özelliği göstermektedir.

Çizelge 5.15. Maksimum enerji (E_{max}) için dağılımlara göre varyans ve ortalama değerleri

Dağılım	E_{max}	
	Varyans	Ortalama
Normal	48.500	17.795
Weibull	40.999	17.875
Gamma	51.726	17.795
Nakagami	45.839	17.756
Lognormal	72.829	18.092

5.10. Meteorolojik Verilerin Dağılım Fonksiyonlarının İncelenmesi

Meteorolojik verilerin daha önce akım, gerilim, güç ve enerjinin maksimum değerlerinde olduğu gibi dağılım fonksiyonları belirlenmiştir. Bu fonksiyonlar arasındaki değerlendirmelerde yine varyans ve ortalama değer parametreleri kriter olarak seçilmiştir. Şekil 5.25’de Işınım şiddeti için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının dağılım grafiği gösterilmektedir.



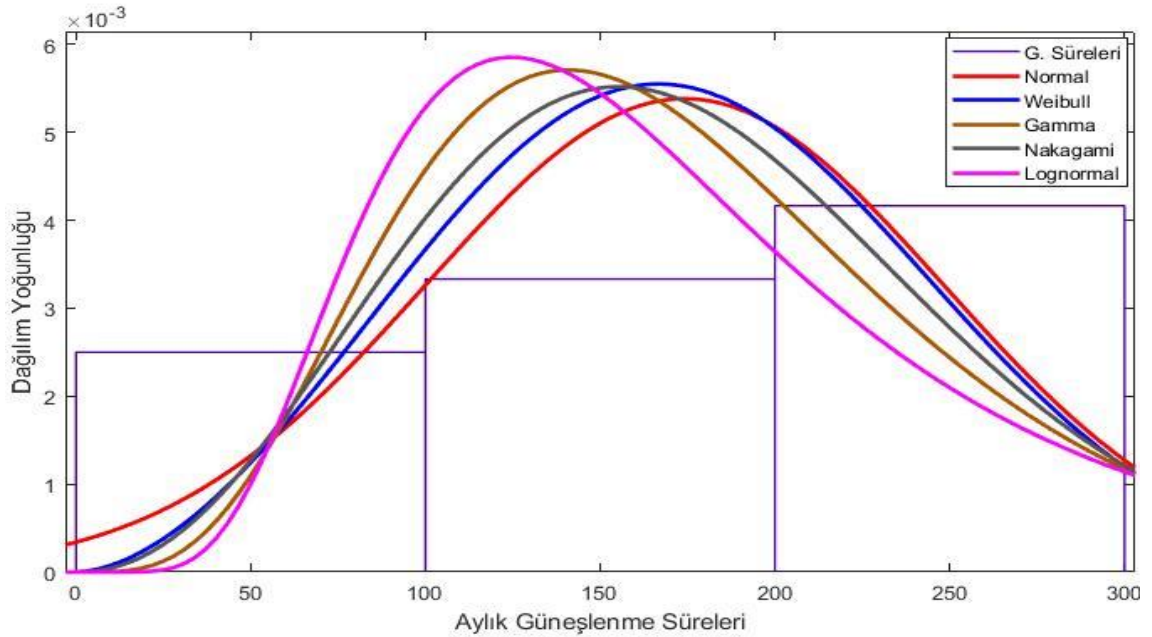
Şekil 5.25. Işınım şiddeti için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının dağılım grafiği

Çizelge 5.16’da Işınım şiddeti için dağılımlara göre varyans ve ortalama değerleri gösterilmiştir. Çizelge 5.16. incelendiğinde varyans değerinin en düşük Weibull dağılımında olduğu görülmektedir. Bu durumda Işınım şiddeti fonksiyonu Weibull dağılımı özelliği göstermektedir.

Çizelge 5.16. Işınım şiddeti için dağılımlara göre varyans ve ortalama değerleri

Dağılım	Işınım Şiddeti	
	Varyans	Ortalama
Normal	3.264	4.047
Weibull	2.841	4.064
Gamma	3.388	4.047
Nakagami	3.011	4.045
Lognormal	4.938	4.129

Şekil 5.26'da Aylık güneşlenme süreleri için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının dağılım grafiği gösterilmiştir.



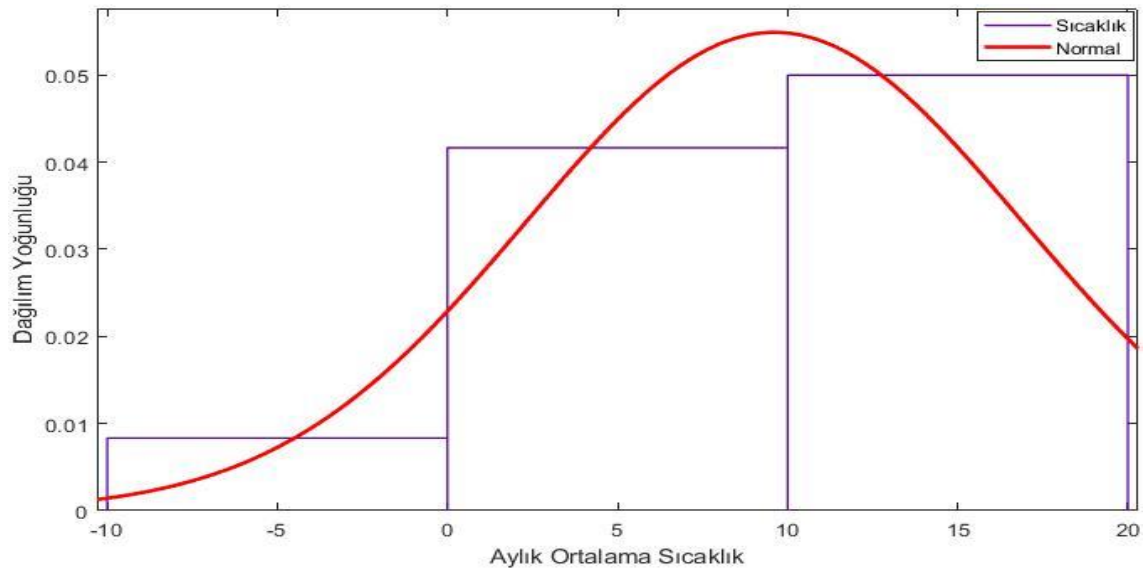
Şekil 5.26. Aylık güneşlenme süreleri için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının dağılım grafiği

Çizelge 5.17'de Aylık güneşlenme süreleri için dağılımlara göre varyans ve ortalama değerleri gösterilmiştir. Çizelge 5.17. incelendiğinde varyans değerinin en düşük Weibull dağılımında olduğu görülmektedir. Bu durumda Aylık güneşlenme süresi fonksiyonu Weibull dağılımı özelliği göstermektedir.

Çizelge 5.17. Aylık güneşlenme süreleri için dağılımlara göre varyans ve ortalama değerleri

Dağılım	Aylık Güneşlenme Süreleri	
	Varyans	Ortalama
Normal	5489.05	174.125
Weibull	4725.43	174.859
Gamma	5800.29	174.125
Nakagami	5128.26	173.847
Lognormal	8391.61	177.526

Şekil 5.27’de Sıcaklık verisi için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının dağılım grafiği gösterilmiştir. Şekil 5.27. incelendiğinde sıcaklık fonksiyonunun incelenen dağılımlar açısından sadece Normal dağılımında sonuç verdiği görülmektedir. Bunun nedeni Tokat ili aylık ortalama sıcaklık verilerinin içerisinde negatif sıcaklık değerlerinin de bulunması ve diğer dağılım fonksiyonlarının negatif veri girişine sonuç vermemesidir.



Şekil 5.27. Sıcaklık verisi için olasılık yoğunluk fonksiyonlarının dağılım grafiği

Çizelge 5.18’de Sıcaklık verisi için dağılımlara göre varyans ve ortalama değerleri gösterilmiştir. Çizelge 5.18. incelendiğinde sıcaklık fonksiyonu veri dağılımında negatif

değerler içerdiğinden dolayı sadece Normal dağılımına sonuç vermiştir. Bundan dolayı esas alınan beş temel olasılık yoğunluk fonksiyonundan varyans değerlerine göre net bir karşılaştırma yapmak mümkün değildir.

Çizelge 5.18. Sıcaklık verisi için dağılımlara göre varyans ve ortalama değerleri

Dağılım	Sıcaklık	
	Varyans	Ortalama
Normal	52.764	9.608

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Hızla artan dünya nüfusunun enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla yapılan kaynak arayışları araştırmacıları yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde çalışmalar yapmaya yönlendirmiştir. Fosil yakıtların tükenme tehlikesi, çevreye ve insan sağlığına olan olumsuz etkilerine karşın yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilir ve çevreci olması bu kaynaklara olan talebin artmasının başlıca nedenleridir.

Güneş enerjisi de avantajları nedeniyle ilgi çeken ve gelişen bir enerji kaynağıdır. Enerjiye olan bağımlılığın her geçen gün arttığı düşünülürse, güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan fotovoltaik modüllere verilen önem günden güne artırılarak bu açığın kapatılması amaçlanmaktadır. Kurulum maliyeti yüksek olan bu sistemlerde temel hedef maksimum güç ve kapasitede kayıpsız olarak sistemin verimli işleyişini sağlamaktır. Sistem çalışması sırasında panellerden alınan gücü etkileyen birçok faktör vardır. Bu nedenle kurulan sistemde yılın her ayı panelin maksimum performansta çalışması mümkün olmamaktadır. Güneş panellerinde verimliliği artırmanın temel yolu mevcut alana sıcaklık, gölgelenme ve ışınım değerlerine uygun optimum kapasite, optimum açı, optimum konumun sağlanmasıdır.

Bu tez çalışmasında Komaes 140 W PV modülü referans olarak seçilmiştir. Tokat ili için kurulması planlanan bir güneş enerjisi santralinde kullanılacak panel verimliliklerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Buradan hareketle Tokat iline ait güneş enerjisi parametreleri kullanılarak referans modül tek diyot eşdeğer devre modeliyle modellenmiştir. Yapılan modellemede elde edilen sonuçlardan yola çıkarak referans modülün Tokat ili için I-V karakteristikleri her ay için elde edilmiştir. I-V karakteristikleri incelendiğinde şubat ayında akım ve gerilim değerlerinin diğer aylara göre yüksek olduğu görülmüştür. Grafik optimizasyon tekniği kullanılarak optimum akım, gerilim ve güç değerleri hesaplanmıştır. Buna göre optimum akım ve gerilim şubat ayında (6.7218 A, 19.9060 V) en yüksek değeri göstermiştir. En düşük değer ise kasım ayında (4.2846 A, 19.5550 V) görülmüştür. Güneşlenme süreleri dikkate alındığında aylara göre hesaplanan enerji değerleri kıyaslanmış en yüksek enerji değeri haziran ayında (27.01877 kWh), en düşük enerji değeri ise ocak ayında (8.88896 kWh) görülmüştür.

Hücre parametreleri ve meteorolojik verilerin istatistiksel analizleri incelendiğinde tüm verilerde veri dağılımlarının 3'den küçük olmasından dolayı normal veri dağılımından daha basık karakter sergilediği görülmüştür. Hücre parametrelerinden sadece V_{max} , E_{max} ve R_s 'nin meteorolojik parametrelerden ise güneşlenme süresi ve sıcaklık parametresinin çarpıklık katsayıları negatif olup veri dağılımlarının sola çarpık olduğu gözlenmiştir.

Veri madenciliğinde kullanılan kümeleme yöntemlerindeki uzaklık fonksiyonları referans alınarak panel gücü ile hesaplanan güç değerleri arasındaki uzaklıklar değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede aylık uzaklıklar incelendiğinde en yüksek güç değeri gösteren şubat ayında uzaklık değerlerinin en düşük değeri sergilediği görülmüştür. Bu değerler Öklid uzaklığına göre 361.105, Manhattan uzaklığına göre 533.913 ve Minskowski uzaklığına göre ise 160.663 olarak elde edilmiştir. En yüksek uzaklık değeri ise kasım ayında gözlenmiştir. Bu değerler Öklid uzaklığına göre 618.088, Manhattan uzaklığına göre 866.046 ve Minskowski uzaklığına göre 282.895 olarak hesaplanmıştır.

Çalışmada yer alan parametrelerin dağılım fonksiyonları incelendiğinde genel olarak Nakagami dağılım fonksiyonu özelliği sergilediği görülmüştür. Bu parametrelerden E_{max} , ışıınım şiddeti ve güneşlenme süresi parametreleri Weibull dağılımı, sıcaklık parametresi ise Normal dağılım özelliği sergilemiştir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar incelendiğinde enerji sistemlerinin kurulması planlanan bölgenin karakteristik özelliklerinin çıkartılması gerektiği görülmüştür. Kurulacak sistemler istenilen verimlilik düzeyinde çalıştırılmazsa sistemin amortisman süresinin uzayacağı dikkate alınmalıdır. Ayrıca laboratuvar şartlarında hesaplanan verimlilik değerlerinin saha uygulamasında beklenen düzeyde olmadığı görülmüştür. Yıllık enerji kayıpları dikkate alındığında Tokat ili için kurulacak güneş enerji sistemlerinin kısa vadede gerekli enerji ihtiyacını sağlayamayacağı görülmüştür. Ekonomik açıdan kıyaslandığında sistemin kendisini amorti etme süresinin beklenen zaman diliminden uzun olacağı öngörüsüne varılmıştır. Bu nedenle ilerleyen dönemde

yapılacak akademik çalışmalar bölgede kurulması planlanan sistemler için gerekli uygun güneş takip sistemleri ve panel konumlandırmaları üzerine olmalıdır.



7. KAYNAKLAR

- Acar, E., 2008. Türkiye'deki Rüzgar ve Hidroelektrik Enerji Potansiyellerinin Karşılaştırılması ve Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi (Yüksek Lisans Tezi).
- Ahmad, T., Sobhan, S. ve Nayan, F. M., 2016. Journal of Power and Energy Engineering, 2016, 4, 31-46
- Akalın, A., 2014. Dünya'da Kaynak Enerjisi Kaynak Potansiyeli. Erişim Tarihi: 01.08.2014.
- Alaçakır, B., 1997. "Güneş Pilleri", Çevre ve Enerji Kongresi, Ankara, Haziran.
- Alkan, M. A., 2009. Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Eğitimi ve Öğretimi (Yüksek Lisans Tezi).
- Anonim-1, 2017. <http://enerjienstitusu.com/turkiye-kurulu-elektrik-enerji-gucu-mw/> Erişim Tarihi: 10.09.2017
- Anonim-2, 2016. <https://www.lightworld.com.tr/pv-panellerin-yapisi-ve-panellerden-elektrik-uretimine-sicakligin-etkisi/> Erişim Tarihi: 20.12.2016
- Anonim-3, 2017. <http://www.komaes-solar.com/products4.asp> Erişim Tarihi: 03.01.2017
- Arslan, E., 2015. Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgesel Analizi ve Enerji Üretim Sistemlerine Uyarlanması (Yüksek Lisans Tezi).
- Ataman, A. R., 2007. Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynakları (Yüksek Lisans Tezi).
- Ayaz, R., 2012. Farklı PV Teknolojilerinin Gerçek Ortam Verileri Kullanılarak Modellenmesi ve İstanbul Şartlarında Optimum Eğim Açılarının Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi).
- Azad, M. L., Sadhu, P. K., Das, S., Satpati, B., Gupta, A., Arvind, P. ve Biswas R., 2017. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science Vol. 5, No. 3, March 2017, pp. 515 ~ 520 DOI: 10.11591/ijeecs.v5.i3.pp515-520
- Barutçu, B., 2009. Photovoltaic Power Systems Ders Notları-2. İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, Türkiye.
- Bayrak, G. ve Cebeci, M., 2012. 3,6 kW Gücündeki Fotovoltaik Generatörün Matlab Simulink İle Modellenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 28(3):198-204
- Bikaneria, J., Joshi, S. P. ve Joshi, A. R., 2013. Modeling and Simulation of PV Cell using One-diode model. International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 3, Issue 10, ISSN 2250-3153.
- Boztepe, M., 2002. İzmir(Bornova) Koşullarında Şebekeye Bağlı Bir Fotovoltaik Enerji Sisteminin Tasarımı ve Denenmesi (Doktora Tezi), Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Cassedy, E.S., 2000. Prospects for Sustainable Energy, A Critical Assessment, Cambridge University Press,UK, p.67.
- CCEC, 2005. CCEC Joins Effort To Make America More Energy Independent, <http://www.kwh.com/news/ethanol.shtml>
- Cubas, J., Pindado S. ve De Manuel C., 2014. "Explicit Expressions for Solar Panel Equivalent Circuit Parameters Based on Analytical Formulation and the Lambert W-Function", Energies, 7, 4098-4115.
- Çelebi, G., 2002. Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri. Gazi Üniv.Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 17, No 3, s.17-33.

- Dash , R. ve Ali, S. M., 2014. Comparative Study Of One And Two Diode Model Of Solar Photovoltaic Cell. International Journal of Research in Engineering and Technology, eISSN: 2319-1163, pISSN: 2321-7308, Volume: 03 Issue: 10
- Demirtaş, M., Sefa, İ., Irmak, E. ve Çolak, İ., 2008. Güneş Enerjili Sistemler İçin Mikrodenetleyici Tabanlı DA/DA Yükseltilen Dönüştürücü. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Ankara.
- Doğan, B. T., Çolakoğlu, A. ve Kıncay, O., 2012. RETScreen Analiz Programı ile Hatay'da Rüzgar Enerji Santrali Fizibilite Analizi. Tesisat Mühendisliği - Sayı 131 - Eylül/Ekim 2012
- Dzimano, G., 2008. Modelling of Photovoltaic, Systems. Msc Ohio State University.
- Emeksiz, C., Akbulut, A., Doğan, Z. ve Akar, M., 2017. Optimization Of PV Modüle With Single-Diode Model For Tokat Region ISSN: 2349-5197 Impact Factor: 2.715
- EMO, 2017. Elektrik Mühendisler Odası. http://www.emo.org.tr/ekler/7f85aa510d25018_ek.pdf ; (30.12. 2017).
- ETKB, 2015. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2015 yılı faaliyet raporu
- Gedik, Ö. T., 2015. Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Çevresel Etkileri (Yüksek Lisans Tezi).
- Gül, G., 2008. Güneş Gözellerinin Üretilmesinde Son Gelişmelerin Araştırılması (Yüksek Lisans Tezi), Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- IEA, 2009. How The Energy Sector Can Deliver On A Climate Agreement In Copenhagen, October, p.17.
- Işıker, Y., Yeşilata, B. ve Hüsametlin, B., 2006. Fotovoltaik Panel Gücüne Etki Eden Çalışma Parametrelerinin Araştırılması. I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Jazayeri, M., Uysal, Ş. ve Jazayeri, K., 2013. A Simple Matlab/SIMULINK Simulation for PV Modules Based on One-Diode Model. Electrical and Electronic Engineering Department, Eastern Mediterranean University, Mersin.
- Karamanav, M., 2007. Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri (Yüksek Lisans Tezi).
- Keskin, E., 2012. Türkiye İklim Koşullarında Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Tasarımı ve Maliyet Analizi (Yüksek Lisans Tezi).
- Kevin, E, T., John, T, F. ve Jeffrey K., 2009. Earth's Global Energy Budget. American Meteorological Society, March 2009
- Kılıç, G. Y., 2015. Fotovoltaik Hücreler, İTÜ IEEE Dergi (<http://dergi.ituieee.com/teknik/fotovoltaik-hucreler>), Erişim Tarihi: 27.12.2016
- Kıncay, O., Utlu, Z., Ağustos, H., Akbulut, U., ve Açıkgöz Ö., 2009. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarında Birleşme Eğilimi. Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 27:60-82
- Kurban, M., Kantar M. Y. ve Hocoğlu, F. O., 2007. Weibull Dağılımı Kullanılarak Rüzgar Hız ve Güç Yoğunluklarının İstatistiksel Analizi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Journal Of Science 7(2)
- Markvart, T., 2000. Solar Electricity Second Edition. John Wiley & Sons, Ltd. San Francisco USA.
- McVeigh, J. C., 1984. Energy Around The World, An Introduction to Energy Studies Global Resources, Needs, Utilization, Pergamon Press, UK , p.195.
- MEF, 2009. Ministry of Environment and Forestry.
Forest biomass situation for renewable energy in Turkey (in Turkish), MEF, Ankara

- MGM, 2016. <http://www.mgm.gov.tr/arastirma/yenilenebilir-enerji.aspx?s=ruzgaratlası>
Erişim Tarihi: 18.10.2016
- MGM, 2017. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=TOKAT> Erişim Tarihi: 14.03.2017
- MTA,2016.
<http://www.mta.gov.tr/v2.0/dairebaskanliklari/enerji/images/siteharitalar/3.jpg>
Erişim Tarihi: 18.10.2016
- Muhammad, F. F., Yahya M. Y., Hameed, S. S., Aziz F., Sulaiman, K., Rasheed, M. A. ve Ahmad, Z., 2017. Employment of single-diode model to elucidate the variations in photovoltaic parameters under different electrical and thermal conditions. PLoS ONE 12(8): e0182925.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182925>
- Mutlu E., 2013 . Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Ekonomisi ve Ankara İline Ait Swot Analizler (Yüksek Lisans Tezi).
- Onat, N. ve Ersöz, S., 2009. Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası İzleyici Algoritmalarının Karşılaştırılması. V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Diyarbakır.
- Özcan, M., 2013. Türkiye Elektrik Enerjisi Üretim Genişletme Planlamasında Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Etkileri (Doktora Tezi).
- Özçalık, H. R., Yılmaz Ş. ve Kılıç, E., 2013. Güneş Pili Bir Diyotlu Eşdeğer Devre Yardımıyla Matematiksel Modelinin Çıkarılması ve Parametrelerinin İncelenmesi. KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(1), Kahramanmaraş.
- Paul ,A. Lynn., 2010. Electricity from Sunlight An Introduction to Photovoltaics. John Wiley & Sons, Ltd. London United Kingdom.
- Prasad, D.K. ve Snow, M., 2005. Designing With Solar Power , A Source Book for Building Integrated Photovoltaics (BIPV). Australia, Images Publishing.
- Quaschnig, V., 2005. Understanding Renewable Energy Systems, Earthscan, UK and USA.
- Ramakumar, R., Barnett, A.M., Kazmerski, L.L., Benner, J.P. ve Coutts, T.J., 2000. “Power Systems and Generation”, The Electrical Engineering Handbook, Ed. Richard C. Dorf Boca Raton, CRC Press LLC, 2000
- RETScreen, 2017. Renewable Energy Technology Screen
- Scheer, H., 2007. Energy Autonomy, The Economic, Social and Technological Case for Renewable Energy. Published by Earthscan, UK, p.61.
- Shankar, M., P., 2000. “A general statistical model for ultrasonic backscattering from tissues”, IEEE Trans. Ultrason. Ferroelec. Freq. Contr., 47: 727-736, 2000
- Shannan, N. M. A. A., Yahaya, N. Z. ve Singh, B., 2013. Single-Diode Model and Two-Diode Model of PV Modules: A Comparison. 2013 IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering, 29 Nov. - 1 Dec. 2013, Penang, Malaysia.
- Suri, M., Huld, T.A., Dunlop, E.D. ve Ossenbrink, H.A., 2007. Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries, Journal of Solar Energy, 81 (10), 1295-1305.
- Şenel, M. C., 2012. Rüzgar Türbinlerinde Güç İletim Mekanizmalarının Tasarım Esasları-Dinamik Davranış.(Yüksek Lisans Tezi), Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Şimşek, Ş., 2001. Yer içi Isısından Yararlanma – Jeotermal Enerji, Temiz Enerji Vakfı (TEV) Yayını, Kasım, Ankara, s.11.

- Tamrakar, V., Gupta S. C. ve Sawle, Y., 2015. Single Diode and Two Diode PV Cell Modeling Using Matlab For Studying Characteristics Of Solar Cell Under Warying Conditions. Electrical & Computer Engineering: An International Journal (ECIJ) Volume 4, Number 2
- TÇV, 2006. Türkiye Çevre Vakfı, Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları, kolektif çalışma, Ankara, Türkiye Çevre Vakfı Yayını, 368 s.
- Terzi, Ümit K. ve Alkan, M., 2006. "Dalga Enerjisi Sistemleri, Ekonomisi, Çevresel Etkileri ve Ülkemiz için Ekonomik Açından Değerlendirilmesi", Türkiye 10. Enerji Kongresi, Dünya'da ve Türkiye'de Enerji-Uygulamalar ve Sorunlar Cilt-II, 27-30 Kasım 2006, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, İstanbul, 2006.
- Townsend, T., 1989. "A Method for Estimating the Long-Term Performance of DirectCoupled Photovoltaic Systems", MS Thesis, University of Wisconsin.
- TÜREB, 2018. Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği 2018 Ocak ayı İstatistik Raporu.
- Ülke, A. ve Baran T., 2005. Köprüçay Yıllık Akım Verilerine Uygun Olasılık Dağılım Fonksiyonu Ve Kuraklık Analizi, Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi (Bildiri)
- Varınca, K.B. ve Gönüllü, M.T. 2006. Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma.
- YEGM, 2016. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
- Yılmaz, M., 2012. Türkiye'nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi, Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi 4(2), 33-54 (2012).

8. ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, Soyadı : Akif AKBULUT

Doğum Yeri : Şebinkarahisar / Giresun

Doğum Tarihi : 03.01.1991

Yabancı Diller : Almanca, İngilizce

Uyruk : Türkiye Cumhuriyeti

Cep Tel : 0 506 576 94 81

E-posta : akifakbulut00@gmail.com

Öğrenim Durumu

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği	2014
Lise	Selçuk Anadolu Lisesi, Fen Bilimleri	2008

Yayımlar

1. EMEKSİZ CEM, AKBULUT Akif, DOĞAN ZAFER, AKAR MEHMET, 2017. “Optimization Of Pv Module With Single-Diode Model For Tokat Region”, International Journal Of Research Science Management, 4(6), 78-85., Doi: 10.5281/zenodo.802328 (Yayın No: 3526831) - Makale

2. EMEKSİZ CEM, DOĞAN ZAFER, AKBULUT Akif, 2015. “Rüzgar Türbinlerinde Karşılaşılan Temel Arızalar ve Prognostik Yöntemler”, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi - 3. Anadolu Enerji Sempozyumu (Tam Metin Bildiri) (Yayın No:1805723) - Bildiri