



**ÇEVRESEL PARAMETRELERİN GÜNEŞ
SANTRALLERİNİN VERİMİNE ETKİSİNİN
PARAMETRİK İNCELENMESİ**

Gürhan MUTLU



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇEVRESEL PARAMETRELERİN GÜNEŞ SANTRALLERİNİN VERİMİNE
ETKİSİNİN PARAMETRİK İNCELENMESİ**

Gürhan MUTLU
0000-0003-0685-5328

Prof. Dr. Abdulvahap YİĞİT
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS /
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2021
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇEVRESEL PARAMETRELERİN GÜNEŞ SANTRALLERİNİN VERİMİNE ETKİSİNİN PARAMETRİK İNCELENMESİ

Gürhan MUTLU

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Abdulvahap YİĞİT

Tüm dünyada enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Artan enerji ihtiyacına rağmen kullanılan enerji kaynaklarının da her geçen gün sonuna yaklaşılmaktadır. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerji, fosil yakıtlardan elde edilen enerjiye göre daha fazla ön plana çıkmakta ve önem kazanmaktadır.

Bu tez çalışmasında da bu gelişmelere yönelik, yenilenebilir bir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden elektrik üretimi sağlayan güneş enerjisi panellerinin verimini etkileyen çevresel parametreler incelenmiştir. Özellikle güneş ışıınımı, sıcaklık ve rüzgâr gibi çevresel parametrelerin panel verimini ne şekilde etkilediği ve hangi bölgelerin güneş enerjisi santrali kurulumu için daha uygun şartlara sahip olduğu konuları üzerinde durulmuştur. Bunu yaparken öncelikle panel verimini doğrudan etkileyen rüzgâr etkisini görmek amacıyla ülkemizde rüzgâr türbinlerinin kurulu olduğu ve güneş ışıınımı değerlerinin yüksek olduğu bölgeler seçilmiştir. Seçilen şehirlerin meteorolojik değerleri elde edilmiş ve MATLAB’da yazılan bir algoritma ile anlık ışıınım şiddeti ve panel verimleri hesaplanıp bu değerlerin toplamıyla da günlük, aylık, mevsimlik ve yıllık güneş ışıınımı değerleri ve yıllık elektrik üretimleri hesaplanmıştır.

Sonuçlara baktığımızda ise güneş ışıınımı ve rüzgâr hızının panel verimi üzerinde oldukça etkili olduğu görülmüştür. Grafiklere dökülerek yorumlanan veriler ışığında artan güneş ışıınımı miktarının her zaman verimi artırmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Rüzgâr hızının 1 m/s ile 7 m/s arasında değişmesi durumunda verimdeki farkın da %3,2 civarında değiştiği sonuçlara yansımıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, panel verimi, rüzgâr hızı, sıcaklık etkisi
2021, ix + 62 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

PARAMETRIC INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ENVIRONMENTAL PARAMETERS ON THE EFFICIENCY OF SOLAR PLANTS

Gürhan MUTLU

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Abdulvahap YİĞİT

The need for energy is increasing day by day all over the world. Despite the increasing energy need, the energy resources used are approaching to the end with each passing day. For this reason, the energy obtained from renewable energy sources comes to the fore and gains more importance than the energy obtained from fossil fuels.

In this thesis, environmental parameters affecting the efficiency of solar energy panels, which produce electricity from solar energy, which is a renewable energy source, were examined. In particular, how environmental parameters such as solar radiation, temperature and wind affect panel efficiency and which regions have more suitable conditions for solar power plant installation are emphasized. While doing this, first of all, in order to see the wind effect that directly affects the panel efficiency, regions where wind turbines are installed in our country and where solar radiation values are high were selected. The meteorological values of the selected cities were obtained and the instantaneous radiation intensity and panel efficiency were calculated with an algorithm written in MATLAB, and the daily, monthly, seasonal and annual solar radiation values and annual electricity production were calculated with the sum of these values.

When we look at the results, it is seen that solar radiation and wind speed are quite effective on panel efficiency. In the light of the data interpreted by pouring into graphics, it was concluded that the amount of solar radiation increased does not always increase the efficiency. The results show that when the wind speed changes between 1 m/s and 7 m/s, the difference in efficiency changes around 3.2%.

Key words: Solar energy, panel efficiency, wind speed, temperature effect
2021, ix + 62 pages.

TEŞEKKÜR

Uludağ Üniversitesinde gördüğüm Yüksek Lisans eğitimimdeki tez çalışmalarım boyunca vaktini ayırarak bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendirip bana yol gösteren, Danışman Hocam Prof. Dr. Abdulvahap YİĞİT'e paylaştığı bütün bilgi ve tecrübeleri için teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim konusunda bugüne kadar verdiğim her kararında arkamda durup beni destekleyen annem Sadiye MUTLU'ya, babam Ayhan MUTLU'ya verdikleri destek ve beni bugünlere getirdikleri için teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince hep yanımda olarak beni her an destekleyen kardeşim Ebru MUTLU'ya, kız arkadaşım Reval YILDIRIM'A ve beni bu süreçte yalnız bırakmayıp desteklerini esirgemeyen tüm arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Gürhan MUTLU
.../.../.....

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
2.1. Yenilebilir Enerji.....	6
2.1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Çeşitleri.....	7
2.1.2. Yenilebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı	12
2.2. Güneş Enerjisi	14
2.2.1. Güneş Enerjisinin Tarihsel Gelişimi	15
2.2.2. Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları	16
2.2.3. Dünya'da ve Türkiye'de Güneş Enerjisi	17
2.3. Güneş Enerjisi Santralleri	18
2.3.1. Termal Sistemler	19
2.3.2. Merkezi Alıcı Sistemli Güç Santrali	19
2.3.3. Parabolik Oluklu Kollektör Sistemli Güç Santrali	20
2.3.4. Parabolik Çanak Sistemli Güç Santrali	21
2.3.5. Güneş Bacası	22
2.3.6. Fotovoltaik Sistemler	23
2.3.7. Fotovoltaik Sistem Çeşitleri.....	24
2.3.8. Fotovoltaik Sistemlerin Temel Elemanları	24
2.3.9. Santrallerin Yer Seçiminde Etkili Faktörler.....	26
2.4. Güneş Pilleri.....	27
2.4.1. Güneş Pillerinin Çalışma Prensipleri	29
2.4.2. Güneş Pili Çeşitleri	29
2.4.3. Kristal Silikon Yapılı Güneş Pilleri	30
2.4.4. İnce Film Güneş Pilleri	31
2.4.5. Nano Yapılı Güneş Pilleri	32
2.4.6. Güneş Pili Verimini Etkileyen Parametreler.....	33
2.4.7. Coğrafi Konum	33
2.4.8. Sıcaklık.....	34
2.4.9. Gölgeleme	34
2.4.10. Yüzey Kirliliği	35
2.4.11. Nem Etkisi.....	35
2.4.12. Rüzgâr	35
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	36
3.1. Güneş Enerjisi Hesaplarında Kullanılan Kavramlar	36
3.2. Güneş Enerjisi Hesaplamaları	38
3.2.1. Atmosfer Dışında Yatay Düzleme Gelen Güneş Işınımı	38
3.2.2. Yeryüzüne Gelen Güneş Işınımı	38
3.2.3. Fotovoltaik Panel Sıcaklığı ve Verimi Hesaplamaları	42
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	46
5. SONUÇ	57

KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ	62



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
P	Pozitif Elektrot
N	Negatif Elektrot
G_{sc}	Güneş Sabiti
ϕ	Enlem Açısı
δ	Deklinasyon Açısı
γ	Yüzey Azimut Açısı
γ_s	Güneş Azimut Açısı
α	Güneş Yükseklik Açısı
ω	Saat Açısı
ω_s	Güneş Batış Saat Açısı
θ	Güneş Geliş Açısı
θ_z	Zenit Açısı
N	Gün Uzunluğu
H_0	Atmosfer Dışında Yatay Düzleme Gelen Günlük Güneş Işınımı
H	Yatay Düzleme Gelen Günlük Toplam Güneş Işınımı
n/N	İzafi Güneşlenme Süresi
K_T	Berraklık İndeksi
k_t	Anlık Berraklık İndeksi
H_d	Günlük Yatay Düzleme Gelen Yayılı Işınım
I	Yatay Yüzeye Düşen Anlık Toplam Güneş Işınımı
I_d	Yatay Düzleme Düşen Anlık Yayılı Işınım
I_0	Atmosfer Dışında Yatay Düzleme Düşen Anlık Toplam Işınım
I_{bT}	Eğik Yüzeye Düşen Anlık Direkt Işınım
I_b	Yatay Yüzeye Düşen Anlık Direkt Işınım
I_{dT}	Eğik Yüzeye Düşen Anlık Yayılı Işınım
I_{ref}	Eğik Yüzeye Yansıyarak Gelen Işınım
I_T	Eğik Yüzeye Düşen Anlık Toplam Güneş Işınımı
H_{bT}	Eğik Yüzeye Düşen Günlük Direkt Işınım
H_b	Yatay Yüzeye Düşen Günlük Direkt Işınım
R_b	Geometrik Faktör
ρ	Yerin Yansıtma Oranı
ω'_s	Güneş Işınlарının Eğik Yüzeye İlk Düşüş Saat Açısı
T_c	Güneş Pili Sıcaklığı
T_a	Çevre Sıcaklığı
T_s	Gökyüzü Sıcaklığı
T_{NOCT}	Güneş Pilinin Normal Sıcaklığı
T_m	Güneş Paneli Sıcaklığı
v	Rüzgâr Hızı

Kısaltmalar	Açıklama
CdTe	Kadmiyum tellür
HES	Hidroelektrik Santraller
IRENA	Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı
Kloritle	Hidro Klorik Asit
GES	Güneş Enerji Santrali
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Türkiye’deki enerji üretiminin ve mevcut kurulu gücün yıllar içerisindeki değişimi	13
Şekil 2.2. Türkiye’deki kurulu gücün enerji kaynaklarına göre dağılımı	14
Şekil 2.3. Merkezi alıcı sistemli güç santrali	20
Şekil 2.4. Parabolik oluklu kollektör.....	21
Şekil 2.5. Parabolik çanak stirli motor sistemi.....	22
Şekil 2.6. Güneş bacası sistemi	23
Şekil 2.7. Güneş pillerinin yapısı	28
Şekil 4.1. Aydın, Manisa ve Balıkesir illeri için sabit açı değerlerinde gelen yıllık ışıınım, üretilen elektrik ve yıllık ortalama hız değerleri.....	48
Şekil 4.2. Hatay, Kayseri ve Konya illeri için sabit açı değerlerinde gelen yıllık ışıınım, üretilen elektrik ve yıllık ortalama hız değerleri.....	49
Şekil 4.3. Muğla ve Kırşehir illeri için sabit açı değerlerinde gelen yıllık ışıınım, üretilen elektrik ve yıllık ortalama hız değerleri	50
Şekil 4.4. Bursa ve İstanbul illeri için sabit açı değerlerinde gelen yıllık ışıınım, üretilen elektrik ve yıllık ortalama hız değerleri	51
Şekil 4.5. Şanlıurfa ili için sabit açı değerlerinde gelen aylık ışıınım, üretilen elektrik ve aylık ortalama hız değerleri.....	52
Şekil 4.6. Çanakkale ili için sabit açı değerlerinde gelen aylık ışıınım, üretilen elektrik ve aylık ortalama hız değerleri.....	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1. 20 şehir için yıllık toplam güneş ışıınımı, toplam elektrik üretimi, ortalama rüzgâr hızı değerleri	47
Çizelge 4.2. Farklı rüzgâr hızlarında(m/s) güneş enerjisi panelinden üretilen yıllık elektrik enerjisi(kW/m ²).....	55



1. GİRİŞ

İnsanlar enerjiye her zaman ihtiyaç duymuştur ve bundan sonra da ihtiyaç duymaya devam edecektir. Fakat enerji elde ettiğimiz kaynakların birçoğunun bir sonu bulunmaktadır. Enerjiye duyduğu gereksinim her geçen gün artan insanların tükenebilir enerji kaynaklarına bu denli bağımlı olması önemli bir sorun teşkil etmektedir. Buna çözüm olarak tükenebilir enerji kaynakları olan fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek, yüksek verimle enerji elde etmek ve elde ettiğimiz enerjiyi de doğru kullanmak gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında da bu doğrultuda yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinden elde edilen enerjinin veriminin artırılmasında hangi koşulların daha elverişli olduğuna yönelik tespitler yapılacaktır. Güneş enerjisinden elektrik üretimi sağlayan güneş enerjisi panellerinin verimini etkileyen; güneş ışınımı, sıcaklık ve rüzgâr gibi çevresel parametrelerin verimi ne şekilde etkilediği, hangi durumların enerji verimliliği açısından daha olumlu olduğu ve hangi bölgelerin güneş enerjisi santrali kurulumu için daha uygun olduğu belirlenmeye çalışılacaktır.

Bunun için öncelikle panel verimini doğrudan etkileyen rüzgâr etkisini görmek amacıyla seçilecek bölgelerin rüzgârlı bölgeler olması tercih edilecektir. Bu amaçla ülkemizde rüzgâr türbinlerinin kurulu olduğu ve güneş ışınımı değerlerinin yüksek olduğu bölgeler için hesaplamalar yapılacaktır. Ülkemizin farklı bölgelerinde seçilen yirmi şehrin meteorolojik değerleri elde edilerek yazılacak bir MATLAB programı ile anlık ışıınım şiddeti ve panel verimleri hesaplanıp bu değerlerin toplamı yapılarak, günlük, aylık, mevsimlik ve yıllık güneş ışıınımı değerleri bulunacaktır. Ayrıca panel verimleri ve ışıınım değerleri kullanılarak birim panel yüzeyinden yıllık elektrik üretimleri hesaplanacaktır. Sonuç olarak yapılacak hesaplamalarla, çevresel parametrelerin panel verimini nasıl etkilediği ve ülkemizde güneş enerjisi santrallerinin kurulumu için hangi bölgelerin daha uygun olduğu tespit edilecektir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Literatürde; güneş enerjisinden elektrik üretimi, sıcaklık-güneş ışıınımı veya rüzgâr gibi çevresel parametrelerin panel verimine etkisi konularında çalışmalar bulunmaktadır. Bu bölümde bu çalışmaların önemli olanlarından ve izlenecek yöntemle ilgili olanlarından özetlenerek bahsedilmiştir.

Akhsassi ve arkadaşları (2018), güneş enerjisi panellerinin bulunduğu ortam sıcaklığının rüzgâr etkisi de katılarak enerji üretimine olan etkisini incelemişlerdir. Bu etkiyi incelerken Elkaria köyünde (Essaouira Eyaleti, Fas) bulunan 7,2 kWp gücüne sahip bağımsız bir güneş enerjisi santralinden elde edilen elektrik enerjisi verileriyle, bu konu üstünde geliştirilen formüller ve kendilerinin geliştirdikleri analitik yaklaşımları kıyaslamışlardır. En iyi istatistiksel verilerin rüzgârlı havada olduğu saptanmıştır. Panel sıcaklığına rüzgârın etkisini gözlemlemişlerdir (Akhsassi ve ark. 2018).

Wenbo G. arkadaşları (2019), ortam sıcaklığı, güneş radyasyonu ve rüzgâr hızı dahil olmak üzere çeşitli koşullar altında güneş fotovoltaik (PV) modülleri için birleştirilmiş bir elektrik-termal model sunar. Elektriksel ve termal modellerin deneysel verilerle yüksek uyum içerisinde olduğunu göstermektedir. PV performansında ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızının değişiklik gösterdiği belirtilir ve parametrelerin tasarımı sırasında dikkatlice seçilmeleri gerektiği vurgulanır (Wenbo G. ve ark. 2019).

Schwingschackl ve arkadaşları (2013), İtalya’da güneş enerjisi panellerindeki verimin, ortam çalışma sıcaklığının ve rüzgâr hızının hesaba katılmasıyla yeniden hesaplandığında daha doğru sonucu vereceğini belirten bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. İlaveten, hava tahmin raporları tarafından iletilen tahmini rüzgâr hızı değerlerinin anlık rüzgâr hızı ölçümünden daha hassas sonuçlar verdiğini söylemişler ve modellerinde doğrulamışlardır (Schwingschackl ve ark. 2013).

Nadia ve arkadaşları (2018), güneş enerjisi sistemlerinin maksimum enerji üretmesi için gereken faktörleri(panel malzemesi, coğrafi konum, ortam sıcaklığı ve panelin yerleşimi gibi) ve güneş takip mekanizmalarını, en iyi güneş enerjisi panel yerleşimi için avantaj

ve dezavantajları ile kıyaslamışlardır. Ayrıca gelecekte kullanılması muhtemel güneş takip sistem ve sürücülerinden bahsetmişlerdir (Nadia ve ark. 2018).

Vasel ve Iakovidis (2017), güneş enerjisi panellerinin enerji verimliliğine esen rüzgârın etkisini araştırmışlar ve bunun için İngiltere’de kurulu olan Hadley Güneş Çiftliği’nden faydalanmışlardır. Yapılan çalışmaya göre aynı güneş irradyans değeri, ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızında, esen rüzgârın yönündeki değişiklik ile güneş enerjisi panellerinin ürettiği enerji miktarında da farklılık oluşacağı tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda 42 adet güneş panelinin ürettiği enerjiler ayrı ayrı, rüzgâr yönüne bağlı olarak gözlemlendiğinde, güneyden esen rüzgârın etkisine maruz kalan panellerin hepsinin diğer yönlerde esen rüzgarlara göre çok daha fazla enerji ürettiği görülmüştür (Vasel ve Iakovidis 2017).

Ba ve arkadaşları (2018), güneş enerjisi panellerinin üstüne etkiyen çevresel parametrelerin tespiti ve bunların enerji verimliliğine etkisi ile FGPA(Alan Programlanabilir Kapı Dizisi) entegreli güneş enerjisi panel yönetim sisteminin enerji verimliliğini kıyaslamışlardır. Güneş enerjisi panellerinin testi sırasında yüzey sıcaklığı değeri ile güneş pili sıcaklığı arasında yüksek ölçüde korelasyon olduğunu tespit etmişlerdir. Güneş ışıınım değeri ile bu parametrelerin arasında bağıntı kurularak çıkış gücü için matematiksel formül geliştirilmiştir. Bu formülde Weibull olasılık yoğunluğu dağılımı model olarak kullanılmış ve geliştirilen model 2013-2016 yılları arasında yapılan ölçümlerle büyük ölçüde uyum göstermiştir (Ba ve ark. 2018).

Aly (2016), güneş enerjisi panellerinin üstüne etki eden kritik rüzgâr yükü hakkında çalışma yapmıştır. Bu çalışmaya göre açıkta bulunan güneş enerjisi santrallerinin rüzgâr yüküne olan dayanımı hakkında herhangi bir standart bulunmadığından bu konu ile ilgili hesaplama metodolojisi geliştirilmesi gerekmektedir. Araştırmacı, güneş enerjisi panellerinin rüzgâr tünellerinde test edilmesinin yeterli olmadığını savunmakta ve açık arazi için yapılacak CFD analizleri ile rüzgâr tüneli testlerinin arasındaki farkın geometrik ölçekten kaynaklandığını belirtmektedir. Bundan dolayı da tünel içi türbülanslı akışın teste dahil edilmemesi gerektiğini savunmaktadır (Aly 2016).

Hsu ve Wu (2017), açık arazide kurulu güneş enerjisi santrallerinin üstüne etkileyen rüzgârın soğutma etkisinin, güneş enerjisi panellerinin verimlerine olan etkisini incelemişlerdir. Rüzgâr hızı katılarak ve hariç tutularak güneş enerjisi panellerinin yıllık enerji üretim miktarları karşılaştırılmıştır. Enerji üretim miktarlarını veren algoritma olarak PSO(parçacık sürü optimizasyonu) kullanılmıştır. Veriler, Danimarka'nın Aalborg kenti için modellenmiştir fakat araştırmacılar kullanılan metodolojinin bütün şehirlerde uygulanabileceğini iddia etmektedirler (Hsu ve Wu 2017).

Chandra ve arkadaşları (2018), Hindistan, GLA üniversitesi, Mathura'da gerçekleştirdikleri deneyde, iki adet güneş enerjisi panelinin yıllık enerji üretimine, rüzgâr hızının etkisini araştırmışlardır. Bu işlemi okul laboratuvarında yapay rüzgâr oluşturarak gerçekleştirmişlerdir. Yapay rüzgâr oluştururken, mevsimlere göre yıllık rüzgâr hızı değerlerinden faydalanmışlar ve belirli süre zarfı için enerji üretiminde %5.07'lik artış gözlemlemişlerdir. Ayrıca biri deneysel diğeri simülasyon olarak yapılan çalışmalar sırasında bu iki yöntemin sonucunda üretilen enerji değerlerinin sırasıyla 431.28 Wh ve 439.98 Wh olduğunu gözlemlemişlerdir (Chandra ve ark. 2018).

Goverde ve arkadaşları (2015), hızı ve doğrultusu sürekli olarak değişen rüzgâr akımları altında bulunan güneş enerjisi panellerinin enerji üretimine ve bu tip rüzgârların panellerin soğuma hızına olan etkisini incelemişlerdir. İncelemeler rüzgâr tüneline 156x156 mm ebatlarındaki mini paneller üzerinde gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak bu tipteki hava akışının 21 C° ve daha fazla sıcaklık farkına yol açtığı gözlemlenmiştir. Ayrıca rüzgârın panel üstündeki sürtünmesinden dolayı üretilen ısının, rüzgârın konveksiyon etkisinden dolayı oluşturduğu ısı transferinin yanında ihmal edilebilir olduğu vurgulanmıştır (Goverde ve ark. 2015).

Kaldellis ve arkadaşları (2014), Güney Yunanistan bölgesinde, akıma kapalı bir binaya entegre güneş enerjisi panelleri (81 kWp) ve açık ortama entegre güneş enerjisi panelleri (150 kWp) üstünden 1 yıl boyunca veriler toplamıştır. Kendisinden ölçüm yapılan güneş enerjisi panellerinin arka yüzeyinde bulunan sıcaklık sensörleri sayesinde, hem üst yüzeyden akan rüzgâr bozulmamış ve ısının transfer edilmesine olanak verilmiş hem de güneş enerjisi panelinin çalışma sıcaklığının ve ortam sıcaklığının ölçülmesine

olarak sağlanmıştır. Sonuç olarak g sıcaklık katsayısı negatif çıkmış, $\pm 0.30/^\circ\text{C}$ ve $\pm 0.45/^\circ\text{C}$ değerleri arasında bulunmuştur. Bu sayılardan mutlak değerce dşk olan değerler, havalandırılmış güneş enerjisi panellerini temsil etmektedir (Kaldellis ve ark. 2014).

Kaplani ve Kaplanis (2014), güneş enerjisi panellerinin, rüzgâr hızı ve yönünün etkisi altındaki çalışma sıcaklıklarını incelemiştir. Çalışma bir yıl boyunca saat başı çevresel parametre verilerinin, iki eksen de güneş takibi yapan güneş enerjisi paneli üstünden toplanması şeklinde gerçekleşmiştir. Sistemin alışma sıcaklığını veren analitik ifade, enerji dengesi ifadesi üstünden gerçekleştirilmiş ve sistemin ısınmasını etkileyen faktörler tek bir katsayı üstünde toplanmıştır. Katsayı hem teorik hesaplamaların hem de deneysel çalışmaların birer kesişim ürünüdür. Simüle edilen modelde; doğal taşınım modelleri ve rüzgâr yönü bulunmaktadır (Kaplani ve Kaplanis 2014).

Armstrong, S. ve arkadaşları (2010), çalışmada gerçek çalışma koşullarında etkin güneş enerjisi panel sıcaklığının, rastgele değişen ortam sıcaklığına, dalgalanan rüzgâr hızlarına ve yönlerine tabi olduğunu belirtmişlerdir. Bir fotovoltaiik panelin alçaktan güçlü rzgrlara kadar termal davranışını doğrulayan deneysel sonuçlar sunmuşlardır (Armstrong, S. ve ark. 2010).

Barroso J.C.S. ve arkadaşları (2016), çalışmada bir güneş enerjisi panelinin sıcaklığının ve elektriksel veriminin tahmini için basit bir yaklaşım geliştirmeyi amaçlamışlardır. Bu alışma, değişen meteorolojik koşullara maruz kaldığında bir güneş enerjisi panelinin davranış ve yeteneklerinin daha iyi anlaşılmasına yöneliktir (Barroso J.C.S. ve ark. 2016).

Shahzada P. A. ve arkadaşları (2018), güneş enerjisi panel sıcaklığının kesin bir tahminini ve elektrik performanslarını doğru bir şekilde değerlendirmek için bu çalışmayı yapmışlardır. Bu nedenle, bu çalışmada temel amaçlardan biri, gerçekçi sınır koşullarını kullanarak güneş pili sıcaklığının tahmin doğruluğunu önemli ölçüde iyileştirmektir. Bu nedenle zamanla değişen saha koşullarında herhangi bir güneş enerjisi panelinin termal performansını tam olarak simüle etmek için ihtiyaç duyduğu

toplam gelen güneş ışınlamı, rüzgâr hızı ve ortam sıcaklığı gibi bilgilerle çeşitli hava koşullarında çok yönlü deneysel verilere ulaşılmıştır (Shahzada P. A. ve ark. 2018).

Literatürde bulunan; güneş enerjisinden elektrik üretimi, sıcaklık-güneş ışınlamı ve rüzgâr gibi çevresel parametrelerin panel verimine etkisi gibi konulardaki bazı çalışmalar yukarıda özetlenmiştir. Bu tez çalışmasında ise; Türkiye’de seçilen yirmi adet ildeki çevre sıcaklığı, rüzgâr hızı gibi çevresel parametrelerin, güneş enerjisinden elektrik üretiminde panel verimine olan etkisi MATLAB’da döngüsel program yazılmasıyla aylık ve yıllık olarak hesaplanmıştır.

2.1. Yenilenebilir Enerji

İnsanlar var olduğundan bu yana Dünya’daki nüfus da arttıkça nüfusla doğru orantılı olarak enerji ihtiyacı da artmıştır. Artan bu enerji ihtiyacını karşılamak isteyen ülkeler de günümüze kadar daha çok fosil yakıtlardan sağlanan enerjiyle bunu karşılama yoluna gitmişlerdir.

Petrol, kömür, doğal gaz gibi fosil yakıtların yakılmasıyla ortaya çıkan karbondioksit, azot, kükürt gibi zararlı gazlar ekosistemden atmosferin yapısına kadar bütün dünyayı tehdit etmektedir. Yani fosil yakıtların yarattığı olumsuzluklar sadece yakın çevreyle sınırlı kalmamakta ve atmosferde sera gazlarından bir örtü oluşturup küresel ısınma ve iklim değişikliğine yol açarak dünyadaki tüm yaşamı tehdit etmektedir. Ayrıca fosil yakıtların tükenecek olması nedeniyle bunlardan sonsuza dek enerji elde edilmesi mümkün değildir. 1973 yılında yaşanan petrol kriziyle birlikte insanoğlu, fosil yakıtların tükenebileceğinin, insanlar için gerekli olan büyük enerji ihtiyacının yenilenemeyen enerji kaynaklarıyla yani fosil yakıtlarla sonsuza dek karşılanamayacağının iyice farkına varmaya başlamışlardır. Böylece yenilenebilir enerji kaynakları insanların ilgisini daha çok çekmeye başlamıştır (www.ekolojist.net).

Yenilenebilir enerji, doğal çevredeki tekrarlamalı ve sürekli olarak ulaşılabilen kaynaklardan sağlanan enerji olarak tanımlanabilir. Sürdürülebilirliği olan ve doğal kaynaklardan elde edilen enerjiler olarak da tanımlanmaktadır. Yenilenebilir enerji

kaynakları; sera gazı salınımı yüksek olan fosil yakıtların kullanımını azalttığı için çevresel kirliliği azaltır, diğer enerji kaynaklarına göre daha temiz enerji kaynaklarıdır. Ayrıca enerji verimliliğinin artmasına yardımcı olduğu gibi enerjide dışa bağımlı olan ülkeler için de dışa bağımlılığı azaltan bir etkisi bulunmaktadır.

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım durumuna baktığımızda her geçen gün bu kaynaklardan faydalanma oranının artmasına rağmen hâlâ mevcut potansiyellerinin çok altında oldukları görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının daha da yaygınlaşmasının önünde bazı engeller bulunmaktadır. Bunlar; ilk yatırım maliyetinin yüksek olması ve pahalı kabul edilmeleri, kredi ve finansman olanaklarının sınırlı olması, geleneksel(fosil) kaynakların kullanılmasını destekleyen yapıların bulunması, enerji politikalarında ve planlarında yeterince öncelik verilmemesi ve dikkate alınmaması, toplumsal ve ekonomik yararları konusunda bilgi sahibi olunmaması gibi durumlardır. Tüm bunlara rağmen yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyetlerinin düşürülerek kullanımlarının yaygınlaştırılması hem enerji devamlılığı hem de çevreye ve ekosisteme karşı duyarlı olma gerekliliğinden oldukça önemlidir.

2.1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Çeşitleri

Yenilenebilir enerji; insan zaman ölçeğinde doğal olarak yenilenebilen kaynaklardan elde edilen ve güneş ışığı, rüzgâr, yağmur, dalgalar, gelgitler ve jeotermal ısı gibi doğal kaynaklardan faydalanılarak üretilen enerjiye denir. Bu türdeki enerji kaynakları, yenilenebilir oldukları için yenilenemeyen ve çok daha hızlı kullanılan fosil yakıtların tam tersidir (www.enerji.gov.tr).

Güneş enerjisi; yenilenebilir enerji kaynakları arasında ilk akla gelenlerden birisidir. Güneş enerjisi insanlık açısından nesiller boyu kullanılabilir tükenecek bir kaynaktır. Çünkü güneşte bulunan hidrojen yakıtının 5 milyar yıl ömrü olduğu tahmin edilmektedir. Diğer sistemlerle kıyaslandığında çok ileri bir teknolojiye ihtiyaç duymayan bu enerji türü basitçe kurulabilen paneller vasıtasıyla elektrik ve ısı enerjisine dönüştürülebilmektedir (www.enerji.gov.tr).

Rüzgâr enerjisi; havanın kinetik enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren türbinler yardımıyla elde edilen yenilenebilir enerji türüdür. Rüzgâr; Güneş'te gerçekleşen hava değişiminin atmosfere etki etmesiyle oluşmaktadır. Güneş, havanın ısınmasını sağlar. Bu ısınma da havanın kütesinin genişleyerek yükselmesine neden olur. Yükselen hava da atmosferin dışına çıkamayacağından ilk olarak dikey sonrada yatay hareket eder ve rüzgârların oluşmasını sağlar. Oluşan rüzgârın taşıdığı kinetik enerji asırlardır yelkenli gemilerde ve yel değirmenlerinde kullanılmıştır. Günümüzde ise rüzgâr türbinleri ile daha geniş çaplı olarak elektrik üretimi sağlanmaktadır (www.enerji.gov.tr).

Rüzgâr enerjisi santralleri coğrafi olarak bol rüzgâr alan yerlere kurulmaktadır. Bu santrallerin ana yapı elemanı rüzgâr türbinleridir. Rüzgâr türbinleri dönüş eksenlerinin doğrultusuna göre düşey eksenli ya da yatay eksenli olabilirler. Yatay eksenli rüzgâr türbinleri bunlar içinde en fazla kullanılanıdır. Bu türbinlerin dönme eksenleri rüzgâr yönüne paraleldir. Kanatları ise rüzgâr yönüne dik şekilde çalışmaktadırlar (www.enerji.gov.tr).

Günümüzde teknolojiye yaşanan gelişmelerle birlikte 1,0 MW ile 6,0 MW arasındaki güçlerde yatay eksenli rüzgâr türbinleri kullanılabilmektedir. Bir rüzgâr türbini, çevrede bulunan engellerin rüzgâr hızını değiştiremeyeceği yükseklikteki bir kuleye yerleştirilen gövde ve rotordan oluşmaktadır. Rotor, göbek ve kanat kısımlarını içermektedir. Kanatlar, epoxy ile güçlendirilmiş fiber karbondan ya da polyester ile güçlendirilmiş fiberglassdan yapılmakta ve çelik omurga ile desteklenmektedir. 3 kanadı bulunan yeni nesil rüzgâr türbinlerinin kanat çapları yüz metreye ulaşmaktadır. Yeni nesil rüzgâr türbinlerinin rotor göbekleri(hub) yerden altmış ile yüz metre arasındaki yükseklikte yer alan bir kulede bulunmaktadır. Bir rüzgâr türbininden elde edilebilecek enerji miktarında en önemli faktör türbinin hub yüksekliğindeki rüzgâr hızıdır. Türbinin hub yüksekliğinin artırılması sonucu rüzgâr hızının da artacağı gerçeği göz önünde bulundurulduğunda hub yüksekliğinin artırılmasıyla mevcut rüzgâr gücünden en yüksek seviyede yararlanılması sağlanacaktır (www.enerji.gov.tr).

Rüzgâr türbinlerinin, elektrik enerjisi üretebilmesi için belli bir seviyede rüzgâr hızı gerekmektedir. “Cut-in” olarak bilinen bu rüzgâr hızının altındaki rüzgâr hızlarında

sistem çalışmamaktadır. Rüzgâr hızının artmasına bağlı olarak da sistemden elde edilen elektrik enerjisi miktarı artmaktadır. Her bir rüzgâr türbini için belirli bir rüzgâr hızında, sistemden sağlanan güç en yüksek seviyeye ulaşmaktadır. Bu en yüksek gücü sağlayan rüzgar hızına “nominal hız” denilmektedir. Elde edilen en yüksek güce ise “nominal güç” adı verilmektedir. Rüzgâr hızı, nominal hız değerini aşsa bile sistemden elde edilecek güç yine nominal güç kadar olacaktır ve bu değeri aşmayacaktır. Ayrıca belirli bir rüzgâr hızından sonra sistem zarar görebilmektedir. Bu yüzden belirli bir rüzgâr hızından sonra rüzgâr türbinlerinin stop konumuna geçmesi otomatik olarak sağlanmaktadır. Bu rüzgâr türbinine zarar verebilecek olan maksimum hıza sistemin “Cut-out” hızı denilmektedir. Yani rüzgâr türbinleri Cut-in ile Cut-out rüzgâr hızları arasında enerji üretimini gerçekleştirmektedir. Yeni nesil rüzgâr türbinlerinin Cut-out hızları 25-30 m/s, nominal hızları 11-15 m/s ve Cut-in hızları ise 3-4 m/s civarındadır.

Hidrolik enerji; hızlı akan ya da belirli bir yükseklikten düşen sudan sağlanan enerjidir. Eski zamanlardan beri hidrolik güç yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak pek çok alanda kullanılmıştır. Örnek olarak; sulamada, su değirmeninde, değişik alanlardaki mekanik araçları(buğday değirmenlerini, hızarları, liman vinçlerini, büyük güçlü çekiçleri, endüstriyel makineleri, cevher ufalayıcılarını, asansörleri) çalıştırmada, basınçlı hava üretmek amacıyla suyla çalışan pompalarda ve başka mekanizmalara uzaktan güç verme işlemlerinde kullanılmıştır. Günümüzde ise dünyada elde edilen elektriğin önemli bir kısmı hidroelektrik santrallerinde üretilmektedir.

Hidroelektrik santraller(HES) hareket eden suyun gücünü elektriğe dönüştürmektedirler. Hareket eden sudaki enerji seviyesini suyun düşüş ya da akış hızı tayin etmektedir. Büyük bir nehirde akan su veya yüksek bir yerden düşen su büyük miktarda enerji taşımaktadır ve bunlardan yüksek seviyede enerji elde edilmektedir. Her iki yolla da boru veya kanal içine alınan su türbinlere doğru akıtılır ve elektrik üretimi sağlamak amacıyla pervane benzeri kolları bulunan türbinlerin döndürülmesi sağlanır. Türbinler, jeneratörlere bağlıdır ve mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmektedirler (www.enerji.gov.tr).

Jeotermal enerji; yerkürenin iç ısısından faydalanılarak ısıtma ve elektrik üretimi gerçekleştirme amacıyla kullanılan bir enerji türüdür. Jeotermal enerji, minerallerin radyoaktif bozunmasından ve gezegenin oluşumundan kaynaklanmaktadır. Jeotermal enerji kaynaklarının 3 temel bileşeni bulunmaktadır. Bu bileşenler; ısı kaynağı, ısıyı yeraltından yüzeye taşıyan akışkan ve suyun dolaşımını sağlamaya yeterli kayaç geçirgenliğidir. Gezegenin yüzeyi ile çekirdeği arasındaki sıcaklık farkı olan jeotermal gradyan, çekirdekten yüzeye doğru devamlı olarak ısı şeklinde termal enerji iletimi sağlamaktadır. Jeotermal enerjide faydalanılan ısı, Dünya'nın çekirdeğine doğru 6.400 km aşağıda yer alabilmektedir. Dünya'nın çekirdeğindeki sıcaklık 5.000 °C'nin üstüne çıkabilir. Isı, ilk olarak çekirdekten onu sarmış olan kayaya iletilmektedir. İletilen bu son derece yüksek sıcaklık ve basınç, genel olarak magma diye bilinen bazı kayaların erimesine sebebiyet vermektedir. Magma da, katı kayadan daha hafif olduğu için yukarı doğru kıvrılarak kabuktaki kayayı ve suyu bazen 371 °C'e kadar ısıtır. Bu ısı, merkezdeki sıcak bölgeden yeryüzüne doğru yayılarak yer altında bulunan suların ısınmasını sağlar. Böylece biz de jeotermal enerjiden faydalanma imkânı elde ederiz (www.enerji.gov.tr).

Biyokütle enerjisi; içinde karbonhidrat bileşikleri barındıran hayvansal ve bitkisel kökenli maddelerin kullanılmasıyla elde edilebilen bir enerji türüdür. Biyokütle enerjisi elde etmek için bitkilerden, hayvan dışkılarından, otlardan, yosunlardan, denizdeki alglerden, gübre ve sanayi atıkları ile evlerde atılan tüm organik çöplerden(meyve ve sebze artıkları) yararlanılmaktadır. Ayrıca enerji üretiminde kullanılmak amacıyla mısır, buğday gibi bitkiler özel olarak yetiştirilebilmektedir. Biyokütle enerji kaynaklarının kullanılmasıyla günümüzde biyogaz, biyodizel ve biyoetanol gibi yakıtlar üretilebilir. Biyogaz; organik maddelerin(bitkisel ve hayvansal atıklar, endüstriyel atıklar, şehir atıkları) oksijensiz ortamda fermentasyonu sonucunda oluşmaktadır. Havadan daha hafif olan biyogaz aynı zamanda kokusuz ve renksizdir. İçerisinde organik maddelerin bileşimine göre; metan(%40-%70), karbondioksit(%30-%60), hidrojen sülfür(%1-%3) ile çok az miktarlarda hidrojen ve azot barındıran bir gaz karışımıdır. Biyodizel ise kolza(kanola), aspir, soya, ayçiçek gibi yağlı tohum bitkilerinden elde edilebilmektedir. Bitkisel ya da hayvansal yağların kısa zincirli bir alkol ile(etanol, metanol) reaksiyona sokulması sonucunda üretilir ve yakıt olarak kullanılır. Hammadde olarak kullanılan

mısır, şeker pancarı, buğday ve odunsular ile nişasta, şeker ya da selüloz içeren tarımsal ürünlerin fermentasyonu sonucunda üretilip benzinle belirli miktarlarda karıştırılarak kullanılan yakıt ise bioetanoldür. Özellikle kırsal alanlarda ekonomik ve sosyal gelişmeye katkı sağlaması, her yerde elde edilebilmesi ve tükenmeyen kaynaklarının olması sebebiyle önemli bir enerji türü olarak görülmektedir (www.enerji.gov.tr).

Hidrojen enerjisi; doğada bileşikler halinde var olan hidrojen gazının işlenmesi ve dönüştürülmesi yoluyla elde edilen enerji türüdür. Aslında doğal bir enerji kaynağı değildir fakat yenilenebilir ve alternatif enerji kaynakları arasında da değerlendirilebilmektedir.

Hidrojen, birincil enerji kaynaklarından yararlanılarak üretilen sentetik bir yakıttır. Üretiminde su, fosil yakıtlar ve biyokütle gibi farklı hammaddeler kullanılmaktadır. Üretim metodu olarak buhar iyileştirme, foto süreçler, elektroliz, radyoliz, termokimyasal süreçler, atık gazların saflaştırılması gibi pek çok hidrojen üretim teknolojisi bulunmaktadır. Üretilen hidrojen, tankerler ya da boru hatlarıyla uzak mesafelere taşınabilir ve stoklanabilir. Bu özellik hidrojeni diğer enerji kaynaklarından ön plana çıkarmaktadır. Ama günümüz şartlarında diğer enerji kaynaklarına göre maliyetli olması sebebiyle yaygınlaşmamaktadır (www.enerji.gov.tr).

Dalga enerjisi; denizlerdeki dalgalanma hareketi sonrasında oluşan basınçtan yararlanılarak üretimi sağlanan enerji türüdür. Doğal ve sürdürülebilir bir enerji türü olan dalga enerjisinden, dalga jeneratörleri yardımıyla enerji üretimi sağlanmaktadır. Dalga enerjisi günümüzde fazla yaygınlaşamamıştır. Buna sebep olarak, dalga oluşumu fazla olan yerlerin sınırlı olması ve şiddetli rüzgârlarda dalga enerjisi türbinlerinin zarara uğraması gösterilmektedir (www.enerji.gov.tr).

Gelgit enerjisi; denizlerde oluşan gelgit olayından yararlanılarak elde edilmektedir. Gelgit enerjisinden faydalanmak için gelgit olayına özel olarak üretilen türbinler kullanılmaktadır. Bu türbinler, her iki tarafa doğru hareket etmektedirler. Türbinler, gelgit olayı ile kabarıp alçalan denizdeki seviye farkından faydalanılarak çalışmaktadır. Bu sayede elektrik üretilir fakat gelgit enerjisinden faydalanmak için bu türbinlere ilave

olarak gelgit barajı da gerekmektedir. Gelgit barajları doğaya zararlı değildir fakat kullanımları da kolay değildir. Çünkü bu barajlardan faydalanabilmek için önemli ölçüde gelgit olayına ihtiyaç duyulur. Bu nedenle kullanımları yaygınlaşamamıştır.

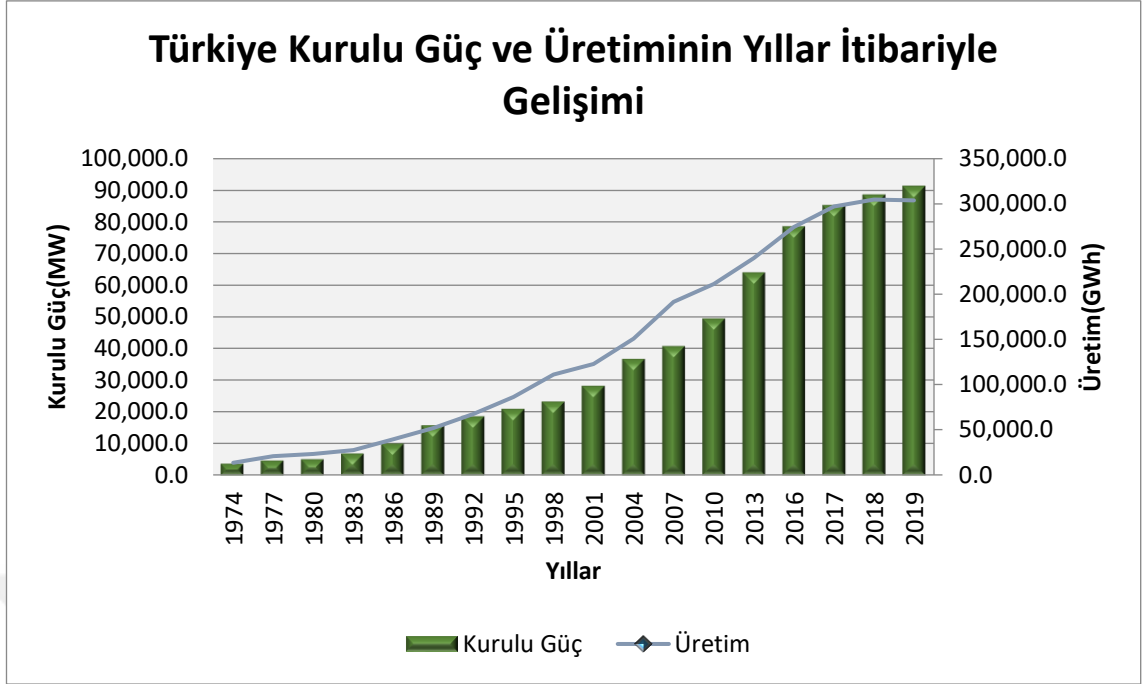
2.1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı

2020 yılındaki küresel yenilenebilir enerji kapasitesi takviyeleri, COVID-19 pandemisinden kaynaklanan ekonomik sorunlara rağmen artmıştır. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı(IRENA) tarafından açıklanan verilere göre, geçtiğimiz sene 260 GW'dan fazla yenilenebilir enerji kapasitesi eklenmiş ve 2019 yılında gerçekleşen genişleme, %50 civarında bir oranla aşılmıştır (<https://tr.euronews.com>).

2020'nin sonunda, küresel yenilenebilir üretim kapasitesi 2799 GW'a ulaşmıştır. Bunların içinde hidroelektrik hala en büyük payı(1211 GW) oluşturmaktadır. Ancak güneş ve rüzgâr enerjilerinden faydalanma oranı da gün geçtikçe hidroelektrik oranına yaklaşmaktadır. 2020 yılında güneş ve rüzgâr için sırasıyla 127 GW ve 111 GW yeni kurulumlarla kapasite artışı gerçekleşmiştir (<https://tr.euronews.com>).

Çin ve Amerika Birleşik Devletleri, 2020'de öne çıkan iki büyüme pazarı olmuşlardır. Günümüzde dünyanın en büyük yenilenebilir enerji pazarı olan Çin yenilenebilir enerji kapasitesine, geçen yıl büyük kısmı rüzgâr(72 GW) ve güneşten(49 GW) gelen 136 GW eklemiştir. Amerika Birleşik Devletleri güneş(15 GW) ve rüzgâr(14 GW) ile 2019 yılına göre, geçen yıl yaklaşık yüzde 80 oranında daha fazla yenilenebilir enerji kapasitesi kurmuştur. Afrika, 2019'dan biraz daha fazla olarak 2,6 GW'lık bir artışla istikrarlı bir şekilde genişlemeye devam ederken, Okyanusya en hızlı büyüyen bölge olmaya devam etmiştir(%18,4). Yine rapora göre yenilenebilir enerji kapasitesi artarken Avrupa'da, Kuzey Amerika'da ve Rusya gibi ülkelerde fosil yakıt üretimi de düşmüştür.

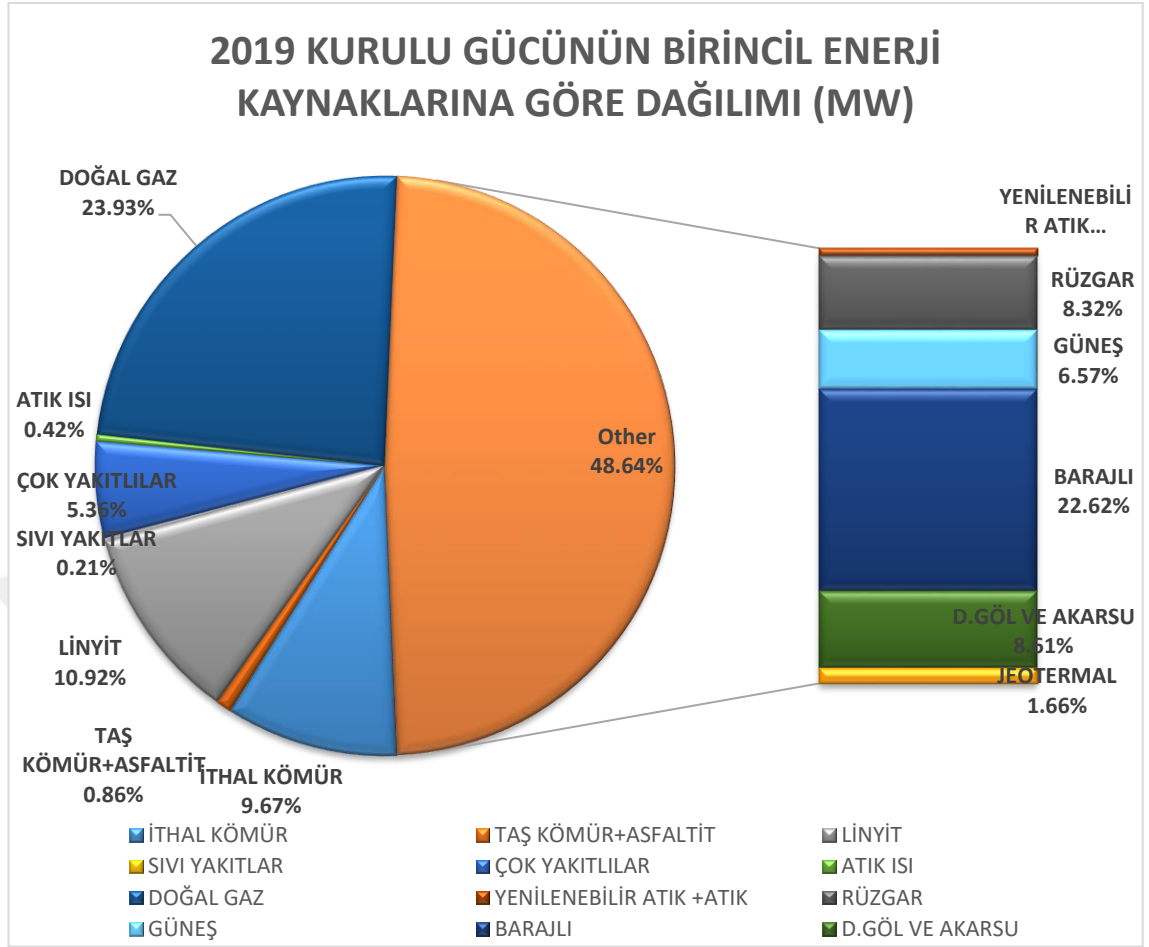
Dünyanın genelinde olduğu gibi Türkiye'de de hem enerji ihtiyacı hem de enerji üretimi her geçen gün artmaktadır. Bu kapsamda ülkemizdeki toplam kurulu güç de her geçen yıl artmaktadır. Bu artış Şekil 2.1.'de gösterilmiştir:



Şekil 2.1. Türkiye’deki enerji üretiminin ve mevcut kurulu gücün yıllar içerisindeki değişimi (www.teias.gov.tr)

Bu enerji ihtiyacının ve üretiminin artmasına karşın enerji üretiminde en fazla kullanılan fosil yakıt kaynaklarının giderek azalması ve bu kaynakların çevreyi kirletmesi sebebiyle Dünya’da %100 yenilenebilir enerjiye geçiş başlamıştır. Bu kapsamda alternatif bir enerji kaynağı olan yenilenebilir enerji kaynaklarına ve %100 yenilenebilir enerjiye yönelim Türkiye’de de artış göstermektedir.

Bu bağlamda ülkemizde de yenilenebilir enerji kaynaklarına ait kurulu gücün toplam kurulu güçteki payı her geçen yıl artmaktadır. Türkiye’nin toplam kurulu gücü 2019 yılına kıyasla 4.623,6 MW artarak 95.890,6 MW’ a ulaşmıştır. 2020 yılındaki kurulu gücü 2019 yılına göre %5,07 oranında artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretim sağlayan santrallerin kurulu güç toplamı 49.212,5 MW’ı bulmuştur. Bu değer toplam kurulu gücün yüzde 51,32’sine denk gelmektedir. 2019 yılında bu oran yüzde 48,64’de kalmıştır. Yani yenilenebilir enerji kaynaklarına ait kurulu gücün toplam kurulu güçteki payına baktığımızda da geçen yıla göre %3’e yakın bir artış gerçekleştiği görülmektedir. Toplam kurulu gücün kendi içerisindeki dağılımı da Şekil 2.2.’de gösterilmektedir:



Şekil 2.2. Türkiye’deki kurulu gücün enerji kaynaklarına göre dağılımı (www.teias.gov.tr)

Elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma konusunda hem Dünya’da hem ülkemizde her geçen yıl umut veren gelişmeler yaşanmaktadır. Gelişen teknoloji, azalan maliyet ve enerjinin sürdürülebilirliği düşünüldüğünde ülkelerin yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanma oranlarının önümüzdeki yıllarda da artarak devam edeceği ve yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji arzındaki paylarının da artacağı görülmektedir.

2.2. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, kaynağı Güneş olan ışık ve ısıdır. Güneş'in merkezindeki çekirdekte gerçekleşen füzyon süreci sonucunda oluşan ışıınım enerjisidir. Güneş, yaklaşık olarak %90 oranında hidrojenden meydana gelmektedir. Güneş'in içinde bulunan hidrojenlerin

birleşerek helyuma dönüşmesi ve bu dönüşüm gerçekleşirken yaşanan kütle kaybı karşılığında enerjinin ortaya çıkmasıyla “Güneş Enerjisi” oluşmaktadır.

Çekirdeğindeki sıcaklık 15,6 milyon °C, yüzey sıcaklığı 5500°C, radyasyon yoğunluğu ise yaklaşık olarak $6,33 \times 10^7 \text{ W/m}^2$ olan Güneş, sürekli çalışarak hidrojeni helyuma çeviren füzyon tepkimesi reaktörü gibidir. 2 hidrojen protonu füzyona uğradığında 1 nötron ve protona dönüşürken 1 pozitron ve elektron nötrinosu açığa çıkarmaktadır. Güneş’te 1 saniye içerisinde 1038 kez gerçekleşen bu füzyon tepkimesiyle $3,86 \times 10^{26}$ Joule enerji açığa çıkmaktadır. Bu 1 saniye içerisinde ortaya çıkan büyük enerji, 564 ton hidrojenin 560 ton helyuma dönüşmesi sırasında boşta kalan 4 milyon ton hidrojen kütesinin enerjisidir (www.enerjiportali.com).

Dünya’da bulunan atmosferin dışındaki güneş enerjisinin şiddeti 1370 W/m^2 civarındayken yeryüzüne gelen güneş enerjisinin şiddeti atmosfer tabakası yüzünden en fazla 1100 W/m^2 seviyelerine çıkabilmektedir. Güneşten yayılan enerjinin yalnızca 2,2 milyarda biri Dünya’ya ulaşmaktadır. Dünya’ya ulaşan enerji de yaşam için temel enerji kaynağı görevi görmektedir. Dünya’daki tüm enerji kaynakları(kömür, petrol, rüzgâr, su döngüsü...) güneş sayesinde oluşmaktadır. Meydana gelen tepkimeler sonrası oluşan Güneş enerjisi Dünya’ya hayat vermesinin yanında günümüzde teknolojinin de gelişmesiyle birlikte elektrik üretiminde de kullanılabilmektedir.

2.2.1. Güneş Enerjisinin Tarihsel Gelişimi

İnsanlar Güneş’in ısınma, aydınlanma, topraktan verim alma gibi çok sayıda yararını farkında olmadan en başından beri zaten kullanmışlardır. Güneş’in bir enerji kaynağı gibi görülerek bilinçli bir şekilde kullanılmasının M.Ö. 400’lü yıllara dayandığı söylenebilir. Sokrates, evlerin en çok güneş ışığı alabileceği yöne doğru inşa edilmesini teşvik etmiş ve insanların ışık ile ısıdan daha fazla yararlanmasını sağlamıştır. M.Ö. 218 yılında ise Arşimet, günümüzde İtalya sınırları içerisinde yer alan Sirakuza’yı Roma filolarından korumak için içbükey aynalarla güneş ışıınımını odaklamış ve Roma filolarını yakmayı başarmıştır. Galile’nin merceği bulmasıyla da 1600’lü yıllarda Güneş’ten yararlanmada farklı bir evreye geçilmiştir. 1725’de de Belidor güneş

enerjisiyle çalışabilen bir su pompası icat etmiştir. 1860'larda ise Fransız bilim insanı Mouchot, parabolik aynalar yardımıyla güneş ışınlamını odaklayarak küçük bir buhar makinesi icat etmiştir. Ayrıca Mouchot güneş ocakları ve güneş pompaları üzerine de birçok çalışma yapmıştır. Günümüzde hâlâ kullanılmakta olan modern solar hücre teknolojisi ise 1954 yılında Bell Laboratuvarları'nda üretilmiştir.

1. Dünya Savaşı nedeniyle 1914 yılında petrol önem kazanmıştır ve bunun sonucunda Güneş enerjisi alanında gerçekleştirilen çalışmalar sadece araştırma boyutunda kalmaya başlamıştır. Bu durum 1973 yılına kadar bu şekilde devam etmiştir. 1973'de petrol krizinin yaşanmasıyla birlikte ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarından daha çok faydalanma yoluna gitmişlerdir. Yapılan çalışmalar, yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde diğerlerine göre daha ucuz olduğu için Güneş enerjisi alanında yoğunlaşmıştır. Özellikle insanların evlerinde kullandıkları suyun ısıtılmasında Güneş enerjisinden faydalanmak amacıyla güneş topacları kullanılmaya başlanmıştır. Karbondioksit emisyonlarının azaltılması ve küresel ısınma gibi konuların gündeme gelmesiyle birlikte temiz bir enerji olan yenilenebilir enerjiye ilgi giderek artmıştır. Bunun sonucunda 1984 yılına gelindiğinde Los Angeles'taki Luz Corporation tarafından ilk endüstriyel tip enerji üretimi gerçekleştirilmiştir. Kurulan parabolik aynalı sistem vasıtasıyla 354 MW güç üretilmiştir. 1990'lı yıllarda bir tanesi 30 MW'lık Ürdün'de bir tanesi 10 MW'lık Kaliforniya'da olmak üzere 2 tane güneş kulesi sistemi kurulmuştur. 2000'lerin başında da güneş enerjisi alanındaki yatırımlar ve çalışmalar artarak sürmüştür. Özellikle fotovoltaiik sanayi üretimi büyük bir gelişme göstermiştir.

Günümüzde Güneş ışınlarından faydalanmak amacıyla birçok teknolojik gelişme yaşanmıştır. Bu teknolojilerin bir kısmı Güneş enerjisinden elektrik elde etmeye yararken bir kısmı da Güneş enerjisini direkt olarak ısı veya ışık enerjisi şeklinde kullanmaya yaramaktadır (www.nexten.com.tr).

2.2.2. Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları

Günümüzde güneş enerjisinden birçok alanda faydalanılmaktadır. Bunları sıcaklıklarına göre sınıflandıracak olursak 3 grup altında değerlendirebiliriz.

Düşük sıcaklıklarda(20°C - 100°C); sıcak su elde edilmesi, konutların ısıtılması-soğutulması, seraların ısıtılması, kurutma işlemleri, yüzme havuzu ısıtılması, deniz suyundan tatlı su elde edilmesi, tuz üretimi gibi alanlarda yararlanılmaktadır.

Orta sıcaklıklarda(100°C - 300°C); elektrik üretimi, büyük ısıtma-soğutma sistemleri, endüstriyel kullanım için buhar üretimi gibi alanlarda yararlanılmaktadır.

Yüksek sıcaklıklarda($>300^{\circ}\text{C}$); güneş fırınları ve güneş santralleri gibi alanlarda yararlanılmaktadır.

Güneş enerjisinin tükenmeyen-sürdürülebilir bir enerji kaynağı olması, temiz-çevreci olması, enerjiye ihtiyaç duyulan hemen her yerde kullanılabilir olması, işletme giderlerinin düşük olması, ülkeleri dışa bağımlılıktan kurtarması gibi özelliklerini düşündüğümüzde güneş enerjisi kullanımına hayatımızda daha fazla yer vermenin hem çevremiz hem de Dünya için daha faydalı olacağı görülmektedir.

2.2.3. Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisi

Enerji ihtiyacı artan birçok ülkenin dışa bağımlılık oranları da artmaktadır. Bunun sonucunda ülkeler de yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi sağlamak amacıyla bu alandaki teknolojilere daha fazla ilgi göstermeye ve bu alanlarda daha fazla yatırım yapmaya başlamışlardır. Dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de yenilenebilir enerji kaynaklarının, toplam enerji üretimi ve tüketimi içerisindeki oranı gün geçtikçe artmaktadır. Günümüzde dünyadaki neredeyse bütün ülkelerde güneş enerjisi ile az ya da çok elektrik üretimi yapılmaktadır.

2019 yılı sonunda Dünya’daki toplam güneş enerjisi kurulu gücüne baktığımızda küresel kapasitenin 650 GW’a yükseldiği görülmektedir. 2020 yılında da güneş enerjisi kurulu gücünde küresel kapasite artmaya devam etmiştir. Geçtiğimiz yılda gerçekleşen 125 GW’lık artışla birlikte güneş enerjisinin kurulu gücünde küresel kapasite 775 GW’a ulaşmıştır. Bu 125 GW’lık artışta en büyük payın 49 GW ile Çin’e ve 15 GW ile ABD’e ait olduğu görülmektedir. Bu artışla beraber güneş enerjisi kurulu gücünde küresel kapasite rüzgâr enerjisi kurulu gücündeki küresel kapasiteye yetişmiştir. Ayrıca

yenilenebilir enerji kaynakları kurulu gücünün küresel kapasitesinin 2799 GW'a ulaştığını göz önünde bulunduracak olursak güneş enerjisinin bundaki payının %28'lere ulaştığı görülmektedir (www.myenerjisolar.com).

Bu gelişmelere baktığımızda ilerleyen yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına ve dolayısıyla güneş enerjisine yapılan yatırımların her geçen sene artacağı öngörülmektedir. Hatta yenilenebilir enerji kaynaklarının 2025 yılına gelindiğinde kömürü 50 senelik tahtından ederek en çok elektrik üreten enerji kaynağı olması beklenmektedir.

Ülkemizde de her geçen sene hem güneş enerjisinin hem de yenilenebilir enerji kaynaklarının daha fazla kullanılmaya başladığı görülmektedir. Ülkemizde toplam kurulu güç 2020 yılında 95.000 MW'a yükselmiştir Bunun yaklaşık 49.000 MW ile %52'sine yakını yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu gücü oluşturmaktadır. Türkiye'de 2020 yılında güneş enerjisi kurulu gücüne 672 MW'lık kapasite ilave edilmiştir. Bu artışla beraber ülkemizdeki güneş enerjisi toplam kurulu gücü 6667 MW kapasiteye ulaşmıştır. Toplam kurulu gücün 95.000 MW olduğu düşünüldüğünde bunun içinde güneş enerjisi kurulu gücünün %7 civarı olduğu görülmektedir. 2021 yılında ise ülkemizdeki güneş enerjisi kurulu gücünün 1500 MW düzeyinde artacağı öngörülmektedir (www.myenerjisolar.com).

2.3. Güneş Enerjisi Santralleri

Güneş enerjisi santrallerini elektrik üretim yöntemleri yönünden değerlendirdiğimizde temel olarak termal sistemler ve fotovoltaik sistemler olarak 2 başlık altında incelememiz mümkündür. Bu iki sistem de birbirinden farklı özellikler taşımaktadır. Termal sistemlerde özel aynalar yoluyla güneş ışınları belirli bir noktaya yansıtılmaktadır. Yansıtılan bu noktalarda bulunan su, yağ ya da çözelti gibi sıvılar ısıtılarak bu ısıtılan sıvıyla termik sistemlerdeki gibi buhar basıncı yoluyla mekanik enerji, kinetik enerjiye dönüştürülmektedir. Fotovoltaik sistemlerde ise güneşten gelen radyasyon paneller vasıtasıyla elektrik enerjisine çevrilmektedir. Bu sistemlerden

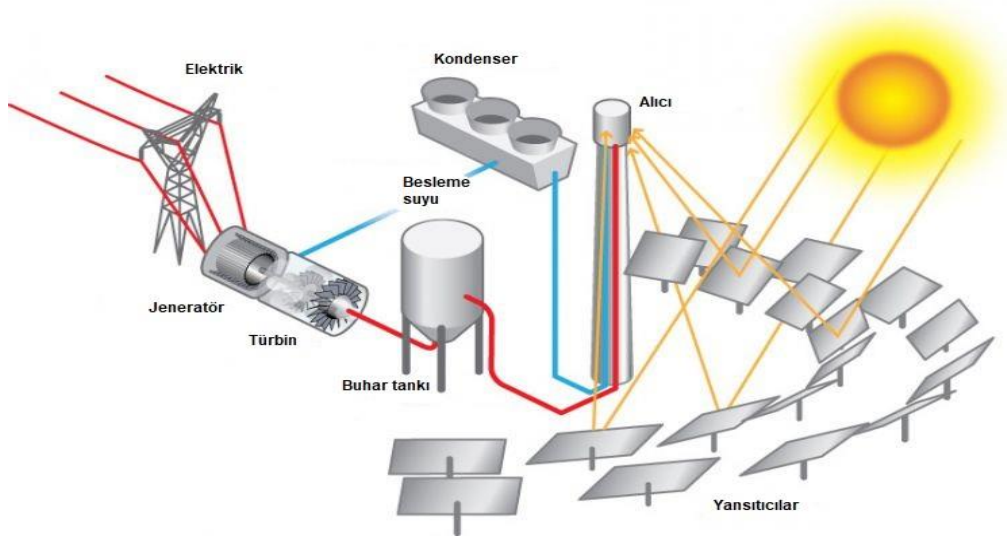
sağlanan DC elektrik enerjisi, cihazlar vasıtasıyla şebeke frekansına uygun olan AC elektrik enerjisine çevrilir ve kullanıma uygun hale getirilmiş olur.

2.3.1. Termal Sistemler

Güneşten gelen enerjinin sadece ısı kısmından yararlanılarak elektrik enerjisi elde etmeyi termal sistemler olarak adlandırabiliriz. Bu tür sistemlerde çoğunlukla güneş ışınları bir oranda yoğunlaştırılmaktadır ve uygun görülen akışkanın hareketiyle elektrik üretilmektedir. Bu akışkanlar genelde su, özel çözeltiler ya da hava olabilmektedir. Hareket eden bu akışkanların elektrik türbinini döndürmesiyle elektrik enerjisi elde edilmektedir. Kullanılan yöntemlere ve coğrafi konumlara göre oldukça elverişli ve verimli bir şekilde elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirilebilmektedir.

2.3.2. Merkezi Alıcı Sistemli Güç Santrali

Bu sistem türü, her biri güneşi takip eden heliostat denilen aynalardan ve bu aynaların güneş ışığını yansıttığı yüksek merkezi bir kuleden oluşmaktadır. Gün içerisindeki güneşin hareketlerine göre ayarlanan açılarda konum değiştiren aynalar, güneş ışığını direkt olarak merkezde bulunan kuleye yansıtmaktadırlar. Kulenin çevresinde bulunan çok sayıda aynanın yansıttığı güneş ışınları çok yoğun olarak kulenin tepesindeki alıcıya iletilir. Alıcı, güneşin ısını alıcıdan akan bir ısı transfer sıvısında toplar. Isı transfer sıvısı olarak; depolama ve elektrik üretimi gibi yönlerden sadece su kullanılan sistemlere göre daha elverişli olması sebebiyle tuzlu su kullanılması daha avantajlıdır. Alıcı içindeki sıvı ısınarak buharlaşır. Buhar yüksek sıcaklık ve basınca ulaşarak kulenin çoğunlukla alt kısmında konumlandırılmış olan elektrik türbinini döndürerek elektrik üretilmesini sağlar.



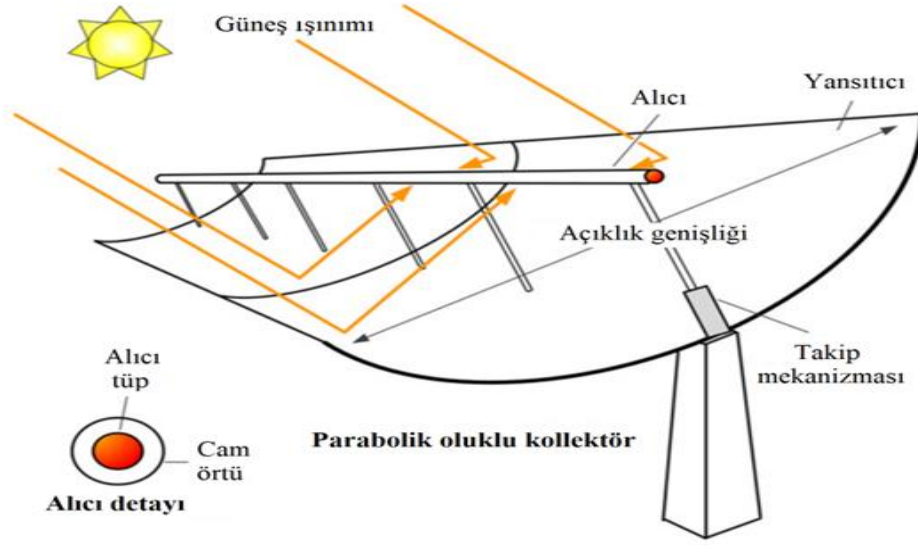
Şekil2.3.Merkezi alıcı sistemli güç santrali (www.yegm.gov.tr)

Bu tip güneş enerjisi sistemlerinde ilk kurulum biraz pahalı olmasına rağmen yüksek güçte elektrik üretilebilir. Merkezi alıcı sistemli güç santrallerinin kapasiteleri oldukça büyüktür. Çoğunda elektrik üretimi 10 MW veya daha fazladır. Merkezi alıcı sistemlerin optimum kapasite aralığı 50-400 MW arasındadır (Kalogirou 2009).

2.3.3. Parabolik Oluklu Kolektör Sistemli Güç Santrali

Parabolik oluklu kolektörler yansıtıcı bir malzeme tabakasını parabolik bir şekilde bükerek yapılmaktadır. Bu kolektörler sayesinde 50°C - 400°C aralığındaki sıcaklıklarda etkili bir şekilde çalışan hafif yapılı ve düşük maliyetli teknolojiye sahip sistemler elde edilebilir.

Parabolik oluğun iç yüzeyi yansıtıcılığı yüksek parlak bir malzemeye kaplıdır. Oluğun orta kısmında ince uzun bir alıcı cam tüp bulunmaktadır. Bu cam tüpün içinde de su ya da başka yüksek kaynama sıcaklığına sahip bir sıvı vardır. Genelde kullanılanlar; aromatik hidrokarbon, bifenil-difenil oksit gibi sıvılardır. Parabolik oluğun yüzeyinden yansıyan güneş ışınları yoğunlaşmış bir şekilde cam tüpe iletilir. Cam tüpün içindeki sıvı yoğunlaşmış güneş ışığının etkisiyle ısınır. Cam içinde ısınan sıvının etkisiyle kaynatılan suyun buharı elektrik türbinini döndürür ve elektrik enerjisi üretilir.



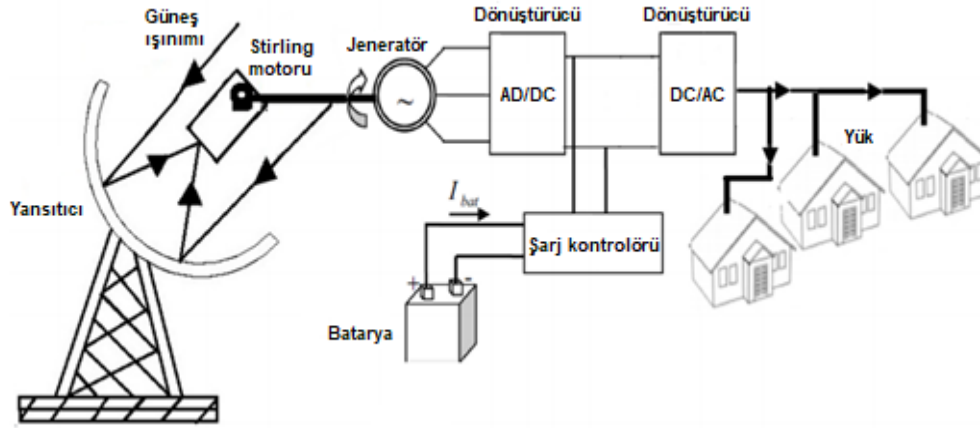
Şekil2.4.Parabolik oluklu kollektör (Cabrera vd. 2013)

Parabolik oluk sistemleri güneşi izleyebilecek şekilde yapılmaktadır. Parabolik oluk teknolojisi, sistemlerin üretimi ve pazarlaması için ticari bir endüstrinin gelişmiş olması nedeniyle güneş termal teknolojilerinin en gelişmişidir. Bu sistemler enerji elde etmede büyük bir potansiyele sahiptir.

2.3.4. Parabolik Çanak Sistemli Güç Santrali

Parabolik çanak sistemlerinde güneş ışığından yoğun bir şekilde faydalanmak için çanak şeklindeki parabolik aynalar kullanılmaktadır. Çanakların iç yüzeyleri güneş ışınlarını iyi bir biçimde yansıtabilecek bir malzeme ile kaplanmalıdır. Bu çanak şeklindeki parabolik aynalar, güneş ışınlarını çanak üzerine monte edilmiş bir alıcıya yoğunlaştırırlar. Çanağın üzerinde yer alan bu alıcı enerjiyi emer ve ısıyı yine çanak üzerinde bulunan stirling motora iletir. Çoğu zaman helyum, hidrojen gazı ya da hava kullanılan stirling motorlar ısınan gazın genleşmesi kuralına göre çalışır. Genellikle bulunan iki tane pistondan bir tanesi, sıcak gaz ve soğuk gazın yer değiştirmesini sağlarken diğeri ise motoru hareket ettirir. Alıcıdan gelen yüksek ısı enerjisi stirling motor içerisindeki gazı genişleterek pistonun itilmesini sağlar. Diğer piston ise sıcak gazla soğuk gazın yer değiştirmesini sağlar ve böylece motor hareket etmiş olur. Böylece stirling motoru da ısı enerjisini elektrik jeneratörü için gerekli olan mekanik

enerjiye dönüştürmüş olur. Ardından bir elektrik jeneratörü mekanik gücü elektrik enerjisine dönüştürür.

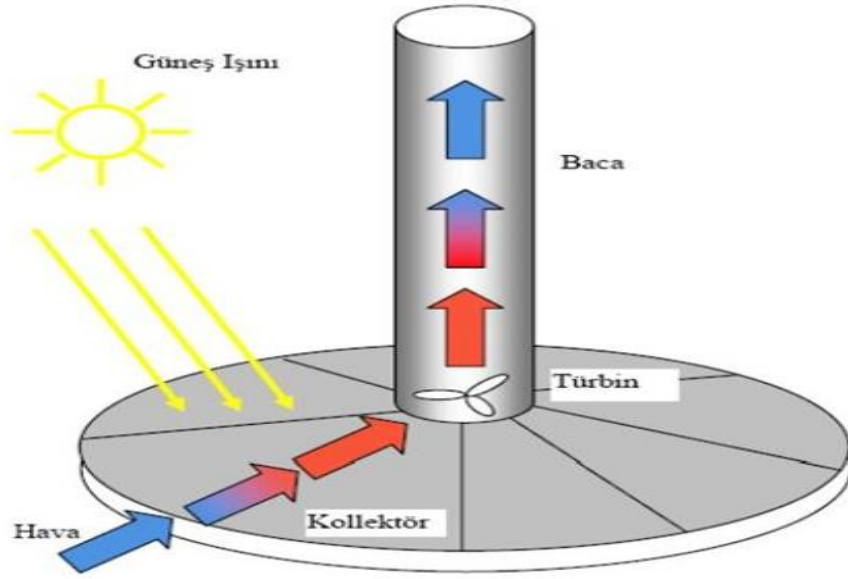


Şekil 2.5. Parabolik çanak Stirling motor sistemi (Batanieh ve Taamneh 2017)

Parabolik çanak sistemlerinde, güneşi takip etmek için çift eksenli bir izleme sistemi kullanılmaktadır. Bu sistemler, doğrudan gelen güneş radyasyonunun yaklaşık %30'unu elektrik enerjisine dönüştürerek, güneş enerjisi üretim sistemleri arasında yüksek verimlilik göstermişlerdir (EPRI Report 1986). 1500°C'nin üzerindeki sıcaklıklara ulaşabilirler. Yüksek verimli olmalarına rağmen, günümüzde henüz ekonomik olmayan sistemlerdir. İlerleyen yıllarda sistemin maliyetinin azalmasıyla daha yaygın kullanılması beklenilmektedir.

2.3.5. Güneş Bacası

Güneş bacası sistemlerinin basit çalışma prensipleri vardır. Bu sistemler çoğunlukla kolektör, türbin ve baca olmak üzere 3 kısımdan oluşan sistemlerdir. Kolektörler, yerden birkaç metre yükseklikte geniş bir alana kurulan camla kaplı seralardan oluşmaktadırlar. Kolektörlerden geçerek seranın içine giren güneş ışınları sayesinde seranın içindeki hava ısınır. Isınan sıcak hava güneş kolektörlerinin ortasında bulunan bacaya doğru hareket etmeye başlar. Bacanın içinde bulunan türbin havanın hareketi sayesinde tıpkı bir rüzgâr türbini gibi çalışır ve elektrik üretmeye başlar.



Şekil2.6.Güneş bacası sistemi (www.muhendistan.com)

Üretilen elektrik miktarı ortam sıcaklığına, seranın genişliğine, bacanın yüksekliğine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Sera alanının geniş ve bacanın yüksek olması elektrik üretimini artırabilmektedir. Seranın içerisine döşenecek su ya da tuz çözeltileri ile ısı depolanabilir ve güneş battıktan sonra da bu sistemden yararlanılarak elektrik üretimi sürdürülebilir. Bu, gün batımından sonra ısınan su ya da tuz çözeltisinin yavaş yavaş soğumaya başlayarak ortamdaki havaya ısı aktarımına devam etmesiyle gerçekleştirilir. Böylelikle sıcak hava akışı sürdürülerek türbin döndürülür ve elektrik üretimine devam edilebilir.

Güneş bacaları diğer güneş enerjisi santrallerine göre basit yapılı olması, maliyetlerinin nispeten daha düşük olması gibi yönleriyle avantajlıdır fakat verimlerinin daha düşük olduğu da unutulmamalıdır.

2.3.6. Fotovoltaik Sistemler

Fotovoltaik sistem ya da PV sistem, Güneş enerjisini kullanılabilir enerjiye çeviren sistemlere denilmektedir. Fotovoltaik sistemler, birçok bileşeni barındırırlar ve sistemin ana elemanı olan güneş panelleriyle Güneş ışığını soğurarak elektrik enerjisine dönüştürürler. Fotovoltaik sistemler, yoğun güneş gücü ile ısıtma ve soğutmada kullanılan başka teknolojilerle karıştırılmamalıdır. Çünkü ışığı direkt olarak elektriğe

çevirmektedirler. Fotovoltaik sistemler, binalara monte edilen birkaç Kilowatt'lık dar menzilli sistemler ya da güç istasyonlarından oluşan yüzlerce Megawatt'lık geniş menzilli sistemler şeklinde olabilirler (Yiğit, A ve Atmaca, İ. 2018).

2.3.7. Fotovoltaik Sistem Çeşitleri

Fotovoltaik sistem çeşitlerini elektriğin kullanım şekline göre sınıflandıracak olursak; şebekeye bağlı(on grid) sistemler ve şebekeden bağımsız(off grid) sistemler olmak üzere 2 başlık altında inceleyebiliriz.

Şebekeye Bağlı Sistemlerde; güneş panellerinden elde edilen elektrik enerjisi, şebeke bağlantılı inverterlere gelerek düzenlenmektedir. Düzenlenmesiyle birlikte elektrik hattına aktarılacak formaya dönüştürülmüş olur. Sistemden elde edilen elektrik tüketilen elektriği karşılıyorsa bu elektrik kullanılır. Panellerin ürettiği elektrik ihtiyaçtan fazla olduğunda ise şebekeye verilir ve üretilen bu elektrik kWh başına belli bir ücret karşılığında satılmış olur. Eğer üretilen elektrik yeterli seviyede değilse belli bir ücret karşılığında şebekeden satın almak da bu sistemler sayesinde mümkündür.

Şebekeden Bağımsız Sistemler; şebekenin bulunmadığı bölgelerde enerji üretmek, üretilen enerjiyi kullanmak ve depolamak amacıyla geliştirilmiş sistemlerdir. Gereken elektrik ihtiyacı sadece fotovoltaik sistemden karşılanabilir. Güneş panelinden elde edilen elektrik enerjisi şarj kontrol cihazı ile düzenlendikten sonra akülerde depolanır. Depolanan enerji de inverterler yardımıyla evlerde kullanılan elektrik enerjisine dönüştürülür. Güneşin olmadığı ya da yeterli elektriğin karşılanamadığı durumlarda elektrik ihtiyacının karşılanması için de bu depolanan enerjiden yararlanılmaktadır.

2.3.8. Fotovoltaik Sistemlerin Temel Elemanları

Fotovoltaik sistemlerde birçok ekipman yer almaktadır. Bu sistemlerde bulunan temel ekipmanlar; güneş panelleri, aküler, şarj kontrol cihazları ve çeviricilerdir. Bunlara ek olarak sistemin güvenli çalışabilmesi amacıyla bazı ilave ekipmanların da kullanılması gerekebilmektedir. Bunlara örnek olarak; sistemde cihazların bağlandığı kablolar, çeşitli

sayaçlar, güç izleyicileri, sigorta ve diyotlar, panel montaj malzemeleri ve akü dolabı gibi yardımcı ekipmanlar verilebilir.

Güneş Panelleri; bu sistemlerin temel parçasıdır. Güneşten elektriğin üretildiği kısımdır. Güneş hücrelerinin dizilişlerine ve alanlarına göre farklı kapasitelerde güneş panelleri mevcuttur. Günümüzde en fazla kullanılan güneş panelleri; 5W-275W kapasiteli güneş panelleridir (Yiğit, A ve Atmaca, İ. 2018).

Şarj Kontrol Cihazı; güneş panellerinden gelen enerjiyi düzenleyip sabitleyerek akülerin şarj edilmesi amacıyla stabil bir enerji oluşturan cihazlardır. Çünkü akülerin şarj edilebilmesi için voltajın ve akımın sabitlenmiş bir şekilde düzenli gelmesi gerekmektedir. Güneş panelinden gelen voltaj da sabit olmadığından, akülerin verimli şarj edilebilmesini bu cihazlar sağlamaktadır. Şarj kontrol cihazları, akü dolduğunda güneş panelinden gelen enerjiyi kesmektedirler. Ayrıca bu cihazlar, akülerden panellere gidebilecek ters akımı da engelleyerek aküyü aşırı yüklemelerden korumaktadırlar. Bu cihazların MPPT ve PWM olmak üzere 2 çeşidi bulunmaktadır.

Aküler; şebekeden bağımsız sistemlerde üretilen enerjiyi depo edip sonradan bu enerjinin kullanımına imkân sağlayan ekipmanlardır. Fotovoltaik sistemlerde çoğunlukla derin çevrimli bazı kurşun asit aküler, jel aküler ve özel opzs tip sulu aküler kullanılmaktadır. Sulu akülerin maliyetleri düşüktür ama bakım gereksinimleri fazladır. Jel tipi akülerin ise yüklenmesi yavaş gerçekleştiğinden verimleri düşüktür. Bu yüzden en fazla kurşun aküler tercih edilmektedir. Akülerin çalışması için en ideal sıcaklıklar 16°C ile 26°C arasındaki sıcaklıklardır. Bu nedenle aküler dışarıda bırakılmamalı, mümkünse vantilatör ve ısıtıcıların bulunduğu özel dolaplarda saklanmalıdırlar.

Çeviriciler(İnverterler); DC elektrik enerjisini AC elektrik enerjisine çeviren elektronik cihazlardır. Şebekeden bağımsız sistemler için tam sinüs, modifiye sinüs ve kare dalga olmak üzere 3 çeşidi bulunmaktadır. Bu sistemlerde genellikle tam sinüs ve modifiye sinüs modelleri kullanılmaktadır. Şebekeye bağlı sistemlerde kullanılan inverterler ise daha değişiktir. Şebeke bağlantıları için özel olarak üretilen bu inverterlerin panellerde güç düşümü gerçekleşmesi durumunda şebekeden yüke elektrik transferini sağlama ve

şebekeyle koordineli çalışma gibi özellikleri bulunmaktadır. Bunların da kendi içerisinde tek faz ve üç faz olmak üzere çeşitleri vardır (Yiğit, A ve Atmaca, İ. 2018).

2.3.9. Santrallerin Yer Seçiminde Etkili Faktörler

Güneş enerjisi santrallerinin yer seçiminde etkili faktörler, santrallerin kurulumundan işletme aşamasına kadarki bütün süreci ve elektrik üretimindeki maliyetleri direkt olarak etkilemektedir. Yer seçimi; çevresel etki, verimlilik ve yasal düzenlemeler gibi kriterlere göre belirlenmektedir. Genellikle verimlilik ön plana çıkarken çevresel etkilere fazla önem verilmemektedir. Bunlara ek olarak yönetmeliklerin ve yasaların teşvik edici ve kısıtlayıcı ve yönlerinin incelenmesi bu süreçte önem arz etmektedir.

Santralin verimliliği açısından baktığımızda; bölgenin güneş enerjisi potansiyeli, verimi etkileyen temel faktörlerden biridir. Bölgeye gelen güneş ışınımının günlük minimum 4,5 kWh/m² olması gerekmektedir (www.emo.org.tr). Türkiye, güneş ışınımı açısından oldukça potansiyeli olan bir coğrafi konumda yer alır. Bu özelliği verim açısından oldukça avantajlıdır. Fakat engebeli yeryüzü, çevredeki binalar ve bölgedeki doğal bitki örtüsü gibi gölgeleme yaratan faktörlerin, o bölgede yüksek ışınımın elde edilmesi halinde bile sistemin verimliliğini düşürdüğü unutulmamalıdır. Santralin kurulacağı bölgedeki yerel iklim koşullarının aşırı hava olaylarına(kar, aşırı yağış, rüzgâr vb.) sebebiyet vermesi de verimi etkilemektedir. Ayrıca kurulacak santralin enerji tüketim bölgelerine yakınlığı ve şebeke bağlantısının durumuna da dikkat edilmelidir. Zira elde edilen enerjinin uzakta yer alan tüketim bölgelerine iletilmesi enerji kaybına sebebiyet vermekte ve iletimdeki bu kayıp da verimliliği düşürmektedir. Verimliliği etkileyen bir başka faktör de soğutma amacıyla kullanılmak üzere su, yeraltı suyu kaynaklarına olan yakınlıktır. Bunların dışında zemin yapısı, fay hatlarından uzak olunması, toprak direnci, erişilebilirlik gibi konular da verimliliği etkileyen önemli faktörlerdir.

Çevresel açıdan baktığımızda da; kaynağı fark etmeksizin üretilen enerjinin çevreye çeşitli etkileri olduğu ve bunlara dikkat edilmesi gerektiği unutulmamalıdır. Güneş enerji santrallerinde elde edilen birim enerji miktarı diğer enerji santralleriyle kıyaslandığında güneş enerji santralleri için epeyce büyük bir alan gerektiği

görülmektedir. Bu santraller, beton temeller üzerindeki çelik kolonlarla birlikte çelik veya alüminyum destekler üzerine monte edilmektedirler. Bu yapının inşa edilebilmesi için arazi üzerindeki sazlık, çalı, ağaç, maki gibi bitki örtüsünün temizlenmesi gerekmektedir. Santralin bulunduğu alanda herhangi bir yangın olayı veya gölgelenme yaşanmaması için de temizleme işlemi belirli aralıklarla tekrarlanmalıdır. Tüm bunlar hem çevrenin zarara uğratılmasına hem de ek maliyete neden olduğundan bu konulara dikkat edilmelidir. Bunların dışında, güneş arazisi santrali için yer seçerken; seçilen arazinin orman ve tarım arazisi vasfı taşımamasına, turizm potansiyeli bulunan bir bölgede olmamasına, mera olarak kullanılan bir yer olmamasına, soğutma suyu ihtiyacı olduğundan suyun az bulunduğu bir bölgede olmamasına ve görsel kirlilik oluşturmaması açısından insan yerleşimine yakın yerlerde yapılmamasına dikkat edilmelidir. Büyük alanlara yayılan bu santrallerin, çevrelerinde yoğun bir ışık yansıması yarattığı ve ısı dengelinin bozulmasına sebep olduğu, bu santrallerin yakınında yapılan ölçümlerde yoğun yansıma ve ısı dengelinin değişiminden kötü etkilenen böceklerin, kuşların öldüğü ve kuşların göç hareketlerinin etkilendiği de unutulmadan doğru yer seçimi için maksimum hassasiyet gösterilmelidir.

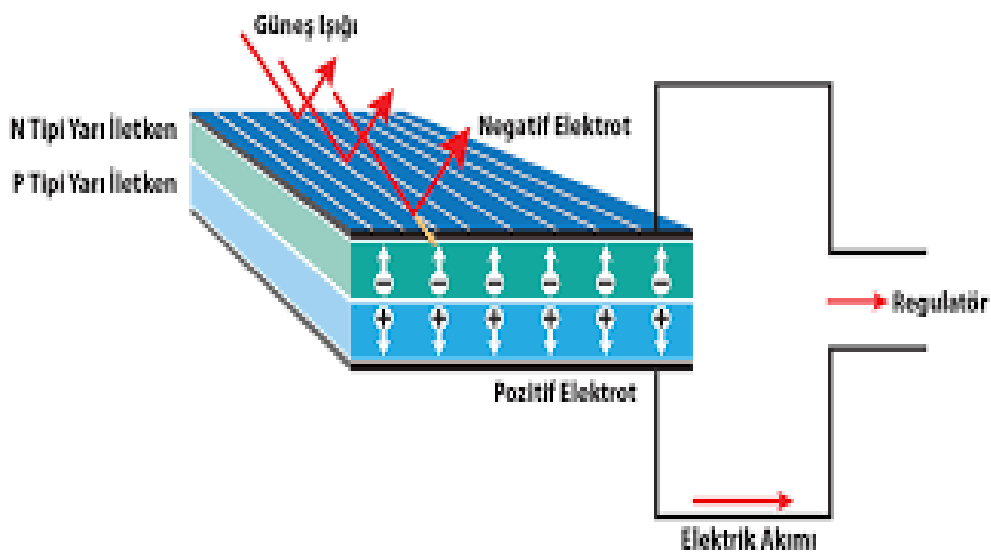
Yasal düzenlemeler de; güneş enerjisi santralleri için yer seçerken incelenmesi gereken bir konudur. Yasal düzenlemeler ile santral kurulumu konusunda teşvikler verilebilir veya belirli işlemler, alanlar yasaklanabilir. Bundan dolayı santral kurulumunu gerçekleştirmeden yasal düzenlemeleri incelemek de faydalı olacaktır.

Güneş enerjisi, elektrik ihtiyacımızı karşılamada en temiz enerji kaynaklarından biri olsa da görüldüğü gibi bazı durumlarda dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajları minimize etmek için de yer seçiminin önemini kavrayıp gerekli konularda hassasiyet göstererek hareket etmek faydalı olacaktır.

2.4. Güneş Pilleri

Güneş pili veya güneş hücresi, yüzeylerine düşen güneş ışığını doğrudan elektrik akımına çeviren(fotovoltaik) ve güneş panellerini oluşturan araçlardır. Yüzeyleri dikdörtgen, daire veya kare biçiminde olabilir. Alanları çoğunlukla 100cm²

civarındadır. Kalınlıkları ise 0,2 mm ile 0,4 mm aralığında değişmektedir. Güneş pilleri, güneş enerjisini %5 ile %20 arasındaki bir verimle elektrik enerjisine çevirebilir. Güneş pillerinin yapımında çoğunlukla silisyum/silicon, galyum arsenit, kadmiyum tellür(CdTe) gibi anorganik yarı iletkenler kullanılmaktadır. Yarı iletken olan malzemelerin güneş pili olarak kullanılabilmeleri için P ya da N tipi katkılanmaları gerekir. Bu işlem, istenilen katkı maddelerinin saf yarı iletken eriyik içine kontrollü bir şekilde ilave edilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Elde edilen yarı iletkenin P ya da N tipi olması katkı maddesine bağlıdır. Güneş pili yapımında en fazla kullanılan yarı iletken olan silisyum ile N tipi silisyum elde edilebilmesi için silisyum eriyiğine periyodik cetvelin 5A Gurubunda olan bir element eklenmelidir. Bu gruptaki elementlerin dış yörüngelerinde 5 ve silisyumun dış yörüngesinde 4 elektron olduğu için dış yörüngesinde 5 elektron bulunan elementler fazla olan elektronu vermektedir. Zaten bu nedenle de 5A Grubu elementlerine ‘N Tipi’ veya ‘verici’ katkı maddeleri denilmektedir. P tipi silisyum elde edilmesi için ise silisyum eriyiğine periyodik cetvelin 3A Grubunda olan elementlerden biri eklenmektedir. Bu elementlerin son yörüngelerinde 3 elektron olduğundan elektron eksikliği oluşmaktadır ve pozitif yük taşıdığı kabul edilmektedir. Bu tür maddelere ise ‘P Tipi’ ya da ‘alıcı’ katkı maddeleri denilmektedir. Gerekli katkı maddelerinin ilave edilmesiyle birlikte yarı iletken eklemler meydana gelmektedir.



şekil2.7.Güneş pillerinin yapısı (www.antalyaenerji.com)

Güneş pillerinin yapısı basitçe P ve N eklemden meydana gelen diyota benzemektedir. Güneş ışınlarının toplanabilmesi amacıyla jonksiyonun iki tarafına da metal kontaklar yerleştirilmiştir. Jonksiyon, P ve N tipi katkı maddelerinin yan yana getirilmesi sonucunda arada oluşan tampon bölgedir. Bu pillerin en üst tabakası da mümkün olan en fazla miktarda ışığı absorbe edip yansıtmayı da minimum seviyede tutacak anti yansıtıcı koruyucu bir malzemeyle kaplanmaktadır. P ve N tipi yarı iletken maddeler ışığın yansımısını engelleyen bu koruyucu tabakanın alt kısmında bulunmaktadır. Mekanik koruma sağlaması amacıyla da en dış yüzey saydam bir yapıştırıcı ile tutturulmuş camla kaplanmaktadır.

2.4.1. Güneş Pillerinin Çalışma Prensibi

Yarı iletken eklemlerin güneş pili olarak çalışabilmeleri için eklem bölgesindeki fotovoltaiik dönüşümün gerçekleşmesi gerekmektedir. Bu dönüşüm 2 basamakta gerçekleştirilir. İlk olarak güneş ışığının eklem bölgesine düşürülmesiyle elektron-hol çiftleri oluşturulmaktadır. Son aşamada da oluşturulan bu elektron-hol çiftleri bölgedeki elektrik alanı yardımı ile birbirinden koparılır. Birbirinden koparılan bu elektron-hol çiftleri güneş pilinin uç kısımlarında yararlı bir güç çıkışı oluşturmaktadırlar. Böylece elektriksel güç elde edilmiş olur (www.antalyaenerji.com).

Güneş hücresinin üzerine düşen güneş ışınımı arttıkça güneş hücresinden elde edilen elektrik akımı da artmaktadır. Güç çıkışını artırabilmek için çok sayıda güneş hücresi seri veya paralel şekilde birbirine bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilmektedir. İşte oluşturulan bu yapıya da güneş enerjisi paneli veya güneş pili modülü denilmektedir. Güneş enerjisi santral sistemlerinde gerilimin artırılması amacıyla güneş pilleri seri bağlanırken modül tarafından sağlanacak akımın artırılması amacıyla modüller paralel bağlanmaktadır. Bu şekilde birkaç W'tan MW'lara kadar sistem oluşturulabilmektedir.

2.4.2. Güneş Pili Çeşitleri

Güneş pillerini en temelde 1. Nesil kristal silikon yapıli güneş pilleri, 2. Nesil ince film güneş pilleri ve 3. Nesil nano yapıli güneş pilleri olmak üzere 3 başlık altında değerlendirebiliriz (Yiğit, A ve Atmaca, İ. 2018).

2.4.3. Kristal Silikon Yapılı Güneş Pilleri

Kristal silikon yapılu güneş pillerinde doğada çok bulunan silisyum elementi kullanılmaktadır. Silisyum dünyada çok miktarda olmasına rağmen saf halde bulunmaz. Silisyumu saf hale getirmek için silisyum kaynaklarının bazı işlemlerden geçirilmesi gerekmektedir. Doğada en fazla kumda bulunan silisyumun kumdan ayrıştırılması için genellikle büyük sıcaklıktaki fırınlarda ısıtılması yöntemi tercih edilmektedir. Fakat sadece bu işlem ile silisyum güneş pillerinde kullanılamaz çünkü bu işlemden sonra silisyumda ortaya çıkan %2'lik kirlilik oranı güneş pillerinde kullanılması için fazladır. Bunu düşürmek için silisyum, gaz formundaki hidrojen kloritle(hidro klorik asit) reaksiyona sokulur. Bu yolla silisyum istenmeyen maddelerden belli bir düzeyde arındırılmış olur fakat silisyum istenilen saflığa gelene kadar bu kimyasal işlemler tekrarlanması gerekmektedir.

İlk üretilen güneş pilleri işte bu silisyum ile üretilen kristal silikon yapılu güneş pilleridir. Verimleri %10 ile % 20 arasında değişmesine rağmen üretim kolaylıkları ve ucuzluğu sebebiyle piyasanın % 90'ına yakın bunlar kullanılmaktadır. Tek kristalli ve çok kristalli silikon güneş pilleri olmak üzere çeşitleri bulunmaktadır.

Tek Kristalli Silikon Güneş Pilleri

Tek kristalli silikon güneş pilleri yüksek saflıkta silisyum içermektedirler. Saf tek kristalin elde edilmesi için fazlasıyla zor ve maliyetli bir teknoloji gerekmektedir. Tek kristal silikon pillerinin bilinen ve en yaygın olarak kullanılan üretim metodu Czochralski Metodu'dur. Bu metoda göre yüksek saflıkta, yarı iletken dereceli silisyum, çoğunlukla kuvarsdan yapılmış olan 1.425°C sıcaklıktaki bir eritme potasında eritilir. Fosfor ya da bor gibi safsızlık katkılama atomları, erimiş haldeki silisyuma hassas ölçülerde eklenir ve eriyik, değişik elektronik özellikler içeren P tipi ya da N tipi silisyuma dönüştürülür. Sonra hassas bir şekilde yönlendirilmiş ve çubuğa monte edilmiş bir tohum kristali, erimiş silisyumun içerisine batırılır. Tohum kristali çubuğu yavaşça yukarıya çekilirken bir yandan da döndürülür. Dönme hızı, çekme oranı ve sıcaklık düşümleri hassas bir şekilde kontrol edilerek, eriyikten tek kristalli büyük bir silindirik külçe çıkarmak mümkün olmaktadır. Daha sonra yaklaşık 200 mikron kalınlıkta dilimlenerek tek kristal

silisyum bloklar oluşturulmasıyla işlem tamamlanır. Tüm bu aşamalar beraberinde yüksek maliyeti de getirmektedir. Yüksek maliyetine karşı verim açısından da tek kristalli güneş pillerinin verimleri daha fazladır. Bu değer %15 ile %18 arasında değişmektedir. Artan sıcaklıklarda da verimindeki azalma çok kristalli pillere göre daha düşüktür. Bu piller yapılarını uzun süre koruyabilirler ve kullanım süreleri uzundur.

Çok Kristalli Silikon Güneş Pilleri

Çok kristal silisyum piller, damarların kristal yapılarının birbirlerine yönlenmeleri dışında yapısal, optik ve elektriksel yönlerden tek kristal silisyum pillerle benzer yapıdadırlar. Kristalin kalitesiyle damarların büyüklükleri arasında doğru orantı bulunmaktadır. Damarlar arasında var olan süreksizlik özellikle elektriksel yük taşıyıcılarının aktarılmasında önemli derecede engelleyici rol oynamaktadır. Bu da çok kristal silisyum pillerin verimlerinin daha küçük olmasına neden olur.

Çok kristal silisyumun elde edilmesinde en fazla tercih edilen metot ‘Dökme’ metodudur. Başlangıç malzemesi, çok kristalli silisyumda da tek kristalli silisyumda olduğu gibi hazırlanmaktadır. Sonrasında erimiş yarı iletken kalitesindeki silisyum kalıplara dökülerek soğutulur. Soğuduktan sonra oluşan bloklar kare şeklinde kesilerek işlem tamamlanır. Bu teknolojiyle üretilen malzemelerden elde edilen güneş pillerinin verimleri daha düşüktür. Fakat üretim maliyetlerinin de daha düşük olması sebebiyle piyasada daha çok bunlar kullanılmaktadır.

2.4.4. İnce Film Güneş Pilleri

Güneş pilleri üretiminde kullanılan işçiliğin ve maliyetin düşürülmesi için yapılan çalışmalar sonucunda malzemenin tamamını kullanmak yerine yarı iletken malzemenin geniş yüzeyler üstüne ince bir film gibi kaplanması fikri ortaya atılmıştır. Güneş pili yapımında yararlanılabilecek pek çok yarı iletken malzemenin; düşük maliyeti olan plastik folyo, metal veya cam gibi tabakalar üzerinde geniş yüzeylere kaplanabileceği anlaşılmıştır. Verimleri öngörüldüğü gibi gerçekleşmemiş ve %10 civarında kalmıştır. İmalat yöntemlerinin daha basit ve üretim maliyetinin daha az olması sebepleriyle tercih edilmektedirler. İnce film teknolojilerinin en önemlileri; bakır, iridyum, selenyum

elementlerinin bir aralığı olan bakır iridyum-diselenid, kadmiyum ve tellür elementlerinden oluşan kadmiyum tellür ve amorf silisyum birleşik yarı iletkenleridir.

Amorf Silisyum; ince film güneş hücreleri içerisinde en fazla kullanılan güneş hücresidir. Kristal yapı özelliği göstermezler. Verimleri %5 ile %10 arasında değişmektedir. Günümüzde daha çok binaların enerji üretici ve dış koruyucusu olarak kullanılmaktadırlar. Ayrıca fazla büyük olmayan elektronik aletlerin güç kaynağı olarak da kullanılabilirler.

Kadmiyum Tellürid(CdTe); çok kristalli bir malzemedir. CdTe ile güneş pili maliyetlerinin önemli miktarda düşeceği tahmin edilmektedir. Yaklaşık %7 oranında verim elde edilmektedir.

Bakır İndiyum Diselenid(CuInSe₂); periyodik cetveldeki birinci, üçüncü ya da altıncı grupta yer alan elementlerin üçünün veya daha fazlasının bir araya gelmesiyle elde edilebilen yarı iletkenidir. Bu çok kristalli pilin de verimi %10 civarındadır.

2.4.5. Nano Yapılı Güneş Pilleri

Nano yapılı güneş hücreleri diğer yollarla üretilen güneş hücrelerinin daha küçük nanometrik boyutlara getirilmesiyle elde edilmektedir. Bu yöntem ile üretilen hücreler daha yüksek soğuruculuğa, sağlamlığa, verime ve üstün çalışma özelliklerine sahiptir. Nano teknoloji ile üretilen hücreler ortalama %10 daha verimlidirler. Bu teknoloji çok daha az yer kaplayan küçük boyutlarda sistemler oluşturmaya olanak sağlamaktadır. Böylece daha az alandan daha çok elektrik enerjisi üretilebilmektedir.

Yeni nesil güneş pilleri içerisinde en önde yer alan piller pervoskitler ve çok eklemlili(TANDEM) güneş pilleridir.

Perovskite, Gustav Rose tarafından Ural Dağları'nda 1839 yılında keşfedilmiştir. Rus mineralojisti Lev Perovski'nin adını almıştır. Perovskite, kalsiyum titanyumdan(CaTiO₃) oluşan bir kalsiyum titanyum oksit mineralidir. Oluşan bu yapıya

birçok farklı türde katyon katılabilir. Böylece üzerinde çeşitli mühendislik çalışmaları gerçekleştirilebilir. Perovskit, boya duyarlı güneş hücrelerini esas almaktadır. Yapılan ilk deneylerde, sıvı bazlı boya duyarlı güneş pili yapısında emilimi sağlanan perovskitin %3 ile %4 arasında güç verimliliğine sahip bir fotonik akım ürettiği görülmüştür. Perovskite kaplama koşullarının optimize edilmesiyle birlikte güç verimliliği 2 katına çıkarılmıştır. Çalışmaların ilerlemesiyle %20'lere ulaşan bir verimlilik seviyesine ulaşılmıştır.

Çok eklemli hücreler ise birden fazla P-N eklem bir araya getirilmesiyle oluşturulmaktadır. Tandem içerisinde yer alan her bir P-N eklem belirli bir dalga boyu aralığındaki ışığı soğurur ve kayıp dalga boylarını azaltarak verimin artırılmasını sağlar. Bu sayede tekli güneş pilleriyle ulaşılması neredeyse mümkün olmayan çok yüksek verimlere teorik olarak da olsa ulaşılacağı görülmüştür.

2.4.6. Güneş Pili Verimini Etkileyen Parametreler

Güneş pillerinin verimlerini etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak coğrafi konum, sıcaklık, gölgelenme, yüzey kirliliği(tozluluk), nem, rüzgâr verilebilir.

2.4.7. Coğrafi Konum

Coğrafi Konum; güneş pillerinin çalışmasındaki en önemli etkenlerden biridir. Çünkü güneş pillerinin bulunduğu coğrafi konum pillerin üzerine düşecek olan güneş ışıını hakkında bilgi vermektedir. Güneş ışıının şiddeti, pillerin üzerine düşen ışıının geldiği açı hücrelerin elektrik üretimini doğrudan etkiler. Bu nedenle bulunan enlem ve yılın hangi zamanında orada bulunduğu güneş pillerinin çalışmasında önemli etkenlerdir. Ayrıca güneş ışıının yeterince soğurulabilmesi için yansıtma oranı düşük olan malzemelerin güneş pillerinde kullanılması da güneş ışıınından yeterince yararlanabilme açısından önemlidir.

2.4.8. Sıcaklık

Sıcaklık; güneş pillerinin çalışmasını doğrudan etkiler. Pillerin sıcaklığının artması sonucunda panelin veriminde de bir düşüş gözlemlenmektedir. Sıcaklığın artmasıyla güneş pillerindeki bozunma artmaktadır. Bu da panellerin ömründe belli bir oranda azalmaya neden olmaktadır.

2.4.9. Gölgeleme

Gölgeleme; güneş pillerinin çalışmasını doğrudan etkileyen faktörlerden biridir. Panel üzerine düşen gölge güneş hücrelerine ulaşan ışığı azaltmaktadır. Hücrelere gelen enerjideki bu azalma da hücrelerin daha az enerji üretmesine sebep olur. Gölgelemenin bir diğer olumsuz etkisi ise kısmi gölgeleme etkisidir. Paneldeki yalnızca bir hücrenin gölgeleme sonucunda bile bütün panelin ürettiği enerjinin büyük oranda azalması söz konusu olmaktadır. Panellerde kısmi gölgeleme durumunda sistemin toplam çıkış gerilimi, gölgeli hücreden dolayı azalacaktır. Panelin çıkış gerilimi V_g aşağıdaki formül ile bulunur.

$$V_g = V_{n-1} - (R_{sh} + R_s)I$$

Burada;

R_{sh} =Paralel kaçak akım direnci,

R_s =Hücrenin iç direncidir.

Gölgeleyen hücre diğer hücrelere göre çok az enerji üretmeye başlar ve bir direnç etkisi oluşturur. Diğer hücrelerin ürettiği elektrik akımı da gölgelenen hücrenin üzerinden geçmeye başlar ve bu hücrede ani bir sıcaklık değişimi gözlenir. Yani paneller üzerindeki gölgeleme sadece üretilen elektrikte azalmaya neden olmakla kalmaz ve hücreler üzerinde aşırı ısınma yaratarak güneş panellerin ömrünün azalmasına da neden olur (www.dergipark.org.tr).

Güneş panellerin kurulması planlanan yerlerde gölgelenme olma ihtimaline dikkat edilerek seçim yapılmalıdır. Panellerin yakınında ağaçların, binaların veya gölgelenme yaratacak herhangi bir yapının olmamasına dikkat edilmelidir.

2.4.10. Yüzey Kirliliği(Tozluluk)

Yüzey Kirliliği(Tozluluk); güneş pillerinin verimini etkileyen bir diğer faktördür. Toz parçacıklarının birikmesi veya yağışlar sebebiyle oluşan kirlilik güneş pillerinin performansını düşürmektedir. Güneş panelinin yüzeyine gelen güneş ışınımının saçılma etkileri nedeniyle soğurulma miktarı düşer ve bu da elde edilen güçte kayda değer kayıplara neden olmaktadır (Saidan ve ark, 2016).

Güneş pilleri üzerinde oluşabilecek kirliliğin; saha iklim koşulları, nem, rüzgâr hareketi, toz özellikleri, toza maruz kalma süresi, güneş panelinin eğim açısı, panelin cam ve kaplama özellikleriyle yakından ilgisi bulunmaktadır.

2.4.11. Nem

Nem; rüzgârın taşıdığı tozların panel üzerine yapışmasına neden olarak güneş pillerinin temizliğini etkilemektedir. Ayrıca nemin artması ile paneller üzerinde su damlaları oluşur. Oluşan bu su damlaları güneş ışınlarının kırılmasına yol açar ve panellerin verimlerinin azalmasına neden olur. Panellerin üst yüzeyinin higroskopik(su tutmayan) PTFE tarzı şeffaf ve kirlenmeyi engelleyici maddelerle kaplanmasıyla hem hücrelerin sıcaklıklarının 1-2 derece düşürülmesi hem de tozların yapışması engellendiği için yüzey tarafından emilen ışıyım değeri artması sağlanmaktadır (Figgis ve ark. 2018).

2.4.12. Rüzgâr

Rüzgâr; panel sıcaklıklarını doğrudan etkileyen bir unsurdur. Dolayısıyla fazla ısınan güneş pillerinin soğumasına yardımcı olarak verimlerine olumlu yönde etkimektedir.

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. Güneş Enerjisi Hesaplarında Kullanılan Kavramlar

Güneş Sabiti(G_{SC}); Dünya'nın yörüngesindeki uzayda, birim alan başına düşen Güneş ışını miktarı olarak tanımlanmaktadır. Değeri 1366 W/m^2 kabul edilmektedir. Atmosfer bu enerjinin %6'sını yansıtırken %16'sını ise sönmölemektedir. Kalan 1020 W/m^2 deniz seviyesinde ulaşılabilen en yüksek miktardaki güneş enerjisidir (www.wikipedia.org).

Enlem Açısı(ϕ); Dünya'nın ekvator düzlemi ile yeryüzündeki herhangi bir noktasını dünya merkeziyle birleştiren doğrunun yaptığı açı olarak tanımlanmaktadır. Kuzeyi pozitif kabul edersek -90° ile 90° arasında değişmektedir. Türkiye 36° ile 42° kuzey enlemleri arasında yer almaktadır.

Deklinasyon Açısı(δ); ekvator düzlemiyle güneş ışınlarının yaptığı açı olarak tanımlanmaktadır. Bu açı dünyanın yörünge düzlemiyle yaptığı $23^\circ 27'$ lık açıdan dolayı ortaya çıkmıştır ve $-23,45^\circ$ ile $23,45^\circ$ arasında değişmektedir. Deklinasyon açısı aşağıda yer alan Cooper (1996) denklemi ile hesaplanmaktadır:

$$\delta = 23,45 \times \sin\left(360 \times \frac{284+n}{365}\right) \quad (3.1.)$$

Burada; n, 1 Ocak'tan itibaren gün sayısıdır.

Eğim Açısı(β); söz konusu yüzeyin yatay düzlem ile yaptığı açığa denir. 0° ile 180° arasında değeri alabilir.

Yüzey Azimut Açısı(γ); batıya doğru pozitif, doğuya doğru negatif, tam güneyde ise 0 olmak üzere yüzey normalinin yatay düzlemdeki izdüşümü ile güney doğrultusu arasındaki açıdır. -180° ile 180° arasında değeri alabilmektedir.

Güneş Azimut Açısı(γ_s); direkt güneş ışınımının yatay düzlemdeki izdüşümünün güney doğrultusundaki açısal yer değiştirmesi olarak tanımlanmaktadır.

Güneş Yükseklik Açısı; güneşin ufuk çizgisinden olan yüksekliğini tanımlamaktadır. Genellikle ‘ α ’ sembolü ile gösterilmektedir. Güneş ufukta iken yani doğuş ve batış anlarında güneşin yüksekliği 0° ’dir. Eğer güneş tepede ise o zaman yüksekliği 90° (zenit’de) olur.

Saat Açısı(ω); dünyanın kendi eksenini etrafında saatte 15° dönmesi sebebiyle yerel meridyenin batısı ya da doğusu yönünde güneşin açısal yer değiştirmesidir. Öğleden sonra pozitif, öğleden önce ise negatif olmaktadır. Aşağıda yer alan denklem ile ifade edilmektedir:

$$\omega = 15 \times (\text{GS} - 12) \quad (3.2.)$$

Güneş Geliş Açısı(θ); yüzeyin normali ile yüzeye gelen direkt güneş ışınlamı arasındaki açıya denir.

Zenit Açısı(θ_z); yatay yüzey($\beta=0$) için tanımlanan güneş geliş açısıdır.

$$\cos \theta_z = (\cos \delta)(\cos \phi)(\cos \omega) + (\sin \delta \sin \phi) \quad (3.3.)$$

Eşitlik 3; güneş batış saati açısı(ω_s) hesabı için çözülebilir. Güneşin batışında zenit açısı $\theta_z=90^\circ$ (yataya paralel) olur ve $\cos \theta_z=90^\circ=0$ olacağından güneş batış saat açısı(ω_s);

$$\cos \omega_s = -\tan \phi \tan \delta \quad (3.4.)$$

Gün uzunluğu(N) ise;

$$N = \frac{2}{15} \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) = \frac{2}{15} \omega_s \quad (3.5.)$$

3.2. Güneş Enerjisi Hesaplamaları

3.2.1. Atmosfer Dışında Yatay Düzleme Gelen Güneş Işınımı

Atmosfer dışında birim yatay düzleme herhangi bir anda gelen güneş ışınımı;

$$G_0 = G_{on} \times \cos \theta_z \quad , \quad (3.6.)$$

$$G_{on} = G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right) \quad (3.7.)$$

$$G_0 = G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right) \times (\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega) \quad (3.8.)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Burada; G_{on} : Atmosfer dışında yılın herhangi bir zamanında güneş ışınımına dik düzleme bütün dalga boylarında gelen güneş ışınımıdır.

Eşitlik 8'in gün doğuşundan gün batışına kadarki integrasyonu ile atmosfer dışında yatay düzleme gelen günlük güneş ışınımı (H_0) tespit edilebilmektedir (Yiğit ve Atmaca 2018).

$$H_0 = \frac{24 \times 3600 G_{sc}}{\pi} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right) \left(\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{2\pi \omega_s}{360} \sin \varphi \sin \delta \right) \quad (3.9.)$$

3.2.2. Yeryüzüne Gelen Güneş Işınımı

Yatay Düzleme Düşen Güneş Işınımı

Günlük Işınım Hesabı;

Öncelikle atmosfer dışında yatay düzleme düşen güneş ışınımını literatürde en fazla kullanılan ve Page tarafından verilen aşağıdaki denklemle buluruz;

$$\frac{H}{H_0} = \left(a + b \frac{n}{N} \right) \quad (3.10.)$$

Burada; H: Yatay düzleme gelen günlük toplam güneş ışınımı,

a,b: Bölgeye bağlı sabitler,

n/N: İzafi güneşlenme süresidir.

Bu ampirik bağıntıda verilen a ve b katsayıları güneş ışıınımı ve izafi güneşlenme süresi ölçümlerine bağlı olarak istatistiksel metotlar ile tespit edilmektedir. a ve b katsayılarının alacağı değerler bulunulan konuma göre değişmektedir. Türkiye için bu değerler aşağıdaki şekilde verilmektedir (Kılıç ve Öztürk 1980).

$$a=0.103+0.000017Z+0.198\cos(\varphi-\delta) \quad (3.11.)$$

$$b=0.533-0.165\cos(\varphi-\delta) \quad (3.12.)$$

Burada; Z: Deniz seviyesinden yüksekliktir.

Yeryüzünde yatay düzleme gelen günlük güneş ışıınımını bulurken izafi güneşlenme süresine bağlı olarak Eşitlik 10 kullanılabileceği gibi, günlük berraklık indeksine(K_T) bağlı olarak;

$$K_T = \frac{H}{H_0} \quad (3.13.)$$

eşitliği de kullanılabilmektedir.

Berraklık indeksine(K_T) bağlı olarak günlük yatay düzleme gelen yayılı ışıınımın(H_d) toplam ışıınıma(H) oranı da aşağıdaki eşitlikten bulunmaktadır (Tırıs 1997).

$$\frac{H_d}{H} = 0.703 - 0.414K_T - 0.428K_T^2 \quad (3.14.)$$

Anlık Işıınım Hesabı;

Yatay yüzeye gelen günlük güneş ışıınımından yararlanılarak anlık ışıınımın hesabını yapmak mümkündür. Yatay yüzeye gelen anlık toplam güneş ışıınımının(I) yine yatay yüzeye gelen günlük toplam güneş ışıınımına(H) oranı r_t olarak tanımlanmaktadır. r_t için verilen denklem aşağıdadır (Collares – Pereira ve Rabl).

$$r_t = \frac{1}{H} = \frac{\pi}{24} (a + b\cos\omega) \frac{\cos\omega - \cos\omega_s}{\sin\omega_s - (2\pi\omega_s/360)\cos\omega_s} \quad (3.15.)$$

Burada a ve b katsayıları;

$$a=0.409+0.5016\sin(\omega_s - 60) \quad (3.16.)$$

$$b=0.6609-0.4767\sin(\omega_s - 60) \quad (3.17.)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Yatay düzleme düşen toplam güneş ışınımının yayılı ve direkt kısımlarının tespiti de mümkündür. Bunun için (Tırıs 1997) tarafından elde edilen denklem;

$$\frac{I_d}{I}=0.788-0.802k_t, (0.265 < k_t < 0.6) \quad (3.18.)$$

şeklindedir.

Burada; k_t : Anlık berraklık indeksi,

I_d : Yatay düzleme düşen anlık yayılı ışınım,

I : Yatay düzleme düşen anlık toplam ışınım.

Anlık berraklık indeksi(k_t); yatay düzleme düşen anlık toplam ışınımın(I), atmosfer dışında yatay düzleme düşen anlık toplam ışınımına(I_0) oranı olarak hesaplanmaktadır.

$$k_t = \frac{I}{I_0} \quad (3.19.)$$

Eğik Düzleme Düşen Güneş Işınımı

Anlık Işınım Hesabı;

Eğik yüzeye gelen anlık ve günlük ışınım hesaplamalarında yatay düzleme düşen anlık ve günlük toplam ışınım miktarlarıyla bunların direkt ve yayılı ışınım kısımlarının miktarlarından yararlanılmaktadır.

Geometrik faktör R_b ; eğik yüzeye düşen anlık direkt ışınımın (I_{bT}), yatay yüzeye düşen anlık direkt ışınımına(I_b) oranı olarak tanımlanmaktadır. Kuzey yarımküre için bu değer aşağıdaki denklemden hesaplanır.

$$R_b = \frac{I_{bT}}{I_b} = \frac{\cos(\varphi - \beta)\cos\delta\cos\omega + \sin(\varphi - \beta)\sin\delta}{\cos\varphi\cos\delta\cos\omega + \sin\varphi\sin\delta} \quad (3.20.)$$

Eğik yüzeye gelen anlık direkt ışınım Eşitlik 19'dan hesaplanabilmektedir. Eğik yüzeye gelen anlık yayılı ışınım(I_{dT}) ise yatay yüzeye gelen anlık yayılı ışınım(I_d) vasıtasıyla;

$$I_{dT}=I_d \frac{1+\cos\beta}{2} \quad (3.21.)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Eğik yüzeye yansıyarak gelen ışınım(I_{ref}) ise;

$$I_{ref}=(I_b+I_d)\rho \left(\frac{1-\cos\beta}{2} \right)=I\rho \left(\frac{1-\cos\beta}{2} \right) \quad (3.22.)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Burada; ρ : Yerin yansıtma oranıdır. Yerde kar bulunması durumunda 0.7, bulunmaması durumunda ise 0.2 alınması tavsiye edilmektedir.

Eğik yüzeye düşen anlık toplam güneş ışınımı (Lui ve Jordan);

$$I_T=I_{bT}+I_{dT}+I_{ref} \quad (3.23.)$$

şeklinde yazılabilir.

Günlük Işınım Hesabı;

Eğik yüzeye düşen günlük toplam ışınım (Lui ve Jordan);

$$H_T=H\left(1 - \frac{H_d}{H}\right)\overline{R_b}+H_d \left(\frac{1+\cos\beta}{2} \right)+H\rho \left(\frac{1-\cos\beta}{2} \right) \quad (3.24.)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Burada; ($\overline{R_b}$), eğik yüzeye düşen günlük direkt ışınımın(H_{bT}), yatay yüzeye düşen günlük direkt ışınımına(H_b) oranı olarak tanımlanmaktadır. Kuzey yarımkürede güneye dönük yüzey($\gamma=0^\circ$) için aşağıdaki şekildedir.

$$\overline{R_b}=\frac{\cos(\varphi-\beta)\cos\delta\sin\omega_s+\left(\frac{\pi}{180}\right)\omega_s\sin(\varphi-\beta)\sin\delta}{\cos\varphi\cos\delta\sin\omega_s+\left(\frac{\pi}{180}\right)\omega_s\sin\varphi\sin\delta} \quad (3.25.)$$

Burada; (ω'_s) Güneş ışınlarının eğik yüzey üzerine ilk düşüş saat açısıdır. Eğik düzlemde aşağıdaki denklem ile bulunabilir.

$$\omega'_s = \min \left[\cos^{-1}(-\tan\phi \tan\delta), \cos^{-1}(-\tan(\phi - \beta) \tan\delta) \right] \quad (3.26.)$$

Denklemde kullanılan ‘min’in amacı bu iki değerden küçük olanın alınacağını göstermektir.

3.2.3. Fotovoltaik Panel Sıcaklığı ve Verimi Hesaplamaları

Panel sıcaklığı ve panel verimi ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bunların içlerindeki en basit bağıntı aşağıdaki şekilde verilmiştir (Meral ve Dinçer, 2011).

$$T_c = T_a + (T_{NOCT} - 20) \frac{I}{800} \quad (3.27.)$$

Burada;

T_c : Güneş pili sıcaklığı($^{\circ}C$),

T_a : Çevre sıcaklığı($^{\circ}C$),

I : Anlık güneş ışınlamı(W/m^2),

T_{NOCT} : Güneş pilinin normal sıcaklığıdır ve $45^{\circ}C$ olarak kabul edilmiştir.

Bu ifadeye bağlı olarak güneş pili verimi ise aşağıdaki denklem ile bulunmaktadır (Arslanoğlu ve ark., 2020).

$$\eta = -0.05T_c + 12.757 \quad (3.28.)$$

Güneş pili sıcaklığı ile ilgili verilen diğer denklemler aşağıda yer almaktadır (Akhasssi ve ark., 2018).

$$T_c = 30 + 0.0175(I - 300) + 1.14(T_a - 25) = T_a - k_{\Delta T} I \quad (3.29.)$$

Burada;

$k_{\Delta T}$ (Km^2/W): 0.02 ile 0.04 arasında alınabilen bir değerdir.

$$T_c = T_a + w \left(\frac{0.32}{8.91 + 2v} \right) I \quad (3.30.)$$

Burada;

v: Rüzgâr hızı(m/s),

w: Bir katsayıdır. Bu değer arazi üzerindeki paneller için 1, düz çatıda 1.2, eğimli çatıda 1.8 ve cephe kaplaması durumunda ise 2.4 alınmaktadır.

Güneş pillerinin oluşturduğu güneş paneli sıcaklığı ise aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır (Akhassi ve ark., 2018).

$$T_m = T_a + Ie^{(a+bv)} \quad (3.31.)$$

Burada;

T_m = Güneş paneli sıcaklığı,

a: -3.56,

b: -0.075 olarak alınacaktır.

Güneş paneli ile güneş pili sıcaklıkları arasında aşağıdaki eşitlik bulunmaktadır.

$$T_m = T_c + \frac{I}{I_0} \Delta T_0 \quad (3.32.)$$

Burada;

I_0 = 1000 W/m²,

ΔT_0 = 3 olarak alınabilir.

Panel tarafından emilen güneş ışınımının elektriğe dönüştürülemeyen kısmı dahili ısı olarak birikir ve güneş panelinin sıcaklığını yükseltir. Sıcaklığı artan panelden çevreye radyasyon ve konveksiyon şeklinde ısı transferi gerçekleşir (Aly et al., 2019);

$$mC_p \frac{dT}{dt} = Q - Q_r - Q_k \quad (3.33.)$$

Burada;

Q_r = Radyasyonla olan ısı transferi,

Q_k = Konveksiyonla olan ısı transferidir.

Panel yüzeyinden konveksiyonla olan ısı transferi aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır (Notton et al., 2005);

$$Q_k = h_k(T_{PV} - T_{amb}) \quad (3.34.)$$

Burada;

h_k = Isı taşınım katsayısı,

T_{PV} = Anlık kolektör sıcaklığı,

T_{amb} = Ortam sıcaklığıdır.

Panel dışarıda olduğundan ısı taşınım katsayısı kullanılırken rüzgârın etkisi de dikkate alınmalıdır (Cole ve Sturrock, 1997);

$$h_k = 11,4 + 5,7v \text{ (Rüzgâr alan yüzey için)}, \quad (3.35.)$$

$$h_k = 5,7 \text{ (Diğer yüzey için)}. \quad (3.36.)$$

Panelden ortam havasına radyasyonla ısı transferi ise aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır (Notton et al., 2005);

$$Q_r = F_{fb,amb} \epsilon \sigma (T_{PV}^4 - T_{amb}^4) \quad (3.37.)$$

Burada;

$F_{fb,amb}$ = Yüzeyin görüş faktörü,

ϵ = Yüzeyin ısıtım yayma özelliği (0,85 kabul edilmiştir),

σ = Stefan Boltzmann sabiti ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$).

Panel tarafından emilen güneş ışınlamı ile güneş pillerinde üretilen elektrik enerjisi arasındaki fark ise aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır (Aly et al., 2019);

$$Q = S x A_{PV} (1 - \eta_{PV}) \quad (3.38.)$$

Burada;

S = Yutucu yüzey tarafından yutulan ışınlam enerjisi,

A_{PV} = Kolektör alanıdır.

Yutucu yüzey tarafından yutulan ışıınım enerjisi aşağıdaki denklem ile bulunmaktadır (Yiğit, A ve Atmaca İ. 2018);

$$S = (\tau\alpha) \times I_T \quad (3.39.)$$

Burada;

$\tau\alpha$ = Yutma-geçirme çarpımı (0,875 kabul edilmiştir),

I_T = Anlık toplam güneş ışıınıdır.

Panel verimliliği için aşağıdaki formül kullanılmıştır (Aly et al., 2019);

$$\eta_{PV} = \eta_{PV,ref} [1 - \beta_{ref}(T_{PV} - T_{PV,ref})] \quad (3.40.)$$

Burada;

$\eta_{PV,ref}$ = Referans sıcaklığında elektriksel verim (0,134),

β_{ref} = Sıcaklık katsayısı (0,005),

$T_{PV,ref}$ = Referans sıcaklığıdır (25°C).

Çalışmada kolektör içindeki sıcaklık farkı yok sayılıp eşit kabul edilmiştir. Ayrıca gerekli yerlerde yapılan kabuller monokristal silikon güneş panelleri için yapılmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Tez çalışması kapsamında yukarıda bahsedilen formüller kullanılarak MATLAB’da bir algoritma oluşturulmuştur. Oluşturulan bu algoritma ile Güneş Enerjisi Santrali(GES) kurulumunu etkileyen çevresel parametreler incelenmiştir. Özellikle rüzgâr hızının güneş enerjisi paneli verimine etkisi saptanmaya çalışılmıştır. Bunu saptamak için rüzgâr potansiyeli bakımından yeterli seviyede bulunan 20 tane il seçilmiştir. Seçilen bu illerin 2020 yılına ait güneşlenme süreleri, rüzgâr hızları, günlük sıcaklık değerleri gibi ortama bağlı değişen verileri girilerek bu illerin günlük, aylık ve yıllık güneş ışıınımı değerleri, elektrik üretim miktarları elde edilmiştir. Elektrik üretimi miktarı; birim panel yüzeyi için hesaplanmıştır. Böylece rüzgârın soğutma etkisinin panel verimine etkisi görülmüştür.

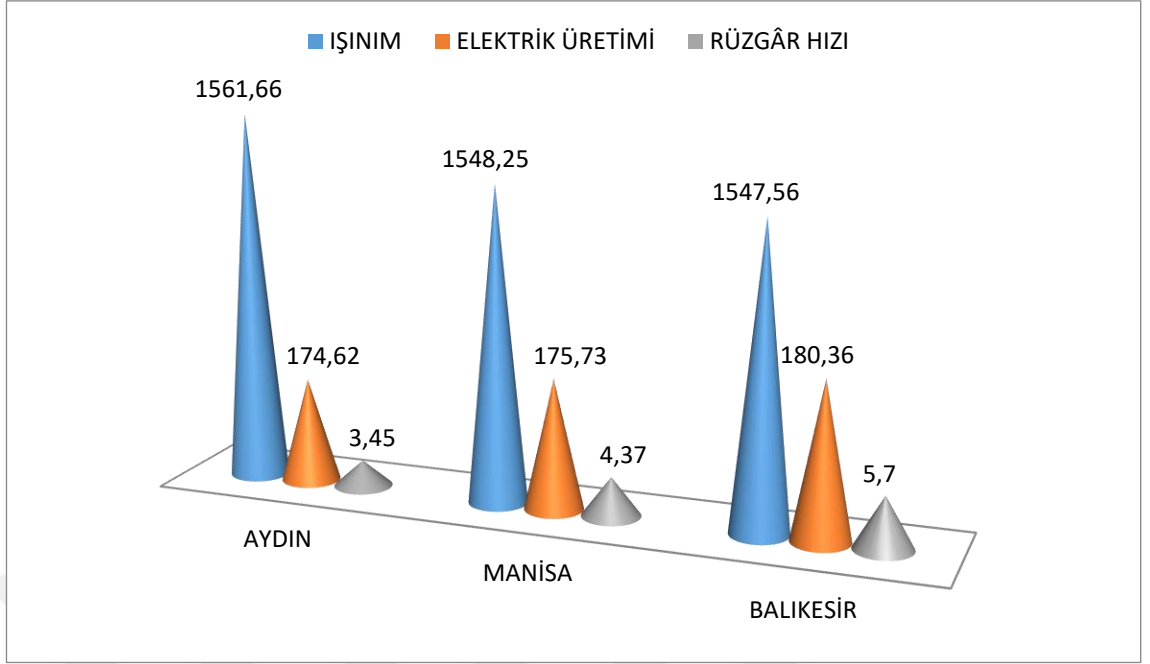
Elde edilen sonuçlar tablo, grafik haline getirilerek yorumlanmıştır. Oluşturulan tablo ve grafikler aşağıda yer almaktadır.

Örneğin; Çizelge 4.1’de rüzgâr potansiyeline göre seçilen illerin, MATLAB’da yapılan hesaplamalar sonucu bulunan yıllık toplam güneş ışıınımı değerleri, yıllık toplam elektrik üretimleri ve yıllık ortalama rüzgâr hızı değerleri yer almaktadır. Tablo incelendiğinde güneş ışıınımı artan yerlerde üretilen elektrik miktarının her zaman artmadığı, güneş ışıınımının yanında yeterli rüzgâr hızı olan bölgelerin daha verimli olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.1. 20 şehir için yıllık toplam güneş ışınlımı, toplam elektrik üretimi, ortalama rüzgâr hızı değerleri

	Işınım (kW/m²)	Elektrik Üretimi(kW/m²)	Hız(m/s)
AFYON	1610,37	187,38	3,86
AYDIN	1561,66	174,62	3,45
BALIKESİR	1547,56	180,36	5,70
BURDUR	1726,65	198,76	3,26
BURSA	1493,82	172,06	3,84
ÇANAKKALE	1597,24	184,59	6,36
EDİRNE	1442,48	166,65	4,52
HATAY	1656,64	184,49	3,43
İSTANBUL	1477,07	171,50	5,84
İZMİR	1733,57	195,08	5,09
KAYSERİ	1628,82	191,00	4,17
KIRKLARELİ	1354,80	157,27	5,20
KIRŞEHİR	1685,42	196,46	4,30
KONYA	1613,61	192,80	4,35
MANİSA	1548,25	175,73	4,37
MUĞLA	1693,34	192,81	3,56
OSMANİYE	1501,02	168,37	3,73
SİNOP	1367,25	159,26	5,19
ŞANLIURFA	1771,65	200,99	3,89
TEKİRDAĞ	1408,18	164,63	4,85

Tabloda yer alan şehirleri karşılaştırmak ve çevresel koşulların panellerin elektrik üretimine etkisini daha yakından inceleyebilmek için Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 grafikleri oluşturulmuştur:



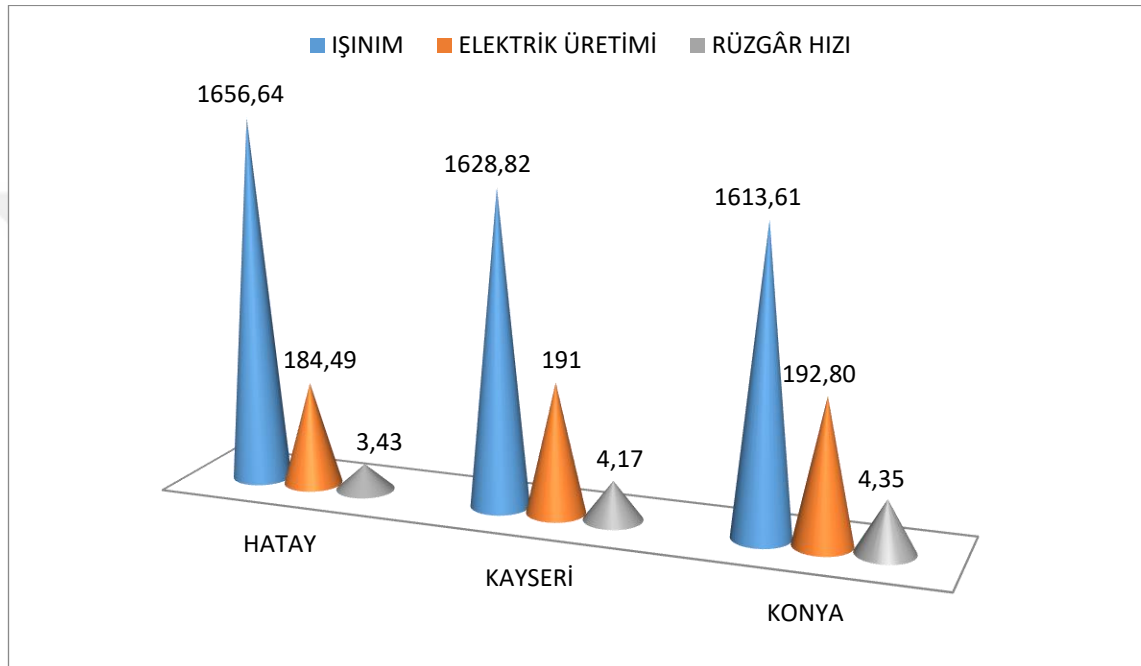
Şekil 4.1. Aydın, Manisa ve Balıkesir illeri için sabit açı değerlerinde gelen yıllık ışıınım (kW/m^2), üretilen elektrik (kW/m^2) ve yıllık ortalama hız (m/s) değerleri

Şekil 4.1’de Aydın, Manisa ve Balıkesir illerinin yıllık toplam güneş ışıınımı miktarları, ortalama rüzgâr hızı değerleri ve bunlara bağılı olarak da yıllık toplam elektrik üretim miktarları gösterilmektedir. Bulunan sonuçlar incelendiğinde en yüksek yıllık toplam güneş ışıınımı miktarının Aydın iline ait olduğı görölmektedir. Buna rağmen yıllık toplam elektrik üretim miktarında ise Manisa ve Balıkesir illerinin Aydın’ın önünde yer aldığı görölür. Bunun sebebinin rüzgâr hızı olduğı grafikten anlaşılmaktadır. Çünkü artan ortalama rüzgâr hızı ile yıllık toplam elektrik üretimi miktarı arasında doğıru bir orantı olduğı görölmektedir. Artan ortalama rüzgâr hızı, yıllık toplam güneş ışıınımı miktarı düşmesine rağmen verimi olumlu yönde etkileyerek panelin veriminin artmasında etkili olmuştur.

Aynı şekilde Manisa ilinin yıllık toplam güneş ışıınımı miktarı Balıkesir ilinden fazla olmasına rağmen yıllık toplam elektrik üretim miktarı Balıkesir ilinden düşük kalmıştır. Bu iki ilin ortalama rüzgâr hızlarına baktığımızda da yıllık toplam elektrik üretim miktarı fazla olan ilin yine ortalama rüzgâr hızının da fazla olduğı göze çarpmaktadır.

Yıllık toplam güneş ışıını en düşük olmasına karşın yıllık toplam elektrik üretimi en fazla olan Balıkesir ilinde bunun sebebinin ortalama rüzgâr hızı olduğu sonucuna grafikten ulaşılmaktadır.

Rüzgâr hızının panel verimine etkisinin incelendiği bir başka grafik de aşağıda yer almaktadır:



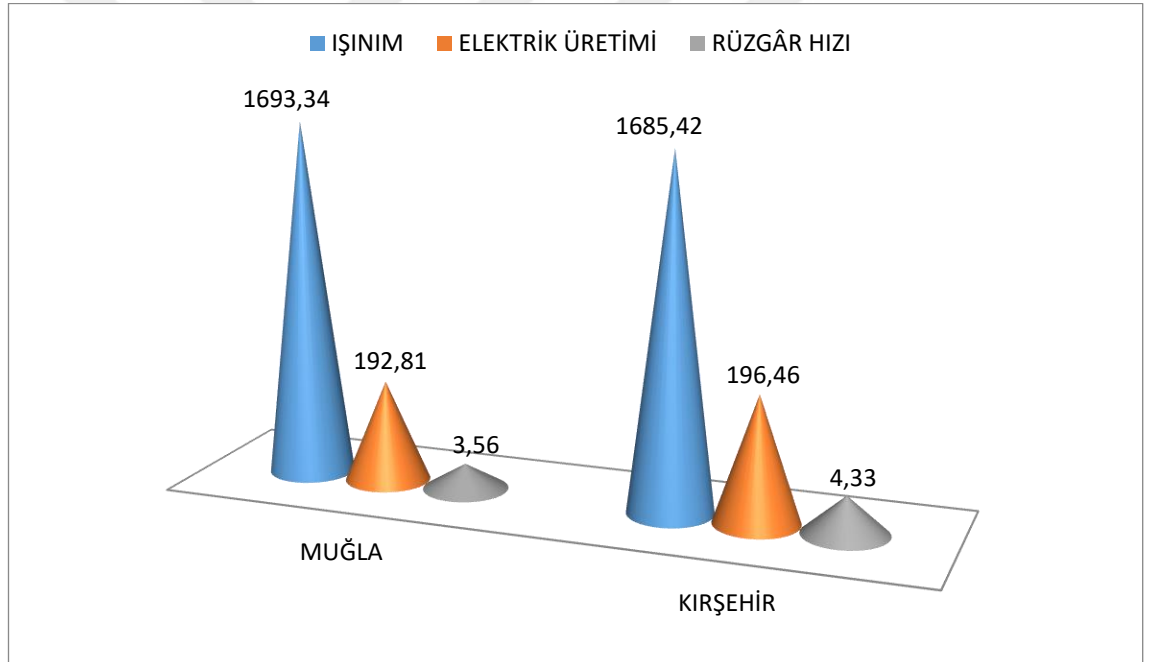
Şekil 4.2. Hatay, Kayseri ve Konya illeri için sabit aç değelerinde gelen yıllık ışıını (kW/m^2), üretilen elektrik (kW/m^2), ve yıllık ortalama hız (m/s) değeleri

Şekil 4.2’de de Hatay, Kayseri ve Konya illerinin yıllık toplam güneş ışıını miktarları, ortalama rüzgâr hızı değeleri ve bunlara bağı olarak da yıllık toplam elektrik üretim miktarları gösterilmektedir. Bulunan sonuçlar incelendiğinde en yüksek yıllık toplam güneş ışıını miktarının Hatay iline ait olduğu görölmektedir. Buna rağmen yıllık toplam elektrik üretim miktarında ise Kayseri ve Konya illerinin Hatay’ın önünde yer aldığı görölr. Bunun sebebinin rüzgâr hızı olduğu grafikten anlaşılmaktadır. Çünkü artan ortalama rüzgâr hızı ile yıllık toplam elektrik üretimi miktarı arasında doğru bir orantı olduğu görölmektedir. Artan ortalama rüzgâr hızı, yıllık toplam güneş ışıını miktarı düşmesine rağmen verimi olumlu yönde etkileyerek panelin veriminin artmasında etkili olmuştur.

Aynı şekilde Kayseri ilinin yıllık toplam güneş ışıınımı miktarı Konya ilinden fazla olmasına rağmen yıllık toplam elektrik üretim miktarı Konya ilinden düşük kalmıştır. Bu iki ilin ortalama rüzgâr hızlarına baktığımızda da yıllık toplam elektrik üretim miktarı fazla olan ilin yine ortalama rüzgâr hızının da fazla olduğu göze çarpmaktadır.

Yıllık toplam güneş ışıınımı en düşük olmasına karşın yıllık toplam elektrik üretimi en fazla olan Konya ilinde bunun sebebinin ortalama rüzgâr hızı olduğu sonucuna grafikten ulaşılmaktadır.

Şekil 4.3’de ise Muğla ve Kırşehir illerinin ışıınım, elektrik ve rüzgâr hızı değerleri karşılaştırılmıştır:

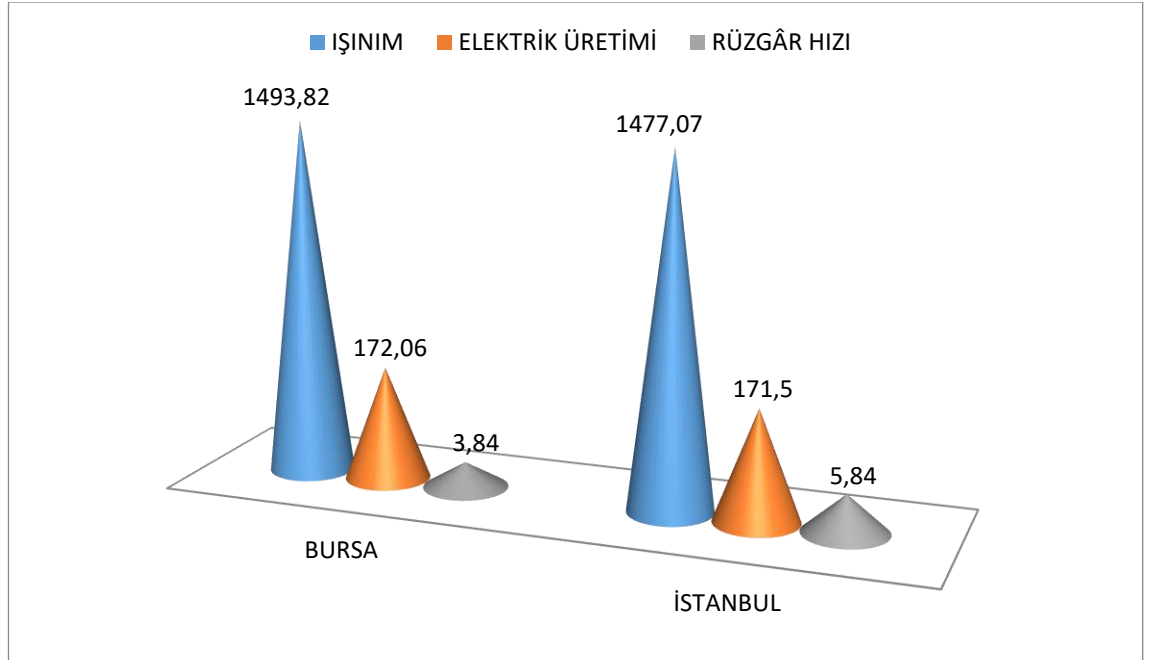


Şekil 4.3. Muğla ve Kırşehir illeri için sabit açıda gelen yıllık ışıınım (kW/m²), üretilen elektrik (kW/m²) ve yıllık ortalama hız (m/s) değerleri

Şekil 4.3’de Muğla ve Kırşehir illerinin yıllık toplam güneş ışıınımı miktarları, ortalama rüzgâr hızı değerleri ve bunlara bağlı olarak da yıllık toplam elektrik üretim miktarları gösterilmektedir. Muğla ilinin yıllık toplam güneş ışıınımı miktarına bakıldığında 1693,34 kW/m² ile Kırşehir ilinden fazla olduğu görülmektedir. Dolayısıyla Muğla ilinde birim alandan üretilen yıllık toplam elektrik miktarının da Kırşehir ilinden fazla

olması beklenebilir fakat Kırşehir ilinde birim alandan üretilen yıllık toplam elektrik üretim miktarının $196,46 \text{ kW/m}^2$ ile Muğla'dan fazla olduğu hesaplanmıştır. Bunun sebebinin ise Muğla'ya göre Kırşehir ilinde aynı elektrik üretim miktarındaki gibi artış gösteren yıllık ortalama rüzgâr hızı olduğu görülmektedir. Kırşehir ilinde yıllık toplam güneş ışıınımı miktarı daha az olmasına rağmen yıllık ortalama rüzgâr hızının daha fazla olmasıyla birim alandan elektrik üretimi de daha fazla gerçekleşmiştir.

Şekil 4.4'de Bursa ve İstanbul illerinin yıllık toplam güneş ışıınımı miktarları, ortalama rüzgâr hızı değerleri ve bunlara bağlı olarak da yıllık toplam elektrik üretim miktarları gösterilmektedir. Bursa ilinin yıllık toplam güneş ışıınımı $1493,82 \text{ kW/m}^2$ olarak gerçekleşmiştir. Birim alandan elde edilen yıllık toplam elektrik miktarı ise $172,06 \text{ kW/m}^2$ olarak gerçekleşmiştir. Bu değerlerin İstanbul ilinde elde edilen değerlerden fazla olduğu görülmektedir. Fakat İstanbul'daki yıllık toplam güneş ışıınımı miktarının daha az olması birim alandan üretilen yıllık toplam elektrik miktarını olumsuz etkilerken ortalama rüzgâr hızının fazla olması da neredeyse Bursa ili kadar elektrik üretimi gerçekleştirmesini sağlamıştır. İstanbul ilinin güneş ışıınımında yaşadığı olumsuz durumu ortalama rüzgâr hızında kapatmasıyla hemen hemen Bursa ili kadar elektrik üretimi gerçekleştirme potansiyeli olduğu görülmektedir.

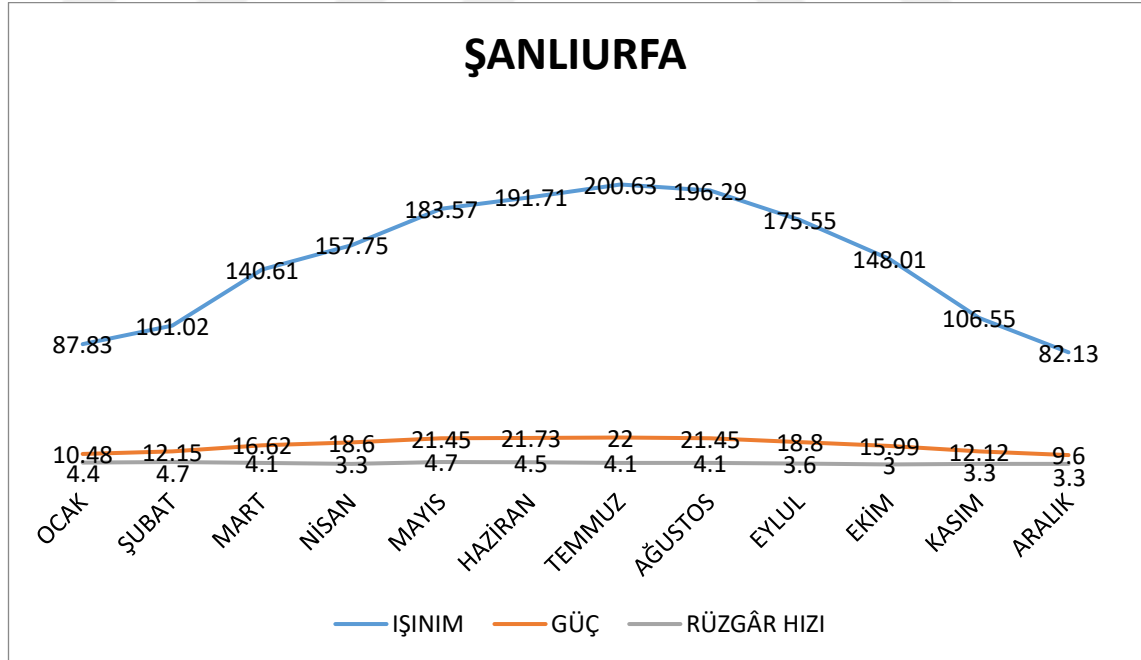


Şekil 4.4. Bursa ve İstanbul illeri için sabit açı değerlerinde gelen yıllık ışıınım (kW/m^2), üretilen elektrik (kW/m^2) ve yıllık ortalama hız (m/s) değerleri

Elde edilen sonuçlara göre oluşturulan tüm bu grafikler ve karşılaştırmalara göre güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminde çevresel faktörlerin oldukça etkili olduğu görülmektedir. Güneş ışıınımı miktarının artmasıyla elektrik üretimi artarken güneş ışıınımı miktarının azalmasıyla da elde edilen elektrik üretiminde azalma gerçekleşmiştir. Güneş ışıınımının daha az olduğu ve rüzgâr hızının arttığı bazı durumlarda da rüzgârın panele soğutucu etki etmesiyle elektrik üretiminde artış sağlandığı saptanmıştır.

Yukarıdaki grafiklerde elde edilen bu sonuçlara benzer sonuçlar iller kendi içinde değerlendirildiğinde de ortaya çıkmaktadır. İllerin on iki aylık değerleri incelendiğinde aylık toplam güneş ışıınımı miktarları, ortalama rüzgâr hızı değerleri ve bunlara bağlı olarak da aylık toplam elektrik üretim miktarları arasında benzer bağlantılar bulunmaktadır.

Mevsimsel koşulların, çevresel parametrelerin panel verimine yani elektrik üretimine olan etkisinin aylık olarak incelendiği Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 aşağıda yer almaktadır:

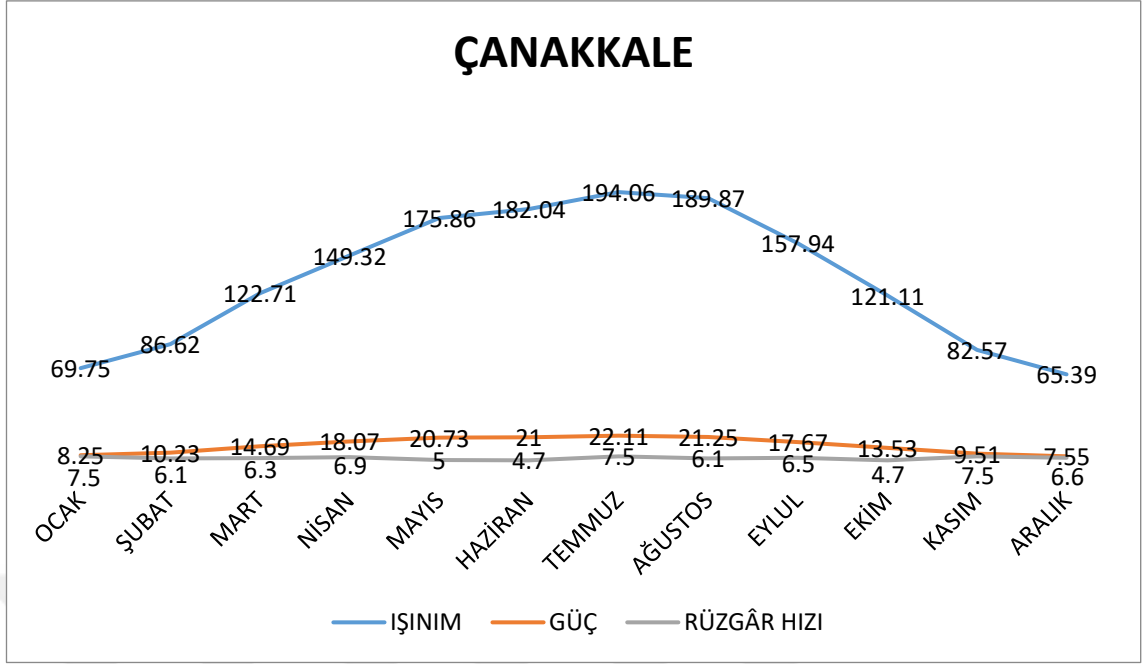


Şekil 4.5. Şanlıurfa ili için sabit aç değerlerinde gelen aylık ışıınım (kW/m²), üretilen elektrik (kW/m²) ve aylık ortalama hız (m/s) değerleri

Şekil 4.5’de Şanlıurfa ilinin aylık toplam güneş ışıını mı miktarları, aylık ortalama rüzgâr hızı değeri ve bunlara bağı olarak da aylık toplam elektrik üretim miktarlarındaki değışim gösterilmektedir. Mevsimsel olarak sıcaklıkların ve güneş ışıınının arttığı aylarda genel olarak elektrik üretim miktarında da artış sağılanmıştır. Fakat bazı aylarda güneş ışıını mı miktarının daha az olmasına rağmen artan ortalama rüzgâr hızıyla birlikte elektrik üretiminin de arttığı görölmektedir. Örneğin; Mayıs ve Ağustos ayları karşılaştırıldığında bu durum göze çarpmaktadır. Ağustos ayında aylık güneş ışıını mı miktarının $196,29 \text{ kW/m}^2$, Mayıs ayında ise $183,57 \text{ kW/m}^2$ olarak gerçekleşmesine rağmen her iki ayda da elektrik üretim miktarlarının $21,45 \text{ kW/m}^2$ olarak gerçekleştiğı görölmektedir. Bunun sebebine baktığımızda Mayıs ayındaki ortalama rüzgâr hızının ($4,7 \text{ m/s}$) Ağustos ayındaki ortalama rüzgâr hızından ($4,1 \text{ m/s}$) fazla olduğı göze çarpmaktadır. Rüzgâr hızının fazla olması, Mayıs ayında güneş ışıınının daha az olmasına rağmen verimi artırmış ve Ağustos ayındaki elektrik üretimi ile Mayıs ayındaki elektrik üretiminin aynı seviyede olmasını sağılamıştır.

Haziran ayı ile Ağustos ayı kıyasladığında da benzer durum göze çarpmaktadır. Haziran ayındaki güneş ışıını mı miktarı ($191,71 \text{ kW/m}^2$) Ağustos ayındaki güneş ışıını mı miktarından ($196,29 \text{ kW/m}^2$) daha az olmasına rağmen elektrik üretim miktarlarına baktığımızda Haziran ayındaki elektrik üretim miktarının ($21,73 \text{ kW/m}^2$) Ağustos ayındaki elektrik üretim miktarından ($21,45 \text{ kW/m}^2$) daha fazla olduğı görölmektedir. Bunun sebebi ise Haziran ayındaki ortalama rüzgâr hızının ($4,5 \text{ m/s}$) Ağustos ayındaki ortalama rüzgâr hızından ($4,1 \text{ m/s}$) fazla olmasıdır. Rüzgâr hızının fazla olması, Haziran ayında güneş ışıınının daha az olmasına rağmen verimi artırmış ve Ağustos ayındaki elektrik üretimine göre Haziran ayında daha fazla elektrik üretimi olmasını sağılamıştır.

Mart ayı ile Ekim ayı, Şubat ayı ile de Kasım ayı karşılaştırıldığında da benzer durumların olduğı görülecektir.



Şekil 4.6. Çanakkale ili için sabit açı değerlerinde gelen aylık ışıınım (kW/m^2), üretilen elektrik (kW/m^2) ve aylık ortalama hız (m/s) değerleri

Şekil 4.6’da Çanakkale ilinin aylık toplam güneş ışıınımı miktarları, aylık ortalama rüzgâr hızı değerleri ve bunlara bağlı olarak da aylık toplam elektrik üretim miktarlarındaki değişim gösterilmektedir. Mevsimsel olarak sıcaklıkların ve güneş ışıınımının arttığı aylarda genel olarak elektrik üretim miktarında da artış sağlanmıştır. Fakat bazı aylarda güneş ışıınımı miktarının daha az olmasına rağmen artan ortalama rüzgâr hızıyla birlikte elektrik üretiminin de arttığı görülmektedir. Örneğin; Nisan ve Eylül ayları karşılaştırıldığında bu durum göze çarpmaktadır. Eylül ayında aylık güneş ışıınımı miktarının $157,94 \text{ kW/m}^2$, Nisan ayında ise $149,32 \text{ kW/m}^2$ olarak gerçekleşmesine rağmen Eylül ayındaki elektrik üretim miktarının $17,67 \text{ kW/m}^2$, Nisan ayındaki elektrik üretim miktarının $18,07 \text{ kW/m}^2$ olarak gerçekleştiği görülmektedir. Bunun sebebine baktığımızda Nisan ayındaki ortalama rüzgâr hızının ($6,9 \text{ m/s}$) Ağustos ayındaki ortalama rüzgâr hızından ($6,5 \text{ m/s}$) fazla olduğu göze çarpmaktadır. Rüzgâr hızının fazla olması, Nisan ayında güneş ışıınımının daha az olmasına rağmen verimi artırmış ve Eylül ayındaki elektrik üretimine göre Nisan ayında daha fazla elektrik üretimi olmasını sağlamıştır.

Mart ayı ile Ekim ayı kıyaslandığında ise Mart ayındaki güneş ışıınım değeri(122,71 kW/m²), Ekim ayındaki güneş ışıınım değeri(121,11 kW/m²) ile neredeyse aynı olduğu görülmektedir. Buna rağmen Mart ayındaki elektrik üretiminin(14,69 kW/m²), Ekim ayındaki elektrik üretiminden(13,53 kW/m²) daha fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bunun sebebi ise Mart ayındaki ortalama rüzgâr hızının(6,3 m/s) Ekim ayındaki ortalama rüzgâr hızından(4,7 m/s) fazla olmasıdır. Rüzgâr hızının fazla olması, güneş ışıınının her iki ilde de yakın seviyede bulunmasına rağmen, verimi artırmış ve Ekim ayındaki elektrik üretimine göre Mart ayında daha fazla elektrik üretimi olmasını sağlamıştır.

Aylık bazda elde edilen grafiklere göre güneş enerjisinden elektrik üretiminde çevresel faktörlerin oldukça etkili olduğu görülmektedir. Mevsimlere bağlı olarak güneş ışıını miktarının artmasıyla elektrik üretimi artarken güneş ışıını miktarının azalmasıyla da elde edilen elektrik üretiminde azalma gerçekleşmiştir. Güneş ışıınının daha az olduğu, rüzgâr hızının ise arttığı bazı aylarda da rüzgârın panele soğutucu etki etmesiyle elektrik üretiminde artış sağlandığı saptanmıştır.

Yukarıdaki tüm grafiklerdeki sonuçları destekleyen bir başka çalışma da Çizelge 4.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.2. Farklı rüzgâr hızlarında(m/s) güneş enerjisi panelinden üretilen yıllık elektrik enerjisi(kW/m²)

Hız Şehir	1	2	3	4	5	6	7
Afyon	184,25	185,18	186,77	188,13	188,64	189,22	189,97
Burdur	194,38	196,57	197,86	198,93	199,12	199,84	200,13
Edirne	163,70	165,02	166,32	166,48	168,03	168,76	169,14
İzmir	191,56	192,81	193,23	194,16	194,95	195,38	196,01
Kırklareli	153,44	154,12	156,08	156,95	157,23	158,46	158,67
Osmaniye	165,51	166,70	168,10	169,21	169,72	170,22	170,95
Sinop	154,42	156,11	157,30	158,13	158,78	159,40	160,18
Tekirdağ	160,14	161,82	163,74	164,30	165,39	166,11	166,45

Çizelge 4.2’de, seçilen sekiz adet şehrin yıllık elektrik üretim miktarları verilmiş ve bu verilen değerlerin artan rüzgâr hızı karşısında nasıl değiştiği vurgulanmıştır. Bu yapılırken diğer parametreler illerin kendi ortam şartlarında sabit kabul edilmiş sadece rüzgâr hızı artırılmıştır. Tabloda görüldüğü gibi artan rüzgâr hızı karşısında yıllık elektrik üretim miktarlarında da dikkate değer artış gözlemlenmiştir.

Tüm grafik ve tablolarda elde edilen sonuçlara göre güneş enerjisinden elektrik üretiminde çevresel faktörlerin oldukça etkili olduğu görülmektedir. Genel olarak güneş ışıınımı miktarının artmasıyla elektrik üretimi artarken güneş ışıınımı miktarının azalmasıyla da elde edilen elektrik miktarında azalma gerçekleşiyor olsa da güneş ışıınımının daha az olduğu ve rüzgâr hızının arttığı bazı durumlarda da rüzgârın panele soğutucu etki etmesiyle elektrik üretiminde artış sağlandığı saptanmıştır.

5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında güneş enerjisinden elektrik üretimi sağlayan güneş enerjisi panellerinin verimini etkileyen çevresel parametreler incelenmiştir. Özellikle güneş ışıınımı, sıcaklık ve rüzgâr gibi çevresel parametrelerin panel verimini ne şekilde etkilediği ve hangi bölgelerin güneş enerjisi santrali kurulumu için daha uygun olduğu konuları üzerinde durulmuştur.

Öncelikle panel verimini doğrudan etkileyen rüzgâr etkisini görmek amacıyla ülkemizde rüzgâr türbinlerinin kurulu olduğu ve güneş ışıınımı değerlerinin yüksek olduğu bölgeler seçilmiştir. Seçilen yirmi şehrin meteorolojik değerleri elde edilmiş ve MATLAB programı ile anlık ışıınım şiddeti ve panel verimleri hesaplanıp bu değerlerin toplamıyla günlük, aylık, mevsimlik ve yıllık güneş ışıınımı değerleri ve yıllık elektrik üretimleri hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlara baktığımızda sıcaklık ve rüzgâr hızının panel verimi üzerinde oldukça etkili olduğu görülmüştür. Artan güneş ışıınımı miktarının her zaman verimi artırmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Örneğin; Balıkesir ilinin yıllık güneş ışıınım değerinin Aydın ve Manisa illerine göre daha az olmasına rağmen birim alandaki yıllık elektrik üretimin miktarının diğer illere göre daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca Balıkesir'deki rüzgâr hızının da diğer illere göre daha fazla olduğu görülmektedir. Rüzgâr Balıkesir'de verime olumlu etki ederek Aydın ve Manisa illerine göre Balıkesir ilinde daha fazla elektrik üretilmesine imkân sağlamıştır. Benzer durumlar Konya, Kayseri, Hatay, Kırşehir ve Muğla illeri arasında görülmektedir. Konya ilinde yıllık toplam güneş ışıınımı miktarı daha az olmasına rağmen Kayseri ve Hatay illerine göre yıllık toplam elektrik üretim miktarı daha fazla çıkmıştır. Kırşehir ilinde de daha az yıllık ışıınım olmasına rağmen daha fazla yıllık elektrik üretimi olduğu görülmektedir. Rüzgâr hızlarına baktığımızda da yine elektrik üretimi fazla olan Konya ve Kırşehir illerinde rüzgâr hızlarının da daha fazla olduğu görülmektedir.

Şanlıurfa ve Çanakkale illerini aylık olarak incelediğimizde de benzer sonuçlar karşımıza çıkmaktadır. Şanlıurfa için Haziran ayı ile Ağustos ayı karşılaştırıldığında

Ağustos ayındaki aylık toplam güneş ışıınının Haziran ayına göre daha fazla olmasına rağmen Haziran ayındaki aylık elektrik üretim miktarının Ağustos ayına göre daha fazla olduğu görülmektedir. Yine elektrik üretim miktarı daha fazla olan Haziran ayında aylık rüzgâr hızı ortalamasının da daha fazla olduğu göze çarpmaktadır. Benzer durumlar Mart ile Ekim, Şubat ile Kasım aylarında da bulunmaktadır. Çanakkale ili için ise Nisan ve Eylül ayları karşılaştırıldığında aynı sonuçlara orada da ulaşıldığı görülecektir.

Rüzgâr hızının etkisinin açıkça hissedildiği bir başka çalışma da Çizelge 4.2.'de yapılmıştır. Seçilen sekiz ilin rüzgâr hızı dışındaki şartları aynı tutularak rüzgâr hızına bağlı elektrik üretim miktarlarındaki değişimleri hesaplanmıştır. Rüzgâr hızı 1 m/s'den başlatılarak 7 m/s'ye kadar çıkarılmıştır. Rüzgâr hızının 1 m/s olması ile 7 m/s olması arasındaki farkın verime etkisi yaklaşık olarak %3,2 civarında olmuştur.

Bu sonuçların özellikle GES tesislerinin yer seçiminde dikkate alınması gerekir. Şu anda ülkemizdeki rüzgârlı bölgelerde kurulu olan Rüzgâr Enerjisi Santrallerinde zaten elektrik taşıma hatları bulunmaktadır. Bu bölgelere GES tesislerinin de kurulması halinde yüksek verimle elektrik üretimi mümkün olacaktır. Sonuç olarak kurulacak GES santralleri için bu çalışmada elde edilen sonuçlar dikkate alınarak yer seçimi yapılması durumunda PV panellerinin daha yüksek bir verimle çalışması da sağlanmış olacaktır.

KAYNAKLAR

Akhsassi M., El Fathi A., Erraissi N., Aarich N., Bennouna A., Raoufi M, Outzourhit A. 2018. Experimental investigation and modeling of the thermal behavior of a solar PV module, *Solar Energy Materials&Solar Cells*, 180,271-279.

Aly, S.P., Ahzi, S., Barth, N. (2019) Effect of physical and environmental factors on the performance of a photovoltaic panel, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 200, 1-9.

Armstrong, S., Hurley, W.G., 2010. A thermal model for photovoltaic panels under varying atmospheric conditions, *Applied Thermal Engineering*, 30 (11–12), 1488–1495.

Arslanoglu, N.,Yigit, A., Eker, B. S.(2020) Investigation of wind speed effect on different mounted PV systems using satellite data, *Sustainable Energy*, 39,4, 1-10.

Bakirci, K. (2012) General models for optimum tilt angles of solar panels:Turkey case study, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,16,6149–6159. doi.org/10.1016/j.rser.2012.07.009

Barroso J.C.S., Barth N. , Correia J.P.M. , Ahzi S. , Khaleel M.A.,2016. A computational analysis of coupled thermal and electrical behavior of PV panels, *Solar Energy Materials&Solar Cells*, 148 73-86.

Duffie, J.A., Beckman, W.A., 1991. *Solar Engineering of thermal processes*, second ed. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Gökmen, N., Hu, W., Hou, P., Chen, Z., Sera, D. and Spataru S. (2016) Investigation of wind speed cooling effect on PV panels in windy locations, *Renewable Energy*, 90, 283-290, 2016. doi.org/10.1016/j.renene.2016.01.017

Hafez, A. Z., Soliman, A., El-Metwally, K. A., and Ismail, I. M. (2017) Tilt and azimuth angles in solar energy applications–A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 147-168. doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.131

<https://www.mgm.gov.tr>, Erişim tarihi: 09.10.2020-09.06.2021, Konu: *Meteorolojik bilgi elde etmek.*

<https://www.meteoblue.com.tr>, Erişim tarihi: 09.10.2020-09.06.2021, Konu: *Meteorolojik bilgi elde etmek.*

<https://www.accuweather.com.tr>, Erişim tarihi: 09.10.2020-09.06.2021, Konu: *Meteorolojik bilgi elde etmek.*

Meral, M.E. , Dinçer FA. (2011) Review of the factors affecting operation and efficiency of photovoltaic based electricity generation systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 2176–2184, 2011. doi.org/10.1016/j.rser.2011.01.010

Notton, G., Cristofari, C., Mattei, M., Poggi, P., 2005. Modelling of a double-glass photovoltaic module using finite differences, *Applied Thermal Engineering*, 25 (17–18), 2854–2877.

Sarhaddi F, Farahat S, Ajam H, Behzadmehr A, Adeli MM.,2010. An improved thermal and electrical model for a solar photovoltaic thermal (PV/T) air collector, *Applied Energy*, 87, 2328–39.

Shahzada P. A., Ahzi S., Barth N., Abdallah A., 2018. Using energy balance method to study the thermal behavior of PV panels under time-varying field conditions, *Energy Conversion and Management*, 175, 246-262.

Shahzada P. A., Ahzi S., Barth N., 2019. Effect of physical and environmental factors on the performance of a photovoltaic panel, *Solar Energy Materials&Solar Cells*, 200, 1-10.

Siddiqui, M.U., 2011. Multiphysics modeling of Photovoltaic panels and Arrays with auxiliary thermal collectors, *MS Thesis, King Fahd University of Petroleum & Minerals*, Saudi Arabia.

Skoplaki, E., A.G. Boudouvis, J.A. Palyvos (2008) A simple correlation for the operating temperature of photovoltaic modules of arbitrary mounting, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 92, 1393-1402.

Ulgen, K. ve Hepbasli, A., (2003) Comparison of the diffuse fraction of daily and monthly global radiation for Izmir, Turkey, *Energy Sources*, 25, 637–649.

Vogt, M.R., Holstb, H., Winterra, M., Brendela, R. ve Altermatta, P.P. (2015) Numerical modeling of c-Si PV modules by coupling the semiconductor with the thermal conduction, convection and radiation equations, *5th International Conference on Silicon Photovoltaics, Silicon PV*.

Yıldırım, E ve Aktacir, M.A. (2019) Binaya entegre fotovoltaik sistemlerde azimut ve eğim açısı etkilerinin incelenmesi, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(2), 609-620.

Yiğit, A ve Atmaca, İ. (2018), *Güneş Enerjisi*, Dora Yayınevi, BURSA.

Wenbo G. , Ma T. , Shen L., Li M. , Zhang Y.. , Zhang W. ,2019. Coupled electrical-thermal modelling of photovoltaic modules under dynamic conditions, *Energy*, 188, 1-16.