

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burcu EKİCİ

**FOTOVOLTAİK GÜNEŞ PANELLERİNİN ELEKTRİK
ÜRETİM PERFORMANSI ÜZERİNE SICAKLIK, RÜZGAR
HIZI VE GÜNEŞ ENERJİSİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

FİZİK ANABİLİM DALI

ADANA-2023

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FOTOVOLTAİK GÜNEŞ PANELLERİNİN ELEKTRİK ÜRETİM PERFORMANSI ÜZERİNE SICAKLIK, RÜZGAR HIZI VE GÜNEŞ ENERJİSİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Burcu EKİCİ

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ FİZİK ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Mehmet KARAKILÇIK
Yıl: 2023, Sayfa: 75
Jüri : Prof. Dr. Mehmet KARAKILÇIK
: Doç. Dr. Mustafa AKYOL
: Doç. Dr. Ayhan ATIZ

Bu çalışmada sıcaklık, rüzgâr hızı ve güneş enerjisinin polikristal fotovoltaik panelde sistemin elektrik verimi üzerinde etkisi incelendi. Bu amaçla, Çukurova Üniversitesi kampüsünde Fen Edebiyat Fakültesi çatısına toplam kurulu gücü 825 W kapasiteli on-grid bir küçük ölçekli (825 W) güneş enerjisi santrali (GES) kuruldu. Santrali oluşturan panellerin modül sıcaklığı, ortam sıcaklığı, inverter iç sıcaklığı, rüzgâr hızı ve güneş radyasyonu ölçüldü. Ayrıca, inverter giriş gerilimi (DC) ve çıkış gerilimi (AC) ölçülerek elektrik üretim performansı üzerindeki etkisi belirlendi. Panel yüzeyine gelen güneş radyasyonunun artışıyla, elektrik üretimi ve panel sıcaklığı artarken, panel sıcaklık yüzünden de sistemin elektrik üretim verimi kayda değer oranda azaldı. Panel sıcaklığı rüzgârlı zamanlarda düşerek sistemin elektrik üretim performansının arttığı belirlendi. Ancak, dönüştürücü kaybı yüzünden elektrik üretim performansının azaldığı görüldü. Sonuç olarak, güneş enerjisi santrallerinin güneş radyasyonundan ve rüzgâr akısından azami yararlanılacak şekilde planlanmalıdır. Böylece, panel sıcaklığının kayda değer oranlarda düşürülerek sistem verimi artırılabilir.

Anahtar kelimeler: Güneş enerjisi, Fotovoltaik, Güneş panelleri, Elektrik üretimi,

ABSTRACT

MSc THESIS

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF TEMPERATURE, WIND SPEED, AND SOLAR ENERGY ON THE ELECTRIC GENERATION PERFORMANCE OF PHOTOVOLTAIC SOLAR PANELS

Burcu EKİCİ

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF PHYSIC

Supervisor : Prof. Dr. Mehmet KARAKILÇIK
Year: 2023, Pages: 75
Jury : Prof. Dr. Mehmet KARAKILÇIK
: Assoc. Prof. Dr. Mustafa AKYOL
: Assoc. Prof. Dr. Ayhan ATIZ

In this study, the effects of temperature, wind speed, and solar energy on the electricity efficiency of the system in a polycrystalline photovoltaic panel were investigated. For this purpose, an on-grid small-scale (825 W) solar power plant (SPP) with a total installed power of 825 W was installed on the roof of the Faculty of Arts and Sciences on the Çukurova University campus. Module temperature, ambient temperature, inverter internal temperature, wind speed, and solar radiation of the panels forming the power plant were measured. In addition, inverter input (DC) and output voltages (AC) were measured and their effect on electricity generation performance was determined. With the increase in solar radiation coming to the panel surface, electricity production and panel temperature increased, while the electricity production efficiency of the system decreased significantly due to the panel temperature. It was determined that the power generation performance of the system increased by decreasing the panel temperature during windy times. However, it was observed that the power generation performance decreased due to the loss of the converter. As a result, solar power plants should be planned to make maximum use of solar radiation and wind flux. Thus, the system efficiency can be increased by reducing the panel temperature significantly.

Keywords: Solar energy, Photovoltaic, Solar panels, Electricity generation

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Enerji günümüz dünyasında nüfus artışı son hızla devam etmekte olup buna paralel olarak enerjiye olan talepte gün geçtikçe artmaktadır. Yeni ve yenilenebilir alternatif enerji kaynakları bu ihtiyacı karşılayabilir. Ayrıca, çevre dostu yeni enerji üretim teknikleri ve yeni enerji teknolojileri geliştirilmelidir. Günümüzde, çevre dostu uygulamalar sayesinde özellikle enerji verimliliği ile entegre yenilenebilir enerji sistemlerine olan ilgi giderek artmaya başlamıştır. Aynı zamanda, yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilen enerjinin (elektrik, ısı ve hidrojen gibi) depolanmasına çok önemli hale gelmiştir. Geleneksel enerji kaynaklarının (kömür, petrol, doğal gaz gibi karbon içerikli kaynaklar) aşırı kullanımı yüzünden küresel ısınma ve hava kirliliği gibi çevresel etkilerinin doğal çevreye verdikleri zararın her geçen gün ortaya çıkmaktadır. Özellikle iklim değişikliği, ekosisteme verdiği zararlar, canlı türlerinin hızla azalması ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz ve geri döndürülemez zararlı etkiler olarak karşımıza çıkmıştır. Fosil yakıtların her yerde bulunmaması ve birçok ülkeyi dışa bağımlı hale getirmesi ise ekonomik bakımdan oldukça etkilemektedir. Bu yakıtların yakın gelecekte tükenebilir olması ise insanlığın geleceği açısından önemli bir risk taşımaktadır. Bu nedenlerle, acilen yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları keşfedilmeli ve rüzgâr, güneş enerjisi kaynakları gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanılmalıdır. Ülkelerin ekonomilerini dışa bağımlı hale getiren fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynakları hem gelecek vadetmesiyle hem çevre dostu olmasıyla günümüzde tercih artan bir hızla tercih edilmeye başlanmıştır. Hidrolik, Güneş, rüzgâr, jeotermal, biyokütle, dalga ve gelgit enerjisinden çeşitli ölçeklerde elektrik üretilmektedir. Bunlardan en fazla elektrik üretimi hidrolik kaynak kullanılarak üretilmektedir. Daha sonra rüzgâr, güneş biyokütle, jeotermal dalga ve gelgit enerji kaynakları gelmektedir. Ancak güneş enerjisi sadece yer yüzünde değil aynı zamanda uzayda da kullanılabilir bir enerji kaynağıdır ve evrende her yerde bulanabilen bir enerji kaynağıdır. Güneş

enerjisinin yerkürede herhangi bir yerde yarı zamanlı olması yüzünden sürekli değil kesikli enerji üretimi yapılabilir. Bu sorun ise güneş enerjisi depolama sistemlerinin geliştirilmesi ile aşılabılır.

Ancak temel ihtiyaçlarımızı güneş enerjisinden karşılayabilmesi için üretilen elektrikli ve günümüz koşullarında ekonomik sistemlere ihtiyaç vardır. Elektrik üretimde sürekliliği sağlanmasında kullanılan sistemlerden birisi olarak günümüzde en yaygın olarak kullanılan sistemler fotovoltaik (FV) paneller ve rüzgâr enerjisi jeneratörleridir. Güneş panellerinin en önemli elemanı fotovoltaik (FV) hücrelerdir. Günümüzde en yaygın kullanılan tipleri polikristal ve monokristal tipleridir ve verimi genellikle %15-20 arasında değişmektedir. FV hücrelerin veriminin giderek artırılması için yapılan bilimsel çalışmalarla birlikte, aynı zamanda güneş panellerin sisteminin de üretilen elektrik oranları üzerinde bir çok bilimsel çalışmalar yapılmaktadır. Elbette güneş panellerinin gücü sadece hücrelerin verimine bağlı değildir. Aynı zamanda, paneldeki hücre sayısına, yüzey alana düşen güneş enerjisi oranına, panelin termal özelliklerine, yatay yüzeye düşen güneş enerjisine, panel yüzeylerinin temiz tutulmasına, rüzgâr hızına ve iklim şartlarına bağlıdır. Paneli oluşturan hücre sayısı panelin gücünü belirlemesi bakımından ihtiyaç duyulan elektrik gücü açısından önemli bir esneklik sağlamaktadır.

Bu çalışmada, güneş enerjisinin bol olduğu, buna karşı düşük rüzgâr hızına sahip bölgelerden Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Binasının çatısına kurulan bir mini güneş enerjisi sisteminin (küçük ölçekli GES) elektrik üretim performansı incelendi. Panellerin sıcaklık, güneş radyasyonu, rüzgâr hızı ve DC/AC dönüştürücü (inverter) sisteminin üretilen elektrik üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışıldı. Sonuç olarak, özellikle FV yüzey sıcaklığı bölgeye gelen güneş ışığı aratışıyla birlikte arttığı ve rüzgârlı günlerde ise sıcaklığın düştüğü görüldü. Güneş enerjisinin bol olduğu zamanlarda rüzgâr etkisinin kayda değer oranda üretilen elektrik miktarının artırabileceği saptandı. Ancak, inverter kayıplarının elektrik üretimini olumsuz yönde etkilediği belirlendi.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmasında bilgisi ve tecrübesiyle çalışmalarına yön veren ve hiçbir desteğini esirgemeyen tez hocam sayın Prof. Dr. Mehmet KARAKILÇIK' a çok teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince hep yanımda olan ve her aşamasında yardımlarını esirgemeyen, İbrahim Gökce'ye ve yenilenebilir enerji grubunda bulunan arkadaşlarıma ve çok teşekkür ederim. Ayrıca, Fizik Bölümü çalışanlarına teşekkür ederim.

Her zaman yanımda duran, beni her koşulda destekleyen sevgili Aileme ve Eşim Kemal EKİCİ'ye çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XII
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	21
3. MATERYAL VE METOD	27
3.1 Materyal.....	27
3.1.1. Güneş Enerjisi.....	27
3.1.2. Güneş Pilleri	31
3.1.3. Fotovoltaik Panel (FV)	32
3.1.4. Küçük ölçekli GES Sistemi	36
3.1.5. Veri İzleme Takip Sistemi	37
3.1.6. Sıcaklık Sensörü	38
3.1.7. İnverter.....	39
3.1.8. Rüzgâr Sensörü (Anemometre)	41
3.1.9. Multimetre	43
3.2. Metot.....	44
3.2.1. Şebekeye Bağlı (On Grid) Güneş FV Sistemleri	47
3.2.2. Şebekeden Bağımsız (Of Grid) Güneş FV Sistemleri	47
3.2.3. FV'lerin Çalışmasını Etkileyen Faktörler.....	47
3.2.3.1. Coğrafi Konum	47
3.2.3.2. Sıcaklık	48

3.2.3.3. Gölgeleme	49
3.2.3.4. Tozlanma.....	50
3.2.3.5. Dönüştürücü Seçimi.....	50
4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR	51
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	69
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	75



ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 1.1. Farklı aylarda farklı günler için Zenit açıları	17
Çizelge 3.1. Polikristal güneş panelinin elektriksel özellikleri.....	37
Çizelge 3.2. Polikristal panelin yapısal özellikleri	37
Çizelge 3.3. Anemometre teknik özellikleri	42
Çizelge 4.1. 24 Şubat 2020 için FV GES sisteminin deneysel verileri	54
Çizelge 4.2. 25 Şubat 2020 için FV GES sisteminin deneysel verileri	55
Çizelge 4.3. 10 Mart 2020 için FV GES sisteminin deneysel verileri.....	56
Çizelge 4.4. 14 Mart 2020 için FV GES sisteminin deneysel verileri.....	58
Çizelge 4.5. 3 Nisan 2020 için FV GES sisteminin deneysel verileri	59
Çizelge 4.6. 5 Nisan 2020 için FV GES sisteminin deneysel verileri	61
Çizelge 4.7. 1 Haziran 2020 için FV GES sisteminin deneysel verileri.....	62
Çizelge 4.8. 4 Haziran 2020 için FV GES sisteminin deneysel verileri.....	64
Çizelge 4.9. 14 Temmuz 2020 için FV GES sisteminin deneysel verileri	65
Çizelge 4.10. 15 Temmuz 2020 için FV GES sisteminin deneysel verileri	67



ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1. 2001-2021 yılları arasında bazı enerji kaynaklarından enerji üretimi	2
Şekil 1.2. 1990-20150 yılları arasında belirli yakıtlardan elektrik üretimi.....	3
Şekil 1.3. 2010-2050 yılları arasında belirli yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretim oranları	4
Şekil 1.4. 2018-2050 yılları arasındaki kümülatif elektrik üretim kapasitesi ilaveleri ve kullanımdan kaldırma karşılaştırması.....	5
Şekil 1.5. Enerji kaynaklarına göre Dünya’da 1985-2021 yılları arasında elektrik üretimi oranları.....	6
Şekil 1.6. 2021 verilerine göre küresel ölçekte güneş enerjisi üretimi.....	7
Şekil 1.7. Yerküre’nin enlem ve boylamı.....	13
Şekil 1.8. Güneş ışınlarının yerküre üzerine gelişi.....	14
Şekil 1.9. Güneş ışınlarının dönencelere dik gelmesi (Solstis)	14
Şekil 1.10. Deklinasyon açısının yıllık dağılımı.....	15
Şekil 1.11. Saat açısının gün içinde değişimi	15
Şekil 1.12. Zenit açısı.....	16
Şekil 1.13. Güneş azimut açısı	18
Şekil 1.14. Eğimli bir yüzey için güneş azimut açısı	18
Şekil 1.15. Ankara için güneş ışını geliş açıları	19
Şekil 3.1. Güneş’te meydana gelen füzyon reaksiyonu.....	29
Şekil 3.2. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası	30
Şekil 3.3. Türkiye’de aylara göre ortalama günlük güneşlenme süresi	30
Şekil 3.4. Güneş pili ve fotovoltaiik modül görüntüsü.....	32
Şekil 3.5. Polikristal paneller	32
Şekil 3.6. Güneş pilinden elektrik üretim şeması	33
Şekil 3.7. Güneş hücresinin yapısı	34
Şekil 3.8. Güneş hücresinin elektriksel iç devre yapısı	34

Şekil 3.9. Veri takip cihazı ve panel altı yerleşim planı.....	38
Şekil 3.10. Güneş sensörü ve panel yerleşim planı	38
Şekil 3.11. Panel altı sıcaklık ölçüm noktası.....	39
Şekil 3.12. Panel altı sıcaklık elektrik tesisatı	39
Şekil 3.13. GOODWE GW-2000NS marka inverter.....	40
Şekil 3.14. Rüzgâr hızı ölçer (rüzgâr sensörü)	42
Şekil 3.15. UNI-T UT70A Dijital Multimetre görüntüsü.....	43
Şekil 3.16. Kurulumu tamamlanan hibrit enerji sistemi görüntüsü.....	44
Şekil 4.1. Adana'nın yıllık güneşlenme haritası ve güneşlenme miktarı	51
Şekil 4.2. Adana için aylara göre güneş enerjisi ve ortalama sıcaklık değişimi.....	52
Şekil 4.3. Şubat için FV GES sisteminin enerji dağılımı (24 Şubat 2020).....	53
Şekil 4.4. Şubat için FV GES sisteminin enerji dağılımı (25 Şubat 2020).....	54
Şekil 4.5. Mart için FV GES sisteminin enerji dağılımı (10 Mart 2020).	56
Şekil 4.6. Mart için FV GES sisteminin enerji dağılımı (14 Mart 2020).	57
Şekil 4.7. Nisan için FV GES sisteminin enerji dağılımı (3 Nisan 2020).	59
Şekil 4.8. Nisan için FV GES sisteminin enerji dağılımı (5 Nisan 2020).	60
Şekil 4.9. Haziran için FV GES sisteminin enerji dağılımı (1 Haziran 2020).	62
Şekil 4.10. Haziran için FV GES sisteminin enerji dağılımı (4 Haziran 2020).	63
Şekil 4.11. Temmuz için FV GES sisteminin enerji dağılımı (14 Temmuz 2020).	65
Şekil 4.12. Temmuz ayı Nisan için FV GES sisteminin enerji dağılımı (15 Temmuz 2020).	66

SİMGELER VE KISALTMALAR

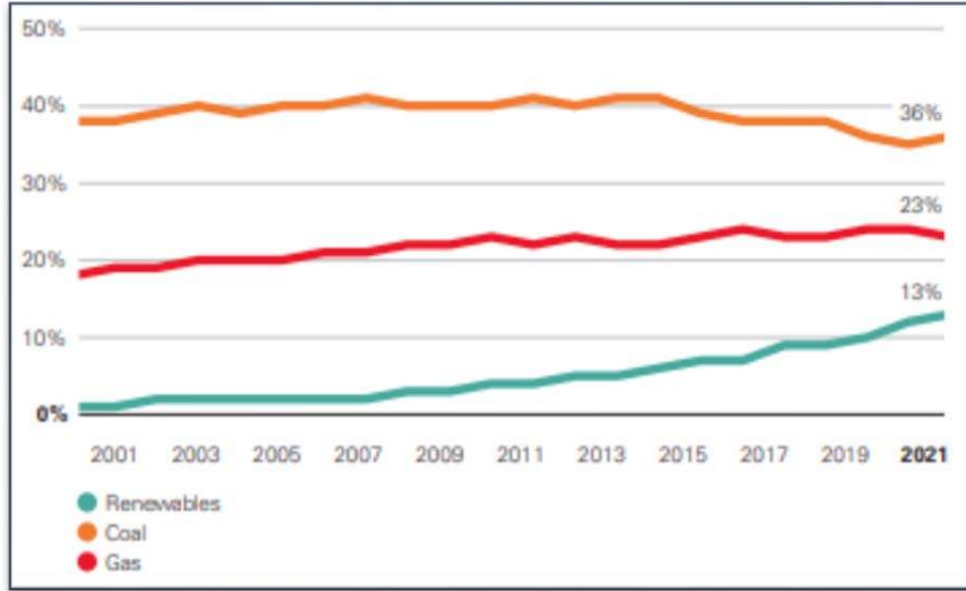
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
FV	: Fotovoltaik Panel
AU	: Astronomik Birim
W	: Watt
P	: Güç (power)
EIA	: Uluslararası Enerji Ajansı
GTS	: Güneş Takip Sistemi
AU	: Astronomik Birim (Güneş-Dünya arasındaki mesafe)
E	: Enerji
m	: kütle
c	: ışık hızı
I_{FV}	: FV panelin akımı
I_{SD}	: Diyot akımı
D	: Diyot
R_P	: FV panelin direnci
R_S	: FV panelin seri direnci
V_{FV}	: FV panelin çıkış gerilimi
V	: rüzgar türbininin olduğu yerdeki rüzgar hızı
A	: Türbin kanadının süpürdüğü alan
s	: saniye



1. GİRİŞ

Gümüz dünyasında enerji çok önemli yaşamsal bir kaynak haline gelmiştir. İnsanların yaşam kalitesinin, konforunun, üretiminin artmasında ve daha birçok alanda insanlar için çok önemli parçası haline gelmiştir. Dolayısıyla, insanoğlunun var olduğu ve medeniyetlerin inşasından beri en temel ihtiyaçların başında enerji gelmiştir. Topluluklar zaman içerisinde tüm gelişmelerinde enerjiyi doğrudan veya dolaylı olarak enerjiye gereksinim duymuşlardır. Isınma, aydınlanma, ulaşım, üretim, sağlık gibi temel gereksinimlerden uzay araştırmaları teknolojik çalışmalara kadar her alanda enerjiye ihtiyaç duyulmuştur. İnsanlığın gelişmesi ve toplumsal refahı artırma çabaları enerjinin de kullanım alanlarını artırmıştır. İlk başlarda temel gereksinimlerle ilkel olarak kullanılan enerji kaynakları zamanla sanayi devrimi ve coğrafi keşiflerle birlikte üretim ve konforu artırmada kullanılmıştır. Buharlı makinelerin icadı ve takibindeki gelişmelerle enerjiye gereksinim gittikçe artmıştır. Enerjiye sahip olanın dünyaya sahip olacağı düşüncesi ülkeleri sürekli bir enerji arayışı ve mücadelesine sokmuştur. 1970'lerdeki Küresel petrol krizi bunun en büyük örneğidir.

Elektrik üretim ve tüketim miktarları ülkelerin ve bireylerin konforu ve gelişmişliğini göstermektedir. Gelişmiş ülkelerde enerjiye ve elektriğe ulaşım kolay ve ucuzken gelişmekte olan ve az gelişmiş ülkelerde elektrik tüketimi yaşam temel ihtiyaçlarının ötesinde lüks olarak görülebilmektedir. BP'nin Dünya enerjisi 2022 istatistiksel incelemesi ile 2021 yılında yaklaşık %13'e ulaşan enerji üretim payı içinde, %9,8 ile yenilenebilir enerji kaynakları payı ile nükleer enerjiyi payı geçmesinin çok önemli olduğu belirtildi. Düşük karbonun yanı sıra enerji güvenliğinin de önemli olduğu vurgulandı. Ayrıca, artan kıtlıklar ve gıda fiyatlarının da göz ardı edilmemesinin çok önemli olduğu belirtildi. [<https://www.bp.com/content/dam/bp/businesssites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf>].



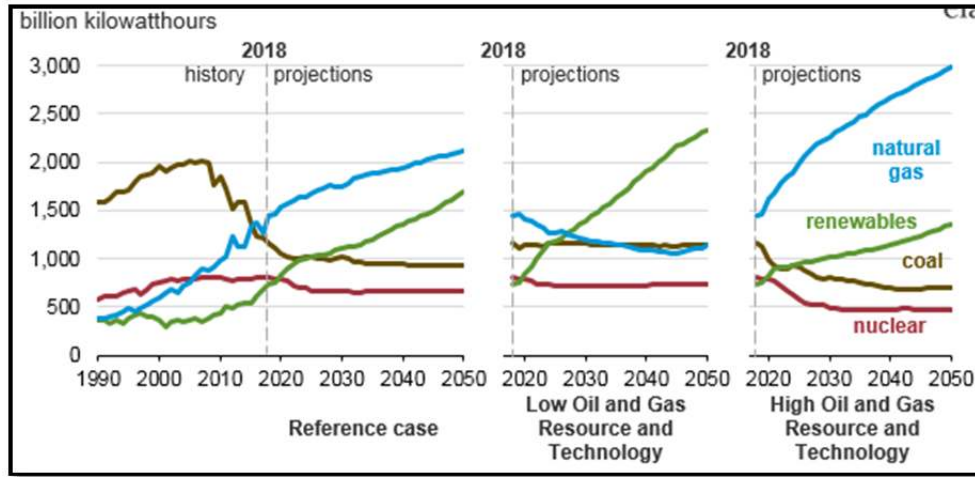
Şekil 1.1. 2001-2021 yılları arasında bazı enerji kaynaklarından enerji üretimi

Şekil 1.1’de görüldüğü gibi kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtlar enerji üretim son hızla devam etmektedir. 2021’de enerji talebi %5,8 artarak 2019’daki enerji talebi seviyelerini %1,3 oranında aşmıştır. Gelişmekte olan ekonomiler bu artışta önemli bir role sahiptir. Fosil yakıtlar payı beş yıl önce %85 iken, 2019’da %83, 2020’de ise birincil enerji kullanımının %82’sini oluşturdu. Buna ek olarak ta küresel elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı artmaya devam etti. Özellikle 2015 yılında Paris iklim anlaşmasını dünyadaki tüm ülkeler imzaladıktan sonra yenilenebilir enerjinin küresel enerji üretimindeki payının giderek artmaya başladığı açıkça görülmektedir.

Şekil 1.2’de görüldüğü gibi yıllık bazda, doğal gaz, Amerika Birleşik Devletleri’nde elektrik üretmek için en çok kullanılan yakıt olarak 2016’da kömürü geride bıraktı. AEO2019 Referans örneğinde, doğal gaz 2050’ye kadar elektrik üretiminin önde gelen kaynağı olmaya devam ediyor. 2018’de doğal gaz toplam elektrik üretiminin %34’ünü oluşturuyor ve Uluslararası Enerji Ajansı (EIA) payının 2032’ye kadar %40’a çıkacağını ve ardından %39 arasında kalacağını

tahmin ediyor. 2050 boyunca %40. Kömür ve nükleerden elektrik üretimi payları, doğal gaz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla kömür ve nükleerin maliyet açısından daha az rekabetçi hale gelmesiyle kademeli olarak düşüyor. Yenilenebilir enerji üretimi, 2020'de nükleer enerjiyi, 2020'lerin ortalarında ise kömürü geçiyor çünkü vergi kredileri ve daha düşük sermaye maliyetleri güneş fotovoltaik ve rüzgâr kapasitesi ilavelerini artırıyor.

([https://www.eia.gov/todayinenergy/index.php?tg=AEO%20\(Annual%20Energy%20Outlook\)](https://www.eia.gov/todayinenergy/index.php?tg=AEO%20(Annual%20Energy%20Outlook))).

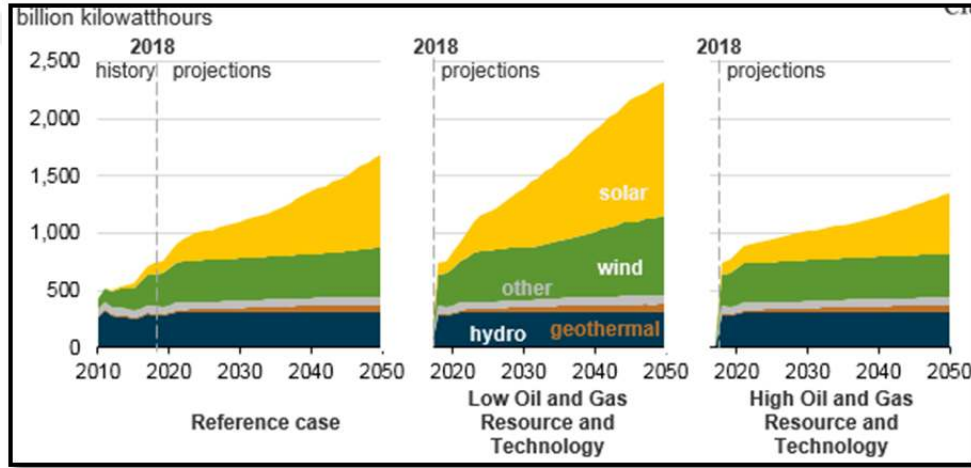


Şekil 1.2. 1990-20150 yılları arasında belirli yakıtlardan elektrik üretimi

ABD elektrik üretimindeki doğal gaz payı büyük ölçüde doğal gaz fiyatlarına bağlıdır. Nispeten düşük doğal gaz fiyatları, mevcut santrallerin daha fazla kullanılmasına ve daha fazla doğal gaz santrali inşasına yol açmaktadır. Elektrik santrallerine teslim edilen doğal gazın fiyatı 2018'de milyon İngiliz ısı birimi (Btu) başına ortalama 3,42 ABD dolarıydı ve AEO2019 Referans durumunda EIA, 2050'de milyon Btu başına (gerçek dolar cinsinden) ortalama 5,36 ABD doları olacağını tahmin ediyor.

([https://www.eia.gov/todayinenergy/index.php?tg=AEO%20\(Annual%20Energy%20Outlook\)](https://www.eia.gov/todayinenergy/index.php?tg=AEO%20(Annual%20Energy%20Outlook)))

Şekil 1.3'de düşük petrol ve gaz kaynağı ve teknolojisi durumunda, daha yüksek çıkarma maliyetleri ve daha düşük kaynak kullanılabilirliği, daha az doğal gaz üretimine neden olur ve enerji santralleri için doğal gaz fiyatı 2050'de milyon Btu başına 8,62 ABD Dolarına yükselir. Tersine, yüksek petrol ve gaz kaynak çıkarma maliyetleri ve mevcudiyeti için zıt varsayımlara sahip olan Kaynak ve Teknoloji durumu, EIA, doğal gaz fiyatlarının 2050 yılına kadar milyon Btu başına 4,00 ABD dolarının oldukça altında kalacağını öngörmektedir.

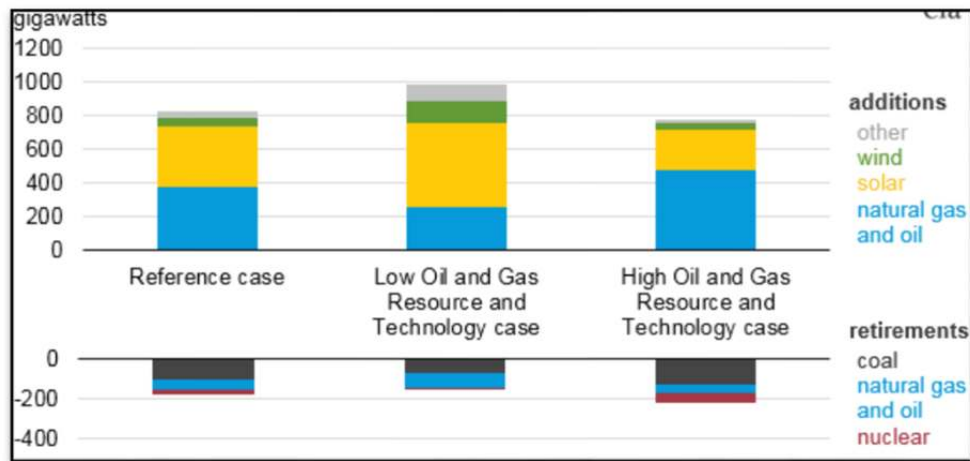


Şekil 1.3. 2010-2050 yılları arasında belirli yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretim oranları
[https://www.eia.gov/todayinenergy/index.php?tg=AEO%20\(Annual%20Energy%20Outlook\)](https://www.eia.gov/todayinenergy/index.php?tg=AEO%20(Annual%20Energy%20Outlook))

Düşük doğal gaz fiyatları nedeniyle, Yüksek Petrol ve Gaz Kaynağı ve Teknolojisi durumundaki doğal gaz yakıtlı üretimin payı, yenilenebilir enerji, kömür yakıtlı ve nükleer enerjili üretimin yerini alarak Referans durumunda olduğundan önemli ölçüde daha yüksektir. Doğal gazla çalışan santraller, yeni kapasite ilavelerinin önde gelen kaynağı olarak yenilenebilir enerji santrallerini geçiyor ve daha fazla mevcut kömür yakıtlı ve nükleer enerjili üretim kapasitesi kullanımdan kaldırılıyor. Yüksek petrol ve gaz kaynakları ve teknolojisi

durumunda nükleer enerjiyle elektrik üretimi daha düşüktür çünkü mevcut nükleer santral filosunun neredeyse yarısı 2050 yılına kadar kullanımdan kaldırılacaktır.

Düşük Petrol ve Gaz Kaynağı ve Teknolojisi durumundaki nispeten yüksek doğal gaz fiyatı ortamı için, doğal gazla üretim hem yenilenebilir hem de kömürle çalışan santrallerden elektrik üretimi ile daha az rekabetçi hale gelir ve bu da yenilenebilir ve kömürle çalışan santrallerin pazar payı kazanmasına neden olur. Güneş fotovoltaik ve rüzgâr kapasitesindeki artış, yenilenebilir enerji teknolojilerinin bu durumda elektrik üretiminin baskın kaynağı haline gelmesine yol açıyor; ilk olarak 2020'lerin ortalarında birincil üretim kaynağı olarak kömürle çalışan santralleri ve ardından 2030'dan önce doğal gazla çalışan üretimi geçiyor.



Şekil 1.4. 2018-2050 yılları arasındaki kümülatif elektrik üretim kapasitesi ilaveleri ve kullanımdan kaldırma karşılaştırması

([https://www.eia.gov/todayinenergy/index.php?tg=AEO%20\(Annual%20Energy%20Outlook\)](https://www.eia.gov/todayinenergy/index.php?tg=AEO%20(Annual%20Energy%20Outlook)))

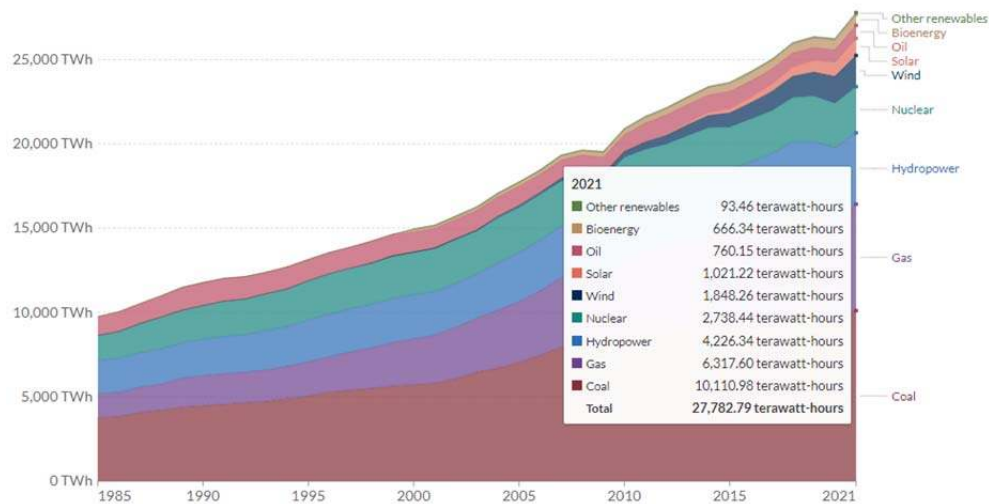
Referans durumla karşılaştırıldığında, kömür yakıtlı üretim, daha az devreden çıkarma ve mevcut kömür yakıtlı üretim tesislerinin daha yüksek kullanım oranları nedeniyle daha yüksek bir seviyededir. Kömür ve doğal gaz, projeksiyon döneminin son 10 yılında toplam üretimdeki benzer payları (%20'den

biraz fazla) korunurken, yenilenebilir enerjinin payı %43'e çıkıyor. Güneş ve rüzgâr, 2050 yılına kadar ABD elektrik üretiminin sırasıyla %22 ve %13'ünü sağlıyor.

Elektrik üretimle birlikte tüketim ve fazla elektriği ihraç etmek ülkelerin en büyük kazançlarından gelmektedir. Bu bağlamda üretim ile birlikte tüketim verileri de önemlidir. Uluslararası Enerji Ajansı verilerine göre 2016 yılı sonunda Dünya çapında enerji kullanımı 13,147 milyar TEP, Türkiye'de ise kullanım miktarı 126,9 milyon TEP olarak hesaplandığını ve bu orana göre Türkiye'nin Dünya tüketimine oranının %1 olduğunu belirtmişlerdir.

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler elektrik tüketiminde başı çekmektedir ve en çok tüketim yapan ülke Çin'dir. ABD ve Hindistan Çin'i takip etmektedir. Türkiye %1'lik oranla 19.sırada yer almaktadır. 2016 yılı Dünya ortalaması kişi başı yıllık elektrik tüketimi 3052 kWh, Türkiye de ise 2016 verilerine göre yıllık kişi başı tüketim yaklaşık 2761 kWh'dir (Taşkın, 2019).

Dünya üzerinde enerji kaynaklara göre enerji üretim miktarı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 1.5)



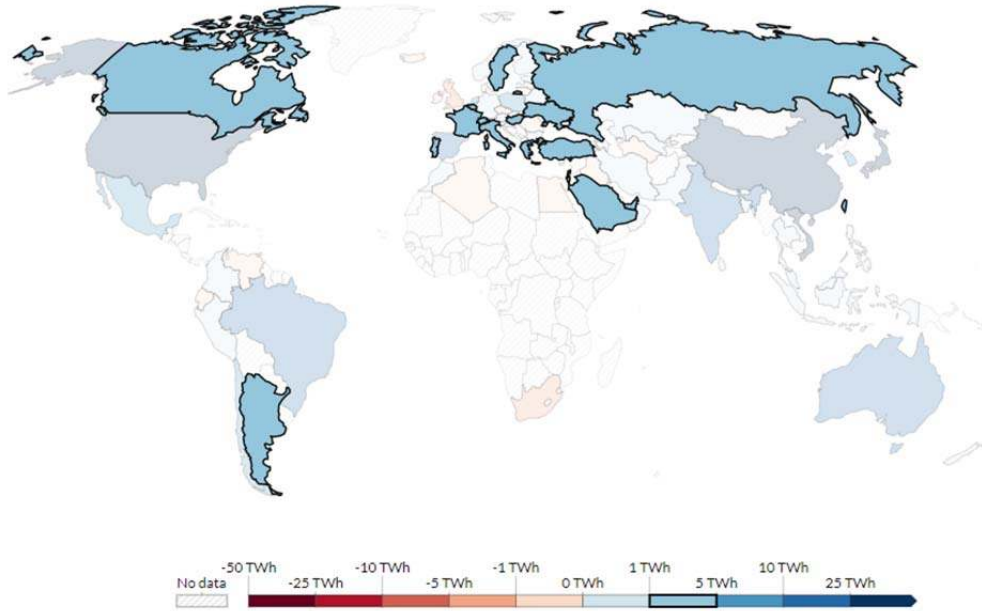
Şekil 1.5. Enerji kaynaklarına göre Dünya'da 1985-2021 yılları arasında elektrik üretimi oranları

(<https://ourworldindata.org/grapher/electricity-prod-source-stacked>)

Şekil 1.5'e göre gibi biyoenerji, güneş, rüzgâr, hidrolik-güç gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile önemli çok büyük miktarlarda elektrik enerji üretilmektedir. Jeotermal, hidrojen gibi yenilenebilir enerji kaynakları, biyo-yakıt ve atık dönüşüm gibi çevreci sistemlerden elektrik üretim oranı daha artacaktır.

Görüldüğü üzere Dünya üzerinde elektrik üretim ve tüketimleri son derece önem arz etmekle birlikte kaynakların çoğunluğu fosil kaynaklıdır. Enerji ihtiyacı olarak fosil (kömür, petrol, doğalgaz vs.) kaynakların kullanımını bazı sıkıntıları da beraberinde getirmiştir. Fosil kaynakların sınırlı olması ve rezervlerin giderek azalması toplumlar arası enerji savaşlarına sebep olmuştur. Petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtlı kaynakların rezervinin yaklaşık 40-60 yıl arasında, kömürün ise 220 yıl sonra tükenecek olduğunu belirtilmiştir. Buna karşılık fosil oluşum hızının tüketim süresine oranı 1/300.000 olarak belirlenmiştir.

(<https://ourworldindata.org/grapher/electricity-prod-source-stacked>).



Şekil 1.6. 2021 verilerine göre küresel ölçekte güneş enerjisi üretimi
(<https://ourworldindata.org/grapher/annual-change-solar>)

Şekil 1.6'da Türkiye'nin güneş enerjisinden enerji üretiminde yaklaşık 5 TWh seviyelerine ulaşmıştır.

Fosil yakıtların sınırlı olmasıyla birlikte kullanımının artması çevresel birtakım zararlara da sebep olmuştur. Küresel ısınma, Ozon tabakasındaki tahribat, hava kirliliği ve doğaya verilen sınırsız zararlar insanları zorunlu olarak farklı enerji kaynakları aranmaya itmiştir. Bu bağlamda çevreye minimum zararlı olan ve sürekli bulunabilen sınırsız kaynak olan güneş, rüzgâr, hidrolik, biyokütle, jeotermal, hidrojen, dalga ve gelgit doğal enerji kaynaklarına yönelinmiştir (Erden, 2014).

Enerjiyi daha ucuza temin etme ve yaşam konforunu artırma çabaları sonucunda son yıllarda en büyük enerji kaynağı olan Güneş'in kullanım alanları artmaya başlamış ve bu alanda çalışmalar gelişmiştir.

Güneş sistemimizin oluşturan ve enerji olarak tek kaynaktır. Güneş insanların ve toplumların ömrü ile kıyaslandığında sonsuz bir enerji potansiyeline sahiptir. Güneş enerjisinden doğrudan elektrik üretme yolu olarak güneş çanakları, fotovoltaik panel gibi sistemler üretilerek verimliliğini artırma çalışmaları yapılmaktadır. Bununla birlikte yine dolaylı olarak güneş enerjisi kaynaklı sayılan rüzgâr enerjisi kullanım alanı da genişletilerek çalışmalar yapılmaktadır.

Rüzgârlar, güneşin atmosferde oluşturduğu ısı, coğrafi yapısı ve Dünya'nın eksenini etrafında dönmesi gibi doğal nedenler sonucu oluşur (Aydinyüz, 2015). Rüzgâr enerjisi yerkürede soğutma etkisi yapar. Aynı şekilde güneş panelleri üzerinde de soğutma etkisi yapmaktadır. Rüzgâr etkisinin yeterli olmadığı yerlerde yapay yolla paneller soğutulabilir. Panelleri soğutma yöntemlerinde birisi de panellerin üst yüzeyden su fiskeyi ile soğutulmasıdır. Bu yöntemle paneller soğutulmuş verimini artırmak mümkündür (Öksüz, 2019).

Yenilenebilir ve çevreci olan bu enerji kaynaklarının üretim maliyetleri düşürme kullanım alanları ve üretilen elektriklerini artırma çabaları en büyük çalışmaların başında gelmektedir. Rüzgârın ve güneşin sürekli olmaması yani

enerji kaynaklarının kesikli olması birden çok kaynağın aynı anda kullanılmasını mantıklı ve hatta zorunlu kılmıştır.

Özellikle şehirleşmenin az yoğun olduğu kırsal bölgelerde ve elektrik transferinin güç ve maliyetli olduğu yazlık, bağ evi, köy, şehirden uzak araştırma merkezleri, tarla sulama sistemleri gibi yerlerde bu tür bütünleşmiş sistemlerin kullanım alanı ve faydalarının çok fazla olacağı aşikârdır. Bununla birlikte düşük rüzgâr gibi olan bölgeler evsel alanlarda farklı metotlarda tasarlanarak üretilen dikey eksenli rüzgâr türbinleri verimliliği artıracaktır (Taşkın, 2019).

Geleneksel enerji kaynaklarının doğal çevreye verdikleri zararın her geçen gün ortaya çıkması ve insanların giderek bilinçlenmesi sayesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen önem sadece enerji ihtiyacını karşılamak için değil, aynı zamanda temiz çevreye olan katkısıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları doğada kendiliğinden var olan enerjilerdir ve Dünya var olduğu sürece tükenmezdir. Nasıl kategorize etmek istediğinize bağlı olarak yeryüzündeki birincil yenilenebilir enerji kaynaklarını sekiz farklı kategorilerde elde edebilirsiniz.

Bunlar;

- Güneş Enerjisi: Dünyanın içinde bulunduğu sistemin temel enerji kaynağıdır. Termonükleer füzyon reaksiyonu sonucunda hidrojen atomlarının (6×10^{11} kg/s) çok yüksek sıcaklık ve basınç altında birleşerek helyum atomlarına ve bir miktar kütlenin (4×10^3 kg/s) $E=mc^2$ 'ye göre $3,6 \times 10^{20}$ J'lık ışınsal enerjiye dönüşmesi ile oluşur. Güneş dünyanın günlük enerji ihtiyacının yaklaşık 15.000 katı üretebilen dev bir termonükleer enerji santralidir. Güneşten dünyaya ulaşan güneş enerjisi kullanılarak çevreye hiçbir zararı olmadan ısı ve elektrik üretilabilir ve depolanabilir. Güneş enerjisi birçok alanda kullanılmaktadır ve önemi giderek artmaktadır.

- Rüzgâr Enerjisi: Rüzgâr enerjisinin temel enerji kaynağı güneştir. Güneş, yerküreyi mevsim, saat ve bölge topoğrafyasına göre farklı oranlarda ısıtır. Isınan hava kütesinin yoğunluğu azalır ve yükselirken soğuyan hava ise alçalır. Böylece, soğuyan hava yeryüzünde yüksek basınç oluşturur. Yükselen hava ise yeryüzüne alçak bir basınç uygular. Isınan ve soğuyan hava kütlelerinin yüksek basınçlı ortamdan alçak basınç ortamına doğru hareketi sonucunda oluşan kinetik enerji ise rüzgâr enerjisi olarak adlandırılır. Rüzgâr enerjisi, hızı, ivmesi, yönü, şiddeti ve Coriolis, merkezkaç ve sürtünme kuvveti gibi değişkenlere bağlıdır. Yoğun rüzgâr olan yerlerde kurulan rüzgâr türbinleri sayesinde elde edilen rüzgâr enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alır.
- Hidrolik Enerjisi: suyun akışı sayesinde sahip olduğu kinetik enerjidir. Bu enerjinin yüksekliğinin, suyun akış hızının ve akan su miktarının büyük olduğu yerlerde elektrik üretimi çok fazladır. Temiz bir enerji kaynağıdır. Emisyon üretmez.
- Jeotermal Enerjisi: Yer ısı olarak bilinir. Yer kabuğunda doğal olarak oluşan ısı, yeraltı su kaynakları aracılığıyla doğal ya da yapay yollarla yeryüzüne çıkarılan bir enerji türüdür. Jeotermal enerji ile ısıtma, soğutma, elektrik üretimi ve mineral üretimi, turizm kaplıcaları gibi birçok farklı amaçlar için kullanılabilir. Yenilenebilir ve temiz bir enerji türüdür.
- Biyokütle enerjisi: Bitkilerde güneş enerjisi ile gerçekleşen fotosentez yoluyla enerji kaynağı olan organik maddeler sentezlenirken tüm canlıların solunumu için gerekli olan oksijeni de atmosfere verir. Üretilen organik maddelerin yakılması sonucu ortaya çıkan karbondioksit ise, daha önce bu maddelerin oluşması sırasında atmosferden alınmış olduğundan, biyokütleden enerji elde edilmesi sırasında çevre, CO₂ salımı açısından korunmuş olacaktır. Bitkiler yalnız besin kaynağı değil, aynı zamanda çevre dostu tükenmez enerji kaynaklarıdır. Bu enerji kaynaklarına biyokütle enerjisi denir.

- Hidrojen Enerjisi: Doğada bileşikler halinde su, kömür, doğal gaz gibi birçok maddede bulunan hidrojen atomunun, ayrıştırılarak gaz haline dönüştürülen hidrojenin sahip olduğu bir enerjidir. Hidrojen bir enerji kaynağı değil enerji dönüştürülmesi ile oluşan enerji kaynağıdır. Doğada serbest olarak bulunmaz. Ancak, sürdürülebilir ve alternatif enerji olarak adlandırılır.
- Dalga Enerjisi, yer yüzeylerinin farklı ısınması sonucu rüzgarların deniz yüzeylerinde oluşturduğu dalgalanma hareketinden ve dalgaların oluşturduğu basınçtan elde edilen bir enerji türüdür. Denizlerin yüzey hareketi ve basınçtan dalga jeneratörlerin yardımı elektrik üretilen doğal ve sürdürülebilir enerji üretilmektedir.
- Gelgit Enerjisi: Gelgit enerjisi kısaca ayın çekim gücü ile denizlerdeki dalgalanma hareketine sonucu oluşan bir yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağıdır. Medcezir enerjisi olarak adlandırılır. Gelgit olayı ay, güneş ve dünyanın çekim gücü ile merkezkaç kuvvetleri arasındaki etkileşim sonucunda meydana gelir. Gelgit olayı ile denizlerdeki dalgalanmalar çok yüksek seviyeye ulaşır. İşte bu dalgalar ile gelgit enerjisi meydana gelir.

Gelişen teknolojik imkanlar sayesinde dünyada en çok kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları Güneş ve rüzgâr olup ülkemiz güneş enerjisi bakımından zengin ancak rüzgâr enerjisi bakımından yeterli zenginlikte olmayıp güneş enerjisi potansiyeli yüksek bölgelerde rüzgâr enerjisi düşük olduğu için hibrit sistemlere ihtiyaç artmıştır. Hibrit enerji sistemleri birden fazla enerji kaynaklarını aynı anda kullanabildiğimiz verimliliği yüksek sürekli entegre enerji sistemleridir. Güneş enerjisi sistemlerinin geceleri elektrik üretememesi ve kış aylarında ise verimin düşük yüzünden hibrit enerji sistemlerinin önemi artmaktadır. Güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi ile çalışan hibrit sistemlerin birlikte uyum içinde çalışması ile elektrik üretiminde süreklilik sağlanabilir. Elektrik üretimde sürekliliğin sağlanmasında kullanılan sistemlerden birisi fotovoltaik (FV) paneller diğeri de

rüzgâr enerjisi jeneratörleridir. Fotovoltaik paneller güneş enerjisi ile doğrudan elektrik üretilmekte ve kullanılabilir. İstenildiğinde elektrik olarak akülerde veya elektroliz sistemi ile hidrojen üretilerek sıvı ve gaz olarak depolanabilir. Güneş panellerinin en önemli elemanı fotovoltaik (FV) hücrelerdir. FV hücreler çeşitli tip ve yapısal özelliklerde üretilmektedirler. Günümüzde en yaygın kullanılan tipleri polikristal ve monokristal tipleridir ve üretilen elektrikleri genellikle %15-20 arasında değişmektedir. FV hücrelerin veriminin giderek artırılması ile birlikte güneş panellerinin üretilen elektriklerinde de önemli artmaktadır. Ancak, güneş panellerinin gücü sadece hücrelerin verimine bağlı değildir. Aynı zamanda, paneldeki hücre sayısına, yüzey alana düşen güneş enerjisi oranına, panelin termal özelliklerine ve iklim şartlarına bağlıdır. Paneli oluşturan hücre sayısı panelin gücünü belirlemesi bakımından ihtiyaç duyulan elektrik gücü açısından önemli bir esneklik sağlamaktadır. Şebekeden karşılanan günlük elektrik ihtiyacının bir bölümünü aynı zamanda güneş panelleri ile karşılamak mümkündür. Günümüzde, şebekeye bağlı FV sistemi ile konutların, kamu ve özel iş yerleri, sanayi kuruluşları gibi birçok yerin elektrik ihtiyacının karşılanması amacıyla küçük veya büyük ölçekli güneş enerjisinden elektrik üreten santraller inşa edilmektedir.

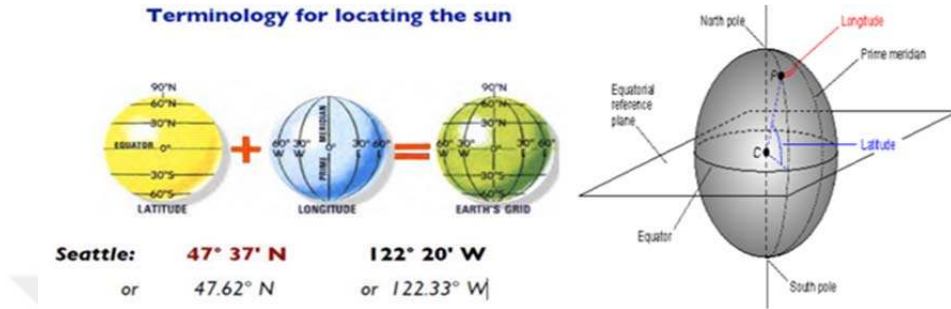
Güneş enerji panellerinin ürettiği elektrik miktarını bulabilmek için Güneş ışınlarının atmosferden dünyamıza geliş açılarını hesaplamak gerekir. Hesaplamalar için gerekli tüm denklemler aşağıda sunulmuştur.

- Güneş Açıları

Güneş açıları, dünyanın güneş etrafında eliptik yörüngede ve kendi eksenini etrafında dönmesiyle belirlenir ve güneş ışınları ile yer yüzeyi arasında oluşan açılardır. Güneş ışınlarından çok etkin faydalanmak için bu açılar önemlidir.

Enlem Açısı (latitude), ϕ : Yeryüzündeki herhangi bir noktayı dünya merkezine birleştiren doğrunun, dünyanın ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Kuzey

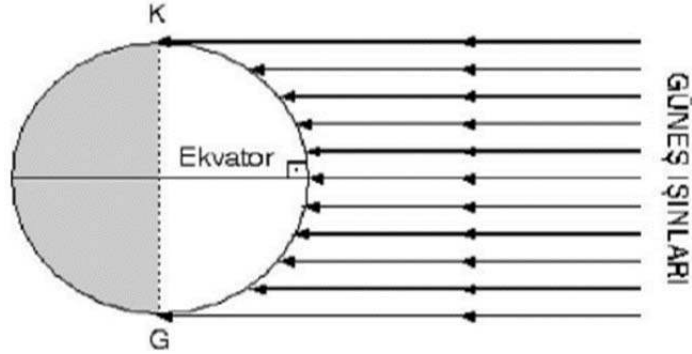
yön pozitif olmak üzere -90° ile 90° arasında değişir ($-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$). Türkiye $36-42^\circ$ kuzey enlemleri ve $26^\circ-45^\circ$ doğu boylamları arasındadır.



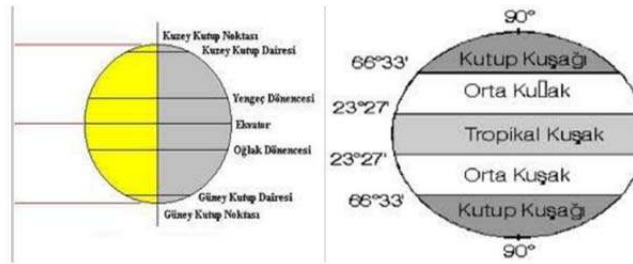
Şekil 1.7. Yerkürenin enlem ve boylamı (<https://avys.omu.edu.tr/>).

Şekil 1.7'deki koordinat sistemine göre $1^\circ=60'$ olup $1'=60''$ dir. Ancak güneş geometrisinde ondalık sistemin kullanıldığı unutulmamalıdır.

Şekil 1.8'de, dönence, yeryüzü üzerinde güneş ışınlarının yılda iki kez dik açı ile geldiği, sıcak kuşağın kuzey ve güney sınırlarını oluşturan ve Ekvator'un $23^\circ 27'$ kuzey ve güneyinden geçtiği varsayılan iki enlemden her biridir. Bu iki enlem arasındaki bölgeye tropikal kuşak denir. Bu enlemlerden yeryüzünün kuzey yarısında olanına Yengeç Dönencesi, güney yarısındakine de Oğlak Dönencesi adı verilir. 21 Haziran'da güneş ışınları Yengeç Dönencesi 'ne dik gelir. Bugün yeryüzünün kuzey yarısında yazın, güney yarısında da kışın başlangıcı olarak sayılır. Bugünden sonra yeryüzünün kuzeyinde günler kısaltmaya, güneyinde ise uzamaya başlar ve buna Yaz Gündönümü adı verilir. Benzeri biçimde, güneş ışınlarının Oğlak Dönencesine dik geldiği 21 Aralık, kuzey yarıkürede kışın, güney yarıkürede de yazın başlangıcıdır. Dönenceler Tropikal kuşağın kuzey ve güney sınırlarını oluştururlar.



Şekil 1.8. Güneş ışınlarının yerküre üzerine gelişi
(<https://avys.omu.edu.tr/>).

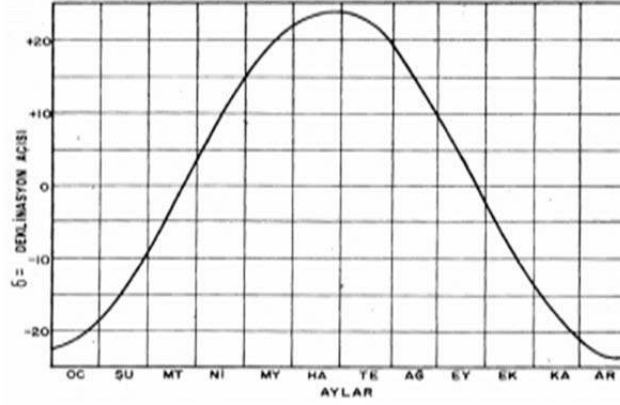


Şekil 1.9. Güneş ışınlarının dönencelere dik gelmesi (Solstis)
(<https://avys.omu.edu.tr/>).

Güneş ışınlarının dönencelere (21 Aralık ve 21 Haziran) dik gelmesine ise “Solstis” denir.

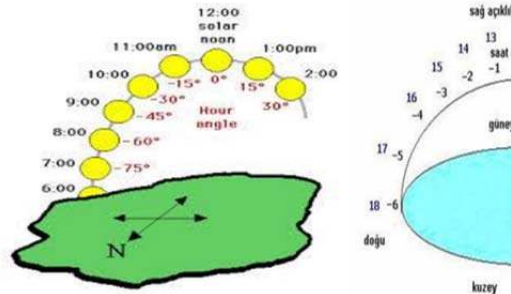
Deklasyon Açısı (δ): güneş ışınları ve dünya arasında ki açısal ilişkiler bakımından en önemli olanıdır. Güneş ışınlarının aylar ve mevsimlere göre dünyaya geliş açısı olup ayrıca diğer bir tanımlamayla da güneş ışınlarının ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Dünyanın kendi eksenini ve yörünge düzlemi ile yaptığı 23,45 derecelik açıdan kaynaklanır. Deklasyon açısı; $-23,45^\circ$ ve $+23,45^\circ$ açıları arasındaki açıların arasındadır.

$$\delta = 23,45 \times \sin[(360/365) \times (284+n)] \quad (1.1)$$



Şekil 1.10. Deklinasyon açısının yıllık dağılımı (<https://avys.omu.edu.tr/>).

Saat açısı (ω): Güneş ışınlarının bulunduğu boylam (güneş boylamı denilebilir) ile göz önüne alınan yerin boylamı arasındaki açıdır. Şekil 1.11'de görüldüğü gibi bir saat 15 boylama eşittir. Güneş açıları güneş öğlesine göre simetrikler. Formül olarak ifade edersek;



Şekil 1.11. Saat açısının gün içinde değişimi (<https://avys.omu.edu.tr/>).

Güneş saat açısı hesaplanmasında yerel saat kullanılmalıdır.

$$\omega = 15 \times (GS - 12) \quad (1.2)$$

Burada 15 sabit sayısı her 15° saat açısı zaman olarak 1 saate tekabül eder diğer bir tanımlamayla dünyanın güneş çevresinde bir defa dönüşü sırasında kat

ettiği 360°'lik açının 24 saate bölünmesiyle elde edilir yani 4 dakika da 1° olarak tanımlanabilir.

$$GB = \cos^{-1} [-\tan(\delta) \tan(\phi)] \quad (1.3)$$

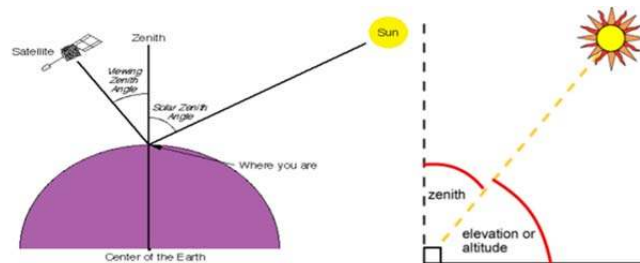
Güneşin batışı, yukarıdaki eşitlikten derece olarak belirlenir. Belirlenen derece değeri 15'e bölünerek güneş batışının, yerel öğle zamanından kaç saat sonra olduğu bulunur. Güneş doğuş zamanını bulmak için bulunan sayı, 12'ye göre saat ibresinin tersi yönünde alınır. Güneş öğle vakti ile güneşin doğuşu ve batışı arasındaki süre aynıdır. Boylam Greenwich'in doğusundaki ülkeler için (-), batısındaki ülkeler için (+) değer alır. Aşağıdaki denklikle bulunabilir;

$$YS = GOZ + [E - 4 (\text{Boylam})] / 60 \quad (1.4)$$

Burada GOZ; Greenwich Ortalama Zamanıdır (Greenwich'deki yerel saat - 0° boylamı).

$$GOZ = [SSA - 3] \quad (1.5)$$

Türkiye için SSA Standart saat, YS Yerel saat (güneş saati-mahalli saat), E Dünyanın yörüngesindeki düzensizlik için alınan düzeltme faktörüdür. Düzeltme faktörü sayıları Çizelge su zaman düzeltme faktörünü hesaplamak için (1.4) eşitliği kullanılır.



Şekil 1.12. Zenit açısı (<https://avys.omu.edu.tr/>).

$$\cos(\psi) = \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\delta) \cos(\omega) \quad (1.8)$$

Burada ψ Zenit açısı ve $\psi = 90 - \alpha$ şeklinde yazılır.

Yükseklik açısı (solar elevation angle) (α): Güneş yükseklik açısı, direkt güneş ışını ile yatay düzlem arasındaki açıdır. Güneş yükseklik açısı, Zenit açısını 90° 'ye tamamlar. Güneş yükseklik açısı eşitlik 1.9'da verilmiştir.

$$\alpha = 90 - \psi \quad (1.9)$$

Çizelge 1.1. Farklı aylarda farklı günler için Zenit açıları

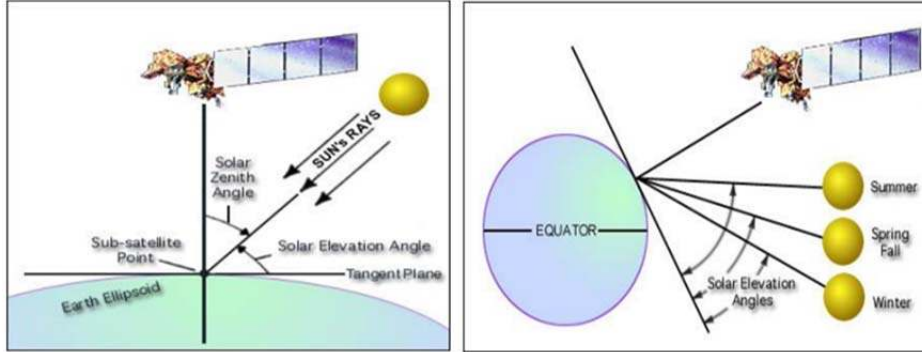
GÜN	1	8	15	22
Aylar				
Ocak	-3,27	-6,43	-9,20	-11,45
Şubat	-13,57	-14,23	-14,25	-12,68
Mart	-12,60	-11,07	-9,23	-7,20
Nisan	-4,18	-2,12	-0,25	1,32
Mayıs	2,83	3,52	3,73	3,50
Haziran	2,42	1,25	-0,15	-1,17
Temmuz	-3,55	-4,80	-5,75	-6,32
Ağustos	-6,28	-5,67	-4,58	-3,07
Eylül	-0,25	2,05	4,48	6,97
Ekim	10,03	12,18	13,98	15,33
Kasım	16,33	16,27	15,48	14,03
Aralık	11,23	8,43	5,22	1,78

Zenit açısı (solar zenith angle) (ψ): Doğrudan güneş ışınlamı ile yatay düzlemin dikey arasındaki açıdır. Zenit açısı, diğer bir deyişle güneş ışınlarının yatay düzleme geliş açısıdır.

Güneş yükseklik açısı ise Eşitlik (1.10) ile hesaplanır.

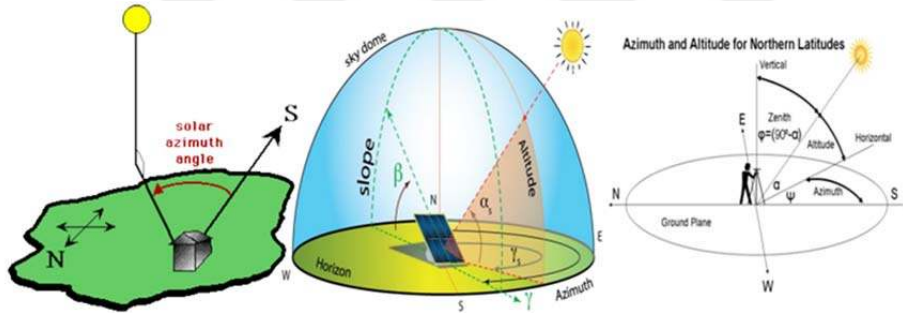
$$\alpha = \sin^{-1}[\cos(\delta) \cos(\varphi) \cos(\omega) + \sin(\delta) \sin(\varphi)] \quad (1.10)$$

Azimut açısı: Azimut açısını, güneş azimut açısı ve yüzey azimut açısı olmak üzere iki başlık altında inceleyeceğiz.



Şekil 1.13. Güneş azimut açısı (<https://avys.omu.edu.tr/>).

Güneş Azimut Açısı (γ_s): Güneş azimut açısı, güneş-dünya doğrultusunun yatay düzlemdeki izdüşümünün, kuzey-güney doğrultusu ile yapmış olduğu açıdır. Güneyden doğuya doğru (–), batıya doğru (+) olarak kabul edilir.



Şekil 1.14. Eğimli bir yüzey için güneş azimut açısı (<https://avys.omu.edu.tr/>).

Güneye doğru azimut açısı aşağıdaki gibi belirlenir.

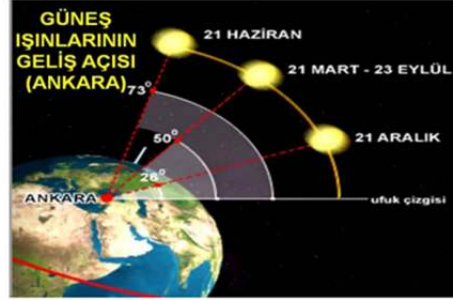
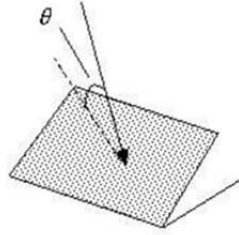
$$\sin \gamma = -\cos \delta \sin \omega / \sin \psi \quad (1.11)$$

veya

$$\gamma = \sin^{-1} [\cos (\delta) \sin (\omega) / \cos (\alpha)] \quad (1.12)$$

$$-180^\circ \leq Y \leq 180^\circ \quad (1.13)$$

Güneş geliş açısı (θ): Yüzeye gelen direkt güneş ışınımı ile yüzeyin dikeyi arasındaki açıdır.



Şekil 1.15. Ankara için güneş ışını geliş açıları (<https://avys.omu.edu.tr/>).

Yüzey güneş ışınlarına dik ise, geliş açısı sıfır ($\theta = 0$), paralel ise 90° 'dir ($\theta = 90^\circ$). Geliş açısı, aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir;

$$\begin{aligned} \cos(\theta) = & [\sin(\delta) \sin(\varphi) \cos(\lambda) - \sin(\delta) \cos(\varphi) \sin(\lambda) \cos(\gamma) + \cos(\delta) \cos(\varphi) \\ & \cos(\lambda) \cos(\omega) + \cos(\delta) \sin(\varphi) \sin(\lambda) \cos(\gamma) \cos(\omega) + \cos(\delta) \sin(\lambda) \sin(\gamma) \\ & \sin(\omega)] \end{aligned} \quad (1.14)$$

$$\theta = \cos^{-1} [\cos(\delta) \cos(\varphi - \beta) \cos(\omega) + \sin(\delta) \sin(\varphi - \beta)] \quad (1.15)$$

Burada β dikkate alınan yüzeyin yatay düzlemle yaptığı eğim açısıdır. δ Deklinasyon açısı, γ Azimut açısı, ω Saat açısı, φ Enlem açısıdır.

Eğim açısı β (slope): Kolektörlerin yatay düzlemle yaptığı açıdır (tilt angle).

$$0 \leq \beta \leq 180^\circ \quad (1.16)$$



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Enerjinin son derece önem arz ettiği ve fosil yakıtların tükenmeye yüz tuttuğu özellikle 21. yy'da yenilenebilir enerji kaynakları önem kazanmaya başlamıştır. Alternatif enerji kaynakları olarak birden çok kaynağın aynı anda kullanıldığı entegre sistemler üzerinde çalışılmıştır. Bu bağlamda konunun önemi ve gerekliliğinden dolayı oldukça fazla araştırma ve geliştirme çalışmaları mevcuttur bunlarda bazılarına ise aşağıda yer verilmiştir.

Emrahoğlu ve Yeğingil (2019), 2017 yılında yaptıkları çalışmada Çukurova Üniversitesi Uzay Bilimleri ve Güneş Enerjisi Araştırma ve Uygulama Merkezin'de (UZAYMER) yatay yüzeye gelen güneş enerjisini deneysel olarak değerlendirmişlerdir.

Bulut (2008) tarafından Adana ili için en uygun güneş paneli yerleşim açıları incelenmiştir.

Patel ve ark (2008), FV paneller üzerindeki kısmi gölgelenmeyi tahmin etmek için bir Matlab uygulaması geliştirerek paneller üzerine gelen kısmi gölgelenmeyi belirlemeye çalışmışlardır. Bunun panelin elektrik üretimi üzerine etkisini incelemişlerdir. Maksimum güç üretimi sağlayan uygun panel kurulumu yapılabileceğini belirtmişlerdir.

Mani ve ark (2010), FV güneş panellerini etkileyen tozların elektrik üretim verimi etkisini incelemişlerdir. Tozdan kaynaklı kirliliğin yüzünden elektrik üretim verimini oldukça azaldığını belirtmişlerdir.

Razzykov ve ark (2011), FV güneş enerjisi sisteminin durumunu incelemişler ve geleceği ile ilgili FV'lerin pazar payının yılda 35-40 oranında büyüdüğünü bildirmişlerdir. FV endüstrisinin büyük miktarda c-Si ve pc-Si gofret teknolojilerini kullandığından bahsetmişlerdir. Tek kavşaklı c-Si ve GaA güneş hücreleri, teorik olarak maksimum verimlilik açısından üst sınırlarına yaklaştığından bahsetmişlerdir.

Eke ve ark (2012), FV güneş enerjisi sistemlerini iki eksenli ve güneş takip sistemi ile incelemişlerdir. 7,9 kWp gücünde özdeş iki FV sistemini kullanmışlardır. Ölçülen veriler ile simülasyon verileri başarılı bir şekilde karşılaştırmışlardır.

Rossi ve ark (2015), FV hücrelerinin gölgelenmesi durumunda, sağlanan gücün azalmasına ve sıcaklık artışı durumunda da panelin elektrik üretiminde meydana gelen azalmayla da verim kayıpları olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları modelin deneysel verilerle uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. Bu yüzden, sıcak nokta şartları altında FV modülünü tanımlamayı sağlayan bir sıcak nokta algılama şemasını önermişlerdir.

Bahaidarah ve ark (2016), FV panellerin düzgün soğutulması üzerine bir araştırma yapmışlardır. Düzensiz sıcaklık, düzensiz ısıtım ve gölgelenmenin hücre parametrelerine ve FV sistemlerinde düzensizliğe yol açtığından ve sıcaklık eğimine neden olduğundan söz etmektedirler. Bu sıcaklık artışının elektriksel ve termal performansı etkilediği, dolayısıyla FV güneş enerjisi sistemlerinin güvenilirliğini azalttığını söylemişlerdir. FV sistemlerinde üniform olmama durumunun hücre sıcaklığını arttırdığını, değişken sıcaklık dağılımını arttırdığını, doldurma faktörünü azalttığını, açık devre voltajını azalttığını, toplam verimliliği azalttığını ve sonuç olarak FV güç çıkışının birim Watt başına bir maliyet artışına yol açtığını ileri sürmektedirler. Soğutma sisteminin FV çalışma performansı üzerindeki olumlu etkilerini göstermiştir.

Kaschub ve ark (2016), Almanya'da güneş enerjisi depolaması ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Azalan FV sistemi maliyetleri ve artan hane halkı elektrik fiyatları nedeniyle FV sistemlerin cazip hale geldiğinden bahsetmişlerdir. Bu gelişmelerin, elektrik talep yapısını, talep miktarlarını, yerel elektrik şebekesinin yükünü FV beslemeli olarak değiştirebileceğini ve ilerleyen zamanlarda depolama işlemine geçişin uygun olacağını tahmin etmektedirler.

Raza ve ark (2016), FV çıkış gücü üzerine bir araştırma yapmışlardır. Bu araştırmada önceden FV çıkış gücünü; sıcaklık, rüzgâr hızı, atmosferik aerosol

seviyeleri, bulutluluk durumu ve nem seviyesi gibi çeşitli meteorolojik faktörlerle, günün ve yılın zamanları, iklim koşulları, coğrafi konum ve yükseklik teknikleri gibi etkenlerle tahmin edilebileceğinden söz etmektedirler.

Rezaee Jordehi (2016), FV hücrelerin parametre tahmini üzerine bir derleme yapmışlardır. FV'lerin elektrik enerjisi üretimine katkısının sürekli arttığını söylemiş ve önemini vurgulamıştır. Uygun devre modeli parametreleri ile FV hücrelerinin performans değerlendirmesinin, kontrolünün, verimlilik hesaplamalarının ve maksimum güç noktası takibinin FV sistemleri için öneminden söz etmektedir.

Maghami (2016), Güneş panelinde kirlenme nedeniyle güç kaybı hakkında bir derleme yapmıştır. FV panellerinde kar, kir, toz, yaprak, polen ve kuş birikintileri gibi kirletici oluşumların panelin ürettiği elektrik üzerindeki etkilerinden söz etmektedir. Bir FV modülünün performansının yüzey kirlenmesi ile azaldığından ve kirlenme miktarının artmasıyla performans azalmasındaki artışa değinmiştir.

Castillo ve ark (2016), Avrupa Birliği (AB)'den 28 ülkenin güneş enerjisi üretimi için bölgesel potansiyelinin değerlendirilmesi ile ilgili bir araştırma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada Avrupa'da FV elektrik üretilmesi için uygun olan yerleri araştırmışlardır. Çalışmada, Geographical Information System (GIS)'ten yararlanılmıştır. FV sistemleri AB'nin birçok bölgesinde sürdürülebilir enerji üretimine katkıda bulunabileceğini söylemişlerdir. FV sistemlerini yerleştirmek için arazilerin kullanılmasına dikkat çekmiş ve tarım arazilerinin kullanılmamasını önermişlerdir.

Nižetić ve ark (2016), fotovoltaiik panel üzerine uygulanan su spreyi soğutma tekniği ile monokristal FV panel üzerinde deneysel bir çalışma yapmışlardır. Panelin arka yüzüne uygulanan su püskürtme tekniği ile elektrik veriminde yaklaşık olarak %14-16 üretilen elektrik elde etmişlerdir. Panelin sıcaklığını ortalama 54 °C'den 24 °C'ye kadar düşürmeyi başaramışlardır.

Bükün (2017), yaptığı çalışmada tek eksenli güneş takip sistemine sahip bir güneş paneli düzeneği kurmuştur. Yaptığı çalışmada biri hareketli, diğeri sabit olmak üzere iki adet güneş paneli kullanılmıştır. Her iki panelin ürettiği akım ve voltaj değerinin ölçümünü yapmış ve kaydetmiştir. Elde ettikleri deneysel sonuçlardan, hareketli panelin sabit panele göre %30-35 daha çok enerji ürettiği gözlemlenmiştir.

Derek ve ark (2017), Kaliforniya’da bulunan 855 büyük (≥ 10 kW) ticari ölçekli bir FV çatı sisteminin performansını incelemiştir. Bu incelemede veri paketleme toplama analizi DEA (Data Envelopment Analysis) kullanılmışlardır. PV kurulum performansının birleşik bir ölçüsünü sağlamak için PV kapasitesini, elektrik üretimini, modülleri, sistem maliyetini, güneş ışınlamını ve ortam hava sıcaklığını değerlendirmişlerdir. Bu yaklaşım, basit çıktı-girdi oranı analizinin bazı sınırlamaların üstesinden gelmek için ve güneş enerjisi kapasitesi ile elektrik üretiminin bütüncül bir şekilde şebekeye verimli bir şekilde entegre edilip edilmediğini değerlendirmişlerdir. Kurulumların kabaca %80-90’ında hem belirli bir yılda hem de farklı yıllarda yaygın verimsizlikler olduğunu bulunmuştur. 2008’den 2012’ye yapılan güneş enerjisi kurulumunda önemli bir verimlilik artışı olduğu görülmüştür. Bölgesel analiz yoluyla, ilçeler ve şehirler arasında yüksek performans dağılımları bulunmuştur. PV kurulumlarının en iyi performansı elde ettiği yerler belirlemişlerdir. Analizlerinde aynı zamanda verimsiz kurulumlar ile verimli kurulumlar arasındaki farkın büyüklüğüne de ışık tutmuşlardır.

Preet (2017), FV panelleri ile üretilen elektriğe panel sıcaklığının etkilerini araştırmışlardır. Sıcaklığın etkisi yüzünden FV panelin veriminin düştüğünden ve yapısındaki bozulmadan bahsetmişlerdir. Bu olumsuzların azaltılması için panel soğutması hakkında önerilerde bulunmuşlardır.

Marucci ve ark (2018), İtalya’da bulunan FV sistemi ile ısıtılan bir serayı incelemişlerdir. Seralarda tek kristalli (monokristal) silikon hücreler seranın üst kısmına eğimli bir şekilde yerleştirilmiştir. FV ile seranın havalandırma ısıtma ve

aydınlatma ihtiyacı karşılanmıştır. Sera içindeki gölgelenme oranının %40'ı geçmediğini tespit etmişlerdir.

Sangwongwanich ve ark (2018), Arizona ve Danimarka'da panel bozulma hızları ve tesisat alanlarına göre şebekeye bağlı FV invertörlerinin ömür boyu değerlendirmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre panel bozulması yıllık olarak Danimarka'da %0,15 Arizona'da ise %1 civarındadır. Panelin daha sıcak bir iklime sahip olan Arizona'da daha çok bozulma oranına sahip olduğunu görmüşlerdir. Sıcaklığın panelin ömür üzerinde oldukça etkili olduğuna değinmişlerdir.

Escribano ve ark (2018), güneş enerjisi teknolojisinin Avrupa'daki FV enerji santrallerinin ekonomik performansına etkisi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada yedi Avrupa ülkesini incelemişlerdir. Yaptıkları araştırmada FV üretilen elektrik ve maliyetlerinin ülkeden ülkeye değiştiğini saptamışlardır. Ayrıca FV maliyetlerinin gittikçe daha uygun bir seviyeye geldiğine dikkat çekmişlerdir.

Gökce, (2020), tarafından fotovoltaik paneller ile elektrik üretilmesi için Çukurova Üniversitesi kampüsündeki Uzay Bilimleri ve Güneş Enerjisi Araştırma ve Uygulama Merkezi (UZAYMER)'in çatısına 8,6 kW kapasiteli on-grid bir güneş enerjisi santrali kuruldu. Ayrıca, fotovoltaik panellerin elektrik üretimini etkileyen faktörler araştırıldı. Bunun için fotovoltaik panellerin üretim verileri, güneş radyasyonu, rüzgâr hızı, sıcaklık değerleri ölçüldü. Panel sıcaklığı, rüzgar hızı, üst yüzey tozu, gölgeleme ve dönüştürücü kayıplarının etkileri belirlendi. Sonuç olarak, rüzgâr hızı artışıyla elektrik üretiminin arttığı, ancak, dönüştürücü kaybı, panelin tozlanması ve gölgelenmesi yüzünden elektrik üretiminin azaldığı görüldü.



3. MATERYAL VE METOD

3.1 Materyal

Bu çalışmada öncelikle çağın en büyük gereksinimlerinden olan elektrik enerjisini elde etme yollarından biri olan fotovoltaik enerji sistemi üzerinde durulmuştur. Çukurova Üniversitesi'nde Fen Edebiyat Fakültesi çatısına kurulan küçük ölçekli güneş enerjisi sistemi (GES), 3 adet polikristal güneş paneli, GW-2000NS invertör (DC/AC dönüştürücü), 6 mm² çapında bağlantı kabloları, güneş enerjisi ölçümü için Solar Log 300 izleme takip cihazı, sıcaklık sensörü, rüzgâr sensörü, konnektör bağlantı grupları, topraklama setinden oluşmaktadır.

3.1.1. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, Güneş'in varlığının kaynağı olan birtakım kimyasal ve nükleer reaksiyonlar sonucunda açığa çıkan ısı ve ışığın diğer adıdır. Yani Güneş'te meydana gelen zincirleme reaksiyonlar sonucu oluşan bu enerji yeryüzünün en temel gereksinimi haline gelmiştir.

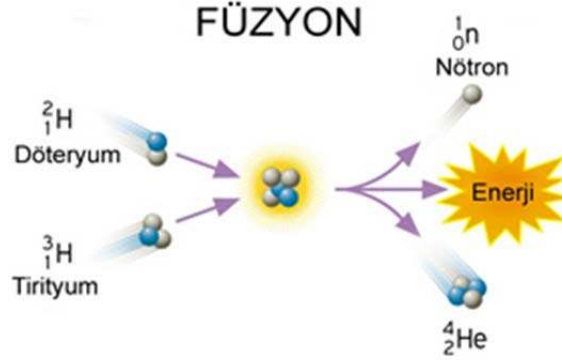
Güneş, Dünya'dan ortalama 149,597,871 km (ya da 1 AU) uzaklıkta olan Sarı Cüce sınıfında orta-küçük büyüklükte olan ve güneş sistemimizin kütle olarak %99,98'ini oluşturan yaşam kaynağımız olan yıldızdır. Güneşin kütlesi yaklaşık olarak $1,989 \times 10^{27}$ kg ile Dünya'nın 333.060 katıdır. Ekvator çapı ise 695.508 km dir. Dünya'ya göre hacimsel büyüklüğü düşünülürse Güneş'in içine yaklaşık 1,3 milyon Dünya sığabilir. Samanyolu Galaksisi merkezine 26.000 ışık yılı uzaklıkta ve 220 km/s yörünge hızına sahiptir. Saniyede 220 km gibi müthiş bir hızla yörüngede yol almasına rağmen kendi yörüngesini bir tam tur atması (1 kozmik yıl) yaklaşık olarak 240 milyon dünya yıldırıdır. Güneşin yüzey sıcaklığı yaklaşık 5500 °C'dir ve çekirdek sıcaklığı ise yaklaşık olarak 15,6 milyon °C olarak belirtilmiştir (www.science.nasa.gov, 2019).

Güneş'in yoğunluğu dünyamızın yoğunluğunun ¼'ü kadar olmasına rağmen yüzey çekim gücü yaklaşık 28 katıdır. Güneşten çıkan enerjinin sadece 2,2

milyarda 1'i yeryüzüne ulaşmaktadır. Kalan kısım ise uzay boşluğunda yok olmaktadır. Güneş atom sayıları bakımında %91 hidrojen ve %8,9 Helyumdan %0,1 diğer elementlerden oluşmuştur. Kütleli olarak ise yaklaşık %70,6 hidrojen ve %27,4 helyum ihtiva etmektedir (www.science.nasa.gov, 2019).

Güneş sürekli bir şekilde içerisindeki Hidrojen atomlarını Helyum atomuna dönüştüren bir reaktör gibi görev yapmaktadır. 4 hidrojen atomunun birleşerek 1 helyum atomu oluşturmaya füzyon reaksiyonu adı verilir. Bir hidrojen atomunun kütleli ağırlığı yaklaşık 1,008 atomik birimdir. 4 H atomunun ağırlığı ise; $4 \times 1,008 = 4,032$ birimdir. Buna karşılık 1 He atomunun ağırlığı ise 4,003 birim ağırlıktır. Bu reaksiyon sonucunda; $4,032 - 4,003 = 0,029$ birim kütle farkı açığa çıkar ve bu Einstein'ın kütle enerji formülüne göre ($E=mc^2$) enerjiye dönüşür. Aşağıdaki şekilde bu reaksiyonun şeması verilmiştir.

Güneşin kütlesi ve yapısındaki reaksiyonlara göre saniyede 564 milyon ton hidrojen yaklaşık 500 milyon ton helyuma dönüşür ve kalan kütle yukarıdaki formüle göre enerjiye dönüşür. Bu dönüşümdeki ortaya çıkan enerji saniyede yaklaşık $3,86 \times 10^{26}$ J olarak hesaplanmaktadır. Kütleli göre kıyaslandığında Güneş'in toplam enerji açığa çıkarma kapasitesi $1,78 \times 10^{47}$ J dır. Güneşten birim saniyede çıkan bu enerji uzayın her yönüne doğru yayılır ve bunun sadece çok küçük bir kısmı yeryüzüne gelir (Varınca ve Varank, 2005). Güneşten anlık olarak yeryüzüne gelen enerji miktarı yaklaşık $1,78 \times 10^{14}$ kW'dır. 8 dakikada yeryüzüne düşen bu enerji Dünya'nın bir yıllık tüm enerji ihtiyacını karşılayabilecek kadar muazzam bir rakamdır (Kalogirou, 2009; Erden, 2014'den). Türkiye bulunduğu matematiksel konumu sayesinde Güneş enerjisinden faydalanma potansiyeli açısından son derece şanslı ülkelerden biridir. Yeryüzüne saniyede gelen birim enerjinin yukarıdaki verilen değerinde 178 milyon MW olduğu görülmektedir. ETKB verilerine göre ülkemizin 2018 yılı enerji üretimi 88.551 MW olarak belirtilmiştir (<http://www.yegm.gov.tr/>)



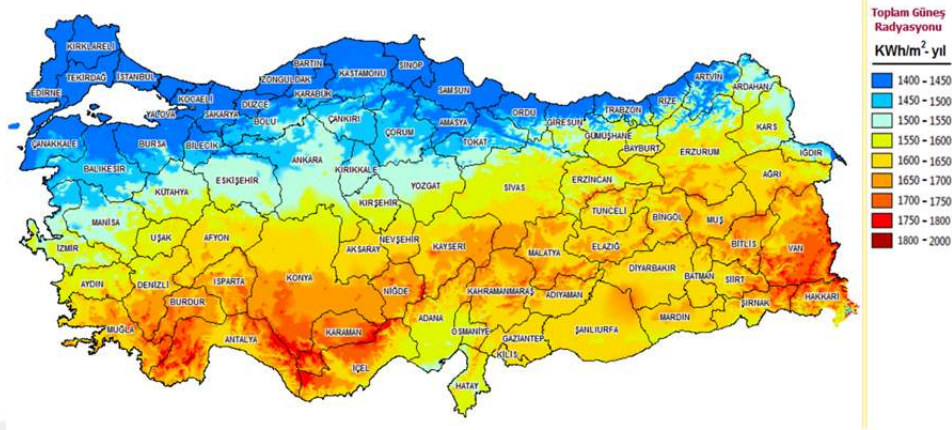
Şekil 3.1. Güneş'te meydana gelen füzyon reaksiyonu (<https://khosann.com/iter-nukleer-fuzyon-reaktoru-nasil-calisiyor/>)

Şekil 3.1'de parçalanmanın tersine nükleer kaynaşma (füzyon), çok hafif iki çekirdeği birleştirerek daha ağır bir çekirdek oluşturmak ve bu şekilde açığa çıkan bağ enerjisini kullanmaktır. Elde edilen ağır çekirdek, başlangıçtaki çekirdeklerden daha karardır. İlke olarak kaynaşma, doğada oldukça yaygın olan çekirdekleri kullanarak büyük bir enerji elde edebilir.

Dünya'ya birim saniyede gelen güneş enerjisi ülkemizde üretilen yıllık enerjinin yaklaşık 2010 katıdır. Bu da güneş enerjisinin ne kadar büyük bir potansiyele sahip olduğunu gözler önüne sermektedir (<http://www.yegm.gov.tr/>)

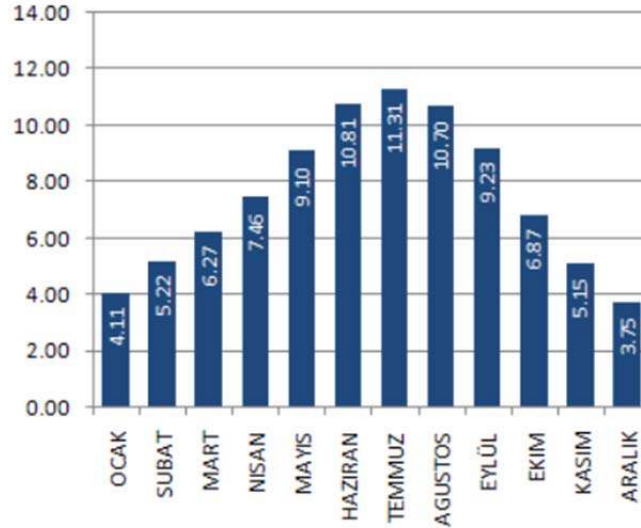
Varınca ve Gönüllü (2006), Türkiye'nin ortalama yıllık güneşlenme zamanı 2640 saat, toplam ışıyım gücü (şiddeti) ise 1331 kWh/m²yıl ve günlük olarak yaklaşık 3,6 kWh/m² 'dir. 2640 saati güne çevirince ülkemiz yıllık olarak yaklaşık 110 gün gibi güzel derecede bir güneşlenme oranına sahiptir Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası da bu verileri doğrulamaktadır.

Şekil 3.2'de görüldüğü üzere ülkemizin orta şeridinden güneye doğru inildiğinde güneşlenme süresi ve potansiyeli artmaktadır. Orta-Güney kuşak arasında güneşlenme radyasyon değeri 1600-2000 kWh/m²-yıl aralığındadır.



Şekil 3.2. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası
(<https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>)

Bölgelere göre değerlendirildiğinde en büyük potansiyelin Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz bölgesi olduğu görülmektedir. Bu bölgeleri sırasıyla Doğu Anadolu ve İç Anadolu bölgeleri takip etmektedir. Yeryüzü şekilleri ve enlemsel konumları da bu değerleri etkilemektedir. Bununla birlikte ülkemizde aylara göre güneşlenme saati değerleri de aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Türkiye’de aylara göre ortalama günlük güneşlenme süresi
(<https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>)

Şekil 3.2’de ve şekil 3.3’de görüldüğü üzere ülkemize düşen enerji oranı ve güneşlenme saati son derece iyidir. Ülkemiz ortalama günlük 7,5 saat güneşlenmeye sahiptir. Ancak bu değerlere rağmen güneş enerjisinin kullanımı ve elektrik üretim oranı son derece düşüktür. 2018 yılı verilerine göre toplam güneş kolektörü alanı 20.200.000 m² ye ulaşmış ve ısı enerjisi üretimi ise 876.720 TEP (Ton Eşdeğer Petrol)’e ulaşmıştır. Bunun yanı sıra ülkemizde 2018 yılı itibari ile 5868 adet güneş santrali, 4981,2 MW lisanssız ve 81,8 MW lisanslı olmak üzere 5063 MW elektrik üretmektedir. Maalesef bu değerlere göre ülkemizdeki toplam elektrik üretimi içerisindeki payı ise ancak %2,5 değerindedir.

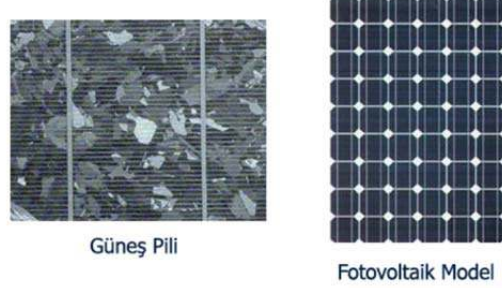
Güneş enerjisi ve ülkemizdeki potansiyelini inceledikten sonra biraz da güneş enerjisinin kullanım alanlarını inceleyeceğiz. Güneş enerjisi, güneş havuzları, güneş kolektörleri, güneş çanakları ve parabolik panelleri, güneş kulesi ve güneş pilleri gibi çeşitli kullanım alanlarına sahiptir.

3.1.2. Güneş Pilleri

Güneş pilleri diğer adıyla güneş hücreleri ya da fotovoltaik hücreler yüzeyine gelen güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken malzemedir. Genellikle dikdörtgen veya kare şekillerde olan güneş hücreleri ortalama 100 cm² ebatlarında ve 0,1-0,4 mm arası ebatlarda olmaktadır.

Üretildikleri malzemeye göre üretilen elektrikleri yaklaşık olarak %5 ile %30 arasında olan çok sayıdaki güneş hücreleri talep doğrultusunda seri ve paralel bağlanarak fotovoltaik panelleri oluştururlar. Böylece çok sayıda hücrenin kullanılması elde edilecek olan elektrik gücünün artmasını sağlamaktadır. Tek bir panelin boyutu kullanıldığı hücre sayısına göre birkaç Watt ile MW boyutları arasındadır (<http://www.yegm.gov.tr/>).

Aşağıda silisyum malzemeden oluşan güneş hücresi(pili) ve hücrelerden oluşan fotovoltaik modül görünmektedir. Modüllerin bir araya gelmesiyle de panel oluşmaktadır.



Şekil 3.4. Güneş pili ve fotovoltaik modül görüntüsü
(<http://www.yegm.gov.tr/>)

Güneş pilleri ve fotovoltaik panellerle ilgili daha detaylı bilgi ileriki bölümlerde verilecektir.

3.1.3. Fotovoltaik Panel (FV)



Şekil 3.5. Polikristal paneller

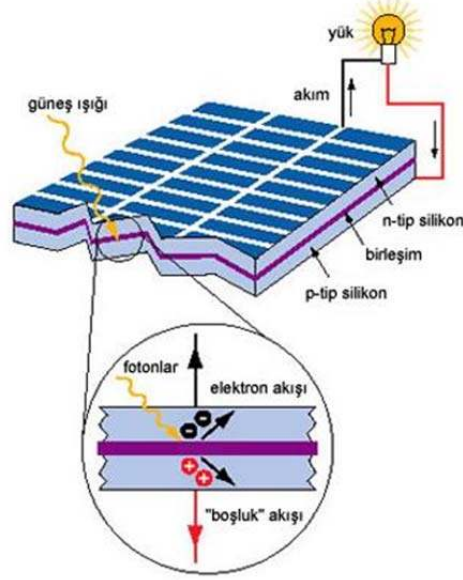
Şekil 3.5’de fotovoltaik panel güneş hücrelerinin bir araya getirilerek seri ve paralel bağlanması sonucu oluşan fotovoltaik modüllerden meydana gelmektedir. Güneş pilleri hakkında yukarıdaki bölümlerde bilgi verilmiştir. Şimdi daha detaylı inceleyeceğiz. Güneş pilleri; güneşten gelen fotonlar sayesinde elektrik enerjisi üreten yarıiletken malzemeden meydana gelen dikdörtgen veya kare malzemelere denilmektedir.



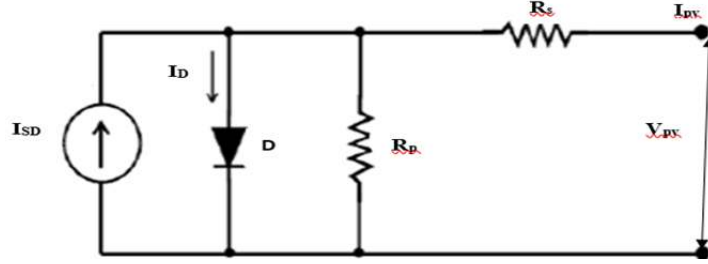
Şekil 3.6. Güneş pilinden elektrik üretim şeması

Şekil 3.6’da güneş pilleri (hücre) yapısal olarak yarıiletken malzemeden oluşmaktadır. Bunun üzerinde ışığı yansıtmadan soğuran yüzey ve en dışta koruyucu katmandan oluşur. P ve N katmalarından oluşan güneş hücresinde fotonlar yüzeye düşerek elektronları koparır ve elektronun hareketi elektriği oluşturur. Aşağıdaki şekilde güneş pilinin yapısı gösterilmektedir.

Başta nötr durumda olan n ve p kutuplu yarı iletkenler şekildeki gibi yerleştirilmiştir. Fotonlar n kutbundan elektronları koparak p kutbuna ilerlemesini sağlar ve yarıiletken levhalar arası elektriksel yük dengesi kurulur. P yarıiletkeni negatif yükle yüklenirken n levhası pozitif yüklü hale gelir ve elektrik akımı oluşmuş olur. Yarıiletken üzerinde foton düşmeye devam ettikçe bu akım da devam eder. İhtiyaç doğrultusunda belirli sayıda hücreler bir araya gelerek seri ve paralel bağlanma ile modülleri modüller de panelleri oluşturur. Bir hücrenin gücü yaklaşık 0,5-1 W, modülden oluşan paneller ise 10-300 W aralığındadır. Aşağıda bir güneş hücresinin iç devre yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Güneş hücresinin yapısı



Şekil 3.8. Güneş hücresinin elektriksel iç devre yapısı

Devre üzerindeki,

I_{PV} : FV panelin Akımı

I_{SD} : Kısa devre akımı

I_D : Diyot akımı

D : Diyot

R_P : FV panelin paralel direnci

R_S : FV panelin seri direnci

V_{PV} : FV panelin çıkış gerilimi

olarak verilmiştir. Devrenin matematiksel gösterimi ise aşağıdaki denklemde 3.1'de verilmiştir.

$$I_{FV} = I_{SD} - I_D \left[e^{\left(\frac{6}{kT_{FV}} (V_{FV} + R_S I_{FV}) \right)} - 1 \right] - \frac{V_{FV} + R_S I_{FV}}{R_P} \quad (3.1)$$

Burada; k Boltzmann sabiti ($1,380622 \times 10^{-23} \text{ J/K}$), T_{FV} sistemin referans sıcaklığı (K) olarak verilmiştir.

Güneş pilleri kullanılan yarıiletken malzemeye göre değişiklik göstermektedir. Bunlardan başlıcaları aşağıda listelenmiştir.

- Mono(tek) kristalli silisyum güneş pilleri
- Poli (çok) kristalli silisyum güneş pilleri
- İnce film güneş pilleri
- Amorf silisyum güneş pilleri
- Kadmiyum tellür ince film güneş pilleri
- Bakır indiyum diselenid güneş pilleri
- Optik yoğunlaştırıcı güneş pilleri

Şeklinde sıralanmıştır. Piyasada en yaygın olarak kullanılan ve ticari olan güneş pili çeşidi ise monokristal güneş pili, polikristal güneş pili ve amorf silisyum güneş pilleridir. Diğerleri daha çok deneysel ve geliştirilmeye açık şekilde olan sistemlerdir.

Tek kristal ve çok kristal (monokristal ve polikristal) silisyum güneş pilleri, FV yapımında sıkça kullanılmaktadırlar. Ancak tek kristal malzemenin maliyeti daha yüksek olduğu için genellikle çok kristalli güneş hücresi nispeten daha yoğun kullanılmaktadır. Silisyum malzemesinin güneş hücresi yapımında kullanılmasının en temel sebepleri, elektriksel, optik ve yapısal özelliklerini uzun süre koruyabilmesidir.

Dünya’da oksijenden sonra en çok bulunan elementin silisyum olmasına rağmen tek kristalli silisyum teknolojisi zor ve pahalıdır. Silisyum genel olarak doğada kum ve kuvars olarak bulunmaktadır. Kum içerisindeki silisyum saflık

oranı son derece az olduğundan dolayı pek kullanılmamaktadır. Kuvars malzemenin ise silisyum oranı yaklaşık %90'lara gelmektedir. Kimyasal işlemler sonucunda bu saflık oranı %99'a kadar çıkarılabilen silika elde edilir ve silikadan da silisyum meydana getirilir. Daha sonra silisyum saflaştırılarak yarıiletken olan çok kristalli silisyum elde edilir. Kuvarstan silisyum eldesine kadar olan süreç ve teknoloji son derece pahalıdır. Polikristal silisyum malzeme tekrar eritilir ve miktarı büyütülür. Silisyum çekirdekleri çok düşük hızda eritilmiş silisyum banyosundan çekilir ve böylece tek kristalli(monokristal) tabaka oluşur.

Ticari amaçlarla kullanılan silisyum güneş hücrelerinin büyük kısmı bor elementi katkılı monokristal tabakalardan (yaklaşık 400 mm kalınlığında) üretilirler. Monokristal ve polikristal güneş pilleri toplam güneş pilleri piyasasının neredeyse %80'ini oluşturmaktadır ve üretilen elektrikleri ortalama %15-23 arasındadır.

3.1.4. Küçük ölçekli GES Sistemi

Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi çatısına kurulan sistemimiz polikristal hücrelerden oluşan 3 adet güneş panelleri oluşmaktadır. Panellerin her biri 270 W gücünde olup, küçük ölçekli GES sisteminin toplam kurulu gücü 810 Wp "On Grid" güneş paneli sistemidir. Kullandığımız panelin elektriksel ve yapısal özellikleri Çizelge 3.1-3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Polikristal güneş panelinin elektriksel özellikleri

GSE 270 PP		
Maksimum güç	P_{max}	270 Wp
Açıkdevre gerilimi	U_{oc}	38.8 V
Maksimum güç noktası gerilimi	U_{mpp}	31.3 V
Kısa devre akımı	I_{sc}	9.21 A
Maksimum güç noktası akımı	I_{mpp}	8.63 A
Modül verimliliği	η_m	16.62 %

PERFORMANS @ 800 W/m ² , NOCT, AM 1.5		
Maksimum güç	P_{max}	199.8 Wp
Açıkdevre gerilimi	U_{oc}	34.9 V
Maksimum güç noktası gerilimi	U_{mpp}	28.5 V
Kısa devre akımı	I_{sc}	7.37 A
Maksimum güç noktası akımı	I_{mpp}	7.01 A

Çizelge 3.2. Polikristal panelin yapısal özellikleri

Hücre adedi	60
Hücre tipi	Polykristal
Hücre ebadı	156.75 mm x 156.75 mm
Ön yüzey	Düşük demirli temperli cam
Arka yüzey	film, beyaz
Çerçeve	Beyaz eloksallı alüminyum
Bağlantı kutusu	IP67
Konektör	MC4 uyumlu

EBAT / AĞIRLIK		Isıl Karakteristikler	
Uzunluk	1647 mm	SÇK	46 °C
Genişlik	992 mm	I_{sc}	0.073 %/K
Kalınlık	40 mm	U_{oc}	-0.31 %/K

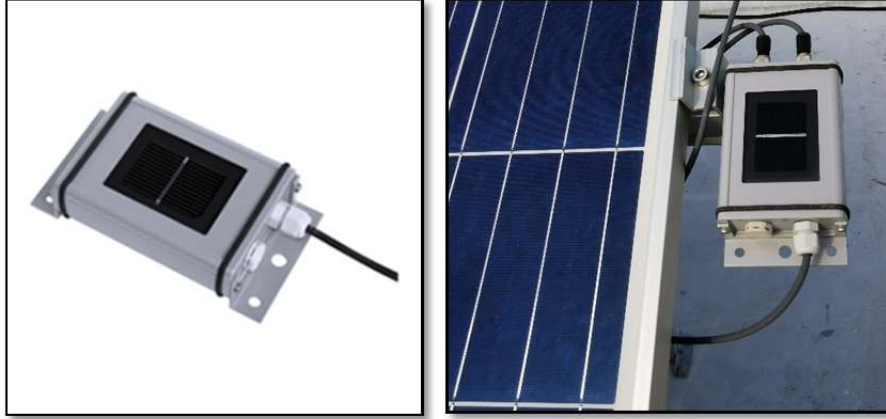
3.1.5. Veri İzleme Takip Sistemi

Şekil 3.9’da Solar-Log marka izleme takip cihazı ile güneş radyasyonu, sıcaklık ve rüzgâr hızı veri ölçümleri alınmaktadır.



Şekil 3.9. Veri takip cihazı ve panel altı yerleşim planı (<https://www.solarlog.com>).

Güneş Sensörü



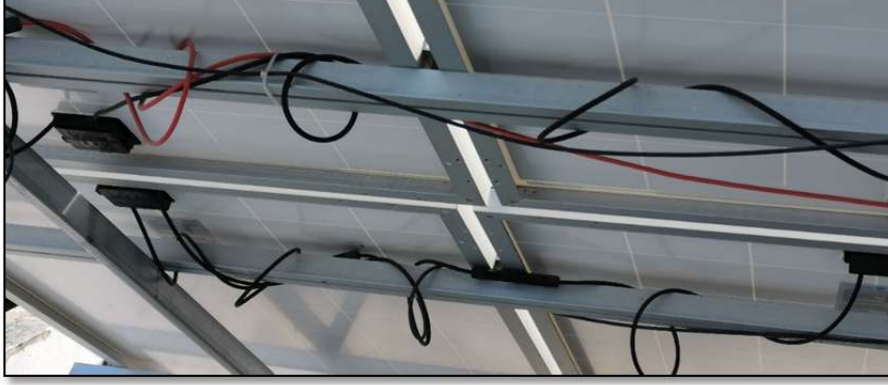
Şekil 3.10. Güneş sensörü ve panel yerleşim planı (<https://www.solar-log.com>)

Şekil 3.10’da görüldüğü gibi panele entegre edilen güneş enerjisi ölçüm sistemi panel eğimine eşit bir şekilde montajı yapılmıştır. Böylece panel yüzeyine gelen güneş enerjisi doğru bir şekilde ölçümü sağlanmaktadır.

3.1.6. Sıcaklık Sensörü

Polikristal fotovoltaik hücreler yüzeyine gelen güneş radyasyonunun büyük bir bölümünü soğurur. Elektrik ve ısı dönüştürür. Elektrik sistem iletkenlerle sisteme aktarılır. Ancak, ısı ise hücre tarafından depolanır ve hücre sıcaklığı gün içinde 60-85 C’ye kadar yükseltebilir. Böylece, hücrelerden oluşan panelin sıcaklığı artar ve elektrik üretimini olumsuz olarak etkiler. Bu nedenle, Şekil 3.11 ve

3.12 de görüldüğü gibi panel ve ortam sıcaklık sensörü (PT1000) güç üretimi hakkında ek bilgi sağlar.



Şekil 3.11. Panel altı sıcaklık ölçüm noktası



Şekil 3.12. Panel altı sıcaklık elektrik tesisatı

3.1.7. İnverter

Rüzgâr türbini ve güneş panelinde üretilen DC elektriğin AC'ye çevirimini akımı ve voltajı düzenleyen ve sisteme zararsız şekilde aktarımına sağlayan materyale inverter denir. İnverterler kullanım amacı, kapasite ve kalitesine göre çok çeşitli şekilde üretilmişlerdir.

Şekil 3.13’de küçük ölçekli GES te kullanılan 2300 W gücünde GOODWE GW-2000NS marka tam sinüs inverter görülmektedir.



Şekil 3 13. GOODWE GW-2000NS marka inverter
<https://www.solar-log.com>.
https://en.goodwe.com/Ftp/EN/Downloads/User%20Manual/GW_XS_User%20Manual-EN.pdf

Kullandığımız inverterin teknik özellikleri ise aşağıda verilmiştir.

DC Giriş Değerleri; maksimum solar panel giriş gücü 2300 W, maksimum giriş voltajı 500, maksimum giriş DC 15 A, MPPT sayısı 1, boştaki tüketim 5W, MPPT voltaj aralığı 125-450 V.

AC Çıkış Değerler: Nominal 2000 W, maksimum 2000 W, maksimum 10 A, çıkış voltajı 180-270 V olarak ayarlanabilir. Maksimum verimlilik, %97 ve koruma sınıfı IP65’dir.

Kullanılan inverter akıllı inverter özelliğine sahip olduğundan dolayı ayrıca bir şarj regülatörü (denetleyici) kullanmamıza gerek kalmamıştır. Uygulama alanına göre seçilebilir şarj akımı özelliğine sahiptir. Ayrıca giriş voltajı da ev aletlerine ve bilgisayarlara göre yani kullanılan cihazlara göre ayarlanabilmektedir. İnverter. Hibrit Enerji Sisteminin en önemli bileşenlerinden birisidir. Bu yüzden inverterin kapasitesi ve teknik özellikleri üretilen elektrik gücüne ve kullanılacak alana göre iyi belirlenmelidir.

3.1.8. Rüzgâr Sensörü (Anemometre)

Havanın ya da başka gazların akım hızlarını ölçmeye yarayan cihazlara anemometre denir. Anemometreler özellikle uçaklar, hava tahminleri ve hava raporları için ilgi sağlamak üzere rüzgârın hızını ölçmek amacıyla kullanılır. Genelde bir rüzgâr fırıldağıyla birlikte kullanılan anemometre hem rüzgârın hızını ölçer hem de yönünü saptar. Fırdöndülü, pervaneli anemometre olmak üzere birkaç türü vardır. Her türün fiyat ya da gördüğü iş gibi kendine özgü üstünlüğü yanında uyarlanma alanına elverişli özelliği de bulunur. Genel kullanımdaki fırdöndülü anemometrenin sıradan bir tekerlek poyrasına, oturtulmuş radyal kollara takılı üç konik külahı vardır. Külahların dönmesinden oluşan enerji rüzgârın hızını göstermek üzere mekanik bir sayaca aktarılabilir.

Kurduğumuz sistemde rüzgâr hızını ölçmek için Uni-t Ut 363 Bluetooth özellikli mini anemometre kullanılmıştır. Anlık olarak havanın ısısını ve rüzgâr hızını ölçebilen cihaz aynı zamanda veri tutma ve bluetooth özelliği ile akıllı telefona veri aktarımı özelliğine sahiptir. Aşağıdaki Çizelgede kullandığımız anemometrenin teknik bilgileri yer almaktadır.



Şekil 3.14. Rüzgâr hızı ölçer (rüzgâr sensörü) (<https://www.solar-log.com>)

Çizelge 3.3. Anemometre teknik özellikleri (<https://www.solar-log.com>)

Özellikler	menzil	çözüm	doğruluk
Rüzgar hızı	0 ° 45m / sn	0.1m/s	(±% 5 + 0.5)
Sıcaklık	-10 ~ 50 ° C 14 ~ 122 ° F	0,1 ° C 0.2 ° F	± 2 ° C ± 4 ° F
Beaufort ölçeği	seviye	0 ~ 12	1
Özellikler			
Örnekleme oranı			2/s
Aşırı yük göstergesi	>45m/s		OL
MAX / AVG			Evet
Veri tutma			Evet
LCD arka ışık			Evet
Otomatik kapanma			5 dakika
Düşük pil göstergesi			3.0 ~ 3.5V
USB arabirimi			Evet
Tripod mount			Evet
Tam pil süresi>	Bluetooth fonksiyonlu 12 saat		
Çalışma ortamı	0 ~ 40 ° C (≤80% RH) 40 ~ 50 ° C (≤45% RH)		
Depolama ortamı	-20 ~ 60 ° C (≤% 75 RH)		
Genel özellikleri			
Batarya	1.5V (AAA) x3 (dahil değildir)		
Ürün Numara	163mmx55mmx28mm		
Ürün ağırlığı	118g		

3.1.9. Multimetre

Herhangi bir sistem veya devre tasarlarken kullanılacak komponentlerin sağlamlığını, ya da arızalı bir sistemde bozulmuş olan komponentin bulunması işlemini tespiti yarayan, voltaj, frekans ve akım ölçümü, direnç, diyot, kondansatör ölçümü, kısa devre kontrolü gibi ölçümleri yapabilen elektronik cihazlara multimetre denir. Multimetreler voltaj ölçüm kademesi, alternatif akım ve doğru akım voltajlarını ölçmeye yarar. Ufak bir kalem pilden 220 V elektrik prizine hatta 1000 V gibi voltajlara kadar ölçümler tek bir cihazdan yapılabilmektedir. Bu da multimetrelerin kullanım alanını genişlemektedir. Kullandığımız multimetrenin görüntüsü aşağıdaki Şekil 3.27’de gösterilmiştir.



Şekil 3.15. UNI-T UT70A Dijital Multimetre görüntüsü



Şekil 3.16. Kurulumu tamamlanan hibrit enerji sistemi görüntüsü

3 adet 270 W gücünde fotovoltaik panelden invertere gelen elektrik akımı değerleri inverterden düzenlenerek regüle edilmekte ve AC akıma dönüştürülmektedir. İnverter üzerinden okunan değerler indirilerek bilgisayar üzerinde kaydedilmiştir. Farklı zaman dilimlerinde yapılan değer okumalarda birbirine yakın zamanlarda yakın elektrik güçleri üretilmiş güneş ışınlarının dik açıya yakın geldiği öğleden önce ile ikindi arasındaki süreçte maksimum üretilen elektrik alınmıştır. Bilindiği gibi fotovoltaik sistemlerinde güneş olmadığı zamanlarda yani akşamdan sabaha kadar olan süreçte bir üretim ve voltaj bulunmamaktadır.

3.2. Metot

Çukurova Üniversitesi'nde Fen Edebiyat Fakültesi çatısına kurulan küçük ölçekli GES, GW-2000NS invertör (DC/AC dönüştürücü) güneş panelleri için sabit açılı montaj seti, 6 mm² çapında bağlantı kabloları, güneş enerjisi ölçümü için Solar Log 300 izleme takip cihazı, sıcaklık sensörü, rüzgâr sensörü, konnektör bağlantı grupları, topraklama setinden oluşmaktadır. Sisteme gelen güneş enerjisi, panellerin ve hibrit enerji sistemi projesinin gerçekleşmesi sonucunda, bölgemiz

koşullarında hem Güneş hem de Rüzgâr enerjisi üretim performansı belirlenmesi amaçlanmıştır. Ancak, bazı elektriksel bağlantı sorunları ve rüzgâr jeneratöründen kaynaklanan bazı sorunlar nedeniyle sadece güneş panelleri üzerine çalışmalarımız tamamlanabilmiştir. Sistemde üretilen elektrik Çukurova Üniversitesi'nde kullanılarak bir ofisin elektrik ihtiyacının önemli bir kısmı sistem ile sağlanmak suretiyle de elektrik giderlerinin azaltılmasında yaptığı aylık ve yıllık katkı oranları belirlenmeye çalışılacaktır. Böylece, Çukurova Üniversitesinde kurulan bu model benzer sistemlerin kurulmasında öncü bir çalışma olacaktır. Kurulacak bu santral ile merkezimiz yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak kendi enerjisini üretebilen bir araştırma merkezi haline gelecektir.

Çalışmamızda kullanılan güneş enerjisi sisteminde kullanılan panellerin hücreleri, polikristalin silikon hücrelerden oluşmaktadır.

Şekil 3.20'de, polikristal hücrelerden oluşan 3 adet polikristal güneş paneli Fen Edebiyat Fakültesi (FEF) çatısındaki yerleşim planı görülmektedir. Çatıda kapladığı alanın boyutları ise $3 \times 3 \text{ m}^2$ 'dir

Bu çalışmada, FEF çatısına kurulan güneş enerjisinden üretilen elektrik ile bir ofisin elektrik ihtiyacının karşılanması için mini boyutlarda güneş-rüzgâr hibrit enerjisi santralının elektrik üretim performansını incelenmektedir. Güneş panelleri güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürebilen verimli ve dayanıklı polikristal fotovoltaiik (FV) hücrelerden oluşmaktadırlar. Kurulan sistemin elektrik gücü yaklaşık 0,810 Whe'dir. Her bir FV panel 60 adet Si polikristal fotovoltaiikten oluşmaktadır. Toplam ağırlığı 18 kg ve gücü yaklaşık 270 Wh_e'dir.

Paneller doğru akım kaynaklarıdır ve buradan üretilen elektriğin bir AC/DC inverter (dönüştürücü) ile alternatif akıma çevrilerek elektrik şebekesine bağlanması gerekmektedir. Bu yüzden, paneller ile üretilen elektriğin, bir ofisin elektrik panosuna verilmesi için 1 adet DC/AC dönüştürücü kullanılacaktır. Panellerin şebekeye bağlantısı için solar kablo ve konektörler ile yapılacaktır. Panellerin bağlı bulunduğu metal yapı sistemi ve diğer elektrik elemanları tarafından maruz kalacağı kaçak elektriğin sistemden atılması ve kısa devre

akımlarının önlenmesi için sistemin topraklama yapılmıştır. Elektrik kaçağının herhangi bir arızaya meydan vermemesi için topraklama sistemi kurulmuştur. Sistem tarafından üretilen gücün takip edilmesi için küçük ölçekli GES'ten şebekeye iletilen DC/AC gerilim değerleri izlenecektir. Sistemin performansının belirlenebilmesi için veri izleme sistemi kullanılacaktır. Güneş panelleri ile üretilen elektrik gücünün şebekeye aktarılması, hattın aşırı akımlardan korunması ve gerekli bağlantıların yapılması için, AC kablolar, sigortalar, şalt malzemeleri kullanılacaktır. Ayrıca, sistemdeki güç üretim ve dağıtım noktalarının sıcaklığının takip edilmesi için termal veri okuyucu ve kaydedici olarak termal ölçüm sistemleri kullanılacaktır. Güneş panelleri çeşitli tip kristal yapılardan oluşturulmaktadır. Bunlar; monokristal, çok kristal (polikristal), ince film ve amorf silisyum fotovoltaiklerden oluşturulan güneş panelleridir.

Güneş FV sistemleri, kullanım alanlarına göre sınıflandırılabilir. Güneş FV sistemlerini iki başlık altında değerlendirebiliriz. Bunlar şebekeye bağlı (on grid) sistemler ve şebekeden bağımsız (off grid) sistemlerdir.

Bir güneş enerjisi panelinin elektrik üretimini analiz etmek için, paneli oluşturan hücrelerin yapısının bilinmesi gerekir. Çizelge 3.2'den elde edilen aşağıdaki verilere göre,

- Gücü (P_{max}) : 270 W
- Açık devre gerilimi (U_{oc}) : 38,8 V
- Kısa devre akımı (I_{sc}) : 9,21 A
- Maksimum gerilimi (U_{mpp}): 31,3 V
- Maksimum akımı (I_{mpp}) : 8,63 A
-

$$FF = \frac{P_{max}}{U_{oc} \times I_{sc}} \cdot 100 \quad (3.2)$$

$$P_{max} = U_{mpp} \times I_{mpp} \quad (3.3)$$

Eşitlik 3.2 ve 3.3 kullanılarak panelin dolum faktörü (fill-factor, FF) ve verimi teorik olarak %64,1 ve verimi %16,63 olarak hesaplanır. Burada fill-factor hücrelerin dolum oranı yoğunluğu olarak belirtilmektedir.

3.2.1. Şebekeye Bağlı (On Grid) Güneş FV Sistemleri

Bu sistemlerde iki ana güç kaynağı vardır. Biri güneş FV sistemden gelen güç kaynağı diğeri ise başka bir elektrik hattından gelen güç kaynağıdır. Güneş FV sistemden üretilen elektrik tüketilen elektriği karşılıyorsa bu elektrik kullanılır. Panellerin ürettiği elektrik ihtiyaçtan fazla olduğunda 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 alınır.

3.2.2. Şebekeden Bağımsız (Of Grid) Güneş FV Sistemleri

Bu sistemlerin herhangi bir başka şebekeyle bağlantısı yoktur. Bu sistemlerde gereken elektrik ihtiyacı sadece güneş FV sisteminden karşılanır. Bunun için güneşin olmadığı ya da yeterli elektriğin karşılanamadığı zamanlarda elektrik ihtiyacının karşılanması için bir depolamaya ihtiyaç vardır. Bunun için sistemin gücüne göre elektrik aküleri kullanılır.

3.2.3. FV'lerin Çalışmasını Etkileyen Faktörler

FV'lerin çalışmasının etkileyen ve performansını azaltan etkilerin başında bulunduğu coğrafi konumu (güneş açıları ve gelen ışın miktarı), sıcaklık, gölgelenme, tozlanma, DC/AC dönüştürücülerdir

3.2.3.1. Coğrafi Konum

FV güneş hücrelerinin çalışmasındaki en önemli etken hücrelerin üzerine düşen güneş ışığıdır. Güneş ışığının şiddeti, hücrelerin üzerine düşen ışığın geldiği açı; bunlar hücrelerin elektrik üretimini doğrudan etkiler. Bu nedenle bulunan enlem, yılın hangi zamanında bulunduğu güneş FV sisteminin çalışmasını

doğrudan etkiler. Coğrafi konuma göre o bölgeye gelen güneş enerjisi tahmin edilebilir. Bu tahminler yapılırken güneş açıları dikkate alınır. Bu açıları şu şekilde sıralayabiliriz; Enlem açısı, Deklinasyon açısı, Saat açısı, Zenit açısı, Yükseklik açısı, Azimut açısı ve Güneş geliş açısıdır.

3.2.3.2. Sıcaklık

Panel sıcaklığı güneş hücrelerinin çalışmasını doğrudan etkiler. Panelin sıcaklığının artmasıyla beraber panelin veriminde bir düşüş gözlenir. Sıcaklık artışı güneş hücrelerindeki bozunmayı da artırır ve panellerin ömründe belli bir oranda azalmaya neden olur. Panellerin sıcaklığa bağlı üretilen elektriklerini veren çeşitli formüller vardır.

Bir FV panelin hücre sıcaklığı (T_c), istenilen bir hava sıcaklığı (T_a) ve (G) ışıınım değeri (kW/m^2) için NOCT sıcaklığı kullanılarak tahmin edilebilir. μ_p panelin özelliklerine göre 0.38-0.45 %/K arasında değişmektedir (Boztepe, 2017).

$$T_c = T_a + (\text{NOCT} - 20) / 0.8 G \quad (3.4)$$

Burada G ışıınım değeridir. Bulunan sıcaklık değeri, panel gücünün sıcaklığa bağımlılık katsayısı μ_p ile birlikte kullanılarak panelin çıkış gücü hesaplanabilmektedir. Burada $P_{(m, \text{STC})}$ standart test koşullarındaki (STC) panel gücüdür (Boztepe, 2017).

$$P_{m(T_c)} = P_{(m, \text{STC})} [1 - \mu_p (T_c - 25)] \quad (3.5)$$

$P_m (T_c)$ Standart test koşullarındaki (STC) panel gücüdür.

FV panellerde NOCT sıcaklığı 42-52°C aralığında değişmektedir. Görülen 10°C'lik fark, sıcaklığa bağımlılık katsayısı $\mu_p = 0.38 - 0.45\% / K$ arasında kabul edilirse %3,8-%4,5 arasında bir güç farklılıkları ortaya çıkarır ki bu önemli bir miktardır. Dolayısıyla panel seçiminde NOCT sıcaklığı ile gücün sıcaklığa

bağımlılık katsayısı birlikte değerlendirilmeli ve sıcaklıktan en az etkilenenler seçilmeye çalışılmalıdır. Böylece sıcaklığın yüksek olduğu zamanlarda performans düşüşü azaltılmış olacaktır (Boztepe, 2017).

$$I_{FV}=I_L-I_S (e^{(qV)/nkT}-1) \quad (3.6)$$

Burada I_{FV} güneş panelinin akımı, I_L ışık akımı, I_S diyot doyma akımı, q elektron yükü, V güneş panelinin gerilimi, n diyot faktörü, k Boltzman sabiti, T hücre sıcaklığıdır. Işınım $G=100-1000 \text{ W/m}^2$ arasında hücre sıcaklığı T ise $0-75$ °C arasında değişmektedir (Boztepe, 2017).

3.2.3.3. Gölgeleme

Gölgeleme FV panellerin çalışmasını doğrudan etkiler. Panel üzerine düşen gölge FV hücrelere ulaşan ışımayı azaltır. Hücrelere gelen enerjideki bu azalmadan dolayı hücreler daha az enerji üretirler. Gölgelemenin bir diğer olumsuz etkisi ise kısmi gölgeleme etkisidir. Paneldeki sadece bir hücrenin gölgelemesi bile tüm panelin ürettiği enerjinin büyük ölçüde azalmasına neden olabilir. Gölgelenen hücre diğer hücrelere göre çok az enerji üretir ve bir direnç etkisi gösterir. Diğer hücrelerin ürettiği elektrik akımı gölgelenen hücrenin üzerinden geçmeye başlar ve bu hücrede ani bir sıcaklık değişimi gözlenir.

FV paneller üzerindeki gölgeleme sadece üretilen elektrikte azalmaya neden olmaz. Ayrıca gölgelemenin etkisiyle hücreler üzerindeki aşırı ısınma nedeniyle FV panellerin ömrünün azalmasına da sebep olur.

FV panellerin kurulması düşünülen yerler gölge almayan alanlar olmalıdır. Panellerin yakınındaki ağaçların ve binaların gölgesinden etkilenmemesine dikkat edilmelidir.

3.2.3.4. Tozlanma

Toz parçacıklarının birikmesi, güneş hücrelerinin performansını düşürür ve güneş panelinin yüzeyindeki güneş ışıını saçılma etkileri nedeniyle oluşan güçte kayda değer kayıplara neden olur (Saidan ve ark, 2016),

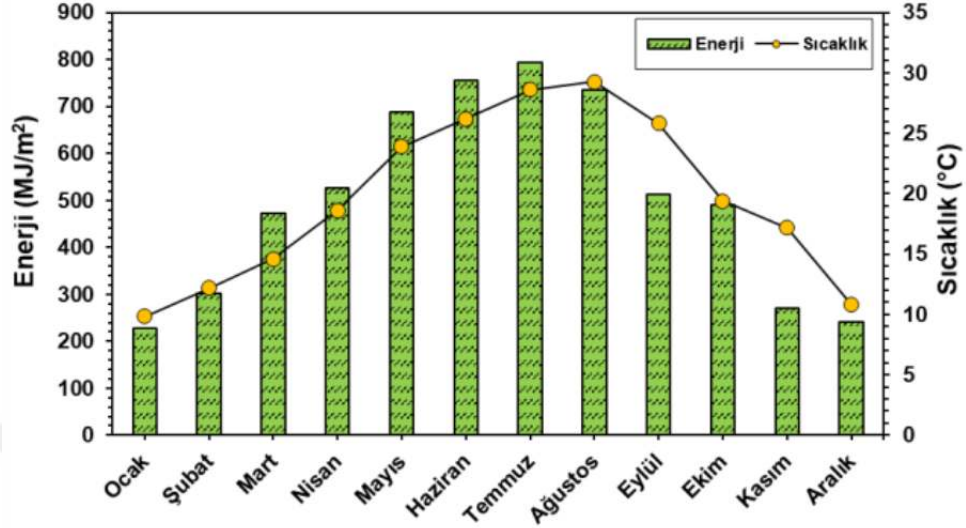
Çevresel etkiler fotovoltaik panellerin üzerinde havadaki tozun birikmesi, FV hücrelerinin üstündeki camdan güneş ışığının geçişini azaltabilir ve FV panellerinin performansında önemli bir bozulmaya neden olabilir. Bu konuyla ilgili önceki çalışmalar toz birikiminin; güneş kolektörünün eğim açısı, toza maruz kalma süresi, saha iklim koşulları, rüzgâr hareketi ve toz özellikleriyle yakından ilgili olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, az sayıda çalışma, FV panel özelliklerinin, hücre tiplerinin ve yüzey malzemelerinin de toz birikimi ve verimin bozulması üzerindeki etkisini değerlendirmiştir.

3.2.3.5. Dönüştürücü Seçimi

FV paneller DC elektrik enerjisi üretir, evlerde ve işyerlerinde ise AC elektrik enerjisi kullanılır. Bu nedenle FV panellerin ürettiği DC elektriği AC elektriğe çevirmek için DC-AC dönüştürücüler (inverter) kullanılır. Dönüştürücü seçerken dikkat edilmesi gereken husus, dönüştürücüden kaynaklı enerji kaybını en aza indirmektir. Aşırı ısınma, dönüştürücüde kullanılan yarı iletken, kapasitör ve bobinlerden kaynaklanabilecek olan enerji kaybı %1-%10 arasında değişebilmektedir. Dönüştürücü seçerken kurulacak olan sistemin gücüne yakın olması kapasitede bir DC-AC kullanılmasının enerji kaybını düşüreceği öngörülmüştü

Bu bölümde polikrital güneş panellerinden oluşan Küçük ölçekli GES sisteminin bazı aylarda güneşli ve rüzgârlı günler için deneysel veriler elde edilmiştir. Bunlar modül sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), ortam sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), rüzgâr hızı (km/sa), inverter iç sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), inverter çıkış AC gerilim (V), inverter giriş DC gerilimi (V), güneş radyasyonu (W/m^2) ve üretilen elektrik (kWsa) dir. Bu veriler analiz edilerek güneş panellerinin üretilen elektrikini etkileyen parametreler ve bunların güneş panellerinin performansı üzerindeki etkileri incelendi Bu nedenle güneş modülü, ortam ve inverter sıcaklığı, rüzgâr hızı, invertere DC giriş gerilim ve çıkış AC gerilim değerleri ölçülmüştür. Küçük ölçekli GES sisteminin üretilen elektrikini etkileyen parametreler Çukurova Üniversitesinde kurulacak güneş enerjisi sistemleri için örnek bir çalışmadır.

Şekil 4.1’ de görüldüğü gibi Adana bölgesinin birim yüzey alanına (m^2) gelen güneş enerjisi $1500\text{-}1800 \text{ kWh/m}^2$ yıl arasında değişmektedir. Çukurova üniversitesi için yıllık güneşlenme ise $1550\text{-}1600 \text{ kWh/m}^2$ yıl olarak verilmiştir.

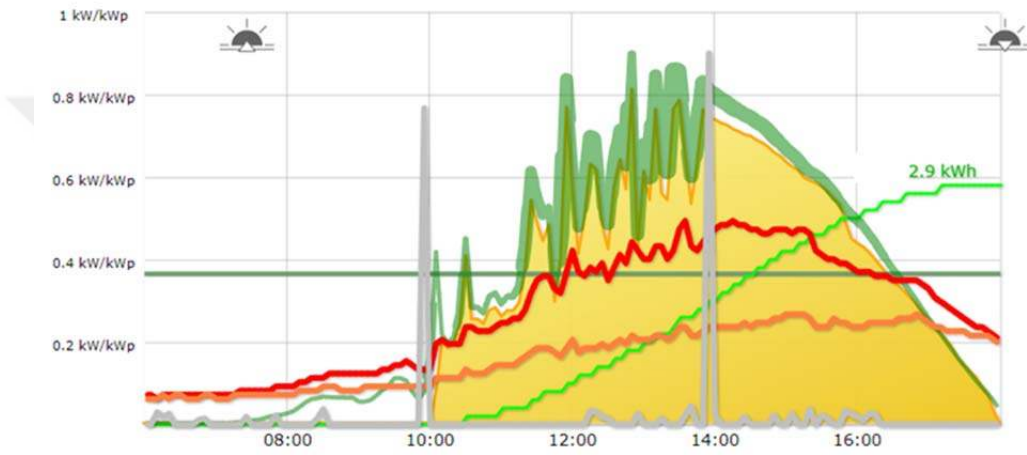


Şekil 4.2. Adana için aylara göre güneş enerjisi ve ortalama sıcaklık değişimi (Atiz ve Karakilcik, 2019)

Şekil 4.2’de Atiz ve Karakilcik tarafından, Adana için yatay yüzeye gelen güneş enerjisi en fazla Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında olup sırasıyla 756 MJ/m², 792 MJ/m² ve 735 MJ/m²’dir. Gelen enerjini en az olduğu aylar ise Kasım, Aralık ve Ocak ayları olup sırasıyla 269 MJ/m², 240 MJ/m² ve 226 MJ/m²’dir. Çevrenin ortalama sıcaklığının en az olduğu aylar Ocak, Şubat ve Aralık olup sırasıyla 9.83 °C, 12.2 °C ve 10.8 °C’dir. Fakat yaz aylarında güneş enerjisinin artmasıyla ortalama çevre sıcaklığı da artmaktadır. Çevrenin ortalama sıcaklığının en fazla olduğu aylar Haziran, Temmuz ve Ağustos olup sırasıyla 26.22 °C, 28.62 °C ve 29.29 °C’dir. Gelen güneş enerjisi ve ortalama çevre sıcaklığı kışın ciddi miktarda düşerken, yaz aylarında ise, oldukça yüksek seviyelere ulaşmıştır. Bu değişimlerin sistemin verimi üzerinde etkisi olacağı belirtilmiştir.

Şekil 4.3-4.11’de küçük ölçekli GES sisteminin performansını etkileyen değerler günlük olarak saat 08.00 dan 18.00’a kadar ölçülmüştür. Polikristal fotovoltaiik (FV) hücrelerden oluşan güneş 3 adet güneş panellerinin 8 farklı parametrelerinin günlük dağılımları görülmektedir. Panellerin elektrik üretimini etkileyen sıcaklık, rüzgâr hızı, DC den AC’ye dönüşüm kayıpları ve yüzey alana

gelen güneş enerjisi gibi parametrelerin gün doğumundan batımına kadar olan süre içinde birbirlerine göre değişimleri elde edilmiştir. Bu değişimler gösteren 8, 10, 12, 14, 16 ve 18 saatleri dikkate alınarak Çizelge 4.1-4.10'da değerleri çıkarılmıştır. Şekil 4.3-4.11'de deneysel olarak elde edilen 8 farklı profillerin renk dağılımlarına göre Çizelgelerde 8 farklı parametre belirtilmiştir.



Şekil 4.3. Şubat için FV GES sisteminin enerji dağılımı (24 Şubat 2020).

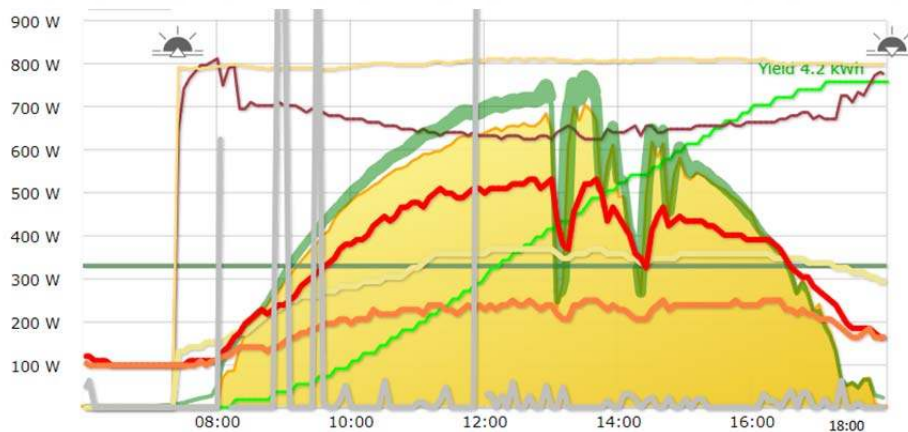
Kırmızı modül sıcaklığını, turuncu ortam sıcaklığını, gri rüzgâr hızını, açık bej inverter sıcaklığını, bej AC gerilimini, Vişne çürüğü DC giriş gerilimini, mat yeşil güneş radyasyonu ve açık parlak yeşil de üretilen elektriktir. Panellerin günlük toplam üretilen elektrik açık yeşil, sıcaklık koyu mat yeşil, rüzgâr hızı gri, ortam sıcaklığı turuncu ve sarı boyalı parabolik alan ise toplam güneş enerjisini vermektedir.

Şekil 4.3'deki profillere göre, 08.00-18.00 arasında elde edilen saatlik ölçüm değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Sabah saatlerinde sistemi oluşturan modüle gelen güneş enerjisi 24 W/m^2 iken, modül sıcaklığı 9°C , güneş enerjisinin ise öğlen maksimum $794,6 \text{ W/m}^2$ yükselmesiyle modül sıcaklığı da maksimum 47°C değerine ulaşmıştır. Kısa süre içinde paneli oluşturan FV hücrelerin 38°C 'lik sıcaklık artışına rağmen üretilen elektrik $2,9 \text{ kW/sa}$ enerji üretildiği görülmüştür.

Öğleden sonra (saat 14, 16 ve 18) Güneş enerjisinin azalmaya başlamasıyla birlikte ortam ve modül sıcaklığı azamaya başladı ve beraberinde üretilen elektrik miktarı da azalmıştır. Ancak gün içerisinde sistem verilen elektrik artarak yükselmeye devam etmiştir. Günü sonunda toplamda 4,2 kWsa elektrik üretilmiştir.

Çizelge 4.1. 24 Şubat 2020 için FV GES sisteminin deneysel verileri

Saat/Renk	Modül Sıcaklığı (°C)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Rüzgâr Hızı (km/sa)	İnverter İç Sıcaklığı (°C)	Gerilim AC (V)	Giriş Gerilimi DC (V)	Güneş Rad. (W/m ²)	Üretilen Elektrik (kWsa)
08:00	9	7	0	10	225	103	24	0
10:00	19	11	74,5	26	222	110	74	0
12:00	41	20	0	29	222	85	641,1	1,7
14:00	47	23	87,5	39	225	81	794,6	2,9
16:00	36	23	1,8	38	227	85	491,1	3,9
18:00	21	20	0	29	225	99	53	4,2



Şekil 4.4. Şubat için FV GES sisteminin enerji dağılımı (25 Şubat 2020).

Şekil 4.4’de polikristal fotovoltaik (FV) hücrelerden oluşan güneş 3 adet güneş panellerinin 8 farklı parametrelerinden, panellerin günlük toplam üretilen

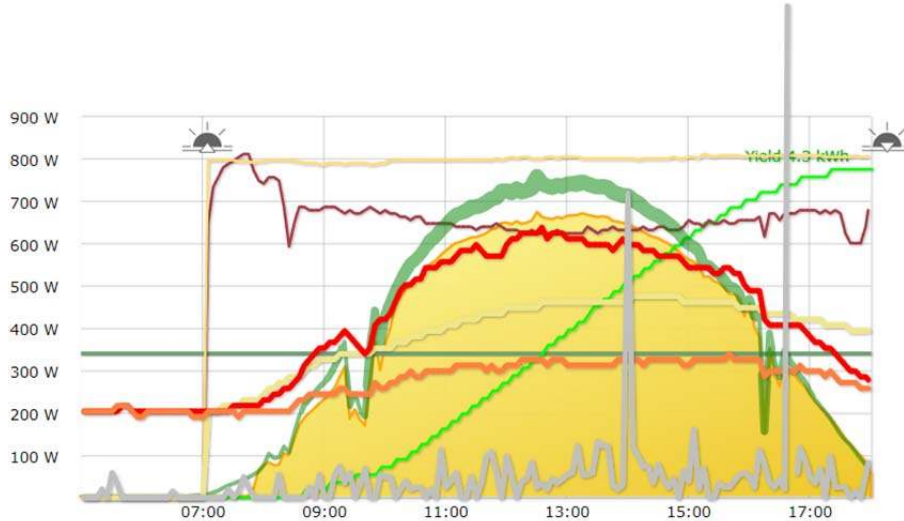
elektrik açık renkte, sıcaklık koyu mat yeşil, rüzgâr hızı gri ortam sıcaklığı turuncu ve sarı boyalı parabolik alan ise toplam güneş enerjisini vermektedir.

Çizelge 4.2. 25 Şubat 2020 için FV GES sisteminin deneysel verileri

Saat/Renk	Modül Sıcaklığı (°C)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Rüzgâr Hızı (km/sa)	İnverter İç Sıcaklığı (°C)	Gerilim AC (V)	Giriş Gerilimi DC (V)	Güneş Rad. (W/m ²)	Üretilen Elektrik (kWsa)
08:00	12	11	0	14	225	104	57	0
10:00	35	18	0	26	225	86	600	0,61
12:00	46	21	2,9	33	229	81	837,4	1,7
14:00	41	21	0	33	228	82	638,3	2,9
16:00	36	22	0	33	229	85	528,6	3,9
18:00	15	27	0	15	226	100	26	4,2

Çizelge 4.2’de 08.00-18.00 arasında elde edilen saatlik ölçümlere göre, sabah saatlerinde sistemi oluşturan modüle gelen güneş enerjisi 57 W/m² iken, sıcaklığı 12 °C, güneş enerjisinin ise öğlen maksimum 837,4 W/m² yükselmesiyle modül sıcaklığı da maksimum 46 °C değerine ulaşmıştır. Kısa süre içinde paneli oluşturan FV hücrelerin 34 °C ’lik sıcaklık artışına rağmen üretilen elektrik 1,7 kW/sa enerji üretildiği görülmüştür. Rüzgâr hızının 2,9 km/sa olması panelin üretilen elektrik üzerinde olumlu bir etkisi olduğu görülmüştür. Aksi takdire FV sıcaklığı daha yüksek değerlere ulaşması mümkündür. Öğleden sonra (saat 14, 16 ve 18) Güneş enerjisinin azalmaya başlamasıyla birlikte ortam ve modül sıcaklığı azamaya başladı ve beraberinde üretilen elektrik miktarı da azalmıştır. Ancak gün içerisinde sistem verilen elektrik artarak yükselmeye devam etmiştir. Günün sonunda, FV’lerin elektrik üretimin rüzgârın önemli bir etkisi olduğu açıkça görülmektedir. Ayrıca inverter’in iç sıcaklığı ve DC/AC dönüşümü gibi inverter kayıplarının olumsuz etkileri de üretilen elektrik düşmesinde kayda değer bir etkiye

sahiptir olduğu görülmüştür. Güneş enerjisi sistemlerinde, sistem kayıplarında inverter önemli bir paya sahiptir. Günlük üretilen toplam elektrik 4,2 kWsa dır.



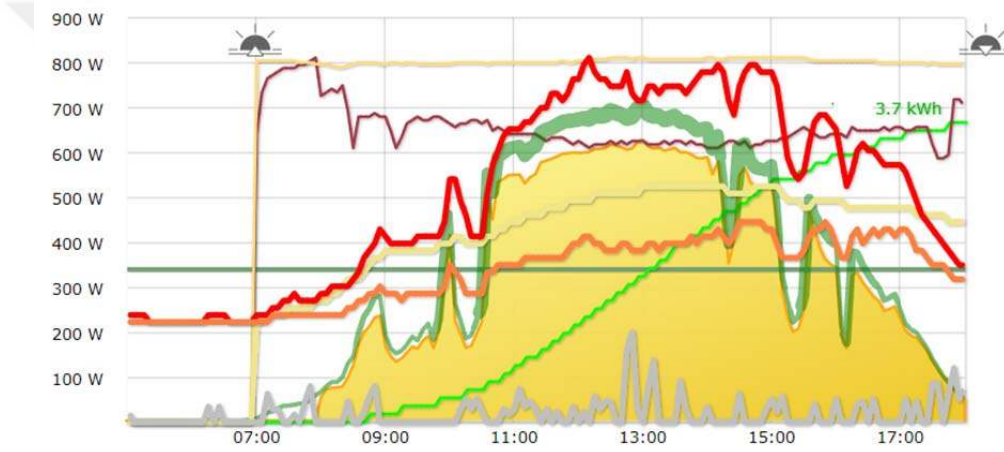
Şekil 4.5. Mart için FV GES sisteminin enerji dağılımı (10 Mart 2020).

Çizelge 4.3. 10 Mart 2020 için FV GES sisteminin deneysel verileri

Saat/Renk	Modül Sıcaklığı (°C)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Rüzgâr Hızı (km/sa)	İnverter İç Sıcaklığı (°C)	Gerilim AC (V)	Giriş Gerilimi DC (V)	Güneş Rad. (W/m ²)	Üretilen Elektrik (kWsa)
08:00	17	15	0	18	226	95	89	0
10:00	31	19	3,6	26	225	87	521,1	0,48
12:00	44	23	7,2	33	228	81	872,9	1,82
14:00	44	24	5,9	35	228	635	858,9	2,9
16:00	36	24	3,6	33	230	84	561,4	3,9
18:00	21	19	4	29	229	82	107	4,3

Çizelge 4.3’de 08.00-18.00 arasında elde edilen saatlik ölçümlere göre, sabah sabah saatlerinde sistemi oluşturan modüle gelen güneş enerjisi 89 W/m^2 iken, sıcaklığı 17°C , güneş enerjisinin ise öğlen maksimum $872,9 \text{ W/m}^2$ yükselmesiyle modül sıcaklığı da maksimum 44°C değerine ulaşmıştır. Kısa süre içinde paneli oluşturan FV hücrelerin 27°C ’lik sıcaklık artışına rağmen üretilen

elektrik 1,82 kW/sa enerji üretildiği görülmüştür. Rüzgâr hızının 7,2 km/sa olması panelin üretilen elektrik üzerinde olumlu bir etkisi olduğu görülmüştür. Aksi takdire FV sıcaklığı daha yüksek değerlere ulaşması mümkündür. Öğleden sonra (saat 14, 16 ve 18) Güneş enerjisinin azalmaya başlamasıyla birlikte ortam ve modül sıcaklığı azamaya başladı ve beraberinde üretilen elektrik miktarı da azalmıştır. Ancak gün içerisinde sistem verilen elektrik artarak yükselmeye devam etmiştir. Günü sonunda toplam 4,3 kWsa elektrik üretilmiştir.

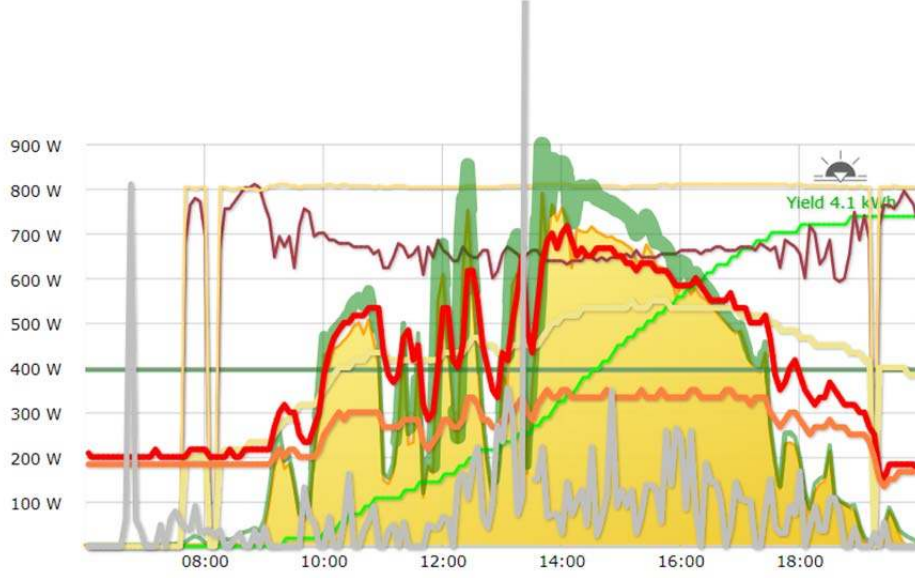


Şekil 4.6. Mart için FV GES sisteminin enerji dağılımı (14 Mart 2020).

Çizelge 4.4. 14 Mart 2020 için FV GES sisteminin deneysel verileri

Saat/Renk	Modül Sıcaklığı (°C)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Rüzgâr Hızı (km/sa)	İnverter İç Sıcaklığı (°C)	Gerilim AC (V)	Giriş Gerilimi DC (V)	Güneş Rad. (W/m ²)	Üretilen Elektrik (kWsa)
08:00	18	15	0	18	227	94	79	0
10:00	34	22	0	25	227	86	559,4	0,36
12:00	48	25	0	31	229	81	881,7	1,2
14:00	49	26	2,2	33	231	79	888,7	2,4
16:00	41	25	0	31	229	83	472,5	3,3
18:00	22	20	3,2	28	227	93	120	3,7

Şekil 4.6'da verilen ve Çizelge 4.4'de 08.00-18.00 arasında elde edilen saatlik ölçümlere göre, sabah sabah saatlerinde sistemi oluşturan modüle gelen güneş enerjisi 79 W/m² iken, sıcaklığı 18 °C, güneş enerjisinin ise saat 14:00 te maksimum 888,7 W/m² yükselmesiyle modül sıcaklığı da maksimum 49 °C değerine ulaşmıştır. Kısa süre içinde paneli oluşturan FV hücrelerin 31 °C'lik sıcaklık artışına rağmen üretilen elektrik 2,4 kW/sa enerji üretildiği görülmüştür. Rüzgâr hızının ortalama 2,7 km/sa olması panelin üretilen elektrik üzerinde olumlu bir etkisi olduğu görülmüştür. Aksi takdire FV sıcaklığı daha yüksek değerlere ulaşması mümkündür. Öğleden sonra (saat 14, 16 ve 18) Güneş enerjisinin azalmaya başlamasıyla birlikte ortam ve modül sıcaklığı azamaya başladı ve beraberinde üretilen elektrik miktarı da azalmıştır. Ancak gün içerisinde sistem verilen elektrik artarak yükselmeye devam etmiştir.



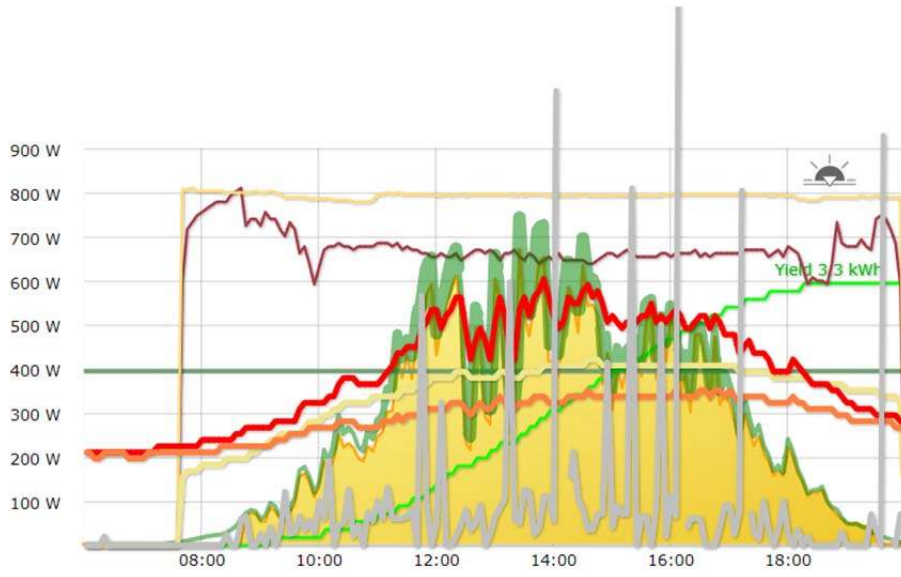
Şekil 4.7. Nisan için FV GES sisteminin enerji dağılımı (3 Nisan 2020).

Çizelge 4.5. 3 Nisan 2020 için FV GES sisteminin deneysel verileri

Saat/Renk	Modül Sıcaklığı (°C)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Rüzgâr Hızı (km/sa)	İnverter İç Sıcaklığı (°C)	Gerilim AC (V)	Giriş Gerilimi DC (V)	Güneş Rad. (W/m ²)	Üretilen Elektrik (kWsa)
08:00	13	11	2	13	228	99	6	0
10:00	23	15	0	21	229	90	567	0,12
12:00	32	17	4	26	229	88	817	1,09
14:00	42	21	1,8	31	229	82	790	1,08
16:00	35	20	14,4	32	230	85	768,1	3,76
18:00	23	17	10,1	28	230	84	237	4,1

Şekil 4.7'deki veriler Çizelge 4.5'de 08.00-18.00 saatleri arasında elde edilen saatlik ölçümlere göre, sabah saatlerinde sistemi oluşturan modüle gelen güneş enerjisi 6 W/m² iken, sıcaklığı 13 °C, güneş enerjisinin ise saat 14:00'te maksimum 790 W/m² yükselmesiyle modül sıcaklığı da maksimum 42 °C değerine ulaşmıştır. Kısa süre içinde paneli oluşturan FV hücrelerin 29 °C'lik sıcaklık

artışına rağmen günün sonunda üretilen elektrik 4,1 kW/sa olarak verilmiştir. Rüzgâr hızının 14,4 km/sa maksimum değerine ulaşması panelin elektrik üretimi önemli ölçüde artmıştır. Öğleden sonra (saat 14, 16 ve 18) Güneş enerjisinin azalmaya başlamasıyla birlikte ortam ve modül sıcaklığı azamaya başladı ve beraberinde üretilen elektrik miktarı da azalmıştır. Ancak gün içerisinde sistem verilen elektrik artarak yükselmeye devam etmiştir.

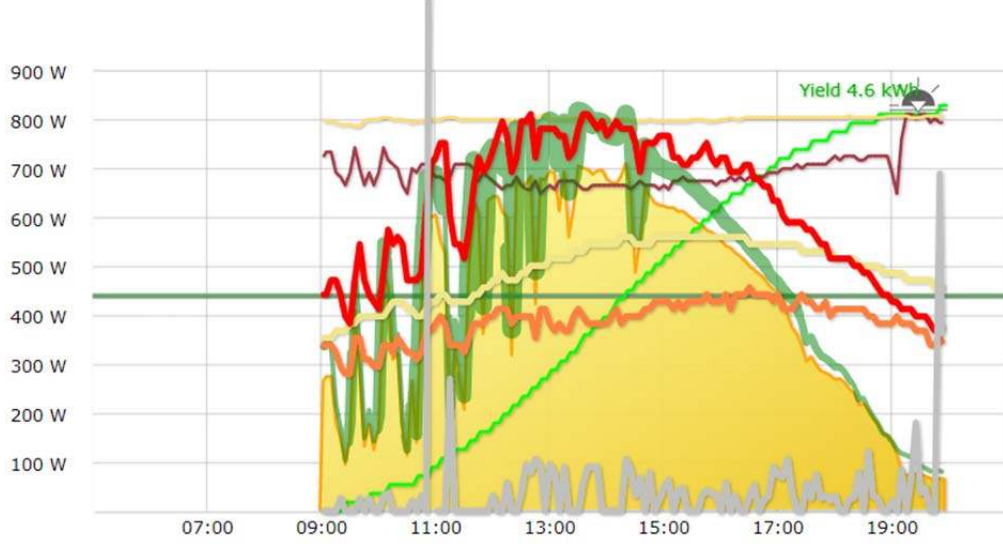


Şekil 4.8. Nisan için FV GES sisteminin enerji dağılımı (5 Nisan 2020).

Çizelge 4.6. 5 Nisan 2020 için FV GES sisteminin deneysel verileri

Saat/Renk	Modül Sıcaklığı (°C)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Rüzgâr Hızı (km/sa)	İnverter İç Sıcaklığı (°C)	Gerilim AC (V)	Giriş Gerilimi DC (V)	Güneş Rad. (W/m ²)	Üretilen Elektrik (kWsa)
08:00	17	15	0	13	232	97	17	0
10:00	23	19	7,2	20	227	81	170	0,12
12:00	38	22	3,6	27	229	84	578,7	0,97
14:00	37	23	4	29	229	83	544,4	2,06
16:00	37	24	7,9	29	230	84	645,5	3,15
18:00	28	23	1,8	27	229	87	289	3,3

Şekil 4.8'deki değerler Çizelge 4.6'da 08.00-18.00 saatleri arasında elde edilen saatlik ölçümlere göre, sabah saatlerinde sistemi oluşturan modüle gelen güneş enerjisi 17 W/m² iken, sıcaklığı 17 °C, güneş enerjisinin öğlen saatlerinde maksimum 578,7 W/m² yükselmesiyle modül sıcaklığı da maksimum 38 °C değerine ulaşmıştır. Kısa süre içinde paneli oluşturan FV hücrelerin 21 °C'lik sıcaklık artışına rağmen üretilen elektrik 0,97 kW/sa enerji üretildiği görülmüştür. Rüzgâr hızının 7,9 km/sa maksimum değerine ulaşması panelin elektrik üretilen verimini artırmıştır. Aksi takdire FV sıcaklığı daha yüksek değerlere ulaşması mümkündür. Öğleden sonra (saat 14, 16 ve 18) Güneş enerjisinin azalmaya başlamasıyla birlikte ortam ve modül sıcaklığı azamaya başladı ve beraberinde üretilen elektrik miktarı da azalmıştır. Ancak gün içerisinde sistem verilen elektrik artarak yükselmeye devam etmiştir. Günün sonunda 3,3 kWsa elektrik üretimiştir.



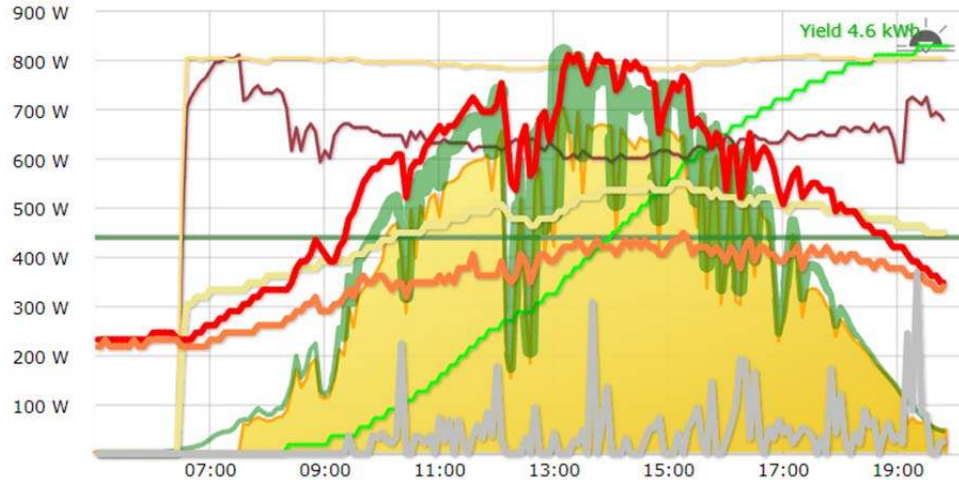
Şekil 4.9. Haziran için FV GES sisteminin enerji dağılımı (1 Haziran 2020).

Çizelge 4.7. 1 Haziran 2020 için FV GES sisteminin deneysel verileri

Saat/Renk	Modül Sıcaklığı (°C)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Rüzgâr Hızı (km/sa)	İnverter İç Sıcaklığı (°C)	Gerilim AC (V)	Giriş Gerilimi DC (V)	Güneş Rad. (W/m ²)	Üretilen Elektrik (kWsa)
08:00	-	-	-	-	-	-	-	-
10:00	28	20	0	27	229	81	232,6	0,24
12:00	50	27	2,2	32	229	78	848,8	1,21
14:00	52	26	0	37	229	78	929,2	2,2
16:00	49	29	0	38	229	79	726	3,5
18:00	35	28	2,2	35	230	85	352,7	4,6

Şekil 4.9'a göre, Çizelge 4.7'de verilen verilere göre 08.00-16.00 saatleri arasında elde edilen saatlik ölçümlere göre, sabah sabah saatlerinde sistemi oluşturan modüle gelen güneş enerjisi 232,6 W/m² iken, sıcaklığı 28 °C, güneş enerjisinin öğlen saatlerinde maksimum 929,2 W/m² yükselmesiyle modül sıcaklığı da maksimum 52 °C değerine ulaşmıştır. Kısa süre içinde paneli oluşturan FV

hücrelerin 24 °C'lik sıcaklık artışına rağmen üretilen elektrik 2,2 kW/sa enerji üretildiği görülmüştür. Rüzgâr hızının 2,2 km/sa maksimum değerine ulaşması panelin üretilen elektrik artırmıştır. Aksi takdire FV sıcaklığı daha yüksek değerlere ulaşması mümkündür. Öğleden sonra (saat 14, 16 ve 18) Güneş enerjisinin azalmaya başlamasıyla birlikte ortam ve modül sıcaklığı azamaya başladı ve beraberinde üretilen elektrik miktarı da azalmıştır. Ancak gün içerisinde sistem verilen elektrik artarak yükselmeye devam etmiştir. Toplamda 4,6 kWsa elektrik üretilmiştir.

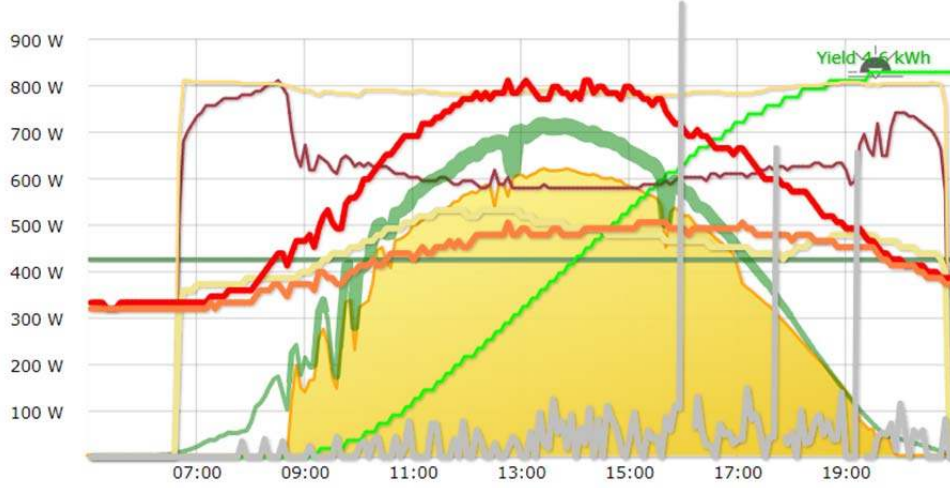


Şekil 4.10. Haziran için FV GES sisteminin enerji dağılımı (4 Haziran 2020).

Çizelge 4.8. 4 Haziran 2020 FV GES sisteminin deneysel verileri

Saat/Renk	Modül Sıcaklığı (°C)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Rüzgâr Hızı (km/sa)	İnverter İç Sıcaklığı (°C)	Gerilim AC (V)	Giriş Gerilimi DC (V)	Güneş Rad. (W/m ²)	Üretilen Elektrik (kWsa)
08:00	23	18	0	25	229	94	91	0
10:00	41	25	2,9	30	228	83	567,2	0,48
12:00	49	25	12,2	35	226	82	861,6	1,4
14:00	55	29	0	37	227	78	923,1	2,5
16:00	37	27	1,8	36	228	83	761,1	3,6
19:00	34	28	8,3	34	231	85	355,6	4,6

Şekil 4.10'deki profillere göre Çizelge 4.8'de 08.00-18.00 saatleri arasında elde edilen saatlik ölçümlere göre, sabah saatlerinde sistemi oluşturan modüle gelen güneş enerjisi 91 W/m² iken, sıcaklığı 23 °C, güneş enerjisinin öğlen saatlerinde maksimum 923,1 W/m² yükselmesiyle modül sıcaklığı da maksimum 55 °C değerine ulaşmıştır. Kısa süre içinde paneli oluşturan FV hücrelerin 32 °C'lık sıcaklık artışına rağmen 2,5 kW/sa elektrik üretildiği görülmüştür. Rüzgâr hızının 12,2 km/sa maksimum değerine ulaşması panelin üretilen elektrik artırmıştır. Aksi takdire FV sıcaklığı daha yüksek değerlere ulaşması mümkündür. Öğleden sonra (saat 14, 16 ve 18) Güneş enerjisinin azalmaya başlamasıyla birlikte ortam ve modül sıcaklığı azamaya başladı ve beraberinde üretilen elektrik miktarı da azalmıştır. Ancak gün içerisinde sistem verilen elektrik artarak yükselmeye devam etmiştir. Günün sonunda sistem tarafından üretilen toplam elektrik 4,6 kWsa'e çıkmıştır.



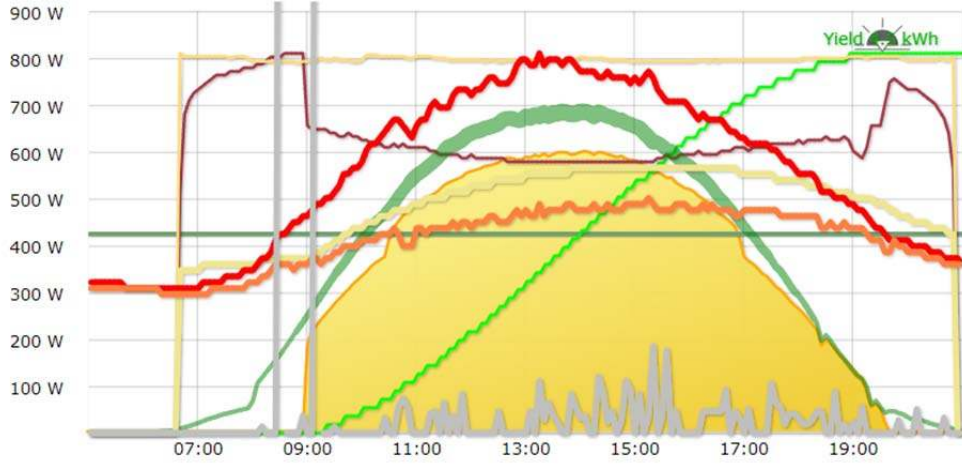
Şekil 4.11. Temmuz için FV GES sisteminin enerji dağılımı (14 Temmuz 2020).

Çizelge 4.9. 14 Temmuz 2020 için FV GES sisteminin deneysel verileri

Saat/Renk	Modül Sıcaklığı (°C)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Rüzgâr Hızı (km/sa)	İnverter İç Sıcaklığı (°C)	Gerilim AC (V)	Giriş Gerilimi DC (V)	Güneş Rad. (W/m ²)	Üretilen Elektrik (kWsa)
08:00	-	-	-	-	-	-	-	-
10:00	43	31	1,8	34	223	82	477	0,24
12:00	58	34	0	39	223	77	779	1,2
14:00	59	36	0	37	225	75	850,8	2,4
16:00	54	37	7,9	37	225	78	685,8	3,5
18:00	43	35	4	34	228	81	357,5	4,3

Şekil 4.11'a göre, Çizelge 4.9'da 08.00-18.00 saatleri arasında elde edilen saatlik ölçümlere göre, sabah saatlerinde sistemi oluşturan modüle gelen güneş enerjisi 477 W/m² iken, sıcaklığı 43 °C, güneş enerjisinin öğlen saatlerinde maksimum 850,8 W/m² yükselmesiyle modül sıcaklığı da maksimum 59 °C değerine ulaşmıştır. Kısa süre içinde paneli oluşturan FV hücrelerin 16 °C'lik sıcaklık artışına rağmen üretilen elektrik 2,4 kW/sa enerji üretildiği görülmüştür.

Rüzgâr hızının 7,9 km/sa maksimum değerine ulaşması panelin üretilen elektrik artırmıştır. Öğleden sonra (saat 14, 16 ve 18) Güneş enerjisinin azalmaya başlamasıyla birlikte ortam ve modül sıcaklığı azamaya başladı ve beraberinde üretilen elektrik miktarı da azalmıştır. Ancak gün içerisinde sistem verilen elektrik artarak yükselmeye devam etmiştir. Sistem toplamda 4,3 kWsa elektrik üretilmiştir.



Şekil 4.12. Temmuz ayı Nisan için FV GES sisteminin enerji dağılımı (15 Temmuz 2020).

Çizelge 4.10. 15 Temmuz 2020 için FV GES sisteminin deneysel verileri

Saat/Renk	Modül Sıcaklığı (°C)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Rüzgâr Hızı (km/sa)	İnverter İç Sıcaklığı (°C)	Gerilim AC (V)	Giriş Gerilimi DC (V)	Güneş Rad. (W/m ²)	Üretilen Elektrik (kWsa)
08:00	-	-	-	-	-	-	-	-
10:00	45	32	0	34	229	81	492,2	0,36
12:00	56	34	0	41	229	77	771,3	1,2
14:00	60	37	0	44	231	75	826,7	2,4
16:00	54	37	0	44	228	77	686,3	3,5
18:00	44	36	2,5	42	229	81	351,8	4,3

Şekil 4.12'deki profillere göre Çizelge 4.10'da verilen verilere göre, 08.00-18.00 saatleri arasında elde edilmiştir. Saatlik ölçümlere göre sabah saatlerinde sistemi oluşturan modüle gelen güneş enerjisi 492,2 W/m² iken, sıcaklığı 45 °C, güneş enerjisinin öğlen saatlerinde maksimum 826,7 W/m² yükselmesiyle modül sıcaklığı da maksimum 60 °C değerine ulaşmıştır. Kısa süre içinde paneli oluşturan FV hücrelerin 15 °C'lik sıcaklık artışına rağmen üretilen elektrik 4,3kW/sa enerji üretildiği görülmüştür. Rüzgâr hızının 2,5 km/sa maksimum değerine ulaşması panelin üretilen elektrik artırmıştır. Aksi takdire FV sıcaklığı daha yüksek değerlere ulaşması mümkündür. Öğleden sonra (saat 14, 16 ve 18) Güneş enerjisinin azalmaya başlamasıyla birlikte ortam ve modül sıcaklığı azamaya başladı ve beraberinde üretilen elektrik miktarı da azalmıştır. Ancak gün içerisinde sistem verilen elektrik artarak yükselmeye devam etmiştir. Günün sonunda sistem tarafından toplam 4,3 kWsa elektrik üretilmiştir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Fotovoltaik güneş enerji sistemlerinin performansının araştırılması adlı çalışmamızda yılın farklı ayları için (Şubat, Mart, Nisan, Haziran, Temmuz) güneşli ve en yüksek üretilen elektrikli günler için elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Güneş enerjisi sisteminin performansını etkileyen bazı parametreler incelenmiştir. Sistemin modül sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), ortam sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), rüzgâr hızı (km/sa), inverter iç sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), inverter çıkış AC gerilim (V), inverter giriş DC gerilimi (V), güneş radyasyonu (W/m^2) ve üretilen elektrik (kWsa) değerleri ölçülmüştür. Sistemin yüzey sıcaklığı, ortam sıcaklığı, inverter sıcaklığının sistemin üretilen elektrik önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir. Elde edilen değerlere göre sistemin üretilen elektrik günlük üretilen elektrikleri belirlenmiştir. Bu değerler ışığında elde edilen bulgulara göre;

Güneş enerjisinin en üretilen elektrikli olduğu yaz aylarında güneşli günlerde panel yüzey sıcaklığı 60°C 'lere çıkmıştır. Artan sıcaklığa rağmen sistemin günlük toplam üretilen elektrik de önemli oranda arttığı görülmüştür.

Güneş enerjisinin ve rüzgârın bol olduğu zamanlarda ise panel yüzey sıcaklığının kayda değer oranda azalmıştır ve sistemin daha üretilen elektrikli çalıştığı belirlenmiştir.

Sistem üretilen elektrik mevsimsel değişimlerde çok fazla etkilenmiştir. Buna bağlı olarak ortam sıcaklığının kış aylarında azalmasıyla birlikte panel yüzey sıcaklığının da azaldığı ($20\text{-}30^{\circ}\text{C}$) görülmüştür. Ancak gelen güneş enerjisi oranı azaldığı için sistemin üretilen elektrik yaz aylarına göre azalmıştır. Kış aylarında rüzgâr hızının panel yüzey sıcaklığı üzerinde etkisinin oldukça azaldığı görülmüştür.

Sistemden üretilen elektrik sisteme AC olarak verildiği için kayda değer oranlarda ($\approx 8\text{-}10\%$) inverter kaybı olduğu görülmüştür.

Çalışmamızdan en büyük çıkarımlarımızdan birisi Dünya'da ve ülkemizde gittikçe yaygınlaşan fotovoltaik enerji sistemlerine üretilen elektrik etkiyebilecek

parametreler dikkate alınarak sistem kurulmalıdır. Panellerin rüzgâr alan açık alanlara kurulmalıdır. Sonuç olarak, güneş enerjisi santrali kurulan bölgelerin rüzgâr akısı azami yararlanılacak şekilde kurulmasına özen gösterilmeli ve panel sıcaklığının kontrol altına alınmalı ve soğutucu önlemler alınmalıdır. Ayrıca, yüzey tozlanmasına karşı düzenli bakımları yapılmalıdır. Elektrik bağlantı noktaları kontrol edilmelidir. İnverter bakımı yapılmalıdır.



KAYNAKLAR

- Atiz, A. ve Karakilcik, M., 2020. Adana İklim Koşullarında Organik Rankine Çevrimi ile Bütünleşik Düzlem-Plakalı Ve Vakum Tüplü Kolektörlerin Isıl Verimlerinin Karşılaştırılması. Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 26(1): 106-112.
- Aydinyüz, G., 2015. Dikey Eksenli Rüzgâr Türbinlerinin Yapısal Analizi, Bitirme projesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, 3-7: 17-21.
- Bahaidarah, H., Baloch, A., Gandhidasan, P., 2016. Uniform cooling of photovoltaic panels. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 57: 1520-1544.
- Boztepe, M., 2017. Fotovoltaik güç sistemlerinde verimliliğini etkileyen parametreler, IV. İzmir Enerji Verimliliği Günleri, İzmir.
- Bulut, H., 2008. Adana İlinde Eğik Yüzeylere Gelen Güneş Işınım Miktarının Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi 30.Yıl Sempozyumu, Adana.
- Bükün, N., 2017. Siirt yöresi için tek eksenli güneş takip sistemli güneş panellerinin enerji verimliliğinin incelenmesi. Yüksek Lisans tezi, Siirt Üniversitesi, Siirt, 66s.
- Castillo, C., Silva, F., Lavalle, C., 2016. An Assessment of the regional potential for solar power generation in EU-28. Energy Policy, 88: 86-99.
- Derek D. W., ve Sueyoshi T., 2017. Assessment of large commercial rooftop photovoltaic system installations: Evidence from California, Applied Energy, 188, 45-55.
- eds. Elsevier Science, Academic Press, 840s.
- Eke, R., ve Senturk, A., 2012. Performance comparison of a double-axis sun tracking versus fixed PV system. Solar Energy, 86: 2665-2672.

- Emrahoğlu, N., ve Yeğingil, İ., 2019. Çukurova Üniversitesi'nde ölçülen güneş ışıınım verileri analizi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34(2): 87-96.
- Erden, M., 2014. Hidrojen enerjisi üretmek için güneş kolektörleri ile entegre bir güneş havuzunun performansının incelenmesi. Yüksek Lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 90s
- Escribano, A., Ramirez, F., Lázaro, E., Villaverde, P., 2018. In Europe a comprehensive analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82, Part 1: 488-501.
- Gökce, İ., 2020. Fotovoltaik (FV) hücreler yardımıyla güneş enerjisinden elektrik üretimi ve performansını etkileyen faktörlerin incelenmesi. Yüksek Lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 93s.
- <http://www.yegm.gov.tr/> [Erişim tarihi: 20 Mayıs 2020]
- <https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/ozcanh/71124/GUNES%20ENERJISI-I.pdf> [22 Aralık 2022]
- https://en.goodwe.com/Ftp/EN/Downloads/User%20Manual/GW_XS_User%20Manual-EN.pdf [Erişim Tarihi: 25 Ocak 2021]
- <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes> [Erişim tarihi: 15 Kasım 2022]
- <https://ourworldindata.org/grapher/annual-change-solar> [15 Haziran 2022]
- <https://ourworldindata.org/grapher/electricity-prod-source-stacked/>
- <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf> [Erişim tarihi: 17 Aralık 2022]]
- <https://www.btrenerji.com.tr/270w-polikristal--gunes-paneli.html> [Erişim tarihi: 21 Aralık 2022].
- [https://www.eia.gov/todayinenergy/index.php?tg=AEO%20\(Annual%20Energy%20Outlook\)](https://www.eia.gov/todayinenergy/index.php?tg=AEO%20(Annual%20Energy%20Outlook)) [24 Aralık]
- [https://www.solar-log.com./](https://www.solar-log.com/) [Erişim tarihi: 22 Kasım 2022]
- <https://www.solitek.solarlog-web.eu> [Erişim tarihi: 12 Aralık 2022]

- Kalogirou, S. A., 2013. Solar energy engineering: Processes and systems. 2nd
- Kaschub, T., Jochem, P., Fichtner, W., 2016. Solar energy storage in German households: profitability, load changes and flexibility. *Energy Policy*, 98 (SI): 520–532
- Koramaz, E., 2003. Güneş enerjisi, Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu, Mersin.
- Maghami, M., Hizam, H., Gomes, C., Radzia, M., Rezadad, M., Hajighorbani, S., 2016. Power loss due to soiling on solar panel, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59: 1307-1316.
- Mani, M., ve Pillai, R., 2010. Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: Research status, challenges and recommendations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14,9: 3124-3131.
- Marucci, A., Zambon, I., Colantoni, A., Monarca, D., 2018. A Combination of agricultural and energy purposes: Evaluation of a prototype of photovoltaic greenhouse tunnel, *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 82(1): 1178-1186.
- Nižetić, S., Čoko, D., Yadav, A., Čabo, F., 2016. Water spray cooling technique applied on a photovoltaic panel: The performance response. *Energy Conversion and Management*, 108: 287-296.
- Öksüz, H. İ., 2019. Yüzey su soğutmalı fotovoltaiik panelin (FV) performansının araştırılması. Yüksek Lisans tezi, Çukurova Üniversitesi Adana, 73s.
- Preet, S., Bhushan, B., Mahajan, T., 2017. Experimental investigation of water based photovoltaic/thermal (FV/T) system with and without phase change material (PCM). *Solar Energy*, 155: 1104-1120.
- Raza, M. O., Nadarajah, M., Ekanayake, C., 2016. On recent advances in FV output power forecast. *Solar Energy*, 136: 125-144.
- Razykov, T. M., Ferekides, C. S., Morel, D., Stefanakos, E., Upadhyaya, H. M., 2011. Solar photovoltaic electricity: Current status and future prospects. *Solar Energy*, 85(8): 1580-1608.

- Rezaee Jordehi, A., (2016). Parameter estimation of solar photovoltaic (PV) cells: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61: 354-371.
- Rossi, D., Omaña, M., Giaffreda D., Metra, C., 2015. Modeling and detection of hotspot in shaded photovoltaic cells. *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, 23(6): 1031-1039.
- Saidan, M., Albaali, A. G., Alasis, E. and Kaldellis, J., 2016. Experimental study on the effect of dust deposition on solar photovoltaic panels in desert environment. *Renewable Energy*, 92: 499-505.
- Sangwongwanich, A., Yang, Y., Sera, D., Blaabjerg F., 2018. Lifetime evaluation of grid-connected FV inverters considering panel degradation rates and installation sites. *Journal IEEE Transactions on Power Electronics*. 33(2): 1125-1236
- Sueyoshi, T., Wang, D., 2017. Measuring scale efficiency and returns to scale on large commercial rooftop photovoltaic systems in California. *Energy Economics*. 65: 389-398.
- Taşkın, Y. E., 2019. Entegre rüzgâr ve fotovoltaik (FV) enerji sistemlerinin performansının araştırılması, Yüksek Lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 79s.
- Varınca, K. B. ve Gönüllü, M. T., 2006. Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma. I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, Eskişehir.
- Varınca, K. B., ve Varank, G., 2005. Güneş kaynaklı farklı enerji üretim sistemlerinde çevresel etkilerin kıyaslanması ve çözüm önerileri, Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, İçel.
- www.science.nasa.gov [Erişim tarihi: 10 Kasım 2022]

ÖZGEÇMİŞ

Burcu EKİCİ, İlköğretimini İstanbul'da ortaöğretimini Erzurum'da ve Lise öğrenimini Kayseri'de 2005 yılında tamamladıktan sonra Çukurova Üniversitesi Fizik Bölümü kazanarak 2012 yılında mezun oldu. Ekici Kişisel Eğitim kurumunda öğretmen olarak çalıştı. Aynı zamanda bu kurumun 2015 yılından beri müdürüyüm. 2019 yılında Çukurova Üniversitesi Fizik Bölümü Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.

