

**T.C.
SİNOP ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
NÜKLEER ENERJİ VE ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**



**SİNOP İLİ KOŞULLARINDA GÜNEŞ ENERJİSİYLE
TARIMSAL SULAMA VE AYDINLATMA SİSTEMİNİN
TASARIMI VE DENEYSEL ANALİZİ**

EBRU DOĞAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

DR. ÖĞR. ÜYESİ MEHMET ONUR KARAAĞAÇ

SİNOP- 2024

TEZ KABUL

Ebru DOĞAN tarafından hazırlanan “SİNOP İLİ KOŞULLARINDA GÜNEŞ ENERJİSİYLE TARIMSAL SULAMA VE AYDINLATMA SİSTEMİNİN TASARIMI VE DENEYSEL ANALİZİ” başlıklı bu çalışma, 29.01.2024 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak, jürimiz tarafından **YÜKSEK LİSANS tezi** olarak kabul edilmiştir.

Başkan

Doç. Dr. Alper ERGÜN
Karabük Üniversitesi/ Mühendislik Fakültesi

İmza

**Üye
(Danışman)**

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Onur KARAAĞAÇ
Sinop Üniversitesi/ Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi

İmza

Üye

Doç. Dr. Hasan OĞUL
Sinop Üniversitesi/ Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi

İmza

Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Fadime DİRİK

.....

ETİK BEYANI

Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.



Ebru DOĞAN

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SİNOP İLİ KOŞULLARINDA GÜNEŞ ENERJİSİYLE TARIMSAL SULAMA VE AYDINLATMA SİSTEMİNİN TASARIMI VE DENEYSEL ANALİZİ

EBRU DOĞAN

SİNOP ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
NÜKLEER ENERJİ VE ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI

DANIŞMAN:DR. ÖĞR. ÜYESİ MEHMET ONUR KARAAĞAÇ

Günümüzde nüfus artışı, teknolojik gelişmelerden ve ekonomik büyümeden kaynaklı enerji ihtiyacı özellikle elektrik enerjisi hızla artmaktadır. Alternatif enerji kaynaklarından en önemlilerden birisi olan güneş enerjisi temiz enerji kaynaklarından birisi olması, sürekli rejimde bulunması ve dış ülkelere olan bağımlılığının olmaması nedeniyle dikkat çekmektedir. Türkiye bir tarım ülkesidir. Uygulamacılar pek çok denemeden sonra kırsal alanlarda, fotovoltaiğin bitkiler ve çiftlik hayvanları için su pompalama gibi tarımsal uygulamalar için en iyi çözüm olduğunu görmüşlerdir. Bu nedenle tarımsal sulama ve tarımsal arazinin aydınlatmasında ihtiyaç duyulan elektrik ihtiyacı için fotovoltaiik sistem kullanılmıştır. Sulama sisteminde kullanılacak olan pompanın çalışması için gerekli elektrik ihtiyacını fotovoltaiik paneller sağlayarak pompanın gerekli olan elektriğini üretir ve sulama için suyu pompalar. Bu sisteme ek olarak yine aynı şekilde fotovoltaiik paneller güneşten aldığı ışınlar sayesinde ürettiği elektriği aydınlatma sistemi için de kullanabilmektedir. Güneş enerjisi ile çalışmasından dolayı elektrik harcamasını ortadan kaldırarak son derece verimli bir sistem kullanma avantajı sağlamaktadır. Yapılan çalışma sonucunda çalışmanın yapıldığı gün boyunca üretilen toplam güçler karşılaştırıldığı monokristal güneş modülü %15,9 daha fazla güç ürettiği bulunmuştur. Polikristal FV modül ortalama ve en yüksek verimi sırasıyla %4,77 ve %10,71 olarak hesaplanırken, monokristal FV modülün ortalama ve en yüksek verimi sırasıyla %5,63 ve %11,97 olarak hesaplanmıştır. Monokristal modül verimi polikristale oranla yüksek olduğu sonuçlanmıştır. Sulama da kullanılan Sintine Pompa anlık olarak 9 W güç tüketimi yapıldığı düşünülürse tam bir dolu akü ile 9 saat çalışabileceği bulunmuştur. Bu da gece yapılabilecek sulama işlemini mümkün kılmaktadır. FV modüllerden üretilen elektrik gücünün ise güneş ışınımının yeterli olduğu saatlerde pompayı kesintisiz çalıştıracak kapasitede olduğu belirlenmiştir. Sistem hem birden fazla noktada aynı sulama döneminde hizmet verebilir hem de sulama sezonunun olmadığı dönemlerde kişisel enerji ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla kullanılabilir. Bu sayede bu sistem ile sürdürülebilir çevre açısından büyük önem taşımaktadır.

ANAHTAR KELİMELEER: PV; Tarım; Sulama; Güneş Pili; Aydınlatma; Güneş Işınım; Sinop

Şubat 2024, 52 Sayfa

ABSTRACT

MSC THESIS

DESIGN AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF SOLAR-POWERED AGRICULTURAL IRRIGATION AND LIGHTING SYSTEM UNDER SINOP CITY CONDITIONS

EBRU DOĞAN

**SINOP UNIVERSITY INSTITUTE OF GRADUATE PROGRAMS
DEPARTMENT OF NUCLEAR ENERGY AND ENERGY SYSTEMS
SUPERVISOR:ASSIST. PROF DR. MEHMET ONUR KARAAĞAÇ**

Today, energy needs, especially electrical energy, are increasing rapidly due to population growth, technological developments, and economic growth. Solar energy, one of the most important alternative energy sources, attracts attention because it is one of the clean energy sources, is in a permanent regime and does not have dependence on foreign countries. Türkiye is an agricultural country. After many trials, practitioners have found that in rural areas, photovoltaics are the best solution for agricultural applications such as pumping water for plants and livestock. For this reason, the photovoltaic system was used for the electricity needed for agricultural irrigation and lighting of agricultural land. Photovoltaic panels provide the electricity required for the operation of the pump to be used in the irrigation system, producing the necessary electricity for the pump and pumping water for irrigation. In addition to this system, photovoltaic panels can also use the electricity they produce thanks to the rays they receive from the sun for the lighting system. Since it works with solar energy, it provides the advantage of using a highly efficient system by eliminating electricity consumption. As a result of the study, it was found that the monocrystalline solar module produced 15.9% more power when the total power produced during the day of the study was compared. While the average and highest efficiency of the polycrystalline PV module was calculated as 4.77% and 10.71%, respectively, the average and highest efficiency of the monocrystalline PV module was calculated as 5.63% and 11.97%, respectively. It has been found that the monocrystalline module efficiency is higher than the polycrystalline one. Considering that the Bilge Pump used in irrigation consumes 9 W power instantaneously, it has been found that it can operate for 9 hours with a fully charged battery. This makes irrigation possible at night. It has been determined that the electrical power produced from PV modules is capable of operating the pump uninterruptedly during hours when solar radiation is sufficient. The system can serve at more than one point during the same irrigation period and can be used to meet personal energy needs during periods when there is no irrigation season. In this way, this system is of great importance in terms of sustainable environment.

KEYWORDS: PV, Irrigation; Agriculture; Solar Cell; Lighting; Solar Radiation; Sinop

February 2024, 52 Page

TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocalarım Doç. Dr. Hasan Oğul'a, Doç. Dr. Alper Ergün'e ve Dr. Mehmet. Onur Karaağaç'a en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, beni motive eden, varlıklarıyla mutlu eden aileme ve işyerimdeki çalışma arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Ebru DOĞAN



İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL	ii
ETİK BEYANI	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLolar DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİN	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. ENERJİ.....	4
2.1. Enerji Kaynakları.....	5
2.1.1. Dünya’da Kullanılan Enerji Kaynakları	7
2.1.2. Türkiye’de Kullanılan Enerji Kaynakları	8
2.2. Güneş Enerjisi Potansiyelleri.....	10
2.2.1. Dünya’nın Güneş Potansiyeli	10
2.2.2. Türkiye’nin Güneş Potansiyeli	11
3. GÜNEŞ ENERJİSİ	15
3.1. Güneş Enerjisi Teknolojileri ve Üretimi	16
3.1.1. Güneş Pilleri	17
3.1.2. Güneş Panelleri Çeşitleri	20
3.2. Güneş Enerjisinin Kullanıldığı Alanlar.....	22
3.2.1. Elektrik Üretiminde	22
3.3. Güneş Enerjisi ile Elektrik Üretimi Elemanları.....	23
3.3.1. Şarj Regülatörleri.....	24
3.3.2. Eviriciler (Inverter)	25
3.3.3. Akü (Akümülatör).....	26
4. SULAMA SİSTEMLERİ	28
4.1. Sulama Yöntemleri	28
4.2. Güneş Enerjisinin Sulama Sistemleri ile Kullanılması.....	29
4.3. Sulama Sistemlerinin Kullanılmaya Başlamasının Tarihçesi	30
4.4. Güneş Enerjisi ile Sulama Sistemi Detayları.....	30
5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	33
6. MATERYAL YÖNTEM	36
7. SİSTEM PERFORMANS ANALİZİ	40

8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	42
8.1. Sonuç ve Öneriler	47
Kaynakça	49
ÖZGEÇMİŞ	52



TABLÖLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Yenilenebilir enerji türleri ve kaynakları	6
Tablo 2.2 Türkiye'nin toplam güneş enerji potansiyelinin aylara göre dağılımı.....	12
Tablo 2.3 Türkiye'nin güneş enerji potansiyelinin bölgelere göre dağılımı.....	13
Tablo 6.1 Kullanılan sistem ekipmanları ve özellikleri	37



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Enerji Kaynakları sınıflandırılması	6
Şekil 2.2 Dünya'da kullanılan enerji kaynakları dağılımı.....	7
Şekil 2.3 Güneş enerjisi kurulu güç sayısı referans.	9
Şekil 2.4 Dünyanın güneş enerji potansiyeli haritası.....	11
Şekil 2.5 Türkiye'nin Güneş Enerji Potansiyel Atlası.	12
Şekil 2.6 Türkiye'nin global radyasyon değerleri (kWh/m ² .gün).....	14
Şekil 3.1 Parabolik çanak kolektörleri	17
Şekil 3.2 Güneş pili çalışma ilkesi	17
Şekil 3.3 Güneş pili çalışma prensibi	18
Şekil 3.4 PV sistemlerinde hücre-modül-dizi tasarımı	19
Şekil 3.5 Hücre, modül ve dizi tasarımları uygulamaları	19
Şekil 3.6 Monokristal panel	20
Şekil 3.7 Polikristal Panel	21
Şekil 3.8 Türkiye PV Tipi-Alan-Üretilebilecek Enerji (KWh-Yıl)	21
Şekil 3.9 Güneş bacası	23
Şekil 3.10 Fotovoltaik sistem elektrik üretim şeması	23
Şekil 3.11 PWM Regülatörler.....	24
Şekil 3.12 MPPT tipi şarj regülatörleri	25
Şekil 3.13 Şebeke içi evirici çeşitleri.....	25
Şekil 3.14 Şebeke dışı evirici çeşitleri	25
Şekil 3.15 OPzS akü tipi.....	26
Şekil 3.16 Jel akü tipi.....	26
Şekil 3.17 Kuru akü tipi.....	27
Şekil 4.1 Sulama sisteminde aküsüz fotovoltaik sistem	31
Şekil 4.2 Sulama sisteminde akülü fotovoltaik sistem	31
Şekil 4.3 Sulama sisteminde akülü-invertörlü fotovoltaik sistem	31
Şekil 6.1 Sistem şeması	36
Şekil 6.2 Kamelyaya PV modül montajı	38
Şekil 6.3 Sistem görselleri	39
Şekil 8.1 Sinop ili aylık ortalama güneş ışıınım şiddeti.....	42

Şekil 8.2 Sinop ili aylık ortalama güneşlenme süreleri	43
Şekil 8.3 PV modüllere gelen ışıının şiddetinin gün içindeki değışimi.....	44
Şekil 8.4 Deney boyunca çevre sıcaklığının değışimi	45
Şekil 8.5 Deney boyunca üretilen güçlerin değışimi	46
Şekil 8.6 Deney boyunca PV modüllere gelen güneş ışıını ve modüllerin verimi	47



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİN

Kısaltmalar

TWh	: Teravatsaat
MW	: Mega Watt
K	: Kelvin
YGEM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
GEPA	: Güneş Enerji Potansiyel Atlası
MPPT	: Maximum Power Point Tracking (Maksimum Güç Noktası Takibi)
PWM	: Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)
AC	: Alternatif Akım
DC	: Doğru Akım
FV	: Fotovoltaik
W_L	: Lamba Gücü
V_L	: Lamba Gerilimi
I_L	: Lamba Akımı
W_p	: Pompa Gücü
V_p	: Pompa Gerilimi
I_p	: Pompa Akımı
CuInSe₂	: Bakır İndiyum Diseleneid
GaAs	: Galyum Arsenit
CdTe	: Kadmiyum Tellurid
CIS	: Copper Indium Diselenid
γ	: Gama
eV	: Elektron volt
MeV	: Milyon elektron volt

1. GİRİŞ

Dünya genelinde hızla artan nüfus, endüstrileşme ve teknolojik gelişmeler, ihtiyaç duyulan enerji miktarını gün geçtikçe arttırmaktadır. Ülkeler enerji talebini karşılayabilmek için mevcut kaynakların etkin bir şekilde kullanılmasının yanı sıra makro veya mikro boyutta enerji üretim çeşitliliğini teşvik etmeye çalışmaktadırlar. Küresel çapta bir yarışın başladığı bu dönemde, enerji tüketiminin sürdürülebilir bir şekilde karşılanabilmesi için farklı ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik çözümler aranmaktadır. Bu bağlamda, enerji üretimindeki çeşitliliğin artırılması, çevre dostu teknolojilere yönelik yatırımların teşvik edilmesi ve enerji verimliliğinin artırılması gibi hedefler, küresel düzeyde bir rekabet ortamının oluşmasına neden olmaktadır. Gelecekteki enerji ihtiyaçlarını karşılamak için yapılan bu yarış, sadece enerji güvenliğini artırmakla kalmayıp aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği de gözeterek, dünya genelinde daha sağlıklı bir enerji geleceğinin inşasına katkıda bulunmayı hedeflemektedir. Yenilenebilir enerjiye ek olarak, nükleer enerji, Türkiye'nin enerji güvenliğini sağlamak ve büyüyen enerji talebini karşılamak amacıyla değerlendirilen bir seçenektir. Akkuyu Nükleer Güç Santrali (4800 MW) projesi, Türkiye'nin nükleer enerji alanındaki ilk deneyimidir ve ülkede bu alandaki potansiyeli artırmak adına önemli bir adımdır. Türkiye'nin enerji stratejilerindeki bu dengeleme çabaları, sürdürülebilir bir enerji geleceği için umut verici bir temel oluşturmaktadır. Özellikle, Türkiye'nin coğrafi konumundan dolayı güneş enerjisi alanında potansiyelini arttırarak bu alanda bir ivme kazanmıştır.

Güneş enerjisi iki genel başlık altında ele alınabilir: Isı ve elektrik üretimi. Bu tez çalışmasının konusu elektrik üretimi üzerine odaklanmıştır. Bu kapsamda, güneşten elektrik enerjisi üretebilmek için kullanılabilen en önemli yapılar fotovoltaik hücrelerdir. Bu hücreler, güneş ışığının fotokimyasal tepkimeler aracılığıyla elektriğe dönüştürülmesini sağlar. Güneş tarlaları gibi büyük ölçekli kullanımlarının yanı sıra evde bahçede kampta kullanımları gibi küçük ölçekli kullanımları da mevcuttur. Gün geçtikçe de kullanımları yaygınlaşmaktadır (Sayin ve Koç, 2011a). Teknolojiyle ilk tanışıldığı sıralarda fotovoltaik hücrelerin veriminin düşük olduğu ve yüksek maliyete sahip olduğu bilinen bir gerçektir. Yapılan çalışmalar, teknolojinin gelişmesi ve hücrelerdeki iyileştirmeler ile maliyetleri hızla düşmüş ve verimleri de ciddi oranda

artmıştır. Bu sayede bu hücrelere erişim artarken günümüzde popüler enerji kaynaklarından biri haline gelmiştir. Ayrıca, güneş enerjisinin yaygın olarak kullanılan fosil yakıtların aksine çevreci bir enerji üretim çeşidi olarak bilinmesi ve kategorileşmesi de popülerliğinin artmasına neden olmuştur. Özellikle kırsal bölgelerde, yenilenebilir enerji sistemleri, yerel enerji taleplerini karşılama konusunda ekonomik ve çevresel avantajlar sunarak, fosil yakıtlarla rekabet edebilir bir alternatif sunabilmektedir. Belirtilen kapsamlarda literatürde çeşitli çalışmalar bulunabilir (Warman, Nasution ve Fahmi, 2018). Daha sonraki literatür taraması bölümünde daha kapsamlı olarak literatürdeki çalışmalara değinilecektir.

Sunulan bu tez çalışmasında yukarıda birçok avantajı sıralanan güneş enerjisinin fotovoltaik hücreler kullanarak elektrik enerjisine dönüştürülmesi ve bu elektrik enerjisinin yararlı bir şekilde kırsal bölgede kullanılması amaçlanmıştır. Tarımsal üretimde enerjinin gerekliliği, teknolojik aletlerin kullanılması, gıda ve nüfus talebinin artması nedeniyle tarım sektöründe enerji ihtiyacı önemli derecede artmıştır. Bu ihtiyaç pompalar, motorlar, jeneratörler, vb. gibi tarım cihazlarına güç aktarımı talebi ile birlikte fosil yakıtlara ve konvansiyonel enerjiye olan bağımlılığı azaltacak alternatif bir enerji kaynağı gereklidir. Enerji kaynağının az ve olmadığı alanlarda, güneş enerji sistemi ile çalışan su pompaları önem arz etmektedirler. Bu çalışmada, Sinop ilinde tarımsal sulamada kullanılan 6 metrelik bir kuyu kullanılarak ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin şebeke yerine güneş enerjisinden karşılanması ve üretilen elektrik enerjisinin kuyu yanında aydınlatma içinde kullanılması amaçlanmaktadır. Bu işlem gerçekleştirilirken monokristal ve polikristal güneş panelleri iki ayrı sistem olarak kurulmuş ve bu sayede her iki panelin seçilen coğrafi konum için performans kıyaslaması da yapılmıştır. Kısaca, deney düzeneği güneş paneli, solar regülatör, wattmetre, piranometre, akü, aydınlatma ve su pompasından oluşmaktadır.

Sunulan bu çalışmanın "Giriş" bölümünde, çalışmanın amacı, motivasyonu ve kısa bir özeti sunulmuştur. Bu sayede okuyucuya tezin genel konusu hakkında bir bilgi verilmiştir. İkinci bölüm, enerji ve enerjinin kaynaklarına odaklanarak, çalışmanın temelini oluşturan enerji konusunu ele almaktadır. Bu bölümde, enerji kaynakları, türleri ve dünya genelindeki enerji talebi gibi temel konular açıklanmıştır. Üçüncü bölüm, çalışmanın ana odak noktası olan güneş enerjisi üzerine yoğunlaşarak, bu yenilenebilir enerji kaynağı hakkında detaylı bilgiler içermektedir. Güneş enerjisinin elde edilme

yöntemleri, avantajları ve sınırlamaları gibi konular bu bölümde incelenmiştir. Dördüncü bölümde, Tarımsal sulama sistemleri hakkında bilgi verilmiştir. Beşinci bölümde, literatür taraması ele alınırken altıncı bölümde bu tez çalışması kapsamında seçilen ve kullanılan materyal ve yöntem sunulmuştur. Yedinci bölümde tez çalışması kapsamında kurulan sistemin performans analizi yapılmıştır. Son olarak sekizinci bölümde sonuçlar özetlenmiş ve tartışılmıştır.



2. ENERJİ

Enerji, sanayileşmenin temelini oluşturan ve kalkınmanın bir göstergesi olan canlıları çevreleyen, onları etkileyen, onlardan etkilenen bir faktördür. Ayrıca, enerji evrende var olan her türlü hareketin ve değişimin temel nedenidir. Fizikte, enerji, iş yapma yeteneği olarak tanımlanır ve çeşitli formlarda mevcut olabilir. Isınma, aydınlatma, ulaşım, endüstriyel üretim ve diğer birçok alanda kullanıldığı ve insan popülasyonu arttığı için gün geçtikçe enerjiye ihtiyaç artmakta ve bu da ülkelerin sahip olduğu iş yapabilme kabiliyetini etkilemektedir. Ekonomik ve sosyal kalkınmayı destekleyecek olan; sürekli, güvenilir, kaliteli, temiz ve ekonomik enerji temini, hemen hemen tüm gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin enerji politikalarının başında yer almaktadır.

Bahsi geçen enerji politikalarının başarısı, modern toplumların sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmalarında kritik bir öneme sahiptir. Enerji, ekonomik faaliyetlerden günlük yaşamın temel unsurlarına kadar her yönüyle hayati bir rol oynamaktadır. Başarılı enerji politikaları, sadece enerji güvenliğini sağlamakla kalmaz, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği, ekonomik büyümeyi ve toplumsal refahı da desteklemektedir. Enerji politikalarının etkinliği, enerji kaynaklarının verimli ve dengeli bir şekilde kullanılması, çeşitlendirilmiş enerji portföylerinin oluşturulması, enerji verimliliği önlemlerinin benimsenmesi ve sürdürülebilir yenilenebilir enerji kaynaklarının teşvik edilmesi gibi faktörlere bağlıdır. Ayrıca, ulusal ve uluslararası düzeyde iş birliği, teknolojik yeniliklerin teşviki ve enerji politikalarının toplumun tüm kesimlerini kapsayacak şekilde oluşturulması da başarı için önemli unsurlardır. Bu bağlamda, enerji ve enerji politikalarının başarısı, sadece enerji sektörünün etkin yönetimini değil, aynı zamanda ekonomik, çevresel ve sosyal hedeflere uygun bir denge sağlamayı da içermektedir.

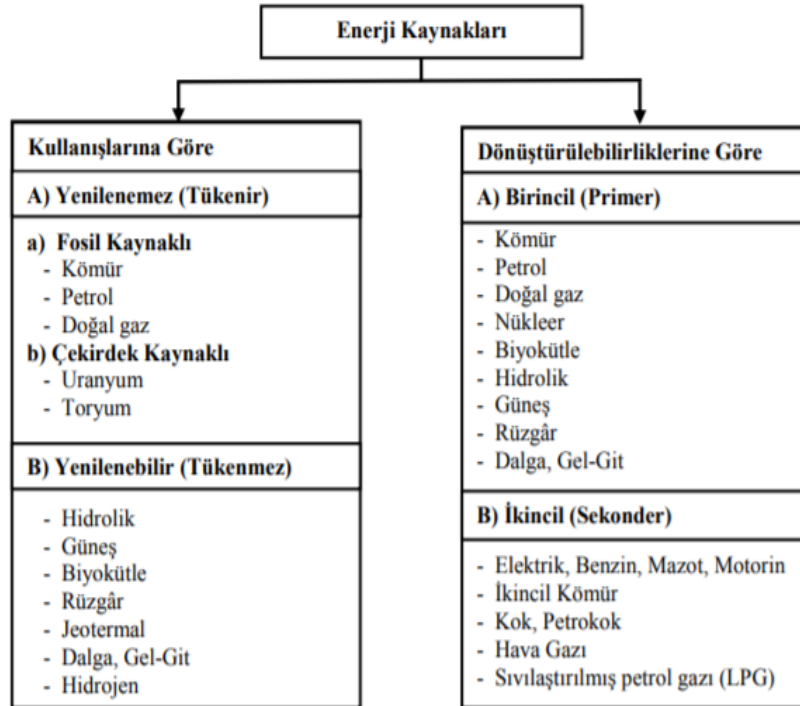
Ülkelerin enerji kaynakları değerlendirilirken hatta enerji üretim çeşitleri çeşitlendirilirken mutlaka bulundukları coğrafi koşullar ve iklimler göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin Türkiye içinde bulunduğu coğrafi konum sebebiyle aşağıda bahsi geçen enerji kaynaklarının birçoğunda avantajlı konuma sahiptir.

2.1. Enerji Kaynakları

Yenilenebilir ve yenilenemez olarak iki gruba ayrıştırılan enerji kaynakları dönüştürülebilirliklerine göre ise birincil ve ikincil kaynaklar olarak isimlendirilmektedirler. Birincil enerji kaynakları, herhangi bir dönüşümden geçmemiş, doğrudan kullanılabilen enerji hammaddeleri olarak tanımlanabilmektedir. İkincil enerji kaynakları ise birincil kaynaklardan elde edilen enerjinin çeşitli dönüşüm ve işlemler sonucunda elde edilen enerji türleri olarak belirtilmektedir. Burada bahsi geçen ayrımlar, enerji planlaması, kaynak yönetimi ve sürdürülebilir enerji stratejileri oluşturulurken enerji dönüşüm süreçleri farklı çevresel etkilere ve ekonomik maliyetlere sahip olduğu için önemli bir rol oynamaktadırlar. Üretim tekniği açısından enerjiler sınıflandırılırsa elde edilen enerji kullanılarak elektrik veya ısıtma gibi enerji formlarını üreten yöntemleri geliştirilmiştir. Fosil yakıtlar, petrol, doğal gaz ve kömür gibi kaynaklardan elde edilen enerji ile termal santrallerde elektrik üretiminde kullanılır. Nükleer enerji, atom çekirdeklerinin bölünmesi veya birleştirilmesi yoluyla elde edilebilmektedir. Hidroelektrik enerji, suyun potansiyel enerjisini kullanarak türbinleri döndürerek elektrik üretilmesi esasına dayanmaktadır. Rüzgar enerjisi, rüzgar türbinleri aracılığıyla kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürme prensibiyle çalışmaktadır. Güneş enerjisi, güneş ışığını fotovoltaik hücreler aracılığıyla elektriğe çevrilebilmesiyle kullanılabilir. Biyokütle enerjisi, organik materyallerin yanması veya fermantasyonu ile enerji üretimini sağlamaktadır. Jeotermal enerji ise yer altındaki sıcak kaynaklardan elde edilen ısınn kullanılmasıyla enerji üretilmesi manasına gelmektedir.

Burada önemli olan husus enerji üretiminin insanların ihtiyaçlarını karşılamakla kalmayıp aynı zamanda doğal çevreyi etkileyebilecek bir dizi faktöre de neden olabilmesi gerçeğidir. Bundan dolayı, hangi enerji üretim çeşidinin tercih edileceğini belirlerken çevresel etkilerin dikkate alınması hayati bir öneme sahiptir. Sürdürülebilir bir gelecek için, enerji üretim yöntemlerini seçerken atmosfer, su kaynakları, ekosistemler ve biyoçeşitlilik gibi çevresel faktörleri göz önünde bulundurarak bilinçli kararlar alınması gerekmektedir. Bu kapsamda doğal kaynaklardan elde edilen, kendi kendine yenilenebilen ve tükenmeyen kaynaklar olarak tanımlanan yenilenebilir enerji ön plana çıkarılmalıdır (Arık, 2016). Şekil 2.1 de enerji kaynaklarının sınıflandırılması

çeşitli faktörlere göre sunulmuştur. Bu sınıflandırmada belirtilen yenilenemez (tükenir) enerji, tükenen ve sınırsız rezervi olmayan kaynaklar olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 2.1 Enerji kaynakları sınıflandırılması (Koç ve Kaya, 2015)

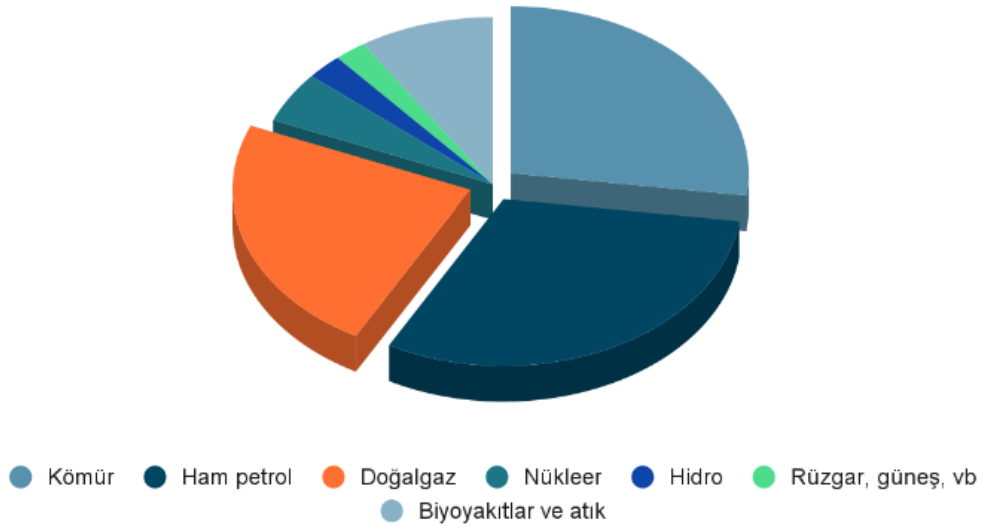
Tablo 2.1 de yenilenebilir enerji çeşitleri ve bu enerjinin kaynakları özetlenmiştir. Kullanım potansiyeli açısından hepsi global enerji üretiminin çevreci bir şekilde sağlanması açısından önemli katkılar sunacağı düşünülmektedir (Koç ve Kaya, 2015).

Tablo 2.1 Yenilenebilir enerji türleri ve kaynakları (Bakanlık, 2004)

	Yenilenebilir Enerji Türleri	Kaynağı
1	Hidrojen Enerjisi	Su ve Hidroksitler
2	Biyokütle Enerjisi	Biyolojik artıklar
3	Hidrolik Enerji	Nehirler
4	Dalga Enerjisi	Okyanus ve Denizler
5	Güneş Enerjisi	Güneş
6	Jeotermal Enerji	Yer altı suları
7	Rüzgar Enerjisi	Rüzgar

2.1.1. Dünya’da kullanılan enerji kaynakları

2023 yıl itibariyle dünyada tüketilen enerjinin temin edilebilmesi için hala büyük ölçüde fosil yakıtlardan elde edilen enerji kaynakları kullanılmaktadır (Ritchie, Rosado ve Roser, 2023). Petrol, doğalgaz ve kömür, küresel enerji arzının önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Şekil 2.2’de dünyada kullanılan enerji kaynakları dağılımı görselleştirilmiştir. Kömür ham petrol ve doğalgaz kaynaklarından enerji üretiminin diğerlerine kıyasla çok yüksek olduğu bir gerçektir. Ancak, sürdürülebilir enerji kaynaklarının payı giderek artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgâr ve güneş enerjisi, hızla gelişen teknolojileri ve düşen maliyetleri ile dikkat çekmektedir. Ayrıca, hidroelektrik ve nükleer enerji gibi diğer temiz enerji kaynakları da küresel enerji portföyü içinde önemli bir yer tutmaktadır. Dünya genelinde, birçok ülke temiz enerjiye geçiş konusunda taahhütlerde bulunmuş ve karbon emisyonlarını azaltma hedefleri belirlemiştir (Ritchie vd., 2023). Enerji sektöründeki bu dönüşüm, çevresel sürdürülebilirliği artırmak ve iklim değişikliği ile mücadele etmek adına önemli bir adımı temsil etmektedir (Ritchie vd., 2023).



Şekil 2.2 Dünya'da kullanılan enerji kaynakları dağılımı(IEA, 2024)

Güneş enerjisinin yenilenebilir enerji kategorisinde tüm dünyadaki yeri rüzgâr ve hidroelektrikten sonra 3. Sırada yer almaktadır. Fotovoltaik hücreler kullanılarak 2022 yılında güneşten enerji üretimi, önceki yıla, yani 2021'e göre 270 TWh bir artış ile (%26 artarak) yaklaşık 1 TW seviyesine ulaşmıştır (Koç ve Kaya, 2015). Buda tüm dünyadaki

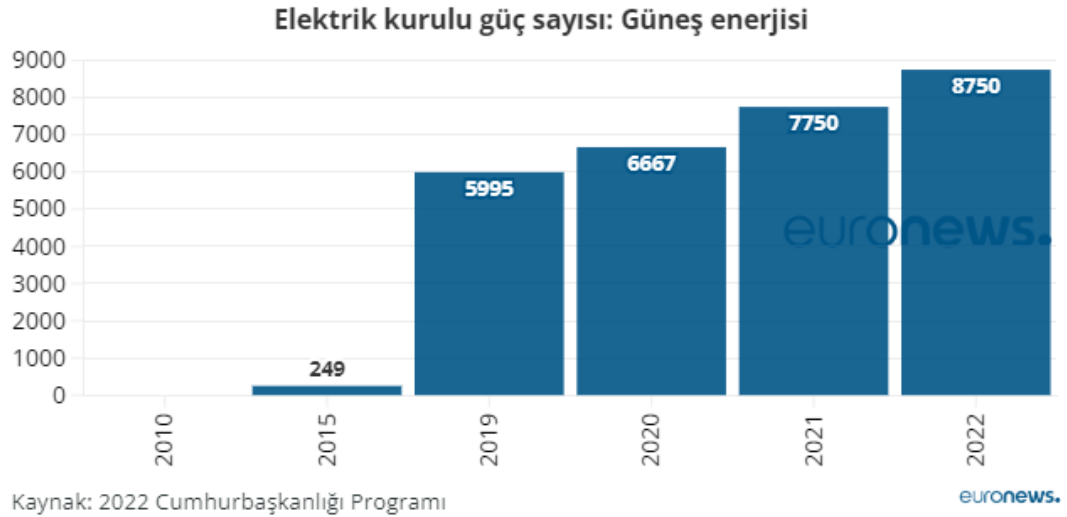
elektrik üretiminin yaklaşık %4,5 ine karşılık gelmektedir. Oran olarak %4,5 hala düşük bir rakam olduğu düşünülmekte ve hala yeterli seviyeye gelmediği ifade edilebilmektedir (Koç ve Kaya, 2015). Benzer şekilde, rüzgâr enerjisi 2022 yılında bir önceki yıla göre rekor seviyede 265 TWh (%14 artarak) artış göstermiştir. Toplam rüzgâr enerjisinden elektrik üretim kapasitesi 2,100 TW'den fazla bir seviyeye ulaşmıştır. Rüzgardaki artış yüzdesel olarak güneş enerjisine kıyasla daha az bir artış göstermiştir(Koç ve Kaya, 2015). Diğer yandan yenilenebilir enerji sıralamasında ilk sırada kendine yer bulan hidroelektrik enerji üretimi, 2022 yılında yaklaşık 70 TWh artış (%2 artarak) ile 4,300 TW toplam global enerji üretim seviyesine gelmiştir. Bu da hidroelektrik enerjinin birinci sıradaki yerini korumasına devam ettirmiştir. Ancak toplam kurulu güce oranla %2'lik artış solar enerjideki artışa oranla çok küçük kalmaktadır (Çelik, 2015). 2022 yılı için nükleer enerji açısından ülkeler kıyaslandığında Fransa (toplam enerji üretiminin %70,6'sı) ile nükleer enerjide önde gelen ülkelerden biridir. Fransa'yı yaklaşık %51 oran ile Ukrayna takip ederken, Belçika (%39) Güney Kore (%29,6), Rusya (%20,6), ABD (%19,7) ve Japonya da (%5,1) nükleer enerji sıralamasında kendisine yer bulmaktadır (Çelik, 2015).

2.1.2. Türkiye'de kullanılan enerji kaynakları

Türkiye'de enerji üretimi çeşitli kaynaklardan sağlanmaktadır. Ancak enerji üretimi çoğunlukla fosil yakıtlara dayanmaktadır. Ülkenin enerji portföyü içinde önemli bir yer tutan fosil yakıtlar arasında, özellikle doğalgaz ve kömür, bulunmaktadır. Türkiye'nin enerji ihtiyacının önemli bir kısmını doğalgazdan karşıladığı ise ayrı bir gerçektir. Ayrıca, ülkede hidroelektrik potansiyeli yüksek nehirlerin bulunması nedeniyle hidroelektrik enerji üretimi de önemli bir paya sahiptir. Türkiye'nin iklim özelliklerine bağlı olarak çıkarılan yer altı kaynakları bölgelere göre farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar bölgelerin güneşli olması, fazla yağmurlu olması gibi coğrafik yapılarına göre kullanım amaçlarını da beraberinde değiştirmektedir(Koç ve Kaya, 2015). Son yıllarda, rüzgâr ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar artmış ve bu kaynaklar enerji portföyünde daha fazla yer bulmaya başlamıştır. Türkiye'nin enerji politikalarında sürdürülebilirlik ve çevre dostu enerji üretimi ön planda olup, bu doğrultuda yenilenebilir enerji projelerine verilen destek artmaktadır. Bu çabalar, Türkiye'nin enerji arzını çeşitlendirmeyi ve daha sürdürülebilir bir enerji geleceği inşa etmeyi amaçlamaktadır.

2022 yılında Türkiye'deki elektrik enerjisi tüketimi, bir önceki yıla oranla %0,5 azalarak 331,1 TWh seviyesine düşmüştür. Elektrik üretimi ise aynı dönemde %1,9'luk bir azalışla 328,3 TWh olarak kaydedilmiştir (Bakanlık, 2004). Bu veriler, enerji tüketimi ve üretimi arasındaki dinamikleri anlamak açısından önem arz etmektedir. 2022 yılı için üretimin tüketimi karşılayamadığı görülmektedir. Bununla birlikte, 2022 yılında, Türkiye de elektrik enerjisi üretimi kömür, doğal gaz, hidrolik enerji, rüzgâr, güneş, jeotermal ve diğerleri için toplam üretimde yüzdesel olarak sırasıyla %34,6, %22,9, %20,3, %10,6, %5,1, %3,4 ve %3 olarak raporlanmıştır (Enerji Bakanlığı, 2024). Nükleer enerji ise bu paylaşımda henüz kendisine yer bulamamıştır çünkü faaliyete geçmiş herhangi bir nükleer santral mevcut değildir.

Şekil 2.3'te verilen grafikte Güneş enerjisi için 2010 yılından 2022 ye kadar olan kurulu güç sayıları sunulmaktadır. Türkiye'de elektrik kurulu güç sayısında güneş enerjisi katlanarak büyüdüğü görülmektedir. Nitekim 2010 yılında sıfır olan kurulu güç sayısı 2022 de 8 bin 750'ye ulaşmıştır. Bu bağlamda Türkiye'nin güneş enerjisine verdiği önemin altı çizilmesi gerekmektedir.



Şekil 2.3 Güneş enerjisi kurulu güç sayısı (Euronews, 2022)

2.2. Güneş Enerjisi Potansiyelleri

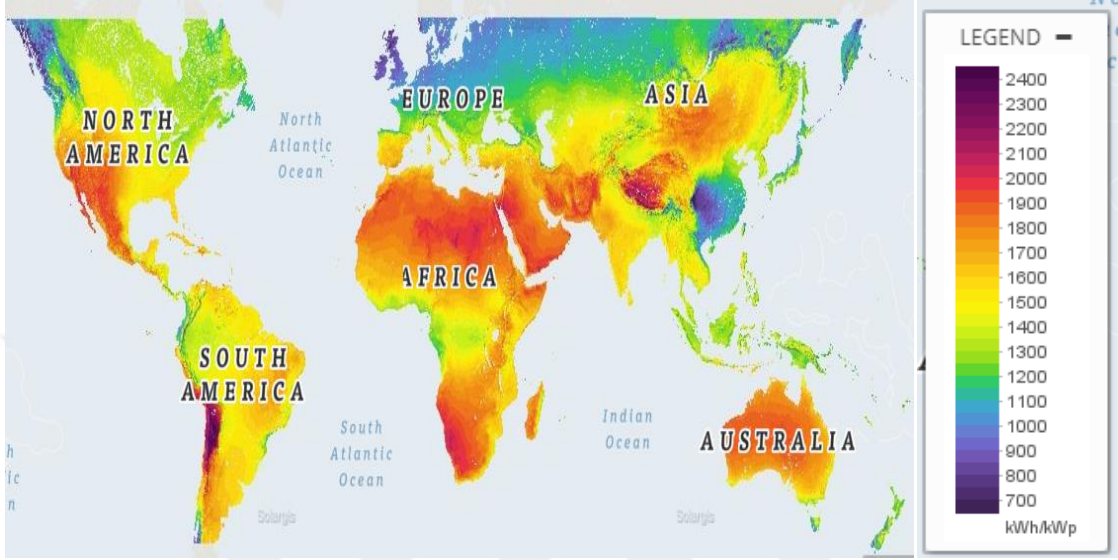
Bu tez çalışmasının ana konusu güneş enerjisine dayandığı için bu kısımda Dünyanın ve Türkiye'nin sahip olduğu güneş enerjisi potansiyellerine değinme ihtiyacı duyulmuştur. Bu potansiyele bağlı olarak ülkelerin kurulu güçlerini arttırma potansiyelleri de bulunmaktadır. Aşağıdaki alt bölümlerde detaylar verilmiştir.

2.2.1. Dünya'nın güneş potansiyeli

Yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanma açısından dünyanın coğrafi konumu çok fazla rol almaktadır. Dünya da bulunan bazı ülkelerin sahip olduğu güneşlenme süreleri, coğrafi konumları ve ışıyım şiddetlerinden dolayı büyük bir avantaj sağlamaktadır. Dünya genelinde güneş enerjisinden en çok yararlanan ülkelerin başında Çin, Avrupa ülkeleri ve ABD bulunmaktadır. Birtakım ülkeler sahip oldukları güneş ışıyım potansiyelleriyle ön plandayken birtakım ülkelerde geliştirdikleri teknoloji ve enerji ilişkileri sayesinde ön plana çıkmaktadırlar (Cengiz ve Mamiş, 2016).

Amerika ile Avustralya'nın orta bölgelerinde ve Afrika'nın büyük bir kısmı güneşin en çok ulaştığı yerler olarak dünyada bulunan diğer bölgelere kıyasla daha avantajlıdır. Şekil 2.4'te dünyanın güneş enerjisi potansiyeli haritası sunulmaktadır. Bu ölçeklere göre Türkiye'de m^2 başına yıllık olarak 1500 ila 2000 kWh civarında güneş ışıyımı düşer. Türkiye bu değer ortalamasının çok üzerinde olduğu için dünyada şanslı ülkeler arasında yer almaktadır. Ancak haritaya göre güzel bir coğrafi konumda bulunmak her zaman üretimde en iyi yararlanan konumda olduğu manasına gelmektedir. Bundan dolayı üretim konusunda en çok güneşten faydalanan ülkelerde ayrıyeten değerlendirilmelidir. Avrupa'da güneş enerjisi üretiminde ve teknolojisi konusunda öncü olan ülkelerin başında İspanya, Danimarka ve Almanya gibi ülkeler gelmektedir (Cengiz ve Mamiş, 2016). Özellikle Almanya coğrafi konumu güneş için iyi olmasa da küresel bir güç oluşturma yolunda ilerleyen ve güneş enerjisi konusunda oldukça dikkat çeken bir ülkedir. Danimarka güneş pillerinin üretiminde oldukça hızlı bir şekilde ilerleme göstererek öne çıkmaktadır. Avrupa'nın mineral yakıt konusunda fakir olan ülkelerinden İspanya'da ise enerji üretme alanlarında dikkat çekici çalışmalar bulunmaktadır. Güneş enerji üretimi alanında Amerika dünyanın en önemli ülkesi konumundadır. Amerika'nın izlediği enerji politikası, coğrafi çeşitlilik ve büyüklük,

teknoloji gelişimi vb. konularda gösterdiği faaliyetler sayesinde dünyanın öncüsü haline gelmiştir. Çinliler de sahip oldukları taklit kabiliyetleriyle ABD ve Avrupa’da üretilen teknolojileri hızlıca takip ederek kendilerine uygun bir şekilde tasarlayıp, ucuz iş gücü avantajlarını kullanarak güneş sektörüne girmişlerdir (Cengiz ve Mamiş, 2016).



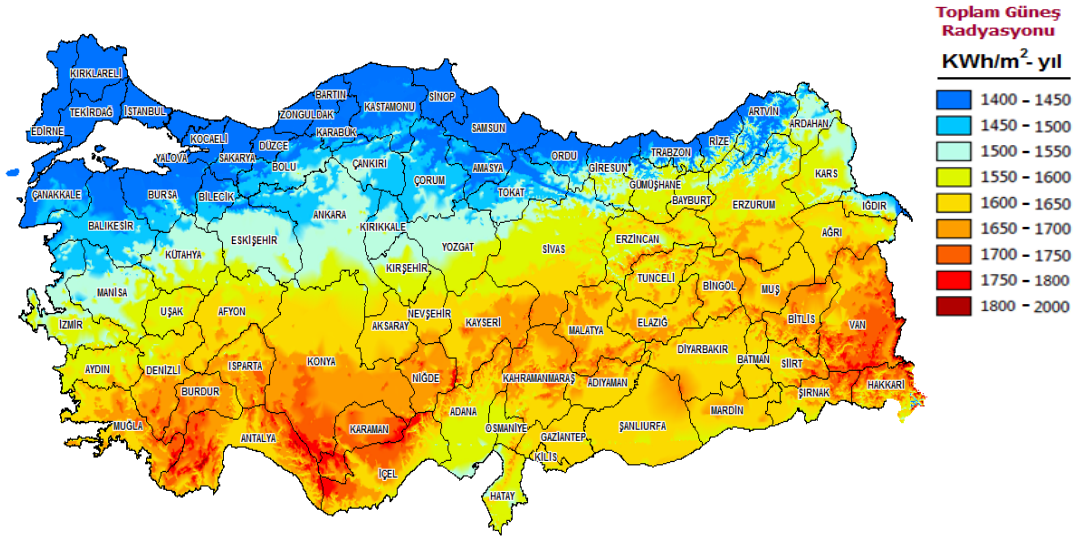
Şekil 2.4 Dünyanın güneş enerji potansiyeli haritası (K. Çilli, kişisel iletişim, 2024)

2.2.2. Türkiye’nin güneş potansiyeli

Türkiye Kuzey Yarım Küre’de yer alıp 26-45° doğu boylamları ile 36-42° kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır. Türkiye yer aldığı mükemmel coğrafi konumu sayesinde güneş enerji potansiyeli açısından çoğu ülkeye göre çok daha avantajlıdır. Ülkemiz güneş kuşağında yer almaktadır fakat güneş enerjisinin kullanımı ve enerji eldesi öngörülenden daha az durumdadır. Bu yüzden gelecekte enerji ihtiyacının karşılanmasında, güneş enerjisi çok önemli bir alternatif olarak değerlendirilip sürdürülebilir enerji olarak hayata geçirilmelidir.

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YGEM), güneş enerjisini verimli ve etkin bir şekilde kullanmak ve enerji üretiminde gerekli değerlendirmeleri yaparak potansiyel belirleme çalışmalarında katkı sağlamak için bir Güneş Enerji potansiyel atlası (GEPA) hazırlamıştır. Hazırlanan bu atlasa göre Türkiye’nin yıllık olarak toplam güneşlenme süresi 2737 saat (günlük 7,5 saat), yıllık olarak gelen toplam güneş enerji ise 1527 kWh/m².yıl (günlük 4.2 kWh/m²) olarak belirlenmiştir (Yolcan ve Köse, 2020).

Türkiye'nin Güneş Enerji Potansiyel Atlası Şekil 2.5'te sunulmuştur (Yolcan ve Köse, 2020).



Şekil 2.5 Türkiye'nin Güneş Enerji Potansiyel Atlası (Yolcan ve Köse, 2020)

Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli atlasına göre Türkiye yaklaşık olarak yıllık 110 gün kadar yüksek bir güneş enerji potansiyeline sahip bir ülke olup gerekli yatırımların yapılması sonucunda yılda birim m² başına ortalama 1100 kWh'lik bir güneş enerjisi üretilebileceği tahmin edilmektedir. Türkiye'nin aylara göre toplam güneş enerji potansiyelleri ile güneşlenme süreleri ise tablo 2.2' de özetlenmiştir.

Tablo 2.2 Türkiye'nin toplam güneş enerji potansiyelinin aylara göre dağılımı (Ges Sistemleri, 2022)

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi (kcal/cm ² -ay)	Aylık Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -ay)	Güneşlenme Süresi (saat/ay)
Ocak	4.45	51.75	103.0
Şubat	5.44	63.27	115.0
Mart	8.31	96.65	165.0
Nisan	10.51	122.23	197.0
Mayıs	13.23	153.86	273.0
Haziran	14.51	168.75	325.0
Temmuz	15.08	175.38	365.0

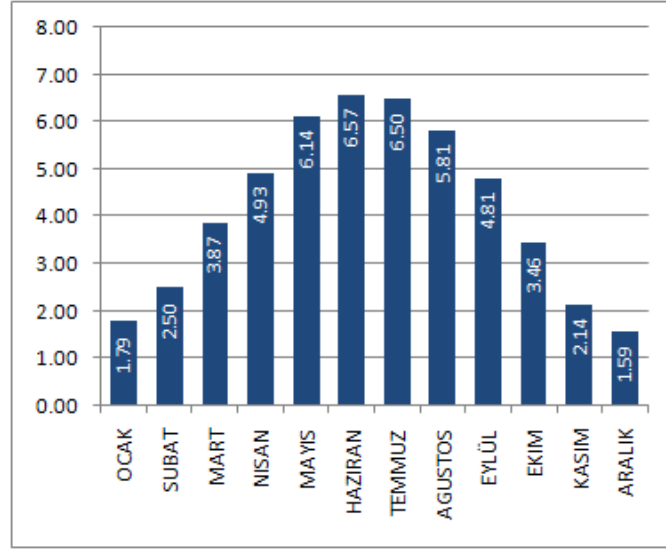
Ağustos	13.62	158.40	343.0
Eylül	10.60	123.28	280.0
Ekim	7.73	89.90	214.0
Kasım	5.23	60.82	157.0
Aralık	4.03	46.87	103.0
Toplam	112.74	1311.00	2640
Ortalama	308.0 Cal/cm ² -gün	3.6 kWh/m ² -gün	7.2 saat/gün

Ülkemizin güneş enerji potansiyelinin bölgelere göre dağılımına baktığımızda ilk sırada Güneydoğu Anadolu Bölgesi gelmektedir. İkinci olarak Akdeniz bölgesi ve onu da sırasıyla Doğu Anadolu Bölgesi ve İç Anadolu Bölgesi takip etmektedir. Karadeniz Bölgesi ise ülkemizde güneş enerjisi açısından en düşük potansiyele sahip bölgedir (Kiliç, Gümüş ve Yılmaz, 2016). Türkiye'nin bölgelere göre güneş enerji potansiyeli dağılımı Tablo2.3 'de gösterilmiştir.

Tablo 2.3 Türkiye'nin güneş enerji potansiyelinin bölgelere göre dağılımı (Ges Sistemleri, 2022)

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

Türkiye'nin global radyasyon değerleri Şekil 2.6'da verilmiştir. Bu tabloya göre haziran ayı global radyasyon değerinin en yüksek olduğu ay iken en düşük olduğu ay aralık olarak belirtilmiştir. Nisandan eylüle kadar global radyasyon değerlerinin çok iyi olduğu görülmektedir.



Şekil 2.6 Türkiye'nin global radyasyon değerleri (kWh/m².gün) (IEA, 2022)

3. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş, doğanın en büyük enerji kaynağı olarak bilinmektedir ve bu devasa yıldız, dünya üzerindeki yaşamın temelini oluşturmaktadır. Yaklaşık olarak küre şeklinde olan güneş, enerjisini her yönde ışıma yoluyla homojen olarak yaymaktadır. Güneşin sahip olduğu ışıma enerjisi, atmosferde ve yeryüzünde bulunan biyolojik ve fiziksel etkileşimleri yönlendiren en önemli enerji kaynağıdır. Güneş, sıcak bir gaz küresi olmasının yanı sıra kütlesi ortalama olarak $1,989 \times 10^{30}$ kg'dır. Yüzey sıcaklığı ise yaklaşık olarak 6000 K'dir (Varınca ve Varank, 2005). Güneşin merkezindeki sıcaklık değeri 8×10^6 K – 40×10^6 K değerleri arasında değiştiği tahmin edilmektedir. Güneşin sahip olduğu bu yüksek değerdeki sıcaklıkta bir saniye boyunca yaydığı ışıma enerjisi ise 4×10^{23} kW'tır. Güneş, $1,392 \times 10^6$ km çapındadır (Varınca ve Varank, 2005). Güneş ile gezegenimiz arasındaki uzaklık yaklaşık $1,496 \times 10^8$ km kadardır. Güneşten dünyaya gelen enerji, uzak mesafeyi 8 dakika da aşar ve yerküre 40 dakikada dünyamızın üzerinde bir yılda tüketilen enerjiye eş değer enerjiyi güneşin ışınlarından soğurur. Milyonlarca yıl süren termonükleer reaksiyonlar sonucunda ortaya çıkan Güneş, ışık ve sıcaklık sağlamakla kalmaz, aynı zamanda gezegenimizde mevsimler, iklim değişiklikleri ve okyanus akıntıları gibi birçok önemli olayı da etkilemektedir. Bilim dünyası tarafından sürekli olarak incelenen Güneş, enerji kaynakları ve iklim değişikliği gibi konularda daha derin bir anlayışa ulaşmak amacıyla önemli bir konu olarak öne çıkmaktadır (Varınca ve Varank, 2005). Aynı zamanda, temiz enerji arayışlarında da odak noktasıdır; zira Güneş enerjisi, sürdürülebilir ve çevre dostu bir enerji kaynağı olarak gelecekteki enerji taleplerini karşılama potansiyeline sahiptir.

Güneş enerjisinden daha öncede belirtildiği gibi ısı ve elektrik üretimi şeklinde yararlanıla bilinmektedir. Bu kapsamda, güneş enerjisinden yararlanmanın temel yöntemlerinden biri fotovoltaik (PV) hücreler aracılığıyla elektrik üretmektir. Bu hücreler, Güneş'ten gelen ışığı doğrudan elektrik enerjisine dönüştürerek kullanılabilen elektrik üretebilen mucizevi aygıtlardır. Güneşten ısı enerjisi elde edebilmek içinde bazı sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemlerde, Güneş enerjisi odaklanan aynalar veya lensler kullanılarak bir noktada yoğunlaştırılır ve bu yoğunlaştırılmış ısı ısınma amacıyla kullanılmak üzere toplanmaktadır. Günümüzde, evlerden endüstriyel tesislere kadar birçok alanda kullanılan güneş enerjisi, sürdürülebilir bir enerji kaynağı olması ve karbon ayak izini azaltması açısından önemli bir rol oynamaktadır. Bu teknolojilerin

gelişimiyle birlikte, güneş enerjisi dünya genelinde enerji portföylerinde daha belirgin bir yer edinmektedir.

Burada bilinmesi gereken noktalardan biri ise atmosfere gelen güneş radyasyonunun yaklaşık %17,5 i atmosferin ısınmasına harcanır. %35 'lik kısmı ise yeryüzünde ve bulutlardan yansıyarak tekrar uzaya gitmektedir (Sayım, 2018). Geriye kalan %47,5 'lik oran da yeryüzüne düşerek ısıya dönüşmektedir. Güneş enerjisinin dünya atmosferi dışında değeri ise 1370 W/m^2 'dır. Buna eş değer yer yüzüne ulaşan miktar atmosferden kaynaklı sadece $0-1100 \text{ W/m}^2$ rakamları arasındadır (Sayım, 2018). Dünyaya gelen bu enerjinin küçük bir miktarı bile yer yüzünde gerçekleştirilen enerji tüketiminden çok daha fazladır.

3.1. Güneş Enerjisi Teknolojileri ve Üretimi

Güneş enerji teknolojileri; üretiminde kullanılan malzemeye, uygulanacak olan metoda ve teknolojik yapıya göre çeşitlilik gösterse de iki temel türde gruplandırılmaktadır. Bunlardan ilki, ısı güneş teknolojileridir. İkincisi ise PV güneş teknolojileridir. Birinci gruptaki ısı sistemler, güneş enerjisi yardımıyla ısı üretirler. Üretilen bu ısı, ısı enerjisi olarak kullanılabilir veya elektrik üretimi için kullanılabilir. Elektrik üretiminde ısı enerjisinin kullanılabilmesi için, ısı farklı yoğunlaştırıcı sistemler yardımıyla odaklanır ve kızgın buhar elde edilir. Daha sonra elde edilmiş kızgın buhardan da klasik yöntemlerle enerji üretimi işlemi gerçekleştirilir. İkinci gruptaki sistemler ise yarı iletken malzemelerden oluşur ve güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çevirirler (Sayın ve Koç, 2011a). Aşağıda buradaki sistemler biraz daha detaylandırılmaya çalışılmıştır.

Güneş enerjisinden ısı üretmek için kullanılan uygulamalar kendi içerisinde üç gruba ayrılır. Bunlardan ilki düşük, orta ve son olarak da yüksek sıcaklıktaki uygulamalardır. Düşük sıcaklık uygulamalarından olan düzlemsel güneş kolektörleri sık olarak rastlanılan örneklerdendir (Buruntekin, 2017). Çizgisel yoğunlaştırma yapan (parabolik oluk) sistemler orta sıcaklık, noktasal yoğunlaştırma yapan (merkezi alıcılar ve parabolik çanak) sistemler ise yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılmaktadır.

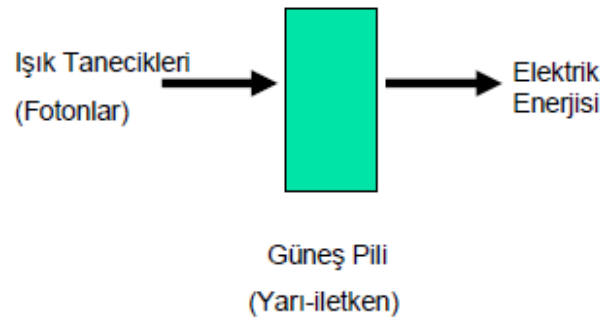
Yüksek sıcaklık uygulamalarına ait olan parabolik çanak sistemler Şekil 3.1 de gösterilmiştir.



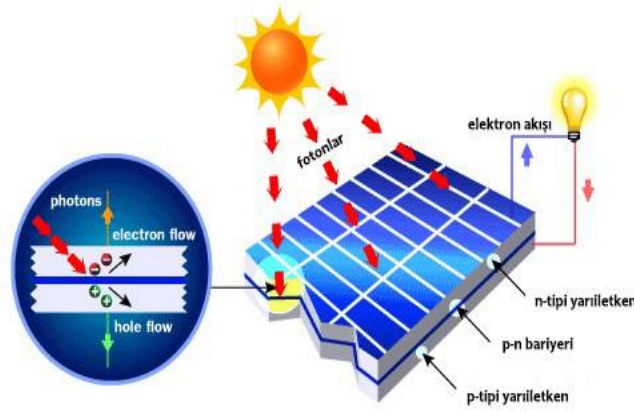
Şekil 3.1 Parabolik çanak kolektörleri (Buruntekin, 2017)

3.1.1. Güneş pilleri

En basit tanım ile güneş pilleri yüzeyine gelen güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebilen aygıtlardır. Şekil 3.2’de basitçe bir güneş pilinin nasıl çalıştığı şematize edilmiştir. Şekil 3.3’de ise güneş pilinin katmanları ve fotonlarla etkileşim sonucu elektrik enerjisinin nasıl oluştuğu aktarılmaya çalışılmıştır.



Şekil 3.2 Güneş pili çalışma ilkesi

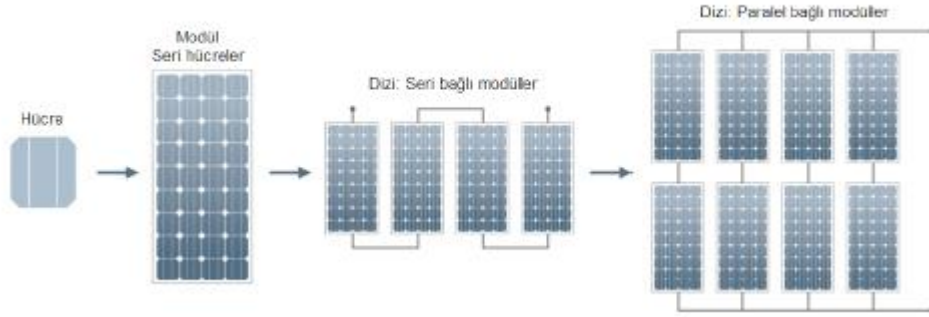


Şekil 3.3 Güneş pili çalışma prensibi (Moduled, 2018)

Güneş hücrelerinin üretiminin temelini iki katman oluşturur. Bunlar “p tipi” ve “n tipi” yarı iletken katmanlarıdır. Güneş hücresinin yüzeyine gelen güneş ışınları hücreye çarptığı zaman p tipi silisyum tabakasında yer alan elektronlarının enerjisinin yükselmesine daha sonra üst enerji düzeyine çıkmasına neden olmaktadır. Böylelikle elektronlar yarı iletken maddeden geçmek için gerekli olan enerji düzeyine erişmiş olurlar. Bu sayede p tipi silisyumda bulunan elektronlar n tipi silisyum tabakasına geçecektir. P tipi silisyum tabakasında ise elektron boşlukları oluşmaktadır. Bu iki tabaka arasına iletken madde konulduğunda elektronlar p tipi silisyum tabakasında yer alan boşluklar nedeniyle o tarafa doğru yönelmek isteyecekler ve n tipi silisyum tabakasından p tipi tabakaya doğru bir elektron akışı oluşur. Güneş’ten gelen ışınlar hücreye çarptığı her saniyede elektronların gerçekleştirdiği bu hareketlilik devam edecektir ve bu vesileyle elektrik enerjisi elde edilecektir. Burada hatırlatılması gereken bilgi serbest elektronların hareketi sonucu elektronların hareketine ters yönde bir elektriksel akımın oluşmasıdır. Bu hücrelerin bağlantısı elektronik sistem elemanları desteğiyle şebekeyle bağlandığında açığa çıkan enerjiyi şebekelerde elektrik enerjisi olarak kullanılmaktadır.

Fotovoltaik güneş hücreleri daha fazla güç, akım veya gerilim değerleri elde edebilmek için elektriksel olarak paralel veya seri bağlanırlar. Fotovoltaik modüller fotovoltaik hücrelerden oluşur ve bu hücreler çevre koşullarına karşı sızdırmazlığı sağlar. Fotovoltaik paneller, elektrik kablolarıyla birbirlerine bağlanmış iki ya da daha fazla fotovoltaik modülün bir araya gelmesiyle oluşur. Belli sayılarda fotovoltaik panel ya da modülü içeren enerji üretim ekipmanları ise fotovoltaik dizilerdir. Şekil 3.4’te PV sistemlerinde hücre-modül-dizi tasarımı sunulmuştur (Öztürk, 2019). Şekil 3.5’de ise

hücre, modül ve dizi tasarımları uygulamaları karşılık gelebilecek elektriksel güç değerleri ile verilmiştir.



Şekil 3.4 PV sistemlerinde hücre-modül-dizi tasarımı (Öztürk, 2019)



Şekil 3.5 Hücre, modül ve dizi tasarımları uygulamaları (Öztürk, 2019)

Güneş hücreleri yüzey çeşitlerine göre dikdörtgen, kare ve daire şeklindedirler. Ayrıca yüzey alanları genel olarak 100 cm^2 dolaylarında ve kalınlıkları da 0,2-0,4 mm aralıklarındadır. Yukarıda bahsi geçen güneş hücrelerinin üretimi farklı maddeler ile gerçekleştirilebilmektedir (Oral, 2002). Bu maddelerden en çok tercih edilenleri ise amorf silisyum, kristal silisyum, bakır indiyum diselenid (CuInSe_2), kadmiyum tellurid (CdTe), galyum arsenit (GaAs), ve optik yoğunlaştırıcı hücreler olarak bilinmektedir (Oral, 2002) .

PV sistemleri, yerleşim yerlerinden uzak, elektriğin olmadığı yerlerde, jeneratöre yakıt taşımının pahalı ve zor olduğu durumlarda kullanılır. Ayrıca, hava gözlem istasyonlarında, metal yapıların korozyondan korunmasında, kırsal radyo, telefon ve telsiz sistemlerinde, haberleşme istasyonlarında, aşı ve ilaç soğutma işlemlerinde

kullanılır. Ek olarak deniz fenerleri, orman gözetleme kuleleri, tarımsal sulama alanları, buzdolabı, radyo, TV gibi elektrikli aletlerin çalıştırılması, bina içi ya da bina dışı aydınlatmaları ve daha birçok alanda kullanımları mevcuttur.

3.1.2. Güneş panelleri çeşitleri

Fotovoltaik hücrelerin oluşturduğu paneller, farklı yapı ve teknolojiler yardımıyla tasarlanabilmektedir. Bu kapsamda, ortaya çıkan ve yaygın olarak kullanılan paneller monokristalin, polikristalin, ince film ve organik fotovoltaik paneller olarak listelenebilir. Bu paneller, farklı uygulama alanlarına ve performans özelliklerine sahiptir. Özellikle kristal yapıya sahip paneller endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılan panellerdir. Ömürleri yaklaşık olarak 90 yıl olarak bilinmektedir (Adıgüzel, 2018).

Monokristal güneş pilleri yüksek verimli olan mono kristalin hücrelerinden oluşmuştur. Malzemelerinin atomik yapısı homojendir. Monokristal güneş pillerinin verimleri %25 olup diğer güneş pillerine göre en yüksek verime sahiptir. Üretimlerinde kullanılan teknoloji nedeniyle üretim süreçleri uzun sürer bu da diğer güneş pillerine göre fiyatlarının daha yüksek olmasına sebebiyet verir (Kocakuşak, 2018). Ancak kullanım ömürlerine bakıldığında çok uzun süre verim ve dayanıklılık sağlar. Şekil 3.6'da görseli sunulmuştur.



Şekil 3.6 Monokristal panel

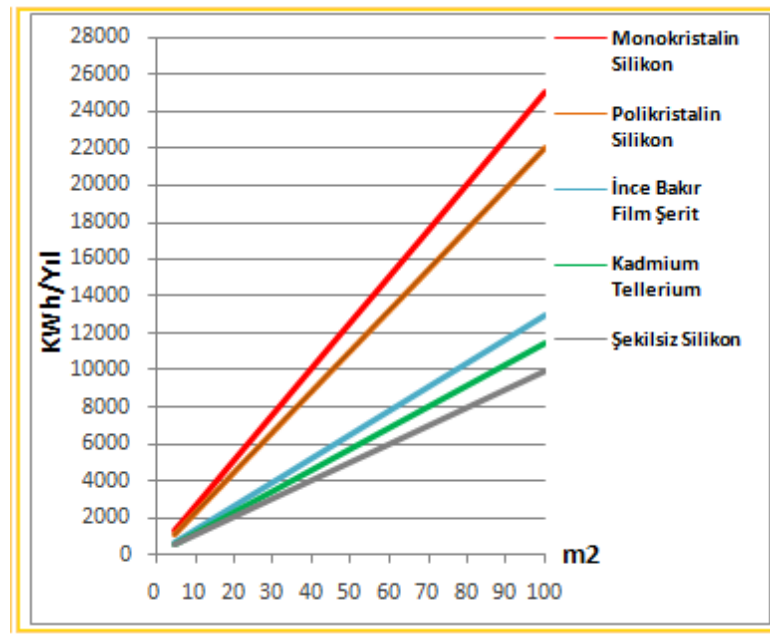
Polikristal güneş pillerinin atomik yapıları homojen değildir ve malzemeleri çok fazla sayıda monokristalden oluşur. Verimleri %16 olup CIS güneş pillerinden daha yüksek verimde, monokristal güneş pillerinden ise daha düşük verimdedir (Taşcıoğlu, 2015).

Bu güneş pillerine kolay ulaşılır ve uygun fiyatta piyasa satışı yapılır. Verimle maliyet oranı daha yüksek olduğu için bu güneş pillerine olan tercih daha fazladır. Şekil 3.7’de görseli sunulmuştur.



Şekil 3.7 Polikristal Panel

Şekil 3.8’de ise farklı panel tiplerine ait m² başına üretilebilecek enerji miktarlarının kıyaslaması yapılmıştır. Burada monokristalin seçeneğinin en yüksek enerji üretim seçeneği olduğu görülmektedir. Polikristalin seçeneği onu takip etmektedir (Kılıç, 2015). Uygulanacak m² alanı artıkça panel çeşitleri arasında ki üretim farkı da artmaktadır.



Şekil 3.8 Türkiye PV Tipi-Alan-Üretilebilecek Enerji (KWh-Yıl)(Kılıç, 2015)

3.2. Güneş Enerjisinin Kullanıldığı Alanlar

Kullanım alanı her geçen gün daha da yüksek noktaya ulaşan güneş enerjisi, geleceğin en önemli kaynakları içerisinde bulunmaktadır. Bu anlamda güneş enerjisinin kullanım alanı oldukça çeşitlendirilebilmektedir. Tarımdan endüstriye, enerji santrallerinden sıcak ve soğuk su üretimine kadar çok çeşitli kullanımları mevcuttur. Kısa bir liste yapılmak istenirse aşağıdaki şekildeki gibi sıralanabilir:

Ev ve İşyeri Elektrik Üretimi

Sıcak Su Üretimi

Isıtma ve Soğutma Sistemleri

Tarım Uygulamaları

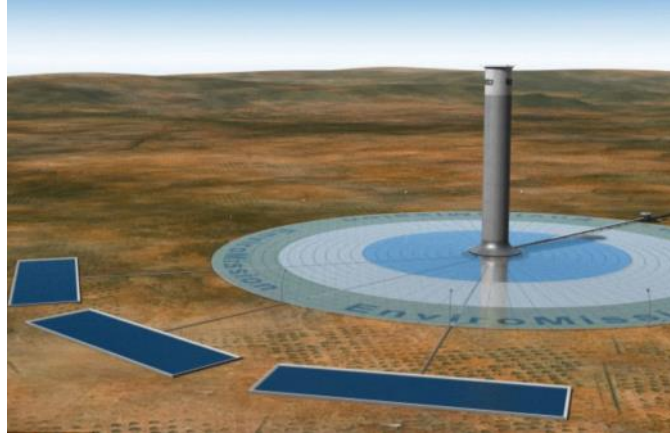
Uzak Alanlarda Elektrik Üretimi

Denizcilik ve Uzay Uygulamaları

Taşınabilir Elektronik Cihazlar

3.2.1. Elektrik üretimi

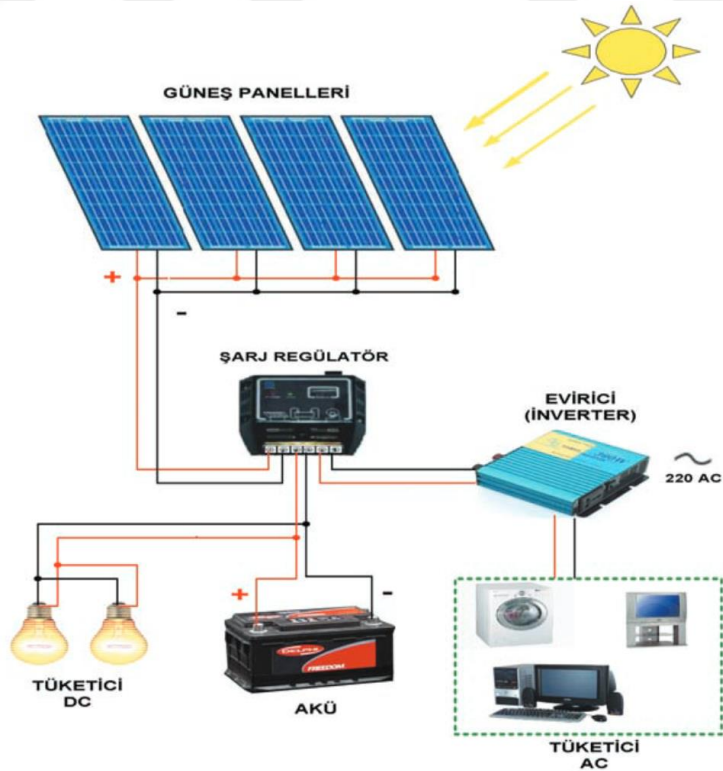
Güneş enerjisinden elektrik üretmek için farklı metotlar kullanılır. Bu metotlardan en fazla kullanılan fotovoltaiik sistemlerdir. Bu sistemler çatılara, teraslara, binaların yüzeylerine yani güneşin gördüğü her yere (gölge almayan) kurularak ihtiyaç duyulan elektrik enerjisini karşılar. Fotovoltaiik sistemler haricinde de elektrik üretimi gerçekleştirilebilir. Kısa bir örnek olarak güneş bacaları verilebilir. Bu yöntemde güneş ısısı sonucunda oluşan sera etkisinden faydalanılır. Oluşacak olan hava hareketlerinden yararlanılarak rüzgar türbinleri yardımıyla elektrik enerjisi üretilmektedir. Şekil 3.9'da görsel tasarımı sunulmaktadır.



Şekil 3.9 Güneş bacası

3.3. Güneş Enerjisi ile Elektrik Üretimi Elemanları

Güneş enerji sistemlerinde güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirmek için kullanılan ekipmanlar; akü, güneş panelleri, sistemin fonksiyonel ve opsiyonel ihtiyacına göre inverter ve şarj regülatörleri yer almaktadır (Sayin ve Koç, 2011a). Şekil 3.10'da fotovoltaik sistem elektrik üretim şeması görselleştirilmiştir. Güneş panelleri hakkında daha önce bilgi verildiği için bu bölümde güneş panelleri hariç diğer ekipmanlar hakkında kısa kısa bilgiler sunulacaktır.



Şekil 3.10 Fotovoltaik sistem elektrik üretim şeması (Koroğlu, Teke, Bayındır ve Tümay, 2010)

3.3.1. Şarj regülatörleri

Güneş panellerinden gelen akım ve gerilim değerlerini düzenleyerek aküye iletilmesini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Bu sayede regülatörden aküye daima sabit voltajda elektrik iletilmesi sağlanır. Ayrıca şarj regülatörü akünün tam dolmasını ve aşırı kullanımlarda deşarj olmasını engellemektedir (Sayin ve Koç, 2011b). Güneş enerjisiyle üretilen gerilim değeri havanın bulutlu olması veya güneşin gün içerisindeki konumuna bağlı olarak farklılık göstereceğinden güneş paneli ile akü grupları arasında kesinlikle şarj regülatörü bağlanmalıdır. Şarj regülatörlerinin iki çeşidi bulunur. Bunlar, MPPT tipi şarj regülatörleri ile PWM tipi şarj regülatörleridir (Sayin ve Koç, 2011b).

PWM şarj regülatörlerinin üzerinde yer alan LED'ler veya LCD ekran sayesinde akünün durumu, şarj seviyesi vb. bilgiler görülmektedir. Kapalı ve açık kurşun akülerinin optimum seviyede dolmasını sağlayabilirler. 24V ve 12V'luk her türlü akünün veya akü gruplarının şarj edilmesini sağlamaktadırlar. Şase bir DIN rayına veya duvara monte edilebilir. PWM regülatörlerinin verimleri MPPT regülatörlere göre düşüktür (Solar Magazam, 2024). Şekil 3.11'de PWM regülatörlerinin görseli sunulmuştur.



Şekil 3.11. PWM Regülatörler

Profesyonel olarak çalışan şarj denetleyicileri, MPPT şarj regülatörlerinin tekniğine göre çalışırlar. Bu regülatörlerin verimleri, uygun gerilim değerleri aralıklarındaysa %98'e kadar çıkabilir (Sayin ve Koç, 2011b). Aküye uygun olarak çalıştığı için akünün ömrünü %50 uzatır. Sistemin ömrünü uzattığı için de sistemdeki maliyet düşer. Şekil 3.12'de MPPT tipi şarj regülatörlerinin görselleri verilmiştir.



Şekil 3.12 MPPT tipi şarj regülatörleri

3.3.2. Eviriciler (Inverter)

İnverter, güneş enerji kaynaklarının ürettiği doğru akımı şebeke akımına (alternatif akıma) çeviren cihazdır. On-Grid ve Off-Grid olmak üzere iki çeşidi bulunmaktadır. Şebeke İçi (On-Grid) olan eviriciler güneş panellerinin ürettiği doğru akımı şebeke akımına dönüştürerek şebekeye satışta bulunan veya şebekeye ileten invörterlerdir. Şebeke Dışı (Off-Grid) eviriciler ise güneş panellerinin ürettiği doğru akımla aküleri şarj eder ve akülerden aldığı doğru akımı da alternatif akıma dönüştüren invertörlerdir. Şekil 3.13 ve 3.14'te sırasıyla On-Grid ve Off-Grid eviricilerin görselleri sunulmuştur.



Şekil 3.13 Şebeke içi evirici çeşitleri



Şekil 3.14 Şebeke dışı evirici çeşitleri

3.3.3. Akü (Akümülatör)

Aküler elektrik enerjisinin kimyasal enerji olarak depolandığı ve ihtiyaç durumlarında bu enerjinin elektrik enerjisi olarak verildiği cihazlardır. Güneş enerjisinden yararlanılarak üretilen enerji en çok kuru akü, jel akü ve OPzS akülerle depolanır. OPzS (Tüplü Sabit Tesis) akümülatörleri sisteme sürekli enerji kaynağı olarak bağlanması için üretilen standby (sabit tesis) akülerdir. Bu akülerin bakımları azdır ve enerji maliyetleri düşüktür. Antimonlu kurşun alaşımlarının düşük olması özelliğiyle kendi kendine deşarj olma durumunu azaltır ve su kayıpları oranını önemli derecede düşürür. Şarj-deşarj kabiliyetleri ile aktif madde tutuşu aynı seviyededir. Şekil 3.15'te bu akü çeşidine ait görsel verilmiştir.



Şekil 3.15 OPzS akü tipi

Silikon jel teknolojisiyle üretilen akülerin soğuk ortam sıcaklıklarında kullanım ömürleri daha uzun ve performansları daha iyidir. Bu akü modelleri özel seperatörlerle donatılmış, tam kapalı ve bakım gerekmeyen akülerdir. Yüksek kalite ve güvenilirliğe sahiptir. Şekil 3.16'da jel akü tipine örnek bir resim sunulmuştur.



Şekil 3.16 Jel akü tipi

Kuru aküler, yüksek akım kapasiteli (TPD ve TP) modelleri sayesinde performansın iyi olması ve fiyatın uygun olmasıyla yaygın bir kullanım sağlamaktadır. Bakımları olmayıp tamamen kapalı tip akülerdir. Oldukça geniş ısı yelpazesinde çalışırlar. Emniyet valfiyle teçhizleri yapılır. Sağlam ve uygun dizayn yapısına sahip olduklarından ömürleri oldukça uzundur. Dikey veya yatay herhangi pozisyonda çalışabilmektedirler. Ters yöne çevrildiklerinde bile asit sızdırmazlar. Performansları oldukça yüksektir. Şekil 3.17’de kuru akü tipine örnek bir görsel verilmiştir.



Şekil 3.17 Kuru akü tipi

4. SULAMA SİSTEMLERİ

Sulama sistemleri su kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılmasını amaçlamasının yanı sıra tarımın temel unsurlarından biri olarak nitelendirilebilir. Bu sistemler, bitki yetiştirme süreçlerini optimize ederek su kaynaklarını daha etkin bir şekilde kullanma amacı taşır. Birçok farklı yöntemi olan sulama sisteminde yeraltı suları veya su depolama tesislerinden alınan suyun kullanımı mevcuttur. İlk sulama sistemleri, nehirlerin sularını tarım arazilerine yönlendirmek amacıyla basit su yollarından oluşmaktadır. Bu ilkel sulama teknikleri, toplumların su ihtiyacını karşılamak ve tarım verimliliğini artırmak için kullanılmıştır. Özellikle Antik Mısır, Mezopotamya ve Hint medeniyetleri, sulama sistemlerini geliştirmede öncü roller üstlenmiştir. Mısır'da Nil Nehri'nin taşkın sularının kontrolü için yapılan kanallar ve sulama sistemleri, tarımın sürdürülebilirliğini sağlamış ve uygarlık için temel bir unsur olmuştur. Benzer şekilde, Mezopotamya'da Tigris ve Dicle nehirleri çevresindeki toprakların sulanması için geliştirilen kanal sistemleri, tarım alanlarını verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır. Tarih boyunca sulama sistemlerinin gelişimiyle tarım gelişmiştir ve tarımın gelişimiyle sulama sistemlerinin geliştirilmesi zorunlu hale gelmiştir.

Günümüzde, sulama sistemleri modern teknolojinin etkisiyle daha da gelişmiş durumdadır. Otomatik sulama sistemleri, sensörler ve bilgisayar kontrolleri aracılığıyla suyun daha verimli ve ihtiyaca dayalı bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Sulama sistemlerinin tarihçesi, insanlığın tarımdaki ilerlemesini belirleyen önemli bir evrimi yansıtmakta ve su kaynaklarına daha sürdürülebilir bir yaklaşımın nasıl benimsendiğini göstermektedir.

4.1. Sulama Yöntemleri

Bitkilere yönlendirilen suyun transferi, suyun kaynaktan bitkiye taşınma sürecini kapsayan geniş bir sistemle ilgilidir. Basınçlı ve yüzeysel sulama olmak üzere iki ana kategoride sulama sistemleri ele alınmaktadır. Basınçlı sulama sistemlerinde genellikle damla sulama veya basınçlı yağmur teknikleri kullanılarak kaynaktan bitkiye su ulaştırılmaktadır. (Yenikale) Bunun aksine yüzeysel sulama sistemlerinde su, toprak yüzeyi boyunca taşınır. Yerçekiminin etkisiyle su, depolanmak üzere bitkinin kök bölgelerine doğru inmektedir. Her bir yöntemin seçimleri genellikle toprağın konumu,

iklim koşulları ve su kaynağı gibi faktörlere bağlıdır. Dolayısıyla, belirli koşullara en uygun sulama sistemi seçilmeli ve bu sistem kurularak işletilmelidir.

4.2. Güneş Enerjisinin Sulama Sistemleri ile Kullanılması

Bitkilerin sulanmasında bir sistemin gereksinimi yukarıda vurgulanmıştır. Bu kapsamda güneş enerjisinin entegre edildiği sulama sistemleri, tarım sektöründe enerji maliyetlerini düşürmek, çevresel etkileri azaltmak ve enerji bağımsızlığını artırmak amacıyla giderek daha fazla tercih edilen bir çözüm haline gelmektedir. Bu kapsamda, güneş enerjisinden elde edilebilecek elektrik enerjisi sayesinde su pompaları çalıştırılabilir, damlama sulama sistemleri etkin bir şekilde kullanılabilir ve kullanılması muhtemel olan diğer sulama ekipmanlarının enerjisi kolayca karşılanabilir. Bu sayede, güneş enerji sistemleri tarım alanlarında geniş bir potansiyele sahiptir. Bu sistemlerin en önemli avantajlarından biri, güneş ışığının ücretsiz ve sınırsız bir kaynak olması nedeniyle şebeke elektrik kaynağına göre daha düşük işletme maliyeti olmasıdır. Ayrıca, güneş enerjisiyle çalışan sulama sistemleri, çiftçilere enerji bağımsızlığı sağlayarak elektrik altyapısına olan bağımlılıklarını azaltmaktadır.

Bütün bunlara ek olarak, güneş enerjisiyle çalışan sulama sistemleri, çevresel sürdürülebilirlik açısından da büyük önem taşımaktadır. Karbon ayak izini azaltarak fosil yakıtlara bağımlılığı en aza indirerek ve çevreye zararlı emisyonları önlemektedir. Ayrıca, güneş enerjili sulama sistemleri, suyun daha etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasına katkıda bulunabilmektedir. Bu yöntem, özellikle kırsal bölgelerde veya uzak tarım arazilerinde enerji altyapısının sınırlı olduğu durumlarda etkili bir çözüm sunmaktadır. Güneş enerjisiyle çalışan sulama sistemleri, sürdürülebilir bir tarım pratiği benimseme ve aynı zamanda enerji maliyetlerini düşürme fırsatı da tanımaktadır. Bu nedenle, güneş enerjisiyle çalışan sulama sistemleri, tarım sektöründe daha yeşil, ekonomik ve sürdürülebilir bir geleceğe doğru önemli bir adım olarak görülmektedir. Güneş enerjisinin sulama sistemlerine entegre edilmesi, sürdürülebilir tarım uygulamalarının evriminde önemli bir dönüm noktası oluşturmuştur. Güneş enerjisinin tarımsal faaliyetlere entegrasyonun tarihçesi, güneş enerjisinin gelişimi ve tarımsal sulama ihtiyaçlarındaki değişimleri yansıtmaktadır.

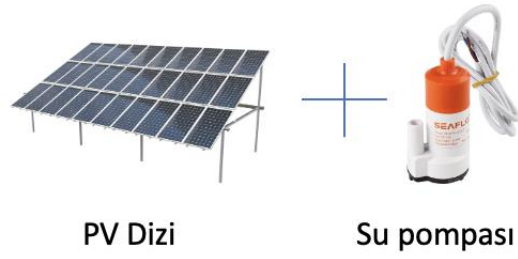
4.3. Sulama Sistemlerinin Kullanılmaya Başlamasının Tarihçesi

Güneş enerjisinin tarım sulamasında kullanımı, ilk olarak 20. yüzyılın ortalarına dayanmaktadır. 1950'lerde, güneş panellerinin ticari kullanımıyla birlikte, tarım sektörü de güneş enerjisinden yararlanma potansiyelini fark etmiştir. Ancak, bu dönemde güneş enerjisi teknolojisinin maliyeti ve verimliliği konusundaki sınırlamalar, yaygın kullanımını engellemiştir. 1970'lerden itibaren, enerji krizi ve çevresel endişeler, güneş enerjisi teknolojisinin gelişimine ivme kazandırmış ve tarım sektöründe alternatif enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır. Bu dönemde, güneş panellerinin maliyeti düşmeye başlamış ve verimlilikleri artmıştır. 1980'ler ve 1990'lar, güneş enerjisiyle çalışan sulama sistemlerinin daha fazla benimsenmeye başladığı bir dönemi işaret etmektedir. Gelişen fotovoltaik teknolojisi sayesinde, güneş panellerinin daha küçük boyutlarda ve daha yüksek verimlilikle üretilmesi, sulama sistemlerine entegrasyonunu kolaylaştırmıştır (Özek, 2009).

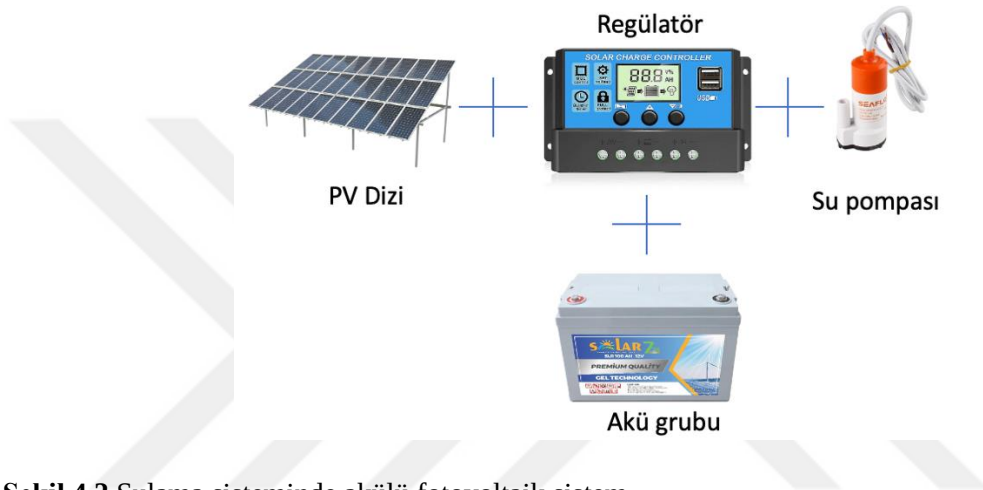
2000'li yılların başlarından itibaren, çevresel sürdürülebilirlik ve enerji bağımsızlığına yönelik küresel taleplerle birlikte güneş enerjisiyle çalışan sulama sistemleri daha yaygın hale gelmiştir. Günümüzde, birçok ülkede tarım alanlarında güneş enerjisi tabanlı sulama sistemleri, çiftçilere düşük işletme maliyetleri ve çevre dostu bir enerji kaynağı sağlayarak sürdürülebilir tarım pratiğini desteklemektedir. Bu evrim, güneş enerjisinin tarım sulamasındaki rolünün giderek önem kazandığını göstermektedir (Özek, 2009).

4.4. Güneş Enerjisi ile Sulama Sistemi Detayları

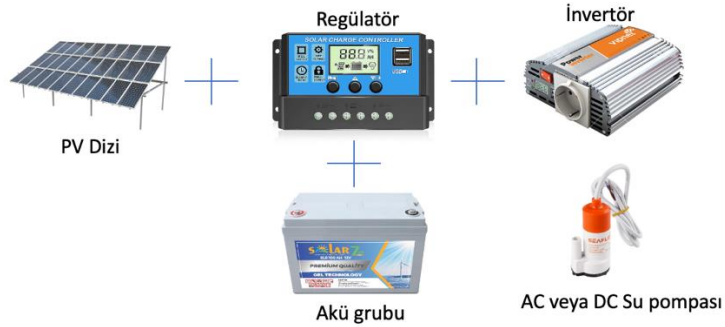
Güneş enerjisi kullanarak geliştirilen sulama sistemleri 3 kategoride ele alınabilmektedir. Bunlar, aküsüz fotovoltaik sistem, akülü fotovoltaik sistem ve akülü-invertörlü fotovoltaik sistem olarak isimlendirilebilir. En basit halleriyle bu sistemlerin bileşenleri Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'te sunulmuştur. Aküsüz sistem tasarımı daha basit ve ucuz olduğu ifade edilebilir. Akülü sistemlerin en büyük avantajı enerji depolanabildiği için güneşin olmadığı zamanlarda kullanılabilmesidir. İnvertörlü sistemlerde maliyet artarken kullanıcıya AC ve DC olmak üzere kullanım seçeneği sunmaktadır.



Şekil 4.1 Sulama sisteminde aküsüz fotovoltaik sistem



Şekil 4.2 Sulama sisteminde akülü fotovoltaik sistem



Şekil 4.3 Sulama sisteminde akülü-invertörlü fotovoltaik sistem

Sistem bileşenlerine ait bilgiler daha önceki bölümde detaylı olarak verilmiş buradaki bileşenlerin gösterimi için temsili fotoğraflar kullanılmıştır. Burada değinilmesi gereken bileşen sulama pompalarıdır. Belirli bir noktadan başka bir noktaya sıvı transferini sağlayan makineler genellikle pompa olarak adlandırılmaktadırlar. Santrifüj Pompalar, Pistonlu Pompalar, Diyafram Pompalar, Vidalı Pompalar, Membran Pompalar, Daldırma Pompalar, Pervane Pompaları (Gear Pompalar), Kurmalı Pompalar (Peristaltik

Pompalar) olmak üzere pompa çeşitleri bulunmaktadır. Genel olarak, pompalar rotodinamik ve pozitif yer değiştirmeli (hacimsel) pompalar olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılmaktadırlar. Sulama sistemlerinde genel olarak santrifüj pompa olarak ta bilinen rotodinamik pompalar kullanılmaktadır. Açılan derin kuyulardan sulama sistemi kurmak için ise dalgıç pompa olarak bilinen derin kuyu pompaları kullanılmaktadır. Ayrıca bahsi geçen sistemlere ek olarak sulama sistemleri şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız kullanılabilmektedir. İki sistem türü arasındaki temel fark, güneş enerjisi üretiminden kaynaklanan elektriğin şebekeye bağlı olup olmamasıdır. On-Grid sistemler, güneş panelleri tarafından üretilen elektriği genellikle bir enerji şebekesine bağlı bir şekilde kullanmaktadır. Bu sistemlerde, güneş panellerinden elde edilen enerji ev veya işyerinin ihtiyaçlarına göre kullanıldığı gibi fazla enerji, elektrik şebekesine geri satılabilmektedir (İncitaş, 2024). On-Grid sistemler, güneş enerjisi üretiminin yanı sıra şebekeden enerji almayı da mümkün kılar, böylece enerji talebinin karşılanması her zaman sağlanabilmektedir. Diğer taraftan, Off-Grid sistemler, genellikle uzak veya şebekeye erişilemeyen bölgelerde kullanılmaktadır. Bu sistemlerde, güneş panelleri tarafından üretilen enerji, bataryalara depolanmaktadır. Depolanan enerji, ihtiyaç duyulduğunda kullanılabilir ve şebekeye bağlı olma zorunluluğu yoktur (İncitaş, 2024).

5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Güneş enerjisinin tarımsal alanda kullanımının araştırılması birçok makalede araştırma konusu olmuştur. Bunlardan başlıcaları burada ele alınmaya çalışılacaktır.

Polat ve ark. (Polat, Arabaci ve Cengiz, 2023), Eskişehir iklim şartlarında özellikle tarımsal sulamanın yapıldığı zaman periyodunda; güneş ve rüzgâr enerji sitemlerinin enerji üretim performanslarının ve sulama enerji etkinliklerinin araştırmışlardır. Çalışmada sistemlerden elde edilen enerji kullanılarak sulama kuyularından çıkarılan su, bir yerde depolanmakta ve suya ihtiyaç duyulan anlarda kullanılmaktadır. Deneysel sistemde yaklaşık 1,3 MWh/MWe güneşten, 0,9 MWh/MWe ise rüzgar enerjisinden üretim gerçekleştirmişlerdir. Rüzgar enerjisi kullanılması durumunda sistem kendini 12,5 yılda, PV sistemin kullanılması durumunda ise 7,1 yılda amorti edeceğini bulmuşlardır.

Diğer bir çalışmada ise Kuzucu bu çalışmasında (Kuzucu ve Becenen, 2021), Edirne ilinde sulama yapılacak tarım arazilerinin şebeke elektriği yerine hava koşullarını göz önünde bulundurarak güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisi ile sulanması incelenmiş ve fotovoltaik sistemlerin tarımsal sulamada kullanıldığında maliyetleri, geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Bunun sonucunda fotovoltaik sistem için kurulumu için gerekli olan panel gücü 150MW ve elde edilecek enerji yaklaşık 405 MWh olarak bulunmuştur. Kurulacak sistemin ömrü 25 yıl olarak alınırsa Edirne ilinde tarımsal sulamanın devlet destek bedeli kullanılarak PV panel ile elde edilen elektrik enerjisi ile yapılmasının uygun olacağını aktarmıştır.

Abdelkerim ve ark.(Abdelkerim, Eusuf, Salami, Aibinu ve Eusuf, 2013), çilek gibi sık sulama gerektiren bitkilerin sulanmasında güneş enerjisi ile çalışabilen sulama sisteminin performansını değerlendirmişlerdir. Geliştirdikleri sistem tasarımında dört giriş sensörü bulunmaktadır. Bunlardan iki tanesi toprak nem sensörü iken diğer ikisi su seviye tespit sensörüdür. Toprak nem sensörü, toprağın nemini ölçerken, seviye tespit sensörleri tanktaki su seviyesini belirlemektedir. Çıkış tarafları ise iki adet selenoid valfi içermekte ve bu valfler sırasıyla iki nem sensörü tarafından kontrol edilmektedir.

Yazarlar, güneş panel modülünü kullanılarak başarılı bir şekilde sık sulama gerektiren bitkilerin sulanmasının sağlanabileceğini raporlamışlardır.

Başka bir çalışma ise Öztürk ve Demirbaş (Demirbaş, 2021), tarafından ele alınan bu çalışmada, tarımsal sulamada suyu kontrollü bir şekilde kullanacak aynı zamanda bitkinin ihtiyaç duyduğu su miktarını tespit ederek otomasyonlu sulama yapacak, ihtiyaç duyduğu elektriği yenilebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi ile karşılayacak bir sulama sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sistem domates ve biber bitkilerinin ekili olduğu tarımsal arazide deneysel çalışmaları yapılarak otomasyonsuz sulanan damla sulama sistemi ile karşılaştırmaları yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre otomasyonlu sulanan sistemde su tüketim miktarında azalma olduğu ve bitki verimliliğine de olumlu yönde katkı yaptığı görülmüştür.

Başka bir çalışmada, Roblin (Roblin, 2016), güneş enerjisi ile çalışan sulama sistemi teknolojisinin gelişmekte olan ülkelerde sulama için ideal bir çözüm olup olmayacağını araştırmıştır. Yaptığı çalışma sonucunda yazar yüksek sıcaklıklardan ve sınırlı su kaynaklarından muzdarip olan ülkelerde, güneş enerjisi ile çalışan damla sulama sisteminin etkili su yönetimine katkıda bulunabileceğini ifade etmiştir. Bu sistemler su, para ve enerji tasarrufu sağlamakta faydalı olabileceğini ifade etmişlerdir.

Kumar ve ark (Chidambaranathan, 2020), yeşil enerji yaklaşımına yönelik gelişmeler ve beklentiler üzerine kapsamlı bir inceleme yayınlamıştır. Burada güneş enerjisi ile çalışan sulama sistemlerinin çevre dostu, maliyet-etkili, elektrik ve su kullanımını en aza indirmeye yardımcı olan sistemler olarak tanımlamışlardır.

Gültekin (Taşkaya, 2021), GES sistemleri için çeşitli yönetim düzeyleri ve çiftlik yönetimine olan etkileri üzerine tartışma konularını ele almıştır. GES sisteminin yönetimi ile geleneksel sistemlerin yönetimi arasındaki en önemli fark, stratejik konulardadır. Taktik ve operasyonel yönetim açısından da farklılıklar gözlemlenebilir. Bu farklılıklar bu çalışmada ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Kılınç (Kılınç, 2022), İzmir bölgesi için hem güneş hem de rüzgar enerjisi hibrit sistemi ile biber üreten bir seranın sulama sistemi tasarlanmıştır. Bu tür uygulamaların enerji fiyatlarındaki artış dikkate alındığında ekonomik yönden uygulanabilirliği araştırılmıştır. Rüzgar ve güneş enerji potansiyeli bulunan İzmir için bir çok sera

uygulamalarının bulunması sistemin sadece biber için değil diğer ürünler içinde uygulanabilir olduğu ve bu tür sistemlerin ürün maliyetine de etkisinin olduğu düşünülerek yaygınlaşabilmesi için örnek bir çalışma olmuştur.

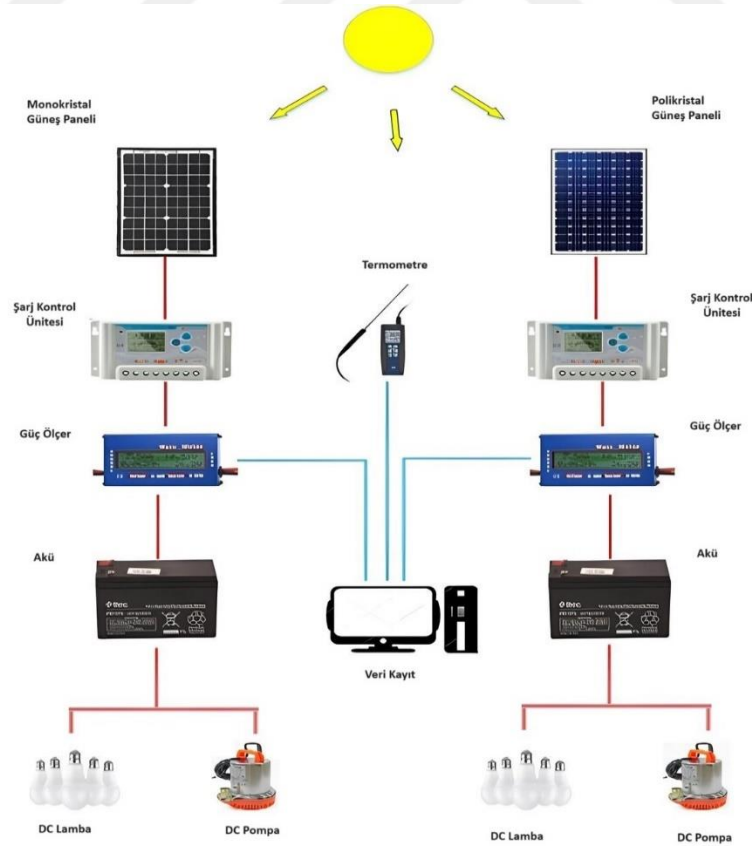
Diğer bir çalışmada Jandova ve Stranak(Jandova ve Stranak, 2022), bir sıvı gübre deposu ve fazla sulamaya karşı bitkileri koruyan bir nem ölçer içeren özel bir güneş enerjili sulama sisteminin tasarımını ve üretimini raporlamışlardır. Bu sistemin, sadece kullanıcının ihtiyaçlarını değil, aynı zamanda bitkilerin ihtiyaçlarını da yansıtmakta olduğu ve güneş modülü kullanımı sayesinde çevre dostu bir sistem olduğunu belirtmişlerdir.

Mertens (Mertens, 2023), güneş enerjili bir sulama sisteminin maliyet-fayda analizini, başlangıç sermaye maliyetini, bakım giderlerini ve enerji tasarruflarını içerecek şekilde bir çalışma yayınlamıştır. Önerilen güneş enerjili sulama sisteminin, sürdürülebilir tarım uygulamalarını teşvik etme, enerji tüketimini ve karbon emisyonlarını azaltma, çiftçilere ve kırsal toplumlara ekonomik avantajlar sağlama potansiyeline sahip olduğu çalışmada bulunmuştur.

Biberci (Biberci, 2023), Konya ilinde bir tarım alanının sulama için gereken elektrik enerjisi için bir şebeke bağlantılı güneş fotovoltaik sisteminin teknik ve ekonomik analizi gerçekleştirmiştir. Elde edilen bulgular ışığında, önerilen enerji sisteminin tarımsal sulama sistemleri için teknik ve ekonomik açıdan uygun olduğu bulunmuştur. Aynı zamanda, bu sonuçlar, sürdürülebilir ve maliyet etkili sulama sistemlerini tarımsal üretim için benimsemeyi hedefleyen çiftçiler ve politika yapıcılar için değerli olabileceği saptanmıştır.

6. MATERYAL YÖNTEM

Elektrik enerjisinin ulaşmadığı uzak tarımsal alanlarda sulama problemine karşı PV sistemler iyi bir çözümdür. Belirli bir güce kadar fotovoltaik sistemler, depolamalı olarak tasarlanabilir. Depolamalı sistemlerde amaç güneş enerjisi ile aküleri şarj ederek özellikle geceleri ve güneş ışınlarının yeterli derecede alınamadığı kapalı günlerde sulama sistemindeki pompa sisteminin çalıştırılmasını sağlamaktır. Bu proje kapsamında tasarlanan fotovoltaik sistem ile akü kullanılarak sistemin çalışması esas alınmıştır. Kuyu yanına yapılması planlanan kamelyanın aydınlatma ihtiyacı da burada aküye depolanan güneş enerjisinden karşılanmıştır. Yapılacak olan çalışma kapsamında iki farklı modül tipi karşılaştırılması yapılacak olduğundan bu sistemlerin birbiriyle aynı bileşenlere sahip şeması Şekil 6.1’de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi sistemde bir adet monokristal PV modül, bir adet polikristal PV modül, ikişer adet şarj kontrol ünitesi, güç ölçer, akü, DC lamba ve DC pompa bulunmaktadır. Sistemde kullanılan ekipmanların özellikleri Tablo 6.1.’de sunulmuştur.



Şekil 6.1 Sistem şeması

Tablo 6.1 Kullanılan sistem ekipmanları ve özellikleri

Ekipman Adı	Özellikler
Şarj Kontrol Cihazı	MPPT Şarj Kontrol Cihazı, Şarj akımı: 20 A 2 USB Şarj portu: 5V 3A Boyut: 133x70x32mm
Monokristal PV Modül	Hücre Sayısı:36 Açık Devre Voltajı (Voc): 23,80V Maks. Voltaj (Vmp):20,7V Kısa Devre Akımı (Isc):2,54A Maks. Akım (Imp):2,50A MAks. Sistem Voltajı:1000V Standart Test Koşulları: Am=1.5 E=1000W/m2 Tc=25°C Absorber Yüzeyi (FV): Mono- kristal 675x425x30mm
Polikristal PV Modül	Hücre Tipi:Polikristal Hücre Sayısı:36 Panel Ağırlığı:3,80kg Açık Devre Voltajı (Voc): 22,10V Maks. Voltaj (Vmp):18,5V Kısa Devre Akımı (Isc):2,54A Maks. Akım (Imp):2,50A MAks. Sistem Voltajı:1000V Standart Test Koşulları: Am=1.5 E=1000W/m2 Tc=25°C Absorber Yüzeyi (FV): Poli- kristal 675x425x28mm
Şarj Kontrol Cihazı	S&P TD-250/100, 230–240 V, 50–60 Hz, 24 W
Pompa	Seaflo Sintine Pompası 500 GPH 12V-1,6 Amper
Akü	Voltaj: 12 Volt Amper: 7Ah Uzunluk: 150 mm Genişlik: 65 mm Yükseklik: 94 mm

Bu tez çalışmasında kullanılan fotovoltaik sistem güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek amacıyla kullanılmıştır. Sistem değerleri nisan ayında alınmıştır. Monokristal ve polikristal PV modüller olmak üzere iki farklı modül tipi elde edilen elektrik ve verimlilik karşılaştırılmıştır. Bu modüllerden üretilen elektrik şarj kontrol üniteleri tarafından akülere yönlendirilir. Şarj kontrol üniteleri, akülerin aşırı şarjdan korunması ve enerji depolama sürecini optimize etmek için kullanılmıştır. Bu sayede, güneş enerjisiyle üretilen elektrik enerjisi akülerde depolanarak gün boyunca elde edilen enerjinin gece veya bulutlu günlerde kullanılmasını sağlanmıştır. PV Modüllerde üretilen enerji miktarını takip etmek için güç ölçer kullanılmıştır. Böylece sistemin verimliliği gözlemlenebilmiş ve enerji tüketimini optimize ve güç dağılımı izlenebilmiştir. Sistemde kullanılan aküler, depolama kapasiteleri pompanın gün içinde çalışma süresi dikkate alınarak seçilmiştir. Böylece tarım alanlarında ihtiyaç duyulan

enerji sürekli olarak sağlanabilmektedir. Sistemde yer alan DC lamba ve pompa, enerji ihtiyacı olan alanlarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Özellikle kuyu yanındaki kamelya, akülerde depolanan güneş enerjisi ile aydınlatılarak gece ve kapalı hava koşullarında kullanılabilir hale gelmiştir.

Bu çalışma, şebeke bağlantısı olmayan ve enerji maliyetleri yüksek olan bölgelerde tarımsal sulama için güneş enerjisi kullanımının avantajlarını vurgulamaktadır. Ayrıca, PV sistemlerinin depolamalı kullanımı ile gün içinde üretilen enerjinin etkin bir şekilde değerlendirilmesi ve sürdürülebilir bir tarım uygulaması sağlanması hedeflenmektedir. Bu kapsamda, elektriğin olmadığı monokristal ve polikristal PV modüllerinin performanslarının karşılaştırılması, sistemin güneş enerjisini en verimli şekilde nasıl kullanabileceğini anlamamıza yardımcı olacaktır. Bu amaçla kurulan sistemin görselleri Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'te gösterilmiştir.



Şekil 6.2 Kamelyaya PV modül montajı



Şekil 6.3 Sistem görselleri

7. SİSTEM PERFORMANS ANALİZİ

Fotovoltaik sistem güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürme sürecinde termodinamik performansını önemli ölçüde etkileyen faktörlere tabidir. Bu bölümde, sistemin enerji dönüşüm verimliliği ve performansı üzerine yapılan analizlere odaklanılmıştır. PV sistemlerin performans parametrelerinden biri güneş ışığını elektriğe dönüştürme verimliliğidir. Monokristal ve polikristal PV modüllerinin her birinin verimlilik profili farklı ışık koşullarında nasıl performans gösterdiğini anlamak adına değerlendirilmiştir. Deney sisteminde kullanılan PV modüllerden elde edilen güç aşağıdaki denklemle hesaplanabilir:

$$\dot{E}_l = V \cdot I \quad (7.1)$$

Burada, V PV modülün gerilim değerini ve I ise FV modülün akımını ifade etmektedir. PV modülün verimlilik analizi, sistemden elde edilen gücün sistem gelen güneş ışığı gücüne oranlanmasıyla bulunabilir:

$$\eta_m = \frac{\dot{E}_l}{I(t) \cdot A} \quad (7.2)$$

Burada, $I(t)$ ve A sırasıyla PV modülü gelen güneş ışığını ve PV modül alanını ifade etmektedir. Sistemde kullanılan DC lamba ve DC pompanın harcadığı güçleri bulma için aşağıdaki Denklem 7.3 ve 7.4 kullanılarak hesaplanabilir.

$$W_L = V_L \cdot I_L \quad (7.3)$$

$$W_P = V_P \cdot I_P \quad (7.4)$$

Denklem 7.3'te W_L lambada harcanan gücü, V_L lambanın gerilimini ve I_L lambanın akımını ifade ederken, Denklem 7.4'te W_P pompada harcanan gücü, V_P pompa gerilimini ve I_P pompa akımını ifade etmektedir.

Sağlanan verilerin güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla belirsizlik analizi gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda okuma hataları, kullanılan cihazlar ve çevresel değişkenler gibi faktörlerden hata marjlarının belirlenmesi önemlidir.

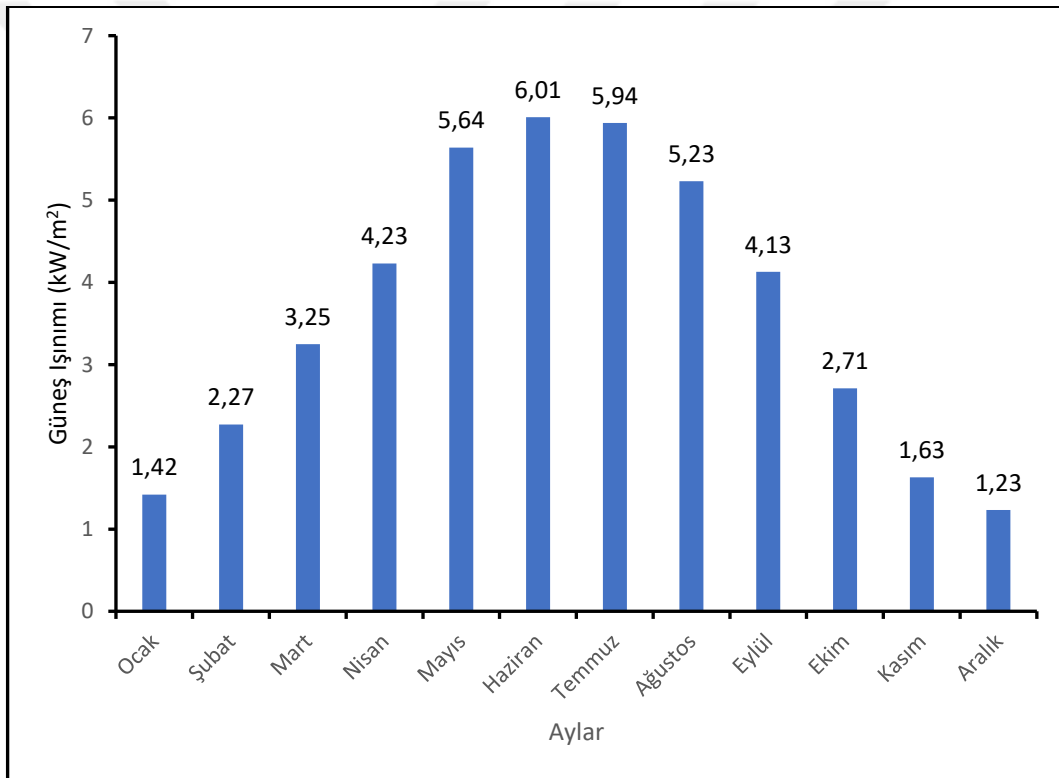
Belirsizlik düzeyini hesaplamak için yaygın olarak kullanılan güvenilirlik yöntemlerden biri de Kök-Toplam-Kare (RSM)'dir. PV modül verimi belirsizliği aşağıdaki matematiksel Denklem 7.5 hesaplanabilir.

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial V}{V} \right)^2 + \left(\frac{\partial I}{I} \right)^2 + \left(\frac{\partial I(t)}{I(t)} \right)^2 + \left(\frac{\partial A}{A} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (7.5)$$

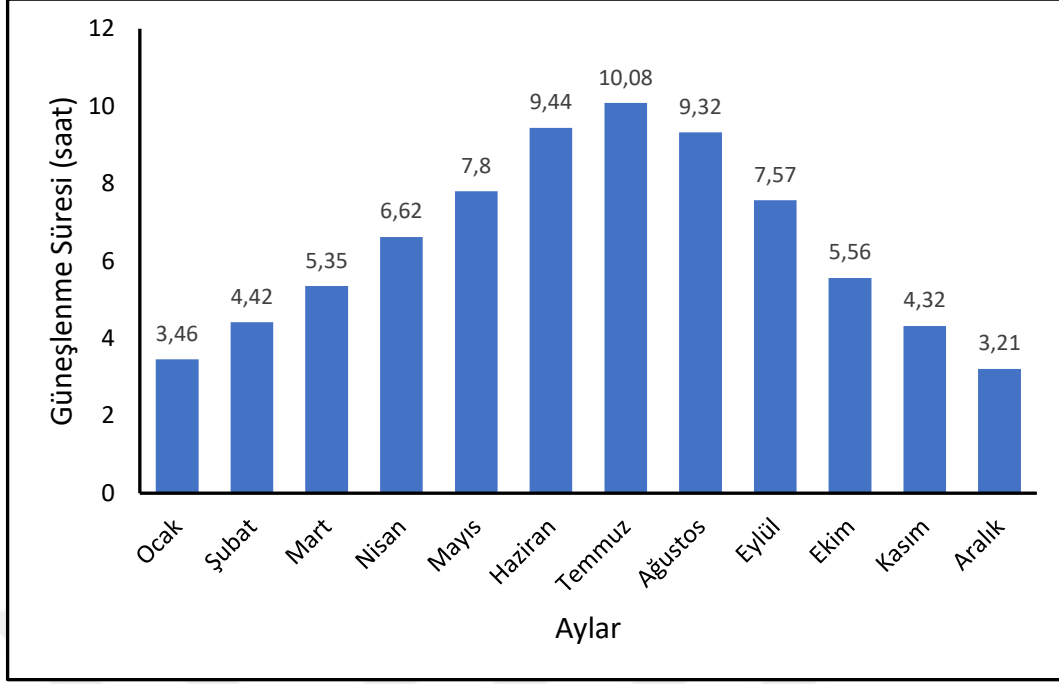
Buradan elde edilen toplam PV modül verim belirsizlik değeri %1 olarak bulunmuştur.

8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Gerçekleştirilen deneysel sistem testi, Sinop ilindeki ilkbahar koşullarında nisan ayında yapılmıştır. Meteoroloji genel müdürlüğünden alınan Nisan ayına ait ortalama güneşlenme süresi Sinop'ta yaklaşık 5,3 saat, ortalama çevre sıcaklığı ise 10,6 °C'dir (Alcan, Demir ve Duman, 2018). Türkiye güneş enerji atlası (GEPA) alınan Sinop ili ortalama değerlerine ait veriler Şekil 8.1 ve Şekil 8.2'de gösterilmiştir . Yatay yüzeye düşen Nisan ayı ortalama güneş ışıınım miktarı ise 4.23 kWh/m²-gün ve güneşlenme süresi 6,62 saat olarak belirlenmiştir. Deney, sabah 08:00'de başlamış ve gün boyunca 18:00'e kadar devam etmiştir.

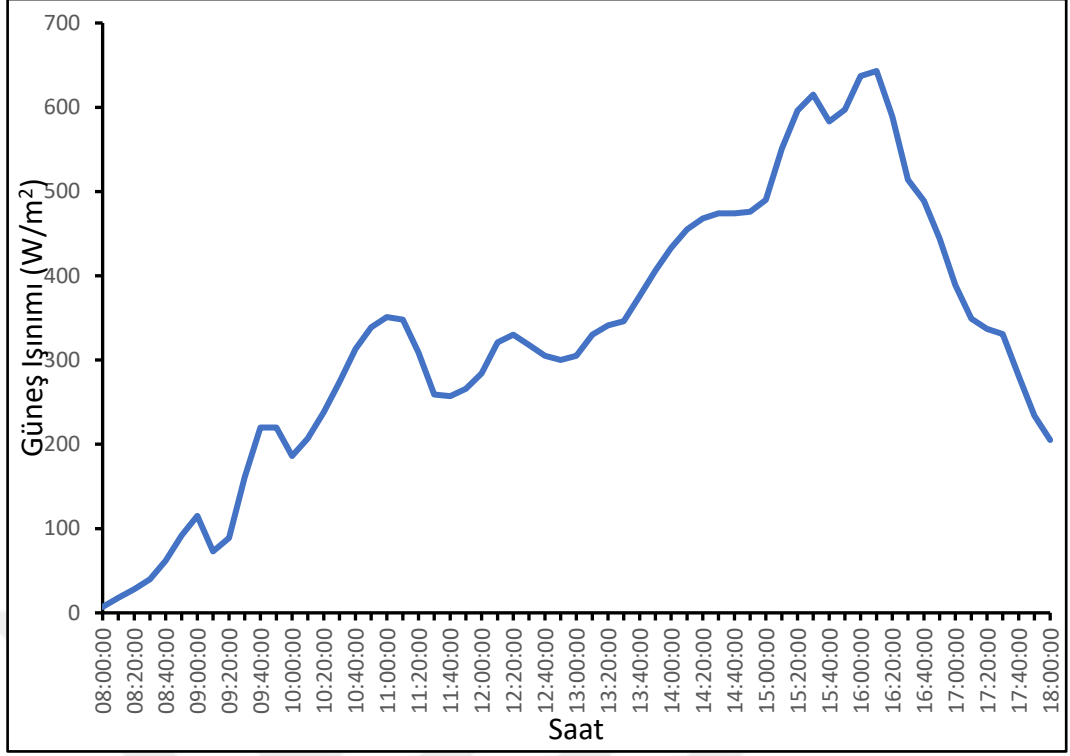


Şekil 8.1 Sinop iline gelen aylık ortalama güneş ışıınım şiddetleri(“Türkiye Güneşlenme Süreleri Haritası – İllere Göre Güneş Paneli Hesabı › Munda Solar”, 2020)



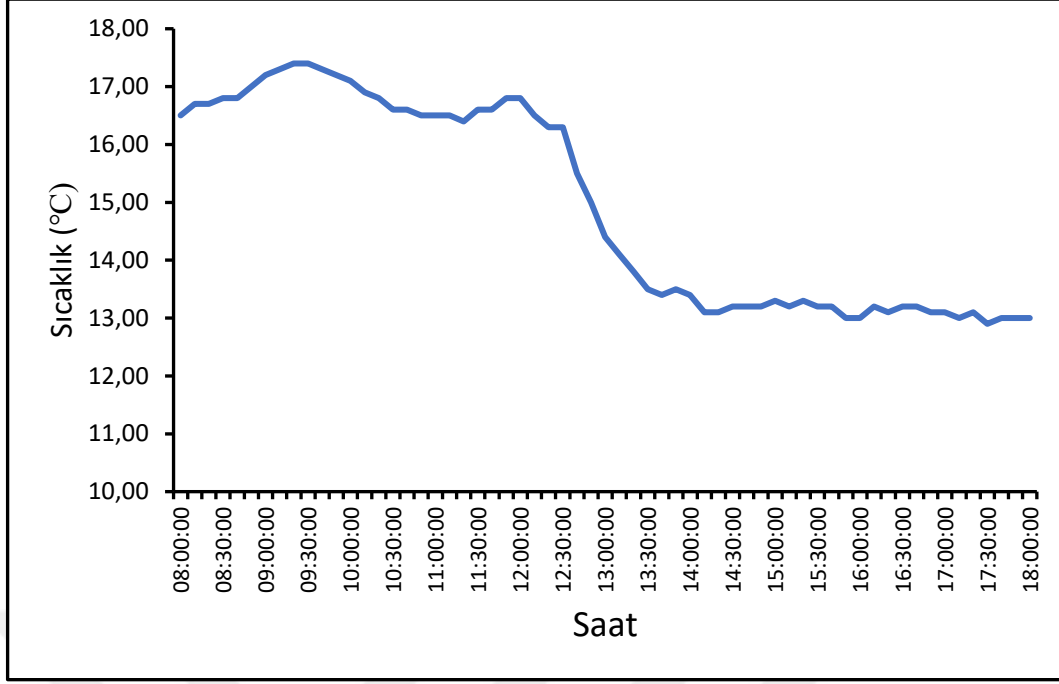
Şekil 8.2 Sinop ili aylık ortalama güneşlenme süreleri (“Türkiye Güneşlenme Süreleri Haritası – İllere Göre Güneş Paneli Hesabı > Munda Solar”, 2020)

Deneyin yapıldığı günün güneş ışıınım şiddeti Şekil 8.3.’te gösterilmiştir. Deneyler boyunca güneş ışıınım değerleri piranometre ile ölçülmüştür. Değişen güneş ışıınımı şartları altında, PV modüllerin performansı ölçmek için deneyler saat 08:00’de başlayarak 8 W/m^2 seviyesinden başlayıp 643 W/m^2 ’ye kadar ulaşmış ve saat 18:00 sona ermiştir. Ortalama olarak ise 330 W/m^2 seviyesinde gerçekleşmiştir.



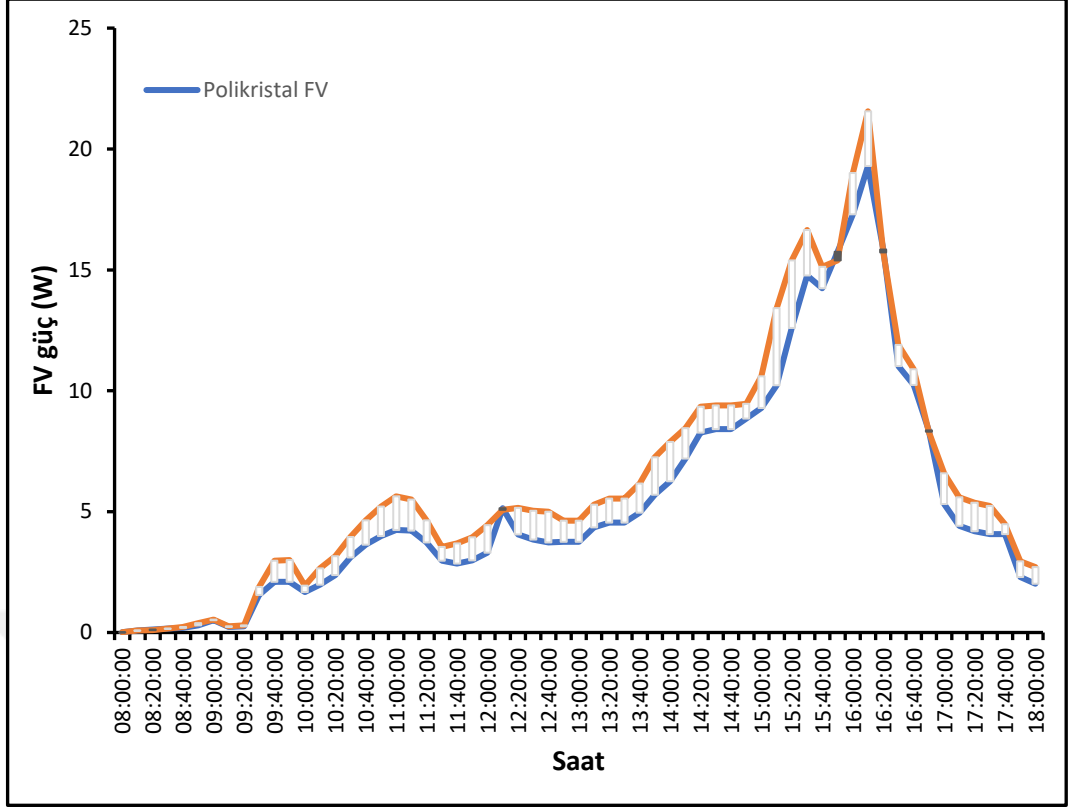
Şekil 8.3 PV modüllere gelen ışınlm şiddetinin gün içindeki değışimi

Şekil 8.4'te deney boyunca çevre sıcaklığının değışimi gösterilmiştir. Çevre sıcaklığı saat 8:00 ve 18:00 arasında ortalama yaklaşık 15 °C olarak tespit edilmiştir. Gün boyunca en düşük çevre sıcaklığı 12,9 °C olarak gözlemlenirken, en yüksek çevre sıcaklığı 17,4 °C ulaştığı gözlemlenmiştir. Gün boyunca gözlemlenen sıcaklıklar PV modüller çalışması için uygun sıcaklıklardır.



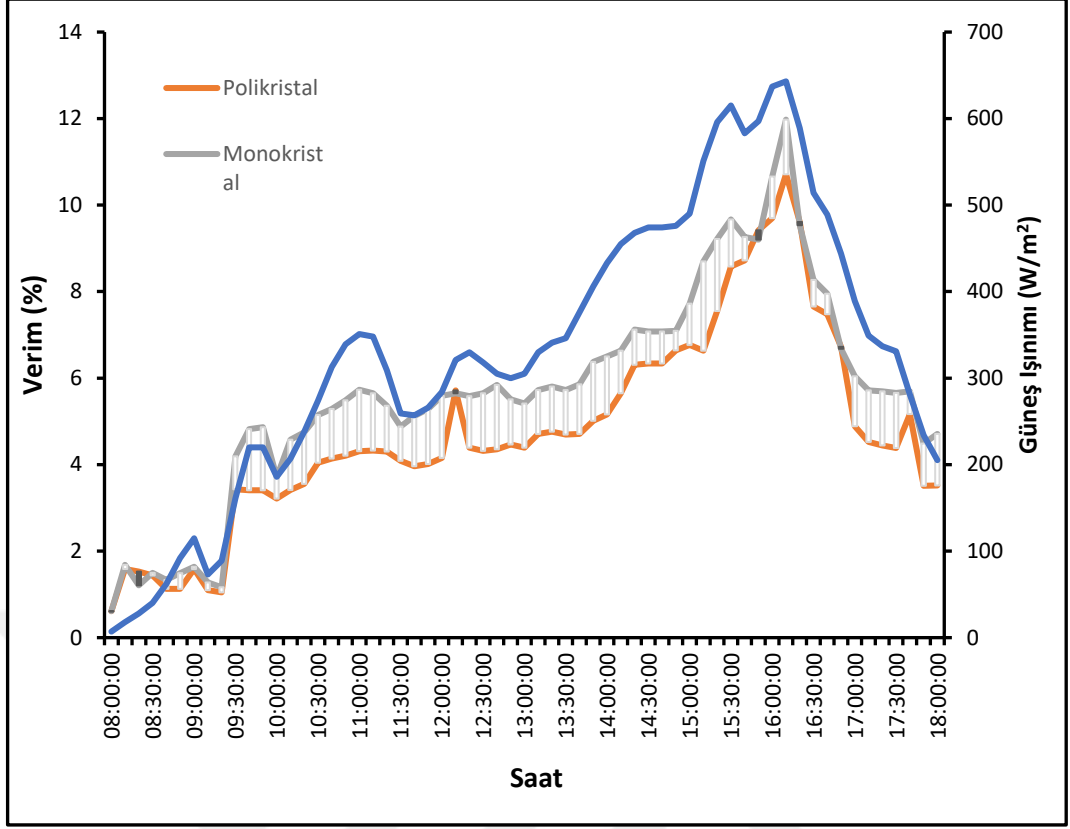
Şekil 8.4 Deney boyunca çevre sıcaklığının değişimi

Deney boyunca polikristal PV modülün ve monokristal PV modülün ürettikleri güçlerin değişimi Şekil 8.5'te gösterilmiştir. Polikristal güneş modülü ortalama 5,45 W elektrik gücü üretirken, en yüksek 19,3 W güç ürettiği bulunmuştur. Monokristal güneş modülü ise ortalama 6,33 W elektrik gücü üretirken, anlık olarak en yüksek 21,56 W güç üretmiştir. Deneyin yapıldığı gün boyunca polikristal ve monokristal güneş modüllerinden elde edilen toplam güçler ise sırasıyla 333 W ve 386 W olarak hesaplanmıştır. Gün boyunca üretilen toplam güçler karşılaştırıldığında monokristal güneş modülü %15,9 daha fazla güç ürettiği bulunmuştur.



Şekil 8.5 Deney boyunca üretilen güçlerin değişimi

Şekil 8.6’da deney boyunca PV modüllere gelen güneş ışınlamı ve modüllerin verimi gösterilmiştir. Güneş ışınlamının düşük olduğu sabah saatlerinde PV modül verimleri oldukça düşükken, güneş ışınlamının artmasıyla modül verimlerinde artış gözlenmiştir. Polikristal PV modül ortalama ve en yüksek verimi sırasıyla %4,77 ve %10,71 olarak hesaplanırken, monokristal PV modülün ortalama ve en yüksek verimi sırasıyla %5,63 ve %11,97 olarak hesaplanmıştır. Çevre sıcaklığının ortalama 15 °C ve güneş ışınlamının ortalama 330 W/m² olduğu nisan ayında elde edilen verimler oldukça tatmin edicidir. Ayrıca bu şartlarda elde edilen verimler açısından da monokristal PV modülünün kullanılması uygun olunacağı bulunmuştur.



Şekil 8.6 Deney boyunca PV modüllere gelen güneş ışınımı ve modüllerin verimi

8.1. Sonuç ve Öneriler

Sinop ilindeki nisan ayında gerçekleştirilen deneysel sistem testiyle fotovoltaik hücreler kullanarak elektrik enerjisine dönüştürülmesi ve bu elektrik enerjisinin yararlı bir şekilde kırsal bölgede kullanılması için örnek uygulama yapılmıştır. Bu çalışmada, Sinop ilinde tarımsal sulamada kullanılan 6 metrelik bir kuyu kullanılarak ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin şebeke yerine güneş enerjisinden karşılanması ve üretilen elektrik enerjisinin kuyu yanında aydınlatma içinde kullanılması amaçlanmaktadır. Bu işlem gerçekleştirilirken monokristal ve polikristal güneş panelleri iki ayrı sistem olarak kurulmuş ve bu sayede her iki panelin seçilen coğrafi konum için performans kıyaslaması da yapılmıştır. Deney boyunca elde edilen bilgiler ve öneriler aşağıda özetlenmiştir.

- PV modüllerin performansı ölçmek için deneyler saat 08:00-18:00 arasında gerçekleştirilmiştir. PV modüllere gelen güneş ışınım şiddeti 8 W/m^2 seviyesinden başlayıp 643 W/m^2 'ye kadar ulaşmıştır. Ortalama güneş ışınım şiddeti ise 330 W/m^2 seviyesinde gerçekleşmiştir.

- Çevre sıcaklığı ortalama yaklaşık 15 °C olarak tespit edilmiştir. Gün boyunca en düşük çevre sıcaklığı 12,9 °C olarak gözlemlenirken, en yüksek çevre sıcaklığı 17,4 °C ulaştığı gözlemlenmiştir.
- Deneyin yapıldığı gün boyunca polikristal ve monokristal güneş modüllerinden elde edilen toplam güçler ise sırasıyla 333 W ve 386 W olarak hesaplanmıştır. Gün boyunca üretilen toplam güçler karşılaştırıldığında monokristal güneş modülü %15,9 daha fazla güç ürettiği bulunmuştur.
- Polikristal PV modül ortalama ve en yüksek verimi sırasıyla %4,77 ve %10,71 olarak hesaplanırken, monokristal PV modülün ortalama ve en yüksek verimi sırasıyla %5,63 ve %11,97 olarak hesaplanmıştır.
- Sulamada kullanılan Sintine Pompa anlık olarak 9 W güç tüketimi yapıldığı düşünülürse tam bir dolu akü ile 9 saat çalışabileceği bulunmuştur. Bu da gece yapılabilecek sulama işlemini mümkün kılmaktadır.
- PV modüllerden üretilen elektrik gücünün ise güneş ışınımının yeterli olduğu saatlerde pompayı kesintisiz çalıştırabilecek kapasitede olduğu belirlenmiştir.
- Sürdürülebilir çevre açısından güneş enerjisi büyük önem taşımaktadır. Bu sistemden yararlanarak CO2 emisyonunu en aza indirmiş oluyoruz.
- Sistem hem birden fazla noktada aynı sulama döneminde hizmet verebilir hem de sulama sezonunun olmadığı dönemlerde kişisel enerji ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Abdelkerim, A. I., Eusuf, M. M. R. S., Salami, M. J. E., Aibinu, A. ve Eusuf, M. A. (2013). Development of Solar Powered Irrigation System. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 53(1), 012005. doi:10.1088/1757-899X/53/1/012005
- Adıgüzel, E. (2018). Farklı boyutlardaki toz partiküllerinin fotovoltaiik panellerin verimliliği üzerine etkisi.
- Alcan, Y., Demir, M. ve Duman, S. (2018). Sinop İlinin Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim Potansiyelinin Ülkemiz Ve Almanya İle Karşılaştırarak İncelenmesi. *El-Cezeri*, 5(1), 35-44. doi:10.31202/ecjse.340459
- Arık, A. (2016). *Yenilenebilir Enerji Politikalarının Sürdürülebilirliği: Ab Ülkeleri ve Türkiye Açısından Bir Değerlendirme*. (masterThesis). <http://earsiv.odu.edu.tr:8080/xmlui/handle/11489/924> adresinden erişildi.
- Bakanlık. (2004). Yenilenebilir Enerji Kaynakları / T.C. Dışişleri Bakanlığı. *Bakanlık*. 29 Ocak 2024 tarihinde <https://www.mfa.gov.tr/yenilenebilir-enerji-kaynaklari.tr.mfa> adresinden erişildi.
- Biberici, M. A. (2023). Techno-economic analysis of a solar-powered agricultural irrigation system using PV*Sol software: A case study in Konya. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 7(1), 156-162. doi:10.31015/jaefs.2023.1.19
- Buruntekin, M. L. (2017). *Silindirik parabolik güneş toplayıcılarının termodinamik analizi*. (Yüksek Lisans Tezi). <https://avesis.inonu.edu.tr/yonetilen-tez/c466d259-8817-4865-918b-b4539661fee6/silindirik-parabolik-gunes-toplayicilarinin-termodinamik-analizi> adresinden erişildi.
- Cengiz, M. S. ve Mamiş, M. S. (2016). Termal Güneş Enerjisi Kullanımı ve CSP Sistemlerin Verimlilik Analizi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(1), 0-0. doi:10.17798/beufen.67616
- Chidambaranathan, D. B. (2020). Solar powered water pumping systems for irrigation: A comprehensive review on developments and prospects towards a green energy approach. *Materials Today: Proceedings*. https://www.academia.edu/88497225/Solar_powered_water_pumping_systems_for_irrigation_A_comprehensive_review_on_developments_and_prospects_towards_a_green_energy_approach adresinden erişildi.
- Çelik, İ. (2015). Nükleer Enerji: Türkiye ve Dünya Ölçeğinde Bir Değerlendirme. *Yeni Fikir Dergisi*, 7(15), 55-68.
- Çilli, K. (2024). Güneş Enerji dünya başkentleri potansiyeli—Solar Blog by Kerem ÇİLLİ. <https://www.keremcilli.com/gunes-enerji-dunya-baskentleri-potansiyeli/> adresinden erişildi.
- Demirbaş, H. (2021, Ocak). *Güneş enerjili otomatik bitki sulama sistemi*. (Master Thesis). <https://gcris.pau.edu.tr/handle/11499/35395> adresinden erişildi.
- Eerji Bakanlığı. (2024, 29 Ocak). Elektrik—T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. 29 Ocak 2024 tarihinde <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik> adresinden erişildi.
- Euronews. (2022, 20 Aralık). AB ülkeleri güneş enerjisi yatırımlarını yüzde 50'ye yakın artırdı. *Euronews*. 29 Ocak 2024 tarihinde <https://tr.euronews.com/2022/12/20/ab-ulkeleri-2022de-gunes-enerjisine-ne-kadar-yatirim-yapti> adresinden erişildi.
- GEPA. (t.y.). 14 Ekim 2019 tarihinde <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> adresinden erişildi.
- Ges Sistemleri. (2022). Türkiye nin Güneş Enerjisi Potansiyeli—Güneş Enerjisi. 29 Ocak 2024 tarihinde <http://www.guessistemleri.com/potansiyel.php> adresinden erişildi.
- IEA. (2022). *Global Energy Review 2021, Paris*. Paris: IEA. <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2022> adresinden erişildi.

- IEA. (2024, 29 Ocak). World Energy Statistics and Balances—Data product. IEA. 29 Ocak 2024 tarihinde <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-statistics-and-balances> adresinden erişildi.
- İncitaş. (2024, 29 Ocak). Off Grid Sistem Nedir? Nasıl Kurulur ve Nerede Kullanılır? *İNCİTAŞ*. 29 Ocak 2024 tarihinde <https://www.incitas.com.tr/bilgi-merkezi/blog/off-grid-sistem-nedir-nasil-kurulur-ve-nerede-kullanilir> adresinden erişildi.
- Jandova, K. ve Stranak, R. (2022). Design and optimization of solar-powered irrigation system. *Journal of Physics: Conference Series*, 2382(1), 012012. doi:10.1088/1742-6596/2382/1/012012
- Kılıç, F. Ç. (2015). Güneş Enerjisi, Türkiye’deki Son Durumu Ve Üretim Teknolojileri, 7.
- Kiliç, H., Gümüş, B. ve Yılmaz, M. (2016). Güneydoğu Anadolu bölgesi için global güneş ışımasının ve güneşlenme süresinin istatistiksel metodlar ile tahmin edilmesi ve karşılaştırılması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 7(1), 73-83.
- Kilinç, C. (2022). Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemleri ile Sera Sulama Sistemi Tasarımı: İzmir Örneği. *Politeknik Dergisi*, 25(1), 435-442. doi:10.2339/politeknik.1085855
- Kocakuşak, R. (2018, Eylül). *Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin, Türkiye’deki önemi ve GES kurulum araştırması*. (masterThesis). <http://acikerisim.maltepe.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12415/394> adresinden erişildi.
- Koç, E. ve Kaya, K. (2015). Enerji Kaynakları–Yenilenebilir Enerji Durumu. *Mühendis ve Makina*, 56(668), 36-47.
- Koroğlu, T., Teke, A., Bayındır, K. Ç. ve Tümay, M. (2010). GÜNEŞ PANELİ SİSTEMLERİNİN TASARIMI, 2(439), 98-104.
- Kuzucu, U. ve Becenen, İ. (2021). *Edirne ilinde tarımsal sulamada güneş enerjisi kullanımı*. (masterThesis). <http://dspace.trakya.edu.tr/xmlui/handle/trakya/7762> adresinden erişildi.
- Mertens, Z. (2023). Design and Analysis of a Novel Solar-Powered Irrigation System for Sustainable Agriculture. *Indian Engineering Journal*, 1(1). <https://indianengineeringjournal.com/index.php/journal/article/view/1> adresinden erişildi.
- Moduled. (2018). Moduled Güneş Enerjili Aydınlatma ve Led Aydınlatma. <https://moduled.com.tr/gunes-pili-nedir-nasil-calisir/> adresinden erişildi.
- Oral, M. (2002). *Güneş Pilleri* (1. bs.). İzmir: İzmir İlker Matbaası. <https://www.nadirkita.com/gunes-pilleri-muzaffer-oral-kitap17558916.html> adresinden erişildi.
- Özek, E. (2009). Peyzaj Mimarisi Uygulamalarında Güneş Enerjisinin Kullanımının Değerlendirilmesine Yönelik Bir Araştırma Ve Yalova- Termal Yolu Örneği. <http://hdl.handle.net/11527/3696> adresinden erişildi.
- Öztürk, H. H. (2019). Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi Ve Etkili Etmenler, 1-14.
- Polat, M., Arabaci, T. Ve Cengiz, A. (2023). Tarımsal Sulamada Rüzgar Ve Güneş Enerji Sistemlerinin Kullanım Olanaklarının Araştırılması: Eskişehir Örneği. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(3), 905-916. doi:10.31796/ogummf.1251171
- Ritchie, H., Rosado, P. ve Roser, M. (2023). Nuclear Energy. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/nuclear-energy> adresinden erişildi.
- Roblin, S. (2016). Solar-powered irrigation: A solution to water management in agriculture? *Renewable Energy Focus*, 17(5), 205-206. doi:10.1016/j.ref.2016.08.013
- Sayım, B. (2018). Yazar “Bahar Sayım” İçin Fen Bilimleri Enstitüsü Listeleme. 29 Ocak 2024 Tarihinde <https://openaccess.firat.edu.tr/xmlui/handle/11508/12057/browse?type=author&value=Bahar+Sayım> Adresinden Erişildi.
- Sayın, S. Ve Koç, İ. (2011a). Güneş Enerjisinden Aktif Olarak Yararlanmada Kullanılan Fotovoltaik (Pv) Sistemler Ve Yapılarda Kullanım Biçimleri. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 26(3), 89-106.

- Sayin, S. ve Koç, İ. (2011b). Güneş Enerjisinden Aktif Olarak Yararlanmada Kullanılan Fotovoltaik (Pv) Sistemler Ve Yapılarda Kullanım Biçimleri. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 26(3), 89-106.
- Solar Magazam. (2024). Solar Sarj Kontrol Cihaz? Nedir? 29 Ocak 2024 tarihinde https://www.solarmagazam.com/index.php?route=simple_blog/article/view&simple_blog_article_id=11 adresinden erişildi.
- Taşcıoğlu, A. (2015). Monokristal ve polikristal güneş panellerinin bursa koşullarındaki güç performansı üzerine bir araştırma. <http://hdl.handle.net/11452/10078> adresinden erişildi.
- Taşkaya, S. (2021). *Proceeding Book Euroasia Summit 4th International Applied Sciences Congress*.
- Türkiye Güneşlenme Süreleri Haritası – İllere Göre Güneş Paneli Hesabı › Munda Solar. (2020, 23 Aralık). <https://mundasolar.com/2020/12/23/turkiye-guneslenme-sureleri-iller-aylik-yillik-ortalama/> adresinden erişildi.
- Varınca, K. ve Varank, G. (2005). Güneş Kaynaklı Farklı Enerji Üretim Sistemlerinde Çevresel Etkilerin Kıyaslanması ve Çözüm Önerileri.
- Warman, E., Nasution, F. ve Fahmi, F. (2018). Energy cost unit of street and park lighting system with solar technology for a more friendly city. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 126, 012033. doi:10.1088/1755-1315/126/1/012033
- Yolcan, O. O. ve Köse, R. (2020). Türkiye' Nin Güneş Enerjisi Durumu Ve Güneş Enerjisi Santrali Kurulumunda Önemli Parametreler. *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 196-215. doi:10.34186/klujes.793471

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ebru DOĞAN

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Ardahan Anadolu Lisesi

Lisans : Sinop Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği, 2019

Mesleki Deneyim

İş Yeri : Proje ve Teklif Mühendisi 2021-Devam ;Prota Elektrik

İş Yeri : Proje Mühendisi 2020-2021; Atılan Mühendislik

İş Yeri : İdari Personel 2018-2019 Sinop Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İdari Personel Yardımcılığı

İş Yeri : Enerji Mühendisi (2016 Yaz Dönemi Stajı) Üretim ve Kalite Departmanı

İş Yeri :Stajyer- HT-SAAE(HT Solar Enerji)

İş Yeri :Stajyer- GC Enerji