



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



İKİ EKSENLİ GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİN VERİMLİLİĞİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Yüksek Lisans Tezi

Hande DEMİRÖZ

Güneş Enerjisi Anabilim Dalı

İzmir

2023

T.C.

EGE ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

İKİ EKSENLİ GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİN VERİMLİLİĞİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Hande DEMİRÖZ

Doç. Dr. Koray ÜLGEN

Güneş Enerjisi Anabilim Dalı

Enerji Teknolojisi Yüksek Lisans Programı

İzmir

2023

Hande DEMİRÖZ tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “İKİ EKSENLİ GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİN VERİMLİLİĞİNİN KARŞILAŞTIRILMASI” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı : Doç. Dr. Koray ÜLGEN

Raportör Üye :

Üye :

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “İKİ EKSENLİ GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİN VERİMLİLİĞİNİN KARŞILAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

/ 03/ 2023

İmzası

Adı-Soyadı

HANDE DEMİRÖZ

ÖZET**İKİ EKSENLİ GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİN VERİMLİLİĞİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI**

DEMİRÖZ, Hande

Yüksek Lisans Tezi, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Koray ÜLGEN

Mart 2023,... sayfa

Günümüzde enerji kavramı insan hayatının en önemli faktörlerinden biri haline gelmiştir. İnsanoğlunun hayatına devam etmesini sağlayan elektrik enerjisi, gündelik hayatın bir parçası haline gelmiştir. Geçmişten günümüze hızlı bir şekilde elektrik enerjisinin kullanımı artmaya devam etmektedir. Bu sebepten ötürü, elektrik enerjisine ait arz talep dengesinin sağlanması gerekmektedir.

Elektrik enerjisinin elde edilmesi, yenilebilir ve yenilenemez enerji kaynakları ile sağlanmaktadır. Zaman içerisinde tükenme noktasına gelen yenilenemez enerji kaynaklarının yerini yenilenebilir enerji almaktadır. Güneş enerjisinin kullanılması için belli başlı yöntemler bulunmaktadır. Bunların en önemlisi ve verimli ise fotovoltaik paneller olarak bilinmektedir. Fotovoltaik panellerin verimliliğinin artırılması için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çerçeveden bakıldığında, güneş ışınlarının fotovoltaik panel yüzeyine gün içerisinde devamlı olarak dik açıda gelmesini sağlamak için güneş takip sistemleri kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasının amacı, güneş enerjisi sistemlerinden en fazla verimin elde edilmesi amacıyla kurulan iki eksenli güneş takip sistemlerinin tasarlanması ve sistem verimliliğinin karşılaştırılmasıdır. Ayrıca, bu tez çalışması içerisinde İki Eksenli Güneş Takip Sistemlerinde açık ve kapalı döngü kontrol sistemleri gibi farklı teknikler kullanılarak sistem verimliliğinin hesaplanmasını ve karşılaştırılmasını içermektedir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik, İki Eksenli Güneş Takip Sistemleri, Verimlilik

ABSTRACT**COMPARISON OF THE EFFICIENCY OF BIAXIS SOLAR TRACKING
SYSTEMS**

DEMİRÖZ, Hande

MSc in Solar Energy Institute

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Koray ÜLGEN

March 2023, pages

Energy has started to become one of the most important issue. Electrical energy, which enables human beings to continue their lives, has become a part of daily life. The use of electrical energy continues to increase rapidly. Because of this reason, it is important to ensure the supply-demand balance of energy.

Obtaining energy is provided by the source of renewable and non-renewable energy. Renewable energy sources takes place with non-renewable energy's, which have come to the point of exhaustion over time. Solar system energy become an important renewable energy source. There are certain methods for using solar energy. The most important and efficient of these is known as photovoltaic panels. Various researches are carried out to increase the efficiency of photovoltaic panels. From this perspective, solar tracking systems are used to verify that the sun rays come to the photovoltaic panel surface continuously.

The purpose of this thesis is that design two axis solar tracking systems in order to get more efficiency from solar energy systems and compare whole efficiency. In addition, this thesis includes the calculation and comparison of system efficiency in Bi-Axis Solar Tracking Systems using different techniques such as open and closed loop control systems.

Keywords: Photovoltaic, Dual Axis Solar Tracking Systems, Efficiency

ÖNSÖZ

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları hızla gelişme devam etmektedir. Bu kaynaklardan en önemlisi olarak bilinen güneş enerjisi ile kurulan sistemler, sınırsız, çevreye zarar vermeyen ve gürültüsüz olarak çalışabilmektedir. Güneş enerjisi, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre farklı noktalara kolaylıkla kurulumunun yapılabilmesi, orta vadede amortisman süresinin olması gibi birçok avantaja sahip olduğu bilinmektedir.

Bu çalışmadaki amaç, güneş enerjisi sistemlerinden en fazla verimin elde edilmesi amacıyla MATLAB/SIMULINK programında tasarlanarak kurulan iki eksenli güneş takip sistemlerinin tasarlanması ve sistem verimliliğinin karşılaştırılmasıdır.

İZMİR

/03/2023

Adı-Soyadı

HANDE DEMİRÖZ

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

KABUL VE ONAY SAYFASI.....	vii
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI.....	viii
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ (devam).....	xii
TABLolar DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Enerji.....	3
2.1.1. Türkiye'nin Enerji Durumu	4
2.1.2. Enerji Kaynakları	5
2.1.2.1. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları.....	5
2.1.2.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	6
2.1.2.2.1. Güneş Enerjisi	7
2.1.2.2.2. Rüzgar Enerjisi	8
2.1.2.2.3. Biyokütle Enerjisi.....	9
2.1.2.2.4. Jeotermal Enerji.....	10
2.1.2.2.5. Hidroelektrik Enerjisi	10
2.2. Fotovoltaik Sistemler.....	11
2.2.1. Fotovoltaik Hücreler	11
2.2.2. Fotovoltaik Hücrelerin Özellikleri	11
2.2.3. Fotovoltaik Hücrelerin Çeşitleri.....	12
2.2.3.1. Monokristal Silisyum	13
2.2.3.2. Polikristal Silisyum	13
2.2.3.3. Galyum Arsenit (GaAs).....	13
2.2.3.4. Amorf Silisyum	13
2.2.3.5. Kadmiyum Tellürid (CdTe).....	14
2.2.3.6. Bakır İndiyum Diseleneid	14

2.2.4. Fotovoltaik Sistemlerin Çeşitleri	14
2.2.4.1. Şebeke Bağlantılı (On Grid) Sistemler.....	15
2.2.4.2. Şebekeden Bağımsız (Off Grid) Sistemler.....	15
2.2.4.3. Hibrid Sistemler	16
2.2.5. Fotovoltaik Sistemlerde Verimlilik	17
2.2.5.1. Sıcaklık.....	18
2.2.5.2. Gölgeleme	19
2.2.5.3. Yansıma.....	20
2.2.5.4. Çevirici	20
2.2.5.5. Konum	21
2.2.6. Fotovoltaik Sistemlerde Soğutma	21
2.2.7. Fotovoltaik Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları	22
2.3. Güneş Takip Sistemleri.....	23
2.3.1. Güneş Takip Sistemlerinin Sınıflandırılması.....	23
2.3.1.1. Eksen Yapısına Göre Güneş Takip Sistemi	23
2.3.1.1.1. Tek Eksenli Güneş Takip Sistemi	24
2.3.1.1.2. İki Eksenli Güneş Takip Sistemi	25
2.3.1.2. Kontrol Yapısına Göre Güneş Takip Sistemi.....	25
2.3.1.2.1. Kapalı Döngü Kontrollü Sistemler.....	25
2.3.1.2.2. Açık Döngü Kontrollü Sistemler.....	26
2.3.2. Güneş Açıları ve Hesapları	27
2.3.2.1. Enlem Açısı	27
2.3.2.2. Deklinasyon Açısı	28
2.3.2.3. Saat Açısı.....	29
2.3.2.4. Zenit ve Güneş Yükseklik Açısının Bağlantısı	29
2.3.2.5. Güneş Azimut Açısı	30
2.3.2.6. Yüzey Azimut Açısı	31
2.3.2.7. Eğim Açısı.....	31
2.3.2.8. Geliş Açısı	32
2.3.3. Maksimum Güç Noktası Takibi Sistemleri (MPPT)	32
2.3.3.1. Değiştir ve Gözle Yaklaşımı	34
2.3.3.2. Artan İletkenlik Yaklaşımı	36
2.3.3.3. Kısmi Açık-Devre Gerilim Yaklaşımı	36
2.3.3.4. Kısmi Kısa-Devre Akım Yaklaşımı	37

2.3.4. Önceki Çalışmalar	37
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	38
3.1. Gereç	38
3.1.1. Çalışma Alanı.....	38
3.1.2. Sistem Elemanları.....	39
3.2. Yöntem.....	40
4. BULGULAR.....	42
5. TARTIŞMA.....	49
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	51
6.1. Sonuç.....	51
6.2. Öneriler	52
TEŞEKKÜR	63
ÖZGEÇMİŞ.....	64

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Enerji Kaynaklarının Çeşitleri.....	4
Şekil 2.2. Farklı Atmosfer Olaylarına Göre Güneş Işınım Değerleri.....	7
Şekil 2.3. Tüm Dünya'nın Güneş Işınım Değerleri.....	8
Şekil 2.4. Fotovoltaik Hücresinin Genel Yapısı.....	12
Şekil 2.5. Fotovoltaik Pillerin Sınıflandırılması.....	12
Şekil 2.6. Şebeke Bağlantılı (On Grid) Sistem.....	15
Şekil 2.7. Şebekeden Bağımsız Sistem.....	16
Şekil 2.8. Hibrid Fotovoltaik Sistem.....	17
Şekil 2.9. Fotovoltaik Paneldeki Kayıplar.....	18
Şekil 2.10. Fotovoltaik Panelin Sıcaklığa Bağlı Olarak Değişen Akım, Gerilim ve Güç Grafiği.....	18
Şekil 2.11. Çeşitli Bulutlanmaya Sahip Günlerde Güneş Işınım Değerleri	20
Şekil 2.12. Güneşin Mevsimlere Göre Hareketi.....	24
Şekil 2.13. Tek Eksenli Güneş Takip Sistemleri.....	24
Şekil 2.14. İki Eksenli Güneş Takip Sistemleri.....	25
Şekil 2.15. Kapalı Döngü Kontrollü Sistemler.....	26
Şekil 2.16. Açık Döngü Kontrollü Sistemler.....	27
Şekil 2.17. Dünya'nın Eksenleri ve Düzlemleri.....	28
Şekil 2.18. Deklinasyon Açısının Yıllık Değişimi.....	28
Şekil 2.19. Saat Açısının Çeşitli Saatlere Göre Değerleri.....	29
Şekil 2.20. Zenit ve Güneş Yükseklik Açıları.....	30
Şekil 2.21. Güneş Azimut Açısı.....	31
Şekil 2.22. Eğim Açısı.....	32
Şekil 2.23. Eğik Bir Yüzeye Gelen Güneş Geliş Açısı.....	32
Şekil 2.24. MPPT Kullanılan FV Sistemin Genel Blok Şeması.....	33
Şekil 2.25. Farklı Işınım Değerlerinde Maksimum Güç Noktasının Değişimi.....	33
Şekil 2.26. Anlık Işınım Değişimi ile Gücün Değişimi.....	35

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Azaltan Dönüştürücü Devresi.....	39
Şekil 3.2. Değiştir ve Gözle Yaklaşım Algoritması.....	40
Şekil 3.3. Açık Döngü Kontrollü Güneş Takip Sistemi Devre Şeması.....	40
Şekil 3.4. Açık Döngü Kontrollü Güneş Takip Sistemi Algoritması.....	41
Şekil 3.5. Kapalı Döngü Kontrollü Güneş Takip Sistemi Devre Şeması.....	41
Şekil 3.6. Kapalı Döngü Kontrollü Güneş Takip Sistemi Algoritması.....	41
Şekil 3.7. Sabit Güneş Paneli Sistemi Devre Şeması.....	42

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 1.1. Farklı Bölgelere göre Güneş Işınım Miktarları.....	21
Tablo 2.2. Değiştir ve Gözle Yönteminin Değişim Durumları.....	34
Tablo 2.3. Artan İletkenlik Yönteminde Değişim Durumları.....	36
Tablo 4.1. Ocak Ayı Güneş Işınım Değerleri.....	43
Tablo 4.2. Şubat Ayı Güneş Işınım Değerleri.....	43
Tablo 4.3. Mart Ayı Güneş Işınım Değerleri.....	44
Tablo 4.4. Nisan Ayı Güneş Işınım Değerleri.....	44
Tablo 4.5. Mayıs Ayı Güneş Işınım Değerleri.....	45
Tablo 4.6. Haziran Ayı Güneş Işınım Değerleri.....	45
Tablo 4.7. Temmuz Ayı Güneş Işınım Değerleri.....	46
Tablo 4.8. Ağustos Ayı Güneş Işınım Değerleri.....	46
Tablo 4.9. Eylül Ayı Güneş Işınım Değerleri.....	47
Tablo 4.10. Ekim Ayı Güneş Işınım Değerleri.....	47
Tablo 4.11. Kasım Ayı Güneş Işınım Değerleri.....	48
Tablo 4.12. Aralık Ayı Güneş Işınım Değerleri.....	48
Tablo 4.13. Sistemlerden Elde Edilen Elektrik Enerjisi (Wh).....	49
Tablo 4.14. Açık Döngü GTS & Kapalı Döngü GTS Karşılaştırması.....	50
Tablo 4.15. Açık Döngü GTS & Sabit FV Sistem Karşılaştırması.....	50
Tablo 4.16. Sabit FV Sistem & Kapalı Döngü GTS Karşılaştırması.....	51

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
DA-DA	Doğru Akım-Doğru Akım
FV	Fotovoltaik
LDR	Light Dependent Resistor
PLC	Programmable Logic Controller
MPPT	Maksimum Güç Noktası Takibi
NREL SPA Algorithim	National Renewable Energy Laboratory- Sun Position

1. GİRİŞ

Günümüzde enerjiye duyulan ihtiyacın her geçen gün artması ile alternatif enerji kaynaklarının önemi ortaya çıkmaya başlamıştır. Enerji kaynakları iki ana başlık ile açıklanmaktadır; yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynakları. Yenilenemeyen enerji kaynakları fosil kaynaklar olarak adlandırılan kömür, petrol ve doğalgaz olmaktadır. Bunların gerek rezervlerinin azalması gerekse çevreye verdiği zararlardan dolayı, enerji üretiminin sağlanması için farklı kaynaklar araştırılmaya başlanmış ve yenilenebilir enerji kaynakları daha fazla önem kazanmaya başlamıştır. Günümüzde, bu kaynaklardan biri olan ve gelişiminde hızlı bir artış gözlemlenen güneş enerjisi, gerek dünyayı aydınlatması ve ısıtmasını sağlamakta gerekse canlıların yaşaması için gerekli olan olayların meydana gelmesini sağlayarak ikincil enerji kaynaklarının ortaya çıkmasını sağlamaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak bilinen güneş enerjisinin daha verimli bir şekilde kullanılması için güneş takip sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Güneş takip sistemleri tasarlanırken birçok teknik kullanılmaktadır. Bu tekniklerden biri eksen sayısı olarak bilinmektedir. Güneş takip sistemlerinde eksen sayısına bakıldığında, tek ve iki eksenli olarak sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemler kullanılarak tasarlanan fotovoltaik sistemler ile maksimum oranda enerji elde edilmesi mümkün kılınmıştır. Ayrıca, güneş ışınlarından azami derecede faydalanmak için tasarlanan sistemlerin kontrol edilmesi için açık ve kapalı döngü kontrolü teknikleri baz alınmaktadır. Açık döngü kontrollü sistemlerde güneşin belirlenmiş olan koordinat sistemi doğrultusunda çalışmaktadır. Güneşin koordinatları ise PLC ve Aurdino gibi yazılımsal teknolojik cihazlar kullanılarak kontrol edilebilmektedir. Kapalı döngü kontrollü sistemlerde ise çeşitli sensörler ve geri bildirim algoritması kullanılarak güneş aktif olarak takip edilmektedir. Her iki kontrol çeşidi ile tasarlanan sistemlerin sağladığı verimlilik sabit güneş panelleri kullanılarak kurulan sistemlerden daha fazla verimli olmaktadır. Söz konusu tüm bu teknikler güneş takip sistemlerinde büyük bir rol oynamaktadır. Seçilmesi gereken teknikler gerek maliyet açısından gerekse verimlilik açısından çeşitlilik göstermektedir. Bu sebepten ötürü, güneş

takip sistemlerinin tasarlanmasından önce sisteme duyulan ihtiyacın önceliklerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Tüm bu bilgiler ışığında, temelinde iki eksenli olarak tasarlanacak olan güneş takip sistemi, açık döngü ve kapalı döngü kontrol teknikleri kullanılarak sistemin verimliliğinin karşılaştırılması yapılmaktadır. Açık döngü kontrol tekniklerinde kullanılan yazılıma dayalı mikroişlemci içeren cihazlar sayesinde güneşi takip edebilmektedir. Yıllar içerisinde yapılan çalışmalar sonucunda güneş koordinatlarının mevsimlere ve konumun enlem ile boylam farklılıklarına göre değişiklik gösterdiği görülmüştür. Bir başka deyişle, yeryüzündeki herhangi bir konumda güneşin hareketleri yani koordinatları detaylı bir şekilde bilinmektedir. Bu veriler kullanılarak tasarlanan güneş takip sistemlerinde, güneş ışınları devamlı olarak dik bir açıda fotovoltaiik panelleri üzerine düşmekte ve herhangi bir engel ve gölgeleme olmasına rağmen güneşi takip etmeye devam etmektedir. Bu sayede, sistem güneş ışığının algılanmasına engel olan durumlar içerisinde çıktığında enerji üretmeye devam etmektedir. Kapalı döngü kontrol tekniğinde ise LDR gibi çeşitli sensörler kullanılmaktadır. Bu sensörler, güneş ışığını algıladığı süre boyunca sistemin hareketine devam etmesini sağlamaktadır. Sensörlerden alınan veriler ise bir mikroişlemciye sahip cihaza gönderilir. Burada işlenen veriler karşılaştırılarak panellerin dönmesini sağlayan motora komut gönderilmekte ve bu işlem sürekli olarak devam etmektedir. Bu sebepten ötürü, sisteme kapalı döngü kontrol sistemi denmektedir.

Sonuç olarak, tasarlanan güneş takip sistemlerinde kullanılan teknikler farklı veriler ortaya çıkarmaktadır. Oluşan farklılıkların hem maliyet hem de verimlilik açısından karşılaştırması gerekmektedir. Elde edilen verilere bakılarak ise güneş takip sisteminin kurulum ve kullanım alanı, maliyeti, amortisman süresi, elde edilmek istenen azami enerji, sistemin arıza ve bakım durumlarının maliyeti ve planlanması gibi birçok konuya açıklık getirebilmektedir.

Bu tez çalışmasının ilk bölümünde genel olarak enerji ve enerji kaynakları üstünde durulmuştur. Bir başka deyişle, enerjinin tanımı, Türkiye'deki enerjinin durumu, yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları ve çeşitleri detaylı bir şekilde açıklanmıştır. İkinci bölümde, fotovoltaiik sistemler ana başlığı altında fotovoltaiik hücreler ve çeşitleri, fotovoltaiik sistemlerin çeşitleri olarak şebeke

bağlantılı, şebeke bağlantısız ve hibrid sistemler, fotovoltaik sistemlerde verimlilik açısından sıcaklık, gölgeleme, yansımalar, çevirici ve konum etkenleri, fotovoltaik sistemlerde soğutma ve fotovoltaik sistemlerin avantajları ile dezavantajları detaylı bir şekilde işlenmiştir. Üçüncü bölümde, güneş takip sistemleri ana başlığı altında güneş takip sistemlerinin eksen yapısına ve kontrol yapısına göre sınıflandırılması, güneş açıları ve hesapları detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Bunlara ek olarak, güneş takip sistemi içerisinde kullanılan maksimum güç noktası takibi sistemi çeşitleriyle birlikte işlenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

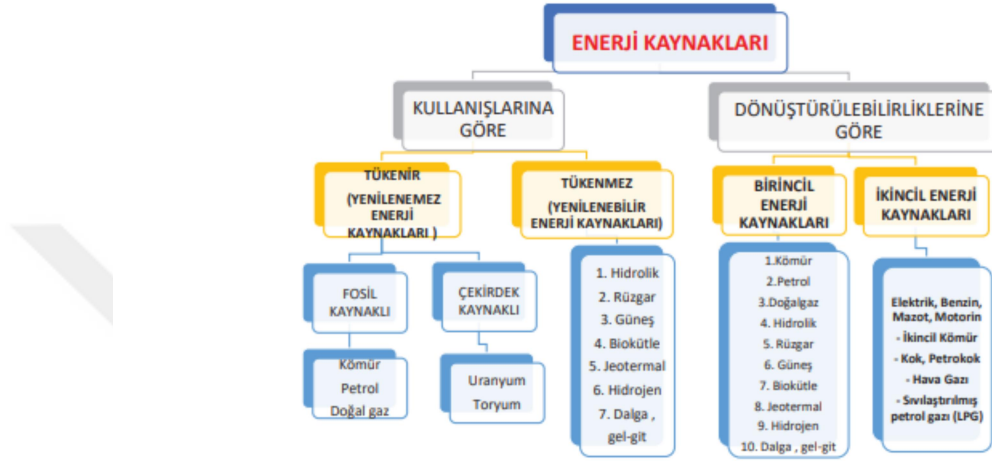
2.1. Enerji

Enerji, farklı cinsteki maddelerin formunun değişmesi ile ortaya çıkmaktadır. Bir başka deyişle, doğrudan ölçülemeyen bir değer olan ve mevcut durumun değişmesi için yapılması gereken iş gücü olarak da tanımlanmaktadır.

Enerji birçok bilim dalında farklı şekillerde tanımlanmaktadır. Termodinamik alanında, ilk yasasında belirtilmiş olduğu gibi, enerji kapalı bir sistemde her zaman sabit olmaktadır. Enerji, yok edilemez ya da parçalanarak ayrılamaz. Ancak, bir formdan başka bir forma dönüştürülebilmektedir. Buna ek olarak enerji, dönüştürülebilen ve dönüştürülemeyen enerji formu olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Enerjinin form değiştirdiği haline kullanılabilir enerji yani ekserji; form değiştirmeyen haline ise kullanılamayan enerji yani anerji denmektedir (Çengel ve Boles, 1996).

İnsan hayatı içerisinde sürekli olarak ihtiyaç duyulan enerji, geçmiş yıllarda fosil kaynaklar kullanılarak elde edilirken, günümüzde dönüştürülebilen enerji kaynakları kullanılarak üretilmeye başlanmıştır. Şekil 2.1'e göre enerji kaynakları, kullanımları ve dönüşümlüğü temel alınarak iki ayrı başlık altında açıklanmaktadır. Kullanımlarına göre enerji, yenilenebilir ve yenilenemeyen olarak ikiye ayrılmaktadır. Dönüşümlüğüne göre enerji ikiye ayrılmaktadır. Kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil kaynaklar geçmişten günümüze kadar

kullanılmayan devam eden ve hem birincil hem de yenilenemeyen enerji kaynakları olarak tanımlanmaktadır. Rüzgar, güneş ve biyotik gibi sonsuz enerji kaynakları ise hem birincil enerji kaynakları hem de yenilenebilir enerji kaynakları olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca, birincil enerji kaynaklarının dolaylı olarak dışarıdan farklı etkilerle kullanılması sonucunda ikincil enerji kaynakları ortaya çıkmaktadır (Koç vd., 2018).



Şekil 2.1. Enerji Kaynaklarının Çeşitleri

2.1.1. Türkiye'nin Enerji Durumu

Enerjinin tarihçesine bakıldığında, 18. Yüzyılda yaşanan sanayi devriminin etkileri doğrultusunda bir ihtiyaç olarak ortaya çıktığı ve gelişmeye başladığı görülmektedir. Öncelikli olarak İngiltere’de sonrasında ise diğer Avrupa ülkelerinde sanayi ve tarım açısında elektrik enerjisi aydınlatma açısından önemli bir rol oynamaya başlamıştır. 19. yüzyılın sonlarına doğru gelindiğinde, elektrik enerjisi ihtiyacının artması ile öncelikli olarak yenilenemez enerji kaynaklarının, sonrasında ise yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar, güneş ve biyokütle gibi enerji kaynaklarının kullanımına başlanmıştır. 1882 yılına gelindiğinde ilk elektrik enerjisi santrali İngiltere’de kurulmuştur. Türkiye’de ilk elektrik enerjisi üretimi 2kW gücüne sahip bir su türbini ile 1902 yılında gerçekleştirilmiştir. Enerji üretimin artması ile birlikte 1935 yılında Elektrik İşleri Etüt İdaresi kurulmuştur (Güran, 1999).

Türkiye’de 1970’li yıllara gelindiğinde, elektrik enerjisi üretimi 8.623GWh olmuştur. Bu üretim içerisinde hidrolikten elde edilen enerjinin oranı %35,2 ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının oranı ise %1,9 olmuştur. Yıllar içerisinde yaşanan gelişmelerle, 1988 yılında, elektrik enerjisi üretimi 48.049GWh, hidrolikten elde edilen enerjinin oranı %60,3 ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının oranı ise %0,1 olmuştur. 2020 yılına bakıldığında, elektrik enerjisi üretimi 306.703GWh, hidrolikten elde edilen enerjinin oranı %25,5, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının oranı ise %16,8 olmuştur. Sonuç olarak, yıllar içerisinde hidrolikten elde edilen elektrik enerjisi yerini rüzgar, güneş ve biyoenerji kaynaklarına bırakmıştır (TUİK, Erişim Tarihi: 05.04.2022).

2.1.2. Enerji Kaynakları

2.1.2.1. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları

Sadece bir kez kullanılabilen ve kendini tekrar yenileyemeyen enerji kaynakları olarak tanımlanmaktadır. Yenilenemeyen enerji kaynaklarının iki çeşidi bulunmaktadır. Petrol ve kömür gibi kaynaklar yenilenemeyen enerji olarak değerlendirilmektedir (Koç ve Kaya, 2015).

Sırasıyla bu kaynakları incelediğinde; karbon, hidrojen ve oksijen gibi temel elementlerden oluşan kömürün ucuz ve kolay elde edilebilir yakıt olması sebebiyle tüm Dünya’nın elektrik enerjisinin karşılanmasındaki oranının %40 civarı olduğu bilinmektedir. Milyonlarca yıl içerisinde oluşan kömürlerin, organik yapılarına göre linyit, bitümlü, antrasit ve albitümlü olarak farklı çeşitleri bulunmaktadır (TKİ, Erişim Tarihi: 06.04.2022).

Petrol, belirli karbon ve hidrojen elementlerinin birleşimi ile elde edilen hidrokarbon elementlerin karışımından oluşmaktadır. Farklı sayıda ve oranda karbon ve hidrojen birleşimi ile benzin, gaz yağı, dizel, motor yağı gibi petrol çeşitleri ortaya çıkmaktadır (PMO, Erişim Tarihi: 06.04.2022). 1970’li yıllarda, elektrik enerjisi üretiminde yaklaşık olarak ortalama %35-40 oranında petrol ve çeşitleri kullanılırken, 2000’li yıllara gelindiğinde bu oran ortalama %2-4’lere düşmüştür (TUİK, Erişim Tarihi: 05.04.2022).

Doğalgaz, diğer fosil kaynaklardan olan petrol gibi karbon bazlı bir yakıt olarak bilinmektedir. Metan, etan, propan, bütan, azot, karbondioksit, hidrojen sülfür ve helyum elementlerinin karışımından oluşmaktadır. Doğalgazın yoğunluğu 0,6–0,8 kg/m³ arasında olmaktadır. Tüm dünyada elektrik enerjisi üretiminin %22'si doğalgazdan karşılanmaktadır. Buna ek olarak, iş yerlerinde ve konutlarda ısınmak amacıyla doğalgaz kullanılmaktadır (TPAO, Erişim Tarihi: 06.04.2022).

Yıllar içerisinde ortaya çıkan nüfus artışı ve teknolojik gelişmeler ile ortaya çıkan refah düzeyinin yükselmesiyle enerjiye olan ihtiyaç hızlı bir şekilde artmıştır. Bu ihtiyacın karşılanması için öncelikli olarak kullanılan yenilenemez enerji kaynakları yetersiz kalmaya başlamış ve alternatif bir çözüm olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı hızlı bir şekilde artmıştır (Koç ve Kaya, 2015).

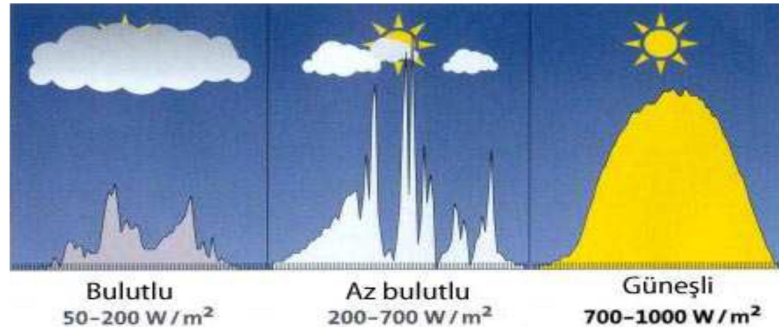
2.1.2.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji, kendini tekrar yenileyebilen enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının temelinde, Dünya, güneş ve atmosferik olaylar bulunmaktadır. Bu olaylar bitmediği sürece yenilenebilir enerji kaynaklarının da sonu gelmemektedir. Fosil yakıtlara alternatif olarak kullanılan bu enerji kaynakları aşağıdaki gibi sıralanmaktadır (Bedeloğlu vd., 2010).

- Rüzgar Enerjisi
- Güneş Enerjisi,
- Jeotermal Enerji
- Biyokütle Enerjisi
- Hidroelektrik Enerji

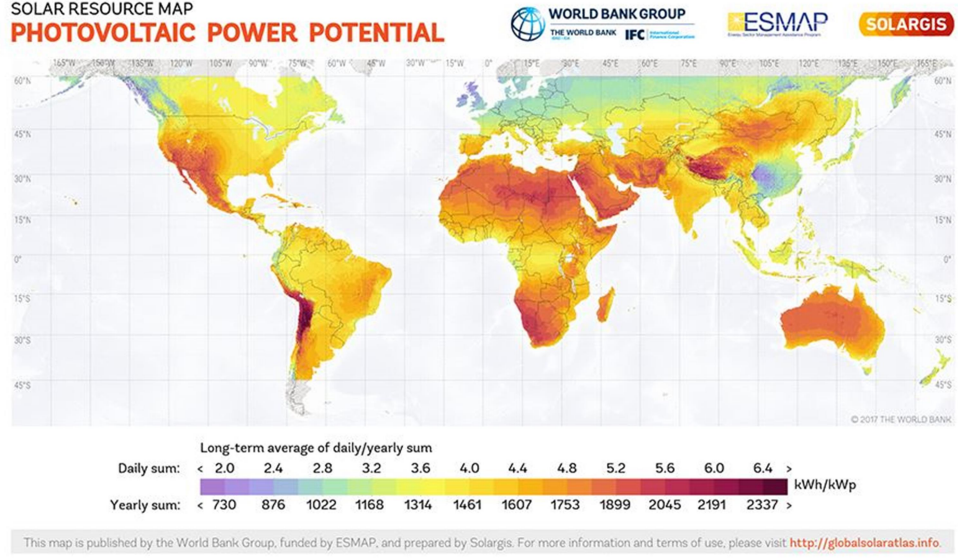
2.1.2.2.1. Güneş Enerjisi

Güneş, %91 oranında hidrojen, %9 oranında ise helyum gazından oluşan bir yıldız olarak bilinmektedir. Güneşin çekirdeğinde oluşan hidrojen gazının form değiştirerek helyum gazına dönüşmesi ile ısı enerjisi ortaya çıkmakta ve bu da güneş enerjisi olarak adlandırılmaktadır. Güneşin etrafına yaymış olduğu enerji 3.8×10^{20} MW olarak hesaplanmaktadır. Ancak, bu enerjinin 1.7×10^{14} kW'ı Dünya'ya ulaşabilmektedir (Kartal, 2007). Bir başka deyişle, dünya yüzeyinin birim alanına ulaşan değeri 1370 W/m^2 olmaktadır. Bu değer, güneş sabiti olarak tanımlanmakta ve hesaplamalarda kullanılmaktadır. Yeryüzüne ulaşan enerji değeri ise 0 ile 1000 W/m^2 arasında değişmektedir. Bu değişim farklı atmosfer olaylarına göre değişmektedir. Şekil 2.2'de bu duruma ait değerler gösterilmektedir (Duffie vd., 2020).



Şekil 2.2. Farklı Atmosfer Olaylarına Göre Güneş Işınım Değerleri

Buna ek olarak Şekil 2.3'de, tüm Dünya'nın farklı konumlara göre güneş ışınım değerleri günlük ve yıllık değerler temel alınarak gösterilmektedir (Messenger ve Abtahi, 2018).



Şekil 2.3. Tüm Dünya'nın Güneş Işınım Değerleri

Güneş enerjisi kullanılarak ısı ve elektrik enerjisi elde edilmektedir. Güneşten gelen ısı enerjisi, öncelikle kollektör ve ayna ile odaklanıp toplandıktan sonra suyun basınçlı buhar haline gelmesini sağlamaktadır. Sonrasında ise buhar enerjisi kinetik enerjiye dönüştürülerek jeneratörlerden elektrik enerjisi elde edilmesini sağlamaktadır. Buna ek olarak, güneş ışınımını direk olarak güneş pilleri kullanılarak doğru akım gerilimi ile elektrik enerjisi elde edilmektedir (Şenpınar, 2006).

2.1.2.2.2. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar oluşumu, güneşin atmosferi ısıtmasının sonucunda çeşitli hava yoğunluğunun oluşması ile ortaya çıkmaktadır. Bir başka deyişle, havanın ısınması ile oluşan basınç farklılıklarında, yüksek basınçlı havanın alçak basınçlı hava ile yer değiştirmesi ile rüzgarlar oluşmaktadır. Bunlara ek olarak, dünyanın kendi eksenini etrafında dönüşü, alanların coğrafi ve topografik yapısından kaynaklı olarak ısı dağılımının çeşitliliği gibi konular da rüzgarların oluşumunda etkisi bulunmaktadır (Oskay, 2014).

Rüzgar enerjisi, temiz ve kaynağını güneşten alarak sürekli bir enerji kaynağı olarak görülmektedir. Geçmişten günümüze bakıldığında, uzun süredir rüzgar enerjisinin kullanıldığı görülmektedir. M.Ö.3500'lü yıllarda, sümerler tahıl

öğütmek için rüzgar enerjisi ile çalışan yel değirmenleri kullanmışlardır. Yıllar içerisinde gelişen teknoloji ile yel değirmenleri yerini rüzgar türbinlerine bırakmıştır. 1888 yılında ise Amerika'nın Cleveland şehrinde ilk rüzgar türbini kurulmuştur (Çukurçayır ve Sağır, 2008).

Rüzgar enerjisinin avantajlarına bakıldığında, temiz ve sürekli olması önplana çıkmaktadır. Ayrıca, gerek dağlık gerekse kırsal bölge ve deniz kenarlarına kurulabilen rüzgar türbinleri gece ve gündüz enerji üretebilmektedir (Demirtaş, 2010).

Rüzgar enerjisine dayalı elektrik kurulu gücüne bakıldığında, 2004 yılında 19MW iken, 2020 yılında 8.832MW'a ulaşılmıştır. Ayrıca, toplam elektrik üretimindeki oranı 2004 yılında 0.04 iken, 2020 yılında 8.09'a yükselmiştir (EİGM, Erişim Tarihi:15.06.2022).

2.1.2.2.3. Biyokütle Enerjisi

Yenilenebilir enerji kaynaklarından bir diğeri ise biyokütle enerjisi olarak bilinmektedir. Organik yapıya sahip bitkiler, hayvan ve insan dışkı, odun ve odun kömürü biyokütle olarak tanımlanmaktadır. Çevre kirliliğini azaltması ile son yıllarda oldukça önemli bir enerji kaynağı haline gelmiştir. Bu atıkların yakılması ile ortaya çıkan enerji hem ısı ve hem de direk olarak elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir. Biyokütle enerjisi ikiye ayrılmaktadır. Klasik biyokütle enerjisi, odun, hayvan ve insan atıklarının yakılması ile elde edilen enerji kaynağıdır. Modern biyokütle enerjisi ise atık bitkiler kullanılarak elde edilen etanol gibi yakıtlardan elde edilen enerji kaynağı olarak bilinmektedir (Demirtaş, 2010).

Biyokütle enerjisine dayalı elektrik kurulu gücüne bakıldığında, 2004 yılında 28MW iken, 2020 yılında 1.485MW'a ulaşılmıştır. Ayrıca, toplam elektrik üretimindeki oranı 2004 yılında 0.07 olarak kaydedilmiştir. 2020 yılında ise 1.8'e yükselmiştir (EİGM, Erişim Tarihi:15.06.2022).

2.1.2.2.4. Jeotermal Enerji

Yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde bulunan ısı ve sıcaklıkla oluşan sıcak su ve buharın kullanılması ile jeotermal enerji elde edilmektedir. Yeryüzünde belirli noktalarda bulunan jeotermal kaynaklar, genellikle volkanik veya aktif kırık yüzeylerde bulunmaktadır. Jeotermal enerji elde edilirken CO₂, NO_x, SO_x gibi gazların salınımının çok az olması sebebiyle temiz enerji sınıfında yer almaktadır.

Jeotermal enerji sıcaklık çeşidine göre üç farklı başlık altında toplanmaktadır. Bunlar sırasıyla; 20°C ile 70°C olarak düşük sıcaklık, 70 ile 150°C olarak orta sıcaklık ve 150°C üzerinde olan yüksek sıcaklığa sahip sahalar (Demirtaş, 2010).

Jeotermal enerjisine dayalı elektrik kurulu gücüne bakıldığında, 2004 yılında 15MW iken, 2020 yılında 1.613MW'a ulaşılmıştır. Ayrıca, toplam elektrik üretimindeki oranı 2004 yılında 0.06 olarak kaydedilmiştir. 2020 yılında ise 3.25'e yükselmiştir (EİGM, Erişim Tarihi:15.06.2022).

2.1.2.2.5. Hidroelektrik Enerjisi

Hidroelektrik enerji, barajlarda gibi yapılarda bulunan sulardan elde edilmektedir. Hidroelektrik enerjisi elde etmenin temelinde, suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye çevrilmesi bulunmaktadır. Baraj gibi yapılarda borular yada belirlenen bir yol üzerinden serbest bırakılan su, türbinlerin dönmesini sağlamaktadır. Türbinlere bağlı olan jeneratörlerin döndürülmesiyle ise elektrik enerjisi elde edilmektedir. Türkiye'de üretilen elektrik enerjisinin yaklaşık olarak %25'i hidroelektrik enerjiden karşılanmaktadır (Koç ve Şenel, 2013).

2.2. Fotovoltaik Sistemler

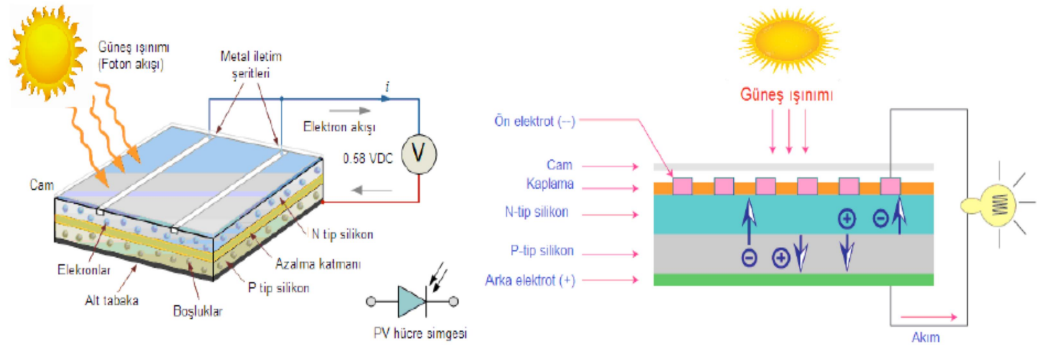
2.2.1. Fotovoltaik Hücreler

Fotovoltaik, güneş ışınlarından elektriksel olarak gerilim üretilmesi olarak tanımlanmaktadır. Fotovoltaik hücreler, enerjinin korunumu yasası kapsamında, ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır ve dönüştürülen enerji depolanmamaktadır. Bu enerji dönüşümünde herhangi hareketli bir ekipman bulunmamaktadır. Fotovoltaik hücreler, transistörler ve diyotlar gibi benzer yarı iletken maddelerden yapılmaktadır. Bu hücrelerin yapısında verimliliği arttırmak için silisyum, kadmiyum tellür ve galyum arsenit gibi elementler kullanılmaktadır (Sungur, 2009).

2.2.2. Fotovoltaik Hücrelerin Özellikleri

Fotovoltaik hücreler yüzeyleri açısından silindirik, prizmatik ve kese olmak üzere üç farklı gruba ayrılmaktadır. Her hücre çeşidi farklı özelliklere sahiptir. Silindirik hücre, küçük bir ısı yayma alanına ve düşük özgül yüzey alanına sahip olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla şarj ve deşarj işlemi sırasında iç sıcaklığın yüksek olmasına neden olmaktadır. Prizmatik hücre, geniş bir yüzey alanına yani, daha büyük bir ısı yayma alanı sahip olmaktadır. İnce kalınlığa sahip olan kese hücresi, ısıyı daha verimli bir şekilde dağıtabilmektedir. Kese hücre, sıkı bir yapıya sahip olmakla birlikte ve akünün şarj ve deşarj işlemi sırasında çok yüksek iç gerilim göstermektedir (Han vd., 2019). Birkaç santimetre kareden oluşan bu hücrelerin ortak noktası ise yarıiletken malzemelerden yapılmış olmalarıdır. Hücrelerin en üst kısmında P-N silikonlu diyot kısmı bulunmaktadır. Bu alana güneş ışığı düştüğünde, doğru akım olarak bir elektrik enerjisi oluşmaktadır. Bir başka deyişle, güneş ışığının etkisi ile n tipi silikonlu kısım, p tipi silikonlu kısım etkileşime geçtiğinde, n tipi kısımdan p tipi kısmına doğru elektron akışı olmakta ve birleşim noktasında elektriksel bir etki oluşmaktadır. Oluşan bu elektriksel etki, birleşim noktasında yarıiletkenlere aktarılmaktadır. Sonuç olarak, sürekli devam eden bu süreçle doğru akım olarak bir gerilim farkı oluşmaktadır. Hücrelerin seri bağlanması ile akım, paralel bağlanması ile gerilim

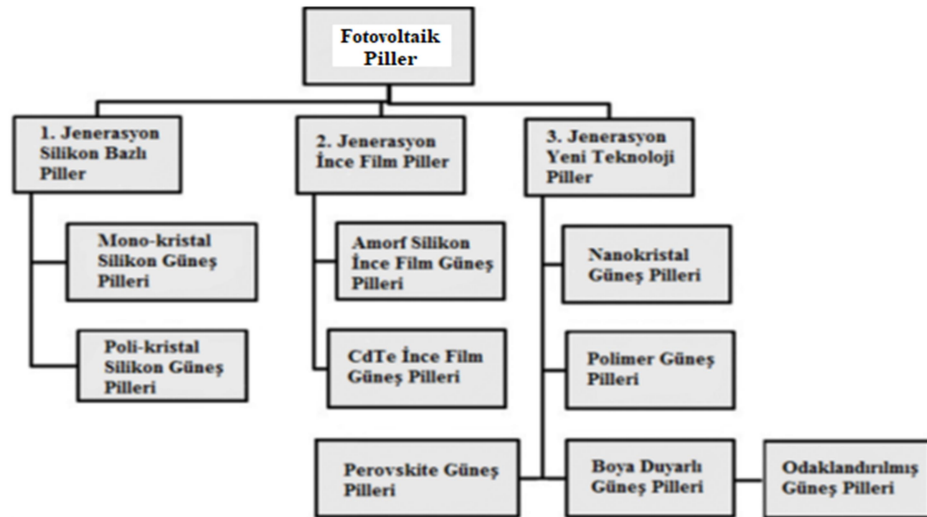
arttırılmaktadır. İstenilen güçte bir fotovoltaik panelin yapılması, hücrelerin farklı şekillerde seri ve paralel bağlanması mümkün olmaktadır (Pizzini, 2010).



Şekil 2.4. Fotovoltaik Hücrelerin Genel Yapısı

2.2.3. Fotovoltaik Hücrelerin Çeşitleri

Fotovoltaik hücreler içerisinde kullanılan yarıiletken maddelere göre isimlendirilmektedir. Fotovoltaik hücreler silikon bazlı, ince film ve yeni teknolojik piller olarak üç ayrı sınıfa ayrılmaktadır. Şekil 2.5’de bu sınıflandırmaya ait detaylar görülmektedir (Sharma vd., 2015). Günümüzde, monokristal ve polikristal silisyum başta olmak üzere galyum arsenit, kadmiyum tellürid ve nanokristal gibi fotovoltaik hücre çeşitleri bulunmaktadır.



Şekil 2.5. Fotovoltaik Pillerin Sınıflandırılması

2.2.3.1. Monokristal Silisyum

Yapısında tek ve saf silikon kristali bulunan ve uzun ömürlü olmasından ötürü günümüzde en çok tercih edilen fotovoltaik hücre çeşidi olarak bilinmektedir. Monokristal fotovoltaik panellerinin verimliliği %14 ile 17,5 arasında olduğu hesaplanmıştır. Ortalama çalışma ömrü 20 yıl olarak bilinmekte ve bu süreden sonraki verimlilik yaklaşık olarak %7 olmaktadır (Venkateswari ve Sreejith, 2019).

2.2.3.2. Polikristal Silisyum

Multikristal fotovoltaik hücre çeşidi olarak da bilinen polikristal hücre çeşidinde, çok yönlü kristaller kullanılmaktadır. Polikristal silisyum hücrelerle üretilen fotovoltaik panellerin verimliliği %14 ile 18 arasında değişmektedir. Üretim maliyetlerinin diğer hücre çeşitlerine göre düşük olması sebebi piyasada daha çok tercih edilmektedir. Ortalama çalışma ömrü 20 yıl olarak bilinmekte ve bu süreden sonraki verimlilik yaklaşık olarak %14 olmaktadır. Bunun sebebi ise monokristal silisyum hücrelerle yapılan fotovoltaik panellere göre saflık oranlarının daha düşük olması olarak bilinmektedir (Bagher vd., 2015).

2.2.3.3. Galyum Arsenit (GaAs)

Bu hücre çeşidi ile üretilen fotovoltaik paneller, uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcı sistemlerde sıklıkla kullanılmakta ve yaklaşık olarak %30 oranında verimlilik elde edilmektedir. Galyum arsenit ile yapılan fotovoltaik panellerin diğer panellerden farkı, galyum atomlarının daha yüksek hareketliliğe sahip olması olarak bilinmektedir (Ajder, 2011).

2.2.3.4. Amorf Silisyum

Amorf silisyum hücre çeşidine sahip paneller hem çeşitli binalarda yarı saydamlık sağlaması amacıyla cam yüzeylerinde hem de elektrik enerjisi üretmek için kullanılmaktadır. Bu çeşit panellerin verimliliği yaklaşık olarak %10 oranında olmaktadır. Amorf silisyum hücre ile üretilen fotovoltaik panellerin diğer

panellerden farkı, güneş ışınlarını diğerlerine göre daha fazla soğurması ve düşük sıcaklıklarda üretilebilmesi olarak bilinmektedir (Kan, 2016).

2.2.3.5. Kadmiyum Tellürid (CdTe)

Son yıllarda gelişim aşamasında olan kadmiyum tellürid ile üretilen fotovoltaik paneller, çok kristalli bir yapıya sahip olmasından ötürü maliyetlerin düşürülmesine öncülük etmektedir. Bu paneller yaklaşık olarak %15-16 oranında verimliliğe sahiptir. Kadmiyum tellürid hücre ile üretilen fotovoltaik panellerin diğer panellerden farkı, uzun süreli kullanımlarda panellerin verimliliğinin hızlı bir şekilde azalması olarak bilinmektedir (Ajder, 2011).

2.2.3.6. Bakır İndiyum Diseleneid

Bakır indiyum diseleneid hücre çeşidi ile üretilen fotovoltaik paneller yaklaşık olarak %17 oranında verimliliğe sahip olmaktadır. Bu çeşit paneller genellikle termoelektrik ve lineer olmayan optiklerde kullanılmaktadır. Bakır indiyum diseleneid ile üretilen panellerin diğer panellerden farkı, cam ve esnek yüzeylerde kullanılabilir olması olarak bilinmektedir (Sayın, 2011).

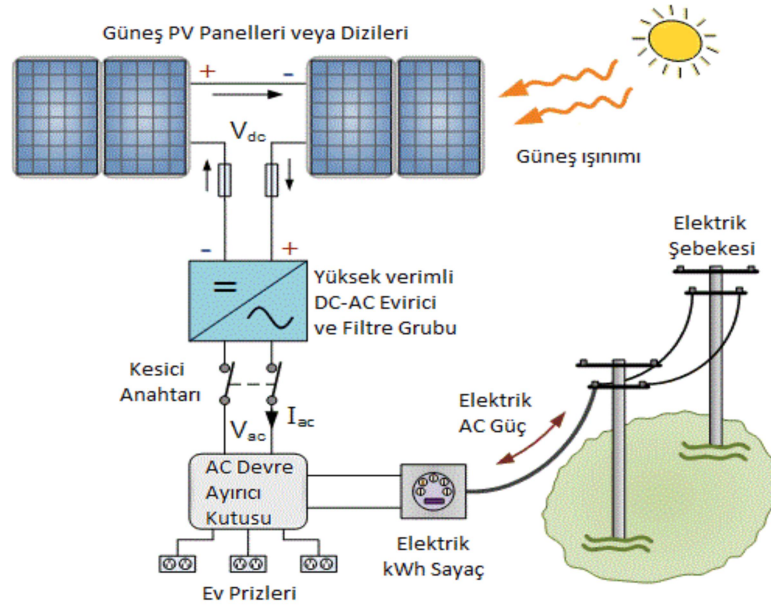
2.2.4. Fotovoltaik Sistemlerin Çeşitleri

Fotovoltaik hücrelerin seri ve paralel bağlanması ile oluşan paneller, güneş ışınımı ile DC gerilim olarak elektrik enerjisi üreten cihazlar olarak bilinmektedir. Bu panellerden elde edilen elektrik enerjisi miktarı ise güneş ışınımı miktarı ile doğru orantılı olarak değişmektedir.

Fotovoltaik panellerin seri ve paralel bağlanması ile ihtiyaç olan sistemsel kurulu güç elde edilmektedir. Fotovoltaik panellerden elde edilen elektrik enerjisi, ihtiyaçlar doğrultusunda direk DC olarak veya eviriciler kullanılarak AC'ye çevrilerek kullanılabilir (Haselhuhn ve Hemmerle, 2012). Fotovoltaik sistemler şebeke bağlantılı, şebeke bağlantısız ve hibrid sistemler olarak üç ana başlık altında toplanmaktadır.

2.2.4.1. Şebeke Bağlantılı (On Grid) Sistemler

Terimsel açıdan ‘on grid’ veya ‘grid connected’ olarak da tanımlanan şebeke bağlantılı sistemlerden, çift yönlü sayaç kullanılarak hem şebekeden hem de fotovoltaik sistemlerden devamlı olarak elektrik enerjisi elde edilebilmektedir. Bu sistemlerin çalışma prensibinde, öncelikle fotovoltaik sistemde üretilen elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Eğer üretilen elektrik enerjisi ihtiyaç duyulan enerjiden fazla ise artık enerji şebekeye verilmektedir. Eğer üretilen elektrik enerjisi ihtiyaçtan az ise eksik kalan enerji şebekeden temin edilmektedir. Şekil 2.6’da bu prensip ile çalışan sistem gösterilmektedir (Çelik vd., 2015).

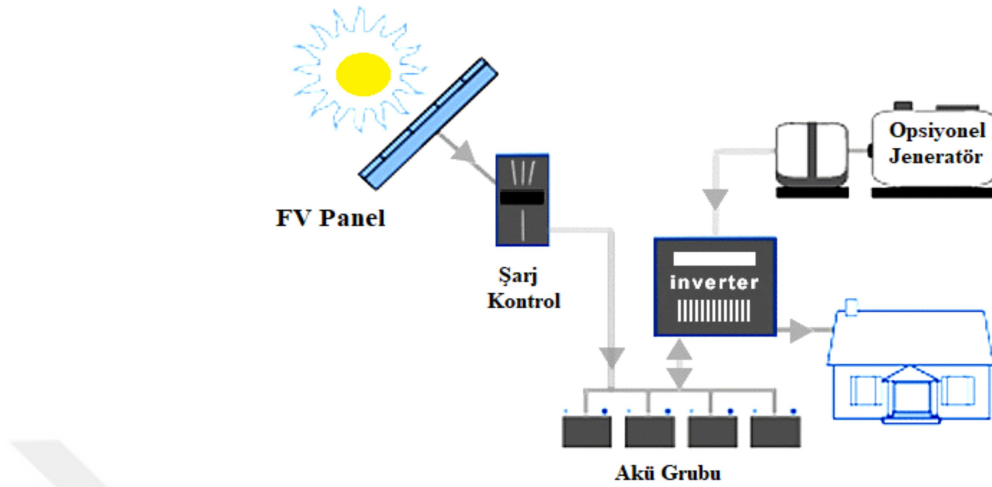


Şekil 2.6. Şebeke Bağlantılı (On Grid) Sistem

2.2.4.2. Şebekeden Bağımsız (Off Grid) Sistemler

Terimsel açıdan ‘off grid’ veya ‘stand alone’ olarak tanımlanan şebekeden bağımsız sistemler olarak bilinmektedir. Bu sebepten ötürü, fotovoltaik sistemlerden elde edilen elektrik enerjisi aküler kullanılarak depolanmaktadır. Bu sistemlerde, ihtiyaçlar doğrultusunda gerek sistemden direk olarak elektrik enerjisi çekilmekte gerekse akülerde depolanan enerji kullanılmaktadır. Bu sistemlerin şebeke bağlantılı sistemlerden farkı, güneş ışınım değerlerinin en az olduğu zaman dilimine göre hesap yapılması gerekmesidir. Bunun sebebi, elektrik

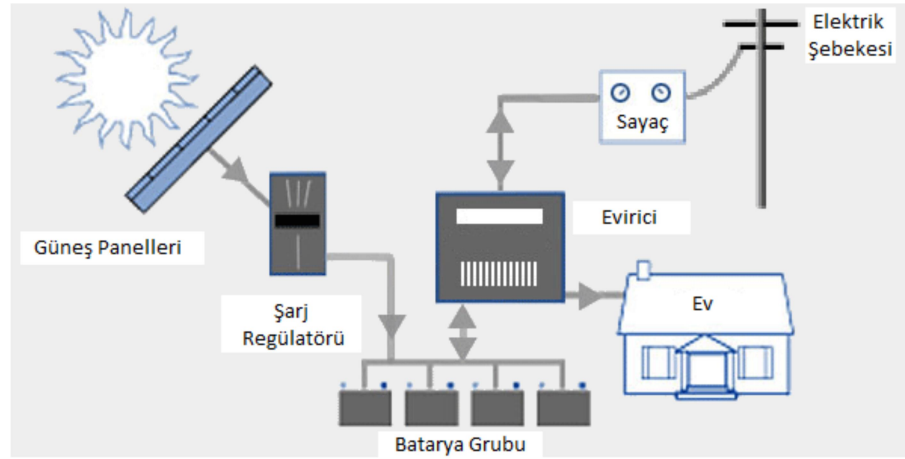
enerjisinin sadece fotovoltaik sistemlerden elde edilecek olması ve en kötü durumların öngörülmesi olarak bilinmektedir (Çelik vd., 2015).



Şekil 2.7. Şebekeden Bağımsız Sistem

2.2.4.3. Hibrid Sistemler

Günümüzde kesintisiz elektrik enerjisine ihtiyacın artması ile hem yenilenebilir enerji kaynakları hem de fosil ve benzeri gibi diğer enerji kaynaklarının birlikte kullanılması ile hibrid sistemler kurulmaktadır (Habib vd., 1999). Bu sistemlerin temel çalışma prensibinde, öncelikle yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak elde edilen elektrik enerjisinin şarj regülatörü kullanılarak akülerde depolanmaktadır. Sonrasında, eviriciler kullanılarak ihtiyaç duyulan tesise elektrik enerjisi sağlanmaktadır (Türkdoğan vd., 2018). Bu sistemlerde artık enerji şebekeye çift yönlü sayaç ve eviriciler kullanılarak iletilmektedir. Tüketilen enerjinin yetersiz olması durumunda ise benzer şekilde şebekeden elektrik enerjisi elde edilebilmektedir (Çakmak vd., 2020).



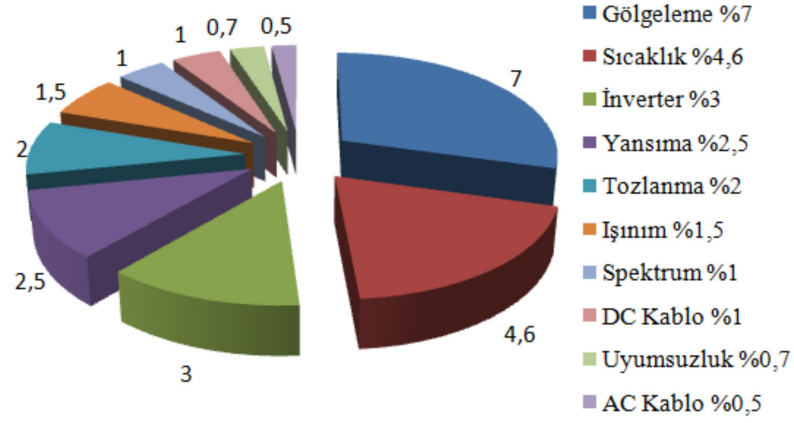
Şekil 2.8. Hibrid Fotovoltaik Sistem

2.2.5. Fotovoltaik Sistemlerde Verimlilik

Fotovoltaik sistemlerde verimlilik, panelin maksimum güç noktasına ait gücü (P_{MP}) ve panel üzerine düşen güneş ışıınım değerinin gücü (P_{in}) ile orantılı olmaktadır. Aşağıda bulunan denklem ile detaylı bir şekilde açıklanmaktadır (Öztürk, 2017).

$$\eta = \frac{P_{MP}}{P_{in}} = \frac{I_{MP} \times V_{MP}}{I(t) \times A_c} = \frac{I_{SC} \times V_{MP} \times FF}{I(t) \times A_c}$$

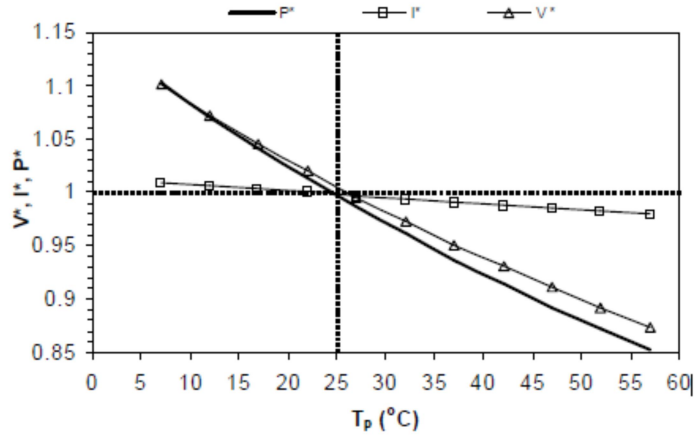
Fotovoltaik sistemlerden elde edilebilecek maksimum verim, çevresel faktörlerin ve panellerin içyapısından kaynaklanan kayıpların minimuma indirgenmesi ile sağlanmaktadır. Bu kayıplardan en önemlileri gölgeleme, sıcaklık ve inverter şeklinde sıralanmaktadır. Şekil 2.9’da bir fotovoltaik panele ait tüm kayıplar ve yüzdelikleri gösterilmektedir (Işıker vd., 2006).



Şekil 2.9. Fotovoltaik Paneldeki Kayıplar

2.2.5.1. Sıcaklık

Fotovoltaik paneller yarıiletken malzemelerden yapılmaktadır. Sıcaklık ise bu malzemeleri doğrudan etkileyen bir faktör olarak görülmektedir. Fotovoltaik panellerin üzerine gelen güneş ışınımının belirli bir oranı elektrik enerjisine, diğer bir oranı ise ısı enerjisine dönüşmektedir. Paneldeki bu ısı enerjisi sıcaklığı değiştirerek akım ve gerilim değerlerini de olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Şekil 2.10'da farklı sıcaklık değerleri ile değişen akım, gerilim ve güç değerleri gösterilmektedir (Ajder, 2011).



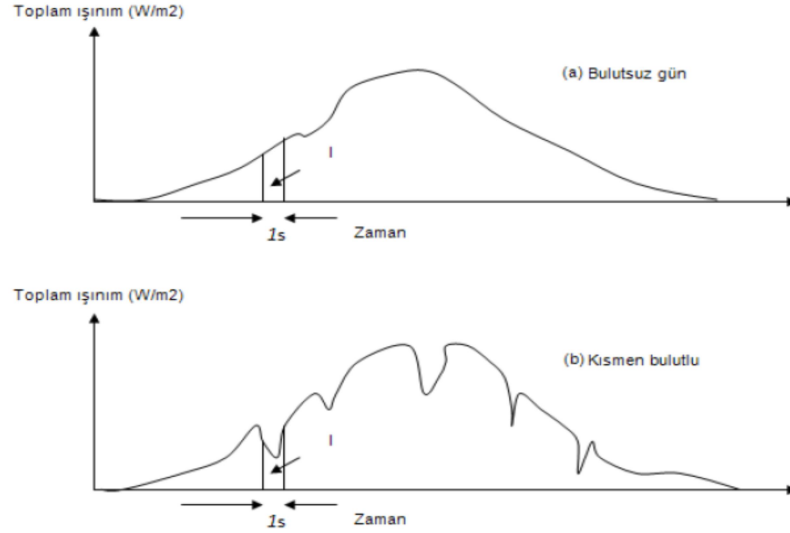
Şekil 2.10. Fotovoltaik Panelin Sıcaklığa Bağlı Olarak Değişen Akım, Gerilim ve Güç Grafiği

Sonuç olarak, sıcaklığın artması ile panelden elde edilecek olan güç azalmaktadır. Buna bağlı olarak ise panelin verimliliği azalmaktadır. Ancak,

panellerin yapılmış olduğu malzemeye göre verimlilik oranının azalması değişiklik göstermektedir. Monokristal veya polikristal silisyum ile üretilen panellerdeki verimlilik her bir °C derece için %0,5 oranında azalmaktadır. Galyum arsenit veya amorf silisyum ile üretilen panellerde ise bu oran %0,25 olarak hesaplanmaktadır (Nsengiyumva vd., 2018).

2.2.5.2. Gölgeleme

Gölgeleme, fotovoltaiik panellerin verimliliğini etkileyen bir diğer faktör olarak bilinmektedir. Gölgeleme oluşmasına neden olabilecek konular üç ayrı başlık altında toplanmaktadır. Bunlardan birincisi, panellerin konumlandırıldığı alan ile ilgili olmaktadır. Dağlık veya yapılaşma içerisinde kurulan panellerde, güneş ışınımının geliş açısının değişmesi sebebiyle gölgelemeler oluşabilmektedir. Gölgelemenin olduğu durumlarda ise panellerden elde edilen güç ve verimlilik azalmaktadır (Selbaş ve Çetin, 2022). Bu sebepten ötürü, panellerin yerleştirileceği konum, gölgelendirme ve fizibilite analizi yapılarak kararlaştırılmalıdır. Gölgelemenin oluşma sebeplerinden diğeri, panel yüzeyinin dış ortam koşulları sebebiyle kirlenmesi ve tozlanması olarak bilinmektedir. Panel üzerine düşen güneş ışınımından etkili bir şekilde elektrik enerjisi elde edebilmek için panel yüzeyinin sürekli olarak temiz tutulması gerekmektedir. Aksi takdirde, panel verimliliği azalmaktadır. Son sebep ise doğal gölgeleme olarak bilinen bulutluluk oluşması olarak bilinmektedir. Bu durum ile alakalı alınabilecek herhangi bir önlem bulunmaması sebebiyle, ihtiyaç duyulan enerji miktarı ile panellerden elde edilebilecek enerji miktarının doğru hesaplanması gerekmektedir (Boztepe, 2017). Şekil 2.11’de bulutlu ve bulutsuz güne ait fotovoltaiik paneller üzerine düşen güneş ışınım değerleri grafik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Çeşitli Bulutlanmaya Sahip Günlerde Güneş Işıınım Değerleri

2.2.5.3. Yansıma

Fotovoltaik paneller üzerine düşen güneş ışıınımlarının bir kısmı emilerek elektrik enerjisi elde edilirken, bir kısmı ise panel üzerinden yansıyarak atmosfere dağılmaktadır. Yansıyan bu güneş ışıınımlarının oranı yaklaşık olarak %33 oranında olmakta ve panel verimliliğini azaltmaktadır. Bu sebepten ötürü, fotovoltaik paneller çeşitli tabakalar kullanılarak üretilmektedir. Bu tabakalar sayesinde ise gelen güneş ışıınımlar %4 oranında yansımaktadır (Deniz, 2013).

2.2.5.4. Çevirici

‘İnverter’ veya ‘Evirici’ olarak da tanımlanan çeviriciler, fotovoltaik panellerin sağlamış olduğu DC güçteki elektrik enerjisini, AC güce çeviren önemli bir ekipman olarak bilinmektedir. Çeviriciler sistem içerisindeki işlevini yerine getirirken iç kayıplardan ötürü enerji harcamaktadır. Bunun sebebi ise çevirici içerisinde bulunan yarıiletken malzemelerin ısınması ile nominal değerlerin üstünde enerji harcanması olarak bilinmektedir. Günümüzde sıklıkla kullanılan 1000W gücündeki çeviricilerde verimlilik oranı %93, 500W gücündeki çeviricilerde ise bu oran %95 olmaktadır. Ayrıca, her 150V DC gerilimi bağlanması ile yaklaşık olarak %1 oranında ise verimlilik azalmaktadır (Çağırtekin, 2022).

2.2.5.5. Konum

Fotovoltaik panellerden elde edilen elektrik enerjisi miktarını etkileyen bir başka faktör ise güneş ışıınım miktarı olarak bilinmektedir. Dünya'nın yapısından ötürü yeryüzünün tüm noktalarına farklı miktarlarda güneş ışıınımı düşmektedir. En yüksek güneş ışıınım miktarına sahip olan bölge ekvator bölgesi olarak bilinmektedir. Kutuplara doğru gidildikçe ise güneş ışıınım miktarı azalmaktadır (Aksungur vd., 2013).

Tablo 1.1. Farklı Bölgelere göre Güneş Işıınım Miktarları

Bölge	kWh/ m ²
Kuzey Avrupa	800
Orta Avrupa	1000
Akdeniz Bölgesi	1700
Ekvator	2200

Türkiye'de en yüksek güneş ışıınım miktarına sahip olan bölge 1460Wh/m² ile Güney Doğu Anadolu Bölgesi olmaktadır. En düşük güneş ışıınım miktarına sahip olan bölge ise Karadeniz bölgesi olarak bilinmektedir (Varınca ve Gönüllü, 2006).

2.2.6. Fotovoltaik Sistemlerde Soğutma

Fotovoltaik sistemlerde soğutmanın amacı, sistemlerden elde edilebilecek olan en fazla verimliliğin sağlanması olarak bilinmektedir. Fotovoltaik sistemlerde soğutmalar fotovoltaik modülde ve kollektör üzerinde olmak üzere aktif ve pasif olarak ikiye ayrılmaktadır. Aktif soğutma sistemleri, enerji tüketen; pasif soğutma sistemleri ise doğal iletim kanalı ile ısı çıkışını sağlayan sistemler olarak tanımlanmaktadır (Krauter, 2004). Fotovoltaik modülde pasif soğutmada, termosifon, sıvı içerisine daldırmalı, püskürtmeli, faz değişim malzemesi kullanılarak, rüzgar enerjisi ile çalışan fan ile soğutma, pamuk fitili ile soğutma, V tipi kanal ile soğutma, metal kanat kullanarak soğutma, bacalı soğutma ve ısı yayıcı ile soğutma olarak birçok teknik bulunmaktadır (Kabul ve Yaşar, 2017). Fotovoltaik kollektör üzerinde pasif soğutmada, termosifon tip soğutma, ısı borulu

soğutma, metal sac ve kanat ile soğutma olarak yöntemler kullanılmaktadır. Fotovoltaik aktif soğutma içerisinde su püskürtmeli ve akışkan dolaşimli soğutma gibi teknikler bulunmaktadır. Fotovoltaik kollektörler üzerinde aktif soğutmada ise farklı tip akışkanlar kullanılarak soğutma tekniği kullanılmaktadır (Özbaş ve Alkış, 2018). Yapılan araştırmalar ve çalışmalar sonucunda, pasif soğutma tekniklerinde genel olarak % 9 ile 20 oranında verimlilik sağlanırken, aktif soğutma tekniklerinde ise %1 ile 5 oranında olmaktadır (Grubišić-Čabo ve Giuseppe, 2016).

Fotovoltaik sistemlerde soğutma teknikleri üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Hava kanalı tekniği üzerine yapılan bir çalışmada, camlı, çift camlı, camsız gibi birçok farklı çeşit fotovoltaik panellerin altından geçirilen hava kanalları ile panellerin yüzeyinde oluşan sıcaklığın azalması amaçlanmıştır. Sonuç olarak, panellerden %10-13 oranında enerji verimliliğinin sağlandığı görülmüştür (Sarhaddi vd., 2010). Bir başka çalışma hibrid kollektörler üzerine yapılmıştır. Bu çalışmada, güneş ışınlamaları ile ısınan paneller akışkan su kullanılarak soğutulmaya çalışılmıştır. Çalışma sonucunda ise % 6-15 oranının verimlilik sağlandığı hesaplanmıştır (He vd., 2006). Tüm bu çalışmalara ek olarak, aktif havalandırma ve su ile soğutma tekniği kullanılarak fotovoltaik sistemlerde verimliliğin artırılması adına bir çalışma yapılmıştır. Bir binada termal olarak yalıtılmış cephelere giydirmeye teknolojisi olarak paneller kurulmuştur. Bu çalışma sonucunda, %8,5 oranında verimlilik elde edildiği görülmüştür (Krauter vd., 1999).

2.2.7. Fotovoltaik Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları

Fotovoltaik sistemlerin avantajları aşağıdaki sıralanmaktadır.

- Fosil ve benzeri yakıtlara ihtiyaç duymadan elektrik enerjisi elde edilebilmektedir.
- Sistemin kurulacağı yerin elektrik enerjisi ihtiyacı doğrultusunda taşınabilmekte ve depolanabilmektedir.
- Modüler bir yapıdan oluşması sebebiyle, daha fazla elektrik enerjisine ihtiyaç duyulması ile sisteme ekleme yapılabilmektedir.

- Elektrik enerjisinin üretim sürecinde herhangi bir atık madde oluşmaması sebebiyle çevre dostu sistemler olarak bilinmektedir.
- Elektrik enerjisine ihtiyaç duyulan konumlara uygun ve yakın bir şekilde kurulabilmesi sebebiyle sistem içerisinde kayıp az, genel verimlilik ise fazla olmaktadır.

Fotovoltaik sistemlerin dezavantajları aşağıdaki sıralanmaktadır.

- Sistemler elektrik enerjisi üretebilmek için güneş ışınlamına ihtiyaç duyması sebebiyle geceleri elektrik enerjisi üretilmemektedir.
- Üretimlerinde yüksek teknolojiler kullanılması sebebiyle maliyetleri yüksek olmaktadır.
- Yüksek oranlarda elektrik enerjisine ihtiyaç duyulması ile büyük çaplı sistemler kurulması gerekmesi sebebiyle büyük alanlara ihtiyaç duyulmaktadır (Sayın ve Koç, 2011).

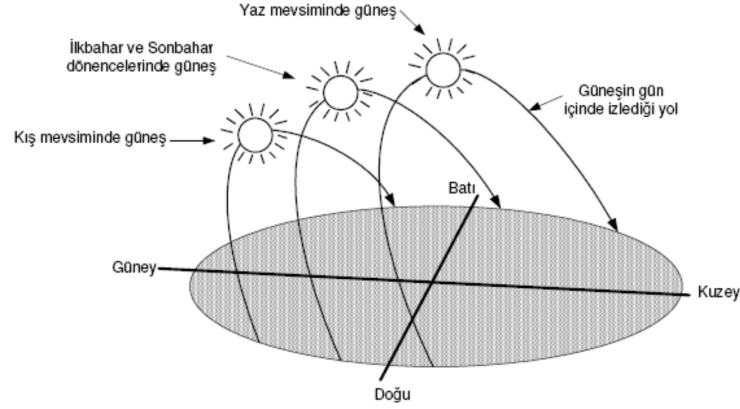
2.3. Güneş Takip Sistemleri

2.3.1. Güneş Takip Sistemlerinin Sınıflandırılması

Güneş takip sistemleri eksen ve kontrol yapısına göre iki başlık ile açıklanmaktadır.

2.3.1.1. Eksen Yapısına Göre Güneş Takip Sistemi

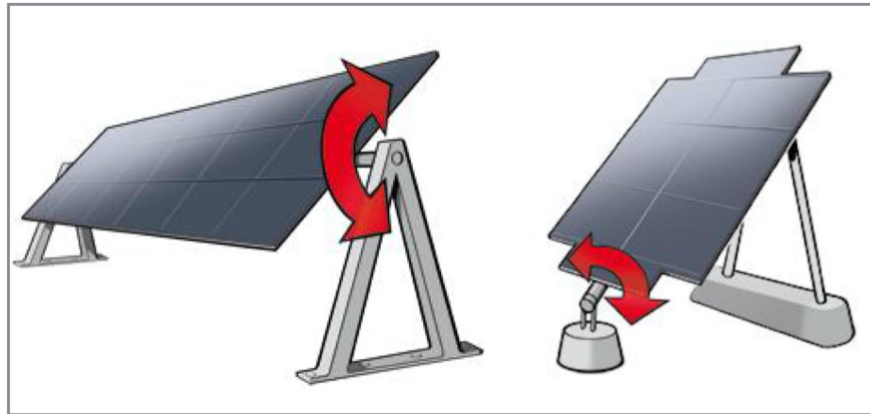
Eksen yapısına göre sistemler tek ve iki eksenli olarak ikiye ayrılmaktadır. Fotovoltaik paneller güneşin mevsimsel ve günlük olarak yaptığı hareketi takip etmektedir. Şekil 2.12’de güneşin mevsimlere göre yapmış olduğu hareketler gösterilmektedir.



Şekil 2.12. Güneşin Mevsimlere Göre Hareketi

2.3.1.1.1. Tek Eksenli Güneş Takip Sistemi

Bu sistemlerde, fotovoltaik paneller güneşi tek bir eksen doğrultusunda takip etmektedir. Tek eksenli hareket ise dikey ve yatay eksenli takip tekniği olarak ikiye ayrılmaktadır. Yatay eksenli güneş takip sistemleri, güneşin tam tepede bulunduğu anlar ile gündüz süresinin kısa olarak yaşandığı yerlerde daha fazla verim elde edilmek amacıyla kullanılmaktadır. Dikey eksenli güneş takip sistemleri ise güneşin tam tepeye ulaşamadığı yerler ile gündüz süresinin uzun olarak yaşandığı yerlerde tercih edilmektedir. Sonuç olarak, sabit paneller kullanılarak kurulan sistemler ile tek eksenli güneş takip eden sistemler karşılaştırıldığında, yaklaşık olarak %20 oranında verimliliğin fazla olduğu görülmektedir (Roth vd., 2005). Şekil 2.13’de tek eksenli güneş takip sisteminin nasıl çalıştığı gösterilmektedir.



Şekil 2.13. Tek Eksenli Güneş Takip Sistemleri

2.3.1.1.2. İki Eksenli Güneş Takip Sistemi

Bu sistemlerde, fotovoltaik paneller güneşi iki eksen doğrultusunda takip etmektedir. Güneş, yatay ve dikey eksen üzerinde takip edebilmektedir. Bu sayede, tek eksenli güneş takip sistemlerine ve sabit panellere göre daha fazla verim elde edilmektedir. Bir başka deyişle, iki eksenli güneş takip sistemlerinden, sabit panellerle kurulan sistemlere kıyasla %40 oranında daha fazla verim elde edilmektedir. Ayrıca, iki eksenli güneş takip sistemleri kullanılan tasarımlarda, hem yaz mevsiminde hem kış mevsimlerinde diğer sistemlere kıyasla daha çok verim elde edilmiştir (Singh ve Banerjee, 2016). Şekil 2.14’de iki eksenli güneş takip sisteminin nasıl çalıştığı gösterilmektedir.



Şekil 2.14. İki Eksenli Güneş Takip Sistemleri

2.3.1.2. Kontrol Yapısına Göre Güneş Takip Sistemi

Kontrol yapısına göz önünde bulundurulduğunda bu sistemler, kapalı ve açık döngü kontrollü sistemler olarak iki ayrı kategoriye ayrılmaktadır.

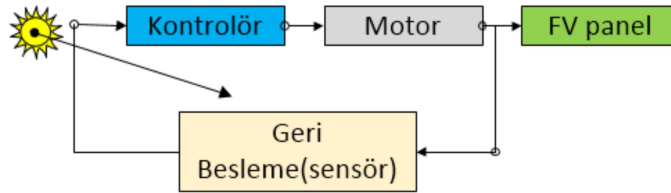
2.3.1.2.1. Kapalı Döngü Kontrollü Sistemler

Kapalı döngü kontrollü sistemlerin temelinde, sistemde geri besleme özelliği bulunması olarak bilinmektedir. Sistem içerisinde fotovoltaik panellerin güneş ışınlarına doğru yönelmesini sağlayan LDR ışık sensörleri kullanılmaktadır. Sensörlerin güneş ışınımı altında üretmiş olduğu gerilim, bir işlemciye veri olarak

gönderilmektedir. Bu veriler işlemcide belirlenen algoritma ile işlendikten sonra tahrik sistemine komut gönderilmekte ve fotovoltaik panellerin güneş ışınımlarını dik bir şekilde alması sağlanmaktadır. Bu süreç, işlemci içerisinde sürekli olarak yapılmaktadır. Bu sayede, sistem içerisinde bir geri besleme özelliği oluşmaktadır (Juang ve Radharamanan, 2014).

Kapalı döngü kontrollü sistemlerin güneşi etkili bir şekilde takip edilmesini, sistem içerisinde kullanılan sensörlerin ve işlemcinin hassasiyeti sağlamaktadır. Ayrıca, sensörlerin fotovoltaik panellerin üzerine monte edilme şekli ve atmosferik olaylara karşı temiz tutulması da etkili bir faktör olmaktadır.

Bu sistemlerin avantajı, sistemin maliyetinin açık çevrim kontrollü sistemlere kıyasla daha az olması olarak bilinmektedir. Ancak bu sistemin dezavantajı ise, güneşin bulutlanma sebebi ile net bir şekilde sensörler tarafından algılanamaması ve bu süreç içerisinde sistemin mevcut durumunu koruması olarak bilinmektedir (Melo vd., 2017). Şekil 2.15’de kapalı döngü kontrollü güneş takip sisteminin temel algoritması gösterilmektedir.



Şekil 2.15. Kapalı Döngü Kontrollü Sistemler

2.3.1.2.2. Açık Döngü Kontrollü Sistemler

Açık döngü kontrollü sistemlerin temelinde, fotovoltaik panellerin güneşin konumunu takip etmesini sağlayan algoritmalar kullanılmaktadır. Bu algoritma içerisinde, önceden belirlenen konumda güneşin bir yıl içerisindeki her bir güne ait dakikalık periyotlar içerisinde güneşin konumu bulunmaktadır. Bu veriler, sistem içerisinde kullanılan gelişmiş bir PLC (Programmable Logic Controller) kullanılarak işlenmekte ve tahrik sistemine doğrudan komut verilmektedir.

Açık döngü kontrollü sistemlerde kullanılan algoritmalar, NREL SPA (National Renewable Energy Laboratory- Sun Position Algorithim) kullanılarak oluşturulmaktadır. NREL SPA kullanılarak oluşturulan algoritmalarda, azimut ve zenit açılarının kontrolü 64 bitlik aritmetik doğruluk sağlayabilmektedir. Bu sebepten ötürü, bu sistemlerin güneşi takip ederken yapmış olduğu hareketler $0,05^\circ$ hassasiyete sahip olabilmektedir (Reda ve Andreas, 2008).

Bu sistemin avantajı, kapalı döngü kontrollü sistemlere kıyasla güneşi takip etme hassasiyetinin daha iyi olması olarak bilinmektedir. Ancak bu sistemin dezavantajı ise, sistem içerisinde ya da meydana gelebilecek olan çeşitli atmosferik olaylar sonucunda güneşin etkili bir şekilde takip edilip edilmediğini kontrol eden bir fonksiyonun bulunmaması olarak bilinmektedir (Melo vd., 2017). Şekil 2.16’de açık döngü kontrollü güneş takip sisteminin temel algoritması gösterilmektedir.



Şekil 2.16. Açık Döngü Kontrollü Sistemler

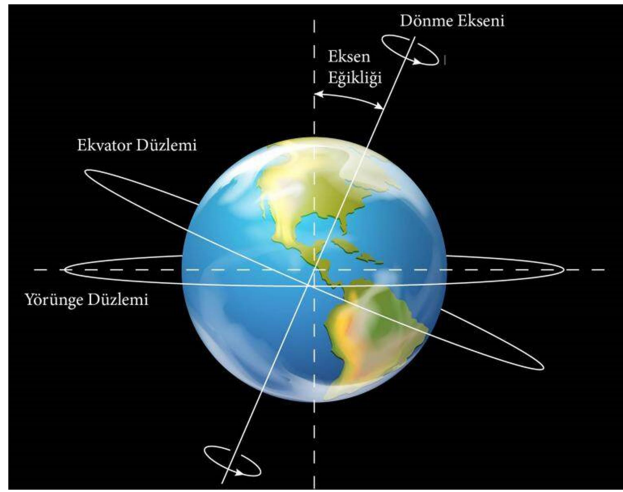
2.3.2. Güneş Açıları ve Hesapları

2.3.2.1. Enlem Açısı

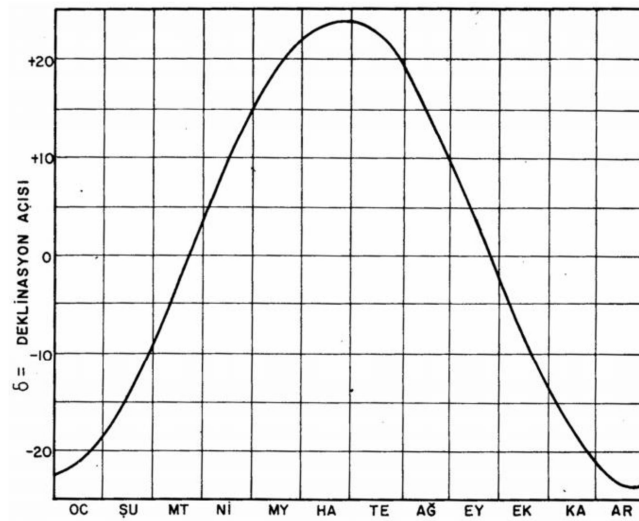
Enlem açısı (ϕ), Dünya yüzeyinde belirlenen bir noktanın, Ekvator düzlemindeki kuzey veya güney doğrusu ile yaptığı açı olarak tanımlanmaktadır. Bir başka deyişle, Ekvator düzelimin kuzeyine veya güneyine doğru açısal olarak yer değiştirme olarak da bilinmektedir. Enlem açısı $-90 \leq \phi \leq 90$ arasında değerlere sahip olmaktadır. Bir başka deyişle, enlem açısı Ekvator’un kuzeyinde pozitif değere, güneyinde ise negatif değere sahip olmaktadır (Perpiñan vd., 2009).

2.3.2.2. Deklinasyon Açısı

Deklinasyon açısı (δ), güneşten gelen ışınlardan Ekvator düzlemi arasındaki açı olarak bilinmektedir. Dünya'nın yörünge düzleminin normali ile dönme eksenini arasında $23,45^\circ$ açı farkı bulunmaktadır. Şekil 2.17'de Dünya'nın Eksenleri ve Düzlemleri gösterilmektedir. Bu açı, 21 Haziranda $23,45^\circ$ olmaktadır. 21 Aralıkta $-23,45^\circ$ değerine sahip olmaktadır. 21 Mart ve 23 Eylül günlerinde ise bu açı 0° olmaktadır. Şekil 2.18'de Deklinasyon Açısının Yıllık Değişimi gösterilmektedir (Duffie ve Beckman, 2013).



Şekil 2.17. Dünya'nın Eksenleri ve Düzlemleri



Şekil 2.18. Deklinasyon Açısının Yıllık Değişimi

Deklinasyon açısı Cooper tarafından bulunan aşağıda gösterilen formül kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\delta = 23.45^\circ \sin\left(360 \frac{n - 284}{365}\right)$$

Burada; d gün sayısını ifade etmektedir.

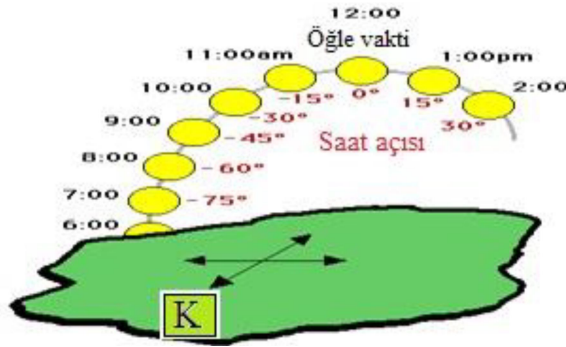
2.3.2.3. Saat Açısı

Saat açısı (ω), yeryüzünde belirlenen noktanın boylamı ve güneş ışınlarının bulunduğu boylam arasında kalan açı olarak tanımlanmaktadır. Saat açısı, her bir saat farkı ile 15° değişmektedir. Bu açı, öğleden önce negatif, öğleden sonra ise pozitif değerlere sahip olmaktadır.

Saat açısı aşağıda gösterilen denklem ile hesaplanmaktadır (Duffie ve Beckman, 2013).

$$\omega = 15(GS - 12)$$

Şekil 2.19'da saat açısının çeşitli saatlere göre değerleri gösterilmektedir.



Şekil 2.19. Saat Açısının Çeşitli Saatlere Göre Değerleri

2.3.2.4. Zenit ve Güneş Yükseklik Açısının Bağlantısı

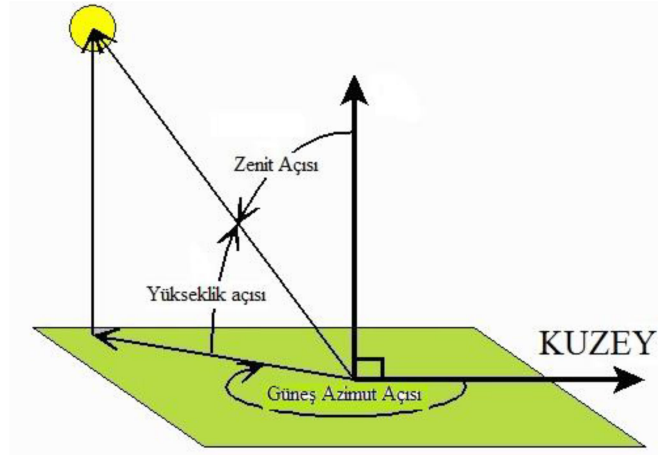
Zenit açısı (ψ), güneşin direkt ışınlarını ile yatay düzleme ait normal eksenini arasındaki açı olarak tanımlanmaktadır. Güneşin doğumuna ve batımına ait saatlerde zenit açısı 90° değerini, güneş ışınlarının açısının dik olduğu saatlerde 0° değerini almaktadır. Zenit açısının hesaplanabilmesi enlem açısı, deklinasyon

açısı ve saat açısının bilinmesi gerekmektedir. Zenit açısı aşağıda gösterilen denklem ile hesaplanmaktadır.

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

Güneş yükseklik açısı (α_s), güneşten direk olarak gelen ışınlamaların doğrultusu ve yatay düzlem arasında kalan açı olarak tanımlanmaktadır. Bir başka deyişle, zenit açısı ile yükseklik açısının toplamının 90° olması olarak bilinmektedir. Bu bağlamda zenit açısı ile yükseklik açısı arasında aşağıdaki denklemde gösterildiği gibi bir bağıntı bulunmaktadır (Duffie ve Beckman, 2013).

$$\cos(\psi) = \sin(\alpha_s)$$

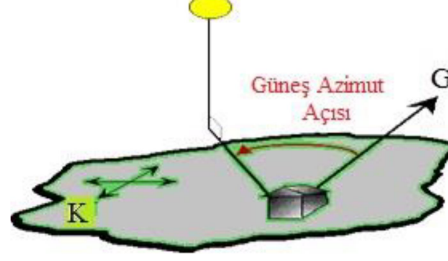


Şekil 2.20. Zenit ve Güneş Yükseklik Açıları

2.3.2.5. Güneş Azimut Açısı

Güneş azimut açısı (γ_s), Güneş ile Dünya doğrultusundaki yatay düzlem üzerindeki iz düşümünün, kuzey veya güney ile yaptığı açıdır. Bu açı, -180° ile 180° arasında değerlere sahip olmaktadır. Güney yönü başlangıç aldığı takdirde bu açı 180° değerini, kuzey yönünde 360° , doğu yönünde 90° , batı yönünde ise 270° değerini almaktadır (Duffie ve Beckman, 2013).

$$\sin(\gamma_s) = \frac{-\cos(\delta)\sin(\omega)}{\sin(\psi)}$$



Şekil 2.21. Güneş Azimut Açısı

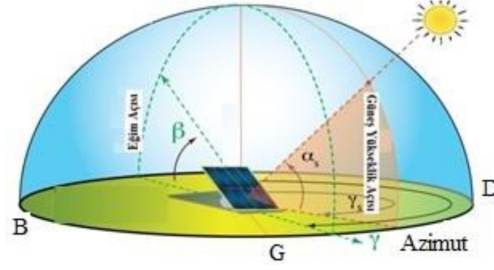
2.3.2.6. Yüzey Azimut Açısı

Yüzey azimut açısı (γ), belirlenen yüzeye ait normal ile güney yönü doğrultusunda yaptığı açı olarak tanımlanmaktadır. Bu açı, -180° ile 180° arasında değerlere sahip olmaktadır. Bir başka deyişle, güneye yönelen noktalarda 0° , batıya yönelen sistemlerde pozitif, doğuya yönelen sistemlerde ise negatif değerleri almaktadır. Bu bilgilerden yola çıkarak, kuzey yarım kürede belirlenen bir konuma yerleştirilen sabit fotovoltaik paneller güney yönüne doğru konumlandırılmakta ve yüzey azimut açısı 0° olarak alınmaktadır. Güneş takip sistemlerinde ise bu açı, aşağıda gösterilen denklem kullanılarak hesaplanmaktadır. Yüzey azimut açısı, aşağıda gösterilen denklem ile hesaplanmaktadır.

$$\gamma = \gamma_s - 180^\circ$$

2.3.2.7. Eğim Açısı

Eğim açısı (β), belirlenen yüzey ile yatay zemin arasında kalan açı olarak tanımlanmaktadır. Bu açı, -90° ile 90° arasında değerlere sahip olmaktadır. Belirlenen bir konuma yerleştirilen sabit fotovoltaik paneller belirli bir eğim açısı kullanılarak yerleştirilmektedir. Şekil 2.22’de eğim açısının gösterimi bulunmaktadır.

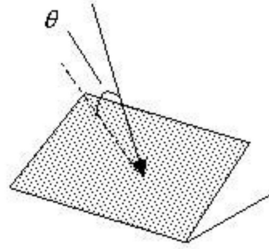


Şekil 2.22. Eğim Açısı

2.3.2.8. Geliş Açısı

Geliş açısı (θ), belirlenen yüzey üzerine düz güneş ışınımı ile bu yüzeyin normali arasında kalan açı olarak tanımlanmaktadır. Bu açı, yüzeye gelen güneş ışınları dik olması ile 0° olmaktadır. Güneş takip sistemleri tasarlanırken, güneş geliş açısının 0° olarak belirlenmesi gerekmektedir. Güneş geliş açısı, aşağıda gösterilen denklem ile hesaplanmaktadır. Şekil 2.23'de ise eğimli bir yüzeye gelen geliş açısı gösterilmektedir.

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin(\delta) \sin(\varphi) \cos(\beta) - \sin(\delta) \cos(\varphi) \sin(\beta) \cos(\gamma) + \\ & + \cos(\delta) \cos(\varphi) \cos(\beta) \cos(\omega) + \cos(\delta) \sin(\varphi) \sin(\beta) \cos(\gamma) \cos(\omega) + \\ & + \cos(\delta) \sin(\beta) \sin(\gamma) \sin(\omega) \end{aligned}$$

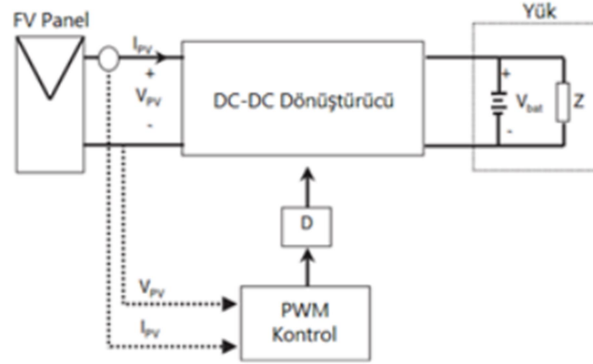


Şekil 2.23. Eğimli Bir Yüzeye Gelen Geliş Açısı

2.3.3. Maksimum Güç Noktası Takibi Sistemleri (MPPT)

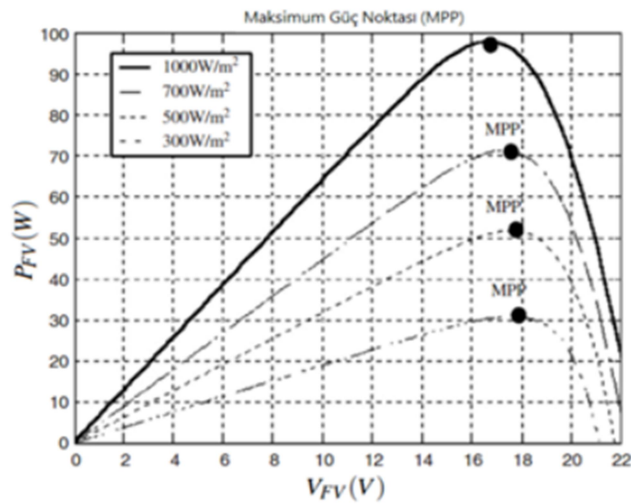
Günümüzde fotovoltaik sistemlerde panellere ait maksimum güç noktası takibi sistemlerinin kullanılmasının amacı, fotovoltaik paneller kullanılarak güneş ışınlarından elde edilen enerjinin, dolayısıyla gücün maksimum orana ulaşmasını hedeflemektedir. Bu amacın teknik açıdan tam olarak yerine gelmesi

için belirlenen sıcaklık ve ışıınım değeri kullanarak fotovoltaik panellerin çıkış geriliminin ve akımının gözlemlenmesi gerekmektedir. Şekil 2.24’de maksimum güç noktası takibi sistemleri kullanılan bir fotovoltaik sistemin genel şeması görülmektedir (Larbes vd., 2009).



Şekil 2.24. MPPT Kullanılan FV Sistemin Genel Şeması

Fotovoltaik panellerden elde edilecek gücün maksimum oranda olduğu noktaların belirlenmesi, çeşitli güneş ışıınım değeri kullanarak kararlaştırılmaktadır. Bunun sebebi ise fotovoltaik sistemlerin, bu noktalar kullanılarak tasarlanması olarak bilinmektedir. Bu noktaları gösteren grafik Şekil 2.25’de gösterilmektedir.



Şekil 2.25. Farklı Işıınım Değerlerinde Maksimum Güç Noktasının Değişimi

Güneş enerjisi kaynağı kullanılarak tasarlanan sistemlerde genellikle maksimum güç noktası takibi sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemlerin kullanımı ise kurulacak olan fotovoltaik sistemlerin kurulu gücüne göre çeşitlilik göstermektedir. Bir başka deyişle, maksimum güç noktası takibi sistemlerinin çeşitliliği, bu sistemlerde kullanılan çeşitli yaklaşımlara göre farklılık göstermektedir. Çeşitli yaklaşımlarla kurulan maksimum güç noktası takibi sistemleri kullanılarak DA-DA dönüştürücüler kontrol edilmektedir (Deveci ve Kasnakoğlu, 2014). Maksimum güç noktası takibi sistemlerinde sıklıkla kullanılan yaklaşımlardan yaygın olarak değiştir ve gözle yaklaşımı, artan iletkenlik yaklaşımı kullanılmaktadır. Bunlara ek olarak, bulanık mantık, kısmi açık devre (akım ölçümü) gerilim ve kısmi kısa devre (gerilim ölçümü) akım yaklaşımları da kullanılmaktadır.

2.3.3.1. Değiştir ve Gözle Yaklaşımı

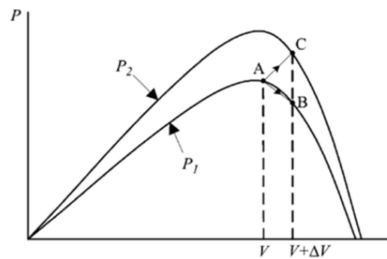
Değiştir ve gözle yaklaşımı, uygulanabilir olması ile yorumlanabilmesi bakımında net sonuçlara sahip olması açısından maksimum güç noktası takibi sistemlerine ait çalışmalarda en çok tercih edilen yaklaşım olarak görülmektedir. Bu yaklaşım ile fotovoltaik panelden en fazla derecede güç elde edilebilecek olan nokta, fotovoltaik panele ait akımın ve gerilimin değiştirilmesi ile ortaya çıkmaktadır. Örnek olarak, fotovoltaik panele ait akımın veya gerilimin referans alınan bir yöne doğru değiştirilmesi ile fotovoltaik panelin gücün arttığı veya azaldığı görülerek, akım veya gerilim aynı ve belirlenen değerlerde sürekli olarak değiştirilmektedir. Aksi bir durum görüldüğü takdirde yani akım veya gerilim artırılması ile gücün azaldığı ya da akım veya gerilimin azaltılması ile gücün arttığı görüldüğünde ise fotovoltaik panelin akım veya gerilim değerleri ters yönde değiştirilmektedir (Esrām ve Chapman, 2007).

Tablo 2.2. Değiştir ve Gözle Yaklaşımının Değişimleri

Değişim	Güçteki Değişim	Sonraki Değişim
Pozitif	Pozitif	Pozitif
Pozitif	Negatif	Negatif
Negatif	Pozitif	Negatif
Negatif	Negatif	Pozitif

Tablo 2.2’de fotovoltaik panelin akım veya gerilim değerlerinin değişimi ile güç değerlerindeki değişimler görülmektedir. Bu yaklaşım yöntemi kullanılarak fotovoltaik panellerin sahip olduğu maksimum güç noktasına ulaşıldığında ise elde edilen değerler grafik üzerinde belirli bir aralıkta osilasyon yapmaktadır. Osilasyon aralığının azaltılması ise fotovoltaik panellerin akım veya gerilim değerlerinde yapılan değişikliklerin daha az oranlarda olması ile sağlanmaktadır. Buna ek olarak, değişiklik oranının azalması ile maksimum güç noktası değerine daha net bir şekilde ulaşılmaktadır. Ancak, bu noktaya ulaşılması diğer değişikliklerin yapıldığı süre ile kıyaslandığında daha uzun olmakta ve bu durum, bu yaklaşım için bir dezavantaj olarak görülmektedir. Bu dezavantajın çözümü ise bu yaklaşımda uygulanacak olan değişikliklere ait oranların, hedeflenen maksimum gücün elde edileceği noktadan uzak olduğunda büyük oranlar, yakın olduğunda ise küçük oranlar kullanılmaktadır (Xiao ve Dunford, 2004).

Ayrıca, değiştir ve gözle yaklaşımında görülen diğer bir problem ise, fotovoltaik panellerin ani güneş ışınlamı değişimleri ile karşılaştığında yanlış veriler üretebilmesi olarak görülmektedir. Şekil 2.26’da, anlık ışınlamı değişimi doğrultusunda fotovoltaik panellere ait gücün değişimi gösterilmektedir. Bu şekle detaylı olarak bakıldığında, maksimum güç noktası takibi sistemlerinde kullanılan değiştir ve gözle yaklaşımına A noktasında başlandığında, çeşitli değişikliklerin uygulanmaktadır. Uygulanan bu değişikliğin değeri pozitif yönde ise sistem B noktasına ulaşmaktadır. Sonuç olarak, fotovoltaik panele ait gücün azaldığı gözlemlenerek ters yönde bir hareket uygulanması gerekmektedir. Bu durumda negatif yönde değişiklik uygulandığında ise fotovoltaik panelin gücünde bir artış oluşarak, sistemin C noktasına ulaştığı gözlemlenecektir. Bu durumun sonucu olarak, bir sonraki değişim yönü pozitif olarak uygulanacaktır (Ort, 2016).



Şekil 2.26. Anlık Işınlamı Değişimi ile Gücün Değişimi

2.3.3.2. Artan İletkenlik Yaklaşımı

Maksimum güç noktası takibi sistemlerinde kullanılan bir diğer yaklaşım artan iletkenlik yaklaşımıdır. Bu yaklaşım, fotovoltaik panele ait güç ve gerilim grafiğindeki eğimin analizi ile elde edilmektedir. Bu eğimin değerinin pozitif, negatif ve sıfır olmasına göre sistemin maksimum güç noktasında olup olmadığı görülmekte ve fotovoltaik panele ait gerilim değerlerinde çeşitli değişiklikler uygulanmaktadır. Tablo 2.3’de artan iletkenlik yaklaşımında fotovoltaik panele ait gerilim ile eğimine ait değerler verilmektedir (Xiao ve Dunford, 2004).

Tablo 2.3. Artan İletkenlik Yaklaşımında Değişim Durumları

Eğim	Sistemin Çalışma Gerilimi
$dP/dV = 0$	Maksimum Güç Noktasında
$dP/dV > 0$	Maksimum Güç Noktasının Solunda
$dP/dV < 0$	Maksimum Güç Noktasının Sağında

Artan iletkenlik yaklaşımı sonucunda hesaplanan eğim değerine göre sistemin maksimum güce sahip olduğu noktasının bulunması güneş ışınım değerlerinde oluşan değişiklikler ile değerlendirildiğinde, değiştir ve gözle yaklaşımına göre net ve anlaşılır sonuçlar vermektedir (Nedumgatt vd., 2011).

2.3.3.3. Kısmi Açık-Devre Gerilim Yaklaşımı

Kısmi açık devre gerilim yaklaşımında, fotovoltaik panelin iki farklı gerilim değerlerinin oranı alınmaktadır; açık devre gerilimi (V_{OC}) ve maksimum güce ait gerilim (V_{MPP}). Bu iki gerilim değerinin birbirine oranı k_1 parametresi olarak tanımlanmaktadır. Bu parametre, fotovoltaik panelin özelliğine göre değişiklik gösteren güneş ışınım ve sıcaklık değerine göre farklılık göstermektedir. Çalışmalardan elde edilen sonuçlara bakıldığında, k_1 parametresi değerinin 0,71 ile 0,78 arasında değişiklik gösterdiği bilinmektedir. (Esram ve Chapman, 2007). Bu eşitlik aşağıda gösterilmektedir.

$$V_{MPP} \approx k_1 * V_{OC}$$

Artan iletkenlik yaklaşımında k_1 değeri, fotovoltaik panelin pozitif ve negatif uçları yükten anlık olarak ayrılarak V_{oc} ve V_{MPP} değerleri hesaplanmaktadır. Bu yaklaşımın dezavantajı olarak, fotovoltaik panelin bağlı olduğu yükten ani olarak ayrılması ile oluşan enerji kaybı olarak görülmektedir (Özçelik ve Yılmaz, 2014).

2.3.3.4. Kısmi Kısa-Devre Akım Yaklaşımı

Kısmi kısa devre akım yaklaşımında, fotovoltaik panelin iki farklı gerilim değerlerinin oranı alınmaktadır; kısa devre akımı (I_{sc}) ve maksimum güç noktasındaki akımı (I_{MPP}). Bu değerler arasındaki ilişki, k_2 parametresi olarak tanımlanmaktadır. Bu parametre, fotovoltaik panel özelliğine göre çeşitlilik gösteren güneş ışıınımı değeri ile sıcaklık değeri doğrultusunda değişmektedir. k_2 parametresi fotovoltaik panelin özelliğine göre değişiklik gösteren bir parametre olarak bilinmektedir. İlgili denklem aşağıda gösterilmektedir (Özçelik ve Yılmaz, 2014).

$$I_{MPP} \approx k_2 * I_{sc}$$

Bu yaklaşımın dezavantajı ise fotovoltaik panel belirlenen şartlar altında çalışırken kısa devre akımının, I_{sc} görülmesi olarak bilinmektedir. Bu akım değerinin ölçülebilmesi için fotovoltaik sistemde ayrı bir sigorta vb. ekipman kullanılması gerekmektedir (Özçelik ve Yılmaz, 2014).

2.3.4. Önceki Çalışmalar

Literatüre bakıldığında güneş takip sistemleri üzerine yapılan çalışmalar sonucunda 2020 yılının sonunda tüm Dünyada güneş enerjisi sistemlerinin kurulu gücü 707.495 MW olarak hesaplanmıştır. 2020 yılına ait verileri bakıldığında, tüm enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisi 306.703GWh olarak hesaplanmıştır. Üretilen elektrik enerjisinin yüzde 34,5'u kömürden, yüzde 0,1'i sıvı yakıtlardan, yüzde 23,1'i doğalgazdan, yüzde 25,5'i hidrolik enerjiden ve yüzde 16,8'i ise yenilenebilir enerji ve atıklardan karşılanmıştır. 2020 yılı sonu itibarıyla toplam kurulu güç 95.890,6 MW ve yenilenebilir enerji kaynaklarının

kurulu gücü ise 6.667 MW olmuştur (TUİK, Erişim Tarihi: 05.04.2022). Kurulu gücü 73.814 MW olan Amerika'da ise elektrik enerjisi üretiminin artması için güneş takip sistemi kullanılarak santraller inşa edilmeye başlanmıştır. Bunlardan bazıları, California'da bulunan Beacon ve Mount Signal santralleri, Arizona'da bulunan Mesquite santrali, Nevada'da bulunan Techren ve Copper Mountain santralleri olarak sıralanmaktadır. Amerika'nın California şehrinde kurulu gücü 443 MW olan Springbok santralinde sabit fotovoltaik paneller kullanılmış ve 2017 yılına ait elektrik enerjisi üretimi 716.860 MWh olarak hesaplanmıştır. 400 MW kurulu güç ve tek eksenli güneş takip sistemine sahip fotovoltaik paneller ile kurulan Mesquite santrali ise 2017 yılında 1.145.231 MWh elektrik enerjisi ürettiği görülmüştür. Tüm bu bilgiler doğrultusunda, güneş takip sistemi ile kurulan santrallerden sabit fotovoltaik panellerle kurulan sistemlere kıyasla çok daha fazla elektrik enerjisi elde edilebildiği görülmektedir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Gereç

Gereç bölümünde, güneş takip sistemine sahip fotovoltaik panel ile sabit fotovoltaik panelin verimliliği karşılaştırılması amaçlanmaktadır. Detaylı bir şekilde açıklandığında, 250W'lık fotovoltaik panel verileri MATLAB/SIMULINK üzerinde UTC zaman diliminde 2020 yılına ait 365 günün saatlik verileri ile birlikte iki eksenli güneş takip sistemlerinin açık ve kapalı döngü kontrollü sistemler ve sabit fotovoltaik panel tasarlanmıştır. Her bir sistemden elde edilen kriterler ve parametreler detaylı bir şekilde incelenmiştir.

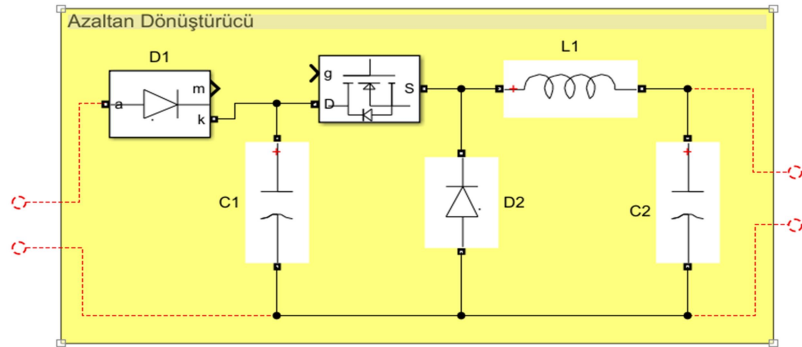
3.1.1. Çalışma Alanı

Tez çalışması kapsamında proje alanı olarak İzmir ili, Bornova ilçesi, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'ne ait bir alan seçilmiştir. Bu alana ait konum bilgileri ise enlem olarak 38.463, boylam olarak 27.240 olmaktadır.

3.1.2. Sistem Elemanları

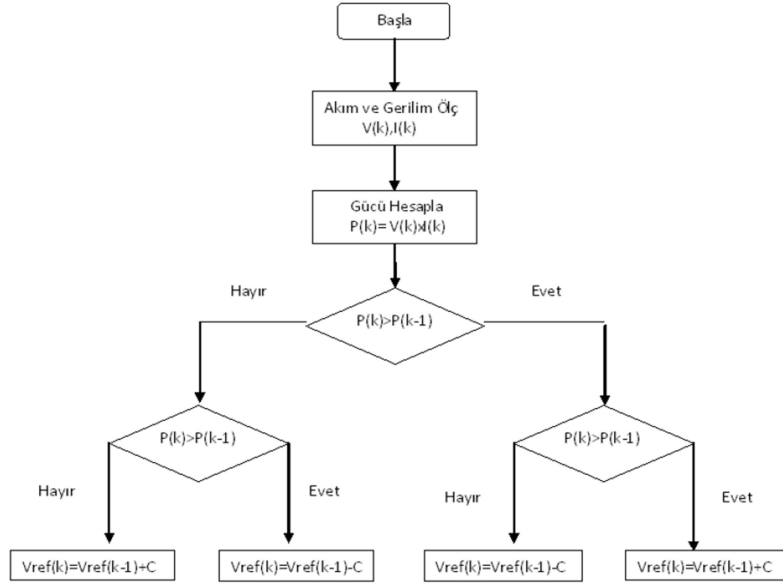
Bu çalışmada kullanılan panelin elektriksel özellikler, maksimum güç: 250W, maksimum güç gerilimi: 30,51V, maksimum güç akımı:8,25A, açık devre gerilimi:36,50V, kısa devre akımı:8,68A olarak bilinmektedir. Bu değerler kullanılarak panelden ve diğer sistem elemanlarından elde edilecek olan verim hesaplanabilmektedir. Fotovoltaik panelin çalışma sıcaklığı 25°C olarak sabitlenmiştir.

Maksimum güç noktası takibi sistemlerine ait devre içerisinde akülerin verimlilik açısından doğru şartlar altında şarj olabilmesi için azaltan dönüştürücü devresinin kullanılması uygun görülmüştür. Bu devreye ait şema ve elektriksel parametreler Şekil 3.1’de gösterilmektedir. Devrede kullanılan ekipmanların değerleri, kapasitörler için 1000 μ F, bobin için 10 mH, direnç için 0,02 Ω , diyotlar için gerilim değeri 0,5V ve frekans için 1000Hz seçilmiştir.



Şekil 3.1. Azaltan Dönüştürücü Devresi

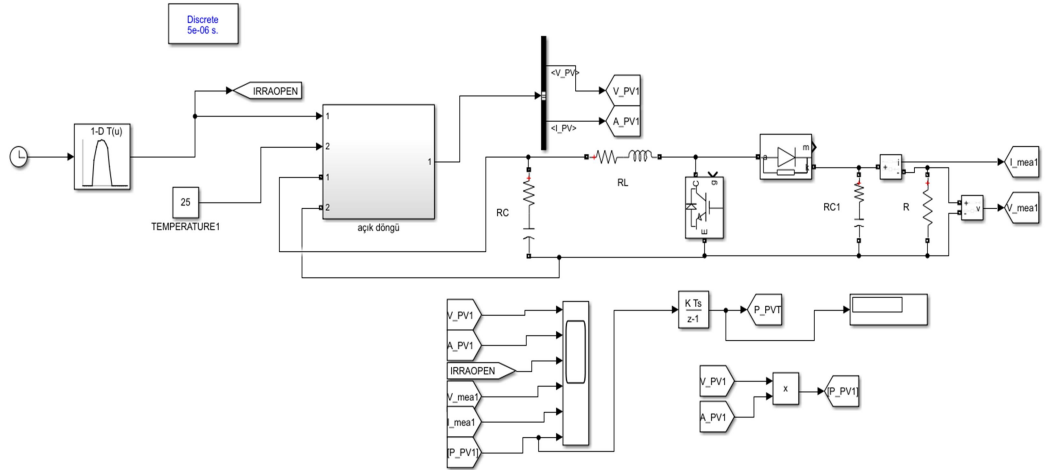
Maksimum güç noktası takibi sisteminde değiştir ve gözle yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşımda kullanılan algoritma aşağıda gösterilmektedir.



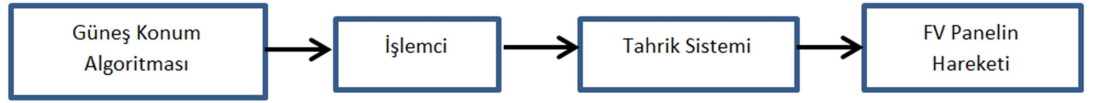
Şekil 3.2. Değiştir ve Gözle Yaklaşım Algoritması

3.2. Yöntem

Açık döngü kontrollü güneş takip sistem devresi Şekil 3.3’de modellenmiştir.

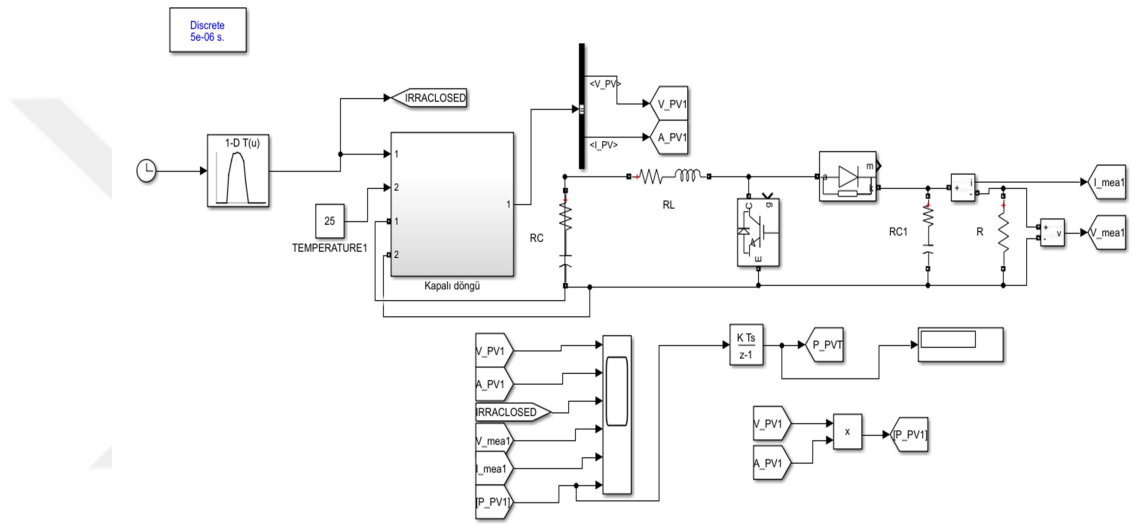


Şekil 3.3. Açık Döngü Kontrollü Güneş Takip Sistemi Devre Şeması



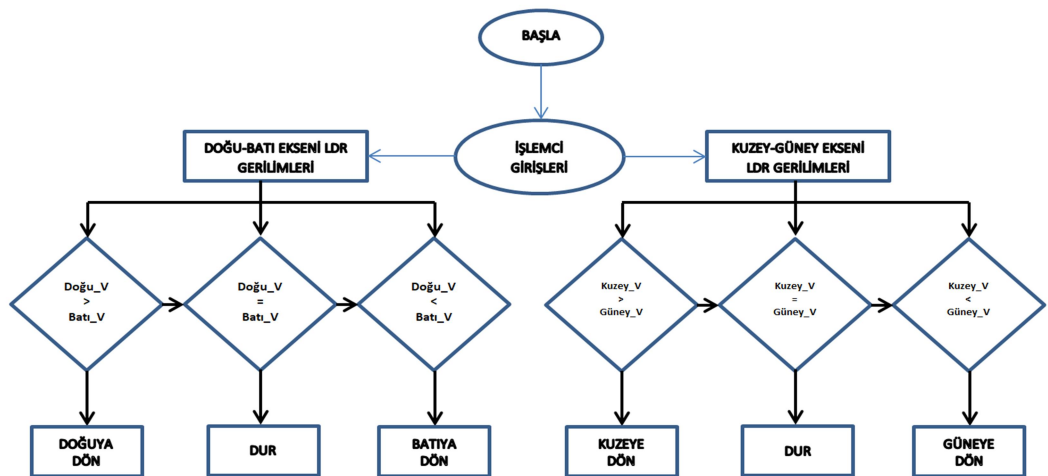
Şekil 3.4. Açık Döngü Kontrollü Güneş Takip Sistemi Algoritması

Kapalı döngü kontrollü sistem devresi Şekil 3.5’de modellenmiştir.



Şekil 3.5. Kapalı Döngü Kontrollü Güneş Takip Sistemi Devre Şeması

Kapalı döngü kontrollü güneş takip sistemine ait algoritma aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Kapalı Döngü Kontrollü Güneş Takip Sistemi Algoritması

Çalışmanın bu kısmında, sabit güneş paneli sistemi ile açık ve kapalı döngü kontrollü güneş takip sistemlerinin hesaplamaları yapılmıştır. Tasarlanan sistemlerde aynı özelliğe sahip 250Watt'lık fotovoltaik panel kullanılmıştır. Ortam sıcaklığı 25°C seçilmiş ve sabit tutulmuştur. Güneş ışıınımı verileri, İzmir İlinde belirlenen bir konumdan UTC zaman diliminde 2020 yılına ait 365 günlük saatlik olarak seçilmiştir. Bu veriler, Tablo 4.1 ile 4.12 arasında verilmiştir.

Sabit fotovoltaiik panel ile kurulan sistemlerden elde edilen elektrik enerjisi Tablo 4.13’de gösterilmektedir.

Tablo 4.1. Ocak Ayı Güneş Işınım Değerleri

AY	SAAT	Açık Döngü Işınım Değeri(W/m2)	Kapalı Döngü Işınım Değeri(W/m2)	Sabit Panel Işınım Değeri(W/m2)
OCAK	00:10	0,00	0,00	0,00
	01:10	0,00	0,00	0,00
	02:10	0,00	0,00	0,00
	03:10	0,00	0,00	0,00
	04:10	0,00	0,00	0,00
	05:10	0,00	0,00	0,00
	06:10	371,22	381,22	166,57
	07:10	595,70	611,74	382,26
	08:10	703,32	722,25	547,31
	09:10	811,57	833,41	704,33
	10:10	827,42	849,69	747,04
	11:10	780,92	801,94	700,06
	12:10	754,39	774,70	606,82
	13:10	710,04	729,15	479,79
	14:10	350,15	359,58	193,34
	15:10	0,32	0,33	0,48
	16:10	0,00	0,00	0,00
	17:10	0,00	0,00	0,00
	18:10	0,00	0,00	0,00
	19:10	0,00	0,00	0,00
	20:10	0,00	0,00	0,00
	21:10	0,00	0,00	0,00
	22:10	0,00	0,00	0,00
	23:10	0,00	0,00	0,00

Tablo 4.2. Şubat Ayı Güneş Işınım Değerleri

AY	SAAT	Açık Döngü Işınım Değeri(W/m2)	Kapalı Döngü Işınım Değeri(W/m2)	Sabit Panel Işınım Değeri(W/m2)
ŞUBAT	00:10	0,00	0,00	0,00
	01:10	0,00	0,00	0,00
	02:10	0,00	0,00	0,00
	03:10	0,00	0,00	0,00
	04:10	0,00	0,00	0,00
	05:10	2,16	2,22	2,71
	06:10	432,19	443,82	207,26
	07:10	546,40	561,10	373,97
	08:10	683,90	702,31	563,32
	09:10	683,86	702,26	631,76
	10:10	692,32	710,96	679,67
	11:10	707,45	726,49	688,42
	12:10	596,11	612,16	544,52
	13:10	572,76	588,17	433,96
	14:10	472,18	484,89	274,24
	15:10	224,02	230,05	82,38
	16:10	0,00	0,00	0,00
	17:10	0,00	0,00	0,00
	18:10	0,00	0,00	0,00
	19:10	0,00	0,00	0,00
	20:10	0,00	0,00	0,00
	21:10	0,00	0,00	0,00
	22:10	0,00	0,00	0,00
	23:10	0,00	0,00	0,00

Tablo 4.3. Mart Ayı Güneş Işınım Değerleri

AY	SAAT	Açık Döngü Işınım Değeri(W/m2)	Kapalı Döngü Işınım Değeri(W/m2)	Sabit Panel Işınım Değeri(W/m2)
MART	00:10	0,00	0,00	0,00
	01:10	0,00	0,00	0,00
	02:10	0,00	0,00	0,00
	03:10	0,00	0,00	0,00
	04:10	0,00	0,00	0,00
	05:10	94,44	96,98	94,15
	06:10	276,66	284,11	275,84
	07:10	465,93	478,47	464,53
	08:10	600,10	616,25	598,30
	09:10	732,30	752,01	730,11
	10:10	760,52	781,00	758,25
	11:10	733,20	752,93	731,00
	12:10	652,96	670,54	651,01
	13:10	526,89	541,07	525,31
	14:10	335,25	344,28	334,25
	15:10	157,22	161,46	156,75
	16:10	2,60	2,67	2,59
	17:10	0,00	0,00	0,00
	18:10	0,00	0,00	0,00
	19:10	0,00	0,00	0,00
	20:10	0,00	0,00	0,00
	21:10	0,00	0,00	0,00
	22:10	0,00	0,00	0,00
	23:10	0,00	0,00	0,00

Tablo 4.4. Nisan Ayı Güneş Işınım Değerleri

AY	SAAT	Açık Döngü Işınım Değeri(W/m2)	Kapalı Döngü Işınım Değeri(W/m2)	Sabit Panel Işınım Değeri(W/m2)
NİSAN	00:10	0,00	0,00	0,00
	01:10	0,00	0,00	0,00
	02:10	0,00	0,00	0,00
	03:10	0,00	0,00	0,00
	04:10	130,65	134,17	27,26
	05:10	480,09	493,02	182,10
	06:10	621,68	638,42	370,28
	07:10	746,67	766,77	571,89
	08:10	807,84	829,59	742,87
	09:10	845,57	868,33	840,29
	10:10	812,48	834,36	807,60
	11:10	795,86	817,28	802,62
	12:10	831,15	853,52	772,72
	13:10	769,13	789,84	586,04
	14:10	694,58	713,28	399,73
	15:10	542,81	557,42	199,27
	16:10	280,84	288,40	31,96
	17:10	0,00	0,00	0,00
	18:10	0,00	0,00	0,00
	19:10	0,00	0,00	0,00
	20:10	0,00	0,00	0,00
	21:10	0,00	0,00	0,00
	22:10	0,00	0,00	0,00
	23:10	0,00	0,00	0,00

Tablo 4.5. Mayıs Ayı Güneş Işınım Değerleri

AY	SAAT	Açık Döngü Işınım Değeri(W/m2)	Kapalı Döngü Işınım Değeri(W/m2)	Sabit Panel Işınım Değeri(W/m2)
MAYIS	00:10	0,00	0,00	0,00
	01:10	0,00	0,00	0,00
	02:10	0,00	0,00	0,00
	03:10	0,26	0,27	0,49
	04:10	336,14	345,19	58,91
	05:10	508,71	522,40	214,31
	06:10	692,96	711,61	409,23
	07:10	793,88	815,25	594,90
	08:10	836,52	859,04	760,04
	09:10	852,88	875,84	847,04
	10:10	812,35	834,21	824,25
	11:10	823,94	846,12	816,79
	12:10	795,98	817,41	725,03
	13:10	770,09	790,82	596,42
	14:10	738,97	758,87	412,07
	15:10	600,62	616,79	210,19
	16:10	350,02	359,44	55,04
	17:10	0,03	0,03	0,06
	18:10	0,00	0,00	0,00
	19:10	0,00	0,00	0,00
	20:10	0,00	0,00	0,00
	21:10	0,00	0,00	0,00
	22:10	0,00	0,00	0,00
	23:10	0,00	0,00	0,00

Tablo 4.6. Haziran Ayı Güneş Işınım Değerleri

AY	SAAT	Açık Döngü Işınım Değeri(W/m2)	Kapalı Döngü Işınım Değeri(W/m2)	Sabit Panel Işınım Değeri(W/m2)
HAZİRAN	00:10	0,00	0,00	0,00
	01:10	0,00	0,00	0,00
	02:10	0,00	0,00	0,00
	03:10	4,20	4,31	7,79
	04:10	425,69	437,15	75,04
	05:10	697,78	716,56	253,84
	06:10	853,78	876,76	467,58
	07:10	906,89	931,30	667,31
	08:10	873,45	896,96	797,39
	09:10	832,88	855,30	859,86
	10:10	809,48	831,27	846,79
	11:10	806,50	828,21	841,18
	12:10	840,87	863,50	742,95
	13:10	775,30	796,17	595,15
	14:10	788,23	809,44	436,26
	15:10	717,04	736,34	253,15
	16:10	556,06	571,03	74,93
	17:10	124,68	128,04	14,92
	18:10	0,00	0,00	0,00
	19:10	0,00	0,00	0,00
	20:10	0,00	0,00	0,00
	21:10	0,00	0,00	0,00
	22:10	0,00	0,00	0,00
	23:10	0,00	0,00	0,00

Tablo 4.7. Temmuz Ayı Güneş Işınım Değerleri

AY	SAAT	Açık Döngü Işınım Değeri(W/m2)	Kapalı Döngü Işınım Değeri(W/m2)	Sabit Panel Işınım Değeri(W/m2)
TEMMUZ	00:10	0,00	0,00	0,00
	01:10	0,00	0,00	0,00
	02:10	0,00	0,00	0,00
	03:10	0,23	0,24	0,43
	04:10	440,10	451,95	61,56
	05:10	784,71	805,83	243,03
	06:10	920,91	945,70	480,55
	07:10	969,98	996,09	677,76
	08:10	987,27	1013,84	823,18
	09:10	992,79	1019,51	953,96
	10:10	992,97	1019,70	987,01
	11:10	990,87	1017,55	968,30
	12:10	987,17	1013,74	862,36
	13:10	980,89	1007,29	723,00
	14:10	921,16	945,96	507,48
	15:10	822,42	844,55	286,96
	16:10	631,05	648,04	82,65
	17:10	116,20	119,33	13,56
	18:10	0,00	0,00	0,00
	19:10	0,00	0,00	0,00
	20:10	0,00	0,00	0,00
	21:10	0,00	0,00	0,00
	22:10	0,00	0,00	0,00
	23:10	0,00	0,00	0,00

Tablo 4.8. Ağustos Ayı Güneş Işınım Değerleri

AY	SAAT	Açık Döngü Işınım Değeri(W/m2)	Kapalı Döngü Işınım Değeri(W/m2)	Sabit Panel Işınım Değeri(W/m2)
AĞUSTOS	00:10	0,00	0,00	0,00
	01:10	0,00	0,00	0,00
	02:10	0,00	0,00	0,00
	03:10	0,00	0,00	0,00
	04:10	270,19	277,47	39,06
	05:10	670,71	688,77	215,87
	06:10	844,45	867,18	454,45
	07:10	940,81	966,14	673,39
	08:10	989,98	1016,63	869,45
	09:10	988,38	1014,99	957,13
	10:10	981,94	1008,37	978,26
	11:10	988,21	1014,81	971,00
	12:10	970,44	996,56	859,94
	13:10	934,52	959,68	689,55
	14:10	891,96	915,97	491,68
	15:10	762,06	782,57	278,71
	16:10	442,49	454,40	57,97
	17:10	0,00	0,00	0,00
	18:10	0,00	0,00	0,00
	19:10	0,00	0,00	0,00
	20:10	0,00	0,00	0,00
	21:10	0,00	0,00	0,00
	22:10	0,00	0,00	0,00
	23:10	0,00	0,00	0,00

Tablo 4.9. Eylül Ayı Güneş Işınım Değerleri

AY	SAAT	Açık Döngü Işınım Değeri(W/m2)	Kapalı Döngü Işınım Değeri(W/m2)	Sabit Panel Işınım Değeri(W/m2)
EYLÜL	00:10	0,00	0,00	0,00
	01:10	0,00	0,00	0,00
	02:10	0,00	0,00	0,00
	03:10	0,00	0,00	0,00
	04:10	40,88	41,98	9,23
	05:10	513,08	526,89	195,70
	06:10	806,50	828,21	449,53
	07:10	863,66	886,91	642,17
	08:10	912,05	936,60	817,63
	09:10	969,72	995,82	936,97
	10:10	949,06	974,61	943,93
	11:10	911,21	935,74	890,10
	12:10	884,54	908,35	784,30
	13:10	879,03	902,69	620,13
	14:10	745,11	765,17	399,53
	15:10	505,06	518,65	157,43
	16:10	46,92	48,18	6,77
	17:10	0,00	0,00	0,00
	18:10	0,00	0,00	0,00
	19:10	0,00	0,00	0,00
	20:10	0,00	0,00	0,00
	21:10	0,00	0,00	0,00
	22:10	0,00	0,00	0,00
	23:10	0,00	0,00	0,00

Tablo 4.10. Ekim Ayı Güneş Işınım Değerleri

AY	SAAT	Açık Döngü Işınım Değeri(W/m2)	Kapalı Döngü Işınım Değeri(W/m2)	Sabit Panel Işınım Değeri(W/m2)
EKİM	00:10	0,00	0,00	0,00
	01:10	0,00	0,00	0,00
	02:10	0,00	0,00	0,00
	03:10	0,00	0,00	0,00
	04:10	0,00	0,00	0,00
	05:10	316,74	325,26	124,03
	06:10	596,94	613,01	351,10
	07:10	720,23	739,62	546,03
	08:10	821,23	843,34	730,81
	09:10	860,68	883,85	821,39
	10:10	809,75	831,55	807,06
	11:10	788,53	809,76	731,65
	12:10	651,48	669,02	568,81
	13:10	617,63	634,26	425,42
	14:10	398,96	409,69	228,84
	15:10	96,64	99,25	31,03
	16:10	0,00	0,00	0,00
	17:10	0,00	0,00	0,00
	18:10	0,00	0,00	0,00
	19:10	0,00	0,00	0,00
	20:10	0,00	0,00	0,00
	21:10	0,00	0,00	0,00
	22:10	0,00	0,00	0,00
	23:10	0,00	0,00	0,00

Tablo 4.11. Kasım Ayı Güneş Işınım Değerleri

AY	SAAT	Açık Döngü Işınım Değeri(W/m2)	Kapalı Döngü Işınım Değeri(W/m2)	Sabit Panel Işınım Değeri(W/m2)
KASIM	00:10	0,00	0,00	0,00
	01:10	0,00	0,00	0,00
	02:10	0,00	0,00	0,00
	03:10	0,00	0,00	0,00
	04:10	0,00	0,00	0,00
	05:10	34,85	35,79	15,84
	06:10	576,58	592,11	311,10
	07:10	802,88	824,50	558,53
	08:10	867,78	891,14	715,30
	09:10	877,53	901,15	794,23
	10:10	842,51	865,19	791,00
	11:10	829,83	852,16	738,73
	12:10	804,47	826,13	613,57
	13:10	642,12	659,41	407,77
	14:10	390,42	400,93	174,23
	15:10	0,00	0,00	0,00
	16:10	0,00	0,00	0,00
	17:10	0,00	0,00	0,00
	18:10	0,00	0,00	0,00
	19:10	0,00	0,00	0,00
	20:10	0,00	0,00	0,00
	21:10	0,00	0,00	0,00
	22:10	0,00	0,00	0,00
	23:10	0,00	0,00	0,00

Tablo 4.12. Aralık Ayı Güneş Işınım Değerleri

AY	SAAT	Açık Döngü Işınım Değeri(W/m2)	Kapalı Döngü Işınım Değeri(W/m2)	Sabit Panel Işınım Değeri(W/m2)
ARALIK	00:10	0,00	0,00	0,00
	01:10	0,00	0,00	0,00
	02:10	0,00	0,00	0,00
	03:10	0,00	0,00	0,00
	04:10	0,00	0,00	0,00
	05:10	0,00	0,00	0,00
	06:10	240,35	246,82	123,39
	07:10	407,48	418,45	273,55
	08:10	535,37	549,78	424,06
	09:10	605,08	621,37	516,71
	10:10	593,89	609,87	548,39
	11:10	521,50	535,54	474,84
	12:10	510,97	524,72	399,52
	13:10	412,17	423,26	261,65
	14:10	201,67	207,10	105,81
	15:10	0,00	0,00	0,00
	16:10	0,00	0,00	0,00
	17:10	0,00	0,00	0,00
	18:10	0,00	0,00	0,00
	19:10	0,00	0,00	0,00
	20:10	0,00	0,00	0,00
	21:10	0,00	0,00	0,00
	22:10	0,00	0,00	0,00
	23:10	0,00	0,00	0,00

Tablo 4.13. Sistemlerden Elde Edilen Elektrik Enerjisi (Wh)

AYLAR	AÇIK DÖNGÜ GTS	KAPALI DÖNGÜ GTS	SABİT FV SİSTEM
OCAK	1164	1160	1098
ŞUBAT	1260	1256	1172
MART	1294	1289	1285
NİSAN	1609	1603	1389
MAYIS	1656	1651	1447
HAZİRAN	1757	1752	1504
TEMMUZ	1775	1769	1506
AĞUSTOS	1680	1674	1453
EYLÜL	1490	1485	1363
EKİM	1347	1340	1232
KASIM	1201	1195	1130
ARALIK	1100	1094	1024

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada, sırasıyla sabit panel ile açık ve kapalı döngü kontrollü yöntem ile çalışan güneş takip sistemi ayrı ayrı tasarlanmıştır. Her bir sistemde bulunan fotovoltaik panelin üzerine düşen güneş ışıınım değerleri çeşitlilik göstermektedir.

Bu bilgiler ışığında, açık döngü kontrollü güneş takip sistemi ile kapalı döngü kontrollü güneş takip sistemi karşılaştırıldığında, açık döngü kontrollü sisteminin Ocak ayında %0,34, Şubat ayında %0,32, Mart ayında %0,39, Nisan ayında %0,37, Mayıs ayında %0,30, Haziran ayında %0,29, Temmuz ayında %0,34, Ağustos ayında %0,36, Eylül ayında %0,34, Ekim ayında %0,52, Kasım %0,50 ve Aralık ayında %0,55 oranında daha verimli olduğu görülmektedir.

Tablo 4.14. Açık Döngü GTS & Kapalı Döngü GTS Karşılaştırması

AYLAR	AÇIK DÖNGÜ GTS	KAPALI DÖNGÜ GTS	KARŞILAŞTIRMA
OCAK	1164	1160	0,34%
ŞUBAT	1260	1256	0,32%
MART	1294	1289	0,39%
NİSAN	1609	1603	0,37%
MAYIS	1656	1651	0,30%
HAZİRAN	1757	1752	0,29%
TEMMUZ	1775	1769	0,34%
AĞUSTOS	1680	1674	0,36%
EYLÜL	1490	1485	0,34%
EKİM	1347	1340	0,52%
KASIM	1201	1195	0,50%
ARALIK	1100	1094	0,55%

Açık döngü kontrollü güneş takip sistemi ile sabit panel ile kurulan sistem karşılaştırıldığında, açık döngü kontrollü sisteminin Ocak ayında %6,01, Şubat ayında %7,51, Mart ayında %0,7, Nisan ayında %15,84, Mayıs ayında %14,44, Haziran ayında %16,82, Temmuz ayında %17,86, Ağustos ayında %15,62, Eylül ayında %9,32, Ekim ayında %9,33, Kasım %6,28 ve Aralık ayında %7,42 oranında daha verimli olduğu görülmektedir.

Tablo 4.15. Açık Döngü GTS & Sabit FV Sistem Karşılaştırması

AYLAR	AÇIK DÖNGÜ GTS	SABİT FV SİSTEM	KARŞILAŞTIRMA
OCAK	1164	1098	6,01%
ŞUBAT	1260	1172	7,51%
MART	1294	1285	0,70%
NİSAN	1609	1389	15,84%
MAYIS	1656	1447	14,44%
HAZİRAN	1757	1504	16,82%
TEMMUZ	1775	1506	17,86%
AĞUSTOS	1680	1453	15,62%
EYLÜL	1490	1363	9,32%
EKİM	1347	1232	9,33%
KASIM	1201	1130	6,28%
ARALIK	1100	1024	7,42%

Kapalı döngü kontrollü güneş takip sistemi ile sabit panel ile kurulan sistem karşılaştırıldığında, kapalı döngü kontrollü sistemin Ocak ayında %5,65,

Şubat ayında %7,17, Mart ayında %0,31, Nisan ayında %15,41, Mayıs ayında %14,10, Haziran ayında %16,49, Temmuz ayında %17,46, Ağustos ayında %15,21, Eylül ayında %8,95, Ekim ayında %8,77, Kasım %5,75 ve Aralık ayında %6,84 oranında daha verimli olduğu görülmektedir.

Tablo 4.16. Sabit FV Sistem & Kapalı Döngü GTS Karşılaştırması

AYLAR	KAPALI DÖNGÜ GTS	SABİT FV SİSTEM	KARŞILAŞTIRMA
OCAK	1160	1098	5,65%
ŞUBAT	1256	1172	7,17%
MART	1289	1285	0,31%
NİSAN	1603	1389	15,41%
MAYIS	1651	1447	14,10%
HAZİRAN	1752	1504	16,49%
TEMMUZ	1769	1506	17,46%
AĞUSTOS	1674	1453	15,21%
EYLÜL	1485	1363	8,95%
EKİM	1340	1232	8,77%
KASIM	1195	1130	5,75%
ARALIK	1094	1024	6,84%

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuç

Bu tez çalışması içerisinde sabit güneş paneli sistemi ile açık ve kapalı döngü kontrollü güneş takip sistemlerinin karşılaştırılmasının yapılması için MATLAB/Simulink programları kullanılarak devreler kurulmuş ve tasarlanmıştır. Bu devreler kullanılarak, İzmir İlinde belirlenen bir konumdan UTC zaman diliminde 2020 yılının 365 gününe ait saatlik veriler ile birlikte sistemlerin ürettiği elektrik enerjisi hesaplanmıştır. Günümüzde, güneş takip sistemleri ile kurulan fotovoltaik panellerle elde edilen enerjinin, sabit paneller ile kurulan sistemlere kıyasla daha verimli olduğu bilinmektedir. Yapılan bu çalışmanın sonucunda ise açık döngü kontrollü sistemlerin, sabit güneş panel ile kurulan sistemlere kıyasla bir yıl içerisinde ortalama %10,60 oranında; kapalı döngü kontrollü sistemlerin, sabit güneş panel ile kurulan sistemlere kıyasla %10,17 oranında; açık döngü kontrollü sistemlerin kapalı döngü kontrollü sistemlere göre ise %0,39 oranında daha verimli olduğu hesaplanmıştır.

6.2. Öneriler

Tasarlanan sistemde 1 adet 250Watt fotovoltaiik panel kullanılmasından ötürü verim oranı yüksek olmamaktadır. Bu sebepten ötürü, kullanılacak olan fotovoltaiik panel sayısının artması ile verim oranının da yüksek olması beklenmektedir. Buna ek olarak, açık döngü kontrollü sistemlerin, kapalı döngü sistemlere kıyasla daha verimli olduğu görölmektedir. Bunun sebebi olarak, açık döngü kontrollü sistemlerin atmosferik olaylardan etkilenmeden güneşi takip edebilmesi olarak bilinmektedir. Bu çalışmada kullanılan güneş ışıını verileri İzmir İlinde belirlenen bir konumdan UTC zaman diliminde 2020 yılının 365 gününe ait saatlik veriler seçilmiştir. Bu neden dolayı, açık ve kapalı döngü sistemlerinin verimliliği benzer oranlarda hesaplanmıştır. Atmosferik koşulların çeşitlilik gösterebildiği diğeri günlere ait güneş ışıını verileri kullanılarak yapılabilecek hesaplamalarda farklılık ortaya çıkabileceği düşünölmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Ajder, A.** (2011). Fotovoltaik güneş enerjisi sistemleri için optimum eğim açısının hesaplanması.
- Aksungur, K. M., Kurban, M. ve Filik, Ü. B.** (2013). Türkiye'nin Farklı Bölgelerindeki Güneş Işınım Verilerinin Analizi ve Değerlendirilmesi. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 3-6s.
- Bagher, A. M., Vahid, M. M. A. and Mohsen, M.** (2015). Types of solar cells and application. American Journal of optics and Photonics, 3(5), 94-113p.
- Bedeloğlu, A., Demir, A. ve Bozkurt, Y.** (2010). Fotovoltaik teknolojisi: Türkiye ve dünyadaki durumu, genel uygulama alanları ve fotovoltaik tekstiller. Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, 4(2), 43-58s.
- Boztepe, M.** (2017). Fotovoltaik güç sistemlerinde verimliliği etkileyen parametreler. EMO İzmir Şubesi Aylık Bülteni, 321, 13-17s.
- Çağırtekin, Ö.** (2022). Fotovoltaik panellerde ısınma kaynaklı kayıpları azaltmak için panel yüzeylerinin farklı tasarımlarla soğutulması ve sonuçların analizi (Master's thesis, Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).
- Çakmak, Ç., Kurban, M. ve Dokur, E.** (2020). Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Ekonomik Analizi.
- Çelik, Z., Yılmaz, A. ve Sert, E.** (2015). Mikro Şebeke Bağlantılı Güneş Enerji Üretim Sistemlerinin Kontrolü. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18(2), 41-48s.

Çengel, Y. A. and Boles, M. A. (1996). Çeviren: Taner Derbentli. Mühendislik yaklaşımıyla termodinamik. 867s.

Çukurçayır, M. A. ve Sağır, H. (2008). Enerji sorunu, çevre ve alternatif enerji kaynakları. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, (20), 257-278s.

Demirtaş, S. (2010). Avrupa Birliği ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Bunlardan Biyokütlenin Önemi. 46. Dönem AB Temel Eğitim Kursu, Orman Genel Müdürlüğü, 2010 Ankara.

Deniz, E. (2013). Güneş Enerjisi Santrallerinde Kayıplar. III.Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildiriler

Deveci, O. ve Kasnakoğlu, C. (2014). Bir Fotovoltaik Sistemden Değişken Güneş Işınım Değerlerinde Maksimum Güç ve Sabit DA Gerilim Elde Edilebilmesine Yönelik DA. DA Dönüştürücü ve Kontrolcü Tasarımı, 187-193s.

Duffie, J. A. and Beckman, W. A. (2013). Solar engineering of thermal processes. John Wiley & Sons.

Duffie, J. A., Beckman, W. A. and Blair, N. (2020). Solar engineering of thermal processes, photovoltaics and wind. John Wiley & Sons.

Esram, T. and Chapman, P. L. (2007). Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques. IEEE Transactions on energy conversion, 22(2), 439-449p.

Eyim, A. (2016). G. W. Leibniz'in Descartes'in Hareket Kuramı Eleştirisi Üzerine Bir İnceleme. the Journal of Academic Social Sciences. 31. 134-134s. 10.16992/ASOS.1399.

Grubišić-Čabo, F., Nižetić, S. and Giuseppe Marco, T. (2016). Photovoltaic panels: A review of the cooling techniques. Transactions of FAMENA, 40(SI-1), 63-74p.

Güran, T. (1999). İktisat Tarihi. Acar Matbaacılık, İstanbul. 113-120s.

Habib, M. A., Sam, S., El-Hadidy, M. A. and Al-Zaharna, I. (1999). Optimization procedure of a hybrid photovoltaic wind energy system. Energy, 24(11), 919-929s.

Han, X., Lu, L., Zheng, Y., Feng, X., Li, Z., Li, J. and Ouyang, M. (2019). A review on the key issues of the lithium ion battery degradation among the whole life cycle. ETransportation, 1, 100005.

Haselhuhn, R. and Hemmerle, C. (2012). Temeller: Fotovoltaik sistemler. Editörler: Çatakli, M., Çatakli Enerji Yayıncılık, İstanbul, 3-69s.

He, W., Chow, T. T., Ji, J., Lu, J., Pei, G. and Chan, L. S. (2006). Hybrid photovoltaic and thermal solar-collector designed for natural circulation of water. Applied energy, 83(3), 199-210p.

Işiker, Y., Yeşilata, B. ve Bulut, H. (2006). Fotovoltaik panel gücüne etki eden çalışma parametrelerinin araştırılması. Ulusal güneş ve hidrojen enerjisi kongresi, 150, 155s.

Juang, J. N. and Radharamanan, R. (2014). Design of a solar tracking system for renewable energy. In Proceedings of the 2014 Zone 1 Conference of the American Society for Engineering Education (1-8p). IEEE.

Kabul, A. ve Yaşar, E. (2017). Fotovoltaik/termal (PV/T) hibrit sistemlerin soğutma tekniklerinin deneysel olarak incelenmesi. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 9(1), 17-32s.

Kan, H. (2016). Deneysel Amaçlı, Çift Eksenli Güneş Takip Sisteminin Labview Tabanlı Kontrolü (Master's thesis).

Kittler, R. and Darula, S. (2013). Determination of time and sun position system. Solar Energy, 93, 72-79p.

Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y. ve Uğurlu, İ. (2018). Dünyada ve Türkiye’de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirilmesi. Engineer & the Machinery Magazine, 59(692).

Koç, E. ve Kaya, K. (2015). Enerji Kaynakları-Yenilenebilir Enerji Durumu. Engineer & the Machinery Magazine, 56(668).

Koç, E. ve Şenel, M. C. (2013). Dünyada Ve Türkiye'de Enerji Durumu-Genel Değerlendirme. Engineer & the Machinery Magazine, (639).

Krauter, S. (2004). Increased electrical yield via water flow over the front of photovoltaic panels. Solar energy materials and solar cells, 82(1-2), 131-137p.

- Krauter, S., Araújo, R. G., Schroer, S., Hanitsch, R., Salhi, M. J., Triebel, C. and Lemoine, R.** (1999). Combined photovoltaic and solar thermal systems for facade integration and building insulation. *Solar Energy*, 67(4-6), 239-248p.
- Larbes, C., Cheikh, S. A., Obeidi, T. and Zerguerras, A.** (2009). Genetic algorithms optimized fuzzy logic control for the maximum power point tracking in photovoltaic system. *Renewable energy*, 34(10), 2093-2100p.
- Melo, A. G., Oliveira Filho, D., Junior, M. M. O., Zolnier, S. and Ribeiro, A.** (2017). Development of a closed and open loop solar tracker technology. *Acta Scientiarum. Technology*, 39(2), 177-183p.
- Messenger, R. A. and Abtahi, A.** (2018). *Photovoltaic systems engineering*. CRC press.
- Nedumgatt, J. J., Jayakrishnan, K. B., Umashankar, S., Vijayakumar, D. and Kothari, D. P.** (2011). Perturb and observe MPPT algorithm for solar PV systems-modeling and simulation. In 2011 Annual IEEE India Conference (1-6p). IEEE.
- Nsengiyumva, W., Chen, S. G., Hu, L. and Chen, X.** (2018). Recent advancements and challenges in Solar Tracking Systems (STS): A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 250-279p.
- Ort, M. İ.** (2016). *Fv Sistemlerde Güneşi Takip Eden Sistem Tasarımı Ve Mppt Kontrolü İle Enerjinin Yüke Maksimum Olarak Aktarılması* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Oskay, C. (2014). Sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde rüzgar enerjisinin önemi ve Türkiye’de rüzgar enerjisi yatırımlarına yönelik teşvikler. Niğde Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 7(1), 76s.

Özbaş, E. ve Alkış, M. (2018). Fotovoltaik Modüle Uygulanan Soğutma Tekniklerinin İncelenmesi.

Özçelik, M. A. ve Yılmaz, A. S. (2014). Solar Enerji Dönüşümünde, Maximum Güç Noktası İzleyicisinin Etkisi ve Kablosuz Enerji İletimine Uygulaması
Effect of Maximum Power Point Tracking in Solar Energy Conversion and Its Application of Wireless Power Transmission.

Öztürk, H. H. (2017). Güneş enerjisinden fotovoltaik yöntemle elektrik üretiminde güç dönüşüm verimi ve etkili etmenler. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri, 1, 1-14s.

Molecular Expressions, 2022

<https://micro.magnet.fsu.edu/optics/timeline/people/young.html>, (Erişim Tarihi: 13.02.2022)

Perpiñan, O., Lorenzo, E., Castro, M. A., & Eyras, R. (2009). Energy payback time of grid connected PV systems: comparison between tracking and fixed systems. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 17(2), 137-147.

Petrol Mühendisleri Odası, 2022

<http://www.pmo.org.tr/> , (Erişim Tarihi: 13.02.2022)

- Pizzini, S.** (2010). Towards solar grade silicon: Challenges and benefits for low cost photovoltaics. *Solar energy materials and solar cells*, 94(9), 1528-1533.
- Reda, I. and Andreas, A.** (2008). Solar position algorithm for solar radiation applications (revised) (No. NREL/TP-560-34302). National Renewable Energy Lab.(NREL).
- Roth, P., Georgiev, A. and Boudinov, H.** (2005). Cheap two axis sun following device. *Energy Conversion and Management*, 46, 1179-1192p.
- Sarhaddi, F., Farahat, S., Ajam, H. and Behzadmehr, A.** (2010). Exergetic performance assessment of a solar photovoltaic thermal (PV/T) air collector. *Energy and Buildings*, 42(11), 2184-2199p.
- Sayın, S. ve Koç, İ.** (2011). Güneş Enerjisinden Aktif Olarak Yararlanmada Kullanılan Fotovoltaik (Pv) Sistemler Ve Yapılarda Kullanım Biçimleri. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 26(3), 89-106s.
- Selbaş, R. ve Çetin, H.** (2022). Fotovoltaik Güneş Sanrallerinin Verimlerinin Değişiminin İncelenmesi. *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi*, 6(1), 10-17s.
- Sharma, S., Jain, K. K. and Sharma, A.** (2015). Solar cells: in research and applications—a review. *Materials Sciences and Applications*, 6(12), 1145p.
- Singh, R. and Banerjee, R.** (2016). Impact of solar panel orientation on large scale rooftop solar photovoltaic scenario for Mumbai. *Energy Procedia*, 90, 401-411p.

Sungur, C. (2009). Multi-axes sun-tracking system with PLC control for photovoltaic panels in Turkey. *Renewable energy*, 34(4), 1119-1125p.

Şenpınar, A. (2006). Güneş Açılarına Bağlı Olarak Optimum Sabit Güneş Paneli Açısının Hesaplanması. *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*, 4(2), 36-41s.

Taylor, T. (1818). *The Nicomachean ethics*. AJ Valpy.

Türkdoğan, S., Dilber, S. ve Çam, B. (2018). Hibrit Enerji Sistemlerinin Şebekeden Bağımsız Bir Çiftlik Evinde Uygulanabilirliğinin Ekonomik ve Teknik Açısından İncelenmesi. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(2), 52-65s.

Türkiye İstatistik Kurumu, 2022

<https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Cevre-ve-Enerji-103> ,
(Erişim Tarihi: 13.02.2022)

Türkiye Kömür İşletmeleri, 2022

<http://www.tki.gov.tr/> , (Erişim Tarihi: 13.02.2022)

Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, 2022

<http://www.tpao.gov.tr/winter2005/bg-tr/alt/maliisler.html>, (Erişim Tarihi: 13.02.2022)

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022

<https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-ruzgar>, (Erişim Tarihi: 15.06.2022).

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022

<https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-biyokutle#:~:text=Elektrik%20%C3%BCretiminde%20de%20yayg%C4%B1n%20bir,pay%C4%B1%20a%C5%9Fa%C4%9F%C4%B1daki%20grafiklerde%20yer%20almaktad%C4%B1r>, (Erişim Tarihi: 15.06.2022).

Varınca, K. B. ve Gönüllü, M. T. (2006). Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma. Ulusal güneş ve hidrojen enerjisi kongresi, 21, 23s.

Venkateswari, R. and Sreejith, S. (2019). Factors influencing the efficiency of photovoltaic system. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 101, 376-394p.

Xiao, W. and Dunford, W. G. (2004). A modified adaptive hill climbing MPPT method for photovoltaic power systems. In 2004 IEEE 35th annual power electronics specialists conference (IEEE Cat. No. 04CH37551) (Vol. 3, 1957-1963p).



TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince hem gerekli çalışmaları tamamlamamı sağlayan hem de tez çalışmamın biçimlenmesinde emeği geçen Doç. Dr. Koray ÜLGEN'e, ve manevi desteği ile yanımda olan aileme ve bu tez çalışmamı başarılı bir şekilde tamamlamam için varlığını esirgemeyen Gizem Simirna ÖZDİREK'e teşekkürü bir borç bilirim.

/01 / 2023

İmzası

Adı-Soyadı

HANDE DEMİRÖZ

ÖZGEÇMİŞ

HANDE DEMİRÖZ

EĞİTİM BİLGİLERİ

2020- Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, Enerji Teknolojisi
(3,94/4)

2014-2017 Ege Üniversitesi Uzaktan MBA, İşletme Bölümü (3,09/4)

2007-2013 Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik
Mühendisliği (2,15/4)

2005-2007 Eskişehir Anadolu Lisesi

2003-2005 Çiğli Milli Piyango Anadolu Lisesi

YABANCI DİLLER

- İngilizce (Çok iyi)
- Almanca (Başlangıç)

BİLGİSAYAR BİLGİLERİ

- MS Office Uygulamaları (Excel, Word, PowerPoint)
- C++ Programming Language
- MATHCAD
- AUTOCAD, AUTOCAD NAVISWORKS
- CANIAS
- PROTEUS

İLGİ ALANLARI

- Gitar Çalmak
- Tenis Oynamak

REFERANSLAR

Atilla Yetim

ENKA- Proje Yöneticisi

Serkan Eygi

EGE GAZ A.Ş. - Yönetici

Doç. Dr. Koray Ülgen

Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, Yönetim Kurulu Üyesi

