T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİYARBAKIR İLİ İÇİN ÇİFT EKSENLİ GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİNİN VERİM ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şeyhmus KARABULUT

YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Abdulkerim KARABİBER

BİNGÖL-2022

ÖNSÖZ

Tez konumun belirlenme ve gerçekleştirilme aşamalarında bilgi birikimini ve deneyimlerini benimle paylaşan, yardımlarını esirgemeyen danışman hocam; Doç. Dr. Abdulkerim KARABİBER'e teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde emek sahibi olan, hayatımın her döneminde olduğu gibi yüksek lisans eğitimi süresince de göstermiş olduğu destek ve yardımlarından dolayı kıymetli aileme özellikle de eşime teşekkürlerimi sunuyorum.

Şeyhmus KARABULUT
Bingöl 2022

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ i

İÇİNDEKİLER ii

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ iv

ŞEKİLLER LİSTESİ vi

TABLOLAR LİSTESİ viii

ÖZET ix

ABSTRACT x

1. GİRİŞ 1

2. KAYNAK ÖZETLERİ 3

2.1. Güneş Enerjisi 6

2.2. Türkiye'de Güneş Enerji Potansiyeli 7

2.3. Diyarbakır İl'inin Güneş Enerji Potansiyeli 8

2.4. Güneş Açıları 11

2.4.1. Enlem Açısı 11

2.4.2. Deklinasyon Açısı 12

2.4.3. Saat Açısı 13

2.4.4. Zenit Açısı ile Güneş Geliş Açısı 13

2.4.5. Güneş Azimut ile Yüzey Azimut 14

2.4.6. Eğim Açısı 14

2.5. Güneş Panelleri 15

2.6. Fotovoltaik Etki Olayı 15

2.7. Fotovoltaik Panellerin Yapımında Kullanılan Malzemeler 16

2.8. Fotovoltaik Panel Üretim Tipleri 17

2.8.1. Monokristal 18

2.8.2. Polikristal 18
2.9. Güneş Takip Sistemleri ve Sınıflandırılması 19
2.9.1. Serbestlik Ekseni Sayısına Göre Sınıflandırma 19
2.9.2. Güneş Takip Sistematiğine Göre Sınıflandırma 21
3. MATERYAL VE YÖNTEM 25
3.1. PV Panel 25
3.2. DC Servo Motor 26
3.3. Solar Göz 27
3.4. Tasarlanan Sistemin Kontrol Ünitesi 28
3.4.1. Arduino UNO 28
3.4.2. Sistemin Akış Diyagramı 30
3.4.3. Kontrol Algoritması 30
3.5. Sistemin ISIS Tasarımı 31
3.6. Diyarbakır'ın Güneş Açılarının Hesapları 32
3.6.1. Hottel-Woertz Metodu 32
3.6.2. Sabit Güneş Paneli için Örnek Açı Hesabı 33
3.7. Tasarlanan Çift Eksenli PV Sistemin Uygulanması ve Sonuçlar 34
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 36
4.1. Sabit ve Hareketli Sistemlerden Veri Toplanması ve Karşılaştırılması 36
4.2. Verim Hesapları 40
4.3. Performans için Verim Analizi 42
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 43
KAYNAKLAR 44

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ÇEGTS	: Çift eksenli güneş takip sistemi
DC	: Doğru akım
FF	: Dolgu faktörü
GTS	: Güneş takip sistemi
I	: Akım
Imp	: Yüksek güç tüketimindeki akım
Isc	: Kısa devre akımı
KB	: Kilo bayt
Kg	: Kilogram
Kg.cm	: Tork
Kg.f	: Sıkıştırma torku
mA	: Mili amper
MHz	: Mega herzt
MW	: Mega watt
n	: Yıl içinde gün sayısı
Psabit	: Sabit sistemin gücü
Phareketli	: Hareketli sistemin gücü
Pmax	: Maksimum güç
Pfark	: Hareketli ile sabit sistemin güç farkı
PV	: Fotovoltaik
PWM	: Darbe genlik modülasyonu

s	: Saniye
V	: Gerilim
Vcc	: Besleme voltajı
Vmp	: Yüksek güç tüketimindeki gerilim
Voc	: Açık devre voltajı
W	: Watt
Wp	: Maksimum güç
TWh	: Tera waat/saat
η	: Verim
δ	: Deklinasyon açısı
$\emptyset$	: Enlem açısı
θZ	: Zenit açısı
θ	: Güneş geliş açısı
β	: Eğim açısı
ω	: Saat açısı
γ	: Yüzey azimut açısı
α	: Güneş yükseklik açısı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Türkiye'nin Güneş Enerji Atlası 7
Şekil 2.2. Türkiye'nin Güneşlenme Süreleri (Saat) 8
Şekil 2.3. Diyarbakır İli Günlük Ortalama Güneş Radyasyonu Dağılımı 9
Şekil 2.4. Diyarbakır İli Güneşlenme Süreleri (Saat) 10
Şekil 2.5. Diyarbakır İli Global Radyasyon Değerleri 10
Şekil 2.6. Sabit Bir Panelin Optimum Montaj Açısı 14
Şekil 2.7. Fotovoltaik Panellerin Hücre Görüntüsü 15
Şekil 2.8. Pv Hücrenin Çalışma İlkesi. 16
Şekil 2.9. Mono Kristal Pv Panel Yapısı 18
Şekil 2.10. Poli Kristal Pv Panel Yapısı 19
Şekil 2.11. Tek Eksenli Gts 20
Şekil 2.12. Çift Eksenli Gts 21
Şekil 2.13. Pasif Sensörlü Takip 22
Şekil 2.14. Aktif Sensörlü Takip 23
Şekil 2.15. Kronolojik Takip 24
Şekil 3.1. a) Tasarlanan Çegts, b) Tasarlanan Çegts Ana Şasesi 25
Şekil 3.2. Pv Panel 26
Şekil 3.3. Dc Servo Motor 27
Şekil 3.4. Solar Göz 28
Şekil 3.5. Arduino Uno 29
Şekil 3.6. Sistemin Akış Diyagramı 30
Şekil 3.7. Analog Girişlerin Kontrol Algoritmasında Gösterimi 31
Şekil 3.8. Sistemin Isıs Tasarımı 32

Şekil 3.9. Sabit Pv Panelin Eğim Açısına Göre Montajı 34

Şekil 3.10. Hareketli Ve Sabit Pv Panellerin Gösterimi-Önden Görünüş 34

Şekil 3.11. Hareketli Ve Sabit Pv Panellerin Gösterimi-Yandan Görünüş.....35

Şekil 3.12. 19 Ekim 2022 Sabit Ve Hareketli Sistem İçin Zaman-Güç Grafiği 37

Şekil 3.13. 21 Ekim 2022 Sabit Ve Hareketli Sistem İçin Zaman-Güç Grafiği 38

Şekil 3.14. 31 Ekim 2022 Sabit Ve Hareketli Sistem İçin Zaman-Güç Grafiği 40

Şekil 3.15. Hava Durumuna Göre Toplam Üretilen Güç Grafiği 41

Şekil 3.16. Hava Durumuna Göre Verim Analiz Grafiği 42

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Ortalama Deklinasyon Açıları…… 12

Tablo 2.2. Değişik Tip Pv Hücrelerin Verimsel Değerleri 17

Tablo 3.1. PV Panele Ait Teknik Özellikler 26

Tablo 3.2. Mg 996R Teknik Özellikler 27

Tablo 3.3. Arduino Uno Teknik Özellikler.....29

Tablo 3.4. 19 Ekim 2022 Güneşli Hava.....36

Tablo 3.5. 21 Ekim 2022 Parçalı Bulutlu Hava 38

Tablo 3.6. 31 Ekim 2022 Bulutlu Hava 39

DİYARBAKIR İLİ İÇİN ÇİFT EKSENLİ GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİNİN VERİM ANALİZİ

ÖZET

Teknolojinin gelişmesiyle artan enerji talebi ve zamanla daha önemli hale gelen çevreye duyarlılık gereksinimi yenilenebilir enerji sistemlerine olan ilgiyi artırmaktadır. Ayrıca, Dünya nüfusuyla birlikte kişi başına düşen enerji ihtiyacının artması, yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşmasını hızlandırmaktadır. Bu çalışmada, önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneşten daha verimli bir şekilde faydalanmak amacıyla iki eksende güneşi izleyebilen ve taşınabilir bir güneş takip sistemi tasarlanmıştır. Güneş takip sisteminin tasarımından önce konuyla ilgili literatür çalışması yapılmış ve konunun teorik altyapısı incelenmiştir. Güneş takip sistemini kontrolünde iki adet servo motor ve bir adet Arduino mikro işlemcisi kullanılmıştır. Güneşi anlık takip etmek için LDR dirençlerle solar göz tasarlanmıştır. Solar göz sayesinde güneşin konumu hassas bir şekilde takip edilebilmekte ve güneş ışınlarının fotovoltaik panellerin yüzeyine dik açıyla gelmesi sağlanmaktadır. Tasarlanan güneş takip sisteminin performansı farklı hava koşullarında sabit güneş sistemiyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, çift eksenli güneş takip sistemi sabit sisteme nazaran hava koşullarına bağlı olarak %11 ile %29 arasında daha fazla enerji üretmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçların, yakın gelecekte kurulacak olan solar sistemlerde, güneş takip sistemlerine olan ilgiyi artırmada faydalı olacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Solar sistemler, çift eksenli güneş takibi, fotovoltaik panel, yüksek enerji verimliliği.

DUAL AXIS TRACKING SYSTEMS EFFICIENCY ANALYSIS FOR DİYARBAKIR PROVINCE

ABSTRACT

Increasing energy demand with the development of technology and the need for environmental awareness, which has become more important over time, increase the interest in renewable energy systems. In addition, the increase in the energy need per capita with the world population accelerates the spread of renewable energy sources. In this study, a portable solar tracking system that can track the sun on two axes is designed in order to benefit more efficiently from the sun, which is one of the important renewable energy sources. Before the design of the solar tracking system, a literature study was conducted on the subject and the theoretical background of the subject was examined. Two servo motors and one Arduino microprocessor are used to control the solar tracking system. Solar eye is designed with LDR resistors to instantly follow the sun. Thanks to the solar eye, the position of the sun can be followed precisely and the sun's rays are provided to reach the surface of the photovoltaic panels at a right angle. The performance of the designed solar tracking system was compared with the fixed solar system in different weather conditions. According to the results obtained, the dual axis solar tracking system produced 11% to 29% more energy depending on the weather conditions compared to the fixed system. It is predicted that the results obtained in this study will be useful in increasing the interest in solar tracking systems in solar systems to be established in the near future.

Keywords: Solar systems, dual axis solar tracking systems, photovoltaic panel, high energy efficiency.

1. GİRİŞ

Günümüzde dünya nüfusundaki hızlı artış ve gelişen teknoloji enerjiye olan talebi önemli ölçüde artırmaktadır. Talep duyulan enerjiyi üretebilmek için iki tür kaynak bulunmaktadır. Bu kaynaklar yenilemeyen enerji kaynakları ile yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Yenilemeyen enerji kaynakları kömür, doğalgaz, petrol gibi hava kirliliğine neden olan ve çevreye zarar veren fosil kaynaklardır. Dünya genelinde enerji elde etmek için fosil kaynaklar kullanılmaktadır. Yapılan araştırmalara göre, önümüzdeki 30 yıl içeresinde fosil kaynakların tüketimi %80 azalacak ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı %50 oranında artacaktır (Banerjee et al., 2017).

Fosil kaynakların rezervleri azalış göstermekte ve doğaya verdiği zararlarından dolayı insanoğlu yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımındaki yükseliş ile birlikte, ülkelerin enerji maliyeti azalacak, hava kirliliği ve iklim değişikliğinden kaynaklanan sağlık maliyetlerinde düşüş sağlanacaktır (IRENA, 2022).

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA)'nın 2021 yılı ocak ayı raporuna göre, 2020 yılında küresel güneş enerjisi kurulu gücü 19,6 TWh iken 2021 yılında 22,6 TWh ulaşmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının 2025 yılı itibarıyla elektrik üretmenin birincil yolu olarak fosil yakıtlardan kömürü geride bırakması beklenmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan solar sistemler basit yapısı, yenilenebilir olması, bol bulunması ve doğa dostu olması nedeniyle oldukça avantajlıdır (IEA, 2021).

Fotovoltaik piller, üzerlerine güneş ışığı düştüğünde, güneş radyasyonunu elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerden meydana gelen düzeneklerdir. Fotovoltaik (PV) piller seri veya paralel bağlanarak güneş panellerini oluşturur. PV panellerin güneş ışığını elektrik enerjisine doğrudan dönüştürebilmesi solar sistemlerde tercih edilmelerinde en önemli etkendir (Ilse et al., 2018).

TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi) 2021 yılı mart ayı kurulu güç raporu verilerine göre; ülkemizde, üretilen enerjinin toplam kurulu gücü 97069,7 MW yenilenebilir enerji kaynaklarından üretim yapan santrallerin kurulu güçleri toplam 19462,6 MW'ı olup bu oran toplam kurulu gücün %20,05'ini oluşturmaktadır. Güneş enerjisine düşen pay; 7779 adet santral ve 6964,6 MW kurulu güçtür. Güneş enerjisinin toplam kurulu güçteki payı %7,17'dir. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarındaki santral sayısı ve kurulu güç toplamları daha önceki aylara nazaran artış göstermektedir (TEİAŞ, 2021).

Güneş pillerinden alınan performansın artırılması için kullanılan en yaygın yöntemler tek eksenli veya çift eksenli güneş takip sistemleridir. Tek eksenli sistemler güneş takip modülü için daha uygun ve kolay bir sistemdir. Bunun yanı sıra çift eksenli sistemler tek eksenli sistemlere nazaran, enerji verimliliği daha iyi ancak maliyeti daha fazladır (Gündoğdu et al., 2016).

Bu tez çalışmasında; Diyarbakır ilinde sabit PV sistemi ile Arduino tabanlı çift eksenli güneş takip sisteminin güç üretim performansları karşılaştırılmıştır. Sabit PV sistemi Diyarbakır ilinin güneş açıları hesaplanarak optimum açıda konumlandırılmıştır. Çift eksenli güneş takip sisteminin PV panelleri gün boyunca güneş takibi yapan solar göz sayesinde hem doğu-batı hem de kuzey-güney olmak üzere hareket edebilmektedir. Bu amaç doğrultusunda, Arduino tabanlı yazılımın algoritmaları tasarlanmış olup bu hareketli sistem solar göz yardımıyla otomatik olarak kontrol edilebilmektedir. Bu sistemde Arduino UNO mikro kontrolörünü kullanarak güneşten gelen ışınların solar göz ile analiz edildikten sonra güneşin konumu belirlenmiş ve bu konum bilgisine göre PV panel, iki eksende yani doğu-batı ile kuzey-güney yönlerine doğru DC servo motorlarla hareket ettirmektedir. Bu sayede güneş radyasyonunun çift eksenli güneş takip sistemlerin paneline dik açıda gelmesi sağlanarak verimin arttırılması sağlanmaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümde güneş takip sistemleriyle ilgili geçmişte yapılmış araştırmalara yer verilmiştir. Bu araştırmaların güneş takip sistemlerinde kullanılan yöntem ve tekniklere yer verilerek, sabit sistemlere göre verimlilik analizleri ele alınmıştır.

(Bingöl et al., 2006) çalışmalarında, mikro kontrollü ve farklı coğrafi bölgelerde çalışabilen bir GTS tasarlamıştır. Sistem, güneş radyasyonunun PV panellerinin üzerine dik açıyla gelmesini sağlamak için güneşin bulunduğu konumunu belirleyip PV panellerinin pozisyonunu kontrol etmektedir. Gerçekleştirilen güneş takip sistemi güneşi, yükselti ve açıklık düzlemlerinde izleyebilmektedir. Güneş radyasyonundan optimum düzeyde faydalanmak için, güneş radyasyonu PV panellere dik açıyla gelmelidir. Test edilen GTS izleme sisteminin avantajları ve dezavantajları belirlenmiştir. Avantajları, izleme sistemi kurulumun coğrafi konumuna göre PV paneli, azimutta maksimum güneş radyasyonunu aramak için tasarlandığından ve gün boyunca eğim açısına yani yükseklik açısına gerek duymaz ve periyodik olarak ayarlanabilir. Sistem ayrıca bilgisayar tabanlı izleme sağlar. Dezavantajı ise atmosferik kırılmalarda, zamansal değişimlerde, yağmur, bulut, sis vb. nedenler sistem için hatalı bir tespit verir ve PV panelinin yanlış konumlandırılmasına yol açabilmektedir.

(Sefa et al., 2010) çalışmalarında, GTS mekanizmasının kullanımı ile birlikte sabit PV panel sistemine göre daha fazla elektrik enerjisi üretileceğinden, enerji ihtiyacını daha iyi karşılayacak bir sistem ortaya çıkarmıştır. Çalışmalar sonucunda bu tip GTS mekanizmaların sabit PV panellere göre %30 ile %40 arası daha verimli olduğu belirlenmiştir. Farklı bir test sonuçlarına göre ise, GTS güneş radyasyonunun PV panelin yüzeyine dik açıda gelmesini sağlayarak elde edilen enerji miktarını arttırmaktadır. Bu GTS'ler kullanılarak PV panellerden elde edilen enerji performansı %35 oranında yükseltebilmektedir.

ABD Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı tarafından Denver eyaleti için yapılan çalışmaların ölçüm sonuçlarına göre;

• GTS olmayan sabit PV panellerden yaklaşık olarak 5,5 kW/m^2 yıllık ortalama elektrik enerjisi elde edilmiştir.
• Tek eksende GTS yapıldığında 7,2 kW/m^2 yıllık ortalama elektrik enerjisi elde edilmiştir. Buna kıyasla üretilen enerjiye göre tek eksenli GTS, GTS olmayan yani sabit sisteme göre verim artışı %30,9 bulunmuştur.
• ÇEGTS yapılırsa 7,4 kW/m^2 yıllık ortalama elektrik enerjisi elde edilmiştir.
Buna göre ÇEGTS'ler sabit sisteme göre verim artışı %34,5 bulunmuştur. Bu sonuçlara göre tek eksenli GTS ile ÇEGTS'ler sabit sistemli PV panellere göre veriminin daha yüksek olduğu görülmüştür (Messenger et al., 2004).

(Rustemli et al., 2010) Türkiye'de yaptığı çalışmalarında, PV panelin tek eksende güneşi takip etmesi sağlanarak tek eksenli GTS'nin sabit sistemlere göre yaklaşık olarak %29 daha fazla elektrik enerjisi ürettiği ve güneş takibi yapan sistemin performansının daha yüksek olduğunu tespit edilmişlerdir.

(Dong, et al., 2015) elde ettikleri sonuçlara göre, Arduino tabanlı çift eksenli GTS bir PV panelin elektrik üretimini önemli ölçüde artırmaktadır. Bu çalışmada, ışığa bağımlı direnç (LDR) ve DC motorlar kullanılarak dişli düzenlemesi ile mekanik bir yapı üzerinde tasarlanmış ve geliştirilmiş otomatik çift eksenli güneş takip sisteminin tasarımına yeni bir yaklaşım sunulmuştur. Arduino denetleyicisi kullanılarak iki eksenli güneş izleme uygulanmıştır. Geri besleme kontrol teorisini, LDR sensörü ve basit sistemlerle birlikte kullanan ve sağlam sistem performansı sunmak için çift eksenli DC motor ve bağımsız bir invertör kullanılmıştır. Kontrollerin uygulanması, basit ve etkili bir tasarım olan teknik bir yeniliktir. Alternatif olarak, cihazın işlevselliğini test etmek için ölçeklendirilmiş bir laboratuvar prototipi tasarlanmıştır. Çift eksenli güneş takip sisteminde gün içinde sensörlerden alınan bilgiler, Arduino yardımı ile yazılım üzerinden LDR'lere ve DC motorlara aktarılarak güneşin konumuna göre sistemin hareket etmesi sağlanmıştır. Güneş takipçisinin etkinliği deneysel olarak kanıtlanmıştır. Sonuçlar, GTS'nin sabit sistemden daha güvenilir ve verim olarak daha yüksek olduğunu göstermiştir.

(Önal et al., 2009) çalışmasında ülkemizde GTS üzerine yapılmış olan araştırmaları ayrıntılı bir şekilde ele almıştır. GTS yöntemlerini içeren çevre şartlarına uygun olarak, yüksek elektrik enerjisi elde etmek için iki eksenli GTS tasarlamıştır. Tasarımı yapılan

ÇEGTS otomatik olarak güneşi sensörlerle izlemiştir. Sabit PV panel sistemine oranla, tek eksenli GTS'ler %30 daha fazla enerji verimi sağladığını tespit etmiştir. Güneşi iki eksende izleyen GTS'lerin, bir alana yerleştirilen sabit PV panel sistemine oranla enerji üretim maliyetinin düşük ve performans veriminin daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Bu sistemlerde, güneş radyasyonunun PV panel yüzeyine dik açıda gelmesi sağlanıp enerji üretim miktarının önemli seviyede artmasını ve performans verimi de %40 oranında arttırdığını tespit edilmiştir.

Çift eksende güneşi izleyebilen sistem sehpasını tasarlayan (Aydın M., 2007) çalışmasında, modeli yapılan sistem sehpasının profil ve köşebent malzemeler kullanıldığından maliyeti ekonomiktir. PV sistem sehpalarında, panel eğim açısının değiştirilmesi oldukça basittir. Aylık optimum eğim açısında yerleştirilen panel ile yıllık sabit eğim açısı ile yerleştirilen panel yüzeyine gelen ışınım şiddeti ile güçleri arasında farklar görülmüştür. Tasarlanan sistem sehpasının ayda bir defa eğim açısını ayarlamasıyla aynı türdeki sabit PV panellerden daha fazla güç elde edilmiştir.

(Şenpınar et al., 2012) çalışmalarında, biri sabit PV panel ile GTS PV panellerin hareket etmesini ve güneş radyasyonunu takip edecek şekilde kontrol edilmesini sağlayan iki eksenli bir güneş izleme sistemi tasarlamıştır. Her iki sistemin güneş radyasyonuna maruz kalmasını izlemek ve güneşi takip eden GTS PV panelin hareketini kontrol etmek için bir bilgisayar ara birim olarak kullanılmıştır. Gün boyunca sabit ve takip sistemlerinden elde edilen sonuçlar anlık olarak bir bilgisayarda kurulu sistem kartında toplanmıştır. İki eksenli GTS izleme ile PV panelin hareketi, güneşin doğumundan gün batımına kadar geçen sürede güneşin konumu matematiksel hesaplamalarla karşılaştırmıştır. Panel yüzeyine düşen güneş radyasyonunun miktarı ve dolayısıyla çıkış gücü deneysel sistemin monte edildiği zaman ve yere göre değişiklik göstermiştir. Genel olarak, GTS izleme panelinin günlük çıkış gücünün sabit panelden %13 ile %15 arası daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

(Toylan et al., 2017) çalışmalarında, ağ tabanlı bulanık mantık yöntemiyle GTS modellenmiştir. Modellenen GTS, güneş açılarını kontrol eden iki motora sahip çift eksenli olarak tasarlanmıştır. Güneşin anlık durumunu tam olarak belirlemek için herhangi bir güneş algılama sensörü kullanılmamıştır. Rakım, boylam ve yerel saat bilgileri bölge sistemi dikkate alınarak uygulanmıştır ve sistem yıl boyunca güneşin konumunu anlık

alarak algoritma yardımıyla belirlenmiştir. Bu model, diğer sensör kullanan sistemler gibi dış koşullar, belirsiz hava şartları, kirlenme, yağmur gibi sistemin performansını etkileyen etkenlere karşı daha güvenilir sonuçlar vermiştir. Böylece güneş radyasyonundan en verimli şekilde yararlanarak maksimum performans elde edilmiştir.

(Hammoumi et al., 2018) çalışmalarında güneşi aktif izleyen GTS tasarımı, uygulaması ve testi yapmıştır. Önerilen GTS, sistemin maliyetini en aza indirmek için daha az ve düşük maliyetli bileşenler kullanılarak geliştirilmiştir. Bunun için donanım bileşenleri olarak Arduino kartı, dört adet LDR sensörü ve iki adet servo motor kullanılmış ve gömülü yazılım olarak Arduino mikro denetleyicide algoritma yazılmıştır. LDR sensörlerinin hassasiyetini artırmak için basit bir yöntem de bu çalışmada verilmiştir. LDR sensör devresinde uygun bir seri direnç değeri seçmenin çıkış hassasiyetini iyileştirmiş ve bunun sonucunda izleme hassasiyetinin gelişmesine katkı sağlamıştır. Bu tasarım kapsamlı hesaplamalar gerektirmeyen ve güneş izleyiciyi sağlam ve yüksek hassasiyetle çalışan basit talimatlara dayanmaktadır. Bu nedenle, düşük maliyetli mikro denetleyiciler, sistem maliyetini azaltmak için algoritmayla kolayca uygulanabilmiştir. Ayrıca deneysel sonuçlar, GTS'nin sabit PV panele göre %36,25 daha fazla verimli olduğunu ortaya koymuştur.

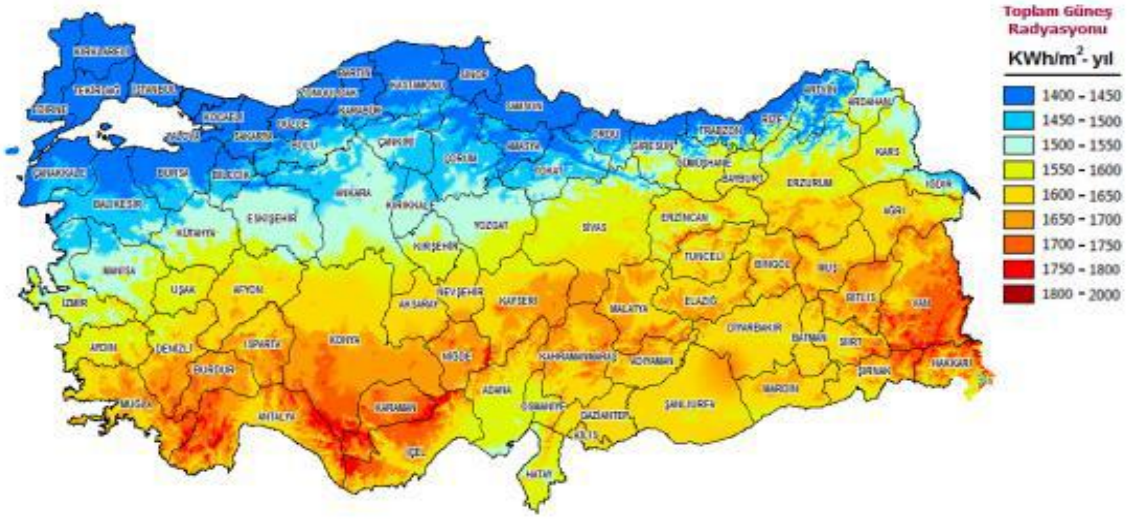
2.1. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, yenilenebilir enerji kaynaklarından arasında önemli bir yeri vardır. Güneş enerjisinden iki farklı şekilde enerji üretimi yapılabilmektedir. Bunlardan birincisi güneş radyasyonunu direk elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik pil veya güneş pili olarak da adlandırılan PV paneller sayesinde enerji üretimi yapan sistemlerdir. Diğer bir yöntem ise güneş radyasyonunun ısısından faydalanarak buhar elde eden ve oluşan buharın elektrik enerjisine dönüştürülmesine dayanan termal güneş sistemleridir. Fotovoltaik sistemlerde elektrik üretimi, termal güneş enerji sistemlerine göre daha yaygındır. Fotovoltaik sistemler güneş radyasyonunu direk elektriğe dönüştüren, hareketli parçası olmayan sessiz çalışan sistemlerdir. Bu sistemler güneşten gelen radyasyonu elektriğe dönüştürürken, termal güneş enerjisi sistemleri ise güneş radyasyonunun ısısını kullandığı için direkt güneş ışığına ihtiyaç duymaktadır. Fotovoltaik sistemler güneş pillerinin buluşundan sonra ilk

olarak uzay araçlarının enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılmışlardır. Güneş pillerinden buluşundan bu yana güneş enerji teknolojileri gelişmiş, verimleri artmış ve fiyatları azalmıştır (IEA, 2021).

2.2. Türkiye'de Güneş Enerji Potansiyeli

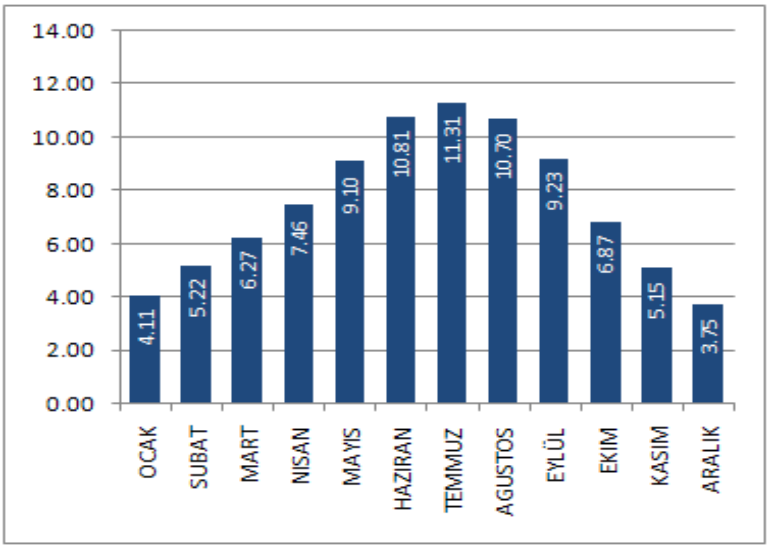
Ülkemizde güneş radyasyonundan etkili bir şekilde faydalanmak için Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından Türkiye'nin güneş enerji atlası oluşturulmuştur. Şekil 2.1' de gösterilen güneş haritasına göre Türkiye'nin yıllık toplam güneşlenme süresinin yaklaşık olarak 2741 saat olduğu ve günlük güneşlenme süresinin ise yaklaşık 7,5 saat sürdüğü bilinmektedir. Diğer güneş enerjisi parametrelerine göre; yıl olarak 1 m² alana düşen toplam güneş radyasyon değerinin yaklaşık 1527,46 kWh/m² ve günlük güneş enerjisi değerinin ise ortalama 4,2 kWh/m² olduğu ifade edilmiştir (ETKB, 2022).



Şekil 2.1. Türkiye'nin güneş enerji atlası(Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, n.d.)

Türkiye, yıllık yaklaşık 110 gün yüksek bir güneş enerjisi potansiyeli mevcuttur ve ekonomik olarak gerekli yatırımların yapılması halinde Türkiye yılda birim metre karesinden yaklaşık olarak 1100 kWh'lik güneş enerjisi üretebilme potansiyeline sahiptir. Şekil 2.2'de Türkiye'nin güneşlenme süresi değerleri aylara göre dağılımı verilmiştir (TMMOB Türkiye'nin Enerji Görünümü,2014). Türkiye'de yıllık ortalama güneş

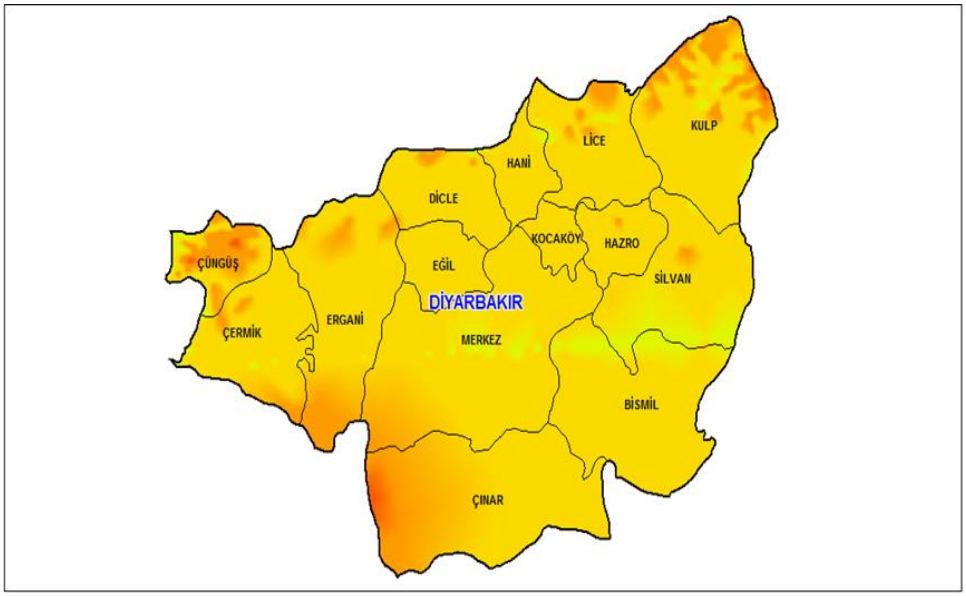
radyasyonunun en büyük ve en küçük değerleri 1460 kWh/m²-yıl ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde ve 1120 kWh/m²-yıl ile Karadeniz Bölgesi'nde göstermektedir. Bu radyasyon değerleri ile Türkiye'nin özellikle Güneydoğu ve Akdeniz bölgeleri içinde kalan alanın % 17'sini kapsayan bölümünde, güneşli su ısıtıcılarının yıl boyunca tam kapasitede çalıştıkları görülmektedir. Türkiye yüzölçümünün %63'ünü kapsayan bölümde ise bu ısıtıcıların yaklaşık olarak %90 oranıyla çalıştıkları görülmektedir (Çanka Kılıç, 2015).



Şekil 2.2. Türkiye'nin güneşlenme süreleri (Saat)(Meteoroloji Genel Müdürlüğü, n.d.)

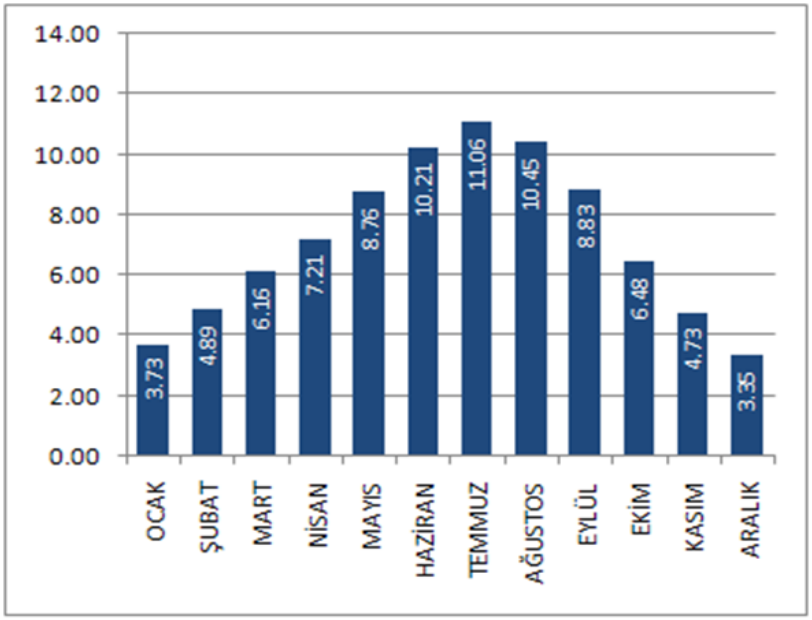
2.3. Diyarbakır İl'inin Güneş Enerji Potansiyeli

Diyarbakır iline ait güneş radyasyon haritası Şekil 2.3'de verilmiştir. Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan verilere göre il geneli günlük olarak yaklaşık 4,81-4,90 kWh/m²-gün güneş radyasyon potansiyeline sahiptir (MGM, 2022).



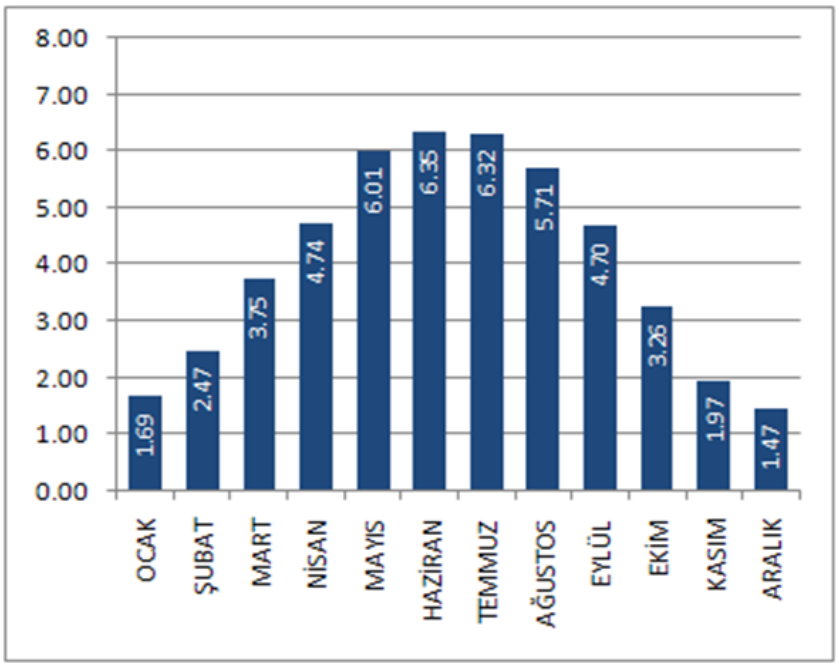
Şekil 2.3. Diyarbakır ili günlük ortalama güneş radyasyonu dağılımı(Meteoroloji Genel Müdürlüğü, n.d.)

Diyarbakır'da ölçümü yapılan iki yıllık süre boyunca PV panellerden güneş enerjisi verilerinin analizi sonucu Diyarbakır ilinin güneşlenme süresinin aylık yaklaşık olarak 243 saat olduğu tespit edilmiştir. Bu veri Türkiye ortalamasının 23 saat üzerindedir. Bu durum Diyarbakır ilinin Türkiye ortalamasına göre güneşlenme süresi bakımından daha fazla yararlanma imkanının olduğunu göstermektedir. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki en etkin parametre olan küresel radyasyon değerleri ele alındığında, Diyarbakır ilinin ölçüm sonuçlarına göre ortalama küresel radyasyon değerinin günde 3,8 kWh/m^2 olduğu tespit edilmiştir. Bu veri Türkiye'nin günlük ortalama küresel radyasyon değerinden 0,2 kWh/m^2 fazladır. Bu sonuç Türkiye ortalamasına göre yılda m^2 başına 73 kWh güneş enerjisinden daha fazla yararlandığı ortaya çıkmakta ve Diyarbakır'ın maksimum küresel radyasyon verilerinin analiziyle oluşturulacak bir güneş enerjisi atlası ile daha doğru sonuçlara ulaşılabileceği görülmektedir (Kılıç et al., 2016).



Şekil 2.4. Diyarbakır ili güneşlenme süreleri (Saat)(Meteoroloji Genel Müdürlüğü, n.d.)

Diyarbakır ilinin aylık güneşlenme sürelerinin şekil 2.4'de gösterilen değerlere göre en yüksek Temmuz ayında, en düşük ise Aralık ayında olduğu görülmektedir (MGM, 2022).



Şekil 2.5. Diyarbakır ili global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün)(Meteoroloji Genel Müdürlüğü, n.d.)

Diyarbakır ilinin aylık yaklaşık radyasyon değerleri, en yüksek Haziran ayında 6,35 kWh/m²-gün ve en düşük Aralık ayında 1,47 kWh/m²-gün olmak üzere değişim göstermektedir. Diyarbakır ilinin aylık yaklaşık radyasyon değerleri Şekil 2.5'de verilmiştir (MGM, 2022).

2.4. Güneş Açıları

Herhangi bir zaman diliminde güneşin bulunduğu konumunu bulmak için bilim insanları tarafından türetilen bazı astronomik açılar bilinmelidir. Herhangi bir hareketli veya sabit bir PV panelin yüzeyine gelen güneş radyasyonunun açısı PV panelin bulunduğu konumun boylamıyla, enlemiyle, o güne ait olan tarih ve gün içindeki zaman dilimleriyle değişiklik göstermektedir. Güneş panelin yerleşim yeri, eğimi gibi hesaplamalar güneşin PV panel üzerindeki açısını bunun sonucu olarak da panelin verimini değiştirir. Bu nedenle doğrudan gelen güneş radyasyonlarının açısını kapsayan güneşin konumunu belirlemek gerekmektedir. Güneş panellerinden etkin bir şekilde verim alabilmek için bu güneş açılarının bilinmesi ve kurulacak olan güneş paneli sistemlerinin bu güneş açılarına göre tasarlanması gerekir.

Dünyanın güneş etrafındaki dolanma hareketi sonucu en önemli etki mevsimlerin oluşmasıdır. Eksen eğikliği nedeniyle dünya güneş etrafında döndükçe güneşin ışınlarının dünyaya geliş açısı değişir. Dünya, Güneş yörüngesi üzerinde ekseni 23,45° açıyla eğimli olarak dönüşünü sağlamaktadır (Dickinson, 1980).

2.4.1. Enlem Açısı

Ekvator düzlemi ile yerden dünyanın merkezine olan radyal çizgi arasındaki açıdır. Ekvator'un kuzeyinde pozitif değerli; güneyinde ise negatif değerlidir. Enlem açısı, $-90° \leq Ø \leq 90°$ arasında değişkenlik gösterir (G. Yılmaz, 2018).

2.4.2. Deklinasyon Açısı

Güneşin doğrultusu ile ekvator düzlemi arasındaki açı miktarıdır. Dünyanın kendi ekseni, yörünge düzleminin normali arasındaki 23,45°'lik açıdan dolayı meydana gelir. Deklinasyon açısı – 23,45º (21 Aralık) ile + 23,45º (21 Haziran) gündönümleri arasında değişir. İlkbahar ile sonbahar ekinokslarında (21 Mart-21 Eylül) deklinasyon açısı sıfır olur. Deklinasyon açısı, ampirik Cooper formülü ile bulunabilir.

$$\delta = 23{,}45 \sin [360. ((284 + n) / 365)] \quad (3.1)$$

burada n, yılın gününü temsil eder ve 1 Ocak başlangıç olarak n = 1 kabul edilir.

Tablo 2.1. Ortalama deklinasyon açıları (Beckman et al., 1991)

Aylar	Ayın ortalama günü	Yılın günü, n	Deklinasyon açısı, δ
Ocak	17	17	-20,92
Şubat	16	47	-13,29
Mart	16	75	-2,42
Nisan	15	105	9,41
Mayıs	15	135	18,79
Haziran	11	162	23,09
Temmuz	17	198	21,18
Ağustos	16	228	13,45
Eylül	15	258	2,22
Ekim	15	288	-9,6
Kasım	14	318	-18,91
Aralık	10	344	-23,05

Yukarıdaki tabloda yılın herhangi bir zaman diliminde n sayısının değerleri görülmektedir. Tablo 2.1'de şubat ayı 28 gün üzerinden hesaplanarak düzenlenmiştir (Beckman et al., 1991).

2.4.3. Saat Açısı

Güneş ışınları ile göz önünde bulunan yerin boylamları arasındaki açıdır. Saat açısı 24 saatlik bir zaman diliminde 360° 'ye karşılık gelmek üzere (±180°) değişim gösterir. Her 15° saat açısı yani boylam farkı zaman olarak 1 saate eş değerdir. Öğleden önceleri (-), öğleden sonraları (+) alınır. Saat açısının hesabı aşağıdaki denklem (3.2) ile yapılır (Altıntaş, 2012).

$$\omega = 15*(\textit{Güneş Saati} - 12) \tag{3.2}$$

2.4.4. Zenit Açısı ile Güneş Geliş Açısı

Yatay yüzeyin normali ile güneş ışınları arasında oluşan açıdır. Zenit açısının bulunması için yerin enlem açısı, saat açısı ve deklinasyon açısı bilinmelidir. Zenit açısının değeri aşağıdaki denklem (3.3) ile elde edilir.

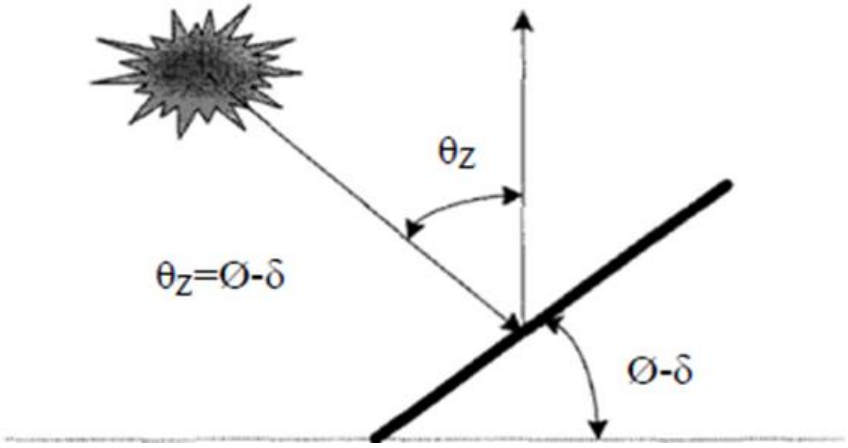
$$\cos \theta z = \sin \emptyset \cdot \sin \delta + \cos \emptyset \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega \tag{3.3}$$

Güneş geliş açısı ise; eğik yüzeye gelen güneş ışınları ile yüzey normali arasındaki açıdır. Aynı zamanda zenit açısı, güneş yükseklik açısını 90° 'ye tamamladığı için aşağıdaki denklem (3.4)'dür. Bu denklem yardımıyla güneş yükseklik açısı da hesaplanabilir.

$$\alpha S = 90° - \theta Z \tag{3.4}$$

Sabit panellerin yüzeye optimum açıyla monte edilmesi için aşağıdaki (3.5)'de ki denklemle hesaplanır. Sabit bir panelin optimum montaj açısı aşağıdaki Şekil 2.6'da denklemler halinde gösterilmiştir.

$$\theta Z = (\emptyset - \delta)° \tag{3.5}$$



Şekil 2.6. Sabit bir panelin optimum montaj açısı (Beckman et al., 1991)

2.4.5. Güneş Azimut ile Yüzey Azimut

Güneş ile Dünya doğrultusunun yatay düzlemdeki iz düşümünün, kuzey-güney doğrultusu ile yapmış olduğu açıdır. Güneş azimut açısı (γS), 180° ile -180° arasında bir değere sahiptir. Güneş azimut açısı denklem (3.6) ile hesaplanır.

$$\sin\gamma S = (\sin \omega . \cos \delta) / \sin \theta z \quad (3.6)$$

Yüzey azimut açısı ise, direkt güneş radyasyonlarının yatay düzlemdeki izdüşümünün güney doğrultusu ile yaptığı açıdır. Açı, güneye bakan yüzeyler için sıfır; güneyden batıya doğru ise pozitif; güneyden doğu tarafına ise negatif değeri alınır. Güneş azimut açısı ile yüzey azimut açısı arasındaki ilişki aşağıdaki denklem (3.7) ile gösterilmiştir (Masters et al., 2004).

$$\gamma = \gamma S - 180° \quad (3.7)$$

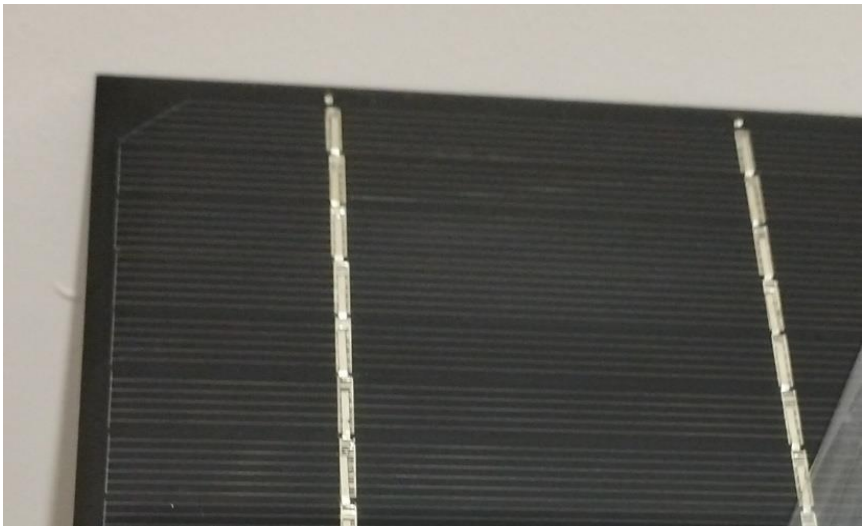
2.4.6. Eğim Açısı

Yatay düzlem ile eğik düzlem arasında kalan açıdır. Kuzey yarımkürede güneye eğimli olarak düşünülür. Eğim açısı, $0° \leq \beta \leq 180°$ arasında değişmektedir, eğer $\beta > 90°$ ise, aşağı

doğru eğimli olduğunu ifade eder. PV panellerden etkili bir şekilde verim alabilmek için belli bir eğim açısına konumlandırılmaları gerekir.

2.5. Güneş Panelleri

Güneş enerjisinden direkt olarak elektrik enerjisi üretimini sağlayan sistemlere fotovoltaik paneller ya da fotovoltaik piller denilmektedir. Şekil 2.7'de ki gibi panel hücreleri birbirine seri veya paralel bağlanır.



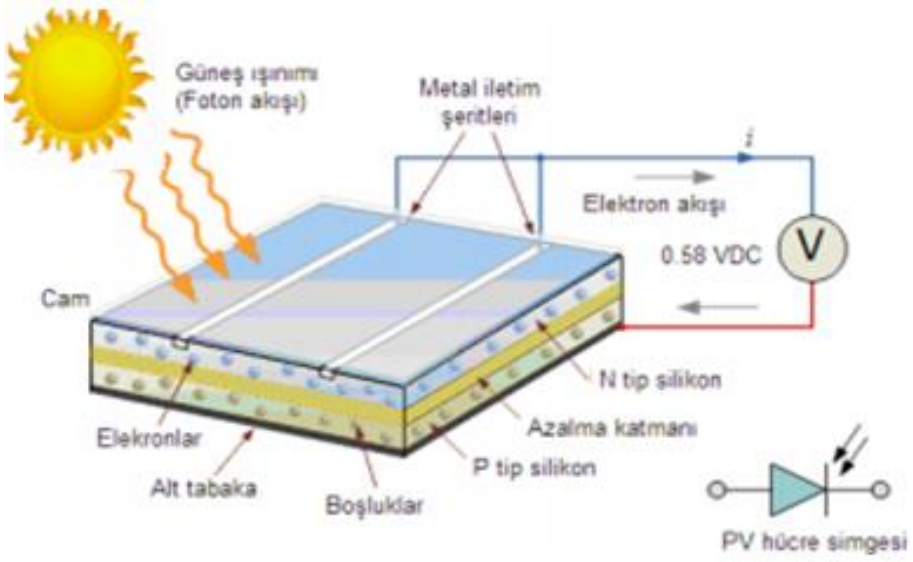
Şekil 2.7. Fotovoltaik panellerin hücre görüntüsü

Güneşten gelen radyasyonların enerji dönüştürdükten sonra güç çıkışını artırmak amacıyla birden çok güneş pili birbirine seri veya paralel bağlanarak bir yüzey üzerine montajı yapılır, bu yapıya PV pil modülü ya da PV modül adı verilir. Güç isteğine bağlı olarak modüller birbirlerine paralel veya seri bağlanarak birkaç W'tan MW'lara kadar sistem oluşturulur (Öztürk et al., 2013).

2.6. Fotovoltaik Etki Olayı

Fotovoltaik bir hücre tarafından güneş radyasyonunun elektriğe dönüştürüldüğü temel bir fiziksel işlemdir. Kısaca güneşten gelen radyasyonla gerilim üretilmesidir. PV ile gösterilir.

PV panellerin üzerlerine güneş radyasyonu düştüğü zaman uçlarında bir voltaj meydana gelir. PV panel hücresinin verdiği voltaj kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Fotovoltaik etki olayının ilkeye göre çalışma gerçekleşebilmesi için, güneş spektrumu ile uyumlu ve elektrik yüklerinin bir birinden ayrılabilmesine izin verebilecek özellikte bir yarı iletken madde olmalıdır. PV hücrenin çalışma ilkesi Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. PV hücrenin çalışma ilkesi (Öztürk, H.H., Kaya, D., 2013).

Yapıları bir P-N ekleminden oluşan diyotlara benzer. Fotovoltaik etkiye göre hücrelerden fotonlar tarafından kopartılan elektronlar P ve N tipi yarı iletkenlerle eklemde harekete geçer ve bir akım oluştururlar. Böylece birbirlerinden ayrılan elektron boşluk çiftleri, PV hücrenin uçlarında bir gerilim çıkışı oluştururlar (Navruz T.S., 2008).

2.7. Fotovoltaik Panellerin Yapımında Kullanılan Malzemeler

Fotovoltaik paneller çok farklı maddeden yararlanarak üretimi yapılabilir. Günümüzde en sık kullanılan maddeler şunlardır.

• Tek kristal silisyum

• Galyum arsenit (GaAs)

• Çok kristal silisyum
• Amorf silisyum
• Bakır indiyum diselenid (CuInSe2)
• Kadmiyum tellürid (CdTe)

Tablo 2.2. Değişik tip PV hücrelerin verimsel değerleri (Şenay, G., 2011)

PV Hücre	**Alan (cm^2)**	**Voc (V)**	**Isc (mA/cm^2)**	**FF (%)**	**η (%)**
Tek kristal Si	4,0	0,706	42,2	82,8	24,7
Tek kristal GaAs	3,9	1,022	28,2	87,1	25,1
Çok kristal Si	1,1	0,654	38,1	79,5	19,8
Amorf Si	1,0	0,887	19,0	74,1	12,7
$CuIGaSe_2$	1,0	0,669	35,7	77,0	18,4
CdTe	1,1	0,848	25,9	74,5	16,4

Güneş enerjisi, PV hücresinin yapısına bağlı olarak %5 ile %20 arasında bir verimle enerjiye çevrilebilir. Verim oranı %10'un altında olan güneş hücreleri, uygulamada verimli ve ekonomik değildir. Tablo 2.2'de verilen değerlere göre yarı iletken maddeden üretilen güneş hücrelerinin verimi; laboratuvar koşullarında %10-30, uygulamadaysa %5-20 arasında değişir. Uygulama koşullarında verimi %15 olan güneş hücresi iyi olarak değerlendirilir. Hücre veriminin yüksek olduğu PV modüllerin birim alan başına verebildikleri voltaj değerleri yüksek olduğundan, bu türdeki hücrelerin yüzey alanı az olan tesisatlar için kullanılmaları uygundur (Şenay, G., 2011).

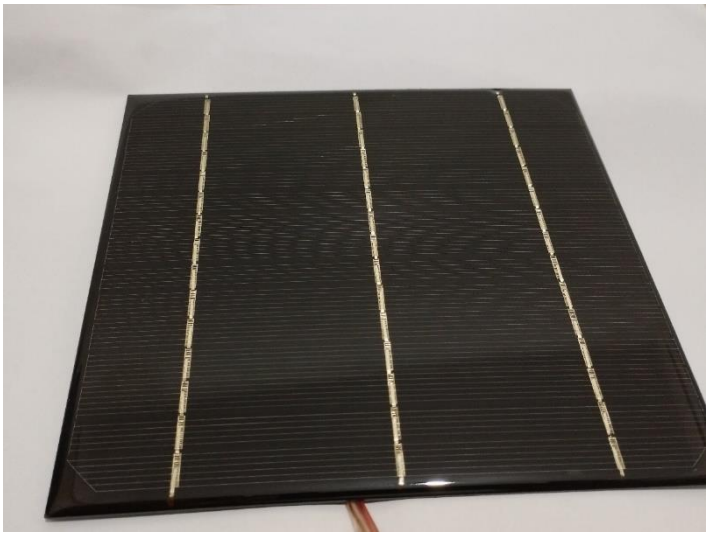
2.8. Fotovoltaik Panel Üretim Tipleri

Mono ve poli olmak üzere kristal yapıda olanları iki türde üretilirler. Genelde yüksek ömürlü ve performansı fazla olması nedeni ile mümkün olduğunca mono türleri tercih edilir. Bir güneş hücresinin performansı verimi ile ölçülmektedir. Yani güneşten aldığı radyasyonun yüzde kaçını kullanılabilir elektrik enerjisine dönüştürdüğü verimi belirleyen

en önemli etkendir. Günümüz teknolojisi ile bir güneş hücresinin verimleri %15 ile %30 arasında değişim göstermektedir (Senay G., 2011).

2.8.1. Monokristal

Monokristal güneş panellerinin Şekil 2.9'da görüldüğü gibi renkleri biraz daha koyu lacivert tonlarındadır. Genel olarak verimleri diğer türlere göre %1 ile %3 arasında daha fazladır ve ayrıca ömürleri diğer türlere göre daha uzundur (Senay G., 2011).



Şekil 2.9. Monokristal PV panel yapısı

2.8.2. Polikristal

Polikristal PV panellerinin Şekil 2.10’da da görüldüğü üzere renkleri genelde mavi ve lacivert tonlarındadır. Mono kristale göre verimleri daha düşüktür. Bunu nedeni ise kristal yapısının rastgele yani serbest bir şekilde dizilmesinden kaynaklanmaktadır. Polikristal yapı, verim farkı ve renk dışında genel anlamda tüm özellikler mono kristal ile benzerdir (Senay G., 2011).

Şekil 2.10. Polikristal PV panel yapısı

2.9. Güneş Takip Sistemleri ve Sınıflandırılması

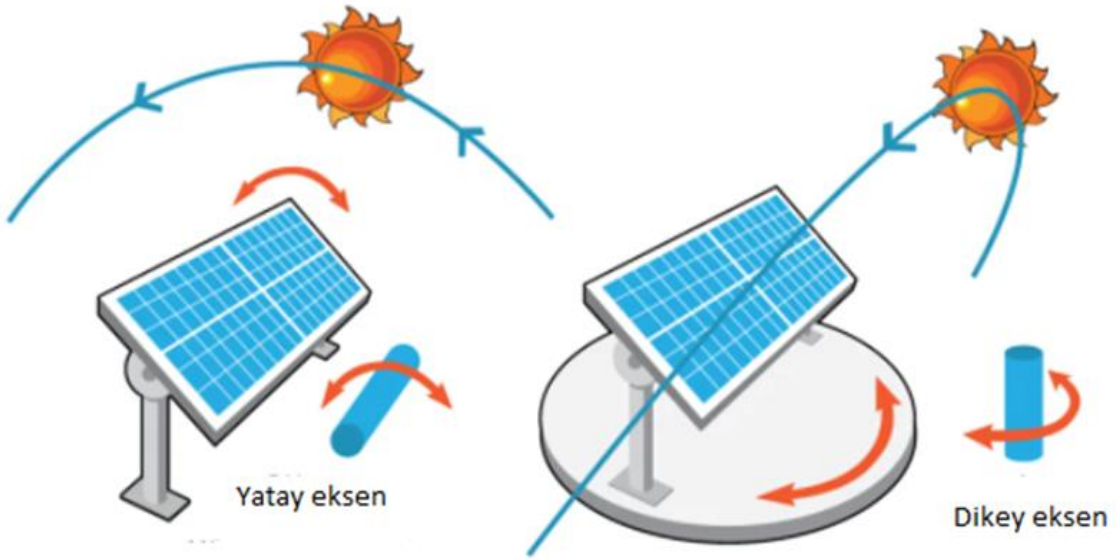
Fotovoltaik panellerin üzerine gelen güneş radyasyonu, PV panellerin normali ile yaptığı açının kosinüs'ü ile hesaplanmaktadır yani güneş radyasyonu panellerin üzerine dik açıyla geldiği zaman enerji üretimi normal seviyede olmaktadır. Bu durumdan dolayı güneşi takip ederek güneş radyasyonlarını panelin üzerine dik alınmasını sağlayan bir sistemin geliştirilmesi ihtiyacını olmuştur. Genel olarak takip sistemlerin ana fonksiyonu, takip hareketini bir veya iki eksende yapmaktadır. Bu sistem hareketinin amacı PV panellere güneş radyasyonunun istenilen açıda gelmesini sağlamaktır.

2.9.1. Serbestlik Ekseni Sayısına Göre Sınıflandırma

Güneş takip sistemleri, hareket tarzlarına göre sınıflandırılabilir. Bu sistemleri, maksimum güneş ışığını almalarına yardımcı olabilecek uygun bir açı elde etmek için eksenler etrafında döndürülebilen veya eğilebilen PV yüzeyine sahiptir. PV yüzeyinin hareketi bir veya iki eksen etrafında döndürülerek gerçekleştiğinde buna eksenli sistemler denir. Tek eksenli sistemler ve çift eksenli sistemleri diye ikiye ayrılır.

2.9.1.1. Tek Eksenli GTS

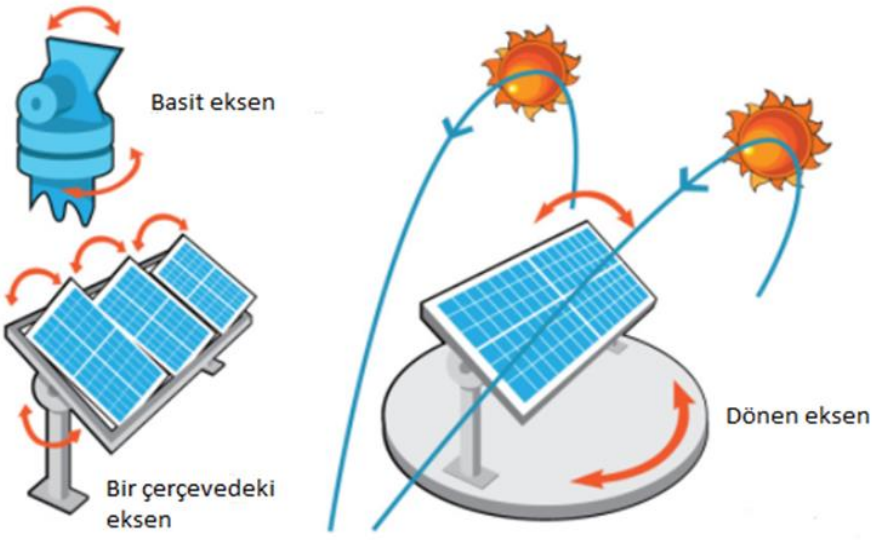
PV yüzeyinin hareketi veya ayarı bir eksen etrafında döndürülerek gerçekleştiğinde buna tek eksenli güneş takip sistemleri denir. Şekil 2.11'de gösterilen bu sistemler yatay ya da dikey eksende hareket ederek güneş takibini yapar. Tek eksenli güneş takibi ticari olarak güneş sistemlerini ekonomikleştirmenin ve enerji üretim performansını arttırmanın en kolay yoludur. Tek eksenli sistemler, çift eksenli sistemlere göre maliyet açısından daha ekonomiktir ama enerji verimliliği bakımından daha düşük enerjiye sahiptir. Ayrıca tek eksenli sistemler, çift eksenli sistemlere göre daha uzun ömre sahiptir.



Şekil 2.11. Tek eksenli GTS (sinovoltaics, n.d.)

2.9.1.2. Çift Eksenli GTS

PV yüzeyinin hareketi aynı anda iki eksen etrafında gerçekleştiğinde buna çift eksenli güneş takip sistemleri denir. Bu sistemler Şekil 2.12'de ki gibi hem yatay hem de dikey eksenleri ile güneşin gökyüzündeki tüm hareketini takip edebilirler. Çift eksenli sistemler karmaşık ve daha pahalı olmasına rağmen gerekli donanımlar sonucunda enerji üretim verimliliği bakımından tek eksenli güneş sistemlerine göre daha verimlidirler.



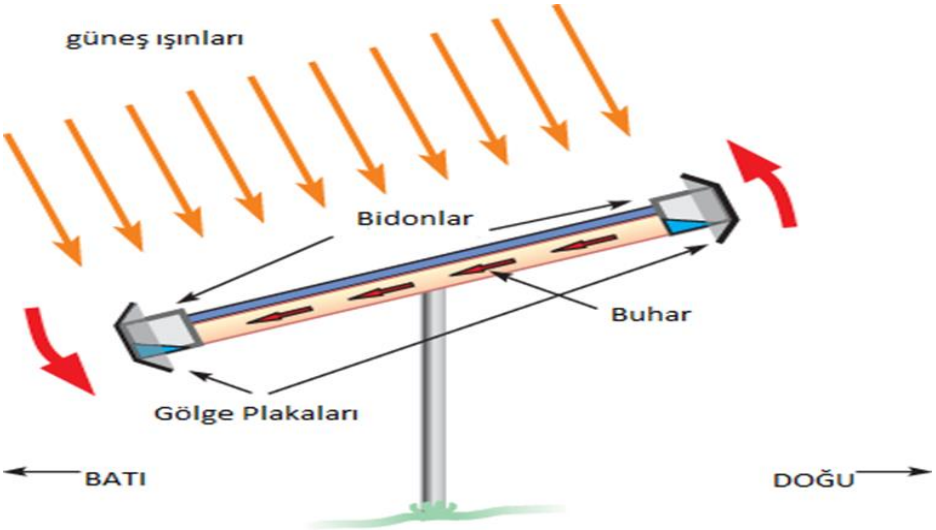
Şekil 2.12. Çift eksenli GTS (sinovoltaics, n.d.)

2.9.2. Güneş Takip Sistematiğine Göre Sınıflandırma

Genel olarak farklı zamanlarda takip sisteminin istenilen açıda olmasına karar vermek için konum bilgisi veren elektronik elemanlar, mikro işlemciler, elektronik sensörlü sistemleri gibi kontrol devreleri kullanılır.

2.9.2.1. Pasif Sensörlü Takip

Pasif güneş takip sistemlerinde panelin güneşe doğru yönlendirilmesi tahrik mekanizması olmadan yani herhangi bir harici enerji kaynağına ihtiyaç duymadan sağlanır. Pasif sensörlü takipte Şekil 2.13'de gösterilen modülün her iki tarafına monte edilmiş ve kolayca buhara dönüşebilen bidonlarda bulunan bir sıvı kullanır.



Şekil 2.13. Pasif sensörlü takip

Bidonlar uzun bir boru ile birbirine bağlıdır ve güneş ışığı ile ısıtıldıkları için sıvının değişen ağırlığına bağlı olarak hareket ederler. Güneş ışınları sayesinde daha sıcak borudaki sıvı buharlaşır ve gölgeli boruya daha fazla sıvı girmeye zorlar. Ağırlık değişir ve izleyici, sıcaklıkları ve dolayısıyla ağırlığı eşitleme eğiliminde olacak şekilde hareket eder. Bu sistemin dezavantajı akşam vakti yönleri batıya dönük olarak kalır, eski konumuna geri dönmesi zaman alır (Clifford et al., 2004).

2.9.2.2. Aktif Sensörlü Takip

Aktif GTS'ler motor, sensör, mikro denetleyici gibi elektronik elemanlar kullanılarak gün boyunca otomatik olarak güneş radyasyonlarının panele dik açıda gelmesini sağlayan sistemlerdir. Sistemin güneşi izleyebilmesi için gerekli konum bilgisi sensörler tarafından sağlanır.

Şekil 2.14. Aktif sensörlü takip (Yılmaz, M., 2013)

PV paneller güneş radyasyonunun yoğun olduğu yöne yönelmesi mantığıyla çalışan sistemlerde Şekil 2.14'de gösterildiği gibi algılayıcı olarak ışığa duyarlı foto direnç algılayıcılar veya özel geliştirilmiş algılayıcılar panelin ön kısmına yerleştirilir. Foto dirençler ışığa duyarlı oldukları için güneş radyasyonunun yoğun olduğu taraftan gelen sinyallere göre bir denetleyici vasıtasıyla PV paneli ışığa yönlendirecek motorları uyararak panelin güneşe doğru yönelmesini sağlar (Osama A. Montasser., 2014).

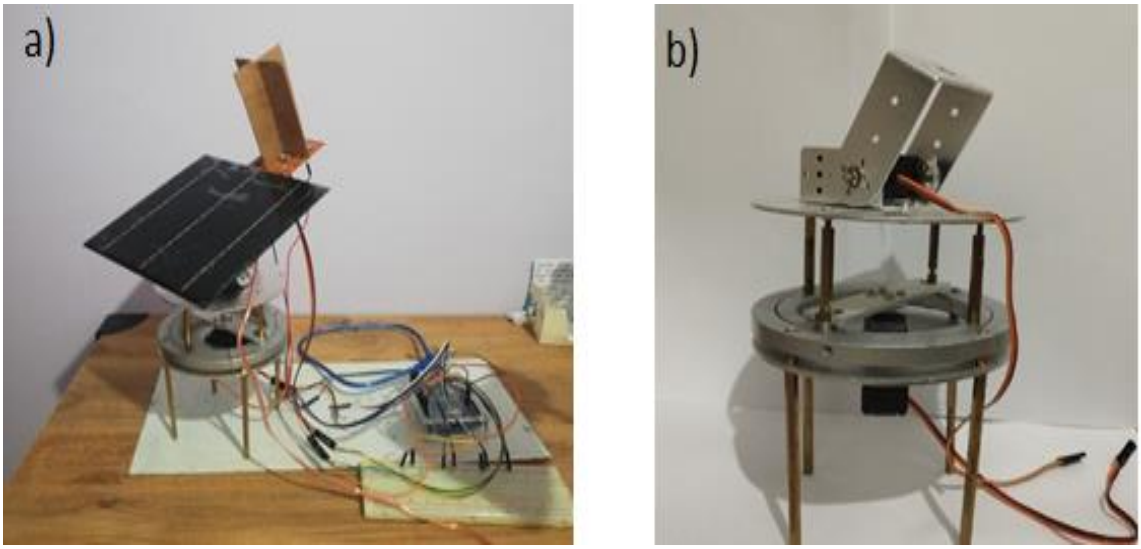
2.9.2.3. Kronolojik Takip

Kronolojik takip sistemi, güneşin yıl içerisinde ve gün içerisindeki hareketine bağlıdır. Güneş konumunun tespiti için herhangi bir algılayıcı sensör kullanılmaz. Güneşin, yeryüzünde herhangi bir noktasında, yılın herhangi bir gününde hangi konumda olacağı bilgisi önceden bilinmektedir. GTS'de bu hesaplamaları yapan bir mikro işlemci veya mikro kontrolör bulunur. Bu mikro işlemciye giriş bilgisi olarak PV panellerin bulunduğu bölgenin boylam, enlem ve yerel saat bilgilerini girilir. Bu verilere göre açı değerleri GTS'nin kontrolör değişkenlerini oluşturur. Yılın tarih, gün ve saatine göre güneşin konumunu hesaplayarak güneş radyasyonunu PV panellerin yüzeyine dik açıda alacak şekilde yönlendirir. Bu Şekil 2.15'de ki GTS'nin dezavantajı bulutlu havalarda takip işlemine kaldığı yerden devam etmesi ve enerji harcamasıdır (Yılmaz et al., 2015).

Şekil 2.15. Kronolojik takip (Yılmaz et al., 2015)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

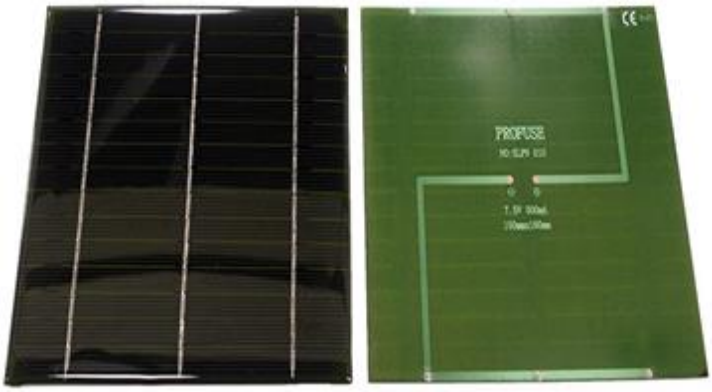
Tasarlanan sistemimiz 3,75 Watt'lık bir adet PV panel, iki adet servo DC motor, Arduino UNO mikro kontrolör, Solar Göz ve bu bileşenlerin monte edildiği çift eksenli sisteme dikey ve yatay eksende yön verecek ana şaseden oluşmaktadır. Ayrıca ana şasenin alt tarafı rulman mekanizmasıyla yapılmış olup bu mekanizma sistem üzerindeki ağırlığı eşit bir şekilde dağıtır ve sistemin dengeli dönmesini sağlar. Sisteme ait ana şase ve PV panelli hali Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. a) Tasarlanan ÇEGTS, b) Tasarlanan ÇEGTS ana şasesi

3.1. PV Panel

Tasarlanan güneş takip sisteminde Şekil 3.3'de görülen 3,75 watt gücünde mono kristal panel kullanılmıştır. Burada kullanılan PV panelin silisyum yarı iletkeninden yapılmış mono kristal bir yapıya sahiptir. Bu panel en yüksek güç tüketiminde yaklaşık olarak 0,5 amperlik bir çıkış akımı ile en yüksek güç tüketiminde 7,5 volt bir gerilim sağlar. Panele ait teknik veriler Tablo 3.1'de verilmiştir.



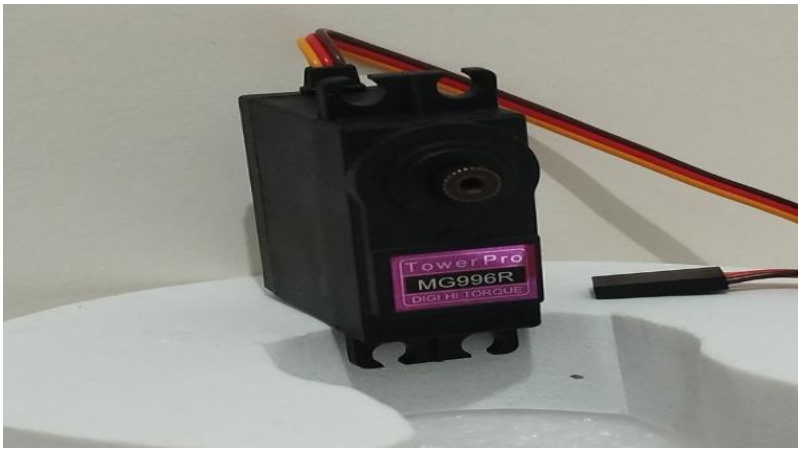
Şekil 3.2. PV panel

Tablo 3.1. PV panele ait teknik özellikler (Motorobit, n.d.)

Güneş Panelinin Teknik Özellikleri	
Cinsi	Mono kristal silisyum
En yüksek gücü (Pmax)	3,75 Watt
En yüksek güç tüketimindeki gerilimi (Vmp)	7,5 Volt
En yüksek güç tüketimindeki akımı (Imp)	0,5 Amper
Açık Devre Gerilimi (Voc)	8,7 Volt
Kısa Devre Akımı (Isc)	0,583 Amper
Boyutları	150 mm x 160 mm x 3 mm
Ağırlık	0,02 kg
Nominal çalışma sıcaklığı	47°C +/-2°C

3.2. DC Servo Motor

Tasarlanan güneş takip sisteminin güneş takibi için Şekil 3.3'de DC servo motor kullanılmıştır. Bu motor PWM (darbe genlik modülasyonu) sinyalleriyle kontrol edilir.



Şekil 3.3. DC servo motor

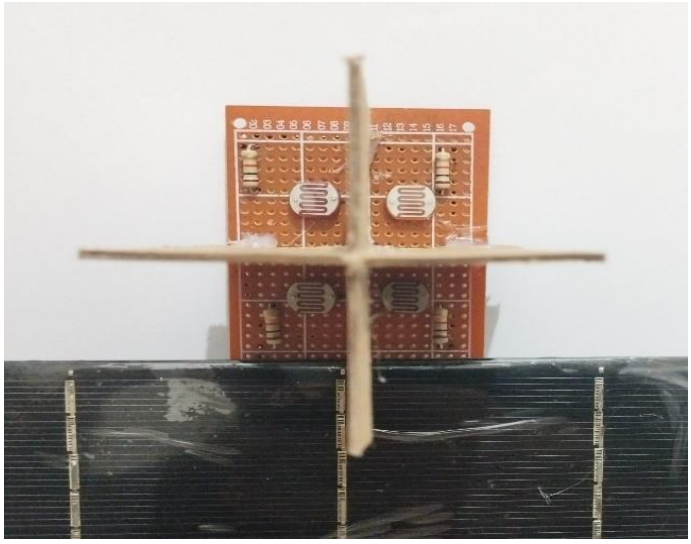
Servo motorun sıkıştırma torku tam güçteyken yaklaşık olarak 13 kgf.cm bir kuvvet uygular. MG 996R servo motoruna ait teknik veriler Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. MG 996R teknik özellikler (Robotistan, n.d.)

Ağırlık:	55 g
Boyut:	40,7 x 19,7 x 42,9 mm yaklaşık
Çalışma gerilimi:	4,8 V - 7,2 V
Akım	500 mA
Durma Akımı	2,5 A (6V)
Sıkıştırma torku:	11 kgf · cm (4,8 V), 13 kgf · cm (6 V)
Çalışma hızı:	17 sec / 60 derece - 0.13sec / 60 derece
Ölü bant genişliği:	5 µs (mikro saniye)

3.3. Solar Göz

Solar göz Şekil 3.4'de görüldüğü gibi toplam 4 adet LDR'den (foto direnç) oluşmaktadır. Foto dirençler bulunduğu ortamın ışık şiddetindeki değişime bağlı olarak direnç değerinde azalış veya artış gösteren elektronik devre elemanıdır. Bu elemanlar çeşitli ışık ve mikro kontrol devrelerinde genellikle kullanılmaktadırlar.



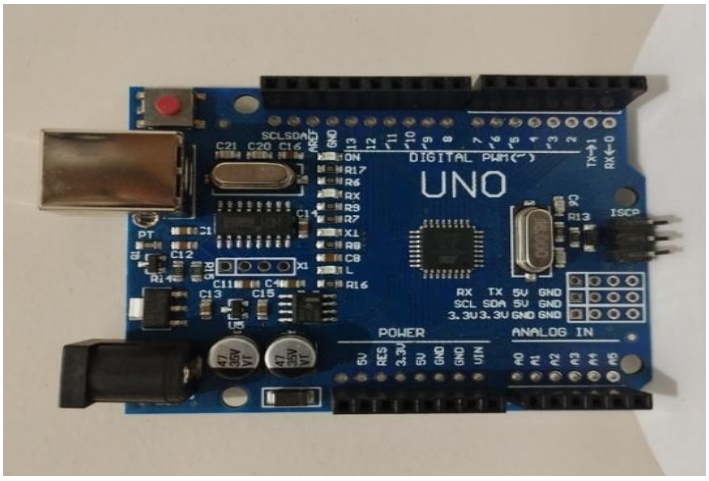
Şekil 3.4. Solar göz

3.4. Tasarlanan Sistemin Kontrol Ünitesi

Tasarlanan sistemin kontrol ünitesi Arduino UNO, akış diyagramı ve kontrol algoritması olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır.

3.4.1. Arduino UNO

Arduino, açık kaynak kodlu mikro denetleyici kartıdır. Programlama için C/C++ dili kullanılır ve Java üzerinde geliştirilmiş, geliştirme, araştırma ve yükleme özelliklerine sahip Arduino IDE ile programlanır. Tasarlanan sistemde kontrol elemanı olarak Şekil 3.5'de gösterilen Arduino UNO tabanlı bir mikro işlemci kartı kullanılmıştır.



Şekil 3.5. Arduino UNO

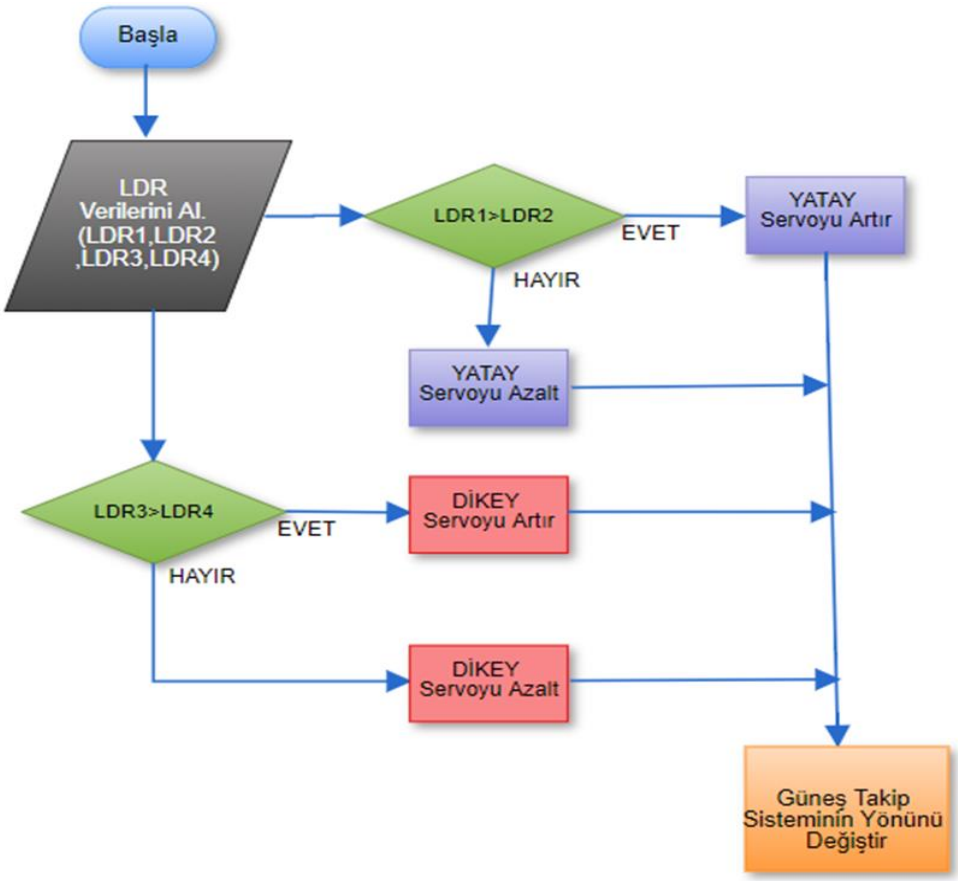
Toplamda 14 tane dijital giriş / çıkış pini vardır. Bunlardan 6 tanesi PWM (darbe genlik modülasyonu) çıkışı olarak kullanılabilir. Ayrıca 6 adet analog girişi, bir adet 16 MHz kristal osilatörü, flaş bellek bağlantısı, güç jakı ve reset butonu bulunmaktadır. Kullanılan Arduino'ya ait teknik veriler Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3. Arduino UNO Teknik Özellikler (Arduinobeyni.blog., n.d.)

Çalışma gerilimi	5V
Giriş gerilimi (Önerilen)	7-12V
Giriş gerilimi (Sınır)	6-20V
Digital giriş/çıkış pinleri	54 (15 Adet PWM çıkış olarak kullanılabilir)
Analog Giriş pin sayısı	16 adet
Her bir Giriş/Çıkış pini başına akım	20 mA 50 mA (maksimum)
3.3V gerilim çıkışı akımı	50 mA
Flaş bellek	256 KB
Saat hızı	16 MHz
Uzunluk	101,52 milimetre
Genişlik	53,3 milimetre
Ağırlık	37 gram

3.4.2. Sistemin Akış Diyagramı

Güneş radyasyonlarının PV panellere optimum açıyla düşmesini sağlayan sistemin akış diyagramıdır. Akış diyagramına göre solar gözden alınan verilere Arduino mikro denetleyicisi karşılaştırma yapar. Yapılan karşılaştırmalı analize göre motorlara sinyal gönderilir ve hangi motorun hangi yönde ne kadar hareket edeceği mikro denetleyici tarafından bilgisi ÇEGTS'ye iletilir. Bu akış diyagramının işleyişi Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Sistemin akış diyagramı

3.4.3. Kontrol Algoritması

Yazılan Arduino programı sayesinde analog girişlere düşen gerilimler değerlendirilerek servo motorlara doğu-batı ya da kuzey-güney yönlerine dönmeleri için PWM sinyalleri

gönderilmektedir. Şekil 3.7'de A0 ve A3 girişlerindeki gerilimler doğu-batı kontrolü, A1 ve A2 girişlerindeki gerilimler ise kuzey-güney kontrolü sağlamaktadır.

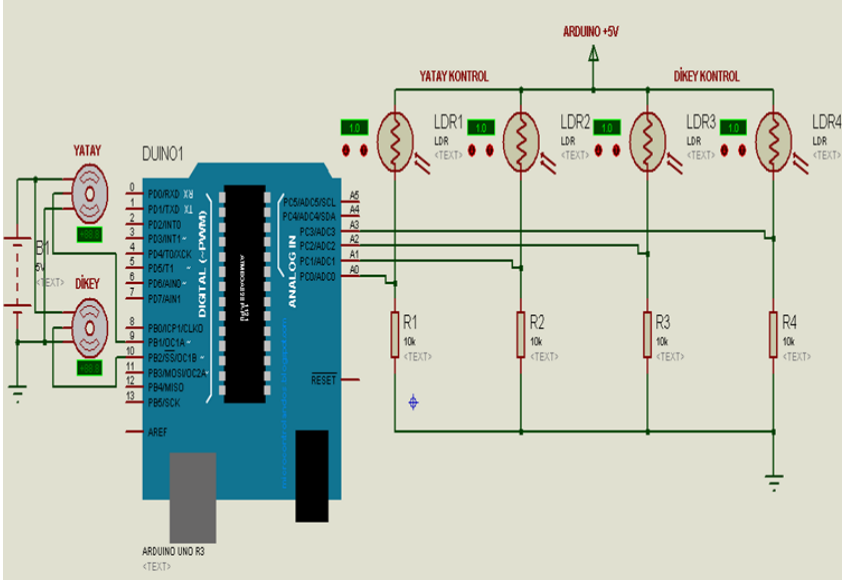
Şekil 3.7. Analog girişlerin kontrol algoritmasında gösterimi

Servo motorların harekete geçmesiyle solar gözde bulunan LDR'lerin üzerine düşen ışık şiddetleri eşitlendiğinde A0 ve A3 (doğu-batı kontrol) pinleri ile A1 ve A2 (kuzey-güney kontrol) pinlerine düşen gerilimler birbirine eşit olmaktadır. Yani A0 gerilimi = A3 gerilimi ve A1 gerilimi = A2 gerilimi olana kadar servo motorlar hareket edecektir.

3.5. Sistemin ISIS Tasarımı

Tasarlanan sistemin çalışmasını kontrol etmek için ISIS programında simülasyonu yapılmaktadır. Güneşin pozisyonunu tespit edebilmek için sistemde solar göz kullanmıştır. Solar gözde bulunan LDR'ler ikisi üst kontrol, diğer ikisi alt kontrol içindir. Her bir LDR'ye devre şemasında görüldüğü şekilde birer tane 10k Ohm'luk direnç seri

bağlanmıştır. Bu bağlantı sayesinde Arduino'nun analog A0, A1, A2 ve A3 girişlerine güneşin pozisyonuna göre yaklaşık 0 ile 5 volt arasında birbirinden farklı gerilimler düşmektedir. Hangi LDR daha fazla ışık alıyorsa o LDR'ye ait analog girişte diğer analog girişlere kıyasla daha fazla gerilim düşümü olmaktadır ve bu sayede mekanik sistemin güneşe göre optimum pozisyon alması sağlanacaktır. Sistemin ISIS çizimi Şekil 3.8'de gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Sistemin ISIS tasarımı

3.6. Diyarbakır'ın Güneş Açılarının Hesapları

Diyarbakır ilinde optimum seviyedeki güneş ışınlarından yararlanmak için sabit olan güneş panelimizin açısı hesaplanacaktır.

3.6.1. Hottel-Woertz Metodu

Güneş panellerinden maksimum verim alınması için kendi yüzeylerine gelen ışınımın optimum açıyla gelmesi çok önemlidir. HW metodu PV panellerinin eğim açısının hesaplanmasında kullanılan ideal bir metottur. Bu metottaki hesaplamalar hava durumunun bulutsuz ve yansıtıcıların olmadığı normal şartlar altında yapılmaktadır. Bu durum

panellerin eğim açısının basit bir şekilde bulunmasını sağlamaktadır. Bu hesaplamalar için panellere gelen güneşin geliş ve yüzey azimut açıları gerekmektedir. Herhangi bir gün üzerinde sabit bir panelin optimal performansı için, Cooper eşitliği olarak bilinen aşağıdaki denklem (3.1) yardımıyla deklinasyon açısı bulunur. Güneş paneli eğim açısı da denklem (3.8) ile hesaplandıktan sonra zemine monte edilmelidir.

$$\delta = 23{,}45 \sin [360. ((284 + n) / 365)] \tag{3.1}$$

$$\theta Z = (Ø - \delta)° \tag{3.8}$$

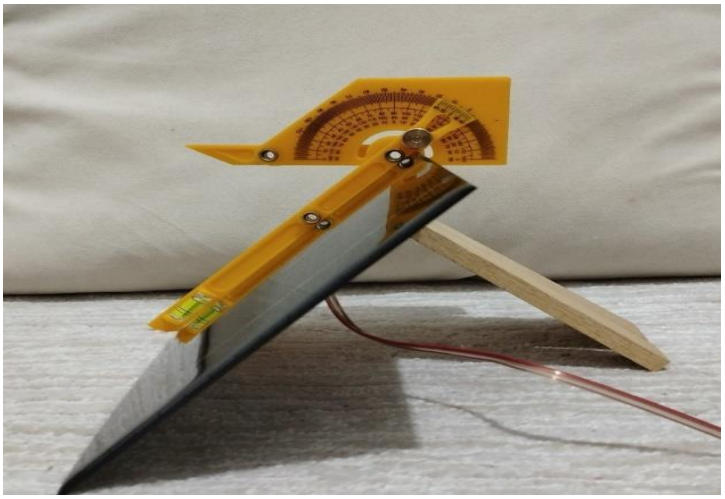
3.6.2. Sabit Güneş Paneli için Örnek Açı Hesabı

Kuzey enlemi 37,91 ile doğu boylamı 40,11 koordinatlarında olan Diyarbakır ilinin, 19 Ekim tarihi için deklinasyon açısını ve panelin yüzeyle olan açısını bulalım.

19 Ekim yılın 292. Günüdür.
Ø=37,91 (Enlem)

Deklinasyon açısı:
$\delta = 23{,}45 \sin [360. ((284 + n) / 365)]$
$\delta = 23{,}45 \sin [360. ((284 + 292) / 365)]$
$\delta = -11{,}009°$
$\theta Z = (Ø - \delta)° = 49°$

Bu hesaplamalar sonucunda sabit panelin optimum montaj açısını belirlerken denklem 3.8 ile panelin yatay düzlemle yaptığı açı bulunduktan sonra sabit panelin montajı Şekil 3.9'da ki gibi yapılır.



Şekil 3.9. Sabit PV panelin eğim açısına göre montajı

3.7. Tasarlanan Çift Eksenli PV Sistemin Uygulanması ve Sonuçlar

ISIS simülasyonu yapılan sistemin uygulanması için güç kaynağı olarak 5 voltluk giriş gerilimi kullanılmaktadır. Sistem bu şekilde denenecek ve güneş radyasyonundan PV panelin optimum seviyede verim alınması planlanmaktadır.

Şekil 3.10. Hareketli ve Sabit PV panellerin gösterimi-önden görünüş

Çift eksenli güneş paneli sisteminin güneş ışınlarını takip edebilmesi için ilk olarak güneşin konumunun belirlenmesi gerekmektedir. Bu işlemi gerçekleştirebilmek için sistemde solar göz güneş yani foto dirençler (LDR) kullanılmaktadır. Sistemin merkezi denetimi, kontrol ünitesi olan yani Arduino sayesinde yazılan algoritmalar aracılığıyla gerçekleşmektedir.

Şekil 3.11. Hareketli ve Sabit PV panellerin gösterimi-yandan görünüş

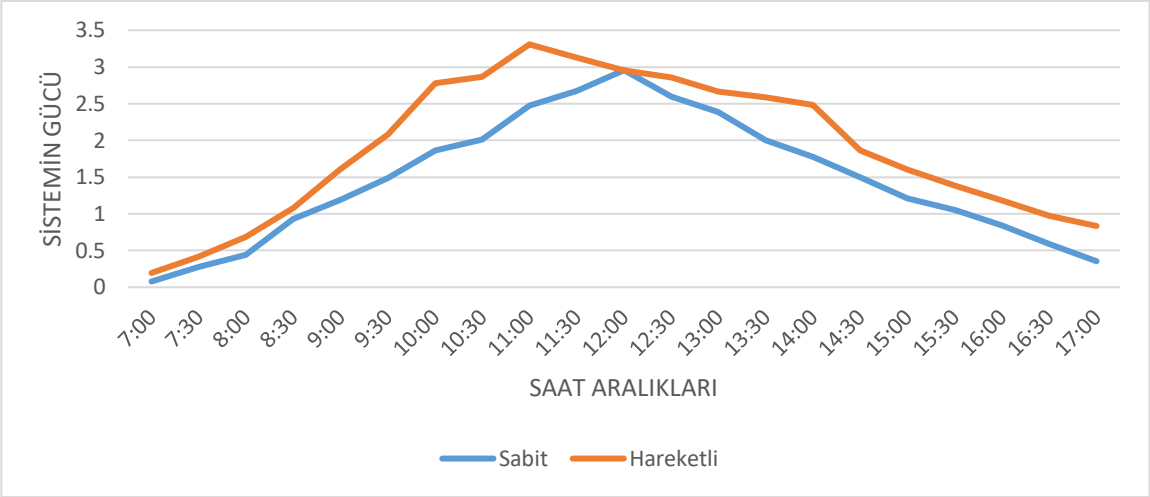
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Sabit ve Hareketli Sistemlerden Veri Toplanması ve Karşılaştırılması

Sabit ve Hareketli sistemlerden 19, 21 ve 31 Ekim günleri için bağımsız tarihlerde farklı hava koşulları altında 3 günlük bir analiz ve karşılaştırma yapılmıştır. Panellerden alınan saatlik veriler tablolaştırıldıktan sonra zaman-güç grafikleri elde edilmiştir. Tablo 3.4'de Diyarbakır'da 19 Ekim 2022'de güneşli havada sabit sistem ve hareketli sistemden alınan ölçüm sonuçları verilmiş ve Şekil 3.12'de ki gibi grafiklendirilmiştir.

Tablo 3.4. 19 Ekim 2022 güneşli hava Güney yönünde 49° eğimle yerleştirilmiş Sabit ile Hareketli sistem için alınan ölçümler

Zaman(t)	Volt(V)		Akım(A)		Güç(W)	
	Sabit	Hareketli	Sabit	Hareketli	Sabit	Hareketli
07:00	1,57	2,43	0.05	0,08	0,0785	0,1944
07:30	2,72	3,45	0.1	0,12	0,272	0,414
08:00	3,65	4,28	0,12	0,16	0,438	0,6848
08:30	4,89	5,37	0,19	0,2	0,9291	1,074
09:00	5,67	6,44	0,21	0,25	1,1907	1,61
09:30	6,21	6,94	0,24	0,3	1,4904	2,082
10:00	6,64	7,13	0,28	0,39	1,8592	2,7807
10:30	6,7	7,17	0,3	0,4	2,01	2,868
11:00	6,86	7,35	0,36	0,45	2,4696	3,3075
11:30	7,04	7,27	0,38	0,43	2,6752	3,1261
12:00	7,21	7,21	0,41	0,41	2,9561	2,9561
12:30	7,02	7,14	0,37	0,4	2,5974	2,856
13:00	6,82	7,02	0,35	0,38	2,387	2,6676
13:30	6,68	6,98	0,3	0,37	2,004	2,5826
14:00	6,58	6,89	0,27	0,36	1,7766	2,4804
14:30	6,24	6,66	0,24	0,28	1,4976	1,8648
15:00	5,77	6,39	0,21	0,25	1,2117	1,5975
15:30	5,25	6,01	0,2	0,23	1,05	1,3823
16:00	4,66	5,63	0,18	0,21	0,8388	1,1823
16:30	3,93	5,14	0,15	0,19	0,5895	0,9766
17:00	3,25	4,61	0.11	0,18	0,3575	0,8298
					25,9227	33,4583

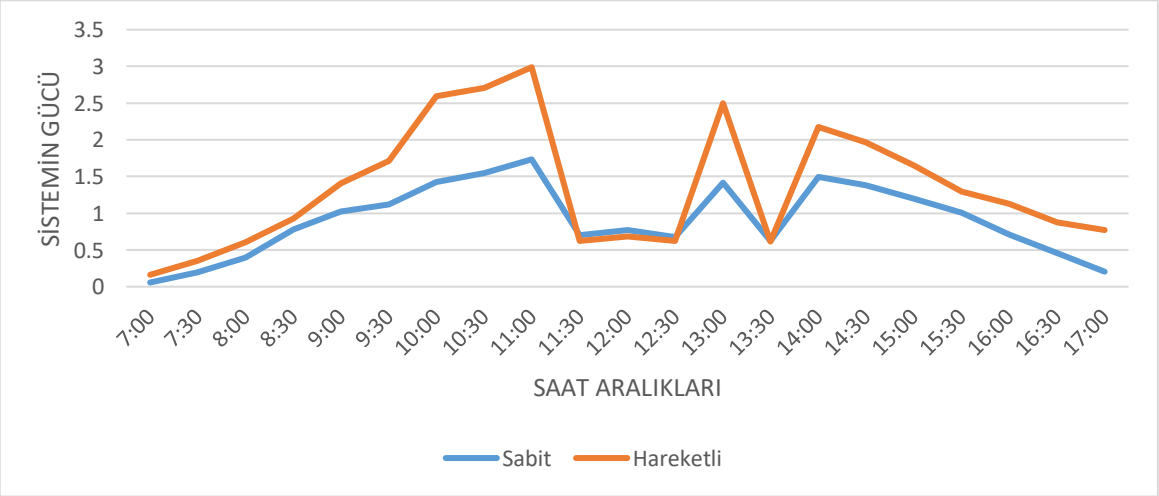


Şekil 3.12. 19 Ekim 2022 Sabit ve Hareketli sistem için zaman-güç grafiği

Aynı şekilde Tablo 3.5'de Diyarbakır'da 21 Ekim 2022'de parçalı bulutlu havada sabit sistem ve hareketli sistemden alınan ölçüm sonuçları verilmiş ve Şekil 3.13'de ki gibi grafiklendirilmiştir.

Tablo 3.5. 21 Ekim 2022 parçalı bulutlu hava Güney yönünde 49° eğimle yerleştirilmiş Sabit ile Hareketli sistem için alınan ölçümler

Zaman(t)	Volt(V)		Akım(A)		Güç(W)	
	Sabit	Hareketli	Sabit	Hareketli	Sabit	Hareketli
07:00	1,43	2,32	0,04	0,07	0,0572	0,1624
07:30	2,41	3,19	0,08	0,11	0,1928	0,3509
08:00	3,32	4,02	0,12	0,15	0,3984	0,603
08:30	4,59	5,17	0,17	0,18	0,7803	0,9306
09:00	5,37	6,13	0,19	0,23	1,0203	1,4099
09:30	5,59	6,58	0,2	0,26	1,118	1,7108
10:00	6,18	7,02	0,23	0,37	1,4214	2,5974
10:30	6,43	7,13	0,24	0,38	1,5432	2,7094
11:00	6,67	7,29	0,26	0,41	1,7342	2,9889
11:30	4,39	4,15	0,16	0,15	0,7024	0,6225
12:00	4,55	4,25	0,17	0,16	0,7735	0,68
12:30	4,23	4,14	0,16	0,15	0,6768	0,621
13:00	6,15	6,95	0,23	0,36	1,4145	2,502
13:30	4,13	4,07	0,15	0,15	0,6195	0,6105
14:00	6,22	6,81	0,24	0,32	1,4928	2,1792
14:30	6,01	6,54	0,23	0,3	1,3823	1,962
15:00	5,69	6,34	0,21	0,26	1,1949	1,6484
15:30	5,31	5,89	0,19	0,22	1,0089	1,2958
16:00	4,42	5,38	0,16	0,21	0,7072	1,1298
16:30	3,51	4,89	0,13	0,18	0,4563	0,8802
17:00	2,56	4,52	0.09	0,17	0,2048	0,7684
					15,1279	17,4729

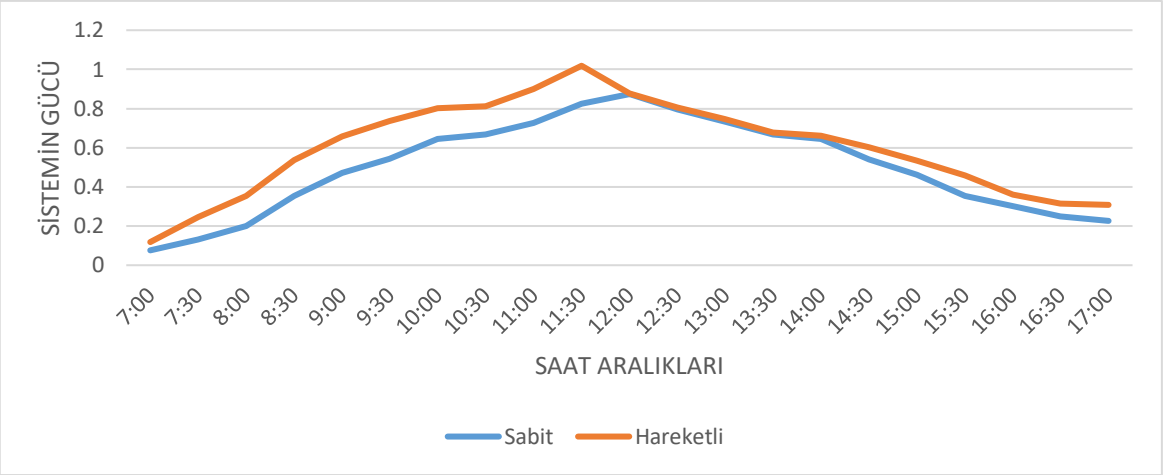


Şekil 3.13. 21 Ekim 2022 Sabit ve Hareketli sistem için zaman-güç grafiği

Aynı şekilde Tablo 3.6'da Diyarbakır'da 31 Ekim 2022'de bulutlu havada sabit sistem ve hareketli sistemden alınan ölçüm sonuçları verilmiş ve Şekil 3.14'de ki gibi grafiklendirilmiştir.

Tablo 3.6. 31 Ekim 2022 bulutlu hava Güney yönünde 49° eğimle yerleştirilmiş Sabit ile Hareketli sistem için alınan ölçümler

Zaman(t)	**Volt(V)**		**Akım(A)**		**Güç(W)**	
	Sabit	Hareketli	Sabit	Hareketli	Sabit	Hareketli
07:00	1,52	1,97	0,05	0,06	0,076	0,1182
07:30	1,89	2,72	0,07	0,09	0,1323	0,2448
08:00	2,51	3,21	0,08	0,11	0,2008	0,3531
08:30	3,23	3,84	0,11	0,14	0,3553	0,5376
09:00	3,64	4,11	0,13	0,16	0,4732	0,6576
09:30	3,89	4,33	0,14	0,17	0,5446	0,7361
10:00	4,03	4,45	0,16	0,18	0,6448	0,801
10:30	4,17	4,51	0,16	0,18	0,6672	0,8118
11:00	4,28	4,74	0,17	0,19	0,7276	0,9006
11:30	4,59	4,85	0,18	0,21	0,8262	1,0185
12:00	4,6	4,62	0,19	0,19	0,874	0,8778
12:30	4,42	4,47	0,18	0,18	0,7956	0,8046
13:00	4,31	4,38	0,17	0,17	0,7327	0,7446
13:30	4,17	4,24	0,16	0,16	0,6672	0,6784
14:00	4,04	4,13	0,16	0,16	0,6464	0,6608
14:30	3,87	4,02	0,14	0,15	0,5418	0,603
15:00	3,56	3,81	0,13	0,14	0,4628	0,5334
15:30	3,22	3,52	0,11	0,13	0,3542	0,4576
16:00	3,03	3,27	0,1	0,11	0,303	0,3597
16:30	2,78	3,14	0,09	0,1	0,2502	0,314
17:00	2,53	3,07	0,09	0,1	0,2277	0,307
					6,5817	7,2981



Şekil 3.14. 31 Ekim 2022 Sabit ve Hareketli sistem için zaman-güç grafiği

Güç değerlerinde görülen yarım saatlik azalma ve yükselme durumları, sistemlerin belirtilen saatler içerisinde hava şartlarından kaynaklanan güneş radyasyonunun azalmasına bağlı olarak değerlerinin değişmesinden kaynaklanmaktadır.

4.2. Verim Hesapları

Sistemde kullanılan panel 3,75 Watt'lık olup 19, 21 ve 31 Ekim günleri için bağımsız olarak Panelden aldığımız toplam güç değerlerine bağlı olarak verim hesapları denklem 3.9 ile denklem 3.10'a göre hesaplanmıştır. Farklı hava koşullarına göre toplam üretilen güç grafiği Şekil 3.15'de gösterilmiştir.

$$\eta = (P_{fark} / P_{sabit})*100 \tag{3.9}$$

$$P_{fark} = P_{hareketli} - P_{sabit} \tag{3.10}$$

19 Ekim 2022 için verim hesapları: (1.Kategori)

$P_{hareketli}$=33,4583

P_{sabit}=25,9227

η= (7,5356/25,9227)*100

η= %29,1

21 Ekim 2022 için verim hesapları: (2.Kategori)

*P*hareketli=17,4729

*P*sabit=15,1279

Ƞ= (2,345/15,1279)*100

Ƞ= %15,5

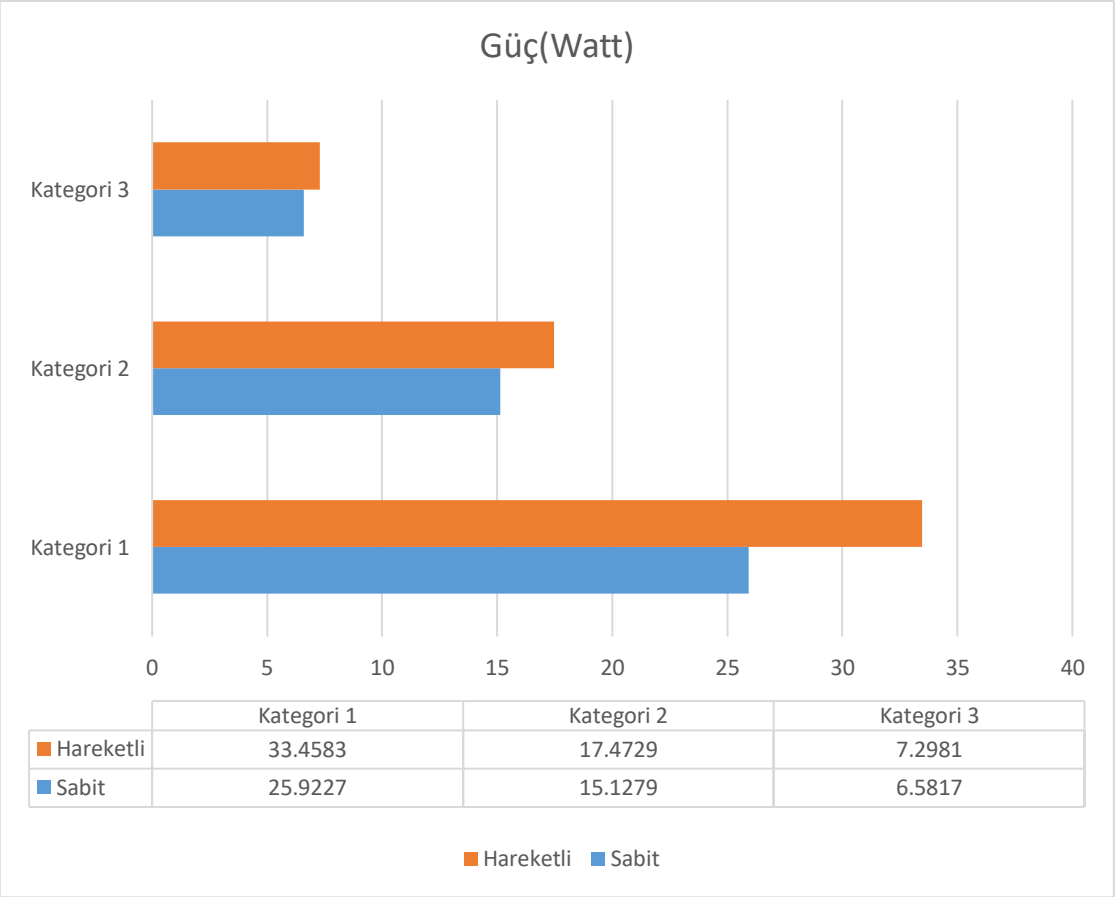
31 Ekim 2022 için verim hesapları: (3.Kategori)

*P*hareketli=7,5063

*P*sabit=6,5817

Ƞ= (0,7164/6,5817)*100

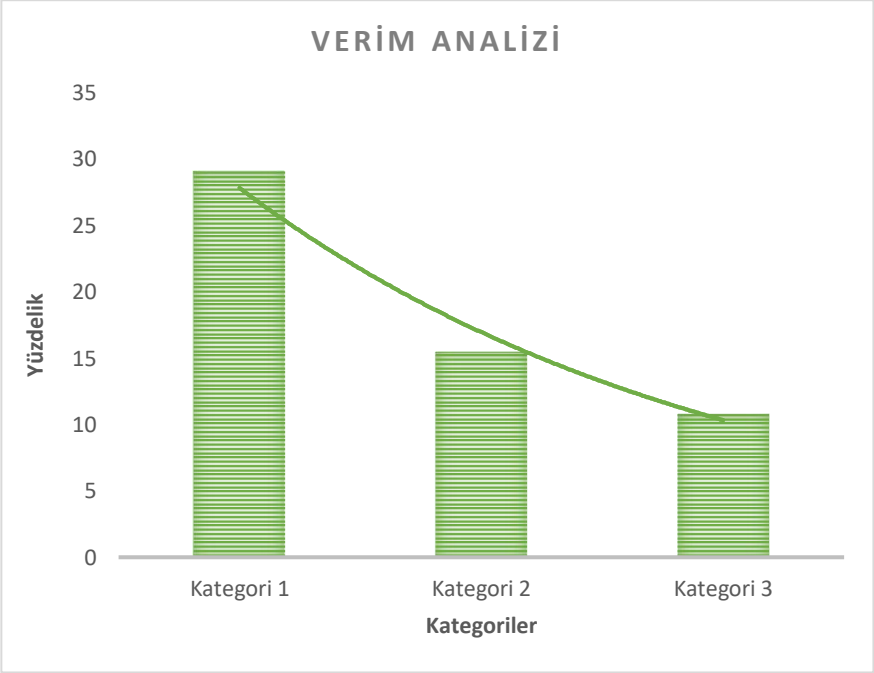
Ƞ= %10,8



Şekil 3.15. Hava durumuna göre toplam üretilen güç grafiği

4.3. Performans için Verim Analizi

Sabit sistem için bulunan verim değerleri ile hareketli sistem için bulunan verim değerleri panellerin günlük ürettiği toplam güç miktarları alınarak karşılaştırmalar yapıldığında aşağıdaki verim analizi grafiği elde edilmiştir.



Şekil 3.16. Hava durumuna göre verim analiz grafiği

Hava durumunun parçalı bulutlu ve bulutlu olmasına rağmen güneş takibi yapan sistemin daha başarılı olduğu fakat toplam üretilen güç miktarının azaldığı tespit edilmiştir. Bu güç üretim değerlerine göre farklı hava koşullarında bile çift eksenli güneş takip sisteminin güç üretim miktarlarındaki düşüşe rağmen verimi sabit güneş panellerine kıyasla daha fazla olduğu Şekil 3.16'da gösterilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında çift eksenli GTS tasarlanmış ve uygulanmıştır. Solar göz kullanılarak güneşten gelen radyasyon değerinin PV panele optimum sevide gelmesi sağlanmış ve bu şekilde çift eksenli güneş takip sisteminin verimini arttırmak için bir çözüm ortaya atılmıştır. ÇEGTS'nin performansını analiz etmek için farklı hava koşulları altında sabit güneş paneline kıyasla enerji üretim miktarlarına göre verim analizleri karşılaştırılmıştır. Bu yapılan tasarım ile ÇEGTS'nin sabit güneş panellerine nazaran daha yüksek enerji verimliliği, basit yapısı ve kolay uygulanması gibi avantajları sebebiyle gelecekte yerini alma potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir. İlerleyen zamanlarda yapılacak çalışmalarda ÇEGTS'nin bir parçası olan solar göz elemanını kullanılmadan güneşin konum ve zaman bilgileriyle sensörsüz bir ÇEGTS ile sensörlü bir ÇEGTS'nin karşılaştırılması hedeflenmektedir. Bu çalışmada yapılan ölçüm sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- 1.kategoriye göre güneşli havada hareketli sistemin sabit sisteme göre ortalama %29,1 daha verimli olduğu tespit edilmiştir.
- 2.kategoriye göre parçalı bulutlu havada hareketli sistemin sabit sisteme göre ortalama %15,5 daha verimli olduğu tespit edilmiştir.
- 3.kategoriye göre ise havanın bulutlu olması hareketli sistemin sabit sisteme göre ortalama %10,8 daha verimli olduğu tespit edilmiştir. Fakat verimin 1. ve 2.kategoriye göre düşme sebebinin hava şartlarından kaynaklanan güneş ışığı azalmasına bağlı olarak üretilen güç değerlerinin düşmesinden kaynaklanmaktadır.

ÇEGTS ile yatay düzleme düşen güneş radyasyonu daha fazla soğurulur. Çift eksenli güneş takip sisteminin gün boyunca güneşin konumunu takip etme özelliği sayesinde, güneşin doğuş ve batış saatlerinde diğer sabit güneş panellerine oranla yaklaşık %11 ile %29 arasında daha fazla verim alındığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

Altıntaş, B. (2012). Güneş enerjisi destekli ısı depolama sisteminin termodinamik modeli ve endüstriyel uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü.

Aydın, M. (2007). Eğim Açısı Ayarlanabilir Ekonomik Sistem Sehpası, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Banerjee, A., Majumder, A., Sarkar, S., and Bosu, D. (2015). "Harnessing non conventional solar energy through conventional thermal power systems," International Conference and Workshop on Computing and Communication, p. 1–7.

Beckman William A., and Duffle John, A. (1991). Solar Engineering of Thermal Processes. Second Edition, A Wiley-lnterscience Publication, JOHN WİLEY& SONS, INC, Canada, p. 888.

Bilgin, Z. (2007). Sun Tracking System, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilim Tezi.

Bingöl, O., Altıntas, A., and Öner, Y. (2006). Microcontroller Based Solar-Tracking System and Its Implementation. Journal Of Engineering Sciences, *12*(2), 243–248.

Camelia, S., and Dorin, S. (2014). Optimum Tilt Angle for Flat Plate Collectors All Over the World–A Declination Dependence Formula and Comparisons of Three Solar Radiation Models. Energy Conversion and Management, 81, 133- 143.

Clifford M. J., and Eastwood, D. (2004). Design of a novel passive solar tracker, Solar Energy, 77, 269–80.

Çanka Kılıç, F. (2015). Güneş enerjisi, türkiye'deki son durumu ve üretim teknolojileri, mühendis ve makine, 56(671), 28-40. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/muhendısmakina/issue/54341/736245.

Dickinson, E.W. (1980). Güneş Enerjisi Teknolojisi El Kitabı (1. baskı). CRC Basın. https://doi.org/10.1201/9781351076739.

Dong, L., An, Z., and Hao, L. (2015). Design and Implementation of Solar Tracking System, *6*(3), 1456–1461. doi:10.2991/asei-15.2015.152.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (n.d.) Türkiye Güneş Enerji Atlası. Retrieved november 23, 2022, from https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes.

Gündoğdu, K., Kabadayı, H., ve Öztürk, A. (2016). Fotovoltaik Paneller İçin Güneş Takip Edebilen Basit Ve Ekonomik Bir Sistem Tasarımı. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4(2), 634–639. http://dergipark.gov.tr/dubited/issue/24379/258408 od preuzeto.

Hammoumi, A., El, Motahhir, S., Ghzizal, A., El, Chalh, A., and Derouich, A. (2018). A simple and low-cost active dual-axis solar tracker. Energy Science and Engineering, *6*(5), 607–620. doi:10.1002/ese3.236.

https://www.robotistan.com/mg996-13-kg-servo-motor-tekniközellikler/Retrieved november 25, 2022.

https://arduinobeyni.blogspot.com/arduino teknik özellikler/Retrieved november 26, 2022.

https://www.motorobit.com/urun/12v-500ma-solar-panel-gunes-pili-teknik-özellikler

Retrieved november 27, 2022.

https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jul/IRENA_Renewable_energy_statistics_2019.

Ilse, K. K., Figgis, B. W., Naumann, V., Hagendorf, C., and Bagdahn, J. (2018). Fundamentals of soiling processes on photovoltaic modules. Renewable and Sustainable Energy Reviews, *98*(September), 239–254. doi:10.1016/j.rser.2018.09.015.

IRENA. (2022). Renewable Capacity Statistics. International Renewable Energy Agency. https://www.irena.org/publications/2022/Apr/Renewable-Capacity-Statistics.

International Energy Agency (IEA), (2021). Solar Energy Perspectives, Retrieved from https://www.iea.org/reports/solar-energy-perspectives.

Sefa, İ., Demirtaş, M., ve Bayındır R. (2010). küreselleşme ve lizbon eğitim 2010 globalızatıon and educatıon, lısbon objectıves, 327–336.

Kılıç, H., Gümüş, B., ve Yılmaz, M. (2016). Diyarbakır İli için Güneş Enerjisi Verilerinin Meteorolojik Standartlarda Ölçülmesi ve Analizi. EMO Bilimsel Dergi, 5(10), 15-19.

Masters, G. M. (2004). Renewable and Efficient Electric Power Systems, New Jersey, John Wiley & Sons, p. 676.

Messenger, R. A., and Ventre, J. (2004). Photovoltaic Systems Engineering 2nd ed, CRC Pres, New York, 21-25, 31-35, 415-431.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (n.d.). Global Güneş Radyasyonu. Retrieved november 14, 2022, from https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx?il=diyarbakır

Navruz, T. S. (2008). Arabant yapılı güneş pillerinde verim optimizasyonu. Doktora, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-143.

Osama, A. Montasser. (2014). Development of a Smart Mechatronic Tracking System to Enhance Solar Cell Panels Performance\n. Ijmer, 4(12), 1–10. http://www.ijmer.com/papers/Vol4_Issue11/Version-1/A04011_01-0110.pdf od preuzeto.

Önal, M. A. (2009). İki Eksenli Güneş İzleme Sistemi Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Öztürk, H.H., ve Kaya, D. (2013). Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi, Fotovoltaik Teknoloji, Umuttepe Yayınları, Yayın No: 97, ISBN:978-605-5100-00-1.

Rustemli S., Dincadam F., and Demirtas, M. (2010). Performance Comparison of the Sun Tracking System and Fixed System in the Application of Heating and Lighting, Arabian Journal for Science and Engineering, p. 35(213), 171 – 183.

Yılmaz Ş., Karatutlu, A., ve Kekec, C. (2015). PLC tabanlı Gerçek Zaman Saati ile Güneş Takip Sistemi Tasarımı, Kahramanmaras Sutcu Imam University.

Single and dual axis trackers (n.d) Retrieved november 22, 2022, from https://sinovoltaics.com/learning-center/csp/dual-axis-trackers.

Şenay, G. (2011). Çok Eklemli Güneş Pillerinde Detaylı Denge Modeli İle Verim Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Müh. Anabilim Dalı, Ankara.

Şenpınar, A., ve Cebeci, M. (2012). Sabit ve iki eksenli izleme PVdizileri için güç çıkışının değerlendirilmesi , Applied Energy , Elsevier, vol. 92(C), p. 677-685.

TEİAŞ. (2021). Aylık Elektrik Üretim-Tüketim Raporları. https://www.teias.gov.tr/aylik-elektrik-uretim-tuketim-raporlari.

TEİAŞ. (2022). Kaynaklara ve kuruluşlara göre kurulu güç. https://www.gensed.org/basin /teias-2022-nisan ayı kurulu guc raporunu yayınladı.

TMMOB makine mühendisleri odası, (2014). Türkiye'nin Enerji Görünümü, Yayın no: MMO/2014/616, Ankara.

Toylan, H., and Hüner, E. (2017). Solar Tracking System based on Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering, 17(2), 546–554. doi:10.5578/fmbd.60776.

Yılmaz, G. (2018). Türkiye'deki güneş panellerinin optimum eğim açılarının analizi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yılmaz, M. (2013). Güneş Takip Sistemi ile Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Elde Etme Yöntemleri ve Optimum Verimin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.