

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**SABİT GÜNEŞ PANELLERİ İÇİN GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ
TASARIM VE PROTOTİP İMALATI**

Yüksek Lisans Tezi

Baran KÜÇÜKAYDIN

Danışman
Prof. Dr. Naci KURGAN

SAMSUN
2023

TEZ KABUL ONAYI

Baran KÜÇÜKAYDIN tarafından, **Prof. Dr. Naci KURGAN** danışmanlığında hazırlanan “**SABİT GÜNEŞ PANEL SİSTEMLERİ İÇİN GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ TASARIM VE PROTOTİP İMALATI**” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 17/08/2023 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Naci KURGAN Ondokuz Mayıs Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Doç Dr. Mahmut Can ŞENEL Ondokuz Mayıs Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Abdülvahap ÇAKMAK Samsun Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Ahmet TABAK
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım yüksek lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3.bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi?

Evet ☐ (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır ☒

19/06/2023
Baran KÜÇÜKAYDIN

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı: SABİT GÜNEŞ PANELLERİ İÇİN GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ
TASARIM VE PROTOTİP İMALATI

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 19/06/2023 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı :% 9

Tek kaynak oranı :% 2 çıkmıştır.

19/06/2023
Prof. Dr. Naci KURGAN

ÖZET

SABİT GÜNEŞ PANELLERİ İÇİN GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ TASARIM VE PROTOTİP İMALATI

Baran KÜÇÜKAYDIN
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Yüksek Lisans, Haziran/2023
Danışman: Prof. Dr. Naci KURGAN

Güneş takip sistemi, güneş panellerini güneşin hareketine bağlı olarak hareket ettiren bir mekanizma kullanır. Bu sistemler, panellerin güneşin konumuna göre optimum açıyı korumasını sağlar. Böylece, güneş ışınlarını gün boyunca takip ederek daha fazla güneş enerjisi yakalanmasını sağlarlar. Güneş takip sistemi, güneş panelinin maksimum verimle çalışmasını sağlayabilir, çünkü panel her zaman güneşe doğru hizalandığından daha fazla güneş ışığını yakalayabilir. Sabit güneş enerjisi sistemleri ise güneş panellerini sabit bir konumda tutar. Bu paneller genellikle yatay veya belirli bir açıyla yerleştirilir. Sabit sistemler, güneş ışığına daha az hassasiyet gösterir ve güneşin hareketiyle uyumlu olmadığından sabit bir enerji üretimi sağlar. Bu çalışmada aynı konum ve saatte manuel olarak ayarlanan panel açıları ile güneş takip sistemi aktif halde elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Öncelikle prototip üzerindeki güneş panelleri güney yönünde, yatay ile 60° şeklinde ayarlanıp her 15 dakikalık zaman diliminde üretilen elektrik enerjisi kayıt altına alınmıştır. İkinci aşama olarak, güneş panelleri yatay ile 30° ile şekilde ayarlanıp veriler kaydedilmiştir. Son olarak güneş takip sistemi aktif şekilde üretilen enerji değerleri kayıt altına alınmıştır. Elde edilen verilerin karşılaştırılması sonucunda manuel olarak ayarlanan 60° ve 30° panel açılarında güneşin, güneş panellerine yaklaşık 90° açı ile vurduğu 12.30 – 14.00 saatleri arasında maksimum enerji ürettiği gözlemlenmiştir. Güneş takip sistemin aktif hale getirildiğinde, saat 10.00’ dan itibaren maksimum seviyede enerji üretmeye başladığı ve saat 16.30’ a kadar maksimum seviyede enerji ürettiği sonucuna varılmıştır. Sabit güneş panel sistemleri ile güneş takip sistemi maliyetleri göz önüne alınarak avantaj ve dezavantajları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş Takip Sistemi, Güneş Panelleri, Mikro denetleyici

ABSTRACT

SOLAR TRACKING SYSTEM DESIGN AND PROTOTYPE MANUFACTURING FOR FIXED SOLAR PANELS

Baran KÜÇÜKAYDIN
Ondokuz Mayıs University
Institute of Graduate Studies
Department of Mechanical Engineering
Master, June/2023
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Naci KURGAN

The solar tracking system uses a mechanism that moves the solar panels based on the movement of the sun. These systems ensure that the panels maintain the optimum angle according to the position of the sun. Therefore, they ensure that more solar energy is captured by following the sun's rays throughout the day. The solar tracking system can keep the solar panel working at maximum efficiency because it can capture more sunlight as the panel is always aligned towards the sun. Fixed solar systems, on the other hand, keep the solar panels in a fixed position. These panels are usually placed horizontally or at an angle and are not adjusted to provide the best angle to the sun. Fixed systems are less sensitive to sunlight and provide a stable energy production as they are not compatible with the movement of the sun. In this study, the panel angles adjusted manually at the same location and time and the data obtained with the sun tracking system active were compared. First of all, the solar panels on the prototype were adjusted in the south direction, horizontally 60° , and the electrical energy produced in every 15 minutes was recorded. As a second step, the solar panels were adjusted to 30° from the horizontal and the data were recorded. Finally, the energy values produced actively by the solar tracking system were recorded. As a result of the comparison of the data obtained, it has been observed that the sun produces maximum energy between 12.30 p.m and 2 p.m. when the sun hits the solar panels at an angle of approximately 90° at the manually adjusted 60° and 30° panel angles. It has been concluded that when the solar tracking system is activated, it starts to produce energy at the maximum level from 10 a.m and produces maximum energy until 4.30 p.m. The advantages and disadvantages of fixed solar panel systems and solar tracking system costs were determined.

Keywords: Solar Tracking System, Solar Panels, Microcontroller

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Eğitim ve sosyal hayatımda bana destek ve yardımcı olan bütün dostlarıma, beni bugünlere getiren anneme, babama ve abime;

Üçay Grup; Üçay Mühendislik A.Ş.' deki bütün mesai arkadaşlarıma;

Çalışmamda benden yardımını, emeğini ve zamanını hiç esirgemeyen başta danışmanım Prof. Dr. Naci KURGAN olmak üzere bütün hocalarıma;

Teşekkürü borç bilirim.

Baran KÜÇÜKAYDIN

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL ONAYI.....	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ	2
2.1. On Grid Sistemler	2
2.2. Off Grid Sistemler	2
2.3. Güneş Enerji Sistem(GES) Elemanları	3
2.3.1. Güneş Panelleri	3
2.3.1.1. Monokristal Güneş Panelleri.....	4
2.3.1.2. Polikristal Güneş Panelleri.....	4
2.3.1.3. Esnek Güneş Panelleri.....	5
2.3.2. Aküler.....	6
2.3.2.1. Jel Aküler	6
2.3.2.2. AGM Aküler	7
2.3.3. Solar Kablolar	8
2.3.3.1. DC Solar Kablolar.....	8
2.3.3.2. DC Ana Kablolar.....	8
2.3.3.3. AC Bağlantı Kablolar.....	9
2.3.4. İnverter	10
2.3.4.1. Merkez İnverter	10
2.3.4.2. Mikro İnverter	11
2.3.4.3. Dizi İnverter.....	12
3. GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİ	14
3.1. Tek Eksenli Güneş Takip Sistemi	15
3.1.1. Yatay Tip Tek Eksenli Güneş Takip Sistemleri.....	15
3.1.2. Dikey Tip Tek Eksenli Güneş Takip Sistemleri	16
3.2. Çift Eksenli Güneş Takip Sistemi	16
4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	18
5. MATERYAL VE YÖNTEM.....	22
5.1. Materyal	22
5.1.1. Prototipte Kullanılan Malzemeler	22
5.1.1.1. Arduino UNO.....	22
5.1.1.2. L293D Motor Sürücü	23
5.1.1.3. Güneş Panelleri	23
5.1.1.4. MG996R Servo Motor	24
5.1.1.5. Jumper Kablo	24
5.1.1.6. Foto Direnç(LDR).....	25
5.1.1.7. Direnç	25
5.1.1.8. Voltmetre - Ampermetre	26
5.2. Yöntem.....	26
5.2.1. Prototip Tasarımı.....	26
5.2.2. Güneş Takip Sistem Yazılımı	29
5.2.3. Prototip Devresi	29

5.2.4. Prototip Montajı	31
5.2.5. Prototip Voltaj Ölçümleri.....	33
6. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	34
6.1. Prototip Ölçüm Sonuçları.....	34
6.2. Güneş Takip Sistemi Maliyet Analizi	38
6.2.1. Sabit Güneş Enerji Sistemi Maliyet Analizi	39
6.2.2. Çift Eksenli Güneş Takip Sistemi Maliyet Analizi.....	40
6.2.3. İki Sistemin Karşılaştırması	41
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	42
KAYNAKÇA.....	45
EKLER	47
EK.1. Arduino Kodu	47
ÖZ GEÇMİŞ.....	50



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simge	Açıklama
I	: Akım, A
°	: Derece
V	: Gerilim, v
R	: Direnç, Ω

Kısaltmalar

GES	: Güneş Enerji Sistemi
LDR	: Foto Direnç
PV	: Fotovoltaik
DC	: Doğru Akım
AC	: Alternatif Akım
AGM	: Emdirilmiş Cam Elyaf
PWM	: Sinyal Genişlik Modülasyonu
PLC	: Programlanabilir Mantıksal Denetleyici
GND	: Topraklama
ABS	: Akrilonitril Bütadien Stiren

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. On-Grid ve Off-Grid sistem fark şeması (Wolf, 2023).....	3
Şekil 2.2. Monokristal güneş paneli (Solar Square, 2022).....	4
Şekil 2.3. Polikristal güneş paneli (Solar Square, 2022).....	5
Şekil 2.4. Esnek güneş paneli (Solar Square, 2022)	5
Şekil 2.5. Jel Akü (İncitaş, 2022).....	7
Şekil 2.6. Jel Akü (İncitaş, 2022).....	7
Şekil 2.7. 6 mm ² DC Solar kablo (3DE3, 2020)	8
Şekil 2.8. DC Solar kablo (3DE3, 2020).....	9
Şekil 2.8. Beş damarlı AC solar kablo ve katmanları (3DE3, 2020)	9
Şekil 2.9. Merkez inventer (EnerjiPortalı)	10
Şekil 2.10. Güneş panelinin merkezi inverter bağlantı şeması (Shukir, 2021).....	11
Şekil 2.11. Mikro inventer (Micro-Inverters, 2022)	11
Şekil 2.12. Güneş panelinin micro inverter bağlantı şeması (Shukir, 2021).....	12
Şekil 2.13. Dizi inverter (Renewable, 2022).....	12
Şekil 2.14. Dizi inverter (Renewable, 2022).....	13
Şekil 2.15. Güneş panelinin dizi inverter bağlantı şeması (Shukir, 2021).....	13
Şekil 3.1. Yatay tip panel hareket şeması (Sino Voltaics, 2021)	15
Şekil 3.2. Dikey tip panel hareket şeması (Sino Voltaics, 2021).....	16
Şekil 3.3. Dikey tip panel hareket şeması (Sino Voltaics, 2021).....	17
Şekil 5.1. Prototipte kullanılan Arduino UNO mikro denetleyici kart	22
Şekil 5.2. Prototipte kullanılan L293D motor sürücü	23
Şekil 5.3. Prototipte kullanılan 6 volt 1watt güneş panelleri	23
Şekil 5.4. Prototipte kullanılan MG996R servo motor	24
Şekil 5.5. Jumper kablolar (Hemmings, 2018)	24
Şekil 5.6. Prototipte kullanılan foto direnç(LDR).....	25
Şekil 5.7. Prototipte kullanılan 10 kΩ direnç	26
Şekil 5.8. Prototipte kullanılan dual dijital volt-ampermetre	26
Şekil 5.9. Güneş takip sistem izometri tasarımı	27
Şekil 5.10. Güneş takip sistem tasarımı önden görüntüsü	27
Şekil 5.11. Güneş takip sistemi teknik çizimi	28
Şekil 5.12. Güneş takip sistem tasarımı sağ yandan görüntüsü	28
Şekil 5.13. Arduino IDE programı	29
Şekil 5.14. Prototipte kullanılan güneş takip sistemi devre şeması	30

Şekil 5.15. Prototipte kullanılan foto direnç bağlantı şeması	30
Şekil 5.16. Taşıyıcı ana gövde	31
Şekil 5.17. Metal plaka ve yatay servo motor bağlantısı	31
Şekil 5.18. Pleksi tabla üzerinde güneş panelleri	32
Şekil 5.19. Pleksi tabla ile foto dirençleri taşıyıcı parça montajı	32
Şekil 5.20. Foto dirençlerin montajı	32
Şekil 6.1. Güneş panellerinin zamana göre 30 dk' lık elektrik üretimi	35
Şekil 6.2. Güneş panellerinin zamana göre 30 dk' lık elektrik üretimi	36
Şekil 6.3. Güneş panellerinin zamana göre 30 dk' lık elektrik üretimi	38
Şekil 6.4. Sabit güneş panel sisteminin günlük enerji üretimi.	39
Şekil 6.5. Çift eksenli güneş takip sisteminin günlük enerji üretimi.	40

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 5.1. 10.07.2022 tarihli Samsun/Atakum hava koşulları.....	33
Tablo 5.2. 11.07.2022 tarihli Samsun/Atakum hava koşulları.....	33
Tablo 5.3. 12.07.2022 tarihli Samsun/Atakum hava koşulları.....	33
Tablo 6.1. 10.07.2022 tarihinde 60° ile zamana göre güneş panellerinin elektrik ve akım üretimi	34
Tablo 6.2. 10.07.2022 tarihinde 60° ile zamana göre saatlik enerji üretimi	34
Tablo 6.3. 11.07.2022 tarihinde 30° ile zamana göre güneş panellerinin elektrik ve akım üretimi	35
Tablo 6.4. 11.07.2022 tarihinde 30° ile zamana göre saatlik enerji üretimi	36
Tablo 6.5. 12.07.2022 tarihinde güneş takip sistemi ile zamana göre güneş panellerinin elektrik ve akım üretimi	37
Tablo 6.6. 12.07.2022 tarihinde güneş takip sistemi ile zamana göre saatlik enerji üretimi	37
Tablo 6.7. Sabit güneş enerji sistemi malzeme maliyet tablosu	40
Tablo 6.8. Güneş takip sistemi malzeme maliyet tablosu.....	41

1. GİRİŞ

Gelecekte fosil yakıt kaynaklarının kaçınılmaz kıtlığıyla birlikte, yenilenebilir yakıt türleri, tüm dünyada araştırmacılar, yatırımcılar ve karar vericiler için ilgi konusu haline geldi. Dikkat çeken yeni enerji türleri şunları içerir: hidroelektrik, biyoenerji, güneş, rüzgâr ve jeotermal enerji, gelgit gücü ve dalga enerjileridir. Yenilenebilir olmaları nedeniyle, fosil yakıt kaynaklarına nazaran daha uygun sistemler olarak kabul edilirler. Bu enerji türleri arasında güneş fotovoltaik (PV) enerjisi en ulaşılabilir kaynaklardandır ve bu teknoloji daha yaygın olarak benimsenmiştir. Bu nedenle Güneş PV enerjisinin büyük bir güç kaynağı haline gelmesi bekleniyor. PV sistemlerin avantajlarına rağmen, güneş PV enerjisi henüz geleneksel enerjinin yerini almaktan bir ölçüde uzaktır. Piyasadaki kaynaklar ile PV sistemlerinin güç çıkışını en üst düzeye çıkarmak için çalışılmaktadır.

PV malzemelerin kapasitesini geliştirmek için üreticilerden gelen teknolojiler, ancak sistem tasarımının ve modül yapımının iyileştirilmesi, güneş PV'si yapmak için uygun bir yaklaşımdır. Güç daha verimli, böylece müşteriler için güvenilir bir seçim olmaktadır. Verimliliği artırmanın ana yöntemlerinden biri, güneşe maruz kalma süresini en üst düzeye çıkarmaktır. Güneş takip sistemleri, PV güneş panellerini aynı hızda tutarak bunu başarmaya yardımcı olmaktadır. Bu projenin amacı, daha küçük ölçekte ışık izleme sisteminin prototipi ve ayrıca bu projeden izleme sisteminin sabit montajlı sisteme kıyasla nasıl bir performans gösterdiğinin nicel bir ölçümü beklenmektedir (V. Talekar, 2014).

Gerçekleştirilecek olan yüksek lisans tez çalışması ile günlük hayatta ve sanayideki bir problemin çözümüne yönelik bir konu seçilerek, üniversite sanayi iş birliğini geliştirmek amaçlanmıştır. Konum küçük, orta ve büyük işletmeler, konutların güneş panel sistemleri için ayıracakları alan yetersizliği ve sabit yörünge hareketiyle dönen güneşin panel açısının sürekli bir değişimi problemine karşı bir çözüm olarak planlanmıştır. Bu kapsamda, sektörde yapı konstrüksiyonu birkaç motorlar ve elektronik aksamlar ile destekleyip; montaj, temizleme, taşıma gibi konularda kolaylık sağlayacaktır. Ayrıca tez çalışması ile tasarım ve prototip imalatı gerçekleştirilecek olan güneş takip sistemi ile güneşten gelen fotonlar, panel üzerindeki elektronların koparılıp açığa çıkacak enerjinin kapasitesini artırmaya yönelik enerji verimliliği analizleri yapılacaktır.

2. GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ

Güneş enerji sistemleri; güneş panellerinin silikon, fosfor ve bor gibi katmanlardan oluşan farklı güneş pillerinden meydana gelir. Bu sistemler, fotonları emen güneş panelleri vasıtasıyla elektrik akımı üretir. Güneş paneli üzerine düşen fotonlar, elektronların atomik yörüngelerinden çıkmasını sağlar ve bu serbest elektronlar güneş pilleri tarafından üretilen elektrik alanına doğru yönlendirilir. Bu süreç, fotovoltaiik etki olarak adlandırılır. Güneş ışığından temiz ve yenilenebilir enerji elde edilir ve bu enerji elektrik yüklerini beslemek için kullanılabilir. Güneş enerji sistemlerinde şebekeye bağımlı ve bağımsız olarak iki farklı çeşidi mevcuttur. Şebeke elektriği ile bağlantılı sistem On-Grid, şebeke elektriğinden bağımsız sistemler ise Off-Grid sistemler olarak adlandırılır (Mr.Solar, 2015).

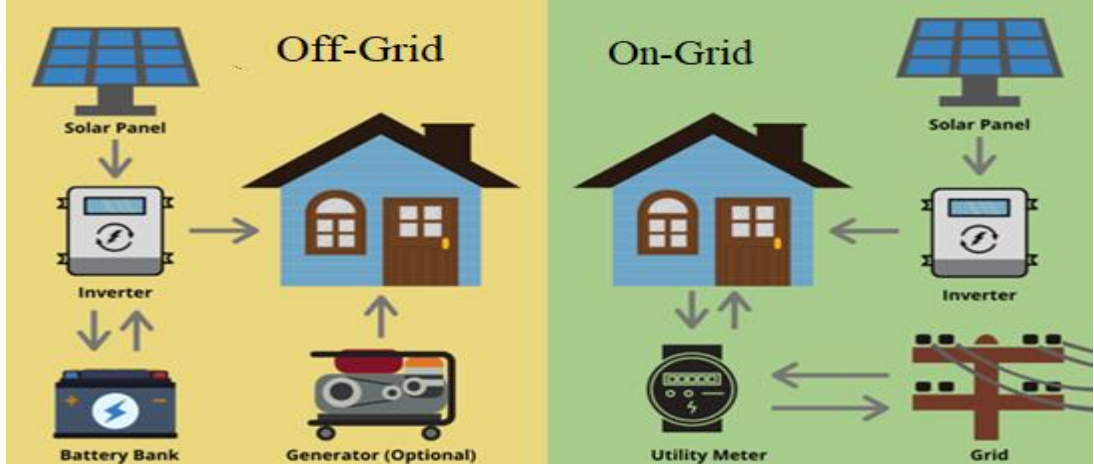
2.1. On Grid Sistemler

On-grid güneş enerjisi sistemi, elektrik şebekesine bağlı olduğu bir güneş enerjisi üretim sistemidir. Sistem tarafından üretilen elektrik, çeşitli cihazları çalıştırmak için kullanıldığı yerden şebekeye yönlendirilir. Aynısının kurulumu da zahmetsizdir ve bakımı kolaydır. Güneş modüllerinin dizilişi üzerlerindeki güneş ışığını emer ve elektriğe dönüştürür. Burada üretilen akım Doğru Akımdır (DC). Solar inverter daha sonra DC' yi Alternatif Akıma (AC) dönüştürür, böylece elektrikli parçalara güç sağlar. Bu elektrik daha sonra günlük kullanım için tedarik edildiği şebekeye yönlendirilir (AmplusSolar, 2022).

2.2. Off Grid Sistemler

Şebekeden bağımsız bir güneş enerjisi sistemi, elektrik üreten, bu gücü güneş pillerinde depolayan ve elektrik şebekesinden bağımsız olarak çalışan bir güneş paneli sistemidir. Bu sistemler, enerji bağımsızlığı ve kendi kendine sürdürülebilirlik merkezli bir yaşam tarzı olan şebeke dışı yaşamı teşvik etmektedir.

Enerji, yakıt, yiyecek ve diğer ihtiyaçların artan maliyeti nedeniyle “şebeke dışında” yaşamak son zamanlarda daha popüler hale geldi. Son on yılda elektrik maliyetlerinin artması, birçok tüketicinin evleri için alternatif güç kaynakları aramasına neden oldu. Güneş enerjisi, evinize elektrik şebekesinden bağımsız olarak güç sağlayabilen sürdürülebilir yeşil enerji biçimidir. Bununla birlikte, şebekeden bağımsız güneş enerjisi sistemleri, şebekeye bağlı (bazen şebekeye bağlı olarak adlandırılır) sistemlere kıyasla farklı bileşenler gerektirir (Saveonenergy, 2022).



Şekil 2.1. On-Grid ve Off-Grid sistem fark şeması (Wolf, 2023)

2.3. Güneş Enerji Sistem (GES) Elemanları

2.3.1. Güneş Panelleri

Bir güneş paneli fotovoltaiik sistemin bileşenlerinden biridir. Bir panel halinde düzenlenmiş bir dizi fotovoltaiik hücreden yapılmıştır. Çeşitli dikdörtgen şekillerde gelirler ve elektrik üretmek için kombinasyon halinde kurulurlar. Bazen fotovoltaiik olarak da adlandırılan güneş panelleri, Güneş'ten güneş ışığı şeklinde enerji toplar ve onu evlere veya işyerlerine güç sağlamak için kullanılabilecek elektriğe dönüştürür. Bu paneller, bir binanın elektriğini tamamlamak veya uzak yerlerde güç sağlamak için kullanılabilir.

Spesifik olarak, tek bir güneş paneli oluşturmak için bir dizi güneş pili kullanılır. Bu hücreler, cihazın güneş ışığını elektriğe çeviren kısımdır. Çoğu güneş paneli, kristalin silikon tipi güneş pillerinden yapılır. Bu hücreler silikon, fosfor ve bor katmanlarından oluşur (gerçi birkaç farklı fotovoltaiik hücre türü vardır). Bu hücreler bir kez üretildikten sonra bir ızgara modeline yerleştirilir. Kullanılan bu hücrelerin sayısı, birçok farklı boyutlandırma seçeneği mevcut olduğundan, büyük ölçüde oluşturulmakta olan panelin boyutuna bağlıdır. Hücreler yerleştirildikten sonra, panelin kendisi içindeki hücreleri korumak için kapatılır ve yansıtıcı olmayan bir camla kaplanır. Bu cam, güneş pillerini hasardan korur ve güneş ışığının hücrelere ulaşmasını sağlamak koyu malzemeden imal edilmiştir. Panel sert bir metal çerçeveye yerleştirilir. Bu çerçeve deformasyonu önleyecek şekilde tasarlanmıştır ve su birikmesi panelin verimliliğini azaltabileceğinden panel üzerinde su birikmesini önlemek için bir drenaj deliği içerir. Güneş panellerinin üç ana çeşidi bulunmaktadır (Mr.Solar, 2015).

2.3.1.1. Monokristal Güneş Panelleri

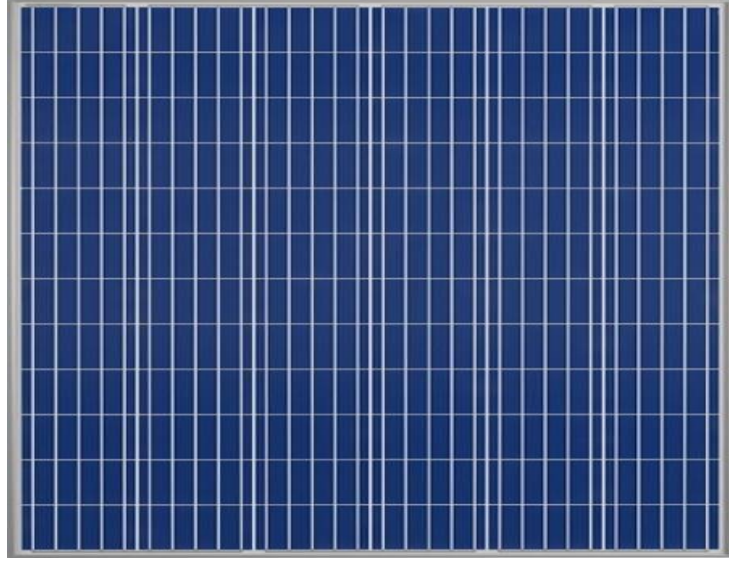
Monokristal güneş panelleri, tek kristal paneller olarak da bilinir. Hücre oluşturan birkaç gofret halinde dilimlenmiş saf silikon kristalinden yapılırlar. Bu gofretler, benzersiz görünümünü ve tek tip renklerini aldıkları için sekizgen şekilli bir gofret halinde kesilir. Saf silikondan yapıldıkları için siyah veya koyu mavi renklerinden kolayca ayırt edilebilirler. Monokristal güneş panellerinde “Half Cut” hücreler olarak bilinen bir teknoloji vardır. Burada kare şeklindeki hücreler ikiye bölünür, böylece hücre sayısı iki katına çıkar. Panelin üst yarısında tüm hücreler bir seride, alt yarısında ise başka bir seride birleştirilmiştir. Bu, panelin alt yarısında bir gölge olsa bile panelin üst yarısında güç üretimine devam etmesini sağlar. Bu nedenle, kısmi gölge sorunları olan kurulumlarda yarı kesilmiş hücrelerden genel güç üretimi daha yüksektir (Solar Square, 2022).



Şekil 2.2. Monokristal güneş paneli (Solar Square, 2022)

2.3.1.2. Polikristal Güneş Panelleri

Polikristalin güneş panelleri, çoklu silikon kristallerinden oluşur. Eritilip kare kalıplara dökülen silikon parçalarından yapılırlar. Bu kristaller soğuduktan sonra ince gofretler halinde dilimlenir ve bir polikristalin güneş paneli oluşturmak üzere bir araya getirilir. Ayrıca “çok kristalli” paneller olarak da bilinirler (Solar Square, 2022).



Şekil 2.3. Polikristal güneş paneli (Solar Square, 2022)

2.3.1.3. Esnek Güneş Panelleri

Monokristal ve polikristal güneş panellerinin aksine, ince film güneş panelleri, Amorf silikon, bakır indiyum galyum selenid ve kadmiyum tellür, içeren fotovoltaiik maddeler kullanılarak üretilir. Bu maddeler, cam, metal veya plastik gibi katı bir yüzey üzerinde biriktirilir ve bu da onu daha hafif ve kolay monte edilebilir hale getirir. Esnek güneş panelleri, bir ya da daha fazla ince fotovoltaiik film tabakasıyla kaplanmış plastik, metal, seramik veya cam panellerdir. Sahip olduğu bu yapı, onları standart güneş panellerinden daha ince, daha hafif ve daha esnek hale getirir (Solar Square, 2022).



Şekil 2.4. Esnek güneş paneli (Solar Square, 2022)

2.3.2. Aküler

Aküler; güneş, rüzgâr ve diğer yenilenebilir enerji sistemlerinde enerji depolamak için kullanılan elemandır. Bu tip aküler derin döngülü akülerdir. Bu tür aküler, otomobil akülerinden tamamen farklıdır. Derin döngülü solar aküler, uzun süreli, tekrarlanan ve derin deşarjları tolere edebilen "off-grid" yenilenebilir enerji sistemlerinde kullanılır.

Solar aküler, yenilenebilir enerji sistemlerinde önemli bir bileşendir. Rüzgâr türbini, güneş paneli veya hidroelektrik sistem tarafından üretilen enerjinin depolanmasını gerektirirler. Bağımsız bir elektrik şebekesi kullanmak isteyenler veya elektrik kesintisi durumunda güç sağlamak isteyenler için solar aküler çok kullanışlıdır.

Güneş enerjisinden gelen enerji, kullanılan enerjiyi depolamak için bir akü bileşeni olmadan sadece gündüz veya jeneratör çalışırken kullanılabilir. Solar akülerin fiyatları, depolama sistemi, batarya malzemesi, kapasite, derin deşarj özelliği ve kullanım ömrü gibi faktörlere bağlı olarak değişebilir. Fotovoltaik sistemlerinde başlıca iki çeşit akü kullanılmaktadır (İncitaş, 2022).

2.3.2.1. Jel Aküler

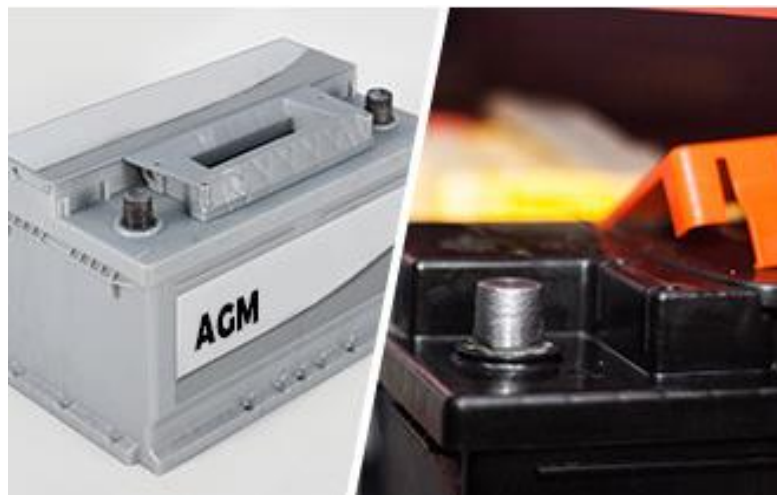
Teknolojik ilerlemelerin artmasıyla birlikte, eski tip kurşun-asit aküler yerini jel akülere bırakmıştır. Jel akü, kuru akü sınıfına ait olup, içerisinde sıvı değil, jel kıvamında elektrolit bulundurur. Jel kıvamı, sülfürik asit ve isli silika maddelerinin homojen bir şekilde karıştırılmasıyla elde edilir. Jel aküler, denizcilik, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarında yoğun bir şekilde tercih edilmesinin sebebi yüksek sıcaklığa ve titreşime karşı dayanıklı olmalarıdır. Jel akülerin diğer akü türlerinden farklılaştıran en önemli özellik, derin deşarj imkanı sunmalarıdır. Derin deşarj, akünün tamamen boşaltıldıktan sonra tekrar şarj edildiğinde, içerisindeki kimyasal yapının zarar görmeden kalması anlamına gelir. Bu özellik sayesinde jel akülerin kullanım ömrü diğer akülerde olduğu gibi her şarjdan sonra kısalma göstermez ve verimlilikleri düşmez (İncitaş, 2022).



Şekil 2.5. Jel Akü (İncitaş, 2022)

2.3.2.2. AGM Aküler

AGM, İngilizce "Absorbed Glass Mat" kelimelerinin baş harflerinden oluşan bir kısaltmadır. Türkçe olarak "emdirilmiş cam elyaf" anlamına gelir. AGM aküler, kuru akü türüne dahil olan ve yoğun olarak kullanılan bir akü çeşididir. Yüksek güvenlik ve performans sunmaktadır. Akünün pilinin dökülmesini engellemek için cam elyaf mat kullanılarak üretilir. Bu, kullanıcılara güvenlik açısından önemli bir avantaj sağlar. AGM aküler aslında 1980'li yıllarda ordu tarafından kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Dayanıklı ve yüksek verimlilik gösterirler. AGM aküler, cam elyaf süngere benzer bir yapıya sahiptir. Bu sünger, akünün içindeki asidi kolayca emer ve asit kuru bir hale gelir. AGM akü, EFB aküden farklı olarak start-stop sistemi olan araçlarda kullanılabilir. (İncitaş, 2022).



Şekil 2.6. Jel Akü (İncitaş, 2022)

2.3.3. Solar Kablolar

Solar kablo, bir dış kılıfla sarılmış birkaç yalıtılmış telden oluşan bir bileşiktir. Profesyoneller bunları güneş panellerini ve bir fotovoltaiik sistemin diğer bileşenlerini birbirine bağlamak için kullanır. Yüksek UV radyasyonunu, yüksek sıcaklıkları idare ederler ve hava koşullarına dayanıklıdırlar. Genellikle güneş panellerinin dışına veya içine monte edilirler.

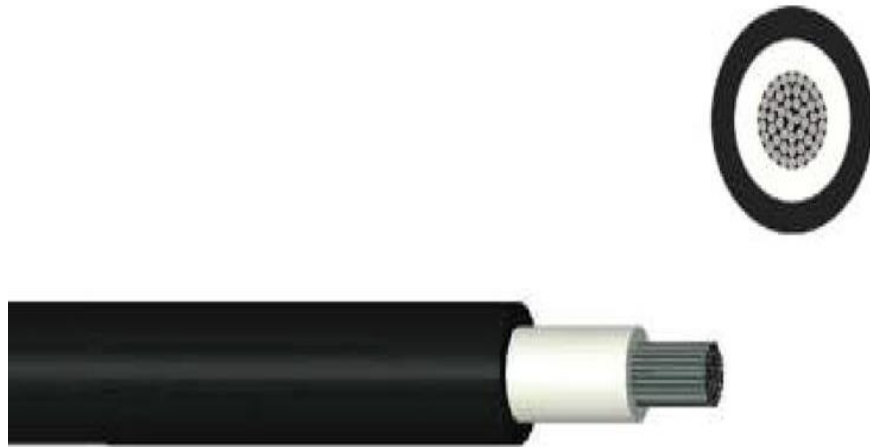
Bir kablonun çapı, içerdığı iletken sayısına bağlı olarak değişir. Solar kabloların sınıflandırılması, tel sayısına ve bunların ölçüsüne bağlıdır. Genel olarak, bir PV sisteminde kullanılan üç tip kablo vardır: DC solar kablolar, solar DC ana kablolar ve solar AC bağlantı kablolarıdır (Solar Wire, 2019).

2.3.3.1. DC Solar Kablolar

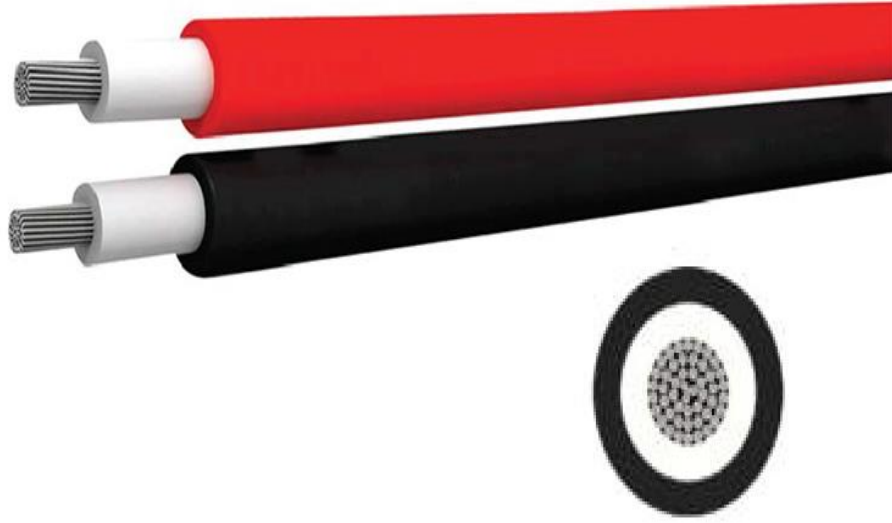
DC güneş kabloları, modül veya dizi kabloları olabilir. Tipik olarak, bunlar yalıtımlı ve kılıflı tek damarlı bakır kablolardır. PV güneş panelleri içinde kullanılırlar, uygun konektörlerle birlikte gelirler. DC güneş kabloları panellere önceden yerleştirilmiştir, bu nedenle bunları değiştiremezsiniz. Bazı durumlarda, diğer panellere bağlamak için dizi DC güneş kablosuna ihtiyacınız olacaktır (Solar Wire, 2019).

2.3.3.2. DC Ana Kablolar

Ana DC kabloları, jeneratör bağlantı kutusundan gelen pozitif ve negatif kabloları merkezi invertere bağlayan daha büyük güç toplayıcı kablolardır. Ana DC kablosunun tipik boyutları güneş enerjisi kablosu 2 mm, güneş enerjisi kablosu 4 mm ve güneş enerjisi kablosu 6 mm'dir (Solar Wire, 2019).



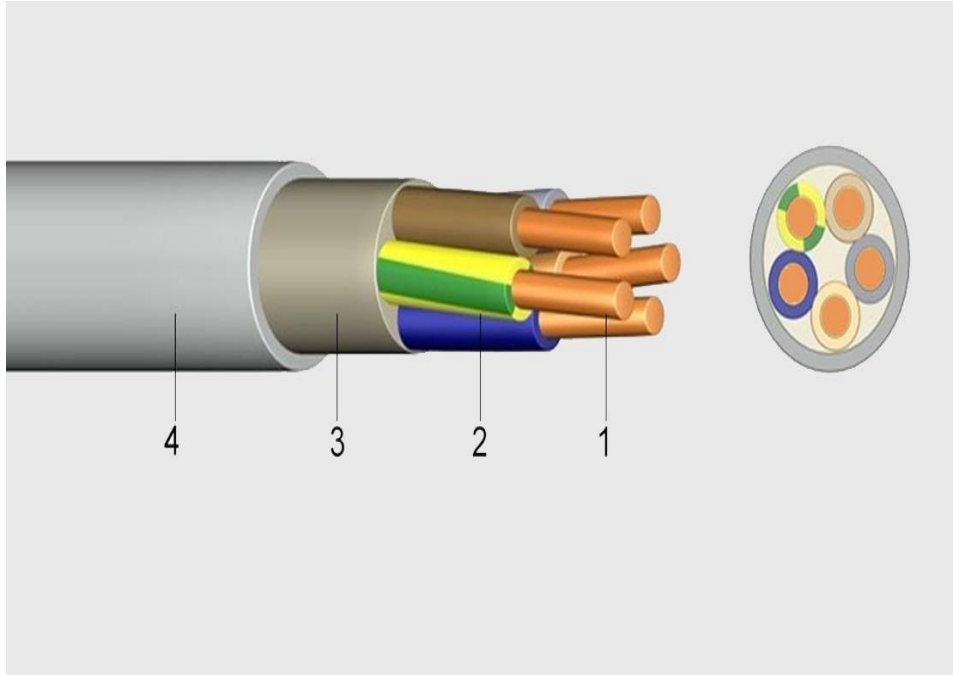
Şekil 2.7. 6 mm² DC Solar kablo (3DE3, 2020)



Şekil 2.8. DC Solar kablo (3DE3, 2020)

2.3.3.3. AC Bağlantı Kablolar

AC bağlantı kablosu güneş enerjisi inverterini koruma ekipmanına ve elektrik şebekesine bağlar. Üç fazlı eviricilere sahip küçük ölçekli güneş enerjisi sistemlerinde, şebekeye bağlanmak için beş damarlı bir AC kablosu kullanılır. Tellerin dağılımı şu şekildedir; elektrik taşımak için üç faz kablo, bir toprak ve bir nötr kablo bulunur (Solar Wire, 2019).



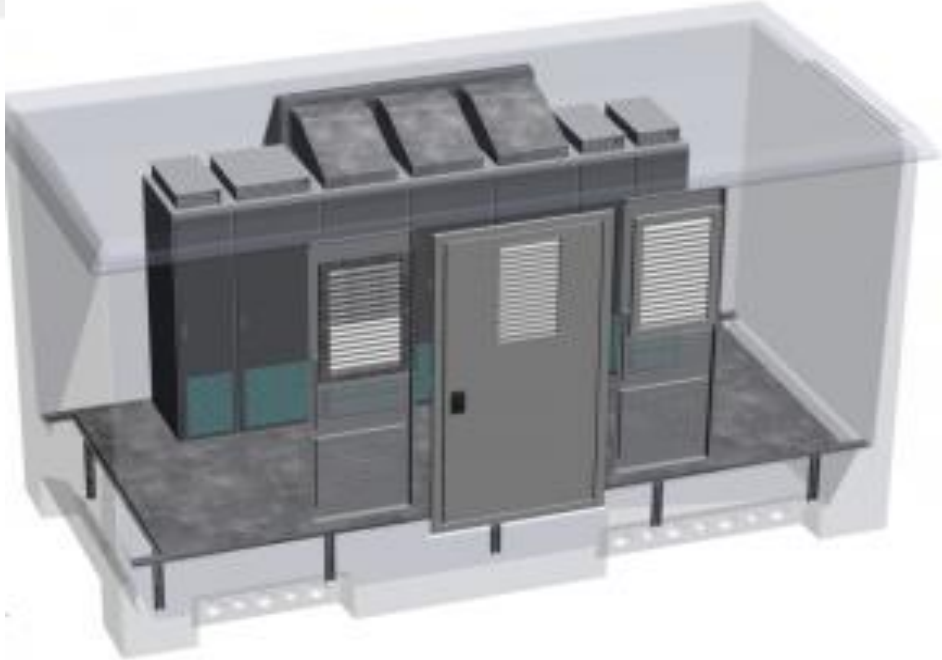
Şekil 2.8. Beş damarlı AC solar kablo ve katmanları (3DE3, 2020)

2.3.4. Inverter

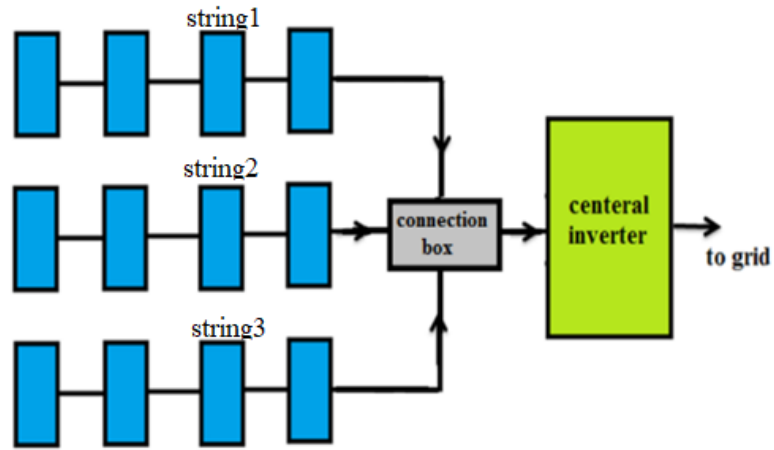
Solar inverter, solar elektrik güç sisteminin en önemli unsurlarından biridir. Bir fotovoltaiik (PV) güneş panelinin değişken doğru akım (DC) çıkışını alternatif 220 V akıma (AC) dönüştürür. Bu AC elektriği daha sonra gündelik cihazları çalıştırmak için kullanılabilir. Uzun ömürlü güneş enerjisi sistemleri, sağlam bir konveksiyon soğutma sistemine sahip yüksek kaliteli bir inverter gerektirir. Düşük kaliteli inverterler gerekli gücü üretmede başarısız oldu. Eviricinin verimliliği ve güvenilirliği, güneş enerjisi sisteminin başarısı için en önemli faktörlerden biri olarak kabul edilir. Güneş enerjisi sisteminin büyüklüğüne ve ana şebekeye bağlanma şekline bağlı olarak uygun evirici seçilir. Genel olarak güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan üç tip inverter vardır (Shukir, 2021).

2.3.4.1. Merkez Inverter

Bu inverterler (4 MW'a kadar) yüksek kapasiteleri ile karakterize edilir. Bu tip inverterler on-grid sistemlerde kullanılmaktadır. Güneş sisteminde, sürekli doğru (DC) voltajı alternatif (AC) voltaja dönüştürmek için tüm güneş panelleri dizisinin kendisine bağlı olduğu bir merkezi inverter çeşididir (Shukir, 2021).



Şekil 2.9. Merkez inverter (EnerjiPortalı)



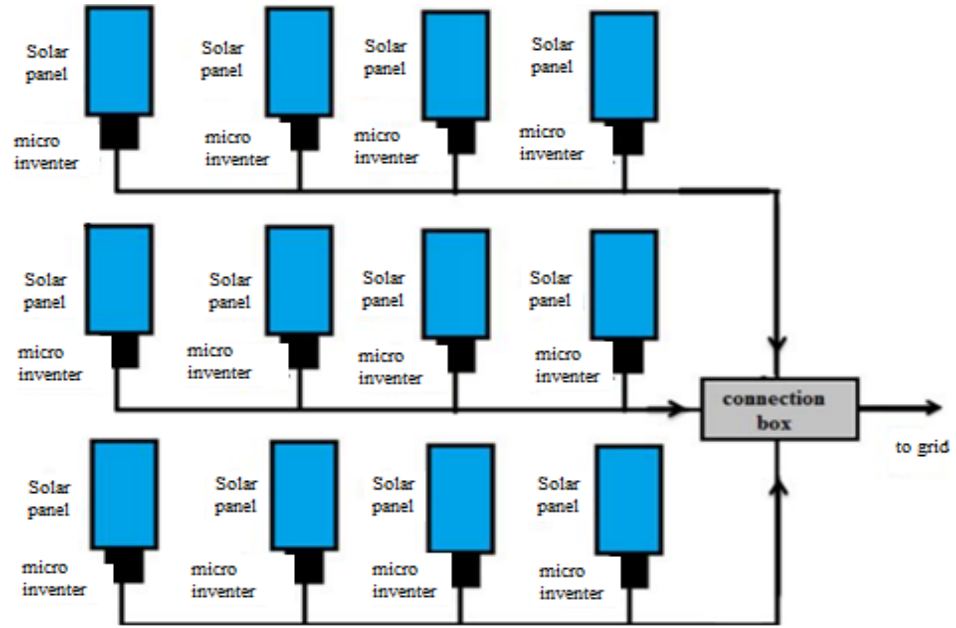
Şekil 2.10. Güneş panelinin merkezi inverter bağlantı şeması (Shukir, 2021)

2.3.4.2. Mikro Inverter

Her bir panel, panelden üretilen sürekli gerilimi alternatif gerilime çeviren bir mikro invertere bağlıdır, böylece paneller birbirine bağlı olmadığı için birbirlerinden etkilenmezler. Bu inverter tipi on-grid sistemle çalışır ve çok sayıda güneş paneli kullanılması nedeniyle sistem maliyetli hale gelir, bu nedenle bu tip, az sayıda panel içeren küçük sistemlerde kullanılır (Shukir, 2021).



Şekil 2.11. Mikro inverter (Micro-Inverters, 2022)



Şekil 2.12. Güneş panelinin micro inverter bağlantı şeması (Shukir, 2021)

2.3.4.3. Dizi Inverter

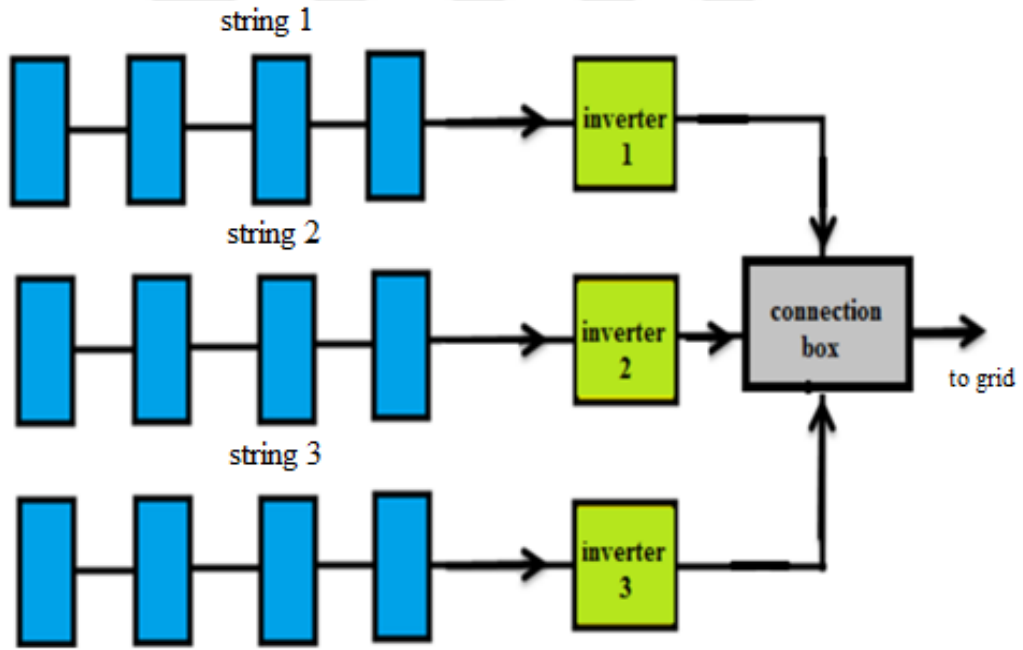
Bu inverter, merkezi invertere göre daha düşük fiyatlı ve bakımı kolay olduğundan, çoğu şebekeye bağlı güneş enerjisi sistemlerinde tercih edilen bir seçimdir. Ancak bu tip inverter kullanmanın dezavantajlarından biri, dizideki panellerden birinin gölgeye maruz kalması durumunda diziden üretilen elektrik gücü azalacaktır, bu nedenle gölgelenme faktörü en az seviyede tutulmalıdır (Shukir, 2021).



Şekil 2.13. Dizi inverter (Renewable, 2022)



Şekil 2.14. Dizi inverter (Renewable, 2022)



Şekil 2.15. Güneş panelinin dizi inverter bağlantı şeması (Shukir, 2021)

3. GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİ

Güneş takip sistemi, bir nesneyi Güneş'e göre bir açıda konumlandıran bir sistemdir. Güneş izleyicilerinin en yaygın uygulamaları, fotovoltaik (PV) panelleri (güneş panelleri) Güneş ışınlarına dik kalacak şekilde konumlandırmak ve uzay teleskoplarını Güneş'in yönünü belirleyebilecek şekilde konumlandırmaktır. PV güneş takip sistemi, bir güneş panelinin baktığı yönü, Güneş'in gökyüzündeki konumuna göre ayarlamak için kullanılmaktadır. Paneli Güneş'e dik tutarak güneş paneline daha fazla güneş ışığı düşer, daha az ışık yansıtılır ve daha fazla enerji emilir. Bu enerji güce dönüştürülebilir. Güneş takip sistemi, hizalanan nesneye göre Güneş'in konumunu belirlemek için bazı elektromekanik araçlar kullanır. Bu araçlar tipik olarak, sistemin Güneş'i takip etmesini sağlayan karmaşık algoritmaları işleyebilen bilgisayarları ve bir bilgisayara Güneş'in konumu hakkında bilgi sağlayan veya basit bir devre kartıyla bir güneş paneline bağlandığında, Güneş'i takip edebilen sensörleri içerir.

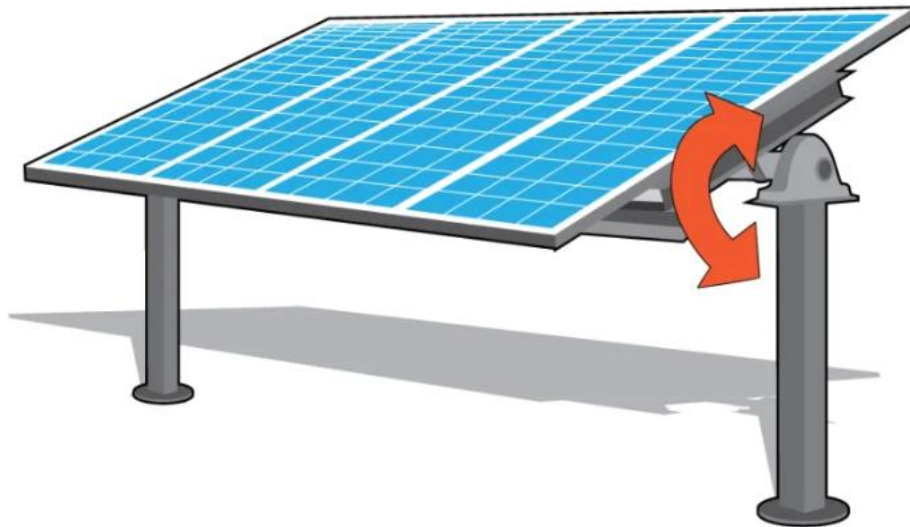
Işık açısı, bir güneş panelinin güç çıkışını etkilediğini göstermiştir. Güneş'e tam olarak dik olan bir güneş paneli, dik olmayan bir güneş panelinden daha fazla güç üretir. Dikeyden küçük açılar, güç çıkışı üzerinde daha büyük açılardan daha küçük bir etkiye sahiptir. Ek olarak, Güneş açısı mevsimsel olarak kuzeyden güneye ve doğudan batıya günlük olarak değişir. Sonuç olarak, doğudan batıya takip önemli olsa da, kuzeyden güneye takip daha az önemli bir etkiye sahiptir. Güneş takip cihazları, yenilenebilir enerji için önemli avantajlar sağlar. Güneş takibi ile güç çıkışı yaklaşık yüzde 30 ila 40 oranında artırılabilir. Bununla birlikte, güneş takip sisteminin birkaç dezavantajı vardır. Statik bir güneş panelinin on yıllara yayılan bir garantisi olabilir ve çok az bakım gerektirebilir veya hiç bakım gerektirmeyebilir. Güneş takip sistemleri ise çok daha kısa garantilere sahiptir ve paneli hareket ettirmek için bir veya birden fazla motor gerektirir. Bu hareketli parçalar kurulum maliyetlerini artırır; aktif izleme sistemleri de az miktarda enerji kullanabilir (pasif sistemler ek enerji gerektirmez). Bilgisayar tabanlı algoritma güneş izleyicileri daha pahalıdır, ek bakım gerektirir ve nispeten kısa sürelerde değiştirilmesi zor olabilecek parçalara sahip hızlı gelişen elektronik bileşenler kullandıklarından statik güneş panellerinden daha hızlı yorulmaya maruz kalabilirler. Güneş takip sistemleri eksen sayısına göre tek eksenli ve çift eksenli olmak üzere iki farklı şekilde sınıflandırılır (Yoshitaca, 2023).

3.1. Tek Eksenli Güneş Takip Sistemi

Bu kontrol sistemi, güneş panellerinin sadece tek bir eksen üzerinde hareket ettiği bir sistemdir. Tek eksenli güneş takip sistemi kullanarak verimliliği %15-30 oranında artırmak mümkündür. Tek eksenli kontrol sisteminde eksen genellikle doğu-batı yönünde yer alır ve paneller kuzey-güney doğrultusunda hareket edebilir. Aynı şekilde, paneller kuzey-güney hattına yerleştirilerek hareketleri doğu-batı ekseninde gerçekleştirilebilir. Ayrıca belirli bir eğim açısıyla hareket eden sistemlerde de tek eksenli güneş takip sistemi kurulabilir. Bu sistemin avantajlarından biri, güneş panellerinin güneşin konumunu takip ederek optimum açıda kalmasını sağlamasıdır. Böylece güneş ışınlarının panel üzerine düşme açısı en uygun şekilde sağlanır ve enerji verimliliği artar. Tek eksenli güneş takip sistemi, basit ve maliyeti düşük bir çözüm sunarken, yüksek performans elde etmek için etkili bir seçenektir (Varış, 2017).

3.1.1. Yatay Tip Tek Eksenli Güneş Takip Sistemleri

Yatay tip güneş takip sistemleri, yere paralel sabit eksen üzerinde gün boyunca doğudan batıya döner ve birçok PV uygulamasında en uygun maliyetli izleyici konfigürasyonu olarak kabul edilir. Yatay tip güneş takip sistem yapısı, dönen eksen boyunca birçok destek üzerine yerleştirilmiştir, yapımı için daha az malzeme gerektirir ve diğer izleme geometrilerine göre en çok yatay konfigürasyonu tercih edilir, ancak belirli bir eğimle kurulur. Yatay tek eksenli izleyicilerden daha karmaşıktır ve pahalıdır (Sino Voltaics, 2021).



Şekil 3.1. Yatay tip panel hareket şeması (Sino Voltaics, 2021)

3.1.2. Dikey Tip Tek Eksenli Güneş Takip Sistemleri

Dikey tip güneş takip sistemleri, güneşin gökyüzünde daha fazla "yukarı-aşağı" hareketini takip etmek için kuzey/güney veya doğu/batı yönünde monte edilebilir. Bunlar genellikle yüksek rakımlı/dağlık konumlarda veya daha aşırı enlemlerde görülür. Bunlar, eğimin yatay bir konuma hizalanması ve dikey bir eksende dönmesi dışında yatay tip güneş takip sistemlerine benzer. Bu izleyiciler, yatay izleyicilere kıyasla enerji üretmede daha iyidir. Ancak eğimleri, yatay ünitelere kıyasla artan rüzgar yüklerine tabidir. Ayrıca, yüksek bir yapısal talebe sahiptirler ve güçlü bir temel oluşturmak için ekstra beton ve çelik gerektirir (Sino Voltaics, 2021).

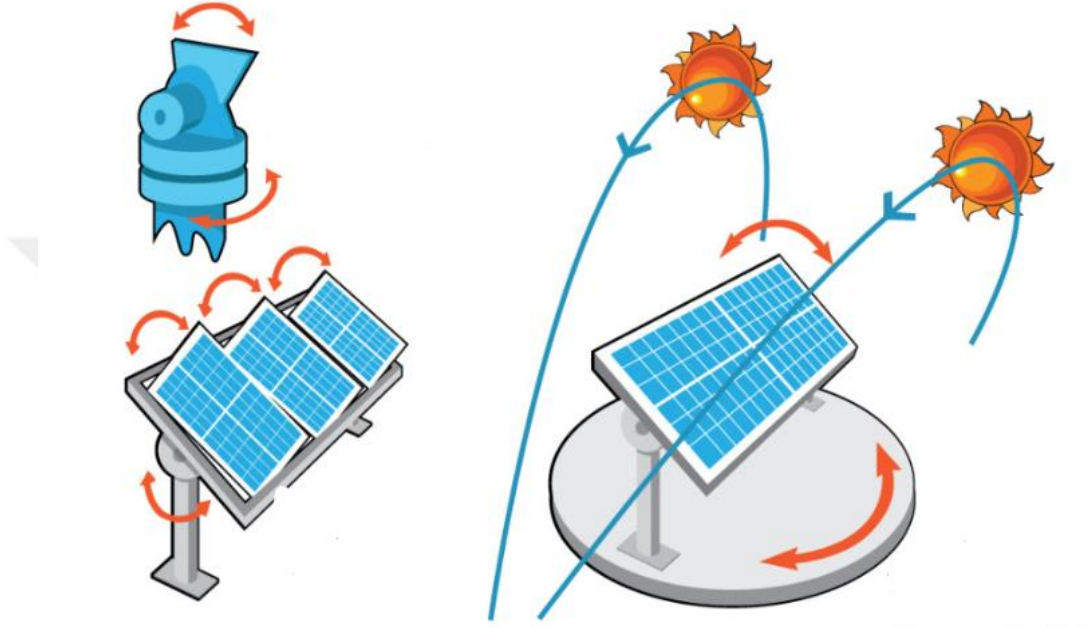


Şekil 3.2. Dikey tip panel hareket şeması (Sino Voltaics, 2021)

3.2. Çift Eksenli Güneş Takip Sistemi

Güneş'in Doğu-Batı veya Kuzey-Güney hareketini tekil bir şekilde takip ederken, çift eksenli takip iki serbestlik derecesine sahiptir. Bu, hem yatay hem de dikey bir eksene, yani hem doğu/batı eksenine hem de kuzey/güney eksenine sahip oldukları ve böylece güneşin gökyüzündeki tüm hareketini takip edebildikleri anlamına gelir. Dolayısıyla bu izleyiciler, panelleri bir günde maksimum saat boyunca doğrudan güneş ışığına yönlendirerek toplam güç çıkışını en üst düzeye

çıkarma potansiyeline sahiptir. Çift eksenli bir güneş paneli, statik bir tipe göre %40'a kadar daha fazla elektrik üretir, ancak kurulum maliyeti daha fazladır. Daha fazla ve daha büyük bakım maliyetlerine sahiptir. Panellerin ürettiği enerjiyi doğru bir şekilde ölçmek için, güneş panelini yönlendirmek için harici olarak harcanan enerji miktarının, üretilen toplam enerji miktarından düşülmesi gereklidir (Sino Voltaics, 2021).



Şekil 3.3. Dikey tip panel hareket şeması (Sino Voltaics, 2021)

4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Mevcut literatür incelendiğinde güneş enerji sistemleri ve verimlerine yönelik araştırmalar zengin olup hareketli panel sistemleri üzere çalışmalar oldukça sınırlıdır.

Baouche (2022), çalışmasında PV güneş panelinin boyutlandırılması ve verimliliğinin optimize edilmesi sorunu her zaman kurulumları sırasında çok önemli bir adımdır. Fotovoltaik takip sistemleri önemli bir önemli araştırmaların yapıldığı bir alandır. Ancak alanın kendisi o kadar geniştir ki her zaman yenilik veya iyileştirme için yer vardır. Verimliliği artırmak için PV izleme sistemlerinin geliştirilmesini sağlayan bu alanı incelemek PV modülleri ve dolayısıyla daha yüksek elektrik enerjisi üretimi optimize edilmiştir. Güneş takip sisteminde LDR sisteminin kullanılması, tamamen otonom bir çözüm bulunmasını sağladı. Kullanılan PV panel ile anlık enerji üretiminin testi güneşi takip etmenin gelecekteki fotovoltaik kurulumlara fayda sağlayacağını gösterdi. Şu sonuca varabiliriz ki, fotovoltaik takip sistemleri uygun kontrol sistemleri ile verimliliğin artırılmasında önemli bir faktör olarak değerlendirilebilir. Sabit fotovoltaik sisteme kıyasla %22 ila %56 oranında elektrik gücü artışı gözlemlenmiştir (Baouche & Abderezzak, 2022).

Abdallah (2004), çalışmasında iki eksenli bir güneş takip sistemi tasarlanmış ve yapılmıştır. Güneş izleme yüzeyinin hareketini kontrol etmek için programlanabilir mantık denetleyicisinin kullanıldığı bir açık döngü sistemi ile programlama kontrolü yöntemi kullanılır. İki eksenli izleme kullanımının toplanan güneş enerjisi üzerindeki etkisini araştırmak için deneysel bir çalışma yapılmıştır. Toplanan enerji ölçülmüş ve güneşe doğru 32° eğimli sabit bir yüzeydeki enerjiyle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, hareketli yüzeyde ölçülen toplanan güneş enerjisinin sabit bir yüzeydekinden önemli ölçüde daha büyük olduğunu göstermektedir. İki eksenli izleme yüzeyi, sabit yüzeye kıyasla toplanan enerjide %41,34'e varan artışla daha iyi bir performans göstermiştir (Abdallah, 2004).

Kentli (2017), çalışmasında fosil yakıtların hem azalması hem de mevcut artan enerji ihtiyacını karşılamakta yetersiz kalması nedeniyle, yenilenebilir kaynakların araştırılması ve kullanılması hızlanmıştır. Ayrıca fosil yakıt kullanımı çevreyi olumsuz yönde etkilemiştir. Bu nedenle, çoğu çalışmada yenilenebilir enerji kaynakları güneş, rüzgâr ve jeotermaldir. Bu çalışmada güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretim yöntemleri incelenmiş, sabit ve iki eksenli takip sistemi tasarlanmıştır.

Her iki sistem de yıllık ölçümler yapılarak çeşitli faktörler açısından birbirleriyle karşılaştırılır. İki eksenli güneş takip sisteminde aktüatör motoru kullanılarak sistemin enerji tüketimi minimuma indirilmiştir. İki eksenli takip sisteminin verimliliğine göre yıllık ortalama %31,67 daha fazla hesaplanmıştır. Bu verim kışın %70, yazın %11 olarak hesaplanmıştır. Bu ölçümler sonucunda Güneydoğu'nun önde gelen ve Türkiye'nin en çok güneş enerjisine sahip şehirlerinden biri olan Diyarbakır için ampirik olarak günlük, aylık ve yıllık verilerin çeşitli grafikleri literatüre kazandırılmıştır. Birinci bölümde literatür taramasına yer verilecektir. İkinci bölümde güneş açıları, fotovoltaiik paneller ve sistemler, örnek tasarımlar ve güneş takip sistemleri incelenmiştir. Üçüncü bölümde fotovoltaiik iki eksenli güneş takip sistemi ve tasarladığımız sabit sistemin özellikleri, çalışması ve avantajları anlatılmıştır. Takip eden bölümde elde edilen sonuçlar verilecek ve son bölümde ise sabit ve takipli fotovoltaiik sistemlerin finansal analizleri yapılmıştır. Ayrıca verimliliklerini artırmaya yönelik öneriler de not edilmiştir (Kentli, 2017).

Zhan (2013), çalışmasında fotovoltaiik (PV) panelin enerji üretme kapasitesi, panel üzerindeki güneş ışığının yoğunluğunu yaklaşık olarak takip eder. Bu makalede, çift eksenli güneş programlanabilir mantıksal denetleyici (PLC) tabanlı otomatik izleme sistemi ve onun denetleme ve kontrol sistemi tasarlanmış ve uygulanmıştır. Önerilen otomatik izleme sistemi, güneş panellerinin yükseklik ve yön açılarını, paneller her zaman güneş ışığına dik olacak şekilde kontrol eder. Otomatik güneş takip sistemimizin ölçülen değişkenleri, sabit açılı bir PV sistemininkilerle karşılaştırıldı. Sonuçlar, otomatik güneş takip sisteminin düşük maliyetli, güvenilir ve verimli olduğunu göstermiştir. Deneyin bir sonucu olarak, önerilen izleme sistemi tarafından üretilen elektrik, sabit açılı PV sisteminden yaklaşık %8~%25 daha fazla genel bir artışa sahiptir (Zhan, 2013).

Misrun (2010), çalışmasında güneş ışığı bol bir enerji kaynağıdır ve bu enerji güneş fotovoltaiik panelleri kullanılarak başarılı bir şekilde kullanılabilir ve elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Bununla birlikte, normal bir PV panelinin dönüştürme verimliliği düşüktür. Ana nedenlerden biri, bir PV panelinin güç çıkışının doğrudan ışık yoğunluğuna bağlı olmasıdır. Güneşin konumu zaman zaman sürekli değiştiğinden, hareketsiz bir güneş panelinin soğurma verimi günün ve yılın belirli bir saatinde önemli ölçüde daha az olacaktır. Bu nedenle, enerji üretimini en üst düzeye çıkarmak ve verimliliği artırmak için bir güneş takip cihazı devreye girer. Bu

makale, güneş panellerinden maksimum güç elde etmek için güneşin hareketini izlemek için ucuz bir aktif çift eksenli güneş takip sisteminin tasarımını ve yapımını sunmaktadır. Arduino Uno mikro denetleyicisine iletilen güneşin konumunu algılamak için Işığa Bağımlı Dirençler (LDR) kullanır. DC redüktörlü motorun hareketlerini kontrol etmek için, güneş PV panelinin konumunu tüm etkin zamanda güneşe dik olarak bakacak şekilde koruyan bir algoritma uygulanır. Hem sabit hem de çift eksenli güneş izleyici için performans karşılaştırıldı. Değerlendirme sonuçları, çift eksenli güneş takip sisteminin sabit güneş takip sistemine göre %44,7 daha iyi performans gösterdiğini göstermektedir (Misrun, 2010).

Elden (2016), çalışmasında güneş izleme sistemleri muhtemelen bir PV modülünün verimliliğini artıracaktır. PV panellerin performansını etkileyen birçok faktör vardı; özellikle kristal silikon paneller, örn. Sunbelt ülkelerinde olduğu gibi sıcak bir iklimde güneş ışınlarına aşırı maruz kalma nedeniyle aşırı ısınma. Bu nedenle, bir Sunbelt ülkesi için takip sistemine gerek olmayabilir. Bu araştırmanın amacı, güneşi ve çalışma koşullarını izlemenin bir fonksiyonu olarak bir PV panelinin performansını matematiksel olarak belirlemektir. Kullanılan matematiksel model deneysel olarak doğrulanır ve daha sonra sıcak ve soğuk bölgeler gibi çeşitli ortamlar için uygulanır. Almanya Berlin gibi soğuk bir şehir olması durumunda güneşi takip etmekten elektrik enerjisindeki kazancın yaklaşık %39 olduğu tespit edilmiştir. Aswan, Mısır gibi sıcak bir şehirde güneş panellerinin aşırı ısınması nedeniyle enerji kazancı %8'i geçmez. Ancak, üretilen enerjinin %5'i ile %10'u arasında değişen izleme sistemini çalıştırmak için gereken enerji de bu analize dahil edilirse, sıcak ülkelerde güneşi izlemek mümkün olmayacaktır (Eldin, 2016).

Shufat (2019), çalışmasında parabolik çanak veya fotovoltaiik panelin güneş ışınlarına dik açıda kalmasını sağlayan güneş takip sistemi, yoğunlaştırılmış güneş ışıınımını %40'a kadar yükseltebilmektedir. Sabit Parabolik Çanak genellikle güneşin yörüngesini izleyemez, ayrıca tek eksenli izleme sistemi güneşi yatay yönde (azimut açısı) takip edebilirken, iki eksenli izleyici güneş yolunu hem azimut hem de yükseklik açılarında takip edebilir. Bir Konsantre Parabolik Çanak sistemini güneş radyasyonunun ışın difüzyonu yönüne hareket ettirmek için güneşi iki düzlemde (azimut ve irtifa) izleyen çift eksenli otomatik kontrollü takip sistemi incelenmiş ve tasarlanmıştır. Açısal hızı ve mekanik torku kontrol etmek için dişli kutusu, destekler ve montajlar kullanarak sürücü, dişli kutusu kullanarak güneş izleyiciyi çalıştıran bir

dijital program ile mikro denetleyici veya programlanabilir mantık kontrolünden (PLC) oluşan tasarlanmış takip sistemi. Parabolik çanak paneli güneş ışınına dik olarak yönlendirmek için iki dik motor modellenmiştir. Bu çalışmada, iki eksenli güneş takip sisteminin Matlab/Simulink altında çalıştırılarak simülasyon şeması geliştirilmiştir. Program, genel sistemin etkinliğini modeller ve inceler. Tasarlanan izleyici, parabolik çanak panelin etkinliğini artırmak için mevcut sahaya göre bu sistemlere izleme özellikleri ekleyerek, güneşin yörünge açılarının gerçek verileri (azimut ve yükseklik) ve ayrıca bir Doğrudan Normal Işınlama (DNI) ile çalışılmıştır (Shufat, 2019).

Othman (2013), çalışmasında arduino kullanılarak iki eksenli güneş izleme sisteminin performans analizini sunmaktadır. Bu projenin nihai amacı, statik güneş panelinin güneş takip cihazından daha mı iyi yoksa tam tersi mi olduğunu araştırmaktır. Bu proje, donanım ve yazılım geliştirme olmak üzere iki aşamaya ayrılmıştır. Donanım geliştirmede, güneşten maksimum ışık kaynağını yakalamak için beş ışığa bağımlı direnç (LDR) kullanıldı. Güneş panelini LDR'ler tarafından algılanan maksimum ışık kaynağı konumuna taşımak için iki servo motor da kullanıldı. Yazılım kısmında ise, kod C programlama dili kullanılarak oluşturulmuş ve Arduino UNO denetleyicisine hedeflenmiştir. Güneş izleyicinin performansı analiz edilmiş ve statik güneş paneli ile karşılaştırılmıştır ve sonuç, güneş izleyicinin voltaj, akım ve güç açısından statik güneş panelinden daha iyi olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, güneş takip cihazının, güneş hasadı uygulamaları için maksimum güneş ışığı kaynağını yakalamada daha etkili olduğu kanıtlanmıştır (Othman, 2013).

5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1. Materyal

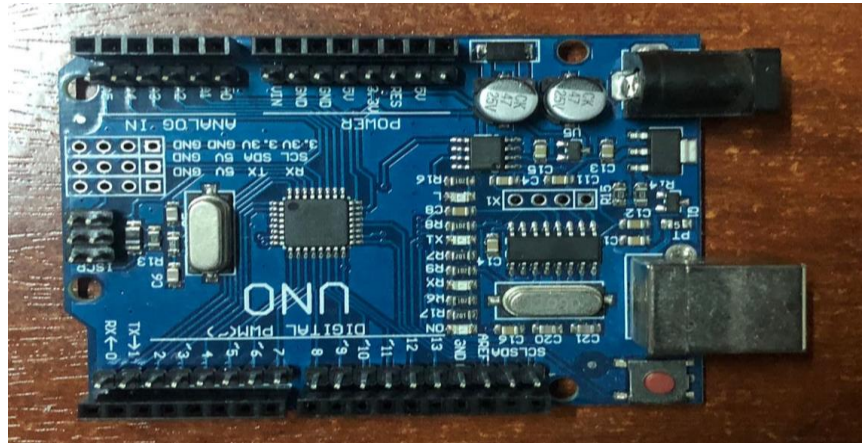
Sabit güneş panelleri için güneş takip sistemi tasarımı ve prototip imalatı diğer bir ifadeyle güneş takip sistemi' nin sabit güneş panel sistemlerine göre avantaj, dezavantaj ve verim değerleri üretilen prototip üzerinden incelenmiştir. Deneysel çalışma bu kapsamda 3 aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama prototipin teknik çizimi ve modellenmesidir. İkinci aşama malzeme seçimi ve prototipin oluşturulmasıdır. Son aşama olarak da sabit açı değerleri ile hareketli sistemin karşılaştırılması ve analizleridir.

5.1.1. Prototipte Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada Arduino UNO, L293D motor sürücü, güneş panelleri (6V-1W x 2), servo motorlar(MG996R x 2), jumper kablo, LDR sensör, dirençler(10 kohm x 4), voltmetre-ampmetre, devre anahtarı ve güç kaynakları kullanılmıştır.

5.1.1.1. Arduino UNO

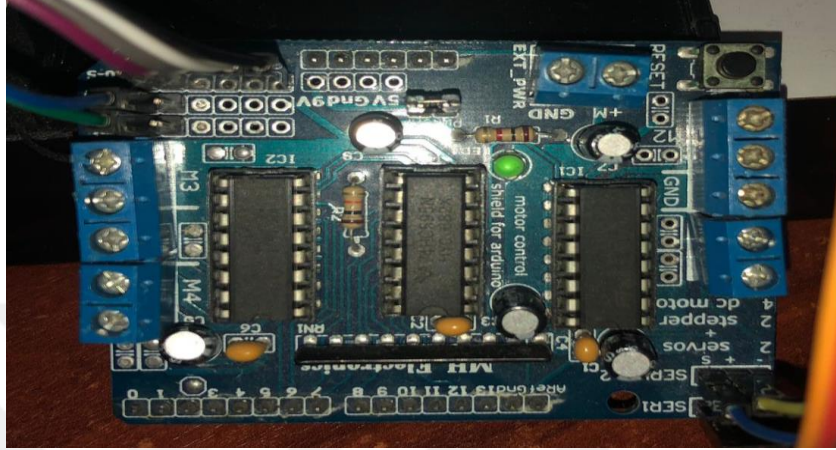
Arduino UNO, ATmega328'i kontrolör olarak kullanan bir mikro denetleyici olarak kategorize edilir. Arduino UNO kartı bir elektronik projesi için kullanılır ve çoğunlukla yeni başlayanlar tarafından tercih edilir. Arduino UNO kartı I tipi sadece Arduino kartıdır. Arduino kartı, tüm Arduino kartları arasında en çok kullanılan karttır. Kart, 6' sı analog giriş pini, bir güç girişi, USB konektörü, bir sıfırlama düğmesi, ICSP başlığı ve diğer bileşenler olmak üzere 14 dijital giriş/çıkış pini içerir. Tüm bu bileşenler, Arduino UNO kartına, çalışmasını sağlamak için eklenmiştir ve projede kullanılabilir. Kart, USB bağlantı noktası tarafından şarj edilir veya doğrudan karta DC besleme ile şarj edilebilir (Gupta, 2015).



Şekil 5.1. Prototipte kullanılan Arduino UNO mikro denetleyici kart

5.1.1.2. L293D Motor Sürücü

L293D IC, mikroişlemciden sinyalleri alır ve ilgili sinyali motorlara iletir. Biri L293D' nin çalışması için akım çekmek için kullanılan ve diğeri motorlara voltaj uygulamak için kullanılan iki voltaj pinine sahiptir. L293D, çıkış sinyalini mikro işlemciden alınan girişe göre değiştirir (Motor Driver IC, 2020).



Şekil 5.2. Prototipte kullanılan L293D motor sürücü

5.1.1.3. Güneş Panelleri

Bir panel halinde düzenlenmiş bir dizi fotovoltaiik hücreden yapılmıştır. Çeşitli dikdörtgen şekillerde gelirler ve elektrik üretmek için kombinasyon halinde kururlar. Bazen fotovoltaiik olarak da adlandırılan güneş panelleri, Güneş'ten güneş ışığı şeklinde enerji toplar ve onu evlere veya işyerlerine güç sağlamak için kullanılabilecek elektriğe dönüştürür (Mr.Solar, 2015).



Şekil 5.3. Prototipte kullanılan 6 volt 1watt güneş panelleri

5.1.1.4. MG996R Servo Motor

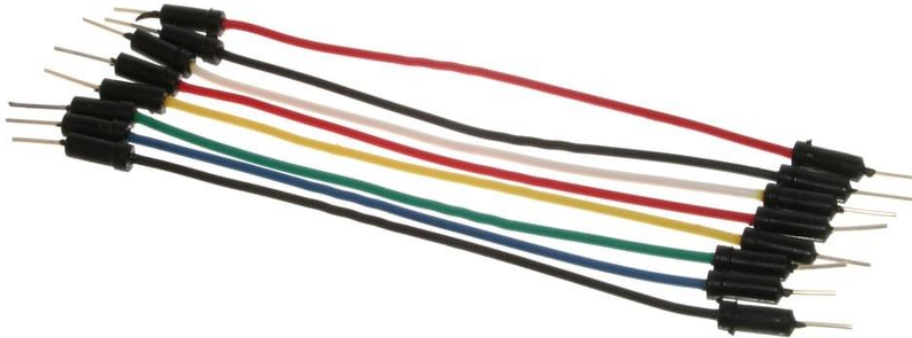
Servo motor, büyük bir hassasiyetle dönebilen bir motor türüdür. Kullanılan bu tip motorlar, motor milinin mevcut konumu hakkında geri bildirim sağlayan bir kontrol devresinden oluşur, bu geri bildirim, servo motorların büyük bir hassasiyetle dönmesini sağlar. Bir nesneyi belirli bir açıda veya mesafede döndürmek için kullanımı yaygındır. Sadece bir servo mekanizmasından geçen basit bir motordan oluşur. Motor bir DC güç kaynağı ile besleniyorsa DC servo motor, AC ile çalışıyorsa AC servo motor olarak adlandırılır. MG996R, maksimum durma torku 11 kg/cm olan bir metal dişli servo motordur. Diğer RC servolarda olduğu gibi motor, sinyal pimine sağlanan PWM dalgasının görev döngüsüne bağlı olarak 0 ile 180 derece arasında dönme kabiliyetine sahiptir (Apoorve, 2015).



Şekil 5.4. Prototipte kullanılan MG996R servo motor

5.1.1.5. Jumper Kablo

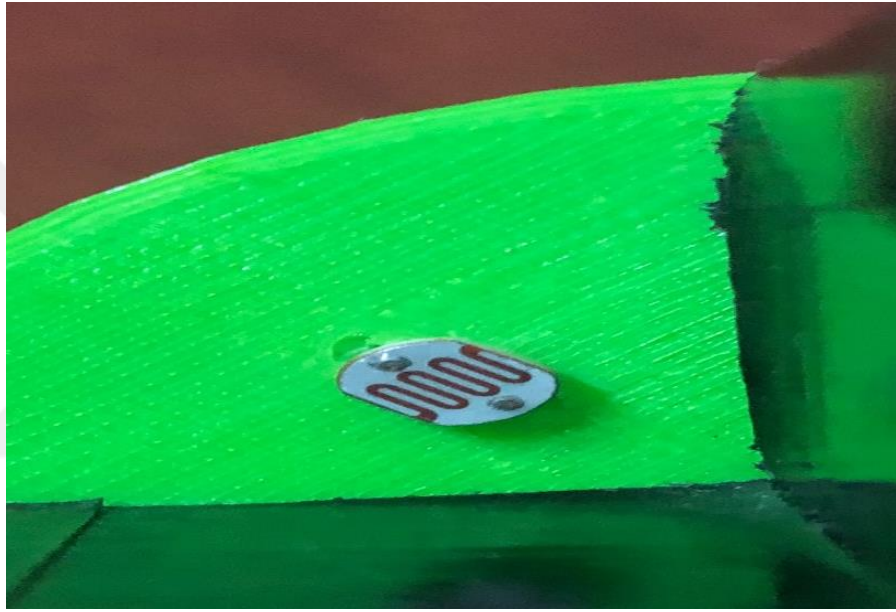
Jumper kablolar, her iki uçta konektör pimleri bulunan basit kablolardır ve bunların iki noktayı lehimlemeden birbirine bağlamak için kullanılan kablolardır (Hemmings, 2018).



Şekil 5.5. Jumper kablolar (Hemmings, 2018)

5.1.1.6. Foto Direnç (LDR)

LDR (Işık Bağımlı Direnç) adından da anlaşılacağı gibi foto iletkenlik prensibine göre çalışan özel bir direnç türüdür, direncin ışığın yoğunluğuna göre değişmesi anlamına gelir. Foto iletken malzemesinin üzerine ışık düştüğünde fotoiletkenlik prensibiyle çalışır, enerjiyi emer ve o fotoiletken malzemenin valans bandındaki elektronları uyarılarak iletkenlik bandına geçer ve böylece ışıktaki artışa göre iletkenliği artırır. Işğın şiddeti arttıkça direnci azalır. Genellikle ışık sensörü, ışıkölçer, otomatik sokak lambası olarak ve ışık hassasiyetine sahip olmamız gereken alanlarda kullanılır (Electrical4U, 2020).



Şekil 5.6. Prototipte kullanılan foto direnç (LDR)

5.1.1.7. Direnç

Direnç, elektrik akımı akışında direnç oluşturan pasif bir elektrik bileşenidir. Hemen hemen tüm elektrik şebekelerinde ve elektronik devrelerde bulunabilirler. Direnç ohm (Ω) cinsinden ölçülür. Bir ohm, bir amperlik (A) akım, uçlarında bir volt (V) düşüş olan bir dirençten geçtiğinde oluşan dirençtir. Akım, terminal uçlarındaki voltajla orantılıdır. Üretilen prototipte 10 k Ω dört adet direnç kullanılmıştır (Hemmings, 2018).



Şekil 5.7. Prototipte kullanılan 10 kΩ direnç

5.1.1.8. Voltmetre - Ampermetre

Voltmetre bir gerilim ölçme aracıdır. Elektrik devrelerinin iki noktası arasındaki gerilimi ölçmek için bu cihazlar kullanılır. Ampermetre ise elektrik devresinde alıcıya seri şekilde bağlanan akımın şiddetini ölçen cihazlardır (Hemmings, 2018).

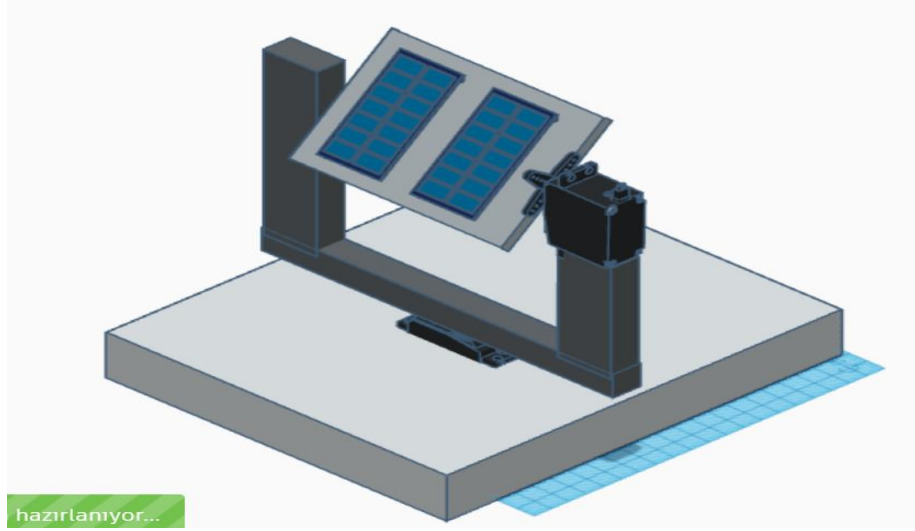


Şekil 5.8. Prototipte kullanılan dual dijital volt-ampermetre

5.2. Yöntem

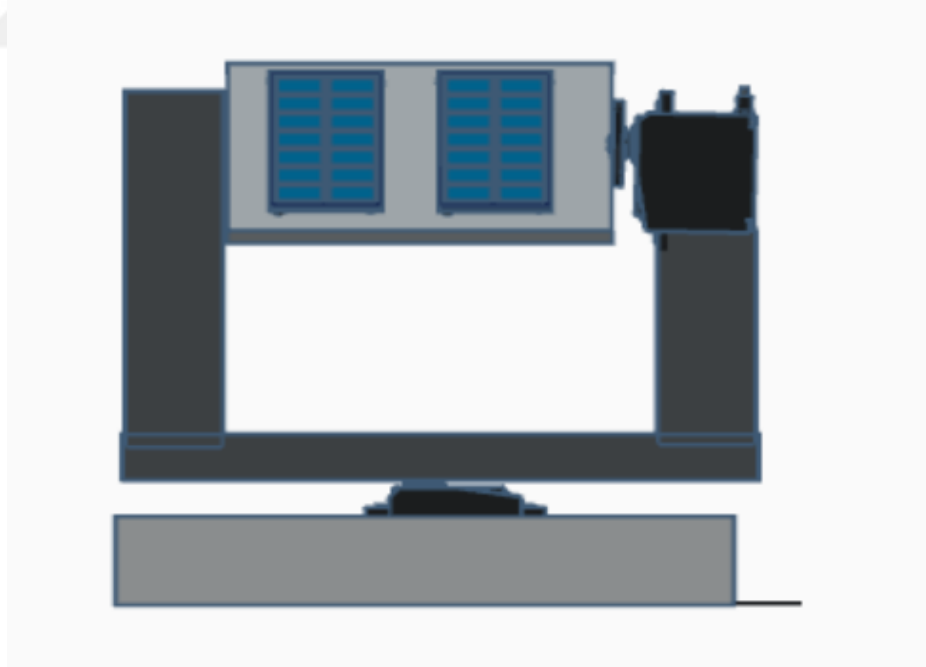
5.2.1. Prototip Tasarımı

Güneş takip sistemi prototipi, Autodesk tabanlı Tinkercad programı ile tasarlanmıştır. Güneş takip sistemi çift eksenli tasarlandığından, sabit gövde için ahşap malzeme kullanılmıştır. Hareketli üst tabla sistemi için daha hafif malzemeler olan pleksi levha ve metal sac kullanılmıştır.

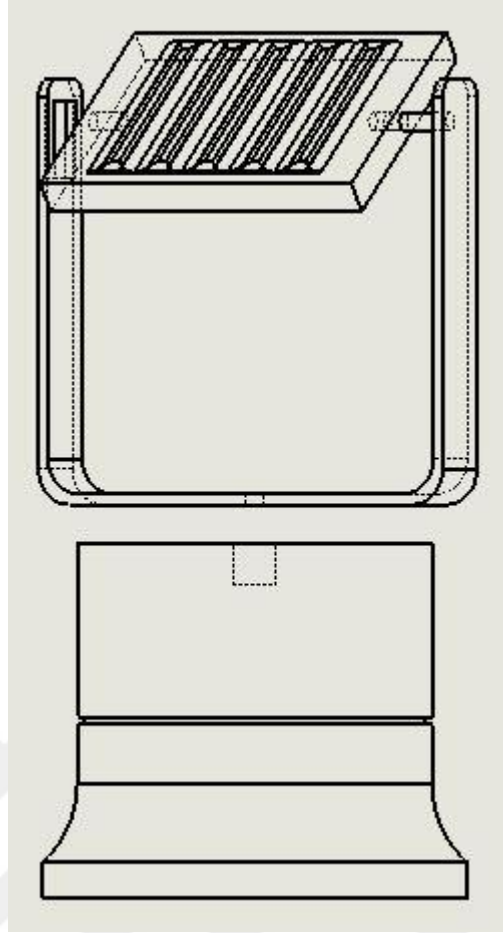


Şekil 5.9. Güneş takip sistem izometri tasarımı

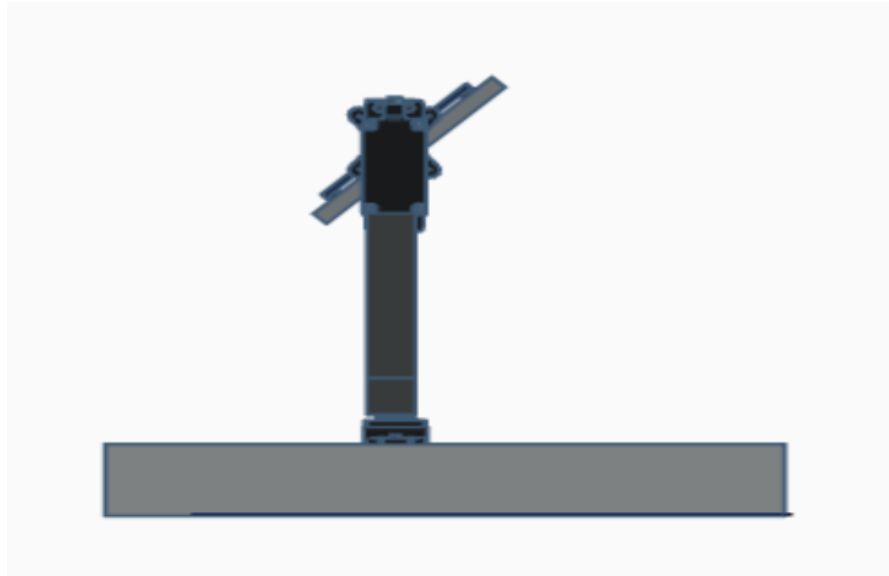
Şekil 5.9’ da görüldüğü üzere dikey hareketi sağlayan servo motor ahşap plakaya gömülecek şekilde tasarlanmıştır. Hareketli üst sistem, gömülü servo motor miline vida ile bağlanmıştır. Tasarımda bulunmayan prototip ’in elektronik aksamı için, sabit sistem altında bir kafes sistem oluşturulmuş ve bu alanda muhafaza edilmiştir.



Şekil 5.10. Güneş takip sistem tasarımı önden görüntüsü



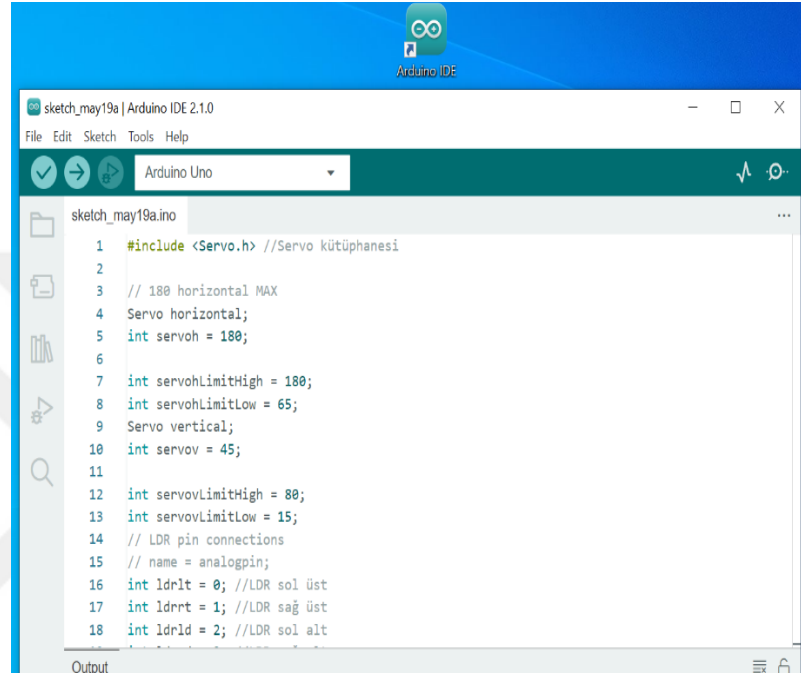
Şekil 5.11. Güneş takip sistemi teknik çizimi



Şekil 5.12. Güneş takip sistem tasarımı sağ yandan görüntüsü

5.2.2. Güneş Takip Sistem Yazılımı

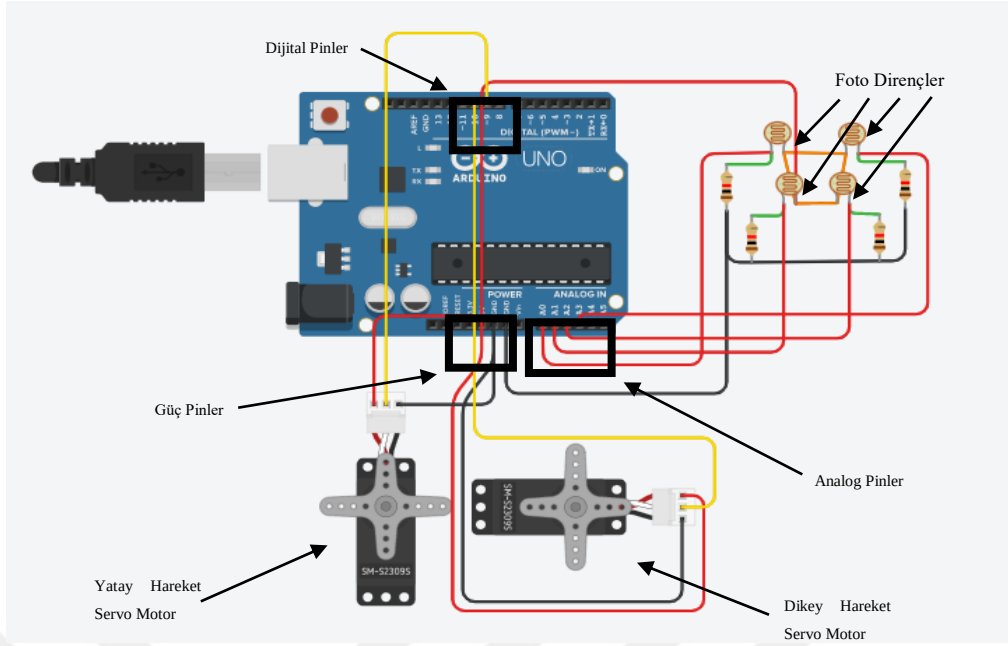
Güneş takip sistemi yazılımı için, prototipte kullanılan mikro denetleyici Arduino kütüphanesi ve programlama dili kullanılmıştır. Güneş takip sistemi yazılımı aşağıdaki kod satırlarından oluşmuştur. Bu yazılım Arduino UNO içine yüklenip çalışması sağlanmıştır. Prototip için yazılan sistem kodları Ek (1) de sunulmuştur.



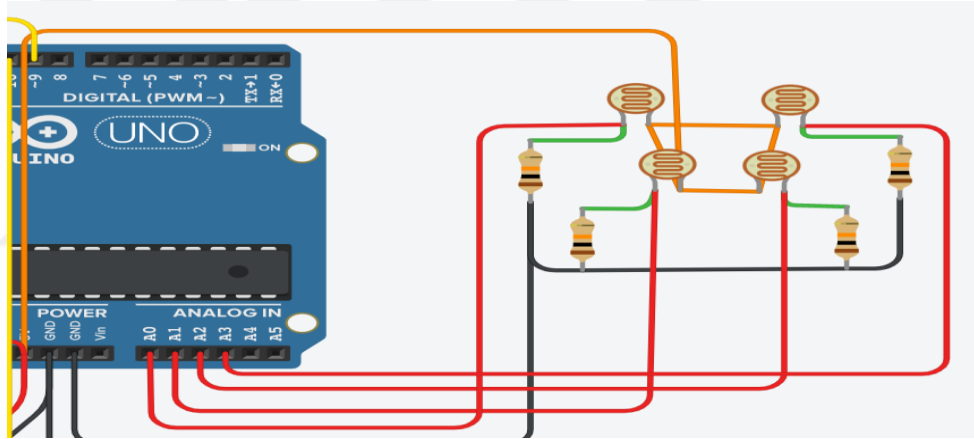
Şekil 5.13. Arduino IDE programı

5.2.3. Prototip Devresi

Güneş takip sistem prototip devre şeması Tinkercad programı ile oluşturulmuştur. İlk olarak foto dirençlerin bir ayakları birleştirilip arduino' nun 5 volt güç pinine bağlanmıştır. Foto dirençlerin boşa kalan ayaklarına 10 k Ω dirençler bağlanarak arduino' nun GND (-) pini ile birleştirilmiştir. Foto dirençlerden sinyal okuması için mikro denetleyiciye ayrı hatlar çekilmiştir. Şekil 5.15'de gösterildiği gibi bu hatlar yazılan kodlara göre A0, A1, A2 ve A3 pinlerine bağlanmıştır.



Şekil 5.14. Prototipte kullanılan güneş takip sistemi devre şeması

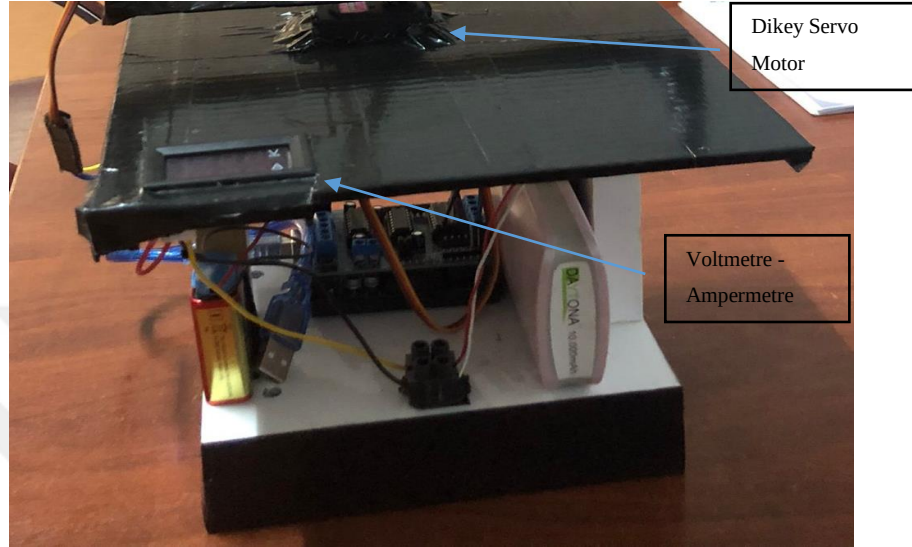


Şekil 5.15. Prototipte kullanılan foto direnç bağlantı şeması

Foto dirençlerin, direnç bağlı ayaklarından sinyal okuması için ayrı hatlar çekilmiştir. Bu hatlar yazılan kodlara göre A0, A1, A2 ve A3 pinlerine bağlanmıştır. Yatay ve dikey hareket sağlayıcı servo motorlara güç vermek için arduino 5 volt(kırmızı hat) ve GND(siyah hat) pinine bağlantılar yapılmıştır. Servo hareketi sağlayabilmesi için dijital 9 ve 10'uncu pinler servo motor sinyal pini (sarı hat) ile birleştirilmiştir. Arduino'ya güç verilerek sistemin çalışması sağlanmıştır.

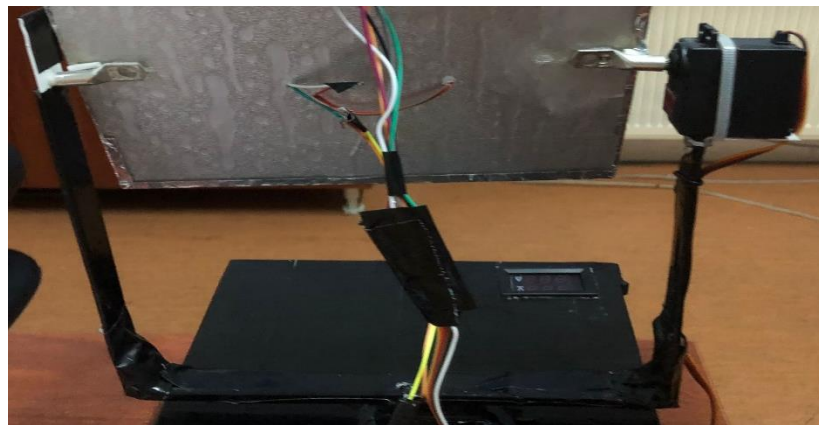
5.2.4. Prototip Montajı

Güneş takip sistem prototip' i için dikey servo motorunu ve elektronik aksamı taşıyıcı ahşap gövde vida ve yapıştırıcı ile birleştirilmiştir. Dikey servo motoru ve volt-ampermetre için uygun ölçülerde alanlar kesilmiştir. Bu aksamlar sıkı geçme ile ana gövdeye monte edilmiştir.



Şekil 5.16. Taşıyıcı ana gövde

Yatay servo motorunu ve güneş panellerini taşıması için U şeklinde metal levha bükme işlemi ile oluşturulmuştur. Bu levhanın bir ucu daha kısa kesilerek yatay hareket servo motoru yapıştırma ile monte edilmiştir. Bu profil ana gövdeye bağlı servo motor üzerine bağlanmıştır.



Şekil 5.17. Metal plaka ve yatay servo motor bağlantısı

Güneş panelleri taşıyıcısı için pleksi malzeme uygun ölçülerde kesilmiştir. Yatay hareket ve servo motora bağlanması için iki ucundan yataklama yapılmıştır. Güneş panelleri pleksi üzerine yapıştırma ile monte edilmiştir.

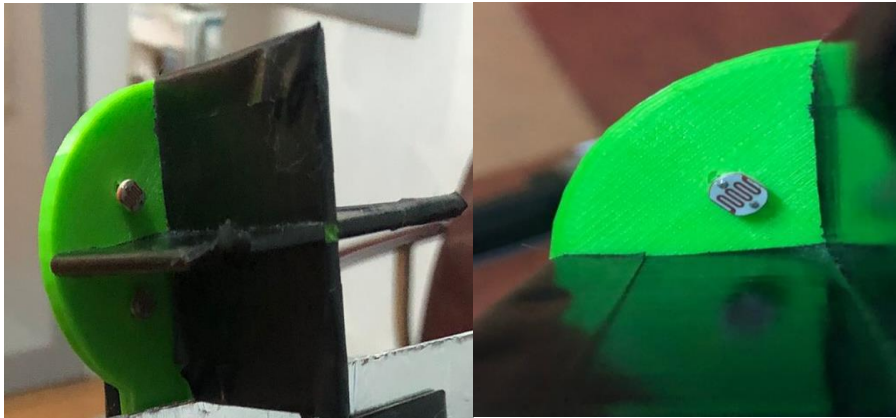


Şekil 5.18. Pleksi tabla üzerinde güneş panelleri



Şekil 5.19. Pleksi tabla ile foto dirençleri taşıyıcı parça montajı

Panel sistemi' nin üzerine düşen ışık doğrultusunda hareketin sağlanabilmesi için foto dirençlerin gölge faktörü önemlidir. Foto dirençler için ABS malzemesinden 3D baskı alınarak (+) şeklinde parça oluşturulmuştur. Parçanın dört bir yanına delikler delinerek foto dirençler monte edilmiş ve pleksi parça ile birleştirilmiştir.



Şekil 5.20. Foto dirençlerin montajı

5.2.5. Prototip Voltaj Ölçümleri

Güneş takip sistem prototipi ile Samsun il Atakum ilçesinde 10.07.2022 – 11.07.2022 – 12.07.2022 tarihlerinde sırası dört tarafı 'da açık bir teras katta, Güney yönü yatay ile sabit 60°, Güney yönü yatay ile sabit 30° ve güneş takip sistemi aktif şekilde güneş panellerinin ürettiği güç ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler sabah 08:00 – 17:00 saatleri arasında yapılmış olup dual voltmeter her 15 dk aralıklarla volt-akım ölçümünü bilgisayar içinde text sayfasına kaydetmiştir. Atakum ilçesi için ilgili tarihlerin hava şartları aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.

Tablo 5.1. 10.07.2022 tarihli Samsun/Atakum hava koşulları

Tarih: 10.07.2022	
Coğrafi Koordinatlar(enlem)	41.2903
Coğrafi Koordinatlar(boylam)	36.3336
Hava Sıcaklığı	27°C
Nem	70%

Tablo 5.2. 11.07.2022 tarihli Samsun/Atakum hava koşulları

Tarih: 11.07.2022	
Coğrafi Koordinatlar(enlem)	41.2903
Coğrafi Koordinatlar(boylam)	36.3336
Hava Sıcaklığı	31°C
Nem	72%

Tablo 5.3. 12.07.2022 tarihli Samsun/Atakum hava koşulları

Tarih: 12.07.2022	
Coğrafi Koordinatlar(enlem)	41.2903
Coğrafi Koordinatlar(boylam)	36.3336
Hava Sıcaklığı	29°C
Nem	69%

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1. Prototip Ölçüm Sonuçları

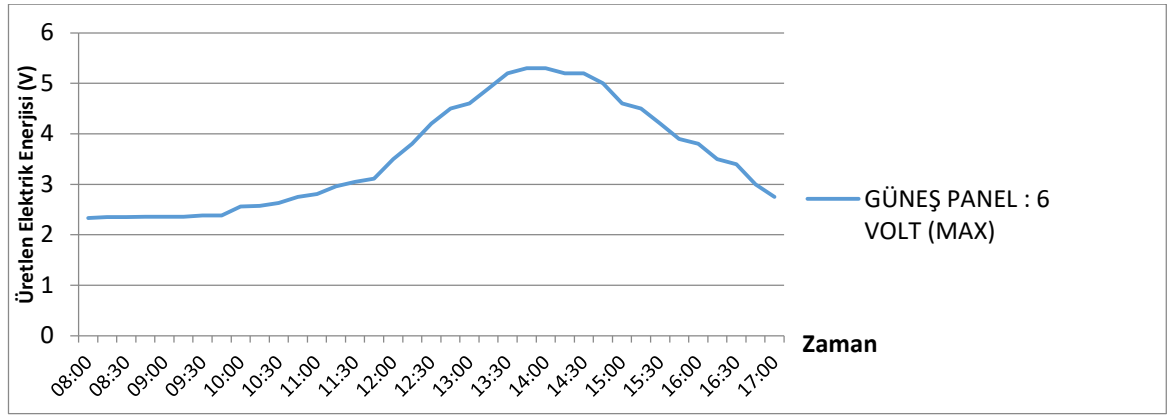
10.07.2022 tarihinde yapılan ölçümlere göre yatay ile 60° sabit açı ile güneş panellerinin ürettiği elektrik enerjisi volt (V) ve akım (A) cinsi ile aşağıdaki tablo 6.1’de gösterilmiştir. Tablo 6.2’de ise üretilen güç değerleri (Wh) cinsinde gösterilmiştir.

Tablo 6.1. 10.07.2022 tarihinde 60° ile zamana göre güneş panellerinin elektrik ve akım üretimi

Saat	Volt (V)	Akım (A)	Saat	Volt (V)	Akım (A)
08.00	2,3	0,34	12.45	4,5	0,34
08.15	2,3	0,34	13.00	4,6	0,34
08.30	2,3	0,34	13.15	4,9	0,34
08.45	2,3	0,34	13.30	5,2	0,34
09.00	2,3	0,34	13.45	5,3	0,34
09.15	2,3	0,34	14.00	5,3	0,34
09.30	2,3	0,34	14.15	5,2	0,34
09.45	2,3	0,34	14.30	5,2	0,34
10.00	2,5	0,34	14.45	5	0,34
10.15	2,5	0,34	15.00	4,6	0,34
10.30	2,6	0,34	15.15	4,5	0,34
10.45	2,7	0,34	15.30	4,2	0,34
11.00	2,8	0,34	15.45	3,9	0,34
11.15	2,9	0,34	16.00	3,8	0,34
11.30	3,0	0,34	16.15	3,5	0,34
11.45	3,1	0,34	16.30	3,4	0,34
12.00	3,5	0,34	16.45	3	0,34
12.15	3,8	0,34	17.00	2,75	0,34
12.30	4,2	0,34			

Tablo 6.2. 10.07.2022 tarihinde 60° ile zamana göre saatlik enerji üretimi

Saat	Enerji Üretimi (Wh)
08.00	0,80
09.00	0,80
10.00	0,82
11.00	0,91
12.00	1,05
13.00	1,40
14.00	1,72
15.00	1,72
16.00	1,43
17.00	1,12



Şekil 6.1. Güneş panellerinin zamana göre 30 dk'lık elektrik üretimi

Şekil 6.1' de görüldüğü gibi 60° sabit açı ile yapılan ölçümlerde maksimum elektrik üretimi 14.00 saatlerinde görülmektedir. Güneşin tam tepe noktası olarak varsaydığımız saatlerde maksimum elektrik enerjisi üretilmiştir. Güneşin Doğu'dan başlayıp Batıya yönelmesinde, güneş ışınları panel üzerine dik açı ile yansımadığından maksimum verim ile elektrik üretilmemektedir.

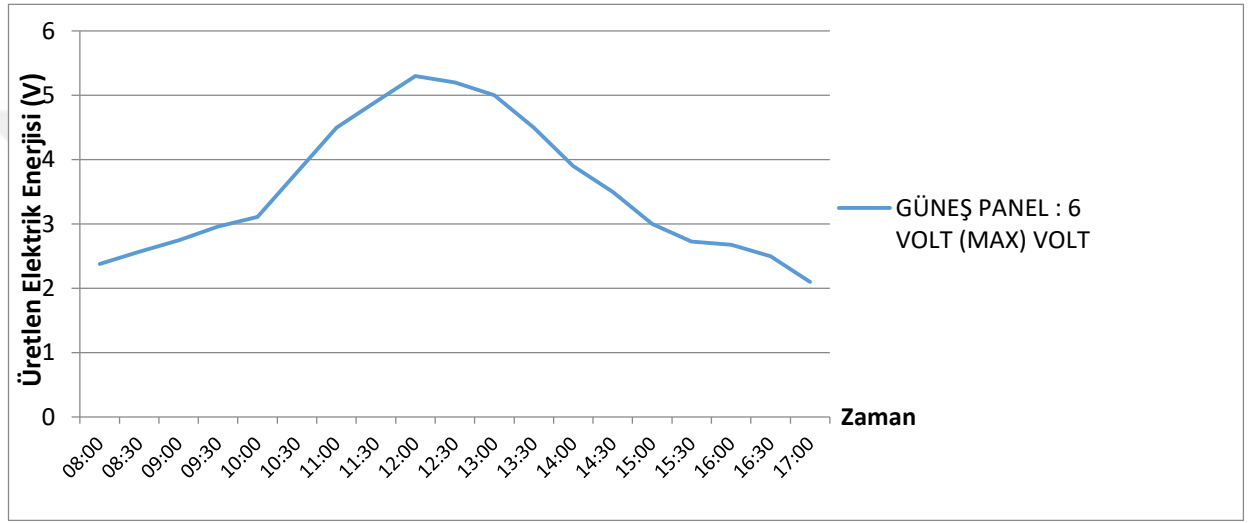
11.07.2022 tarihinde yapılan ölçümlere göre yatay ile 30° sabit açı ile güneş panellerinin ürettiği elektrik enerjisi volt (V) ve akım (A) cinsi ile aşağıdaki tablo 6.3'de gösterilmiştir. Tablo 6.4'de ise üretilen güç değerleri (Wh) cinsinde gösterilmiştir.

Tablo 6.3. 11.07.2022 tarihinde 30° ile zamana göre güneş panellerinin elektrik ve akım üretimi

Saat	Volt (V)	Akım (A)	Saat	Volt (V)	Akım (A)
08.00	2,3	0,34	12.45	5,2	0,34
08.15	2,5	0,34	13.00	5	0,34
08.30	2,5	0,34	13.15	4,6	0,34
08.45	2,6	0,34	13.30	4,5	0,34
09.00	2,7	0,34	13.45	4,2	0,34
09.15	2,8	0,34	14.00	3,9	0,34
09.30	2,9	0,34	14.15	3,8	0,34
09.45	3,0	0,34	14.30	3,5	0,34
10.00	3,1	0,34	14.45	3,4	0,34
10.15	3,5	0,34	15.00	3	0,34
10.30	3,8	0,34	15.15	2,75	0,34
10.45	4,2	0,34	15.30	2,73	0,34
11.00	4,5	0,34	15.45	2,7	0,34
11.15	4,6	0,34	16.00	2,68	0,34
11.30	4,9	0,34	16.15	2,53	0,34
11.45	5,2	0,34	16.30	2,5	0,34
12.00	5,3	0,34	16.45	2,3	0,34
12.15	5,3	0,34	17.00	2,1	0,34
12.30	5,2	0,34			

Tablo 6.4. 11.07.2022 tarihinde 30° ile zamana göre saatlik enerji üretimi

Saat	Enerji Üretimi (Wh)
08.00	0,81
09.00	0,88
10.00	1,00
11.00	1,30
12.00	1,67
13.00	1,77
14.00	1,51
15.00	1,20
16.00	0,94
17.00	0,82



Şekil 6.2. Güneş panellerinin zamana göre 30 dk'lık elektrik üretimi.

Şekil 6.2'de görüldüğü gibi 30° sabit açı ile yapılan ölçümlerde maksimum elektrik üretimi öğle saatlerinde görülmektedir. Güneşin tam tepe noktası olarak varsaydığımız 13.00 saatlerinde maksimum elektrik enerjisi üretilmiştir.

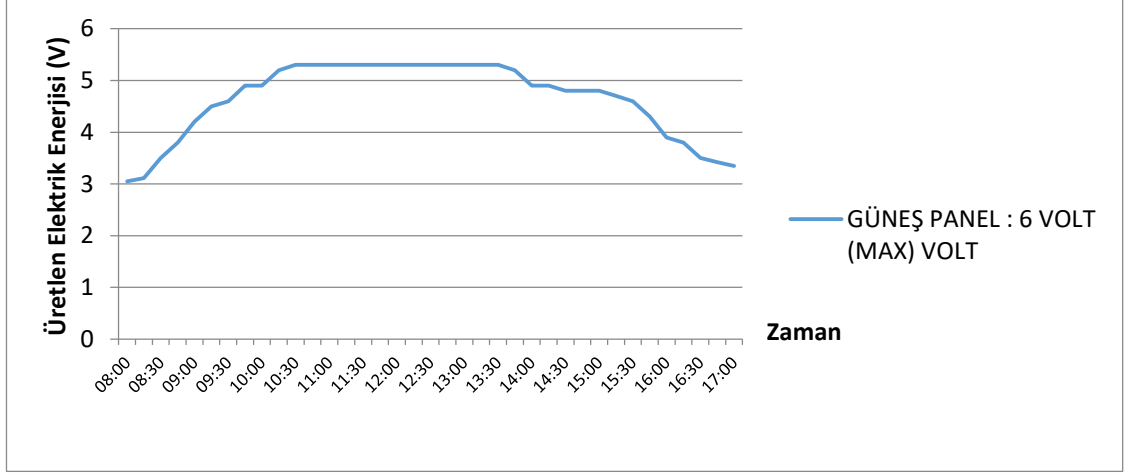
12.07.2022 tarihinde yapılan ölçümlere göre, güneş takip sistemi kullanılarak panellerinin ürettiği elektrik enerjisi volt (V) ve akım (A) cinsi ile aşağıdaki tablo 6.5’de gösterilmiştir. Tablo 6.6’da ise üretilen güç değerleri (Wh) cinsinde gösterilmiştir.

Tablo 6.5. 12.07.2022 tarihinde güneş takip sistemi ile zamana göre güneş panellerinin elektrik ve akım üretimi

Saat	Volt (V)	Akım (A)	Saat	Volt (V)	Akım (A)
08.00	3,0	0,34	12.45	5,3	0,34
08.15	3,1	0,34	13.00	5,3	0,34
08.30	3,5	0,34	13.15	5,3	0,34
08.45	3,8	0,34	13.30	5,3	0,34
09.00	4,2	0,34	13.45	5,2	0,34
09.15	4,5	0,34	14.00	4,9	0,34
09.30	4,6	0,34	14.15	4,9	0,34
09.45	4,9	0,34	14.30	4,8	0,34
10.00	4,9	0,34	14.45	4,8	0,34
10.15	5,2	0,34	15.00	4,8	0,34
10.30	5,3	0,34	15.15	4,7	0,34
10.45	5,3	0,34	15.30	4,6	0,34
11.00	5,3	0,34	15.45	4,3	0,34
11.15	5,3	0,34	16.00	3,9	0,34
11.30	5,3	0,34	16.15	3,8	0,34
11.45	5,3	0,34	16.30	3,5	0,34
12.00	5,3	0,34	16.45	3,4	0,34
12.15	5,3	0,34	17.00	3,3	0,34
12.30	5,3	0,34			

Tablo 6.6. 12.07.2022 tarihinde güneş takip sistemi ile zamana göre saatlik enerji üretimi

Saat	Enerji Üretimi (Wh)
08.00	0,96
09.00	1,13
10.00	1,47
11.00	1,67
12.00	1,67
13.00	1,67
14.00	1,67
15.00	1,55
16.00	1,42
17.00	1,15



Şekil 6.3. Güneş panellerinin zamana göre 30 dk'lık elektrik üretimi.

Şekil 6.3'de görüldüğü gibi güneş takip sistemi kullanılan sistemde, güneş ışığını algılayan foto sensörler sayesinde güneş panelleri Güneş'e 90° açığa dönmekte ve saat 10.30 itibari ile maksimum seviyede elektrik üretmeye başladığı görülmektedir. Güneşin izafi hareketi boyunca sistem, Güneş ile 90° açığı sabit tutmaya çalıştığından her saat dilimi için maksimum verim ile elektrik üretilmiştir.

6.2. Güneş Takip Sistemi Maliyet Analizi

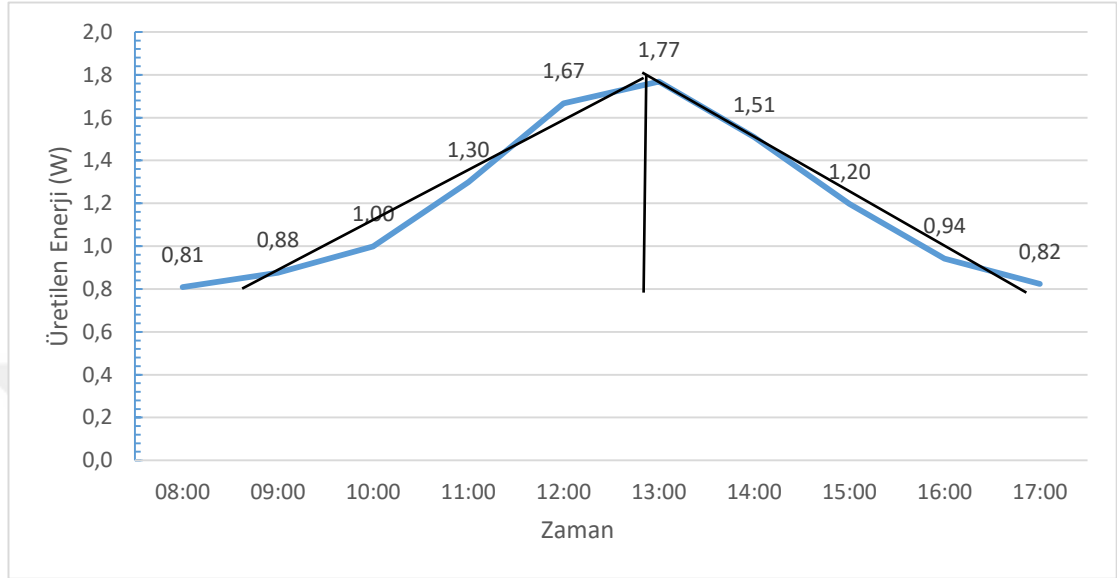
Maliyet analizi bir işletmenin yapacağı iş sonunca kar-zarar durumunu ortaya koyduğu gibi şirketin kar-zarar durumunu oransal olarak sayısal sonuç verir. Çalışmamızda aynı güce sahip güneş takip sistemi ve sabit bir sistemin maliyet analizlerini yapıp avantajlı olan sistemi seçmektir. İlk göze çarpan durum güneş takip sisteminde sistemin hareketini sağlayan ve hareket sisteminin kontrolünü sağlayan kontrol devrelerinin ekstra bir maliyet ortaya çıkarmasıdır. Bunun yanında güneş takip sisteminin sürekli güneşe dik bir konumda olacağı için günün her anı için maksimum güç alacağıdır. Güneş takip sistemini üreteceği güç, sabit güneş panelinin üreteceği güç daha fazladır. Buradan ortaya çıkan sonuçlar;

Güneş takip sistemi maliyeti > Sabit güneş sistemi maliyeti

Güneş takip sisteminin ürettiği güç > Sabit sisteminin üreteceği güç

6.2.1. Sabit Güneş Enerji Sistemi Maliyet Analizi

Sabit güneş sistemi sadece gün ortasına da maksimum 2W'lık enerji üretebilir. Gün doğumundan gün ortasına kadar ve gün ortasından gün batımına kadar sabit güneş sistemini üreteceği enerji lineer bir şekilde artar.



Şekil 6.4. Sabit güneş panel sisteminin günlük enerji üretimi.

Sabit güneş sistemi için gün boyu üretebileceği enerji miktarı, şekil 6.4 grafiğinin altında kalan alan hesabı ile bulunur. Bu alanı lineer çizgiler ile keskinleştirdiğimizde üçgen alan hesabı ile gün içinde üretilen enerji miktarı bulunur.

$$P = \frac{[(1,77 - 0,81) * 9]}{2} = 4,32 \text{ Wh/gün} \quad (6.1)$$

Alanı hesaplanan üçgende grafiğinin altında ve üstünde kalan alanları eşit varsayımı denklem 6.1' de verildiği gibi 4,32 Wh/gün enerji üretimi sağlanmıştır.

$$\text{Toplam Güç}(P) = 4,32 * 365 = 1.576,8 \text{ Wh} \quad (6.2)$$

Bir yıl 365 gün olduğundan dolayı yıllık enerji üretimi denklem 6.2' de verildiği gibi 1.576,8 Wh olarak hesaplanmıştır.

01.08.2023 tarihi elektriğin birim fiyatı 1,47 TL/kWh (KDV dâhil) olarak belirlenmiştir.

$$1,577 \text{ kWh} * 1,47 \frac{\text{TL}}{\text{kWh}} = 2,32 \text{ TL} \quad (6.3)$$

Elde edilecek bir yıllık ortalama gelir denklem 6.3' de verildiği gibi 2,32 TL olarak hesaplanmıştır.

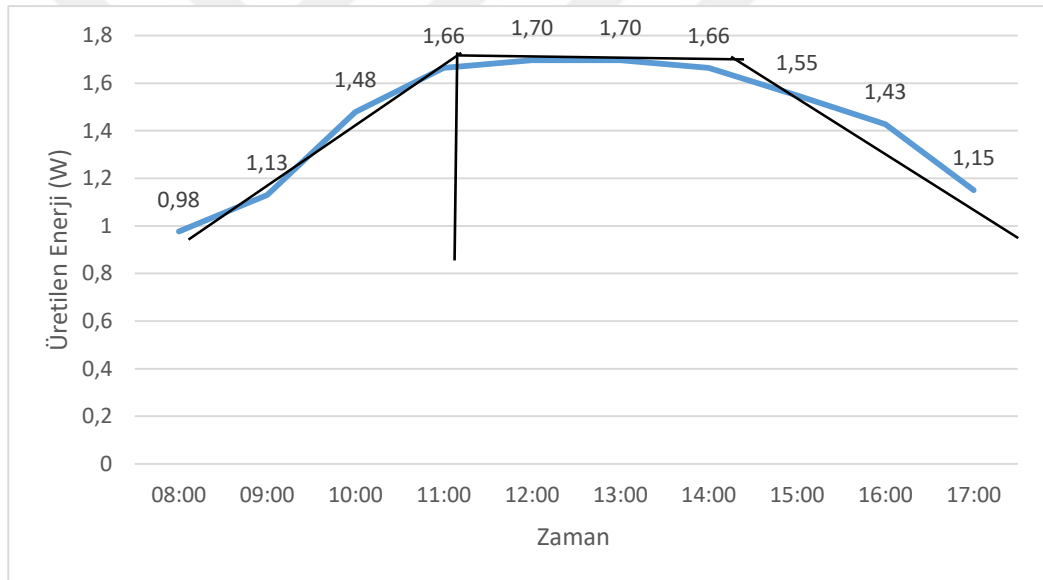
Tablo 6.7. Sabit güneş enerji sistemi malzeme maliyet tablosu

Malzeme	Birim Fiyat	Adet	Fiyat
Güneş Paneli (1W)	₺ 16,20	2	₺ 32,40
U Profil	₺ 5,00	1	₺ 5,00
Ahşap Sabit Tabla	₺ 20,00	1	₺ 20,00
Hesapsız Diğer Giderler	₺ 20,00	1	₺ 20,00
Toplam			₺ 77,40

Yapılan analiz sonucunda sabit güneş takip sistemi 77,40 TL maliyetle bir yılda 2,32 TL gelir elde edilir.

6.2.2. Çift Eksenli Güneş Takip Sistemi Maliyet Analizi

Güneş takip sistemi güneşin doğması ve batması esnasında güneşten gelen ışık seviyesinin azalması nedeniyle üreteceği enerjide artma ve azalma meydana gelir. Ancak günün büyük bir bölümünde maksimum enerji üretir.



Şekil 6.5. Çift eksenli güneş takip sisteminin günlük enerji üretimi.

Güneş takip sistemi için gün boyu üretebileceği enerji miktarı, şekil 6.5 grafiğin altında kalan alan hesabı ile bulunur. Bu alanı lineer çizgiler ile keskinleştirdiğimizde yamuk alan hesabı ile gün içinde üretilen enerji miktarı bulunur.

$$P = \frac{[(9 + 4) * 0,8]}{2} = 5.20 \text{ Wh/gün} \quad (6.4)$$

Alanı hesaplanan yamuk grafiğin altında ve üstünde kalan alanları eşit varsayımı denklem 6.4' de verildiği gibi 5,20 Wh/gün enerji üretimi sağlanmıştır.

$$Toplam\ Güç(P) = 5,20 * 365 = 1.898,0\ Wh \quad (6.5)$$

Bir yıl 365 gün olduğundan dolayı yıllık enerji üretimi denklem 6.5' de verildiği gibi 1.898,0 Wh olarak hesaplanmıştır.

01.08.2023 tarihi elektriğin birim fiyatı 1,47 TL/kWh (KDV dâhil) olarak belirlenmiştir.

$$1,898\ kWh * 1,47 \frac{TL}{kWh} = 2,80\ TL \quad (6.6)$$

Elde edilecek bir yıllık ortalama gelir denklem 6.6'de verildiği gibi 2,80 TL olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6.8. Güneş takip sistemi malzeme maliyet tablosu

Malzeme	Birim Fiyat	Adet	Fiyat
Güneş Paneli (1W)	₺ 16,20	2	₺ 32,40
U Profil	₺ 5,00	1	₺ 5,00
Ahşap Sabit Tabla	₺ 20,00	1	₺ 20,00
Hesapsız Diğer Giderler	₺ 20,00	1	₺ 20,00
MG996R Servo Motor	₺ 60,00	2	₺ 120,00
Arduino UNO	₺ 160,00	1	₺ 160,00
LDR(foto direnç)	₺ 5,00	4	₺ 20,00
Toplam			₺ 377,40

Yapılan analiz sonucunda sabit güneş takip sistemi 377,40 TL maliyetle bir yılda 2,80 TL gelir elde edilir.

6.2.3. İki Sistemin Karşılaştırması

Yapılan analizler sonucunda güneş takip sisteminin verimi daha yüksektir, bunun yanında maliyeti de yüksektir.

$$\left[\frac{377,40 - 77,40}{77,40} \right] * 100 = \%387 \quad (6.7)$$

Sistem maliyeti denklem 6.7 sonucunda %387 oranında artmıştır. Öte yandan verim denklem 6.8 sonucunda %17 oranında artmıştır.

$$\left[\frac{1.898 - 1.576,80}{1.898} \right] * 100 = \%17 \quad (6.8)$$

Yapılan analizler, prototip verilerinden alındığı için ortalama sonuçlar vermektedir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; güneş takip sistemi, sabit panel sistemlerine karşı avantajları ve dezavantajları incelenmiştir. Bunun yanından bir güneş takip sistemi prototipi tasarlanıp, yapılan deneylere karşılık performans incelemesi yapılmıştır. Güneş takip sistem prototip kodları Arduino IDE programı ile yazılmıştır. Kod çalıştırmak ve hareket algılaması için Arduino UNO mikrodenetleyici üzerindeki Atmega328 çip' i kullanılmıştır. Üretilen prototip elektronik devresi Tinkercad programı ile çizilmiş ve simülasyon oluşturulmuştur. Prototip tasarımı Solidworks programı ile çizilmiş olup yine Tinkercad programı ile simülasyon oluşturulmuştur. Bu simülasyonlar ve modelleme doğrultusunda prototip üretimi yapılmıştır. 10.07.2022 – 11.07.2022 ve 12.07.2022 tarihlerinde sırası ile 60 derece sabit açı 30 derece sabit açı ve güneş takip sistemi aktif hale getirilip veriler alınmıştır. 10.07.2022 tarihinde açık teras üzerinde, güneş panel tablası yatay ile 60 derece ile ayarlanmıştır. Saat 08.00 den itibaren gelen güneş ışığına karşılık panellerin ürettiği gerilim değerleri bilgisayar üzerine kaydedilmiştir. Prototip bilgisayar bağlantısı yapılmış olup 08.00 – 17.00 saatleri arası her 15 dk' lık periyotlar ile üretilen gerilim değerleri kaydedilmiştir. Bu işlemler sırası ile 30 derece ve güneş takip sistemi aktif durumda tekrarlanmıştır.

Elde edilen deney sonuçlarına göre (yatay ile sabit 60 derece şartlarında) 10.07.2022 tarihinde Samsun ili Atakum ilçesindeki hava koşulları ve bulutlanma faktörü göz önüne alındığında panellerin ürettiği maksimum gerilim 5,3V olarak ölçülmüştür. Bu maksimum gerilim değeri, Güneşin panel ile yaklaşık 90 derece geldiği saat olan 13.45 – 14.30 saatleri arasında olduğu görülmüştür.

Yatay ile sabit 30 derece şartlarında 11.07.2022 tarihinde Samsun ili Atakum ilçesindeki hava koşulları ve bulutlanma faktörü göz önüne alındığında panellerin ürettiği maksimum gerilim 5,3V olarak ölçülmüştür. Bu maksimum gerilim değeri, Güneşin panel ile yaklaşık 90 derece geldiği saat olan 12.15 – 13.00 saatleri arasında olduğu görülmüştür.

12.07.2022 tarihinde; güneş takip sistemi aktif durumda elde edilen veriler ele alındığında, panel kapasitesi sabit olduğundan maksimum gerilim değeri 5,3V olarak ölçülmesine karşılık bu gerilim saat 10.00 gibi başlamış olup saat 14.30'a kadar maksimum seviyede üretildiği sonucuna ulaşılmıştır.

İlerde yapılacak çalışmalara yönelik bu çalışma temel olarak kabul edilerek sonuçların zenginleştirilmesi için öneriler şu şekildedir:

- Bu çalışmada sabit 60° panel açısı ile günlük ortalama 1,18 Wh; 30° sabit açı ile 1,19 Wh enerji üretimi sağlanmıştır.
- Sabit açılara karşılık takip sistemi kullanılması ile günlük ortalama 1,45 Wh elektrik enerji üretimi sağlanmıştır.
- Güneş takip sistemi, sabit panel açılı sistemlere göre %30,6 oranlarla fazla enerji ürettiği sonucuna varılmıştır.
- Bu çalışmada belli tarihler arasında 30 ve 60 derece sabit açılara karşılık güneş takip sistemi ile üretilen gerilim seviyeleri incelenmiştir. Sabit panel açı değerlerinin zenginleştirip optimum açı incelenmesi önem arz etmektedir.
- Verimlilik açısından ele alınırsa güneş takip sistemleri, güneş panellerini güneşin hareketine bağlı olarak hareket ettirerek güneş ışınlarını optimum açıyla yakalamayı sağlar. Bu sayede daha fazla güneş ışığı yakalanır ve panelin verimliliği artar. Sabit sistemler ise panelleri sabit bir konumda tutar ve genellikle belirli bir açıyla yerleştirilir. Bu durumda güneş ışığı açısından optimal bir performans elde etmek daha zor olabilir.
- Maliyet açısından ele alınırsa güneş takip sistemleri, hareketli parçaları ve daha karmaşık bir kontrol sistemini içerdiği için genellikle daha yüksek maliyetlidir. Sabit sistemler ise daha basit bir tasarıma ve daha az hareketli parçaya sahip oldukları için genellikle daha düşük maliyetlidir. Bu nedenle, proje bütçesi bu kararı etkileyebilir.
- Bakım, onarım ve montaj kolaylığı açısından ele alınırsa güneş takip sistemleri, hareketli parçalar içerdiği için daha fazla bakım gerektirebilir. Ayrıca, mekanik parçaların aşınma ve yıpranma riski daha yüksektir. Sabit sistemler ise daha az hareketli parçaya sahip olduğu için bakım ve dayanıklılık açısından avantajlı olabilir. Güneş panellerin sabit bir konumda olması nedeniyle montaj sürecinde daha kolaylık sağlayabilir. Güneş takip sistemleri ise daha karmaşık bir montaj gerektirebilir ve daha fazla dikkat gerektirebilir.

- Türkiye şartlarında, sabit konstrüksiyon ile kurulu 100 KW ve üzeri elektrik üretim tesislerde sabit sisteme karşılık güneş takip sistemi kurulması ve maliyet analiz çalışması bir araştırma konusudur.



KAYNAKÇA

- Sino Voltaics. (2021). [https://Sinovoltaics.Com/Learning-Center/Csp/Single-Axis-Trackers/Monocrystalline Solar Cells](https://Sinovoltaics.Com/Learning-Center/Csp/Single-Axis-Trackers/Monocrystalline-Solar-Cells) (2022). <https://Www.Targray.Com/Solar/Solar-Silicon/Solar-Cells/Monocrystalline>
- Abdallah, S. (2004). Two Axes Sun Tracking System With PLC Control.
- Amplussolar. (2022). <https://Amplussolar.Com/Onsitesolar>.
- Apoorve. (2015). What Is A Servo Motor?
- Ashok, S. (2023). Solar Energy. <https://Www.Britannica.Com/Science/Solar-Energy>.
- Baouche, F. Z., & Abderezzak, B. (2022). Design And Simulation Of A Solar Tracking System For PV.
- Eldin, S. S. (2016). Feasibility Of Solar Tracking Systems For PV Panels In Hot And Cold Regions.
- Electrical4U. (2020). Light Dependent Resistor (LDR) Or Photoresistor (What Is It?).
- Enerjiportali, E. (2021). <https://Www.Enerjiportali.Com/Inverter-Nedir/>. <https://Www.Enerjiportali.Com/Inverter-Nedir/>.
- Gupta, P. (2015). What Is Arduino UNO?
- Hemmings, M. (2018). Jumper Wire.
- İncitaş. (2022). <https://Www.İncitas.Com.Tr/Bilgi-Merkezi/Blog/Solar-Aku-Nedir-Cesitleri-Nelerdir>.
- Kentli, F. (2017). Improving Tracking Efficiency Of Two-Axis Sun Tracking Systems.
- Micro-Inverters. (2022). <https://Www.Tsun-Ess.Com/Micro-Inverter/MP3000>.
- Misrun, M. (2010). Dual Axis Solar Tracking System In Perlis, Malaysia.
- Monocrystalline Solar Cells. (2022). <https://Www.Targray.Com/Solar/Solar-Silicon/Solar-Cells/Monocrystalline>.
- Motor Driver IC. ROBOTIX (2020). https://2020.Robotix.İn/Tutorial/Auto/Motor_Driver.
- Mr.Solar. (2015). What Is A Solar Panel. Mr.Solar.
- Othman, N. (2013). Performance Analysis Of Dual-Axis Solar Tracking System. International Conference On Control System, Computing And Engineering (ICCSCE).
- Renewable. (2022). <https://Renewablewatch.İn/2017/10/24/Grid-Support/>.
- Off Grid Solar Explained Saveonenergy. (2022). <https://Www.Saveonenergy.Com/Solar-Energy/What-Is-Off-Grid-Solar-System/>.
- Shufat, S. A. (2019). Modeling And Design Of Azimuth-Altitude Dual Axis Solar Tracker For Maximum Solar Energy Generation. International Journal Of Renewable Energy Development-Ijred.
- Shukir, S. S. (2021). Solar System Inverters Types.
- Solar Energy Perspectives. (2022). Executive Summary.
- Solar Square. (2022). <https://Www.Solarsquare.İn/Blog/Types-Of-Solar-Panels/>.
- V. Talekar. (2014). "Performance Improvement Of Solar PV Panel Using Reflectors.
- V. Talekar, V. S. (2014). "Performance Improvement Of Solar PV Panel Using Reflectors And .

Varış, Ç. (2017). Çift Eksenli Güneş Takip Sisteminin Pilot Uygulaması,. Yıldız Teknik Üniversitesi.

Wolf, S. (2023). Paradesolar. <https://www.paradesolarenergy.com/blog/author/sara-gambone>.

Yoshitaca, J. (2023). Solar Tracker Technology. Adresinden Alındı

Zhan, T.-S. (2013). Design And Implementation Of The Dual-Axis Solar Tracking System.



EKLER

EK.1. Arduino Kodu

```
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Servo.h>

void UpDown();
void LeftRight();
Servo servo1;
Servo servo2;
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);
void setup() {

    lcd.begin(16,2);
    lcd.print("servo1 ");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("servo2 ");
    servo1.attach(9);
    servo2.attach(10);

    servo1.write(90);
    servo2.write(90);
}

void loop(){

    int sensorTop = analogRead(A0);
    int sensorBottom = analogRead(A1);
    int sensorLeft = analogRead(A3);
    int sensorRight = analogRead(A4);

    int avgT=(sensorTop+sensorBottom)/2;
    int avgB=(sensorLeft+sensorRight)/2;
    int avgL=(sensorTop+sensorLeft)/2;
```

```
int avgR=(sensorBottom+sensorRight)/2;
```

```
if (avgT > avgB)
{
    UpDown(sensorTop, sensorBottom);
}
if(avgT < avgB)
{
    UpDown(sensorTop, sensorBottom);
}
if(avgL > avgR)
{
    LeftRight(sensorLeft, sensorRight);
}
if(avgL < avgR)
{
    LeftRight(sensorLeft, sensorRight);
}
}
delay(10);
}
```

```
void UpDown(int avgT, int avgB){
    int pos1= servo1.read();
```

```
    if(avgT < avgB){
        pos1 = --pos1;
    }
    else
    {
        pos1 = ++pos1;
    }
    servo1.write(pos1);
    lcd.setCursor(12,0);
    lcd.print(pos1);
```

```
}  
void LeftRight(int avgL, int avgR){  
    int pos2= servo2.read();  
    if(avgL < avgR)  
    {  
        pos2 = --pos2;  
    }  
    else  
    {  
        pos2 = pos2 + 1;  
    }  
    servo2.write(pos2);  
    lcd.setCursor(12,1);  
    lcd.print(pos2);  
}
```

ÖZ GEÇMİŞ

Baran KÜÇÜKAYDIN, Rize Tevfik İleri Anadolu Lisesi'ni bitirdikten sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliğini 2019 yılında bitirdi. Yine 2019'da OMÜ LEE Makine Mühendisliği Yüksek Lisans programına girdi. ÜÇAY MÜHENDİSLİK DOĞALGAZ MAKİNE İNŞ. BİL. SAN. VE TİC. A.Ş. şirketinde çalışmaktadır. İyi seviyede İngilizce bilmektedir.

İletişim bilgileri:

ORCID ID : 0009-0006-4685-525X

Yayınlar:

1. Baran KÜÇÜKAYDIN, Naci KURGAN, Güneş Potansiyel(İklim) Bölgelerine Göre Güneş Panel Açısının Belirlenmesi, 3. Uluslararası Lisansüstü Çalışmalar Kongresi, İstanbul/Türkiye, 14-17 Haziran 2023