

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



İKİ EKSENLİ GÜNEŞ İZLEME PANELİNİN KONTROLÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gökhan ORAL

(Y1213.110001)

Mekatronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Osman Nuri UÇAN

MAYIS,2015



T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi

Enstitümüz Mekatronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı Mekatronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı Y1213.110001 numaralı öğrencisi **Gökhan ORAL**'ın "**İKİ EKSENLİ GÜNEŞ İZLEME PANELİNİN KONTROLÜ**" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 14.04.2015 tarih ve 2015/08 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından *[Signature]* ile Tezli Yüksek Lisans tezi olarak *[Signature]* edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

İmzası

Tez Savunma Tarihi :07/05/2015

1)Tez Danışmanı: Prof. Dr. Osman Nuri UÇAN

2) Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Metin ZONTUL

3) Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Oğuz ATA

[Signature]
.....
[Signature]
.....
[Signature]
.....

Not: Öğrencinin Tez savunmasında **Başarılı** olması halinde bu form **imzalanacaktır**. Aksi halde geçersizdir.

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans / Doktora tezi olarak sunduğum “ İki eksenli güneş izleme panelinin kontrolü ” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (.../.../20..)

Gökhan ORAL

ÖNSÖZ

Bu çalışma İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Bölümünde hazırladığım, yeni bir güneş takip sisteminin geliştirilmesi üzerine olan yüksek lisans tezimin sonucu olarak tamamlanmıştır.

Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve paylaştığı görüşlerinden dolayı çok değerli hocam Prof. Dr. Osman Nuri Uçan'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Eğitimim boyunca çalışmamı destekleyen İstanbul Aydın Üniversitesi ve Mekatronik Mühendisliği Bölümüne teşekkürü borç bilirim. Çalışmamın tüm ilgililere yararlı olmasını dilerim.

Mayıs 2015

Gökhan Oral

Makine Mühendisi

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xiii
ÖZET	xv
ABSTRACT	xvii
1.GİRİŞ	1
1.1. Güneş Enerjisinin Avantajları	3
1.2. Güneş Enerjisinin Dezavantajları	4
1.3. Yaygın Kullanım Alanları	4
1.4. Literatür Özeti	5
2.GÜNEŞ PİLLERİ	7
2.1. Güneş Pillerinin Çalışma İlkeleri	8
2.1.1 p-n eklemi	10
2.1.2 Harici parametreler.....	11
2.2. Güneş Pili Çeşitleri	14
3. YÖNTEM	17
3.1. Güneş Takip Sistemleri	19
3.2. Güneş Takip Yöntemleri	22
3.2.1. Pasif takip	23
3.2.2. Aktif takip	25

4. UYGULAMA	35
4.1. Kullanılan Komponentler	35
4.1.1. Güneş pili	36
4.1.2. Servo motorlar	36
4.1.3. Kablosuz alıcı-verici	36
4.1.4. Mikrodenetleyici	38
4.2. Kurulan Güneş Takip Sistemi	39
4.3. Ölçümler ve Değerlendirme.....	43
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	47
KAYNAKLAR.....	49
EKLER.....	53
ÖZGEÇMİŞ.....	63

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>SAYFA</u>
Çizelge 4.1 : Bir günlük gerilim değerleri	45

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: Güneş pili yapısı	7
Şekil 2.2: Güneş pili yapısının (a) Açık devre ve (b) Kısa devre bant diyagramları. 10	10
Şekil 2.3: P-n eklemının karanlıkta ve ışık altında karakteristiği	11
Şekil 2.4: Açık devre geriliminin bir fonksiyonu olarak dolun faktörü.....	14
Şekil 3.1: Güneş Açıları	17
Şekil 3.2: Güneş ışığının geliş açısı	19
Şekil 3.3: Pasif Güneş Takipçisi	24
Şekil 3.4: Gölge dengeleme prensibine dayalı güneş takip sistemi, (a) Güneş hedefleme algılayıcıları (b) Işık algılayıcılarının eğik montajı (c) Optik yönlendirici ile hassas güneş hedefleme	26
Şekil 3.5: Sabit ve takipçili sistemlerde enerji karşılaştırması	27
Şekil 3.6: Güneş takip sistemi çalışma ilkesi	29
Şekil 3.7: Tek rotorlu, 4 panelli güneş takip sistemi	31
Şekil 3.8: Toplayıcı uygulaması	32
Şekil 3.9: Güneş takip sistem benzetimleri	33
Şekil 4.1: Güneş paneli	35
Şekil 4.2: Servo motor	36

Şekil 4.3: Kablosuz alıcı – verici çifti (a) Alıcı (b) Verici	37
Şekil 4.4: Alıcı-verici çiftin işlevsel diyagramı	38
Şekil 4.5: Mikrodenetleyici kartı – arduino uno	39
Şekil 4.6: Mikrodenetleyicinin işlevsel diyagramı	39
Şekil 4.7: Kablosuz vericinin monte edilmesi	40
Şekil 4.8: İki alt düzlem ve hareketli uç kısmın monte edilmesi	41
Şekil 4.9: Güneş panelinin sisteme entegrasyonu	42
Şekil 4.10: Gerilim seviyesinde dalgalanma	43

İKİ EKSENLİ GÜNEŞ İZLEME PANELİNİN KONTROLÜ

ÖZET

Bu yüksek lisans tezinde, sabit bir panele göre daha yüksek gerilim çıktısı üreten, uygulanabilir bir iki-eksenli güneş takip sisteminin belirlenmesini ve ortaya konulmasını hedeflenmektedir. Buradan yola çıkılarak, uygulanabilir bir güneş takipçisinin tasarlanması için en uygun yöntemin belirlendiği yoğun bir araştırmanın ardından, küçük ölçekli bir güneş paneli, servo motorlar, kontrolör olarak Arduino işlemcisi ve gerilim geribeslemesini kablosuz ileten bir verici kullanılarak iki eksenli bir güneş takipçi gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Güneş paneli, İki eksenli takipçi*

CONTROL OF TWO-AXIS SOLAR TRACKING SYSTEM

ABSTRACT

This master of science thesis aims to determine and built a practical dual-axis solar tracker system which produce greater voltage output than a fixed panel. Therefore, a dual-axis solar tracker using a small sized solar panel, servo motors, an Arduino board as the controller and a wireless transmitter for sending voltage feedback data, is built after an extensive research on determining the best means for designing a practical solar tracker.

Key Words: *Solar panel, Dual axis tracker*

1. GİRİŞ

Günümüzde, fosil yakıtların hem kaynaklarının tükenmeye yüz tutması ve hem de çevre üzerinde gittikçe belirginleşen tahrip edici etkilerinin ortaya çıkması nedeni ile temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi ve ihtiyaç artmış ve artmaya da devam etmektedir. Bununla birlikte enerji kullanımındaki yükseliş, nükleer yakıtlar ve yenilenebilir kaynaklar ile karşılanmaya çalışılırken enerji tasarrufu ve verimli kullanım da gündeme gelmektedir.

Enerji kaynakları, özellikle son yıllarda, belirtilen nedenlerden ötürü yenilenebilir ve tükenmekte olan kaynaklar olarak sınıflandırılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları, uygulamada sonsuz ve/veya sınırsız olarak kabul edilen, devamlılık arz eden ve/veya tekrar tekrar kullanılabilen kaynaklar olarak görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları olarak güneş, rüzgar, dalga, akar sular, jeotermal ve biyo-kütle enerjileri öne çıkmaktadır. Tükenmekte olan enerji kaynakları, yenilenebilir enerji kaynaklarının aksine, benzer bir zaman ölçütü içerisinde yeniden elde edilemeyecek olan kaynaklardır ki esasında, petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil yakıtlarını işaret etmektedirler [1].

Yenilenebilir enerji kaynaklarına gösterilen ilginin en önemli nedenlerinden biri de hiç kuşkusuz temiz ve çevreye atık salımı olmayan kaynaklar olmalarıdır. Bununla birlikte, yenilenebilir enerjiye daha fazla ilgi gösteren ve yatırım yapan ülkelerin, fosil yakıtlar açısından yetersiz ve dışa bağımlı olan ülkeler oldukları da göze çarpmaktadır. Bir diğer açıdan bakıldığında ise, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını sağlayacak ve/veya kolaylaştıracak teknolojilerin henüz gelişme aşamasında olmasıdır. Bu, yapılan yatırımların miktar ve maliyetinin yüksek olmasını beraberinde getirmekte, yatırımı çekinilir kılmaktadır.

Güneş enerjisi, bu çalışmanın da konusu olması yanında, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en güvenilir kaynak olarak öne çıkmaktadır. Güvenilirlikle birlikte, dünyada tüketilen enerjinin 10000 kat fazlasını güneşin her an dünyaya salımlıyor ve iletiyor olması güneş enerjisini daha ilgi çekici hale getirmektedir.

Güneş enerjisinin kaynağı olan güneş 0,7 milyon kilometrelik bir yarıçapa sahiptir ve dünyadan 151,106 milyon kilometre mesafe uzaklıkta yer almaktadır. Nükleer enerji hariç, dünyadaki tüm enerjinin kaynağı da köken olarak güneşe dayanmaktadır [2]. Güneş içerisinde çok yoğun gazlar bulunmakta ve devamlı bir şekilde hidrojeni helyuma dönüştüren kaynaşım (füzyon) tepkimeleri meydana gelmektedir.

Tepkime neticesinde kütle farkı oluşmakta ve bu kütle farkından dolayı ısı enerjisi açığa çıkmakta ve bu da uzaya salınmaktadır. Kaynaşım tepkimesinde hidrojen molekülleri proton bombardımanına maruz kalır ve kararsız olan döteryuma dönüşürler. Kararsız olan döteryum atomları birleşerek helyum atomunu oluştururlar. Tepkime sırasında açığa çıkan enerjinin üretilmesi için yaklaşık olarak saniyede 650 milyon ton hidrojenin 650 ton helyuma dönüştürülmesi gerekmektedir.

Güneşten salınan enerjinin yaklaşık % 30'u atmosferden yansırken % 20'si atmosferde harcanmakta ve yeryüzüne %50'lik kısmı ulaşmaktadır. Hava koşullarının da etkisiyle dünya yüzeyine doğrudan gelen enerjinin oranı değişebilmektedir. Kapalı bir havada güneş ışınları bulutlar nedeniyle daha fazla saçılmaya uğrar ve saçılıma maruz kaldıkça enerjisi zayıflar, ancak açık havalarda ışınları doğrudan geleceği için enerjisi daha yüksek olacaktır. Güneş enerjisinin kullanıldığı sistemlerde hava koşulları bu nedenle büyük önem arz etmektedir.

Başlangıçta yalnızca ısıtma ve sıcak su elde etme amacı ile kullanılan güneş enerjisi yakın zamanda gelişim gösteren ve güneş ışığını elektriğe çeviren güneş pili teknolojisi sayesinde elektrik enerjisi kaynaklarından biri haline de gelmiştir. Halen güneş enerjisinin en yaygın kullanım şekli sıcak su elde etmede kullanımdır. Isınma amacı ile kullanım da söz konusudur ancak bu kullanımda ısının depolanması problem teşkil etmekte ve verimli sonuçlara ulaşılamamaktadır [3].

Bu tarz uygulamalarda düzlemsel veya odaklı toplayıcılar kullanılmakta, toplayıcı tipine göre de farklı sıcaklık seviyeleri elde edilebilmektedir. Su ısıtma, ev veya sera ısıtma gibi örneklerde düşük sıcaklık seviyeleri yeterli olmaktadır. Sanayide kullanımda ise daha yüksek sıcaklık seviyelerine ve sürekliliğe gereksinim duyulmaktadır. Süreklilik ise güneş takip sistemlerine yer verilerek sağlanabilmektedir.

Elektrik enerjisi elde etmek için kullanılan güneş pilleri genelde fotovoltaik olarak adlandırılmakta, bu söz ise ışığı potansiyel farka dönüştürme anlamına gelmektedir. Güneş pilleri üzerlerindeki çok sayıda dönüştürücü eleman vasıtası ile üzerine düşen güneş ışınlarını elektrik enerjisine çevirmektedirler. Güneş pilleri, akım ve/veya gerilim ihtiyacına, dolayısı ile tüketilecek güç miktarına ve uygulamaya bağlı olarak bu piller seri ve/veya paralel bağlanmak suretiyle esnek bir biçimde kullanılabilir. Ancak burada da bir depolama sorunu ortaya çıkmaktadır. Üretilen elektrik enerjisinin depolanabilmesi için piller, aküler ve ihtiyaca göre süper kondansatörler kullanılabilirler.

Güneş enerjisi ve güneş enerjisi ile birlikte kullanılan donanım ve cihazlar için genel bir değerlendirme yapmak için henüz erkendir, zira teknoloji oldukça yüksek bir hızla ilerlemekte ve gelişmektedir. Mevcut durum ve günümüze kadar saptanan olgular için ise bu enerjinin avantaj ve dezavantajları ile ilgili temel bazı çıkarımlar yapmak mümkündür. Burada kısaca güneş enerjisi kullanan sistemlerin olumlu ve olumsuz yanlarına değinilecektir.

1.1. Güneş Enerjisinin Avantajları

Güneş enerjisinin diğer enerji kaynakları ile karşılaştırılarak avantajları ve olumlu yanları maddeler halinde şöyledir [5]:

- Tükenmekte olan kaynaklar göz önünde bulundurulduğunda sınırsız bir kaynak olarak nitelendirilebilir.
- Çıktı olarak çevreye zarar verici ve/veya tahrip edici bir salımı mevcut değildir.
- Güneş enerjisi sistemleri gerek ısı gerekse elektrik üretimi esnasında gürültü çıkarmaz, sessiz çalışır.
- Yakıt maliyeti gerektirmez, tek maliyeti ilk kurulumda mevcuttur ve bu maliyet de kısa bir kullanım süresi sonucunda telafi edilebilmektedir.
- Kurulumu ve ihtiyaca göre yeniden yapılandırılması kolay ve hızlı bir biçimde gerçekleştirilebilir.
- Kullanım süresince bakım ve onarım gerektirmediğinden ek maliyet kalemleri ortaya çıkmaz.
- Teknolojisi gelişmekte olduğu için verim sürekli bir şekilde arttırılmaya

- çalışılmaktadır.

1.2. Güneş Enerjisinin Dezavantajları

Güneş enerjisinin olumsuz yanları veya mevcut teknoloji seviyesinden kaynaklanan bazı olumsuzlukları da mevcuttur. Diğer enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında dezavantajları ve olumsuz yanları da maddeler halinde şöyle sıralanmaktadır [5]:

- İlk kurulum maliyeti, konvansiyonel sistemlere göre bir miktar daha yüksektir.
- Hava koşullarından etkilenmesi, kurulum öncesinde planlama yapılmasını zorunlu kılmaktadır.
- Geniş ölçekli elektrik üretimi için çöller ve/veya okyanuslar gibi تنها ve büyük alanlara ihtiyaç duyulmaktadır.
- Enterkonnekte sisteme dahil edilmeyecek uygulamalarda elektrik enerjisinin depolanması gerektiğinden ek maliyetler ortaya çıkmaktadır.
- Konut alanlarında güneş enerjisinden faydalanma mekana uyum sağlama ve yüksek verim elde etme gibi parametrelere ihtiyaç duyacağından daha gelişmiş teknolojilere yönelimi gerekli hale getirir.
- Özellikle ilk kuşak güneş pillerinde kullanılan yarı iletken materyaller, kullanım süreleri dolduktan sonra çevre için risk oluşturabilmektedirler.

1.3. Yaygın Uygulama Alanları

Yukarıda da belirtildiği gibi, güneş enerjisinin şebeke ile entegre kullanımı yeni ve gelişmekte olan bir konudur. Bu nedenle şebekeden bağımsız ve çoğunlukla mobil uygulamalarla daha sıklıkla karşılaşılmaktadır. Bu alt başlıkta en yaygın olan kullanım alanları ve biçimleri maddeler halinde özetlenmektedir [4].

- Kırsal alanlarda ve/veya askeri - savunma uygulamalarında haberleşme amaçlı olarak telsiz, telefon ve radyo gibi kullanılmaktadır.
- Elektrik ve su dağıtım işletmelerinde gerekli olan uzaktan ölçüm sistemlerinin enerjilendirilmesinde kullanılmaktadır.
- Meteoroloji ve deprem için kullanılan hava ve yer gözlem birimlerinde yine enerji sağlayıcı olarak yer almaktadır.

- Petrol boru hatları, köprü, otoyol ve kulelerde korozyonu önlemek amacı ile ihtiyaç duyulan katodik koruma sistemlerinde kullanılmaktadır.
- Otoyollarda, konut ve/veya sanayi sitelerinde ve trafik sinyal aydınlatmalarında kullanılmaktadır.
- Reklam panolarının aydınlatılması için kullanılabilir.
- Dağ, çöl, buzul, orman ve ada gibi kentten ve dolayısı ile şebekeden uzak alanlarda genel elektrik ihtiyacını karşılamak için kullanılmaktadır.
- Tarım alanlarında, sürekli sulama uygulamalarında pompalayıcı sistemleri çalıştırma amaçlı kullanılmaktadır.
- Çeşitli ilk yardım, alarm, güvenlik sistemlerinde enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır.

1.4. Literatür Özeti

İki eksenli güneş takip sistemleri 2002 yılı öncesine kadar hobi olarak ve/veya akademik araştırmalar çerçevesinde sürdürülmekte iken bu tarihte [1] numaralı referansta verilen patent alınmış ve ticari çalışma ve üretim de gündeme gelmiştir. Ancak bu aşamada henüz ikinci eksenin kontrolünün sistemi karmaşıklştırması ve mekanik eksikliklerle karşılaşılması gibi güçlükler ortaya çıkmıştır.

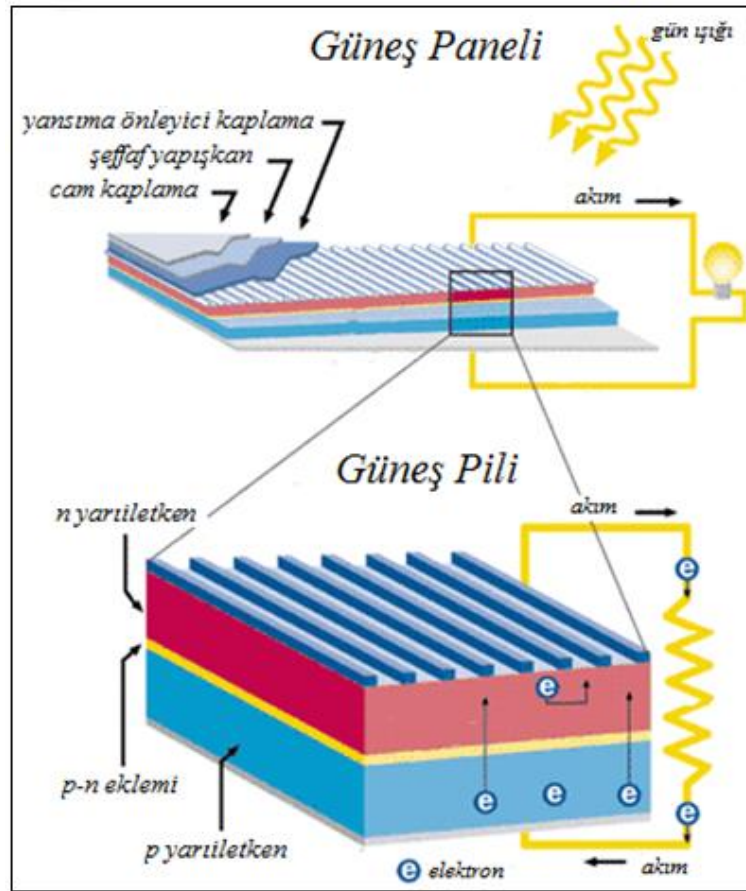
Tek eksenli olarak ise birçok uygulama yapılmıştır ve [2] numaralı kaynakta döner eksenli uygulama ile günlük enerji seviyesinin % 25 üzerine çıkılmıştır. Bu uygulamada, ışık geri beslemesi için LDR (ışığa bağılı olarak değışen direnç) kullanılmıştır. [3] numaralı kaynakta ise, yine tek eksende hassas takip ile güneş panellerinden en yüksek verimin nasıl alınabileceğı araştırılmıştır.

Güneş ışığının toplanması ve/veya odaklanması için çeşitli süreçler önermekte ve takip sisteminin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, sıcaklık ile odaklayıcının odaklama oranı arasında ilişki kurmaktadır. [5] numaralı makalede, step motorlar kullanılarak gerçekleştirilen, enerji tasarrufu özellikli güneş takipçileri anlatılmaktadır. Geri besleme için foto diyotlar kullanılmakta ve kontrol Labview (National Instruments) yazılımı üzerinden sağlanmaktadır [4].

Literatürdeki diğere çalışma ve uygulamalara yöntem bölümünde tek tek farklı teknikler ve kontrol yaklaşımları üzerinde durularak değınilmiş ve tekrara yol açmamak amacı ile burada verilmemiştir.

2. GÜNEŞ PİLLER

Güneş pillerinin kullanımı, yakın zamana değin genellikle yerleşim alanları dışında kalan ve/veya şebekenin ulaşamadığı yerlerde elektrik kaynağı olarak kullanılan bir teknoloji olmakla sınırlı kalmıştır [6]. Ancak gelişen teknoloji sayesinde artık birçok mobil cihaz güneş pilleri ile elektriklenmekte, yaşam alanları içerisine geniş ölçüde girmektedir [7]. Güneş pili gruplar halinde binalara yerleştirilebilmekte, şebeke ile bağlantı sağlayan güç elektroniği ekipmanlarının da kullanımı ile şebeke bağlantısı sağlanabilmektedir. Elektrik üretiminin merkezi olmayan biçimlere dönüşmesi kapsamında da değerlendirilmekte olan güneş pilleri, güneş enerjisi sistemleri kullanıcıları ile şebeke arasında iki yönlü güç alışverişine imkan tanımaktadır [8].



Şekil 2.1: Güneş pili yapısı [9]

Güneş pilleri, fotovoltaik piller olarak da adlandırılmaktadır. Genel olarak iç yapıları Şekil 2.1’de gösterildiği gibidir ve içermesi gereken temel özellikler olarak, silisyum katman içermesi, yansımayı önlemesi ve katmanları birleştiren yapıştırıcı malzemelerin şeffaf olması sayılabilir. Daha detaylı incelendiğinde, bir güneş pilinin “p” ve “n” tipi yarı iletken kısımlardan meydana gelen bir çeşit diyot yapısına benzediği görülebilmektedir. Bu iki yarı iletken kısımdan p; pozitif, n; negatif katmanı meydana getirecek şekilde hücreler birleştirilmekte ve pilin alt tarafından pozitif terminal, üst tarafından da negatif terminal çıkarılmaktadır [10].

2.1. Güneş Pillerinin Çalışma İlkeleri

Tüm güneş pillerinin temel olarak çalışma ilkesi fotovoltaik etkiye dayanmaktadır [11]. Fotovoltaik etki ise kısaca, görünen ve/veya diğer radyasyon tiplerine maruz kalan iki farklı malzeme eklemesinde potansiyel fark oluşması olarak ifade edilebilir.

- Eklemi oluşturan malzemelerin foton soğurması sonucunda yük taşıyıcılar oluşur.
- Bunun ardından eklemde oluşturulan yük taşıyıcılar ayrılır.
- Eklem uçlarında yük taşıyıcılar biriktirilir.

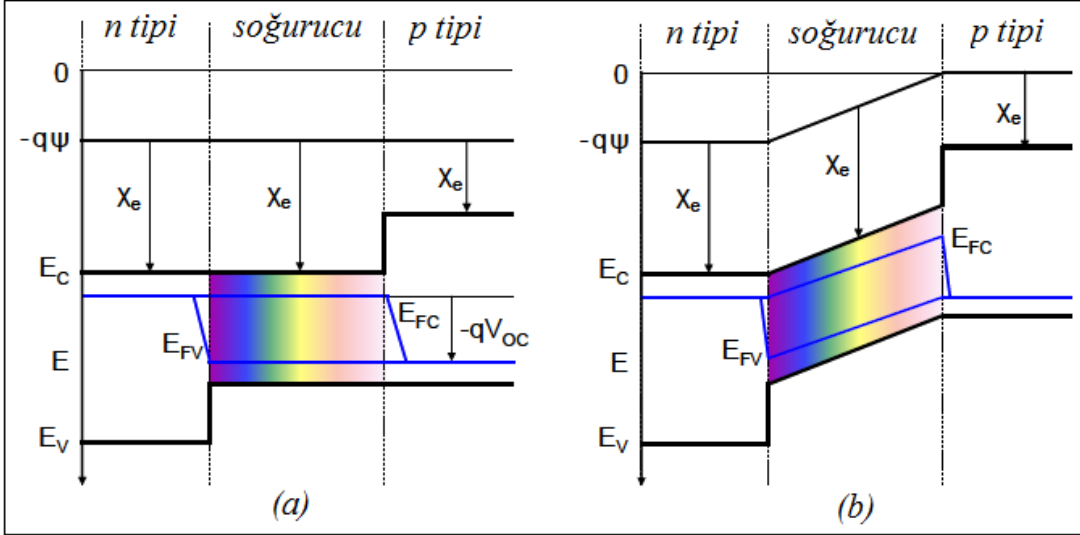
Genellikle, güneş pili yapısında, elektron – boşluk çiftleri oluşumu ile sonuçlanan, gelen radyasyonun verimli bir şekilde soğurulmasını sağlayan bir soğurucu tabaka bulunmaktadır. Gelen ışık sayesinde oluşan elektron – boşluk çiftlerinin birbirlerinden ayrılması için soğurucu tabakanın her iki tarafına yarı geçirgen zarlar eklenmektedir. Yarı geçirgen zarın sahip olması gereken özellik, bir tür yük taşıyıcısının geçişine izin vermesidir. Verimli bir güneş pili tasarlarken, soğurucu tabakada meydana gelen elektron ve boşlukların zarlara ulaşmasını sağlamak önemli bir etmendir. Bu da soğurucu tabakanın kalınlığının yük taşıyıcıların yayılma mesafelerinden daha küçük olmasını gerektirmektedir.

Elektronları geçiren ancak boşlukların geçmesini engelleyen bir zar, elektronlar için iletkenliği yüksek, boşluklar içinse iletkenliği düşük bir malzeme olmalıdır. N tipi yarıiletken bu tür malzemeler için iyi bir örnektir. N tipi yarıiletkenlerde elektron ve boşluk konsantrasyonları arasında büyük farklılık vardır ve bu farklılık elektron iletkenliğinin boşluk iletkenliğine göre oldukça büyük olması sonucunu doğurur.

Bunun tam tersi, p tipi yarıiletken için geçerlidir. P tipi yarıiletkende de boşluklar kolayca geçebilir ancak elektron geçişi engellenmiş olur.

Soğurucu tabakadan n tipi yarıiletkene boşluk geçişini en aza indirmek için bir enerji bariyerine, " ΔE_V ", ihtiyaç vardır. İdeal şartlarda, enerji farkının iki malzeme arasındaki valens bandına yerleştirilmesi ve soğurucudan daha büyük bant boşluğu olan n tipi yarıiletken malzeme kullanılması bunun için yeterlidir. Benzer şekilde, elektronların soğurucu tabakadan p tipi yarıiletkene geçişini engellemek için de soğurucudan daha büyük bant boşluğu olan p tipi yarıiletken kullanmak ve " ΔE_C " bant ofsetini soğurucu ile p tipi yarıiletken arasına yerleştirilmesi gerekmektedir. İletim bandında bir bant ofsetinin yerleştirilmesi, p tipi yarıiletkenin elektron afinitesinin, " γ_e ", soğurucunun elektron afinitesinden düşük olmasından dolayı bir gerekliliktir [11].

Fotovoltaik enerji dönüşümünde en temel gerekliliklerden biri n tipi ve p tipi yarıiletkenlerin elektronik yapılarının asimetrik olmasıdır. Şekil 2.2'de soğurucu ve yarı geçirgen zarlara olan, ışık altındaki, ideal bir güneş pili yapısında bant diyagramı görülmektedir. Güneş pilinin terminal elektrotları zarlara bağlanmış durumdadır. Güneş pilinin ışık altındaki durumunu tanımlamak için, elektronlar için kısmi Fermi seviyesi, " E_{FC} ", ve boşluklar için kısmi Fermi seviyesi, " E_{FV} ", terimleri kullanılmaktadır. Kısmi Fermi seviyeleri arasındaki enerji farkı enerji dönüşümünde verim için bir ölçüt olarak belirlenmektedir. Şekil 2.2'de, ışık altındaki güneş pili iki farklı koşul için gösterilmiştir. İlk koşul, Şekil 2.2 (a)'da gösterilen, açık devre durumudur. Burada, güneş pilinin terminalleri birbirlerine bağlanmamış, dolayısıyla harici bir devre üzerinden akım akıyor konumundadır. Bu koşulda, güneş pilinin terminalleri arasından bir gerilim farkı ölçülebilir. Bu gerilim, " V_{OC} ", açık devre gerilimidir ve güneş pilinin performansını ortaya koyan önemli bir parametredir. Şekil 2.2 (b) ise güneş pilinin kısa devre durumundaki bant diyagramını göstermektedir. Bu durumda güneş pilinin terminalleri kısa devre edilmiş ve harici devreden akım akmaktadır. Bu akım kısa devre akımı, " I_{SC} ", olarak adlandırılmakta ve yine güneş pilinin verimini ölçmede önemli bir parametre olarak kullanılmaktadır [11].



Şekil 2.2: Güneş pili yapısının

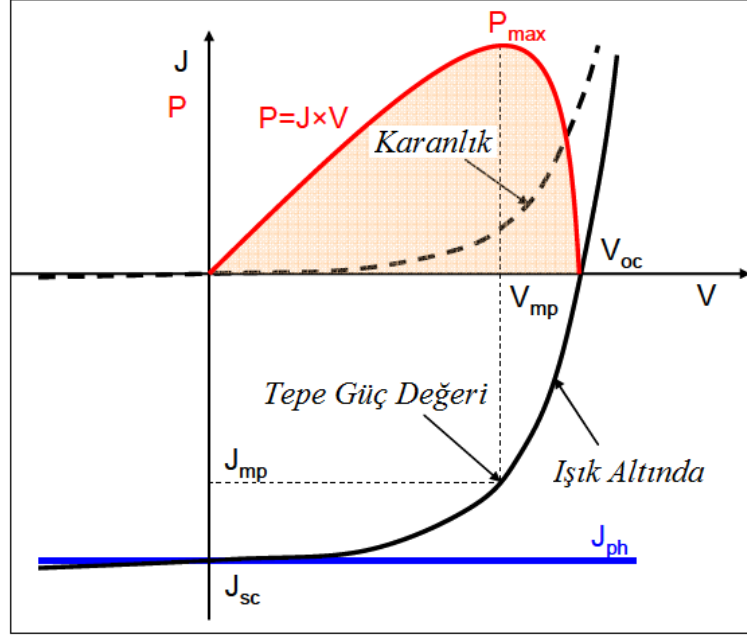
(a) Açık devre ve (b) Kısa devre bant diyagramları [11]

2.1.1. p-n eklemi

Şimdilerde, yukarıda anlatılan güneş pili yapısının en sık rastlanılan versiyonu kristalli silikon ile gerçekleştirilmiş olmaktadır. Kristalli silikon güneş pilinin tipik bir örneği Şekil 2.1’de gösterilmiş idi. Güneş pilinde bulunan dahili elektrik alan, ışıkla oluşan elektron boşluk çiftlerinin ayrılmasına yardımcı olur. Yük taşıyıcılar birbirlerinden kısa bir sürede ayrılmazlar ise yeniden birleşme olarak adlandırılan birbirlerini yok etme sürecine girerler ve enerji dönüşümüne katkı sağlayamazlar. Yük taşıyıcıları ayırmanın en kolay yolu ise onları bir elektrik alan içerisine yerleştirmektir. Elektrik alanda, zıt yüklü taşıyıcılar birbirlerinden uzaklaşacaklar ve güneş pili terminallerindeki elektrotlara ulaşacaklardır.

p-n eklemi ışığa maruz kaldığında, yarıiletkende ekstra elektron boşluk çiftleri oluşmaktadır. Bu da, p tipi malzeme için elektronlar ve n tipi malzeme için boşluklar olarak tanımlanan azınlık taşıyıcıların konsantrasyonunu büyük ölçüde arttırmaktadır. Elektronlar p tipi yarıiletkenin olduğu bölgeden n tipi yarıiletkenin olduğu bölgeye, boşluklar ise n tipi yarıiletkenin olduğu bölgeden p tipi yarıiletkenin olduğu bölgeye doğru akarlar. N tipi yarıiletken malzeme ile p tipi yarıiletken malzeme arasında harici bir kontak olmadığında, bu durum eklemin açık devre olduğu konumdu, p-n eklemi içinde akan net akım sıfırdır. Bu da, ışığa bağlı olarak

oluşan ve ısıya bağlı olarak oluşan akıdan üreyen akımın zıt yeniden birleşme akımı ile dengelenmesi gerektiği anlamına gelmektedir.



Şekil 2.3: p-n eklemının karanlıkta ve ışık altında karakteristiği [11]

2.1.2. Harici parametreler

Bir güneş pilinin performansını belirlemede kullanılan ana parametreler; tepe güç değeri, " P_{max} ", kısa devre akım yoğunluğu, " J_{sc} ", açık devre gerilimi, " V_{oc} " ve dolun faktörü, " FF "dir. Bu parametreler Şekil 2.3'te görülen ışık altında J-V karakteristiğinden elde edilmektedir. Enerji dönüştürme verimi, " η ", ise bu parametreler kullanılarak elde edilmektedir [11].

Kısa Devre Akımı: Kısa devre akımı, " I_{sc} ", güneş pilinin terminal elektrotları kısa devre edildiğinde harici devre üzerinden akan akımdır. Bir güneş pilinin kısa devre akımı, güneş pili üzerine düşen foton akısının yoğunluğuna bağlıdır. Foton akısının yoğunluğu ise, gelen ışığın spektrumu tarafından belirlenir. Bununla birlikte, kısa devre akımı aynı zamanda güneş pilinin yüzey alanına da bağlıdır. Kısa devre akımının güneş pili yüzey alanına olan bağımlılığını ortadan kaldırmak için güneş pili tarafından sağlanan maksimum akımı tanımlamakta genellikle kısa devre akımı yerine kısa devre akım yoğunluğu kullanılmaktadır. Güneş pilinin verebileceği

maksimum akım ağırlıklı olarak güneş pilinin optik özellikleri (soğurucu tabakadaki toplam soğurma ve pilin toplam yansıtması gibi) tarafından belirlenir.

İdeal şartlarda, J_{sc} ile J_{ph} birbirine eşittir ve bu eşitlik (1) denkleminde elde edilebilir.

$$J(V_a) = J_{rec}(V_a) - J_{gen}(V_a) - J_{ph} = J_0 \left[\exp\left(\frac{qV_a}{kT}\right) - 1 \right] - J_{ph} \quad (1)$$

J_{ph} (2) denklemi ile ise yaklaşık olarak bulunabilir.

$$J_{ph} = q G (L_N + W + L_P) \quad (2)$$

Burada, yeniden yüzey birleşiminin sıfır olduğu ve üretimin tekdüze gerçekleştiği, yani ideal diyot çalışmasına yaklaşıldığı varsayılmakta, ve bunun sonucunda da J_{ph} 'yi belirleyen kritik malzeme parametreleri azınlık taşıyıcılarının difüzyon uzunlukları olmaktadır.

Açık Devre Gerilimi: Açık devre gerilimi, dış devre üzerinden hiç akım akmadığı andaki gerilimdir. Bu gerilim güneş pilinin verebileceği maksimum gerilim değeridir. Açık devre gerilimi, ışık sayesinde oluşan akım yoğunluğuna bağlıdır ve net akım sıfır kabul edilmek kaydıyla, aşağıda verilen (3) ve (4) denklemleri kullanılarak hesaplanır.

$$J(V_a) = -J_0 \quad (3)$$

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{J_{ph}}{J_0} + 1\right) \quad (4)$$

(4) denkleminde de görülmektedir ki, açık devre gerilimi güneş pilinin doyumdaki akımına ve ışık nedeniyle oluşan akıma bağlıdır. Işık sayesinde ortaya çıkan akımın değişimi oldukça küçüktür. Dolayısıyla asıl etkiyi doyum akımı yaratır. Bu etki, genlik değerinin katları mertebesinde dir. Doyum akımı yoğunluğu, " J_0 ", güneş pilinde meydana gelen yeniden birleşmeye bağlıdır. Bunun sonucu olarak da, açık devre geriliminin, güneş pilindeki yeniden birleşimi değerlendirmede bir ölçüt olduğu ortaya çıkmaktadır.

Dolum Faktörü: Dolum faktörünü tanımlayabilmek için öncelikle maksimum gücün tanımlanması gerekmektedir. Maksimum güç ifadesi (5) denklemi ile verilmiştir.

$$P_{max} = J_{mp} \times V_{mp} \quad (5)$$

Buna göre, dolum faktörü, güneş pilinin ürettiği maksimum güç ile açık devre gerilimi ile kısa devre akım yoğunluğunun oranıdır. Bu ifade (6) denklemi ile verilmiş olup, Şekil 2.3'ten de görülebilir.

$$FF = \frac{J_{mp} V_{mp}}{J_{sc} V_{oc}} \quad (6)$$

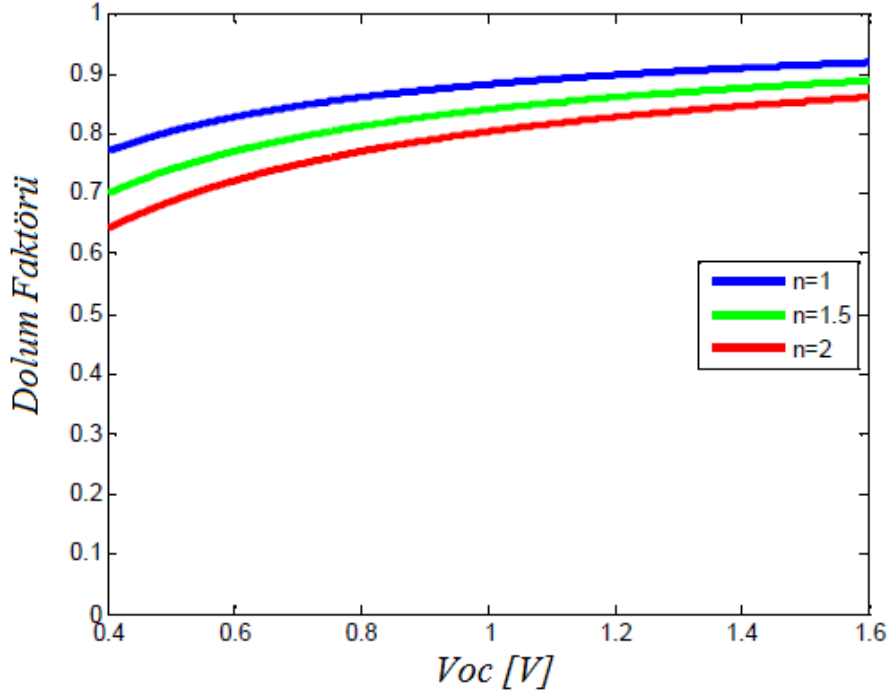
Güneş pilinin, ideal diyot gibi davrandığı durum için dolum faktörü (7) denkleminde verildiği gibi, açık devre geriliminin bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir.

$$FF = \frac{v_{oc} - \ln(v_{oc} + 0.72)}{v_{oc} + 1} \quad (7)$$

Burada küçük harf ile gösterilen açık devre gerilimi normalize edilmiş açık devre gerilimidir. Açık devre geriliminin normalize edilmesi ise (8) denklemi ile gerçekleştirilmektedir.

$$v_{oc} = \frac{q}{kT} V_{oc} \quad (8)$$

Açık devre geriliminin bir fonksiyonu olarak dolum faktörünün değişimi Şekil 2.4'te gösterilmektedir. Bu grafikten ilk çıkarılabilecek sonuç, açık devre geriliminin değişimine karşılık dolum faktörünün önemli ölçüde değişiklik göstermediğidir. Seçilmiş bir soğurucu için açık devre geriliminde büyük değişiklikler görülmesi pek olası değildir. Ancak farklı malzemelerden yapılmış güneş pilleri için maksimum dolum faktöründeki değişim belirleyici nitelikte büyük olabilmektedir.



Şekil 2.4: Açık devre geriliminin bir fonksiyonu olarak dolun faktörü [11]

Buna karşın pratikte, ideal diyot yaklaşımı karşılanmamaktadır. İdeal olmayan diyot için ise ideallik faktörü adı verilen ve “n” ile gösterilen bir terim Boltzman eşitliğine dahil edilmekte ve bunun sonucunda da (9) ile verilen çarpan ortaya çıkmaktadır.

$$\exp(qV_a/nkT) \quad (9)$$

İdeallik faktörü, bir güneş pilindeki eklem kalitesini ve yeniden birleşim tipini ortaya koyan bir ölçüt olarak ele alınabilir.

Enerji Dönüştürme Verimi: Enerji dönüştürme verimi, üretilen maksimum güç ile ani gücün oranı olarak hesaplanmaktadır ve (10) denklemleri ile ifade edilmektedir.

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{in}} = \frac{J_{mp} V_{mp}}{P_{in}} = \frac{J_{sc} V_{oc} FF}{P_{in}} \quad (10)$$

2.2. Güneş Pili Çeşitleri

Günümüzde, güneş pili teknolojisinin gelişimi ile de paralel olarak, güneş pilleri pek çok farklı madde ve malzemeden yararlanılarak üretilebilmektedir. Güneş pilleri, geçmişinden bu güne silikon temelli olarak gelişmiş bir birikime sahiptir. Silikon kolay elde edilebilen bir malzeme olmakla beraber, silikonla güneş pili üretimi de

daha düşük maliyetlerle gerçekleştirilebilmektedir. Bunun yanı sıra, güneş pili üretiminde en sık kullanılan malzeme kombinasyonları ise şu şekilde özetlenebilir [12];

Tek Kristalli Silisyum Piller: Yarıiletkenlik özelliğinden dolayı silisyum, güneş pillerinde en yaygın kullanılan malzemedir. Üretim için öncelikle saf silisyum elde edilmelidir. Saf silisyum elde edildikten sonra yüksek sıcaklıklara çıkarılarak eritilmiş hale getirilir ve bu halde iken içerisine tek kristalli bir silisyum yerleştirilir. Ardından gerçekleştirilen soğutma işleminden sonra, eritilmiş halde bulunan silisyum, tek kristalli silisyum çekirdeği etrafında bütünleşir. Bu bütünleşmiş kütleler kesilerek güneş pilleri elde edilecek ara ürünler ortaya çıkarılmış olur. Bu işlemler süreci malzeme kullanımı açısından büyük ölçüde kayıplara yol açmaktadır. Bu teknikle üretilen güneş pillerinden alınan enerji verimi ise yaklaşık % 15 dolaylarındadır.

Çoklu Kristalli Silisyum Piller: Bu yöntemde amaç malzeme kaybının azaltılmasıdır. Tek kristalli silisyum çekirdek yerine tabaka halinde - çok çekirdekli cevherler kullanılır. Halen geliştirilmekte olan bu teknikle üretilen güneş pillerinin enerji verimi % 10 civarındadır.

Amorf Silisyum Piller: Amorf kelimesinin sözlük anlamı “şekilsiz”den de anlaşılacağı üzere bu teknikte kristal yapılı silisyum kullanma gerekliliği yoktur. Daha basit bir şekilde ve daha düşük bir maliyetle üretilebilmektedir. Çoğunlukla düşük güç gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadır. Ancak enerji verimleri % 10’un altında kalmaktadır.

İnce film Piller: Bu yöntemde güneş ışığını daha yüksek ölçüde soğuran malzemeler kullanılabilir. Cam veya çelik gibi malzemeler üzerine film olarak kaplanarak gerçekleştirilir. Ancak bu teknikte maliyet, diğer yöntemlere göre oldukça yüksektir.

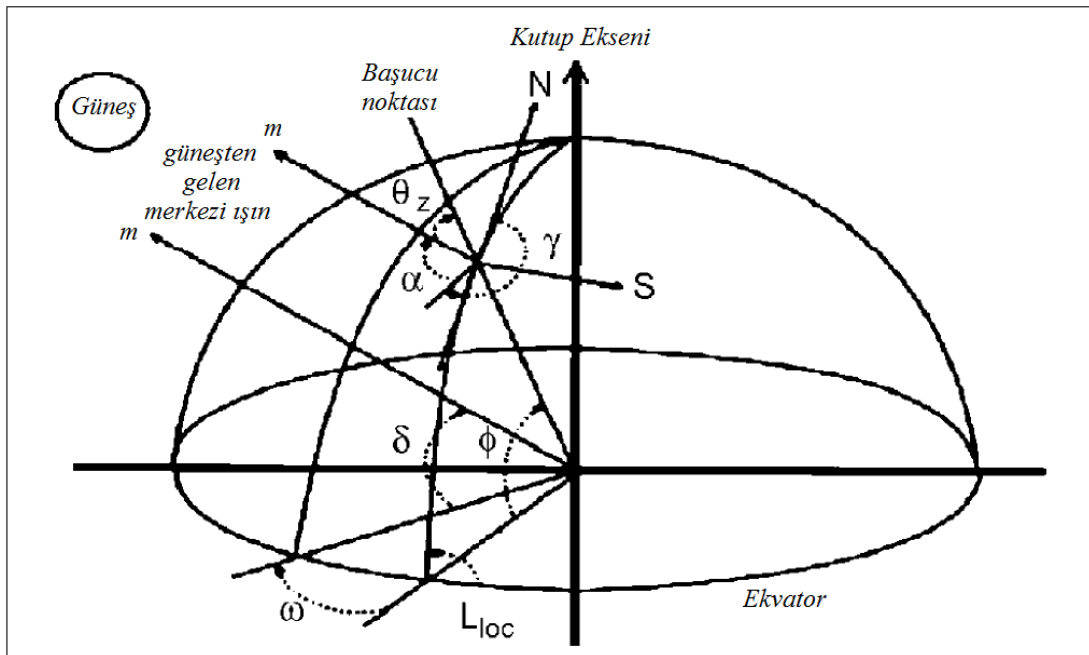
Galyum-Arsenit Piller: Silisyum gibi bir diğer yarıiletken malzeme de galyum-arsenittir ve bu malzeme de güneş pili üretimi için kullanılmaktadır. Kristalleşme özelliği silisyumda olduğu gibidir. Işık soğurma özelliği çok yüksektir ancak maliyeti da çok fazladır. Enerji verimi % 20’nin üzerindedir.

Bakır-İndiyum Diselenoid Piller: Bileşik olarak oluşturulan yarıiletken malzemelerden bakır-indiyum ve diselenoid kullanılarak üretilir. Enerji verimi yaklaşık % 15 - % 20 arasındadır.

3. YÖNTEM

Dünya güneş çevresinde eliptik bir yörüngede dönmekte ve bu elipsin odaklarından birinde güneş yer almaktadır. Bu yörüngenin bulunduğu düzleme ise ekliptik veya tutulum çemberi adı verilmektedir. Dünya bu yörüngeyi bir yılda tamamlamaktadır. Dünya ve güneşin bağıl konumları, dünyayı çevreleyen dış küre ile ifade edilmektedir. Ekvator düzlemi bu dış küreyi dış ekvator ve kutup eksenini de dış kutuplarda kesmektedir. Dünyanın güneş etrafındaki hareketi, elips üzerinde güneşin hareketi olarak da düşünülebilir. Bu durumda güneş, dış ekvatora göre 23.45° eğik durumdadır.

Güneş ve dünyanın merkezlerini birleştiren çizgi ile dünyanın ekvator düzlemi üzerine düşen izdüşümünün arasındaki açı deklinasyon veya meyil açısı olarak adlandırılır ve “ δ ” ile temsil edilir. Bu açı, takvimin 21 mart ve 23 eylül tarihlerinde sıfır olur.



Şekil 3.1: Güneş Açıları [13]

Dünya kendi kutupsal eksenini etrafında 1 günde bir dönüş gerçekleştirir. Dünyanın günlük dönüş hareketi, dış kürenin kutup eksenleri etrafında dönüşü ile gösterilir. Güneşin anlık konumu ise, mevcut konumdan geçen meridyen ile güneş doğrultusunda geçen meridyen arasındaki açı olan, “ ω ”, saat açısı ile tanımlanır. Saat açısı öğle vakti sıfırdır ve doğu yönünde artar. Coğrafi enlem derecesi “ ϕ ” olan dünya yüzeyindeki bir gözlemci için daha kullanışlı bir koordinat sistemi tanımlanmıştır. Buna göre, düşey bir çizgi dış küreyi, zenit ve nadir olarak adlandırılan iki farklı noktada kesmektedir, ve bu düşey çizgi kutup eksenini ile ϕ açısı yapmaktadır. Bu tanım Şekil 3.1’de şematik olarak gösterilmiştir. Düşey eksene dik olan büyük çember ise ufuktur [13].

Güneşin yükseklik açısı “ α ”, da Şekil 3.1’de gösterildiği gibi güneş ışınlarının ufuk düzlemindeki izdüşümleri ile ilgili nokta doğrultusunda güneş ışınlarının yönelimi arasındaki açıdır. Alternatif olarak, güneşin yüksekliği zenit açısı, “ θ_z ”, kullanılarak da tanımlanabilir. Bu açı, ilgili nokta doğrultusundaki ufuk düzlemine dik çizgi ile güneş ışınları arasındaki düşey açıdır ($\theta_z = 90 - \alpha$). Güneşin ufuk açısı ise, “ γ_s ”, kuzey yarıküre için güneyden güneş ışıklarının yatay izdüşümlerine kadar taranan açıdır [14].

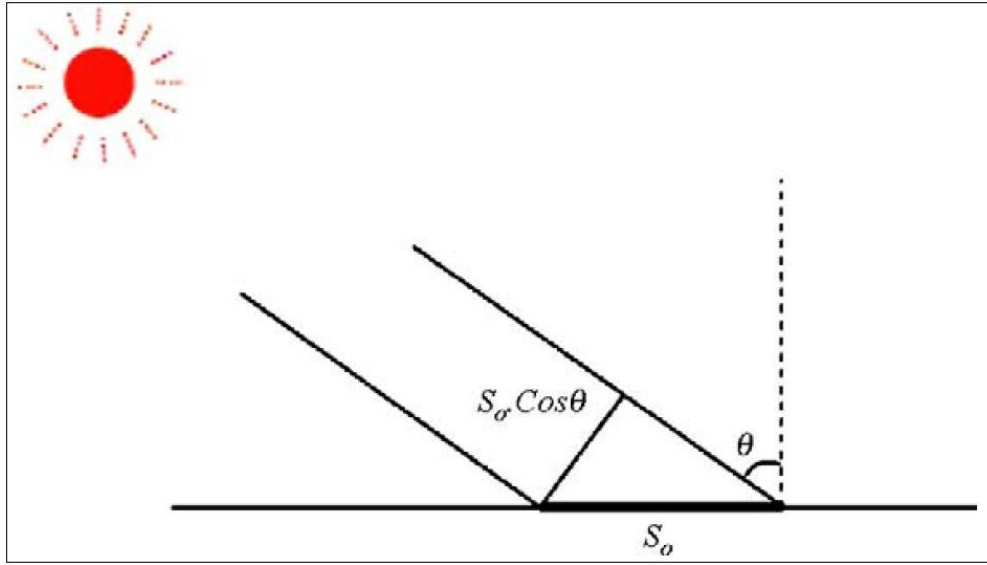
Güneş radyasyon verileri genellikle yatay bir düzlem üzerine düşen küresel radyasyon biçimindedir. Buradan yola çıkılarak güneş panelleri de yatay düzleme belirli bir açı yapacak şekilde konumlandırılır. Dolayısıyla ile fotovoltaik sistemin enerji girişi bu sayede hesaplanmalıdır. Hesaplama üç adımda gerçekleştirilir.

İlk adımda, ilgili bölge ve/veya alan için veriler kullanılarak yatay düzlem üzerindeki küresel radyasyonun yayılım ve ışın demeti bileşenleri belirlenir. Bu ise, dışarıdan gelen günlük radyasyon, “ B_o ”, referans olarak kullanılarak açıklık indeksi adı verilen “ $K_T = G / B_o$ ” oranının hesaplanması ile olur. Burada “ G ” ile gösterilen terim yatay düzlem üzerine düşen günlük küresel radyasyonun aylık ortalaması ve “ K_T ” ile gösterilen terim ise ilgili ay için belirlenen bölgede güneşin radyasyonunun atmosfer tarafından zayıflatılması ile ilgili ortalama değer olan bir terimdir.

İkinci adımda yayılan radyasyon ampirik, deneysel, olarak elde edilir. Buna göre küresel radyasyonun yayılma oranı, D/G , açıklık indeksi K_T ‘nin bir fonksiyonudur. Burada D , yatay düzlem üzerine düşen günlük yayılan radyasyonun aylık ortalamasıdır ve birimi W/m^2 ’dir. $B = G - D$ eşitliğinin sağlanması gerektiğinden, bu

adım ile yatay düzlem üzerine düşen yayılma ve ışın demeti radyasyonu belirlenmiş olur. Buradaki “B” terimi yatay düzlem üzerine düşen günlük ışın demetini temsil etmektedir.

Üçüncü adımda ise, her bir bileşen için ilgili yüzey üzerindeki yayılım ve ışın demeti radyasyonu için uygun açısal bağımlılık bileşenleri hesaplanır. Çevreleyen alanın yansıtması da ele alınarak aklık derecesi de hesaplanabilir. İlgili yüzeye düşen günlük toplam radyasyon da bu üç adımda elde edilen parametrenin toplanması ile bulunmuş olur [13].



Şekil 3.2: Güneş ışığının geliş açısı, θ [15]

Güneş, gün boyunca gökyüzünde hareket etmektedir. Şekil 3.2’de görülen sabit durumdaki bir güneş toplayıcısı ve/veya paneli için, ilgili alıcı bölgenin düzlem üzerindeki izdüşümü, gelen ışığın kosinüsü olarak belirlenmektedir. Güneş ışığının geliş açısı, “ θ ”, büyüdükçe panelden alınan güç düşmektedir.

3.1. Güneş Takip Sistemleri

Güneş takibi, tek eksenli olarak ve/veya hassasiyeti arttırmak için iki eksenli olarak gerçekleştirilebilir. İki eksenli güneş takip sistemleri için iki tip teknik mevcuttur.

Bunlar, kutupsal ya da ekvatorial takip ile yükseklik ya da eğim takibi olarak bilinmektedir. Güneş takip sistemleri güneş panellerini, güneşten gelen radyasyonu en iyi şekilde alacak diklikte tutmaya çalışarak elde edilecek enerjiyi maksimum hale getirmeyi hedefler. Ancak, dikliği sağlamada çok yüksek çözünürlüğe de ihtiyaç yoktur, zira optimal dik açıdan 10^0 derecelik sapmada dahi verim % 98.5'in üzerindedir [16].

Sabit güneş panelleri, takip sistemi ile çalışan güneş panelleri ve yoğunlaştırıcı - takip sistemli güneş panelleri ile çalışan su pompalama sistemleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Üç tip pompalama sistemi için de günlük karakteristikler çıkarılarak analiz edilmiş, belirli ışımada elde edilen pompalanan suyun akış hızının belirli bir biçimde farklı olduğu ortaya konmuştur. Buna göre sırasıyla sabit panel, takip sistemli panel ve yoğunlaştırıcı - takip sistemli panel ile çalışan su pompalama sistemlerinin, ortalama, 4.9, 7.4 ve 12.6 m³/gün su pompaladıkları sonucuna ulaşılmıştır [17].

Bir başka çalışmada ise iki konumlu bir ayırık kontrol uygulanan düzlemsel yoğunlaştırıcının performansı analiz edilmiştir. Burada yoğunlaştırıcı eğik bir eksene sahiptir ve bu eksen etrafında günde iki kez belirli açılara gelecek şekilde döndürülmektedir. Aynı yoğunlaştırıcı için sabit modu ve iki konumlu kontrol modu arasında karşılaştırma yapılmış ve bu basit kontrol tekniğinin ortalama %10-%20 aralığında bir enerji kazancı sağladığı belirtilmiştir [18].

Farklı bir uygulamada ise üç adımlı, iki eksenli bir güneş takip sistemi geliştirilmiş ve gün içerisinde güneş açısına göre bu üç konum kullanılarak sistem çalıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yapılan analizde üç konumlu – iki eksenli güneş takip sisteminin sabit va düzlemsel konumdaki panel sistemine göre %72 daha yüksek verim alındığı belirtilmiştir [19].

Yalnızca düşey ekseninde çalışan bir güneş takip sisteminin yer aldığı bir tesis tasarlanan [20] numaralı kaynakta, İspanya'da kurulan bu tesiste 400 adet takipçi 0.25 beygirlik alternatif akım motoru ile hareket ettirilmektedir. Güneş panelleri için sabit bir eksen eğimi kullanılan ve yönelim takibi gerçekleştiren bu sistemde, sabit sisteme göre %40 daha yüksek verim alındığı belirtilmiştir. Bununla birlikte yanyana duran iki panel için doğu-batı ve kuzey-güney gölgelemeleri de ölçülmüş ve

gölgeleme etkilerini minimize etmek için ideal yönelim açıları değiştirilerek kontrol uygulanmıştır.

İki konumda çalışan ve güneş piliyle beslenen bir kurutucu için el yapımı bir takip sistemi geliştiren bir ekibin çalışmasının raporuna göre; kurutucuda 12 V ve 0.42 A etiket değerleri olan bir fan kullanılmış ve güç güneş pili ile sağlanmıştır. Güneş toplayıcı modülün verimini arttırmak için, yataya göre $\pm 30^\circ$ açılar ile bir güneş takip stratejisi izlenmiştir. Performans dört ayrı durum için incelenmiştir. Bunlar, fanın kapalı - açık durumları ile takibin olup olmadığı durumların kombinasyonları idi. Sonuçta elde edilen en iyi performans fanın açık ve takibin olduğu durum olarak belirtilmektedir, ki bu da kurutucu için 60°C 'lik bir sıcaklık ortaya koymaktadır [21].

Güneş panelleri için çift taraflı üretim seçenekleri de bulunmaktadır. [22]'de tek taraflı - çift taraflı güneş pilleri takibin olup olmadığı durumlarda karşılaştırılmıştır. Takibin etkisi ölçülmüş ve elde edilen enerjide %30-%40 civarı bir artış belirtilmiştir. Bununla birlikte, çift taraflı güneş panelinin de %50-%60 oranında enerji verimini yükselttiği görülmüştür.

Bir diğer çalışmada 3 farklı bölgede güneş takipçili ve sabit sistemler kurulmuş ve analiz edilmiştir. İlk bölgede, 15 ayrı sistem bir koordinat takip sistemi ile kontrol edilmiş, sabit durumdaki 0° yatay ve 36° düşey açılarla karşılaştırılmıştır. İkinci bölgede, 90 ayrı sistemde ayrı ayrı koordinat kontrolü ile takip düzenekleri kurulmuş ve 0° yatay ve 30° düşey açılı sabit sistemlerle karşılaştırma yapılmıştır. Üçüncü bölgede ise, güneş takip sisteminin konumu 15'er dakikalık periyotlarla güncellenmiş ve 30° eğimli – düşeyde 35° 'lik açı yapan sabit sistem ile karşılaştırılmıştır. İlk iki bölgede kurulan düzeneklerde, sırasıyla %37.7 ve %30.4 iyileşme tespit edilmiştir. Üçüncü bölgedeki tesisten ise yıllık olarak %31.5 verim artışı elde edilmiştir [23].

Baltas ve ekibi, farklı yerlerde bulunan sabit, sürekli takipli ve adım takipli güneş takip sistemlerini güç çıktıları üzerinden değerlendirmeye tabi tutmuşlardır. Alınan sonuçlara göre adım takipli güneş takip sistemi, sürekli takipli güneş takip sisteminin sağladığı enerjinin % 95'ini üretebildiği görülmüştür. Bununla birlikte, sürekli takipli sistemlerin, sabit güneş panellerine göre %20 - %30 daha fazla enerji çıktığı da belirtilmiştir [24].

Bir uygulamada, 40°'de sabit tutulan bir sistemden yola çıkılarak güneş takip sistemleri için maliyet ve ışıma parametreleri üzerinden bir analiz yapılmıştır. Edinilen bulgulara göre, tek eksenli ve çift eksenli güneş takip sistemlerin üzerinde toplanan ışıma oranlarının sabit sistemlere göre sırasıyla %34 ve %38 daha fazla olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, araştırmanın yapıldığı tarihteki maliyetlerle dayanan analizde ise güneş takip sistemlerinin, fotovoltaik enerji üretimi açısından mali verimi % 20 oranında arttırdığı belirtilmiştir. Bir diğer önemli sonuç ise, tek eksenli takip sisteminde iki eksenli takip sistemi ile oldukça yakın değerler elde edilebildiği gözlemlenmiş, buna karşın iki eksenli sistemin maliyetinin tek eksenli sisteme göre 2 kat fazla olduğu belirtilmiştir [25].

Stolfi ve ekibi, bir helyostat dizisi için iki eksenli güneş takip ve yoğunlaştırıcı prototipi tasarlamış ve geliştirmişlerdir. Eksen hareketleri iki adım motoru ile sağlanmıştır. Yatay harekette, hareketli birim bir döner tabla üzerinde yer almakta ve dişliler vasıtası ile kontrol edilmektedir. Bu sistemde, alt birimleri konumlandırmak için bir ana birim kullanılmaktadır. Bu gerçekleştirilirken hem güneş pilinin çıkışı ölçülmekte ve hem de önceden belirlenmiş en iyi konumlardan oluşan bir veri tabanından yararlanılmaktadır. Testlerin sonucunda, takip sisteminin çıkış akımı değerini yükselterek daha yüksek bir güç çıktısına yol verdiği gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra, testlerden elde edilen bir diğer önemli sonuç da, yansıtıcı kullanmanın güneş panelleri üzerinde üniform ve yoğunlaşmış ışıma alanları oluşturduğu, bunun da güneş pilleri için gerekli odaklamayı sağlayabileceği sonucuna varılmıştır [26].

Başka bir örnekte ise, geniş ölçekli enerji üretim tesisleri için sabit ve iki eksenli güneş takip sistemlerinin günlük ve yıllık enerji üretim performansları üzerinden karşılaştırmalı bir çözümleme yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, belirli bir bölge için aynı enerji çıktısına ulaşılabilmesi için sabit sistemlerin iki eksenli güneş takip sistemlerine göre %40 daha fazla güneş paneline ihtiyaç olduğu ortaya konmuştur [27].

3.2. Güneş Takip Yöntemleri

Güneş panellerinin kullanılmasında güneş takip sistemlerinin de bulunması zorunlu değildir, ancak performansın yükseltilmesi için de gereklidir. Güneş takip

düzeneklerinin, güneş pillerinden alınan verimi arttırması yanında, maliyet, güvenilirlik, enerji tüketimi ve bakım gibi olumsuz yanları da vardır.

Genel olarak tüm takip sistemleri, aşağıda özetlenen karakteristik özelliklerden çoğunu ya da bir kısmını taşırlar [28].

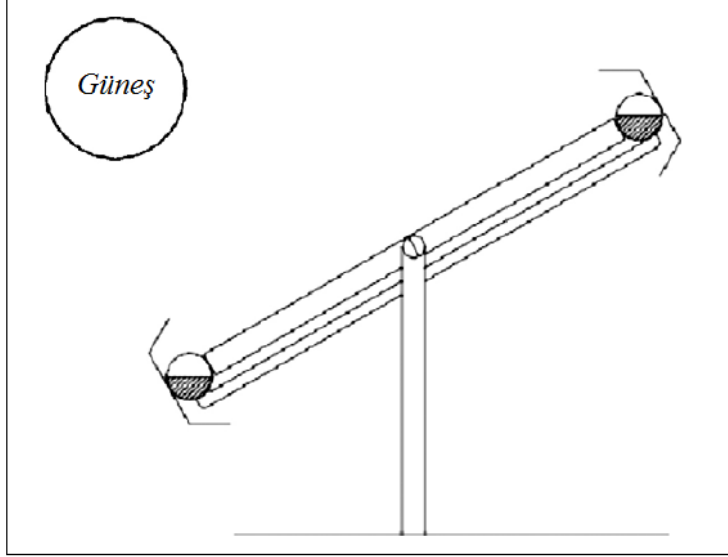
- Tek kolonlu yapı ya da paralel konsol tip yapı
- Bir ya da iki hareketli motor
- Işık algılama birimi
- Otonom ya da yardımcı güç kaynağı
- Işık takibi ya da veritabanına göre takip
- Sürekli ya da adımlar halinde hareket
- Yönelim ve eğim ayarı

Güneş panelleri, güneş ışığı yoğunlaştırıcılar ve teleskoplar gibi güneş ışınlarının dik olarak alınmasını gerektiren uygulamalar için literatürde birkaç güneş takip yöntemi önerilmiştir. İdeal bir güneş takip sistemi, fotovoltaik güneş pilinin dosdoğru bir şekilde güneşe yöneltilmesini sağlamalıdır. Bunun için yatay ve düşeyde hareket edebilmelidir. Güneş takip sistemleri genel olarak iki kategoride sınıflandırılmaktadır. Bu kategoriler pasif yada mekanik takip sistemleri ile aktif yada elektriksel takip sistemleridir.

3.2.1. Pasif takip

Pasif güneş takip sistemlerinin çalışma prensibi, bir maddenin (genellikle Freon) termal genişmesi ya da şekilsel bellek taşıyan alaşımlara dayanmaktadır. Çoğunlukla bu tür takip sistemleri, eşit aydınlanmada dengede olan ve birbirinin zıt hareketini yapan bir çift eyleyiciden oluşmaktadırlar. Eyleyicilerin aydınlanma farkları sayesinde dengesi bozulan kuvvetler aygıtın yönelimini sağlamak için kullanılırlar. Böylelikle eşit aydınlanma seviyeleri yakalanarak eyleyici kuvvetler denge konumuna tekrar ulaşmış olur. Pasif güneş takip sistemleri, aktif sistemler ile karşılaştırıldığında, daha az karmaşık bir yapıya sahiptir ve daha düşük verimde çalışırlar. Bununla birlikte, düşük sıcaklıklarda çalışmama / durma gibi riskleri de mevcuttur. Yapılan deneysel çalışmalar pasif mekanik sistemlerin performans açısından elektriksel kontrollü aktif sistemler düzeyinde olduğunu göstermiştir.

Maliyet açısından çoğunlukla daha düşük olmalarına karşın pasif takip sistemleri henüz tüketicilerin çokça rağbet etmediği bir konumdadır.



Şekil 3.3: Pasif Güneş Takipçisi [29]

Clifford ve ekibi, bilgisayarla modellenmiş yeni bir pasif güneş takip düzeneği geliştirmişlerdir. Genleşen metallerin eğilmeleri küçük olmasına rağmen, bunlara karşılık gelen kuvvetlerin büyük olduğuna değinmişlerdir. Tasarladıkları pasif güneş takip sistemi, alüminyum ve çelikten oluşan iki adet çift alaşımlı metal çubuk içermektedir. Bu çift alaşımlı metal çubuklar, ahşap çerçeve üzerine, yatay eksenin merkezine simetrik olarak her iki tarafa bir tanesi gelecek şekilde konumlandırılmıştır. Tasarım, Şekil 3.3'te görülebilmektedir. Buna ek olarak salınımı ve/veya harekette ağırlaşmayı önlemek için ise güneş takip sistemine bir de sönümleme düzeneği eklenmiştir [29].

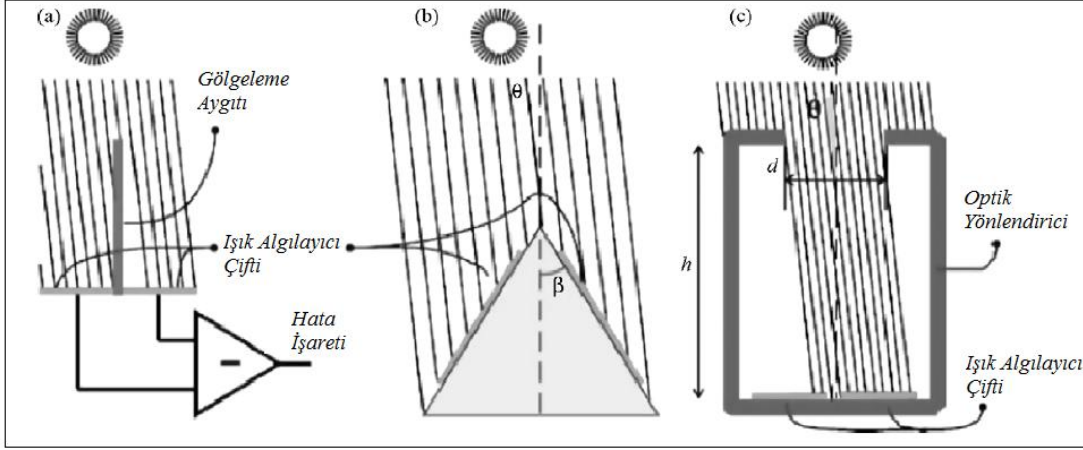
Aynı ekip termal radyasyonun etkisinden kaynaklanan, çift alaşımlı metaldeki eğilmeler için deney sonuçlarını bilgisayar modeli ile karşılaştırmıştır. Bilgisayar modeli ve deneysel sonuçların tam bir uyum içinde olduğu görülmüştür. Tasarlanmış olan pasif güneş takip sistemli panel ile verimin %23 oranında yükselebileceği ortaya konmuştur.

Manuel çalışan ve sınırlı bir güneş takip yeteneği olan kurutucu tasarlanmış ve ortaya konduğu [30]'da kurutucuda, bir ayaklık üzerinde ayar yapmak için bir disk yerleştirilmiş, kurutucunun yatayla yaptığı eğim açısını 15'er derecelik adımlarla değiştirilebilmesini sağlamaktadır. Bu sayede toplayıcı düzlem kesikli bir biçimde ayarlanarak gün içerisinde güneş takibinin gerçekleştirilebilmesi sağlanmaktadır. Güneş takibi için dört kurutucu ayarı oluşturulmuştur. Sonuçlar, kurutucunun ekinlerin kurutulmasında başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Güneş takip sistemi olmadan 5-7 günde kurutma tamamlanıyor iken, güneş takip sistemi ile 2-3 gün gibi oldukça kısa bir sürede tamamlandığı belirtilmektedir.

Şekil hafızalı alaşım eyleyiciler kullanılarak gerçekleştirilen tek eksenli bir pasif güneş takip sisteminin tasarlandığı ve test edildiği bir çalışmada, eyleyici 70°C'de bile kolaylıkla deforme olabilmekte ve bir ısı motoru gibi çalışmaktadır. Dönüşüm sıcaklığının üzerine çıkarıldığında ise orijinal şekline geri dönmektedir. Yapılan testler, bu tip eyleyicilerin veriminin çift alaşımlı metal eyleyicilerin iki katı olan yaklaşık %2 değerinde olduğunu göstermektedir [31].

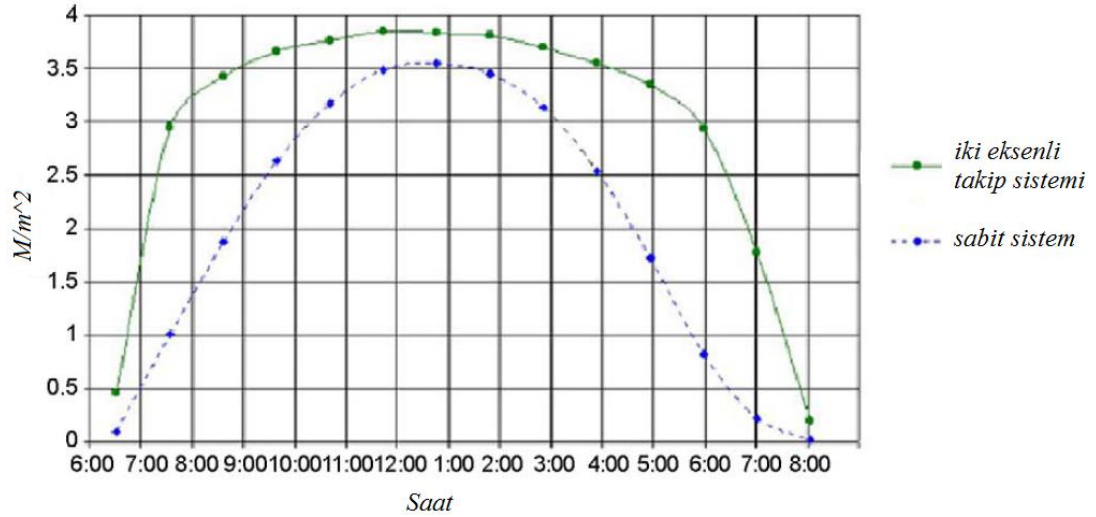
3.2.2. Aktif takip

Temel olarak aktif güneş takip sistemleri, mikroişlemci ve elektriksel/optik algılayıcı tabanlı, bilgisayar kontrolünde tarih ve zamana dayalı ve ek bir çift taraflı güneş pili kullanan üç kategoride ve/veya bunların çeşitli şekillerde kombinasyonlarının oluşturulduğu karma sistemler şeklinde sınıflandırılabilir. Elektriksel/optik algılayıcı tabanlı güneş takip sistemleri çoğunlukla en az bir çift ters paralel bağlı fotodirenç ya da fotovoltaik güneş hücresi içermektedir. Her iki elemanın eşit aydınlanma şiddeti altında elektriksel olarak dengeye ulaşması prensibine bağlı olarak çalışmasını gerçekleştirir. Dolayısıyla sürücü motoru hareket ettirmek için gereken kontrol işareti ya hiç kullanılmaz ya da ihmal edilebilir düzeyde kullanılır. Ek bir çift taraflı güneş pili kullanan sistemlerde ise çift taraflı güneş pili sistemin arzu edilen konuma gelmesi için algılama ve sürme işlevini gerçekleştirir. Bilgisayar kontrollü - tarih ve zamana dayalı güneş takip sistemlerinde ise, güneş konumları tarih ve zamana göre yıllık ve günlük olarak bilgisayar algoritmaları tarafından hesaplanır ve sistem için kontrol işaretleri üretir.



Şekil 3.4: Gölge dengeleme prensibine dayalı güneş takip sistemi, (a) Güneş hedefleme algılayıcıları (b) Işık algılayıcılarının eğik montajı (c) Optik yönlendirici ile hassas güneş hedefleme [32]

Elektriksel/optik algılayıcıların kullanıldığı bir uygulamada farka bağlı aydınlanma fark sonucu elde edilen hata işaretini ortaya koyar. Şekil 3.4 (a)'da gösterilen bu hata işareti kuvvetlendirilerek kontrol işareti olarak kullanılır. Bu kontrol işareti de motorun sürülmesi ve panelin elektriksel/optik algılayıcıların dengeye gelerek sıfır hata ürettiği konuma gelmesi için kullanılır. Şekil 3.4 (b)'de görüldüğü gibi eğimli panelin üzerine fotodiyotlar da monte edilebilir ve bu sayede fotoakım hassasiyeti artırılmış olur. Yoğunlaştırıcı güneş takip sistemlerinde sıklıkla kullanılan bir diğer aygıt da gölgeleme aygıtıdır. Gölgeleme aygıtı bu çalışmada optik yönlendirme tüpü olarak yer almaktadır. İşlevi ise güneşin konumunu yüksek bir doğrulukla ölçebilmektir. Bu tür güneş takip sistemleri karmaşık, yüksek maliyetli ve güvenilirlikten uzaktır [32].



Şekil 3.5: Sabit ve takipçili sistemlerde enerji karşılaştırması [33]

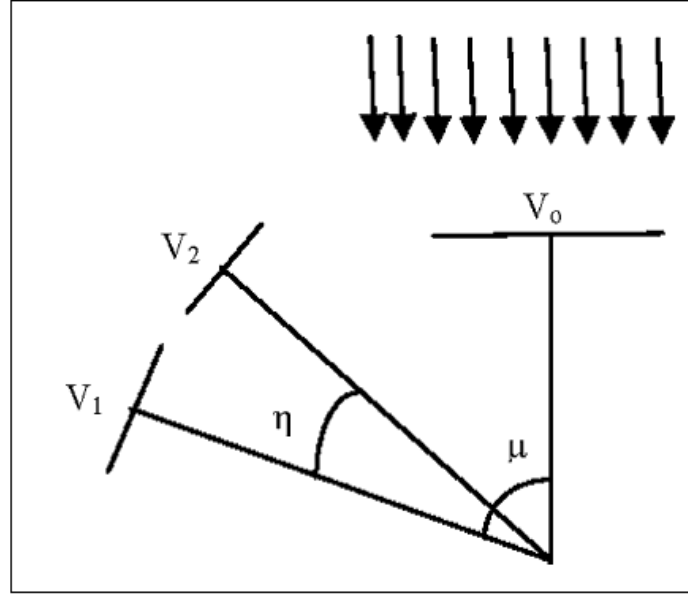
PLC ile kontrol edilen iki eksenli ve açık çevrimli bir güneş takip sistemleri de geliştirilmektedir. Geliştirilen bir güneş takip sisteminin çalışma prensibi, yüzey eğimi ve yatay açısı tarafından belirlenen yüzey konumunun matematiksel tanımına dayanmaktadır. Eğim, güneşin zenit açısına eşit olarak kabul edilmiştir. Biri yatay eksen dönüşündeki eklemi diğeri düşey eksendeki eklemi döndüren iki adet takip motoru kullanılmıştır. Gün ışığı dört aralığa bölünmüş ve her bir aralık için motor hızları ve/veya konumları programlanarak PLC'ye yüklenmiştir. Motorları sürmek ve kontrol sistemini çalıştırmak için gereken gücün, takip sistemi ile elde edilen enerji tasarrufunun %3'ünü geçmediği belirtilmiştir. Şekil 3.5'te 32° eğimli düzener için sabit ve takipçili sistemlerin enerji açısından karşılaştırması verilmiştir. Sonuç olarak iki eksenli takip sistemi ile güneş panellerinin sabit panellere göre günlük toplam enerji eldesinde %41,34 oranında artış olduğu saptanmıştır [33 ve 34].

Tek eksenli ve PLC kontrollü bir başka güneş takip sisteminde ise güneş pillerinin günlük güç çıktıları üzerinden araştırma yapılmıştır. İki adet fotoresistif algılayıcı kullanılmış ve bu algılayıcılar bir bariyerle ayrılarak, biri diğere gölge oluşturacak şekilde tasarlanmıştır. Güneş radyasyonunun şiddeti arttığında algılayıcının direnç değeri düşmektedir. Her iki algılayıcının çıkış işaretleri doğrudan analog giriş olarak PLC'ye bağlanmıştır. Bu işaretler karşılaştırılarak uygun seviyeye gelene değin elektromekanik güneş takip sisteminin aktif konumda bulunması sağlanmıştır. Güneş takip sistemi doğu batı istikametinde 120°'lik bir açı taramaktadır. Güneş takip

sisteminin performansı, çıkış gücü üzerinden karşılaştırıldığında, özellikle günün erken ve geç saatlerinde oldukça önemli bir artış elde edilmiştir. Öğle saatlerinde önemli bir fark yakalanamazken, sabah 06:00-10:00 saat aralığında ve öğleden sonra 15:00-17:00 saat aralığında toplam %40'lık bir artış tespit edilmiştir. Tüm saatler için ortalama güç artışına bakıldığında ise, geliştirilen güneş takip sisteminin sabit sisteme göre %20 daha avantajlı olduğu belirtilmiştir [35].

Başka bir çalışmada ise, mikroişlemci denetimli iki eksenli bir güneş takip sistemi kurulmuş ve test edilmiştir. Algılayıcı olarak ışığa bağlı değişen direnç kullanılırken eyleyici olarak ise adım step motorları kullanılmıştır. Güneş pozisyonunun görüntülediği bir de bilgisayar kullanılmış ve bilgisayar ile mikroişlemci arasındaki haberleşme RS232 protokolü ile gerçekleştirilmiştir. Güneş panelinin düşey eksen ile yaptığı açı 50° olarak belirlenmiş ve sabitlenmiştir. İki adet güneş toplayıcı panel kullanılarak yapılan deneysel çalışmalarda panellerden biri sabit tutulurken diğeri ise hareketli olarak ele alınmıştır. Panellerin sıcaklıklarının zamana göre değişimi küçük değişim aralıklarıyla ölçülmüş ve veri kümeleri teşkil edilmiştir. Değişim aralıklarında dönüş açısı $5,2^{\circ}$ civarında tutulmuştur. Hareketli ve sabit paneller arasında 9°C 'lik bir sıcaklık farkı gözlemlenmiştir. Sonuçlar, hareketli güneş takip sisteminin sabit panele göre daha yoğun ışık aldığını doğrulamaktadır [36].

İki eksenli güneş takip sistemi geliştirilen bir uygulamada, mikrodenetleyici ile kontrol edilmiştir. Mikrodenetleyiciye bağlı iki adet sınır anahtarı kullanılarak güneş panelinin doğu ve batı yönlerindeki maksimum açıları tanımlanmış ve hareket sınırlı bir hale getirilmiştir. Araştırmacılar, elde ettikleri bulgulara göre panel düzleminin güneşin normalinde tutulduğu sürece maksimum enerji elde edildiğini öne sürmüşlerdir [37].



Şekil 3.6: Güneş takip sistemi çalışma ilkesi [38]

Diğer bir araştırmada da mikrodenetleyici tabanlı bir güneş takip sistemi tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Bu güneş takip sisteminde eyleyici olarak iki adet çift kutuplu adım motoruna yer verilirken iki adet güneş paneli kullanılmıştır. Güneş takip sisteminde üç ayrı takip algoritması denemişlerdir. İlk algoritma güneş panelini küresel koordinatlarda dairesel olarak hareket ettirmektedir. Kullanıcı tarafından seçilen herhangi bir yarıçapa bağlı olarak ilgili çember üzerinde optimum gerilimi verecek noktayı bulmak hedeflenmektedir. İkinci algoritmada ise güneş paneli karesel bir örüntü dahilinde hareket ettirilmekte ve bu sayede optimal gerilimi bulmaya çalışılmaktadır. Üçüncü ve son algoritma ise, ikinci algoritmadaki mantık yürütülerek yıl içerisinde gün ve gün içerisinde saat parametreleri belirlenmektedir. Bu belirlemenin ardından, güneşin bir sonraki konumu tahmin edilmektedir. Güneş panellerinden ölçülen iki adet gerilim değeri, “ V_1 ” ve “ V_2 ” mevcuttur ve bu gerilimler ve/veya güneş panelleri “ η ” açısı kadar birbirlerinden ayrı bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, “ V_0 ” ve “ V_1 ” gerilimleri de “ μ ” açısı kadar birbirlerinden ayrı konumlarda bulunmaktadır. Buradaki “ V_0 ” gerilimi, güneş panelinin güneşe ve/veya ışık kaynağına dik bir konumda bulunması halinde ölçülebilecek gerilim seviyesini belirtmektedir [38].

V_1 , V_2 gerilimleri ve η açısı bilindiği takdirde μ açısı aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir:

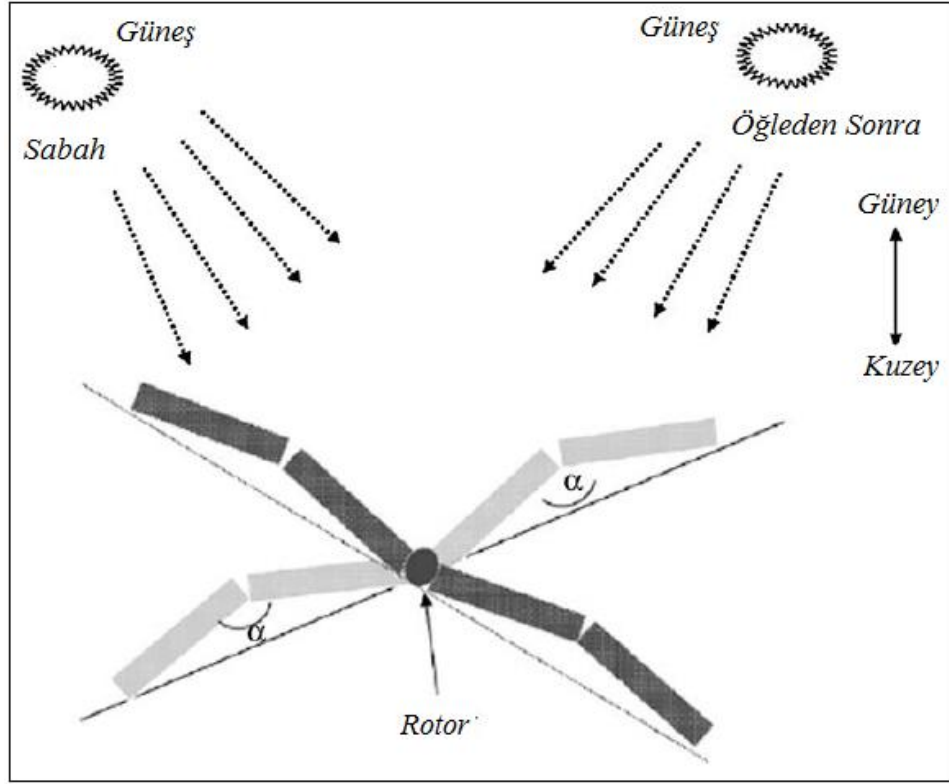
$$\mu = \arctan\left(\frac{V_2 - V_1 \cos \eta}{V_1 \sin \eta}\right) \quad (11)$$

Bu denklemin çıkarılışı aynı zamanda şematik olarak da Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

Oluşturulan algoritma programlanarak mikrodenetleyiciye yüklenmiş ve mikrodenetleyici aracılığıyla da tahrik sistemine bağlantı oluşturulmuştur. Algılanabilen ve ölçümlenebilen en yüksek çözünürlük 6° olarak saptanmıştır. Elde edilen bulguların ışığı altında, dik açıdan 1° sapılması halinde maksimum gerilim seviyesinin % 99,98'inin ölçülebildiği, 10° sapılması halinde ise maksimum gerilim seviyesinin % 98,5'inin elde edildiği sonucuna varılmıştır.

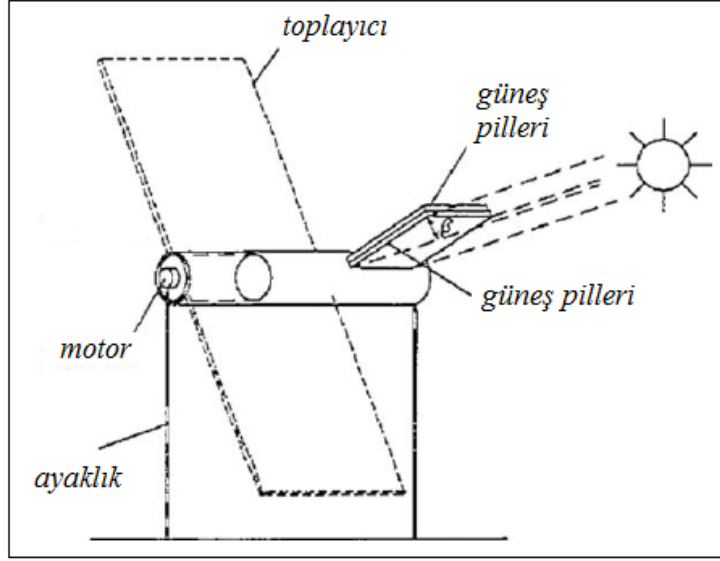
Geliştirilen tek eksenli bir güneş takip sisteminde, üç adet ışığa bağlı değişen direnç ve bir adet DC motorun bulunduğu bir kontrol sistemi yer almaktadır. Algılayıcılardan ilki doğrudan gelen ışınları algılama görevini, ikincisi bulut olup olmadığını sezme görevini ve üçüncüsü de gün ışığını algılama görevini yerine getirmek üzere tasarlanmıştır. Kontrol sistemi ise röleler ve zamanlayıcılar ile diğer elektronik komponentlerden oluşturulmuştur. Bu üç algılayıcıdan herhangi biri gölgelendiği anda motor ileri konumuna geçmektedir. Doğu batı hizasında güneş takibi yapılan sistemde, toplayıcının nihai dönüş hızı 0,011 dev/dak. olarak ayarlanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda güneş takip sisteminin hassasiyeti için elde edilen değerler şöyledir: 100 [W/m^2] aydınlanmada $0,2^\circ$, 600 [W/m^2] aydınlanmada ise $0,05^\circ$ hassasiyette takip gerçekleştirilmiştir [39].

Düşük maliyet ön plana çıkarılarak gerçekleştirilen bir uygulamada ise, tasarlanan iki eksenli güneş takip sisteminde, kontrol elektronik olarak gerçekleştirilirken, algılayıcı olarak iki adet elektriksel/optik sensör kullanılmıştır. Algılayıcılardan ilki, dört hücreden oluşup piramit biçimindedir ve takip düzleminin üzerine monte edilmişken ikincisi gün ışığını ölçmektedir. Yapılan çalışmanın sonucunda, takip sisteminin $0,01^\circ$ hassasiyetle çalıştığı belirtilmiştir [40].



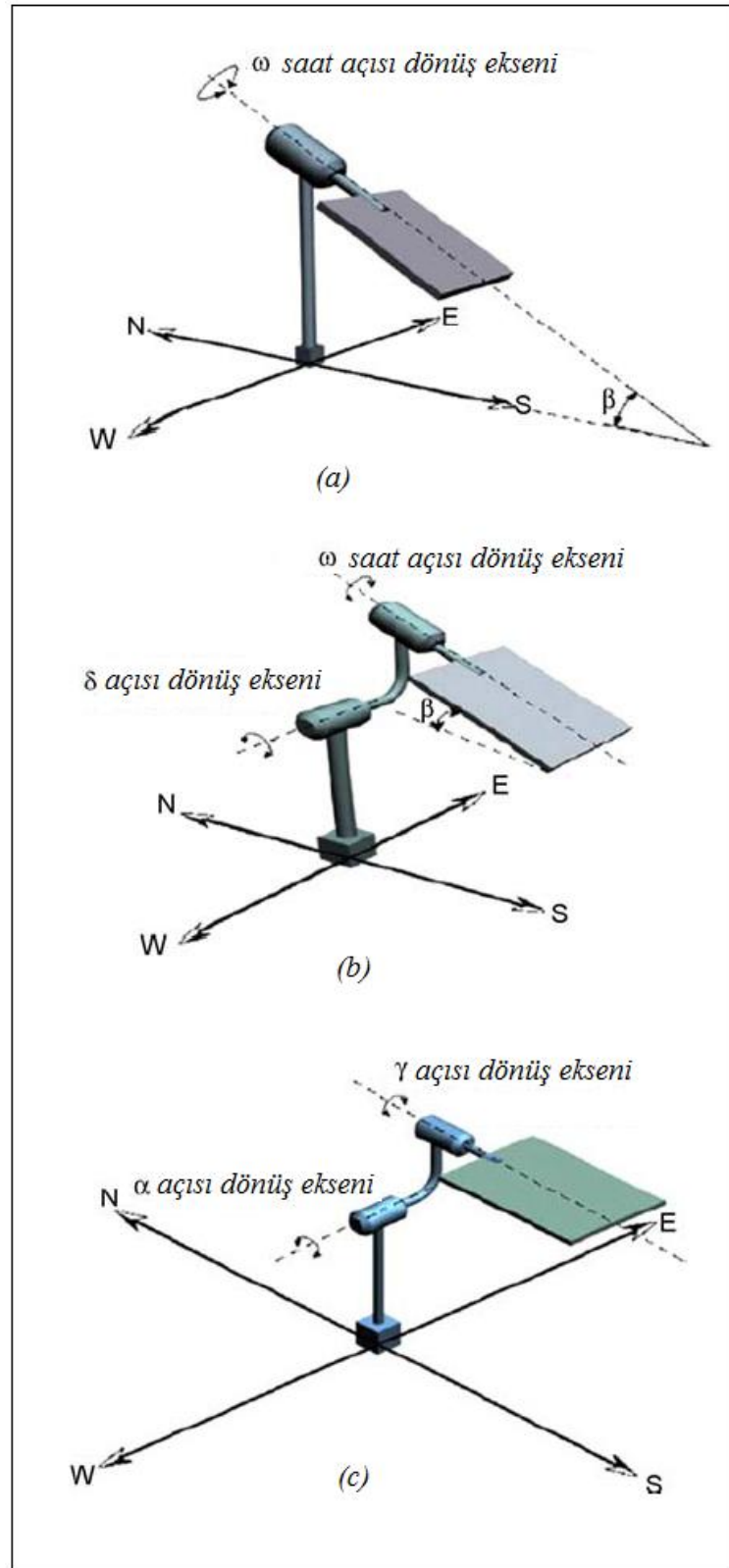
Şekil 3.7: Tek rotorlu, 4 panelli güneş takip sistemi [41]

Tek eksenli bir güneş takip sistemi geliştirilmiş fakat tek bir rotor üzerine monte edilen dört adet güneş paneli kullanılmıştır [41]. İkinci eksen ise manuel olarak değiştirilebilecek biçimde sabit tutulmuştur. Bu düzene göre eğim açısı 23° , 34° ve 45° 'lere ayarlanabilmektedir. Dört adet olan güneş panelleri iki gruba ayrılmış ve her bir ikili grup arasındaki açı 170° olarak sabitlenmiştir. Ana paneller hem algılama hem de enerji dönüşümü görevleri için de kullanıma ayrılmıştır. Bu çalışmanın şematik gösterimi Şekil 3.7'de görülmektedir. Güneş panelleri, Wheatstone köprüsüne benzer bir köprü devresine bağlanmıştır. Güneş panellerinden ölçülen çıkış gerilimleri eşit değilse, tahrik motoru çalışmaya başlamaktadır. Sonuç olarak sabah ve akşam saatlerinde de öğle saatlerine yakın bir voltaj seviyesi yakalanmış ve sabit duruma göre %30 daha fazla enerji elde edilmiştir.



Şekil 3.8: Toplayıcı uygulaması [42]

Bir çalışmada güneş panelleri doğrudan iki yöne de dönebilen bir DC motorun mil eksenine monte edilmiştir. Algılayıcı olarak güneş panellerinin kendi voltaj değerlerinden yararlanan bu uygulama Şekil 3.8’de şematik olarak görülmektedir. Hem algılayıcı hem de sürücü işlevi gören güneş panelleri denge konumu ve bu konuma bağlı fark işaretleri kullanılarak kontrol edilmektedir [42].



Şekil 3.9: Güneş takip sistem benzetimleri [43]

Bir diğer çalışmada, adım hareketli ve zaman kontrollü, bir ve iki eksenli güneş takip sistemlerinin hem tasarımı hem de bilgisayar benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Tek

eksenli sistemde eğim açısı enlem açısına eşitlenirken iki eksenli sistemlerde ekvatorial ve yükseklik seviyesi açılarından kontrol uygulanmıştır. Bu üç farklı güneş takip sistemi, Şekil 3.9'da sırasıyla (a), (b) ve (c)'de gösterilmiştir. Her bir güneş takip sistemi için, bulanık karar verme yöntemi kullanılarak bir karşılaştırma yapılmıştır [43].

Tek eksenli güneş takip sisteminde, güneş paneli yatay eksene göre güneş diklik açısına gelecek şekilde 32° eğilmiştir ve bu açı Şekil 3.9 (a)'da " β ", ile gösterilmiştir. Saate bağlı açısal değişim çok küçük kabul edildiğinden ω yönündeki takip ekseninde günde birkaç kez dönüş yapılması yeterli bulunmuştur. İki eksenli ekvatoryel güneş takip sisteminde de tek eksenli sistemde olduğu gibi eğim açısı enlem açısına eşitlenmiştir. Üçüncü güneş takip sisteminde ise, diklik ekseninde bir dönüş yüzeye paralel eksende de bir dönüş olmak üzere iki eksende hareket sağlanmaktadır.

Aynı çalışmada, kontrol yöntemi ve/veya karar verme yöntemi olarak bulanık karar verme metoduna yer verilmiştir. Burada temel olarak güneşin gökyüzündeki hareketini modelleyen denklemler ve üç tip çok amaçlı güneş takip sisteminin tasarımı bulunmaktadır. Matematiksel denklemlerin formülasyonu için bulanık EĞER-SONRA kuralları ve ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System – Uyarlanabilir Sinirsel Bulanık Çıkarım Dizgesi) kural çıkarma metodu kullanılmıştır. Ardından farklı tipteki üç güneş takip sistemi için üç boyutlu bilgisayar benzetimi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bulanık çıkarım sisteminin her bir çıktısı doğrudan sistemin iki girdisi ile bağlantılıdır. Bu girdiler yıl içindeki günün sayısı ve gün içindeki saat zamanıdır. Sonuçlar üç boyutlu simülasyon ve buradan elde edilen çıktılar olarak gösterilmiştir.

4. UYGULAMA

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, literatürde yer alan çalışmaların ayrıntılı olarak gözden geçirilmesinin ardından özgün bir güneş takip sistemi geliştirilmiştir. İki eksenli ve mikrodenetleyici kontrollü olan güneş takip sistemi, adımsal olarak hareket etmekte ve sürekli geri besleme ve kontrol eylemi gerçekleştirmediğinden dolayı algılama, sürüş ve kontrol devreleri oldukça düşük miktarda bir güç tüketmektedir.

Burada ilk olarak kurulan sistemin elemanları kısaca tanıtılacak, ardından sistemin yapısı incelenecek ve ölçüm sonuçlarına yer verilerek değerlendirmelerde bulunulacaktır.

4.1. Kullanılan Komponentler

Geliştirilen güneş takip sistemi temel olarak bir güneş paneli, servo motorlar, kablosuz alıcı-verici çifti, mikrodenetleyici ve yazılımların çalıştırıldığı arayüzün yer aldığı bir bilgisayardan oluşmaktadır.



Şekil 4.1: Güneş Paneli

4.1.1. Güneş paneli

Bu çalışmada kullanılan güneş paneli, ne oyuncak olarak adlandırılan küçük tip panellerden ne de endüstriyel olarak adlandırılan büyük tip panellerden değil, orta ölçekli, ancak düşük güç uygulamaları için ideal olabilecek türden bir güneş panelidir.

Bu uygulamada kullanılan ve Şekil 4.1’de fotoğrafı bulunan güneş paneli, 350 gram ağırlığında olup boyutları 25x15 [cm], alanı ise 375 [cm²]’dir. Güneş piline ait elektriksel değerler ise, güç 5 [Watt], voltaj seviyesi 5 [Volt] ve akım 1000 [mA] veya 1 [A] olarak belirtilmiştir.

4.1.2. Servo motorlar

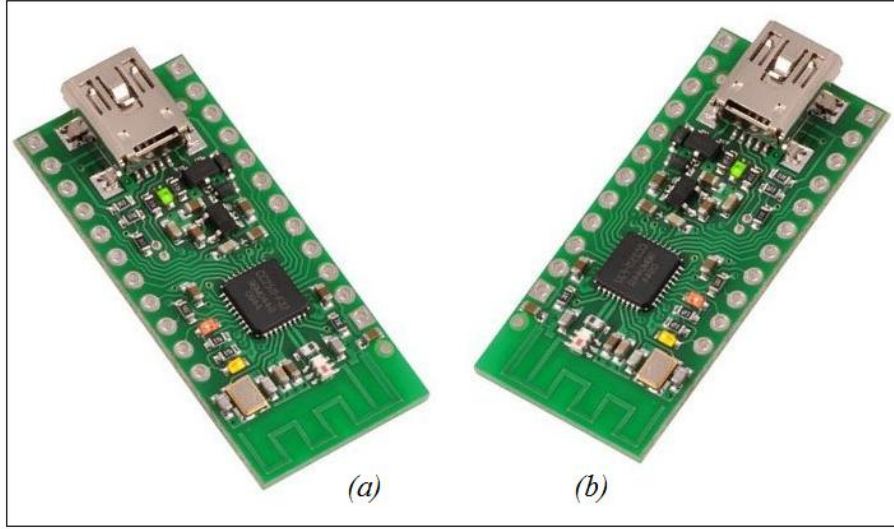
Güneş panelinin hareketini sağlama görevini yerine getiren eyleyici birim olarak servo motorlar kullanılmıştır. Kullanılan servo motorlar, Tower Pro MG995 modeli olup, çekirdeksiz tip motorlardır. 180° dönüş özelliği ile birlikte 55 gram ağırlığındadır. 4.8 V gerilimde 10 kg*cm döndürme momenti üretebilen motorların kuplajında metal dişliler kullanılmıştır [44].



Şekil 4.2: Servo Motor [44]

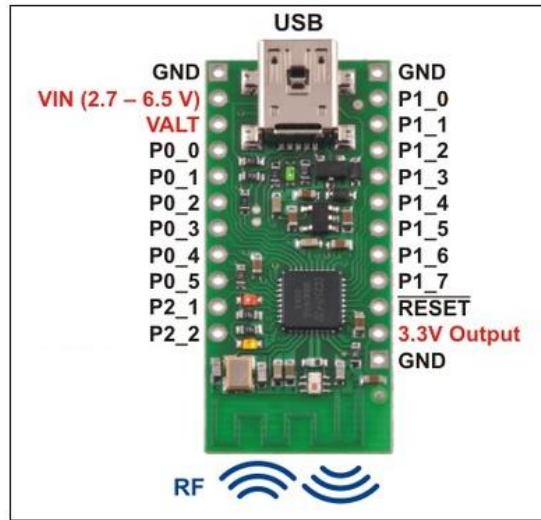
4.1.3. Kablosuz alıcı-verici

Güneş panelince üretilen voltaj bilgisinin kapalı çevrim sisteme aktarılması için kablosuz veri iletim tekniği tercih edilmiş ve bunu gerçekleştirmek amacı ile de Pololu firması tarafından üretilen ve Şekil 4.3’ten de görülebilen Wixel haberleşme modülleri kullanılmıştır.



Şekil 4.3: Kablosuz Alıcı – Verici Çifti (a) Alıcı (b) Verici [45]

Wixel haberleşme modülleri, 2.4 GHz radyo frekansında kablosuz haberleşme gerçekleştirmektedir. Kullanılan modüller, programlanabilir olmaları yanında, üzerlerinde bulunan analogtan dijitale çeviren girişlere de sahiptir. Bu girişler sayesinde güneş panelinin analog gerilim seviyesi değeri sayısal veriye çevirilerek iletilmekte ve alıcı tarafından doğrudan bilgisayardaki kontrol birimine aktarılmaktadır. Kablosuz iletim aralığının, ortamdaki engelleyicilerin durumuna bağlı olmak şartıyla, 50 metreye yakın olması da saha uygulamaları için oldukça önemli bir avantaj sağlamaktadır.

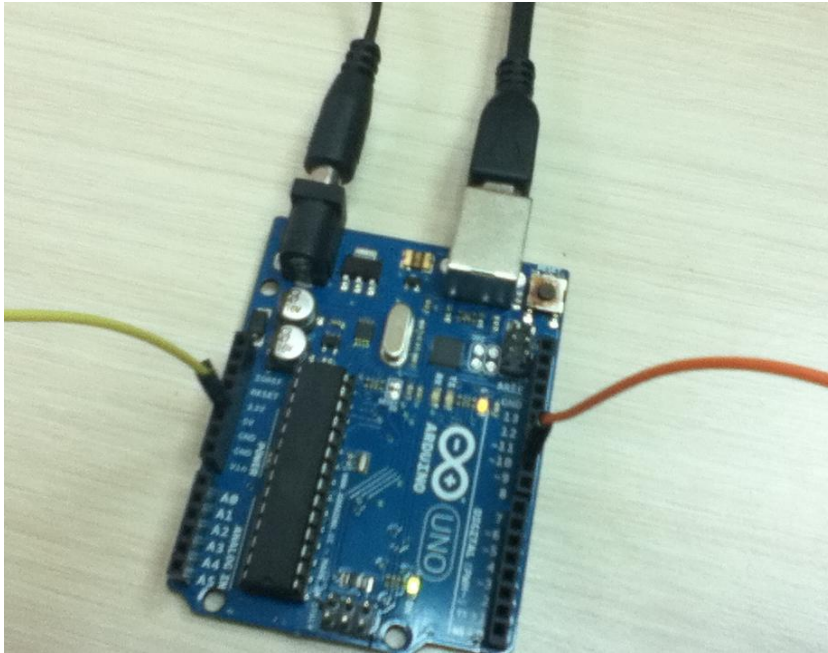


Şekil 4.4: Alıcı-Verici Çiftin İşlevsel Diyagramı [45]

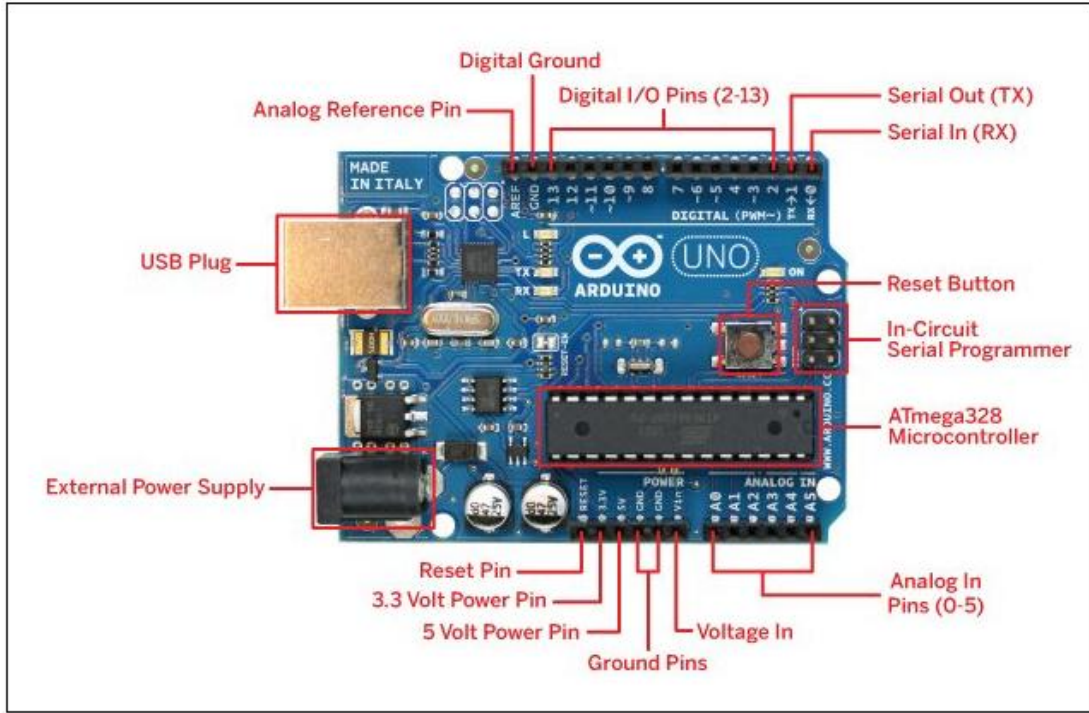
Wixel alıcı-verici modül çifti için kartın işlevsel gösterimi Şekil 4.4'te verilmiştir [45]. Buna göre kartta birçok özellik bulunuyor olmakla beraber bu çalışmada kullanım için tercih edilmesinin bir diğer nedeni de programlamak için harici bir devre kartına ihtiyaç olmamasıdır.

4.1.4. Mikrodenetleyici

Bu çalışmada mikrodenetleyici olarak, kolay kullanımlı, yazılım ve donanımı açık kaynak kodlu Arduino platformlarından Arduino Uno seçilmiştir. Kullanılan kart Şekil 4.5'te devre bağlantısından alınmış fotoğraf olarak görülmektedir. Genel olarak bilgisayarlar ile seri port ve/veya USB üzerinden haberleşen ve programlama dili olarak Processing arayüzü ile geliştirilmiş bir arayüze sahip olan Arduino Uno kartı, Atmel AVR (ATmega328) mikrodenetleyicisi içermektedir. 5 voltluk gerilim regülasyon devresi içeren kart, 16 MHz'lik saat frekansı ile çalışmaktadır. Kart üzerinde çevresel birimlerle bağlantı sağlamak üzere 14 adet dijital ve 6 adet analog giriş çıkış pini bulunmaktadır [46]. Diğer işlevsel özellikler Şekil 4.6'da görsel olarak ifade edilmiş bulunmaktadır.



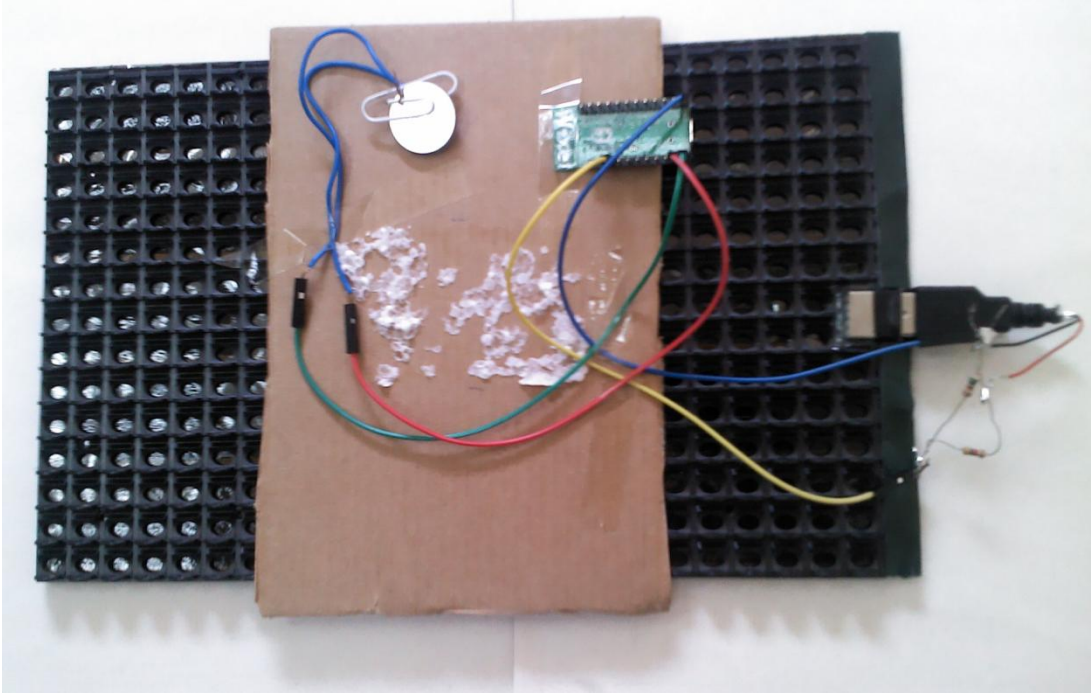
Şekil 4.5: Mikrodenetleyici Kartı – Arduino Uno



Şekil 4.6: Mikrodenetleyicinin İşlevsel Diyagramı

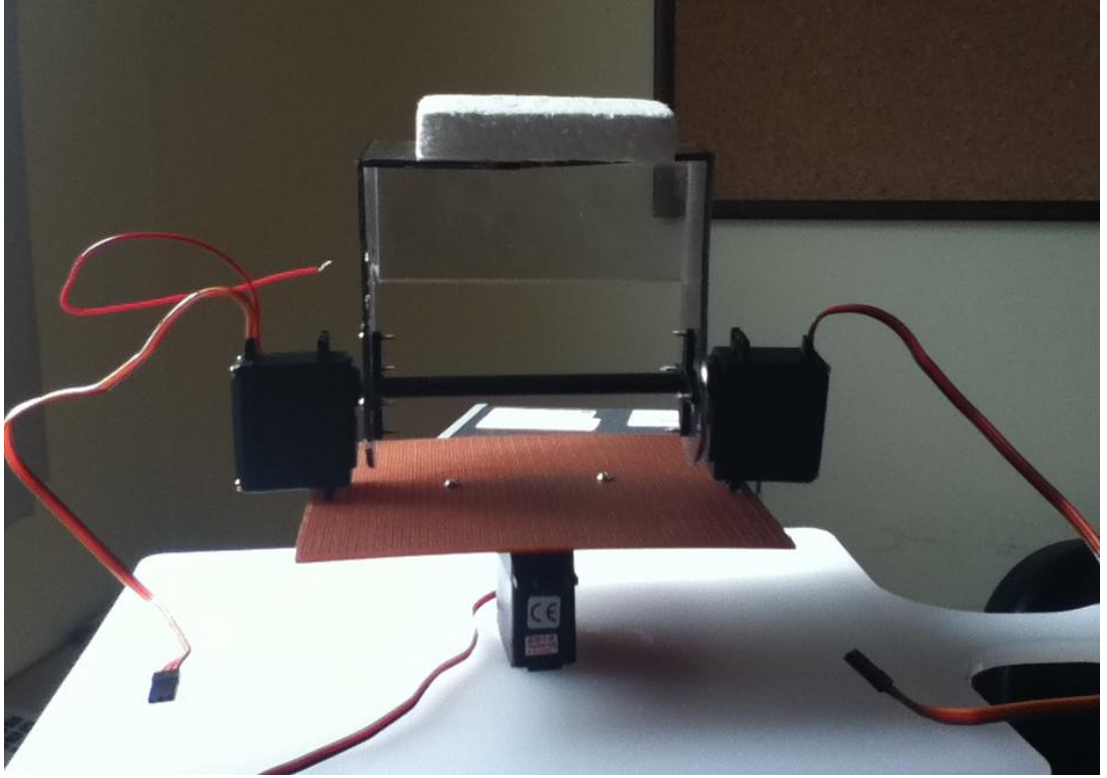
4.2. Kurulan Güneş Takip Sistemi

Bu alt bölümde geliştirilen güneş takip sisteminin kurulumu adımlar halinde anlatılacaktır. İlk adımda, güneş paneli eyleyiciler ile bir araya getirilmeden önce, panelin alt yüzeyine voltaj seviyesi geri beslemesini kablosuz olarak bilgisayara aktaracak olan kablosuz verici monte edilmiş ve bu adım aşağıda görülen Şekil 4.7 ile gösterilmiştir. Burada görülen 3,3[V]'luk saat pili ise kablosuz vericiyi beslemek için kullanılmıştır. Verici düşük güçte çalışma prensibine sahip olduğundan dolayı bu kullanım harcanan enerji olarak görülmemeli ve kayıp enerji olarak da nitelendirilmemelidir.



Şekil 4.7: Kablosuz Vericinin Monte Edilmesi

Böylelikle mekanik sisteme entegre edilmek üzere hazır hale gelen güneş panelinin ardından Şekil 4.8’de görülen mekanik alt sistem gerçekleştirilmiştir. Bu alt sistemde, iki ayrı düzlemde üç adet servo motor ve güneş panelinin monte edileceği hareketli üst uç kısım yer almaktadır. Alt düzleme sabitlenen ilk servo motor, üstteki düzlemi kendi ekseninde dönebilmekte ve bu şekilde 360 derecelik geniş bir hareket serbestliği olanağını ortaya koymaktadır. Üst düzleme ise iki adet servo motor monte edilmiş ve bu iki servo motor bir mil ile birbirine mekanik olarak bağlanmıştır. Bu servo motorlardan bir tanesinin çalışması hareket için yeterli olduğundan ikisinin de kontrol edilmesine gerek duyulmamış ve üst düzlem üzerindeki güneş panelinin monte edileceği uç kısım için 180 derecelik bir hareket serbestliği elde edilmiştir.



Şekil 4.8: İki Alt Düzlem ve Hareketli Uç Kısımın Monte Edilmesi

Bu şekilde hazırlanan hareketli düzlemler ve güneş panelinin oturacağı uç kısmın gerçekleştirilmesinin ardından Şekil 4.7’de görüldüğü biçimde hazırlanmış olan güneş panelinin Şekil 4.8’de verilen mekanik sisteme entegrasyonu gerçekleştirilmiştir. Bir bütün halinde güneş takip sistemi mekanizması Şekil 4.9’da gösterilmektedir.



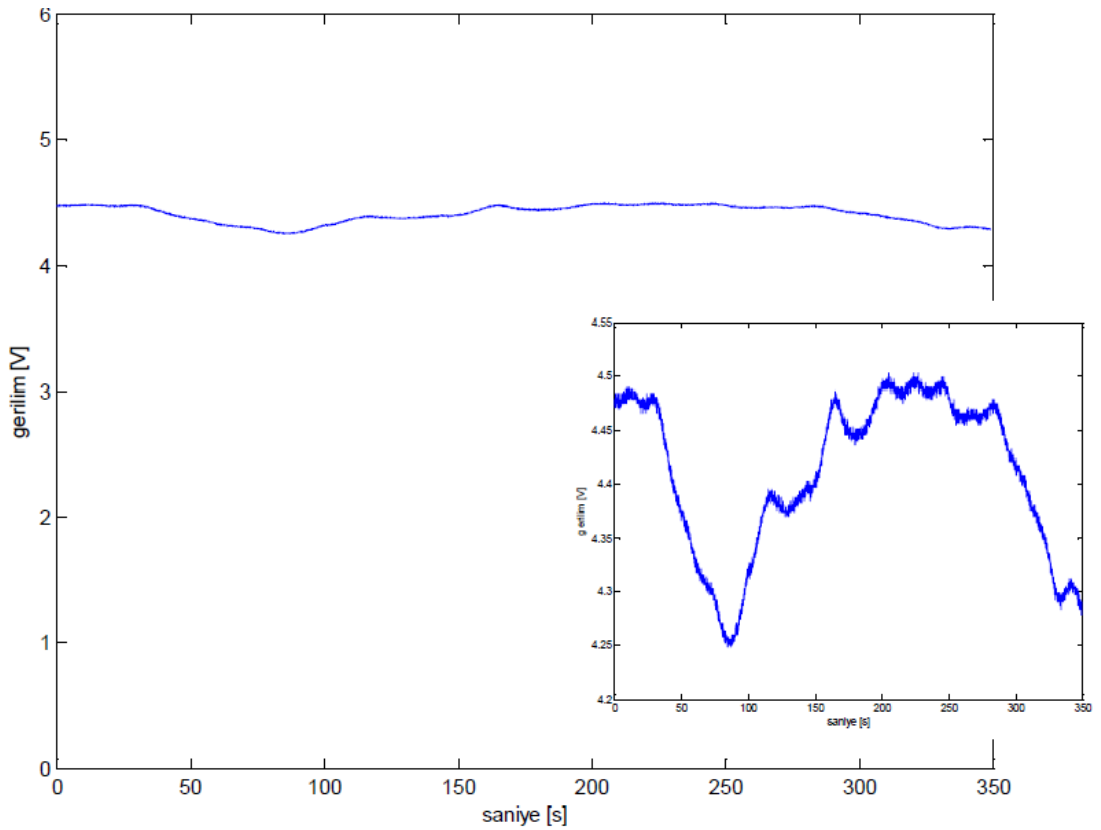
Şekil 4.9: Güneş Panelinin Sisteme Entegrasyonu

Geliştirilen güneş takip sisteminin son hali Şekil 4.9’da görülmektedir. Alt düzlemdeki tek servo motorun bağlantı uçları mekanik olarak döner harekette bir problem yaratmamaktadır. Üst düzlemde ise daha önce de değinildiği gibi yalnızca bir servo motor kontrol edilmekte, dolayısı ile üst düzlemden de bağlantı uçları gelmektedir. Bu bağlantı uçlarının döner harekete engel teşkil etmemesi için farklı açı kombinasyonlarında tekrar eden konumlar elenerek, alt ve üst düzlem için tüm konumları kapsayacak bir şekilde alt düzlemin döner hareketi kısıtlanmıştır. Buna göre alt düzlemin yalnızca 90° dönmesi tüm olası konumların elde edilebilmesine olanak tanıdığı için yeterli görülmüş ve bu şekilde bir tasarım gerçekleştirilmiştir. Bunun yanısıra üst düzlemin de 180° dönüşü, güneş konumu göze alındığında bir anlam ifade etmeyeceğinden bu düzlemde de döner hareket maksimum -30° ile $+30^{\circ}$ arasında tutulmuştur.

4.3. Ölçümler ve Değerlendirme

Bu çalışmada gerçekleştirilen aktif güneş takip sisteminde, geribesleme ölçütü olarak güneş panelinin ürettiği gerilim değeri kullanılmıştır. Dolayısı ile optimum voltaj seviyesinin elde edilmesi kapalı çevrim sistemin hedefidir. Voltaj bilgisi verici kartının analog dijital çevirici girişine uygulanarak sayısal veri haline getirilmekte ve 2.4 GHz radyo frekansı ile alıcı karta aktarılmaktadır. Alıcı kart mini USB portu üzerinden bilgisayara bağlanmış ve sanal COM portu oluşturulmuştur. Bu şekilde seri port üzerinden veri alınmasına benzer bir şekilde veriler alınmış ve Matlab ortamında çalışan sistem koduna beslenmiştir.

Alınan gerilim bilgisi, 0-1023 arasında sayısal değerlerden oluşmaktadır. Bu değerler 0-5 V aralığındaki gerilim seviyelerine karşılık gelmektedir. Örnek ölçüm olarak kaydedilen gerilim değişimi şekil 4.10'da görülmektedir.



Şekil 4.10: Gerilim Seviyesinde Dalgalanma

Şekil 4.10'da gösterilen grafikte, sayısal olarak kayda alınan veriler tekrar 0-5 V arasındaki voltaj seviyelerine dönüştürülmüş değerlerdir. Yatay eksen zamanı temsil

etmekte ve yaklaşık 6 dakikalık (350 saniye) bir kayıt yapılmıştır. Genel anlamda 4.5 V seviyesinde seyreden bir gerilim görülmüş, detaylı incelendiğinde ise dalgalanma daha net olarak şekil 4.10'da sağ alt köşede verildiği gibi gözlenmiştir. Kısa süreli çalışmalarda, bu dalgalanmalar bulut veya kuş benzeri gürültülerden kaynaklanmaktadır. Ancak ihmal edilebilir bir düzeyde seyretmekte olduğundan (örneğimizde 0.25 V dolayında) müdahale gereği duyulmamıştır.

Sistemde anlık ve/veya kısa süreli dalgalanmalar ihmal edilmiş, dolayısı ile sürekli bir kontrol yerine adım hareketler ile kontrol gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen kapalı çevrim aktif takip sisteminde, öğleden önce, öğle ve öğleden sonra devreye girmek üzere üç hareket eylemi belirlenmiş ve gün içerisinde bu eylemler için belirlenen zaman ve/veya zaman aralıklarında ölçümler yapılarak en uygun konum seçilmiştir. Adım hareketli olan tasarımımızda, dokuz adet farklı konum kullanılmak üzere tespit edilmiştir. Bu konumlar, panele x ve y eksenlerinde $\mp 15^\circ$ 'er derecelik eğimler kazandırılarak elde edilmiştir. Buna göre bir hareket eyleminin gerçekleşmesi bu dokuz konumdan geri besleme alınması ve maksimumunun belirlenmesi ile tamamlanmaktadır.

Tablo 4.1'de bir gün içerisinde (Ağustos ayında güneşli ve açık bir günde) alınmış veriler görülmektedir. (a) tablosunda öğleden önce 11:00 dolayında yapılan ölçümler kaydedilmiştir. Burada optimum konumu, düşeyde 15° ve yatayda -15° açıları sağlamaktadır. (b)'deki çizelgede ise, düşeyde 15° , yatayda 0° açılarının meydana getirdiği konum en iyi değeri verdiği için seçilmiştir. Son olarak (c) tablosunda ise, öğleden sonra ölçümleri alınmış ve burada da düşeyde 15° ve yatayda 15° açıları ile maksimum voltaj seviyesi elde edilmiştir.

Güneş takip sistemi, elde edilen maksimum voltaj seviyesinin bulunduğu konumda sabit tutularak bir sonraki hareket eylemine kadar konumlarda değişiklik yapılmamış, mevcut konumlarda ise gerilim seviyelerinde önemli dalgalanmalara rastlanmamıştır.

<i>Öğleden Önce 11:00</i>		<i>Yatay Aç</i>		
		-15°	0°	15°
<i>Düşey Aç</i>	15°	5,85	5,81	5,73
	0°	5,78	5,70	5,59
	-15°	5,66	5,61	5,47

(a)

<i>Öğle 14:00</i>		<i>Yatay Aç</i>		
		-15°	0°	15°
<i>Düşey Aç</i>	15°	5,90	5,93	5,89
	0°	5,82	5,89	5,84
	-15°	5,79	5,81	5,78

(b)

<i>Öğleden Sonra 17:00</i>		<i>Yatay Aç</i>		
		-15°	0°	15°
<i>Düşey Aç</i>	15°	5,70	5,79	5,83
	0°	5,59	5,68	5,74
	-15°	5,48	5,57	5,62

(c)

Çizelge 4.1 Bir Günlük Gerilim Değerleri

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, güneş izleme sistemleri üzerine çalışılmış ve kontrol yöntemleri araştırılmıştır, sonucunda ise prototip olarak iki eksenli bir aktif güneş izleme sistemi tasarlanmıştır. Sabit panellere göre güneş izleyen sistemlerin daha verimli olduğu bilinmekte ancak, uygulanabilir ve kullanışlı bir güneş takip sisteminin tasarlanması için en uygun yöntemin belirlendiği yoğun bir araştırma çalışması yapılmıştır. Aktif güneş takip sistemlerinin başarımının ve gerçekleştirilebilirliğinin pasif takip sistemlere göre daha yüksek olması sonucu ile ekvatorial bölgede olmadığımız için tek eksen yerine iki eksenli kontrolün mevsimsel dönüşlerin takibinde etkili olacağı çıkarımına varılmıştır. Buradan yola çıkılarak, küçük ölçekli bir güneş paneli, servo motorlar, kontrolör olarak Arduino işlemcisi ve gerilim geribeslemesini kablosuz ileten bir verici kullanılarak iki eksenli bir güneş izleyici prototipi gerçekleştirilmiştir. Bu prototip tasarlanırken gözlemlenen olgular kontrol stratejisinin belirlenmesinde yardımcı olmuş, örneğin sürekli kontrol yerine adımsal hareketlerle gün içerisinde üç kez konum belirleme şeklinde bir plan tercih edilmiştir. Alınan test sonuçları adımsal hareketlerin sürekli konum değiştirme yerine kullanılabilirliğini göstermiştir. İki eksenli kontrol için ise bir eksenin günlük takibi diğer eksenin ise yıllık – mevsimlik takibi sağladığı sonucuna varılmıştır. Bu tür bir tasarımın geniş ölçekli uygulamalar için uygun olduğu öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Fletcher J. C., “*Sun Tracking Solar Energy Collector*”, US Patent Office, 4111184, 2006
- [2] Stojadinovic N., “*Build a Sun Tracker for Solar Panels*”, Silicon Chip, 1995
- [3] Wright J., “*Build a Sun-Tracking Circuit*”, Popular Electronics, 1995
- [4] Kreider J. F., “*Medium and High Temperature Solar Processes*”, Academic Press, 1979
- [5] Monash University Faculty, “*Students Create Energy Saving Solar Tracker*”, What’s New in Electronics, Westwick, Malaysia, 2005
- [6] Altın, V., “*Güneş Enerjisinden Yararlanılarak Elektrik Üretimi*”, Mimar ve Mühendis Dergisi, 33, 28-31, 2004
- [7] Ay, S., “*Elektrik Enerjisi Ekonomisi*” Birsen Yayın Evi, İstanbul, 2008
- [8] Akkaya, R., Kulaksız, A.A. ve Aydoğdu, Ö., “*Yüksek Verimli Fotovoltaik Sistemle Çalıştırılan Klima Sisteminin DSP Tabanlı Kontrolü*”, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2002
- [9] <http://www.biggreensmile.com/green-glossary/solar-photovoltaic-cell.aspx>
- [10] Altın, V., “*Güneş Pillerinin Yapısı ve Çalışması*”, Bilim ve Teknik Dergisi, 464-41, 2006
- [11] Markvart T. ve Castaner L., “*Practical Handbook of Photovoltaics Fundamentals and Applications*”, Elsevier, 2003
- [12] Günkaya E., *Güneş Enerjisinden Yararlanarak Elektrik Üretimi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2001
- [13] Markvart T. “*Solar electricity*”, 2nd ed., New York: John Wiley and Sons Inc.; 1996.
- [14] Khlaichom P, Sonthipermpoon K. “*Optimization of solar tracking system based on genetic algorithms*”, 2006.
- [15] Poulek V, Libra M., “*New bifacial solar trackers and tracking concentrators*”, 2007.
- [16] Tracstar., “*Should you install a solar tracker?*”; 2007

- [17] Bione J, Vilela OC, Fraidenraich N., “*Comparison of the performance of PV water pumping systems driven by fixed, tracking and V-trough generators*”, *Solar Energy*,76:703–11, 2004
- [18] Tomson T., “*Discrete two-positional tracking of solar collectors*”, *Renewable Energy*, 33:400–5, 2008
- [19] Ai B, Shen H, Ban Q, Ji B, Liao X., “*Calculation of the hourly and daily radiation incident on three step tracking planes*”, *Energy Conversion and Management*, 44:1999–2011, 2003
- [20] Lorenzo E, Perez M, Ezpeleta A, Acedo J. “*Design of tracking photovoltaic systems with a single vertical axis*”, *Progress in PV Research and Applications*, 10:533–43, 2002
- [21] Mumba J., “*Development of a photovoltaic powered forced circulation grain dryer for use in the tropics*”, *Renewable Energy*, 6(7):855–62, 2003
- [22] Pavel Y.V., Gonzalez H.J., Vorobiev Y.V., “*Optimization of the solar energy collection in tracking and non-tracking PV solar system*”, In: *Proceedings of the 1st international conference on electrical and electronics engineering, ICEEE*, p. 310–4, 2004
- [23] Chicco G, Schlabach J, Spertino F., “*Performance of grid-connected photovoltaic systems in fixed and sun-tracking configurations*”, 2007
- [24] Baltas P., Tortoreli M., Russell P. E., “*Evaluation of power output for fixed and step tracking PV arrays*”, *Solar Energy* 37(20):147–63, 2006
- [25] Nann S., “*Potential for tracking PV systems and V-troughs in moderate climates*”, *Solar Energy*, 45(6):385–93, 1998
- [26] Stolfi F, Bersohn D, McIver B, Shaw S, Vance N, Wang X. “*Solar concentrating and tracking apparatus*”. Final report. Columbia University, Department of Mechanical Engineering; May 2, 2007.
- [27] Gay CF, Yerkes JW, Wilson JH. “*Performance advantages of two-axis tracking for large flat-plate photovoltaic energy systems*”. In: *Proceedings of the 16th photovoltaic specialists conference, San Diego, September 27–30,*; p. 1368–71. 1982
- [28] Kvasznicza Z, Elmer G. “*Optimizing solar tracking systems for solar cells*”. In: *The 4th Serbian–Hungarian joint symposium on intelligent systems*; 2006.
- [29] Clifford M.J., Eastwood D., “*Design of a novel passive solar tracker*”, *Solar Energy*, 77:269–80, 2004
- [30] Mwithiga G, Kigo SN. “*Performance of a solar dryer with limited sun tracking capability*”. *Journal of Food Engineering*;74:247–52, 2006
- [31] Poulek V. “*Testing the new solar tracker with shape memory alloy actors*”. *Conference Record of the Twenty Fourth; IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 1:1131–3, 1994

- [32] Heredia I.L., Moreno J.M., Magalhaes P.H., Cervantes R., Que'me' re' G., Laurent O.. *"Inspira's CPV sun tracking (concentrator photovoltaics)"* Springer; p. 221–51, 2007
- [33] Abdallah S., Nijmeh S., *"Two axes sun tracking system with PLC control"*. Energy Conversion and Management, 45:1931–9., 2004
- [34] Mamlook R., Nijmeh S., Abdallah S.M., *"A programmable logic controller to control two axis sun tracking system"*. Information Technology Journal, 5(6):1083–7., 2006
- [35] Al-Mohamad A., *"Efficiency improvements of photo-voltaic panels using a suntracking system"*. Applied Energy,79:345–54., 2004
- [36] Bingol O, Altıntaş, A, Öner Y. *"Microcontroller based solar-tracking system and its implementation"*. Journal of Engineering Sciences 12(2):243–8, 2006
- [37] Koyuncu B, Balasubramanian K. *"A microprocessor controlled automatic suntracker"*. IEEE Transactions on Consumer Electronics;37(4):913–7, 1991
- [38] Peterson T, Rice J, Valane J. *"Solar tracker"*; 2005.
- [39] Kalogirou S.A., *"Design and construction of a one-axis sun-tracking"*, Solar Energy,57(6):465–9, 2006
- [40] Lynch W.A., Salameh Z. M., *"Simple electro-optically controlled dual-axis sun Tracker"*. Solar Energy, 45(2):65–9., 1990
- [41] Karimov K. S., Saqib M. A., Akhter P., Ahmed M. M., Chatthad J. A. , Yousafzai S. A., *"A simple photo-voltaic tracking system"*,. Solar Energy Materials & Solar Cells 2005
- [42] Poulek V., Libra M., *"New solar tracker"*. Solar Energy Materials and Solar Cells, 51:113–20, 1998
- [43] Alata M, Al-Nimr MA, Qaroush Y. *"Developing a multipurpose sun tracking system using fuzzy control"*. Energy Conversion and Management 2005
- [44] <http://www.towerpro.com.tw/driver/drivers/Towerpro%20servo%20spec.pdf>
- [45] <http://www.pololu.com/docs/0J46>
- [46] <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>

EKLER

EK A: Kod1 Matlab kontrol örneği

EK B : Kod2 Geribesleme örneği

EK C: Kod3 Arduino kodu

EK A: Kodl Matlab kontrol örneği

```
clear all; close all; clc

global a

a = arduino('COM33');

a.servoAttach(2)
a.servoDetach(3);
a.servoDetach(4);

sk=input('left or right = ');
pause(2)

if sk==0,

    a.servoDetach(2);
    a.servoDetach(3);
    a.servoDetach(4);

    break

end

if sk==1,      m=78;

    while m<106, m=m+1;
        a.servoWrite(2,m),pause(.25)
    end

    a.servoDetach(2);
    a.servoAttach(3);
    a.servoAttach(4);

    pause(4)

    p1=    a.servoRead(3)
    p2=    a.servoRead(4)

    pause(5)

    a.servoWrite(3,p1+30);
    a.servoWrite(4,p2-30);

    pause(4)

        a.servoWrite(3,p1);
        a.servoWrite(4,p2);
pause(5)

    a.servoDetach(2);
    a.servoDetach(3);
    a.servoDetach(4);

end
```


EK B : Kod2 Geribesleme örneği

```
clear all; close all; clc

s1 = serial('COM35');

% To connect the serial port object to the serial port:
fopen(s1)

% To query the device.
fprintf(s1, '*IDN?');
idn = fscanf(s1)

pause

% To disconnect the serial port object from the serial port.
fclose(s1);
```


EK C: Kod3 Arduino kodu

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

```
Servo ust;
```

```
Servo alt;
```

```
void setup()
```

```
{
```

```
  ust.attach(9);
```

```
  ust.write(95);
```

```
  alt.attach(10);
```

```
  alt.write(90);
```

```
  /////// mov1
```

```
  alt.write(85);
```

```
  delay(600);
```

```
  alt.write(90);
```

```
  ust.write(80);
```

```
  delay(1200);
```

```
  ust.write(95);
```

```
  delay(1200);
```

ust.write(110);

delay(1200);

ust.write(95);

delay(1200);

//////////

////////// mov2

alt.write(85);

delay(600);

alt.write(90);

ust.write(80);

delay(1200);

ust.write(95);

delay(1200);

ust.write(110);

delay(1200);

ust.write(95);

delay(1200);

//////////

////////// mov3

alt.write(85);

```
delay(600);

alt.write(90);

ust.write(80);

delay(1200);

ust.write(95);

delay(1200);

ust.write(110);

delay(1200);

ust.write(95);

delay(1200);

//////////

}

void loop()

{

}
```


ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Gökhan ORAL

Doğum Tarihi ve Yeri : 25.04.1986 / Malatya

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2009, Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

İtalyan Calpeda Pompa ve İspanyol Espa hidrofor ve pompalarının Türkiye dispiritörlüğünde 2 yıllık özel sektör deneyimi.

2012 yılından beri devlet memuru olarak iş hayatıma devam etmekteyim.