

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İKİ EKSENLİ
GÜNEŞ İZLEME SİSTEMİ TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Müh. Muhammed Ali ÖNAL

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : MAK. TAS. İMALAT
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Yavuz SOYDAN

Temmuz 2009

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İKİ EKSENLİ
GÜNEŞ İZLEME SİSTEMİ TASARIMI**

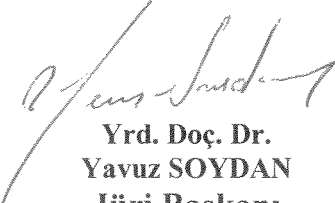
YÜKSEK LİSANS TEZİ

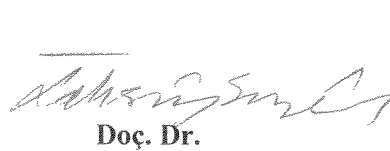
Mak. Müh. Muhammed Ali ÖNAL

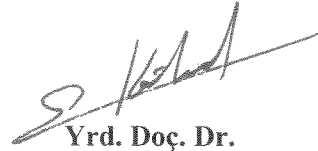
Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : MAK. TAS. İMALAT

Bu tez 18 / 07 / 2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Yrd. Doç. Dr.
Yavuz SOYDAN
Jüri Başkanı


Doç. Dr.
Tahsin ENGİN
Üye


Yrd. Doç. Dr.
Sakıp KÖKSAL
Üye

ÖNSÖZ

Enerji; dünyadaki ekonomik ve siyasi haritayı belirleyen uluslar arası önemli bir faktördür ve bu doğrultuda bir çok bilimsel çalışmalar yapılmaktadır. Petrol ve gaz ithaline bağımlı bir ülke konumunda olan Türkiye' nin doğal zenginliklerinden önemli ölçüde faydalanması gerekir.

Türkiye; konumu ve coğrafi yapısı itibariyle; güneş enerjisi yönünden zengin bir ülkedir. Hızla artan enerji gereksiniminin karşılanması ve enerji üretim- tüketim dengesinin sağlanması için; temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneşten daha etkin bir şekilde yararlanmak kaçınılmazdır. Bu nedenle; bilimsel çalışmalara ve enerji sektöründe dışa bağımlılığı azaltmayı amaçlayan yenilenebilir projeler özendirilmeli ve çalışma yapan şirketlere destek verilmesi gerektiğini düşünüyorum.

Yüksek lisans çalışmam boyunca bilgi ve tecrübeleriyle her türlü desteğini benden esirgemeyen değerli danışman hocam; Sayın Yrd. Doç. Dr. Yavuz SOYDAN' a, manevi destekleriyle yanımda olan hocam; Sayın Doç. Dr. Tahsin ENGİN' e, desteklerini esirgemeyen; Sayın Derya ÖZYURT' a ve hayatım boyunca desteğini hiçbir zaman benden esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|------|
| ÖNSÖZ..... | ii |
| İÇİNDEKİLER..... | iii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ..... | vi |
| ŞEKİLLER LİSTESİ..... | viii |
| TABLolar LİSTESİ..... | x |
| ÖZET..... | xi |
| SUMMARY..... | xii |
| BÖLÜM 1. | |
| TÜRKİYE’ DE GÜNEŞ ENERJİSİ | 1 |
| BÖLÜM 2. | |
| GÜNEŞ İZLEME SİSTEMLERİ | 6 |
| BÖLÜM 3. | |
| GÜNEŞ İZLEME SİSTEMİ | 21 |
| 3.1. Güneş İzleyici Sistemi..... | 21 |
| 3.2. Güneş Paneli Açılımları..... | 22 |
| 3.3. Güneş İzleyici Türleri..... | 25 |
| 3.4. Eksene Göre İzleyici Türleri..... | 27 |
| 3.4.1. Tek eksenli izleyiciler..... | 27 |
| 3.4.1.1. Yatay eksenli izleyiciler..... | 27 |
| 3.4.1.2. Dikey eksenli izleyiciler..... | 28 |
| 3.4.1.3. Kutupsal izleyiciler..... | 29 |
| 3.4.2. İki eksenli izleyiciler..... | 30 |
| 3.4.2.1. İrtifa – azimuth türü izleyiciler..... | 31 |

| | |
|---|-----------|
| 3.4.2.2. Çoklu aynalı yansıtıcı izleyiciler..... | 31 |
| 3.5. Sürücü Tipine Göre İzleyici Türleri | 33 |
| 3.5.1. Aktif izleyiciler..... | 33 |
| 3.5.2. Pasif izleyiciler..... | 33 |
| 3.6. Kontrol Yöntemine Göre İzleyici Türleri | 34 |
| 3.6.1. Yerçekimini kullanarak çalışan güneş izleme sistemleri | 34 |
| 3.6.2. Açık döngü sistemler..... | 36 |
| 3.6.3. Kapalı döngü sistemler..... | 36 |
| 3.7. Eksen ve Kontrol Yöntemine Göre İzleyici Türleri | 36 |
| 3.7.1. Tek eksenli açık çevrimli izleyiciler..... | 36 |
| 3.7.2. Tek eksenli kapalı çevrimli izleyiciler..... | 37 |
| 3.7.3. İki eksenli açık çevrimli izleyiciler..... | 37 |
| 3.7.4. İki eksenli kapalı çevrimli izleyiciler..... | 38 |
| | |
| BÖLÜM 4. | |
| GÜNEŞ İZLEME SİSTEMİ (GİS) TASARIMI | 39 |
| 4.1. Giriş..... | 39 |
| 4.2. Temel..... | 40 |
| 4.3. Teknik Aksam..... | 41 |
| 4.3.1. Teknik aksam parçaları..... | 41 |
| 4.3.2. Sistem teknik özelliği..... | 42 |
| 4.3.3. Montaj için gerekli araçlar..... | 43 |
| 4.3.4. Sistem elemanları montajı..... | 43 |
| 4.3.5. İzleyici sistem civatası için nominal torklar..... | 45 |
| 4.4. Aktuatör ve Seçimi..... | 45 |
| 4.4.1. Aktuatör teknik özellikleri..... | 46 |
| 4.4.2. Aktuatör opsiyonları..... | 46 |
| 4.4.3. Aktuatör kullanım parametreleri..... | 47 |
| 4.4.4. Aktuatör ölçülendirme | 47 |
| 4.4.5. Aktuatör versiyon özellikleri | 49 |
| 4.5. Kollektör Seçim Parametreleri | 50 |
| 4.5.1. Kollektör Özellikleri..... | 51 |
| 4.6. Tasarım Analizleri | 52 |

| | |
|---|----|
| 4.6.1. Rüzgar kuvvetinin hesaplanması ve kontrolü..... | 53 |
| 4.6.2. Güneş izleme sisteminin(OGİS) sensörlerle programlanması | 55 |
| 4.6.2.1. OGİS yapısı..... | 56 |
| 4.6.2.2. OGİS çalışması..... | 57 |
| 4.6.2.3. Güneş izleme sensörleri..... | 57 |
| 4.6.2.4. Gece zamanlı hata dedöktörü..... | 58 |
| 4.6.2.5. Gündüz zamanlı hata dedektörü..... | 58 |
| 4.6.2.6. Gece ve bulut algılaması..... | 58 |
| 4.6.2.7. OGİS kontrol stratejisi..... | 59 |
| 4.6.2.8. Analiz..... | 61 |
| 4.6.3. Verim analizi..... | 62 |
| 4.6.4. Varsayım..... | 67 |
| 4.6.4.1. Klasik güneş izleme sistemi(KİS)..... | 68 |
| 4.6.4.2. Analiz | 77 |

BÖLÜM 5

| | |
|---------------------------|----|
| SONUÇLAR VE ÖNERİLER..... | 78 |
| KAYNAKLAR..... | 80 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 86 |

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

| | |
|-------|---|
| A | : Yüzey alanı |
| C_D | : Direnç katsayısı |
| DMİ | : Devlet meteoroloji işleri genel müdürlüğü |
| EİE | : Elektrik işleri etüt idaresi |
| E | : İkinci dönme ekseni |
| F_D | : Rüzgar direnç kuvveti |
| GA | : Genetik algoritma |
| GİS | : Güneş izleyici sistemi |
| GUI | : Grafik kullanıcı arabirimi |
| GZHD | : Gündüz zamanlı hata dedöktörü |
| L | : Düşük motor |
| LCD | : Sıvı kristalli ekran |
| LDR | : Işığa duyarlı direnç |
| LED | : Işık yayan diyot |
| NREL | : ABD Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı |
| NZHD | : Gece zamanlı hata dedöktörü |
| OH | : Üçüncü dikey eksen |
| OR | : β izleme açısının tanımlayan referans eksenidir. |
| OV | : Güneşin dikey ekseni |
| PCB | : Baskılı devre kartı |
| PLC | : Programlanabilir lojik kontrol |
| S | : PV dizisinin anlık enerjisi |
| S_m | : Güçlü motor |
| S' | : Güneşin konum vektörü |
| S^l | : Kollektör merkezi ve güneşin konumu arasındaki bileşeni |
| S_C | : Güneş konum vektörünün ekvatorial bileşeni |

| | |
|----------------|--|
| S_M | : Güneş konum vektörünün merdienen bileşeni |
| T | : Güneşlenme süresi |
| V | : Rüzgar hızı |
| α | : Kolektörün merkezinden güneşe doğru yükselme açısı |
| β | : OV ile OR eksenleri çevresindeki dönme açısı |
| θ | : Geliş açısı |
| θ | : Güneşin dikey eksenle yaptığı açı |
| θ_z | : Zenit açısı |
| ϕ | : Matrislerle hesaplanan ilk eğim açısı |
| ϕ | : Enlem açısı |
| ω | : Güneşin saatlik dönüş açısı |
| ϕ | : Enlem açısı |
| λ | : Matrislerle hesaplanan ikinci eğim açısı |
| ζ | : Matrislerle hesaplanan üçüncü eğim açısı |
| σ_{ak} | : Emniyet katsayısı |
| σ_{em} | : Emniyet gerilmesi |
| σ_{max} | : Civataya gelen max. çekme gerilmesi |
| α | : Kolektörün merkezinden güneşe doğru yükselme açısı |
| S' | : Kolektör merkezi ve güneşin konumu arasındaki bileşeni |
| ϕ | : Matrislerle hesaplanan ilk eğim açısı |
| λ | : Matrislerle hesaplanan ikinci eğim açısı |
| ζ | : Matrislerle hesaplanan üçüncü eğim açısı |

TABLolar LİSTESİ

| | | |
|------------|---|----|
| Tablo 1.1. | Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli..... | 2 |
| Tablo 1.2. | Bölgelere göre güneşlenme potansiyeli | 2 |
| Tablo 1.3. | Türkiye günlük ortalama ışı nım değerleri | 3 |
| Tablo 1.4. | Türkiye günlük ortalama güneşlenme değerleri | 3 |
| Tablo 3.1. | Güneş izleyicisi sistemlerinin sınıflandırılması | 27 |
| Tablo 4.1. | Nominal Tork | 45 |
| Tablo 4.2. | Aktuatör yükleme boyutları | 49 |
| Tablo 4.3. | Aktuatör versiyon özellikleri | 50 |
| Tablo 4.4. | OGİS akış şeması | 62 |
| Tablo 4.5. | Denver, co şehrinin aylara göre ortalama günlük güneş ısı nımı, kWh/m ² , Enlem: 39°45' N Boylam: 104°52' w | 63 |
| Tablo 4.6. | Fransa-Paris şehrinde göre ortalama günlük güneş ısı nımı, kWh/m ² , Enlem: 48°49' N Boylam: 2°30' E | 64 |
| Tablo 4.7. | Avıstralya-Melbourne şehrinde göre ortalama günlük güneş ısı nımı, kWh/m ² , Enlem: 37°49' S Boylam: 144°58' E | 65 |

ÖZET

Anahtar kelimeler; Güneş izleyicisi, İzleme parametreleri, İki eksenli güneş izleyicisi tasarımı

Yapılan bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarından güneşin; Türkiye’deki potansiyelleri grafiklerle anlatılmış olup; Türkiye ve dünyada güneş izleme sistemleri üzerine yapılmış çalışmalar kapsamlı bir şekilde irdelenmiş, literatür çalışması yapılmıştır.

Güneş enerjisi izleme yöntemleri ayrıntılı şekilde ele alınıp, tüm izleme yöntemlerini içeren yeni bir sınıflandırma türü oluşturulmuştur. Türkiye iklim şartlarına uygun olarak, maksimum enerji eldesi için iki eksenli güneş izleme sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan; Otomatik Güneş İzleme Sistemi (OGİS)’nin izlenmesi sensörlerle otomatik olarak sağlanmış olup, sensörlerin manüel ya da sensörün kullanılmama varsayımı türetilerek, klasik izleme sistemi (KİS) seçeneği de sunulmuştur. Tasarlanan OGİS’ in üzerine gelen en önemli etken olan rüzgar kuvveti; Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü şartlarında hesaplanmış, OGİS’ in emniyet kontrolü yapılmıştır. OGİS’ in verim analizi tek eksenliye göre grafiksel olarak örneklerle karşılaştırılmıştır. Hareket mekanizması için; lineer aktuatör ve redüktör kullanılmış, kontrolleri mikroişlemciyle sağlanmıştır.

DESIGN OF TWO-AXIS SUN TRACKING SYSTEM

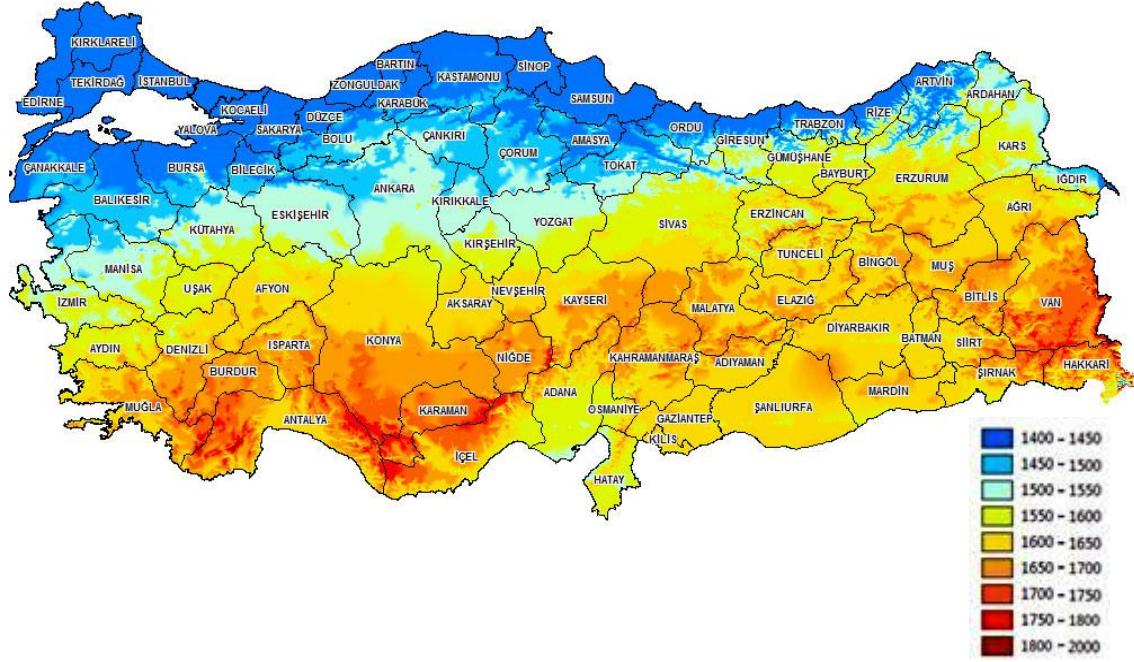
SUMMARY

Key words; Sun tracker, Tracking parameters, Two axis sun tracker design

In this study, Sun, one of the renewable energy sources, and its potential in Turkey is shown in graphics and studies done about sun tracking systems in Turkey and around the world are widely analysed and literature is examined carefully.

Solar tracking methods were discussed in detail and a new classification that includes all solar tracking methods were developed. Suitable with climate of Turkey, two axis sun tracking system was designed in order to gain maximum energy. Tracking of designed automatic sun tracking system(ASTS) is done by sensors automatically, also in case of sensors not to be used automatically or to be used manually, classical tracking system(CTS) choice is applied. Wind power which is the most important factor that effects the designed ASTS is calculated under the conditions of Sakarya University's Esentepe campus and ASTS's safety control was done. ASTS's efficiency analysis was compared with one axis system in graphics. For movement mechanism, linear actuator and reductor were used and their controls were done by microprocessor and chosen.

BÖLÜM 1. TÜRKİYE' DE GÜNEŞ ENERJİSİ



Şekil 1.1. Türkiye' de toplam güneş radyasyonu (kWh/ m² – yıl) [1]

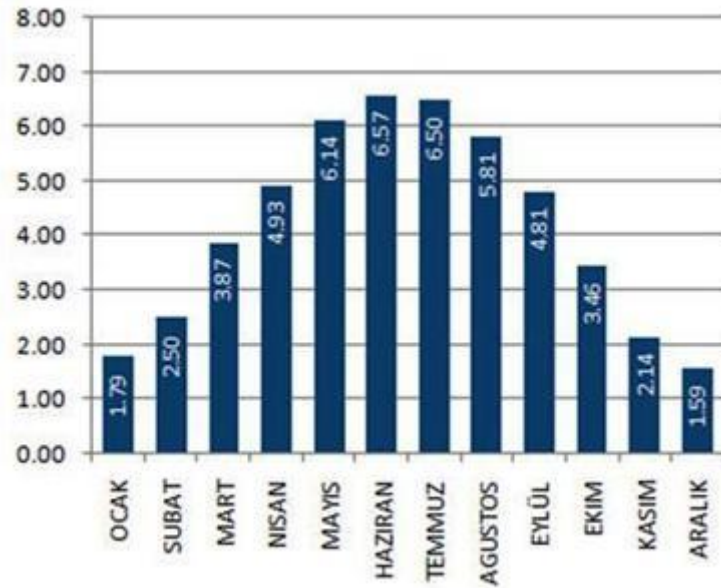
Türkiye, 36° ve 42° enlemleri arasında bulunmasından dolayı ülkenin önemli bir bölümü güneş enerjisinden yararlanmak için uygundur [2]. Şekil 1.1' de 1966-2007 yılları arasında ölçülen güneşlenme süresi haritada gösterilmiştir. Işınım şiddeti verilerinden yararlanarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından yapılan ölçümlere göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Türkiye'nin aylara göre güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri Tablo 1.1 'de verilmiştir [3]. Tabloya 1.1' e göre Ocak ve Aralık aylarında güneşlenme süresi, 103 saat/ay ile minimum, Temmuz ayında ise 365 saat/ay ile maksimum değerindedir. Diğer tablolarda aşağıdaki gibidir.

Tablo 1.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli [1]

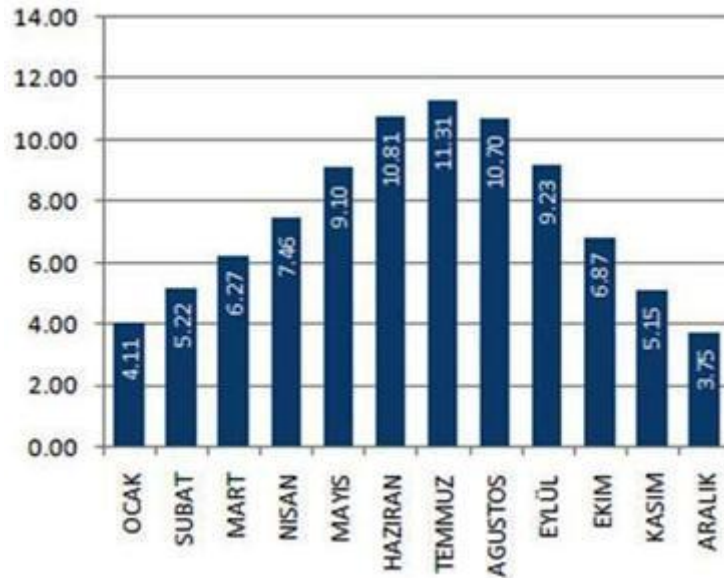
| Aylar | Aylık Toplam Güneş Enerjisi | | Güneşlenme Süresi (saat/ay) |
|----------|------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| | (Kcal/cm ² -ay) | (kWh/m ² -ay) | |
| Ocak | 4,45 | 51,75 | 103 |
| Şubat | 5,44 | 63,27 | 115 |
| Mart | 8,31 | 96,65 | 165 |
| Nisan | 10,51 | 122,23 | 197 |
| Mayıs | 13,23 | 153,86 | 273 |
| Haziran | 14,51 | 168,75 | 325 |
| Temmuz | 15,08 | 175,38 | 365 |
| Ağustos | 13,62 | 158,4 | 343 |
| Eylül | 10,6 | 123,28 | 280 |
| Ekim | 7,73 | 89,9 | 214 |
| Kasım | 5,23 | 60,82 | 157 |
| Aralık | 4,03 | 46,87 | 103 |
| Toplam | 112,74 | 1311 | 2640 |
| Ortalama | 308Kcal/cm ² -gün | 3,6kWh/m ² -gün | 7,2 saat/gün |

Tablo 1.2. Bölgelere göre güneşlenme potansiyeli [1]

| Bölge İsmi | Toplam Güneş Enerjisi | |
|--------------------|-------------------------|----------|
| | Kwh/m ² -yıl | Saat/yıl |
| Güney Doğu Anadolu | 1.460 | 2.993 |
| Akdeniz | 1.390 | 2.956 |
| Doğu Anadolu | 1.365 | 2.664 |
| İç Anadolu | 1.314 | 2.628 |
| Ege | 1.304 | 2.738 |
| Marmara | 1.168 | 2.409 |

Tablo 1.3. Türkiye günlük ortalama ışınlam değerleri (kwh/ m² – yıl) [1]

Tablo 1.4. Türkiye günlük ortalama güneşlenme değerleri (saat– gün) [1]



Güneş enerjisi; ısıtma, havalandırma, klima, soğutma gibi pek çok alanda kullanılmaktadır ve her birinin kullanımı farklı sistem ve kollektörlerle yapılmaktadır. Bu uygulamalara ilave olarak esnek enerji kullanımı için depolanması da yapılmaktadır [4]. Güneş enerjisi sistemlerinin dizaynı ve güneş ışınlamı ortalama değerlerinin performans analizleri uzun süreçte yapılmaktadır

Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli bir yılda 36 milyon ton kömüre eşdeğerdir. Ülkemizde güneş enerjisi yaygın olarak evlerin sıcak su gereksiniminin karşılanmasında kullanılmaktadır. Ülkemizin özellikle güney ve ege kıyıları basta olmak üzere tüm bölgelerinde güneş enerjisi kollektörleri halen yoğun olarak su ısıtmak amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca bazı endüstriyel uygulamalar, hacim ısıtma uygulamaları (güneş mimarisi) ile elektrik üretiminde fotovoltaiik pillerin kullanımı da yaygınlaşmaktadır [4]. Fakat dünyada güneş enerjisinden binaların ısıtılmasında, su damıtımında (distilasyon) ve kurutmada güneş fırınlarında, kaynak yapımında, havalandırma sistemlerinde, doğrudan elektriğe dönüştürülerek enerji elde edilmesinde ve hidrojen üretiminde yararlanılmaktadır.

Enerji üretimi amacına yönelik olarak yürütülen fizibilite çalışmaları sırasında, ülkemizin enerji konusunda mevcut meteorolojik verilerinin yeterli olmadığı saptandığından, bu amaca dönük olarak EİE ve DMİ ile ortak bir proje çalışması başlatılmıştır. Bu proje kapsamında; Antalya, İzmir, Ankara, Aydın-Yenihisar, Adana- Yumurtalık’ta birer adet bilgisayar destekli güneş enerjisi gözlem istasyonu tesis edilmiş ve 5 yıl boyunca veri toplanması programlanmıştır. Ölçüm süresini doldurması nedeniyle İzmir’deki istasyon Kayseri’ye, Didim’deki istasyon da Balıkesir’e taşınmıştır. Güneş enerjisinin genel enerji tüketimimizdeki payı 2000 yılı itibariyle % 0,16’dır. Projeksiyonlar bu payın 2005’de % 0,17 ve 2010’da % 0,25 olacağını göstermektedir. Güneş enerjisi konusunda yapılan araştırmalar, kullarımdaki en büyük engel olan depolama sorununu yüksek derecede ısı, mekanik veya elektrik gücü halinde depolanmasını sağlayarak çözebilecek gibidir. Bazı ülkeler şimdiden güneş enerjisi potansiyelini değerlendirme yönünde önemli adımlar atmıştır. Örneğin; İsrail’de konutların % 84’ünün sıcak su gereksinimi güneş enerjisi ile sağlanmakta ve 9 kata kadar olan konutlarda güneş enerjisi ile su ısıtılması zorunlu tutulmaktadır. Ayrıca, dünya üzerinde güneş enerjisini kullanan devasa elektrik üretim tesislerinden, binaların ısıtılıp soğutulmasına, sanayi tesislerinin çatılarına konulacak sistemlerle bu tesislerin sıcak su ihtiyaçlarının karşılanmasına, fotovoltaiik pillerle elektrik üretimine kadar bir çok tesis kuruludur. Binalarda kullanılan enerjinin dörtte üçü ısıtma ve soğutmaya gitmektedir. Bu durum güneş enerjisi kullanımı için büyük bir potansiyel sağlamaktadır. Bina tasarım ve inşaatının uygun hale getirilmesi ile güneşten gelen enerjinin kontrol altına alınması ve kışın

diğer yakıt türlerinden takviye edilerek ısıtma, absorpsiyonlu sistemler kullanarak da soğutma yapılabilmektedir. Güneş enerjisi destekli soğutma teknolojisinin en önemli müşterisi ticari binalar olacaktır [5].

BÖLÜM 2. GÜNEŞ İZLEME SİSTEMLERİ

Öner ve diğerleri [6]; Tasarlanan PV güneş izleme sistemini deneysel amaçla, gün içinde izlemiştir ve ardından sonuçları sabit PV paneli ile karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, güneş izleme sisteminin kullanımı, özellikle öğleden sonra PV panel performansını %33 arttıracakını ifade etmişlerdir.

Rizk ve diğerleri [7]; Küçük güneş hücreleri kullanarak yeni ilkelerle her zaman aktif ayarlanabilir sensörleri, gerilim çıkışı, açılı göstergelerle tespit eden bir güneş izleyicisi tasarlamışlardır. Bu yöntem kullanılarak yeterince dikey açıda izleyip güç artışı sağlanmış, iki eksenle izlemenin önemi vurgulanmış, prototip güneş izleyicisi tasarlanmıştır. Bulutsuz günler varsayılarak tasarlanan ve gerilim değerleri hesaplanan sistemin, sabit panelden % 39 enerji kazancı olduğu tespit edilmiştir. Mevcut sistemlerle sensör ve servo motor eklenerek verimde artışı anlatılmaktadır.

Chong ve diğerleri [8]; Eksen izleme sistemi için, genel koordinat dönüşümü yöntemi kullanarak izleme gerçekleştirmişlerdir. Yeni yöntemlerde, genellikle isteğe bağlı izleme sistemleri üzerine odaklı çeşitli matematiksel çözümlerle; Azimut-yükseklik ve eğilme formüllerinin, izleme için özel durumlar olduğunu ifade etmişlerdir. İdeal ölçüde izleme için matematiksel denklemlerin çözülerek izlemenin doğruluğunu iyileştirmişlerdir. Çalışmalarında, % 0,4 hata ile yüksek yoğunlaştırıcı güneş modüllerinin önemli bir etkisinin olduğu kanıtlanmış, matematiksel hataların önemine vurgulanmış ve % 4' e kadar enerji kazancı olduğunu göstermişlerdir.

Samsudin ve diğerleri [9]; PV panellerin performansını, yaklaşımlarıyla en üst düzeye çıkarmak için güneş izleme sistemini önermişlerdir. Panelin eğimi, güneş konumuna göre sıfır derecede max. enerji sağlar. Bu çalışmada; azimut açısı ve eğim açısını; PV paneller için güneş izleme sistemi optimize edilmesi için en iyi kombinasyon olan GA parametrelerini kullanıp değerlendirdiler. Simülasyon

sonuçlarıyla; tutarlılık ve yakınsama özelliklerinin uzun vadede panelin iyi pozisyonları için GA sisteminin yeteneği ve performansını göstermişlerdir.

Sungur [10]; Sabit konumda ve hareketli güneşi izleme sistemlerinin enerji kazancını analiz etmiş, sistemin mekanik kontrol ünitesi ardından güneş panelinin konumu ve performans ölçümlerini yapmıştır. Tek eksene göre % 42,6 enerji kazancı hesaplanmıştır ve panel sayıları artırılarak seri üretime geçildiğinde maliyetin düşüreceğini vurgulamıştır. İzlemenin kontrolünü ise PLC ile sağlamıştır.

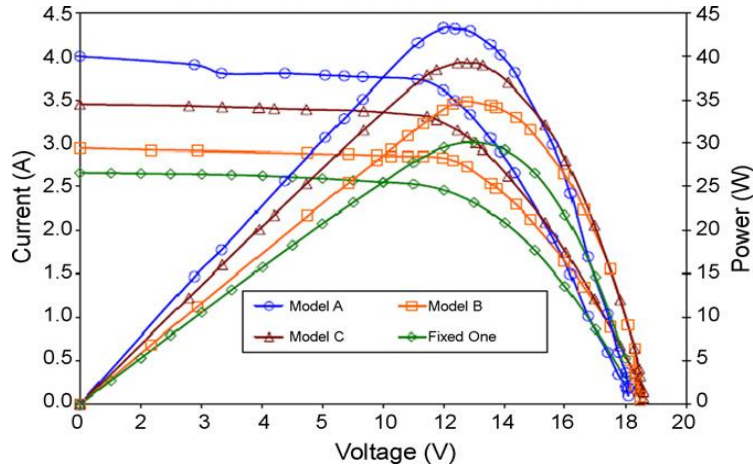
Choi ve diğerleri [11]; PV dizininin performansını arttırmak üzere güneş izleme sistemini önerdiler. Güneş izleme sistemi için; iki DC motor ve sensörler kullandılar. İki eksenli sistemlerin kontrolü; doğrusal olmayan dinamikleri ve parametrelerin erişilebilirliği nedeniyle kolay değildir. Yapay akıllı kontrol, sinir ağı ve genetik algoritma vb sistemler incelemişlerdir. Çalışmalarında; PV dizinin veriminin iyileştirilmesi için bir bulanık denetleyici tasarlanmışlardır.

Tomson [12]; Tek eksenli güneş panelinin performans analizi çalışmasında bulundu. Kollektör eğimi daha önce belirlenmiş konumlara döndürüldü, simülasyon ve deney sonuçlarının kıyaslanması neticesinde, tek eksenli güneş izleyen sistemin; optimum bir şekilde güneşe bakan konumda yerleştirilmiş güneş paneline göre % 10 - %20 daha fazla enerji topladığını belirtmiştir.

Agee ve diğerleri [13]; Düşük kapasitede çalışması beklenen yerlerde, enerji ihtiyacı için hidrolik bazlı izleme sistemini uygun bulmuşlar, polar eksenli güneş izleyicilerinin performansı, iki eksenli güneş izleyicilerle benzer olduğu fakat maliyetlerinin de tek eksenliye göre eşit olduğunu tespit etmişlerdir.

Grena [14]; 2003-2023 yılları için en fazla $0,0027^\circ$ hatayla güneşin konumunu tespit eden yeni bir algoritma üzerine çalışmıştır. Geliştirmiş olduğu güneş ışınım vektörü bileşeninin algoritmik hatası, benzer algoritmalar ile kıyaslandığında %60-%75 arasında hatalarda azalma olduğunu göstermiştir.

Sangani ve diğeri [15]; V biçimli 2 tane yoğunlaştırıcı kullanılarak, üretilen elektriğin maliyetini PV ile azaltmaya çalışmışlar, testler yapmışlardır. Güneş izleyiciler; mevsimsel izleme (A), Kuzey-Güney yönünde izleme (B) , ve günlük izleme modları (C), üzerinde deneysel araştırmalar yapmışlardır. Buna göre PV modülünden alınan güç (900 W/m^2 güneşten güç üretme kapasiteleri) çıktılarını grafik olarak (Şekil 2.1) gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Farklı yoğunlaştırma sistemlerinin karşılaştırılması

Chicco ve diğeri [16]; Deneyler yaparak üç farklı konumda PV panellerini gözlemlemişlerdir. İlk konumda; 15 bağımsız/tek bir sistem bir koordinat izleme sistemiyle kontrol edilirken, 0° azimuth açısı ve 36° yükselme açısı sabit tutuldu. İkinci konumda; 90° PV sistemi ayrı bir koordinat kontrolü izleme ile kıyaslanırken, 0° azimuth açısı ve 30° yükselme açısı sabit tutuldu. Üçüncü konumda ise; güneş izleme sisteminin pozisyonu her 15 dk' da güncellendi/ayarlandı ve 0° eğim açısı ve 35° yükselme açısı sabit tutuldu.

Sonuçlara göre; güneş izleme sistemiyle ortalama enerji gelişimi/artışı simülasyonla % 32,9 ve % 35,1 olmuş. Verim ise gerçek veriler ışığında konumların sırasıyla % 37,7 ve % 30,4 olduğunu ve üçüncü konumla güneş izleme sistemiyle verimin yıllık artışı % 31,5 olduğunu tespit etmişlerdir.

Stolfi ve diğeri [17]; Heliostat bir ayna kullanarak, yoğunlaştırma sistemi için iki eksenli güneş izleyicisi tasarlamışlardır. İki eksenli sistemin hareketini sağlamak için 2 step motoru monte etmişlerdir. Yatay hareketin sağlanması için ise; ünite, kendi ekseni etrafında dönen bir masaya yerleştirilmiştir. Masanın hareketi; bir çift sonsuz vida ile döndürülerek hareketi sağlanmaktadır. Yansıtıcı panel, basit bir yay tahrikli menteşe ile yukarı – aşağı eğimli olarak hareket ettirilmiştir. Bu sistemde ana ünite, düzeni kontrol etmekte ve konumunu belirlemede kullanıldı. Bu da PV hücrelerinin geçmişte yapılan sistemlerin verileri alınarak yapıldı. Sonuçta, izleyicinin çalışması enerji üretimini arttırmakta ki sebebi de PV lerden alınan elektrik miktarının artmasıdır. Yansıtıcıların üniform üretilmesi de PV hücrelerine yönlendirilmiş ışınların daha iyi konsantre olmasını sağladığı da çalışmalarıyla tespit edilmiştir.

Aliman ve diğeri [18]; Yüksek yoğunlaştırıcı güneş enerjisinin kazanılması amacıyla yeni bir güneş izleyicisi geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri sistemde; ana bir ayna ve onun etrafında bağlı birkaç ayna vardır. Ana ayna, güneş ışığını durağan bir hedefe yansıtır. Geliştirilen sistemde; birbirine dik iki eksenli izleme sistemi vardır. Biri, eksene doğru dönme yapmaya olanak sağlarken, diğeri eksen yansıtıcılarla paralel yükselmeyi gerçekleştirmiştir. Güneş ufuktan tam tepe noktasına hareket ettiğinde, ayna düzlemi yataydan dikey konuma doğru hareket etmekte ve bu çalışmada zaman ve açısal hareket arasındaki ilişkiyi formülize etmişlerdir.

Arasu ve diğeri [19]; Bir eksen kontrollü, elektronik gömülü parabolik oluk kolektörle sıcak su üretimi için, otomatik güneş izleme sistemi tasarlamışlardır. Ayrıntılı açıklamalarla, izleme sisteminin performansı ile elektronik devre şemasını çalışmalarında sunmuşlardır. Güneşin konumu; % 0,1 doğrulukta ışık bağımlı dirençler kullanarak algılanmış, izleme mekanizması maksimum hatası ise 0,18 bulunmuştur. Bu parabolik oluklarla geniş kolektörün sıcak su üretiminin izleme mekanizmasıyla artacağını hesaplamışlardır.

Abdallah ve diğeri [20]; Sabit ve güneşi izleyen sistemlerde karşılaştırma yapmışlar ve güneş izleme sistemi kullanımıyla yaklaşık % 22 artan enerji kazancı için, % 2 ile genel verimlilik artışı saptamışlardır. Güneş izleme sisteminin daha

etken olduğu kanıtlamışlar, elektromekanik sistem ve programlama PLC ile sağlanmıştır. Termometreyle su sıcaklığı kontrol altında tutularak buharlaşma oranı sıcaklıkla artar ve su azalır ama termal üretim kapasite artacağını belirtmişlerdir.

Mazen ve diğerleri [21]; Deneysel çalışmalarında; çoklu izleme sistemi kullanmanın PV güç çıkışı üzerindeki etkisini araştırmak için tasarlanan iki eksenli sistemin performansı üzerine çalışmışlardır. Optimum PV izlemeyle, kuzey-güney ekseninde güneş izlemesinde mümkün olan en yüksek güce karşılık geldiği ve bu izleme sisteminin, sabit PV sistemlerinden daha iyi bir performans verdiği; sonucunda yaklaşık % 30-45 toplam güç çıkışında bir artışla 32° eğimli PV hücreler ile gerçekleştiğini belirtmişlerdir.

Contreras ve diğerleri [22]; Teksas Üniversitesinde taşınabilir 3 robot kollu bir mikroişlemciye bağlı ve onunla hareket eden, bir güneş izleyicisi yaptı. En önemli parçalar; PIC mikroişlemci, köprüler, DC motor, PVC standart parçalar, IR sensör, foto-rezistör ve DC çıkışlardı.

İlk DC motor; 10 A, 12 V ve 500:1 devir orantılıdır.

İkinci motor 75 Ma, 24 V ve 300:1 devir oranındadır.

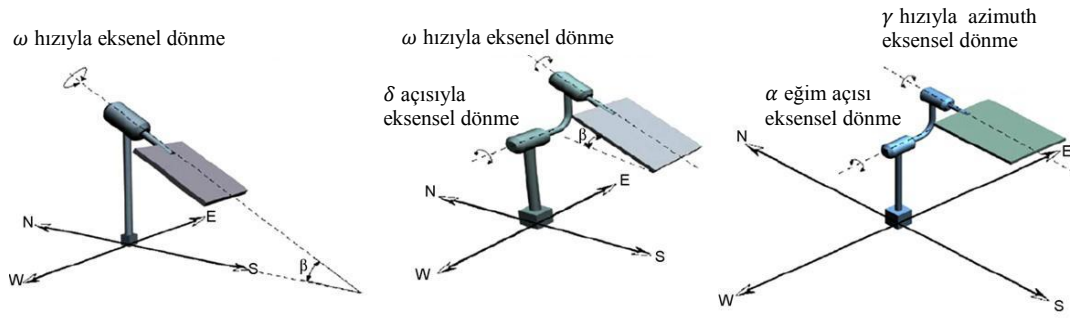
Üçüncü motor 220 Ma(yükte), 12 v ve 1000:1 devir oranındadır.

Üç mikroişlemcide, PIC BASIC PRO programlama dili kullanılarak programlandı.

Sonuçta verim, sabit panele göre % 30 arttırıldığı tespit edilmiştir.

Gagliano ve diğerleri [23]; İki eksenli foto dirence dayalı bir güneş izleme sistemi tasarlayıp simülize etmişlerdir. Enerji kazancına göre; sabit ve hareketli izleyiciler arasında kıyaslama yapmışlardır. Algılayıcı cihaz; dönme hareketi için 9 tane ışığa duyarlı foto direnç ve üç ışığa duyarlı foto-direnç ile eğim vermek için uygun plastik destekleme yerleştirilmiştir. Sonuç olarak; önerilen izleme sisteminin avantajının düşük maliyetli olduğunu vurgulamışlardır.

Alata ve diğerleri [24]; Zaman kontrollü güneş izleyici sistem simüle edip, tasarladılar. Bu çalışmada 3 sistem vardır. Tek eksenli güneş izleyicisinin yatayla açılı konumda olması, iki eksenli ekvatorial güneş izleyicisi ve iki eksenli azimuth güneş izleyicisi Şekil 2.2' de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.2. Tek, iki eksenli ve azimuth izleyici sistemlerinin şematik resmi

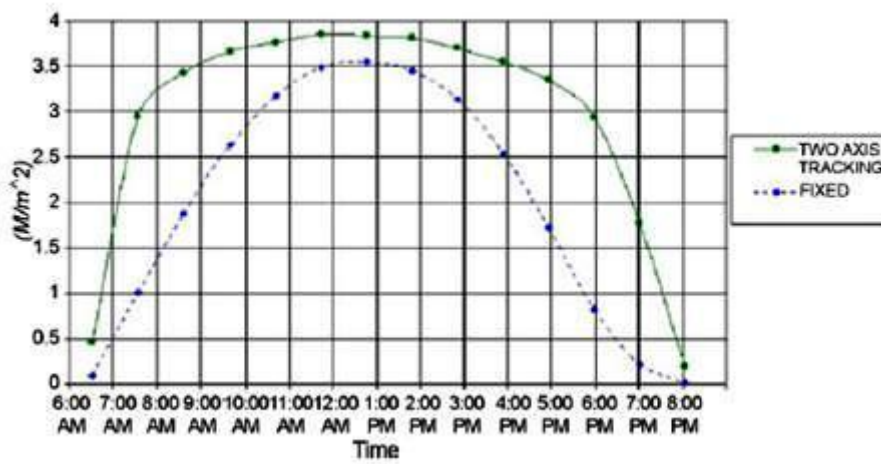
Bir eksenli izleyici sistemi yataydan güneye bakacak şekilde 32° eğimli yerleştirildi. Saatlik eğim açısındaki değişim çok yavaş düşünülür. Bu nedenle bu eksenel izlemenin günde bir veya birkaç kez iki eksenli güneş izleme sisteminde de yapılması mümkündür. Azimuth, yükselme açısına göre izleme, zenit ekseninde dönme hareketi sağlandı ki bu durumda diğer eksen yere paralel durumdadır.

Yani çalışmalarında; üç tipte çok amaçlı güneş izleyici sisteminin tasarımı ve güneşin gökyüzündeki hareketi formülize etmişlerdir. Formüller matematik denklemlerle düzenlenerek, farklı güneş izleyici sisteminin 3 boyutlu simülasyonu yapılarak göstermişlerdir.

Moghbelli ve diğerleri [25]; Güneş pillerinin çıkış güçlerini arttırmak amacıyla hareket edebilir fotovoltaik düzeneğin uyarlanması isimli çalışmalarında, hareket edebilen fotovoltaik dönüştürücülerin uygulanması ve bu uygulama sonucunda fotovoltaik dönüştürücülerin çıkış gücünü arttıran karakteristiklerini aynı nominal güce sahip sabit düzeneklerle kıyaslamasını tasarlamışlardır. Çalışmalarında, güneşin gün içerisindeki hareketinden dolayı, güneş paneline dolaylı şekilde çarpan güneş ışığının yansımadan dolayı panel tarafından tam emilemediklerinden verimlerinin düşük olduğunu ve kurdukları izleme sistemi ile güneşin devamlı izlenmesi sonucu verimin artırılabilirdiğini deneylerle tespit etmişlerdir.

Yesilata ve diğerleri [26]; Eğim açısı ayarlanabilen ekonomik PV sistem sehpa tasarımı adlı bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında, eğim açılarını saatlik, aylık ve yıllık olarak hesaplamışlar ve iki eksenli güneş izleyen sistemin, tek eksenli güneş takip eden sistemden daha verimli çalıştıklarını göstermişlerdir.

Mamlook ve diğeri [27]; İki eksenli PLC kontrollü açık çevrimli güneş izleme sistemi tasarlamışlar ve üretimini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarındaki temel prensip; iki açıyla(yüzey ve azimuth açısı) tanımlanan konumun, matematiksel tanımına dayanmasıdır. Panelin eğimi güneşin zenit açısına eşit olacağı düşünülmüştür. İki izleyici motor; biri kuzey-güney eksenini boyunca yatay ekseninde dönen diğeri ise dikey ekseninde dönen panel içindir. Gün ışığı 4 zaman dilimine bölünmüş ve her bir zaman aralığında güneş ışığı miktarları ve motor hızları PLC ile programlanmıştır. Çalışmada motorların güç ve kontrol sisteminin tüketimi izleyici sistem dolayısıyla tasarruf edilen enerjinin % 3' ünü geçmediği tespit edilmiştir. İzleyici sistem ile sabit 32° eğimli sisteminin kıyaslamasını yapmışlardır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Sabit ve hareketli izleme sisteminin grafiksel resmi

Sonuçta iki eksenli güneş izleyici yüzeyinin, sabit yüzeye göre % 41.34 daha fazla enerji topladığını tespit etmişlerdir.

Grass ve diğeri [28]; Sabit parabolik kolektörleri, iki eksenli kolektörler (içi boş bir boruya monteli izleyici bir yansıtıcı ve parabolik kolektör) eklenerek manyetik eksenli izleme sistemi yapmışlardır. Işın yakalama analizi için; ASAP ışık izleme kodu oluşturulup kullanmışlar. Yani; direkt ışımanın maksimum ölçüde yakalanmasında, izleme sistemi kullanılmasıyla optik verimin arttığını göstermişlerdir.

Bione ve diğeri [29]; Konsantreli sabit güneş panelleri ile güneş izleyici panellerinin, pompalama sisteminde kullanılmasının kıyaslamasını yapan bir çalışma

yapmışlardır. Kuzeye doğru 20° eğimli iki güneş paneli güneşi kuzey-güney ekseninde izlemiştir. Her üç durum için hem teorik hem de deneysel kıyaslama yapılmıştır. Günlük karakteristik eğrileri incelendiğinde; her üç modülde pompalanan suyun debisinin birbirinden farklı olduğunu saptamışlardır. Belli bir su hacminden elde edilen sabit panel, izleyici paneller, konsantreli güneş izleyici sistemlerde sırasıyla 4.9, 7.4, 12.3 m³/gün su pompalandığını tespit etmişlerdir.

Al-Mohamad A. ve diğerleri [30]; PV modülünün günlük güç üretimini izlemek için PLC kontrolüne dayanan tek eksenli güneş izleme sistemi tasarlamışlardır. 2 foto-dirençli sensör bir bariyerle ayrılarak, bir sensöre gölge düşmesi sağlandı. Güneş ışımaya yoğunluğu arttıkça, sensörün direnç özelliği azaldığı tespit etmişlerdir. Ünitenin iki sinyal çıkışı, PLC nin analog girişine direkt bağlanmıştır. Güneş izleyicisi 120° lik bir açıda doğu-batı yönünde tarama yapar. PLC için uygun bir programla kontrolü sağlanacağı, veri toplamak ve monitöre verilerin yansıtılması için özel bir program geliştirmişlerdir. Otomatik izleme yapacak ve PC ile RS232 kablosu ile iletişimi sağlayacak olan özel programı Visual BASIC 5' de yazmışlardır. Bu sayede güneş izleyicisinin performansı ekrana yansıtılıp gözlemlenmiştir. PV' den günlük güç çıkışında günün erken ve geç saatlerinde önemli bir artış olduğu saptamışlardır. Yani; sabah 6.00-10.00 ve 15.00-17.30 saatleri arasında güç çıkışı % 40'ı geçmiştir. Bununla beraber gün ortasında artış; %2 ile % 4 aralığında kaldığı, bir günde ortalama enerji artışı sabit panellerle kıyaslandığında % 20' den daha fazla enerji eldesi tespit etmişlerdir.

Nafeh ve diğerleri [31]; Maksimum güneş ışığından faydalanmak için PV hücrelerinin yerleştirildiği optimum açıyı tespit etmek için çalışmalarda bulunmuşlardır. Teorik olarak, maksimum güneş ışığı; güneş tam tepede iken hesaplamışlardır. MATLAB-SIMULINK programlarıyla her gün, ay ve yıl için optimum PV hücrelerinin yerleştirildiği açıları hesaplamışlardır. Günlük ayarlanan açı tekniğiyle, konveksiyonel teknik arasındaki ışımaya miktarının kıyaslama eğrileri çizilip karşılaştırmışlardır. Eğer; PV panellerinin açıları, günlük veya aylık olarak optimum değere ayarlanırsa, güneş tepede iken toplanan ışımaya miktarı, geleneksel teknikte bütün bir yılın her günü için daha fazla olduğu tespit edilmiş ve maksimum güneş ışımalarını bulmak için; o yerin hem enlemini hem de güneş eğim açısını

bilmenin gerektiği ve PV hücreleri ile güneş ışığına doğru yönlendirileceği sonucuna varmışlardır.

Pavel ve diğerleri [32]; Deneysel ve teorik olarak toplanan güneş enerjisi miktarlarını güneş takip sistemli güneş paneli ve sabit tek yüzlü ve iki yüzlü güneş paneli sistemleri analiz etmişlerdir. Hesaplanan ve ölçülen değerlere göre izleme sisteminin; toplanan enerjide % 30 - 40 bir artış göstermiştir. Buna karşın ikiyüzlü paneller ve yansıtıcılarda toplanan güneş enerjisi, arka yüzeyde bir ışıma artışı olduğundan, toplanan enerji aynı panel için % 50 - 60 artış sağlamışlardır.

Roth ve diğerleri [33]; Tasarladıkları İzleyici sistem direkt solar radyasyonunu bir pirometre vasıtasıyla otomatik olarak ölçülmesini mümkün kılmışlardır. Mekanizma; kontrol sisteminden bağımsız yerleştirilmiş dijital bir program vasıtasıyla kontrol edilmiştir. Güneşin pozisyonu hesaplanmış ve günlük çalışma esnasında görülen işaretleme hataları daha sonraki analiz için kayıt altına alınmıştır. Algılama ve odaklama; sensörler ve 2 adet step motorla yapılmıştır. Çalışmada; İsviçre yapımı INTRA güneş izleyicisi esas alınmış ancak yeni bir takım iyileştirmeler yapılarak maliyet düşürülmüştür. Bu iyileştirmeler, eski DC motorlar yerine step motor kullanılması, daha duyarlı bir sensör kullanılması, elektronik ünitelerin tamamen yenilenmesi, kontrol sisteminin güneş izleme içi ve ileride olası süreç değişimleri daha kolay hale getirmek için bilgisayar yazılımları kullanılması ve günün her saatinde güneş pozisyonunu ve hızını hesaplaması. Yazılımları mekanik kısım dışında kullanmanın izleyicinin gelecekteki gelişimleri için esnek hale getirmesidir. Araştırmacıların 2003 yılında güneş takibi için sistem tasarımı ve yapılandırması isimli bu çalışmalarda vardır. Tasarlanan izleyici INTRA güneş izleyicisinin özelliklerini esas alınan bu izleyicidir.

Urbano ve diğerleri [34]; 200 kg ağırlığında güneş fırınlı yoğunlaştırıcı izleme sistemi için 5 Watt-PV modülü 2,6 KW/h kapasiteli izleme sistemi tasarlanmışlardır. İzleme sistemi; azimuth için sadece 5 Watt harcayarak yoğun bir izleme enerji kaynağı olarak PV güneş modülü kullanarak güneşi takip edeceğini kanıtlamışlar ve harcanan enerjinin minimize etmişlerdir.

Salah ve diğeri [35]; PLC kontrollü iki eksenli güneş izleme sistemi çalışması yapmışlar ve bu çalışmada iki eksenli güneş takibinin toplanan güneş enerjisi üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen enerji ölçümü ve 32 derece eğimli güneşe dönük sabit bir sistemle karşılaştırılmıştır ve sonuçlar değerlendirildiğinde iki eksenli izleme yüzeyi toplanan enerji açısından sabit yüzeye göre %41,34 oranında bir verim artışı ile daha iyi bir performans gösterdiğini deneysel olarak ölçmüşlerdir. Bu çalışmada, Piranometreden elde edilen verilere göre ortalamalar alınarak günün saatleri bazında hesaplamalar yapılmıştır. Ayrıca, 32 derece eğimli güneşe dönük sabit sistemle kuzey-güney, dik, doğu-batı, eksenli üç izleme modu arasında da karşılaştırmalar yapılmış, sırasıyla %19,7 , %23,3 %24,5 enerji artışları ölçülmüş ve sonuç olarak iki eksenli izleyicinin diğer bütün tek eksenli izleyicilere göre daha yüksek performans gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Roth ve diğeri [36]; Federico Santa Marta Teknik Üniversitesi Güneş Değerlendirme Laboratuvarı'nda; Güneş hareketinin izlenmesi için elektromekanik bir sistem tasarlamışlardır. Bu sistem, güneş ışınımının piranometre aracılığı ile ölçülmesine imkan kılmaktadır. Kapalı döngüsel yardımcı sisteme sahip olan sistem tasarımı, otomatik olarak çalışmaktadır. 4 kadranlı foton algılayıcısı güneşin konumunu algılamakta ve iki küçük DC motor, güneş görüntüsünü foton algılayıcısının tam ortasına odaklamaktadır. Güneşin görülmediği bulutlu havalarda, bir hesaplama programı güneşin pozisyonunu hesaplamakta ve güneş tekrar ortaya çıkana dek sistemin kontrolünü üstlenmektedir. Tasarladıkları sistemi Şili'deki iklim koşullarında test etmişlerdir. Yaptıkları sistemin daha ağır ve büyük sistemlerle(güneş panelleri ve yoğunlaştırıcıları gibi) birlikte, daha ucuz izleme aletleri ve sensörlerle de kullanılabileceğini test etmişlerdir.

Yesilata ve diğeri [37]; Maksimum güç noktası izleyicili fotovoltaik sistemlerin optimum dizayn çalışma koşullarının araştırılması isimli çalışmalarında, gereksinim duyulan gücü minimum sayıda PV panel kullanarak elde etmeyi amaçlamışlardır. Çalışmaları üç temel aşamadan oluşmaktadır. İlk iki aşamada, sırasıyla maksimum toplam radyasyon açısı faktörünü ve maksimum kullanılabilirliği sağlayan dizayn

koşulları tespit edilmiştir. Bu dizayn, maksimum güç noktası izleyici yardımıyla PV panellerden elde edilebilecek maksimum akım ve gerilim değerleri elde etmişlerdir.

Ai ve diğerleri [38]; Çalışmalarında; azimuth ve zaman diliminde güneş ışınımı açılarının güneş izleyicisinde kıyaslamasını yapmışlardır. Güneş panelinin eğim açısını belirlemek için, güneye bakan eğimli yüzey, gün boyunca 3 eşit parçaya bölünmüştür. Bir gün boyunca tüm zaman aralığında toplam direkt ışınım(radyasyon) ve gökyüzünden difüzyon ve yerden yansıyan ışımaların 3 zamanlı güneş izleyicindeki hesaplanmasında kullanılacak matematik formüller türetilmiştir. Bütün bir yıl boyunca yürütülen çalışma sonucunda; düz (yatay) bir düzlemde, yüzeyde saptanan ışıma; optimum bir açıda panelde ölçülen ışıma % 30,2 ve 3 zamanlı güneş izleyicili panelde ise % 72 ışıma tespit etmişlerdir.

Lorenzo ve diğerleri [39]; Azimuth ekseninde güneş izleyicisi tasarlamış ve geliştirmişlerdir. İspanyada 400 güneş izleyicisi kurmuşlar ve 0.25 HP AC motoru akuple edilmiştir. Güneş paneli yüzeylerinin açısı sabit tutulmuştur. Sonuçta; toplanan enerji kıyasında; ideal azimuth güneş izleyicisi, optimum biçimde statik yüzeyden % 40 daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Yatay ekseninde tek eksenli güneş izleyicisinden ise % 10 daha fazla enerji elde etmişlerdir. Yani çalışma alanına göre izleyen kolektörler, statik yüzey alanından % 40 daha fazla bir alan oluşturulduğunu tespit etmişlerdir.

Karakaş ve diğerleri [40]; Fotovoltaik sistemlerde maksimum güç noktasının ve güneşin izlenebilmesi için tipik bir kontrol düzeneğinin tasarımı adlı çalışmalarında, solar enerji güç işletim aygıtı tasarım örneği incelenerek küçük fotovoltaik sistemler içinde maksimum güç noktasının izlenmesi konusunda araştırmalar yapmışlardır. Sistem son derece basit formda, paralel bağlı iki adet DC' den DC' ye kıyıcı işletiminden oluşmaktadır. Sistem içerisinde aşırı gerilim, yük kontrolü ve koruma önlemleri gerekmektedir. Aygıtın güç işletim kapasitesinin devreye bağlanacak birden fazla kıyıcı tarafından artırılabilceğini incelemişlerdir. Elektromekanik algılayıcılar yardımı ile tasarlanan sistemde, güç işletim aygıtlarının verimlerinin oldukça yüksek olduklarını tespit etmişlerdir. Sistemde PWM metodunu etkin şekilde kullanmışlardır.

Luque ve diğerleri [41]; PV yoğunlaşması için PI tabanlı hibrit güneş izleme sistemi adlı çalışmalarında, fotovoltaiik yoğunlaştırıcılar için yeni bir güneş izleme stratejisi sunmuşlardır. Güneş günlüğü temelinde kurulmuş, zamanlama sapmalarını ve üretim, montaj ya da kurulum hatalarını telafi etmek için hata düzeltme rutinleri içeren Hibrit stratejilerine entegre edilebileceğini tasarlamışlardır.

Gow ve diğerleri [42]; Bağımsız veya şebeke bağlantılı uygulamalar için kullanıma uygun güneş pili dönüştürücü sistemi incelenmiş, sunulan modüler güneş pili güç dönüştürücü sisteminde, regüleli gerilimde pasif AC ve DC yükleri besleyebilecek tek faz uygulamalar amaç edinilmiş ve panelden alınan maksimum güçte maksimum güç izleyici sistem gerçekleştirmişlerdir. Sistemin küçük, hafif ve hazırca bulunabilen elemanlarla tasarlanması sağlamışlardır. Kullanılan kontrol algoritmalarının karmaşıklığı ve adaptif kontrol formu gereksinimi dijital olarak uygulama esnekliğinden faydalanılmasının avantajlı olacağını göstermişlerdir.

Nayar ve diğerleri [43]; Yapılan çalışmada akü depolaması yanında yedek dizel jeneratör kullanan şebeke etkileşimli güneş pili kesintisiz güç kaynağı sistemi gerçekleştirmişlerdir. Sistem, 2,5 kW'lık güneş panelleri, hem dönüştürme hem şarj modlarında çalışabilen 10 kV'lık güç izleyici birimi ve 300 Ah'lık aküler içermektedir. Sistemde sık sık güç kesimi ve aşırı düşük gerilim problemleri yasayan bir şebekede yük gerilim kararlılığını sağlamışlardır.

Helwa ve diğerleri [44]; Maksimum şekilde elde edilebilen güneş enerjisini farklı güneş izleyici sistemlerle gözlemişler ve güneş izleyici sistemin çıkışta verdiği enerjiyle birlikte alınan güneş ışınlarının da sabit sistemden daha fazla olduğunu saptamışlardır. Kullanılan izleyiciler mikroişlemci ile kontrol edilmiş ve elektrik enerjisi üretimi için tüm sistemlerde güneş panelleri kullanılmıştır. Elde edilen kazançlar iki eksenli izleyicide daha yüksek bulunmuş ve dikey eksenli izleyiciden sabit eksenli izleyiciye doğru azaldığını tespit etmişlerdir.

Kalogirou ve diğerleri [45]; Kolektörlü su ısıtma sistemlerinin performansı ve maliyetlerini 4 durum için kıyaslayan bir araştırma yapmışlardır.

Buna göre kolektörler 4 konumda yerleştirilmiştir.

- 1- Yatayda 40° sabit eğimli
- 2- Dikey eksen etrafında izleyicili
- 3- Sabit eğimde ve farklı azimuth açılarıyla
- 4- Mevsimsel güneş izleyicili (Kollektör eğim açıları yılda 2 kez değiştirildi)

Sistemi analiz etmek için TRNSYS simülasyon programı kullanılmıştır. Simülasyon neticesinde; en iyi ısı performansının ikinci seçenekte dikey eksen etrafında tek eksenli güneş izleyicinde olacağı hesaplanmıştır. Nicosia; yıllık güneş ışınımının tek eksenli izleyici panelde % 87,6 olduğu, mevsimsel izleyicide % 81,6, yatay sabit panelde % 79,7 olduğu tespit edilmiştir. Athens ise yaptığı çalışmada; sırasıyla % 81,4, % 76,2, % 74,4 olduğunu tespit etmiştir. Maliyet açısından ise; yatayda 40° sabit eğimli sistem en ekonomik bulunmuştur.

Helwa ve diğerleri [46]; Farklı güneş izleyici sistemleri tarafından toplanan güneş enerjisi miktarları üzerinde çalışma yapmışlardır. Dünya çapında güneş enerjisi miktarı, gelen güneş ışığı ve yayılan güneş ışığı miktarı hesaplanmıştır. Yapılan deneyde 4 farklı sistem kullanılmıştır. Buna göre;

- 1- Güneye 40° eğimle bakan sabit sistem
- 2- Tek eksenle azimuth açısına göre güneşi izleyen 33° eğimli sistem
- 3- Kuzey- Güney yönünde 6° eğimli bir eksenli güneş izleyicili sistem
- 4- İki eksenli (yatay- dikey) izleyici sistem

Yüzeyle gelecek radyasyon modu için bir bilgisayarda BASİC programı yazıldı ve her bir sistem için günlük radyasyon miktarı hesaplandı. Bir yılda ortalama 1 saatte gelen güneş enerjisi miktarı kesin değerleri sırasıyla; 5.36, 9.07, 7.92 ve 5.98 bulundu. Tüm değerler kabul edilebilir nitelikte bulunmuştur.

Mumba [47]; Çalışmada; tahıl kurutmada kullanılan manüel çalışan bir izleyici sistemi geliştirmiştir. 12 V, 0.42 A DC fan PV'den elde edilen elektrik ile çalıştırmıştır. Kollektör modül verimini arttırmak için, güneşi yerden $\pm 30^\circ$ açıyla izlemiştir. Mumba 4 duruma göre inceleme yapmıştır. Buna göre 4 durum;

- 1- Güneş izleyicisi olmaksızın PV-fan kapalı
- 2- Güneş izleyicisi olmaksızın PV-fan açık

- 3- Güneş izleyicili PV-fan kapalı
- 4- Güneş izleyicili PV-fan açık

Güneşin yükselişini yakalamak için; Kollektör modülünü yataya göre 15° eğimli durumdayken, güneş izleyicisi manüel olarak sabah 8.00' da doğuya doğru, öğlen 2.00'da batıya doğru ayarlanmıştır. Sonuçta en iyi performans 60 °C sıcaklık elde edilen güneş İzleyicili PV-fan açık sistemde gerçekleştirmiştir. Bunun sonucunda; manüel solar fanlı hava ısıtıcısının ısı verimi % 80' e kadar arttığını tespit etmiştir.

Stern ve diğerleri [48]; Modüler 15 KW-AC motoru entegreli tek eksenli bir güneş izlemeli PV güç sağlayıcı bir sistem tasarlamış ve test etmişlerdir. İzleyicide potansiyometre ve entegre sarkaç kullanmıştır. Böylece motor ve aktüatörden pozitif geri besleme bilgisi almışlardır. Tek eksenli güneş izleyici sistemlerinin, sabit eksenli PV sistemlerine göre yılda % 20 daha fazla enerji sağladığını tespit etmişlerdir. Yine tek eksenli güneş izleyicilerinin net maliyetinin diğerlerine göre %23,3 olduğu tespit etmişlerdir.

Hamilton [49]; Bir mikroişlemciye bağlanan güneş izleme sistemi tasarlamış ve üretmiştir. Güneş izleme sisteminin 2 motoru var ve bu motorlar güneş enerjisi panellerinin iki düzlemde açılma konumlarını belirlemede kullandı. Sensör değerlerini dijital olarak okumak ve güneşin pozisyonuna göre güneş enerjisi panellerini step motoruyla ayarlamak için algoritmalar yazdı. Mikroişlemciyi C dilinde programladı. Sistem, laboratuvar ve dış sahada küresel olarak 16 noktaya yerleştirilen ışık kaynaklarıyla test etmiştir. Sonuçta güneş ışınlarını izleyen sistem tüm gün boyunca maksimum enerji toplarken, sabit sistemin maksimum enerjiyi güneş tam tepedeyken toplayabildiği tespit etmiştir.

Poulek [50]; Yapılan çalışmada; çok basit ve güvenilir bir güneş izleyicisi dünya ve uzay uygulamaları için tasarlamıştır. Güvenirliği olmayan ve bir çok parçalar(batarya ve hareket ettiren elektronik parçalar) elimine etti. Şekilde gösterildiği sistem - 40° ye kadar düşük sıcaklıklarda çalışabiliyor. Güneş izleyicili, güneş panelinin alanı, toplam alanın % 1' i civarındaydı. Hareketli ve yardımcı iki yüzlü PV hücreli kısım ve asıl iki yüzlü PV hücreli kısım 360° ileri ve geri izleme yapılabilirken, benzer

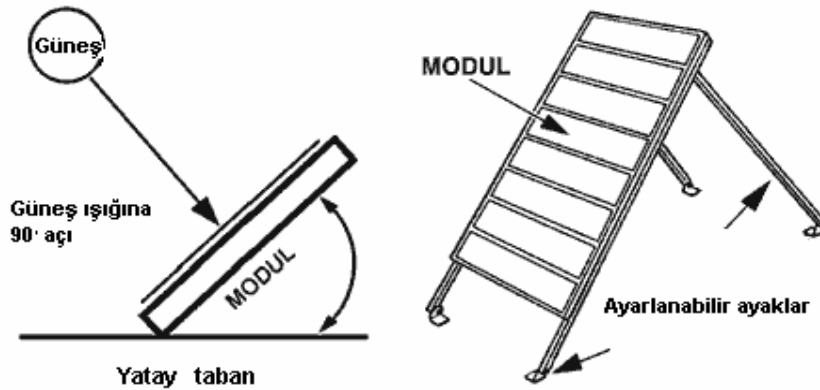
teknolojiye dayanan standart tek yüzölçü PV hücreleri ileri ve geriye doğru güneş izlemesini 120° de yapmaktadır. Bu çalışmanın sonucunda güneş izleyicisi $\pm 5^\circ$ toleransla izlemekte olup, toplam enerji miktarında azalma olmamaktadır. Bu sistem ideal bir güneş izleyici sisteminin toplayacağı güneş enerjisini % 95' ini toplamıştır.

Kalogirou [51]; Tek eksenli, üç ışığa duyarlı bağımsız sensörü ve bir DC motorlu güneş izleyici sistem denemiştir. Bir sensör direkt ışığı algılamakla kullanıldı. İkincisi gölge ve gün ışığı durumunu algılamakta kullanıldı. Üçüncüsü sensör olarak kullanıldı. Sistem çok sayıda direnç, zamanlayıcı, elektronik parçalardan oluşmaktadır. Sensörlerden birine gölge düştüğü zaman, motor çalışmaya başlar ve güneşi doğu-batı yönünde 0.011 dev/dk hızla kolektör izlediğini tespit etmiştir. Güneş kolektörünün değişik testlerden geçmesi sonucunda, izleme sisteminin mekanizma olarak doğru çalıştığı tespit etmiştir. 100 W/m^2 aydınlatma 0.2° açısal hareket verilirken, 600 W/m^2 aydınlatmada, 0.05° açısal hareket verdiğini tespit etmiştir.

BÖLÜM 3. GÜNEŞ İZLEME SİSTEMİ (GİS)

3.1. Güneş İzleyici Sistem

Bir güneş panelinin çıkış gücü, panele düşen ışığın miktarına bağlıdır [52,53]. Güneş panelleri hareket ettirilerek ve güneşe yönelmelerini sağlanarak elektrik üretimleri maksimuma getirilebilir [54]. Panelleri gelen güneş ışığına dik olarak yönelten elemanlara izleyici denir. Tek bir eksende örneğin doğu-batı ekseninde modülleri hareket ettirmekte kullanılan izleyicilerin, soğuk, rüzgarlı iklimlerde izleyicinin çalışması için yeterli ısıl enerji elde edilmesi gibi problemler oluşturmaktaydı. Daha sonraki uygulamalarda modülleri hareket ettirmek için elektrik şebekesine bağlı lineer aktuatorlar olabilir. İki aktuatordan biri modülleri doğudan batıya, diğeri ise kuzeyden güneye hareket ettirmekte kullanılır [54]. Her iki aktuator, izleyiciyi güneşe dik konumda sabit tutan bir mikro işlemci katıyla kontrol edilebilmektedir. Şekil 3.1 'de temel bir güneş izleyici sistem gösterimi verilmektedir.



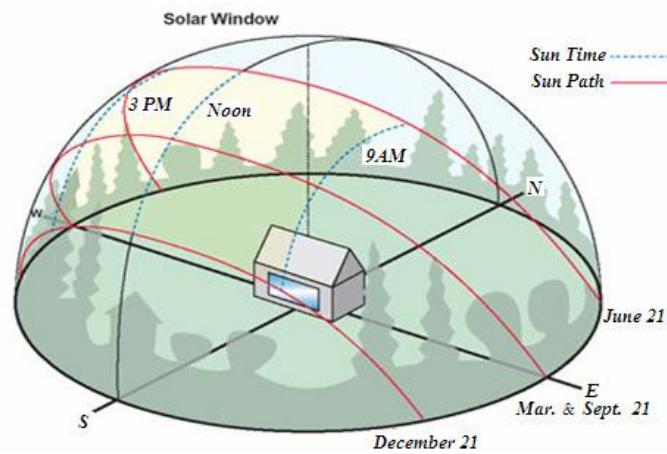
Şekil 3.1. Temel bir güneş izleyici sistem gösterimi [54]

3.2. Güneş Paneli Açıları

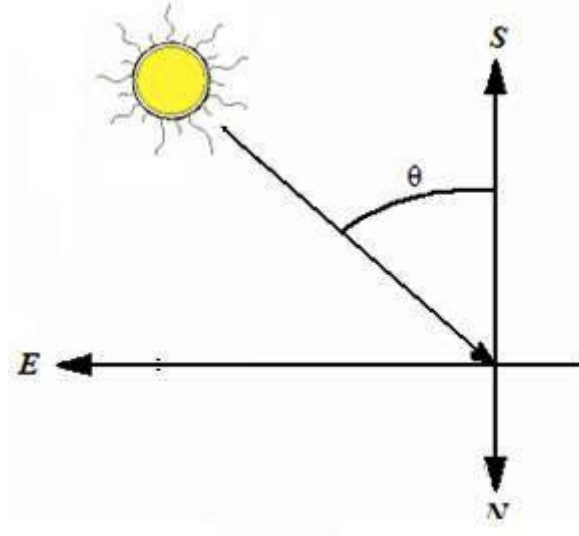
Güneş panelleri, güneş ışınlarını direkt olarak elektrik enerjisine dönüştürürler [55]. En yüksek verim, güneş ışınlarının panele dik olarak gelmesi durumunda elde edilir. Sabit durumdaki bir güneş paneline göre güneşin sürekli olarak hareket halinde olması, dünyanın hareketine bağlı olarak meydana gelen bu zahiri hareketin daha iyi anlaşılmasını gerektirmektedir. Güneşin günlük olarak doğudan batıya doğru yaptığı hareketin eksensel olarak değişimi Şekil 3.3' de görülmektedir.

Şekillerde gösterildiği gibi güneşin dünyaya ulaşan enerjisi, mevsimler ve gün içerisindeki zaman dilimlerine göre farklılık gösterir. Bu sebeple projeler tasarlanırken sistemin kurulacağı yerin yıllık ortalama meteorolojik bilgileri (Kapalı gün sayısı, bulutlu gün sayısı, donlu geçen gün sayısı) çok önem taşımaktadır. Bu veriler dikkate alınarak sistem tasarlanır [55].

Türkiye 42° - 36° kuzey enleminde yer almaktadır ve bu yüzden kışın ve yazın güneş ışığında ortalama 300° lik açı değişikliği olmaktadır. Güneş ışınları yazın 21 Haziranda en dik açı ile yere ulaşır, 21 Aralık ise açı azalarak değişim gösterir. Her iki tarihte gündüz, 12-13 saatleri esnasında güneş ışınlarına panel dik olacak şekilde ayarlanması gerekir. Aksi takdirde verim az olur. Karlı bölgelerde ise paneli kardan temizlemek gerekir. En az 6 ayda bir açı ayarı ve yüzey temizliği yapılmalıdır [55]. Güneşin doğudan batıya doğru yaptığı zahiri hareket Şekil 3.2' de görülmektedir.

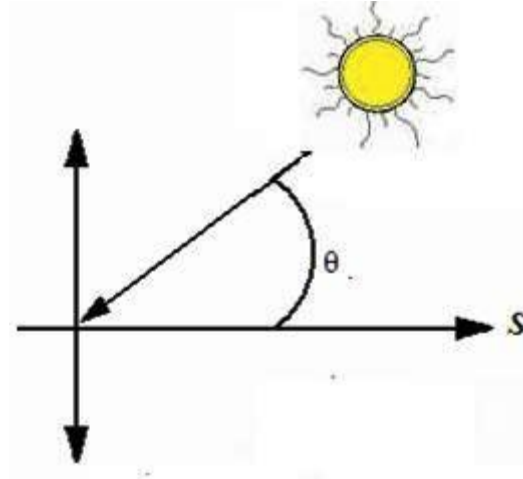


Şekil 3.2. Güneşin mevsimsel olarak değişimi [55]



Şekil 3.3. Güneşin doğudan batıya doğru yaptığı zahiri hareketi [55]

Ayrıca güneşin zahiri yüksekliğinin, kış mevsiminden yaz mevsimine farklılık gösterdiği dikkate alınmalıdır. Kuzeyden güneye doğru olan bu hareketin eksensel değişimi Şekil 3.4' de görülmektedir [55].



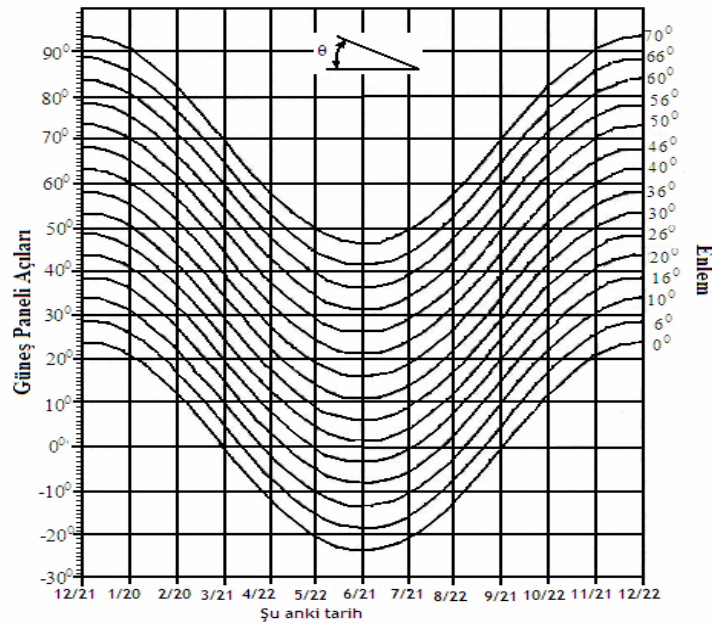
Şekil 3.4. Güneşin kuzeyden güneye doğru yaptığı zahiri hareketi [55]

Sabit montajlı güneş panellerinin ayarlanması, yıllık %10 - %40 arası daha fazla güç çıkışı alması anlamına gelir. Eğer panel izleyici adı verilen düzenek kullanılır. Bir güneş izleyici, güneşin günlük hareketini takip ederek panelde %25 - %35 arası daha fazla güç sağlayabilir [56]. Eğer güneşin mevsimlere bağlı olarak kuzeyden güneye

hareketi takip edilmek istenirse elle yapılacak bir ayarlama PV güç üretimini %10'a kadar artıracaktır [57]. Şekil 3.4' de, mevsimlere bağlı olarak kuzeyden güneye ayarlamının yapılışı için gerekli bilgi verilmektedir [54].

Şekil 3.5' de; panelin güney tarafına doğru tutulduğu kabul edilmektedir. Çizelgenin y eksenini güneş paneli yüzeyi ve zemin arasındaki açıyı göstermektedir. X ekseninde yılın günleri vardır. Her biri 5° 'lik aralıkta 15 eğri çizilmiştir. Çizelgede, önce bulunulan yere en yakın enleme bakılır. Daha sonra x ekseninde o anki tarihe karşılık gelen yere kadar eğri takip edilir. Y ekseninde karşılık gelen açı güneş panelinin yüzeyi ve zemin arasındaki açıyı göstermektedir. Bu açı, bu tarihte öğle vaktinde güneş ışınlarının güneş paneline dik olarak geleceği açıdır [54].

Panel açısının hesabı, güneşin gökyüzünde en yüksek konumda olduğu öğle vakti, panelin güneş ışınlarına dik konumda olacağı farz edilerek yapılır. O anda bulunulan yerden güneşe çizilecek bir doğru ile ufuk düzlemi arasındaki açı maksimumdur [54].



Şekil 3.5. Güneş paneli açısı tespit diyagramı [54]

Bu hesapta iki parametre kullanılmaktadır. Bunlar; bulunulan yerin enlemi ve güneşin enlemidir (declination). Güneş enlemi, güneşin öğle vakti direkt yukarıda

olduğu enlemdir. Bu, yaz gündönümündeki (21 Haziran) 23,5° kuzey enleminden, kış gündönümündeki (21 Aralık) 23,5° güney enlemine kadar değişir. Güneşin ekvator eksenini üzerinde olduğu (ekinoks) durumlarda (21 Mart ve 21 Eylül) güneş 0° enlemedir. Herhangi bir günde, güneşin üzerinde olduğu enlemin veya Şekil 3.5' de gösterildiği üzer açının hesabı için denklem kullanılabilir [54]

$$D = 12.5^\circ \sin[(T/365.25) \times 360^\circ] \quad (3.1)$$

T= Güneşlenme zamanı

3.3. Güneş İzleyici Türleri

Güneş izleyicileri; 3 ana başlıkta; sürüş tipi, kontrolü ve pozisyonuna göre toplanır. Güneş izleyicileri; güneş panellerinin yönlendirilmesi, güneş ışığını toplamak ya da güneşe doğru odaklanma amacındadır. Bunlar güneş ışığını farklı zaman dilimlerinde farklı açılarla takip eder. Güneş enerjisinden faydalanarak çalışmak için güneş ışığına yakın ya da tek bir noktaya endeksli çalışmak gerekir. Böylece güneş izleyicisi tek bir noktaya sabit kalmadan gerekli teçhizat sağlanarak fayda etkisi artırılır.

Maliyetine, karmaşıklığına ve performansına göre birçok güneş izleme sistemi vardır. En çok bilinen güneş izleme sistemi çoklu yansıtıcı yani sabit güneş izleme sistemidir. Çalışması diğerleriyle aynı sistematiğe olup ama güneşin sabit konumuna göre hareketli, taşınabilir bir aynayla yansıtır. Güneş izlemesine ihtiyaç duyulan durumlarda; güneşin değişken olduğu durumlarda; güneş izleme uygulamasının kesinlikle kullanılması gerekmektedir. Güneş izleyicinin gerekli hassasiyeti, uygulamaya bağlıdır.

Güneş hücre uygulamalarında; yoğun güneş ışığı olan reflektör veya objektif (veya yakın) odak noktasında olduğu güç kaynağı cihazın, hassasiyete yönelik çalışmasını sağlamak için iyi seviyede bilgi gerektirir. Genelde; yoğunlaştırıcı sistemlerde tamamen izleme olmasa bile, en azından tek eksenli izleme yapması gerekir, aksi takdirde verimi çok düşük olur. Çok büyük santral veya yüksek sıcaklık malzemeleri araştırma tesisleri gibi yerlerde geniş alana monte edilerek sistem çalıştırılır.

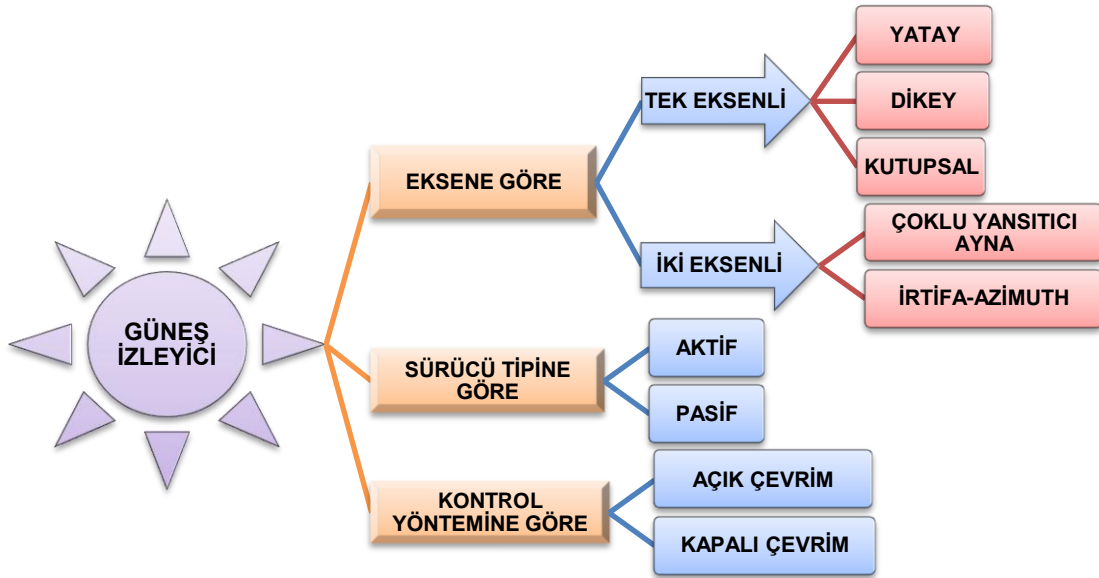
Sıcak iklimlerde de önemli olan bu tür sistemlerle amaç; üretilen enerji kapasitesinin miktarını artırmaktır. Ancak; izleme ve kritik sistem talep dönemlerinde üretimi (genellikle sonrası) olmayan izleyiciler ile fotovoltavikler karşılaştırıldığında, güneş izleme sistemleri daha ucuzdur. Bu, özellikle fotovoltaik sistemlerin yüksek verimlilik ve dolayısıyla pahalı paneller kullanılmasından kaynaklanır.

Güneş izleyicileri; en etkili mevsimsel konumunun ayarlanması ve daha iyi faaliyet gösterebilmesi için yılda birkaç kez denetimi ve yağlanması gerekir. Bu sistemlerin malzemesi; hammaddesinde hafif çelik kullanılması ve aşındırıcı endüstriyel yerler gibi ortamlarda, yüksek korozyona uğruyor mu, kritik değerlerde mi çalışıyor bunun araştırılması gerekir. Uzun yaz mevsimlerinde panellerin; periyodik olarak yıkanması ile kritik bölgelerde performansını artırılır.

Güneş izleyicileri; ayrıca aktif veya pasif ve tek eksenli veya iki eksenli olarak da çeşitlendirilebilir. Pasif izleyiciler; güneş ışığının ısıttığı havanın sıcaklığına duyarlı bir şekilde izlemeyi yapar. Aktif izleyiciler ise; elektrik veya hidrolik sürücülerin kontrolü ile dişli ya da aktuator kullanarak hareketi sağlanır.

Yukarıda anlatılan güneş izleme sistemlerinin kapsamlı analizi; Tablo 3.1' de ayrıntılı şekilde ele alınmıştır.

Tablo 3.1. Güneş izleyicisi sistemlerinin sınıflandırılması



3.4. Eksene Göre İzleyici Türleri

Tablo 3.1’ de gösterildiği üzere eksene göre sınıflandırma tek ve iki eksenli olarak ikiye ayrılır.

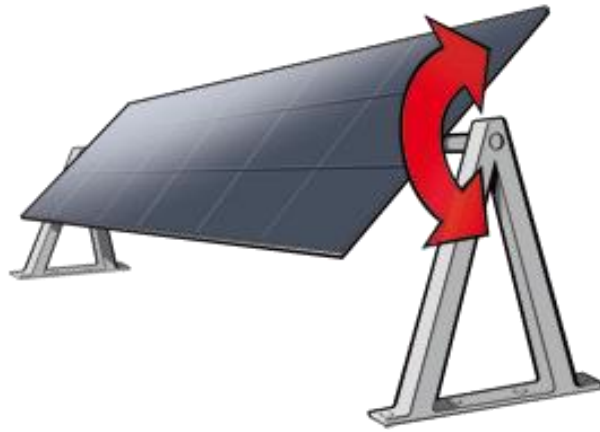
3.4.1. Tek eksenli izleyiciler

Tek eksen izleyiciler; genellikle maksimum güneş verimliliği için monte edilerek kullanılır. Tek eksen izleyicileri genellikle elle yükseklik (ekseni eğilme) ile düzenli aralıklarla yıl boyunca ayarlama yapılan uygulamalarda, yıl içinde düzenli olarak ayarlanan ikinci bir eksenle kullanılır. Sabit izleyiciler ile karşılaştırdığımızda; yılda düzenli bir kez ayarlanması verimi yıllık % 30 oranında ve ikinci bir eksenle bu artış % 10 oranında daha artış sağlar.

3.4.1.1. Yatay eksenli izleyiciler

Yatay eksenli izleyiciler; uzun yatay boru yataklar üzerinde çelik elektrik direği gibi direklere veya çerçeve üzerine monte edilerek desteklenebilir. Bir eksen üzerinde bir

kuzey-güney hattına sahiptir. Paneller, boru üzerine monte edilir ve kendi ekseninde gün boyunca güneşin hareketini izlemek için dönüşümlü olarak hareket eder. Bu da özellikle kış ortasında gün boyunca pek etkili değildir ve bu nedenle ekvatora doğru eğilimde yoktur (Tabii ekvatora yakın yerde değilse). Bahar ve yaz mevsiminde güneşin gökyüzündeki açısına bağlı olarak yüksek verimlilikte çalışır [Anonim].



Şekil 3.6. Yatay eksenli izleyiciler [59].

Yatay eksenli izleme sistemi; birçok üretici firma tek eksen üreticisine bağlı olarak, ihtiyaca göre ya pasif ya da aktif mekanizma odaklı üretim gerçekleştirilmektedir

Gökyüzüne ve güneşe bağlı olarak; bu cihazlar daha yüksek enlemlerde etkili olmaktadır. Bu tür sistemin avantajı; kuvvetlere karşı sağlam yapısının varlığı ve mekanizmanın basit oluşudur. Yatay panellerin kullanılabilirliği ile yoğun bulutlu ve gölgeli havalarda, kendi gölgesi olsa bile kolayca yönleri değiştirilebilir ve yatay olduğundan temizleme alanına da kolayca erişilebilir. Etkin mekanizmalar için, tek bir kumanda ve motor panelleri ile hareket daha iyi kontrol edilebilir.

3.4.1.2. Dikey eksenli izleyiciler

Bir eksen kurularak yalnızca dikey olarak tek bir eksen etrafında hareket sağlanır. Yükselme açıları sabit ayarlanabilir panellerin izleme açıları da paneller gibi kontrol edilebilir.



Şekil 3.7. Dikey eksenli izleyiciler [59].

Böyle izleyiciler ile sabit ya da mevsimsel olarak ayarlanabilen açısal değişimlerle yüksek serbestlik için sürekli güneşi takip etmek için değil, uzun yaz günlerinde daha uygundur. Bu method; Avustralya'daki silindirik evlerde uygulanıp kullanılmaktadır. 45° ' ye kadar dönüşü serbesttir. Güneş izlemesi; tek taraflı dikey paneller ile uygulanabilir.

3.4.1.3. Kutupsal izleyiciler

Kutup izleyicileri; kabaca kuzey ve güney kutup çevresindeki dünyanın dönme eksenine paralel olarak bir eksen hizalanmasını yapar bu yüzden de adına kutupsal (teleskopik ekvatora monteli) denilir. Tek eksenle izlemesi; genellikle ızgaraya bağlanmış fotovoltaik paneller ile özellikle talebin yoğun olduğu yaz dönemlerinde öğle sonuna kadar güçlü bir şekilde çalışarak enerji üretimi sağlanır. Sabit bir sistem kullanıldığında nispeten yıllık daha düşük performansla üretimi az olacaktır. Kutupsal izleme sisteminde; kutup ekseninin kuzeye doğru açısı ile dikey konum arasındaki enlemsel açı da eşit olmalıdır [Anonim]. Tek eksenle izleme ile basit kutup izleme sistemlerinde ikinci bir eksen boyunca bir düzeltme ile ayarlanabildiği açıya sapma açısı denilir. Güneşin en yüksek olduğu yaz aylarında panelin güneşi en iyi açıyla izlemesi bu açıyla sağlanır. Kışın ise bu yüzeyler azalır. Bunun kontrolünü manüel ya da otomatik olarak kutup izleme cihazı ile sağlanabilir.

Bütün yıl boyunca bu sapma açısı ayarlanarak, normal olarak sıfır dereceye ayarlanırsa güneşin orta noktasına geldiği zamana kutup eksenini izlemeye dik olarak ayarlanmış olur. Yıl içerisinde mevsimsel olarak güneşin yön değişimleriyle kuzeye ya da güneye doğru güneş yönünün değişmesiyle sürekli ya da ara sıra sapma açısı ayarlanabilir.

Manüel yöntemle sapma açısının ayarlanacağı zaman, bunun yılda 2 kez yapılması gerekir. En iyi pozisyonu kışın için sonbahar mevsiminde kurulur, yaz ayı içinde ilkbaharda ikinci bir ayar kullanılır. Bahar döneminde güneşin batışı sırasındaki eşitlikler 0 kabul edilir. Yaz dönemlerinde bu $22,5^\circ$ olması gerekir. Geri dönüşümü mevsimsel olarak 0° ve kış mevsimlerinde $-22,5^\circ$ olarak saptanarak ayarlanır. Yaz aylarının yoğun olduğu durumlarda makul olarak 15° ya da 20° sapma açısı şeklinde seçilebilir. Sadece bir sürücü mekanizması ile günlük kontrollü çalışması sağlanabilir. Bu takipçileri de bir "tek eksenli Listesi" olarak anılacaktır olabilir. Bu sistemin maliyeti azaltır ve pasif ve kronolojik izleme gibi basit izleme yöntemleri anlatılacaktır.

3.4.2. İki eksenli izleyiciler

Bu sistem güneşi iki eksenle izler ve genellikle; parabolik noktalı çanak odaklı stirling sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Tek eksenli mil çerçevesine dikey ya da yatay olarak sınır noktasına kadar salınım yapacak şekilde sistemin montajı etkin bir şekilde yapılır.



Şekil 3.8. İki eksenli izleyiciler [59]

İkinci eksen; dikey olarak yükselen mille çembersel platform üzerine montelidir. İki eksen birleşerek yarı küreye yukarı doğru birleştirilerek yapılır. Bu tür sistemlerde güneşin izlenmesi bilgisayar programı ile güneşin anlık durumu yüklenerek ya da izlemek için motor sürücüsüne bağlı sensör kullanılarak paneller güneş yönünde hareket ederek izlemesi sağlanır.

Bu tür sistemde parabolik çanak algılayıcıları yönlendirmek için elektriğe ihtiyaç vardır ve bu da sisteme bağlı stirling motorlar tarafından sağlanır

3.4.2.1. İrtifa – azimuth türü izleyiciler

Bu türde olan güneş izleyiciler; iki eksenlidir, ağırlığı destekler ve iki yönde belirli bir hedefe hareket sağlamak için montajlaşmıştır. Dikey bir eksen destekleyene altitude diye isimlendirilir. Bu sistemlerde; teleskop kullanılmasıyla; teleskopun aşağı yukarı hareket etmesine izin verir. Diğer eksen ise yatay bu da azimuth diye adlandırılır ve teleskopun bir çember etrafında yatay olarak yere paralel hareket etmesi sağlanır [Anonim]. Çemberin çevresinde salınım hareketi yapan ve bu amaç için kaldırılan teleskop için kolay bir durumdur. Ancak, dünya dönüyorken bir nesne izleme daha karmaşık. Teleskopların her yönde izleme yapabilmesi için; bunun kontrolünü ve ayarlanmasını sağlayan bilgisayar ve programa ihtiyacı vardır.

3.4.2.2. Çoklu aynalı yansıtıcı izleyiciler

Yeni bir gelişmedir, bu aygıtın kullandığı birden çok yatay düzlemde sistemi konsantre eden ve güneş enerjisi gerektiren yüksek sıcaklık fotovoltaiik ile güneş ışığını yukarıya doğru yansıtacak şekilde yansıtır [Anonim].



Şekil 3.9. Çoklu yansıtıcı ayna [Anonim]

Yüksek sıcaklıktaki fotovoltaikler ya da yoğun güneş enerjisinin gerektiği durumlarda; güneş ışığının yansıtılması için yatay düzleme çoklu aynalar yerleştirilerek düzenlenir ve son zamanlarda kullanımı yaygınlaşmaktadır.

Bu yöntem ile önemli yükler azaltılıp, rüzgar yüklerine de maruz kalması önlenmiştir. Bu nedenle yapısal sorunlar büyük ölçüde azaltılmıştır. Patentli mekanizmanın çalışmasında; yalnızca iki sürücü sistemli mekanizma gereklidir. çünkü Bu tür sistemler özellikle düz yüzeyli çatılarda ve düşük enleme sahip yerlerde kullanılır.

3.5. Sürücü Tipine Göre İzleyici Türleri

3.5.1. Aktif izleyiciler

Bu izleyici, sensör ve hareket enerji kaynağı olarak iki adet birbirine ters, paralel bağlanmış fotovoltaik panel kullanarak izleyici motorunu hareket ettirir. Bu izleyici ek bir kontrol devresine gereksinim duymaz. Bu basitçe kontrol edilen izleyicinin yanında sensör(ikili, dörtlü, piramit sensörlü) kullanarak güneşi tek eksenle takip eden sistemler de mevcuttur.

Dezavantaj olarak, hareket etmek için açık çevrimli izleyicilerde olduğu gibi bataryaya ihtiyaç duyabilirler ve hareket etmek için enerji harcarlar. Bu enerji, üretilen enerjinin % 2 si kadardır. Kontrol devreleri yıldırımdan etkilenebilir. Ayrıca da sistem olarak daha pahalıdır (300 \$/m²) [Anonim]

3.5.2. Pasif izleyiciler

Pasif izleyicilerde hareket elamanı olarak; düşük kaynama noktalı freon gazı ya da şekil hafızalı malzemeler kullanılır. Freon kullanılan sistemlerde güneş tarafından ısıtılan basınçlı gaz, izleyicinin iki tarafı arasında hareket ederek güneş ışınlarının dik geldiği noktada izleyiciye sahiptir.

Şekil hafızalı malzeme kullanılan izleyicilerde ise; güneş ışınları hafızalı malzemenin üzerine bir mercek yardımıyla odaklanır. Odaklanan ışık ile ısınan izleyici hareket metalı, mekanizmanın çalışmasını hareket etmesi sağlanır. İzleme hassasiyeti düşük (5°-10°) olduğundan pasif izleyiciler; parabolik kolektör ve konsatratör gibi uygulamalarda kullanılamaz. Soğuk iklimlerde ve soğuk havalarda kararlı çalışmazlar. Gün batımı pozisyonundan, gün doğumu pozisyonuna gelmeleri normal sıcak bir günde bile yaklaşık 1 saat sürer. Nem, sıcaklık ve ışınım değerlerinin, 19 Şubat 2008 tarihinde Pamukkale Üniversitesi Temiz Enerji Evi projesinde kurulmuş olan iki adet Zomeworks firmasının freon gazlı pasif izleyicilerin güneşe doğru dönmeleri, yaklaşık 5 saat sürmüştür. Ayrıca freon gazı çevre açısından zararlıdır.

Dezavantajlarına karşılık ucuz ($95 \text{ \$/m}^2$ şekil hafızalı $150 \text{ \$/m}^2$ freon gazlı, basit oluşu ve çalışırken enerjiye gereksinim duymaması, PV uygulamaları için bu izleyicileri cazip kılmaktadır [Anonim].

3.6. Kontrol Yöntemine Göre İzleyici Türleri

- Yerçekimini kullanan izleyiciler
- Açık Döngü İzleyiciler
- Kapalı Döngü İzleyiciler

3.6.1. Yerçekimini kullanarak çalışan güneş izleme sistemleri

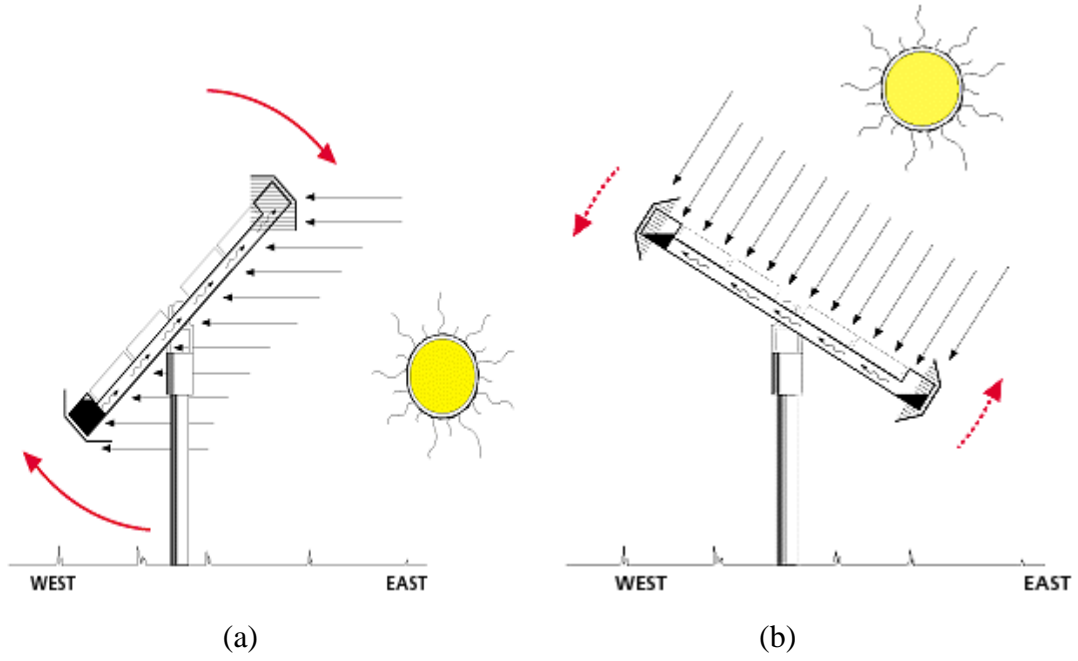
Bu sistemlerde panellerin sağ ve sol kenarlarına yerleştirilmiş ve içerisinde özel bir sıvı olan iki adet tüp bulunmaktadır



Şekil 3.10. Yerçekimi özelliğine göre çalışan örnek sistemler [Anonim]

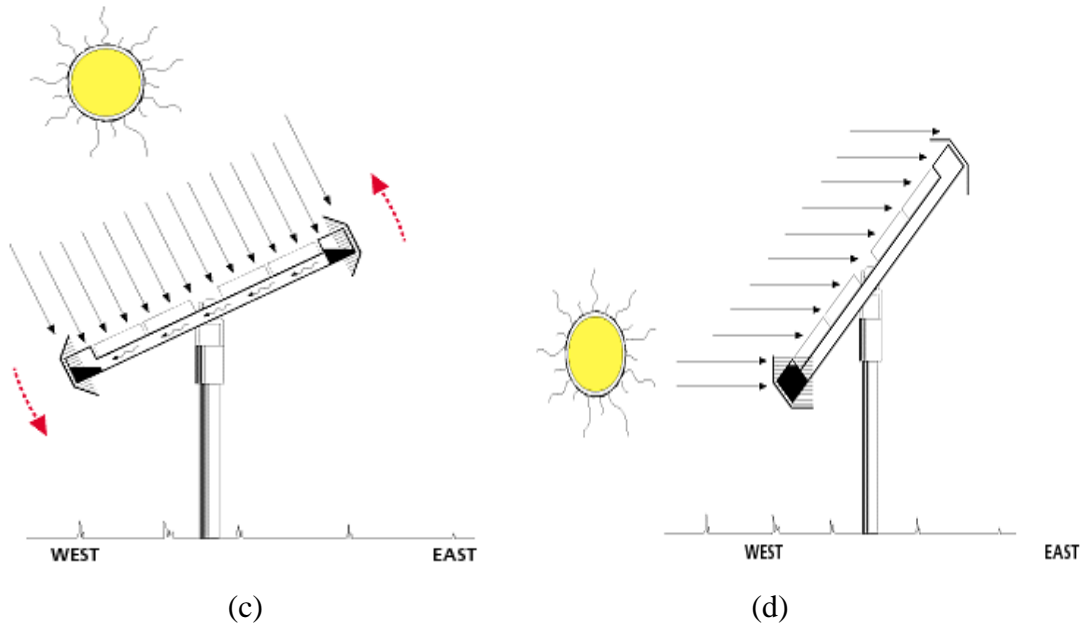
Bu tüpler birbiriyle bağlantılı olup birbirleri arasında sıvı geçişi olmaktadır. Tüplerin içerisinde bulunan sıvı ısıya karşı hassas ve genişleme katsayısı yüksektir. Paneller öncelikle ağırlık merkezine göre dengeli bir şekilde yerleştirilmektedir. Daha sonra bu sıvı tüplerinden daha fazla güneş ısınına maruz kalan taraftaki sıvı genişerek karşı tüpe doğru akmakta ve böylece panelin ağırlık merkezi kaydırıldığı için panel,

güneşe doğru hareket etmektedir. güneş ısınları panel yüzeyine dik gelinceye kadar panel hareketine devam etmektedir [Anonim].



Şekil 3.11a. Panel, gecedan batıya bakar şekilde kalmış halde (sabah güneş alttaki tüpe daha fazla güneş ısını gelmekte ve sıvı yukarı kaba doğru genişmekte).

b. Güneş ısınları her iki tüpe eşit miktarda gelinceye kadar hareketi

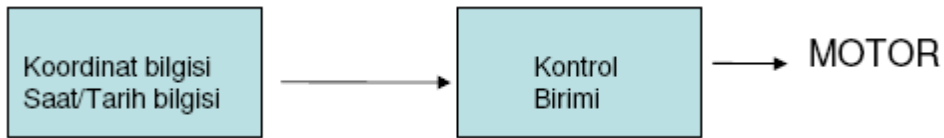


Şekil 3.11c. Güneş hareket ettikçe belli bir açıyla panelin hareketi

d. Panelin aksam batıya dönük hale

3.6.2. Açık döngü sistemler

Aslında dünyanın herhangi bir noktası için güneşin yılın herhangi bir günü ve saatinde hangi koordinatlarda olacağı bellidir. Bu düşünceden hareketle güneşin yerini tespit etmek amacıyla sensör kullanılmamasına gerek duymadan koordinat bilgilerine göre güneş takibi yapan mikro işlemci kontrollü sistemler bu gruba girmektedir. Şekil 3.12 'de açık döngü sistemlerinin çalışmasında kullanılan blok diyagramı gösterilmektedir [60].



Şekil 3.12. Açık döngü sistemlerin blok diyagramı [60]

3.6.3. Kapalı döngü sistemler

Çeşitli sensörler vasıtasıyla güneşin yerini tespit ederek panellerin güneşe doğru yönelmesini sağlayan sistemlerdir. Bu sistemlerde geri besleme olduğu için kapalı döngü olarak adlandırılmışlardır

3.7. Eksen ve Kontrol Yöntemine Göre Sınıflandırma

- Tek Eksenli Açık Çevrimli İzleyiciler
- Tek Eksenli Kapalı Çevrimli İzleyiciler
- İki Eksenli Açık Çevrimli İzleyiciler
- İki Eksenli Kapalı Çevrimli İzleyiciler

3.7.1. Tek eksenli açık çevrimli izleyiciler

Bu sınıfa giren izleyicilerde hareket yönü tek eksenlidir ve hareket kontrol bilgisi; kontrol sisteminin içine önceden yazılmış bir akış diyagramına ya da zamanlayıcıya göredir. Yani izleyici bir kere kurulduktan sonra; güneş olsa da olmasa da her gün belirli saat aralığında belli bir açıda dönüş yapar. Bu işlem sadece zaman ayarlanarak

yapılabileceği gibi; konum, zaman ve tarih bilgilerinin değerlendirilmesi ile de gerçekleştirilebilir [Anonim.] Piyasadaki ticari ürünler; genellikle belli bir açıda (120° - 140°) dönüşe izin verir. Kutupsal izleyicilerin yere göre kaldırma açıları, o yerin enlem açısına göredir.

İlkbahar – yaz açısı: enlem açısı: -15°

Sonbahar – kış açısı: enlem açısı: $+15^{\circ}$

Yatay izleyiciler; güneşin öğle vakti yüksek olduğu ekvatora yakın tropik bölgelerde daha kullanışlıdır. Bu izleyiciler genellikle parabolik kolektörlerde kullanılırken, tek bir hareket elemanı ile birden çok dizi şeklindeki izleyici düzeneklerinin olduğu çalışmalarda da çok kullanışlıdır. Enlem açısı yüksek (45° den daha büyük, güneşin fazla yükselmediği ve yaz günlerinin uzun olduğu) yerleşim bölgelerine dikey olarak yerleştirilmiş ve dikey eksen etrafında hareket eden dikey izleyiciler kullanılabilir.

3.7.2. Tek eksenli kapalı çevrimli izleyiciler

Bu izleyiciler de tek eksenli açık çevrimli izleyiciler gibi dönüş açısı sınırlamasına sahiptir ve aynı şekilde kutupsal ya da yatay olarak yerleştirilir. Dönme hareketini gerçekleştiren kontrol sistemi ve mekanizmasına göre aktif veya pasif tek eksenli izleyiciler olmak üzere ikiye ayrılır.

3.7.3. İki eksenli açık çevrimli izleyiciler

Bu izleyiciler; iki eksenle hareket edeceği için doğu- batı ve kuzey-güney ekseninde güneşi net bir açıyla izler. Açık çevrim kontrollü izleyiciler, güneşin pozisyonunu algılayacak herhangi bir algılayıcı kullanmaz. Bu izleyicilerin kontrol ünitesi, hesaplama yöntemi ya da daha önce yapılmış konum bilgi tablolarından faydalanarak güneşin konumunu bulur. Hesaplama yönteminde ilk olarak tarih, saat, enlem, boylam bilgileri kontrol sistemine girilir. Girilen bu veriler doğrultusunda kontrol sistemine girilir. Girilen bu veriler doğrultusunda kontrol sistemi anlık olarak güneşin o anki konumunu hesaplar. Bu hesaplama işlemi periyodik aralıklarla sürekli yapılır. Konum veri tablosu kullanan kontrol sistemler ise, tarih ve saate göre

güneşin hangi konumda olduğunu tablodan aldığı veriye göre bulur. Her iki sistemde saat ve tarih işlevi gören işlemci ya da entegre (Real Time Clock IC) kullanmak zorundadır [60].

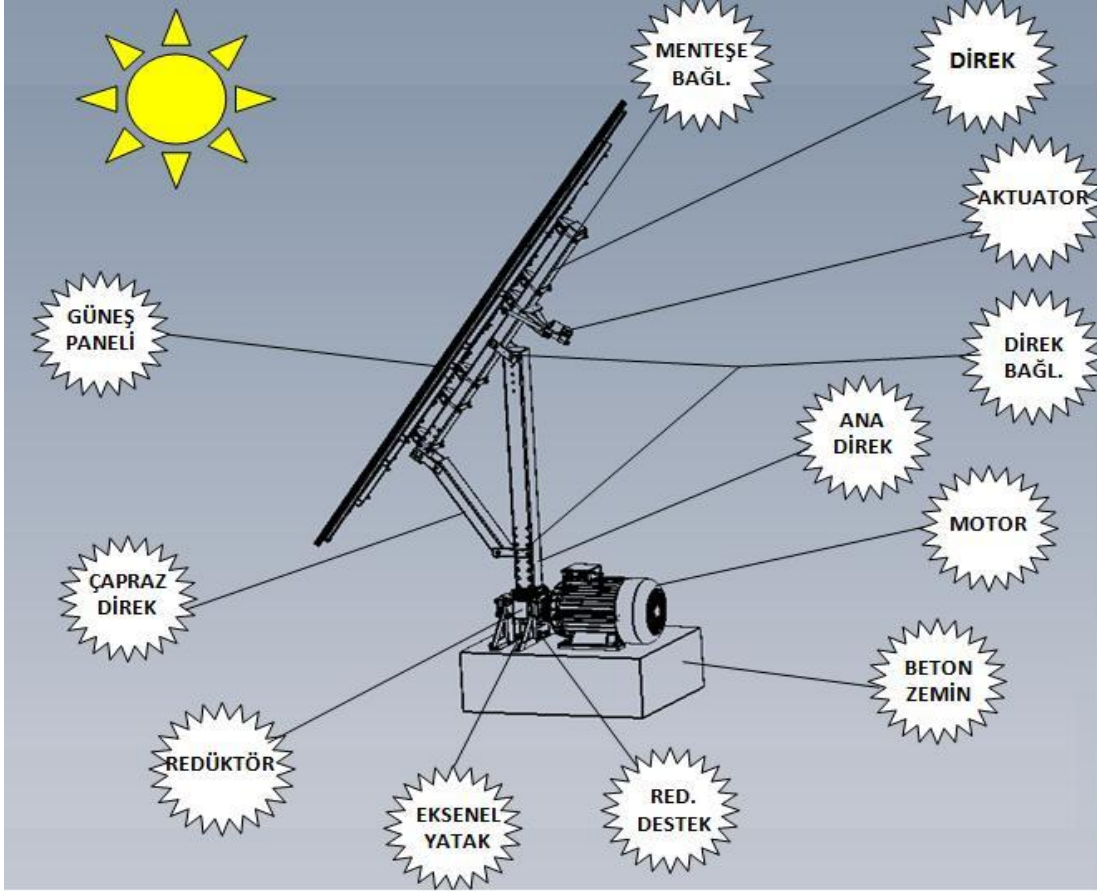
Kapalı ve açık çevrimli sistemlerde, motorların konum bilgisi izleyici hareketi için önemlidir. En basit konum bilgisi yöntemi olarak sınır anahtarları kullanılır. İzleyici motorlarının konum bilgisi açık çevrim ve kapalı çevrim olarak sınıflandırılabilir. Eğer konum algılayan algılayıcılar (sensör, potansiyometre, enkoder vs.) kullanılırsa kapalı çevrim, kullanılmaz ise örneğin; adım motorunun adım bilgisi açık çevrim olarak adlandırılır [60].

3.7.4. İki eksenli kapalı çevrimli izleyiciler

Tek eksenli kapalı çevrimli izleyicilerde olduğu gibi, çift eksenli kapalı çevrimli izleyicilerde güneş konumunu bulmak için konum algılayıcı(foto-sensör, küçük güneş paneli vs.) kullanır. Eğer algılayıcılardan gelen bilgiler doğru ise, bu sistemler çok kararlı çalışır. Bu izleyicilerin çalışma kararlılığı tamamen algılayıcılara ve kontrol sistemine bağlıdır. Örneğin; sadece foto-sensör ve analog karşılaştırıcı devresiyle yapılan bir izleyici, gece sensörlerinin üzerine gelen araba far ışığına yönelebilir. Ya da uygun yazılım yapılamaz ise, parçalı bulutlu bir havada izleyici sürekli hareket ederek güneşi bulmaya çalışacaktır. Bu da aşırı enerji kaybına yol açar.

BÖLÜM 4. GÜNEŞ İZLEME SİSTEMİ (GİS) TASARIMI

4.1. Giriş



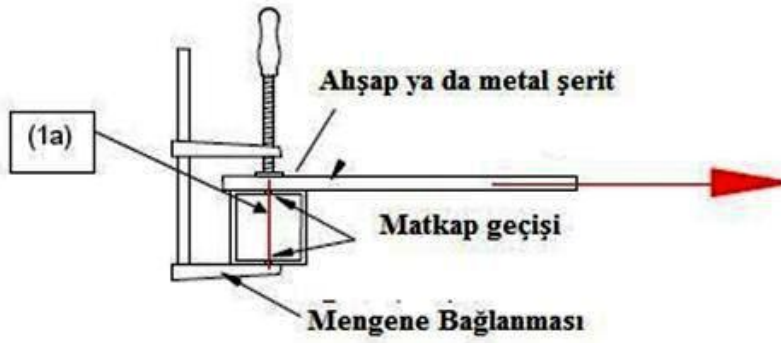
Şekil 4.1. Tasarlanan güneş izleme sistemi

Bu bölümde bir önceki bölümde anlatılan iki eksenli güneş izleme sisteminin tasarımı ele alınmıştır. İki eksenli güneş izleme sisteminin seçim kriterleri genel olarak incelenmiş olup, enerji verimliliğini maksimum seviyede artırımı için; iki eksenli izleme sistemi tasarımı ayrıntılı biçimde ele alınarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.1' de gösterildiği gibi güneş izleme sistemi tasarlanmıştır.

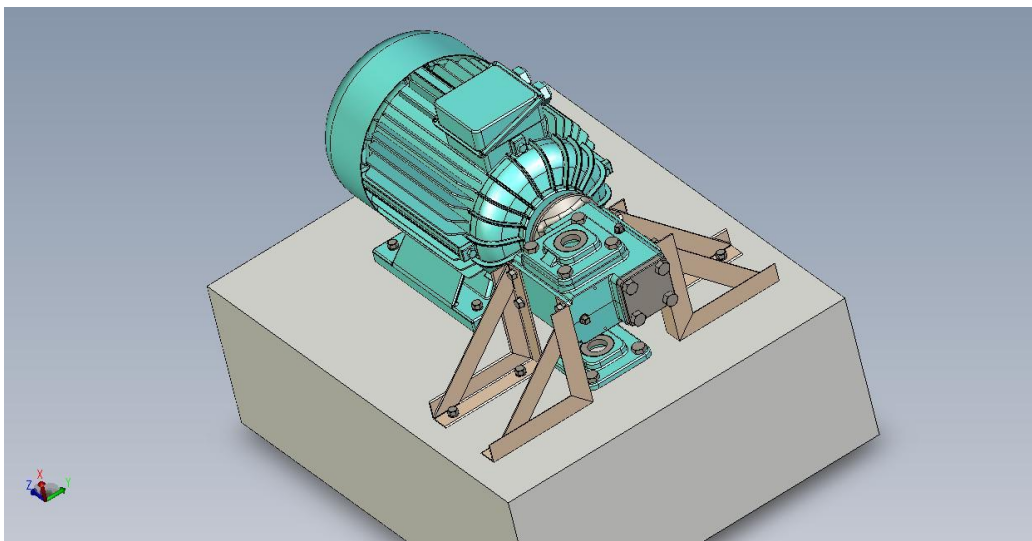
4.2. Temel

Sistemin kurulma aşamasında öncelikle uygun bir zemin gerekir. Sistemin doğru bir şekilde rahatça çalışabilmesi için doğru şekilde sağlamlaştırılmış bir temele(zemine) inşa edilmesine ihtiyaç vardır. Ana düzenek direği; titiz ve dikkatli bir şekilde doğu-batı yönü kesişmesi ayarlanarak yerleştirilir, bu tür yerleştirilmenin sebebi; güneşin doğu batı ekseninde dünyaya açısının en yüksek konumda olmasındandır. Daha sonra zemine redüktör, aksenal yatak ve motor yerleştirilerek bağlantısı sağlanır.

Zemin oluşturulması ve montajı; Şekil 4.2 ve Şekil 4.3' deki gibi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.2 Zemin yapılanması

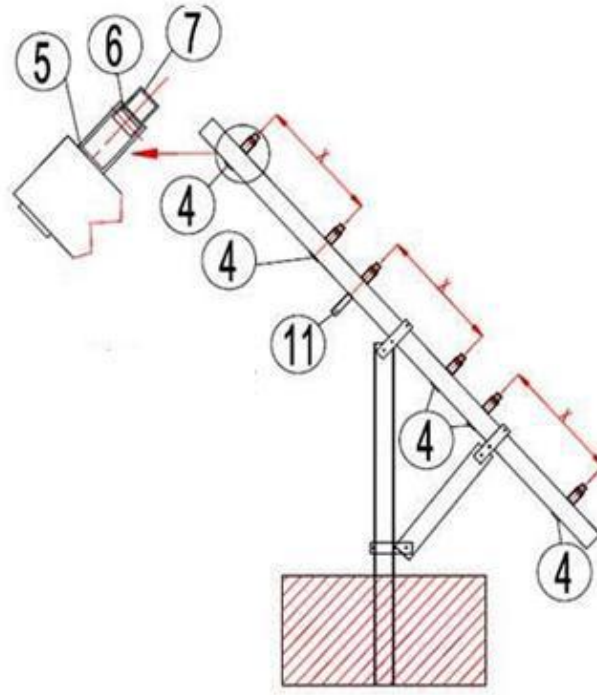


Şekil 4.3. Zemin montaj resmi

4.3. Teknik Aksam

4.3.1. Sistem teknik parçaları

- 1a: Çerçeve Direği – Kare= 50x150x6 (1 adet)
 - 1b: Direk – Dikdörtgen= 150x100x6
 - 2: Çapraz Direk – Dikdörtgen= 150x100x6, 1,0 m uzunluğunda (1 adet)
 - 7: Merkez Rail – Kare= 50x50x5, 3,40 m uzunluğunda (4/6 adet)
 - 8: Bağlantı Borusu – Kare= 40x40x4
 - 3: Direk Bağlantısı - Açılı Çelik Bağlantı= 63x63x8, 280 mm uzunluğunda (4 adet)
 - 3a: Çapraz Direk Bağlantısı - Açılı Çelik Bağlantı= 63x63x8, 330 mm uzunluğunda (2 adet)
 - 4: Mentеше Bağlantısı - Açılı Çelik Bağlantı= 63x63x8, 213 mm uzunluğunda (5 adet)
 - 5: Mentеше Alt Bağlantısı - Açılı Kaynak ile Birleştirme= 200x70x120 mm
 - 6: Mentеше Üst Bağlantısı - Açılı Kaynak ile Birleştirme= 200x70x120 mm (6 adet)
 - 9: Mengene Bağlantısı - Açılı Çelik Bağlantı= 50x50x5, 70mm uzunluğunda (11 adet)
 - 10: Üst Motor Bağlantısı - Açılı Çelik Bağlantı= 50x50x5, 70mm uzunluğunda (1 adet)
 - 11: Alt Motor Bağlantısı - Açılı Çelik Bağlantı= 276x276, 63x63mm (1 adet)
 - 12: Modüle Takılı Mengene - Paslanmaz Çelik= 50x50x1,5mm
 - 13: Lineer Motor Aktuator
 - 14: Kontrol Bağlantısı (2 adet)
 - 17: Temel Kablo - 16 x 320mm (1 adet)
- Standart elemanlar 1SET (cıvata, somun, rondela)



Şekil 4.4 Sistem ana elemanları montaj resmi

4.3.2. Sistem teknik özelliği

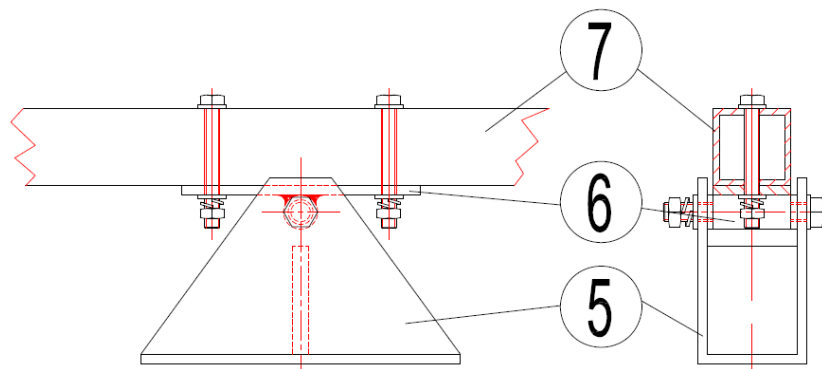
- Direk Yüksekliği / Flanş: 4750 mm
- Direk Çapı: Yaklaşık: 220 mm
- Modül Yüzey Genişliği: max. 3.200 mm
- Modül Yüzey Yüksekliği: max. 4.000 mm
- Toplam Modül Alanı: 12,8 m²
- Modülü paslanmaz çelik saçlar ile sabitleştirme
- Sıcak çinko kaplı çelik çerçeve
- Çalışma Voltajı(Gerilimi): 24 V DC
- Güç Tüketimi: 5 – 8 Wh 24 saate Direnç<1Ma
- Azimuth Açısı: > 270 °
- Yükseltme(Kaldırma) Açısı: 22° ile 85°
- Taşınan Yük: max. 250 kg
- Sistem Ağırlığı: Yaklaşık 250 kg
- Düşük Enerji Tüketimi: 1.25 kWh / yıllık
- Günlük güneşe bağlı olarak adım adım izleme

- Sürekli (Gün Boyunca)
- Yüksek rüzgar hızı için uygundur: statığı Almanya ve Avrupa standartlarına göre
- Bakımı kolay
- Hata eğilimli ışık sensörleri yoktur
- Beton temelle güçlendirilmiş
- Çerçeve ve sabitleştirme elemanları çinko kaplamalı çeliktir.
- Modül sabitleştirilmesinde paslanmaz çelik saçlar kullanılması
- Plastik gövde üzerine batarya

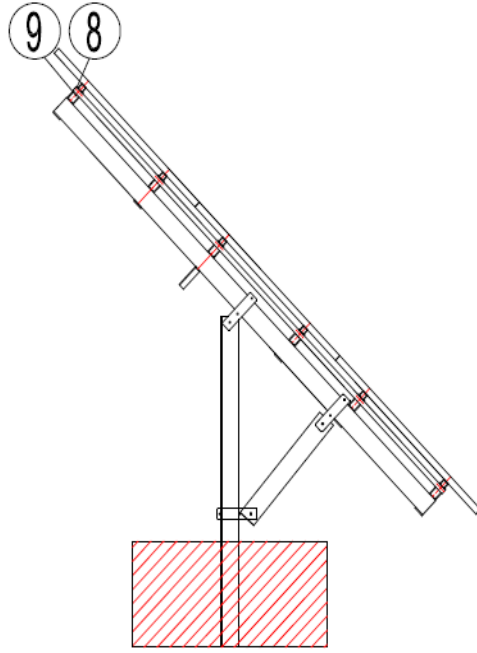
4.3.3. Montaj için gerekli araçlar

- 2x çember ya da 24 mm somun anahtarı ile son yüzey açılması
- 2x çember ya da 10/13 mm somun anahtarı ile son yüzey açılması
- 2x çember ya da 14/15 mm somun anahtarı ile son yüzey açılması
- Yatay yüzey
- Kauçuk ya da plastik çekiç
- Bağlayıcı mengene
- İngiliz Anahtarı

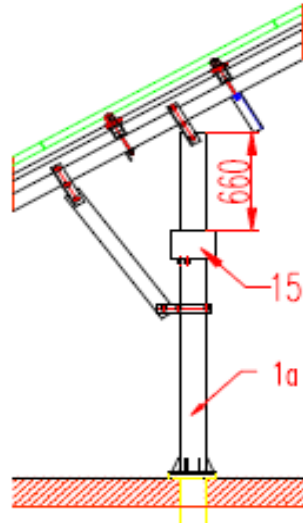
4.3.4. Sistem elemanları montajı



Şekil 4.5. Sistem elemanları bağlantısı



Şekil 4.6. Sistemde kolektör bağlantısı



Şekil 4.7 Sistem genel görünüşü

4.3.5. İzleyici sistem civatası için nominal torklar

Tablo 4.1 Nominal Tork

| Vida boyutu | Sertlik | Tork[Nm] |
|-------------|--------------------|---------------|
| M16 | 8.8 (Steel) | 230 |
| M12 | 8.8 (Steel) | 93 |
| M10 | 8.8 (Steel) | 54 |
| M8 | 8.8 (Steel) | 27,3 |
| M6 | Stainless Steel A2 | 5,9-max. 11,3 |

İzleyici sistemin parçaları ve tüm bağlantı elemanları; çelik, çinko kaplama güçlendirilmiş. İzleme modülü için standart bağlantı vidaları; M6 yüksek dereceli çelik kullanılmalıdır [59].

4.4. Aktuatör ve Seçimi

Sistemin çalışmasında hareket mekanizması için, birçok uygulamalarda ve yaygın olarak güneş izleme ünitesi gibi hareket mekanizmasına sahip tüm mekanizmalarda rahatça kullanılabilen ve basit yapıda olan aktuatorlar tercih edilmiştir. İzleme sistemi için ideal olan lineer aktuator LNAK firmasının geliştirdiği ve birçok güneş izleme sisteminde kullanılan Şekil 4.8' deki LA 30 tipinde aktuatör seçilmiştir.



Şekil 4.8. LA 30 tipi lineer aktuatör [59]

Aktuatör seçiminde; izleme sisteminin hareket algoritması ve çalışma değerleri baz alınmıştır. Sistemin ağırlığı, strok uzunluğu ve takip hızı gibi kriterler sistem özelliklerine uygun olarak LA 30 tipli aktuatör seçilmiştir.

4.4.1. Aktuatör teknik özellikleri

- 24V DC sürekli mıknatıslı motor
- Max. 6000 N(600kg) kaldırma kapasitesi
- Paslanmaz çelik pistonlar
- Şık ve küçük tasarım ve yük boyutlarıyla
- Koruma sınıfı: IP51 / IP66
(IP51= 5 rakamı, katı cisimlere karşı olan korumayı
1 rakamı, Dikey damlayan suya karşı koruma(Örnek: Buğulanma)
(IP66= 6 rakamı, Toza karşı tam korumalı
6 rakamı, Basınçlı su jetine karşı koruma)
- Renk: Siyah
- Max. Hız: 65 mm/s (LA30 S-motor ile 12 mm vida adımı)
- Düşük gürültü seviyesi
- Tüm taşıyıcı parçalar için çelik konstrüksiyon

4.4.2. Aktuatör opsiyonları

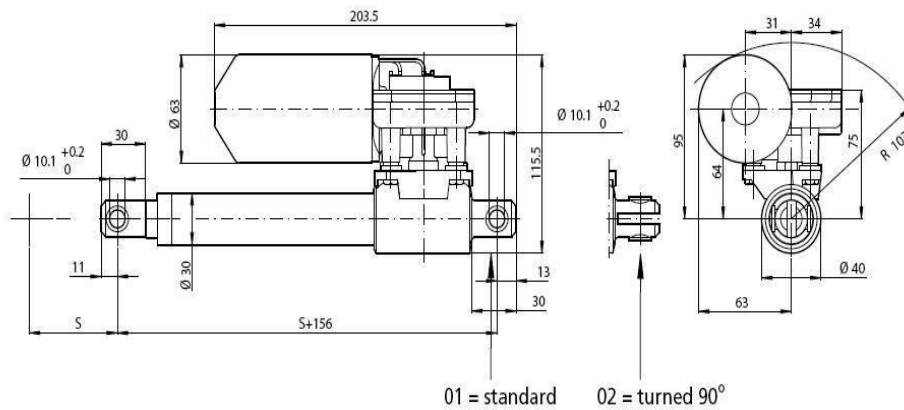
- Ekstra güçlü motor(S- motoru)
- Sistem aktuatörü için L- motoru
- Çift taraflı frenleme- kendi kendine kilitleme artışı (LA30 ile 6 ya da 9 mm vida adımı + LA30 S-motor ile 6 ya da 9 mm vida adımı ve LA30L) ve tüm bu türlerinde kendinde olan kilitleme sağlar.
- Aktuatörün konumlandırılması için potansiyometre(0-1 K ohm, 0-5 K ohm ya da 0-10 K ohm)
- Aktuatörün konumlandırılması için enkoder, 10 pulse pr. mil devri(dönmesi)
- Reed anahtarı (sadece LA30 L-motor versiyonları için), 8 pulse pr. mil devri(dönmesi)

- Mekanik kama, Mekanik ve kama kullanarak, güvenlik özelliği bu aktuator ile yalnız sıkıştırma
- Emniyet somunu (yalnız sıkıştırmada)
- Bağlantı Uç(Son) kapağı (yalnız LA30 L-motor versiyonunda)
- Bilyeli Vida (K) (yalnız LA30 L-motor versiyonunda)
- Bilyeli vida ve emniyet somunu (KAS) (yalnız LA30 L-motor versiyonunda)
- Bilyeli vida, emniyet somunu ve kama (KSM)(yalnız LA30versiyonunda)

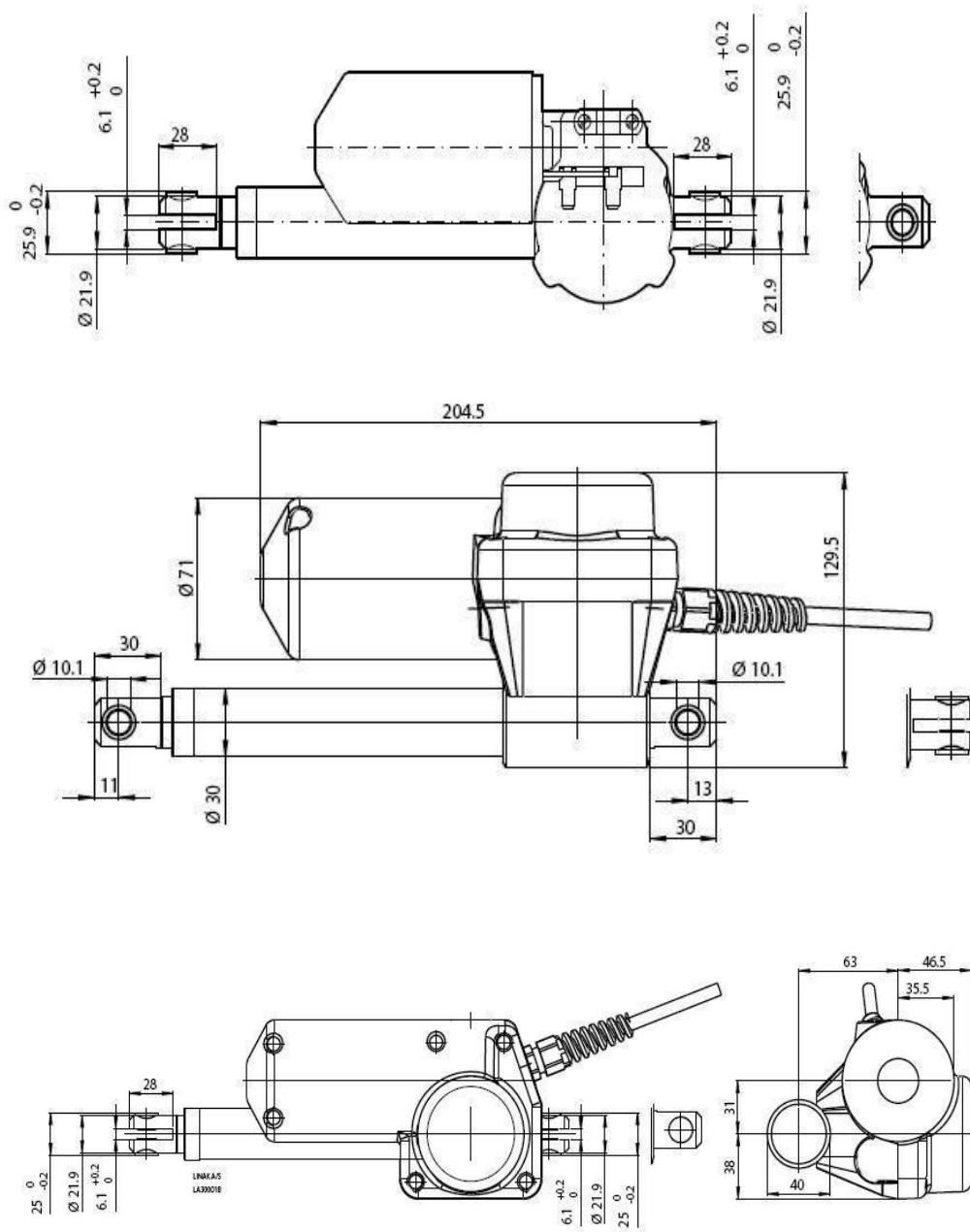
4.4.3. Aktuatör kullanım parametreleri

- Kullanım Oranı: Yüksek Voltajda Kalma Süresi/Periyot
: Sürekli kullanımda 10% ya da 6 dk/saat
- Çalışma sıcaklığı: +5° ile +40°C
- Depolama Sıcaklığı: -40°ile +70°C
- Kontrol mekanizması ile uygunluk: CB8, CB12, CB14
- CB8; Güç besleme Kablosu- 8pin kabloyu= 4+4 pime dönüştürme
- CB12; Kontrol Kutusu
- CB14; Kontrol Kutusu

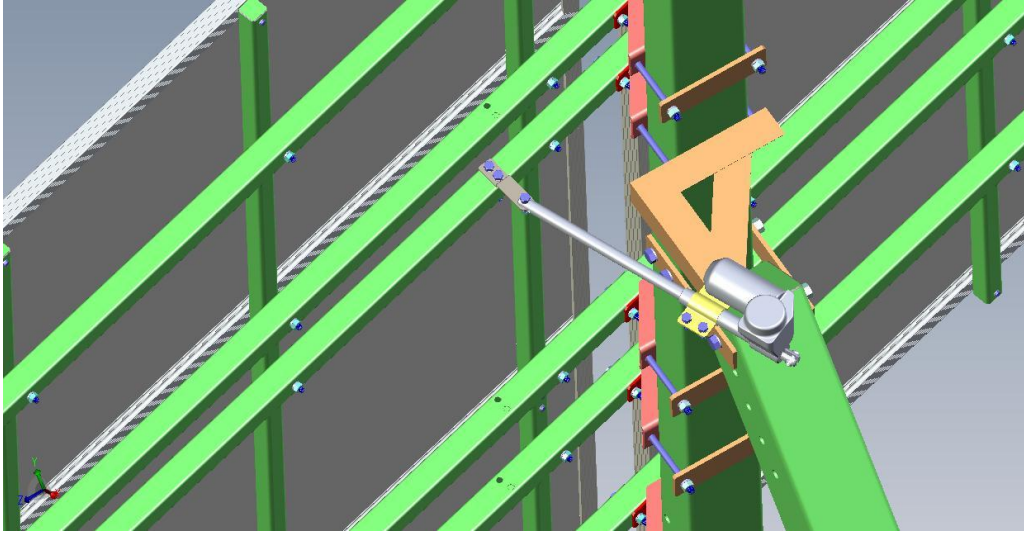
4.4.4. Aktuatör ölçülendirme



Şekil 4.9. Aktuatör genel görüntüsü [59]



Şekil 4.10. Aktuatör teknik resmi [59]



Şekil 4.11. Aktuatörün sistem üzerindeki görünüşü

Tablo 4.2 Aktuatör yükleme boyutları [59]

| | |
|--|------------|
| LA30 L-motor + LA30 + LA30 S-motor with 3 or 6 mm pitch | S + 156 mm |
| LA30 with spline + LA30 S-motor with 9 mm pitch | S + 167 mm |
| LA30 with brake + LA30 S-motor with 3 or 6 mm pitch with brake | S + 189 mm |
| LA30 with ball screw and L-motor / LA30 ball screw and safety nut | S + 194 mm |
| LA30 L-motor with brake + LA30 S-motor 9 or 12 mm pitch with brake | S + 199 mm |
| LA30 L-motor with ball screw, safety nut and spline | S + 251 mm |

4.4.5. Aktuatör versiyon özellikleri

Güneş izleme sisteminde kullanılmak üzere seçilen L30 tipi aktuator özellikleri yukarıda anlatılmıştır ve tüm bu versiyonların özellikleri Tablo 4.3' de gösterildiği gibidir [59].

Tablo 4.3 Aktuatör versiyon özellikleri [59]

| New type | Old type | Spindle pitch (mm) | Thrust max. Push (N) | *Self-lock max. With/without brake (N) | Typical speed 0/full load (mm/s) | Stroke length (mm) | | | | | | | | | | Typical amp. at full load 12V 24V | |
|-------------------|-----------|-----------------------|-------------------------|---|-------------------------------------|-----------------------|------|-----|------|-----|------|-----|------|----|-----|--------------------------------------|--|
| | | | | | | 50 | 100 | 150 | 200P | 250 | 300 | 350 | 400P | 14 | 7 | | |
| 307xx0-4xxxx0/5xx | LA30.4B | 12 | 1000 | 1000/0 | 48/24 | 50 | 100 | 150 | 200P | 250 | 300 | 350 | 400P | 14 | 7 | | |
| 303xx0-4xxxx0/5xx | LA30.3B | 9 | 1500 | 1500/400 | 42/20 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300P | 350 | 400 | 14 | 7 | | |
| 302xx0-4xxxx0/5xx | LA30.2B | 6 | 2000 | 2000/500 | 18.5/14 | 50 | 100P | 150 | 200P | 250 | 300 | 350 | 400P | 14 | 7 | | |
| 301xx0-xxxxx0/5xx | LA30.1 | 3 | 3000 | 3000/3000 | 16/9 | 50P | 100P | 150 | 200P | 250 | 300 | 350 | 400 | 14 | 6.4 | | |
| 307xx0-4xxxx1/2xx | LA30.7SB | 12 | 1000 | 1000/0 | 65/35 | 50 | 100 | 150 | 200P | 250 | 300 | 350 | 400P | 20 | 10 | | |
| 303xx0-4xxxx1/2xx | LA30.3SB | 9 | 1800 | 1800/0 | 52/25 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300P | 350 | 400 | 20 | 10 | | |
| 302xx0-4xxxx1/2xx | LA30.2SB | 6 | 2400 | 2400/500 | 34/20.3 | 50 | 100P | 150 | 200P | 250 | 300 | 350 | 400P | 18 | 9 | | |
| 301xx0-xxxxx1/2xx | LA30.1S | 3 | 3500 | 3500/3500 | 17/9.5 | 50P | 100P | 150 | 200P | 250 | 300 | 350 | 400 | 18 | 9 | | |
| 307xx0-4xxxx4xx | LA30.4LB | 12 | 1000 | 1000/0 | 26/20 | 50 | 100 | 150 | 200P | 250 | 300 | 350 | 400P | - | 2.5 | | |
| 303xx0-4xxxx4xx | LA30.3LB | 9 | 2000 | 2000/0 | 20/13 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300P | 350 | 400 | - | 4.4 | | |
| 302xx0-4xxxx4xx | LA30.2L | 6 | 3000 | 3000/2000 | 13.8/7 | 50 | 100P | 150 | 200P | 250 | 300 | 350 | 400P | - | 4 | | |
| 301xx0-xxxxx4xx | LA30.1L | 3 | 4000 | 4000/4000 | 7/4.5 | 50P | 100P | 150 | 200P | 250 | 300 | 350 | 400 | - | 5.5 | | |
| 30Kxx0-0xxxx4xx | LA30.LK | 4 | 6000 | 6000/n/a | 8.7/5.5 | - | - | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | - | 4.7 | | |
| 30Kxx0-1xxxx4xx | LA30.KAS | 4 | 6000 | 6000/n/a | 8.7/5.5 | - | - | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | - | 4.7 | | |
| 30Kxx0-3xxxx4xx | LA30.LKSM | 4 | 6000 | 6000/n/a | 8.7/5.5 | - | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | - | 4.7 | | |

Yukarıdaki ölçümler aktuatorlar için istikrarlı bir güç kaynağına bağlı olarak yapılır, LA30 L bir CB12 ile motorlu versiyonları

S = Güçlü Motor

L = Düşük Motor

K = Bilyeli Vida

KAS = Bilyeli Vida, Emniyet Somunu

KSM= Bilyeli Vida, Emniyet Somunu, Kama

Tüm strok uzunlukları “P” ile standart potansiyometre ile tam karalılıkta verilerek işaretlenmiştir. Bir potansiyometre diğer strok uzunlukları ile de kullanılabilir. Ancak; tam karalılık vermeyecektir.

4.5. Kollektör Seçim Parametreleri

Türkiye şartlarında çalışması planlanan enerji sisteminde ; çanak şeklindeki parabolik kollektörler yerine bina çatılarına yerleştirilebilecek daha küçük kollektörlerin kullanılması gerekmektedir. Düz parabolik kollektörler çanak şeklindeki parabolik kollektörlere göre daha basit yapıdadır. Ve bina çatılarında

kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Çanak şeklindeki parabolik kollektörlere göre daha basit yapıdadır ve bina çatılarında kullanılmak üzere tasarlanmışlardır. Çanak şeklindeki parabolik kollektörlere göre daha düşük sıcaklıklar (-400°C) elde edilen bu kollektörleri kullanan sistemlerin verimleri düşük olsada bu kollektörler Türkiye şartlarında kullanılması planlanan sistem için en uygun güneş toplayıcısıdır.

Bununla beraber güneş akısını bir bölgeye odaklayan kolektörlerde en büyük sorun; kolektör sabit tutulduğunda, güneş hareketi nedeniyle odak bölgesinin değişmesidir. Bu nedenle bu tip kolektörlerde, kolektörün yönü ya da açısı değiştirilerek kolektörün güneş hareketini takip etmesi sağlanmaktadır.

Optik eksenini doğu-batı yönünde konumlandırılmış düz parabolik kolektörlerde günde bir kez kolektör açısı değiştirilerek, güneşin takibi sağlanmaktadır. Bu izleme sistemi düz parabolik kolektörler için en az ayarın yapıldığı sistemlerdir. Ancak Türkiye şartlarında kullanılması planlanan kolektörün ise daha uzun sürelerde ayarlanması gerekir [61].

Kollektör performansını etkileyen ve belirleyen en önemli faktörlerden biri yansıtıcı yüzeylerin güneş radyasyonu özellikleridir. Türkiye şartlarına imal edilmesi ve kullanılması amaçlanan bu sistemin tasarımında MKEK tarafından imal edilen parabolik kolektörün güneş radyasyonu özellikleri kullanılmıştır [61].

Kollektör performansını belirleyen diğer bir faktör ise; alıcı içerisinde ısıtıcı akışkanının özellikleridir. Türkiye şartlarında kullanılması amaçlanan sistemlerde ısıtıcı akışkan yüksek sıcaklıklara (-400°C) dayanabilmelidir.

4.5.1. Kollektör özellikleri

Tasarım parametreleri ışığında; Türkiye şartları için, Lorrentz firmasının ürettiği LA Serisi kollektörü seçilmiştir.



Şekil 4.12. Seçilen kollektör resmi

Özellikleri;

- Mono kristal silikon hücreler
- Çok düşük voltaj ve ısı katsayısı, yüksek sıcaklıklarda bu yüzden iyi bir performans
- Tüm hava koşullarında yüksek enerji verimi için mükemmel düşük ışık performansı ve geniş spektral tepki
- Kapalı grid uygulamaları % 20 yüksek dönüşüm verimi
- 20 kg ağırlık
- $669 \times 1556 \times 35$ ölçülerinde
- Sisteme montajında; Toplam yüzey alanı: $3,4 \times 3,2 \text{ m}^2$
- Sistemde 4 adet bulunacaktır.
- 10 yıl % 90 performans
- 20 yıl % 80 performans

4.6. Tasarım Analizleri

Sistemde tasarım parametreleri daha önceki bölümlerde irdelenmiş; yalnız Sakarya Üniversitesi Esentepe mevkinde rüzgardan dolayı devrilme kontrollerin yapılması gerekmektedir. En zayıf alan (Kollektör Yüzeyi) seçilerek, rüzgar kuvveti hesaplanmıştır.

4.6.1. Rüzgar kuvvetinin hesaplanması ve kontrolü

Şiddetli rüzgarlar; direnç kuvveti sayesinde, ağaçları, elektrik direklerini ve hatta insanları bile yere yıkabilir. Açık hava sistemlerinde en fazla dikkat edilmesi gereken hususta sistemin rüzgar kuvvetine karşı gösterdiği direnç ve dayanma kontrolüdür. Sakarya ili Esentepe Kampusu; max. rüzgar hızı için, rüzgar atlasından hızı seçilerek hesaplanır.

F_D = Direnç Kuvveti

C_D = Direnç Katsayısı \longrightarrow Tablodan dikdörtgen çubuk seçilir.

Bir cismin üzerindeki direnç kuvveti aşağıdaki denklemden bulunabilir.

$$F_D = C_D \cdot A \cdot \frac{\rho V^2}{2} \quad (4.1)$$

A= Yüzey Alanıdır.

$$= (3,4\text{m} \times 3,2\text{m})$$

$$= 10.88 \text{ m}^2$$

C_D = Direnç katsayısı;

$L/D= 3,2/3,4= 0.94 \cong 1$ ve buna karşılık gelen $C_D = 0,9'$ dur.

$$\rho= 1,20 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$V= 36 \text{ km/h}$$

$$F_D = 0.9(3,4 \cdot 3,2) \text{m}^2 \frac{(1,20 \text{ kg} / \text{m}^3)(36 \frac{\text{km}}{\text{h}})^2}{2} \left(\frac{1 \text{ m/s}}{3,6 \text{ km/h}} \right)^2 \left(\frac{1 \text{ N}}{1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2} \right) \quad (4.2)$$

$$F_D = 2115 \text{ N}$$

Sistemin ağırlığı= W

$$W = mg \quad (4.3)$$

$$= 500 \text{ kg}(9.81 \text{ m/s}^2) \left(\frac{1 \text{ N}}{1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2} \right)$$

$$W = 4905 \text{ N}$$

Emniyet Kontrolü

Sistemde; en fazla rüzgar kuvvetine maruz kalan kollektör alanında; 9 adet M8 cıvata kullanılmıştır.

Standart vidalara ilişkin tablolardan; M8 cıvatası için dış dibi çapı;
d: 6,466 mm

Cıvata kesitine gelen gerilme:

$$\sigma_{\max} = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{4 \cdot F_{\max}}{\pi \cdot d^2} \leq \sigma_{em} \quad (4.4)$$

olup olmadığının kontrolü yapılırsa;

$$\sigma_{\max} = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{4 \cdot (F_D + F_W)}{\pi \cdot d^2} \leq \sigma_{em} \quad (4.5)$$

A= 9 cıvata olduğu için; Alan 9 ile çarpılır.

$$\sigma_{\max} = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{4(2115 \text{ N} + 4905 \text{ N})}{9\pi(6.466\text{mm})^2} = 23.75 \text{ N/mm}^2$$

8.8 cıvata için; $\sigma_{ak} = 8.8 \cdot 10 = 640 \text{ N/mm}^2$

S: Emniyet katsayısı 2 olarak alındı.

$$\sigma_{em} = \frac{\sigma_{ak}}{S} \quad (4.6)$$

$$\sigma_{em} = \frac{640 \text{ N/mm}^2}{2} = 320 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{\max} = 23.75 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_{em} = 320 \text{ N/mm}^2$ olduğundan sistem güvenlidir.

4.6.2. Güneş izleme sisteminin (GİS) sensörlerle proglanması

Güneş ışınlarının panelimize dik olarak gelmesi için güneş panelimiz de 4 adet izleyici sensör kullanıldı. Bu sensörler ışığın şiddetine göre direnci değişen LDR elemanlarından oluşmaktadır. Bu sensörleri panelimizin üst-alt ve sağ-sol kenarlarına yerleştirdik. Bu LDR'lerden alınan gerilim değeri mikroişlemci denetleyicisinin içerisinde yazılı olan algoritmaya göre panelimizin hareketini sağlamaktadır. Güneş panelinin sağ-sol, yukarı-aşağı yönlerinde hareket etmesi için aktuator ve redüktör kullanılmıştır. Bunlar mikroişlemci denetleyici tarafından kontrol edilmektedir.

Güneş hücrelerinin verimi güneş ışığı yoğunluğunu ve geliş açısına bağlıdır. Güneş panelleri tüm gün boyunca güneşin önünde olması gerekir ki bu da maksimum verim almak anlamına gelir. Ama bu paneller dünyanın dönüşü nedeniyle güneşin önünde kendi konumunu her zaman koruyamaz. Bu problemin sonucunda; verimliliği azalır. Bu sorun sonuçları. Böylece; sürekli güneşi takip etmek ve güneş panelini döndürmek için otomatik bir sistem gerekir ve sensörlerden faydalanılır.

Otomatik Güneş İzleme Sistemi (OGİS) ; yukarıda bahsedilen sorunu çözmek için yapılmıştır. Bu tamamen otomatik ve güneş kaybolana kadar güneşi önüne alarak izlemektedir. Kılavuz kaynağı olarak güneş alınır. Bu etkin sensörleri sürekli güneş ışığı izlemek ve güneş ışığı yoğunluğunu maksimum yönüne doğru paneli döndürür.

Bulutlu havalarda sistem çalışmaz ve çalıştığı zaman da zaten enerji kaybı olur, bir anlamı kalmaz, sonrasında OGİS sistemi güneşin panelini dünyanın zıttı yönünde sabit tutar ama güneşin dönme hızı yeryüzünün dönme hızının zıttı ama ters yönünde döner.

Bu özelliği nedeniyle zaman zaman güneş paneli tam olarak güneş önünde bir yarım saat zaman zarfında alır. Hataları yönetebilirsiniz Ayrıca sistem ve aynı zamanda LCD ekranında hata mesajları verir. Manüel modda, bilgisayarda yazılım (GUI) sayesinde, güneş paneli istediğiniz açıyla döndürülebilir.

4.6.2.1. OGİS yapısı

OGİS bütünleşik bir donanım / yazılım projesidir. Genel yapı şeması şekilde gösterilir.

Yazılım şunları içerir:

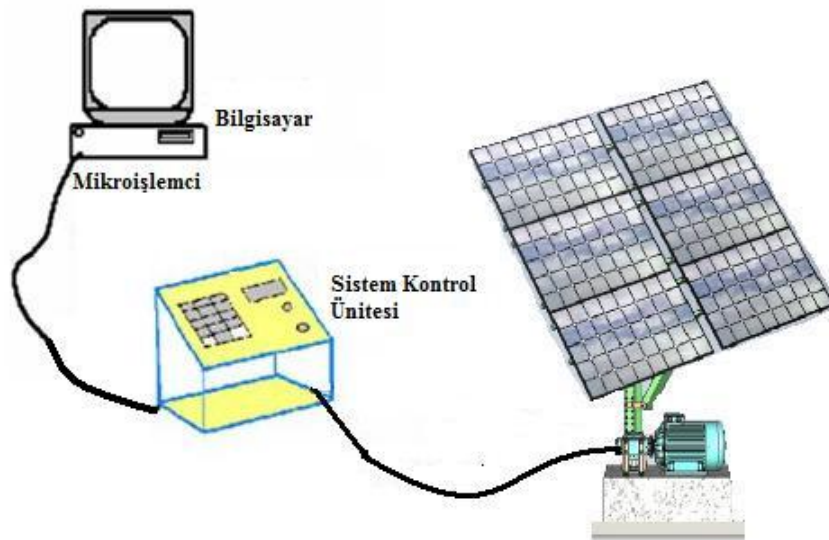
VB 6,0 tabanlı GUI

Microsoft Access veritabanı.

Mikroişlemci AT89c52 için yazılım.

Donanım İçeriği;

- Güneş paneli montaj yapısı; altı fonksiyonel sensörleri, aktuator, redüktör ve güneş hücreleri içerir.
- Sistem Kontrol Birimi LCD, Tuş takımı, Hata Göstergeler ve Acil durdurma düğmesi içeren.
- PCB Tamamı, iki Mikroişlemci kontrolündedir. İlki "Mastar Mikroişlemcisini" OGİS kontrollerini otomatik işler, ikinci bir mikroişlemci seri port ile bilgisayar iletişim sağlamakta VB yazılım ile "Slavey Mikroişlemcisini" seri kontrol edilmektedir. Sistemin genel kurulumu Şekil 4.13' de gösterilmiştir.



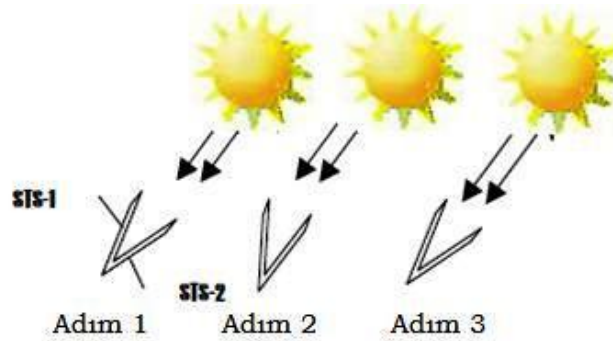
Şekli 4.13. OGİS genel kurulumu

4.6.2.2. OGİS çalışması

Bu sistemin temel fonksiyonel bloklarında, altı sensör ve ışık yoğunluğuna bağlı olarak güneş paneline düşer. Tüm sensörleri (her biri farklı işlevli) ile mikroişlemci AT89c52 için çıkış gönderir. Sonra; önceden tanımlanmış yazılımla mikroişlemci çalıştırılır. Bu sensörler isimleri ve işlevleri aşağıdaki gibidir.

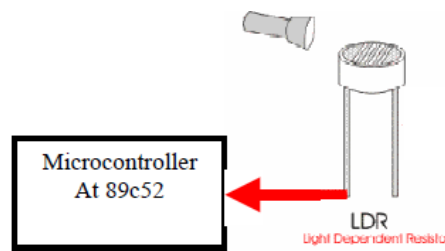
4.6.2.3. Güneş izleme sensörleri

Bu iki sensörleri V "şekil" in güneş panelinin ortasında tam olarak monte edilmiştir. Otomatik güneş izleme 3 adımda gerçekleşir.



Şekli 4.14. Sensör diyagramı

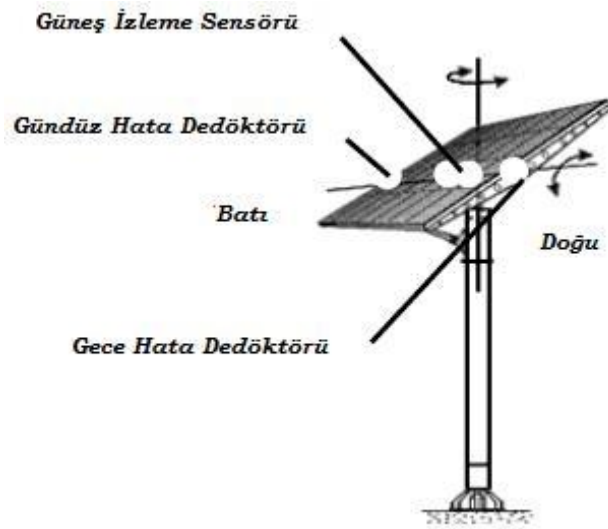
Adım 1' de; güneş paneli önündeki her iki sensörleri yani STS-1 ve STS-2 ışığı aynı miktarda alır. Adım 2' de, güneşin dönme ekseninde güneş paneli döner sonra güneşin yönü ile az miktarda ışık edinir. Bu nokta LDR yani STS-1 Mikroişlemci için sinyal gönderir. Sonra kontrollerle motor döner, güneş paneli güneş doğru hareket sağlar. Son adım; 3 güneş panelinde yeniden gösterir. Süreci gün sonuna kadar böyle devam eder.



Şekli 4.15. LDR mikrokoşlemci ile gösterimi

4.6.2.4. Gece zamanlı hata dedektörü (NZHD)

Sistemin çalışması rutin olarak gün sonundan sabah güneşin doğuşuna kadar çalışmaz. Böylece bir sonraki güneşin doğumunda sensör ile güneş panelini izlemek için hazır olduğunu algılar. Şekilde gösterilen ortadaki sensörler diğer sensörlerin (GİS-1 ve GİS-2) çalışmaması durumunda çalışmaya programlanmıştır.



Şekil 4.16. Güneş paneli üzerisine sensör yerleşimi

4.6.2.5. Gündüz zamanlı hata dedektörü (GZHD)

Bazı özel koşullar bulutlu hava vs gibi hariç, OGİS bütün gün güneş izlemek için tasarlanmıştır. Eğer panel durursa NZHD bunu algılar ve dönme durur. Eğer panel yeterli ışık alamadığı ya da bir nedenle durduğunda GZHD hatayı algılar ve bu tür algılarla sistemin dönmesi durdurur.

4.6.2.6. Gece ve bulut algılaması

Bulutlu bir gün ışık yoğunluğu normal bir günden daha azdır. Benzer şekilde, gece boyunca ışık yoğunluğu çok bulutlu bir günden daha azdır. Yani gece ve bulutları algılayan sensörleri bu prensip üzerinde çalışmaya algılar. Bulut sensörü gece sensöründen daha hassastır.

Gece olması halinde, mikro kontrollerle ertesi sabah güneşi izlemek için güneş panellerini ertesi sabah gün doğumunda başlamak için doğuya doğru döndürür ve tüm sistemi durdurur.

4.6.2.7. GİS kontrol stratejisi

Güneşi 2 ekseninde izleyen sistem için otomatik kontrol sistemi kullanılacak olup yöntemler irdelenmiştir.

- Otomatik Kontrol
- Manüel Kontrol

Otomatik kontrol; Etkin bir algoritma yardımıyla (Visual C) OGİS ve otomatik çalışma yönetmek için yazılı Mikroişlemci kullanmak yeterlidir. Bu kontrol fonksiyonları şu:

- Toplam 6 sensör
- Redüktör ve Aktuator Bağlantısı
- LCD Sürücü
- Kontroller uyarı göstergeleri, örneğin LED
- Mikroişlemciye bağlı paralel port

Sadece 6 sensörle otomatik olarak izleme sistemi mevcuttur

Manüel kontrol; İnsansız olan, mükemmel bir sistemde öngörülmeyen arıza ve hatların çıkması olağandır. Tasarım aşamasında neyin olacağı OGİS kontrol sisteminin ayarlanmasıyla iki amacı unutmamak lazım;

- Manüel kontrolünde verimli şekilde çalışması gerektiği
- Tüm uygulamalarda kullanıcı dostu dikkatli kullanım

Her iki yaklaşımdan sonra manüel kontrol gerçekleştirmek için kullanılmıştır.

- Yalnız kontrol ünitesi standı
- Bilgisayar tabanlı kontrol ünitesi

Yalnız kontrol ünitesi standı

LCD (Hitachi HD44780) olan el ile işletim sistemi olarak kullanıcıya yardımcı farklı mesajlar, görüntüler.

Bir tuş takımıyla; Sayısal Basamakları, Acil Stop, akıllı saat ve dönme tuşları içerir ve saat yönünde dönme sayacı. Elle açılı girerek 0° ile 180° arası için güneş paneli döndürebilir. Açılı değeri sadece 180 değerlerine kadar sınırlıdır, çünkü güneş yeryüzünden 180° sonrasında kaybolur.

Bu birimin avantajı, bilgisayara gerek duymadan manüel olarak kontrolün özgürce sağlanması, Dezavantajı ise; sistemin sadece bir güneş panelini kontrol edebilmesidir.

Bilgisayar tabanlı kontrol ünitesi

Bu tamamen yazılım tabanlı kontrol, VB 6,0 ile yazılmıştır. Bu bir Veritabanı, Microsoft Access ile bağlantılı bir GUI yazılımı içermektedir. Bilgisayarın seri numaraları (RS232) ve OGİS iletişim bu yazılım kullanması mikro kontrole bağlı (89c51) sistemde; iletişim başarılı şekilde yapılmaktadır. Bir arıza nedeniyle bir güneş paneli durursa, bu yazılım bir kullanıcı yardımıyla ile sonradan;

- Güneş paneli manüel döndürülerek
- OGİS acil durumda tüm işlemleri durdurur.

Bu veritabanı ile kayıtlarını tutmak için sistemde saklanır ve bu veritabanını uzun süre saklanabilir ve istatistiksel olarak kullanılabilir. Bu yeni veri kaydedilirken, veritabanı otomatik olarak bilgisayardan tarih ve zaman alır ve bu veri, manüel ya da ek programla sisteme girilir.

Kontrol tabanlı bilgisayarın avantajları şunlardır:

- Veri tabanı tesisi
- AynıS anda 3 OGİS sistemi ile kullanılabilmesi
- GUI kullanımıyla caziptir.

4.6.2.8. Analiz

Her ne kadar OGİS gerçek bir sistem için doğru bir prototip olsa da, hala yazılım ve donanım, çok büyük bir güneş paneli için kullanılabilir. Küçük bir taşınabilir Pil ve kontrol devresi yönlendirebilir.

Bu nedenle sadece algılama aracı değiştirerek,

OGİS ve donanım özellikle birçok değişiklikler planlanıyor:

- Bilgisayar ve Sistem Denetim Birimi güneş paneli ve mekanik yapısı ile kablosuz iletişimin sağlanması
- Daha duyarlı sensörler kullanılması
- Acil durum kontrolü daha iyi ve daha güçlü sağlanması için Mikroişlemci PIC 16F877A örneğinin kullanımı
- PIC mikro kontrol program için kablosuz bir önyükleyici kullanılması

Son ürün OGİS ülkeden ülkeye farklılık gösterebilir ama yaklaşık ABD \$ - 170 maliyetindedir.

Geliştirme Araçları

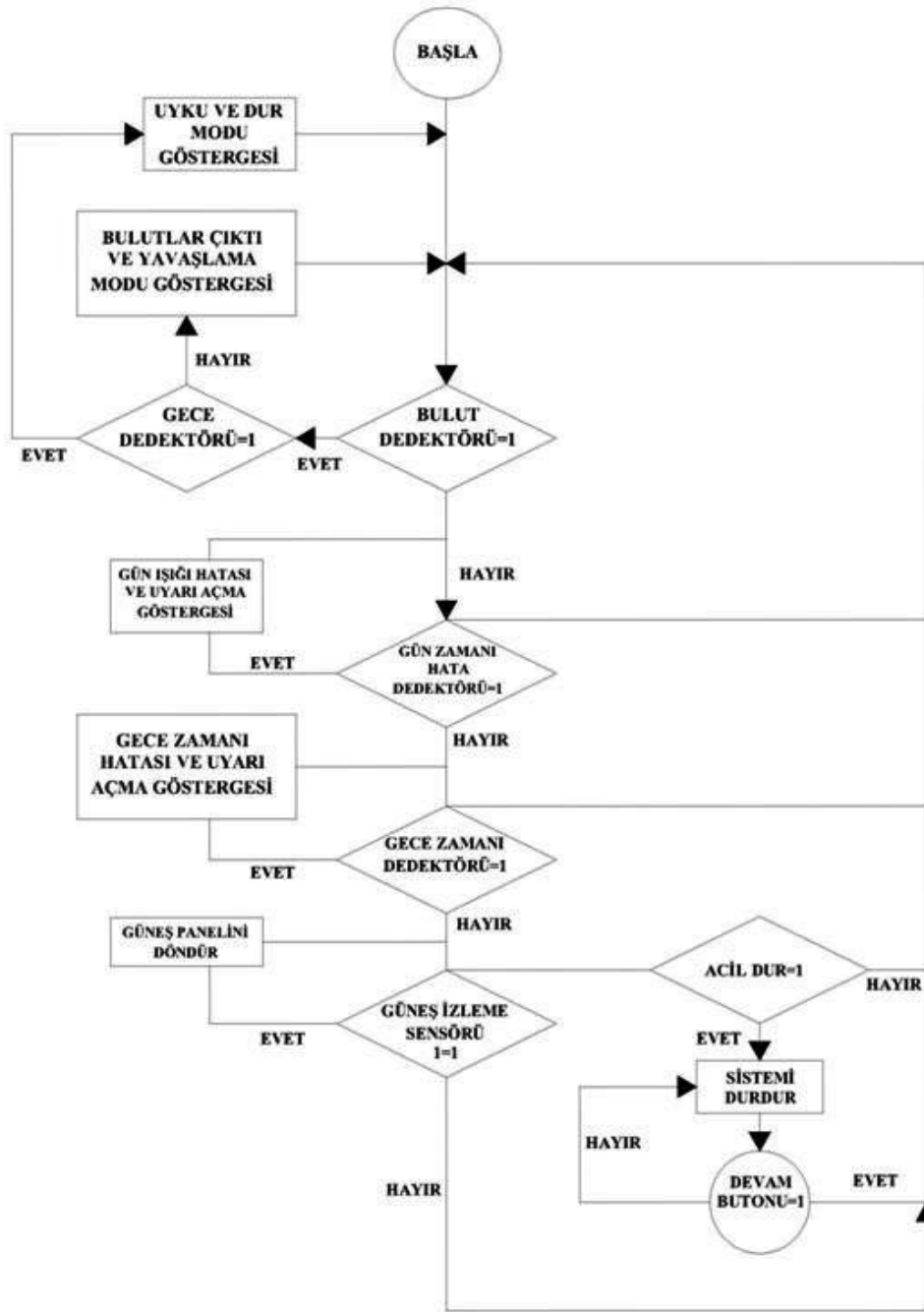
1. Yazılım

- KEIL C Compiler (for 8051 microcontroller family).
- VB 6.0
- Microsoft Access

2. Donanım

- SUPERPRO L+ Universal Microcontroller
- Programmer

Tablo 4.4. OGİS akış şeması



4.6.3. Verim analizi

Güneş izleme sistemlerini kullanım amacı; elde edilen enerji miktarını arttırmaktır. Bu artışın ne kadar olacağı da önemli bir husustur. Bu konuyla ilgili olarak ABD Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) tarafından elde edilen bazı şehirlere

iliksın güneş ısınımı şiddeti, tek eksen ve çift eksen güneş izlemesi durumunda elde edilen enerji artışı verileri Tablo 4.5 - 4.6' de sunulmuştur.

Tablo 4.5. Denver, CO şehrinin aylara göre ortalama günlük güneş ısınımı, kWh/m², Enlem: 39°45' N Boylam: 104°52' W [60]

| Ay | | Ocak | Şubat | Mart | Nisan | Mayıs | Haz. | Tem. | Ağs. | Eylül | Ekim | Kas. | Ara. | ORT. |
|---|-----------------|------|-------|------|-------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|------|
| Panel yere enlem-15° açısıyla eğimli | Sabit | 3,8 | 4,6 | 5,4 | 6,1 | 6,2 | 6,6 | 6,6 | 6,3 | 5,9 | 5,1 | 4,0 | 3,5 | 5,4 |
| | 1-eksenli takip | 4,8 | 5,9 | 7,0 | 8,1 | 8,4 | 9,1 | 9,1 | 8,6 | 7,9 | 6,7 | 5,0 | 4,4 | 7,1 |
| Panel yere enlem açısı kadar eğimli | Sabit | 4,4 | 5,1 | 5,6 | 6,0 | 5,9 | 6,1 | 6,1 | 6,1 | 6,0 | 5,6 | 4,6 | 4,2 | 5,5 |
| | 1-eksenli takip | 5,2 | 6,2 | 7,2 | 8,0 | 8,1 | 8,8 | 8,7 | 8,4 | 7,9 | 7,1 | 5,5 | 4,9 | 7,2 |
| Panel yere enlem+15° açısı kadar eğimli | Sabit | 4,8 | 5,3 | 5,6 | 5,6 | 5,2 | 5,2 | 5,3 | 5,5 | 5,8 | 5,7 | 4,8 | 4,5 | 5,3 |
| | 1-eksenli takip | 5,5 | 6,4 | 7,1 | 7,7 | 7,7 | 8,2 | 8,2 | 8,0 | 7,8 | 7,1 | 5,7 | 5,2 | 7,1 |
| Panel Tam Yatay | | 2,4 | 3,3 | 4,4 | 5,6 | 6,2 | 6,9 | 6,7 | 6,0 | 5,0 | 3,8 | 2,6 | 2,1 | 4,6 |
| Panel Güneye Bakıyor ve Yere Tam Dik | | 4,5 | 4,6 | 4,3 | 3,6 | 2,8 | 2,6 | 2,7 | 3,2 | 4,0 | 4,6 | 4,4 | 4,3 | 3,8 |
| 2-Eksende Takip | | 5,6 | 6,4 | 7,2 | 8,1 | 8,5 | 9,4 | 9,2 | 8,6 | 8,0 | 7,1 | 5,7 | 5,3 | 7,4 |

Tablo 4.5'den aşağıdaki sonuçları çıkarabiliriz:

- Güneş takibi yapılmayan sabit durumda; 5,5 kWh/m² yıllık ortalama ısıma enerjisi elde edilmektedir.
- 1 eksenli takip yapılırsa; 7,2 kWh/m² yıllık ortalama ısıma enerjisi elde edilmektedir. Bu, sabite göre $(7,2-5,5)/5,5 = \%30,9$ artış demektir.
- 2 eksenli takip yapılırsa; 7,4 kWh/m² yıllık ortalama ısıma enerjisi elde edilmektedir. Bu, sabite göre $(7,4-5,5)/5,5 = \%34,5$ artış demektir.

Tablo 4.6. Fransa-Paris şehrinde göre ortalama günlük güneş ısınımı, kWh/m², Enlem: 48°49' N
Boylam: 2°30' E [60]

| Ay | Panel yere enlem-15° açısıyla eğimli | | Panel yere enlem açısı kadar eğimli | | Panel yere enlem+15° açısı kadar eğimli | | 2-Eksende Takip |
|---------|--------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|-----------------|---|-----------------|-----------------|
| | Sabit | 1-eksenli takip | Sabit | 1-eksenli takip | Sabit | 1-eksenli takip | |
| Ocak | 1,77 | 1,77 | 2,06 | 2,06 | 2,24 | 2,24 | 2,24 |
| Şubat | 2,47 | 2,54 | 2,75 | 2,82 | 2,91 | 2,94 | 2,94 |
| Mart | 3,75 | 4,56 | 3,90 | 4,79 | 3,88 | 4,69 | 4,81 |
| Nisan | 4,32 | 6,02 | 4,25 | 5,99 | 4,04 | 5,54 | 6,06 |
| Mayıs | 5,01 | 7,39 | 4,78 | 7,05 | 4,41 | 6,22 | 7,41 |
| Haziran | 5,37 | 8,04 | 5,05 | 7,50 | 4,61 | 6,45 | 8,10 |
| Tem. | 5,14 | 7,66 | 4,87 | 7,21 | 4,47 | 6,28 | 7,69 |
| Ağustos | 4,59 | 6,60 | 4,45 | 6,46 | 4,18 | 5,87 | 6,62 |
| Eylül | 3,95 | 5,04 | 4,02 | 5,19 | 3,93 | 4,98 | 5,20 |
| Ekim | 2,74 | 3,01 | 2,95 | 3,27 | 3,02 | 3,31 | 3,33 |
| Kasım | 1,71 | 1,71 | 1,95 | 1,95 | 2,11 | 2,11 | 2,11 |
| Aralık | 1,56 | 1,56 | 1,83 | 1,83 | 2,02 | 2,02 | 2,02 |
| ORT. | 3,53 | 4,66 | 3,57 | 4,68 | 3,49 | 4,39 | 4,88 |

Çizelgeden aşağıdaki sonuçları çıkarabiliriz:

Güneş takibi yapılmayan sabit durumda; 3,57 kWh/m² yıllık ortalama ısıma enerjisi elde edilmektedir.

- 1 eksenle takip yapılırsa; 4,68 kWh/m² yıllık ortalama ısıma enerjisi elde edilmektedir. Bu, sabite göre $(4,68-3,57)/3,57 = \%31,1$ artış demektir.
- 2 eksenle takip yapılırsa; 4,88 kWh/m² yıllık ortalama ısıma enerjisi elde edilmektedir. Bu, sabite göre $(4,88-3,57)/3,57 = \%36,7$ artış demektir.

Tablo 4.7. Avustralya-Melbourne şehrinde göre ortalama günlük güneş ısınımı, kWh/m², Enlem: 37°49' S Boylam: 144°58' E [60]

| Ay | Panel yere enlem-15° açısıyla eğimli | | Panel yere enlem açısı kadar eğimli | | Panel yere enlem+15° açısı kadar eğimli | | 2-Eksende Takip |
|---------|--------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|-----------------|---|-----------------|-----------------|
| | Sabit | 1-eksenli takip | Sabit | 1-eksenli takip | Sabit | 1-eksenli takip | |
| Ocak | 1,77 | 1,77 | 2,06 | 2,06 | 2,24 | 2,24 | 2,24 |
| Şubat | 2,47 | 2,54 | 2,75 | 2,82 | 2,91 | 2,94 | 2,94 |
| Mart | 3,75 | 4,56 | 3,90 | 4,79 | 3,88 | 4,69 | 4,81 |
| Nisan | 4,32 | 6,02 | 4,25 | 5,99 | 4,04 | 5,54 | 6,06 |
| Mayıs | 5,01 | 7,39 | 4,78 | 7,05 | 4,41 | 6,22 | 7,41 |
| Haziran | 5,37 | 8,04 | 5,05 | 7,50 | 4,61 | 6,45 | 8,10 |
| Tem. | 5,14 | 7,66 | 4,87 | 7,21 | 4,47 | 6,28 | 7,69 |
| Ağustos | 4,59 | 6,60 | 4,45 | 6,46 | 4,18 | 5,87 | 6,62 |
| Eylül | 3,95 | 5,04 | 4,02 | 5,19 | 3,93 | 4,98 | 5,20 |
| Ekim | 2,74 | 3,01 | 2,95 | 3,27 | 3,02 | 3,31 | 3,33 |
| Kasım | 1,71 | 1,71 | 1,95 | 1,95 | 2,11 | 2,11 | 2,11 |
| Aralık | 1,56 | 1,56 | 1,83 | 1,83 | 2,02 | 2,02 | 2,02 |
| ORT. | 3,53 | 4,66 | 3,57 | 4,68 | 3,49 | 4,39 | 4,88 |

Çizelgeden aşağıdaki sonuçları çıkarabiliriz:

Güneş takibi yapılmayan sabit durumda; 4,74 kWh/m² yıllık ortalama ısıma enerjisi elde edilmektedir.

- 1-eksende takip yapılırsa; 6,23 kWh/m² yıllık ortalama ısıma enerjisi elde edilmektedir. Bu, sabite göre $(6,23-4,74)/4,74 = \%31,4$ artış demektir.
- 2-eksende takip yapılırsa; 6,50 kWh/m² yıllık ortalama ısıma enerjisi elde edilmektedir. Bu, sabite göre $(6,50-4,74)/4,74 = \%37,1$ artış demektir.

Her üç çizelgeden ayrıca aşağıdaki sonuçlara ulaşmak da mümkündür;

- Yaz aylarında, panelin eğim açısı düşükken (enlem-15°) diğer iki duruma göre (enlem ve enlem+15°) daha çok enerji elde edilmektedir. Bunun sebebi açıktır;

yaz aylarında güneş ısınları daha dik açıyla geldiğinden panelin eğim açısı daha düşükken ısınlr panele daha dik gelmektedir. (Tabii güney yarım kürede bulunan Melbourne şehri için durum tam tersi).

- Kıs aylarında, panelin eğim açısı yüksekken (enlem+15°) diğer iki duruma göre (enlem ve enlem-15°) daha çok enerji elde edilmektedir. Bunun sebebi de gayet açıktır; güneş ısınları kıs aylarında daha eğimli açılarla geldiğinden panelin eğimi yüksekken ısınlr daha dik vurmaktadır. (Tabii güney yarım kürede bulunan Melbourne şehri için durum tam tersi).
- Yıllık güneş ışınlımının ortalaması dikkate alındığında; panellerin yatayla yaptığı enlem, enlem-15 ve enlem+15 derecelik eğimler arasında en uygun olan eğim açısının enlem derecesine eşit olan durum olduğu görülecektir [60].
- Sonuç olarak; her çizelgenin altında çıkartılan verim hesaplamalarına dikkat edilirse görülecektir ki, güneş takibi yapılmayan sabit durumlarda elde edilen enerji miktarlarına göre, 1-eksenli takip yapmak %30 civarında enerji kazancı sağlamaktadır. 2-eksenli takip yapmak %34-40 civarında enerji kazancı sağlamaktadır [60].

Özellikle güneş enerjisi ülkemizin iklim ve coğrafyasına uygun bir alternatif enerji kaynağıdır. Özellikle şehir elektrik şebekesinin olmadığı veya getirilmesinin çok maliyetli olacağı uzak yerlerde, TV vericisi, link vb. cihazlar için enerjiye ihtiyaç duyulan yüksek dağlarda, elektrik kesintisinden etkilenmemesi istenen sokak lambası uygulamalarında vs güneş enerjisi çok verimli şekilde kullanılabilir [60].

Yenilenebilir enerji kaynaklarından maksimum faydalanabilmek için sürekli yeni çalımsalar yapılmaktadır. Güneş panellerinden maksimum verimle faydalanmak amacıyla da güneş takip sistemleri dünyada bir çok uygulama alanında kullanılmaktadır [60].

Güneş izleme sistemleri özellikle yer kısıcılı olan uygulamalarda çok kullanışlı olmaktadır. Örneğin; gemi, karavan gibi araçlarda gerekli enerji elde etmek için

kullanılacak panel sayısı güneş izleme sistemleri ile daha az sayıya düşürülerek yerden tasarruf edilebilmektedir.

Güneş izleme sistemleri, güneş ısınlarının fotovoltaik yüzeye dik gelmesini sağlayarak elde edilen enerji miktarını arttırmaktadır. Bu sistemleri kullanarak güneş panellerinden elde edilen enerji %30 - %37 oranında arttırılabilmektedir.

Gerçekleştirilen sistem ile maksimum enerji artışı %30 civarındadır. Mevsimlere göre dikey (tilt) açısı ayarlanarak iki yönlü izleme yapıldığında ise bu verim %40'a ulaşmaktadır. Ayrıca NREL tarafından Denver, USA şehri için yapılan ölçümlere göre;

- Güneş takibi olmazsa $5,5 \text{ kWh/m}^2$ yıllık ortalama ısıma enerjisi düşmekteyken,
- 1-eksende izleme yapılırsa $7,2 \text{ kWh/m}^2$ yıllık ortalama ısıma enerjisi düşmektedir. Buna göre artış $(7,2-5,5)/5,5 = \%30,9$ olmakta,
- 2-eksende izleme yapılırsa $7,4 \text{ kWh/m}^2$ yıllık ortalama ısıma enerjisi düşmektedir. Buna göre artış $(7,4-5,5)/5,5 = \%34,5$ olmaktadır

Sonuç olarak, güneş takibi yapılmayan sistemlerde enerji miktarına göre;

1 eksenli izleme; %30 civarında enerji verim kazancı sağlarken

2 eksenli izleme; %34-40 civarında enerji kazancı sağlamaktadır.

4.6.4. Varsayım

Güneş izleme sistemimizin, sensörlerle otomatik olarak güneşi izlemesi sağlandı. Bir de sensörsüz klasik programlı (azimuth, vs.) izleme sistemi tasarımı gerçekleştirildi.

4.6.4.1. Klasik güneş izleme sistemi (KİS)

Azimet-yükseklik ve eğim mekanizması izlemesi gibi klasik izleme yöntemleri matematiksel denklemlerle güneşin konumu belirlenip izleme işlemi sağlanır. Bu klasik yöntemlerin kendine özgü denklemler oluşturulup programlanarak izleme sağlanır. Güneş-izleme sistemi, güneş kolektörünün her zaman maksimum güneş ışını almasını sağlamak için önemli bir rol oynamaktadır [62].

İyi bir izleme mekanizması bulutlu havalarda bile güneşi doğru açıyla izleyebilmelidir. Güneş izleme sistemlerinde, pasif izleme sisteminde açık döngü kontrollü, aktif izleme sistemlerinde ise kapalı döngü kullanımı etkin izlemeyi sağlamaktadır.

Pasif izleme sistemi için, izleyici güneşin konumunu ve iki eksenli izlemede dönüş açılarını belirlemek için sürücüler ve eksen hesaplaması için özel formüller oluşturulur. Öte yandan, aktif izleme sistemi için, normalde güneş kolektöründe doğrudan güneş radyasyonunu algılayıp geribildirim sinyali olarak da sensörü kullanılarak izleme sağlanabilir. Ama bu seçeneklerin yerine, klasik bir izlemeyle aktif ve pasif izleme sistemi içeren bir hibrit sistemde tasarlanabilir [63].

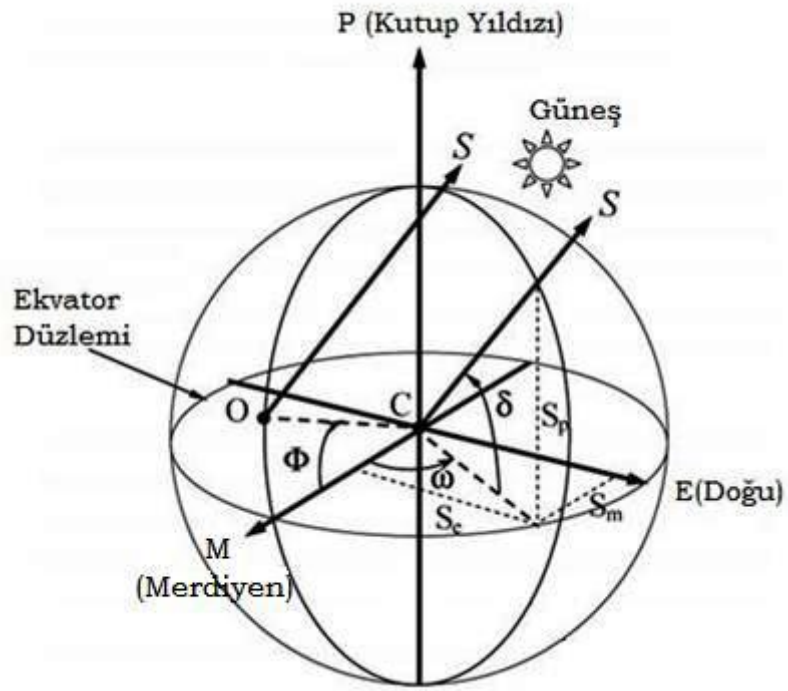
En çok kullanılan klasik iki sistem olan azimuth-yükseklik ve kutupsal(eğimli) sistemlerdir. Azimuth – yükseklik izleme sistemlerinde güneş kolektörünün tepe noktası zenit ekseninde yeryüzüne paralel dönmeyi istenilen ölçüde sağlaması için serbest olmalıdır. İzleme açıları; zenit eksen boyunca azimuth, yatay eksen boyunca ise yükseklik açılarıdır. Bu nedenle azimuth-yükseklik izlemesinde; eksen çevresinde ne kadar yüksek ve zenit eksenine paralelliği uyumlu olmalıdır [64].

Alternatif olarak ta; kutupsal izleme sistemi, doğuya doğru kolektör sürüş mekanizmanın yanı sıra güneşin yıllık değişimlerine göre açılar sisteme girilerek eğimi ayarlanabilir. Dolayısıyla kutupsal izleme sisteminde dönme eksenine paralel bir kutup eksenine Polaris(kutup) yıldızı baz alınır. Bu da yerel enlem açısına eşit bir eğilme verir ve kolektör kutup eksenine dik doğrultuda döner. İzleme sisteminin açısı; kutup ekseninde güneşin saatlik dönme açısına eşit ve sapma açılarına

bağlıdır. Bu tür sistemlerde izleme hızı saatte maksimum 15° dönme gerçekleştirir ve bu sistemlerin tasarımı ve uygulanabilirliği kolaydır. Kutupsal izleme sisteminde; dönme eksenini, sistemine ne kadar paralel olursa enlemi kutup eksenini ile o ölçüde paralel olup, uyum sağlar [65].

Güneş izleme sistemi boyunca keyfi 2 dikey eksen seçilerek, herhangi bir yönlendirmeye problemi en kısa sürede çözen sistem elde edilebilir.

Güneş izleyicisi sistemi kurulumunda; azimuth-yükseklik ve kutupsal izleyicilerde özel matematiksel denklemler türetilerek güneşin koordinat konumu girilip bu parametreler ışığında izleme gerçekleştirilir. Güneşin herhangi bir noktasında koordinatlar belirlenerek kolektörün o anki açısı ve konumum formülize edilip ilk aşamada basit bir matematiksel denklemler oluşturulur. Bu matematiksel denklemlerde, seçilen güneş konumunun vektörel bileşenleri ve izleyici sistem kolektörünün de vektörel konumu bilinmelidir. Yine de; güneşin pozisyonun birim vektörü; dünyanın dönme ekseninin zıttı ama aynı hızda döndüğünden çıkarılabilir. Güneşin konumu koordinat ve vektör dönüşüm yöntemi kullanılarak, dünyanın merkez koordinatları baz alınarak, dünya yüzeyinin koordinatları ve vektörü, dünya yüzeyinden güneşin konum vektörü buradan kolektörün konum vektörü ve güneşin konum vektörü arasında matematiksel bağlantı kurulur. Azimuth- yükseklik ve eğim açıları buradan kolayca hesaplanabilir. Şekil 4.17' de; CM, CE VE CP; dünyanın merkezinden dünya yüzeyi meridyene, CE; güneşi hareket yönünü doğuyu, CP; kutup yıldızını temsil eder [63].



Şekil 4.17. Güneşin dünya yörüngesindeki pozisyonu [63]

Güneşin konum vektörü; S ; S_M , S_C , S_P bileşenlerinin cos denklemleriyle elde edilir.

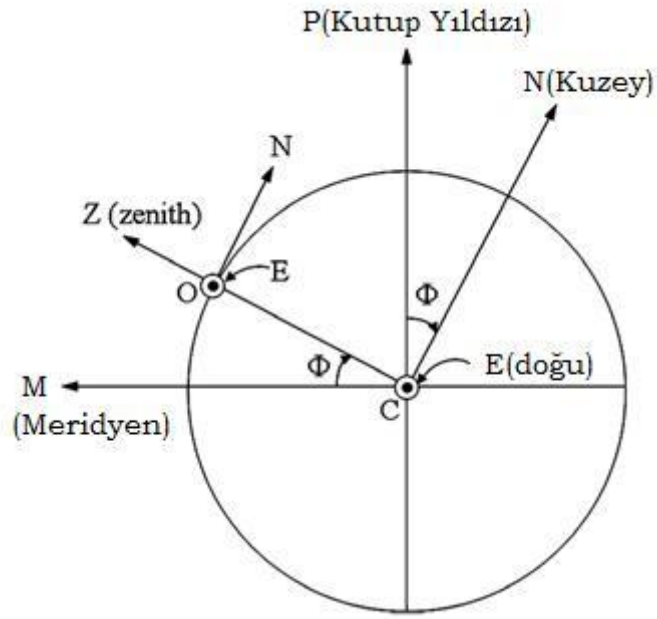
$$S = \begin{bmatrix} S_M \\ S_E \\ S_P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\delta & \cos\omega \\ -\cos\delta & \sin\omega \\ \sin\delta \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

δ ; Sapma açısını ω ; saatlik dönüş açısını simgeler.

Şekil 4.17' de; koordinat olan OZ, OE, ON bileşenleri, zenit, doğu ve batıyı oluşturur ve bunlar baz alınarak;

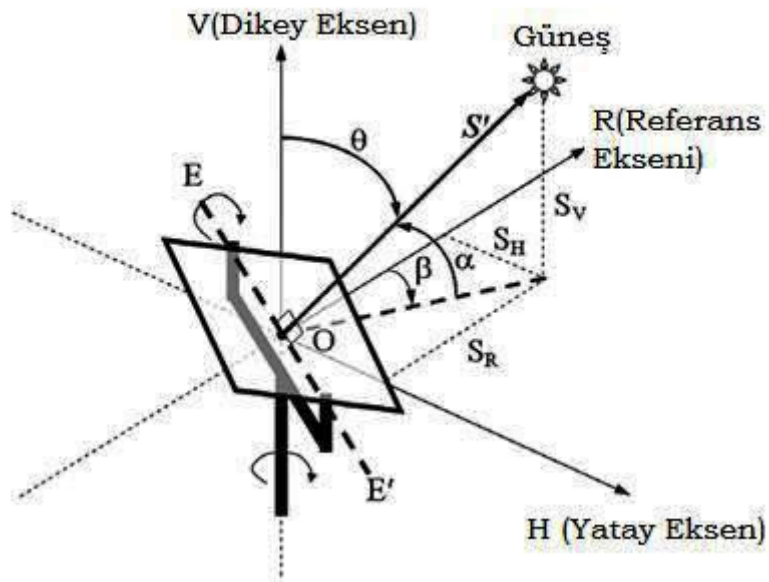
$$[\Phi] = \begin{bmatrix} \cos\phi & 0 & \sin\phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\phi & 0 & \cos\phi \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

ϕ ; enlem açısıdır.



Şekil 4.18. Güneşin dünya yörüngesindeki OZ, OE, ON bileşenleri

Şekil 4.18 'de yeni bir koordinat merkezi düşünelim ve bunun merkezinde 3 dikey koordinat eksenini de kolektörün merkezini oluşturur.



Şekil 4.19. Güneşin ve kolektör konumu arasındaki bağlantı [66]

O noktası; kolektör yüzeyindeki nokta aynı zamanda yeryüzünün merkez noktası olarak ta kabul edilebilir.

OV; dikey eksen olarak tanımlanır ve aynı zamanda, kolektörün ilk dönme eksenine de paraleldir.

OR; β izleme açısının tanımlayan referans eksenidir.

OH; Üçüncü dikey eksen; yatay eksen olarak da tanımlanır ve kolektörün ikinci dönüş ekseninin ilk konumuyla paraleldir.

Basit güneş kolektörünün sürüş mekanizması iki dönme eksenli olabilir.

İlk dönme eksenine paralel olan OV;

İkinci dönme eksenini ; \acute{E} (ilk dönme ekseninde güneş izlenirken, ilk eksene her zaman dik olmalıdır.)

θ ; EE' ile OV eksenleri çevresindeki dönme açısı

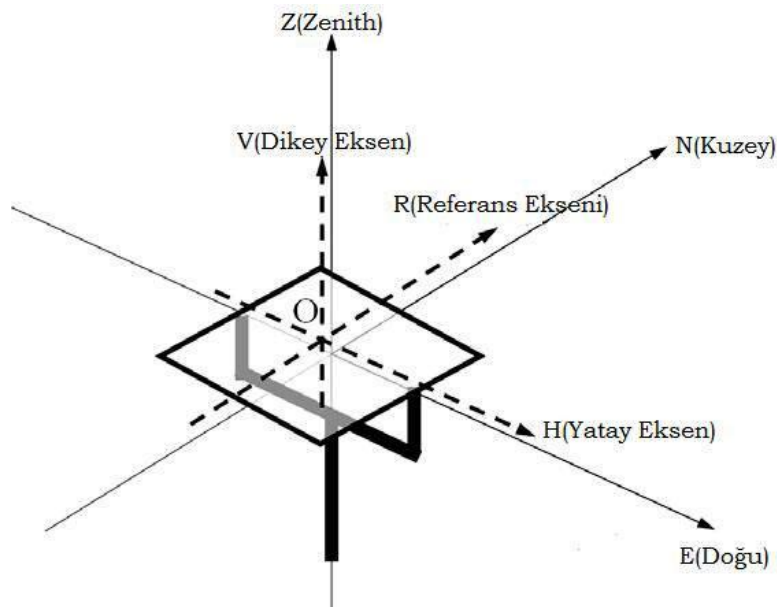
β ; OV ile OR eksenleri çevresindeki dönme açısı

α ise kolektörün merkezinden güneşe doğru yükselme açısını ifade eder ki ayrıca;

$$\frac{\alpha}{2} = \theta' \text{ dir.}$$

Kollektör merkezi ve güneşin konumu arasındaki bileşen S' ;

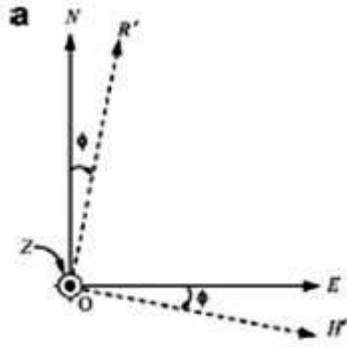
$$S' = \begin{bmatrix} S_Y \\ S_H \\ S_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin\alpha \\ \cos\alpha \sin\beta \\ \cos\alpha \cos\beta \end{bmatrix} \quad (4.9)$$



Şekil 4.20. İdeal azimuth sistemi [66]

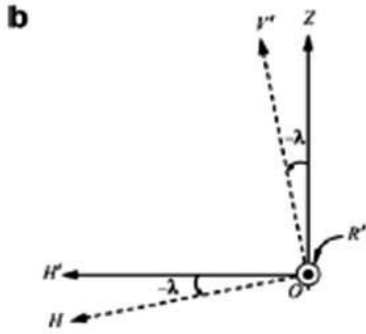
2 eksenli izleme sisteminde, sürüş mekanizması için yüzeyle yapılan 3 eğim açısını da tanımlamak gerekir.

ϕ ; zenit eksenini ile diğer 2 açı arasındaki değer çakıştığı zamanki dönme açısı.



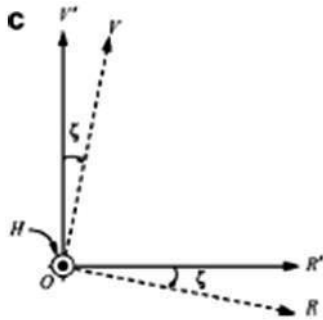
$$\begin{bmatrix} Z \\ H^1 \\ R^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 0 & \sin\phi & \cos\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z \\ E \\ N \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

Şekil 4.21a. İlk eğim açısını gösterir ve ϕ , OZ eksenini boyunca saat yönünde dönme açısı



$$\begin{bmatrix} V^1 \\ H \\ R^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\lambda & -\sin\lambda & 0 \\ \sin\lambda & \cos\lambda & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z \\ H^1 \\ R^1 \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

Şekil 4.21b. İkinci eğim açısı; λ ; OR' ekseniniyle kolektör merkezi arasındaki dönme açısı



$$\begin{bmatrix} V \\ H \\ R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\zeta & 0 & \sin\zeta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\zeta & 0 & \cos\zeta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V^1 \\ H \\ R^1 \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

Şekil 4.21c. Diğer eğim açısı; ζ ; OH ekseniniyle kolektör merkezi arasındaki dönme açısı

İdeal azimuth sistemi; OV, OH ve OR eksenlerinin; OZ, OE ve ON eksenlerine paralel olacak şekilde olanıdır. Yani kolektör yüzeyi eksenlerinin dünya yüzeyi

eksenine paralel olduğu durumdur ki matematiksel denklemler oluşturulmuş ve Şekil 4.21' de gösterilmiştir [66].

Şekil 4.21' de sistemin hareketi güneşi izlemesini göstermektedir.

$$Z \rightarrow V^1 \rightarrow V, E \rightarrow H^1 \rightarrow H, N \rightarrow R^1 \rightarrow R \quad (4.12)$$

Enlem açısına benzer olan açığı, 3 açı temsil eden açılar ϕ , λ , ζ ve bu açılar pozitif ve saat yönüne doğru bu oranda döner. Pozitif değeri saat yönüne doğru, negatif değerice saat yönünün tersi yönünü temsil eder. Şekil 4.21a –c deki matrislerin transpozu alınarak 3 eğim açısına uygun; ϕ , λ , ζ dönüştürülür [66].

$$[\phi] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 0 & \sin\phi & \cos\phi \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

$$[\lambda] = \begin{bmatrix} \cos\lambda & -\sin\lambda & 0 \\ \sin\lambda & \cos\lambda & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

$$[\zeta] = \begin{bmatrix} \cos\zeta & 0 & \sin\zeta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\zeta & 0 & \cos\zeta \end{bmatrix} \quad (4.15)$$

Böylece; EE' eksenini boyunca ilk izleme açısı;

$$\theta = \frac{\pi}{2} \arcsin \left[\frac{\cos \delta \cos \omega (\cos \zeta \cos \lambda \cos \phi - \cos \zeta \sin \lambda \sin \phi \sin \omega - \sin \zeta \cos \phi \sin \omega) - \cos \delta \sin \omega (\sin \zeta \sin \phi - \cos \zeta \sin \lambda \cos \phi) + \sin \delta (\cos \zeta \cos \lambda \sin \phi + \cos \zeta \sin \lambda \sin \phi \cos \omega + \sin \zeta \cos \phi \cos \omega)}{\cos \alpha} \right] \quad (4.18)$$

Benzer şekilde; geriye kalan 2 denklemi cosinus şeklinde matris denklemi oluşturabilir;

$$\sin \beta = \frac{\cos \delta \cos \omega (\sin \zeta \cos \lambda \cos \phi - \cos \lambda \sin \phi \sin \omega - \cos \delta \sin \omega \cos \lambda \cos \phi) + \sin \delta (\sin \lambda \sin \phi - \cos \lambda \sin \phi \cos \omega)}{\cos \alpha} \quad (4.19)$$

$$\cos \beta = \frac{\cos \delta \cos \omega (-\sin \zeta \cos \lambda \cos \phi + \sin \zeta \sin \lambda \sin \phi \sin \omega - \cos \zeta \cos \phi \sin \omega) - \cos \delta \sin \omega (\sin \zeta \sin \lambda \cos \phi + \cos \zeta \sin \phi) + \sin \delta (\sin \zeta \cos \lambda \sin \phi + \sin \zeta \sin \lambda \sin \phi \cos \omega + \cos \zeta \cos \phi \cos \omega)}{\cos \alpha} \quad (4.20)$$

OV eksenini boyunca olan OV eksenini boyunca; günlük ve mevsimsel zaman dilimine bağlı; herhangi dört trigonometrik değerini arc-sin ve arc-cos iki olası koordinattan ve bunların sonucunda;

$\sin \beta$ ve $\cos \beta$ doğru koordinatları;

$$\beta = \arcsin \frac{\cos \delta \cos \omega (\sin \lambda \cos \phi + \cos \lambda \sin \phi \sin \omega) - \cos \delta \sin \omega \cos \lambda \cos \phi + \sin \delta (\sin \lambda \sin \phi - \cos \lambda \sin \phi \cos \omega)}{\cos \alpha} \quad (4.21)$$

olduğunda; $\cos \beta \geq 0$ veya

$$\beta = \pi - \arcsin \frac{\cos \delta \cos \omega (\sin \lambda \cos \phi + \cos \lambda \sin \phi \sin \omega) - \cos \delta \sin \omega \cos \lambda \cos \phi + \sin \delta (\sin \lambda \sin \phi - \cos \lambda \sin \phi \cos \omega)}{\cos \alpha} \quad (4.22)$$

olduğunda; $\cos \beta < 0$ olur.

Klasik izleme sistemlerinde; azimuth-yükseklik ayarlarının yapılması için; ϕ , λ , ζ matematiksel denklemlerle elde edilip ayarlamaların yapılması lazım. İzleme sisteminde elde edilen ve kullanılan açılar; 0 olarak ayarlanır. $\phi = 0$, $\lambda = 0$, $\zeta = 0$ şeklinde basitleştirilir [66].

$$\theta = \frac{\pi}{2} - \arcsin[\sin\delta\sin\phi + \cos\delta\cos\omega\cos\phi] \quad (4.23)$$

$$\beta = \arcsin\left[-\frac{\cos\delta\sin\omega}{\cos\alpha}\right] \quad (4.24)$$

Olduğunda; $\cos\beta \geq 0$ ya da;

$$\beta = \pi - \arcsin\left[-\frac{\cos\delta\sin\omega}{\cos\alpha}\right] \quad (4.25)$$

Olduğunda; $\cos\beta < 0$ olur.

4.6.4.2. Analiz

Azimuth-yükselik gibi eğimli güneşi izleyen sistemlerin sensörsüz kullanımı anlatıldığı gibi matematiksel formüllerle güneşin, dünyanın ve sistemin konumun koordinatları ve dönme açıları ve hızı arasında bağıntılar gerçekleştirilerek izleme sistemi oluşturulur. Koordinat dönüşüm yöntemi kullanılarak elde edilen bu sistemde azimuth-yükselik ve eğim formülleri matematiksel döngüde önemli bir rol oynamaktadır. İdeal sistem için genel formlerden yeni formüller geliştirilerek, programlanabilir ve hassasiyeti artırılmış yüksek yoğunlaştırıcı güneş panelleri kullanılarak hata oranı $0,4^\circ$ olarak tespit edilmiştir

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Dünyada yaygın olarak kullanılan mevcut enerji kaynaklarının hızla tükenmesiyle; yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanımına doğru hızla artan bir eğilim vardır. Ülkemizin iklim ve coğrafyasına en uygun alternatif enerji kaynağı; güneş enerjisidir.

Ülkemizde özellikle; düşük sıcaklık uygulamaları, kurutma, su ve mekan ısıtma ile ilgili olarak yaygın kullanımı olan güneş enerjisi sistemleri yüksek sıcaklık ve enerji üretim alanlarında yaygın şekilde kullanılmamaktadır ve bu doğrultuda; sürekli gelişen teknoloji ve değişen dünya düzeninde endüstri ile daha da artan enerji ihtiyacının güneş enerjisinden sağlanması ve yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Bu çalışmada güneş izleme sistemleri ve dünya üzerindeki uygulamaları kapsamlı şekilde incelenmiş, literatür çalışması yapılmış olup, güneş enerjisi izleme teknolojileri ve sistemlerinin yapısı irdelenip, Türkiye şartları için en uygun olan iki eksenli güneş izleme sistemi tasarlanmıştır.

Sabit güneş enerjisi sistemine oranla, tek eksenli güneş izleme sistemiyle; % 30 enerji kazancı sağlanır. Güneşi iki eksenle izleyen sistemler ise; sabit olarak bir alana yerleştirilen panellerden; enerji üretim maliyeti düşük ve verimi çok yüksektir. Çünkü bu sistemlerde; güneş ışınlarının fotovoltaik yüzeye, izleme sistemi ile dik gelmesi sağlanıp enerji miktarı önemli ölçüde artar ve verim de % 40 oranında artmaktadır.

Geliştirilen iki eksenli güneş enerjisi izleme sisteminin, tasarım zamanı ve maksimum düzeyde enerji eldesi için çalışma parametreleri belirlenmiş olup, performans değerleri elde edilmiştir ve sistemin verimi diğer sistemlerle karşılaştırılıp, değerlendirilmiştir.

İzleme sisteminin tasarım maliyeti sabit panellere göre yüksektir. Maliyet artırımında; mekanik aksam etkili olmaktadır, ama verimi dikkate alınarak kıyaslandığında; bu artan maliyetin önemli bir miktar olmadığı anlaşılacaktır. Seri üretim sürecinde maliyeti giderek düşerek ideal ekonomik bir sisteme dönüşecektir.

Ülkemizde; sürekli artan enerji ihtiyacına karşılık, temiz ve ucuz olan yenilenebilir enerji sistemleri ve teknolojik gelişmeler hususunda projeler geliştirilmeli ve bu projelere gerekli destek sağlanarak ekonomik ve toplumsal yapı dikkate alınarak yaygınlaştırılması devlet desteğiyle gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] <http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/tgunes.html>, Mayıs 2009.
- [2] GÜNEŞ, M., “Fotovoltaik Sistemin Sağladığı Elektrik Enerjisi İle Çalışan Bir Uygulama Sisteminin Tasarımı.” Yüksek Lisans Tezi, Elazığ, 1999.
- [3] OĞULATA, T., OĞULATA, N., “Solar energy potential in Turkey.” Energy Sources, 24, 1055-1064 p. 2002.
- [4] HEPBASLI, A., ÖZDAMAR, A., ÖZALP, N., “Present status and potential of renewable energy sources in Turkey.” Energy Sources, 23, 631-648 p 2001.
- [5] SERPEN, U., “Jeotermal Enerjinin Türkiye ve Dünyada Kullanımı.” Jeotermal Enerji Semineri-TESKON 2005, İzmir.
- [6] ÖNER, Y., ÇETİN, E., ÖZTÜRK, H.K., YILANCI, A., “Design of a new degree of freedom spherical motor for photovoltaic-tracking systems.” Renewable Energy, Volume 34, Issue 12, December 2009, Pages 2751-2756.
- [7] RİZK, J., ve CHAIKO, Y., “Network benefits of embedded solar systems: A case study from western Sydney Renewable Energy.” Volume 34, Issue 12, December 2009, Pages 2592-2596.
- [8] CHONG, K.K., WONG, C.W., “General formula for on-axis sun-tracking system and its application in improving tracking accuracy of solar collector Solar Energy.” Volume 83, Issue 3, March 2009, Pages 298-305.
- [9] SAMSUDİN, A.R., HAMZAH, U., RAHMAN, R.A., SİWAR, C., MOHD, F.M., OTHMAN, R., “Thermal springs of Malaysia and their potential development Journal of Asian Earth Sciences.” Volume 15, Issues 2-3, 1997, Pages 275-284.
- [10] SUNGUR, C., “Multi-axes sun-tracking system with PLC control for photovoltaic panels in Turkey.” 25 June 2008 Renewable Energy, Volume 34, Issue 4, April 2009, Pages 1119-1125.

- [11] CHOI, K.Y., KIM, Y.S., SUNG, J.Y., WON, P.B., "Development of a pump performance model for an integral effect test facility Nuclear Engineering and Design." Volume 238, Issue 10, October 2008, Pages 2614-2623.
- [12] TOMSON, T., "Discrete two-positional tracking of solar collectors." Renewable Energy, Volume 33, Issue 3, March 2008, Pages 400-405.
- [13] AGEE, J.T., OPOK, A., LAZZER, M.D., "Solar tracker technologies: market trends and field applications."
- [14] GRENA, R., "An algorithm for the computation of the solar position." Solar Energy 2008; 82; page 462-70
- [15] SANGANIC, S., SOLANKI, C.S., "Experimental evaluation of V-trough (2 suns) PV concentrator system using commercial PV modules." Solar Energy Materials & Solar Cells 2007; 91:453-9
- [16] CHICCO, G., SCHLABBACH, J., SPERTINO, F., "Performance of grid-connected photovoltaic systems in fixed and sun-tracking configurations." 2007, <http://www.labplan.usfc.br/congressos/PowerTech07>, Subat 2009
- [17] 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.
- [18] ALİMAN, O., DAUT, I., ISA, M., ADZMAN, MR., "Simplification of sun tracking mode to gain high concentration solar energy." American Journal of Applied Sciences 2007;4(3):171-5.
- [19] ARASU, A.V., SORNAKUMAR, T., "Design and manufacture and testing of fiberglass reinforced parabola trough for parabolic trough solar collectors." Solar Energy, Volume 81, Issue 10, October 2007, Pages 1273-1279
- [20] ABDALLAH, S., BADRAN, O.O., "Sun tracking system for productivity enhancement of solar stil Desalination." Volume 220, Issues 1-3, 1 March 2008, Pages 669-676
- [21] MAZEN, M., KHADER, A., BADRAN, O.O., ABDALLAH, S., "Evaluating multi-axes sun-tracking system at different modes of operation in Jordan." Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 12, Issue 3, April 2008, Pages 864-873
- [22] SANGANI, C.S., SOLANKI, C.S., "Experimental evaluation of V-trough (2 suns) PV concentrator system using commercial PV modules." Solar Energy Materials & Solar Cells 2007;91:453-9.

- [23] GAGLIANO, S., SAVALLI, N., TINA, G., PITRONE, N., "Two-axis sun tracking system: design and simulation." In: Eurosun 2006; 2006.
- [24] ALATA, M., AL-NIMR, M.A., QAROUSH, Y., "Developing a multipurpose sun tracking system using fuzzy control." *Energy Conversion and Management* 2005;46: 1229–45.
- [25] MOGHBELLI, H., VARTANIAN, R., "Implementation of the Movable Photovoltaic Array to Increase Output Power of the Solar Cells" 2006.
- [26] AYDIN, M., YEŞİLATA, B., "Eğitim açısı ayarlanabilir ekonomik pv sistem sehpası" 2006.
- [27] MAMLOOK, R., NİJMEH, S., ABDALLAH, S., "A programmable logic controller to control two axis sun tracking system." *Information Technology Journal* 2006;5(6):1083–7.
- [28] GRASS, C., SCHOELKOPF, W., STAUDACHER, L., HACKER, Z., "Comparison of the optics of non-tracking and novel types of tracking solar thermal collectors for process heat applications up to 300 8C." *Solar Energy* 2004;76:207–15.
- [29] BİONE, J., VILELA, O.C., "Fraidenraich N. Comparison of the performance of PV water pumping systems driven by fixed, tracking and V-trough generators." *Solar Energy* 2004;76:703–11.
- [30] MOHAMAD, A., "Efficiency improvements of photo-voltaic panels using a suntracking system." *Applied Energy* 2004;79:345–54.
- [31] AESA, N., "Evaluation of the optimum tilts of a PV array using maximum global insolation technique. *International Journal of Numerical Modeling Electronic Networks Devices and Fields*" 2004;17:385–95.
- [32] PAVEL, Y.V., GONZALEZ H, J., VOROBIEV, Y.V.S., "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; 2004. p. 310–4.*
- [33] ROTH, P., GEORGİEV, A., BOUDİNOV, H., "Cheap two-axis sun following device." *Energy Conversion and Management* 2005;46:1179–92.
- [34] URBANO, J.A., MATSUMOTO, Y., ASOMOZA, R., ACEVES, FJ., SOTELO, A., JACOME, A., 5Wp PV module-based stand-alone solar tracking system. In: *Proceedings of the 3rd world conference of photovoltaic energy conversion, vol. 3, nos. 12–16; May 2003. p. 2463–5.*

- [35] SALAH, A., SALEM, N., "Two Axes Sun Tracking System with PLC - Energy Conversion and Management", 2004.
- [36] GEORGIEV, A., ROTH, P., OLIVARES, A., "Sun following system adjustment at the UTFSM." *Energy Conversion and Management* 2004;45:1795–806.
- [37] YEŞİLATA, B., AKTACİR, M., "Fotovoltaik Güç Sistemli Su Pompalarının Dizayn Esaslarının Araştırılması."
- [38] 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*.
- [39] LORENZO, E., PEREZ, M., EZPELETA, A., ACEDO, J., "Design of tracking photovoltaic systems with a single vertical axis." *Progress in PV Research and Applications*.
- [40] KARAKAŞ, E., ve Ermiş, K., "The control of highway tunnel ventilation using fuzzy logic." 2002
- [41] HEREDIA, I., GORDILLO, F., RODRIGUEZ, F., "A PI based hybrid sun tracking algorithm for photovoltaic concentration." In: *Proceedings of the 19th European*
- [42] GOW, JA., MANNING, CD., "Development of a photovoltaic array model for use in power-electronics simulation studies." 1999
- [43] AKKAYA, N., ve KULAKSIZ, A., "A Microcontroller-Based Stand-Alone Photovoltaic Power System For Residential Appliances, *Applied Energy*." 78 (2004) 419-431.
- [44] BAHGAT, A.B.G., HELWA, N.H., AHMAD, G.E., SHENAWY E, T., "Maximum Spower point traking controller for PV systems using neural Networks *Renewable Energy*." Volume 30, Issue 8, July 2000, Pages 1257-1268
- [45] KALOGIROU, S.A., FLORIDES, F., TASSOU, S., "Renewable Energy, analysis of buildings employing thermal mass in Cyprus."
- [46] MONEM, A., BASSUONI, E., TAYEB, A.M., HELWA, N.H., AMANY, M., "Fathy Modification of urea-sodium acetate trihydrate mixture for solar energy storage *Renewable Energy*." Volume 28, Issue 10, August 2003, Pages 1629-1643
- [47] MUMBA, J., "Development of a photovoltaic powered forced circulation grain dryer for use in the tropics *Renewable Energy*." Volume 6, Issue 7, October 1995, Pages 855-862

- [48] KEYHANI, A., JAVADI, A., MOBLI, H., ABRINI, A K., SHARIFI, A., "A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output." 2000
- [49] HAMILTON, S.J., "Sun-tracking solar cell array system." 2000.
- [50] POULEK, V., LIBRA, M., "A very simple solar tracker for space and terrestrial applications." Solar Energy Materials and Solar Cells, Volume 60, Issue 2, 15 January 2000, Pages 99-103
- [51] FLORIDES, G.A., KALOGIROU, S.A., TASSOU, L.C., "Modelling, simulation and warming impact assessment of a domestic-size absorption solar cooling system." Applied Thermal Engineering, Volume 22, Issue 12, August 2002, Pages 1313-1325
- [52] FIRATOĞLU, Z.A., ve YEŞİLATA, B., "Maksimum Güç Noktası İzleyicili Fotovoltaik Sistemlerin Optimum Dizayn ve Çalışma Kosullarının Araştırılması." DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 5, 1 (2003) 147-158.
- [53] HUSSEİN, H.M.S., AHMAD, G.E., ve EL-GHETANY, H.H., "Performance Evaluation Of Photovoltaic Modules At Different Tilt Angles And Orientations." Energy Conversion And Menagement, 45 (2004) 2441-2452.
- [54] ABDALLAH, S., ve NİJMEH, S., "Two Axes Sun Tracking System With PLC Control, Energy Conversion And Management", 45 (2004) 1931-1934.
- [55] ALTAS, İ.H., "Fotovoltaik Günes Pilleri: Yapısal Özellikleri ve Karakteristikleri." Enerji, Elektrik, Elektromekanik- 3e Dergisi, 47 (1998) 66-71.
- [56] AYDIN, M., ve YEŞİLATA, B., "Fotovoltaic Panellerde Egim Açısı Etkisinin Deneysel Tespiti." Termodinamik Dergisi, 148 (2004) 88-98.
- [57] MUNTASSER, M.A., BARA, M.F., QUADRI, H.A., EL-TARABELSI, R., ve LA-AZABI, I.F., "Fotovoltaic Marketing in Developing Ccounties, Applied Energy" page, 65-72, (2000)
- [58] KAMPA, J.C., LAWAMURAB, H., PASSAQUIETIC, R, DESALVOD, R., "Radiative Cooling Thermal Compensation" , LSC-Virgo meeting – Amsterdam, 2008.
- [59] www.lnaks.com/corporate/openpdf.aspx%3Fpdffile%3D/corporate/pdf/english/LA30_eng.pdf+la30+actuator&hl=tr&gl=tr, Mart 2009
- [60] BİLGİN, Z., "Solar Tracking System and Desing" Yüksek Lisans Tezi, s(25-26) Ankara, 2006

- [61] MESSENGER, R.A., VENTRE, J., “Photovoltaic Systems Engineering 2nd ed.”, CRC Pres New York, 21-25, 31-35, 415-431 (2004).
- [62] NUWAYHĪD, R.Y., MRAD, F., ABU-SAĪD, R., “The realization of a simple solar tracking concentrator for university research applications.” *Renewable Energy* 24, 207–222. 2001.
- [63] LUQUE, A., ANDREEV, V., (Eds.), “Concentrator Photovoltaics. Springer Berlin Heideberg.” New York, pp. 221–251. 2007.
- [64] BELTRAN, J.A., GONZALEZ, R., GARCÍA-BELTRAN, J.L.S., “Design manufacturing and performance test of a solar tracker made by an embedded control. In: *Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference (CERMA 2007)*, Cuernavaca, Morelos, Mexico, pp 129–134. 2007.
- [65] STĪNE, W.B., HARRĪGAN, R.W., “Solar Energy Fundamentals and Design, first ed. Wiley Interscience.” New York, pp. 38–69. 1985.
- [66] CHONG, K.K., WONG C.W., “General formula for on-axis sun-tracking system and its application in improving tracking accuracy of solar collector”

ÖZGEÇMİŞ

Muhammed Ali ÖNAL, 1985 de Kırıkkale' de doğdu. 2003 yılında Kırıkkale Anadolu Lisesi' den mezun oldu, 2004 yılında Kırıkkale Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümüne başladı. 2006 yılında başladığı Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme Bölümünde 3. Sınıf öğrencisidir. 2007 yılında Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisansa başladı ve halen özel bir şirkette çalışıyor. Normal seviyede İngilizce, başlangıç seviyesinde Almanca ve İspanyolca biliyor.