

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ TAKİBİ İÇİN İKİ SERBESTLİK
DERECELİ KÜRESEL MEKANİZMA
TASARIMI

Osman ACAR

YÜKSEK LİSANS

Makine Dinamiği ve Teorisi Anabilim Dalı

01-2017
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Osman ACAR tarafından hazırlanan “GÜNEŞ TAKİBİ İÇİN İKİ SERBESTLİK DERECELİ KÜRESEL MEKANİZMA TASARIMI” adlı tez çalışması 19/01/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Dinamiği ve Teorisi Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS/ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Ziya ŞAKA

Danışman

Prof. Dr. Ziya ŞAKA

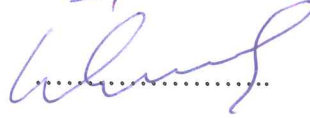
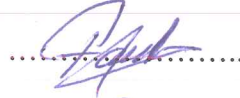
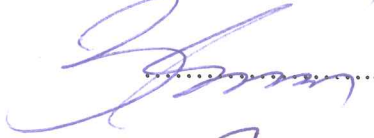
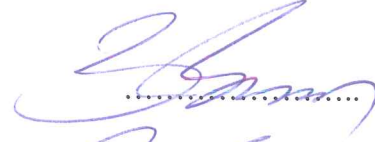
Üye

Yrd. Doç. Dr. Faruk KÖSE

Üye

Yrd. Doç. Dr. Ziya ÖZÇELİK

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa YILMAZ
FBE Müdürü

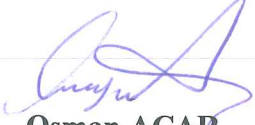
Bu tez çalışması ÖYP Koordinatörlüğü tarafından ÖYP-2015-085nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.


Osman ACAR
19/01/2017

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜNEŞ TAKİBİ İÇİN İKİ SERBESTLİK DERECELİ KÜRESEL MEKANİZMA TASARIMI

Osman ACAR

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Dinamiği Ve Teorisi Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ziya ŞAKA

2017, 64 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Ziya ŞAKA

Yrd. Doç. Dr. Faruk KÖSE

Yrd. Doç. Dr. Ziya ÖZÇELİK

Güneş enerjisi yeryüzünde en çok miktarda bulunan yenilenebilir enerji kaynağıdır. Ekvator bölgesinde daha yüksek potansiyele sahip olan güneş enerjisi, dünyadaki enerji tüketiminin iki misli potansiyele sahiptir. Teknik şartlar yeterli olmadığı için günümüzde tamamen kullanılmayan bu enerji, gelecekteki tüm enerji tüketim alanlarında kullanılmaya en büyük adaydır.

Güneş enerjisi kullanımı, fosil yakıtların neden olduğu hava kirliliğinin etkisini azaltmak ve yok etmek için her geçen gün daha çok önem arz etmektedir. Güneş panellerinin gittikçe daha düşük maliyetlerde imal edilmesi ve verimini artırmaya yönelik çalışmalar kullanımını yaygınlaştıran etkenlerden olmuştur. Güneş takibi de güneş panellerinin verimini artırmak için yapılan çalışmalardandır.

Güneş takibi üzerine bugüne kadar birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmaların bir kısmında tek eksenli bir kısmında çift eksenli takip yapılmaktadır. Bunların çoğunda elektronik cihaz yardımı ile takip yapılmaktadır. Doğal faktörlerin etkisiyle yanılma payı yüksek olan bu sistemlerin alternatif ihtiyacı olduğu görülmektedir. Güneş takibinde performans iyileştirmesi üzerine çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan literatür araştırmasında güneş takibi için küresel mekanizma kullanımına rastlanmamıştır.

Bu çalışmada güneş konumunu ifade eden azimut ve yükselti açıları Konya'nın enlem ve boylam değerlerine göre bir yılın her bir günü için belirli aralıklar ile hesaplandı. Bilgisayar yardımıyla yılın her günü için güneş yörüngesi küre yüzeyi üzerinde çizdirildi. Güneş takibi için bu küresel yüzey üzerindeki yörüngeyi takip etmek için küresel bir mekanizma uygun görüldü. Yörünge maksimum ve minimum değerlerini sağlayabilecek 5 uzuvlu ve iki serbestlik dereceli küresel mekanizma için uygun uzuv boyutları tespit edildi. Güneş paneli belirlenen yörünge üzerinde mekanizma ile hareket ettirilirken güneş ışınlarını dik açıda alabilmesi için, tahrik uzuvlarının alması gereken konumlar ters kinematik analiz yapılarak belirlendi. Mekanizmanın kuvvet analizi yapılarak tahrik uzuvlarında oluşacak kuvvet ve moment değerleri hesaplandı.

Yapılan tez çalışması sonucunda Konya için güneş açıları literatürden sağlanan formüller ile elde edilmiştir. Bu açıları NOAA(National Oceanic & Atmospheric Administration)'nın Konya için yayınladığı değerler ile karşılaştırılmıştır. Bir prototip imal edilerek bu açıların sağlandığı ve mekanizmanın yılın her gününde hesaplanan yörüngeyi takibi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Küresel mekanizma, Ters kinematik analiz, Güneş takibi, Güneş açıları

ABSTRACT

MS THESIS

TWO DEGREE OF FREEDOM SPHERICAL MECHANISM DESIGN FOR EXACT SUN TRACKING

Osman ACAR

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Ziya ŞAKA

2017, 64 Pages

Jury

Prof. Dr. Ziya ŞAKA

Yrd. Doç. Dr. Faruk KÖSE

Yrd. Doç. Dr. Ziya ÖZÇELİK

Solar power is the renewable energy source which has the highest potential among the energy sources on the earth. Solar power which has higher potential around the equator of the World, has potential as twice of the energy consumption on the earth. This energy source which can not be used fully due to the shortage of technical proficiency of the technology, will be the asset of the future.

The usage of solar power submits more importance to reduce and to demolish the effect of airpollution which is a result of usage of fosil fuels. The studies regarding the gradually reduction of manufacturing cost of solar panels and the increasingly improvements of solar panel efficiency have been very effective on making usage of solar panel prevelant. The process of solar tracking is one of the studies to increase efficiency of solar panels.

Several studies have been done about solar tracking until today. Fundamentally, in some of these studies, the solar tracking was done on one axis and was done on two axes in others. In many of these studies, the solar tracking was done by the help of electronic devices. These solar tracking system which has high fallibility under the effects of natural factors, needs an alternative for solar tracking on two axes. Various studies have been done regarding to improvements of solar tracking performance. But, the usage of spherical mechanism for solar tracking on two axes have not been encountered during the scrutiny of literature.

In this study, the azimuth and altitude angles which express the location of the Sun with respect to the World, were calculated for a certain time intervals within every day of a year according to latitude and longitude of Konya. The trajectories of the Sun were drawn by a computer program for every day of a year. Proper link lengths were determined for the maximum and the minimum limits of the trajectory of the Sun. The angles needed for the suitable location of the solar panel according to the Sun position were calculated for the driving links by making inverse kinematic analysis. Finally, forces and moments on the links were calculated for every time intervals by static analysis.

Consequently, the study included solar angles were calculated for Konya by formulating azimuth and altitude angles. These angles were compared with the values of NOAA(National Oceanic & Atmospheric Administration) for Konya. Finally, a prototype were manufactured and tested for the accuracy of the angles.

KeyWords: Spherical mechanism, Sun tracking, Inverse kinematic analysis, Solar angles

ÖNSÖZ

Güneş, Samanyolu galaksisinin bilinen en büyük enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi güneş pilleri ile elektrik enerjisine çevrilerek ya da ısıtma işlemleri için kullanılmaktadır. Güneş panelleri günümüzde geçmişe nispeten çok daha yaygın kullanılmasına rağmen güneş enerjisi potansiyelinin çok az kısmından yararlanılmaktadır. Kullanılan güneş enerjisi toplam enerji tüketiminin %3'ünden daha az miktardadır. Hâlbuki Dünya üzerinde güneş enerjisi potansiyeli tüketilen toplam enerji miktarının iki katından fazlasını oluşturmaktadır.

Ayçiçeği bitkisinin güneşi takip ederek azami miktarda faydalanması, bilimsel alanda güneş panellerinin güneş ışınlarını dik açıda takibini sağlayarak elde edilen enerjinin artırılmasına ilham kaynağı olmuştur. Güneş enerjisi potansiyelinden daha fazla yararlanabilmekte, güneş panellerinin yapısında kullanılan malzemeler, güneş ışınlarının panele düşme açısı ve panel yüzeyinin kirliliği etkilidir. Güneş enerjisinden yararlanmayı artırmak için güneş takip sistemleri üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışmada, Güneş takibi için iki serbestlik dereceli bir küresel mekanizma tasarlanmıştır. İlk olarak güneşin Konya'nın Dünya üzerindeki koordinatlarına göre yıl boyunca günlük yörüngeleri matematiksel olarak çıkartıldı. Bilgisayarda Güneş takibi için gereken azimut ve yükselti açılarının değerleri belirli aralıklar ile yılın her bir günü için hesaplandı. Güneş yörüngesini ifade eden bu açıları mekanizma ile sağlamak için küresel mekanizmanın tahrik uzuvlarına verilmesi gereken açısal konumlar hesaplandı. Açık döngü kontrolü ile 15 dakikada bir konum değiştirmek üzere güneş takibi için mekanizmanın kontrolü yapıldı. Tasarlanan iki serbestlik dereceli küresel mekanizma ile güneşin yükselti ve azimut açıları elde edilmeye çalışıldı. Prototipte paneli taşıyan merkez uzvunda elde edilen açı değerleri, hesaplanan değerler ve NOAA'nın değerleri ile karşılaştırıldı.

Bu çalışmada kıymetli fikir ve bilgileri ile destek olan danışmanım sayın Prof. Dr. Ziya ŞAKA' ya, doktora çalışmasındaki tecrübelerini paylaşarak yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Ziya ÖZÇELİK' e, desteklerini esirgemeyen Doç. Dr. Behçet DAĞHAN' a ve madden ve manen desteklerinden dolayı aileme sonsuz teşekkürlerimi arz ederim.

Osman ACAR
KONYA-2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
2.1. Güneş Enerjisi Potansiyeli	9
2.2. Güneş Paneli.....	11
2.3.Güneş Takip Sistemleri.....	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	20
3.1. Dünya'nın Hareketi.....	20
3.1.1. Güneş Konumu	21
3.2. Küresel Mekanizmalar	27
3.2.1. Kinematik Analiz.....	31
3.2.2. Kuvvet Analizi.....	37
3.3. Mekanizma Kontrolü	41
3.4. Prototip Tasarımı ve İmalatı.....	48
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	49
4.1. Mekanizma Testi.....	50
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	55
5.1 Sonuçlar	55
5.2Öneriler	55
KAYNAKLAR	56
EKLER	57
ÖZGEÇMİŞ	64

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

γ	:Azimut açısı
α	:Yükselti açısı
δ	:Deklinasyon açısı
ω	:Saat açısı
ω_s	:Saat açısı
Θ_z	:Zenit açısı
ϕ	:Enlem açısı
n	:Eğiklik açısı

Kısaltmalar

GPS	:Global Positioning System
GEPA	:Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına
NOAA	:Ulusal Okyanus ve Atmosfer Yönetimi
CSP	:Odaklanmış Güneş Enerjisi (Consantrated Solar Power)
TEP	:Ton Eşdeğer Petrol
PV	:Fotovoltaik
DC	:Doğru Akım
AC	:Alternatif Akım
PID	:Oransal-integral-türevsel denetleyici
PIC	:Çevrebirim arayüz denetleyicisi
PLC	:Programlanabilir Mantıksal Denetleyici
GMT	: Greenwich Ortalama Zamanı (Greenwich Mean Time)
UTC	: Eş Gündümlü Evrensel Zaman (Coordinated Universal Time)
ASCE	:Amerikalı İnşaat Mühendisleri Topluluğu
PWM	:Sinyal Genişlik Modülasyonu
CNC	:Bilgisayar Sayımlı Yönetim
CAD	:Bilgisayar Destekli Tasarım

1. GİRİŞ

Tarih boyunca insanlık yaptığı çalışmalar ile yaşamı kolaylaştırmaya ve iyileştirmeye yönelmiştir. Dünya'nın doğal şartlarını gözlemleyerek ve deneyimler kazanarak fizik kurallarını tespit edip kullanarak çeşitli aletler geliştirmiştir.

İlk zamanlar kaldırılamayan bir yük kaldıraç kullanılarak kaldırılmış ve zamanla bu avantajın neden kaynaklandığı tespit edilip moment olarak bir disiplin düzenlenmiştir. Yeni ihtiyaçlar deneyim ve birikimlerin ışığında yeni fikirleri ve böylece yeni disiplinleri meydana getirerek kaldıraç gibi ilkel bir yapının görevini daha kolay yapmak üzere mekanizmalar geliştirilmiştir. İnsanlığın bitmeyen arayışı nedeniyle günümüze kadar matematik, fizik vb. alanların her birinde gelişimler birbirini etkileyerek hızlanmış ve artık hiç insan eli dokunmadan iş yapan görüntü işleme teknolojisi ve yapay zekâ kullanan robotlar geliştirilmiştir.

Mekanizmalar hareketi formdan forma dönüştüren sistemlerdir. Hareketlerin bir birine dönüştürülme yöntemleri Mekanizma disiplini altında düzenlenmemiş olsaydı makine teknolojisinde ilerleme kat etmek mümkün olmazdı. Günümüzde bir kapı kolunun, pencerenin, kanepenin, makasın, tıraş makinesinin, petrol sondajının ya da bir uçağın görevini kolaylaştırmaya uygun mekanizmaları bulunmaktadır. Mekanizma, matematik ve fizik bilimlerinin günlük hayatın konforunu estetik yapan sanatsal dokunuşudur. Doğrusal hareketin dairesel harekete veya dairesel hareketin doğrusal harekete dönüştürüldüğü ya da istenilen özel bir hareketin sentezlendiği sistemlerdir. İlkel bir yapı olan tulumbada krank biyel mekanizması kullanılarak doğrusal hareket ile su çıkartmak hedeflenmişken, ileri teknoloji olan motor pistonu, piston kolu ve krank mili ile aynı mekanizma oluşturularak pistonun doğrusal hareketini piston kolu ve krank ile dairesel harekete çevirmesi hedeflenmiştir.

Bilimsel gelişmeler birbirlerine hizmet ettikçe insanlığa verilen fayda daha fazla ve erken gerçekleştirilmektedir. Bir tulumbada kullanılan krank biyel mekanizmasını motor teknolojisinde kullanılmaya uygun hale getiren tasarım, malzeme ve üretim teknolojisindeki gelişmelerdir. Mekanizmalar hareket üretmek için enerjiye ihtiyaç duyduğu gibi enerji sektöründe fosil yakıtların çıkarılmasında da mekanizmalar kullanılmaktadır. Hayatın her alanında tüketilen enerji için yeni kaynaklara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaçların karşılanması için çeşitli alanlarda bilimsel çalışmalar sürdürülmektedir. Güneş enerjisinin kullanımında verim ile alakalı olarak ise güneş

panellerinin malzemesinin geliştirilmesinin yanında güneş takibi ile daha fazla elektrik enerjisi üretmeye yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

Güneş takibi için çeşitli yöntemler kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Fakat güneş takibi için özel mekanizma tasarımı çalışması az sayıdadır. Küresel mekanizmaların kompakt yapılarının ve geometrik avantajının güneş takibi için kullanılmasında fayda görülmüştür. Küresel mekanizmalar uzaysal mekanizmaların, düzlemsel mekanizmalar ise küresel mekanizmaların özel bir durumunu oluşturmakta ve küresel mekanizmalar diğer iki türün arasında bir geçiş safhası oluşturmaktadır. Bu nispetle küresel mekanizmalarda küre yüzeyindeki bir daire düzlemsel mekanizmalarda düz çizgiyi ifade ederek karşılık bulmaktadır. Güneş'in gün boyu izlediği yörünge iki açığa bağlı küre yüzeyinde bir eğri şeklinde olduğu için iki serbestlik dereceli küresel bir mekanizma ile bu yörüngeyi takibinin verimini incelemeye ihtiyaç duyulmuştur.

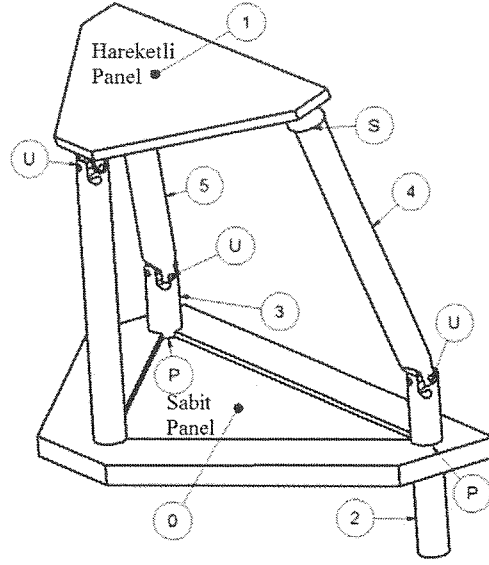
Bu çalışmada ilk olarak güneş takibi ile ilgili literatüre ve devamında Güneş hareketi ile ilgili bilgilere yer verilmiştir. Daha sonra küresel geometrinin konu ile alakalı kısımları ele alınmıştır. Bunların devamında küresel mekanizmalar ve güneş takibi için tasarlanan küresel mekanizma ile kinematik analizi üzerinde çalışılmıştır. Son olarak mekanizmanın tahrik elemanlarının özelliklerine, sistem kontrolüne, prototip tasarımı bilgilerine ve prototipten elde edilen verilere yer verilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu çalışma ile ilgili literatür araştırmalarında küresel mekanizma ile güneş takibi konusunda doğrudan bilgi elde edilememiştir. Fakat faydalı olacağı düşüncesiyle güneş takibi için kullanılan diğer yöntemler üzerine araştırma yapılmış ve bulgulara aşağıda yer verilmiştir. Bu tez çalışmasıyla güneş takibi ile ilgili literatürdeki çalışmalara katkı yapmak hedeflenmiştir.

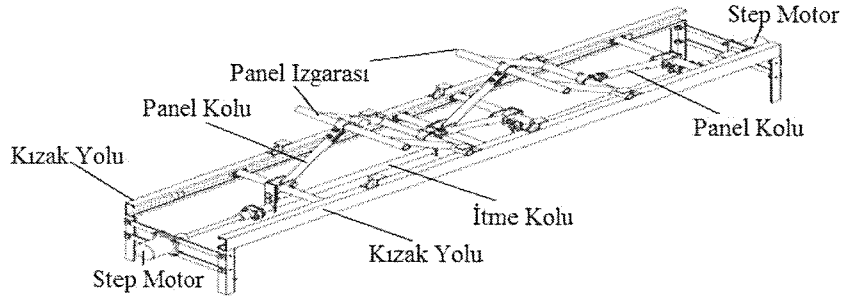
Cammarata (2015), çalışmasında, mekanizmanın üç ayrı uzvunu 1 numaralı hareketli panele küresel bir çift ve iki kardan mafsalları kullanarak şekil 2.1'de görüldüğü gibi bağlamış ve bu uzuvlardan ikisini de birer kardan mafsalları kullanarak mekanizmanın sabit uzvu ile kayar çift oluşturan iki ayrı mekanizma uzvuna bağlamıştır. U-2PUS tipi paralel makine olarak adlandırdığı bu iki serbestlik dereceli paralel mekanizmayı kayar çift oluşturan 2 ve 3 numaralı uzuvlardan tahrik ederek hareket ettirmiştir. Bu mekanizmada tekillik ve uzuv/çift çakışmalarını önlemeye yönelik optimizasyon çalışmaları yapılarak, sistemin 0° - 50° enlemleri arasında güneş takibi için 180° 'lik açı

ile yatayda ve 90° 'lik açı ile düşeyde çalışma alanı sağlanmış ve güneş takibi yapılarak 0° ve 30° 'lik eğimlere sahip sabit panellere göre %17.2'lik verim artışı tespit edilmiştir.



Şekil 2.1 Güneş takibi yapan 2 serbestlik dereceli paralel mekanizma (Cammarata, 2015).

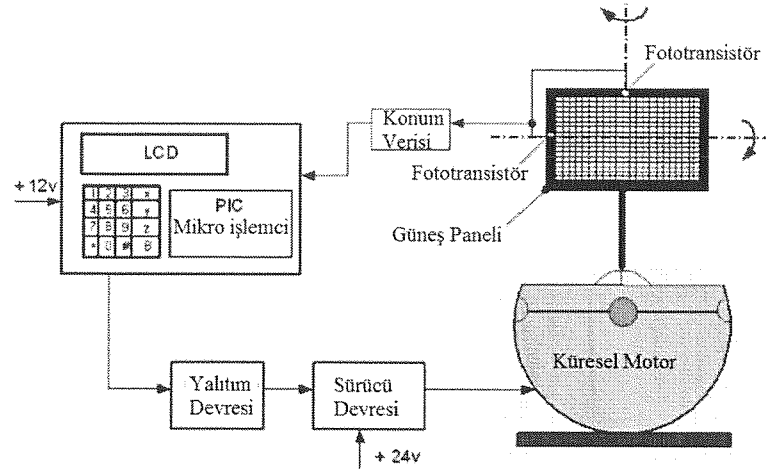
Song ve ark. (2014), çalışmalarında rüzgâra dayanıklı tek eksenli takip yapan özel bir sistem geliştirmişlerdir. Sistem ikişer adet step motor, panel ızgarası, itme kolu, kızak yolu ve dört adet panel kolundan oluşmaktadır. Panel ızgaraları ikişer panel kolu ile farklı itme kollarına bağlanırlar. Güneş'in yatay düzlemde yaptığı açığı takip eden bu sistemde itme kolları ile ileri geri yapılarak panellerin eğimi ayarlanmaktadır. Eğim ayarlaması için gerekli güneş konum bilgisi GPS'ten alınmaktadır. Aşırı rüzgârlı hava şartlarında, öğle vaktinde ve geceleri panel yatay konuma getirilmektedir. Sistem şekil 2.2'de görüldüğü gibidir.



Şekil 2.2 Tek eksenli rüzgâr dayanıklı güneş takip sistemi (Song ve ark., 2014).

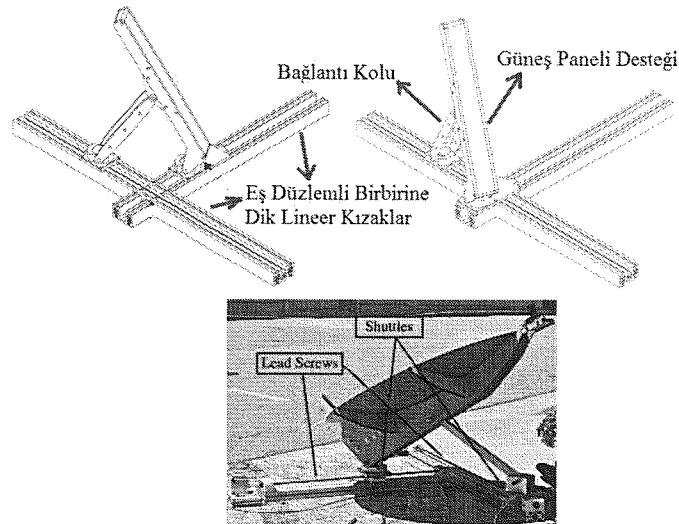
Oner ve ark. (2009), çalışmalarında şekil 2.3'de gösterildiği gibi üç serbestlik dereceli küresel motor ile güneş takibi yapmışlardır. Bu sistemin performansını sabit

güneş panelin performansı ile karşılaştırıp 5 Haziran için yaklaşık %15'lik bir artış sağlanmıştır. Bu sistemde güneşin konum değiştirmesiyle fotoresistörlerde oluşan akım farkı sayesinde takip yapılmıştır.



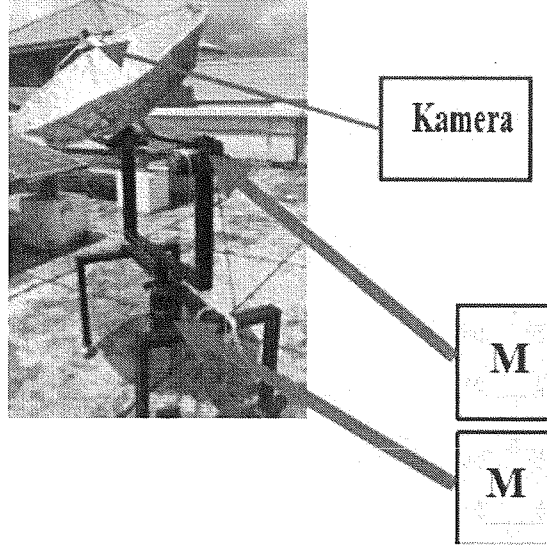
Şekil 2.3 Küresel motor ve kontrol sistemi (Oner ve ark., 2009).

Barker ve ark. (2013), çalışmalarında eş düzlemli ve birbirine dik tek bağlantı kolu ile birbirine bağlı iki lineer eyleyiciden oluşan bir mekanizma sunmuşlardır. Bu sistemin düşük profil ile iki eksende güneş takibi olarak adlandırılmasının sebebi gölge boyunun minimuma indirilmesinin hedeflenmesinden dolayıdır. Bu çalışma sayesinde $90^\circ < \gamma < 270^\circ$ aralığında güneş takibi yapılmış ve gölge boyunun bir miktar azaltılması sağlanmıştır. Bu çalışma ile rüzgâr yükünün de azaltılmasına yönelik yeni çalışmalara yol açılmıştır. Güneş takibi için görüntü işleme kullanılmıştır.



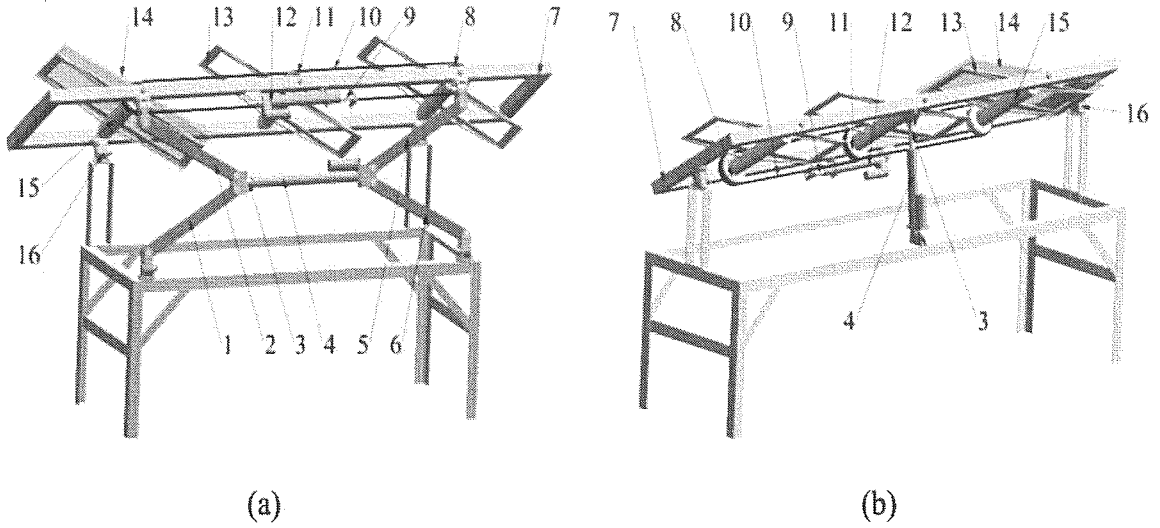
Şekil 2.4 Düşük profilli güneş takip sistemi (Barker ve ark., 2013).

Hossain ve ark. (2008), çalışmalarında web kamerası kullanarak güneş konumunu tespit etmek suretiyle takip yapmışlardır. Bu çalışmada şekil 2.5'teki gibi bir mekanizma parabolik odaklayıcı kullanılarak iki eksende takip gerçekleştirilmiştir. Görüntü işleme ve motor kontrolüne odaklanılan bu çalışmada % 40'lık verim elde edilmiştir.



Şekil 2.5 Kamera ile güneş takibi (Hossain ve ark., 2008).

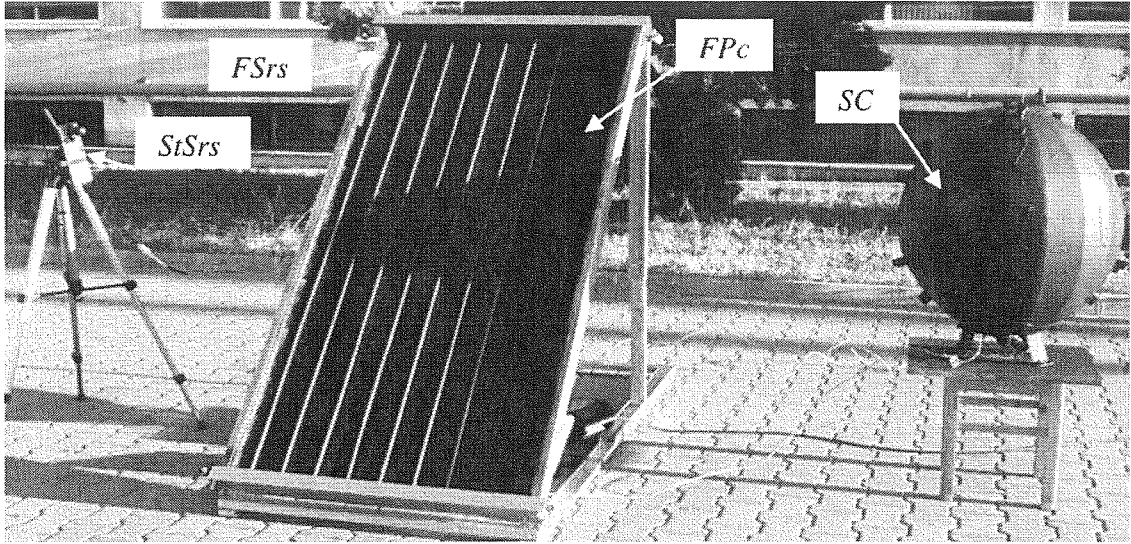
Yao ve ark. (2014), çalışmalarında şekil 2.6da gösterilen çok işlevli çift eksenli güneş takip sistemi yapmışlardır. Güneş saati ve sensörler kullanılarak hibrid bir sistem oluşturulmuştur. Bu sistem sayesinde sensörler ile takip yapılırken hava şartlarının etkisiyle oluşacak hatalar eş zamanlı güneş saatinin takibi ile minimuma indirilmiştir. Bu sistemde montajlı yükselim saat sistemi sayesinde doğu batı doğrultusundaki birincil eksenin konumlandırması yapılmaktadır. Bu montajlı sisteme bağlı olarak normal takip stratejisi ve günlük ayar stratejisi, sırasıyla düz ve parabolik güneş panelleri için geliştirilmiştir. Normal takip stratejisi takip hatalarını önceden belirlenmiş değerlerden daha düşük verirken, günlük ayar stratejisi takip işlemini birincil eksen günde bir kez ayarlayarak ve ikincil eksen saatte 15° 'lik açı ile tahrik ederek basitleştirmiştir. Hassasiyet testinin sonuçları normal takip stratejisinin takip hatasının 0.15° olduğunu göstermiştir. Günlük ayar stratejisi daha büyük hatalar verse de bu hatadan kaynaklı kayıp %1.3'ten düşük olduğu tahmin edilmiştir. Dahası, normal takip stratejisi kullanan takip sisteminde sabit güneş panellerine göre %23.6'dan daha yüksek verime sahip olduğu tespit edilmiştir. Günlük ayar stratejisine sahip takip sisteminde ise ortalama %31.8'den fazla verime ulaşılmıştır.



Şekil 2.6 Güneş takip mekanizması yapısı (Yao ve ark., 2014).

Burada (a) bağlantı mekanizmalı (b) bağlantı mekanizması kullanılmayan çalışmaları ifade etmektedir. 1, 2, 5, 6 nolu parçalar yükselti açısını sağlayan bağlantı kollarını göstermektedir. 3 nolu parça yükselti hareketi için lineer eyleyici pistonunu ifade etmektedir. 4 nolu parça yükselti hareketi için lineer eyleyici silindiri göstermektedir. 7 nolu parça panel ızgara desteğini, 8, 11 nolu parçalar kasnakları, 9 nolu parça azimut açısını sağlayan ikincil hareket için lineer eyleyici pistonu göstermektedir. 10 nolu parça kasnak, 12 nolu parça ikincil hareket için lineer eyleyici silindir, 13 nolu parça panel ızgarasıdır. 14 nolu parça güneş paneli, 15 nolu parça ikincil eksen, 16 nolu parça birincil eksendir.

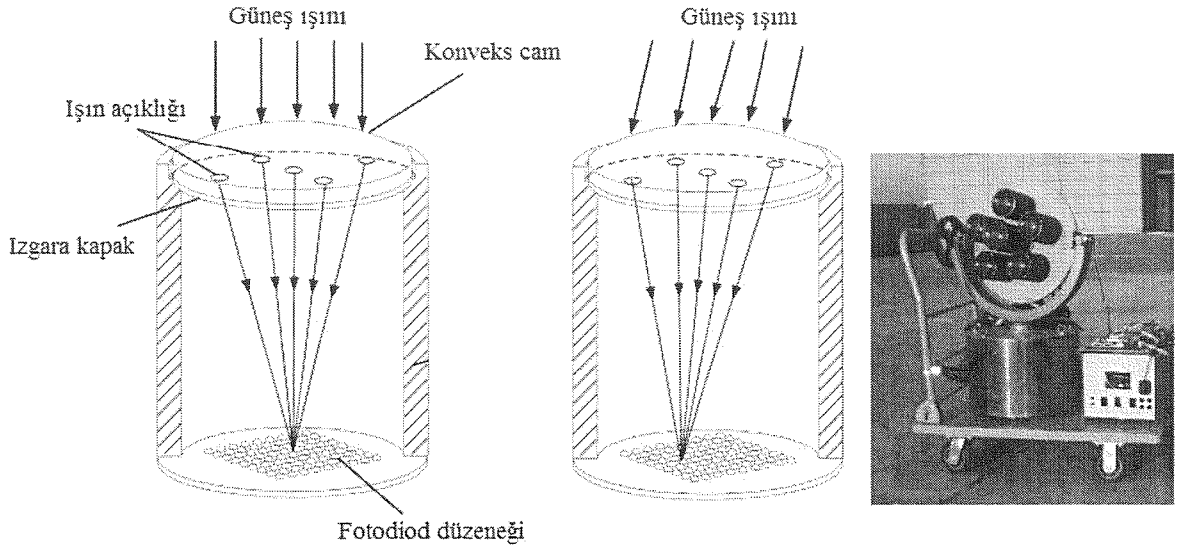
Gaspar ve ark. (2016), çalışmalarında şekil 2.7de gösterilen sistemlerde düz yüzey ve küresel yüzeyin güneş maruzatında gün içerisinde sıcaklık değişimleri karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir. Termal bir kamera ile güneşe maruz kalan yüzeylerde sıcaklık dağılımları ile ilgili ölçümler yapılmıştır. Test sonuçları güneş ışını emici küresel yüzeyler ile güneş takibi yapan piranometreden edinilen anlık ışınım değerlerinin örtüştüğünü göstermiştir. Bu nispetle küresel yüzeyin güneş takip sistemi gibi çalıştığı tespit edilmiştir. Ancak, toplam günlük ortalama değerlere bakıldığında düzlemsel yüzeyden alınan değerlerin küresel yüzeyden alınan değerlerden 1.34 kat yüksek olduğu gözlenerek verimsizliği yönünde karar verilmiştir. Küresel yüzeyde gündoğumu ve batımında düzlemsel yüzeye göre avantaj gözlenmiştir.



Şekil 2.7 Deney düzeneği, FPc düzlemsel kolektör, SC küresel kolektör, StSrs güneş takip piranometresi, FSrs sabit güneş paneli piranometresi (Gaspar ve ark., 2016).

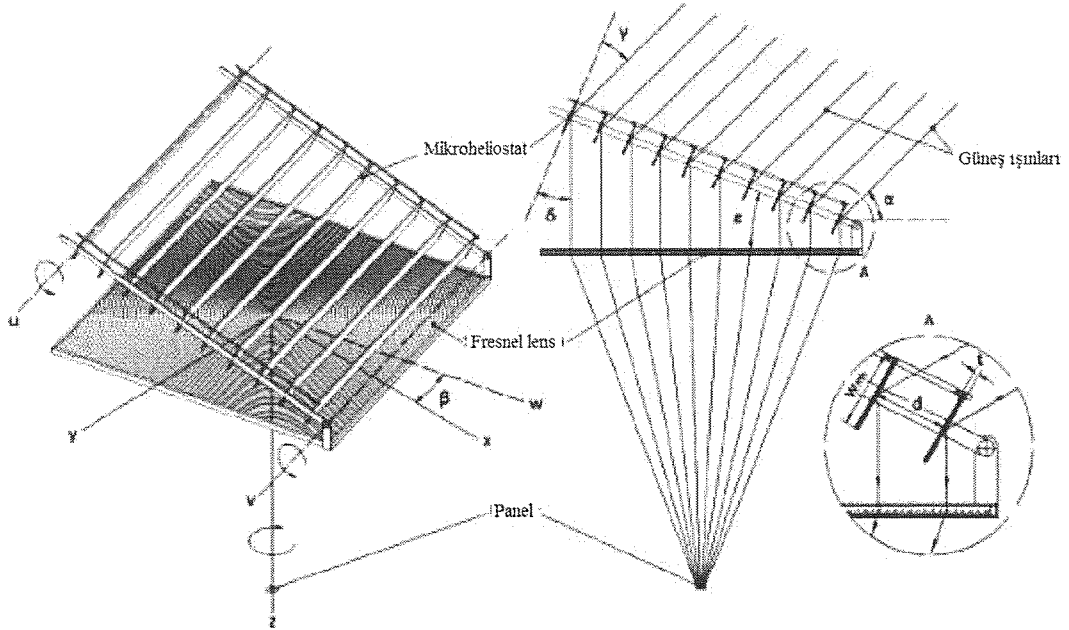
Lazaroiu ve ark. (2015), çalışmalarında eğimli sabit güneş paneli ile tek eksenli hareketli güneş takip sisteminin verimlerini karşılaştırmışlardır. Test düzeneğinde paneller 30° lik eğime ve güneş takipli panele dönme eksenli etrafında 120° lik açı yapma kapasitesine sahiptir. Ayrıca takip için iki adet fotosensör kullanılmıştır. Bu çalışmada ayrıca takip sisteminin tükettiği enerji de incelenmiştir. Sistem iki panel, maksimum enerji noktası takipçisi ve bir elektromekanik bataryadan oluşmaktadır. Otuz günlük test sonucunda güneş takip sisteminin sabit güneş paneline göre bulutlu ve açık havalarda sırasıyla %12- 20 arası değişen verim tespit edilmiştir. Sistemin 120° lik açı yapabilmesi için harcanan güç 50 Ws ve güneş batımından ertesi güne hazır konuma geçmesi için gereken güç 20 W olarak tespit edilmiştir.

Song ve ark. (2014), iki aşamalı güneş takip eden optik fiber tabanlı aydınlanma üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada iki step motor, enkoder, GPS, gömülü kontrolcü, konum sensörü kullanılmıştır. Sistem 0.1° lik takip hassasiyetine sahip ve 2500 ışın odaklama kapasitesine sahiptir. Bu sayede ışın giriş yüzeyi ve çakışık odak noktaları %80'den yüksek olarak elde edilmiştir. Bu sistemde güneş doğuş ve batış saatleri GPS'ten alınmıştır. Güneş konumu formüle edilmiş ve gerekli açılar eksenlere verdirilmiştir. Açı sensörleri ile mekanik parçaların açıları ölçülmüş geri bildirim mekanizması ile doğrulama yapılmıştır.



Şekil 2.8 Güneş ışını odaklama ve takip sisteminin prototipi (Song ve ark., 2014)

León ve ark. (2014), yarı pasif güneş takip eden ışın toplayıcı üzerine çalışmalar yaptılar. Güneş takip işleminde sabit hızla hareket ettirilerek ışınların panelin kesit alanına dik düşmesini bir yılın her günü için sağladılar. Mikro yapıdaki heliostat düzeni güneş ışınlarını takip ederek yatay konumlu Fresnel lensi üzerine yansıtır ve ışınlar şekil 2.9'daki gibi odaklanır. Güneşin düşey düzlemdeki hareketi heliostatın 40° 'lik açı değişimi ile, yataydaki hareketi 200° 'lik açı değişimi ile sağlanmıştır.



Şekil 2.9 Yarı pasif güneş takipli ışın toplayıcı (León ve ark., 2014)

2.1. Güneş Enerjisi Potansiyeli

Güneş ışığı şeklinde Güneş'ten yayılan enerji, bitkiler için fotosentez, hayvanlar için D vitamini ve son yılların teknolojisi güneş panelleri için elektrik üretimi sağlamak suretiyle Dünya üzerindeki hayatın hemen hemen tamamının var olmasını sağlar ve Dünya'nın iklimiyle hava durumunun üzerinde önemli etkilerde bulunur.

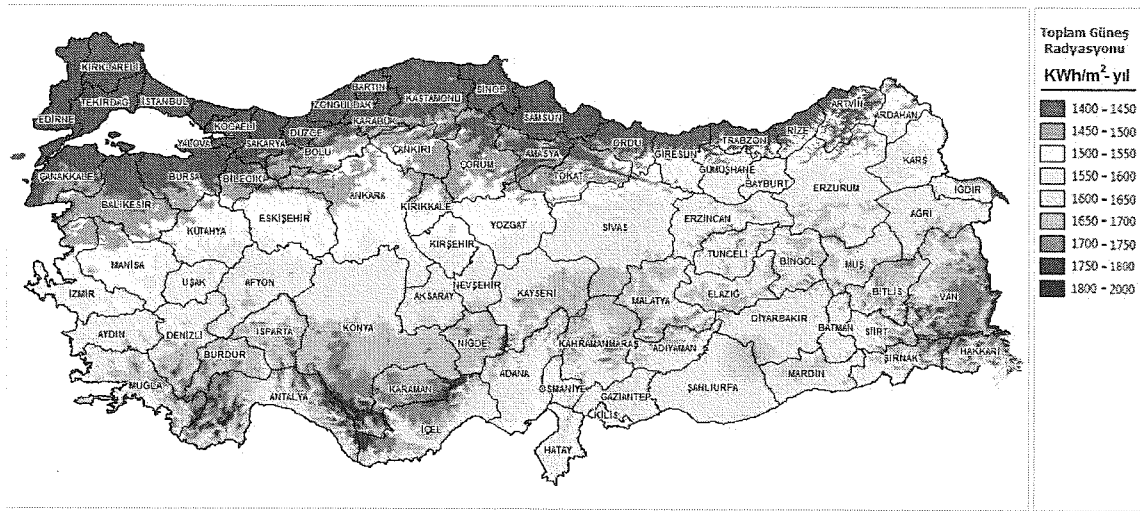
Güneş %74.9 Hidrojen ve %23.8 Helyum elementlerinden oluşmaktadır. Ağır metal olarak isimlendirilen diğer tüm metaller %2'den az kısmını oluşturmaktadır. Güneşin yüzey sıcaklığı 5500 °C ve çekirdeğinin sıcaklığıysa 15,6 milyon °C'dir. Güneşten çıkan enerjinin 2 milyonda 1'i yeryüzüne ulaşır. Güneş'in üç günde yaymış olduğu enerji, dünyadaki tüm petrol, ağaç, doğalgaz, vb. yakıta eşdeğerdir. Güneş ışınları 8,44 dakikada yeryüzüne ulaşır (Anonim, 2015).

Güneş enerjisi, Güneş ışığındaki enerjinin kullanılmasına bağlı gelişen enerji türüdür. Güneşten dünyamıza ulaşan enerji, güneşin çekirdeğinde gerçekleşen füzyon reaksiyonları ile açığa çıkan ışınım enerjisidir. Bu füzyon reaksiyonunda hidrojen gazı helyuma dönüşmektedir. Dünya atmosferinin dışında güneş ışınımının şiddeti, aşağı yukarı sabit ve 1370 W/m² değerindedir; ancak yeryüzünde 0-1100 W/m² değerleri arasında değişim gösterir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, güneş enerjisi çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir (Anonim, 2015).

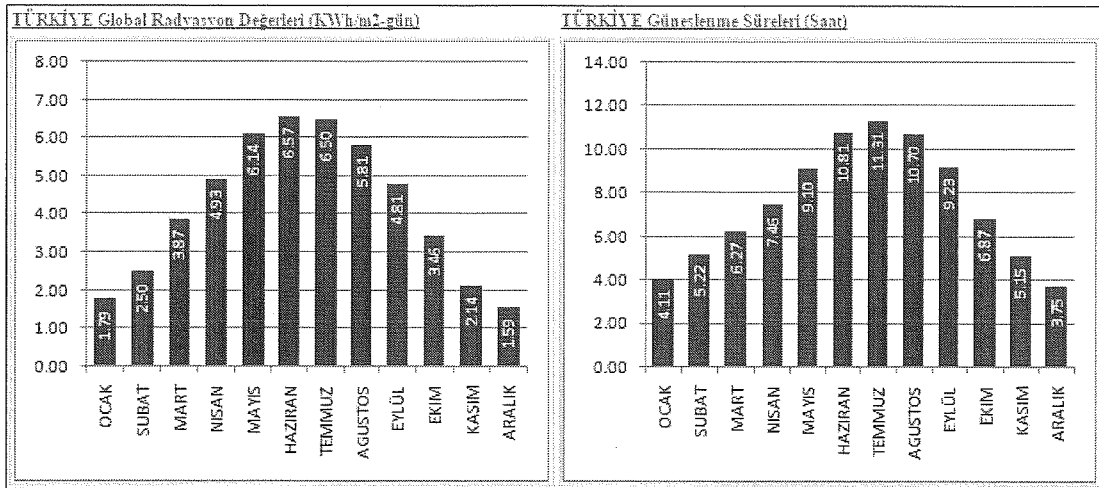
Dünyanın yörüngesi üzerinde, uzayda, birim alana ulaşan güneş ışınları, güneşe dik bir yüzey üzerinde ölçüldükleri zaman 1,366 W/m²'dir. Bu değer güneş enerjisi sabiti olarak da anılır. Atmosfer bu enerjinin %6'sını gezegene yansıtır, %16'sını da sönümler ve böylece deniz seviyesinde ulaşılabilen en yüksek güneş enerjisi 1,020 W/m²'dir. Bulutlar gelen ışınmayı, yansıtma suretiyle yaklaşık %20, sönümlerle suretiyle de yaklaşık %16 azaltırlar. Örneğin Kuzey Amerika'ya ulaşan güneş enerjisi 125- 375 W/m² arasında değişirken, günlük elde edilebilen enerji miktarı, 3-9 kWh/m² arasında değişmektedir. Örneğin, fotovoltaik (güneş pili) panelleri, bugün için yaklaşık %15'lik bir verime sahiptirler. Bu nedenle, aynı bölgede bir güneş paneli, 19 ile 56 W/m² ya da günlük 0,45-1,35 kWh/m² enerji sağlayacaktır (Anonim, 2015).

Türkiye dünya üzerinde 36° - 42° kuzey enlemleri ve 26° - 45° doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2.737 saat (günlük toplam 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi $1.527 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{yıl}$ (günlük toplam $4,2 \text{ kWh/m}^2$) olduğu tespit edilmiştir (Anonim, 2016).

Güneş enerjisi teknolojileri yöntem, malzeme ve teknolojik düzey açısından çok çeşitlilik göstermekle birlikte iki ana gruba ayrılabilir. Isıl Güneş Teknolojileri ve Odaklanmış Güneş Enerjisi (CSP); güneş enerjisinden ısı elde edilen bu sistemlerde, ısı doğrudan kullanılabilir gibi elektrik üretiminde de kullanılabilir. Güneş Hücreleri; Fotovoltaik güneş elektrikli sistemleri de denilen yarı iletken malzemeler güneş ışığını doğrudan elektrikle çevirirler. Ülkemizde 2012 yılı itibari ile toplam kurulu güneş kolektör alanı yaklaşık $18.640.000 \text{ m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Yıllık düzlemsel güneş kolektörü üretimi $1.164.000 \text{ m}^2$, vakum tüplü kolektör ise 57.600 m^2 olarak hesap edilmiştir. 2012 yılında güneş kolektörleri ile yaklaşık olarak 768.000 TEP (Ton Eşdeğer Petrol) ısı enerjisi üretilmiştir. Üretilen ısı enerjisinin, 2012 yılı için konutlarda kullanım miktarı 500.000 TEP, endüstriyel amaçlı kullanım miktarı 268.000 TEP olarak hesaplanmıştır (Anonim, 2016).



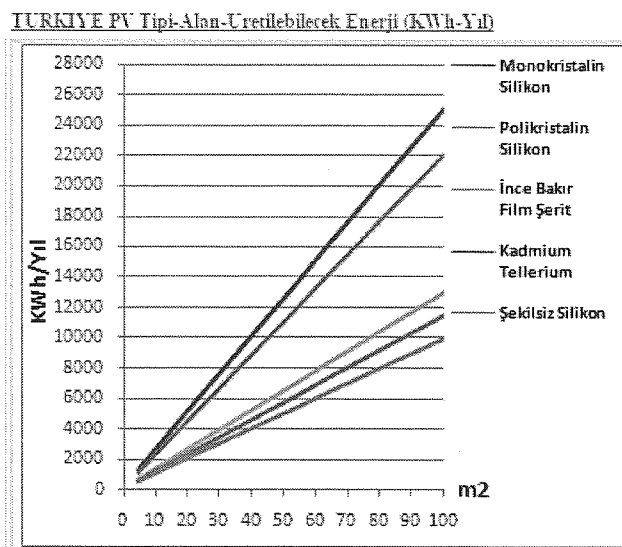
Şekil 2.10 Türkiye Güneş Haritası (Anonim, 2016)



Şekil 2.11 Türkiye Güneş Radyasyon Değerleri ve Süreleri (Anonim, 2016).

2.2. Güneş Paneli

Güneş paneli güneş ışınlarını absorbe ederek elektrik ya da ısı enerjisi üretmek üzere tasarlanmış paneli ifade etmektedir. Bir fotovoltaiik (PV) modül genellikle bir birine bağlı 6x10 adet güneş hücresinin montajından oluşur. Fotovoltaiik güneş panelleri ticari ve yerleşim yeri uygulamalarında üretim yapan elektrik kaynağı olarak kullanılmaktadır. Çok az sayıda güneş paneli %19 verimi aşabilmektedir. Bazı yeni teknoloji güneş panellerinde odaklayıcı lensler kullanılarak verim artırılmış ve birim alanın maliyetini yükselten metaryaller kullanılmıştır. Güneş panellerinin yapısında kullanılan malzemelerin verimde etkisini şekil 2.12’de görmek mümkündür (Anonymus, 2016a).

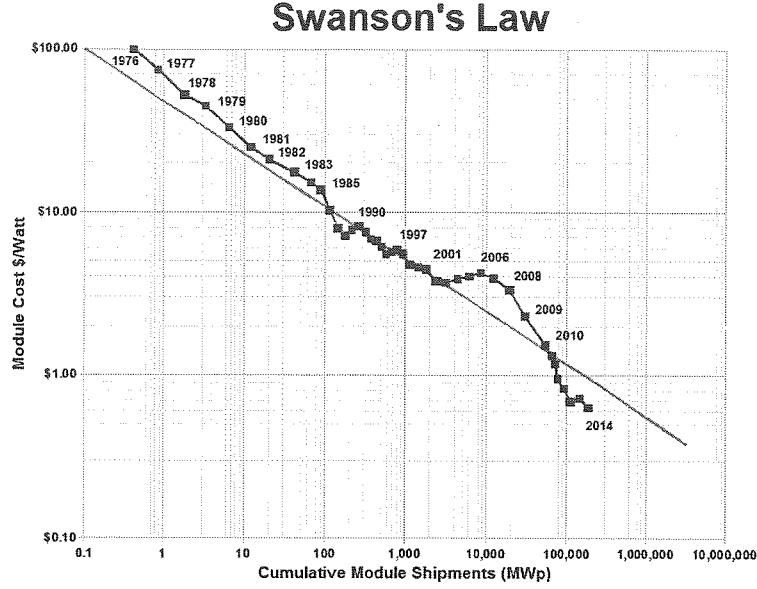


Şekil 2.12 Malzemesine göre fotovoltaiik panellerin verimi (Anonim, 2016).

miktarına, sıcaklığa ve panel ölçülerine bağlı olarak değişen bir davranış göstermektedir. Sembolik voltaj değeri bir bakıma güneş panelinin bir sistemle çalışma uyumunu sağlamada kullanılmaktadır. Birçok kristal yapıda silikon panel üreticisi 10 yıl boyunca %90 oranında ve 25 yıl %80 oranında elektrik verimini koruyacağına dair garanti vermektedir. Doğal faktörlerin yanında serseri akım diye adlandırılan gereksiz gerilim oluşumundan kaynaklı güneş panelinin verimini %30'a kadar etkileyebilen bozucu etkiler bulunmaktadır. Bu etkilerden korunabilmek için akım yalıtımı yapılmaktadır. Araştırmacılar güneş panellerinin kirlilikten kaynaklı verimi ile ilgili çalışmalarında bir yaz sezonunda 145 gün boyunca temizlik yapmaksızın bir güneş panelinin verimini ölçmüşler ve %7.4'lük kayıp belirlemişlerdir. Bu nedenle güneş panelinin temizliği için yatırım yapmanın gereksiz olduğuna karar vermişlerdir. Büyük güneş paneli sistemlerinde panel temizliği için yatırım yapılması makul bir yatırım olacaktır. Çünkü sistemin tamamında verim kaybını engellemek için yapılan bu yatırım kendisini kısa sürede ödeyecektir (Anonymus, 2016a).

Güneş panellerinin yarı iletken parçalarının ve diğer çoğu parçalarının geri dönüşümü özel firmalar ve kâr hedefi olmayan bazı organizasyonlar tarafından yapılmaktadır. Geri dönüşüm yapılabilmesi güneş panellerinde kullanılan teknolojinin türüne bağlıdır. Plastik, cam ve metal parçalar ayrıldıktan sonra silikon tabanlı güneş paneli öğütülerek %80 oranında geri kazanım sağlanmaktadır. Güneş panelinin yapısı cam yapısına çok yakın olduğu için geri dönüşüm işlemi cam geri dönüştürücüleri ile gerçekleştirilmekte ve yalıtım sektöründe kullanılmaktadır. Silikon tabanlı olmayan güneş panellerinde ise farklı yarı iletkenlerin ayrımı için kimyasal banyo kullanılmaktadır (Anonymus, 2016a).

Güneş panelleri gün geçtikçe daha ucuza mal edilmektedir. 1970'lerde 1 watt'lık panel için 150\$ bedel ödenirken 2012 yılında 0.6\$ bedel ödenmekteydi. Fiyatlardaki lineer azalma 1980'lerden beri %10'luk bir oranda devam etmektedir. Uluslararası enerji ajansının tahminlerine göre güneş panellerinin fiyatlarındaki düşüş ve verimdeki artış lineer olarak devam ederse 2030 yılında elektrik tüketiminin %20'si güneş enerjisinden karşılanması beklenmektedir. Fosil yakıt kullanımı nedeniyle atmosferde oluşan aşırı kirlenme dünya ülkelerinin güneş paneli kurulumu için teşvikler vermesine neden olmuş ve bireysel güneş paneli sahipleri kendi ihtiyacının fazlası olan elektriği şebekeye vererek hem ülke ekonomisine, kendi ekonomisine ve çevre korumaya katkıda bulunmuştur (Anonymus, 2016a).

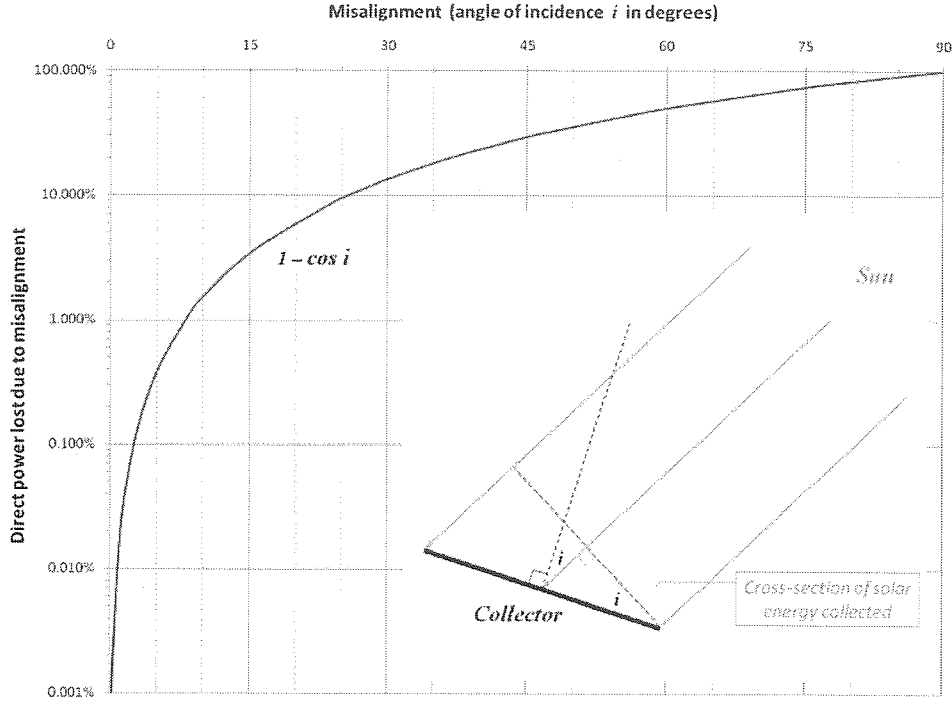


Şekil 2.14 Güneş paneli fiyat değişim (Swanson, 2006).

2.3. Güneş Takip Sistemleri

Taşıma yükünü güneşe doğru yönelten sistemler Güneş Takip Sistemi olarak isimlendirilmektedir. Taşıma yükleri genellikle güneş panellerinden, parabolik güneş kolektörlerinden, fresle yansıtıcılardan, aynalardan ya da lenslerden oluşmaktadır.

Güneş ışığı dik ışın ve dağınık ışın olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. Güneş ışığının %90 enerjisi dik ışınlarda bulunmaktadır. Dağınık ışınlar açık havada mavi gökyüzünü oluşturmaktadır ve havanın bulutlanmasına bağlı olarak artmaktadır. Güneş enerjisinin büyük kısmı dik ışınlarda olmasından dolayı güneş panelinden elde edilen enerjinin artırılması için Güneş'in mümkün en uzun süre güneş paneline görünür halde olması ve ışınların panel yüzeyi ile 90°'lik açı ya da yakın açılar yapması gerekmektedir. Güneş doğudan batıya günlük 360° hareket etmektedir. Fakat bu hareketin ortalama bir günde 180°'lik kısmı Dünya üzerinde sabit bir noktadan gözlemlenebilmektedir. Yerel ufuk çizgisi görülebilir güneş hareket süresini azaltarak 150°'ye düşürdüğü bir durum için sabah ve akşam saatlerinde elde edilen enerjinin %75'i kayıp olmaktadır. Dik ışınlardan edinilen enerji güneş panelinin yüzey normali ile gelen ışın arasındaki açının kosinüsü ile değişimi şekil 2.15'teki gibidir.

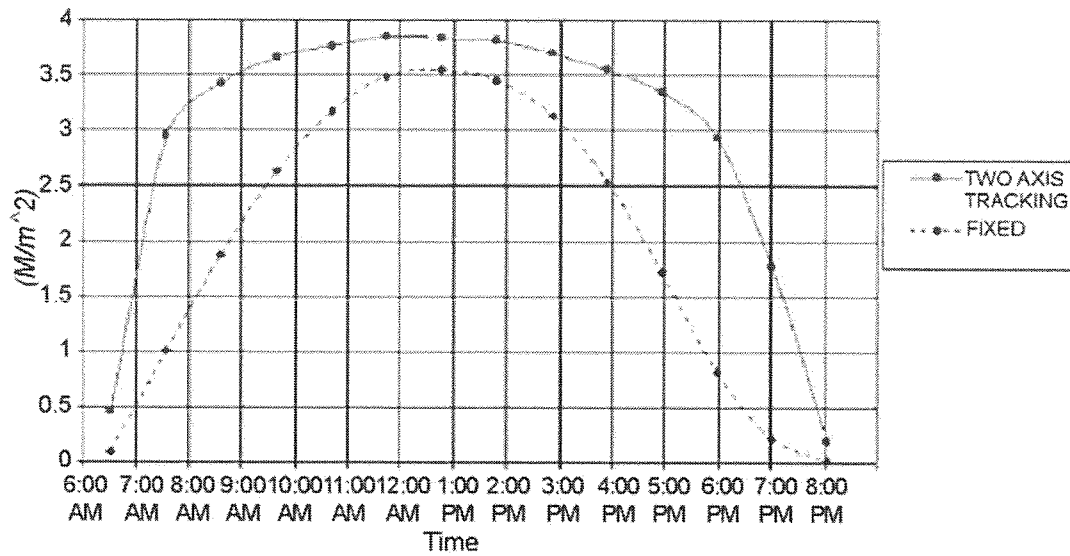


Şekil 2.15 Güneş panelinin yansıma açısına bağlı güç kaybı (Anonymus, 2016c).

Sabit güneş kolektörleri öğle saatlerindeki enerji potansiyelinden yüksek oranda yararlanmak üzere ayarlanır. Ancak hava durumu, enlem-boylam değerleri ve yıllık sezona bağlı olarak sabah ve akşamüzeri vakitlerde öğle saatlerinin enerji potansiyelinin yarısından fazla oranda enerji elde etmek şekil 2.16'da görüleceği gibi mümkündür. Bazı güneş kolektörlerini hareket ettirmek ağırlığından ya da boyutlarından dolayı sabit olarak kurulması daha kârlıdır. Bu tür güneş kolektörlerinin enerji verimini artırmak için heliostat adında aynalar kullanılmaktadır. Heliostatlar Güneş takibi yaparak güneş ışınlarını sabit güneş kolektörlerine yansıtmaktadır. Bu tür kurulumlarda genellikle parabolik güneş kolektörleri kullanılarak elektrik enerjisi ve ısı enerjisinden yararlanarak fayda artırılmış ve güneş panelinin optimum sıcaklıkta daha verimli çalışması sağlanmıştır. Çok sayıda güneş kolektörlerine yansıtma yapılmak gerektiğinde konkav aynalar kullanılmıştır.

Güneş takip sistemleri düzlemsel güneş panellerinde yansıma açıları ile yüzey normali arasındaki açının azaltılması için kullanılır. Bu işlem düzlemsel güneş panelinin enerji üretimini sabit güneş paneline göre şekil 2.16'da görüleceği gibi artırmaktadır. Güneş kolektörleri ve kolektörün konumu güneş takibinde farklı mekanizmaları gerektirmektedir. Güneş kolektörleri düzlemsel paneller ya da parabolik

merkezleyicilerden oluşmaktadır. Düzlemsel paneller sabit konumlandırılarak güneş takibi yapan bir heliostat yardımı ile ya da güneş takip mekanizmasına düzlemsel panel bağlanılarak güneş ışınlarının yansıma açısını düşürmek hedeflenmiştir. Bu sistemler, parabolik merkezleyici kolektör uygulamalarında güneş ışığının optik bileşenlerinin kullanımını sağlamaktadır. Parabolik merkezleyici kolektör güneş ışığının dik bileşenini kabul etmektedir. Bu nedenle en uygun şekilde güneşe yönlendirilmesi gerekmektedir (Anonymus, 2016c).

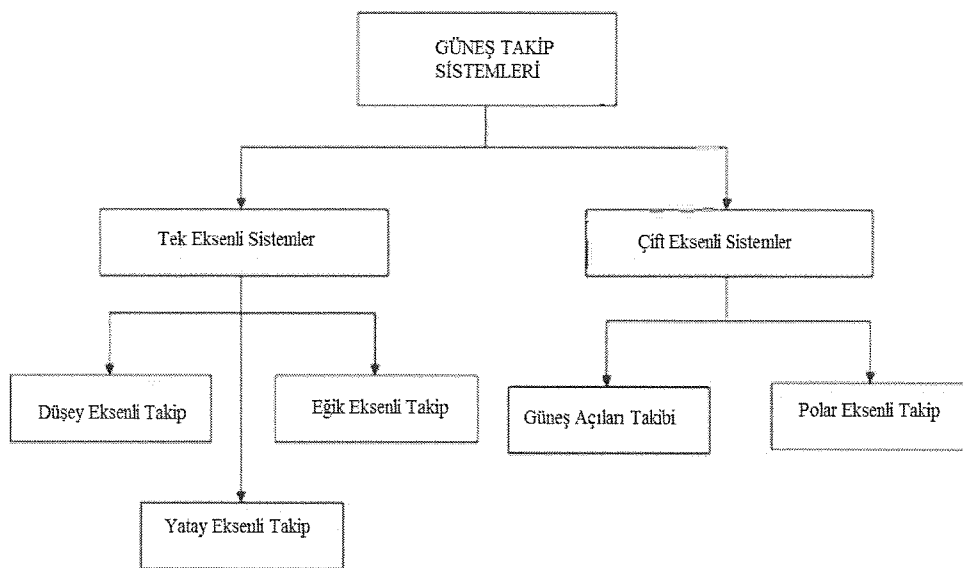


Şekil 2.16 Çift eksenli Güneş takip sistemi ve sabit Güneş paneli için bir günlük performans karşılaştırması (Abdallah ve Nijmeh, 2004).

Güneş takip sistemlerinde genellikle;

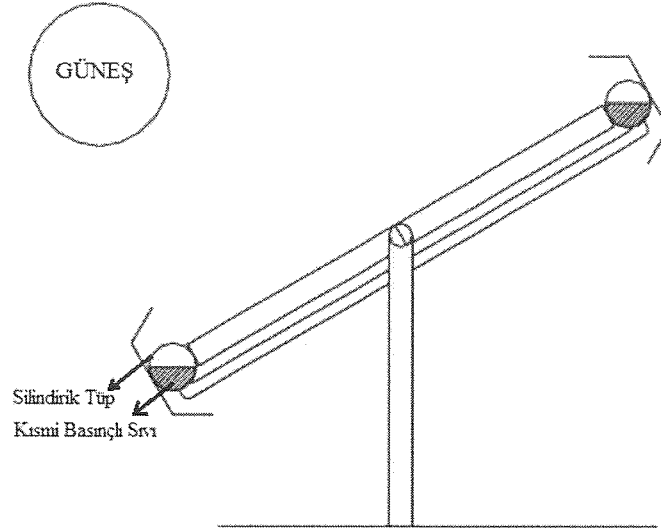
1. Tahrik elemanları için lineer eyleyiciler, sonsuz dişliler, lineer sürücüler, planet dişli ve dönel sürücüsü,
2. Akım, frekans ve hız kontrolü ile DC ve AC motorlar,
3. Hareket sensörü için lineer veya dönel enkoderler, eğimölçer, fotodiyotlar, fotoresistörler,
4. Kontrol ünitesi için PC, PIC, PLC ve diğer mikro kontrolcüler,
5. Atmosferdeki aydınlanma durumu için solarimetre, piranometre, rüzgarölçer, sıcaklık, nem ve basınç sensörleri,
6. Taşıma yükü için yansıtıcılar, güneş panelleri, lensler ve parabolik yansıtıcılar kullanılmaktadır.

Güneş takip sistemleri standart fotovoltaik takipçi ve parabolik merkezleyici fotovoltaik takipçi olarak sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma takip yöntemi olarak ise şekil 2.17'e görüleceği gibi tek eksenli ve çift eksenli takip olarak iki grupta incelenmektedir. Tek eksenli Güneş takip sistemleri sabit güneş kolektörlerine göre %20-30 arası daha fazla enerji üretimi yaparken, çift eksenli güneş takip sistemleri bundan %15-20 daha fazla artış sağlamıştır. Bu iki yöntem merkezli fotovoltaik kolektörlerde kullanıldığında %5-10 arası daha fazla artış sağlanmaktadır. Tek eksenli ve çift eksenli güneş takip sistemleri de yapısal çalışma metodlarına göre çeşitli sınıflandırmalara tabi tutulmuştur.



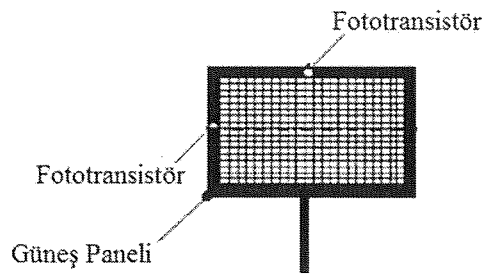
Şekil 2.17 Güneş takip sistemleri takip yöntemine göre sınıflandırılması

Güneş takip sistemleri için kullanılan yöntemlere göre pasif ve aktif olmak üzere iki genel sınıflandırma yapılmıştır. Pasif güneş takibi freon gibi maddelerin ısıl genişmesi ya da alaşım malzemelerin genişmesine dayalı çalışmaktadır. Bu tür sistemler genellikle şekil 2.18'de görüleceği gibi birbirine karşı çalışan eşit güneşlenme aldığında dengelenen bir çift eyleyiciden oluşmaktadır. Farklı güneşlenme oluştuğunda ise eyleyicilerdeki ısıl genişmenin oluşturduğu dengesiz kuvvet nedeniyle eşit güneşlenme oluşturup kuvvet dengesini sağlanıncaya kadar güneş paneli uygun yönde hareket ettirilmektedir. Pasif güneş takip sistemleri aktif sistemlere nispeten daha sade yapıda olmasına karşın düşük verimliliğe sahip ve düşük sıcaklıklarda çalışmama dezavantajına sahiptir. Pasif takip sistemi ile sabit güneş paneline göre %23'lük bir artış elde edilebileceği tespit edilmiştir (Clifford ve Eastwood, 2004).



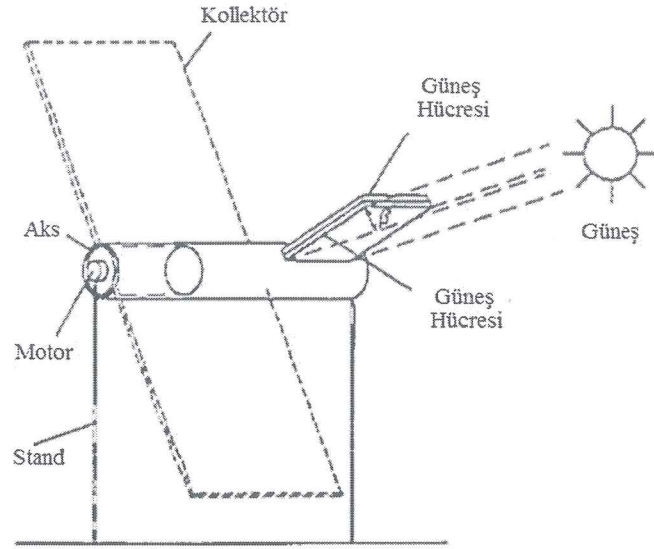
Şekil 2.18 Pasif güneş takip sistem (Clifford ve Eastwood, 2004).

Aktif güneş takip sistemlerinde temel olarak elektro-optik sensörlü mikro işlemci kontrollü, bilgisayar kontrollü tarih ve saat tabanlı, yardımcı eş yüzeyli güneş hücre tabanlı ve bu üç kategorinin kombinasyonundan oluşan yöntemler kullanılmaktadır. Elektro-optik ile güneş takibi yapan sistemlerde, aynı düzlemde birbirine dik eksenlere şekil 2. 19’de görüldüğü gibi yerleştirilmiş fototransistörler kullanılarak, Güneş konumu değişimi elektro-optik sensörlerdeki akım değişimi ile belirlenip motorlara sinyal göndermek suretiyle güneş panelinin konumu kontrol edilmektedir.



Şekil 2.19 Foto-transistör ile kontrol edilen bir güneş takip sistemi (Oner ve ark., 2009).

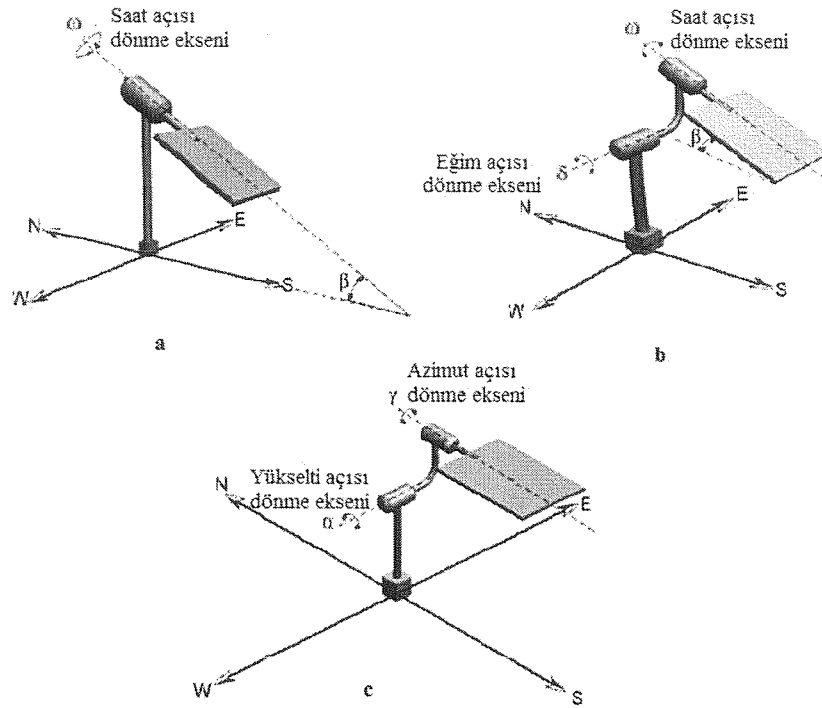
Yardımcı yüzeyli güneş hücresi şekil 2. 20’da görüleceği gibi doğrudan dönme eksenine monte edilmiş DC motora bağlı hareket ederek, hareket yönünü algılayıp gereken dönmeyi sağlamak için enerji tedarik etmektedir. Bu sistemlerde Güneş hareketi, yardımcı yüzeyli güneş hücrelerinde oluşan akım farkını dengeleme yönünde motor hareketi sağlanarak takip edilmektedir. Bu sistemler düşey, yatay ve eğik eksenlerde takip yapmak üzere tasarlanmıştır.



Şekil 2.20 Yardımcı yüzeyli güneş hücresi kullanılan güneş takip sistemi (Poulek ve Libra, 1998).

Bilgisayar kontrollü tarih-saat tabanlı güneş takip sistemlerinde, bilgisayar ya da mikro işlemci Güneş pozisyonunu, sistemin coğrafik konum, tarih ve saat değerlerine göre formülden ya da algoritmadan hesaplayarak gerekli konumu sağlayacak değerler için motora uygun hızda uygun açısal hareketler yaptırılır. Bu yöntemle takip yapan sistemlerde şekil 2.21’de görüleceği gibi eğimli tek ekseninde, saat-eğim açıları ve azimut-yükselti açıları takibi yapılmak üzere üç çeşit sistem öngörülmüştür.

Elektro-optik sensör ve tarih-saat tabanlı çalışan sistemler birleştirilerek doğal faktörlerin etkisiyle sensörlerde oluşabilecek hatalar minize edilmiş ve performans yükseltilmiştir. Kombinasyon yolu ile oluşturulan düzenli temizliği sağlanan ve rüzgâr etkileri minimuma indirilen bu sistemlerde %46.46’lık verimlere ulaşılmıştır. Diğer sistemlerde rüzgâr dayanımı daha yüksek olsa da %10-40 arasında değişen verimler elde edilmiştir. Bu sistemlerde fotodiyotlar ve fototransistörler kullanılmaktadır. Güneş konum değiştirdikçe sensörlerdeki akım dengesini sağlamaya uygun yönde güneş paneline hareket verilerek takip yapılmaktadır. Sensör yerine kamera kullanılan sistemlerde görüntü işleme algoritması ile Güneş şeklini çevreleyen bir çemberin merkez noktasının iki eksenindeki konum değişimini tahrik elemanlarına sağlatarak takip yapılmaktadır. Tarih-zaman tabanlı kontrol eklenmesi ile oluşturulan birleşik sistemlerdeki sensörlerde hava şartlarından dolayı ve gün batımından dolayı oluşan karmaşıklıklar engellenmiştir.



Şekil 2.21 Tarih-Zaman tabanlı güneş takip sistemleri. a-) enlem açısına eşit eğimli tek eksenli güneş takip sistemi. b-) enlem açısına eşit açıda eğimli iki eksenli ekvatorial güneş takip sistemi. c-) iki eksenli azimut-yükselti açısı takip sistemi (Alata ve ark., 2005).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu kısımda Güneş'in Dünya'ya göre durumuna, güneş takibi için gerekli hesaplamalara, küresel geometrinin çalışmayla alakalı kısmına, kısmen küresel mekanizmalar ile kinematik ve kuvvet analizlerine, mekanizma kontrolü için kullanılan yöntemlere, cihazlara ve mekanizmanın tasarım ve imalatına yer verilmiştir.

3.1. Dünya'nın Hareketi

Güneş içerisinde gerçekleşen füzyondan dolayı ekvatorundan kutuplarına doğru elektron taşınımlarının oluşturduğu elektrik akımı, Güneş Sistemi'nde bir manyetik alana neden olarak Dünya'nın kendi eksenini ve Güneş etrafındaki hareketine neden olmuştur. Bu manyetik alan düzensiz olduğu için Dünya'nın hızı da düzensizlik göstermektedir. Dünya'nın Güneş eksenini etrafında yaptığı dönme hareketinin eksenini yörünge eksenini olarak isimlendirilir. Kendi etrafında yaptığı dönme hareketinin eksenini ise dönme eksenini olarak isimlendirilir. Dünya'nın hareketleri saat yönünün tersi yönündedir. Dünya'nın dönme ekseninin eğikliği ile şekil 3.1'de gösterilen elips

şeklindeki yörüngenin oluşturduğu ekliptik düzlemin normali arasındaki açı $23,45^\circ$ dir. Bu eğiklik nedeni ile yaz-kış gündönümleri ve ilkbahar-sonbahar ekinoksları oluşmaktadır. Gündönümlerinde dönme eksenindeki eğiklik nedeni ile güney ve kuzey kürenin Güneş'e yönelmesi arttığı için Güneş ışınımı artarak günler uzamakta ve yaz mevsimi yaşanmaktadır. Ekinokslarda ise dönme eksenini yörünge düzlemi ile çakıştığından Güneş'e yönelme olmadığı için gündüz-gece uzunlukları eşitlenmekte ve bahar yaşanmaktadır.

3.1.1. Güneş Konumu

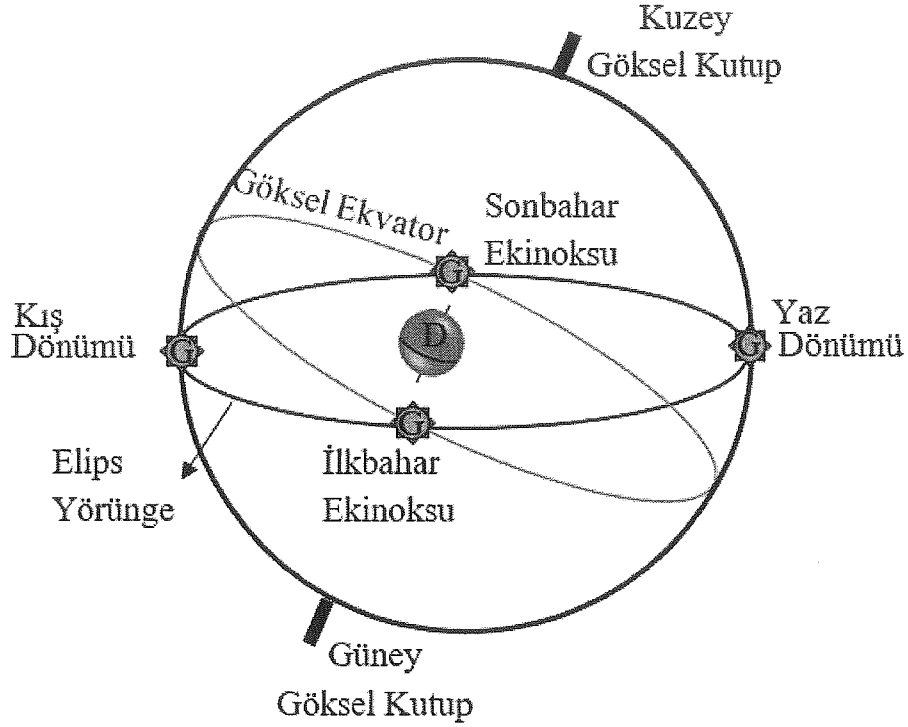
Güneş, Güneş Sistemi'nin merkezinde bulunan bir yıldızdır. Dünya üzerindeki hayatta en önemli enerji kaynağı güneş, Dünya çapının 109 katı çapa sahiptir. Güneş Sistemi'nin toplam kütesinin % 99,86 oranında ve dünya kütesinin 330 bin katı kütleyle sahip olan Güneş, ekvatorial bölgesinden kutuplarına doğru olan taşınımli hareketten meydana gelen manyetik alan ile Güneş Sistemi'ni oluşturmuştur. Bu manyetik alanın etkisi ile Güneş Sistemi'nin gezegenleri Güneş etrafında dönerek elips şeklindeki yörüngelerde hareket etmektedirler (Anonim, 2015).

Gökyüzünde Güneş'in konumu, Dünya üzerindeki bir gözlemcinin coğrafi koordinatlarının ve zamanın bir fonksiyonudur. Dünya Güneş etrafında yıl boyunca dönerken, Güneş, elips şeklinde bir görüme boyunca hareket ediyor görünür. Dünya'nın kendi eksenini etrafında dönmesi, sabit yıldızların gökyüzünde şekil 3.1'de görüldüğü gibi bir hareket yapmasına neden olur.

Astrolojide GMT (Greenwich Mean Time) zaman ölçüm yönteminde, Güneş Greenwich gözlem meridyenine tam dik açılarda geldiği anı öğle kabul edilerek zaman hesaplaması yapılmıştır. Fakat bu hesaplama Dünya'nın düzensiz hızı ve dönme eksenindeki eğikliği nedeniyle 16 dakikalık hata ile gerçekleşmiştir. Daha hassas netice alabilmek için UTC (Coordinated Universal Time) evrensel koordinatlı zaman hesabı kullanılmıştır. Gözlemcinin yerel saati ve konumunda Güneş'in konumunu hesaplamak için;

- Şekil 3.1'deki eliptik yörüngenin bulunduğu ekliptik düzlemde konum hesaplama,
- Ekvatorial koordinat sistemine dönüştürme,
- Yatay düzlem koordinat sistemine dönüştürme,

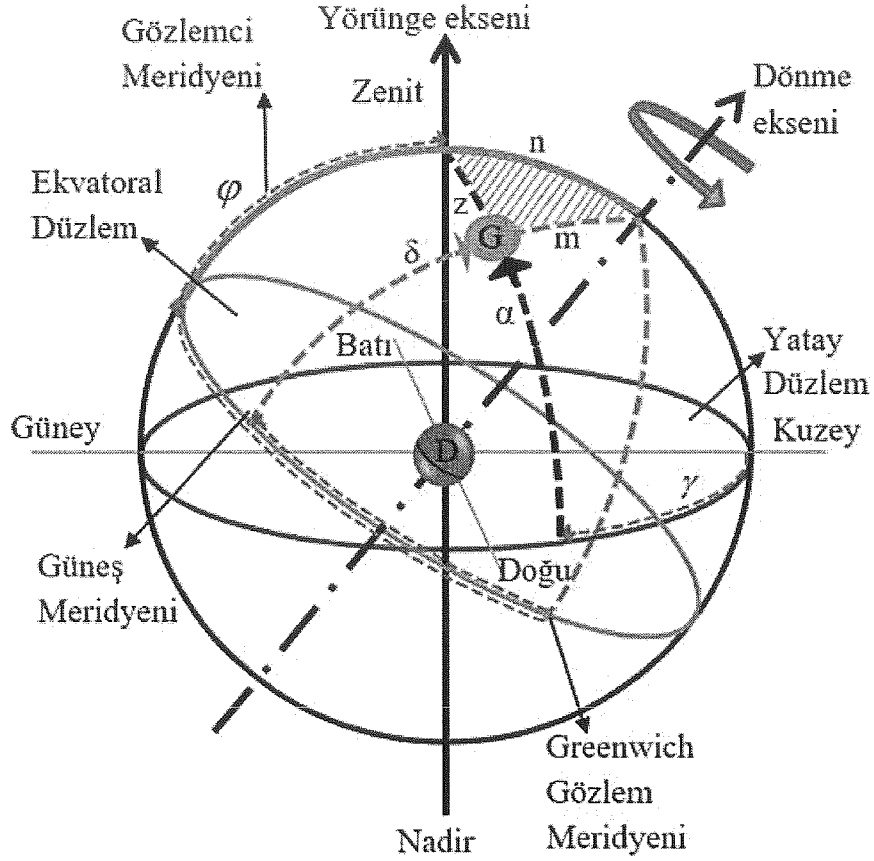
İşlemleri yapılabilir.



Şekil 3.1 Dünya'dan bir gözlemciye göre Güneş'in hareketi

Güneş'in Dünya'ya göre konumu ekvatorial ve yatay koordinat sisteminde küresel geometri kullanılarak belirlenmektedir. Azimut açısı(γ), gözlemciden ilgili noktaya yöneltilen bir vektörün referans düzleme iz düşüm vektörünün yatay düzlemin kuzey-güney eksenini ile şekil 3.2'deki gibi yaptığı açıya denir. Yükselti açısı(α), gözlemciden Güneş'e yöneltilen vektörün referans düzlem ile yaptığı açıyı ifade etmektedir. Saat açısı(ω), şekil 3.2'de gösterildiği gibi Dünya'nın dönme eksenini ve zenitini içeren bir düzlem ile saati bulunmak istenen nokta ve zeniti içeren düzlem arasında kalan açıyı belirtmektedir. Deklinasyon açısı(δ), bir yıldızın gökkürede ekvator düzlemine göre açısal uzaklığı olarak tanımlanmaktadır. Zenit açısı(Θ_z), yükselti açısının tümler açısıdır. Enlem açısı(φ), ekvator dan kutuplara 0° den 90° ye kadar ölçeklendirilmiş enlem değerleridir. Eğiklik açısı(n), Dünya'nın yörünge ve dönme eksenini arasındaki açıdır.

Güneş sisteminde Dünya Güneş etrafında dönmektedir. Ancak gece ve gündüz Dünya'nın kendi eksenini etrafındaki dönme hareketinden kaynaklandığı için gökkürede Dünya sabit kabul edilerek şekil 3.2'de gösterildiği gibi Güneş'e dönme hareketi yaptırılarak hesaplamalar yapılır.

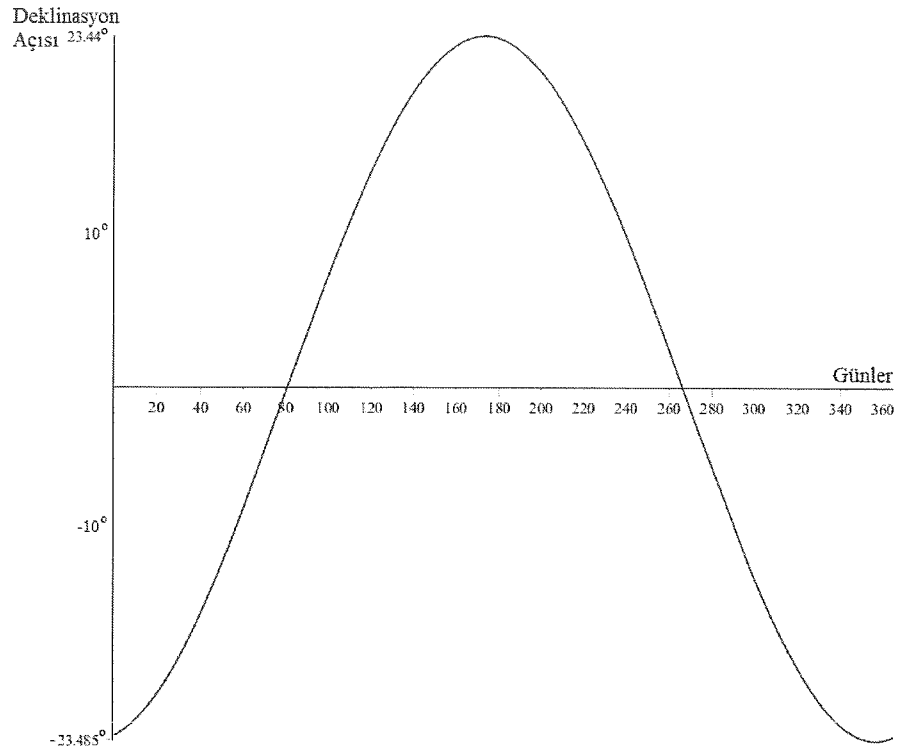


Şekil 3.2 Gökkürede güneş açıları

Güneş konumunun bağlı olduğu açıların hesabında öncelikle deklinasyon açısının hesabından başlanmalıdır. Çünkü saat, azimut ve yükselti açıları deklinasyon açısına bağlıdır. Deklinasyon açısı ise denklem (3.1) de (d) gün numarasına bağlı olarak $-23,5^\circ < \delta < 23,5^\circ$ aralığında şekil 3.3'te olduğu gibi değişiklik göstermektedir. Deklinasyon açısı, Güneş ışınlarının ekvatorial düzlem ile gökkürede yaptığı açısal mesafe olması nedeniyle 21 Haziran yaz gün dönümünde $23,44^\circ$ ve 21 Aralık kış gün dönümünde $-23,48^\circ$ limit değerlerinde ve 21 Mart ve 23 Eylül ekinokslarında sıfır değerindedir. Denklem (3.1) Dünya'nın, merkezi Güneş olan gökkürede bulunduğu konumun gün numarasına bağlı açısal ifadesidir. Denklem (3.2) Dünya'nın gökkürede bulunduğu konum açısına bağlı olarak deklinasyon açısının hassas hesabı için kullanılan ampirik bir denklemdir (Hassan ve Islam, 2010).

$$t = 2\pi(d-1)/365 \quad (3.1)$$

$$\delta = 0,322 - 22,971\cos(t) - 0,358\cos(2t) - 0,144\cos(3t) + 3,95\sin(t) + 0,019\sin(2t) + 0,059\sin(3t) \quad (3.2)$$

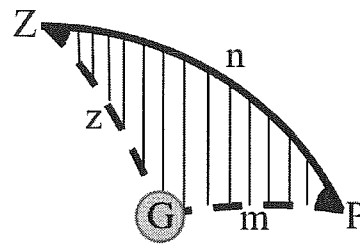


Şekil 3.3 Deklinasyon açısının yılın günlerine bağlı değişimi

Güneş konumu hesapları gökküre üzerinde yapıldığından küresel geometri bağıntıları kullanılmıştır. Güneş yükselti ve azimut açıları şekil 3.2'den bir kesit olan şekil 3.4'deki küresel üçgende küresel geometriden Napier formülleri kullanılarak hesaplanmıştır (Chiang, 1988).

Küresel geometride kosinüs teoremi;

$$\cos a = \cos b \cos c - \sin b \sin c \cos A \quad (3.3)$$



Şekil 3.4 Gökkürede Güneş'in Dünya'nın dönme ve yörünge eksenine oluşturduğu küresel üçgen

Kosinüs teoremi şekil 3.4 için düzenlenirse;

$$\cos z = \cos n \cos m + \sin n \sin m \cos P \quad (3.4)$$

Bu denklem şekil 3.2'den tümler açılara göre yeniden düzenlenirse;

$$\sin \alpha = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega \quad (3.5)$$

Bu denklem de düzenlenerek Güneş yükselti ve saat açıları için denklemler elde edilir.

Güneş saat açısı, gözlemcinin bulunduğu meridyen ile gökkürede Güneş'in bulunduğu meridyen arasında ekvatorial düzlemdeki açıyı belirtmektedir. Güneş saat açısı sabah vakti negatif iken öğle vakti sıfır değerini almakta ve öğleden sonra pozitif değer almaktadır. Güneş'in gökkürede bulunduğu meridyen ile gözlemcinin bulunduğu meridyen arasındaki açıyı ifade ettiği için yerel saat açısı, aynı meridyendeki tüm konumlarda eşittir. Dünya kendi etrafında tek dönüşünü 24 saatte tamamladığı için saatte 15°'lik dönme yaparak 360°'yi tamamlar. Güneş saat açısı ω , denklem (3.6)dan türetilerek denklem (3.7)'deki gibi hesaplanır. Gün doğumunda yükselti açısı α sıfır olduğu için denklem (3.8) Güneş saat açısı hesabı için kullanılır. Gün doğumu için bulunan saat açısı 15°'ye bölünerek gözlemcinin bulunduğu meridyende öğle vaktinin belirlenen tarihte kaç saat sonra gerçekleşeceği hesaplanır. Aynı hesap gün batımı için de yapılır.

$$\omega = \arccos \left(\frac{\sin \alpha - \sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta} \right) \quad (3.6)$$

$$\omega_s = \arccos (-\tan \varphi \tan \delta) \quad (3.7)$$

Güneş yükselti açısı, şekil 3.2'de gösterildiği gibi Güneş'in gökkürenin yatay düzlemi ile yaptığı açı değeridir. Gün doğumundan öğle saatine kadar artarak maksimum değerine ulaşan güneş yükselti açısı, Güneş'in gökkürede zenit ile yaptığı açının tümleyeni ve denklem (3.8) deki gibi güneş saat, enlem ve deklinasyon açılarına bağlı Güneş koordinat değeridir.

$$\alpha = \arcsin(\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega) \quad (3.8)$$

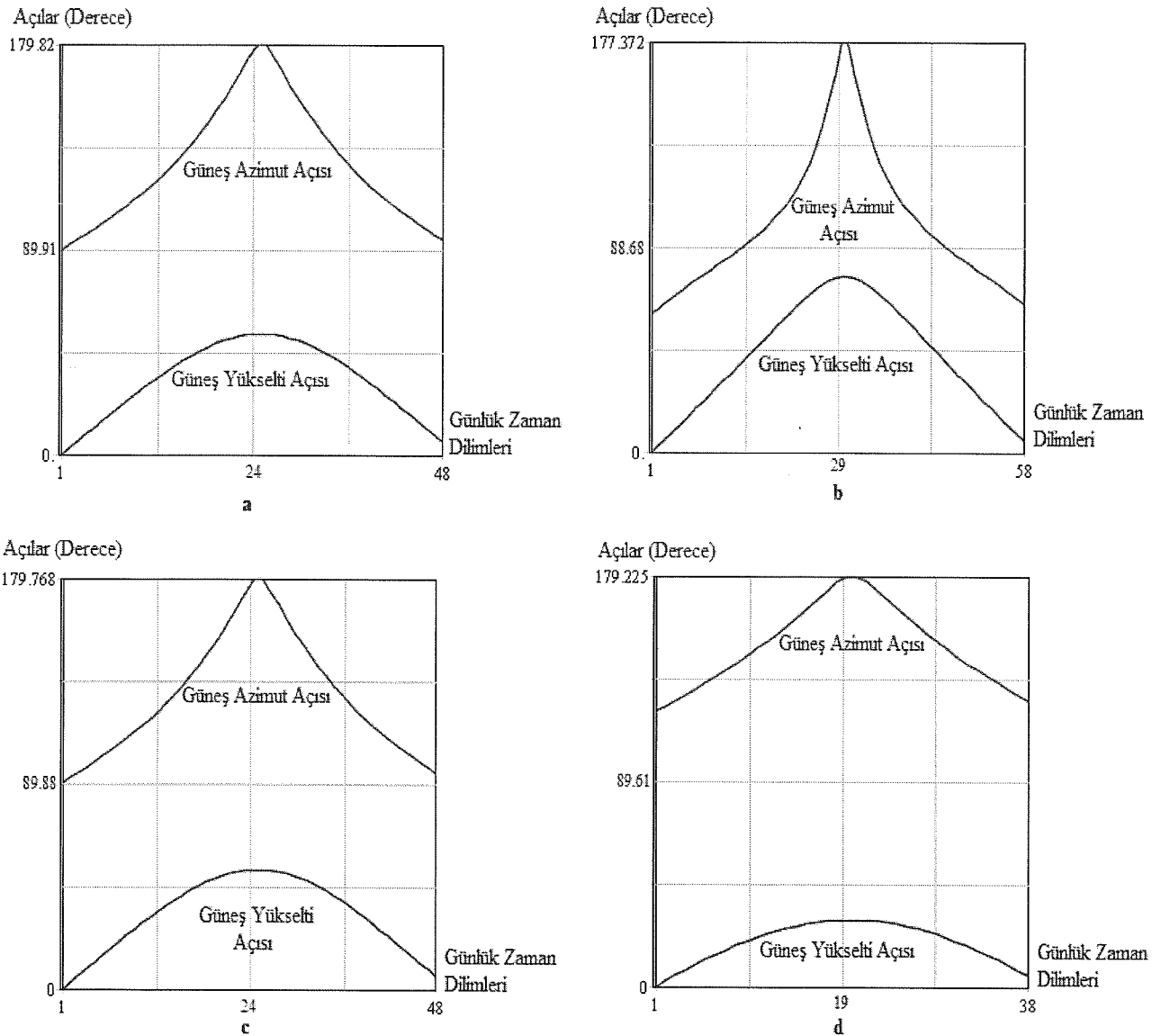
Güneş azimut açısı, Güneş'in gökkürede bulunduğu meridyenin yatay düzlemde kuzey eksenle yaptığı açıdır. Şekil 3.4 de kosinüs teoremi m kenarı için yazılır ve tümler açılara göre düzenlenirse Güneş azimut açısı;

$$\sin \delta = \sin \alpha \sin \varphi + \cos \alpha \cos \varphi \cos \gamma \quad (3.9)$$

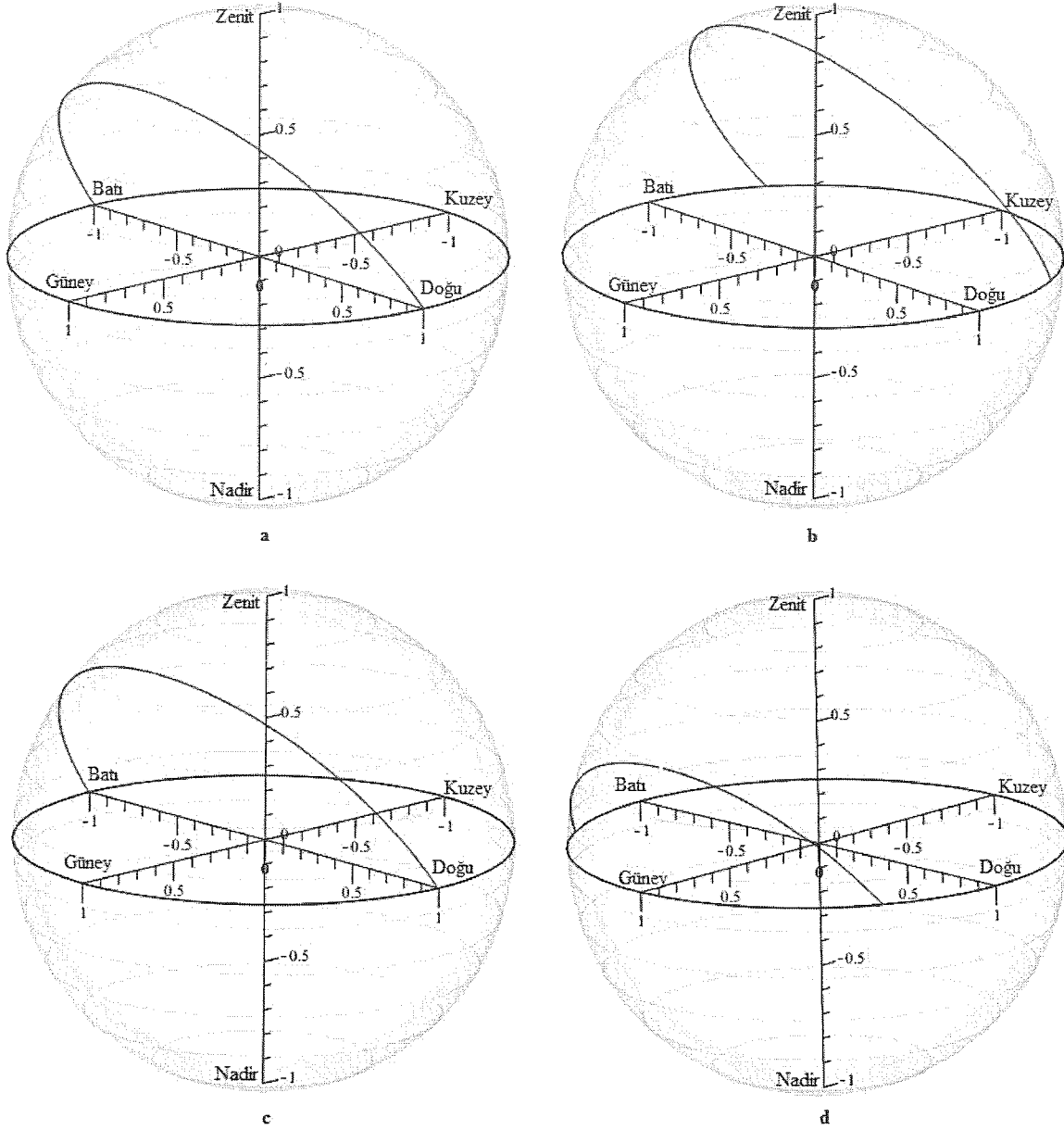
$$\gamma = \arccos \frac{\sin \delta - \sin \alpha \sin \varphi}{\cos \alpha \cos \varphi} \quad (3.10)$$

Elde edilen denklem (3.8) ve (3.10) kullanılarak bir yılın her bir günü için Güneş azimut ve yükselti açıları hesaplanarak Güneş'in izlediği yörüngeler belirlenir. Şekil-3.5 de ekinoks ve gündönümlerinde Güneş azimut ve yükselti açılarının gün içerisinde belirlenen zaman dilimlerindeki değişimleri gösterilmiştir. Bu şekillerde de görüleceği

gibi öğle saatini ifade eden toplam günlük zaman dilimlerinin yarısında Güneş azimut açısı en yüksek değere ulaşmış ve azalarak devam etmiştir. Bunun nedeni öğleden önce yatay düzlemin kuzey ekseninin pozitif yönünden ölçülen azimut değeri öğleden sonra negatif yönünden ölçülmesidir. 21 Haziranda Güneş azimut açısında 228° 'lik değişim varken 21 Aralıkta 106° 'lik değişim gerçekleşmektedir. Güneş yükselti açısı Konya'da 21 Haziranda maksimum 73° 'lik ve 21 Aralıkta minimum 27° 'lik değişim yaptığı için öğle saatinden sonra negatif yönden ölçüme gerek yoktur. Şekil 3.6 da aynı tarihlerde Güneş'in gökkürede takip ettiği yörüngeler gösterilmiştir.



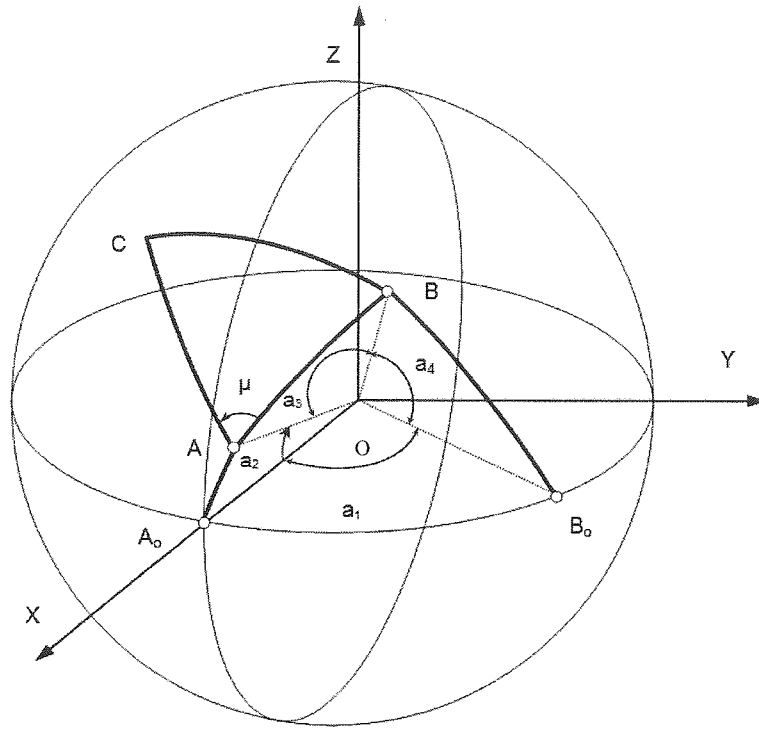
Şekil 3.5 a) 21 Martta, b) 21 Haziranda, c) 23 Eylülde, d) 21 Aralıkta Güneş azimut ve yükselti açıları değişimi



Şekil 3.6 a) 21 Martta, b) 21 Haziranda, c) 23 Eylüde, d) 21 Aralıkta Güneş'in gökkürede izlediği yörüngeler

3.2. Küresel Mekanizmalar

Küresel mekanizmalar sadece döner çiftlerden oluşan ve üç boyutlu olarak özel bir geometriye sahip olan mekanizmalardır. Bu özel geometri, döner çiftlerin eksenlerinin hepsinin ortak bir noktada kesişmeleridir. Bu mekanizmalar, diğer üç boyutlu mekanizmalardan bu özel geometrileri ile ayrılırlar. Mekanizmada dönme hareketi yapan uzuvlar yanında sabit bir nokta etrafında hareket yapan uzuvlar da bulunur. Buradaki sabit nokta yukarıda sözü edilen ortak kesim noktasıdır. Bu uzuvların üzerindeki noktalar, merkezi sabit nokta olan küresel bir yüzey üzerinde hareket ederler. Bunların hareketine bu yüzden küresel hareket de denir.



Şekil 3.7 Küresel dört çubuk mekanizması

Kürede büyük daire, küre yüzeyindeki iki noktadan ve küre merkezinden geçen bir düzlem ile küresel yüzeyin ara kesitidir. Buna göre küre yüzeyindeki herhangi iki noktadan geçen tek bir büyük daire vardır, ya da bu sonuç şöyle de ifade edilebilir: Düzlemde iki nokta arasındaki en kısa mesafenin bir doğru parçası olması gibi, küre yüzeyinde iki nokta arasındaki en kısa mesafe bu noktalardan geçen büyük daire yayıdır (Chiang, 1988).

Şekil 3.7de örnek olarak bir küresel dört çubuk mekanizması görülmektedir. Burada uzuvları ifade eden a_1 , a_2 , a_3 , a_4 uzunlukları, uzuvları ifade eden büyük daire yaylarını küre merkezinden gören merkez açılarıdır. Kolaylık için sabit uzva ait büyük daire yayının bulunduğu düzlem OXY düzlemi olarak alınır ve X eksenini A_0 sabit mafsallı noktasından geçirilir. Küresel mekanizmalarda döner mafsalların dönme eksenlerinin hepsi küre merkezinden geçer. 3 nolu uzuv üzerindeki C noktası bu uzva ait bir biyel noktasıdır. A, B, C noktaları küre üzerinde küresel bir üçgen oluştururlar. C noktasının küre yüzeyi üzerindeki konumunu tanımlayan AC ve BC yayları da büyük daire yaylarıdır, uzunlukları bunları gören merkez açıları şeklinde ifade edilir. AC ve AB büyük daire yayları arasındaki μ açısı ise küre yüzeyi üzerinden ölçülen küresel bir açıdır. Daha çok uzva sahip küresel mekanizmalarda da uzuv uzunlukları ve biyel noktaları benzer şekilde ifade edilir (Chiang, 1988).

Küresel hareket için şekil 3.8ada görüldüğü gibi orijini küre merkezinde olan OXYZ kartezyen koordinat sisteminde OXY düzlemi ekvatorial düzlem olarak da anılır. Bu düzlem X eksenini etrafında şekil 3.8b de olduğu gibi pozitif yönde ε kadar döndürülsün. Daha sonra Z eksenini etrafında şekil 3.8c de olduğu gibi pozitif yönde β kadar döndürülsün. Bu düzlemlerle kürenin arakesiti olan büyük daireler şekil 3.8 a, b, c de görülmektedir. Küre yüzeyi üzerindeki bütün büyük daireler bu şekilde elde edilebilir. Bu husus şu şekilde de ifade edilebilir: Küre yüzeyi üzerindeki herhangi bir büyük daire, X eksenini etrafında belli bir ε açısı ve Z eksenini etrafında belli bir β açısı kadar döndürülmüş bir düzlemlerle kürenin arakesitidir. Söz konusu düzlem şekil 3.8a, b, c'de de görülebileceği gibi daima küre merkezinden(O) geçer. ε ve β açıları -180° ve $+180^\circ$ arasında değiştirilerek küre yüzeyi üzerindeki bütün büyük daireler düzlemlerle kürenin arakesiti olarak elde edilir.

Bu düzlem üzerindeki herhangi bir K noktasının OXY düzlemindeki izdüşümü olan M noktası şekil 3.8d deki gibi olsun. Düzlemin OXY ile arakesiti olan doğruya M den çizilen dikin ayağı P noktası, bu noktadan X eksenine çizilen dikin ayağı D noktası olsun. KM uzunluğunun K noktasının z koordinatı olduğu açıktır. KPM açısı ε olduğuna göre;

$$\tan \varepsilon = \frac{KM}{MP} = \frac{z}{MP} \quad (3.11)$$

Buradan z için;

$$z = MP \tan \varepsilon \quad (3.12)$$

elde edilir. OXY düzleminin üstten görünüşü şekil 3.9da görülmektedir. Burada K noktasının bu düzlemdeki koordinatları $OG = x$ ve $OF = y'$ dir. Şekil 3.9dan;

$$FR = PN = y \cos \beta \text{ ve } FM = OG$$

olduğu görülebilir.

$MP = PN - MN$ yazılarak ve $MN = FM \sin \beta = x \sin \beta$ olduğu göz önüne alınarak;

$$MP = y \cos \beta - x \sin \beta \quad (3.13)$$

Denklem (3.12) bu ifadede yerine konursa ve düzenlenirse;

$$z + \tan \varepsilon (x \sin \beta - y \cos \beta) = 0 \quad (3.14)$$

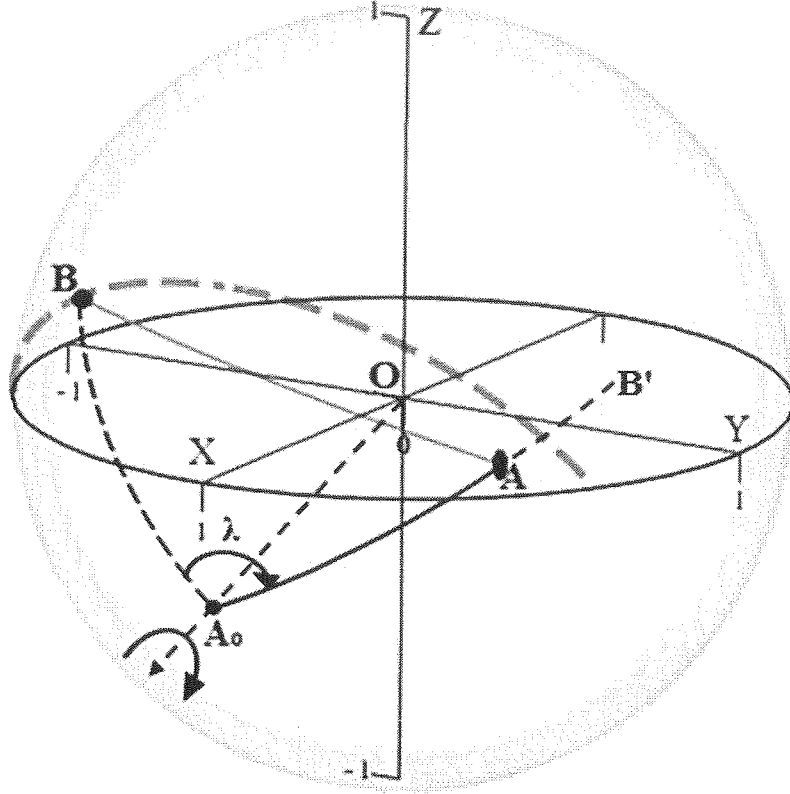
Bu denklem orijinden geçen ve X eksenini etrafında ε ve Z eksenini etrafında β kadar dönmüş olan düzlemin genel denklemidir. Bu düzlemlerle kürenin arakesiti olan büyük daire üzerindeki noktalar için de bu denklem geçerlidir.

3.2.1. Kinematik Analiz

Güneş'in gökkürede hareketi, şekil 3.2de ve şekil 3.6da gösterildiği gibi küresel bir eğri olan yörüngede gerçekleşmektedir. Küresel mekanizmalarda da küresel bir yüzeyde hareket gerçekleştirildiğinden Güneş'in gökküredeki hareketini takip etmeye daha uygun olduğu öngörülmüştür. Güneş yörüngesi yükselti ve azimut açıları ile belirlendiğinden Güneş takibi için iki serbestlik dereceli bir mekanizma gerekmektedir. Bu yüzden şekil 3.10da gösterildiği gibi beş uzuvlu küresel bir mekanizma Güneş'in yıl içerisindeki tüm yörüngelerini sağlamaya uygun uzuv ölçülerinde tasarlanarak Güneş takibinde kullanılabilir.

Bir mekanizmada tahrik uzvunun konumu biliniyorken diğer uzuvların ve mekanizma üzerindeki noktaların konumlarının belirlenmesi düz kinematik analiz olarak adlandırılır. Tersine herhangi bir uzvun veya bir noktanın konumu verildiğinde bunu sağlayacak tahrik uzvunun konumunun bulunması ters kinematik analizdir. Bu bölümde Güneş'in yıllık yörüngeleri bilindiğinden ve mekanizmanın bir noktası bu yörüngeyi takip edeceğinden ters kinematik analiz ile tahrik uzvunun konumu tespit edilecektir.

Güneş'in yörüngesi yılın tüm günlerinde OXZ düzlemine göre simetriktir. Bu nedenle şekil 3.10da gösterildiği gibi A_0 , D_0 sabit mafsalları Güneş yörüngesinin simetri düzlemi olan OXZ üzerinde X eksenine ile $\Psi = 20^\circ$ ve $\mu = 53^\circ$ açıları yapacak şekilde yerleştirilmiştir. Küresel mekanizmalarda tanımlandığı şekilde A_0A , AB, BD, DD_0 uzuvlarını ifade eden büyük daire yaylarını gören merkez açıları sırasıyla a_2 , a_3 , a_4 , a_5 ile ifade edilmiştir. Güneş'in Konya'nın jeolojik konumunda yükselti açısı 21 Haziran gün dönümünde yatay düzlem ile maksimum 73° , 21 Aralık gün dönümünde yatay düzlem ile maksimum 27° hesaplanmıştır. Azimut açısı 21 Haziran gün dönümünde X eksenine ile çakışık olan kuzey eksenine ile 114° ve 21 Aralık gün dönümünde kuzey eksenine ile 53° hesaplanmıştır. Gün dönümlerindeki maksimum ve minimum değerler göz önüne alındığında küresel güneş takip mekanizmasının boyutları $a_2 = 50^\circ$, $a_3 = 77^\circ$, $a_4 = 77^\circ$, $a_5 = 40^\circ$ olarak tespit edilmiştir. Böylece sentezlenen mekanizma Güneş'in bir yıl içindeki tüm yörüngelerini sağlamış ve mekanizma uzuvları için belirlenen boyutlarda üst üste ya da aynı doğrultuya gelerek oluşabilecek tekillik hatası önlenmiştir. Şekil 3.10da küresel eğri şeklindeki kesikli çizgi Güneş'in yılın 21 Aralık günündeki yörüngesidir. Burada B hareketli döner mafsallı Güneş yörüngesini takip ederek güneş panelini taşıması için gerekli tahrik uzvu açıları hesaplanacaktır.



Şekil 3.11 A_0B büyük daire yayının OA_0 λ kadar döndürülmesi

OBA_0 üçgeninde şekil 3.10 daki A_0B büyük daire yayını gören η merkez açısının hesabı için denklem (3.16)da olduğu gibi A_0B kenarına bir dik inerek oluşan dik üçgen için ters trigonometrik denklem yazılır. Oluşan dik üçgende hipotenüs birim kürenin yarıçapı olacağından değeri 1'dir.

$$\eta = \widehat{A_0B} = 2 \arcsin(|A_0B|/2) \quad (3.16)$$

Küresel geometride a, b, c kenarları ve A iç açısına sahip bir küresel üçgen için kosinüs teoremi denklem (3.3)de yazıldığı gibidir. Denklem (3.16) dan bulunan A_0B açısı, boyutları bilinen büyük daire yayları $AB = a_3, A_0A = a_2$ ile oluşan şekil 3.11deki BAA_0 küresel üçgeninde λ açısı kosinüs teoremi aşağıdaki gibi yazılır.

$$\cos a_3 = \cos a_2 \cos A_0B + \sin a_2 \sin A_0B \cos \lambda \quad (3.17)$$

λ buradan ;

$$\lambda = \arccos \left[\frac{\cos a_3 - \cos a_2 \cos A_0B}{\sin a_2 \sin A_0B} \right] \quad (3.18)$$

A_0B büyük daire yayının OA_0 eksenini etrafında λ kadar döndürülmesi ile B noktasının geldiği yeni konumu B' nün koordinatları aşağıdaki rotasyon matrisi ile hesaplanır.

$$\mathbf{X}_{B'} = \mathbf{T} \mathbf{X}_B$$

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} x_{A_0}^2 K + \cos \lambda & x_{A_0} y_{A_0} K - z_{A_0} \sin \lambda & x_{A_0} z_{A_0} K + y_{A_0} \sin \lambda \\ x_{A_0} y_{A_0} K + z_{A_0} \sin \lambda & y_{A_0}^2 K + \cos \lambda & y_{A_0} z_{A_0} K - x_{A_0} \sin \lambda \\ x_{A_0} z_{A_0} K - y_{A_0} \sin \lambda & y_{A_0} z_{A_0} K + x_{A_0} \sin \lambda & z_{A_0}^2 K + \cos \lambda \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

$$K = 1 - \cos \lambda$$

Burada,

$$\mathbf{X}_B = [x_B \ y_B \ z_B]^T \text{ ve } \mathbf{X}_{B'} = [x_{B'} \ y_{B'} \ z_{B'}]^T$$

Koordinatları bilinen ve aynı düzlemde bulunan A_0 ve B' noktaları için (3.14) deki düzlem denklemi geçerli olduğundan her iki nokta için bu denklem yazılarak, taraf tarafa bölünür ve doğru trigonometrik hesaplamalar için arctan2 fonksiyonu kullanılarak β döndürme açısı kolaylıkla bulunur. Yazılan düzlem denklemlerinden birinde β açısı yerine yazılarak ε açısı da hesaplanır.

$$z_{A_0} + \tan \varepsilon (x_{A_0} \sin \beta - y_{A_0} \cos \beta) = 0 \quad (3.20)$$

$$z_{B'} + \tan \varepsilon (x_{B'} \sin \beta - y_{B'} \cos \beta) = 0 \quad (3.21)$$

Buradan,

$$\beta = \arctan 2 \left(\frac{z_{A_0} y_{B'} - z_{B'} y_{A_0}}{z_{A_0} x_{B'} - z_{B'} x_{A_0}} \right) \quad (3.22)$$

β değeri denklem (3.20) ya da (3.21)de yerine yazılarak ε açısı da bulunur. A noktası da A_0 ve B' noktaları ile birlikte aynı düzlem üzerinde olduğundan bunun koordinatları için de (3.14)deki düzlem denklemi geçerlidir.

$$z_A + \tan \varepsilon (x_A \sin \beta - y_A \cos \beta) = 0 \quad (3.23)$$

Burada 2 nolu tahrik uzvunun dönme açısının hesaplanması için A noktasının koordinatlarının bilinmesi gerekir. Yukarıdaki (3.23) denklemi bu amaçla elde edilen lineer bir denklemdir. Üç bilinmeyen koordinat için iki lineer denklem daha gerekir. Bunlar da basitçe aşağıdaki gibi elde edilir.

İki birim vektörün skaler çarpımı bunların doğrultuları arasındaki açının kosinüsüne eşittir. Buradaki küre yarıçapı bir birim olan birim küre olduğu için orijini küre yüzeyine birleştiren \overrightarrow{OA} , \overrightarrow{OB} ve $\overrightarrow{OA_0}$ vektörleri birim vektörlerdir. A_0 ve A mafsalları arasındaki küresel mesafe ya da OAA_0 merkez açısı $\overrightarrow{OA_0}$ ve \overrightarrow{OA} vektörlerinin skaler çarpımı ile bulunabilir. Aynı şekilde OBA merkez açısı \overrightarrow{OB} ve \overrightarrow{OA} vektörlerinin skaler çarpımı ile hesaplanır.

$$\cos OAA_0 = \cos \alpha_2 = \overrightarrow{OA_0} \cdot \overrightarrow{OA} = x_{A_0} x_A + y_{A_0} y_A + z_{A_0} z_A \quad (3.24)$$

$$\cos OBA = \cos \alpha_3 = \overrightarrow{OB} \cdot \overrightarrow{OA} = x_B x_A + y_B y_A + z_B z_A \quad (3.25)$$

$$X_A = \cos a_2 \cos \psi + \sin a_2 \sin \theta_2 \sin \psi$$

$$Y_A = \sin a_2 \cos \theta_2$$

$$Z_A = \sin a_2 \sin \theta_2 \cos \psi - \cos a_2 \sin \psi$$

Burada θ_2 yukarıda olduğu gibi A_0A uzvunun OA_0 eksenine etrafındaki dönme açısıdır. Aynı işlemler D_0 ve D noktaları için de yapılırsa, D noktasının koordinatları aşağıdaki bulunur.

$$X_D = \sin a_5 \cos \theta_5 \sin \mu - \cos a_5 \cos \mu$$

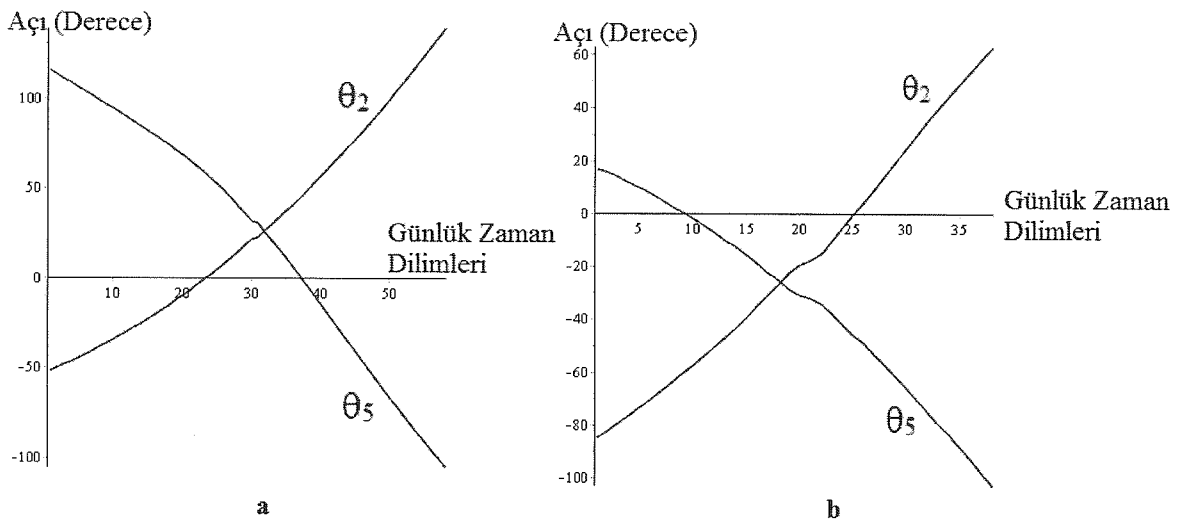
$$Y_D = \sin a_5 \cos \theta_5$$

$$Z_D = \sin a_5 \sin \theta_5 \cos \mu + \cos a_5 \sin \mu$$

Burada θ_5 yukarıda olduğu gibi D_0D uzvunun OD_0 eksenine etrafındaki dönme açısıdır. B mafsallının yörünge üzerinde istenen koordinatlara gelebilmesi için gerekli θ_2 ve θ_5 tahrik uzvu dönme açıları, A ve D noktalarının koordinatlarından aşağıda olduğu gibi elde edilir. Bu açıların değişimleri örnek olarak 21 Aralık ve 21 Haziran gündönümü için şekil 3.13de gösterildiği gibidir.

$$\theta_2 = \arctan \left(\frac{(Z_A + \sin \psi \cos a_2) / (\cos \psi \sin a_2)}{Y_A / \sin a_2} \right) \quad (3.26)$$

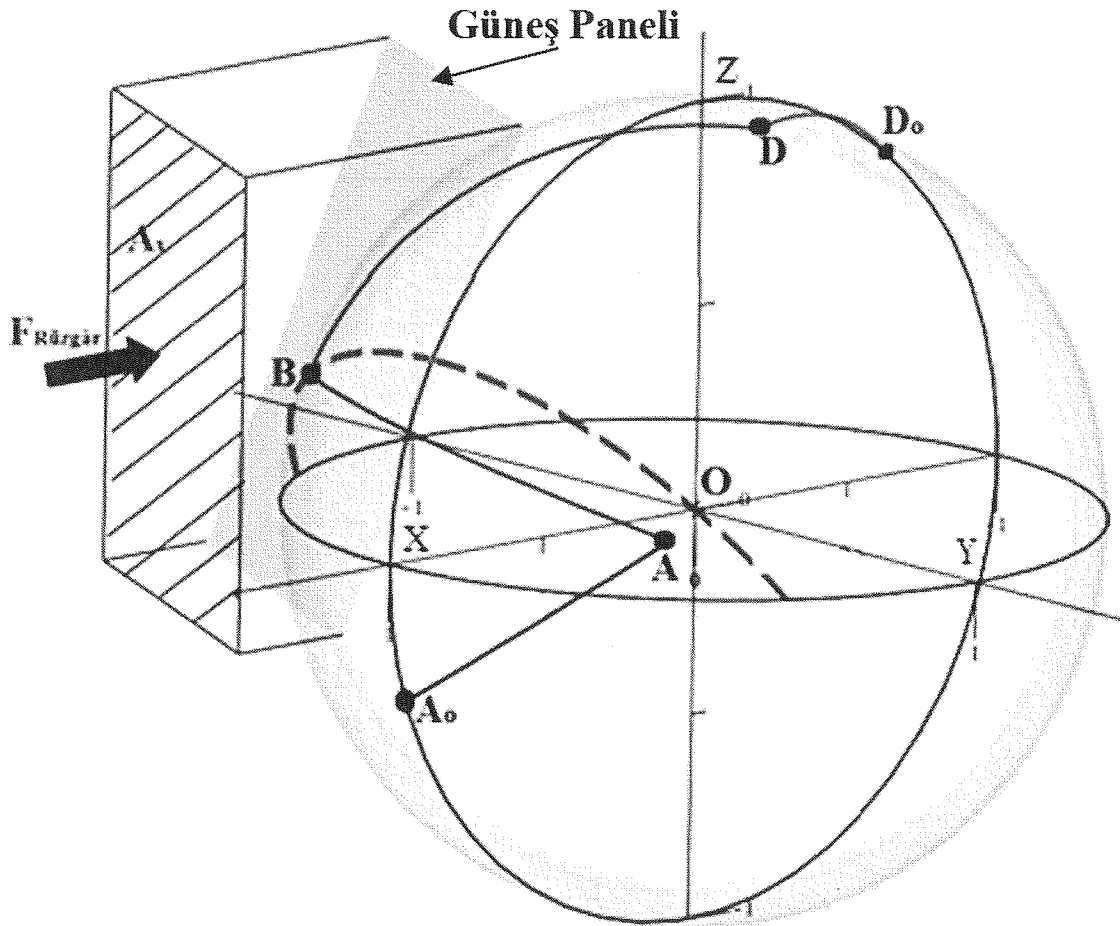
$$\theta_5 = \arctan \left(\frac{(Z_D - \sin \mu \cos a_5) / (\cos \mu \sin a_5)}{Y_D / \sin a_5} \right) \quad (3.27)$$



Şekil 3.13 a) 21 Haziran gündönümü b) 21 Aralık gündönümü için tahrik uzvu açılarındaki değişimler

3.2.2. Kuvvet Analizi

Bu bölümde mekanizmanın statik durumda uzuvlarında oluşan kuvvet ve momentler incelenmiştir. Mekanizmada güneş panelinin oluşturduğu taşıma yükü bir karşı ağırlıkla dengelenecektir. Bu yüzden sadece güney-kuzey yönünde x eksenini doğrultusunda sabit bir hızda olduğu kabul edilen hâkim rüzgârın güneş panelinde oluşturacağı kuvvetin mekanizma uzuvlarında meydana getireceği tepki kuvvet ve momentlerinin hesabı yapılmıştır. Rüzgâr kuvveti hesabı için şekil 3.14de olduğu gibi güneş panelinin yüzey alanının rüzgâr hareket yönüne dik olan y-z düzlemindeki izdüşümü olan projeksiyon alanı A_x hesaplanmıştır. Bu rüzgâr kuvvetinin değeri, denklem(3.31)de olduğu gibi 0.7x0.5m ölçülerindeki güneş panelinin normal vektörünün koordinat sistemine göre doğrultman açıları değişimine bağlıdır.



Şekil 3.14 Güneş panelinin y-z düzleminde izdüşümü

Rüzgâr kuvveti hesabında kullanılan denklem (3.28), rüzgâr basıncının (q_z) rüzgâr hızına (V) bağlı genel denklemdir.

$$q_z = 0,613V^2(N/m^2) \quad (3.28)$$

Güneş panelinin normal vektörü aşağıdaki gibi yazılır.

$$m = \sqrt{((X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2 + (Z_B - Z_A)^2)}$$

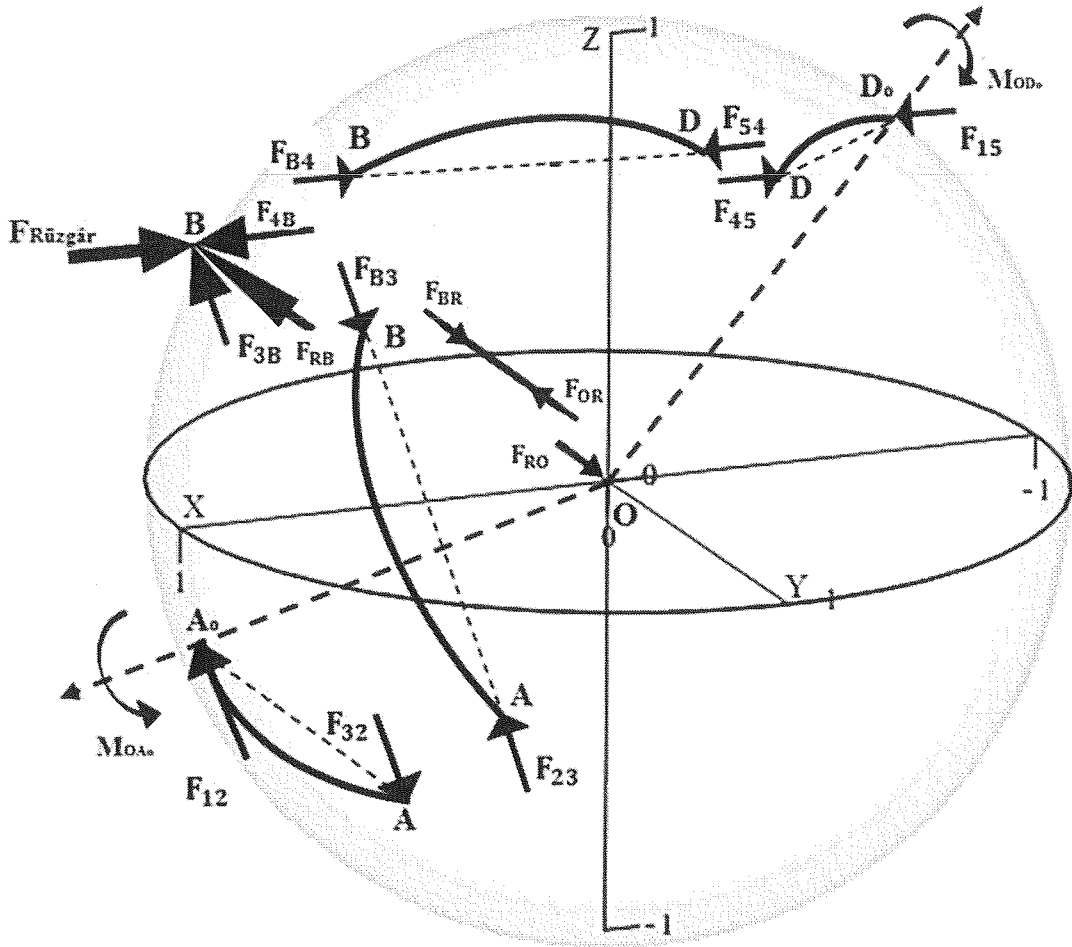
$$\mathbf{M} = \frac{(X_B - X_A)}{m} \mathbf{i} + \frac{(Y_B - Y_A)}{m} \mathbf{j} + \frac{(Z_B - Z_A)}{m} \mathbf{k}$$

\mathbf{M} birim vektörü ile iz düşüm alanı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$A_x = \mathbf{M}A \quad (3.29)$$

$$F_{\text{rüzgâr}} = q_z A_x C_d \quad (3.30)$$

Denklem (3.30)da C_d , ASCE-7 yönetmeliğine göre 2.0 değerinde hava sürtünme katsayısını ifade etmektedir (Anonymus, 2016d). Güneş takibi için geliştirilen mekanizmanın serbest cisim diyagramı aşağıdaki gibi verilmiştir.



Şekil 3.15 Mekanizma uzuvları serbest cisim diyagramı

Güneş panelinin ağırlığı bir denge kütlesi ile küre merkezindeki küresel mafsala göre dengelenmiştir. Bu yüzden panelin ağırlığından dolayı mekanizma uzuvlarına bir kuvvet etki etmez. Paneli taşıyan OB çubuğu kendi doğrultusunda basma kuvvetine maruz kalır ve bu kuvvet küre merkezindeki küresel mafsallardan taşınır. Bundan dolayı mekanizmada 3 ve 4 nolu uzuvlar sadece kendi doğrultularında (AB ve BD doğrultularında) iki kuvvete maruz kalırlar. 2 ve 5 nolu tahrik uzuvları iki kuvvet ve bir momente maruz uzuvlardır. Şekil 3.5deki serbest cisim diyagramları bu kuvvet taşıma prensiplerine uygun olarak çizilmiştir. Uzuvlara etki eden kuvvetler için konum vektörleri aşağıdaki gibidir.

$$\mathbf{r}_3 = \frac{X_B - X_A}{A_3} \mathbf{i} + \frac{Y_B - Y_A}{A_3} \mathbf{j} + \frac{Z_B - Z_A}{A_3} \mathbf{k}$$

$$\mathbf{r}_4 = \frac{X_B - X_D}{A_4} \mathbf{i} + \frac{Y_B - Y_D}{A_4} \mathbf{j} + \frac{Z_B - Z_D}{A_4} \mathbf{k}$$

$$\mathbf{r}_r = X_B \mathbf{i} + Y_B \mathbf{j} + Z_B \mathbf{k}$$

Burada,

$$A_3 = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2 + (Z_B - Z_A)^2}$$

$$A_4 = \sqrt{(X_B - X_D)^2 + (Y_B - Y_D)^2 + (Z_B - Z_D)^2}$$

Mekanizma uzuvlarına etki eden kuvvetler vektörel olarak aşağıdaki gibi yazılır.

$$\mathbf{F}_{\text{Rüzgâr}} = F_{\text{Rüzgâr}}(-\mathbf{i})$$

$$\mathbf{F}_{B3} = F_{B3} \mathbf{r}_3$$

$$\mathbf{F}_{B4} = F_{B4} \mathbf{r}_4$$

$$\mathbf{F}_{32} = F_{32} \mathbf{r}_3$$

$$\mathbf{F}_{45} = F_{45} \mathbf{r}_4$$

$$\mathbf{F}_{BR} = F_{BR} \mathbf{r}_r$$

B noktası için denge denklemi aşağıdaki gibi yazılarak mekanizma uzuvlarına etki eden kuvvet şiddetleri hesaplanabilir.

$$\sum \mathbf{F} = \sum (F_x \mathbf{i} + F_y \mathbf{j} + F_z \mathbf{k}) = 0 \quad (3.31)$$

$$F_{\text{Rüzgâr}} + F_{B3_x} + F_{B4_x} + F_{BR_x} = 0$$

$$F_{B3_y} + F_{B4_y} + F_{BR_y} = 0$$

$$F_{B3_z} + F_{B4_z} + F_{BR_z} = 0$$

Bu kuvvetlerin değişimi örnek olarak yaz gün dönümünde şekil 3.16 da olduğu gibidir. Kuvvet denge denklemlerinden hesaplanan ve mekanizma tahrik uzuvlarına etki eden F_{32} ve F_{45} kuvvetlerinin A_0 ve D_0 mafsallarına göre momentleri aşığıdaki gibi bulunur.

$$\mathbf{M}_2 = \mathbf{F}_{32} \times \mathbf{r}_2$$

$$\mathbf{M}_5 = \mathbf{F}_{45} \times \mathbf{r}_5$$

Burada,

$$\mathbf{r}_2 = \frac{X_A - X_{A_0}}{A_2} \mathbf{i} + \frac{Y_A - Y_{A_0}}{A_2} \mathbf{j} + \frac{Z_A - Z_{A_0}}{A_2} \mathbf{k}$$

$$\mathbf{r}_5 = \frac{X_D - X_{D_0}}{A_5} \mathbf{i} + \frac{Y_D - Y_{D_0}}{A_5} \mathbf{j} + \frac{Z_D - Z_{D_0}}{A_5} \mathbf{k}$$

$$A_2 = \sqrt{(X_A - X_{A_0})^2 + (Y_A - Y_{A_0})^2 + (Z_A - Z_{A_0})^2}$$

$$A_5 = \sqrt{(X_D - X_{D_0})^2 + (Y_D - Y_{D_0})^2 + (Z_D - Z_{D_0})^2}$$

OA_0 ve OD_0 dönme eksenleri doğrultularındaki konum vektörleri ve moment bileşenleri aşığıdaki gibi hesaplanır.

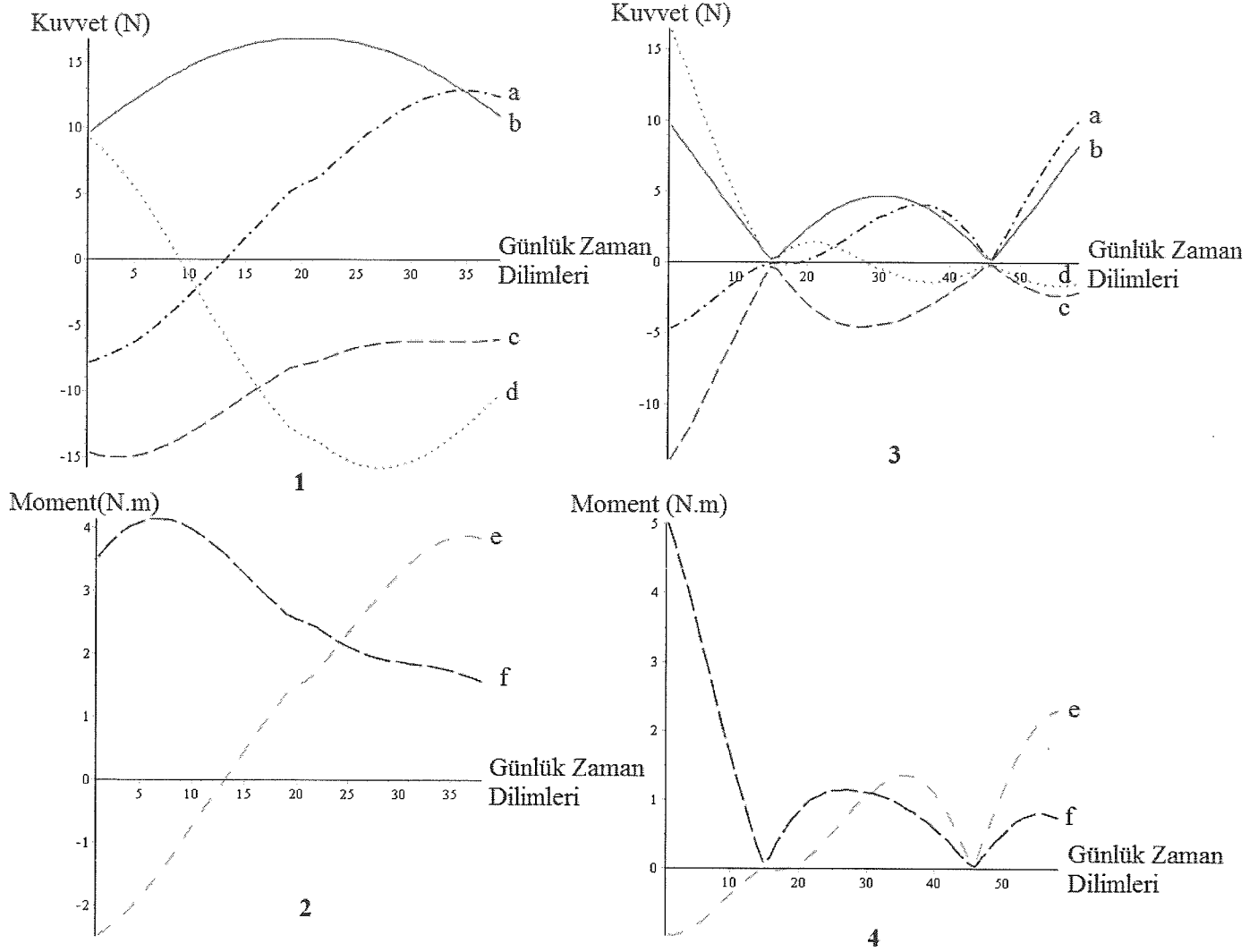
$$\mathbf{r}_{OA_0} = \cos\psi \mathbf{i} - \sin\psi \mathbf{k}$$

$$\mathbf{r}_{OD_0} = -\cos\mu \mathbf{i} + \sin\mu \mathbf{k}$$

$$\mathbf{M}_{OA_0} = \mathbf{M}_2 \times \mathbf{r}_{OA_0}$$

$$\mathbf{M}_{OD_0} = \mathbf{M}_5 \times \mathbf{r}_{OD_0}$$

Bu moment bileşenlerinin değişimi örnek olarak yaz gün dönümünde şekil 3.16 da gösterilmiştir.

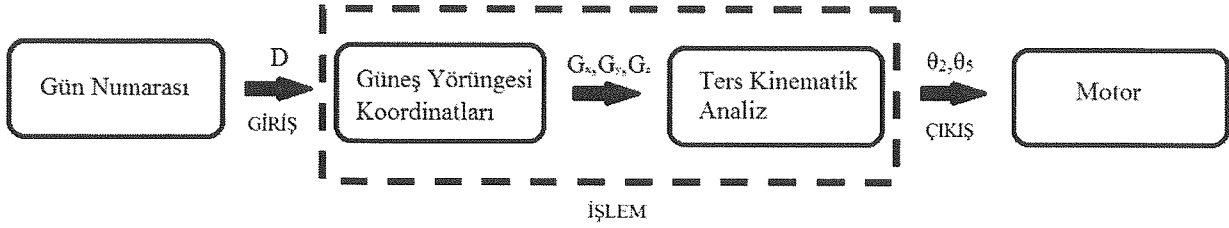


Şekil 3.16 1-2) 21 Aralık, 3-4) 21 Haziran gündönümleri için a) F_{B3} b) $F_{Rüzgâr}$ c) F_{B4} d) F_{RB} e) M_{OA} f) M_{OD} .

3.3. Mekanizma Kontrolü

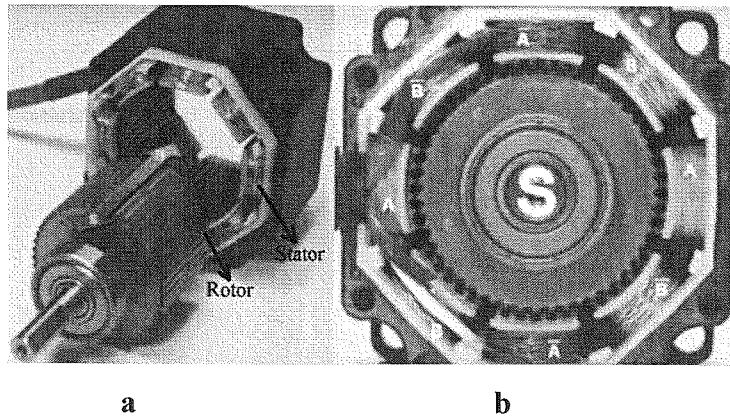
Otomatik sistemlerin kontrolü açık ve kapalı döngülü kontrol sistemleri ile gerçekleştirilir. Açık döngülü kontrol sistemlerinde döngünün çıktısı, döngü girdisinden bağımsızdır. Buna karşın kapalı döngülü kontrol sistemlerinde döngünün çıktısı, döngü girdisi ya da referans bir değer ile ilişkilendirilip karşılaştırılmak suretiyle kontrol yapılmaktadır. Sistem kontrollerinde sıklıkla kullanılan geri besleme (Feedback) ve PID kontrolleri kapalı döngülü kontrol sistemleridir. Açık döngülü kontrol sistemleri, uygulandığı sistemde kararlılık sorunu olmadığından yapımı ve bakımı kolay sistemlerdir.

Güneşin yörüngesi takibi için gerekli açılar tüm yılın her bir gününde belirli bir saat ve dakika için hesaplanabilir. Gün doğumu ile öğle vakti arasındaki saat açısının hesabı denklem (3.7)den yapılarak günlük aydınlanma süresi hesaplanır. Bu aydınlanma süresi şekil 3.16 daki gibi günlük eşit zaman dilimlerine ayrılır. Güneş takip mekanizmasının kontrolü tarih ve zaman verilerine bağlı yapılmıştır. Sistem şekil 3.17de olduğu gibi açık döngülü kontrol sistemidir.



Şekil 3.17 Kontrol Diyagramı

Açık döngülü sistemlerde kontrolünün kolaylığı ve düşük hızlarda yüksek tork sağlaması nedeniyle adım motorunun kullanılması daha uygun görülmüştür. Adım motorları bir tur dönmeyi eşit açılara bölünmüş adımlar ile gerçekleştiren şekil 3.18a da gösterilen fırçasız doğru akım motordur. Bu adımlar motor sürücüsünden gönderilen akım darbeleri ile gerçekleştirilir. Şekil 3.18a daki statorda bulunan elektromanyetik bobinlere istenilen yönde sıralı elektrik akımı gönderilerek rotor ile oluşturulan elektromanyetik çekim kuvveti sayesinde hareket sağlanır. Bu işlem şekil 3.18b de görüleceği gibi motor sürücüsünün gönderdiği her sinyal, A ve B kutuplarını rotor ile zıt ya da aynı elektrik yükü ile yükleyerek kutuplardaki dişliler ile rotordaki dişliler arasında itme ve çekme kuvvetleri oluşturur. Bu A ve B kutuplarının elektrik yükü değiştiğinde değişme yönünde rotor da dönme yapar.



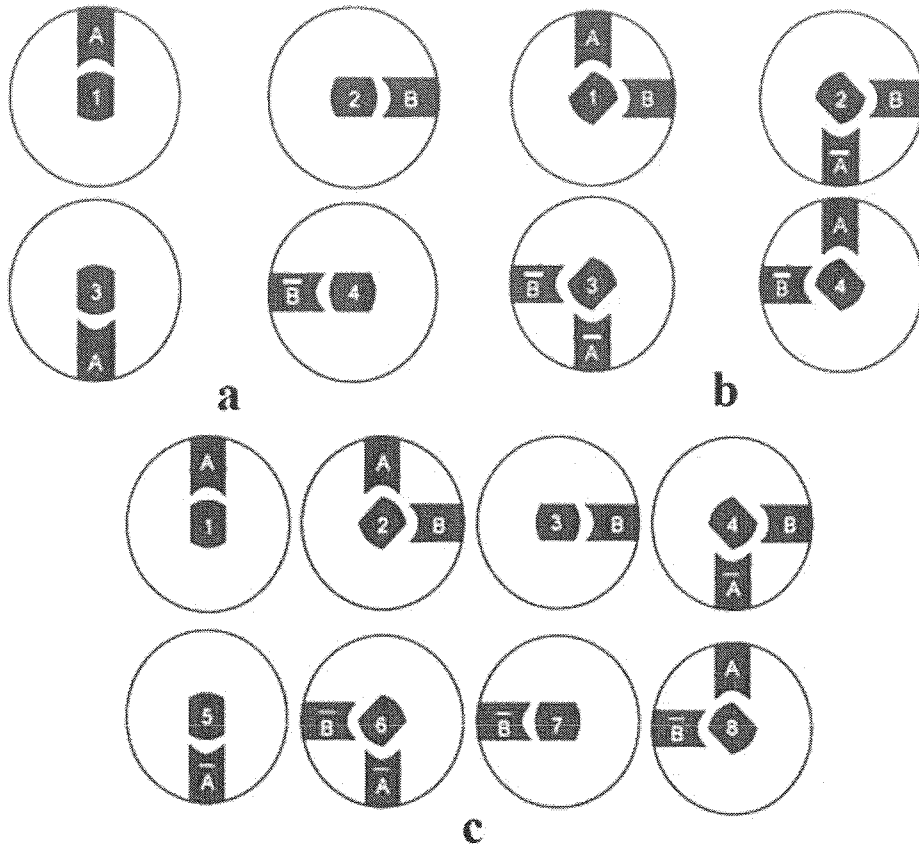
Şekil 3.18 Adım motoru iç yapısı

Adım motorlarında kutupların oluşturduğu faz sayısı, titreşim ve hareket hassasiyeti performansını etkileyen önemli faktörlerden biridir. İki fazlı adım motorları eş kutuplu ve çift kutuplu olarak kullanılmaktadır. Bu iki tür adım motoru, fazlarda aktif hale getirilen sargının uzunluğu ve voltaj yükü aralığı özellikleri ile birbirinden ayrılmaktadır. Eş kutuplu adım motorlarında fazlardan birinin yarısı bağımsız olarak 0-5V aralığında aktif hale gelebilirken çift kutuplu adım motorlarında (-2.5V) - (2.5V) aralığında fazların tamamı aktif hale gelmektedir. Bu özellik nedeni ile çift kutuplu adım motorları daha fazla elektrik akımı tüketerek daha yüksek tork sağlamaktadır.

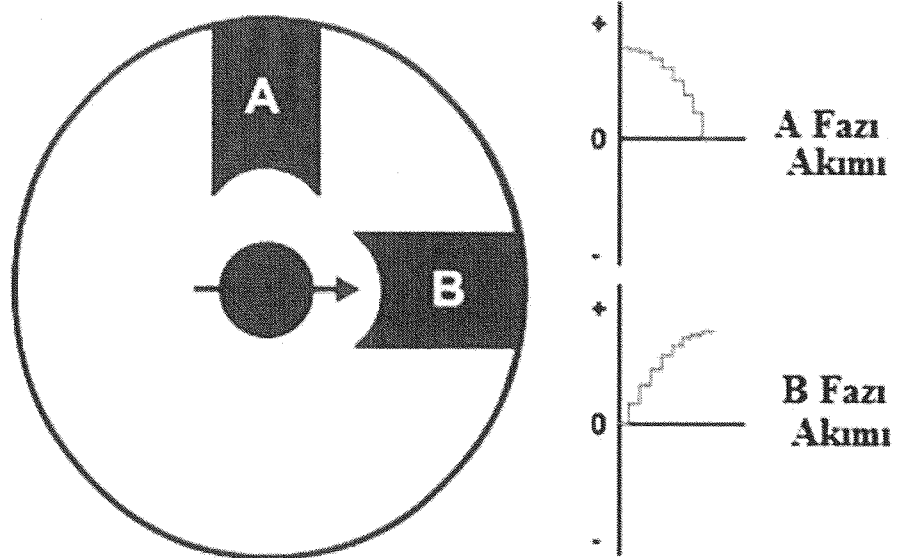
Çift kutuplu adım motorlarında bağlantı yöntemi motor performansını etkileyen diğer önemli faktördür. Çift kutuplu adım motorlarında kutup sargılarının seri bağlanması sargılardaki akımı azaltırken endüktansı yükseltir. Böylece tork yükseltilmiş olur. Yapılan çalışmada ihtiyaç duyulan tork çift kutuplu adım motorunda seri bağlantı yapılarak sağlanmıştır.

Güneş, şekil 3.5 de görüleceği gibi yılın farklı günlerinde ve gün içerisinde farklı saatlerde farklı hızda hareket etmektedir. Bu nedenle hesaplanan zaman dilimlerinde farklı frekansta darbe genişlik (PWM, Puls-Width-Modulation) kontrolü gerekmektedir. PWM kontrolü ile elektrik sinyal darbeleri gönderilme süresi ayarlanarak adım motorunun hangi sürede kaç adım döneceği kontrol edilmektedir. Bu işlemlere genel olarak motor sürme adı verilmektedir.

Motor sürme dört yöntemle gerçekleştirilmektedir. Dalga sürücüsü yöntemi ile şekil 3.19ada görüleceği gibi fazlar teker teker aktif hale getirilerek rotor döndürülür. Bu yöntemle tek adım için tüm fazların sırayla birer kez aktif hale getirilmesi gerekir. Bu yöntemde sürülen motorlarda tork çok düşüktür. Tam adım sürücüsü metodunda şekil 3.19b de gösterildiği gibi iki faz daima aktiftir. Bu metodun avantajı iki faz sayesinde rotora uygulanan elektromanyetik kuvvetin ve torkun daha yüksek olmasıdır. Bu çalışmada yüksek torka ihtiyaç olması nedeni ile tam adım sürme yöntemi tercih edilmiştir. Yarım adım sürme metodunda şekil 3.19c de görüldüğü gibi sırasıyla fazlar tek ve çift olarak aktif hale getirilerek rotorun bir tur dönmesi sağlanır. Mikro adım sürücü yöntemi, kutuplar arasındaki konum sayılarını çoğaltmak üzere sargıların Şekil 3.20 de görüldüğü gibi sinüzoidal akım ile aktive edilmesidir. Bu yöntem ile şekil 3.20 de gösterildiği gibi A fazında akım azalırken B fazında akımın artırılmasıyla rotorun mikro açılı adımlarda dönmesi sağlanmaktadır.



Şekil 3.19 a) Dalga sürücü yöntemi b) Tam adım sürücü yöntemi c) Yarı adım sürücü yöntemi

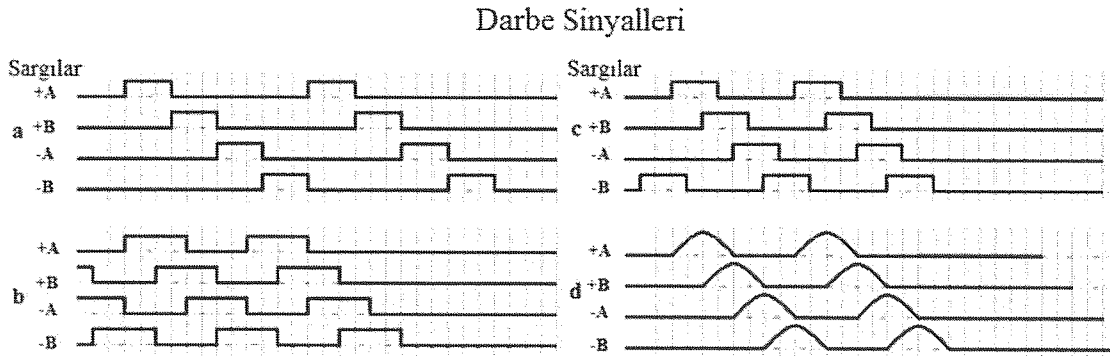


Şekil 3. 20 Mikro adım sürücü yöntemi

Adım motoru sürmede gönderilen akım darbelerinin sıklığı motorun hızını belirler. Adım motoru her akım darbesinde motorun yapısı ve frekans değeriyle orantılı olan belli bir açı kadar hareket eder. Adım motoruna gönderilen akım darbeleri şekil 3.21 deki gibi belli bir sırada olmalıdır. Bu sıra içerisinde darbelerden biri uygulamada bırakıldığında adım motoru frenlenerek konumunu korur.

Adım motorlarının sürülmesini sağlayan akım darbelerinin şekil 3.21 deki gibi sırasını kontrol etmek için bir kontrolcü kullanılmalıdır. Bu kontrolcüye yazılan programa bağlı olarak işlemciden motor sürücüyeye sinyaller gönderilerek adım motorunun kutupları istenilen sırada aktif hale getirilebilir.

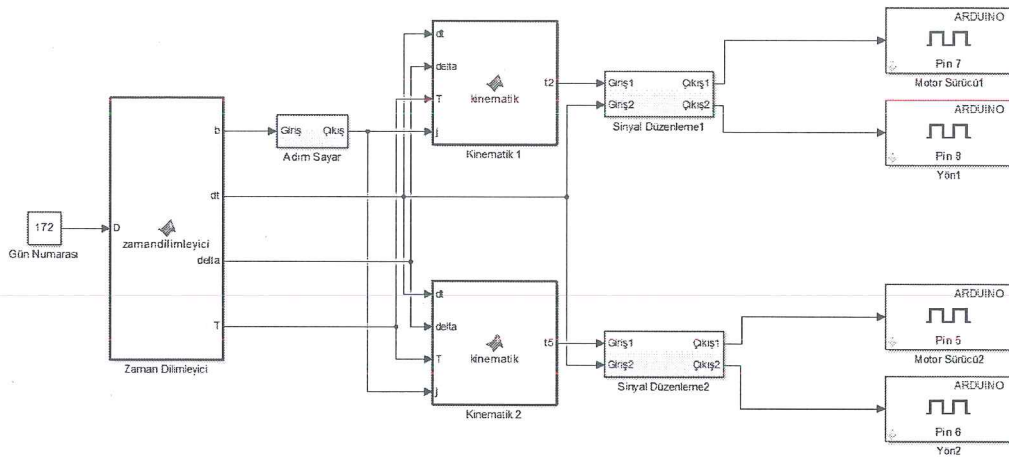
Bu projede kontrolcü kartı olarak Arduino MEGA 2560 kullanılmıştır. Bu kontrolcü kartının tercih edilmesindeki temel neden kontrolcünün MatLab ve Simulink programları ile iletişiminin basit olmasıdır. Ayrıca Arduino MEGA 2560 kontrol kartındaki ATmega2560 mikro işlemcisi 256 KB'lık veri işleme kapasitesine sahip olması çalışmadaki hesaplamalardan oluşan 180KB'lık verinin işlenmesini sağlamıştır.



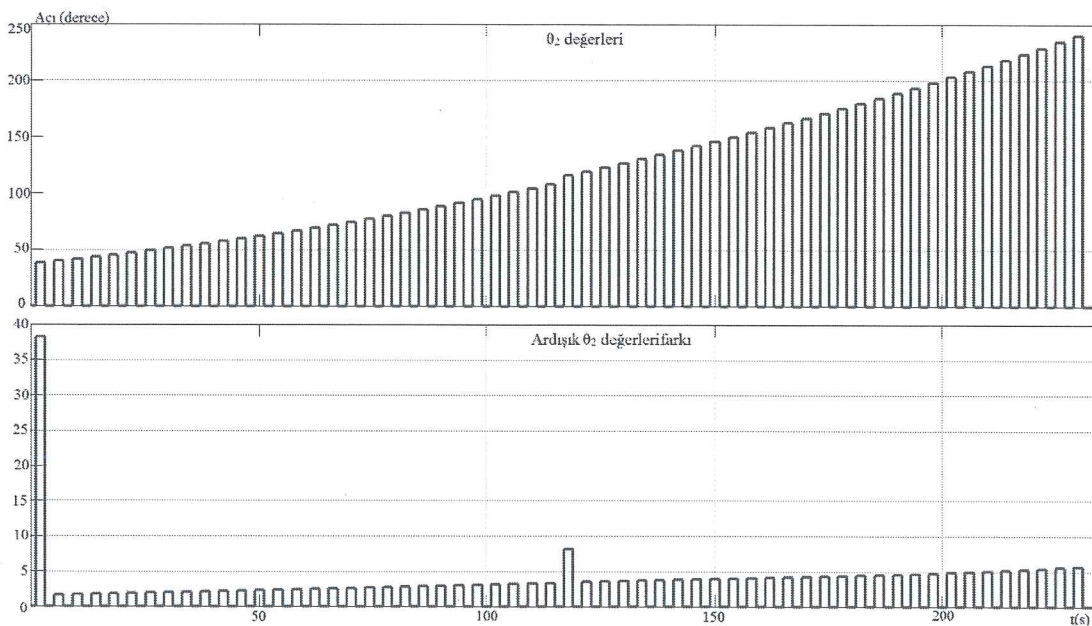
Şekil 3.21 a) Dalga sürücü yöntemi. b) Tam adım sürücü yöntemi. c) Yarım adım sürücü yöntemi. d) Mikro adım sürücü yöntemi

Çalışmada dört fazlı 1.8° adım açısı ve 4.5 Nm torka sahip NEMA 34 adım motoru kullanılmıştır. Motor yüksek hassasiyet, düşük ısınma ve düşük titreşim özelliklerinden dolayı tercih edilmiştir. Bu adım motoru 32-bit dijital sinyal işlemine dayalı dijital adım sürücü CWD556 ile sürülmüştür. Sürücü, motorun rezonansa girmesini, gürültü yapmasını, yüksek tınlamayı, sıcaklık artışını önleyerek performansını iyileştirmiştir. CWD556 adım sürücü ile motorun bir tam turu 200 ile 51200 adım arasında ayarlanabilmektedir. Bu sürücü 2.1-5.6A aralığında akım ve 24-50V gerilim aralığında 200 KHz'lik frekansa kadar işlem yapabilmektedir. Sisteme yüksek ya da alçak akım ve voltaj gelmesi halinde adım motorunu korumaktadır. Sistem 8A ve 24V'a kadar enerji sağlayabilen bir güç kaynağı ile desteklenmiştir.

Adım motoru kontrolü için şekil 3.22de gösterilen Simulink bloklarında gün numarası, kinematik hesaplamalar, adım sayısına göre belirli periyotta üretilmesi gereken mantık sinyalleri için sinyal düzenleme blok diyagramları oluşturulmuştur. Kontrol sistemi açık döngü olduğundan gün numarasının sisteme girilmesinden sonra gerekli açılar belirli periyotlarda hesaplanarak adım sinyalleri üretilmiştir. Şekil 3.22 de Kinematik1-2 adlı bloklarda 2 saniyelik zaman aralıklarında denklem 3.26-27 ile θ_2 ve θ_5 açıları hesaplatılmıştır. Bu açılardan ilk değerlerden sonraki ardışık değerler arasındaki fark her bir zaman diliminde bir önceki değere eklenmek üzere şekil 3.23 deki gibi düzenlenmiştir. θ_2 ve θ_5 açıları Sinyal Düzenleme1-2 adlı bloklarda adım açısı olan 0.9^0 ye bölünerek adım sayısı hesaplanmıştır.

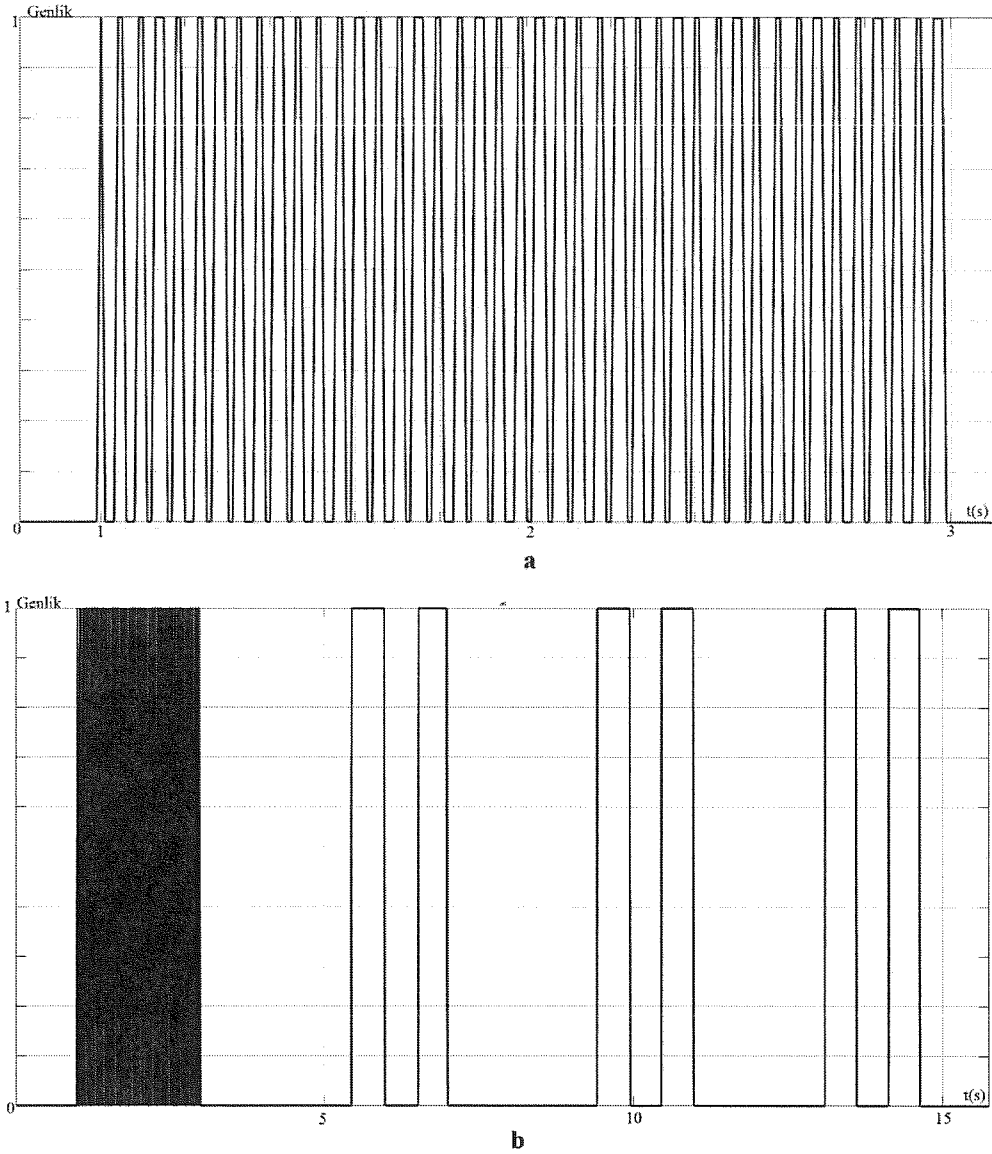


Şekil 3.22 Simulink blok diyagramı



Şekil 3. 23 21 Haziranda θ_2 değerleri ve ardışık açı değerleri farkları

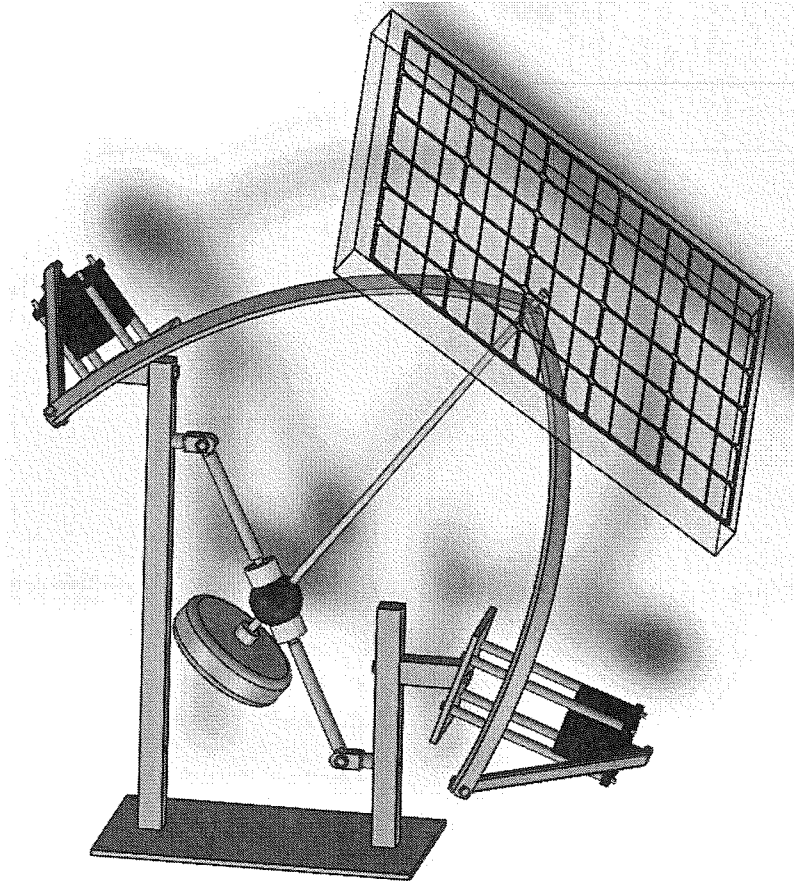
Sinyal düzenleme işleminde şekil 3.23deki değişken adım sayıları bir sinüs fonksiyonunda frekans olarak kullanılmıştır. 2 saniyelik sürelerde adım sayısı kadar sinüs dalgaları üretilerek şekil 3.24de gösterildiği gibi 0-1 mantık sinyallerine dönüştürülmüştür. Örnek olarak 21 Hazirandaki değerler incelenmiştir. Şekil 3.23deki ardışık θ_2 değerlerinin farklarından ilk değeri için gereken 0.9° 'lik 42 adet adım için üretilen 0-1 mantık sinyalleri şekil 3.24a'da gösterilmiştir. Böylece ilk zaman diliminde adım motoru 38.32° 'lik bir açı kadar dönmüş ve 2 nolu mekanizma uzvunu ilk konumuna hareket ettirmiştir. Bu işlem θ_2 'nin diğer zaman dilimlerindeki değerleri için ve θ_5 'in tüm değerleri için yapılarak 2 ve 5 nolu mekanizma uzuvlarına hesaplanan konumlar sağlanmıştır.



Şekil 3.24 21 Haziranda a) ilk zaman dilimi b) ilk 15 saniye için 0-1 mantık sinyalleri

3.4. Prototip Tasarımı ve İmalatı

Güneş takibi için geliştirilen küresel mekanizma için tasarlanan prototipin katı modeli şekil 3.25te gösterilmiştir. Parçaların geneli St52 malzemedен üretilmiştir. Güneş panelinin merkez desteğini sağlayan çubuk, küre merkezindeki küresel mafsala bağlanmıştır. Silindirik iki teflon malzemeye CNC tezgâhında küresel yuva açılarak küre şeklindeki krom-nikel parça ile küresel mafsal oluşturulmuştur. Şekil 3.10da numaraları belirtilen uzuvlar şekil 3.25te sağdan başlanmak suretiyle numaralandırılmıştır. 3 ve 4 nolu uzuvlar mekanizma hareketliliğini kısıtlamamak için bir çember yayı şeklinde kestamit malzemedен imal edilmiştir. Bu işlemde mafsallar arası açının önemli olmasından dolayı malzeme su jetinde kestirilerek imalat yapılmıştır. Küresel mekanizmalarda bütün mafsal eksenleri küre merkezinden geçmek zorunda olduğu için 2 ve 5 nolu uzuvların mafsal bağlantıları bu özelliği sağlayacak şekilde 25° ve 20° ölçülerinde eğilmiştir.



Şekil 3.25 Güneş takip için küresel mekanizma prototipi

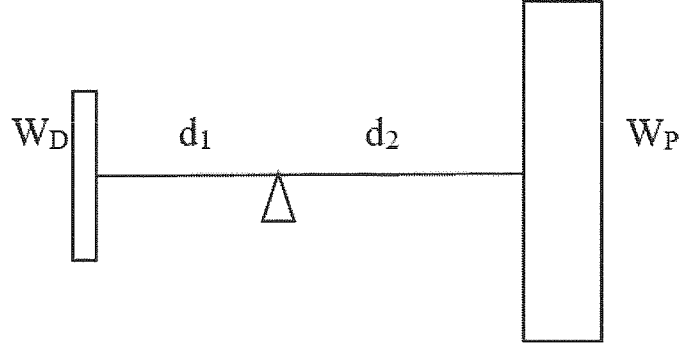
Prototip bir CAD programında 700x600mm lik sabit bir çerçeveye monte edilecek şekilde düzenlenmiştir. Kullanılacak panelin kütlesi 4,23 kg dır ve bunu dengelemek üzere bir denge ağırlığı kullanılmıştır. Bunun hesabı için Şekil 3.26da gösterilen serbest cisim diyagramında F_D , D kütlesindeki denge ağırlığını, R_M , M mafsalındaki tepki kuvvetini ve F_P , P panelindeki ağırlığı, d_1 denge ağırlığı ile mafsal arası ve d_2 mafsal ile panel arasındaki mesafeyi ifade etmektedir. M mafsalına göre moment alınırsa;

$$d_1 = 250 \text{ mm} \quad d_2 = 500 \text{ mm} \quad W_P = 41,6 \text{ N}$$

$$W_P d_2 - W_D d_1 = 0$$

$W_D = 85 \text{ N}$ olarak bulunur.

Bu hesaba göre 8.5 kglık bir kütle ile denge sağlanabilir. Güneş panelinin tüm konumlarında d_1 ve d_2 mesafeleri benzer oranda değişeceğinden bu yapılan işlem güneş panelinin tüm konumlarında geçerlidir.



Şekil 3.26 Panel-denge kütlesi serbest cisim diyagramı

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Güneş takibi için birçok yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemler içinde Güneşin gökyüzündeki küresel hareketine benzer hareket yapan bir mekanizma olarak küresel mekanizmanın hareketi güneş takibi için daha uygun görülmüştür. Güneş dünyaya göre

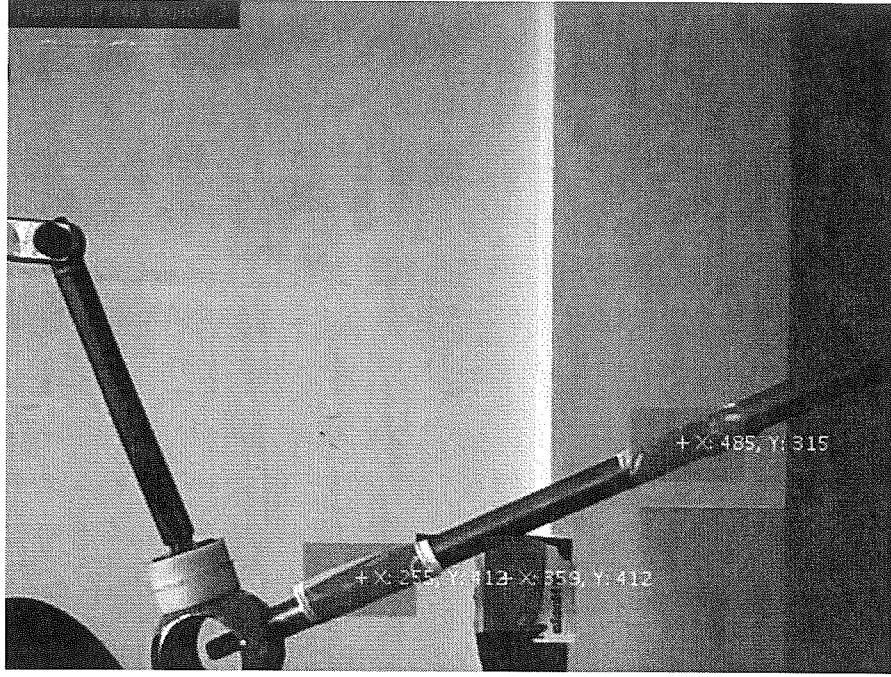
küresel bir eğri şeklinde hareket yapmaktadır. Benzer şekilde küresel mekanizmanın uzuvları da hareketleri ile küresel bir yüzey oluşturmaktadır. Küresel mekanizmanın biyel uzvuna bağlanan bir çerçeve ile güneş yörüngesi takibi gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmanın teorik hesaplamalar ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Küresel mekanizmalar uzuv mafsallarının dönme eksenleri küre merkezinden geçen mekanizmalardır. Bu nedenle imalatında ve montajında hassasiyet gerektirir. İmalat esnasında mafsallar arası açı ölçülerinde hata yapılması, uzuvlarda çakışmaya neden olarak mekanizmanın çalışmasını aksatabilir. Bu açı ölçülerinin hatalı olmaması için 3 ve 4 nolu uzuvlarının malzemeleri su jetinde istenilen ölçü ve şekilde kestirilmiştir. 2 ve 5 nolu uzuvlar bir platina malzemenin mafsal kısımları manuel preste uygun açılara eğilmiştir. Bu işlemler mümkün olduğunca hassasiyet gösterilerek yapılmaya çalışılmıştır.

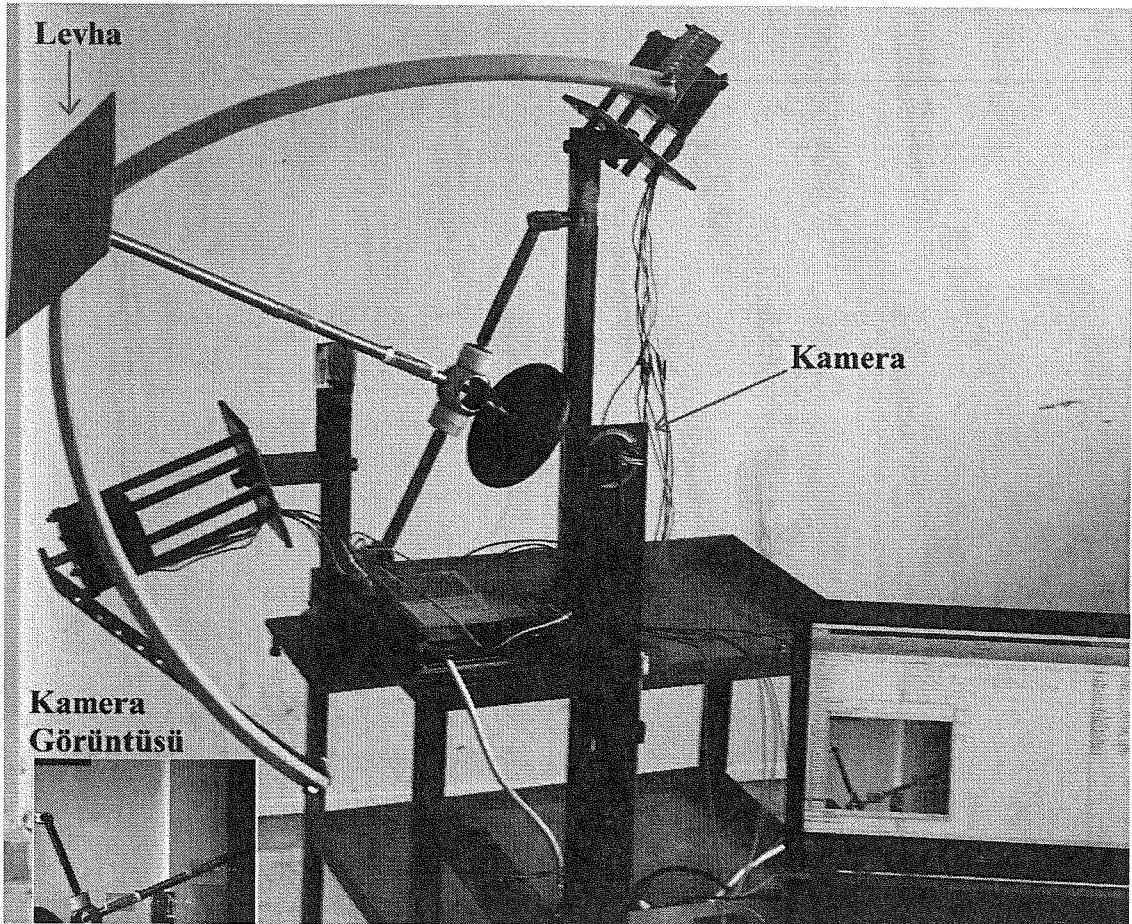
4.1. Mekanizma Testi

Mekanizmanın 3 ve 4 nolu uzuvlarının ağırlığının hafif olması için kestamit malzeme kullanılmıştır. Böylece uzuv ağırlıklarının motor torkuna etkisi azaltılmıştır. 2 ve 5 nolu uzuvların hareketleri kontrol edildiğinde yapılan hesaplamalar ile gerçekleşen açısal konumlar arasında ortalama 0.2° 'lik fark olduğu gözlemlenmiştir. Maksimum farklar saat 11.00-13.00 aralığında gerçekleşmiştir. Bu fark adım motorunun sürücüsünün ayarı ile kullanılan işlemcinin çalışma şartlarının uyumsuzluğundan kaynaklanmaktadır. Motor sürücüleri mikro adım atmaya elverişli iken işlemci yüksek frekansta mantık sinyallerini bozmakta ve işlemi gerçekleştirilememektedir. Bu nedenle adım motorları mikro adım için ayarlanamamıştır.

Mekanizmanın hareketi esnasında açıların ölçümü bir adet web kamerası kullanılarak görüntü işleme yöntemi ile yapılmıştır. Bu işlem için uzuv mafsallarına kırmızı renk verilerek bu renklerin referans noktalar ile arasındaki açılar şekil 4.1 deki gibi koordinatları elde edilerek ölçülmüştür. Görüntü işleme MatLab programı kullanılarak yapılmıştır. Ölçüm işlem ile ilgili kodlar ve matematiksel hesaplamalar Ek-5 te verilmiştir. Bu işlem için kullanılan kırmızı renkli şeritler mekanizma uzuvları üzerinde şekil 4.2 de görülmektedir.



Şekil 4.1 Açık ölçüm işlemi referans nokta koordinatları



Şekil 4.2 Prototip deney düzeneğinin 1 Ocak için 10. Zaman dilimindeki konumu

Çizelge 4.1 ve 4.2 de NOAA'nın uydular ile yaptığı ölçümler, güneş konum hesabı sonuçları ve mekanizmanın testlerde sağladığı değerler verilmiştir (Anonymus, 2016e).

Çizelge 4.1 21 Haziran Azimut-Yükselti açıları değerleri karşılaştırılması

21 Haziran NOAA			21 Haziran Teorik Hesaplama		21 Haziran Prototip	
Saat	Azimut	Yükselti	Azimut	Yükselti	Azimut	Yükselti
5:45	61,6	2,41	62.15	2.60	62	2
6:00	63,82	4,93	64.34	5.25	64	5
6:15	66	7,56	66.48	7.96	66	8
6:30	68,12	10,25	68.58	10.71	68	11
6:45	70,22	12,99	70.64	13.49	70	13
7:00	72,32	15,84	72.68	16.32	73	16
7:15	74,36	18,66	74.70	19.17	75	19
7:30	76,4	21,52	76.70	22.05	77	22
7:45	78,43	24,4	78.71	24.96	79	25
8:00	80,48	27,3	80.73	27.89	81	28
8:15	82,54	30,22	82.78	30.83	83	31
8:30	84,65	33,15	84.86	33.79	85	34
8:45	86,8	36,1	87	36.75	87	37
9:00	89,03	39,05	89.20	39.73	89	40
9:15	91,34	42,01	91.5	42.70	91	43
9:30	93,77	44,96	93.93	45.67	94	46
9:45	96,35	47,9	96.5	48.63	97	49
10:00	99,12	50,83	99.28	51.58	99	52
10:15	102	53,68	102.3	54.50	102	55
10:30	105,38	56,55	105.65	57.39	105	57
10:45	109,09	59,37	109.41	60.22	109	60
11:00	113,3	62,12	113.72	62.99	113	63
11:15	118,18	64,79	118.74	65.66	118	65
11:30	123,92	67,32	124.7	68.19	124	68
11:45	130,78	69,67	131.88	70.52	132	70
12:00	139,05	71,77	140.61	72.58	140	73
12:15	149,02	73,51	151.18	74.26	151	74
12:30	160,76	74,77	163.61	75.40	163	75
12:45	173,91	75,42	173,80	75.50	174	75
13:00	187,58	75,38	187	75.40	187	75
13:15	200,62	74,66	196.38	74.26	196	74

13:30	212,17	73,34	208.81	73.2	209	73
13:45	221,94	71,55	219.38	72.58	219	72
14:00	230,04	69,42	228.11	70.52	228	70
14:15	236,76	67,05	235.29	68.19	235	68
14:30	242,4	64,5	241.25	65.66	241	65
14:45	247,19	61,82	246.27	62.99	246	63
15:00	251,34	59,06	250.58	60.22	250	60
15:15	255	56,23	254.34	57.39	254	57
15:30	258,27	53,36	257.69	54.50	258	54
15:45	261,25	50,45	260.72	51.58	260	52
16:00	263,99	47,52	263.49	48.63	263	49
16:15	266,55	44,57	266.06	45.67	266	46
16:30	268,97	41,62	268.49	42.70	268	43
16:45	271,27	38,67	270.79	39.73	271	40
17:00	273,48	35,71	272.99	36.75	273	37
17:15	275,63	32,72	275.13	33.79	275	34
17:30	277,73	29,84	277.21	30.83	277	31
17:45	279,79	26,92	279.26	27.89	279	28
18:00	281,83	24,02	281.28	24.96	281	25
18:15	283,86	21,14	283.29	22.05	283	22
18:30	285,90	18,29	285.29	19.17	285	19
18:45	287,95	15,47	287.31	16.32	287	16
19:00	290,01	12,69	289.35	13.49	289	13
19:15	292,11	9,95	291.41	10.71	291	10
19:30	294,24	7,26	293.51	7.96	293	8
19:45	296,42	4,64	295.65	5.25	295	5
20:00	298,65	2,14	297.84	2.60	298	2

Çizelge 4.2 21 Aralık Azimut-Yükselti açıları değerleri karşılaştırılması

21 Aralık NASA			21 Aralık Teorik Hesaplama		21 Aralık Prototip	
Saat	Azimut	Yükselti	Azimut	Yükselti	Azimut	Yükselti
8:15	121.57	1.73	119.93	0.98	120	1
8:30	123.95	4.08	122.25	2.54	122	3
8:45	126.41	6.44	124.64	5.02	125	5
9:00	128.95	8.75	127.11	7.43	127	7
9:15	131.59	10.98	129.68	9.76	129	10
9:30	134.32	13.13	132.34	12.01	132	12
9:45	137.16	15.19	135.10	14.16	135	14

10:00	140.11	17.13	137.97	16.20	138	16
10:15	143.17	18.96	140.95	18.14	140	18
10:30	146.34	20.66	144.05	19.95	144	20
10:45	149.63	22.23	147.27	21.63	147	21
11:00	153.03	23.64	150.60	23.16	150	23
11:15	156.54	24.9	154.05	24.54	154	25
11:30	160.15	25.99	157.61	25.76	158	26
11:45	163.85	26.9	161.27	26.80	161	27
12:00	167.63	27.63	165.02	27.67	165	28
12:15	171.48	28.17	168.85	28.34	169	28
12:30	175.37	28.5	172.73	28.81	173	29
12:45	179.28	28.64	176.66	29.09	177	29
13:00	183.19	28.58	183.33	29.09	183	29
13:15	187.09	28.31	187.26	28.81	187	29
13:30	190.95	27.85	191.14	28.34	191	28
13:45	194.76	27.19	194.97	27.67	195	27
14:00	198.49	26.35	198.72	26.80	198	26
14:15	202.14	25.32	202.38	25.76	202	25
14:30	205.69	24.13	205.94	24.54	206	24
14:45	209.13	22.77	209.39	23.16	209	23
15:00	212.46	21.26	212.72	21.63	213	21
15:15	215.68	19.6	215.94	19.95	216	20
15:30	218.78	17.82	219.0	18.14	219	18
15:45	221.77	15.92	222.02	16.20	222	16
16:00	224.64	13.9	224.89	14.16	224	14
16:15	227.41	11.78	227.65	12.01	227	12
16:30	230.08	9.58	230.31	9.76	230	10
16:45	232.66	7.3	232.88	7.43	232	7
17:00	235.15	4.95	235.35	5.02	235	5
17:15	237.56	2.59	237.74	2.54	237	2
17:30	239.89	0.31	240.06	0.73	240	1

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu bölümde yapılan testte elde edilen sonuçlar ve öneriler verilmiştir.

5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada tasarlanan küresel mekanizma ile güneş yörünge takibi test edilmiştir. Küresel mekanizma güneş takibinde panel yerine kullanılan levhayı küresel bir yüzeyde şekil 3.5 de gösterilen güneş yörüngesinde taşımıştır. Görüntü işleme teknolojisi ile günlük zaman dilimleri için yükselti ve azimut açıları ölçülmüştür. Tablo 4.1 ve 4.2 de NOAA'dan alınan veriler, güneş konum hesabı ile elde edilen veriler ve mekanizmanın testinde ölçülen değerler karşılaştırıldığında 0.2° 'lik ortalama hata ile güneş konumlarının takibi sağlandığı gözlenmiştir.

Prototip tasarımında güneş panelinin ağırlığını dengelemek ve taşımak için kullanılan küresel mafsalin denge kütlesini taşımaya uygun olmadığı tespit edilmiştir. Prototip tasarımında panel denge kütlesinin hareketi için yeterli alan küresel mafsalin kısıtlarından dolayı oluşturulamamıştır. Bu nedenle prototipe güneş paneli yerine daha hafif bir levha montajlanmıştır. Bu levhanın ağırlığını dengelemek üzere bir denge ağırlığı bağlanmıştır.

Bu çalışma ile daha az elektrik enerjisi harcayarak daha hassas güneş takibi yapılabileceği gözlemlenmiştir. İmalatının basitliği ve ekipmanlarının ucuzluğu sayesinde ekonomik açıdan tasarruf sağlamıştır. Tasarımda küresel mafsal yerine kardan mafsalı kullanılarak güneş paneli montajına uygun hale geleceği öngörülmüştür.

5.2 Öneriler

Bu çalışmada prototipte merkezdeki küresel mafsal yerine özel tasarımı bir kardan mafsalı kullanılabilir. Uzuvarın tamamı metal malzemedden üretilebilir. Bu çalışma ;

- Yıl boyu ya da ay boyu takip sonucu üretilen elektrik enerjisi sabit, tek eksenli ve çift eksenli güneş takip sistemleri ile karşılaştırılabilir.
- Prototipin sahada kurulumu yapılarak mekanizma uzuvlarına etkiyen kuvvet ile yapılan teorik hesaplama sonuçları karşılaştırılabilir.
- Kapalı döngülü kontrol ile karşılaştırma yapılabilir.
- Farklı mekanizmalar ile güneş takibi yapılarak karşılaştırma yapılabilir

KAYNAKLAR

- Abdallah, S. ve Nijmeh, S., 2004, Two axes sun tracking system with PLC control, *Energy Conversion and Management*, 45 (11), 1931-1939.
- Alata, M., Al-Nimr, M. ve Qaroush, Y., 2005, Developing a multipurpose sun tracking system using fuzzy control, *Energy Conversion and Management*, 46 (7), 1229-1245.
- Anonim, 2015, Güneş, <https://tr.wikipedia.org/wiki/G%C3%BCne%C5%9F>:
- Anonim, 2016, GEPA, <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>:
- Anonymus, 2016a, Solar Panel, https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_panel: [Efficiency].
- Anonymus, 2016b, Cell Efficiency Chart, http://www.nrel.gov/pv/assets/images/efficiency_chart.jpg:
- Anonymus, 2016c, Solar Tracker, https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_tracker:
- Anonymus, 2016d, ASCE 7.
- Anonymus, 2016e, Solar Angle, <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/>:
- Barker, L., Neber, M. ve Lee, H., 2013, Design of a low-profile two-axis solar tracker, *Solar Energy*, 97, 569-576.
- Cammarata, A., 2015, Optimized design of a large-workspace 2-DOF parallel robot for solar tracking systems, *Mechanism and machine theory*, 83, 175-186.
- Chiang, C.-H., 1988, Kinematics of spherical mechanisms, Cambridge University Press Cambridge, p.
- Clifford, M. ve Eastwood, D., 2004, Design of a novel passive solar tracker, *Solar Energy*, 77 (3), 269-280.
- Gaspar, F., Deac, T., Tutunaru, L. V. F. ve Moldovanu, D., 2016, Experimental Study on the Sun Tracking Ability of a Spherical Solar Collector, *Energy Procedia*, 85, 220-227.
- Hassan, I. ve Islam, K., 2010, Two Axis Sensorless Solar Tracking System.
- Hossain, E., Muhida, R., Dzulkipli, A. F. ve Rahman, K. A. A., 2008, Solar cell efficiency improvement using compound parabolic concentrator and an implementation of sun tracking system, *Computer and Information Technology, 2008. ICCIT 2008. 11th International Conference on*, 723-728.
- Lazaroiu, G. C., Longo, M., Roscia, M. ve Pagano, M., 2015, Comparative analysis of fixed and sun tracking low power PV systems considering energy consumption, *Energy Conversion and Management*, 92, 143-148.
- León, N., García, H. ve Ramírez, C., 2014, Semi-passive solar tracking concentrator, *Energy Procedia*, 57, 275-284.
- Oner, Y., Cetin, E., Ozturk, H. K. ve Yilanci, A., 2009, Design of a new three-degree of freedom spherical motor for photovoltaic-tracking systems, *Renewable Energy*, 34 (12), 2751-2756.
- Özçelik, Z., Acar, O. ve Konya, K., 2015, KÜRESEL MEKANİZMALARDA BİYEL EĞRİSİ ÇİZİMİ İÇİN BİR YÖNTEM.
- Poulek, V. ve Libra, M., 1998, New solar tracker, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 51 (2), 113-120.
- Song, J., Zhu, Y., Jin, Z. ve Yang, Y., 2014, Daylighting system via fibers based on two-stage sun-tracking model, *Solar Energy*, 108, 331-339.
- Swanson, R. M., 2006, A vision for crystalline silicon photovoltaics, *Progress in photovoltaics: Research and Applications*, 14 (5), 443-453.
- Yao, Y., Hu, Y., Gao, S., Yang, G. ve Du, J., 2014, A multipurpose dual-axis solar tracker with two tracking strategies, *Renewable Energy*, 72, 88-98.

EKLER**EK-1 Simulink Blok Diyagramı Zaman Dilimleyici**

```
function [b,dt,delta,T] = zamandilimleyici(D)
t = (2*pi*((D-1)/365));
pu=pi/180;
Phi = 37.52*pu;
delta =(((0.322003-22.971*cos(t)-0.357898*cos(2*t)-
0.14398*cos(3*t)+3.94638*sin(t)+0.019334*sin(2*t)+0.05928*s
in(3*t))) *pu);
ws = (-acos(-tan(Phi)*tan(delta)));
wss = -(ws/pu);
T = 24*wss/360;
dt = round(T*8);
if (round(dt/2)-dt/2)~=0
    dt = dt+1;
end
b= dt;
```

EK-2 Simulink Blok Diyagramı Kinematik 1

```

function t2 = kinematik(dt,delta,T,j)
pu=pi/180;
Phi = 37.52*pu;

if j==dt/2+1
    i=j-1;

    omeg = (2*pi*(T-((i-1)*0.25))/24);
    alph = (pi/2-
    acos(cos(Phi)*cos(delta)*cos(omeg)+sin(Phi)*sin(delta)));
    gam = (acos((sin(delta)-
    sin(alph)*sin(Phi))/(cos(alph)*cos(Phi))));
    xB = (cos(alph)*cos(gam));
    yB = -(cos(alph)*sin(gam));
    zB = (sin(alph));

    elseif j>dt/2+1
    i=j-(2*(j-dt/2-1)+1);

    omeg = (2*pi*(T-((i-1)*0.25))/24);
    alph = (pi/2-
    acos(cos(Phi)*cos(delta)*cos(omeg)+sin(Phi)*sin(delta)));
    gam = (acos((sin(delta)-
    sin(alph)*sin(Phi))/(cos(alph)*cos(Phi))));
    xB = (cos(alph)*cos(gam));
    yB = -(cos(alph)*sin(gam));
    zB = (sin(alph));
    else
    i=j;

    omeg = (2*pi*(T-((i-1)*0.25))/24);
    alph = (pi/2-
    acos(cos(Phi)*cos(delta)*cos(omeg)+sin(Phi)*sin(delta)));
    gam = (acos((sin(delta)-
    sin(alph)*sin(Phi))/(cos(alph)*cos(Phi))));
    xB = (cos(alph)*cos(gam));
    yB = (cos(alph)*sin(gam));
    zB = (sin(alph));

end

lama = 20*pu;
xA0 = (cos(lama));yA0 = 0;zA0 = (-sin(lama));a2 = 51*pu;a3
= 77*pu;
g = sin(a2);h = -sin(lama)*cos(a2);p = -cos(lama)*sin(a2);

etha = (2*asin(sqrt((-xB-xA0)^2+(yB-yA0)^2+(zB-zA0)^2)/2));
A = (acos((cos(a3)-
cos(a2)*cos(etha))/(sin(a2)*sin(etha))));

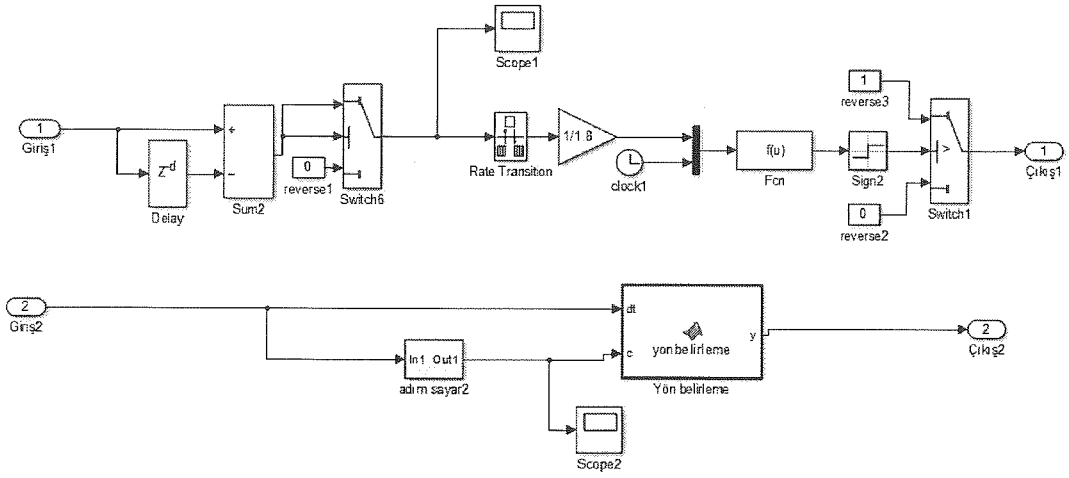
```

```

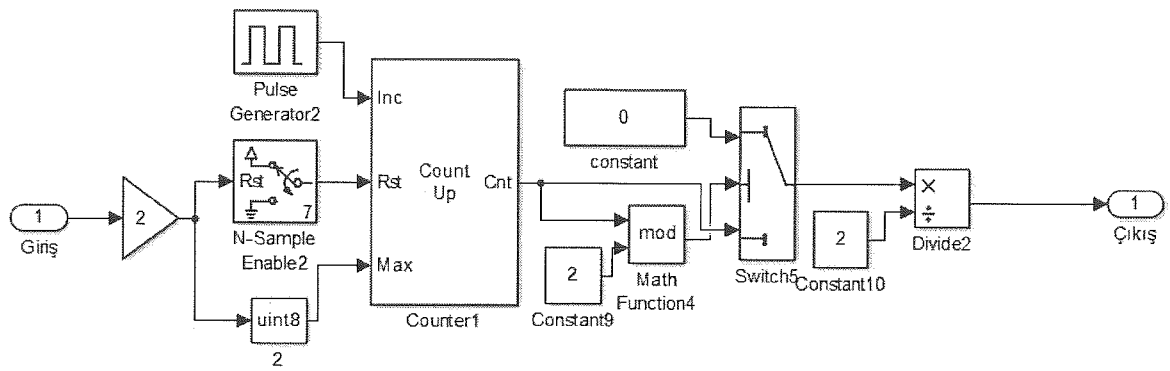
xBu = xd(xA0,yA0,zA0,-A,-xB,yB,zB);
yBu = yd(xA0,yA0,zA0,-A,-xB,yB,zB);
zBu = zd(xA0,yA0,zA0,-A,-xB,yB,zB);
k1 = (-zA0*xBu+zBu*xA0);
k2 = (-zA0*yBu+zBu*yA0);
bet1 = (atan2(k2,k1));
k3 = (xA0*sin(bet1)-yA0*cos(bet1));
k4 = -zA0;
alf1 = (atan2(k4,k3));
W=[(xA0) (yA0) (zA0); (-xB) (yB) (zB);
(tan(alf1)*sin(bet1)) (-tan(alf1)*cos(bet1)) 1];B=[cos(a2);
cos(a3); 0];
xm = linsolve(W,B);
yAA=xm(2,1);
zAA=xm(3,1);
t2 = (atan2((yAA/g), (zAA-h)/p));
if t2<0
t2 = (t2+pi+pi);end
if j==0
t2=0;end
t2 = t2/pu;

```

EK-3 Simulink Blok Diyagramı Sinyal Düzenleme 1



EK-4 Simulink Blok Diyagramı Adım Sayar



EK-5 Görüntü İşleme Açılış Ölçüm İşlemi Kodları

```

redThresh = 0.15;
vidDevice = imaq.VideoDevice('winvideo',2, 'YUY2_640x480',
...
'ROI', [1 1 640 480], ...
'ReturnedColorSpace', 'rgb');
vidInfo = imaqhwinfo(vidDevice);
hblob = vision.BlobAnalysis('AreaOutputPort', false, ...
'CentroidOutputPort', true, ...
'BoundingBoxOutputPort', true', ...
'MinimumBlobArea', 800, ...
'MaximumBlobArea', 3000, ...
'MaximumCount', 3);
hshapeinsRedBox = vision.ShapeInserter('BorderColor',
'Custom', ...
'CustomBorderColor', [1 0 0], ...
'Fill', true, ...
'FillColor', 'Custom', ...
'CustomFillColor', [1 0 0], ...
'Opacity', 0.4);
htextins = vision.TextInserter('Text', 'Number of Red
Object: %2d', ...
'Location', [7 2], ...
'Color', [1 0 0], ...
'FontSize', 12);
htextinsCent = vision.TextInserter('Text', '+ X:%4d,
Y:%4d', ...
'LocationSource', 'Input port', ...
'Color', [1 1 0], ...
'FontSize', 14);
htextinsCent1 = vision.TextInserter('Text', '+ angle:%6d',
...
'LocationSource', 'Input port', ...
'Color', [1 0 1], ...
'FontSize', 16);
hVideoIn = vision.VideoPlayer('Name', 'Final Video', ...
'Position', [100 100 vidInfo.MaxWidth+20
vidInfo.MaxHeight+30]);
nFrame = 0;
while(nFrame < 1000)
rgbFrame = step(vidDevice);
rgbFrame = flipdim(rgbFrame,2);
diffFrame = imsubtract(rgbFrame(:,:,1),
rgb2gray(rgbFrame));
diffFrame = medfilt2(diffFrame, [3 3]);
binFrame = im2bw(diffFrame, redThresh);
[centroid, bbox] = step(hblob, binFrame);
centroid = uint16(centroid);
rgbFrame(1:20,1:165,:) = 0;
vidIn = step(hshapeinsRedBox, rgbFrame, bbox);

```

```

for object = 1:1:length(bbox(:,1))
    if object == 1
        centX2 = centroid(object,1); centY2 = centroid(object,2);
        vidIn = step(htextinsCent, vidIn, [centX2 centY2 ],
            [centX2-6 centY2-9]);
        elseif object == 2
            centX1 = centroid(object,1); centY1 = centroid(object,2);
            vidIn = step(htextinsCent, vidIn, [centX1 centY1], [centX1-
                6 centY1-9]);
            else
                centX = centroid(object,1); centY = centroid(object,2);
                vidIn = step(htextinsCent, vidIn, [centX centY], [centX-6
                    centY-9]);
            end
        end
        centX1 = double(centX1);
        centX2 = double(centX2);
        centY = double(centY);
        centY1 = double(centY1);
        centY2 = double(centY2);
        v11 = [centX-centX2,centY-centY2];
        v22 = [centX1-centX2,centY1-centY2];
        v1 = single(v11);
        v2 = single(v22);
        theta = acos (dot(v1,v2)/(norm(v1)*norm(v2)));
        angle = (theta * (180/pi));
        vidIn = step(htextinsCent1, vidIn, int8(angle), [centX
            centY]);
        vidIn = step(htextins, vidIn, uint8(length(bbox(:,1))));
        step(hVideoIn, vidIn);
        nFrame = nFrame+1;
    end
end

```

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

AdıSoyadı : Osman ACAR
Uyruğu : Türk
DoğumYeriveTarihi : Konya 17.09.1989
Telefon : 05537461288
Faks :
e-mail : osmanacar@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	BitirmeYılı
Lise	: Meram Konya Lisesi, Meram, Konya	2006
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2012
YüksekLisans	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	-

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2012-2013	TAMYÜKSEK YAPI DENETİM LTD. ŞTİ	Kontrol Mühendisi
2013-2014	ARBA YAPI DENETİM LTD. ŞTİ.	Kontrol Mühendisi
2014-	SELÇUK ÜNİVERSİTESİ	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI

Mekanizma tekniği ve Makine Dinamiği

YABANCI DİLLER

İngilizce

YDS(85)

YAYINLAR

Osman ACAR, Two Degree of Freedom Spherical Mechanism Design for Exact Sun Tracking, ICAMMM (18th Int. Conf. on Applied Mechanics, Materials, and Manufacturing), 2016

(Bu akademik yayın bu tez çalışmasından yapılmıştır)