

**T.C.  
ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SİLİNDİRİK PARABOLİK GÜNEŞ TOPLAYICILARININ  
TAKİP SİSTEMLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

**Çağrı YALÇINKAYA**

**Danışman  
Doç. Dr. Ramazan ŞENOL**

**ISPARTA- 2019**



© 2019 [Çağrı YALÇINKAYA]

TEZ ONAYI

**SİLİNDİRİK PARABOLİK GÜNEŞ TOPLAYICILARININ  
TAKİP SİSTEMLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

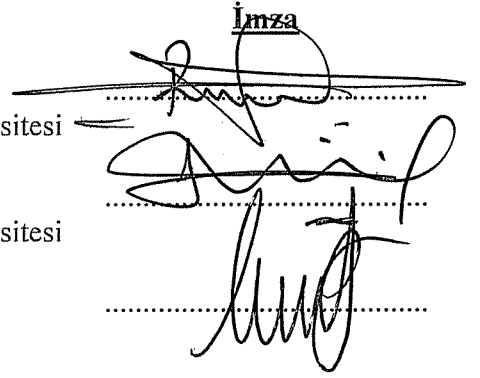
Çağrı YALÇINKAYA tarafından hazırlanan bu tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman**      **Doç. Dr. Ramazan ŞENOL**  
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

**Üye**              **Dr. Öğr. Üyesi Bekir AKSOY**  
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

**Üye**              **Dr. Öğr. Üyesi Mevlüt ERSOY**  
Süleyman Demirel Üniversitesi

**İmza**



Yukarıdaki Jüri kararı Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .../.../.... tarih ve ...../..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

**Prof.Dr. Yusuf UÇAR**  
Enstitü Müdürü

## **ETİK BEYANI**

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak ve bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın hazırladığım bu tez çalışmasında;

Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, tezime ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarımı kabullendiğimi beyan ederim.

26/07/2019

**Çağrı YALÇINKAYA**



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER .....	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xii
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Güneş Enerjisi .....	2
1.1.1. Türkiye’de güneş enerjisi .....	3
1.2. Güneş Enerji Sistemleri.....	6
1.2.1. Pasif güneş sistemleri .....	6
1.2.2. Aktif güneş sistemleri .....	7
1.2.2.1. Düşük sıcaklık sistemleri .....	8
1.2.2.2. Yüksek sıcaklık sistemleri .....	9
1.2.2.3. Fotovoltaik sistemler .....	11
1.3. Güneş Astronomisi ve Güneş Açılıarı.....	12
1.3.1. Enlem açısı .....	13
1.3.2. Boylam açısı.....	13
1.3.3. Deklinasyon açısı .....	13
1.3.4. Saat açısı.....	14
1.3.5. Güneş yükseklik açısı.....	15
1.3.6. Zenith açısı .....	15
1.3.7. Azimuth açısı .....	15
1.3.7.1. Güneş azimuth açısı .....	16
1.3.7.2. Yüzey azimuth açısı .....	16
1.3.8. Eğim açısı.....	17
1.3.9. Güneş yükseklik açısı.....	17
1.4. Güneş Zamanı .....	17
1.4.1. Yerel saat zaman meridyeni .....	18
1.4.2. Zaman eşitlik denklemi .....	18
1.4.3. Zaman düzeltme faktörü .....	19
1.4.4. Güneş doğuş ve batış zamanı .....	19
1.5. Güneş Işınım Hesabı .....	20
1.5.1. Hava kütlesi katsayısı.....	20
1.5.2. Direkt ışınım yoğunluğu .....	21
1.5.3. Küresel ışınım .....	22
1.6. Güneş Takip Sistemleri .....	22
1.6.1. Tek eksen güneş takip sistemleri .....	24
1.6.2. Çift eksen güneş takip sistemleri .....	25
1.6.3. Denetim sistemleri .....	26
1.6.3.1. Açık çevirim denetim sistemi.....	27
1.6.3.2. Kapalı çevirim denetim sistemi.....	27
1.6.4. Güneş takip kontrol sistemleri .....	27
1.6.4.1. Açık çevirim güneş takip kontrol sistemi .....	27
1.6.4.2. Kapalı çevirim güneş takip kontrol sistemi.....	28
1.6.4.3. Hibrit çevirim güneş takip kontrol sistemi.....	28

2. KAYNAK ÖZETLERİ .....	29
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	33
3.1. Silindirik Parabolik Güneş Kollektörünün Mekanik Tasarımı ve İmalatı .....	33
3.1.1. Silindirik parabolik güneş toplayıcısının boyutlandırma hesabı .....	34
3.1.2. Silindirik parabolik güneş toplayıcılarında optik kayıp ve analizi .....	36
3.1.3. Silindirik parabolik güneş toplayıcısında ısı kayıp .....	41
3.1.4. Silindirik parabolik güneş toplayıcısında gölgeleme hesabı .....	42
3.1.5. Silindirik parabolik güneş toplayıcısının tasarımı .....	44
3.1.6. Silindirik parabolik güneş toplayıcısının imalatı ve montajı .....	47
3.1.6.1. İmalatta kullanılan malzemeler .....	50
3.1.7. Silindirik parabolik güneş toplayıcısının mekanik tesisatı .....	50
3.1.7.1. Tesisatta kullanılan malzemeler .....	53
3.2. Güneş Işınımı Algoritmasına Göre Güneş Takip Yöntemi .....	54
3.2.1. GPS tabanlı güneş takip sistemi .....	55
3.2.2. Arduino kontrol kartı .....	57
3.2.3. GPS modülü .....	58
3.2.4. Lineer hareketli DC aktüatör .....	58
3.2.5. Motor sürücü .....	59
3.2.6. Enkoder .....	60
3.2.7. Mekanik sınır anahtarı .....	60
3.2.8. Sistemin elektronik devresi .....	61
3.3. Gerçek Zamanlı Güneş Takip Yöntemi .....	64
3.3.1. Bulanık mantık tabanlı güneş takip sistemi .....	64
3.3.2. STM32F407G mikrodenetleyici kontrol kartı .....	71
3.3.3. Waijung blokseti .....	71
3.3.4. Bulanık mantık kontrolörü .....	72
3.3.5. Lineer hareketli DC aktüatör .....	73
3.3.6. Motor sürücüsü .....	73
3.3.7. Mekanik sınır anahtarı .....	73
3.3.8. Röle modülü .....	73
3.3.9. Sistemin elektronik devresi .....	74
3.4. Deneyler Sırasında Kullanılan Test ve Ölçüm Cihazları .....	76
3.5. Deneylerin Yapılışı .....	80
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	81
5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	105
KAYNAKLAR .....	106
EKLER .....	110
EK A. Silindirik parabolik güneş toplayıcısı mekanik imalat ve montaj resimleri .	110
EK B. Güneş ışınımı algoritmasına göre güneş takip sisteminin yazılım kodları ...	112
ÖZGEÇMİŞ .....	118

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

# SİLİNDİRİK PARABOLİK GÜNEŞ TOPLAYICILARININ TAKİP SİSTEMLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Çağrı YALÇINKAYA

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ramazan ŞENOL

Dünya üzerinde yaşayan insan nüfusunun tahminlerin ötesinde bir ivme ile artmaktadır. Nüfus artışı sebebiyle artarak devam eden enerji ihtiyacı sebebiyle insanoğlu enerji elde etmek için kullanılmakta olan kaynaklara ek olarak alternatif enerji kaynakları aramaya başlamıştır. Dünya üzerindeki askeri, ekonomik ve siyasi faaliyetlerin büyük bir çoğunluğunu oluşturan sorunların temel taşı olan enerji kaynağı sorunu tüm insanlığı tehdit etmektedir.

İnsanoğlu, kısa bir süre öncesine kadar enerji kaynağı olarak sadece fosil (konvansiyonel) yakıtları kullanmaktaydı. Petrol, kömür doğalgaz vb. gibi enerji kaynağı olarak kullanılan yakıtlar, kaynak olma konusunda alternatif olmalarına karşın beraberinde birçok problemi ortaya çıkarmaktadır. Bu problemler içerisinde başı çekenler çevre kirliliği, küresel ısınma ve küresel ısınmaya bağlı olarak iklim değişikliğidir. Fosil yakıtların kullanımına bağlı olarak çevre kirliliği sebebiyle bugün pek çok insan çeşitli hastalıklardan dolayı hayatını kaybetmektedir. Yine küresel ısınma sebebiyle oluşan iklim değişikliği ile doğal yaşam formları ciddi şekilde bozulmaya başlamış, bazı canlı türlerine ait yaşam alanları tahrip olduğundan dolayı soyları tükenme tehlikesine girmiş veya tükenmiştir. Tüm bu olaylar, bütün insanlığın ortak mirası olan dünyamıza zarar vermekte, dolayısıyla üzerinde yaşayan tüm canlı yaşamını tehlikeye sokmaktadır.

Bu tez çalışmasında, samanyolu galaksisi içerisindeki en büyük enerji kaynağı olarak kabul ettiğimiz güneşten daha yüksek verimli enerji elde etmek için kullanılan yoğunlaştırıcı sistemler (güneş toplayıcılar) üzerinde uygulanabilen güneş takip sistemleri üzerine çalışılmıştır.

Çalışmamda güneş takip sistemlerinin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajlarını belirleyebilmek için dört hücreli parabolik güneş toplayıcısının mekanik tasarımı, imalatı ve sıhhi tesisatı yapıldıktan sonra iki farklı kontrolörü karşılaştırmak için hücreler ikiye bölünmüş olarak güneşi takip edecek şekilde dizayn edilmiş, böylelikle iki sistem ile özdeş olarak deney çalışmaları yapılmıştır.

Güneş takip sistemlerinden ilkinde “GPS” üzerinden alınan küresel koordinatlar (enlem ve boylam açısı), tarih ve saat bilgileri “Arduino UNO” mikrodenetleyicisi ile

güneş hareket eksenini geometrisinin matematiksel formülleri hesaplanarak hücrelerin güneşi takip etmesi sağlanmıştır.

Diğer güneş takip sisteminde ise “Waijung Blokseti” kullanarak “Matlab/Simulink” ortamında hazırlanan “Bulanık Mantık Kontrolörü” ile güneş takip sistemi tasarlanarak “STM32F4 Discovery” mikrodenetleyicisi ile hücrelerin güneşi takip etmesi sağlanmıştır.

Her türlü hava şartlarında (tam güneşli, parçalı bulutlu, bulutlu hava) yapılan deneylerin sonucunda hücrelerin su ısıtma gücü karşılaştırılmış ve “Bulanık Mantık Kontrolörü” tabanlı güneş takip sisteminin “GPS” tabanlı güneş takip sistemine göre avantajlı olduğu deney sonuçlarına göre değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** GPS tabanlı güneş takip sistemi, Bulanık mantık kontrolörü tabanlı güneş takip sistemi, Arduino, Matlab/Simulink, Waijung Blokseti, STM32F4 Discovery

**2019, 118 sayfa**



## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **IMPROVE CONDITIONS OF TRACKING SYSTEMS OF CYLINDRICAL PARABOLIC SOLAR COLLECTORS**

**Çağrı YALÇINKAYA**

**Isparta University of Applied Sciences  
The Institute of Graduate Education  
Department of Mechatronics Engineering**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ramazan ŞENOL**

The human population living on Earth is increasing with an acceleration beyond expectations. Due to the increasing need for energy due to population growth, mankind has started to look for alternative energy sources in addition to the resources used to obtain energy. The problem of energy supply, which is the cornerstone of the problems that make up the majority of military, economic and political activities on the world, threatens all humanity.

Until recently, human beings used only fossil (conventional) fuels as energy sources. Oil, coal natural gas and so on. fuels used as energy sources, such as being an alternative to being a source of problems poses many problems. Among these problems are environmental pollution, global warming and climate change due to global warming. Due to environmental pollution due to the use of fossil fuels, many people die due to various diseases. Again, climate change caused by global warming has started to deteriorate the natural life forms seriously, and the habitats of some living species have been destroyed and endangered or extinct. All these events harm our world, which is the common heritage of all humanity, and endanger all living life on it.

In this thesis, solar tracking systems which can be applied on the concentrator systems (solar collectors) used to obtain more efficient energy than the sun which is accepted as the biggest energy source in the milky way galaxy are studied.

In my study, in order to determine the advantages and disadvantages of solar tracking systems compared to each other, after the mechanical design and manufacture of the four-cell parabolic solar collector, two different controllers were designed to compare the two controllers so that the experiments were made identical to the two systems.

In the first of the solar tracking systems, the global coordinates (latitude and longitude angle), date and time information obtained via “GPS”, and the mathematical formulas of the solar motion axis geometry were calculated with the “Arduino UNO” microcontroller.

In the other solar tracking system, a solar tracking system was designed with the “Fuzzy Logic Controller” prepared in “Matlab / Simulink” environment using

“Waijung Blockset” and the “STM32F4 Discovery” microcontroller enabled the cells to follow the sun.

As a result of the experiments carried out in all weather conditions (full sunny, partly cloudy, cloudy weather), the water heating power of the cells was compared and it was evaluated according to the experimental results that “Fuzzy Logic Controller” based solar tracking system is advantageous over “GPS” based solar tracking system.

**Key Words:** GPS based solar tracking system, Fuzzy logic controller based solar tracking system, Arduino, Matlab/Simulink, Waijung Blokseti, STM32F4 Discovery

**2019, 118 pages**



## TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları kıymetli bilgileri ve tecrübeleri ile aşmamda yardımcı olan değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. Ramazan ŞENOL'a saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tezim boyunca ilgi ve önerilerini her fırsatta gösteren Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı sayın Prof. Dr. Hilmi Cenk BAYRAKÇI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmamı ve çalışmalarımı yürütmemde bana laboratuvar imkânı sunan ve desteklerini esirgemeyen Süleyman Demirel Üniversitesi Yenilenebilir Enerji Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi Müdürü sayın Prof. Dr. İbrahim ÜÇGÜL hocama, tezin mekanik aksamı montajındaki yardımlarından dolayı teknisyen Berat UÇAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans hayatım ve tez çalışmam sırasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen babam İsmet YALÇINKAYA'ya, annem Bahriye YALÇINKAYA'ya ve çalışmam sırasında beni hiç yalnız bırakmayan nişanlım E. Gözde KILIÇ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

**Çağrı YALÇINKAYA**  
ISPARTA, 2019

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Türkiye’de 2004-2016 yılları arasındaki güneş radyasyonu.....	3
Şekil 1.2. Solda: Global güneş radyasyonu (KWh/m <sup>2</sup> -gün), sağda: Türkiye güneşlenme süreleri (saat) .....	5
Şekil 1.3. Türkiye’nin fotovoltaik sistemler ile güneş enerji potansiyeli .....	6
Şekil 1.4. Pasif güneş enerji sistemlerine bir örnek: seralar .....	7
Şekil 1.5. Düzlemsel kolektörler .....	8
Şekil 1.6. Vakumlu güneş kolektörleri.....	8
Şekil 1.7. Güneş bacası .....	9
Şekil 1.8. Parabolik oluk tipi kolektörler .....	10
Şekil 1.9. Parabolik çanak tipi kolektörler .....	10
Şekil 1.10. Merkezi alıcılı sistemler: heliostat .....	11
Şekil 1.11. Fresnel oluk sistemler .....	11
Şekil 1.12. Güneş pili iç yapısı .....	12
Şekil 1.13. Fotovoltaik sistemlerin oluşturulması.....	12
Şekil 1.14. Yılın farklı zamanlarında deklinasyon açısı değişimi.....	14
Şekil 1.15. Saat açısı ( $W_{\gamma}$ ).....	14
Şekil 1.16. Yazın ve kışın öğle saatinde zenith, enlem ve deklinasyon açılarının değişimi .....	15
Şekil 1.17. Eğim açısı, zenith açısı, yükseklik açısı ve güneş azimuth açısı .....	16
Şekil 1.18. Güneş açılarının eğik düzlem üzerinde gösterilmesi .....	17
Şekil 1.19. Zaman düzeltme faktörü denkleminin günlere göre olan değişimi ..	19
Şekil 1.20. 37° Enleme sahip Isparta ili güneşlenme zamanı parametreleri .....	20
Şekil 1.21. Isparta ili için direkt güneş ışınımı.....	21
Şekil 1.22. Güneş takip sistemlerinin dönüş eksenleri.....	23
Şekil 1.23. Güneşin doğu-batı yönünde takibi .....	23
Şekil 1.24. Güneşin x eksenine etrafındaki dönüşü .....	24
Şekil 1.25. Yatay eksenli güneş takip sistemi .....	24
Şekil 1.26. Dikey eksenli güneş takip sistemi.....	25
Şekil 1.27. Çift eksen güneş takip sistemi .....	25
Şekil 1.28. Açık çevirim denetim sistemi .....	27
Şekil 1.29. Kapalı çevirim denetim sistemi .....	27
Şekil 1.30. Açık çevirim güneş takip kontrol sistemi .....	28
Şekil 1.31. Kapalı çevirim güneş takip kontrol sistemi .....	28
Şekil 1.32. Hibrit çevirim güneş takip kontrol sistemi .....	28
Şekil 3.1. Parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcı.....	34
Şekil 3.2. Parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcının üç boyutlu hali.....	36
Şekil 3.3. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcılarda ışın transfer şeması.....	37
Şekil 3.4. Kesişim faktörünün emici boru çapına göre değişimi .....	40
Şekil 3.5. Geliş açısı düzeltme faktörünün değişimi.....	40
Şekil 3.6. Isı transfer akışkanından çevreye olan ısı transfer şeması.....	42
Şekil 3.7. Dizin halindeki kolektörlerin gölgeleme hesabı için parametreler....	43
Şekil 3.8. Parabolik oluğun aynalı yüzeye sahip sacının tasarımı .....	44
Şekil 3.9. Parabolik çanağın kafes sistemi tasarımı .....	45
Şekil 3.10. Parabolik çanağın şasi tasarımı .....	45
Şekil 3.11. Parabolik oluğun şasi bağlantısı ve yataklama tasarımı .....	46
Şekil 3.12. Deney düzeneğinin tasarımı.....	46
Şekil 3.13. Yataklamanın üst şasiye montajı .....	47

Şekil 3.14. Parabolik olukların kafes imalatı .....	48
Şekil 3.15. Parabolik olukların arka yüzlerinin boyanması .....	48
Şekil 3.16. İmalatı tamamlanan parabolik olukların üst şasiye montajı .....	48
Şekil 3.17. Sistemin deneyin yapılacağı ortama kurulması .....	49
Şekil 3.18. Deney düzeneğinin montajının tamamlanması .....	49
Şekil 3.19. Sistemde kullanılan su deposu .....	51
Şekil 3.20. Tesisat üzerindeki kalorifer pompası .....	51
Şekil 3.21. Tesisat üzerindeki giriş suyu sıcaklığı ölçen termokupl bağlantısı ..	52
Şekil 3.22. Seri bağlanmış hücrelerin tesisatı .....	52
Şekil 3.23. Tesisat üzerindeki çıkış suyu sıcaklığı ölçen termokupl bağlantısı ..	53
Şekil 3.24. Su tesisatı devresi şeması .....	53
Şekil 3.25. Tesisat üzerindeki bakır-plastik boru birleşim noktaları .....	54
Şekil 3.26. GPS tabanlı güneş takip sistemi çalışma algoritması .....	57
Şekil 3.27. Arduino Uno mikrodenetleyici kontrol kartı .....	58
Şekil 3.28. GY-NEO6MV2 GPS modülü .....	58
Şekil 3.29. TZC marka HARL3612+ model lineer hareketli DC aktüatör .....	59
Şekil 3.30. L298N motor sürücü kartı .....	59
Şekil 3.31. Autonics marka E80S8-100-3-T-24 model dönersel enkoder .....	60
Şekil 3.32. Mekanik sınır anahtarı .....	61
Şekil 3.33. GPS-Arduino bağlantısı .....	61
Şekil 3.34. Reset butonu bağlantısı .....	62
Şekil 3.35. Enkoder bağlantısı .....	62
Şekil 3.36. Motor sürücüsü bağlantısı .....	62
Şekil 3.37. Mekanik sınır anahtarı bağlantısı .....	63
Şekil 3.38. GPS tabanlı güneş takip sistemi elektronik devre şeması .....	63
Şekil 3.39. Sensörlerden gelen verilerin okunması .....	65
Şekil 3.40. Hata ve hata değişim sinyalinin blok diyagramı .....	66
Şekil 3.41. Bulanık mantık kontrolörü çıkışı blok diyagramı .....	67
Şekil 3.42. Gerçek zamanlı güneş takip sistemi blok diyagramı .....	67
Şekil 3.43. Hata sinyali giriş değişkeni üyelik fonksiyonu grafiği .....	69
Şekil 3.44. Hata değişimi sinyali giriş değişkeni üyelik fonksiyonu grafiği .....	69
Şekil 3.45. Motor açısı çıkış değişkeni üyelik fonksiyonu grafiği .....	69
Şekil 3.46. Kural tabanının şekilsel olarak gösterimi .....	70
Şekil 3.47. Giriş ve çıkış değişkenlerinin kural tablosuna göre yüzey şekli .....	70
Şekil 3.48. STM32F407G mikrodenetleyici kontrol kartı .....	71
Şekil 3.49. Röle modülü .....	73
Şekil 3.50. Doğu ve batı yönleri fotodirençlerinin devresi .....	74
Şekil 3.51. Doğu ve batı sınır anahtarlarının devresi .....	74
Şekil 3.52. Dur komutu için kullanılan röle devresi .....	75
Şekil 3.53. Doğu ve batı yönleri için yükseltgeç devreleri .....	75
Şekil 3.54. Gerçek zamanlı güneş takip sistemi elektronik devresi .....	76
Şekil 3.55. Almemo 2590-9 datalogger .....	77
Şekil 3.56. Almemo ZA veri aktarım kablosu .....	77
Şekil 3.57. Almemo'da kullanılan termokupl .....	78
Şekil 3.58. Almemo FHA646AG sıcaklık ve nem sensörü .....	78
Şekil 3.59. Apogee ışınım sensörü .....	79
Şekil 3.60. Hobo H08-004-02 datalogger .....	80
Şekil 4.1. Deneyin yapılacağı koordinatlarda güneş diyagramı .....	81

Şekil 4.2. 26.05.2019 tarihli çıkış suyu sıcaklıkları, güneş ışınımı ve hava sıcaklığı .....	94
Şekil 4.3. 26.05.2019 tarihli çıkış suyu sıcaklıkları ve hava sıcaklığı .....	94
Şekil 4.4. 14.06.2019 tarihli çıkış suyu sıcaklıkları, güneş ışınımı ve hava sıcaklığı .....	95
Şekil 4.5. 14.06.2019 tarihli çıkış suyu sıcaklıkları ve hava sıcaklığı .....	95
Şekil 4.6. 26.05.2019 tarihli giriş suyu sıcaklıkları, güneş ışınımı ve hava sıcaklığı .....	96
Şekil 4.7. 26.05.2019 tarihli giriş suyu sıcaklıkları ve hava sıcaklığı.....	96
Şekil 4.8. 14.06.2019 tarihli giriş suyu sıcaklıkları, güneş ışınımı ve hava sıcaklığı .....	97
Şekil 4.9. 14.06.2019 tarihli giriş suyu sıcaklıkları ve hava sıcaklığı.....	97
Şekil 4.10. 26.05.2019 tarihli hesaplanan azimuth açısı ve sistemlerin açısı değerleri .....	98
Şekil 4.11. 26.05.2019 tarihli hesaplanan azimuth açısı ve sistemlerin açısı değerleri (10:00-13:30).....	98
Şekil 4.12. 26.05.2019 tarihli hesaplanan azimuth açısı ve sistemlerin açısı değerleri (13:30-16:00).....	99
Şekil 4.13. 14.06.2019 tarihli hesaplanan azimuth açısı ve sistemlerin açısı değerleri .....	99
Şekil 4.14. 14.06.2019 tarihli hesaplanan azimuth açısı ve sistemlerin açısı değerleri (10:00-12:36).....	100
Şekil 4.15. 14.06.2019 tarihli hesaplanan azimuth açısı ve sistemlerin açısı değerleri (12:40-16:00).....	100
Şekil 4.16. 26.05.2019 tarihli deneylerdeki açısı hataları.....	101
Şekil 4.17. 26.05.2019 tarihli gerçek zamanlı güneş takip sistemi açısı hataları ..	101
Şekil 4.18. 26.05.2019 tarihli güneş ışınımı algoritmasına göre güneş takip sistemi açısı hataları .....	102
Şekil 4.19. 14.06.2019 tarihli deneylerdeki açısı hataları.....	102
Şekil 4.20. 14.06.2019 tarihli gerçek zamanlı güneş takip sistemi açısı hataları ..	103
Şekil 4.21. 14.06.2019 tarihli güneş ışınımı algoritmasına göre güneş takip sistemi açısı hataları .....	103
Şekil 4.22. Her iki deney gününe ait açısı hataları .....	104
Şekil A.1. Parabolik oluğun kafes sisteminin montajı .....	110
Şekil A.2. Tüm sistemin komple montaj resmi.....	111

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 1.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerji potansiyeli .....	4
Çizelge 1.2. Türkiye'nin bölgelere göre güneşlenme potansiyeli .....	5
Çizelge 3.1. Sistemdeki enkoderin teknik özellikleri.....	60
Çizelge 3.2. Bulanık mantık kontrolörü kural tablosu .....	70
Çizelge 3.3. Almemo 2590-9 datalogger teknik özellikleri .....	77
Çizelge 3.4. Almemo FHA646AG sıcaklık ve nem sensörü teknik özellikleri ..	79
Çizelge 3.5. Apogee ışınım sensörü teknik özellikleri.....	79
Çizelge 4.1. 26.05.2019 tarihli deney sonuçları.....	82
Çizelge 4.2. 14.06.2019 tarihli deney sonuçları.....	85
Çizelge 4.3. 14.06.2019 tarihinde hesaplanan ve ölçülen açı değerleri .....	88
Çizelge 4.4. 26.05.2019 tarihinde hesaplanan ve ölçülen açı değerleri .....	92



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

m	Metre
mm	Milimetre
km	Kilometre
$\mu\text{m}$	Mikrometre
MW/h	Megawatt-saat
TEP	Ton eşdeğeri petrol
Kcal/cm <sup>2</sup> -ay	Kilokalori/santimetrekare-ay
KWh/m <sup>2</sup> -ay	Kilowattsaat/metrekare-ay
°C	Santigrad derece
DC	Doğru akım
AC	Alternatif akım
n	Gün sayısı
$\alpha_s$	Güneş yükseklik açısı
$\theta_z$	Zenith açısı
$\delta$	Deklinasyon açısı
$\phi$	Enlem açısı
$\lambda$	Boylam açısı
w	Saat açısı
$\gamma_s$	Güneş azimuth açısı
$\gamma$	Yüzey azimuth açısı
$\beta$	Eğim açısı
LTSM	Yerel saat zaman meridyeni
$\Delta T_{\text{GMT}}$	Yerel saat diliminin saat olarak başlangıç meridyenine olan uzaklığı
EOT	Zaman eşitlik denklemi
B	Zaman eşitlik denklemi değişkeni
d	Zaman eşitlik denkleminde yılın gün sayısı
TC	Zaman düzeltme faktörü
AM	Hava kütlesi katsayısı
$I_D$	Direkt ışınım yoğunluğu
$I_G$	Küresel ışınım yoğunluğu
y	Paraboliğin yüzey uzunluğu
x	Parabolikte eksene olan uzaklık
f	Parabolikte odak uzaklığı
$\theta_r$	Parabolik odak açısı
$r_r$	Parabolik odak yarıçapı
GI	Sabit yüzey güneş akısı
$GI_A$	Atmosferde kayıplara uğradıktan sonra direkt gelen güneş ışınimleri
$GI_{yy}$	Yansıtıcı yüzeye gelen güneş ışınimleri
$GI_{YO}$	Yoğunlaştırıcı yüzeyden odağa aktarılan güneş ışınimleri
$GI_C$	Cam örtüye gelen güneş ışınimleri
$GI_{EB}$	Cam örtüden emici boruya iletilen güneş ışınimleri
$GI_{IE}$	Boruya depolanan güneş ışınımı
$\eta_{\text{optik}}$	Silindirik parabolik kollektörün optik verimi
$\eta_1$	Yansıtıcı yüzeyin yansıtma optik verimi
$\eta_2$	Yansıtıcı yüzey optik verimi
$\eta_3$	Yansıtıcı yüzey odaklama verimi
$\eta_4$	Cam örtü optik verimi
$\eta_5$	Emici boru optik verimi
$G_M$	Kollektörler arası mesafe
$L_k$	Kollektör boyu
$E_A$	Kollektörlerin eğim açısı
$G_Y$	Kollektörlerin güneşi görmeye başladıkları açı değeri



NO Normalde açık kontak  
NC Normalde kapalı kontak  
PWM Pals with modulation (pals genişliđi)  
BT Bulanık teori



## 1. GİRİŞ

Dünya genelinde nüfusun tahmin edilemeyen şekilde artması ve nüfus artışı sebebiyle artarak devam eden enerji ihtiyacı sebebiyle insanoğlu var olan enerji kaynaklarına ek yeni kaynaklar aramaya başlamıştır. Bu sebeple pek çok ülkenin ekonomik, siyasi ve askeri faaliyetlerinin büyük bir çoğunluğunu enerji kaynağına olan ihtiyaç sebebi ile alternatif enerji kaynağı bulma sorunu yönetmektedir.

İnsanoğlu, kısa bir süre öncesine kadar enerji kaynağı olarak sadece fosil (konvansiyonel) yakıtları kullanmaktaydı. Petrol, kömür doğalgaz vb. yakıtlar enerji kaynağı olma konusunda çözüm olmalarına karşın bir çok problemi de beraberinde getirmektedir. Bu sorunlar içerisinde ilk akla gelenler çevre kirliliği, küresel ısınma ve küresel ısınmaya bağlı olarak iklim değişikliğidir. Fosil yakıtların kullanımına bağlı olarak çevre kirliliği sebebiyle bugün pek çok insan çeşitli hastalıklardan dolayı hayatını kaybetmektedir. Yine küresel ısınma sebebiyle oluşan iklim değişikliği ile doğal yaşam formları ciddi şekilde bozulmaya başlamış, bazı canlı türlerine ait yaşam alanları tahrip olduğundan dolayı soyları tükenme tehlikesine girmiş veya tükenmiştir. Tüm bu olaylar, bütün insanlığın ortak mirası olan dünyamıza zarar vermekte, dolayısıyla üzerinde yaşayan tüm canlı yaşamını tehlikeye sokmaktadır.

Enerji ihtiyacından kaynaklı fosil yakıt tüketimi ile beraberinde gelen sorunlardan dolayı, son yıllarda dünya üzerinde temiz enerji kaynakları arama çalışmaları başlatılmıştır. Yapılan araştırmalar ve çalışmaların sonucu olarak dünyanın oluşumundan itibaren var olan fakat farkında olmadan kullanılan, yenilenebilen enerji kaynakları keşfedilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına örnek verecek olursak güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidrolik (akış) enerjisi, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi ve dalga enerjisini sayabiliriz (YEGM, 2019a).

Bu tez çalışmasında güneş enerjisinden en verimli şekilde faydalanabilmek için yüksek sıcaklık sistemlerine dahil olan silindirik parabolik güneş toplayıcılarda tek eksen güneş takip yapacak şekilde iki farklı kontrolör tasarımı yapılmış ve bu kontrolörler deneysel olarak birbirleri ile kıyaslanmıştır. Çalışma için önce 300 mm çapa ve 1000 mm uzunluğa sahip özdeş dört hücreli sistemin mekanik tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Ardından bu sistem üzerindeki hücreler, ikişerli olarak birlikte

hareket edecek şekilde montajlanmıştır. Özdeş hücre gruplarına aynı özellikteki özdeş motorlar vasıtasıyla hareket verilerek sistemler tamamen eşit hale getirilmiştir. Hücre gruplarından biri GPS vasıtası ile alınan tarih, saat, enlem ve boylam açısı bilgileri Arduino Uno mikrodenetleyici kartı ile güneşin astronomik geometrisi hesaplanmış ve kart çıkışında elde edilen sinyal ile hücreler güneşi doğu-batı yönünde takip etmiştir. Diğer hücre grubunda ise hücrelerin doğu ve batısına konumlandırılan iki adet ışık sensörü vasıtası ile alınan sinyal Waijung Bloksetleri ile Matlab/Simulink ortamında kurulan Bulanık Mantık Kontrolörü (Fuzzy Logic Controller) çıkışından alınan veri ile hücreler güneşi doğu-batı yönünde takip etmiştir. İki sisteme de deneyler süresince dışarıdan hiçbir müdahale yapılmamış, sistemler otonom olarak çalıştırılmıştır. Sistemlerde akışkan sıvı olarak su dolaştırılmış ve iki özdeş hücre grubunun giriş ve çıkışlarına konulan sıcaklık sensörleri ile deneyler boyunca sistemler üzerinden ölçülen su sıcaklıkları, hava sıcaklığı ve sistem üzerinden ölçülen açı değerleri ile hesaplanan açı değerleri kaydedilmiştir. Elde edilen değerler karşılaştırıldığında Bulanık Mantık Kontrolörü tabanlı sistemin GPS tabanlı sisteme göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

### **1.1. Güneş Enerjisi**

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en çok kullanılan enerji kaynağı güneş enerjisidir. Antik çağlardan (karanlık dönemler) beridir kullanılan güneş enerjisi en ilkel şekilde ısınma, pişirme vb. şekillerde kullanılmaya başlamıştır. Sonra güneş enerjisinden sıcak su enerjisi, elektrik enerjisi vb. enerjiler üretimi için yoğunlaştırıcı sistemler geliştirilerek, serbest yansıyan güneş ışınları noktasal veya çizgisel olarak odaklanmasının sonucunda daha verimli hale gelmiştir. Daha sonra elektroniğin keşfedilmesi ile birlikte gerçekleşen teknolojik ilerlemeler son yüzyılda yarı iletken malzemelerin keşfedilmesine kadar gelmiştir. Yarı iletken malzemelerin keşfedilmesinin güneş enerjisi kullanımı arasındaki bağlantı fotovoltaik sistemlerin icadıdır. Fotovoltaik sistemler ile güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmiştir. Günümüzde ise güneş enerjisinden en çok elektrik enerjisi üretimi, sıcak su enerjisi üretimi, pişirme ve kurutma üzerine çalışmalar yapılmaktadır.

Bilinen en temiz ve en verimli enerji kaynağı olan güneş, dünyamıza yılda 1,5 katrilyon ( $1,5 \times 10^{15}$ ) MW/h enerji göndermektedir (ETKB, 2019). Bu enerji miktarı

814x10<sup>11</sup> TEP (ton eşdeğeri petrol) ile dünya üzerinde bilinen rezervin yaklaşık 800 katı kadar yüksek boyutlardadır (Gençoğlu ve Cebeci, 2000). Bu bilgiler ışığında konuya çevre kirliliği açısından bir kez daha bakacak olursak, sahip olduğumuz ücretsiz ve temiz enerji kaynağı olan güneş enerjisinin ne kadar verimli olduğu görülmektedir. Ayrıca Uluslararası Enerji Ajansı'na (IEA) göre otuz yıl sonra dünya üzerindeki tüm elektrik enerjisi üretiminin %11 gibi büyük bir bölümünün güneş kaynaklı enerji üretimi sistemlerinin sağlayacağı öngörülmektedir. Önümüzdeki on yıl içerisinde ise yenilenebilir enerji kaynaklarının yıllık %7,6 büyüme ile diğer enerji kaynakları arasında en hızlı gelişme oranına sahip enerji kaynağı olacağı tahmin edilmektedir (Kılıç, 2015).

### 1.1.1. Türkiye’de güneş enerjisi

Türkiye’de yaşanan ekonomik buhranlar ve dünyada yaşanan olumsuz ekonomik gelişmelerin ülkemize yansması sonucunda, birincil enerji tüketiminde daralma olmuş ve bunun sonucunda temiz ve dışa bağımlılığı azaltacak enerji kaynakları arayışına girilmiştir. Dünyadaki teknolojik ilerlemelerin sonucu olarak Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları üzerine hem sanayi hem de akademik olarak çalışmalara başlamıştır. Özellikle güneş enerjisini kullanıma yönelik uygulamalarda önemli ilerlemenin temeli sıcak su üretimi ile başlamıştır. Bu ilerlemeler sonucunda dışa bağımlılık bir nebze de olsa azalmıştır ve azalmaya devam etmektedir.

Türkiye, bulunduğu coğrafi konum sebebi ile (36-42° enlemleri arasında bulunması ile) ülkenin güneyinin tamamına yakını güneş enerjisinden yararlanmak için uygundur. Şekil 1.1’de verilen 2004-2016 yılları arasında ölçülen güneşlenme miktarı gösterilmiştir (MGM, 2019).



Şekil 1.1. Türkiye’de 2004-2016 yılları arasındaki güneş radyasyonu

Şekilde görülen verilerden faydalanarak Elektrik İşleri Etüd İdaresi tarafından yapılan ölçüm verilerine göre ülkemizde ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7.2 saat), ortalama toplam ışınlam (radyasyon) şiddeti 1311 kWh/m<sup>2</sup>-yıl (günlük toplam 3.6 kWh/m<sup>2</sup>) olduğu hesaplanmıştır (MGM, 2019). Ülkemizin ay bazında güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi verileri Çizelge 1.1’de verilmiştir (Oğulata, 2002).

Çizelge 1.1. Türkiye’nin aylık ortalama güneş enerji potansiyeli (Oğulata, 2002)

AYLAR	Kcal/cm <sup>2</sup> -ay	KWh/m <sup>2</sup> -ay	Güneşlenme Süresi (saat/ay)
Ocak	4,45	51,75	103
Şubat	5,44	63,27	115
Mart	8,31	96,65	165
Nisan	10,51	112,23	197
Mayıs	13,23	153,86	273
Haziran	14,51	168,75	325
Temmuz	15,08	175,38	365
Ağustos	13,62	158,40	343
Eylül	10,60	123,28	280
Ekim	7,73	89,90	214
Kasım	5,23	60,82	157
Aralık	4,03	46,87	103
Toplam	112,74	1311	2640
Ortalama	308 Kcal/cm <sup>2</sup> -gün	3,6 KWh/m <sup>2</sup> -gün	7,2 saat/gün

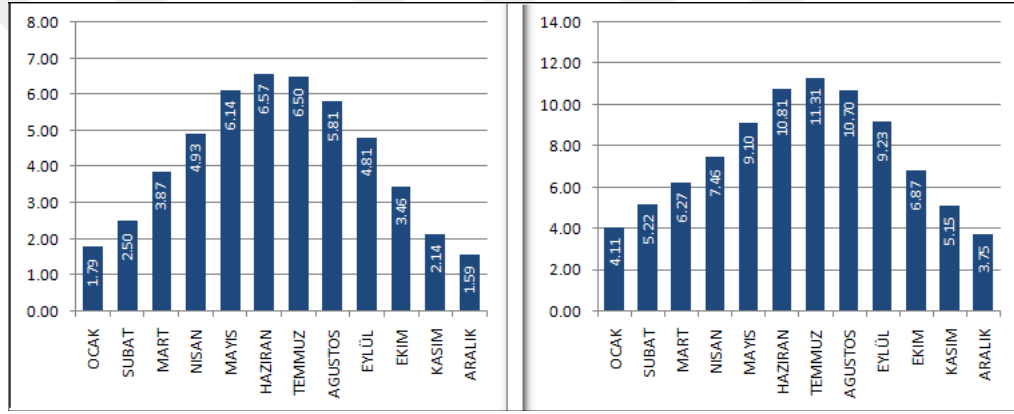
Çizelge incelendiğinde, ülkemizde güneşlenmenin en az olduğu Ocak ve Aralık aylarında güneşlenme süresi 103 saat/ay, güneşlenmenin en fazla olduğu Temmuz ayında 365 saat/ay olarak görülmektedir.

Şekil 1.1’ e tekrar bakıldığında ülkemizde bazı bölgelerde güneş enerji potansiyelinin bazı bölgelere göre yüksek olduğu görülmektedir. Bunun başlıca sebebi, coğrafi konumdan dolayı bölge ekvatora yaklaştıkça güneşlenme potansiyelinin artmasıdır. Çizelge 1.2’de Türkiye’de bölgelere göre güneşlenme potansiyeli verilmiştir (EİTDB, 2019).

Çizelge 1.2. Türkiye’de bölgelere göre güneşlenme potansiyeli (EİTDB, 2019)

Bölge Adı	KWh/m <sup>2</sup> -yıl	Saat/Yıl
G. Doğu Anadolu	1,460	2,993
Akdeniz	1,390	2,956
Doğu Anadolu	1,365	2,664
İç Anadolu	1,314	2,628
Ege	1,304	2,738
Marmara	1,168	2,409

Çizelge 1.1 ve Çizelge 1.2’de verilen bilgiler ışığında Türkiye’de günlük ortalama ışınım değerleri ve günlük ortalama güneşlenme değerleri Şekil 1.2’de verilmiştir.



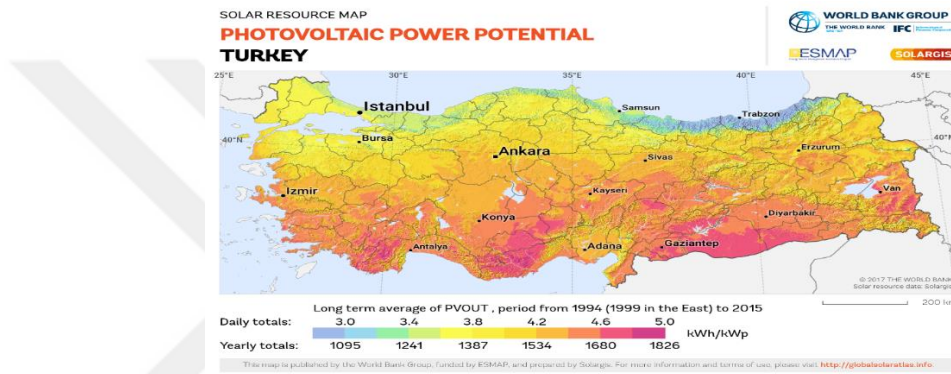
Şekil 1.2. Solda: Global güneş radyasyonu (KWh/m<sup>2</sup>-gün), sağda: Türkiye güneşlenme süreleri (saat) (YEGM, 2019b)

Tüm görsel ve sayısal veriler ışığında konuyu yeniden ele alacak olursak, Türkiye güneş enerjisi bakımından pek çok ülkeye göre avantajlı durumdadır. Ülkemiz yılda 110 gün gibi çok yüksek ve çok verimli bir enerji potansiyeline sahiptir. Gerekli ve uygun yatırımların yapılması, uygulanması ile daha verimli kullanım olacaktır.

Türkiye’de güneş enerjisi kullanımı evlerde kullanılan, "Gün Isı" olarak adlandırılan düzlemsel güneş kolektörleri vasıtasıyla sıcak su ihtiyacını gidermeye yönelik kullanılmaktadır. Gün ısılar, gelen güneş ışınlarını içerisinden su geçen tüpler üzerinde toplayarak sıcak su elde etmektedir. Özellikle ilkbahar ve yaz aylarında evlerde sıcak su ihtiyacının neredeyse tamamını karşılayan bu sistemler, çok sık bakım gerektirmemesi, fazla arıza yapmayan basit yapıda olması gibi sebeplerle hem üreticileri hem de tüketicileri açısından memnun eden sistemlerdir.

Son yıllarda artan teknolojik ilerlemeler ile birlikte, ülkemizde güneş enerjisi potansiyeli kullanımı açısından faydalanılan diğer araçların başını çeken fotovoltaik güneş panelleridir. Özellikle yarı iletken teknolojisinin ilerlemesi ile gelişen bu sistemler ile güneş enerjisinden elektrik elde edilmektedir. Ülkemizin çeşitli bölgelerine kurulan tesisler ile özellikle güneş enerjisi potansiyeli yüksek bölgelerde yüksek miktarda elektrik enerjisi üretilmektedir.

Şekil 1.3'e bakıldığında ülkemizdeki fotovoltaik güneş enerji potansiyelini görmekteyiz (GSA-WBG, 2019).



Şekil 1.3. Türkiye'nin fotovoltaik sistemler ile güneş enerjisi potansiyeli (GSA-WBG, 2019)

Yukarıdaki şekli incelediğimizde güney bölgelere doğru, yani ekvatora yaklaştıkça, fotovoltaik güneş enerji potansiyeli artmaktadır. Bu durumda ülkemiz, güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süreleri bakımından çok zengin bir ülkedir.

## 1.2. Güneş Enerji Sistemleri

Güneş enerjisinden çeşitli amaçlarla yararlanmak mümkündür. Güneş enerjisinin başlıca kullanım alanları ısıtma, soğutma, elektrik üretimi, endüstriyel prosesler ve sıcak su elde etme üzerinedir. Güneş enerji sistemleri iki ana gruba ayrılır. Bunlar pasif güneş sistemleri ve aktif güneş sistemleridir (Kıncay, 2019).

### 1.2.1. Pasif güneş sistemleri

Pasif sistemler, seralar gibi herhangi mekanik ekipmana bağlı kalmadan doğrudan güneş radyasyonundan faydalanan sistemlerdir (Kıncay, 2019). Pasif sistemlerden

özellikle tarım alanında ürün kurutma ve sera gibi uygulamalarda kullanılmaktadır (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. Pasif güneş enerji sistemlerine bir örnek: seralar (Anonim, 2019a)

Bu tür uygulamalar ilkel ve pasif özellikte kullanılabileceği gibi, hava hareketini sağlayan aktif bileşenler de içerebilir. Bu tür sistemlerden kırsal bölgelerde hala faydalanılmaktadır. Pasif sistemlerin diğer bir kullanım alanı da su arıtma sistemleridir. Sığ bir havuzun üzerine eğimli bir cam kapak konulması ile havuzdan buharlaşan su kapaklar üzerine yoğunlaşarak toplanır. Böylelikle temiz su kaynağının bulunmadığı yerleşim bölgelerinde içme suyu ihtiyacı giderilmiş olur.

### **1.2.2. Aktif güneş sistemleri**

Aktif güneş sistemleri, ısı enerjisi üretimi veya fotovoltaik sistemler ile elektrik enerjisi üretimi üzerinedir (Kıncay, 2019).

Güneş enerjisi ile ısıtmada güneş kolektörleri kullanılmaktadır. Güneş kolektörleri güneş ışınımını ısıya dönüştürürler. Bu sistemler kendinden dolaşım, pompa ile dolaşım, açık ve kapalı sistemler olarak dört grupta incelenirler (Kıncay, 2019).

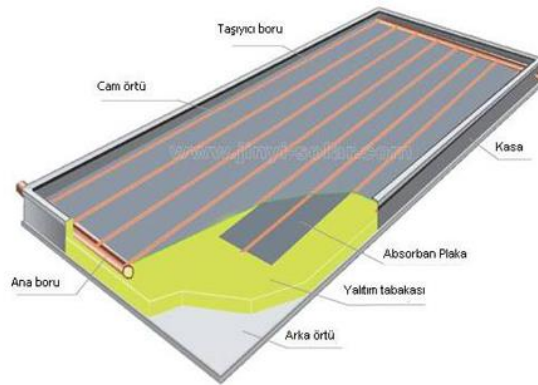
Açık sistemler, kullanılan sıcak su ile kolektör hücrelerinde dolaşan suyun aynı olduğu sistemlerdir. Kapalı sistemler ise, kullanım suyu ile kolektör hücrelerinde dolaşan suyun farklı olduğu sistemlerden oluşur. Maliyet açısından bakıldığında kapalı sistemler, açık sistemlere göre daha pahalı iken, verimleri daha yüksektir.

Aktif sistemler içerisinde yer alan güneş kolektörleri de düşük sıcaklık sistemleri ve yüksek sıcaklık sistemleri olarak ikiye ayrılır (Ömer, 2019).



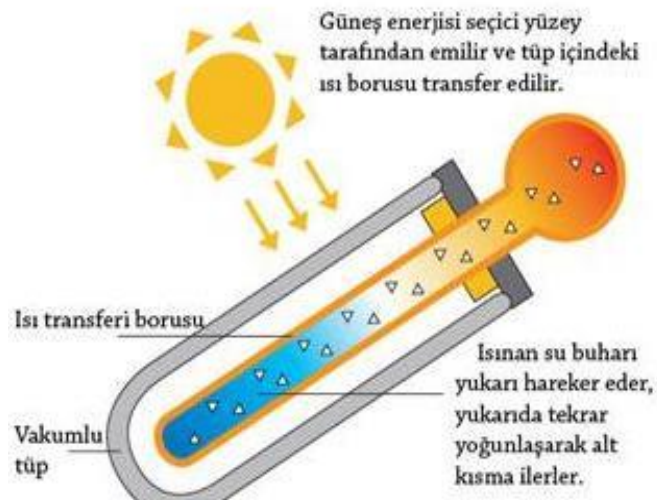
### 1.2.2.1. Düşük sıcaklık sistemleri

Düşük sıcaklık sistemlerinin bir diğer adı düzlemsel tip güneş kolektörleridir (toplayıcılarıdır). Düşük sıcaklık sistemlerinin en temel bileşeni olan bu sistemler, güneş ışınımını toplayan ve içerisinden geçen akışkana ısı olarak yansıtan sistemlerdir. Ulaştıkları sıcaklık basit tip toplayıcılarda  $70^{\circ}\text{C}$  iken gelişmiş tipteki toplayıcılarda  $90^{\circ}\text{C}$  civarındadır (Ömer, 2019). Şekil 1.5'te verilen görselde düzlemsel kolektör ve iç yapısı gösterilmiştir.



Şekil 1.5. Düzlemsel kolektörler (YEGM, 2019c)

Vakumlu güneş kolektörleri de diğer bir düşük enerjili sistem elemanıdır. Bu sistemde vakumlu cam borular ve gerekirse absorban yüzeyine gelen ışınım miktarını artırmak için metal veya cam malzemeli yansıtıcılar kullanılır. Bu sistemlerin çıkışında ölçülen sıcaklık  $100-120^{\circ}\text{C}$  arasındadır (Ömer, 2019). Şekil 1.6'da vakumlu güneş kolektörünün temsili resmi ve çalışması anlatılmıştır.



Şekil 1.6. Vakumlu güneş kolektörleri (YEGM, 2019c)

Güneş bacaları da başka tip düşük enerjili sistemlerdendir. Bu yöntemde sıcaklık etkisinden dolayı elektrik üretilir. Güneş ışınımı altında bırakılan şeffaf kaplı bir yapı giderek ısınacaktır. Oluşan bu ısıdan dolayı hava yükseleceği için baca içerisinde rüzgar oluşur. Bu rüzgar enerjisi bir türbin yardımıyla elektrik enerjisine çevirilir (Ömer, 2019). Şekil 1.7’de ülkemizde kurulan bir güneş bacasının görseli verilmiştir.



Şekil 1.7. Güneş bacası (YEGM, 2019c)

Düşük enerjili sistemlere verilecek son örnek güneş havuzları ve güneş ocaklarıdır. Güneş ocaklarında da aynı şekilde odaklarına konulan yiyeceklerin pişirilmesini sağlar. Güneş havuzlarında ise tuz konsantrasyonunun güneş etkisi ile sıcaklığı artırılmakta ve elde edilen sıcaklık eşanjör yardımıyla ısı olarak kullanılabilir (YEGM, 2019c).

#### **1.2.2.2. Yüksek sıcaklık sistemleri**

Yüksek sıcaklık sistemlerinin bir diğer adı yoğunlaştırılmalı kollektörlerdir. Yüksek sıcaklık sistemleri, aktif sistemler içerisinde güneşten en verimli şekilde yararlanan sistemlerdir. Düzlemsel sistemlerden farklı olarak gelen güneş ışınımını doğrusal bir eksen veya noktasal olarak odakladıkları için yüksek sıcaklıklarda sıcak su üretilebilir.

Parabolik oluk kollektörler, diğer yoğunlaştırılmalı sistemler içerisinde en yaygın olarak kullanılan sistemlerdir. Parabolik çanak şeklinde, yansıtıcı yüzeye sahip olukların odak noktasından siyah renkli absorban bir boru geçirilir. Güneş radyasyonu yansıtıcı yüzeye çarptıktan sonra bu boruya odaklanır. Enerjiyi toplamak için boru içerisinde akışkan dolaştırılır. Toplanan ısı yarıiletkenler yardımıyla veya türbinli sistemler vasıtasıyla elektrik üretmede kullanılır. Bu sistemler yoğunlaştırma yaptıkları için

400°C gibi yüksek sıcaklıklara rahatlıkla ulaşabilirler (Ömer, 2019). Şekil 1.8'deki görselde parabolik oluk tipi kollektörler gösterilmiştir.



Şekil 1.8. Parabolik oluk tipi kollektörler (Anonim, 2019b)

Parabolik çanak kollektörler, güneş ışınımını çanak şeklindeki yansıtıcı yüzey sahip gövdesinden odak noktasına yoğunlaştıran sistemlerdir. Isı enerjisi, odak noktasından uygun bir çalışma akışkanı yardımıyla bir kapalı çevirim sisteme basılabilir veya odak noktasına montajı yapılan bir stirling motoru yardımıyla elektrik enerjisine çevirilir. Stirling motoru ile elektrik üreten sistemler ile %30 verim elde edilebilir (Ömer, 2019). Şekil 1.9'da verilen görselde parabolik çanak tipi kollektör gösterilmiştir.



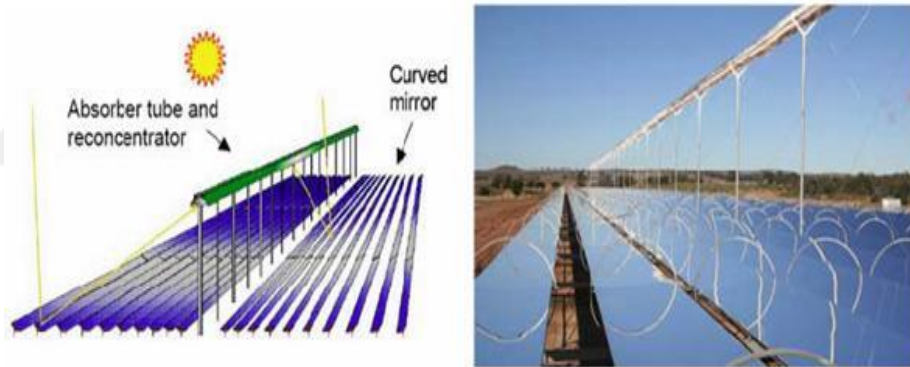
Şekil 1.9. Parabolik çanak tipi kollektörler (YEGM, 2019c)

Merkezi alıcılı sistemler, heliostat adı verilen bu yapılar toplan alanı 100 m<sup>2</sup> den daha büyük yüzeye sahip aynalara sahiptir. Bu aynalar alıcı (receiver) olarak isimlendirilen yüksek ısı kapasiteli (ısı katsayısına sahip) eşanjörlere yoğunlaştırılır. Yoğunlaştırılan güneş ışınımı alıcı içerisinde bulunan ve içerisinde akışkan geçen yüksek ısı absorbe kapasitesine sahip borular tarafından ısı enerjisine çevrilir ve bu ısı Rankie makinesine pompalanarak elektrik üretilir (YEGM, 2019c). Şekil 1.10'da verilen görselde heliostat örneğinin resmi görülmektedir.



Şekil 1.10. Merkezi alıcılı sistemler: heliostat (YEGM, 2019c)

Fresnel oluk teknolojisinde, parabolik oluk sistemlerinden farklı olarak güneş ışığını yansıtma işlemi ard arda dizilmiş olan aynalar yardımıyla yapılır. Bu tip sistemlerde alıcı 10 metre yükseklikte bulunur. Yükseklik sebebiyle optik verim parabolik kollektörlere göre düşüktür. Yansıma kaynaklı kayıplar nedeniyle sistemin termik verimleri de düşer (YEGM, 2019c). Şekil 1.11’deki görselde fresnel oluk sistemler ile ilgili sistemin çalışma prensibi ve şekli verilmiştir.

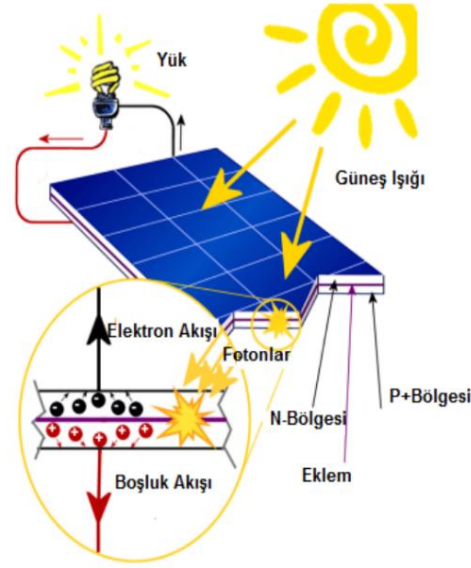


Şekil 1.11. Fresnel oluk sistemler (YEGM, 2019c)

### 1.2.2.3. Fotovoltaik sistemler

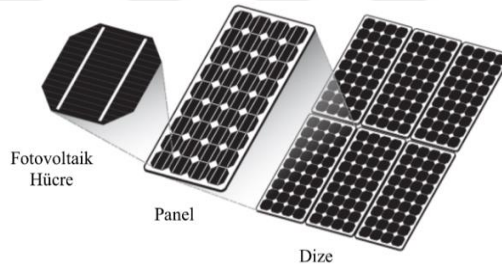
Diğer bir deyişle güneş panelleri (fotovoltaik teknoloji), yarıiletken teknolojisinin gelişmesi ile hayatımıza girmiş bir teknolojidir. Hareketli parça kullanmadan, çevreye zararı olmayan ve az bakım gerektiren bir sistem olması sebebi ile oldukça popüler hale gelmiştir. Fotovoltaik sistemlerin çalışma şekli Şekil 1.12’de gösterilmiştir. Güneş pilinde, güneş ışınımı altında iken gelen fotonların yüzeye çarpması sonucunda elektron hareketi oluşur. Elektronların hareketi sayesinde n-tipi ve p-tipi bölgeler arasında bir potansiyel fark oluşur. Gelen güneş ışınımının miktarına göre bu oluşan potansiyel fark sayesinde güneş pilinin iki ucu arasına bağlanan yüke doğru akım (DC) akar (SamplexSolar, 2019).





Şekil 1.12. Güneş pili iç yapısı (Selekoğlu, 2019)

Fotovoltaik sistemler, yukarıda bahsedilen güneş pillerinin yapılacak işe veya ihtiyaca göre istenilen güçte seri veya paralel bağlanması ile meydana gelen sistemlerdir. Hücrelerden oluşan panellerin ve dizelerin görseli Şekil 1.13’de verilmiştir.



Şekil 1.13. Fotovoltaik sistemlerin oluşturulması (SamplexSolar, 2019)

### 1.3. Güneş Astronomisi ve Güneş Açıları

Dünyamızın kendi etrafında ve güneş etrafında dönmesi sebebi ile bazı açılar ortaya çıkmaktadır. Güneşin hareketini takip etmek, başka bir deyişle güneş takip sistemi tasarımı yapmak için güneşle ilgili bu açılarının bilinmesi gerekmektedir. Bu açılar, güneşin izlemiş olduğu yörünge ve dünyaya farklı zamanlarda gelen güneş ışınımı miktarı hakkında veri sunar. Güneş açıları aynı zamanda dünya üzerindeki her noktadan güneşin gün boyunca hareketini takip etmemizi sağlar.

Bulduğumuz bölgenin coğrafi şartlarına göre değişen iki açı vardır. Bunlar enlem ve boylam açısı olarak adlandırılır. Bu açılarının oluşmasının sebebi dünya üzerindeki

her bir noktanın ekvatora olan mesafesi ile kutuplara olan mesafesinin farklılık göstermesinden kaynaklanır. Bu da bir gün ele alındığında, güneşin konumunun zamana bağlı olarak değişeceğini gösterir. Sonuç olarak, enlem ve boylam açıları sebebiyle farklı bölgeler farklı açılarda güneşlenmeye maruz kalacaklardır (Şenpınar, 2006a).

### **1.3.1. Enlem açısı**

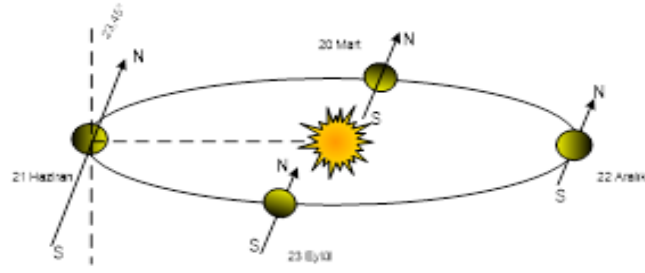
Ekvatorun kuzeyinde veya güneyinde, ekvator merkezine göre oluşan açı değeridir. Ekvatorun kuzeyi pozitif, güneyi negatif kabul edilir. Enlem açısı,  $-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$  arasında değişir (Şenpınar, 2006a).

### **1.3.2. Boylam açısı**

Boylam açısı, başlangıç meridyeninin doğusundaki veya batısındaki herhangi bir noktanın açısal mesafesidir. Derece, dakika ve saniye cinsinden ifade edilirler. Dünya üzerindeki aynı boylama sahip noktaların birleşmesi ile oluşan yarım daire şeklindeki varsayımsal yaylara ise meridyen denir. Başka bir deyişle boylam açısı, yeryüzündeki herhangi bir noktanın meridyen çemberi ile başlangıç olarak alınan Greenwich gözlem evinin meridyen çemberi arasındaki açı değeridir. Boylam açısı  $0^\circ \leq \lambda \leq 360^\circ$  aralığında değişir (Anonim, 2019c).

### **1.3.3. Deklinasyon açısı**

Güneşin doğrultusu ile ekvator düzlemi arasında kalan açıya deklinasyon açısı denir. Kuzey yönü pozitif olmak üzere,  $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$  arasında değişir (Messenger ve Vente, 2000). Ekinoks tarihlerinde, yani gece ile gündüz zaman diliminin eşit olduğu günlerde (20 Mart-23 Eylül) deklinasyon açısı değeri, güneş ışığı ekvatora paralel olduğu için sıfırdır. Yaz gün dönümünde (21 Haziran) deklinasyon açısı değeri  $23,45^\circ$  ve kış gün dönümünde (22 Aralık) ise  $-23,45^\circ$  değerindedir. Deklinasyon açısının değişimi Şekil 1.14'te gösterilmiştir.



Şekil 1.14. Yılın farklı zamanlarında deklinasyon açısı değişimi (Nuhoğlu, 2017)

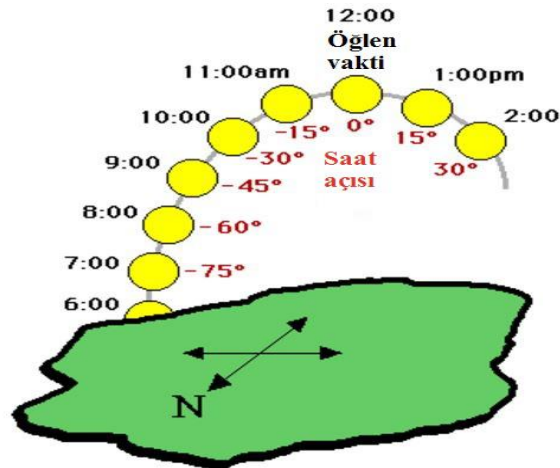
Deklinasyon açısının denklemi aşağıdaki denklemden hesaplanabilir (Messenger ve Vente, 2000).

$$\delta = 23,45 \times \sin\left(\frac{360 \times (284+n)}{365}\right) \quad (1.1)$$

Formüldeki n, yıl içerisinde hangi günde olduğumuzu temsil eder. Gün sayısı 1 Ocak başlangıç kabul edilerek geçen gün sayısıdır. (1 Ocak n=1).

#### 1.3.4. Saat açısı

Güneş ışınlarının bulunduğu boylam ile bulunduğumuz yerin (noktanın) boylamı arasında kalan açıdır. Zamanın açısal ölçüsüdür ve bir saat  $15^\circ$  boylama eşittir. Saat öğlen 12:00'dan önce artı değerlikli, 12:00'dan sonra eksi değerlikli olur. Güneş saat açısı hesaplamalarında yerel saat (GMT) kullanılmalıdır (Nuhoğlu, 2017). Şekil 1.15'te saat açısının yerel saate göre değişimi gösterilmiştir.



Şekil 1.15. Saat açısı ( $W\gamma$ ) (Nuhoğlu, 2017)

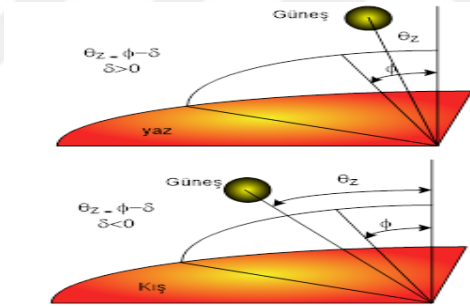
### 1.3.5. Güneş yükseklik açısı

Direkt gelen güneş ışınlarının (güneş doğrultusu) yatay ile yaptığı açıdır. Zenith açısını  $90^\circ$ 'ye tamamladığı için güneş yükseklik açısı denklemi (Foster, 2003);

$$\alpha_s = 90 - \theta_z \quad (1.2)$$

### 1.3.6. Zenith açısı

Güneşin doğrultusu ile dikey eksen arasında kalan açı ölçüsüdür. Yatay düzlemdeki güneşin doğuşu ile batışı arasında zenith açısı  $90^\circ$  ve öğle saatinde (saat 12:00) zenith açısı  $0^\circ$ 'dir. Güneş öğle saatinde havada en yüksek noktada bulunur. Enlem açısı, deklinasyon açısı ve zenith açısı arasındaki değişim Şekil 1.16'da görülmektedir (Şenpınar, 2006b).



Şekil 1.16. Yazın ve kışın öğle saatinde zenith, enlem ve deklinasyon açılarının değişimi (Şenpınar, 2006b)

Zenith açısı değişimi aşağıdaki gibi hesaplanır (Şenpınar, 2006b).

$$\cos\theta_z = (\cos\delta \times \cos\phi \times \cos w) + (\sin\delta \times \sin\phi) \quad (1.3)$$

Buradaki  $w$ , saat açısıdır. Ayrıca zenith açısı, güneş yükseklik açısını  $90^\circ$ 'ye tamamlar.

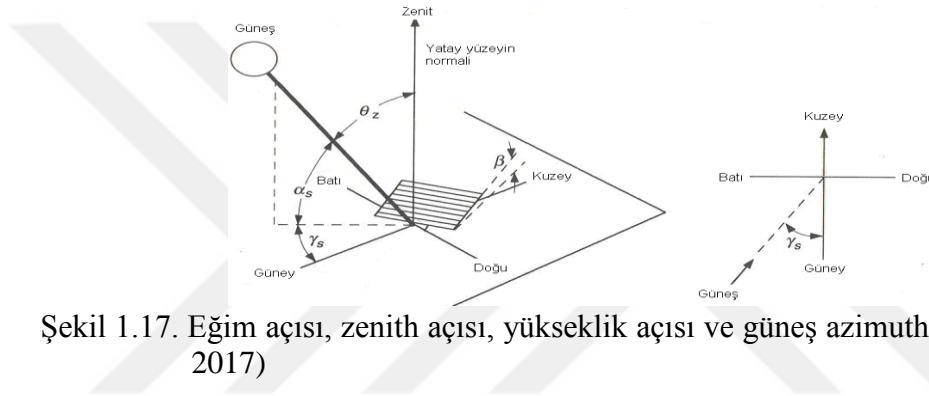
### 1.3.7. Azimuth açısı

Azimuth açısı, güneş azimuth açısı ve yüzey azimuth açısı olarak iki çeşittir.



### 1.3.7.1. Güneş azimuth açısı

Güneş azimuth açısı Şekil 1.17’de görüldüğü üzere güneş-dünya doğrultusunun yatay düzlemdeki iz düşümünün, kuzey-güney doğrultusu ile yapmış olduğu açıdır (Nuhoğlu, 2017). Başka kaynaklarda ise kuzey-güney yönleri ile güneş ışımının doğrudan geliş yönü arasındaki açı olarak ifade edilir. Farklı bir açıdan bakıldığında güneş azimuth açısı, kuzey yönüne göre saat ibresi yönündeki sapmayıda verir. Güney yönünden doğuya doğru negatif, batıya doğru pozitif olarak kabul edilir. Saat öğlen 12:00’de güneş azimuth açısı  $180^\circ$  olur. Güneş azimuth açısı  $\gamma_s$  ile gösterilir (Nuhoğlu, 2017).



Şekil 1.17. Eğim açısı, zenith açısı, yükseklik açısı ve güneş azimuth açısı (Nuhoğlu, 2017)

Güneş azimut açısı, herhangi bir bölgede ve zamanda, güneşe doğru varsayılan doğrunun, yatay düzlemdeki izdüşümü ile güney doğrultusu arasındaki açıdır. Azimut açısı, gün uzunluğunun 12 saatten fazla olması durumunda, günün bazı saatlerinde  $90^\circ$ ’den fazla olur. Güneş azimut açısı aşağıdaki bağıntıyla bulunur (Messenger ve Vente, 2000).

$$\sin\gamma_s = \left( \frac{\cos\delta \times \sin\omega}{\sin\theta_z} \right) \quad (1.4)$$

### 1.3.7.2. Yüzey azimuth açısı

Yüzeyin normali ile yatay düzlemdeki iz düşümü ile güney yönü doğrultusu arasında kalan açıdır. Yüzey azimuth açısı güneyde  $0^\circ$ , doğuya doğru negatif değerlikli, batıya doğru pozitif değerliklidir. Yüzey azimuth açısı  $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$  arasındadır (Nuhoğlu, 2017).

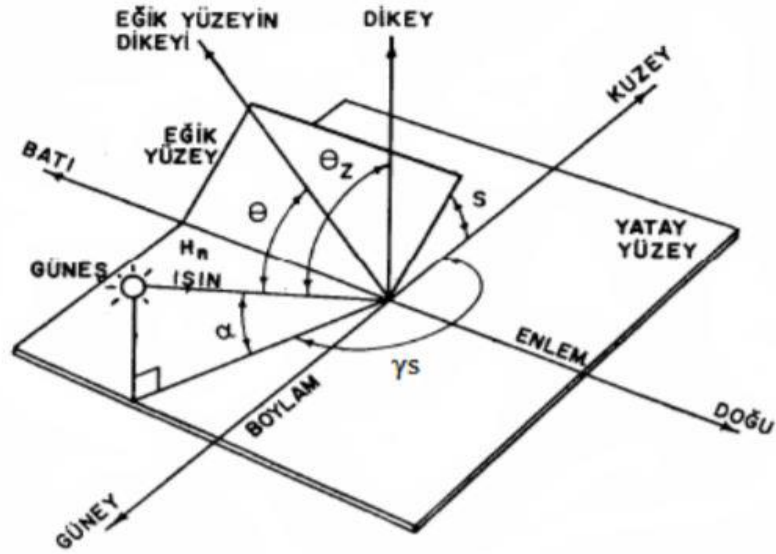
### 1.3.8. Eğim açısı

Kollektörlerin yatay düzlem ile yaptığı açıdır (Şekil 1.18).  $\beta$  simgesi ile gösterilir. Eğim açısı  $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$  arasında değişir.

### 1.3.9. Güneş yükseklik açısı

Yüzeye dik olarak gelen güneş ışınlarının (güneş doğrultusunda) yatayla yaptığı açıdır (Şekil 1.18). Zenith açısını  $90^\circ$ 'ye tamamladığı için güneş yükseklik açısı (Nuhoğlu, 2017):

$$\alpha_s = 90 - \theta_s \quad (1.5)$$



Şekil 1.18. Güneş açılarının eğik düzlem üzerinde gösterilmesi (Nuhoğlu, 2017)

### 1.4. Güneş Zamanı

Öğle vaktinde, güneşin azimuth ve yükseklik açıları güneş panellerini konumlandırmak için gerekli olan farklı iki temel açıdır. Güneş ışınlarının gün boyunca değişimlerini hesaplayabilmek için bu iki açının (azimuth ve güneş yükseklik açıları) hesaplanması gerekir. Zaman uyumluluğunu sağlamak için dünya üzerindeki bölgelerin tamamı zaman kuşaklarına bölünmüşlerdir. Ancak, bölünen bu zaman kuşaklarında güneşin öğle vakti tam tepede olması gerekmez. Aynı şekilde, güneşin zaman kuşağının herhangi bir noktasındaki güneşin doğuşu olarak tanımlanır. Ancak

tek zaman bir tek zaman kuşağının kat edilen mesafe (güneş mesafesi) nedeniyle yatay ekseninde (güneş, doğu-batı eksenini), güneşin bu zaman kuşağının herhangi bir bölgesinde gerçekten ortadan kaybolduğu zaman, güneş batış zamanından farklı olabilir. Bu tür düzenlemeler gereklidir, aksi takdirde bir evden biraz ötedeki bir ev için zaman birkaç saniye farklı olacaktır. Diğer taraftan güneş zamanı her bir özel boylam için tektir. Sonuç olarak güneşin pozisyonunu hesaplamak için ilk olarak yerel güneş zamanı bulunur, daha sonra yükseklik ve azimut açıları hesaplanır (Orhun, 2013).

#### 1.4.1. Yerel saat zaman meridyeni

Yerel standart zaman meridyeni (LTSM), belirli bir saat dilimi için kullanılan referans meridyenidir. LTSM, aşağıdaki denklem ile hesaplanır:

$$LTSM = 15 \times \Delta T_{GMT} \quad (1.6)$$

Bu denklemde  $\Delta T_{GMT}$  yerel zaman diliminin saat olarak başlangıç meridyenine olan uzaklığıdır. Örneğin GMT+3 zaman dilimine sahip bir bölgenin veya ülkenin LTSM=45° olmaktadır (Orhun, 2013).

#### 1.4.2. Zaman eşitlik denklemi

Zaman eşitlik denklemi (EoT), dünyanın yörünge eğimini düzelten (dakika olarak) bir denklemdir (Orhun, 2013).

$$EoT = 9,87 \times \sin(2B) - 7,53 \times \cos(B) - 1,5 \times \sin(B) \quad (1.7)$$

$$B = \frac{360}{365} \times d - 81 \quad (1.8)$$

Yukarıdaki denklemde B, zaman eşitlik denklemi değişkenidir. Buradaki d ise yılın hangi gününde olduğunu göstermektedir. Şekil 1.19'da zaman eşitlik denkleminin yılın günlerine göre değişiminin çizdiği grafik verilmiştir (PVEsolar, 2019)



Şekil 1.19. Zaman düzeltme faktörü denkleminin günlere göre olan değişimi (PVEsolar, 2019)

### 1.4.3. Zaman düzeltme faktörü

Zaman düzeltme faktörü (TC), dakika olarak zaman dilimi içerisindeki boylamsal değişkenlik nedeniyle belirli bir zaman dilimindeki yerel güneş zamanını hesaplamaktadır. Formül olarak da aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir (Orhun, 2013).

$$TC = 4 \times (LTSM - Enlem) + EoT \quad (1.9)$$

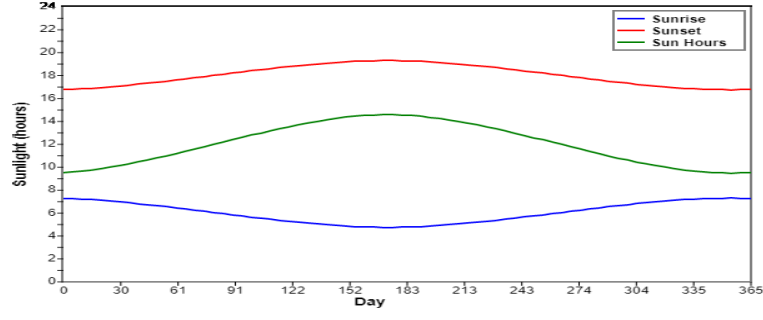
### 1.4.4. Güneş doğuş ve batış zamanı

Güneş doğuş ve batış zamanı, güneş yükseklik açısının ( $\alpha_s$ )  $0^\circ$  olduğu andaki zaman dilimidir. Güneş doğuş ve batış zamanı aşağıdaki formüller ile gösterilmektedir (Orhun, 2013).

$$\text{Güneş doğuş zamanı} = 12 - \frac{1}{15} \times \cos^{-1}(-\tan\phi \times \tan\delta) - \frac{TC}{60} \quad (1.10)$$

$$\text{Güneş batış zamanı} = 12 + \frac{1}{15} \times \cos^{-1}(-\tan\phi \times \tan\delta) - \frac{TC}{60} \quad (1.11)$$

Yukarıdaki denklemlere göre deneyin yapıldığı  $37^\circ$  enlem üzerinde bulunan Isparta şehrine ait güneş doğuş, güneş batış ve güneşlenme zamanı eğrileri Şekil 1.20'de verilmiştir.



Şekil 1.20. 37° Enleme sahip Isparta ili güneşlenme zamanı parametreleri (PVEIns, 2019)

Yılın 365 günü için günlere göre verilen egride yeşil çizgi güneş doğuş zamanını, mavi çizgi güneş batış zamanını, kırmızı çizgi ise güneşlenme süresini göstermektedir.

## 1.5. Güneş Işınım Hesabı

Güneş enerjisinden enerji üretmek için, güneşin gün içerisindeki her zaman dilimi için ışınım miktarını bilmek gerekir. Üretilen enerji miktarı güneş ışınımı (radyasyonu) ile doğru orantılıdır. Güneş ışınımının birimi  $\text{kW/m}^2$ 'dir. Güneş ışınımı ölçümü, gün boyunca düzenli olarak alınan küresel (global) ışınım ve direkt ışınım (radyasyon) ölçümlerinden oluşmaktadır. Bu ölçümler, bir piranometre (küresel (global) ışınım ölçer) veya bir pyrliometre (direkt ışınım ölçer) ile yapılır (Bilgin, 2006).

### 1.5.1. Hava kütlesi katsayısı

Hava kütlesi katsayısı (AM), normalize edilmiş yani normal koşullar altında atmosferden geçen ışığın bu geçişteki azalma oranını veren parametredir. Bu katsayı, zenith açısına göre değişkendir. Zenith açısı  $90^\circ$  ise hava kütlesi katsayısı 1 olur. Hava kütlesi katsayısı aşağıdaki formül ile hesaplanabilmektedir (Bilgin, 2006).

$$AM = 1/\theta_z \quad (1.12)$$

Formül 1.12'deki hava kütlesi katsayısı hesaplanırken atmosfer yatay bir tabaka olarak varsayıp hesaplanmıştır. Yani atmosfer eğriliği ihmal edilmiştir. Atmosferin eğriliği de hesaba katılıp denklem yeniden düzenlendiğinde aşağıdaki hale gelmiştir (Bilgin, 2006).

$$AM = 1 / \cos \theta_z + 0,50572 \times (96,07995 - \theta_z)^{-1,6364} \quad (1.13)$$

### 1.5.2. Direkt ışınım yoğunluğu

Direkt ışınım yoğunluğu ( $I_D$ ), güneş ışınlarının, geldiği doğrultuya dik olan bir düzlek üzerine düşmesi ile üzerinde alınan toplam güneş ışınım miktarıdır. Direkt ışınım yoğunluğunun birimi  $\text{kW/m}^2$  'dir ve 1.14'teki denklem ile hesaplanmaktadır (Meinel ve Meinel, 1977).

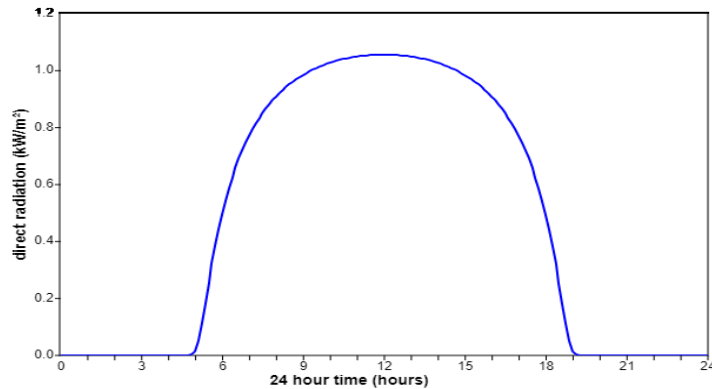
$$I_D = 1,353 \times 0,7^{AM^{0,678}} \quad (1.14)$$

Formüldeki 1,353 sayısının birimi  $\text{kW/m}^2$  'dir ve güneş sabiti olarak adlandırılır. 0,7 katsayısı ise atmosfer üzerine düşen ışınımın %70'i yeryüzüne aktarıldığı için yazılmıştır. 0,678 sayısı ise ekstra güç verim katsayısıdır.

Güneş ışığı yoğunluğu deniz seviyesinden yükseklik ile doğru orantılıdır. Yükseklik bilgisi ile ışınım formülünü revize edersek aşağıdaki denklemi elde ederiz (Laure, 1970).

$$I_D = 1,353 \times [(1 - ah) \times 0,7^{AM^{0,678}} + ah] \quad (1.15)$$

Formülde verilen a: sabit katsayıdır ve değeri 0,14'tür. H ise bulunduğumuz konumun deniz seviyesinden yüksekliğinin km cinsinden değeridir. Şekil 1.21'de Isparta ilinin ekinoks günlerinden biri olan 21 Haziran gününe ait direkt ışınım değeri verilmiştir.



Şekil 1.21. Isparta ili için direkt güneş ışınımı (PVESIns, 2019)

### 1.5.3. Küresel ışı nım

Havanın bulutsuz ve açık oldu ğ u bir günde küresel (global) ışı nım ( $I_G$ ), dünyadaki herhangi bir düzlem için düş en toplam ışı nım miktarıdır. Bu ışı nım değ eri direkt ışı nım değ erinden %10 daha fazladır. Bunu formülize edecek olursak (Bilgin, 2006);

$$I_G = 1,1 \times I_D \quad (1.16)$$

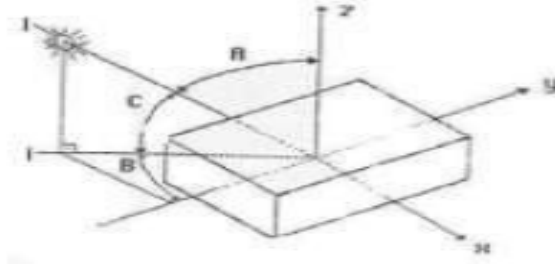
### 1.6. Güneş Takip Sistemleri

Güneş enerjisinden tam anlamıyla faydalanmak için geliştirilen güneş izleyici sistemler, güneş in ışı ma yani radyasyon enerjisinden faydalanırlar. Normal bir camdan geçen doğ rudan ışı ma yolu ile elde edilecek sıcaklık ve ısı, camın dünya üzerindeki yerine, hangi yöne dönük oldu ğ una, günün hangi saatinde ve yılın hangi gününde bulundu ğ una ba ğ lıdır. Güneş açısından yararlanmak için geliştirilen sistemlerde direk gelen güneş ışı mından faydalanılma miktarının maksimum olması için, güneş geliş açısının minimum düzeyde (hatta mümkünse  $0^\circ$ ) olması sağ lanmalıdır. Dünyanın eksenininin  $23.5^\circ$  eğikli ğ i ve güneş geliş açısının  $0^\circ$  olmasını temin edebilmek için, eğim açısının yer ve mevsimlere göre değ iş iminin yapılması gerekmektedir. Bunun için kuzey-güney yönünde yani tek eksen olarak yükseklik açısının belirlenmesi gerekir.

Yükseklik açısının yanında güneş in her gün doğ udan batıya doğru olan hareketinin etkisini ortadan kaldırmak için panel ve bu doğ rultudaki açısının da günün saatleri itibari ile en az 4 dakikada bir değ iş tirilmesi gerekir. Sabit sistemlerde güneş ışı nımları sabah ve akşamları az miktarda, öğ le vakti maksimum miktarda olmalıdır. Güneş geliş açısını en aza indirebilmek için güneş in doğ u-batı yönündeki hareketinin de takip edilmesi gerekmektedir.

Güneş takip sistemleri ile güneş in hem eğikli ğ i sebebi ile oluş an eğim açısının hem de doğ u-batı yönündeki açısının takip edilmesi gerekmektedir. Güneş in her iki ekseninde izlendi ğ i güneş takip sistemlerinde, güneş geliş açısı sürekli  $90^\circ$  olmaktadır (Argun, 2012).

Güneş takip sistemlerinin dönüş eksenleri Şekil 1.22’de verilmiştir.

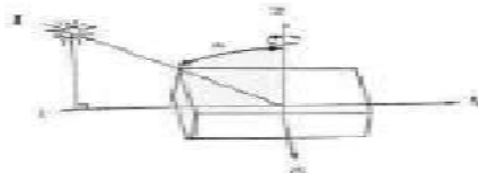


Şekil 1.22. Güneş takip sistemlerinin dönüş eksenleri (Argun, 2012)

Bu resimde görülen A açısı güneşin zenith açısını ( $A = 90^\circ$ ), B açısı kollektörün azimuth açısını, C açısı güneş yükseklik (altitude) açısını ifade eder.

Güneş kollektörünün güneş ışınımını dik alacak konuma gelmesi için bu iki açı sıfır olana kadar z eksenine ve güneş ışını ile z eksenine dik eksen etrafında döndürülmesi gerekir.

Güneş kollektörünün, tüm gün boyunca azimuth açısına göre aynı açıda olması için güneşin doğu-batı yönündeki hareketini takip etmesi gerekir. Bu anlatılanların görsel ifadesi Şekil 1.23’de verilmiştir.

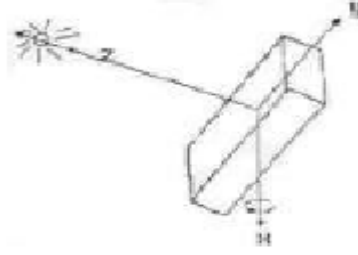


Şekil 1.23. Güneşin doğu-batı yönünde takibi (Argun, 2012)

Bunun için, kollektörün x-y düzleminin, B açısı sıfır oluncaya kadar z eksenine etrafında döndürülmelidir. Detaylıca açıklarsak x-y düzlemine ait yüzeyin normali N ile güneş ışını I'nın yatay düzlemdeki iz düşümü olan i birbiri ile çakışmalıdır (Argun, 2012).

Diğer ekseninde güneş kollektörünün herhangi bir zaman diliminde güneş ışımına dik konumda olabilmesi için B açısı ile birlikte A açısını da sıfırlayacak bir şekilde güneşi takip etmesi gerekmektedir. Bu takip Şekil 1.24’te görülmektedir. Şekle göre dönüş x eksenine etrafında olmalıdır. Bu takip yaklaşık  $70^\circ$ ’lik bir açıda olacaktır (Argun, 2012).



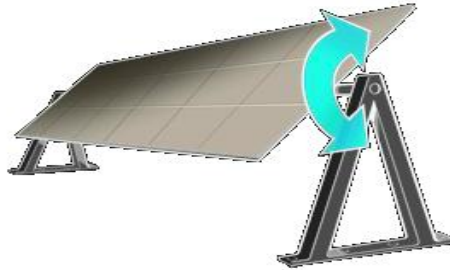


Şekil 1.24. Güneşin x eksenini etrafındaki dönüşü (Argun, 2012)

### 1.6.1. Tek eksen güneş takip sistemleri

Güneş kolektörlerinde kullanılan tek eksen takip sistemleri genellikle bir üst başlıkta anlatılan şekilde, yani güneş ışınımının azimuth açılarına göre doğu-batı yönünde yapılmaktadır. Maksimum güneş verimliliği için güneş yükseklik açısı belli bir sabitte monte edilebilir veya düzenli aralıklarla yıl boyunca yapılan ayarlamalar ile (manual ayarlama) yıl içerisinde düzenli olarak ayarlanan ikinci eksenini kullanılır. Tek eksen kontrol sistemleri sabit sistemler ile karşılaştırıldığında yıllık %30 oranında daha verimlidir (Önal, 2009).

Tek eksenli izleyici olarak verebileceğimiz ilk örnek yatay eksenli izleyicilerdir. Bu izleyiciler, uzun yatay boru üzerinde bulunan çelik elektrik direği gibi direklerle veya çerçeve üzerinde montajı yapılarak imalatı yapılır. Tek eksen üzerinde bir kuzey-güney hattına sahiptir. Kolektör boru üzerine monte edilir ve kendi ekseninde gün boyunca güneşin hareketini izlemek için doğu-batı yönünde hareket eder. Bu izleyiciler özellikle kış aylarında pek etkili değildir. Bu nedenle ekvatora doğru eğilimi yoktur. Bahar ve yaz aylarında güneşin açısına bağlı olarak yüksek verimlilikle çalışır (Önal, 2009). Şekil 1.25'te anlatılan izleyici sistemin çalışması gösterilmiştir.



Şekil 1.25. Yatay eksenli güneş takip sistemi (Önal, 2009)

Bir eksen kurularak yalnızca dikey olarak tek bir eksen etrafında hareket sağlanır. Yükselme açıları sabit ayarlanabilir panellerin izleme açıları da paneller gibi kontrol edilebilir. Böyle izleyiciler ile sabit ya da mevsimsel olarak ayarlanabilen açısal

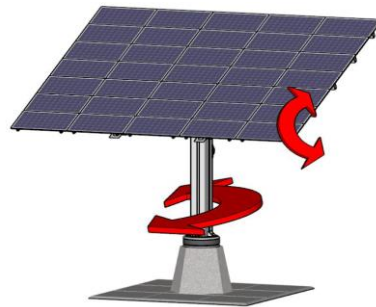
değişimlerle yüksek serbestlik için sürekli güneşi takip etmek için değil, uzun yaz günlerinde daha uygundur. Bu method; Avustralya'daki silindirik evlerde uygulanıp kullanılmaktadır. Sistemin 45°'ye kadar dönüşü serbesttir. Bu tarz güneş izleme sistemleri tek taraflı dikey paneller için uygulanabilir (Önal, 2009). Anlatılanların görsel ifadesi Şekil 1.26'da gösterilmiştir.



Şekil 1.26. Dikey eksenli güneş takip sistemi (Önal, 2009)

### 1.6.2. Çift eksen güneş takip sistemleri

İki eksenli izleme yönteminde kolektör birbirine dik iki eksen etrafında dönme hareketi yapar. Kolektör tasarım şekli yansıtıcının iki eksende hareket etmesini sağlayacak şekilde yapıldığından, güneşi sürekli olarak takip etmesi neticesinde her zaman güneş ışını doğrultusu ile yansıtıcı yüzey normali çakışmıştır. Çizgi odaklamalı kolektörler de genellikle tek eksenli izleme yeterli olduğundan iki eksenli izleme yöntemine ihtiyaç duymazlar. Şekil 1.27'de anlatılan sistemin görsel ifadesi verilmiştir.



Şekil 1.27. Çift eksen güneş takip sistemi (Varış, 2017)

Çift eksen güneş takip sistemleri her ne kadar güneşi en verimli şekilde takip etmemizi sağlasa da avantajları olduğu gibi dezavantajlara da sahiptir. Aşağıda sisteme ait avantajlar ve dezavantajlar verilmiştir.

Avantajları: (Kartal, 2009)

1. Güneş ışınımını maksimum şekilde toplar. En verimli güneş takip sistemidir.
2. Kollektörden çıkan akışkanın sıcaklığı daha yüksektir.
3. Atmosferik absorbe sebebiyle ışınım şiddetindeki azalmalar hariç bütün gün boyunca aldığı enerji satıptir.

Dezavantajları: (Kartal,2009)

1. İzleyici açısının takibi için sürekli bilgisayar kontrollü izleyici sisteme ihtiyaç vardır.
2. Rüzgar yükünün yarattığı problemlerle boru tesisatı ve kavramalarda zorlanma söz konusudur.
3. Cihazların ve aktüatörlerin maliyeti yüksektir.
4. Mekanik parçaların ve hareket aktarma organlarının çok iyi tasarlanması ve dengelenmesi gerekmektedir. Aksi takdirde çalışmada sıkıntılar yaratır.

### **1.6.3. Denetim sistemleri**

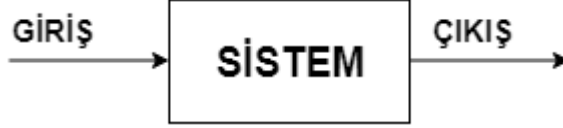
Bir sistemin gidişatını ve yönetimini otomatikleştirmek için, istenilen özelliklerde o sistemin kontrolünü sağlayan sistemlere denetim sistemleri denir. Denetim sistemlerinin yapılmasındaki asıl amaç sistem verimliliğini artırmak ve sistematik çalışmanın verdiği imkan ve faydalardan yararlanmaktır.

Bir denetim sistminin analizinin yapılabilmesi için öncelikle sistemin matematiksel modeli gerekmektedir. Ardından matematiksel modellemeye göre sistemin bağıntıları yazılır. Bağıntılarının yazımından sonra sistemin blok diyagramı çizilir. Daha basit gösterilmek istenirse, sistemin blok diyagramından işaret akış grafiği çizilir. Elde edilen işaret akış grafiğinden sistemin transfer fonksiyonları veya kararlı olup olmadığını anlamak için sistem çıktısının hangi aralıkta olması gerektiği gibi analizleri yapılmaktadır.

Kontrol sistemleri ikiye ayrılır. Bunlar açık çevirim ve kapalı çevirim (geri beslemeli) kontrol sistemleridir.

### 1.6.3.1. Açık çevirim denetim sistemi

Açık çevirim kontrol sisteminde giriş, çıkıştan tamamen bağımsız bir değişkendir. Sistemin çıkışının, girişi üzerinde hiçbir etkisi bulunmamaktadır. Yani çıkış, girişin bir fonksiyonudur. Anlatılan sistemin blok diyagramı ile ifadesi Şekil 1.28’de verilmiştir.



Şekil 1.28. Açık çevirim denetim sistemi

### 1.6.3.2. Kapalı çevirim denetim sistemi

Kapalı çevirim denetim sistemi içeren sistemlerde sistemin cevabı, yani çıkışı, yalnızca girişin bir fonksiyonu değildir. Sistemin çıkışından alınan bir geri besleme ile giriş her zaman kontrol altında alınmıştır. Sistemin cevabı, sistemin girişi ile geri beslemenin toplamının bir fonksiyonudur. Diğer bir deyişle bu tip sistemlerde çıkış daima girişi denetlemektedir. Yani sistem üzerinde bir geri besleme vardır. Kapalı çevirim denetim sistemlerinin blok diyagramı ile görsel ifadesi Şekil 1.29’da gösterilmiştir.



Şekil 1.29. Kapalı çevirim denetim sistemi

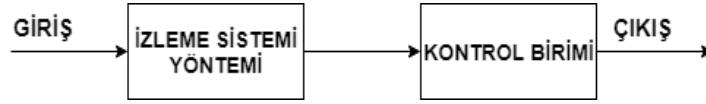
### 1.6.4. Güneş takip kontrol sistemleri

Güneş takip kontrol sistemleri de tıpkı denetim sistemlerinde olduğu gibi açık ve kapalı çevirim kontrol sistemleri olarak ikiye ayrılır. Bu kontrol sistemleri yine tek eksen ve çift eksen kontrol sistemlerinde uygulanabilen sistemlerdir.

#### 1.6.4.1. Açık çevirim güneş takip kontrol sistemi

Aslında dünyanın herhangi bir noktası için güneşin yılın herhangi bir günü ve saatinde hangi koordinatlarda olacağı yapılan hesaplamalar ile belirlenebilir. Bu düşünceden

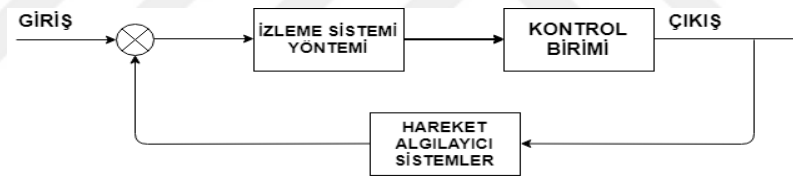
hareketle güneşin yerini tespit etmek amacıyla sensör kullanılmasına gerek duymadan koordinat ve zaman verileri ile güneş takibi yapan mikroişlemci kontrollü sistemler bu gruba girmektedir. Açık çevirim güneş takip sistemlerinin çalışma prensibi Şekil 1.30'da gösterilmiştir.



Şekil 1.30. Açık çevirim güneş takip kontrol sistemi

#### 1.6.4.2. Kapalı çevirim güneş takip kontrol sistemi

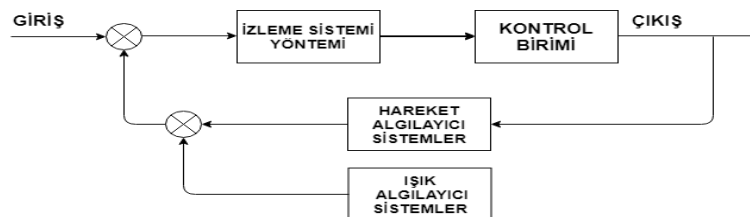
Çeşitli sensörler veya algılayıcılar vasıtasıyla güneşin yerini tespit ederek kollektörlerin güneşe doğru dönmesini sağlayan sistemlerdir. Bu tip sistemlerde geri besleme olduğu için kapalı çevirim olarak adlandırılmıştır. Tez çalışmamda gerçekleştirilen sistemlerin her ikisi bu gruba girmektedir. Anlatılan sistemin görsel ifadesi Şekil 1.31'de verilmiştir.



Şekil 1.31. Kapalı sistem güneş takip kontrol sistemi

#### 1.6.4.3. Hibrit çevirim güneş takip kontrol sistemi

Hibrit çevirim güneş takip kontrol sistemi, hem açık çevirim hem de kapalı çevirim güneş takip kontrol sisteminin birleşimidir. Hibrit sistemler ile güneş takip işlemi kontrol birimi tarafından denetlenirken sistem kararlılığını daha da artırmak için güneş algılayıcı sensörler ile de denetlenir. İki farklı şekilde denetlendiğinden bu tip güneş takip sistemleri en verimli sonucu ortaya koyan sistemlerdir. Şekil 1.32'de anlatılan kontrol sisteminin görsel ifadesi verilmiştir.



Şekil 1.32. Hibrit çevirim güneş takip kontrol sistemi

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Tezin bu kısmında, hem bulanık mantık kontrolörü ile güneş takip sistemi ile alakalı hem de çeşitli, farklı kontrol yöntemleri ile güneş takip eden sistemlerle ilgili yapılan literatürdeki çalışmalardan örnekler verilmiştir.

Ahmet Şenpınar yaptığı doktora çalışmasında güneş pillerine çift eksen olarak güneşi takip edecek sistemin tasarımını yapmıştır. Çalışmada sistem deneyin gerçekleştirileceği bölgenin enlem ve boylam değerine göre yapılan hesaplamalar doğrultusunda bilgisayar programı yardımıyla güneş ışığını maksimum alacak şekilde kontrol edilmiştir. Elde edilen veriler kaydedilmiş ve sabit sistemler ile kıyaslanarak hareketli sistemin verimliliği doğrulanmıştır (Şenpınar, 2006a).

Serdar Nuhoglu yaptığı yüksek lisans çalışmasında fotovoltaiik paneller üzerine çalışmalar yapmıştır. Yaptığı çalışmada, tek eksen güneş takip mekanizmalı bir sistem ile sabit bir sistemin verimlerini karşılaştırmak amacıyla özdeş (aynı özelliklere sahip) iki adet 255 W gücünde fotovoltaiik (PV) panel sistemi yan yana kurarak aynı şartlar altında deneysel olarak incelenmiştir. Deneilerin sonucunda hareketli sistemin sabit sisteme göre %23 daha verimli olduğunu gözlemlemiştir (Nuhoglu, 2017).

Murat Orhun yaptığı yüksek lisans çalışmasında sabit ve hareketli platform üzerine yerleştirilmiş güneş panellerinin, güneşin farklı algoritmalarla takibi durumunda performanslarının izlenmesi üzerine çalışma yapmıştır. İlk olarak PLC tabanlı kontrol sistemi tasarlanmış ve kontrol sistemi bilgisayar yazılımı ile haberleştirilmiştir. Farklı güneş takip stratejileri güneş takip sistemi üzerinde analiz edilerek test edilmiştir. Bir yıl yapılan deneyler sonucunda bu veriler analiz edilerek takip algoritmalarının performansları karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda farklı güç tahmin modelleri geliştirilmiş, performansları karşılaştırılmış ve sonuçları tartışılmıştır (Orhun, 2013).

Zeki Bilgin yaptığı yüksek lisans çalışmasında fotovoltaiik paneller ile güneş takip uygulaması yapmıştır. Bu uygulamada tek eksen güneş takip sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan sistem ile sabit sistemin karşılaştırılması sonucunda %37 verim artışı gözlemlenmiştir (Bilgin, 2006).

Kudbeddin Argun yaptığı yüksek lisans çalışmasında sabit düzlemsel kollektörler ile hareketli düzlemsel kollektörleri aynı deney düzeneğinde uygulayarak, aynı zaman dilimi içerisinde güneş enerjisi ile elde edilen verimin analizini yapmıştır. Elde edilen bulguların grafik ve şekiller üzerinde karşılaştırmasını yaparak hareketli düzlemsel kollektörlerin sabit kollektörlere göre verim karşılaştırması üzerine literatüre yeni bir çalışma kazandırmıştır (Argun, 2012).

M.Ali Önal yaptığı yüksek lisans çalışmasında yenilenebilir enerji kaynaklarından en fazla yararlanılan güneş enerjisinin Türkiye'deki potansiyellerini grafiklerle anlatmış olup, Türkiye ve dünyada güneş izleme sistemleri üzerine yapılmış çalışmaları kapsamlı şekilde literatür araştırması yapmıştır. Elde edilen veriler sonucunda Türkiye iklimi şartlarına uygun olarak iki eksenli güneş takip sistemi tasarımı yapmıştır. Tasarlanan sistem tek eksenli sistemler ile verimlilik üzerinden karşılaştırılmıştır (Önal, 2009).

Yiğit Kartal yaptığı yüksek lisans çalışmasında önce dünya ve Türkiye'deki güneş enerjisini ve tarihçesini incelemiş ve kısa bilgiler vermiştir. Ardından parabolik güneş kollektörleri hakkında bir boyutlu enerji denklemlerini tanımlamıştır. Ayrıca güneş açılarına bağlı olarak gelen ışınım hesapları üzerine tanımlamalarda bulunmuştur (Kartal, 2009).

Ramazan Şenol yaptığı yüksek lisans tezi çalışmasında çeşitli amaçlarla kullanılan ölçüm istasyonlarının mobil hale getirilmesi, enerji sistemlerinin karşılaştırılması ve ölçü sistemlerinden elde edilecek verilerin belirlenen merkezlere gönderilmesini sağlamak amacıyla güneş izleyici sisteme sahip fotovoltaik pillerin tasarımı ve imalatı üzerine çalışmalar yapmıştır. Yaptığı bu çalışma ile ileride yapılacak olan tüm yenilenebilir enerji kaynakları projelerine, jeofiziksel çalışmalara, meteorolojik çalışmalara ve her türlü bilimsel, askeri, uzay vb. gibi alanlarda yapılacak çalışmalara destek niteliğinde bir eser ortaya koymuştur (Şenol, 2005).

Nihat Büküm yaptığı yüksek lisans çalışmasında güneşlenme süresi ve güneş şiddeti bakımından dünya standartlarının oldukça üzerinde bulunan Siirt yöresinde tek eksen güneş takip sistemlerinin sabit sistemlere göre verimlilik artışını incelemiştir. Deneysel çalışmasında biri sabit öteki tek eksen güneş izleyici sisteme sahip 250

Watt'lık iki adet güneş paneli kullanmıştır. Deneyle iki gün boyunca beşer dakikalık arayla gerçek zamanlı olarak yapılmıştır. Deneyle sonucunda tek eksen güneş takip sisteminin sabit sisteme göre %30-35 arası verim artışı sağladığı gözlemlenmiştir (Bükün, 2017).

Yusuf Atalay yaptığı tez çalışmasında iki eksenli güneş takip mekanizmasına sahip 1Kw'lık fotovoltaik güç sistemini bilgisayar ortamında modellemiş ve İzmir ili koşullarında Matlab/Simulink ortamında simule etmiştir. Daha sonra elde edilen verileri hali hazırda kurulu olan sistem ile karşılaştırmıştır (Atalay, 2016).

Nsengiyumva ve arkadaşları yaptıkları çalışmada tek eksen ve çift eksen olmak üzere iki adet güneş takip sistemi tasarımı yapmışlardır. Bu yaptıkları sistemleri verimlilik, daha yüksek izleme doğruluğu, kolay kurulum ve maliyet gibi konular üzerinden değerlendirmişlerdir. Bu sistemleri sabit sistemler ile kıyasladıklarında %40 gibi fazladan verim elde edildiği görülmüştür (Nsengiyumva vd., 2018).

Özdemir ve arkadaşları yaptıkları çalışmada DC-DC ikinci dereceden güç çeviriciyi izleyen, bulanık mantık kontrolörü tabanlı maksimum güç noktası izleme algoritması ile güneş takip sistemi tasarlamışlardır. Bulanık mantık tabanlı maksimum güç noktası izleme algoritması, dönüştürücü referans sinyalini üretmek için kullanılmıştır ve PV gücündeki ve PV voltajındaki değişiklik, bulanık değişkenler olarak seçilmiştir. Sistemin simülasyonu Matlab/Simulink ortamında yapılmıştır. Tasarlanan sistemin maksimum güç noktası takip etkinliği %99,10 olarak elde edilmiştir (Özdemir vd., 2017).

Kaya ve Güler yaptıkları çalışmada güneş takip sistemleri için Bulanık-Genetik algoritma tabanlı sistem tasarımı yapmışlardır. Bu sistem fotovoltaik güneş panellerinin iki eksenli güneşi takip etmesi için kurulmuştur. Sistemin yazılımı LabVIEW ortamında yapılmıştır. Bir gün içerisindeki 3 farklı zaman diliminden elde edilen sonuçlar ile uygulanan kontrolörün diğer kontrolörlere kıyasla daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir (Kaya ve Güler, 2016).

Sumathi vd. yaptıkları makale çalışmasında farklı güneş izleme ve MPPT (maksimum güç izleme) algoritmalarının, enerji kazançları ile birlikte incelemesini rapor



etmişlerdir. Sonuçlara bakarak yeni bir güneş takip sistemi tasarımı yapmaya karar vermişlerdir. Yaptıkları çalışmada ize bulanık mantık kontrolörü tabanlı MPPT (maksimum güç noktası izleme) tasarımı yapmışlar ve ARM işlemcili bir deney prototipi ile test etmişlerdir. Elde ettikleri verileri literatürde elde edilen veriler ile kıyasladıklarında yaptıkları sistemin verimli olduğunu gözlemlemişlerdir (Sumathi vd., 2017).

Ma ve arkadaşları yaptığı makale çalışmasında silindirik parabolik güneş kolektörleri üzerine güneş takip sistemi tasarımı yapmışlardır. Çalışmadaki güneş takip sistemi tek eksen güneş takip sistemidir. Güneş takip sistemi için bulanık mantık kontrolörü tasarımı yapılmış ve mikroişlemci vasıtasıyla sistem kontrol edilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda sistemin sabit kolektörlere göre daha verimli olduğu ortaya konulmuştur (Ma vd., 2017).

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Silindirik Parabolik Güneş Kolektörünün Mekanik Tasarımı ve İmalatı

Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcısı, yoğunlaştırıcı sistemlerin içerisinde en çok kullanılanıdır. Bu sistem parabol şeklinde bir yansıtıcı yüzey, toplama kısmında bulunan güneş ışınlarını emici boru ve emici boruyu çevreleyen cam örtü, eğer varsa takip mekanizması, ısı transfer akışkanı, sistemi taşıyan gövdeden oluşmaktadır.

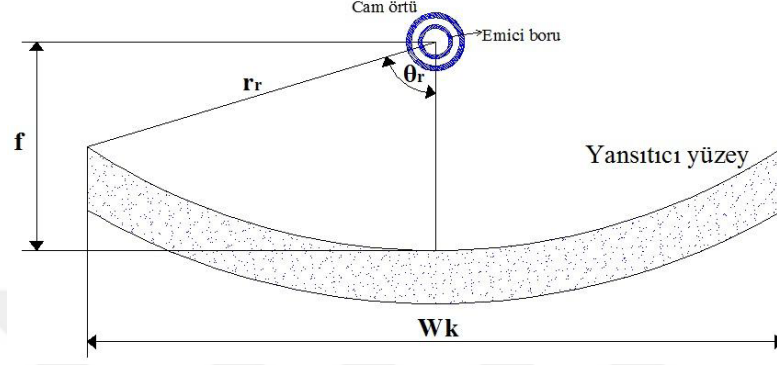
Güneşten ışınlar ilk önce sistemin yansıtıcı yüzeyine gelir. Parabol şeklindeki bu yüzey, ışınları parabolün odak noktasında bulunan ve eksen boyunca uzayan toplayıcı kısımdaki emici boruya yoğunlaştırır. Bu işlem sonunda sıcaklığı yükselen emici borudan, emici boru içinden geçen ısı transfer akışkanına ısı transferiyle enerji aktarımı olarak akışkanın sıcaklığı yükseltilir. Akışkanın sıcaklığının yükselmesi, güneş enerjisinin belli bir oranda akışkana verilmesi demektir. Sıcaklık olarak dönüştürülen enerji istenildiği taktirde sıcak su ve elektrik enerjisi olarak kullanılabilir.

Sıcaklığı yükselen akışkan ile dolaylı yoldan (enerjilerin farklı biçimlere dönüştürülmesi) ya da direkt olarak buhar ve elektrik üretimi yapılabilir. Eğer ısı transfer akışkanı olarak yağ kullanılırsa dolaylı yoldan buhar ya da elektrik üretimi yapılır. Yoğunlaştırma işlemi sonucunda sıcaklığı yükselen yağ ısı enerjisini, yağdan daha düşük sıcaklıktaki suya ısı değiştiriciler aracılığıyla aktararak suyun buharlaşması sağlanır. Buhar halindeki su buhar türbinine gönderilerek elektrik üretimi yapılır. Eğer ısı transfer akışkanı olarak su kullanılırsa, ısı değiştiricisine gerek kalmadan yoğunlaştırma işlemiyle su buhar haline geçirilebilir. Bu buharda daha sonra elektrik üretimi için buhar türbinine gönderilir.

Sistemin amacı güneşten gelen ışınları en az kayıpla ısı transfer akışkanına aktarmaktır. Çünkü güneş enerjisini ne kadar az kayıpla akışkana iletebilirsek, sistemimizin Bu amaç doğrultusunda sistemde kullanılacak malzemeler ve sistemin tasarımı, sistemin kurulacağı yer ve sistemin çevre ortamla ilişkisi çok önemlidir.

### 3.1.1. Silindirik parabolik güneş toplayıcısının boyutlandırma hesabı

Parabolik yoğunlaştırıcının performans hesapları yapılmadan önce sistemin boyutlandırılması gerekmektedir. Parabolik yoğunlaştırıcının iki boyutlu görünümü ve tasarımı için önem arz eden ölçü değerleri Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcı (Şanlı, 2010)

Şekil 3.1’den hareketle  $f$ ,  $W_k$ ,  $r_r$  ve  $\theta_r$  değerleri ile bulunan bazı değerlerin denklemleri aşağıda verilecektir.

Parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcının genel parabolik yüzey denklemi aşağıda verilmiştir (Beckman, 2006).

$$y = \frac{x^2}{4f} \quad (3.1)$$

Yukarıdaki denklemde  $x$  ve  $y$  eksnelere olan uzaklık,  $f$  değeri ise odak uzaklığıdır ve değerleri mm’dir.

Kenar açısı (Beckman, 2006);

$$\theta_r = \tan^{-1} \frac{8 \left(\frac{f}{W_k}\right)}{16 \left(\frac{f^2}{W_k}\right) - 1} = \sin^{-1} \left(\frac{W_k}{2 r_r}\right) \quad (3.2)$$

olarak tanımlanır. Denklemdaki  $\theta_r$  değeri parabolik kesit açısı,  $W_k$  değeri parabolik eni ölçüsü,  $f$  değeri odak uzaklığı,  $r_r$  değeri ise parabolik minimum yarıçapı olarak tanımlanır.

Yansıtıcı yüzeyin herhangi bir noktasındaki yerel yansıtıcı yarıçapı aşağıdaki formül ile verilmiştir (Beckman, 2006).

$$r = \frac{2f}{1+\cos\theta} \quad (3.3)$$

Parabolik yüzeyin uzunluğunu bulmak için parabolün orta noktasını 0,0 olarak kabul edersek, aşağıdaki eşitliğe göre hesaplayabiliriz (Beckman, 2006).

$$L_{PYU} = 2 \int_a^b \sqrt{1+(y')^2} dx \quad (3.4)$$

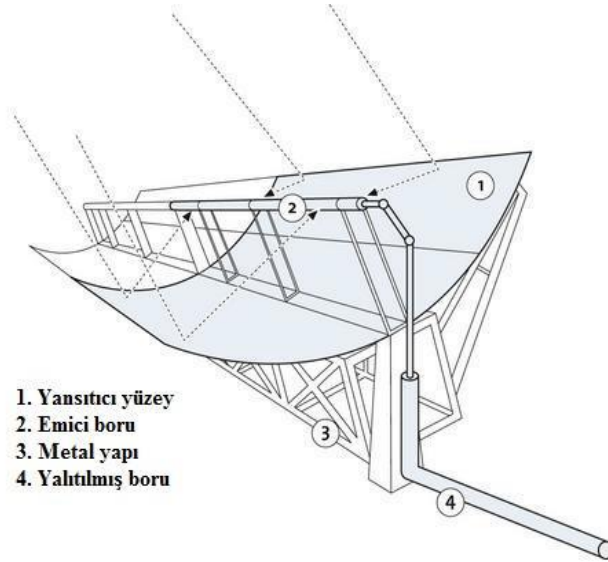
Emici boru için gerekli olan minimum boru çapı (Beckman, 2006);

$$D_{min} = \left( \frac{W_k}{\sin\theta_r} x \sin(\theta_s + \delta/2) \right) \quad (3.5)$$

Yoğunlaştırıcı güneş enerjisi sistemlerinde güneş ışınları, sistemin odağında bulunan güneş toplayıcı kısmına noktasal veya doğrusal olarak yoğunlaştırma yapmaktadır. Yoğunlaştırma ile güneş enerjisi kullanıldığından dolayı karşımıza yoğunlaştırma oranı kavramı çıkmaktadır. Literatürde eriştiğim kaynaklarda yer alan bilgilere göre bu tanım geometrik yoğunlaştırma oranı ve ışın şiddeti yoğunlaştırma oranı iki farklı şekilde kullanılır. Işın şiddeti yoğunlaştırma oranı güneş ışın şiddetinin, yüzey üzerine düşen güneş ışınması şiddeti olarak tanımlanır. Geometrik yoğunlaştırma oranı, yansıtıcı yüzey alanının emici yüzey alanına oranı şeklinde tanımlanır. Parabolik oluk tipi güneş toplayıcıları doğrusal (çizgisel) olarak güneşi yoğunlaştıran sistemlerdir ve hesaplamalarda geometrik yoğunlaştırma oranı kullanılır. Yoğunlaştırma oranı denklem 3.6'da verilmiştir.

$$YO = \frac{D}{\pi x d} \quad (3.6)$$

Boyutlandırma hesabında anlatılan bilgilere göre silindirik parabolik güneş yoğunlatırıcılarının (toplayıcılarının) genel görsel ifadesi ve bölümleri Şekil 3.2'de verilmiştir.

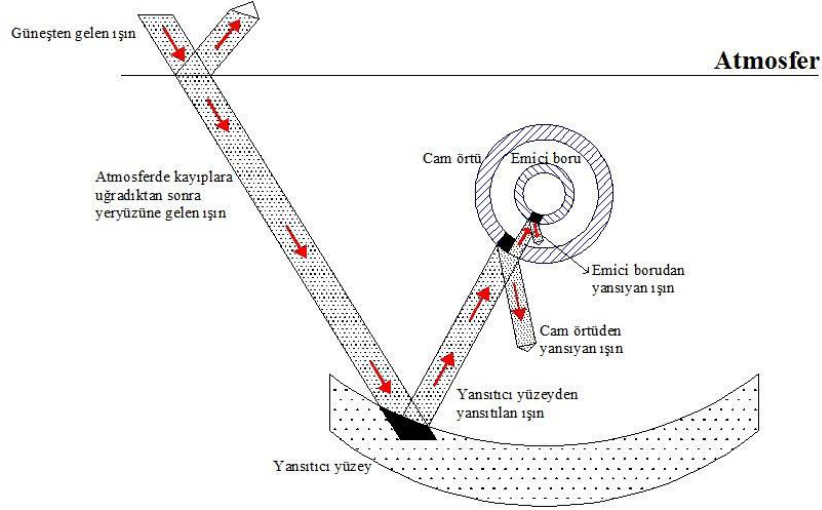


Şekil 3.2. Parabolik yoğunlaştırıcının üç boyutlu hali (Şanlı, 2010)

### 3.1.2. Silindirik parabolik güneş toplayıcılarında optik kayıp ve analizi

Güneşten gelen ışınlar, enerjisini ısı transfer akışkanına %100 verimle iletemez. Belirli kayıplara uğradıktan sonra enerji transfer edilen iş akışkanına iletilir. Güneşten çıkan ışınlar atmosfer üzerinde belli kayıplara uğrar. Atmosferi geçen ışınlar transfer edilen iş akışkanına gelene kadar sırasıyla yansıtıcı yüzey, cam örtü ve emici boruda optik kayıplara uğrarlar (Şanlı, 2010).

Şekil 3.3'te görülen görselde ifade edildiği gibi güneşten çıkan ışınım ilk önce atmosferde belirli kayıplara uğradıktan sonra dünyaya ulaşır. Parabol şeklindeki yansıtıcı yüzeye gelen güneş ışınlarını yansıtıcı yüzeyin maddesel özelliği olan soğuma katsayısına bağlı olarak enerjisinin bir kısmı soğurularak yansıtılır. Yansıtıcı yüzeyden yoğunlaştırılan güneş ışınlarını ilk önce cam örtüye iletilir. Cam örtünün maddesel özelliği olan yansıtma katsayısı ve soğuma katsayısına bağlı olarak ışınların bir kısmı geri yansıtılır, kalan ışınım emici boruya iletilir. Emici borunun maddesel özelliği olan yansıtma katsayısı ve soğuma katsayısına bağlı olarak güneş ışınlarının bir kısmı dışarıya yansıtılırken kalan kısmı emici boru tarafından transfer edilen iş akışkanına iletilir.



Şekil 3.3. Parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcılardaki ışın transfer şeması (Şanlı, 2010)

Yukarıda anlatılan enerji iletimi işleminin her kademesindeki optik kayıp ve optik verimlerinin tek tek belirlenmesi hem sistem verimliliği hesaplaması hem de bize işlemin daha iyi anlaşılması fırsatını verir. Şekil 3.3'te görülen güneş ışınımını tek tek adlandıracak olursak (Şanlı, 2010);

- $G_I$  = Sabit güneş ısı akısı ( $1367 \text{ W/m}^2$ )
- $G_{I_A}$  = Atmosferde kayıplara uğradıktan sonraki güneş ışınları (direkt gelen)
- $G_{I_{YY}}$  = Yansıtıcı yüzeye gelen güneş ışınları (dik olarak)
- $G_{I_c}$  = Cam örtüye isabet eden güneş ışınları
- $G_{I_{EB}}$  = Cam örtüden emici boruya gelen güneş ışınları
- $G_{I_{IE}}$  = Boruda depolanan güneş ısı

şeklindedir. Bu bilgiler ışığında sistemin optik verimi (Şanlı, 2010);

$$\eta_{optik} = \frac{G_{I_{IE}}}{G_{I_A}} \quad (3.7)$$

olarak belirlenir. Şekil 3.3'teki ışın şemasındaki her kademedeki verim (Şanlı, 2010);

$$\eta_1 = \frac{G_{I_{Y0}}}{G_{I_{YY}}} \quad (3.8)$$

$\eta_1$  olarak ifade edilen denklem 3.8'de verilen deklemden yansıtıcı yüzey yansıtma optik verimi olarak ifade edilir. Literatürde yaptığım inceleme sonucunda bu denklem gelme açısı düzeltme faktörü olarak ta adlandırılmaktadır (Şanlı, 2010).

$$\eta_2 = \frac{GI_{YO}}{GI_{YY}} \quad (3.9)$$

Denklem 3.9'da  $\eta_2$  olarak ifade edilen değer yansıtıcı yüzeyin optik verimidir (Şanlı, 2010).

$$\eta_3 = \frac{GI_c}{GI_{YO}} \quad (3.10)$$

Denklem 3.10'da  $\eta_3$  olarak ifade edilen değer yansıtıcı yüzeyin odaklama verimidir. Literatürde yaptığım inceleme sonucunda bu değer kesişim faktörü olarak da tanımlanır (Şanlı, 2010).

$$\eta_4 = \frac{GI_{EB}}{GI_c} \quad (3.11)$$

Denklem 3.11'deki  $\eta_4$  olarak ifade edilen değer cam örtünün optik verimidir (Şanlı, 2010).

$$\eta_5 = \frac{GI_{IE}}{GI_{EB}} \quad (3.12)$$

Denklem 3.12'deki  $\eta_5$  olarak ifade edilen değer emici borunun optik verimidir (Şanlı, 2010).

Tüm sistemin optik verimi yukarıda ifade edilen verimlerin çarpımına eşittir ve denklem 3.13'te verilmiştir (Şanlı, 2010).

$$\eta_{optik} = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \eta_4 \times \eta_5 \quad (3.13)$$

Önceki verilen tüm bilgiler doğrultusunda sistemin toplayıcı kısmında emici borunun yutması gereken enerji  $Q_G$  olarak adlandırılır ve denklem 3.14'teki gibi hesaplanır (Şanlı, 2010).

$$Q_G = G I_A \times \eta_{optik} = G I_A \times \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \eta_4 \times \eta_5 \quad (3.14)$$

Yansıtıcı yüzeyden odağa aktarılan güneş ışınımının denklemi 3.15'te verilmiştir (Şanlı, 2010).

$$G I_{YO} = G I_A \times \rho_y \times \eta_1 \quad (3.15)$$

Cam örtüden emici boruya iletilen güneş ışınımının denklemi 3.16'da verilmiştir (Şanlı, 2010).

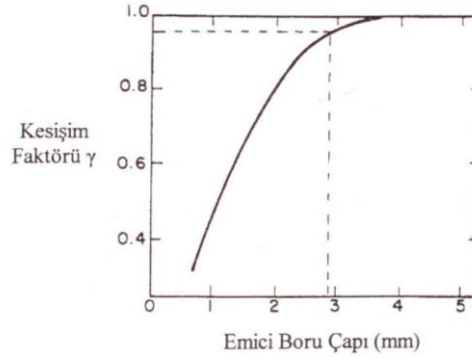
$$G I_{EB} = G I_{YO} \times \tau_{C\ddot{O}} \times \eta_3 \quad (3.16)$$

Denklem 3.14'teki denklem yeniden düzenlenecek olursa (Şanlı, 2010);

$$Q_G = G I_{IE} = G I_{EB} \times \alpha_{EB} \quad (3.17)$$

Yukarıdaki denklemler ile yansıtıcı yüzeyin optik verimini (literatürdeki adıyla kesişim faktörünü) tanımlamıştık. Kesişim faktörü, parabolik yansıtıcı yüzey tarafından yansıtılan güneş ışınımının emici boru yüzeyinde toplanan kısmını ifade eder. Literatürde bu değer  $\eta_3 \geq 0,9$  olarak verilmektedir (Çolak, 2003). Yansıtıcı yüzeyin üzerinde kir bulunması durumunda bu değer düşmektedir. Bu sebeple yüzeyin mutlaka temiz tutulması gerekmektedir. Emici boru çapının artırılması ile emici yüzey artırılmaktadır ve  $\eta_3$  değeri de artar. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus  $\eta_3$  'i artıracak optimum emici boru çapının seçilmesidir. Bu durum Şekil 3.4' te grafik ile ifade edilmiştir.



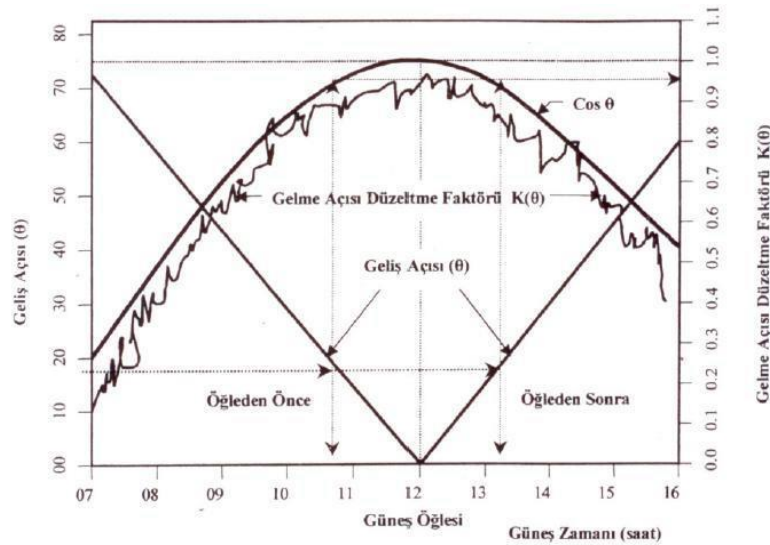


Şekil 3.4. Kesişim faktörünün emici boru çapına göre değişimi (Beckman, 2006)

$\eta_1$  yansıtıcı yüzey optik verimi olarak isimlendirilirken, diğer bir adıyla gelme açısı düzeltme faktörüdür. Güneş toplayıcısı açıklık alanına belli açı değerinde gelen güneş ışınımının optik veriminini dik geldiği konumdaki optik verimine oranıdır.  $\eta_1$  yansıtıcı yüzeyin açıklık alanına gelen ışınımın geliş açısının bir fonksiyonu olup, yüzey normalinden olan sapmaları hesaba katmak için kullanılır. Literatürde K olarak gösterilir ve denklem 3.18'deki gibi hesaplanır (Beckman, 2006).

$$K(\theta) = \cos\theta \quad (3.18)$$

Gelme açısı düzeltme faktörünün belirlenmesi için Türk Standartları Enstitüsü'nün TS9449 standartları kullanılır. Literatürdeki çalışmalarda test sonuçları verilen IST parabolik oluk tipi güneş toplayıcısına ait verilerden elde edilen güneş zamanı ve gelme açısı  $\theta$ 'ya bağlı olarak  $\cos\theta$  ve deneysel olarak bulunan gelme açısı faktörü  $K(\theta)$  'nın değişimi Şekil 3.5'te verilen grafik ile ifade edilmiştir (Şanlı, 2010).



Şekil 3.5. Geliş açısı düzeltme faktörünün değişimi (Beckman, 2006)

Silindirik parabolik kollektörlerin boyları kısaltıkça uç nokta ışınım kayıplarının, toplam ulaşan ışınım oranı artmaktadır. Bu sebeple kısa boylu kollektörlerin testlerinde uç nokta ışınım kayıplarının etkisini ortaya koyan aşağıda verilen korelasyon Rabl tarafından geliştirilmiştir (Beckman, 2006).

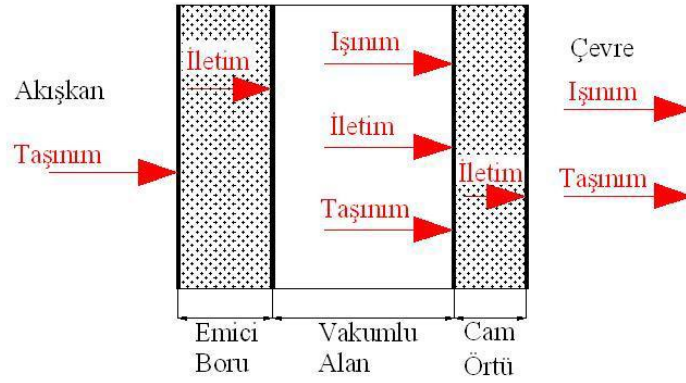
$$K(\theta) = 1 - \frac{f}{L_K} x \left( 1 + \frac{W_K^2}{48 x f^2} \right) x \tan\theta \quad (3.19)$$

Özetleyecek olursak, bu bölümde güneşten gelen ışınımın, silindirik parabolik kollektörde bulunan emici boru yüzeyine gelen güneş ışınımının nasıl belirleneceği noktasında bilgiler verilmiştir.

### 3.1.3. Silindirik parabolik güneş toplayıcısında ısı kaybı

Silindirik parabolik güneş toplayıcı sistemlerde optik kayıpların yanında ısı kayıpları da meydana gelmektedir. Yansıtıcı yüzeyden gelen ışınlar, parabolün odağında bulunan emici boruya yansıtılır ve ışınımın büyük bir bölümü emici boru tarafından yutulur. Bu işlem sonucunda emici boru içerisinde transfer edilen iş akışkanının sıcaklığı yükselir. Dolayısıyla ortam sıcaklığı ile akışkan sıcaklığı arasında fark oluşur. bunun sonucunda akışkandan çevreye ısı (enerji) transferi meydana gelir.

Transfer edilen iş akışkanının çevreye olan ısı transferi, akışkan sıvı ile emici boru yüzeyi arasındaki taşınım, emici borunun iç yüzeyi ile dış yüzeyi arasındaki iletim, emici boru dış yüzeyi ile cam örtünün iç yüzeyi arasındaki iletim, taşınım, ışınım (eğer vakum alan içerisinde hava tam olarak alınmışsa iletim-ışınım, alınmamışsa taşınım-ışınım), cam örtü iç yüzeyi ile dış yüzeyi arasındaki iletim, cam örtü dış yüzeyi ile çevre arasında taşınım-ışınım şeklinde olmaktadır (Şanlı, 2010). Literatürde yer alan bilgilere göre cam örtünün et kalınlığı, diğer boyutlara oranla çok küçük kabul edildiğinden cam örtü iç yüzeyi ile dış yüzeyi arasında iletim vasıtasıyla oluşan ısı kayıpları ihmal edilebilir (Beckman, 2006). Şekil 3.6'daki görsel incelendiğinde transfer edilen iş akışkanı ile çevre arasındaki ısı transfer şeması görülmektedir.



Şekil 3.6. Isı transfer akışkanından çevreye olan ısı transfer şeması

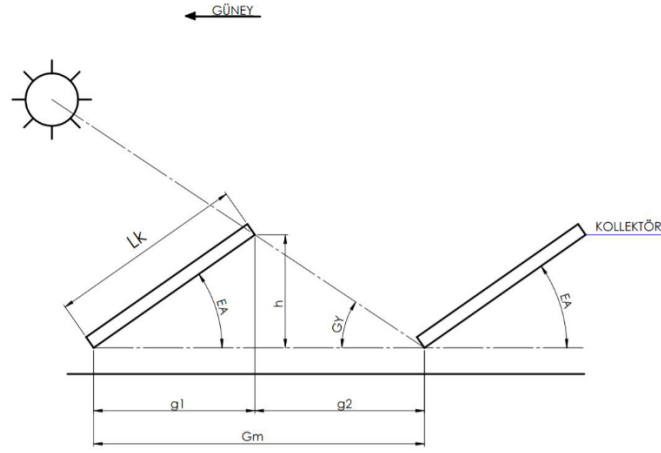
Silindirik parabolik güneş toplayıcılarda meydana gelen ısı kayıpları (Şanlı, 2010);

- Çevre sıcaklığı
- Rüzgar hızı
- Transfer edilen iş akışkanının özellikleri (sıcaklık, basınç, viskozite...)
- Parabolik kollektörün boyutları
- Cam örtünün boyu ve maddesel özellikleri
- Emici boru (selektif malzeme ile kaplanmış) boyutu ve özellikleri (ısı iletim katsayısı, kalınlığı, ışın yutma ve yayma oranı) ısı kayıpları etkileyen faktörlerdir.

Parabolik yoğunlaştırıcı sistemde Şekil 3.5' te de görüldüğü gibi ısı kayıpları en çok emici boru-cam örtü arasında olmaktadır. Emici boru sıcaklığı ile çevre sıcaklığı arasındaki fark arttıkça ısı kayıpları da artmaktadır (Şanlı, 2010).

### 3.1.4. Silindirik parabolik güneş toplayıcısında gölgeleme hesabı

Gölgeleme hesapları yapılırken, kollektörlerin güney yönüne yönlendirildikleri kabul edilecektir. Gölgeleme hesabının en faktörünü, sene içerisinde herhangi bir günde, parabolik kollektörlerin en fazla güneş ışınımını alabilmesini tahmini olarak belirleyebilmek için gerekli yerleştirme konumları belirler. Şekil 3.7'de dizi halinde sıralı olarak yerleştirilmiş güneş kollektörleri görülmektedir. Güneş kollektörleri şekildeki gibi yerleştirildiğinde 22 aralıktaki günün en kısa gününde bile birbirlerinin üzerine gölgeleme yapmamış olurlar.



Şekil 3.7. Dizin halindeki kollektörlerin gölgeleme hesabı için gerekli parametreler (Nuhoğlu, 2017)

Yılın en kısa günü olan 22 aralıkta cisimlerin gölgelerinin en kısa olduğu gündür. Dolayısıyla Şekil 3.6'da verilen ve  $G_m$  ile gösterilen gölgelenme mesafesi olarak bilinen güneş kollektörleri arasındaki yatay uzaklığın, 22 aralık tarihinde 10:00-14:00 saatleri arasında sağlanması gerekir. Böylelikle saat 10:00'dan önce ve 14:00'dan sonra kollektörler üzerine gölge düşse bile yılın en kısa gününde maksimum verimlilikte güneş ışınımından faydalanılmış olur (Nuhoğlu, 2017). Bu durum sene içerisinde birkaç gün yaşanacağı için 22 aralığa göre kollektörler arasındaki mesafeyi ayarlamak anlamsız olabilir. Güneş kollektörleri arasındaki mesafenin fazla olması, normal koşullar için tasarlanmış bir sisteme göre maliyet açısından fazla olabilir.

Ardarda yerleştirilmiş güneş kollektörleri arasındaki  $G_m$  mesafesi yaklaşık olarak kollektör eğim doğrultusunun ( $L_k$ 'nin) üç katı olur. Bu kural özellikle kuzey yarım kürede ve kollektörlerin eğim açısının enlem derecesinden  $15^\circ$  fazla alındığı kışın yapılan uygulamalar için geçerlidir (Nuhoğlu, 2017).

Kollektörler arasındaki ölçü ( $G_m$ ), Şekil 3.6'daki görselden faydalanılarak aşağıda hesaplanmıştır (Nuhoğlu, 2017).

$$G_m = L_k \times \left( \frac{\sin E_A}{\tan G_Y} + \cos E_A \right) \quad (3.20)$$

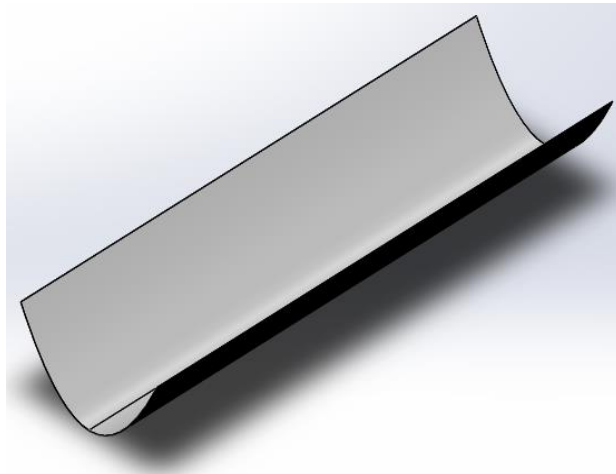
Formülde verilen  $G_m$  ifadesi kollektör dizinleri arasında bırakılması gereken mesafeyi,  $L_k$  ifadesi kollektörlerin boyunun uzunluğunu,  $E_A$  ifadesi kollektörlerin yatay düzlem

ile yaptıkları açığı (eğim açısı olarak da ifade edilir) ve son olarak  $G_Y$  ifadesi dizi halindeki kollektörlerin güneşi direk görmeye başladıkları açı değeridir.

### 3.1.5. Silindirik parabolik güneş toplayıcısının tasarımı

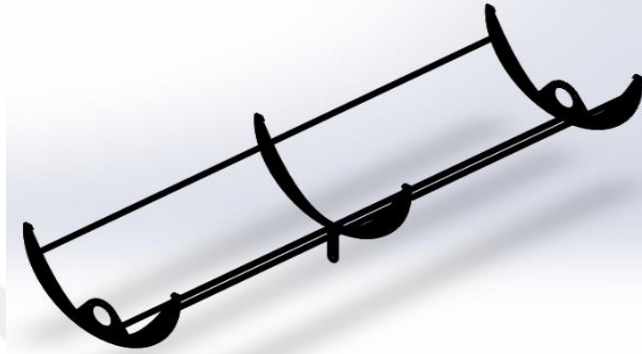
Tezin deney çalışmasında güneş takip sistemlerini karşılaştırmak için 300 mm çapında ve 1 metre uzunluğunda dört adet hücreye sahip, güneş yükseklik açısına göre ayar mekanizmasını beşer derecelik açılar ile mekanik olarak ayarlayabildiğimiz, güneş azimuth açısına göre güneş takibini krank biyel mekanizması ile DC lineer aktüatör kullanarak yapabilen sistem tasarımı yapılmıştır. Sistemin görsel ve mekanik tasarımı, hesapları ve imalata uygun teknik resimleri SolidWorks programı ile hazırlanmıştır. Silindirik parabolik çanakların odak hesabı ve çanakların ölçülerinin hesaplanması için Parabola Calculator programından faydalanılmıştır.

Sistemin tasarımına önce parabolik olukların tasarımından başlanmıştır. Deney düzeneği için tasarımı yapılan sistemin gücü hesaplandıktan sonra ölçüleri  $\text{Ø}300 \times 1000 \text{ mm}$  olan oluk şeklinde parabolik çanakların üretilmesine karar verilmiştir. Olukların boruya ışığı odaklayabilmesi için malzeme olarak 304 kalite paslanmaz çeliğe karar verilmiştir. Bu malzemeye karar verilmesinin öncelikli sebebi güneş ışığını yüzde yüze yakın yansıtabilmesidir. Diğer bir sebebi ise içeriğinde krom ve nikel elementleri bulunması sebebiyle dış ortam şartlarında korozif etkilere dayanıklı olmasıdır. Anlatılan parabolik aynalı çanakların görsel ifadesi Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



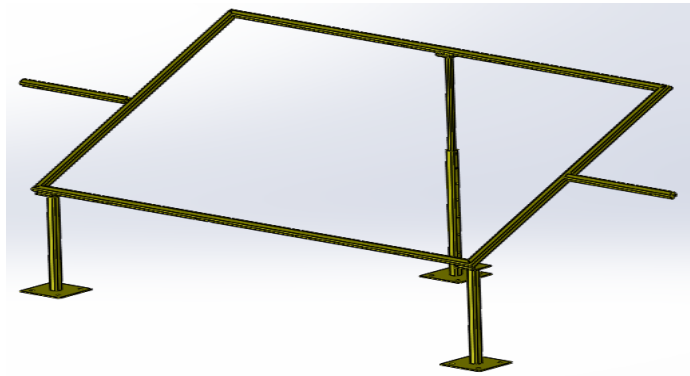
Şekil 3.8. Parabolik oluğun aynalı yüzeye sahip yansıtıcı sacının tasarımı

Çanak ölçüleri belirlendikten sonra çanağın oturtulacağı kafes sistemin konstrüksiyonu tasarlanmıştır. Çanağın oturtulacağı saclar ST37 kalite ve 3mm kalınlıkta seçilmiştir. Kafes saclarını birleştirmek için Ø10mm ölçüsüne demir çubuk kullanılmıştır. Bu malzemeleri kullanmamızın en önemli sebebi sağlayacağı hafiflik sebebi ile seçilecek olan motor torkunu düşürmesidir. Çanak kafesinin nihai tasarımı Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



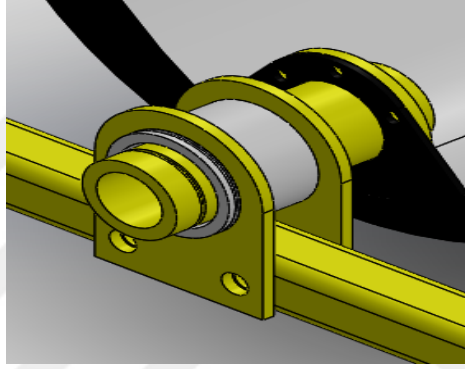
Şekil 3.9. Parabolik çanağın kafes sistemi tasarımı

Çanak şekli ve tasarımı iyiden iyiye ortaya çıkarıldıktan sonra güneş kollektörlerinin gölgelenmesi hesabına göre belirlenen kollektörler arası mesafe baz alınarak kollektörlerin dizileceği üst şasinin tasarımı yapılmıştır. Şasi konstrüksiyonu için 30x30x3mm ölçülerine sahip profil seçilmiştir. Yatak yerleri de belirlenmesinin ardından sistemin ayaklarının tasarımına geçilmiştir. Motorlar ve krank kolları montajı kolaylığı ve sistem çalışırken gözle kontrole imkan vermesi ve gerektiğinde sisteme müdahale etmeyi kolaylaştırmak adına üst şasi yerden 50cm yükseltilmiştir. Arka ayak kısmında ise Isparta ili için güneş yükseklik açısı değişimine göre ayar yapmaya imkan veren ayak tasarımı yapılmıştır. Şekil 3.10'da anlatılan sistemin görseline yer verilmiştir.



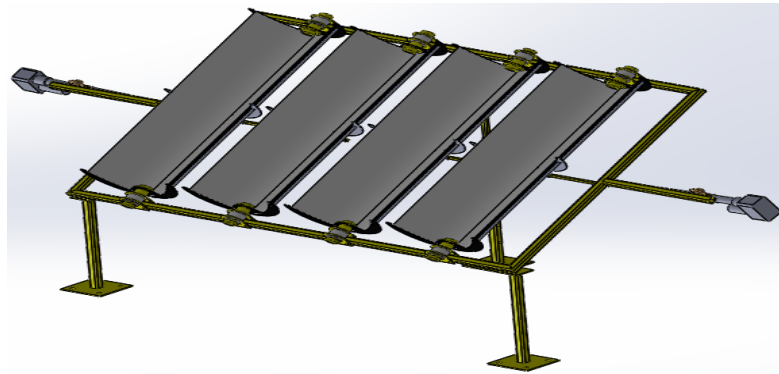
Şekil 3.10. Parabolik çanağın şasi tasarımı

Olukların ve şasinin oluşturulmasının ardından olukların hem içerisinde çalışacağı hem de şasiye bağlanacağı yatakların tasarımı yapılmıştır. Yatakların tasarımı yapılırken maliyet faktörü göz önüne alındığından hazır olarak piyasada bulunabilen UCP tipindeki rulmanlı yataklardan kullanılmamıştır. Bunun yerine ST37 kalite 5mm sacdan yatak tasarlanmış ve kayıcıların içerisinde çalışacağı poliüretan plastik kökenli delrin malzemenin yatak tasarlanmıştır. Delrin malzemenin seçilmesinin nedeni yüzeyinin sürtünme katsayısı düşük olduğundan yatak olarak kullanılmaya elverişlidir. Olukların yataklarla bağlantı kısmında ise ST37 kalite etli borunun ucuna flanş bağlantısı düşünülmüş ve böylece sistemin hareketli aksamı tamamlanmıştır. Şekil 3.11’de oluk kafeslerinin yatak bağlantısı görsel olarak ifade edilmiştir.



Şekil 3.11. Parabolik oluğun şasi bağlantısı ve yataklaması tasarımı

Sistemin şasi konstrüksiyonu, olukların kafes ve yataklama bağlantılarının tasarımının yapılmasının ardından sistemin hareket mekanizması için krank-biyel mekanizması mantığında çalışması için biyel kolu tasarlanmıştır. Motor kulaklarının yeri ve montaj şekli belirlenmiş sonrasında krank-biyel mekanizması ile motorun ne kadar ilerlediğinde olukların kaç derece açı yapacağı hesaplanmış ve sistemin tasarımı tamamlanmıştır. Tamamen tasarımı tamamlanan sistemin görseli Şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.12. Deney düzeneğinin tasarımı

### 3.1.6. Silindirik parabolik güneş toplayıcısının imalatı ve montajı

Tasarımı tamamlanan sistemin imalatına üst şasiden başlanmıştır. 113x117cm ölçülerinde dikdörtgen biçiminde kaynaklanan üst şasinin uçlarına 40cm ölçüsünde motor kulağı kaynaklanmıştır. Kaynak işlemi bittikten sonra şasi üzerine yatak bağlantıları ve motor bağlantısı için civata delikleri sütun matkap vasıtasıyla delinmiştir.

Yatakların içerisinde kayıcı olarak kullanılacak Ø55x50mm ölçülerindeki içi dolu delrin malzeme universal torna tezgahında Ø45mm delik ve silindirin üst yüzeyine iki adet segman kanalı açılmıştır. Delrin malzemenin takılacağı sac parçalar CNC lazer kesim tezgahında 5mm sacdan kestirilmiş ve imalatı biten üst şasi üzerine civata-somun ve segman bağlantıları vasıtası ile montajlanmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Yataklamanın üst şasiye montajı

Kollektörler ile üst şasi arasına yataklama içerisinde çalışacak bir bağlantı elemanı yapılması gerekmektedir. Bunun için tasarımında ST37 kalitede etli borunun uç kısmına delikli flanş kaynaklandıktan sonra parçanın kaynak sebebiyle çarpılması sonucu sistem üzerinde olumsuz etki yaratabileceğinden, universal torna tezgahında 1mm talaş payı ile kaba tormalanarak balansı alınmıştır. Yine torna tezgahında uç kısmına segman kanalı açılmıştır.

Parabolik oluklarda yüksek yansıtıcılığa sahip 304 kalite aynalı paslanmaz sac ilk önce belirlenen ölçüde CNC lazer kesim tezgahında kesildikten sonra silindir büküm tezgahından geçirilerek nihai parabolik şekli verilmiştir. Oluk sacları ST37 kalite 3mm sacdan CNC lazer kesim tezgahında kesildikten sonra Ø10mm aksonlar ile uygun ölçüde birleştirilmiştir. İmalatı tamamlanan kafeslere nihai şekli verilen yansıtıcı yüzeye sahip saclar yerleştirildikten sonra kafes sisteminin montajı tamamlanmıştır (Şekil 3.14).





Şekil 3.14. Parabolik olukların kafes imalatı

İmalatı tamamlanan kafes sistemlerinin arkası gelen ısıyı tutması için siyah renge boyanmıştır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Parabolik olukların arka yüzlerinin boyanması

İmalatı tamamlanan parabolik oluklar bağlantı elemlerinin yataklara oturtulması ile üst şasiye montajlanmıştır (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. İmalatı tamamlanan parabolik olukların üst şasiye montajı

Kollektörün eğim açısı ayarını ve yerden yüksekte durmasını sağlayan ayakları 30x30x3mm profilden imal edilmiştir. Ön ayaklar belirlenen ölçüde (50cm) kesildikten sonra lazer kesim ile 5mm ST37 kalite sacdan kesilmiş ayak taban sacları kaynaklanmıştır. Ön ayakların diğer ucuna menteşe yuva sacları ve metal menteşeler kaynaklanmıştır. Arka ayakta ise 30x30x3mm profilden 65cm kesilmiş ve ayak taban sacı kaynaklanmıştır. Arka ayağın içerisinde çalışacak ayar ayağı için 20x20x2mm profilden 60cm kesilmiş ve bir ucuna taşıyıcı u sac kaynaklanmıştır. Arka ayağın üzerine güneş yükseklik açısına göre aylık ayar yapabilmemiz için 5°'lik ayar yapabilecek şekilde delikler delinmiştir. Ayaklar monte edilmiş ve eğim açısı doğruluğu açı ölçer ile kontrol edilmiştir. Ardından arka ayak deneyin yapılacağı ay içerisinde hesabı yapılan eğim açısı değeri olan 15°'ye ayarlanmış ve yere montajı yapılmıştır (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Sistemin deneyin yapılacağı ortama kurulması

Krank-biyel hareketi yapması amacıyla tasarlanan krank kolu CNC lazer kesim makinası yardımıyla ST37 kalite 8mm kalınlığa sahip sacdan kesilmiştir. Kesilen sac olukların birleştirilmesi amacı ile ilgili yere cıvata-somun bağlantısı kullanılarak montajı yapılmıştır. Motorlarında sisteme montajının tamamlanmasının ardından mekanik sınır anahtarları ile sistemin güvenli olarak çalışacağı sınırlar da belirlenmiştir. Böylelikle montaj aşaması tamamlanmıştır (Şekil 3.18). Tüm mekanik sisteme ait imalat resimleri tezin ekler kısmında verilmiştir.



Şekil 3.18. Deney düzeneğinin montajının tamamlanması

### **3.1.6.1. İmalatta kullanılan malzemeler**

Deney çalışmasını yapacağım prototip sistemin tüm sac aksamında 5mm kalınlığa sahip ST37 kalite düşük karbon içeren çelik sac kullanılmıştır. Yanlızca parabolik oluk kafesinin sacları 3mm ve hareket mekanizmasının krank kolu 8mm et kalınlığa sahip sacdan imal edilmiştir. Saclar CNC lazer kesim tezgahında kesilmiştir. Yeni teknolojiye sahip bu tezgahlar ile kesim işlemi yapıldığından bu işlem 0,02mm hassasiyetle gerçekleştirilmiştir.

Deney düzeneği üzerindeki tüm iskelet (üst şasi, ön ayaklar, arka alt ayak ve motor bağlantı kulakları) 30x30x3mm ölçülere sahip profilden imal edilmiştir. Bu profilin seçiminde hem sistemin rijit olamsı gerekliliği hem de 3mm et kalınlığına sahip olduğundan kaynak yaparken çarpılma sorununun önüne geçmesi gibi avantajlar etkili olmuştur. Sistemde yanılcza arka üst ayakta 20x20x2mm profil kullanılmıştır. Arka ayağın ayar mekanizmasına sahip olmasından dolayı bu ölçüde profil kullanılmıştır.

Deney düzeneğinin yataklamasında Ø55 mm ölçüsünde delrin isimli poliüretan plastik malzeme kullanılmıştır. Yataklamada delrin kullanılmasının sebebi yukarıda bahsettiğim gibi sürtünme katsayısı düşük bir malzeme olduğundan dolayı taşıyıcının içerisinde rahat çalışmasıdır. Taşıyıcılar ise 1050 (ST37 kalite çelik malzemedede etli borudan yapılmıştır. Taşıyıcıların kafesler ile bağlantısı ST37 kalitede 5mm sacdan kesilen çelik flanş ile sağlanmıştır. Hem delrin malzemenin sac aksama montajında hem de taşıyıcıların sisteme montajı sırasında farklı çaplarda mil üstü çelik segman kullanılmıştır.

Tüm sistemin montajı sırasında kullanılan cıvata ve somunlar dış ortam şartlarında oluşan korozif etki sebebiyle bozulmaması amacıyla galvaniz kaplı olanlarından seçilmiştir.

### **3.1.7. Silindirik parabolik güneş toplayıcısının mekanik tesisatı**

Deney düzeneğinde kurulan kontrol sistemlerinin suyu ısıtma gücü performansını ve gün sonundaki su ısıtma kapasitesini karşılaştırmak için iki adet çift ceketli ve yalıtımlı su deposu kullanılmıştır. Kullanılan su depoları farklı kapasitelerde olduğundan her

birinin kullanım suyu deposuna eşit hacimde su doldurulmuştur. Çeket kısımları ise tamamen doldurularak deneyler yapılmıştır. Şekil 3.19’da kullanılan su depoları gösterilmiştir.



Şekil 3.19. Sistemde kullanılan su deposu

Deponun çeket hattı üzerindeki çeket çıkışından alınan boru kalorifer pompası yardımıyla sisteme basılmıştır. Pompalar su devirdaimini sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Deney düzeneğindeki her iki sistemde Şekil 3.20’de gösterilen özdeş pompalar kullanılmıştır. Kullanılan pompalar aynı hızda çalıştırılmıştır.



Şekil 3.20. Tesisat üzerindeki kalorifer pompası

Kalorifer pompasından çıkan boru kollektörlerin üzerindeki güneşin odaklandığı bakır boruya bağlanmıştır. Giriş suyu sıcaklığını ölçmek amacıyla sistem girişine bir te manşon konulmuş ve sistem giriş suyu sıcaklığı ölçülmüştür (Şekil 3.21).





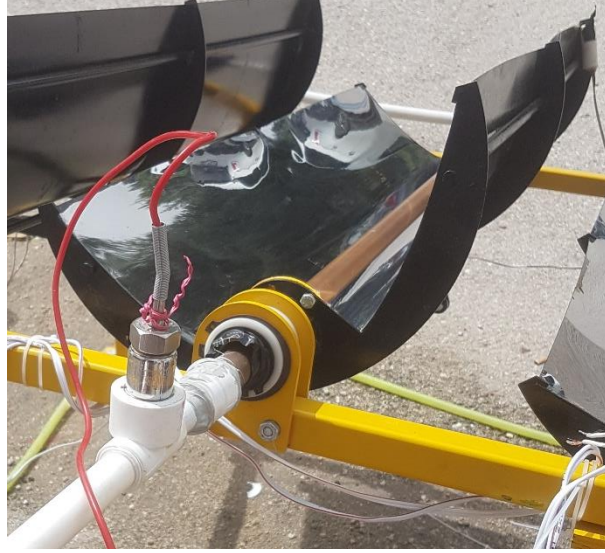
Şekil 3.21. Tesisat üzerindeki giriş suyu sıcaklığını ölçen termokupl bağlantısı

Aynı kontrol sistemi ile güneşi takip eden hücreler, daha yüksek su sıcaklığı elde edebilmek için seri bağlanmıştır. Bağlantısı yapılan hücreler Şekil 3.22’de gösterilmiştir.



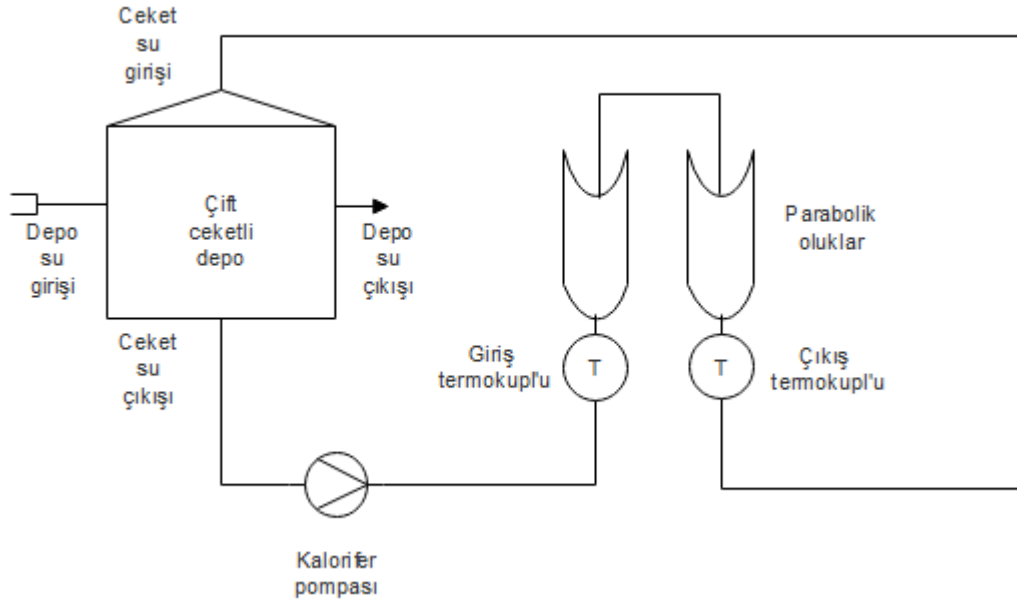
Şekil 3.22. Seri bağlanmış hücrelerin tesisatı

Hücrelerin çıkışında ise çıkış suyu sıcaklığını ölçebilmek için tesisat üzerine te manşon takılmıştır. Takılan te manşon üzerine termokupl monte edilerek giriş ve çıkış su sıcaklığı hem takip edilmiş hem de kaydedilmiştir (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. Tesisat üzerindeki çıkış suyu sıcaklığını ölçen termokupl bağlantısı

Termokupl ile ölçüm noktasından çıkan su tesisatı depoya bağlanmıştır. Her gün deneylere başlamadan önce her iki sistemin su seviyeleri kontrol edilmiş, sistemlerin hava yapma ihtimallerine karşılık tesisat havaları her gün alınmıştır. Tesisatın tüm devresinin görseli Şekil 3.24’te gösterilmiştir.



Şekil 3.24. Su tesisatı devresi şeması

### 3.1.7.1. Tesisatta kullanılan malzemeler

Parabolik oluklar üzerinde güneşin odaklandığı kısımda ısı iletim katsayısının yüksek olmasından dolayı Ø25mm çapında 1mm et kalınlığında bakır boru kullanılmıştır. Depodan sistem girişine kadar ve sistem çıkışından depoya kadar kısımda Ø20mm

PPRC plastik malzemeden üretilmiş sıhhi tesisat borusu kullanılmıştır. Sistemin girişi ve çıkışında bakır boru ve plastik boru birleşim noktalarında yine PPRC plastik malzemeden üretilmiş redüksiyon kullanılmıştır. Birleşim yerlerinde su sızdırmazlığını garanti etmek amacıyla ısıya dayanıklı termal conta ile kapatılmıştır (Şekil 3.25).



Şekil 3.25. Tesisat üzerindeki bakır-plastik boru birleşim noktaları

Sistemlerin giriş ve çıkışlarında su sıcaklığını ölçmek için PPRC plastik malzemeden üretilmiş te manşon kullanılmıştır. Termokupllar bu manşonlara yükseltici kullanılarak monte edilmiştir. Tesisat üzerinde fittings malzeme olarak PPRC plastik malzemeden üretilmiş dirsekler ve manşonlar kullanılmıştır.

### **3.2. Güneş Işınımı Algoritmasına Göre Güneş Takip Yöntemi**

Tez çalışmamda kullanılan güneş ışınımı algoritması ile güneş takip yönteminde GPS modülü üzerinden gerçek zamanlı olarak alınan veriler “Arduino Uno” mikrodenetleyici kontrol kartı ile güneşin gün doğumundan gün batımına kadar olanki hareket denklemleri ile işlenerek güneş açılarının hesapları yapılmıştır. GPS modülü üzerinden koordinat verileri alınarak güneş takibi işlemi yapıldığından, GPS sinyali alınabilen dünyanın her noktasında herhangi bir sapma yaşanmadan güneş takibi işlemi verimli bir şekilde yapılmaktadır. Sisteme bir kere enerji verildikten sonra hiçbir ayara ihtiyaç duymaksızın çalışmasına devam edebilmektedir. Geliştirilen yazılım ve algoritma sayesinde güneşin gün boyunca hareketi izlenmiştir.

### 3.2.1. GPS tabanlı güneş takip sistemi

GPS tabanlı güneş takip sisteminde, GPS modülü üzerinden alınan sinyal seri haberleşme kullanılarak “Arduino Uno” mikrodenetleyici kontrol kartı ile anlamlı verilere (kodlara) dönüştürülür. Dönüştürülen veriler enlem açısı, boylam açısı, tarih ve saat bilgilerine dönüştürülür. Bu bilgiler ile bölüm 1.3’teki güneş açılarının matematiksel denklemi “Arduino” derleyicisi ile yazılır ve bu açılar arasından güneş yükseklik açısı ve güneş azimuth açısı hesaplanır. Yapacağım çalışmada tek eksen güneş takibi yapıldığından dolayı yalnızca azimuth açısına bağlı olarak güneş takibi yapılmıştır.

Sistemde, sistem girişindeki verileri işleme alarak sistem çıkışlarını yönetecek bir mikrodenetleyici ihtiyacı vardır. Bu ihtiyaç “Arduino Uno” kontrol kartı ile giderilmiştir. Bu kartın kullanılmasının sebebi üzerinde ihtiyacımız olan sayıda giriş ve çıkış portu bulundurması, kolay ulaşılabilir olması ve ucuz olması, açık kaynak kodlu bir sistem olması nedeniyle birçok modülü programlayabilmek için çok sayıda kütüphaneye erişilebilmesidir.

“Arduino Uno” mikrodenetleyici kontrol kartı çıkışından alınan yön ve hız sinyali, lineer hareketli DC aktuatörü sürmek için motor sürücüsüne aktarılmıştır. Kullandığım motor sürücü “L298N” DC motor sürücüsüdür. Bu sürücünün seçilmesinin sebebi kolay kullanımı, basit ve ucuz olması ile piyasadan rahatlıkla temin edilebilmesidir. Ayrıca motor çıkışından maksimum 2,5 amper akım çekilebilmesine izin vermesidir. Arduino’dan gelen ileri ve geri yön sinyalleri kart üzerindeki IN1 ve IN2 girişlerine aktarılır. Sürücü kartı bu girişlere gelen sinyal ile polaritesini değiştirerek motorun dönüş yönünü değiştirebilmektedir. EN girişine gelen 0-5 volt sinyal ile motor devir sayısını ayarlayabilmektedir.

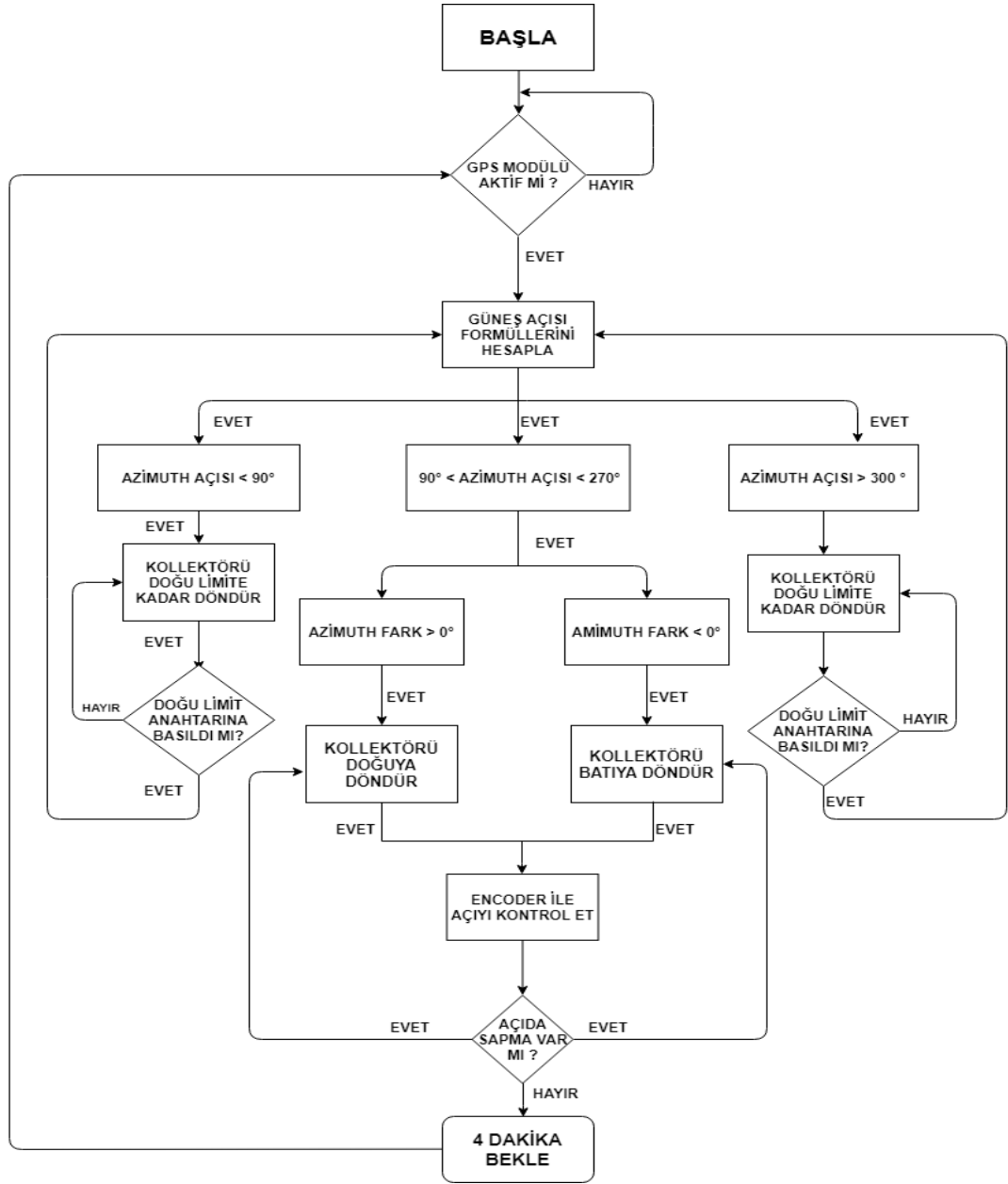
Sistem üzerinde enkoder kullanmamızın nedeni kontrol sistemimde yer alan denetim sistemini kapalı çevirim denetim sistemi olarak tasarlamış olmamdır. Eğer açık çevirim bir sistem olarak kontrolörü dizayn etseydim, sistemde geri besleme üzerinde denetleyici olmadığından sistemin açısal doğruluğu hakkında kesin bir kanıya varılamazdı. Bunun için sistem üzerine konumlandırılan enkoder sayesinde sistemin istenilen açıda olup olmadığı  $\pm 0,5^\circ$  hassasiyetle sağlanmıştır.



Her sistem mekaniksel olarak belli sınırlar dahilinde çalışmaktadır. Ayrıca azimuth açısı gün doğumundan gün batımına kadar  $90-270^{\circ}$  arasında olduğundan dolayı dönüş hareketinin başlangıç ve bitiş noktalarını kontrole tanıtmak için sistem üzerine mekanik sınır anahtarları monte edilmiştir. Ayrıca sistem üzerine mekanik sınır anahtarları konularak sistem mekanik olarak sınırlandırılmış ve istenmeyen durumlar oluşmasının önüne geçilmiştir.

Sistemde parabolik oluklara hareket vermek için aktuatör olarak lineer hareketli DC motor kullanılmıştır. Lineer bir aktuatör kullanmamızın sebebi sistem krank-biyel hareketi ile hareket edeceğinden doğrusal hareket veren motor ihtiyacı kaynaklıdır. Ayrıca kullanacağımız motor belirlenmeden önce sistemi hareket ettirmek için gerekli olan tork ve hareket mesafesi hesaplanmış, ihtiyaç doğrultusunda motor seçimi yapılmıştır.

Son olarak toparlayacak olursak GPS modülünden alınan veriler işlenerek enlem açısı, boylam açısı, tarih ve saat bilgilerine dönüştürülmüş, bu bilgiler ile güneş açıları hesaplanarak güneş azimuth açısına göre tek eksen güneş takip sistemi kontrolörü tasarımı yapılmıştır. Bu sayede sistem üzerindeki parabolik yoğunlaştırıcı oluklar, güneş ışınımını günün her saati dik bir şekilde alarak gelen enerjinin en verimli şekilde transfer edilen iş akışkanına iletilmesini sağlamaktadır. Güneş açısı hesaplarına göre motor hareketlerinin doğruluğu, sistem üzerine konumlandırılan dönersel enkoder ile kontrol edilmektedir. Sistem, yazılımda geliştirilen algoritma ile, GPS modülü sinyal almaya başladıktan, yani aktif hale geçtikten sonra güneşi izlemeye başlar. Bu sayede karşılaşılabilecek algoritma hatalarının ve karışıklıkların önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen GPS tabanlı güneş takip algoritmasının çalışma algoritması Şekil 3.26'da gösterilmiştir.



Şekil 3.26. GPS tabanlı güneş takip sistemi çalışma algoritması

### 3.2.2. Arduino kontrol kartı

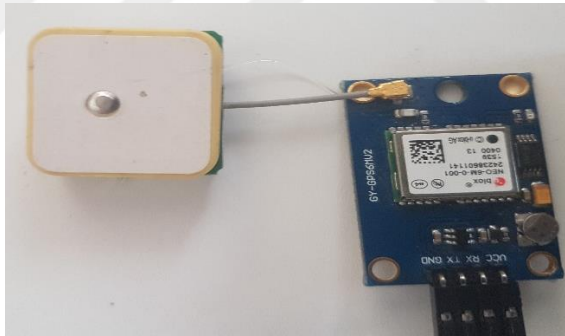
Takip sisteminde mikrodenetleyici kontrol kartı olarak Arduino Uno kullanılmıştır. Kontrol kartı üzerinde ATmega 328P mikrodenetleyici bulunmaktadır. Çalışma gerilimi 5V'tur. Üzerinde ATmega 16U2 haberleşme çipi bulunan kartta 6 tanesi PWM olmak üzere 14 adet giriş ve çıkış pini bulunur. Kart, 32 KB flash hafızaya, 2 KB sram'e ve 1 KB eeprom hafızaya sahiptir. Dahili osilatör frekansı 16 MHz'dir. Sistemde kullanılan "Arduino Uno" kontrol kartı Şekil 3.27'de gösterilmiştir.



Şekil 3.27. Arduino Uno mikrodenetleyici kontrol kartı

### 3.2.3. GPS modülü

Çalışmada kullanılan GPS modülü GY-NEO6MV2 model koduna sahip bir modüldür. Modül üzerinde NEO6 IC chip ile 5 metre hassasiyette konum bilgisi alınabilir. Ayrıca üzerindeki UART (RX-TX) haberleşme birimi ve 25x25mm seramik anteni sayesinde kolaylıkla kullanılabilen bir modüldür. Üzerinde EEPROM için bir pil de bulunan modül, enerji kesintisinde konfigürasyon ayarlarını saklayabilir. Kullanılan GPS modülü Şekil 3.28’de gösterilmiştir.



Şekil 3.28. GY-NEO6MV2 GPS modülü

### 3.2.4. Lineer hareketli DC aktüatör

Tez çalışmam için oluşturduğum prototip sistem üzerinde aktüatör olarak “TZC” marka “HARL-3612+” model lineer hareketli DC motor kullanılmıştır. 12 inç boyunda olan aktüatör kapalı vaziyette 45cm, açık vaziyette 90cm uzunluğa sahiptir. Maksimum 350 kg ağırlık taşıma kapasitesine sahiptir. Maksimum yüklü durumda iken çektiği akım 2 amper olduğundan h köprülü DC motor sürücüleri ile kolaylıkla kontrol edilebilmektedir. Çalışma gerilimi 12-36 VDC’dir.Yapısı itibari ile dış ortam şartlarına dayanıklı olarak üretildiği için güneş takip sistemleri başta olmak üzere

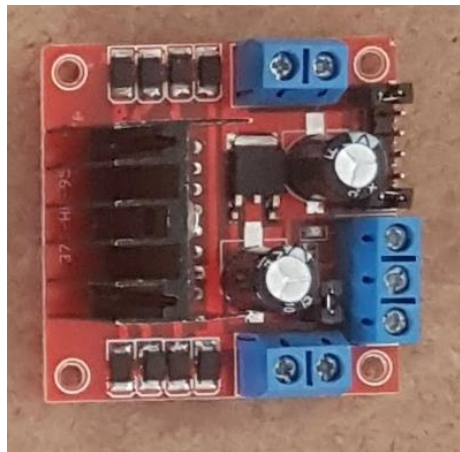
limitleri dahilinde tüm saha çalışmalarında rahatlıkla kullanılabilir. Lineer hareketli DC aktuatörün görseli Şekil 3.29’da verilmiştir.



Şekil 3.29. TZC marka HARL3612+ model lineer hareketli DC aktuatör

### 3.2.5. Motor sürücü

Sistem üzerinde kullanılan motor sürücüsü “L298N” h-köprü motor sürücü kartıdır. Bu sürücü kartı iki kanala sahip olduğundan iki ayrı DC motoru aynı anda kontrol edebilir veya bir step motoru iki kanal ile kontrol edebilmektedir. Her iki kanaldan sürekli olarak 2 ampere kadar akım çekilebilmeye imkan verir. 6-15 volt arasında çalışma gerilimine sahip motorlar için rahatlıkla kullanılabilen bu kart üzerinde 12 volta kadar besleme gerilimi için voltaj regülatörü üzerinden 5 volt çıkışı vardır. Bu çıkış ile Arduino gibi mikrodenetleyici kontrol kartlarına rahatlıkla güç beslemesi yapılabilir. Ayrıca PWM bacakları ile DC motorlara yön kontrolü ile birlikte PWM kontrolü ile devir sayısı ayarı da yapılabilir. Sistemde kullanılan motor sürücü kartının görseli Şekil 3.30’da verilmiştir.



Şekil 3.30. L298N motor sürücü kartı

### 3.2.6. Enkoder

Enkoderler, bağlandığı motor milinin hareket açısı ve devir sayısına göre dijital bir elektrik sayısı üreten ölçüm cihazlarıdır. Sistem üzerinde motorlara verilen açısal dönme emirlerinin doğru bir şekilde uygulandığının kontrolü amacıyla tasarlanan denetim sisteminin geri besleme elemanı olarak kullanılır. Şekil 3.31’de görseli verilen dönersel encoder sistemde güneş azimuth açısının doğruluğunu tespit etmek için motora bağlanmıştır.



Şekil 3.31. Autonics marka E80S8-100-3-T-24 model dönersel enkoder

Deney düzeneği üzerinde “Autonics” marka “E80S8-100-3-T-24” model dönersel enkoder kullanılmıştır. Bu enkoderin teknik özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Sistemdeki enkoderin teknik özellikleri

Parametre	E80S8-100-3-T-24
Çalışma Gerilimi	12-24 Volt
Mil Çapı	8 mm
Çözünürlük	100 pals
Çıkış Fazları	A, B, Z

### 3.2.7. Mekanik sınır anahtarı

Mekanik sınır anahtarı, sistemde güneş azimuth açısının değişimine göre sistem üzerindeki doğu-batı sınırının belirlenmesi için kullanılır. Sınır anahtarlarında NO (normalde açık) ve NC (normalde kapalı) kontaklar bulunmaktadır. Sistemde kullanılan sınır anahtarları hem sistemin resetlenmesi sırasında limit noktalarını

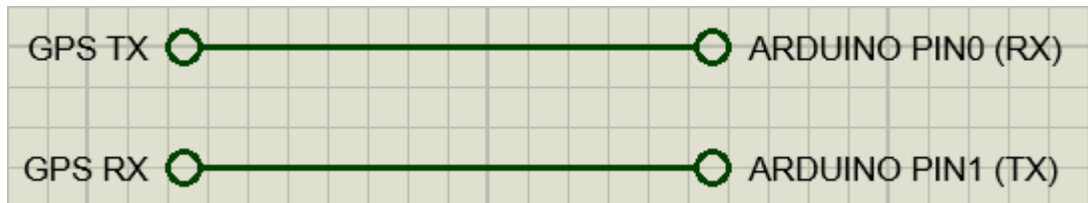
belirleyebilmek hem de aşırı dönme durumunda sistemde oluşabilecek aksaklıkların önüne geçmek amacıyla kullanılır. Şekil 3.32’de sistemde kullanılan mekanik sınır anahtarı gösterilmiştir.



Şekil 3.32. Mekanik sınır anahtarı

### 3.2.8. Sistemin elektronik devresi

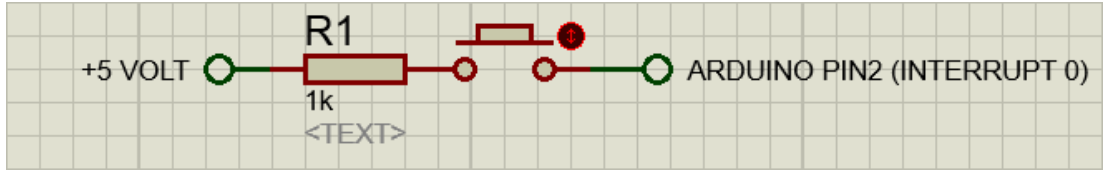
Tüm sistemin devre şemalarının çiziminde “Proteus 8 Professional” programı kullanılmıştır. Sistem üzerinde GPS modülünden gelecek veri sinyalinin “Arduino Uno” mikrodenetleyici kontrol kartı tarafından alınması gerekmektedir. Bunun için Arduino üzerindeki TX ve RX haberleşme pimleri kullanılacaktır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta GPS modülü ile Arduino mikrodenetleyici kontrol kartının haberleşme pinleri çapraz olarak bağlanmalıdır. Yani GPS modülünün TX pini Arduinonun RX pinine (0. pin), modülün RX pininin Arduinonun TX pinine (1. pin) bağlanmalıdır. Anlatılan devrenin görseli Şekil 3.33’de gösterilmiştir.



Şekil 3.33. GPS-Arduino bağlantısı

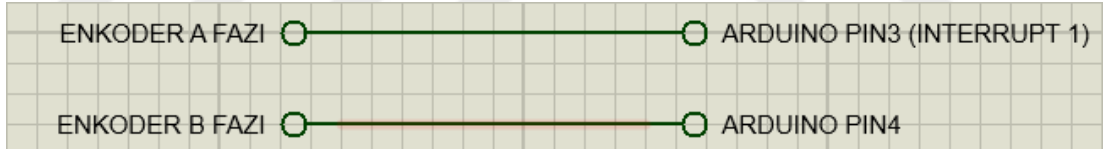
Sistemi istenmeyen durumlarda resetlemek ve sabahleyin güneş doğuş konumuna getirmek için sistemde reset butonu kullanılmaktadır. Reset butonu kullanımı için Arduinonun harici kesme (external interrupt) pini kullanılmaktadır. Bilindiği üzere “Arduino Uno” mikrodenetleyici kontrol kartı üzerinde iki adet harici kesme pini

bulunmaktadır. Bu pinlerden 0.pin olarak tanımlanan harici kesme pini yani kart üzerindeki 2. pin kullanılmıştır. Harici kesme kullanılmasının sebebi programın hangi satırında olursa olsun reset butonuna basıldığı anda komut ile parabolik olukları referans noktasına çevirme işleminin yapılabilmesidir. Şekil 3.34'te anlatılan sistemin elektronik devresi gösterilmiştir.



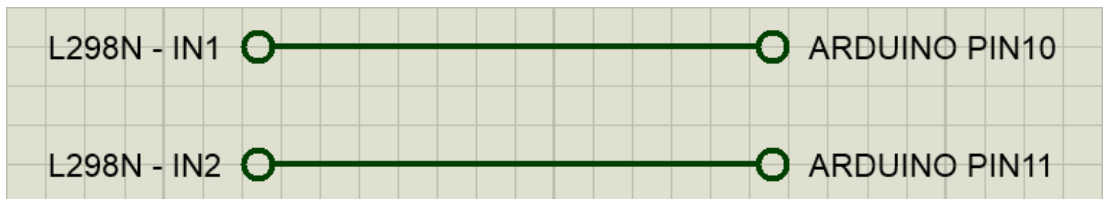
Şekil 3.34. Reset butonu bağlantısı

Sistemde kullanılan enkoderin bağlantısı Şekil 3.35'deki gibidir. Enkoder A fazının Arduinonun 3. Pinine bağlanmasının sebebi, genel olarak enkoderlerin A fazının mikrodenetleyicilerin harici kesme pinine bağlanması gerekliliğidir. Bu sebeple enkoderin A fazını Arduinonun 1. dahili kesme pinine (external interrupt) yani kartın 3. pinine bağlantısı yapılmıştır. Enkoderin B fazı ise Arduino kartının 4. Pinine bağlantısı yapılmıştır.



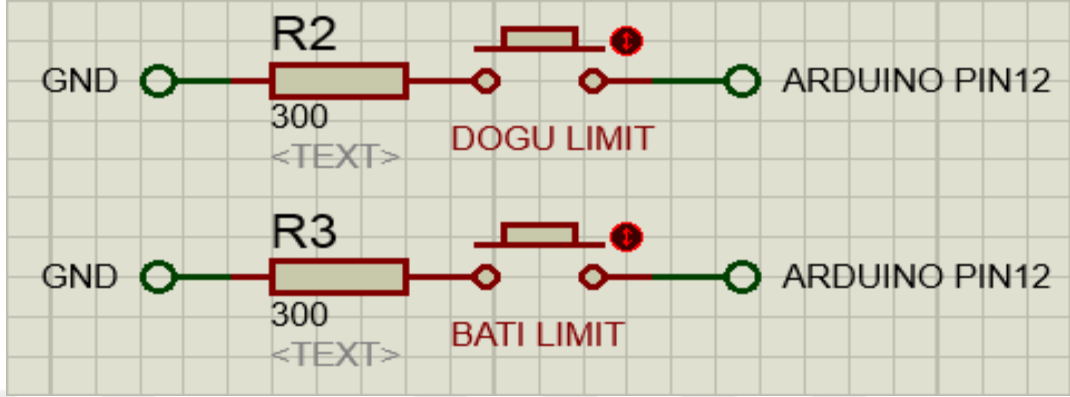
Şekil 3.35. Enkoder bağlantısı

“Arduino Uno” kontrol kartının 10 ve 11. pinleri motor çıkış yön palsi pinleri olarak seçilmiştir. Bu pinler motor sürücüsünün IN1 ve IN2 pinlerine bağlanır. %100 PWM doluluğu ile motoru maksimum devir sayısı ile sürülmek istenildiğinden motor sürücüsü üzerindeki ENA ve 5 volt pinleri köprülenerek birleştirilmiştir. Arduino ve motor sürücü bağlantısı Şekil 3.36'da gösterilmiştir.



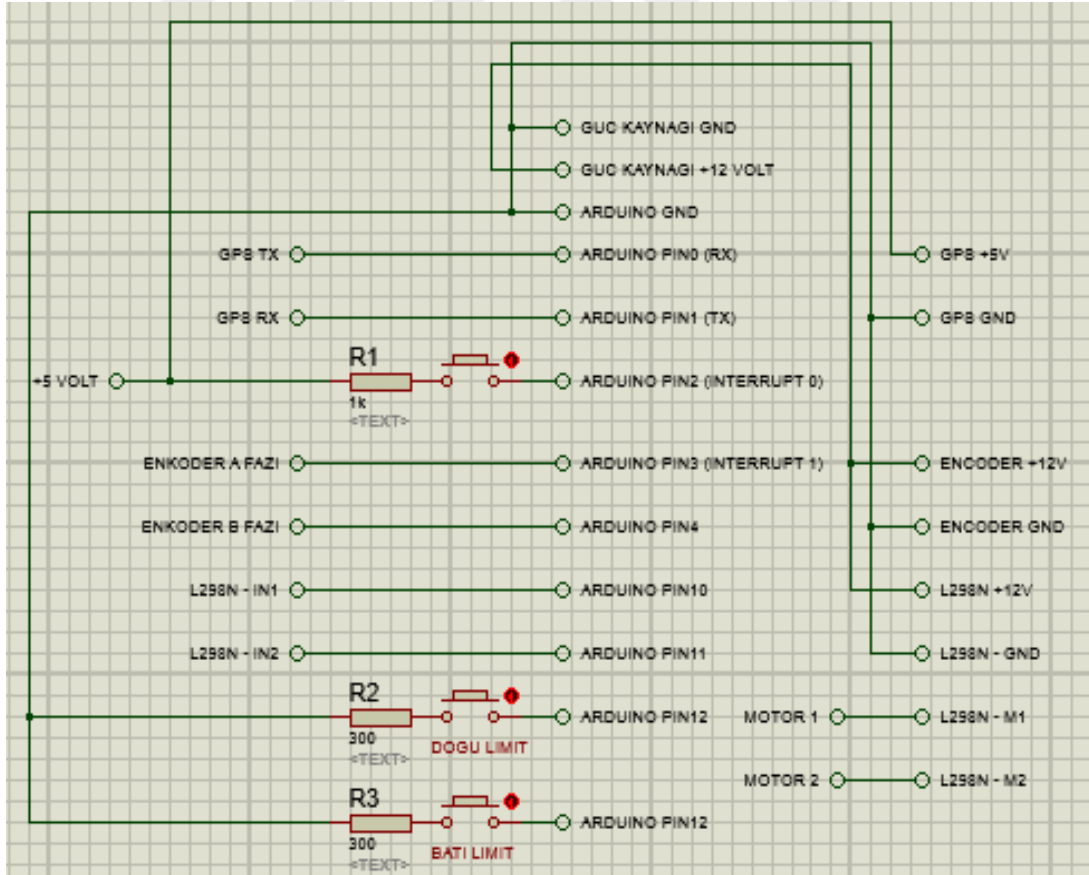
Şekil 3.36. Motor sürücüsü bağlantısı

Sistem üzerindeki mekanik sınır anahtarlarının NC (normalde kapalı) bacakları Arduino'nun 12. ve 13. pinlerine bağlanmıştır. Sistem üzerinde gerilim düşümü oluşturmaması için önlerine 300 ohm'luk dirençler bağlanmıştır (Şekil 3.37).



Şekil 3.37. Mekanik sınır anahtarlarının bağlantısı

Sistemin kararlı çalışması ve parazitlenmesini gidermek için ground hatlarının birleştirilmesi gerekmektedir. Anlatılan sistemin tüm elektronik devre şeması Şekil 3.38'de verilmiştir.



Şekil 3.38. GPS tabanlı güneş takip sistemi elektronik devre şeması



### **3.3. Gerçek Zamanlı Güneş Takip Yöntemi**

Gerçek zamanlı güneş takip sistemlerinde genellikle ışık algılayıcılar tarafından alınan ışık verisi kontrolör sistem içerisinde işlenerek kollektörler güneş ışınımını en dik açıyla alacak şekilde kendisini ayarlayan sistemlerdir. Tez çalışmasında tasarladığım gerçek zamanlı güneş takip algoritması ile ışınım gün boyunca en yüksek doğruluk ile izlenmiştir.

Bu çalışmada ışık algılayıcı sensörlerden gelen sinyali STM32F407G mikrodenetleyici kontrol kartı ile veri haline getirilmiştir. Matlab/Simulink ortamında tasarlanan bulanık mantık kontrolörü algoritması ile yorumlanarak çıkışında elde edilen veriler sinyale dönüştürülmüştür. Mikrodenetleyici kontrol kartından elde edilen sinyal yükseltilerek L298N motor sürücü kartına iletilmiş ve sürücü kartı aldığı sinyale göre motoru hareket ettirmiştir.

#### **3.3.1. Bulanık mantık tabanlı güneş takip sistemi**

Bulanık mantık kontrolörü tabanlı güneş takip sisteminde parabolik olukların sağ ve sol tarafına birer tane olmak üzere toplamda iki adet ışık algılayıcı sensör yerleştirilmiştir. Bu sensörlere bundan sonra doğu-batı sensörü adı verilecektir. Işık algılayıcı olarak yerleştirilen sensör fotodirenç yani LDR'dir. Fotodirençler ışık yoğunluğuna göre direnç değişimi sağladığından sistemde kullanılmıştır. Küçük bir elektronik devre fotodirençten gelen sinyal 0-5 volt aralığında mikrodenetleyici kartın girişine aktarılmıştır.

Gelen sinyal bulanık mantık kontrolörü algoritması ile işlendikten sonra mikrodenetleyici kart çıkışa aktarılmıştır. Kart çıkışında lojik 1 seviyesinde ölçülen 3,3 voltluk sinyal motor sürücüsünü tetikleyemediği için sinyaller optokuplör ve transistör içeren elektronik devre vasıtasıyla 5 volta yükseltilmiştir. 5 volta yükseltilecek sinyal motor sürücüsünün IN3 ve IN4 girişlerine aktarılmıştır.

Sistemde motor sürücü kartı olarak GPS tabanlı sistemde kullanılan L298N motor sürücü kartının diğer kanalı kullanılmıştır. Kullanılan motor sürücüsü çift kanal h köprüsüne sahip olduğundan iki taraftan gelen sinyalleri aynı anda birbirlerinden

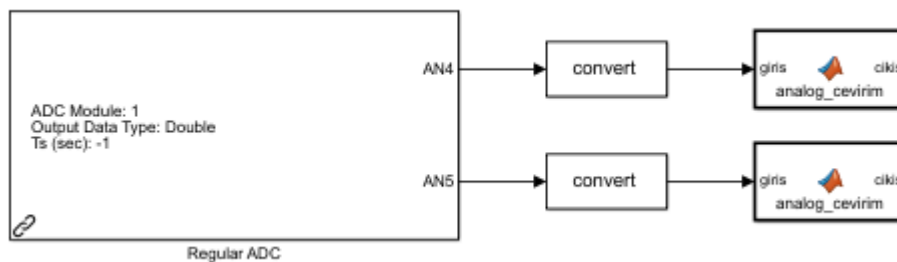
bağımsız olarak kontrol edebilmektedir. Mikrodenetleyici kontrol kartından gelen veriler motor sürücü kartı motorun devir yönünü değiştirmeye imkan tanır.

Sistemde kullanılan mekanik sınır anahtarları, aynı diğer sistemde olduğu gibi sistemi mekanik olarak sınırlandırarak olası istenmeyen durumların engellenmesi için kullanılmaktadır.

Sistemde kullanılan aktüatör, iki sistemin özdeş olmasını sağlamak açısından aynı marka ve model motorlar kullanılmıştır.

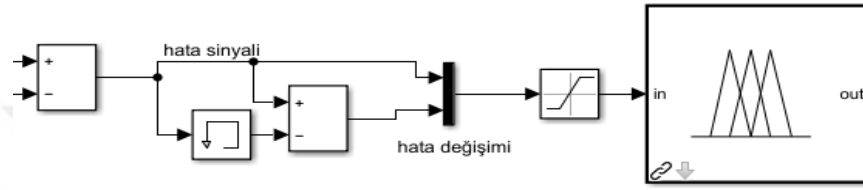
Özetleyecek olursak, doğu ve batı sensörlerinden gelen 0-5 volt arasındaki sinyallerin farkı alınır. Buna hata sinyali denir. Bulanık mantık kontrolörünün girişlerinden biri bu hata sinyalidir. Kontrolörün diğer girişinde ise hata sinyali bir önceki sinyale göre farkı alınarak ortaya çıkan fark sinyali yani hata değişim sinyali vardır. Bu iki sinyale göre çıkış sinyali olarak  $\pm 90^\circ$  arasında motor açış değerini verir.

Sistemin Matlab/Simulink ortamında kurulumunda Waijung bloksetlerden yararlanılmıştır. Waijung bloksetler STM32F4 serisi mikrodenetleyici kontrol kartlarını blok diyagramları yolu ile algoritmaların derlenip karta yüklenebilmesi amacıyla geliştirilmiş bloksetlerdir. Sistemimizde ilk önce bu bloksetler içerisinde “Regular ADC” bloğu kullanılarak kart üzerindeki PA4 (doğu) sensöründen ve PA5 (batı) sensörlerinden gelen 0-5 volt arasındaki analog veri 0-4096 arasında analog veriye dönüştürülür. Simulink kütüphanesinde bulunan “Data Type Conversion” bloğu ile verinin değişken tipi bulanık mantık kontrol bloğuna göre ayarlanır. Bulanık mantık kontrolörü algoritmasında üyelik derecesi -5 ile 5 arasında ayarlandığından dolayı “analog\_cevirim” adlı fonksiyon blokları ile 0-4096 değeri 0-5 arasına getirilir (Şekil 3.39).



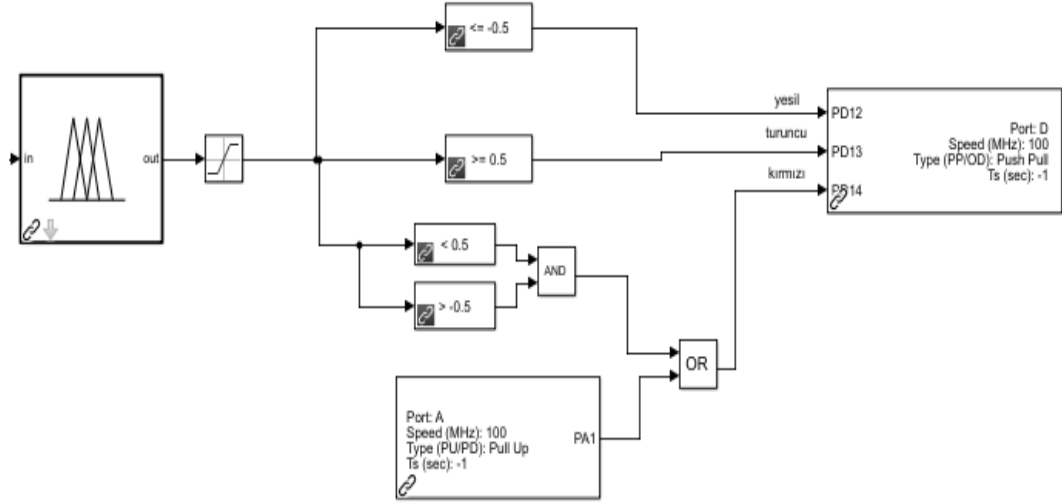
Şekil 3.39. Sensörlerden gelen verilerin okunması

İstenilen değer aralığına getirilen veriler doğu sensöründen gelen verilerden batı sensöründen gelen veriler çıkarılarak farkı alınır. Bu fark alma işleminin sonucu bulanık mantık kontrolörünün hata sinyali girişidir. Hata giriş sinyali simulink kütüphanesi içerisinde bulunan “Memory” bloğu ile hafızaya alınır. Değer her yenilendiğinde, yeni hata sinyalinin değeri bir önceki hata sinyali değeri ile farkı alınarak bulanık mantık kontrolörünün diğer girişi olan hata değişim sinyali girişini verir. Bu iki sinyal de “Saturation” bloğu kullanılarak -5 ile +5 değerleri arasına satürize edilir (Şekil 3.40).



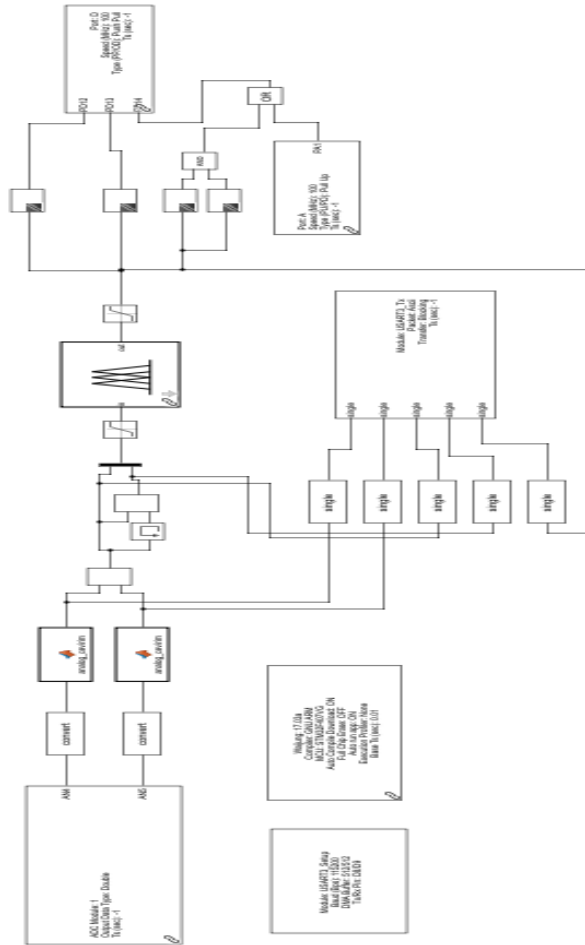
Şekil 3.40. Hata ve hata değişimi sinyalinin blok diyagramı

Bulanık mantık kontrolörü bloğunun çıkışı “Saturation” bloğu kullanılarak -90 ile +90 değerleri arasına satürize edilmiştir. Motor çıkış açısını veren bulanık mantık kontrolörü -90 ile +90 derece arasında çıkış verir. Bu çıkış açısı değeri “Compare to Constant” blokları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmaların sonucunda Waijung bloksetleri içerisinde yer alan “Digital Output” bloğu ile mikrodenetleyici kontrol kartının çıkışları aktif edilir. Çıkış değerinin -0,5 değerinden küçük olması durumunda kartın PD12 pini aktif edilir. Motor sürücüsünün IN3 pinine 5 volt gönderilir ve parabolik oluklar batı yönüne doğru hareket eder. Çıkış değerinin +0,5 değerinden büyük olması durumunda kartın PD13 pini aktif edilir. Motor sürücüsünün IN4 pinine 5 volt gönderilir ve parabolik oluklar doğu yönüne doğru hareket eder. Çıkış değerinin +0,5 ile -0,5 değeri arasında olması durumunda veya parabolik olukların herhangi bir mekanik sınır anahtarına temas etmesi durumunda PD14 pini aktif edilir. Motor sargılarının bağlı olduğu röle modülüne 3,3 volt gönderilir. Röle kontaklarını açar ve sistem durur. Anlatılan sistemin Matlab/Simulink ortamında tasarlanan blok diyagramı Şekil 3.41’de gösterilmiştir.



Şekil 3.41. Bulanık mantık kontrolörü çıkışı blok diyagramı

Birleştirecek olursak, tasarlanmış olan gerçek zamanlı güneş takip sistemi için bulanık mantık tabanlı kontrolörün Matlab/Simulink ortamında hazırlanan blok diyagramı Şekil 3.42’de verilmiştir.



Şekil 3.42. Gerçek zamanlı güneş takip sistemi blok diyagramı

Tasarlanan bulanık mantık kontrolörünün üyelik fonksiyonları uzman görüşü yardımıyla belirlenmiştir. Giriş üyelik fonksiyonları belirlenirken değerler yapılan testler sonucunda belirlenmiştir. “NB” adlı üyelik fonksiyonu negatif büyük, “NK” adlı üyelik fonksiyonu negatif küçük, “SIFIR” adlı üyelik fonksiyonu sıfır, “PK” adlı üyelik fonksiyonu pozitif küçük, “PB” adlı üyelik fonksiyonu pozitif küçük anlamını taşır.

Giriş üyelik fonksiyonlarının değer aralığı aşağıdaki gibidir.

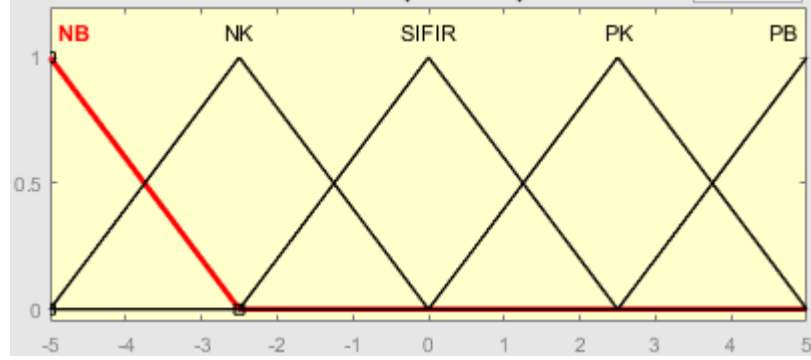
- NB: -5 ile -2,5 arasında
- NK: -5 ile 0 arasında
- SIFIR: -2,5 ile +2,5 arasında
- PK: 0 ile 5 arasında
- PB: +2,5 ile 5 arasındadır.

Çıkış üyelik fonksiyonları da uzman görüşü yardımıyla belirlenmiştir. Üyelik fonksiyonları değerleri yapılan testler sonucunda belirlenmiştir. “D1” adlı üyelik fonksiyonu birinci açı derecesini, “D2” adlı üyelik fonksiyonu ikinci açı derecesini, “D3” adlı üyelik fonksiyonu üçüncü açı derecesini, “D4” adlı üyelik fonksiyonu dördüncü açı derecesini, “D5” adlı üyelik fonksiyonu beşinci açı derecesini tanımlar.

Çıkış üyelik fonksiyonlarının değer aralığı aşağıdaki gibidir.

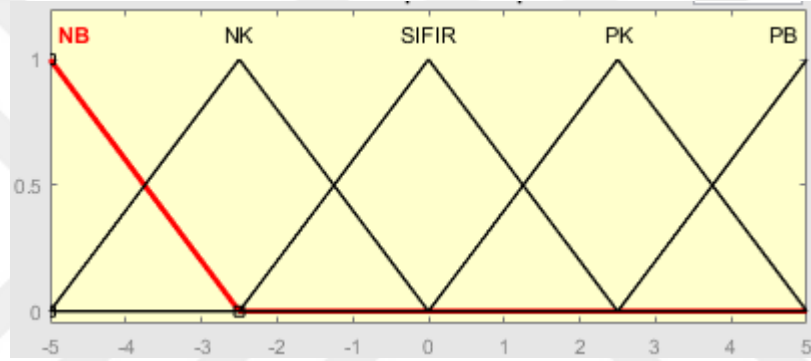
- D1: -90 ile -45 arasında
- D2: -90 ile 0 arasında
- D3: -45 ile +45 arasında
- D4: 0 ile +90 arasında
- D5: +45 ile +90 arasındadır.

Bulanık mantık kontrolörü hata sinyali giriş değişkenlerinin üyelik fonksiyonu grafiği Şekil 3.43’te verilmiştir.



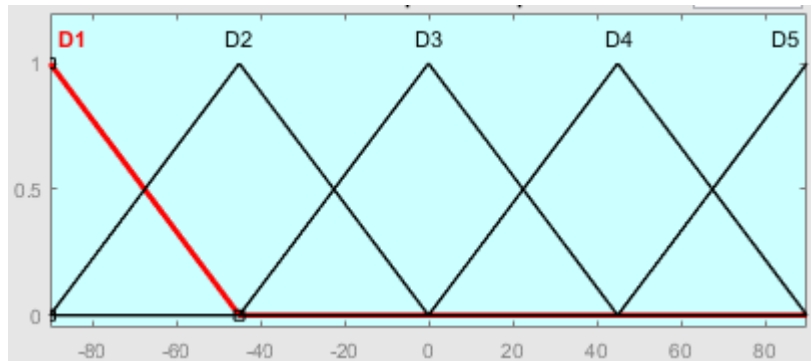
Şekil 3.43. Hata sinyali giriş değişkeni üyelik fonksiyonu grafiği

Bulanık mantık kontrolörünün hata değişimi sinyali giriş değişkeninin üyelik fonksiyonu grafiği Şekil 3.44'te verilmiştir.



Şekil 3.44. Hata değişimi sinyali giriş değişkeni üyelik fonksiyonu grafiği

Bulanık mantık kontrolörünün motor açısı çıkış değişkeninin üyelik fonksiyonu grafiği Şekil 3.45'de verilmiştir.



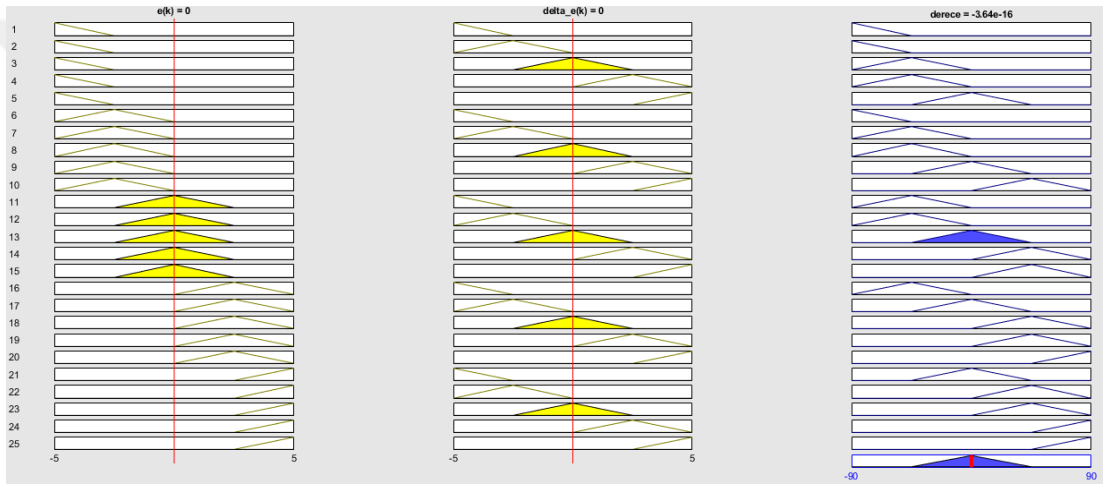
Şekil 3.45. Motor açısı çıkış değişkeni üyelik fonksiyonu grafiği

Yine uzman görüşü alınarak hazırlanan bulanık mantık kontrolörüne ait kural tablosu Çizelge 3.2'de verilmiştir. Çizelgede yer alan  $e(k)$  hata sinyalini,  $\Delta e(k)$  hata değişimi sinyalini ifade eder.

Çizelge 3.2. Bulanık mantık kontrolörü kural tablosu

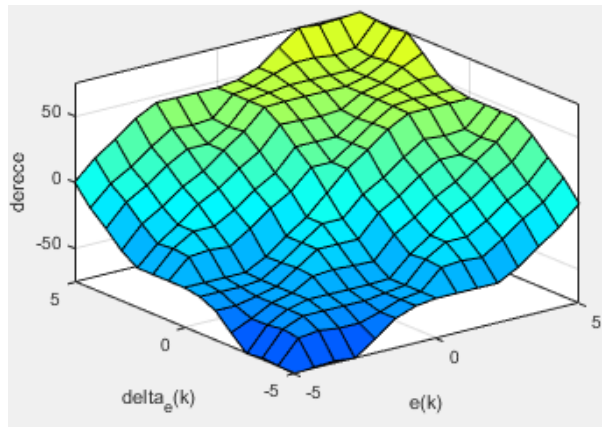
$e(k) / \Delta e(k)$	NB	NK	SIFIR	PK	PB
NB	D1	D1	D2	D2	D3
NK	D1	D2	D2	D3	D4
SIFIR	D2	D2	D3	D4	D4
PK	D2	D3	D4	D4	D5
PB	D3	D4	D4	D5	D5

Bulanık mantık kontrolörünün kural tabanının Matlab/Simulink ortamında şekilsel olarak gösterimi Şekil 3.46’da gösterilmiştir.



Şekil 3.46. Kural tabanının şekilsel olarak gösterimi

Bulanık mantık kontrolörünün giriş ve çıkış değişkenlerinin üyelik fonksiyonları ve kural tabanına göre Matlab/Simulink ortamında oluşturulmuş yüzey şekli Şekil 3.47’de gösterilmiştir.



Şekil 3.47. Giriş ve çıkış değişkenlerinin kural tablosuna göre yüzey şekli

### 3.2.2. STM32F407G mikrodnetleyici kontrol kartı

STM32F407G kontrol kartı kullanıcıların yüksek hız istenen gerçek zamanlı kontrol uygulamalarını geliştirmelerini sağlamak için kullanılan bir kontrol kartıdır. Kart üzerinde bir adet ST-LINK debugger, bir adet ST-MEMS ivmeölçer, bir adet dijital mikrofon, bir adet hoperlör sürücüsüne sahip bir ses dijital analog çevirici, ledler, butonlar ve bir USB OTG mikro-AB konnektör içerir. Kontrol kartı üzerinde 1 MB flash bellek, 192 KB ram belleğe sahip 32 bit ARM Cortex-M4 mikroişlemci bulunmaktadır. A, B, C, D, E isimlerinde 5 farklı porta sahiptir. Kart USB üzerinden beslendiğinde üzerinden 3.3 ve 5 volt güç alınabilir. Farklı kullanımlar için üzerinde bir adet kullanıcı butonu, bir adet reset butonu ve dört farklı renk LED vardır. Kendi derleyicisi ile C programlama dili ile programlanabilirken Matbab/Simulink programı ile Waijung Bloksetleri kullanılarak gerçek zamanlı kontrol yapılacak sistemler için kolayca programlanabilir. Şekil 3.48’de bu mikrodnetliyiçi kontrol kartına ait görsel verilmiştir.



Şekil 3.48. STM32F407G mikrodnetleyici kontrol kartı

### 3.3.3. Waijung blokseti

Kontrol algoritmalarının gerçek zamanlı uygulanabilmesi için herhangi yazılım programı ile kodunun yazılıp, derlenip varsa deney düzeneği ile test edilmesi gerekmektedir. Kontrol sistemlerinde gerçek zamanlı bir algoritma için genellikle Matlab programı kullanılır. Matlab’ın pek çok alanda kullanılmasını sağlayan, şu ana kadar kullanıcılar ve geliştiricileri tarafından oluşturulmuş büyük bir kütüphane arşivi bulunmaktadır. Sistemde kullanılan gerçek zamanlı uygulamaları kodlayabilmek ve derleyebilmek için Simulink adında programlama aracına sahiptir.



Simulink programında, Matlab'ın kullanıcılarına kolaylık sağlaması açısından bloksetler geliştirilmiştir.

STM32F4 kontrolör kartı için kodlama veya gömülü yazılım kullanmadan programlama sağlayabilecek blokset kütüphanesi geliştirilmiştir. Bu sayede Simulink üzerinden hızlı ve kolay bir şekilde prototip uygulamalar geliştirilebilmektedir. Waijung blokseti Tayvanlı bir firma tarafından geliştirilmiştir. Waijung kütüphanesi uygulamalarda seri haberleşme sistemini de içermektedir. Waijung blokseti ile kullanıcılara geliştirdikleri sistemlerde ciddi vakit kazancı ve kolaylık sağlamıştır. Waijung blok setinin uygulama geliştirmede kullanılabilmesi için öncelikle resmi sitesinden indirilmelidir. Sonra blok setin Matlab/Simulink kütüphane sistemine tanıtılması gerekmektedir. İndirme işlemi tamamlandıktan sonra Simulink kütüphanesindeki "Waijung Blockset" başlığı altında STM32F4 için sekiz kategoriden oluşan bloksetler bulunmaktadır (Sarı, 2019).

#### **3.3.4. Bulanık mantık kontrolörü**

İnsan bilgisine dayalı dilsel bir kontrol stratejisi uygulamak için, Bulanık Teori (BT) kullanılır. Kontrol sistemleri tasarlarırken sırasıyla; hedef, bilgi tabanını oluşturan bulanık kontrol kuralları belirlenir ve bulanıklaştırma ve durulaştırma yapılır. BT, 1965 yılında ileri sürülmüştür. Bu tarihten kısa bir süre sonra BT çok çabuk gelişme kaydetmiştir.

Bulanık kümeler ve Bulanık Mantık teorisinin en etkin uygulama alanı kontrol sistemleridir. Bulanık sistemler bilgiye dayalı veya kurala dayalı sistemlerdir. Bir sistemin kontrol edilebilmesi için, sistemi oluşturan matematiksel modelin iyi seçilmesi lazımdır. Bazı sistemlerin matematiksel modelleri çok zor elde edilir. Bunun için en iyi yol bulanık kümelerin kullanılmasıdır. Bulanık kümeler geleneksel küme teorisinde kullanılan küme kavramı, bir nesnenin bir kümenin elemanı olması "1" ya da olmaması "0" gibi iki seçenekleri bir mantığa dayanmaktadır. Geleneksel küme teorisinde "0" veya "1" arası yoktur. Belirsizlik içeren bir problemin çözümü güçtür. Bu denetleyici insan gibi hareket edebilmektedir. Bu denetleyici sisteme bulanık mantık kontrolörü denir (Ödük, 2010).

### 3.3.5. Lineer hareketli DC aktüatör

Tez çalışmamın bu kısmında GPS tabanlı güneş takip sisteminde kullanılan aynı marka ve model lineer hareketli DC aktüatör kullanılmıştır. Bunun sebebi deneyin yapılacağı ve iki kontrolörün karşılaştırılmasının yapılacağı sistemlerin özdeş olması gerekliliğidir.

### 3.3.6. Motor sürücüsü

Deneyler sırasında her iki kontrol yönteminin kıyaslamasının yapılabilmesi için özdeş sistemlerin kullanılmasından dolayı aynı motor kullanıldığından dolayı aynı sürücünün diğer kanalı kullanılmıştır.

### 3.3.7. Mekanik sınır anahtarı

Bu kısımda da özdeş olan iki sistem prototipi yapıldığından sistem üzerinde aynı noktalara aynı marka ve model sınır anahtarı monte edilmiştir.

### 3.3.8. Röle modülü

Sistem üzerinde kullanılan tek kanallı röle modülü 5 volt ile kontakları kontrol edilebilen ve bu sebeple mikrodenetleyici kontrol kartları ile kullanılabilen bir röle kartıdır. Tetikleme sırasında 20 mikro amper gibi çok düşük bir akım çekmektedir. Bu sebeple çeşitli projelerde kartı zorlamadan rahatlıkla kullanılabilir. 30 volt DC veya 220 volt AC gerilimde 10 ampere kadar akımı anahtarlayabilme kapasitesine sahiptir. Röle modülüne sinyal geldiğinde kontaklarını değiştirip değiştirmediği üzerinde bulunan ledi vasıtası ile anlaşılabilir. NO, COM ve NC bacakları klemens ile dışarı alınmıştır. Üzerinde diyot koruması bulunmaktadır. Anlatılan röle modülü Şekil 3.49'da gösterilmiştir.

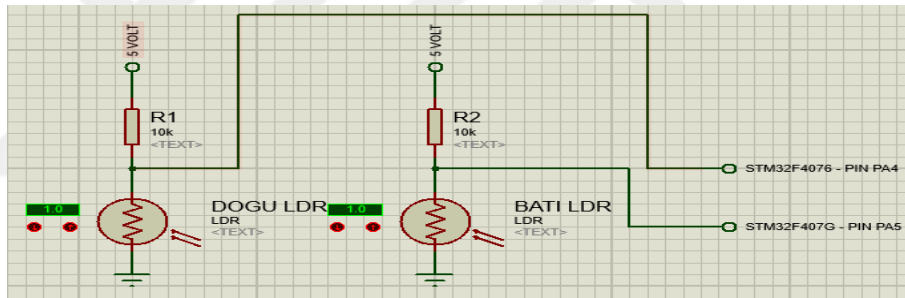


Şekil 3.49. Röle modülü

### 3.3.9. Sistemin elektronik devresi

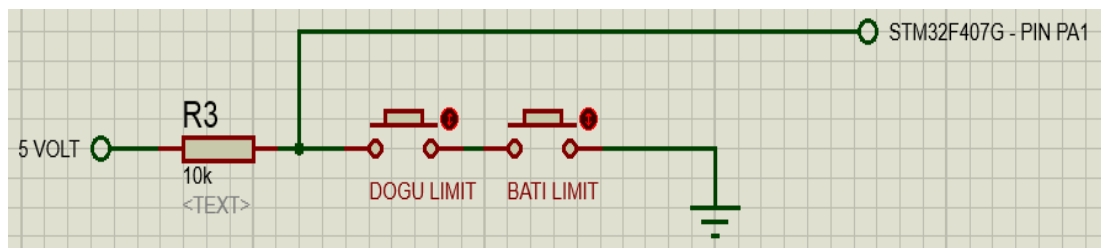
Sistemin elektronik devresi anlatılmadan önce, bulanık mantık ile güneş takip sistemi için kullanılan STM32F407G mikrodenetleyici kontrol kartında 3 giriş pini, 3 çıkış pini kullanılmıştır. Ayrıca devre çizimleri için “Proteus 8 Professional” programından faydalanılmıştır.

Elektronik kısmı ilk önce fotodirenç olarak kullanılan ldr’ler ile ışık ölçümü işleminden anlatılmaya başlanacaktır. 5 volttan çıkan hat 10 kilo ohm’luk dirence bağlanmıştır. Direncin çıkışından fotodirenç giden hattın çıkışı ground (şase) noktasına bağlanmıştır. Direnç ile fotodirenç arasındaki hattan mikrodenetleyici kontrol kartının PA4 (doğu ldr) pinine bağlantı yapılmıştır. Aynı şekilde batı yönündeki fotodirenç için aynı devre kurulmuştur ve PA5 pinine bağlantı yapılmıştır (Şekil 3.50).



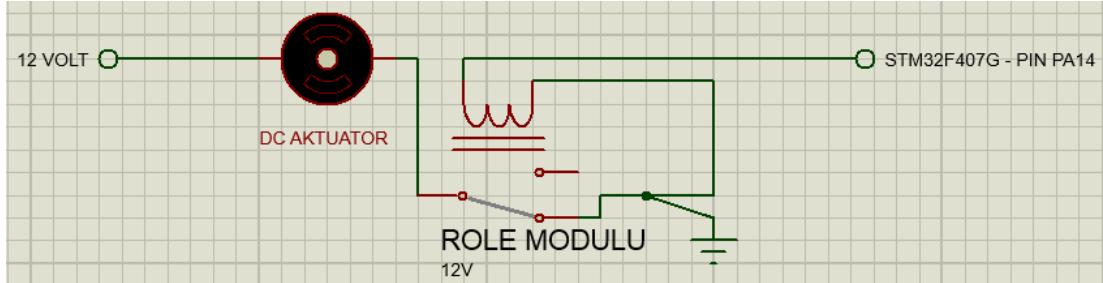
Şekil 3.50. Doğu-batı yönleri fotodirençlerinin devresi

Sistemde dönüşün limitlerini belirlemek ve kontrolöre bunu öğretebilmek için mekanik sınır anahtarlarına ihtiyaç duyulmuştur. Bunun için de 5 volta seri 10 kilo ohm direnç bağlanmış ve direncin diğer ucu STM32F407G mikrodenetleyici kontrol kartının PA1 pinine bağlanmıştır. Pine paralel bir hatta doğu ve batı yönündeki mekanik sınır anahtarları seri bağlanmış ve çıkışları da ground hattına bağlanmıştır (Şekil 3.51).



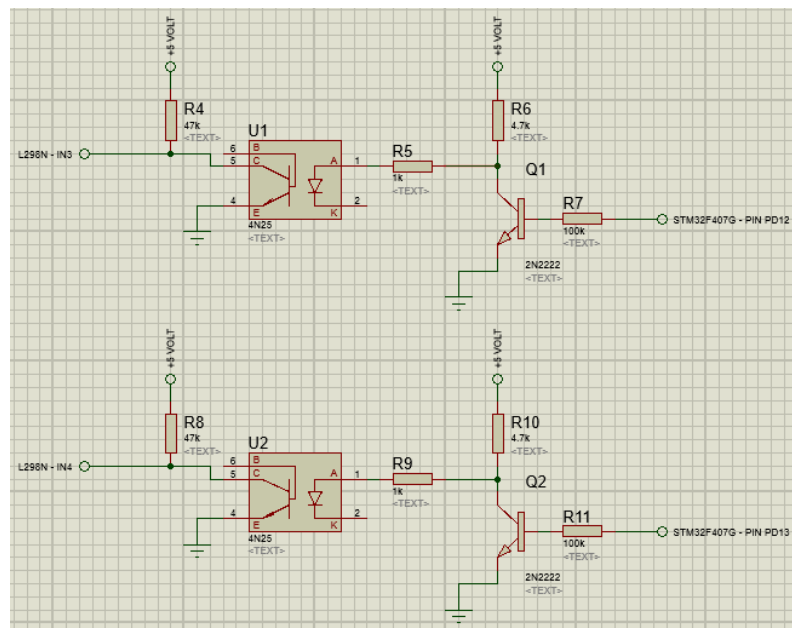
Şekil 3.51. Doğu ve batı sınır anahtarlarının devresi

Sistemde dur komutunu çalıştırmak için röle modülü kullanılmıştır. Röle modülünün NC (normalde kapalı) uçlarına DC aktüatörün motor sargısı uçları seri bağlanmıştır. Röle modülünün sinyal pini (s pini) STM32F407G mikrodenetleyici kontrol kartının PD14 (dur komutu) pinine bağlanmıştır (Şekil 3.52).



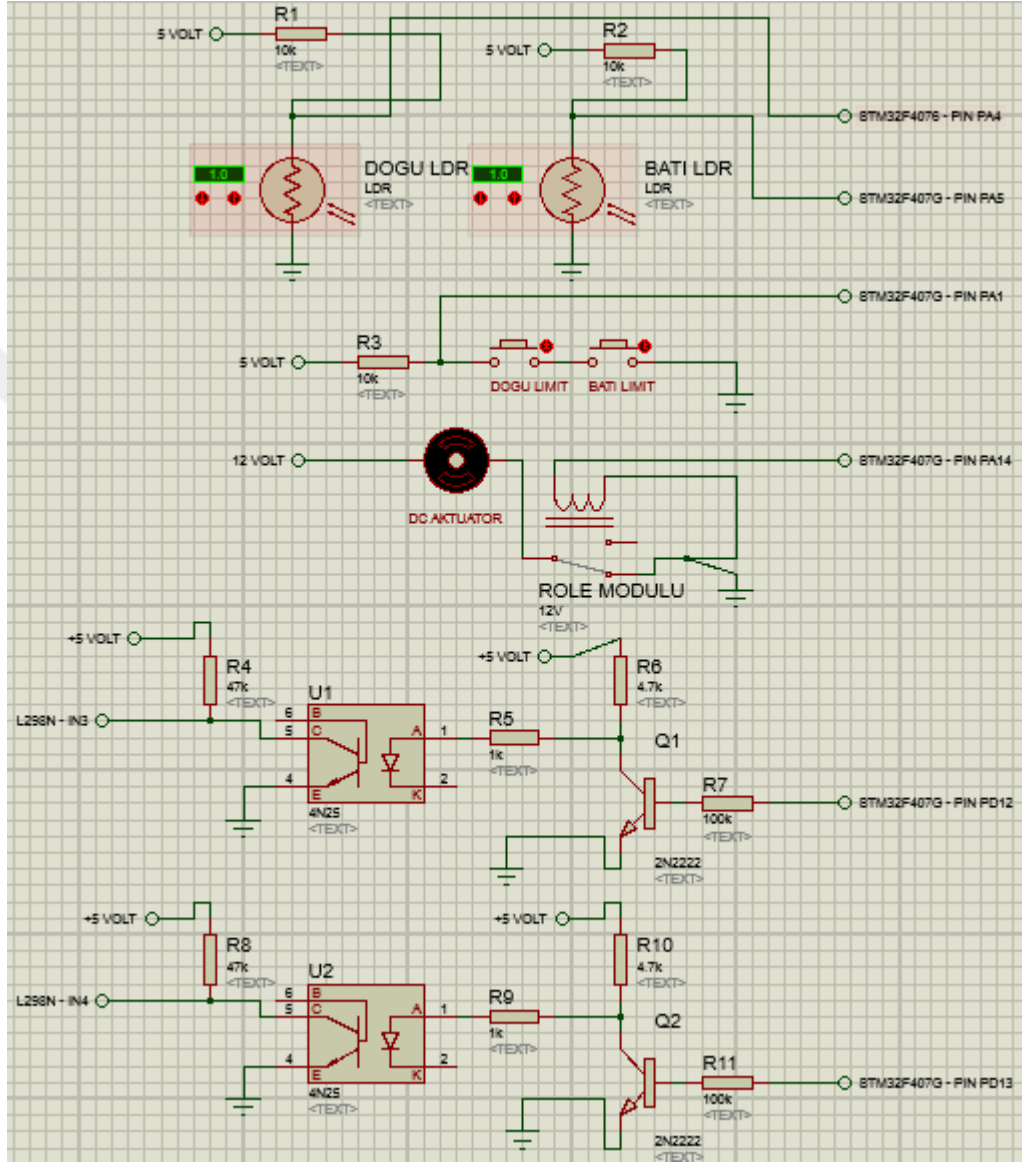
Şekil 3.52. Dur komutu için kullanılan röle devresi

STM32F407G mikrodenetleyici kontrol kartının PD12 pini olukları doğu yönüne, PD13 pini batı yönüne çevirir. Ancak STM32 serisi kontrol kartları lojik 1 seviyesinde iken 3,3 volt gerilim verir. Motor sürücümüz olan L298N motor sürücü kartının ikinci motor kanalının yön değiştirme pinleri olan IN3 ve IN4 pinlerine 5 volt geldiği takdirde tetiklenir ve motor aktiflenir. Yani L298n motor sürücü kartının girişleri 5 volt uyarımlıdır. Dolayısıyla, motoru çalıştırmak için yükselteç bir devreye ihtiyaç vardır. Bu sorun optokuplör ve transistörden oluşan bir devre yardımıyla çözülmüştür. Mikrodenetleyici kontrol kartı çıkışından motor sürücü kartı girişine olan yükselteç devrenin görseli Şekil 3.53'te verilmiştir.



Şekil 3.53. Doğu ve batı yönleri için yükseltgeç devreleri

Sistemin kararlı çalışması ve parazitlenmenin giderilmesi için devreler üzerindeki tüm ground (şase) hatlarının birleştirilmesi gerekmektedir. Gerçek zamanlı güneş takip sistemi için tasarlanan bulanık mantık kontrolörü içeren sistemin tüm devre şeması Şekil 3.54'te verilmiştir.



Şekil 3.54. Gerçek zamanlı güneş takip sistemi elektronik devresi

### 3.4. Deneyler Sırasında Kullanılan Test ve Ölçüm Cihazları

Yapılan deneyler sırasında, güneş takip sistemleri giriş ve çıkış suyu sıcaklıkları, test yapılan günlerdeki hava sıcaklığı ve nemi gibi parametrelerin ölçülüp kaydedilmesi gerekmektedir. Deneyler boyunca ölçüm ve kayıt cihazı olarak kullanılan cihaz "Almemo 2590-Datalogger" marka cihazdır. Cihaz üzerinde bulunan M0-M8

arasındaki 9 adet giriş üzerinden sisteme bağlanan sensörleri algılayıp ayarlanan zaman periyodu süresinde gelen verileri kaydedebilmektedir. Kayıt edilen sensör verileri cihaz üzerinde bulunan A1 ve A2 çıkışları yardımıyla bilgisayara aktarılabilmektedir. Deneyler sırasında kullanılan datalogger Şekil 3.55’de gösterilmiştir.



Şekil 3.55. Almemo 2590-9 datalogger

Kullanılan dataloggerın teknik özellikleri Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Almemo 2590-9 datalogger teknik özellikleri

Parametre	Almemo 2590-9 Datalogger
Çalışma Gerilimi	12 Volt DC
Sensör Girişleri	M0-M8
Çıkış Portları	A1-A2
Hafıza	505 kilobayt
Bağlantı Tipi	RS232 (seri haberleşme)

A1 ve A2 çıkış portları üzerinden “Almemo ZA” serisi kablo ile RS232 seri haberleşme kullanılarak bilgisayara bağlanılıp veri aktarımı yapılabilir. Veri aktarım kablosu Şekil 3.56’da gösterilmiştir.



Şekil 3.56. Almemo ZA veri aktarım kablosu

Almemo datalogger ile su sıcaklıklarını ölçmek için termokupl kullanılmıştır. Yapı olarak termokupllar iki farklı alaşıma sahip metalin birleştirilmesi sonucunda oluşturulan basit mantıkta çalışan bir ölçüm elemanıdır. Birleştirme noktası olan uç ölçüm noktası, diğer bölgesi de referans noktası olarak kabul edilmektedir. Termokupldaki sıcaklık ölçümü bu iki noktanın sıcaklık farkından oluşan elektriksel gerilim farkı ile sağlanmaktadır. Sıcaklık farkının artması ile oluşan gerilim farkı doğru orantılı olarak artmaktadır. Şekil 3.57’de Almemo ile kullanılan datalogger görseli verilmiştir.



Şekil 3.57. Almemo’da kullanılan termokupl

Deneyle yapılırken su sıcaklıklarını ve sistemlerin su ısıtma performanslarını değerlendirmek için deneyin yapıldığı günkü hava sıcaklığı ve ortam nemi değişkenlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu sebeple bir ölçüm cihazı kullanılması gerekir. Almemo ile uyumlu çalışan “Almemo FHA646AG” sıcaklık ve nem sensörü kullanılmıştır. Dış ortam şartlarında yüksek mukavemetli olarak çalışabilen bu cihaz Şekil 3.58’de gösterilmiştir.



Şekil 3.58. Almemo FHA646AG sıcaklık ve nem sensörü

Çizelge 3.4'te Almemo FHA646AG marka sensöre ait teknik özellikler verilmiştir.

Çizelge 3.4. Almemo FHA646AG sıcaklık ve nem sensörü teknik özellikleri

Parametre	Sıcaklık	Nem
Model	FHA646AG	FHA646AG
Hassasiyet	%1	0,1 °C
Sensör Tipi	Kapasitif Ölçüm	NTC (Rezitif)

Deneyley boyunca güneş ışınımı da  $W/m^2$  biriminde ölçülüp kaydedilmiştir. Bu ölçüm “Apogee” marka güneş ışınımı sensörü ile yapılmıştır. Sistem üzerine sabitlenen sensör, bulunduğu konuma göre  $180^\circ$  görüş açısına sahiptir. 1 ms tepki süresine sahip olan bu cihaz, ölçtüğü verileri ayrı bir datalogger ile kaydetmektedir. Şekil 3.59’da bu sensör gösterilmiştir.



Şekil 3.59. Apogee ışınım sensörü

Apogee ışınım sensörünün teknik özellikleri 3.5’te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Apogee ışınım sensörü teknik özellikleri

Parametre	Apogee Işınım Sensörü
Model	SP-110-SS
Hassasiyet	0,2 mV ( $W/m^2$ )
Görüş Açısı	$180^\circ$
Ölçüm Aralığı	360-1120 nm
Tepki Süresi	1 ms

Apogee ışınım sensörü ile alınan ışınım miktarı verilerini belli bir zaman periyodunda kaydeden bir dataloggera ihtiyaç vardır. “Hobo H08-004-02” dataloggerı Apogee ışınım sensörü ile birlikte çalışabilmektedir. Bu datalogger sensörden aldığı verileri



kaydetmekte ve üzerinde bulunan veri çıkış portu yardımıyla RS232 seri haberleşme protokolü ile bilgisayara aktarabilmektedir. Şekil 3.60'da bu dataloggerın görseli verilmiştir.



Şekil 3.60. Hobo H08-004-02 datalogger

### 3.5. Deneylerin Yapılışı

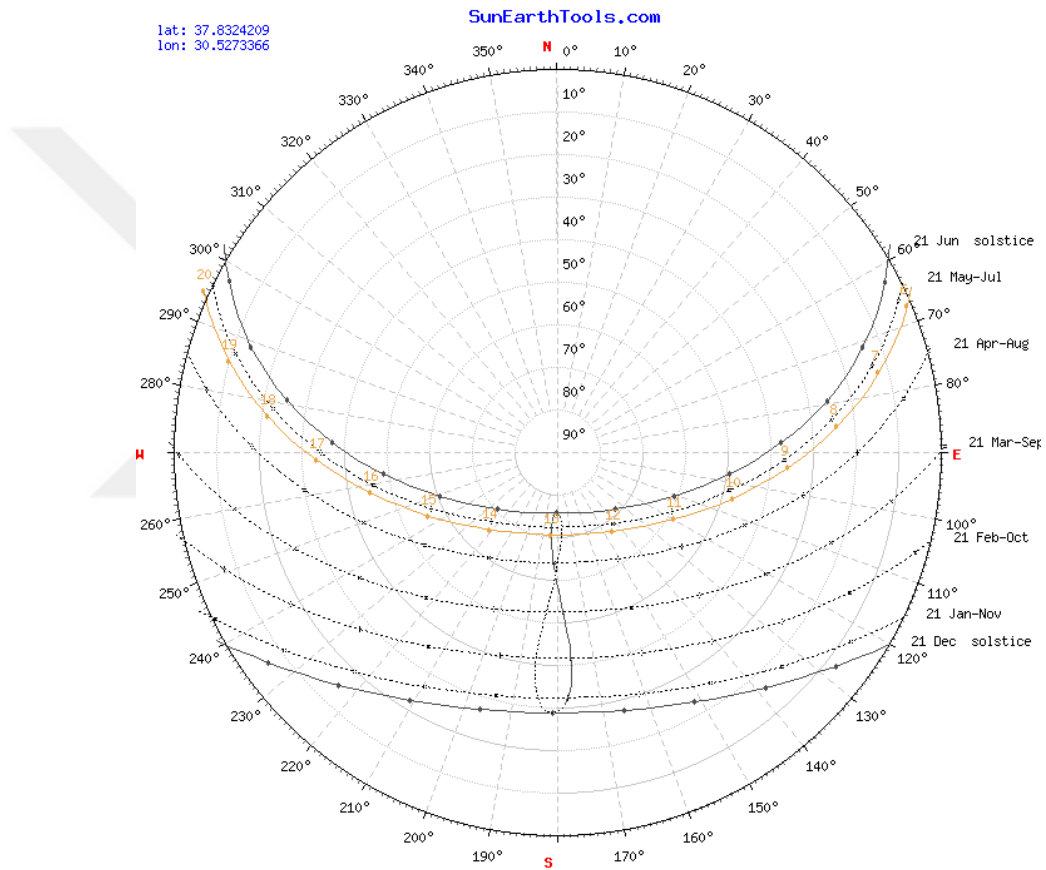
Deneyler olumsuz hava şartları nedeniyle 26.05.2019 ve 14.06.2019 tarihlerinde iki gün olarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerin yapılması sırasında bir gün parçalı bulutlu, bir gün tam güneşli ve bulutsuz havada deney günleri seçilmiştir. Sistemdeki kontrolörlerin karşılaştırılabilmesi için deneylerin yapılacağı mekanik sistemin ön tarafı güneye bakacak şekilde montajı yapılmış, eğim açısı 15° 'ye ayarlanmış ve doğruluğu açı ölçer ile kontrol edilmiştir. Sistemin sıhhi tesisatı hazırlanmış ve montajı tamamlanmıştır.

Sistemin test ve ölçümü için test ve ölçüm cihazlarına ait termokupllar sistemlerin giriş ve çıkış suyu sıcaklıklarını ölçmek için sisteme monte edilmiştir. Dataloggerlara da bağlantısı yapılan termokupllar gerçek zamanlı olarak dört dakikada bir ölçümleri hafızasına kaydetmiştir. Gün boyunca ışıınım miktarını ölçmek için ışıınım sensörü ve sensöre ait datalogger da sistem üzerine entegre edilerek gün boyu sisteme düşen ışıınım miktarı gerçek zamanlı olarak kaydedilmiştir.

Sistemin elektronik montajında ise sistemlerin elektronik devrelerinin pano montajı yapılmıştır. Mikrodenetleyici kontrol kartlarına programı atıldıktan sonra sistemler deneylere başlamadan önce test ve kalibre edilmiştir.

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Deneysel olumsuz hava şartları nedeniyle 26.05.2019 ve 14.06.2019 tarihlerinde iki gün olarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan test ve ölçüm işlemleri ile verilerin toplanması  $37,83240^\circ$  enlem açısı ve  $30,52730^\circ$  boylam açısı koordinatlarındaki Süleyman Demirel Üniversitesi batı yerleşkesi içerisinde bulunan Yenilenebilir Enerji Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi binası önünde gerçekleştirilmiştir. Deneyleerin gerçekleştirildiği koordinatlarındaki güneş diyagramı Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Deneyleerin yapılacağı koordinatlarındaki güneş diyagramı (SunEarthTools, 2019)

Deneyleer yapılırken 1 gün bulutlu havada 1 gün güneşli havada deneyleer yapılmıştır. 26.05.2019 tarihinde yapılan deneyleerde yapılan ölçümlerde de takip edileceği gibi hava parçalı bulutludur. 14.06.2019 tarihinde yapılan deneyleerde hava açık ve bulutsuzdur. Deneyleer her iki günde de 10:00-16:00 arasında yapılmıştır. Deneyleer süresince sistemlerin giriş-çıkış suyu sıcaklıkları, hava sıcaklığı, parabolik olukların buldukları açı değereeri ve olması gereken açı değereeri hesabı dördeer dakikalık periyotlar halinde kaydedilmiştir.

Çizelge 4.1’de 26.05.2019 tarihinde yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar verilmiştir. Verilen sonuçlar 4 dakikada bir alınan sonuçlardır.

Çizelge 4.1. 26.05.2019 tarihli deney sonuçları

Saat	Işınım (W/m <sup>2</sup> )	Gerçek Zamanlı Çıkış Sıcaklığı (°C)	Gerçek Zamanlı Giriş Sıcaklığı (°C)	Güneş Işınımı Algoritması Çıkış Sıcaklığı(°C)	Güneş Işınımı Algoritması Giriş Sıcaklığı(°C)	Hava Sıcaklığı (°C)
10:00	816	29,8	28,7	29,6	28,9	22,13
10:04	1056,72	30,2	29	29,8	29,1	22,14
10:08	934,32	30,5	29,3	30,1	29,3	22,36
10:12	934,32	30,5	29,2	30,2	29,5	22,61
10:16	934,32	30,8	29,5	30,3	29,6	22,95
10:20	979,2	31,1	29,9	30,3	29,7	23,01
10:24	1015,92	31,5	30,2	30,4	29,8	23,22
10:28	975,12	31,8	30,5	30,5	29,9	23,21
10:32	897,6	32	30,7	30,6	30	23,27
10:36	775,2	32,2	30,9	31	30,2	23,36
10:40	856,8	32,4	31,2	30,9	30,3	23,48
10:44	816	32,7	31,5	31	30,4	23,56
10:48	1134,24	38,1	31,8	31,5	30,6	24,25
10:52	975,12	38,3	32	31,8	30,8	24,07
10:56	934,32	38,6	32,3	31,9	31	24,03
11:00	975,12	38,8	32,6	32	31,2	23,71
11:04	1056,72	39,1	32,9	32,3	31,4	23,96
11:08	1056,72	39,4	33,2	32,4	31,6	24,26
11:12	975,12	39,6	33,3	32,8	31,8	24,2
11:16	1056,72	39,7	33,6	33	32	24,53
11:20	1056,72	40	33,8	33,1	32,2	24,62
11:24	1097,52	40,2	33,9	33,5	32,5	24,91
11:28	1097,52	40,5	34,2	33,4	32,6	25,16
11:32	1097,52	40,7	34,4	33,6	32,8	25,39

Çizelge 4.1. 26.05.2019 tarihli deney sonuçları (devam)

11:36	975,12	41	34,7	33,8	32,9	25,74
11:40	856,8	41,1	34,8	34	33	24,66
11:44	897,6	40,8	34,1	34,1	33,2	25,69
11:48	1015,92	40,7	34,4	34,3	33,4	26,01
11:52	934,32	40,8	34,6	34,5	33,6	25,81
11:56	934,32	41,1	34,9	34,7	33,9	26,07
12:00	1015,92	41,3	35,2	34,7	34	24,74
12:04	1056,72	41,5	35,3	34,9	34,2	24,54
12:08	1015,92	41,3	35,7	35	34,3	24,1
12:12	856,8	41,1	35,4	35	34,3	24,65
12:16	975,12	40,7	36	35,4	34,5	25,61
12:20	975,12	40,7	36,3	35,7	34,7	25,33
12:24	1015,92	41	36,9	35,9	35	24,91
12:28	856,8	39,9	36,2	36,1	35,2	25,17
12:32	1056,72	41,1	37	36,3	35,3	25,24
12:36	975,12	41,3	37,1	36,3	35,5	25,87
12:40	975,12	41,5	37,7	36,5	35,7	26,01
12:44	1056,72	41,9	38	36,4	35,7	26,35
12:48	1015,92	42,2	38,4	36,8	35,8	26,37
12:52	934,32	42,6	38,8	37	36	26,81
12:56	697,68	42,9	39	37	36,1	26,88
13:00	1056,72	43	39,1	37,2	36,3	27,33
13:04	934,32	43,1	39,2	37,2	36,3	27,14
13:08	816	43	38,7	37,5	36,5	26,64
13:12	934,32	42,9	38,9	37,7	36,7	27,11
13:16	897,6	43,2	39,3	37,5	36,8	26,69
13:20	897,6	43,5	39,7	37,9	37	26,16
13:24	1015,92	43	38,7	38	37,1	26,53
13:28	697,68	42,6	38,2	38,1	37,2	26,09
13:32	1097,52	43	38	38,3	37,4	26,44
13:36	975,12	43,1	38,1	38,5	37,5	26,7
13:40	934,32	43	37,7	38,6	37,7	26,65

Çizelge 4.1. 26.05.2019 tarihli deney sonuçları (devam)

13:44	975,12	43,2	38,2	38,8	37,8	26,94
13:48	1015,92	43,3	38,5	38,8	37,9	26,53
13:52	775,2	43,4	38,5	39	38,1	26,73
13:56	1015,92	43,7	39	39	38,2	26,7
14:00	897,6	43,1	39,3	39,2	38,4	26,25
14:04	1015,92	43,5	39,7	39	38,3	26,33
14:08	856,8	42,9	40	39,4	38,4	26,33
14:12	1015,92	43	40,1	39,2	38,4	26,6
14:16	816	43,2	40,4	39,5	38,7	26,81
14:20	1015,92	43,5	40,7	39,7	38,7	26,67
14:24	775,2	43,6	40,7	39,7	38,8	26,53
14:28	897,6	43,9	40,9	39,8	39	26,27
14:32	1097,52	43,6	40,8	40	39,2	26,96
14:36	1056,72	43,8	40,9	40	39,2	26,49
14:40	1015,92	44	41,1	40	39,2	27
14:44	816	44,2	41,3	39,8	39,3	26,21
14:48	856,8	44,4	41,6	39,7	39,1	25,77
14:52	856,8	44,6	41,8	40,1	39,3	26,89
14:56	656,88	44,7	41,9	40,1	39,4	27,12
15:00	697,68	44,9	42,1	40,4	39,5	26,73
15:04	1056,72	45,3	42,5	40,4	39,6	26,88
15:08	975,12	45,5	42,7	40,2	39,6	26,95
15:12	897,6	45,8	42,9	40,3	39,6	27,04
15:16	800	45,8	42,9	40,2	39,6	26,85
15:20	750	45,7	42,8	40,1	39,6	26,36
15:24	738,48	45,7	42,7	40,1	39,6	26,45
15:28	700	45,3	42	40,2	39,6	26,26
15:32	650	45	42,2	40,3	39,6	26,82
15:36	700	45,5	38,7	40,1	39,6	26,86
15:40	720	45,8	39	40,1	39,6	26,61
15:44	850	46	39,1	40,1	39,6	26,71
15:48	600	46,1	39,2	40,2	39,5	26,67

Çizelge 4.1. 26.05.2019 tarihli deney sonuçları (devam)

15:52	620	46,4	39,6	40,3	39,6	26,66
15:56	790	46,6	39,8	40,2	39,6	26,62
16:00	850	46,1	38,8	40,4	39,7	26,6

Çizelge 4.2’de 14.06.2019 tarihinde yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar verilmiştir. Verilen sonuçlar 4 dakikada bir alınan sonuçlardır.

Çizelge 4.2. 14.06.2019 tarihli deney sonuçları

Saat	Işınım (W/m <sup>2</sup> )	Gerçek Zamanlı Çıkış Sıcaklığı (°C)	Gerçek Zamanlı Giriş Sıcaklığı (°C)	Güneş Işınımı Algoritması Çıkış Sıcaklığı(°C)	Güneş Işınımı Algoritması Giriş Sıcaklığı(°C)	Hava Sıcaklığı (°C)
10:00	1018	29,6	28,8	23,4	22,9	22,24
10:04	1023	29,9	29,2	23,5	23	22,06
10:08	1028	30,2	29,5	23,5	23,2	22,22
10:12	1032	30,1	29,5	23,7	23,3	22,81
10:16	1030	30,4	29,8	23,9	23,4	22,92
10:20	1033	30,8	30,1	24,2	23,6	23,19
10:24	1035	31,1	30,5	24,3	23,8	23,5
10:28	1037	31,4	30,8	24,6	24	23,51
10:32	1032	31,6	31	24,8	24,3	23,81
10:36	1030	31,8	31,2	25,1	24,5	23,1
10:40	1033	32,1	31,4	25,4	24,8	23,1
10:44	1037	32,4	31,7	25,6	25	23,23
10:48	1039	32,7	32,1	26	25,3	23,59
10:52	1037	32,9	32,3	26,3	25,5	23,37
10:56	1035	33,2	32,6	26,6	25,8	23,29
11:00	1032	33,5	32,8	26,9	26,1	23,31
11:04	1030	33,8	33,1	27,1	26,3	23,03
11:08	1027	34,1	33,4	27,4	26,6	22,63
11:12	1025	34,2	33,6	27,4	26,7	22,68

Çizelge 4.2. 14.06.2019 tarihli deney sonuçları (devam)

11:16	1022	34,5	33,7	27,6	26,9	22,92
11:20	1027	34,7	34	27,9	27,1	23,44
11:24	1028	34,8	34,2	28	27,3	23,25
11:28	1031	35,1	34,5	28,3	27,5	23,45
11:32	1035	35,3	34,7	28,5	27,7	23,31
11:36	1037	35,6	35	28,8	28	23,22
11:40	1031	35,7	35,1	28,9	28,2	23,42
11:44	1040	35	34,9	29,2	28,4	23,64
11:48	1032	35,3	34,8	29,5	28,7	23,64
11:52	1038	35,5	34,9	29,5	28,9	23,86
11:56	1047	35,8	35,2	29,9	29,1	23,67
12:00	1050	36,1	35,4	30,2	29,4	23,72
12:04	1053	36,2	35,6	30,4	29,5	23,66
12:08	1060	35,6	35,4	30,6	29,7	23,73
12:12	1061	35,3	35,2	30,8	29,9	23,82
12:16	1060	34,9	34,8	30,7	30,2	24,31
12:20	1061	35,2	34,8	31,2	30,4	24,58
12:24	1064	35,8	35,1	31,4	30,6	24,41
12:28	1063	35,1	35	31,7	30,8	24,9
12:32	1062	35,9	35,3	31,9	31	25,09
12:36	1065	35,8	35,5	32,2	31,3	24,78
12:40	1068	36,4	35,7	32,4	31,4	24,25
12:44	1070	36,7	36,1	31,8	31,5	24,06
12:48	1072	37,1	36,4	32,4	31,5	24,07
12:52	1071	37,5	36,8	32,5	31,7	24,29
12:56	1075	37,7	37,1	32,7	31,9	24,67
13:00	1078	37,8	37,2	32,9	32,1	24,56
13:04	1077	37,9	37,3	33	32,2	24,55
13:08	1082	37,4	37,2	32,6	32,3	23,87
13:12	1088	37,6	37,1	32,6	32,2	23,64
13:16	1090	38	37,4	32,5	32,1	24,41
13:20	1092	38,4	37,7	32,9	32,2	25,29

Çizelge 4.2. 14.06.2019 tarihli deney sonuçları (devam)

13:24	1093	37,4	37,2	33,3	32,4	25,28
13:28	1094	36,9	36,8	32,8	32,5	25,27
13:32	1095	37,7	37,2	33,6	32,7	25,12
13:36	1092	37,8	37,3	33,3	32,8	25,78
13:40	1098	37,4	37,2	33,9	33	25,46
13:44	1107	37,9	37,4	34,1	33,3	25,68
13:48	1116	38,2	37,5	34,3	33,4	25,94
13:52	1118	38,2	37,6	34,6	33,7	25,34
13:56	1122	38,7	37,9	34,8	33,9	25,56
14:00	1121	39	38,3	34,9	34	25,35
14:04	1120	39,4	38,7	35,1	34,2	25,36
14:08	1120	39,7	39,1	34,7	34,3	25,99
14:12	1121	39,8	39,2	35,2	34,3	26,01
14:16	1122	40,1	39,4	35,5	34,6	25,83
14:20	1125	40,4	39,7	35,7	34,8	24,5
14:24	1127	40,4	39,8	35	34,7	25,38
14:28	1125	40,6	40,1	34,9	34,6	25,24
14:32	1123	40,5	39,8	35,8	34,8	25,43
14:36	1112	40,6	40	35,9	35	25,75
14:40	1110	40,8	40,2	35,5	35,1	25,49
14:44	1109	41	40,4	36,1	35,3	25,47
14:48	1107	41,3	40,6	36,3	35,4	26,27
14:52	1104	41,5	40,8	36,4	35,5	26,85
14:56	1067	41,6	40,9	36,6	35,7	29,13
15:00	1065	41,8	41,1	36,8	35,9	29,53
15:04	1063	42,2	41,5	37,1	36,2	28,86
15:08	1062	42,4	41,7	37,3	36,4	28,01
15:12	1060	42,6	42	37,4	36,5	28,56
15:16	1060	42,6	42	37,5	36,6	28,59
15:20	1058	42,5	41,9	37,7	36,8	28,68
15:24	1056	42,4	41,9	37,8	37	28,29
15:28	1054	41,7	41,5	37,9	37,1	28,64



Çizelge 4.2. 14.06.2019 tarihli deney sonuçları (devam)

15:32	1050	41,9	41,2	38	37,2	28,55
15:36	1046	42,4	41,7	38,1	37,3	28,92
15:40	1043	42,7	42	38,3	37,4	29,8
15:44	1042	42,8	42,2	38,4	37,5	29,75
15:48	1041	42,9	42,3	38,6	37,7	29,79
15:52	1040	43,3	42,6	38,8	37,9	29,78
15:56	1039	43,5	42,8	38,8	38	31,37
16:00	1041	42,5	42,3	39	38,2	32,17

Deneysel süresince su sıcaklıkları, hava sıcaklığı ve ışınım verilerinin yanında her iki güneş takip sistemindeki parabolik olukların açıları 4 ve 10 dakikada bir ölçülmüştür. Ölçülen açı değerleri 4 ve 10 dakikalık periyotta hesaplanan güneş azimuth açısı ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.3'de 14.06.2019 tarihinde hesaplanan azimuth açısı, güneş takip sistemlerinin açıları ve hesaplanan açıları ile sistemlerin yaptığı hata değerleri verilmiştir. Ölçülen ve hesaplanan veriler dörder dakikalık verilerdir.

Çizelge 4.3. 14.06.2019 tarihinde hesaplanan ve ölçülen açı değerleri

Saat	Hesaplanan Güneş Azimuth Açısı (°)	Gerçek Zamanlı Açısı (°)	Güneş Işınımı Algoritması Açısı (°)	Gerçek Zamanlı Açı Hatası (°)	Güneş Işınımı Algoritması Açı Hatası (°)
10:00	98,33	100	100	-1,67	-1,67
10:04	99,09	100	100	-0,91	-0,91
10:08	99,86	100	100	-0,14	-0,14
10:12	100,65	100,35	100	0,3	0,65
10:16	101,46	101,06	100,75	0,4	0,71
10:20	102,3	102	101,52	0,3	0,78
10:24	103,15	103	102,72	0,15	0,43
10:28	104,03	103,73	103,22	0,3	0,81
10:32	104,93	104,63	104,26	0,3	0,67

Çizelge 4.3. 14.06.2019 tarihinde hesaplanan ve ölçülen açılış değerleri  
(devam)

10:36	105,85	105,56	105,11	0,29	0,74
10:40	106,81	106,51	106	0,3	0,81
10:44	107,8	107,4	107	0,4	0,8
10:48	108,82	108,52	108,32	0,3	0,5
10:52	109,87	109,58	109,08	0,29	0,79
10:56	110,97	110,57	109,98	0,4	0,99
11:00	112,1	111,8	111,3	0,3	0,8
11:04	113,28	112,93	112,52	0,35	0,76
11:08	114,5	114,1	113,8	0,4	0,7
11:12	115,77	115,47	115	0,3	0,77
11:16	117,1	116,7	116,17	0,4	0,93
11:20	118,48	118,44	117,84	0,04	0,64
11:24	119,93	119,93	119	0	0,93
11:28	121,44	121,14	120,97	0,3	0,47
11:32	123,02	122,73	122,3	0,29	0,72
11:36	124,68	124,28	124,1	0,4	0,58
11:40	126,42	126	125,85	0,42	0,57
11:44	128,25	127,95	127,45	0,3	0,8
11:48	130,17	129,87	129,1	0,3	1,07
11:52	132,19	131,79	131,2	0,4	0,99
11:56	134,31	134,55	133,82	-0,24	0,49
12:00	136,54	136,54	135,82	0	0,72
12:04	138,89	138,49	137,95	0,4	0,94
12:08	141,35	141	139,76	0,35	1,59
12:12	143,94	143,64	143,2	0,3	0,74
12:16	146,66	146,36	145,7	0,3	0,96
12:20	149,51	149,11	148,85	0,4	0,66
12:24	152,48	152	151,4	0,48	1,08
12:28	155,58	155,1	154,9	0,48	0,68
12:32	158,8	158,2	157,7	0,6	1,1
12:36	162,13	161,83	161,1	0,3	1,03

Çizelge 4.3. 14.06.2019 tarihinde hesaplanan ve ölçülen açı değerleri  
(devam)

12:40	165,55	165,15	164,85	0,4	0,7
12:44	169,06	168,76	168,2	0,3	0,86
12:48	172,64	172,24	172	0,4	0,64
12:52	176,26	176	175,45	0,26	0,81
12:56	179,9	179,71	179,25	0,19	0,65
13:00	183,55	183,15	182,79	0,4	0,76
13:04	187,17	186,67	186,1	0,5	1,07
13:08	190,75	190	189,5	0,75	1,25
13:12	194,23	193,87	193,2	0,36	1,03
13:16	197,7	197,1	196,6	0,6	1,1
13:20	201,03	200,63	200,1	0,4	0,93
13:24	204,26	203,86	203	0,4	1,26
13:28	207,36	206,96	206,1	0,4	1,26
13:32	210,34	209,74	209,1	0,6	1,24
13:36	213,2	213	212,28	0,2	0,92
13:40	215,92	215,52	215,1	0,4	0,82
13:44	218,52	218,12	217,82	0,4	0,7
13:48	220,99	220,39	219,95	0,6	1,04
13:52	223,35	222,95	222,2	0,4	1,15
13:56	225,59	225,19	224,95	0,4	0,64
14:00	227,71	227,12	226,85	0,59	0,86
14:04	229,74	229,14	228,52	0,6	1,22
14:08	231,68	230,76	230	0,92	1,68
14:12	233,47	233	232,5	0,47	0,97
14:16	235,28	234,84	234	0,44	1,28
14:20	236,92	236,6	235,9	0,32	1,02
14:24	238,45	238,09	237	0,36	1,45
14:28	240,02	239,25	238,52	0,77	1,5
14:32	241,48	241,95	241,15	-0,47	0,33
14:36	242,88	242,14	241,9	0,74	0,98
14:40	244,19	243,77	243,1	0,42	1,09

Çizelge 4.3. 14.06.2019 tarihinde hesaplanan ve ölçülen açı değerleri  
(devam)

14:44	245,49	245	244,7	0,49	0,79
14:48	246,64	246,27	245,75	0,37	0,89
14:52	247,85	247,15	246,9	0,7	0,95
14:56	248,92	248,49	247,84	0,43	1,08
15:00	250,06	249,78	249,1	0,28	0,96
15:04	251,16	250,74	250,05	0,42	1,11
15:08	252,19	251,86	251	0,33	1,19
15:12	253,18	252,85	252,3	0,33	0,88
15:16	254,16	254,11	253,11	0,05	1,05
15:20	255,1	254,74	254,2	0,36	0,9
15:24	255,98	255,54	255,05	0,44	0,93
15:28	256,86	256,32	255,84	0,54	1,02
15:32	257,62	257,18	256,95	0,44	0,67
15:36	258,54	258	257,5	0,54	1,04
15:40	259,32	258,92	258,35	0,4	0,97
15:44	260,11	260	260	0,11	0,11
15:48	260,84	260	260	0,84	0,84
15:52	261,68	260	260	1,68	1,68
15:56	262,34	260	260	2,34	2,34
16:00	263,11	260	260	3,11	3,11

Çizelge 4.4'de 26.05.2019 tarihinde hesaplanan azimuth açısı, güneş takip sistemlerinin açıları ve hesaplanan açıları ile sistemlerin yaptığı hata değerleri verilmiştir. Ölçülen ve hesaplanan veriler onar dakikalık verilerdir.

Çizelge 4.4. 26.05.2019 tarihinde hesaplanan ve ölçülen açı değerleri

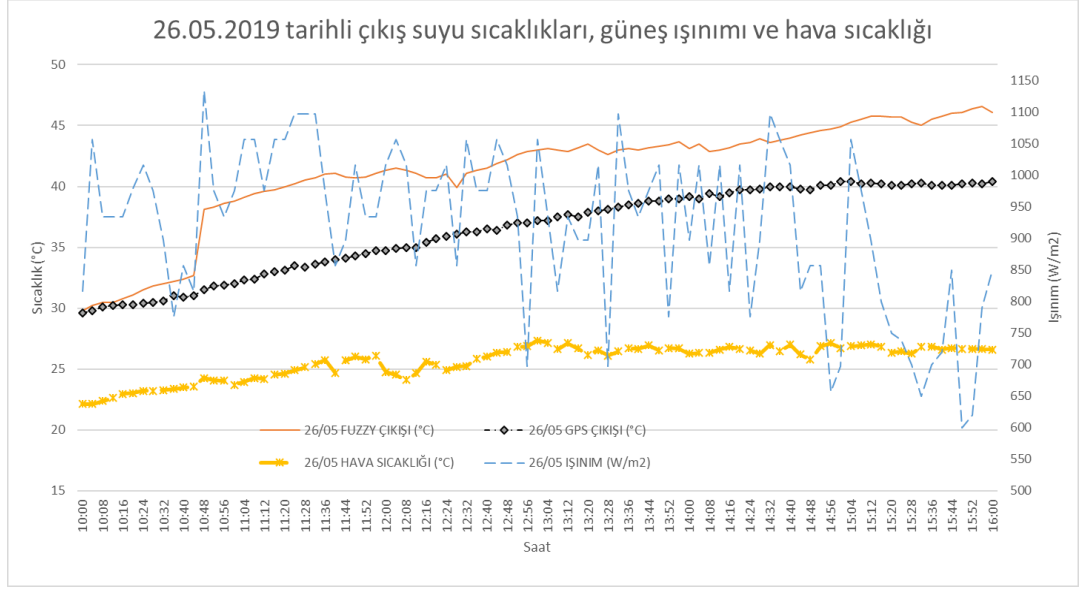
Saat	Hesaplanan Güneş Azimuth Açısı (°)	Gerçek Zamanlı Açısı (°)	Güneş Işınımı Algoritması Açısı (°)	Gerçek Zamanlı Açı Hatası (°)	Güneş Işınımı Algoritması Açı Hatası (°)
10:00	101,35	101	100,54	0,35	0,81
10:10	103,38	102,86	102,12	0,52	1,26
10:20	105,54	105,98	104,99	-0,44	0,55
10:30	107,84	107,05	106,26	0,79	1,58
10:40	110,32	109,87	109	0,45	1,32
10:50	112,99	112,05	111,45	0,94	1,54
11:00	115,89	114,85	114,45	1,04	1,44
11:10	119,06	118,26	117,89	0,8	1,17
11:20	122,55	121,86	121,42	0,69	1,13
11:30	126,42	125,34	125,64	1,08	0,78
11:40	130,71	129,87	129,62	0,84	1,09
11:50	135,49	134,78	134	0,71	1,49
12:00	140,82	140,25	139,57	0,57	1,25
12:10	146,74	145,9	145,5	0,84	1,24
12:20	153,29	152,15	151,85	1,14	1,44
12:30	160,42	159,24	159	1,18	1,42
12:40	168,06	167,14	166,85	0,92	1,21
12:50	176,03	175,89	174,89	0,14	1,14
13:00	184,12	183,25	182,65	0,87	1,47
13:10	192,1	191	190,5	1,1	1,6
13:20	199,73	199,05	198,25	0,68	1,48
13:30	206,85	205,75	205,5	1,1	1,35
13:40	213,39	212,75	212	0,64	1,39
13:50	219,31	218,75	217,86	0,56	1,45
14:00	224,64	224	223,15	0,64	1,49
14:10	229,41	228,99	227,95	0,42	1,46
14:20	233,7	233	232	0,7	1,7

Çizelge 4.4. 26.05.2019 tarihinde hesaplanan ve ölçülen açı değerleri  
(devam)

14:30	237,55	237	235,97	0,55	1,58
14:40	241,04	240,25	239,76	0,79	1,28
14:50	244,21	243,82	243	0,39	1,21
15:00	247,11	246,8	245,5	0,31	1,61
15:10	249,78	249,1	248,34	0,68	1,44
15:20	252,25	251,75	251	0,5	1,25
15:30	254,55	254	253,4	0,55	1,15
15:40	256,71	256,15	255,74	0,56	0,97
15:50	258,74	258,1	257,84	0,64	0,9
16:00	260,67	260,5	260	0,17	0,67

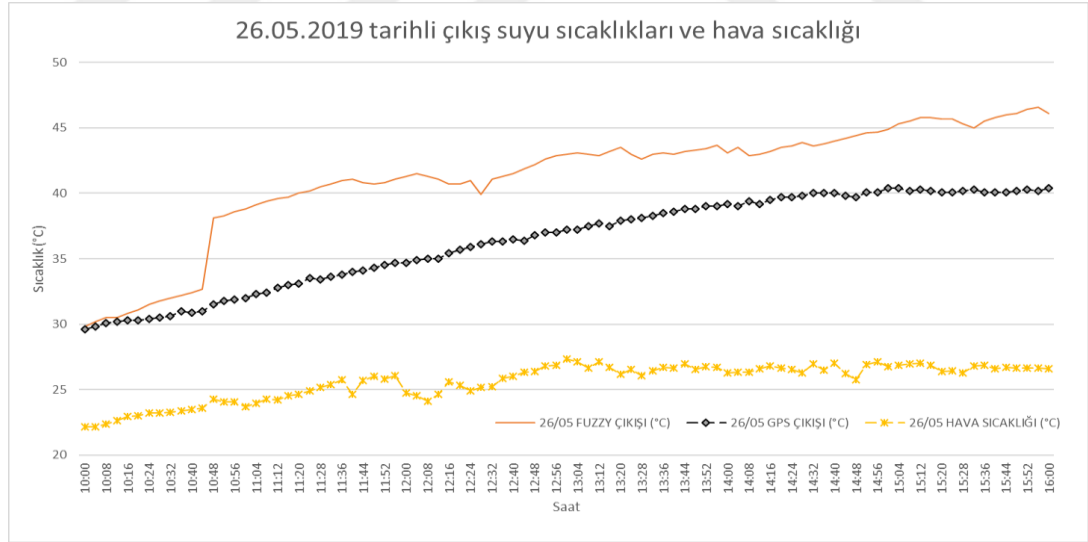
Verilen tabloları daha iyi anlamak için değerleri grafikler üzerinden görselleştirerek iki farklı güneş takip sistemini karşılaştırmak daha yararlı olacaktır. Karşılaştırmalar yapılırken iki sistemin giriş suyu sıcaklıkları, çıkış suyu sıcaklıkları, açı değerleri ve hesaplanan güneş azimuth açısı, ölçülen güneş ışıınımmı miktarı, hava sıcaklığı ve açı hataları verileri ile grafikler çizdirilmiş ve iki farklı gün için grafikler verilmiştir. Çizelgeler üzerinde yer alan göstergelerde yer alan “FUZZY” ifadesi gerçek zamanlı güneş takip sistemini, “GPS” ifadesi güneş ışıınımmı algoritmasına göre güneş takip sistemini ifade eder.

Şekil 4.2’de verilen grafik 26.05.2019 tarihinde yapılan deney süresince ölçülen ve kaydedilen gerçek zamanlı güneş takip sistemi ile güneş ışıınımmı algoritmasına göre güneş takip sisteminden elde edilen çıkış suyu sıcaklıkları, ışıınımmı değerleri ve hava sıcaklığı değerlerini içermektedir.



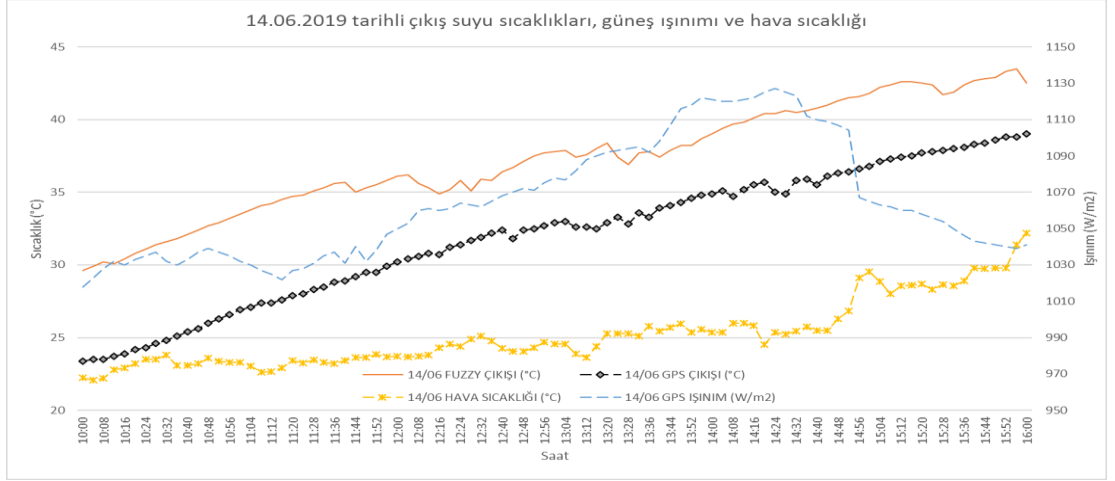
Şekil 4.2. 26.05.2019 tarihli çıkış suyu sıcaklıkları, güneş ışınımı ve hava sıcaklığı

Şekil 4.3'de verilen grafik 26.05.2019 tarihinde yapılan deney süresince ölçülen ve kaydedilen gerçek zamanlı güneş takip sistemi ile güneş ışınımı algoritmasına göre güneş takip sisteminden elde edilen çıkış suyu sıcaklıkları ve hava sıcaklığı değerlerini içermektedir.



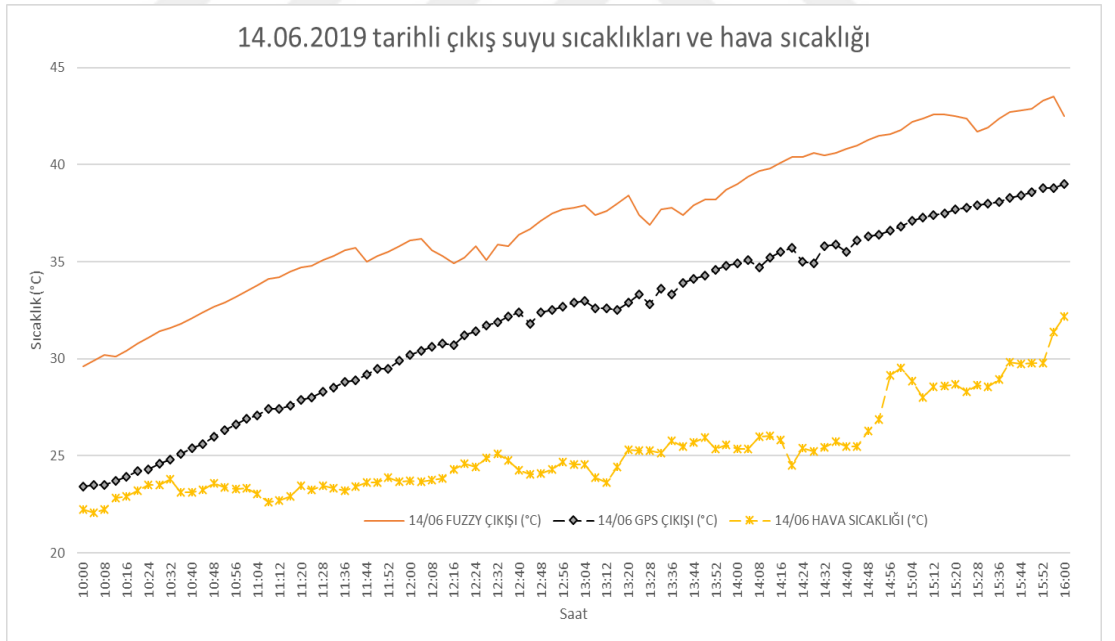
Şekil 4.3. 26.05.2019 tarihli çıkış suyu sıcaklıkları ve hava sıcaklığı

Şekil 4.4'de verilen grafik 14.06.2019 tarihinde yapılan deney süresince ölçülen ve kaydedilen gerçek zamanlı güneş takip sistemi ile güneş ışınımı algoritmasına göre güneş takip sisteminden elde edilen çıkış suyu sıcaklıkları, ışınım değerleri ve hava sıcaklığı değerlerini içermektedir.



Şekil 4.4 14.06.2019 tarihli çıkış suyu sıcaklıkları, güneş ışınımı ve hava sıcaklığı

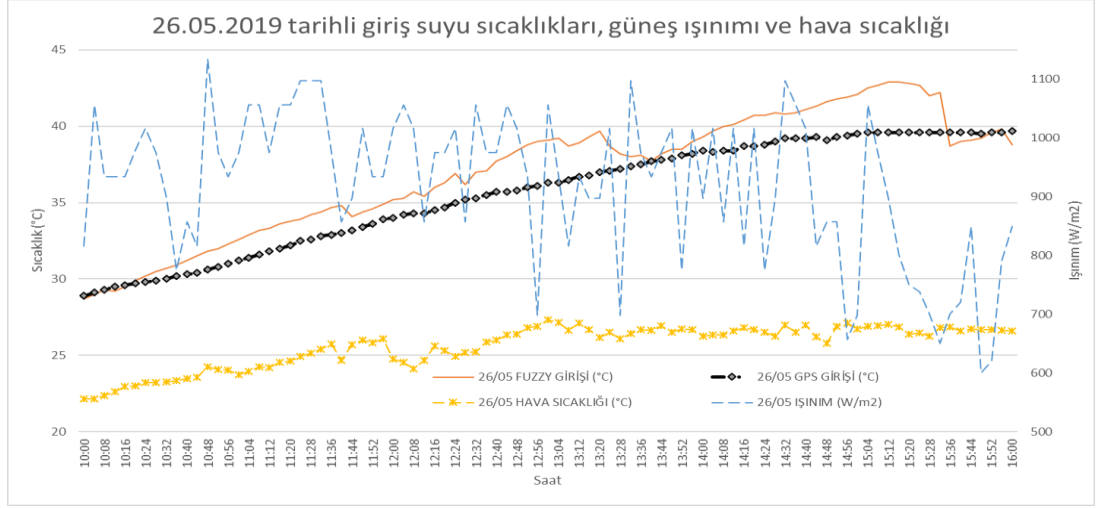
Şekil 4.5’de verilen grafik 14.06.2019 tarihinde yapılan deney süresince ölçülen ve kaydedilen gerçek zamanlı güneş takip sistemi ile güneş ışınımı algoritmasına göre güneş takip sisteminden elde edilen çıkış suyu sıcaklıkları ve hava sıcaklığı değerlerini içermektedir.



Şekil 4.5. 14.06.2019 tarihli çıkış suyu sıcaklıkları ve hava sıcaklığı

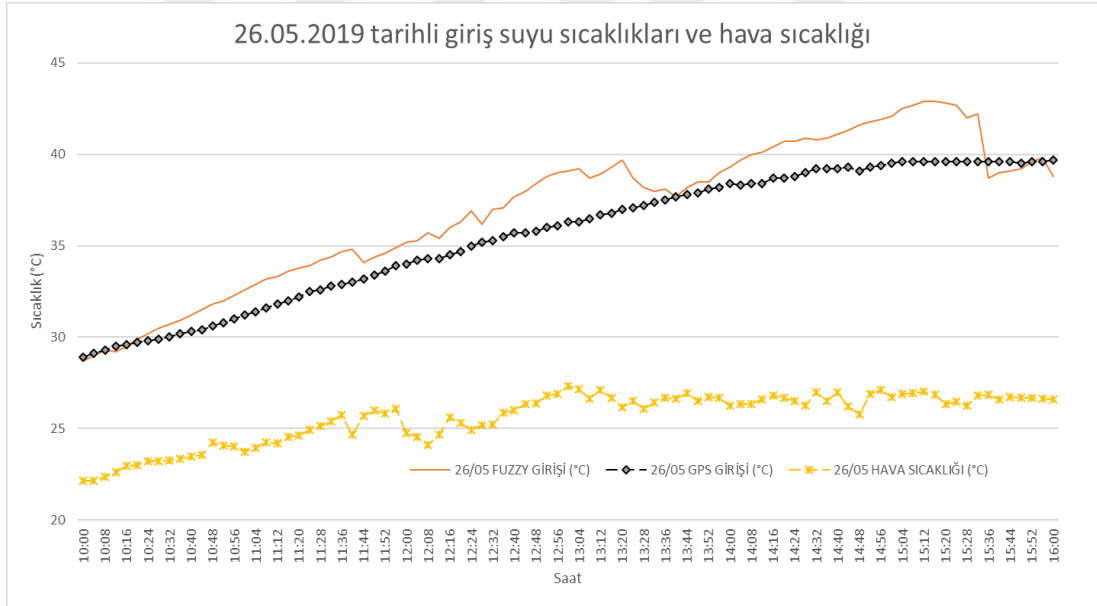
Şekil 4.6’da verilen grafik 26.05.2019 tarihinde yapılan deney süresince ölçülen ve kaydedilen gerçek zamanlı güneş takip sistemi ile güneş ışınımı algoritmasına göre güneş takip sisteminden elde edilen giriş suyu sıcaklıkları, ışınım değerleri ve hava sıcaklığı değerlerini içermektedir.





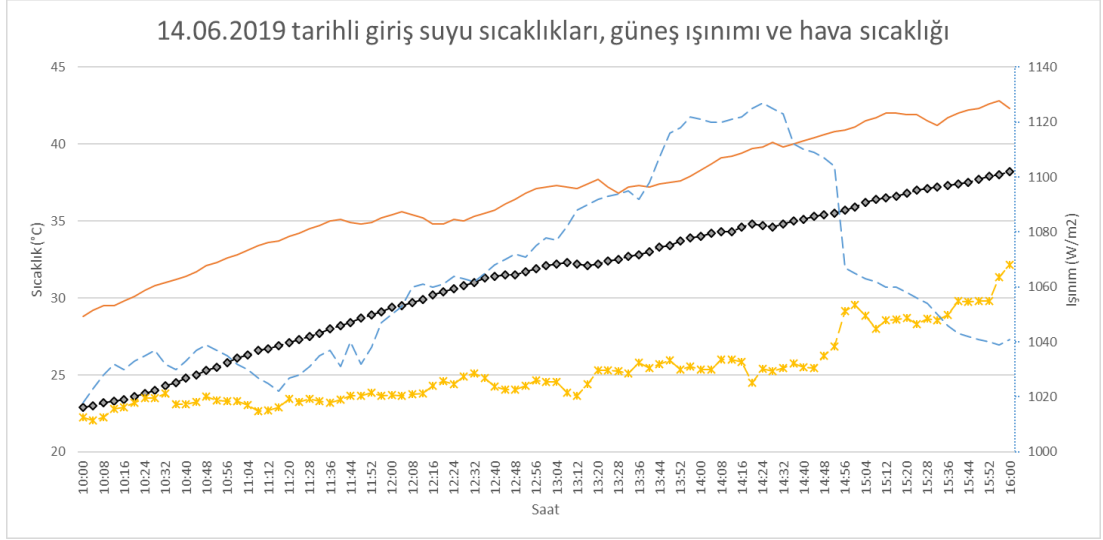
Şekil 4.6. 26.05.2019 tarihli giriş suyu sıcaklıkları, güneş ışınımı ve hava sıcaklığı

Şekil 4.7'de verilen grafik 26.05.2019 tarihinde yapılan deney süresince ölçülen ve kaydedilen gerçek zamanlı güneş takip sistemi ile güneş ışınımı algoritmasına göre güneş takip sisteminden elde edilen giriş suyu sıcaklıkları ve hava sıcaklığı değerlerini içermektedir.



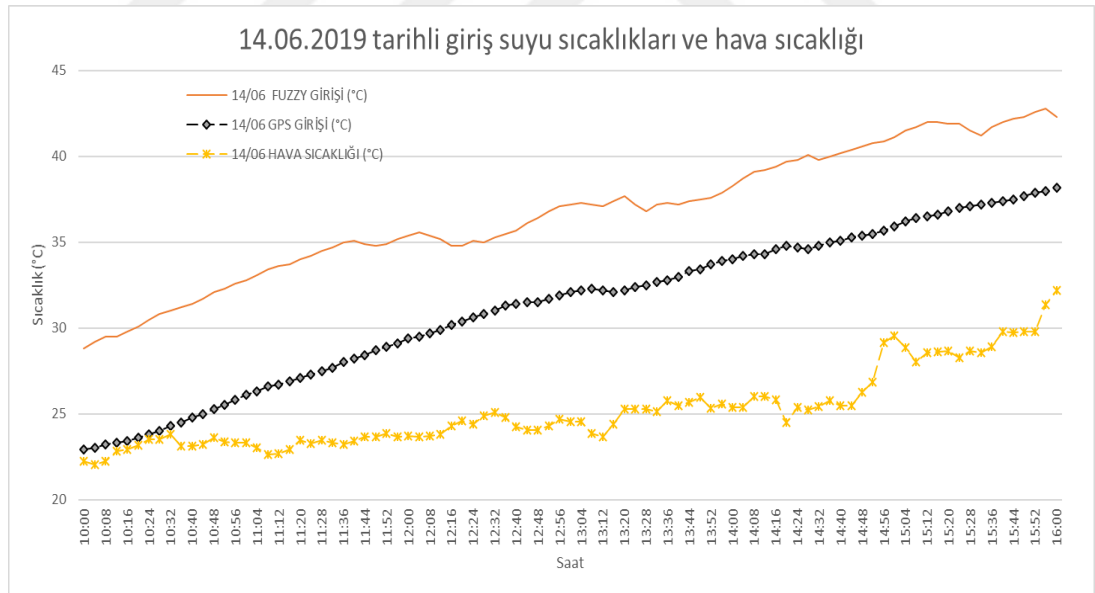
Şekil 4.7. 26.05.2019 tarihli giriş suyu sıcaklıkları ve hava sıcaklığı

Şekil 4.8'de verilen grafik 14.06.2019 tarihinde yapılan deney süresince ölçülen ve kaydedilen gerçek zamanlı güneş takip sistemi ile güneş ışınımı algoritmasına göre güneş takip sisteminden elde edilen giriş suyu sıcaklıkları, ışınım değerleri ve hava sıcaklığı değerlerini içermektedir.



Şekil 4.8. 14.06.2019 tarihli giriş suyu sıcaklıkları, güneş ışınımı ve hava sıcaklığı

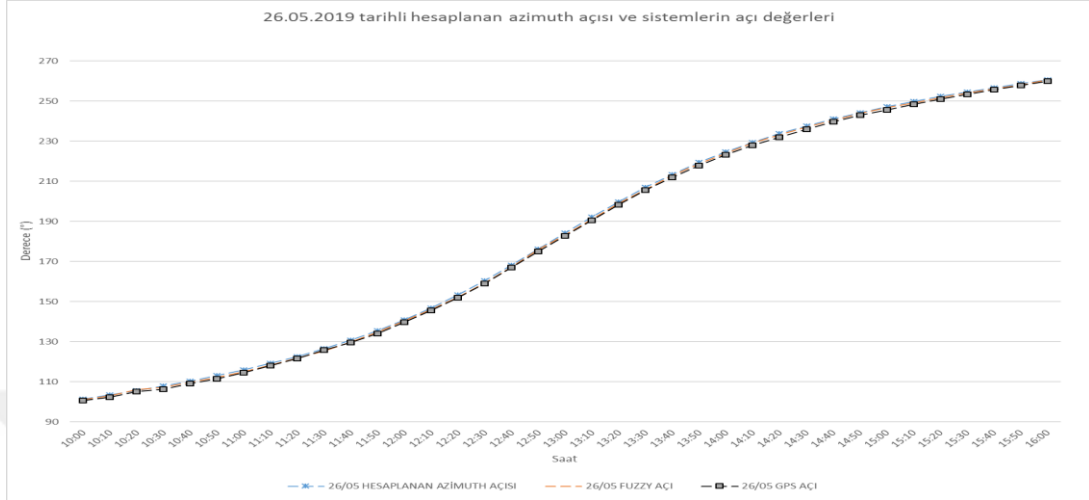
Şekil 4.9'da verilen grafik 14.06.2019 tarihinde yapılan deney süresince ölçülen ve kaydedilen gerçek zamanlı güneş takip sistemi ile güneş ışınımı algoritmasına göre güneş takip sisteminden elde edilen giriş suyu sıcaklıkları ve hava sıcaklığı değerlerini içermektedir.



Şekil 4.9. 14.06.2019 tarihli giriş suyu sıcaklıkları ve hava sıcaklığı

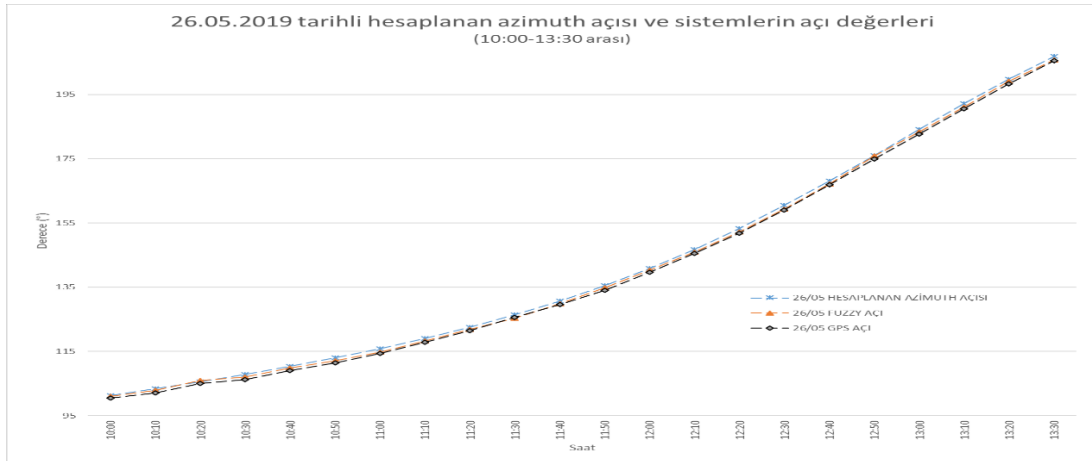
Sistemlerin performansları karşılaştırılırken sadece giriş ve çıkış su sıcaklıkları karşılaştırılmamış, bunun yanında hesaplanan güneş azimuth açısına göre sistemlerin açıları da karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.10'da verilen grafik 26.05.2019 tarihinde yapılan deneyler süresince her 4 dakikada bir hesaplanan ve her iki güneş takip sisteminden ölçüp kaydedilen parabolik oluk açılarını göstermektedir.

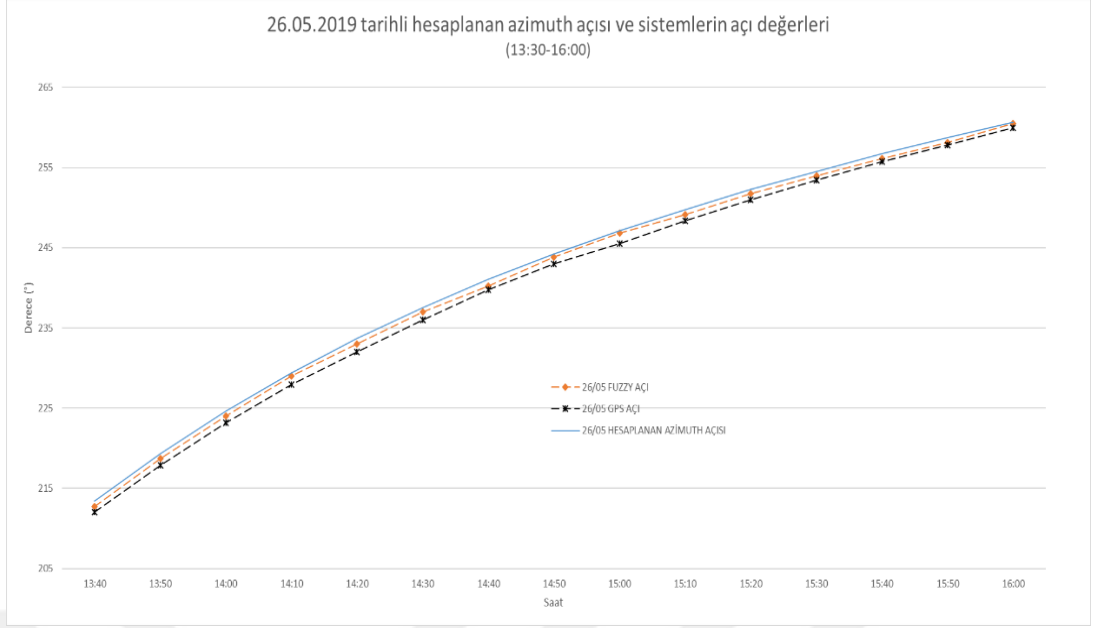


Şekil 4.10. 26.05.2019 tarihli hesaplanan azimuth açısı ve sistemlerin açı değerleri

Şekil 4.10'daki grafik daha iyi irdelenmek için iki parçaya ayrılmıştır. Şeki 4.11'de gösterilen grafik 26.05.2019 tarihinde elde edilen açı değerlerinin saat 10:00-13:30 arasını gösterirken, Şekil 4.12'de gösterilen grafik saat 13:30-16:00 arasını gösterir.

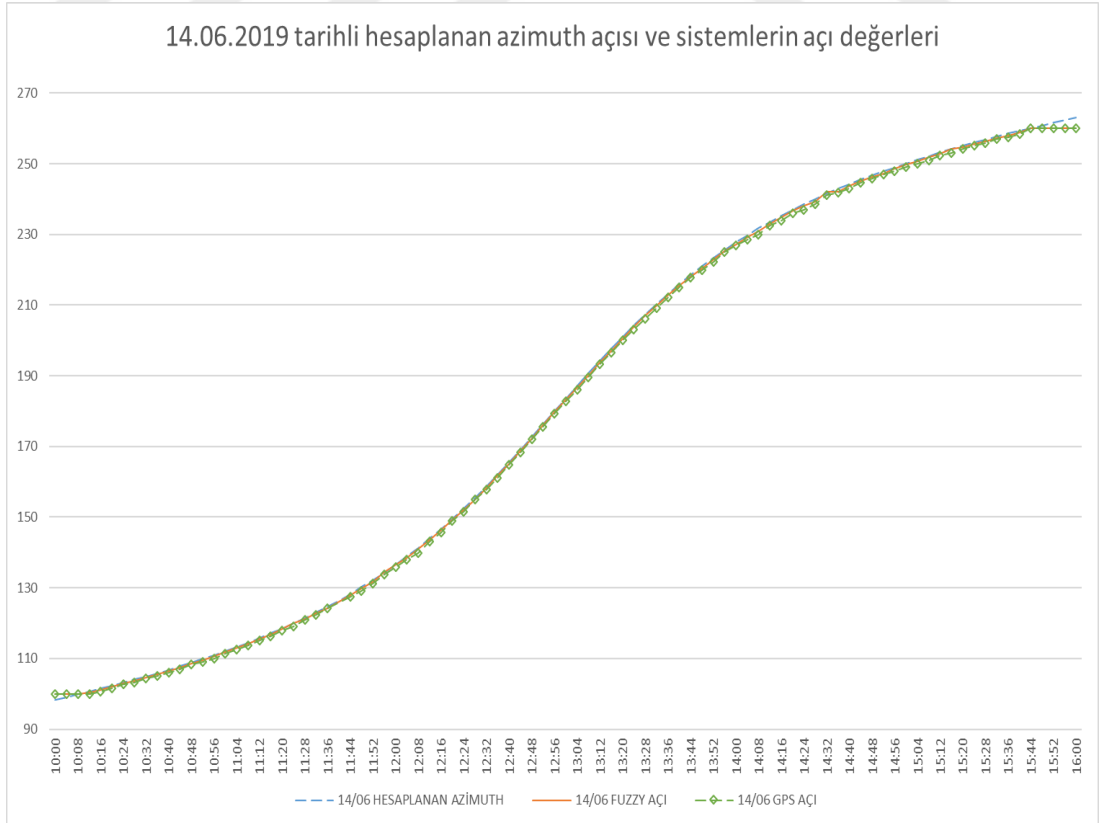


Şekil 4.11. 26.05.2019 tarihli hesaplanan azimuth açısı ve sistemlerin açı değerleri (10:00-13:30)



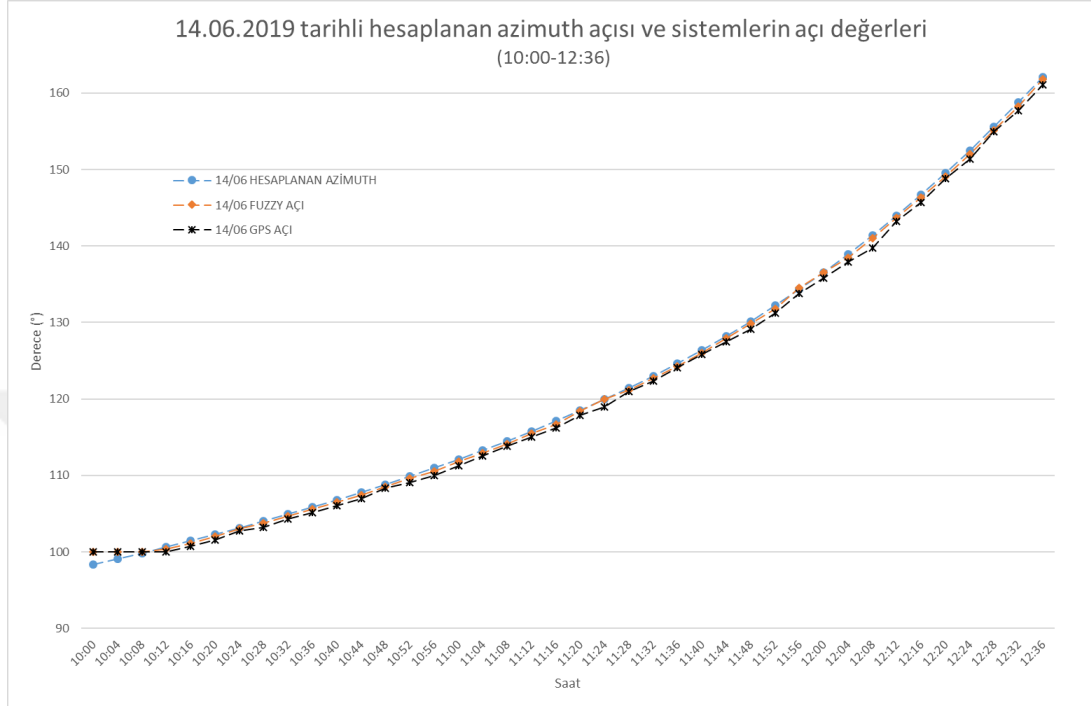
Şekil 4.12. 26.05.2019 tarihli hesaplanan azimuth açısı ve sistemlerin açı değerleri (13:30-16:00)

Şekil 4.13'de verilen grafik 14.06.2019 tarihinde yapılan deneyler süresince her 4 dakikada bir hesaplanan ve her iki güneş takip sisteminden ölçüp kaydedilen parabolik oluk açılarını göstermektedir.

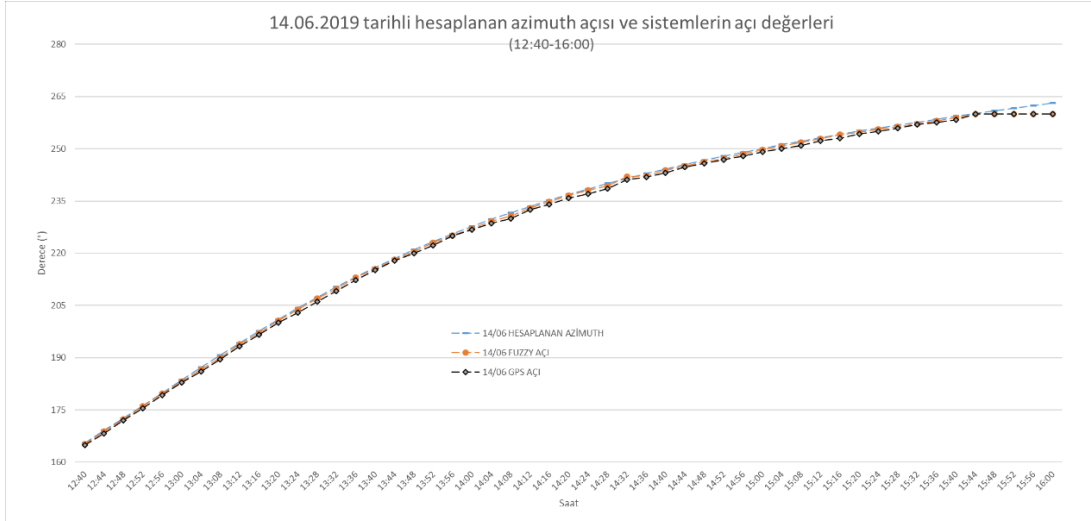


Şekil 4.13. 14.06.2019 tarihli hesaplanan azimuth açısı ve sistemlerin açı değerleri

Şekil 4.13'deki grafik daha iyi irdelenmek için iki parçaya ayrılmıştır. Şeki 4.14'de gösterilen grafik 14.06.2019 tarihinde elde edilen açı değerlerinin saat 10:00-12:36 arasını gösterirken, Şekil 4.15'de gösterilen grafik saat 12:36-16:00 arasını gösterir.



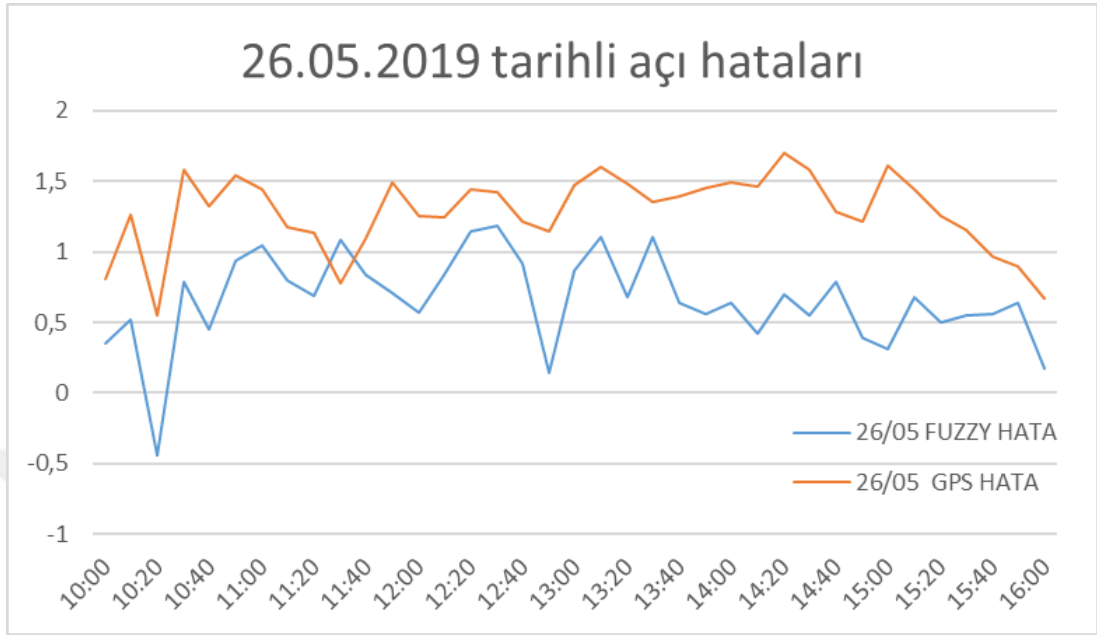
Şekil 4.14. 14.06.2019 tarihli hesaplanan azimuth açısı ve sistemlerin açı değerleri (10:00-12:36)



Şekil 4.15. 14.06.2019 tarihli hesaplanan azimuth açısı ve sistemlerin açı değerleri (12:40-16:00)

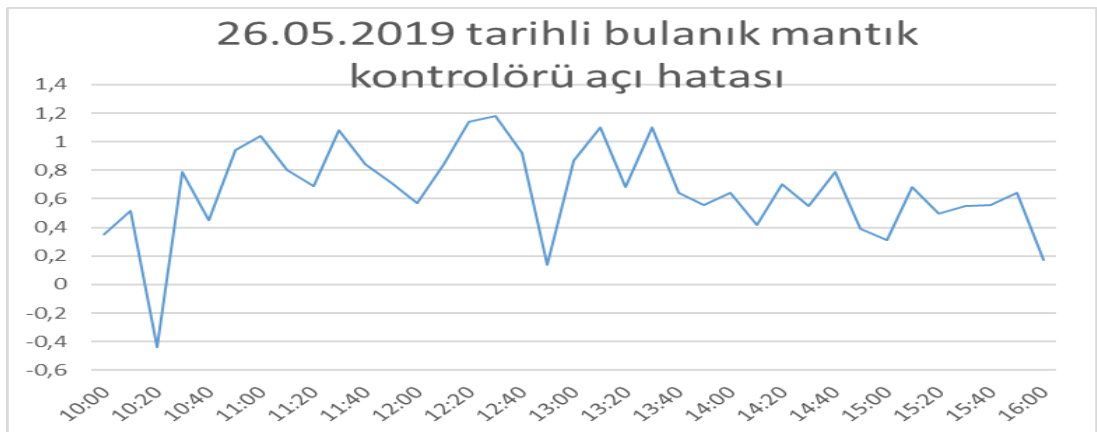
Yukarıda verilen açı grafiklerine bakacak olursak, hesaplanan azimuth açısı değeri ile ölçülen değerler arasındaki açı farkı görülecektir. Hesaplanan açı değerleri ile ölçülen

açı değerleri arasındaki fark açı hatası olarak isimlendirilmiştir. Şekil 4.16'da 26.05.2019 tarihli açı hatalarının grafiği verilmiştir.

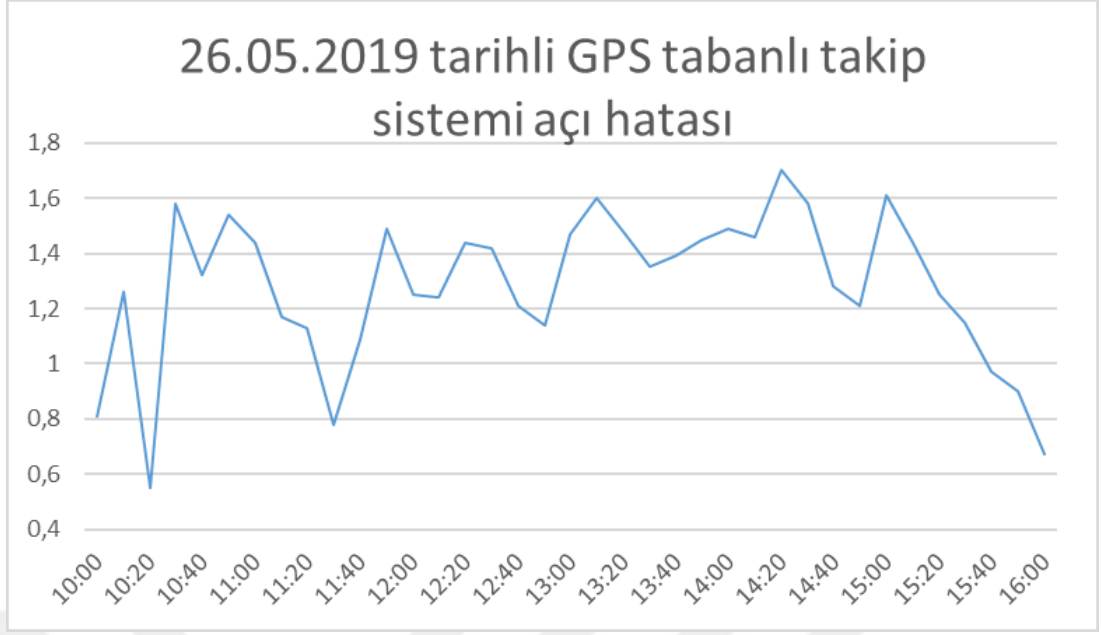


Şekil 4.16. 26.05.2019 tarihli deneylerdeki açı hataları

Şekil 4.16'daki grafiği açacak olursak, hem gerçek zamanlı güneş takip sistemine (fuzzy) ait açı hatalarını hem de güneş ışınımı algoritmasına ait güneş takip sistemine (gps) ait grafiklerin ayrı ayrı verilmesi gerekmektedir. Şekil 4.17'de gerçek zamanlı güneş takip sistemine ait açı hataları gösterilirken, şekil 4.18'de güneş ışınımı algoritmasına göre güneş takip sistemine ait açı hataları gösterilmiştir.

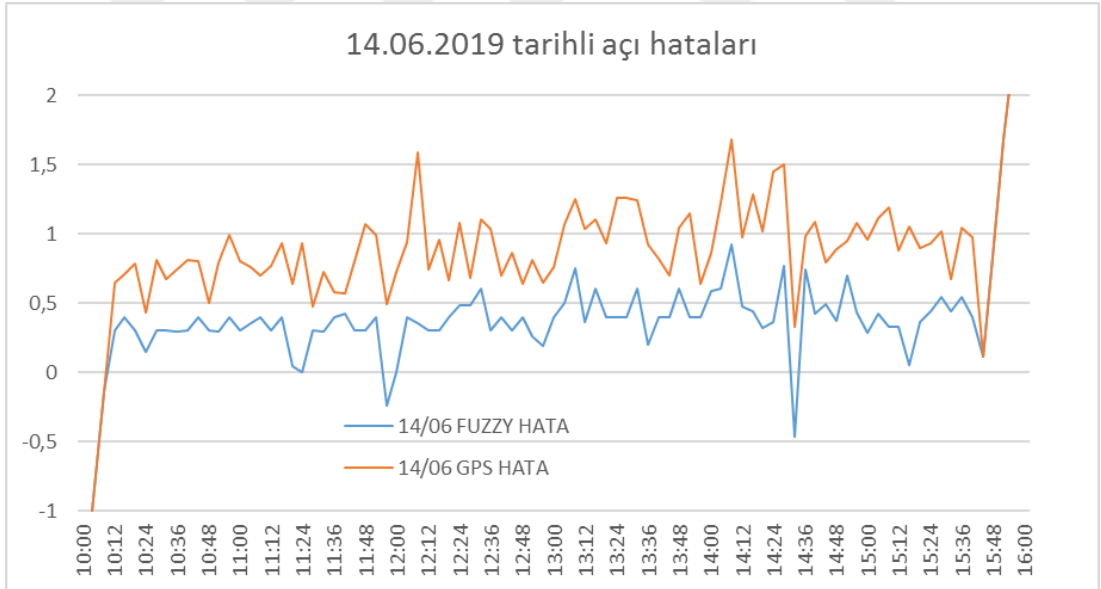


Şekil 4.17. 26.05.2019 tarihli gerçek zamanlı güneş takip sistemi açı hataları



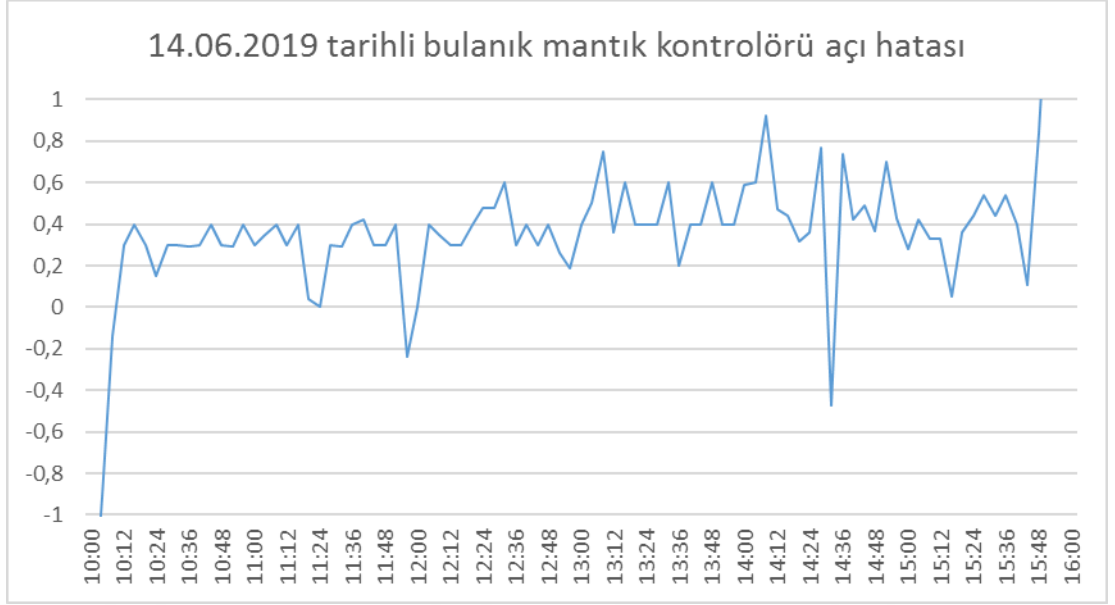
Şekil 4.18. 26.05.2019 tarihli güneş ışınımı algoritmasına göre güneş takip sistemi aç hataları

Aynı mantıkla, deney yapılan diğer tarih olan 14.06.2019’da her iki güneş takip sisteminin aç hatalarının gösterildiği grafik Şekil 4.19’da verilmiştir.

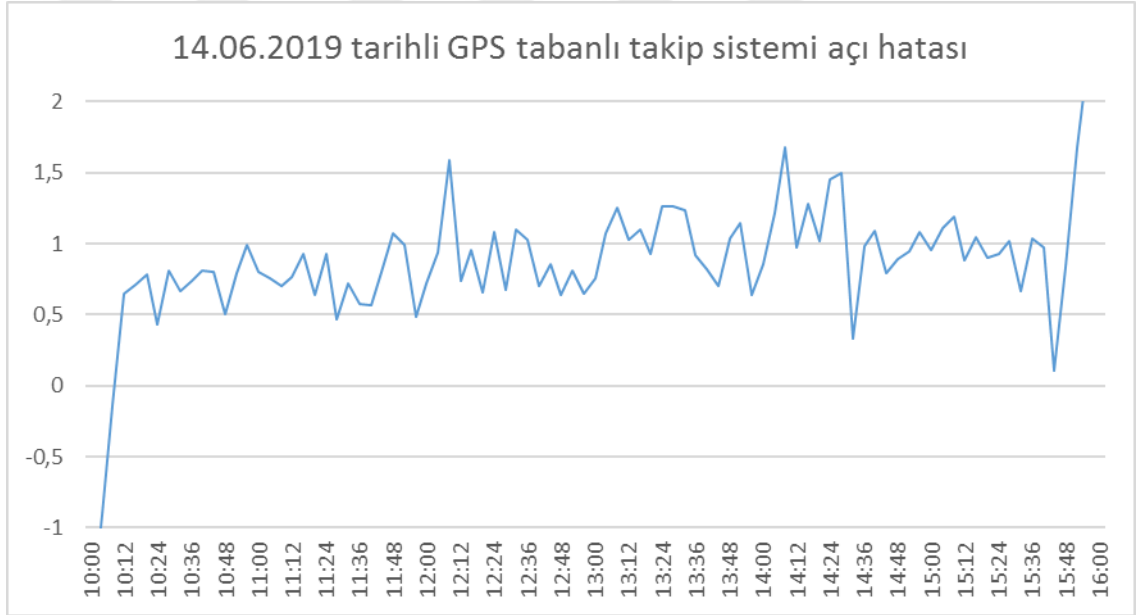


Şekil 4.19. 14.06.2019 tarihli deneylerdeki aç hataları

Şekil 4.19’daki grafiği de açacak olursak, hem gerçek zamanlı güneş takip sistemine (fuzzy) ait aç hatalarını hem de güneş ışınımı algoritmasına ait güneş takip sistemine (gps) ait grafiklerin ayrı ayrı verilmesi gerekmektedir. Şekil 4.20’de gerçek zamanlı güneş takip sistemine ait aç hataları gösterilirken, şekil 4.21’de güneş ışınımı algoritmasına göre güneş takip sistemine ait aç hataları gösterilmiştir.



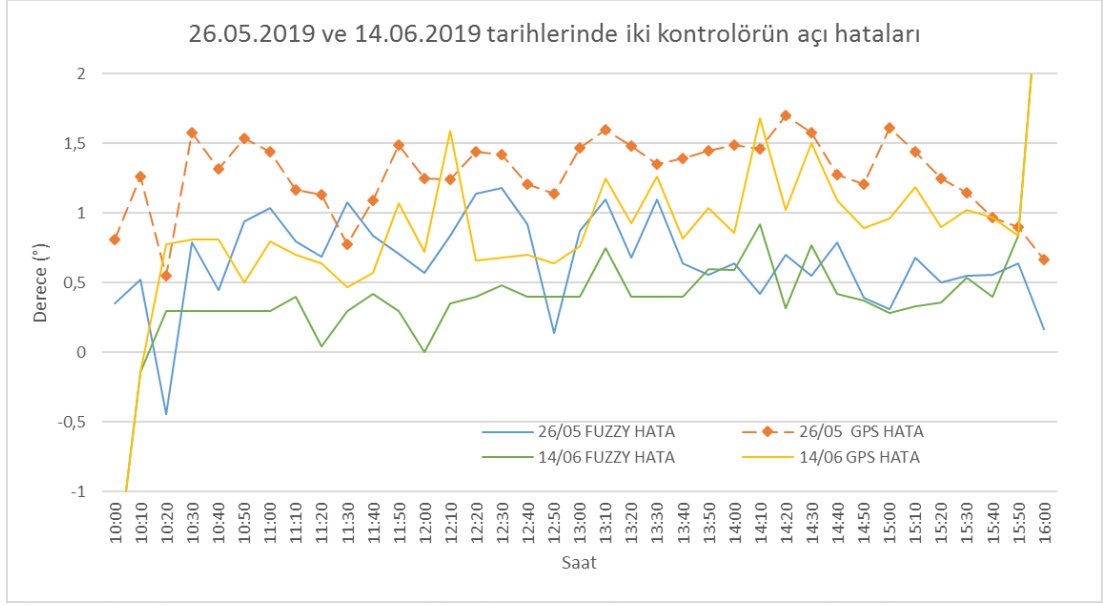
Şekil 4.20. 14.06.2019 tarihli gerçek zamanlı güneş takip sistemi açığı hataları



Şekil 4.21. 14.06.2019 tarihli güneş ışınımı algoritmasına göre güneş takip sistemi açığı hataları

Açık hataları konusunu toparlayacak olursak, her iki deney gününe ait, her iki sistemin açık hatalarını gösteren grafik şekil 4.22’de verilmiştir.





Şekil 4.22. Her iki deney gününe ait iki kontrolörün aç ı hataları

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırma bulguları bölümünde yer alan, her iki deney gününe ait tablolar ve grafikleri incelendiğinde hem parçalı bulutlu havada, hem de güneşli ve açık havada sistemler karşılaştırılmıştır.

26.05.2019 tarihindeki deney sonuçlarına göre iki farklı güneş takip sisteminin giriş ve çıkış suyu sıcaklıklarını incelendiğinde, gerçek zamanlı güneş takip sistemi içerisinde tasarlanan bulanık mantık kontrolörünün daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Işınım değerlerine bakacak olursak, deney günü çok bulutlu geçtiğinden ışınım değeri sürekli dalgalanmıştır (Şekil 4.2). Bulutlu havalarda bulanık mantık kontrolörüne sahip sistem yine ışığı en iyi aldığı konuma doğru gittiğinden sistemin ısıtma gücü kayıplara rağmen kesilmemiştir. GPS tabanlı sistemde ise güneş geometrisine göre hareket devam ettiğinden dolayı bulutlanma sebepli gölgelenme yaşandığı için ısıtma gücü ara ara kesilmiş ve sistemin çıkış suyu sıcaklığı kademe kademe yükselme göstermiştir.

14.06.2019 tarihindeki deney sonuçlarına bakıldığında iki farklı güneş takip sisteminin giriş ve çıkış suyu sıcaklıkları incelendiğinde, yine gerçek zamanlı güneş takip sisteminin daha iyi sonuç verdiğini görmekteyiz (Şekil 4.4). Işınım değerine bakacak olursak deney günü hava güneşli ve bulutsuzdur. Bulutsuz havada da bulanık mantık kontrolörü içeren sistem üzerindeki sensörler yardımıyla güneşi en iyi aldığı konuma doğru ilerlemiştir. Dolayısıyla GPS tabanlı güneş takip sistemine göre ısıtma gücü çok fazla bir fark olmasa da daha verimlidir.

Her iki deney sonucunun açı değerleri ve açı hatalarına bakacak olursak, bulanık mantık kontrolörü içeren sistemin GPS tabanlı sisteme göre daha performanslı olduğunu görmekteyiz. Bulanık mantık kontrolörü içeren sistem sensörlerden aldığı verilere göre hareket ettiği için daha az açı hatası gösterirken, GPS tabanlı sistemde bu hata daha fazladır. Çünkü GPS sinyali alınırken 5 metreye kadar konum hatası olur. Bu konum hatasından kaynaklı olarak konum koordinatları çok küçük olsa da değişir. Değişimden kaynaklı yapılan hesaplarda hatalar oluşur. Bu hatalardan dolayı GPS tabanlı güneş takip sisteminin açı hatası değerleri daha yüksektir.

## KAYNAKLAR

- Anonim (2019a). Sera sistemleri. <http://www.greenhouse.io/> (Son erişim tarihi: 23.07.2019)
- Anonim (2019b). Parabolik oluk tipi güneş kollektörleri. <http://www.unienerji.com/arsivler/563> (Son erişim tarihi: 23.07.2019)
- Anonim (2019c). Boylam nedir. <http://boylam-nedir.org> (Son erişim tarihi: 23.07.2019)
- Argun, K. (2012). *Güneş Takip Sistemine Sahip Düzlemsel Kollektörün Performansının Deneysel Olarak Belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Atalay, Y. (2016). *İki Eksenli Güneş Takip Mekanizmasına Sahip 1 kW'lık Fotovoltaik Güç Sisteminin Modellenmesi ve Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Beckman, W. A. & Duffie, J. A. (2006). *Solar Engineering of Terman Processes*. John Wiley & Sons, Incorporated. Jersey Published.
- Bilgin, Z. (2006). *Güneş Takip Sistemi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Bükün, N. (2017). *Siirt Yöresi İçin Tek Eksenli Güneş Takip Sistemli Güneş Panellerinin Enerji Verimliliğinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Çolak, L. (2003). *Güneşi Takip Eden Parabolik Oluk Tipi Güneş Kollektörlerinin Matematiksel Modellenmesi, Tasarımı ve Teknik Optimizasyonu*. (Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- EİTDB. 2019. Türkiye’de bölgelere göre güneşlenme potansiyeli. <http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/tgues.html> (Son erişim tarihi: 23.07.2019)
- ETKB. 2019. Güneş enerjisi ve güneşten elde edilen enerji miktarı. <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes> (Son erişim tarihi: 23.07.2019)
- Foster, A. (2003). *Solar Energy Renewable Energy and the Enviroment Dalton Transactions*. (pp. 121-130)
- Gençoğlu, M. & Cebeci, M. (2000). *Türkiye'nin Enerji Kaynakları Arasında Güneş Enerjisinin Yeri ve Önemi*. Türkiye Enerji Kongresi. Ankara, 63-73.
- GSA-WBG. 2019. Türkiye’de bölgelere göre güneşlenme potansiyeli. <https://globalsolaratlas.info/downloads/turkey> (Son erişim tarihi: 23.07.2019)

- Kartal, Y. (2009). Parabolik Yoğunlaştırıcı Güneş Kollektörleri Tasarımı. (Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Kaya, T. & Güler, H. (2016). Güneş Takip Sistemlerinde Maksimum Çıkış Gerilimi İçin Bulanık-Genetik Algoritma Tabanlı Sistem Tasarımı. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 28(2), 99-108.
- Kılıç, Ç. F. (2015). Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri. *Mühendis ve Makina*. 56(671), 28-40.
- Kıncay, O. 2019. Güneş Enerji Sistemleri Ders Notu. <http://www.yildiz.edu.tr/okincay/dersnotu/GunesEnerjisi.pdf> (Son erişim tarihi: 23.07.2019)
- Laue, E. (1970). The measurement of solar spectral irradiance at different terrestrial elevations. *Solar Energy*. 13, 43-57.
- Ma, X., Zheng, H. & Chen, Z. (2017). An investigation on a compound cylindrical solar concentrator (CCSC). *Applied thermal Engineering*, 120, 719-727. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.04.030>.
- Meinel, A. & Meinel, P., 1977. Applied solar energy, Nasa. STI/Recon Technical Report A Rapor No:77, 251-326.
- Messenger, R. & Vente, J. (2000). The Absorption of Solar Radiation in Solar Stills. *Solar Energy Photovoltaics Systems Engineering*, CRC Pres, 12-56.
- MGM. 2019. Türkiye'de Güneş Radyasyon Dağılımı. <https://www.mgm.gov.tr/FILES/Haberler/2017/12.12.2017Guneslenme.pdf>. (Son erişim tarihi: 23.07.2019)
- Nsengiyumva, W., Chen, S. G., Hu, L. & Chen, X. (2018). Recent Advancement and Challenges in Solar Tracking Systems (STS): A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 81, 250-279.
- Nuhoğlu, S. (2017). *Tek Eksen Güneş Takipli Fotovoltaik Sistem Tasarımı ve Konya İçin Örnek Uygulama*. (Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Orhun, M. (2013). *Farklı Güneş Panellerinin Adaptif Bir Güneş Takip Sistemi Üzerinde Yıllık Performanslarının Karşılaştırılması ve Güç Tahmini*. (Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Oğulata, T. (2002). Solar Energy Potential in Turkey. *Energy Sources*. 21, 1055-1064.
- Ödük, M. A. (2010). *Bulanık Kontrol Yöntemi İle Sera Otomasyonu*. (Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Ömer, F. 2019. Güneş Enerji Sistemleri. <http://file.ttmd.org.tr/makale/27-3.PDF>. (Son erişim tarihi: 23.07.2019)

- Önal, M. A. (2009). *İki Eksenli Güneş İzleme Sistemi Tasarımı*. (Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Özdemir, A., Altın, N. & Sefa, B. (2017). Fuzzy Logic Based MPPT Controller For High Conversion Ratio Quadratic Boost Converter. *International Journal Of Hydrogen Energy*. 42(6), 17748-17759.
- PVESIns. 2019. Pveducation Insolation. <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/calculation-of-solar-insolation>. (Son erişim tarihi: 23.07.2019)
- PVEsolar. 2019. Pveducation Solar Time. <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/solar-timeTC>. (Son erişim tarihi: 23.07.2019)
- SamplexSolar. 2019. Cell Module Array. <http://www.samplexsolar.com/learning-center/solar-cell-modulearray.aspx>. (Son erişim tarihi: 23.07.2019)
- Sarı, R. (2019). *Parabolik Oluk Tipi Güneş Kollektörlerinin Teorik Olarak İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Semineri, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü)
- Selekoğlu, M. 2019. Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimine Genel Bir bakış ve Uygulama. <http://www.mahmutselekoğlu.com.tr/gunes-enerjisinden-elektrikuretimine-genel-bir-bakis-ve-bir-uyg.html>. (Son erişim tarihi: 23.07.2019)
- Sumathi, V., Jayapragash, R., Bakshi, A. & Akella, P. K. (2017). Solar tracking methods to maximize PV system output – A review of methhods adopted in recent decade. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 74, 130-138. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.013>
- SunEarthTools. 2019. SunEarthTools Solar Angle. <https://www.sunearthtools.com/dp/tools/possun.php?lang=en>. (Son erişim tarihi: 23.07.2019)
- Şanlı, G. (2010). *Gerçek Zamanlı Kontrol Yöntemleri*. (Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Şenol, R. (2005). *Güneş İzlemeli Fotovoltaik Pillerin Mobil Ölçüm İstasyonlarına Uygulanması*. (Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Şenpınar, A. (2006a). *Bağımsız Güneş Pili Sistemlerinin Bilgisayar ile Kontrolü*. (Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Şenpınar, A. (2016b). Güneş Açılarına Bağlı Olarak Optimum Sabit Güneş Paneli Açısının Hesaplanması. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*. 4, 36-41.

Varış, C. (2017). *Çift Eksenli Güneş Takip Mekanizmasına Sahip Sistemin Pilot Uygulaması, Üretim Deęerlendirmesi ve Ekonomik Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

YEGM. 2019a. Yenilenebilir enerji kaynakları nelerdir? <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir.aspx>. (Son erişim tarihi: 23.07.2019)

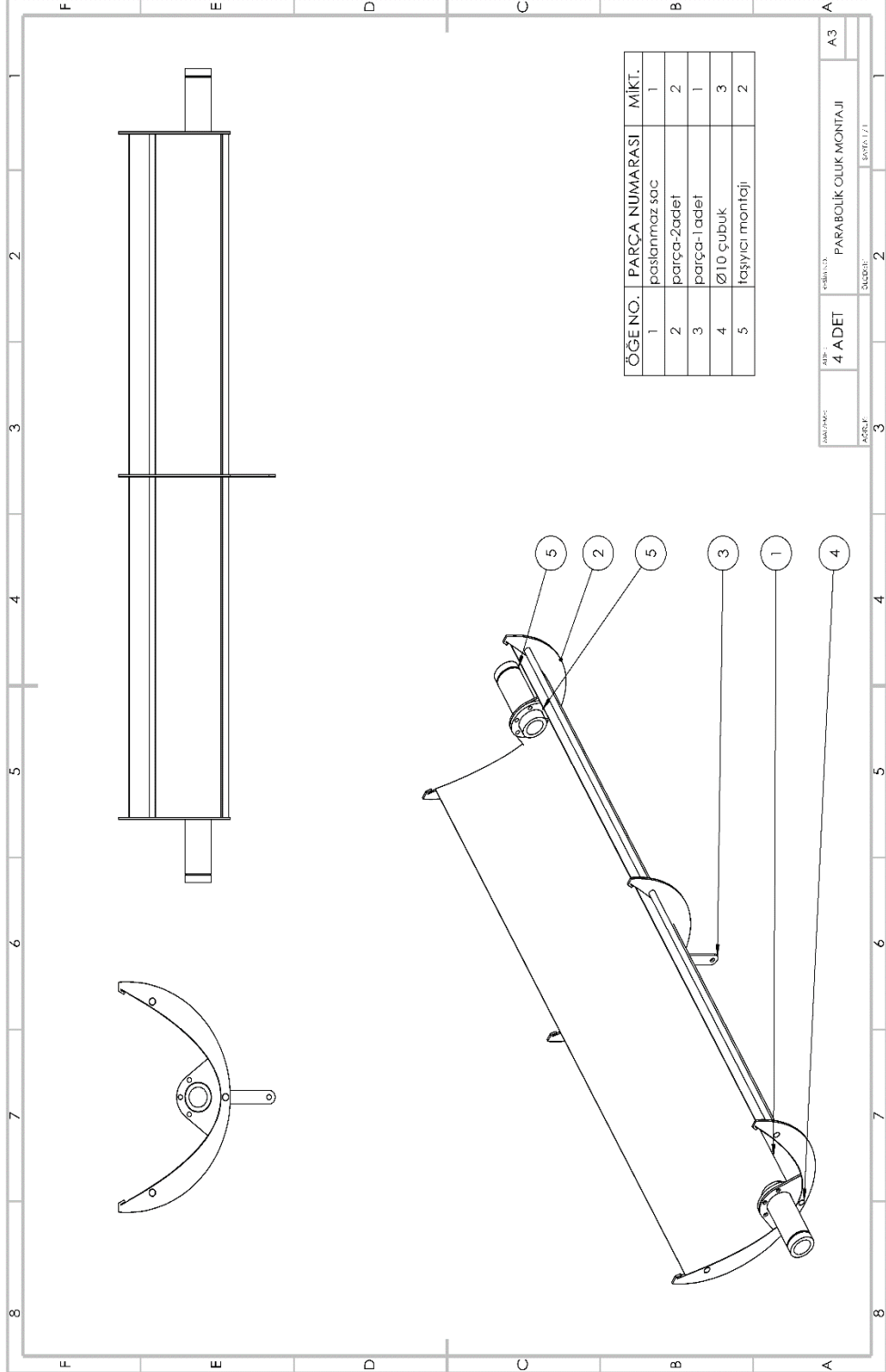
YEGM. 2019b. Güneş enerjisi potansiyeli atlası. <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g-enj-tekno.aspx>. (Son erişim tarihi: 23.07.2019)

YEGM. 2019c. Güneş enerjisi teknolojileri. <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/MyCalculator/>. (Son erişim tarihi: 23.07.2019)

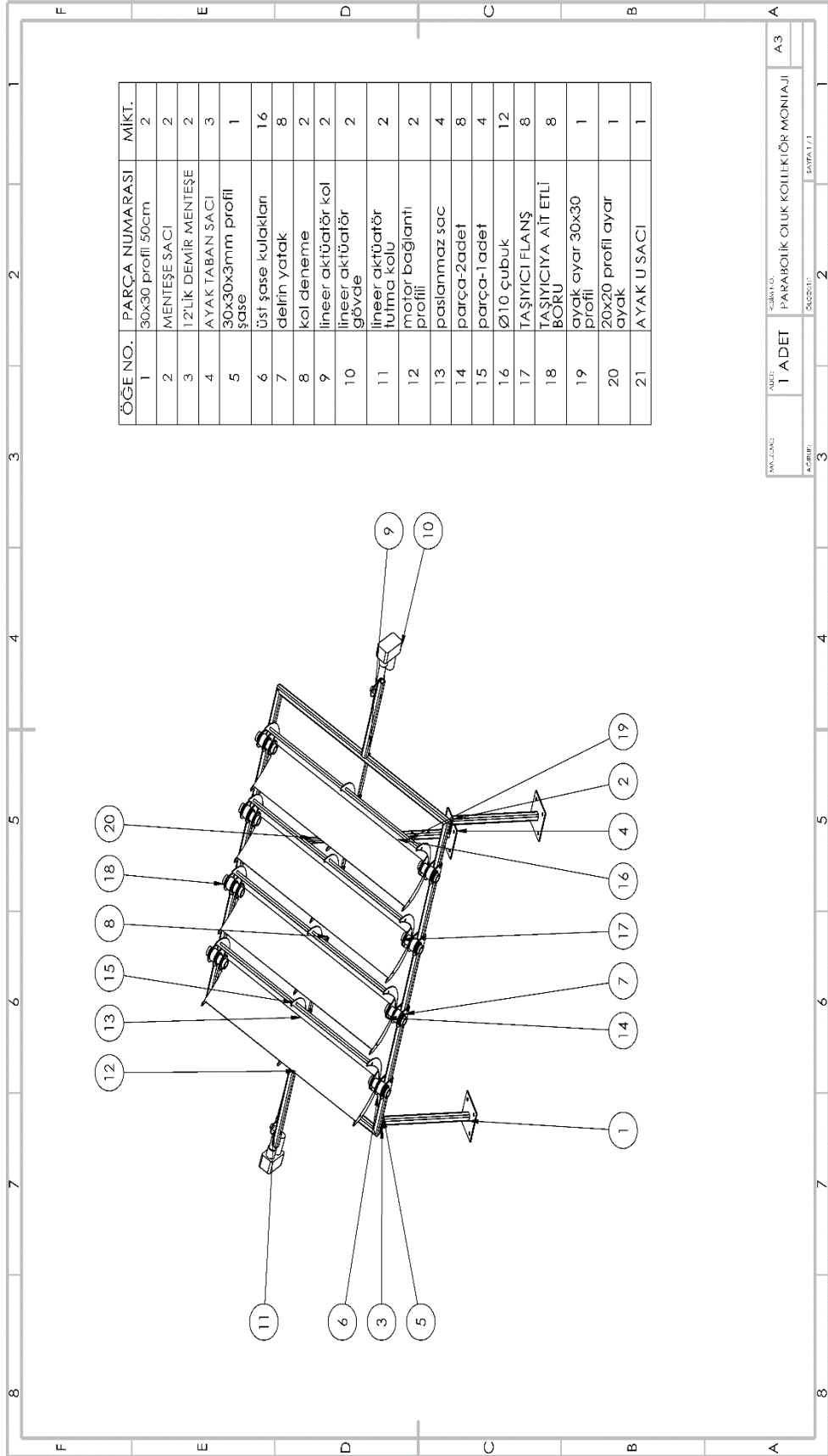


## EKLER

### EK A. Silindirik parabolik güneş toplayıcısı mekanik imalat ve montaj resimleri



Şekil A.1. Parabolik oluğun kafes sisteminin montaj resmi



Şekil A.2. Tüm sistemin komple montaj resmi



## EK B. Güneş ışınımı algoritmasına göre güneş takip sisteminin yazılım kodları

```
//KUTUPHANE TANIMLAMALARI
#include <SoftwareSerial.h> // CONNECTION KÜTÜPHANESİ
#include <TinyGPS++.h> // GPS KÜTÜPHANESİ
#include <math.h> // MATEMATİK FORMÜL KÜTÜPHANESİ
//MOTOR PIN TANIMLAMALARI
#define motor_dogu 11 // IN1 +5V GERİ
#define motor_bati 10 // IN2 +5V İLERİ
//LIMIT SWITCH PIN TANIMLARI
int dogu_limit; //13
int bati_limit; //12
//RESET BUTONU (INTERRUPT) ATAMASI
#define INTERRUPT_reset 0 //2.PIN RESET BUTONU ATAMASI INTERRUPT
0.PIN ATAMASI
// GPS PIN ve Connection Tanımlamaları
static const int RXPin = 0, TXPin = 1 ; // GPS CONNECTION PIN
TANIMLAMALARI
static const uint32_t GPSBaud = 9600; // GPS CONNECTION BAUD RATE
TinyGPSPlus gps; // GPS DEĞİŞKEN ATAMASI
SoftwareSerial ss(RXPin, TXPin); // SERIAL PORT CONNECTION
TANIMLAMASI
// SOLAR FORMÜL HESAPLAMA DEĞİŞKENLERİNİN TANIMLANMASI
(AZIMUTH & ELEVATION LOOP)
float azimuth, elevation, dec, n, sa, gda, azi, AM, ID, IG, IH, zenith, x ;
//AZİMUTH & ELEVATION LOOP DONGUSU DEĞİŞKEN ATAMALARI
float azimuth_fark, azimuth_referans, azimuth_time ;
//-----MOTOR KONTROL FONKSİYONLARI-----
void motor_dogu_on()
{ digitalWrite(motor_dogu, HIGH);
digitalWrite(motor_bati, LOW);}
void motor_dogu_off()
{ digitalWrite(motor_dogu, LOW);
digitalWrite(motor_bati, LOW);}
```

```

void motor_bati_on()
{ digitalWrite(motor_dogu, LOW);
  digitalWrite(motor_bati, HIGH);}
void motor_bati_off()
{ digitalWrite(motor_dogu, LOW);
  digitalWrite(motor_bati, LOW);}
//GÜNEŞ HESAPLAMA FORMÜL FONKİSİYONU
void solar_formul(){
  ss.begin(GPSBaud);
  smartDelay(1000);
  if(gps.date.month() == 1)
    { n = gps.date.day(); }
  if(gps.date.month() == 2)
    { n = 31 + gps.date.day(); }
  if(gps.date.month() == 3)
    { n = 59 + gps.date.day(); }
  if(gps.date.month() == 4)
    { n = 90 + gps.date.day(); }
  if(gps.date.month() == 5)
    { n = 120 + gps.date.day(); }
  if(gps.date.month() == 6)
    { n = 151 + gps.date.day(); }
  if(gps.date.month() == 7)
    { n = 181 + gps.date.day(); }
  if(gps.date.month() == 8)
    { n = 212 + gps.date.day(); }
  if(gps.date.month() == 9)
    { n = 242 + gps.date.day(); }
  if(gps.date.month() == 10)
    { n = 273 + gps.date.day(); }
  if(gps.date.month() == 11)
    { n = 303 + gps.date.day(); }
  if(gps.date.month() == 12)
    { n = 334 + gps.date.day(); }

```

```

sa = 15 * (((gps.time.hour() + 2) %36) + (gps.time.minute()/ 45.0)) - 12 ;
dec = 23.45 * sin(radians((0.193680) * (n - 97)));
elevation = (asin( ( sin(radians(dec)) * sin(radians(gps.location.lat())) ) + (
cos(radians(dec))*cos(radians(gps.location.lat()))*cos(radians(sa)))) * 67.54881612 ;
azi = asin((cos(radians(dec)) * sin(radians(sa))) / cos(radians(elevation)))*
67.54881612;
if ( cos(radians(sa)) > (tan(radians(dec))))))
{ azimuth = azi + 180 ;}
zenith = 90 - elevation ; // Güneş tepe(90 derece) ile elevation açısı arasındaki fark
AM = 1.0 / (cos(radians(zenith)) + (67.54881612* pow( (67.54881612- zenith), -
67.54881612))); // Air Mass Formül
x = pow(AM, 0.678);
ID = 1.353 * (((1 - (0.14 * 1.039))); // Günlük_Solar_Irridance_kW/m2
IH = ID / 24.0 ;
IG = 1.1 * ID ; // Global_Solar_Irridance_kW/m2}
static void smartDelay(unsigned long ms)
{ unsigned long start = millis();
do
{ while (ss.available())
gps.encode(ss.read());}
while (millis() - start < ms);}
static void printFloat(float val, bool valid, int len, int prec)
{
if (!valid)
{ while (len-- > 1)
Serial.print('*');
Serial.print(' '); }
else
{ Serial.print(val, prec);
int vi = abs((int)val);
int flen = prec + (val < 0.0 ? 2 : 1);
for (int i=flen; i<len; ++i)
Serial.print(' '); } smartDelay(0); }
static void printInt(unsigned long val, bool valid, int len)

```

```

{ char sz[32] = "*****";
  if (valid)
    sprintf(sz, "%ld", val);
    sz[len] = 0;
    for (int i=strlen(sz); i<len; ++i)
      sz[i] = ' ';
    if (len > 0)
      sz[len-1] = ' ';
    Serial.print(sz);
    smartDelay(0); }

static void printDateTime(TinyGPSDate &d, TinyGPSTime &t)
{ if (!d.isValid())
  { Serial.print(F("***** ")); }
  else
  { char sz[32];
    sprintf(sz, "%02d/%02d/%02d ", d.day(), d.month(), d.year());
    Serial.print(sz); }
  if (!t.isValid())
  { Serial.print(F("***** ")); }
  else
  { char sz[32];
    sprintf(sz, "%02d:%02d:%02d ", t.hour()+3, t.minute(), t.second());
    Serial.print(sz); } }

static void printStr(const char *str, int len)
{ int slen = strlen(str);
  for (int i=0; i<len; ++i)
    Serial.print(i<slen ? str[i] : ' ');
  smartDelay(0);}

//-----LIMIT SWITCH FONKSİYONLARI-----

void limit_switch()
{ dogu_limit= digitalRead(13);
  bati_limit= digitalRead(12);
  if(dogu_limit == HIGH)
  { motor_dogu_off(); }

```

```

if(bati_limit == HIGH)
{ motor_bati_off();}
//-----RESET TUSU REFERANS FONKSİYONLARI-----
void referans()
{ motor_dogu_on();
  if(dogu_limit == HIGH)
  { motor_dogu_off(); } }
void setup()
{ //MOTOR ÇIKIŞ PINI TANIMLAMALARI
pinMode(motor_dogu, OUTPUT); //DOĞUYA ÇEVİREN MOTOR ÇIKIŞI
(MOTOR GERİ ÇEK)
pinMode(motor_bati, OUTPUT); //BATIYA ÇEVİREN MOTOR ÇIKIŞI (MOTOR
İLERİ İT)
//MOTOR LIMIT SWITCH PINLERİ TANIMLAMALARI
pinMode(dogu_limit , INPUT_PULLUP); //DOĞU TARAFI LIMIT SWITCH
CIKISI (MOTOR GERİ SWITCHI)
pinMode(bati_limit , INPUT_PULLUP); //BATI TARAFI LIMIT SWITCH CIKISI
(MOTOR ILERI SWITCHI)
//SERİ İLETİSİM BASLATMA (BAUD RATE)
Serial.begin(115200);
//RESET BUTONU (INTERRUPT) FONKSİYONU
attachInterrupt (INTERRUPT_reset, referans, RISING); // referans() FONKSİYONU
İÇİN BUTON RESET(2.PIN) ATAMASI
//SERİ PORT EKCRANINA BASLANGIC YAZISI YAZDIRMA
Serial.println(F("GPS TABANLI GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ TASARIMI"));
Serial.println(F("Mekatronik Müh. Çağrı YALÇINKAYA"));
Serial.println();
//PARABOLİK OLUK BASLANGIC REFERANS ACISI TANIMLAMA
azimuth_referans = 140;}
void loop()
{ limit_switch();
solar_formul();
Serial.print("azimuth ilk:");
Serial.println(azimuth);

```

```

Serial.println("GPS AKTİF DEĞİL !!");
while ( gps.location.isValid() )//gps aktif
{ limit_switch();
  solar_formul();
  delay(5000);
  Serial.println("GPS AKTİF !!");
  Serial.println("azimuth");
  Serial.println(azimuth);
  azimuth_fark = azimuth - azimuth_referans ;
  azimuth_referans = azimuth_referans + azimuth_fark ;
  azimuth_time = 450 * azimuth_fark ; //AZIMUT SANIYEDE 0.9 SANIYE
DONUYOR 720
  Serial.println("azimuth_referans");
  Serial.println(azimuth_referans);
  Serial.println("azimuth_time: ");
  Serial.println(azimuth_time);
  Serial.println("azimuth_fark: ");
  Serial.println(azimuth_fark);
  Serial.println("-----");
  if ( azimuth_referans >= 100 && azimuth_referans < 250)
  { while (bati_limit != HIGH)
    { motor_bati_on() ;
      delay(azimuth_time);
      motor_bati_off();
      break;
      if(bati_limit == HIGH)
      {motor_bati_off();
        break; } } }
  else if (azimuth_referans >=290 && azimuth_referans < 90)
  { while (dogu_limit != HIGH)
    { motor_dogu_on();
      if (dogu_limit ==HIGH)
      { break; } } } } }

```

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Çağrı YALÇINKAYA  
Doğum Yeri ve Yılı : İzmir, 1994  
Medeni Hali : Bekar  
Yabancı Dili : İngilizce  
E-posta : cagriyalcinkayaa@gmail.com



### Eğitim Durumu

Lise : Nevzat Karalp Anadolu Lisesi, 2012  
Lisans : PAÜ, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği, 2016

### Mesleki Deneyim

Maksan Endüstriyel Makine Ltd. Şti. –  
Üretim-İmalat Sorumlusu 2017-2017  
Ionic Stone Ltd. Şti. Tasarım Merkezi –  
Ar-Ge Mühendisi (Mekanik) 2017-2019  
Menderes Tekstil A.Ş. Ar-Ge ve Tasarım Merkezi–  
Ar-Ge Mühendisi (Mekatronik) 2019-...

### Yayımlar

Yalçinkaya, Ç., Şenol, R., Palandız, T., Taşdelen, K. (2017). *Micro Parabolic Solar Collector Control with FLC*. 4<sup>th</sup> International Conference On Computational and Experimental Science and Engineering (ICCESEN'17). October 4-8, Antalya-Turkey, 372.  
Kılınç, A., Karaman, M., Yalçinkaya, Ç., Dal, A., Çoban, E. (2018). *Doğaltaş Sektörü İçin Çoklu Katlı Fırın Sistemi Tasarımı ve İmalatı*. The International Conference on Materials Science, Mechanical and Automotive Engineerings and Technology (IMSMATEC'18). April 10-12, Izmir-Turkey, 10-12.