

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

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GPS TABANLI 2-EKSEN GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİNİN
GELİŞTİRİLMESİ**

Atılgan TEMİR

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Bekir AKSOY**

ISPARTA - 2019



© 2019[Atılgan TEMİR]

TEZ ONAYI

GPS TABANLI 2-EKSEN GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Atılğan TEMİR 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.

Başkan	Dr. Öğr. Üyesi Bekir AKSOY Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	
Üye	Doç. Dr. Ramazan ŞENOL Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Mevlüt ERSOY Süleyman Demirel Üniversitesi	

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, tezimle 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 kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

18/06/2019

Atılgan TEMİR



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. GÜNEŞ ENERJİSİ	8
3.1. Türkiye’de Güneş Enerji Potansiyeli	8
3.2. Güneş Açısı ve Hesapları.....	9
3.2.1. Enlem açısı	9
3.2.2. Boylam açısı.....	10
3.2.3. Deklinasyon açısı	10
3.2.4. Saat açısı.....	11
3.2.5. Güneş yükseklik açısı.....	12
3.2.6. Zenith açısı	12
3.2.7. Azimuth açısı	13
3.3. Güneş Zamanı	14
3.3.1. Yerel standart zaman meridyeni.....	14
3.3.2. Zaman eşitlik denklemi	14
3.3.3. Zaman düzeltme faktörü	15
3.3.4. Güneş doğuş ve batış zamanı	15
3.4. Güneş Işınım Hesabı	16
3.4.1. Hava kütlesi katsayısı.....	16
3.4.2. Direkt ışınım yoğunluğu	17
3.4.3. Küresel ışınım	18
4. GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİ.....	19
4.1. Tek Eksen Güneş Takip Sistemi	19
4.2. Çift Eksen Güneş Takip Sistemi	19
5. MATERYAL VE YÖNTEM	21
5.1. Materyal	21
5.1.1. Motor.....	21
5.1.2. Redüktör ve dişli çark	22
5.1.3. Değişken frekanslı sürücü.....	25
5.1.4. Yoğunlaştırıcı çanak	26
5.1.5. Isıtıcı tüp	26
5.1.6. Mikrodenetleyici	27
5.1.7. Röle modülü	28
5.1.8. Enkoder	29
5.1.9. Mekanik sınır anahtarı	30
5.1.10. GPS modülü	31
5.1.11. Almemo 2590-9 datalogger	31
5.1.12. Güneş ışınım sensörü	33
5.1.13. Termokupl.....	34
5.1.14. Sıcaklık ve nem sensörü.....	34

5.1.15. Su devirdaim sistemi	35
5.2. Yöntem	37
5.2.1. Tasarlanan güneş izleme ve kontrol düzeneği	37
5.2.2. Deney düzeneği.....	40
5.2.3. Güneş takip sistemi çalışma prensibi	41
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	43
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	53
KAYNAKLAR	54
EKLER	58
ÖZGEÇMİŞ	74



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GPS TABANLI 2-EKSEN GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Atılgan TEMİR

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Bekir AKSOY

GPS tabanlı iki eksenli güneş takip sistemi, kullanılan güneş açısı formülleri ve GPS desteği ile dünya üzerinde herhangi bir konumda ayar gerektirmeksizin otonom bir şekilde çalışacaktır. Diğer kapalı sistem güneş takip mekanizmalarına göre güneş olsun veya olmasın takip yapabildiği gibi ayrıca GPS ve güneş açısı formülleri ile yüksek doğruluk sağladığı için bu takip sistemlerine göre verimi azami seviyede olacaktır.

Sistem, güneş takibini GPS modülünden elde ettiği gerçek zamanlı saat ve tarih verileri yardımıyla hesaplanan güneş açısı formüllerine göre yapmaktadır. Sistemin bu takibi sırasında geri besleme olarak her eksene bir adet olmak üzere toplamda iki adet enkoder kullanılarak güneş takibinin daha kararlı bir şekilde yapılması sağlanmıştır.

2-Eksen güneş takip sisteminin çalışması süresince sensörler vasıtasıyla ortam parametreleri (ışınım, nem, ortam sıcaklığı, su giriş sıcaklığı, su çıkış sıcaklığı) ölçülerek sistemden elde edilen verim değerleri ile bu ortam parametreleri arasındaki bağıntı incelenmiştir. Elde edilen bağıntılar grafikler yardımıyla yorumlanmıştır. Ayrıca sistemde ölçülen enkoder değerleri ile hesaplanan güneş açısı formülleri karşılaştırılarak sistemin doğruluk oranı hesaplanmıştır.

Sistemin çalışabilmesi için her ekseninde iki adet toplamda dört adet referans (doğu, batı, yukarı, aşağı) noktasına ihtiyaç duymaktadır. Sistem bu referans noktaları yardımı ile ilk çalışmada veya resetlenme esnasında kendini doğuya döndürerek bu noktayı başlangıç noktası olarak görmektedir. Sistem başlangıç noktasını belirledikten sonra dört dakikalık periyotlar ile çalışmakta ve sistemin kararlılığı eksenlere bağlı olan enkoderler ile kontrol edilmektedir.

Sistem genel yapı olarak yoğunlaştırıcı çanak ve ısıtıcı tüpten oluşmaktadır. Yoğunlaştırıcı çanak, sistem üzerine gelen güneş ışınlarını toplayarak ısıtıcı tüpe odaklamaktadır. Isıtıcı tüp ise çanak üzerinden yoğunlaşarak gelen güneş ışınları yardımıyla içinde devirdaim yapan suyu ısıtmaktadır.

2-Eksen güneş takip sistemi güneşi takibi sırasında kollektör üzerine sabitlenen güneş ışınım sensörü vasıtasıyla bir dakikalık periyotlarda ışınım değerlerini ölçmekte ve datalogger'a kaydetmektedir. Aynı şekilde ısıtıcıya bağlanan termokupllar yardımıyla

sistem üzerindeki su giriş ve çıkış sıcaklıkları birer dakikalık periyotlar ile ölçülmektedir. Son olarak ortama ait sıcaklık ve nem değerleri birer dakikalık periyotlar ile ölçülerek datalogger'a kaydedilmektedir.

Anahtar Kelimeler: GPS, 2-Eksen güneş takip, Arduino, Kapalı çevrim güneş takip

2019, 74 sayfa



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

GPS BASED 2-AXIS SOLAR TRACKING SYSTEM DEVELOPMENT

Atilgan TEMİR

**Isparta University of Applied Sciences
The Institute of Graduate Education
Department of Mechatronic Engineer**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Bekir AKSOY

The GPS-based two-axis solar tracking system will work autonomously without any setting in the world with the solar angle formulas and GPS support used. According to other closed system solar tracking mechanisms, it can perform tracking whether or not sun, as well as providing high accuracy with GPS and solar angle formulas, the efficiency will be maximum according to these tracking systems.

The system performs the solar tracking according to the solar angle formulas calculated with the help of real time and date data obtained from the GPS module. During this follow-up of the system, a total of two encoders, one for each axis, are used as feedback to ensure that solar tracking is performed more steadily.

During the operation of the 2-axis solar tracking system, the ambient parameters (radiation, humidity, ambient temperature, water inlet temperature, water outlet temperature) were measured by sensors and the correlation between the yield values obtained from the system and these ambient parameters were examined. The relations were interpreted with the help of graphs. In addition, the accuracy of the system was calculated by comparing the encoder values measured in the system with the solar angle formulas calculated.

The system requires two reference points (east, west, up, down) in total for each axis. The system sees this point as the starting point by turning itself to the east during initial start-up or reset with the help of these reference points. After determining the starting point, the system operates in four minute periods and the stability of the system is controlled by encoders connected to the axes.

The system generally consists of a concentrating bowl and a heating tube. The concentrator collects the sun rays coming on the system and focuses it on the heating tube. The heating tube concentrates over the dish and heats the water circulating in it with the help of the sun rays.

The 2-axis solar tracking system measures the irradiation values and records them to the datalogger in one minute periods by means of a solar radiation sensor fixed on the collector during the sun tracking. In the same way, the water inlet and outlet temperatures on the system are measured in one minute intervals by means of thermocouples connected to the heater. Finally, the temperature and humidity values

of the environment are measured in one minute intervals and recorded in the datalogger.

KeyWords: GPS, 2-Axis solar tracking, Arduino, Close loop solar tracking

2019, 74 pages



TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Bekir AKSOY'a, ilgisi ve önerileri ile her zaman yanımda olan Sayın Doç. Dr. Ramazan ŞENOL'a ve Mekatronik Ana Bilim Dalı Başkanı Sayın Prof. Dr. Hilmi Cenk BAYRAKÇI'ya sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca araştırma ve deneylerin yürütülmesi esnasında yardımlarını esirgemeyen kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. İbrahim ÜÇGÜL'e sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca yardım, bilgi ve tecrübeleri ile bana sürekli destek olan Mekatronik ve Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümündeki tüm hocalarımın teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Atılgan TEMİR
ISPARTA, 2019

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Türkiye global horizontal güneş radyasyonu.....	8
Şekil 3.2. Türkiye global güneş radyasyon (kWh/m ² - gün) / Türkiye güneşlenme süreleri(saat).....	9
Şekil 3.3. Deklinasyon açısının ekinokslara göre değişimi.....	10
Şekil 3.4. Deklinasyon açısı formüllerinin karşılaştırılması	11
Şekil 3.5. Zenith ile yükseklik açısının karşılaştırılması	13
Şekil 3.6. Azimuth açısının kuzeydoğu yönünde örneklenmesi	13
Şekil 3.7. EoT denkleminin günlere göre olan değişimi.....	15
Şekil 3.8. 37° Enlem Isparta güneş zamanı parametreleri	16
Şekil 3.9. 37° Enlem Isparta direkt güneş ışınımı.....	18
Şekil 4.1. Tek eksen güneş yükseklik ve azimuth kontrol sistemleri	19
Şekil 4.2. Çift eksen güneş takip sistemi hareket yönleri	20
Şekil 5.1. Sistemde kullanılan 3 faz AC Motor	21
Şekil 5.2. Sistem üzerinde kullanılan redüktör	22
Şekil 5.3. Sistemde kullanılan motor sürücüler	25
Şekil 5.4. Güneş takip sistemi yoğunlaştırıcı çanak.....	26
Şekil 5.5. Isıtıcı tüp	27
Şekil 5.6. Sistem üzerinde kullanılan Arduino Mega2560	27
Şekil 5.7. Sistemde kullanılan röle modülü	28
Şekil 5.8. Sistemde kullanılan rotary enkoder	29
Şekil 5.9. Sistemde kullanılan mekanik sınır anahtarı	30
Şekil 5.10. Sistemde kullanılan GPS modülü	31
Şekil 5.11. Sistemde kullanılan Almemo 2590-9 datalogger.....	32
Şekil 5.12. Apogee güneş ışınım sensörü	33
Şekil 5.13. Hobo H08-004-02 datalogger	33
Şekil 5.14. Sıcaklık ve nem sensörü.....	35
Şekil 5.15. Su devirdaim pompası	36
Şekil 5.16. Sıcaklık ve basınca dayanıklı su hortumları	36
Şekil 5.17. Sistemde kullanılan su devirdaim tankı	37
Şekil 5.18. Tasarlanan güneş izleme düzeneği.....	38
Şekil 5.19. Değişken frekanslı sürücü lojik girişleri	38
Şekil 5.20. Güneş takip sistemi reset butonu	39
Şekil 5.21. Güneş takip sistemi kontrol düzeneği.....	39
Şekil 5.22. Güneş izleme ve kontrol düzeneği devre şeması	40
Şekil 5.23. Güneş takip sistemi çalışma algoritması.....	42
Şekil 6.1. Deney konumuna ait güneş diyagramı.....	43
Şekil 6.2. Günlük ortalama ışınım değerlerinin grafiksel gösterimi	44
Şekil 6.3. 30 Mayıs deney sonuç grafiği.....	47
Şekil 6.4. 30 Mayıs tarihli azimuth açısı takip ve sapma değer grafiği	48
Şekil 6.5. 30 Mayıs tarihli güneş yükseklik açısı takip ve sapma değer grafiği .	48
Şekil 6.6. 29 Mayıs deney sonuç grafiği.....	49
Şekil 6.7. 29 Mayıs tarihli azimuth açısı takip ve sapma değer grafiği	49
Şekil 6.8. 29 Mayıs tarihli güneş yükseklik açısı takip ve sapma değer grafiği .	50
Şekil 6.9. 28 Mayıs deney sonuç grafiği.....	50
Şekil 6.10. 28 Mayıs tarihli azimuth açısı takip ve sapma değer grafiği	51
Şekil 6.11. 28 Mayıs tarihli güneş yükseklik açı takip ve sapma değer grafiği..	51
Şekil 6.12. 24 Mayıs deney sonuç grafiği.....	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 5.1. 3 Faz asenkron AC motor özellikleri	21
Çizelge 5.2. Sistem redüktör özellikleri	23
Çizelge 5.3. Arduino Mega2560 Özellikleri	28
Çizelge 5.4. Sistemde kullanılan enkoder özellikleri	30
Çizelge 5.5. Sistemde kullanılan GPS modül özellikleri	31
Çizelge 5.6. Sistemde kullanılan Almemo 2590-9 datalogger özellikleri	32
Çizelge 5.7. Apogee güneş ışınım sensör özellikleri	34
Çizelge 5.8. Sıcaklık ve nem sensör özellikleri	35
Çizelge 6.1. Günlük ortalama ışınım değerleri	44
Çizelge 6.2. Q değerinin günlere göre değişimi	45
Çizelge 6.3. Sistemde enerji dağılım tablosu	47
Çizelge A.1. 30 Mayıs deney sonuçları	58
Çizelge A.2. 30 Mayıs azimuth ve güneş yükseklik açısı karşılaştırılması	61
Çizelge A.3. 29 Mayıs deney sonuçları	64
Çizelge A.4. 29 Mayıs azimuth ve güneş yükseklik açısı karşılaştırılması	66
Çizelge A.5. 28 Mayıs deney sonuçları	69
Çizelge A.6. 28 Mayıs azimuth ve güneş yükseklik açısı karşılaştırılması	71

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AC	Alternatif akım
AM	Hava kütlesi
$\cos\phi$	Güç faktörü
DC	Doğru akım
EoT	Zaman eşitlik denklemi
GPS	Küresel konumlama sistemi
HP	Beygir gücü
I_D	Doğrudan ışıma
I_G	Global ışıma
LDR	Işığa bağlı direnç
LH	Yerel saat
LM	Yerel dakika
LSTM	Yerel standart zaman meridyeni
NC	Normalde kapalı kontak
NO	Normalde açık kontak
PLC	Programlanabilir mantıksal denetleyici
PV	Fotovoltaik
RPM	Dakikadaki devir sayısı
RTC	Gerçek zamanlı saat
TC	Zaman düzeltme faktörü
T_{GMT}	Yerel zaman diliminin başlangıç meridyenine uzaklığı
VFD	Değişken frekanslı sürücü
Φ	Enlem
δ	Deklinasyon açısı
ω	Saat açısı
α	Güneş yükseklik açısı
ζ	Zenith açısı
γ	Azimuth açısı

1. GİRİŞ

Özellikle son yıllarda Dünya çapında enerji tüketimindeki artışlar, varolan fosil yakıt rezervlerinin tükenmesini hızlandırması ve buna paralel olarak küresel emisyon oranlarında bir artışa sebep olması kaçınılmazdır. Dünya genelinde fosil yakıt kaynaklı küresel ısınma, deniz seviyesindeki artış, özellikle şehirde yaşayan insanlarda görülen solunum rahatsızlıkları vb. sorunlar, fosil yakıtların kullanımı devam ettikçe katlanarak artış gösterecektir. Bu nedenle dünyanın çevreye duyarlı olan yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanması oldukça önemlidir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının temelinde güneş enerjisi önemli bir yer teşkil etmektedir. Dünyanın güneşten aldığı toplam enerji bir yılda 1.5 katrilyon (1.5×10^{15}) MW/h'tir (Kılıç, 2015). Bu enerji miktarı, dünyada insanların 1 yılda tükettiği enerjinin tam 28.000 katına eşdeğerdir. IEA, 2050 yılında küresel elektrik enerjisi üretiminin %11 gibi büyük bir oranının güneş enerjisinden sağlanacağını öngörmekte ve 2030 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynaklarının yıllık %7,6 büyüme ile en hızlı büyüme oranına sahip enerji kaynakları olacağını söylemektedir (Kılıç, 2015).

Günlük ortalama 4,2 kWh/m² güneş enerji potansiyeline (Anonim, 2019k) sahip olan ülkemiz için güneş enerjisi en önemli alternatif enerji kaynağı olarak öne çıkmaktadır. Son yıllarda yapılan araştırmalar, ülkemizde yılda metrekare başına 1100 kWh'lik güneş enerjisi potansiyelinin olduğunu göstermektedir (Altın, 2004). Bu veriler göz önüne alındığı zaman bir yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinin ülkemizin enerji sektöründe dışa bağımlılığının azaltılması hususunda önemli bir yer tuttuğu ifade edilebilir.

Güneş enerjisi kullanımının birçok avantajı olmasına rağmen ilk kurulum maliyetlerinin yüksek olması bu enerji türünün dezavantajlarıdır (Anonim, 2019m). Maliyet geri kazanım sürelerinin kısaltılması ve buna paralel güneş enerjisine olan teşviğin artırılması için güneş enerjisinden elektrik enerjisine dönüşüm oranının bir başka ifadeyle sistem veriminin artırılması gerekmektedir.

Sistem verimi, güneş ışınlarının sistem üzerine dik konumda gelmesi ile doğru orantılıdır. Bir sistemin üzerine güneş ışınlarının dik gelmesini sağlamak amacıyla

güneş takip sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemler genel olarak ikiye ayrılmaktadırlar. Bunlar;

- Tek eksen güneş takip sistemleri
- Çift eksen güneş takip sistemleri

Tek eksen güneş takip sistemleri, genellikle sabit bir eğim açısında ayarlanıp sadece doğu-batı(azimuth) ekseninde güneşi takip eden sistemlerdir. Çift eksen güneş takip sistemleri ise hem yukarı-aşağı(elevation), hem de doğu-batı(azimuth) ekseninde güneşi takip eden sistemlerdir. Çift eksen güneş takip sistemleri, tek eksenli güneş takip sistemlerine göre ek olarak azimuth veya Zenith eksen takibi de yapabildiği için sistem veriminin tek eksen takip sistemlerine göre daha yüksek olduğu ifade edilebilir.

Yapılan çalışmada, bir çift eksen güneş takip sistemi tasarlanmış ve sistem üzerinde bulunan GPS modülü yardımıyla enlem, boylam ve gerçek zamanlı tarih/saat verileri alınarak sistemin güneşi herhangi bir harici müdahale gerektirmeksizin otonom şekilde takip etmesi sağlanmıştır. Güneş hesaplama formülleri sistem üzerinde bulunan ATmega mikrodenetleyiciye sahip Arduino Mega2560 ile hesaplanmıştır. Güneş açıları her ekseninde bulunan rotary enkoder ile kontrol edilerek sistemin her zaman yüksek doğruluk ile çalışması sağlanmıştır. Sistemin güneşi takip etmesi sırasında yoğunlaştırıcının odak noktasında bulunan ısıtıcı tüpün giriş ve çıkış noktasında bulunan sensörler ile su sıcaklığı ölçülmüştür. Bunun yanı sıra çanak üzerinde bulunan güneş ışıyım sensörü ile güneş ışıyımı ve diğer sensörler yardımıyla ortam parametreleri ölçülerek elde edilen veriler incelenmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Ünsaçar (1990), biri sabit diğeri güneşi takip edebilen iki adet PV düzlem kolektörlü sistem tasarlamıştır. Çalışmasında hareketli sistemin güneşi takip edebilmesi için araları siyah plakalar ile bölünmüş dört adet fotosel kullanmıştır. Böylece sistemin yatay ve düşey ekseninde hareketlerinin gerçekleştirilmesi bu fotosellerden gelen bilgiler ile iki adet step motor tarafından gerçekleştirilmiştir. Ayrıca her iki sistemin ısı debilerinin mukayesesi amacıyla giriş ve çıkış sularının sıcaklıklarını sensörler yardımıyla ölçerek kaydetmiştir. Bu deney düzeneği ile iki-eksen takipli kolektörlerin sabit kolektörlere göre en yüksek sıcaklığa ulaştıkları zaman aralığının yaklaşık 4.5 saat daha fazla olduğunu göstermiş ve ortam sıcaklığı her iki sistem için denge durumundayken iki-eksen takipli kolektörün sabit kolektöre göre %24'lük bir sıcaklık avantaj sağladığı ifade etmiştir.

Armakan (2003), açık devre bilgisayar kontrollü iki-eksen güneş takip sistemini incelemek adına iki eksenli jiroskop benzeri bir prototip tasarlamıştır. Prototipin kontrolü ve güneş takibi için Visual Basic derleyicisi ile bir bilgisayar yazılımı geliştirmiştir. Ayrıca Matlab/Simulink yazılımını kullanarak sistemin matematiksel modelini oluşturmuş ve oluşturduğu bu model üzerinden sistemin kararlılık analizini yapmıştır. Çalışmasının sonunda iki-eksenli güneş takip sistemi ile sabit bir sistemi dünya dışı güneş radyasyonu altında teorik olarak karşılaştırmış ve iki-eksenli güneş takip sisteminin, sabit sisteme göre %40 daha fazla enerji kazancı sağladığını belirtmiştir.

Mancini vd. (2003), dish stirling sistemlerini maliyet bilgisi, sistem performansı, sistem özellikleri ve enerji pazarındaki piyasası hakkında incelemişlerdir. Bu inceleme sonucunda dish stirling sistemlerinin yüksek performansta çalışabileceği ifade etmiştir.

Abdallah ve Nijmeh (2004), açık çevrim PLC kontrollü iki-eksen güneş takip sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan iki-eksen güneş takip sisteminin sonuçları ölçülmüş ve 32 derece güneye eğimli sabit bir panel ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda

PV iki-eksen güneş takip sisteminin sabit eğimli sisteme göre %41,34 'e varan daha fazla performans sağladığı görülmüştür.

Bilgin (2006), PV malzemelerin karakteristiklerini incelemiş ve tek-eksen güneş takip sistemi oluşturmuşlardır. Sistem iki adet farklı açılarla yerleştirilmiş küçük PV panel içermekte ve bu paneller arasında oluşan gerilim farklılıkları ile güneşin yerinin tespiti yapılacak şekilde tasarlanmıştır. Üçüncü PV panel ise sistemin gece ve gündüz arasındaki farkı tespit edip, eğer gece ise sistemi otomatik olarak doğuya döndürülmesi amacıyla konulmuştur. Çalışma sonucunda tek-eksen güneş takip sistemi sabit sisteme göre %31 civarında daha fazla verim sağlarken, iki-eksen güneş takip sistemi % 34-37 civarında enerji verimi sağladığı görülmüştür.

Bingöl vd. (2006), güneş azimut ve zenit açılarının belirlenmesi için dört adet birbirinden farklı açılar ile konumlandırılmış LDR ve eksen hareketleri için iki adet step motor içeren mikro denetleyici tabanlı iki eksenli güneş takip sistemi tasarlayıp test etmişlerdir. Bu testi Gazi Üniversitesi, Ankara' da sabit sistem ile iki-eksenli güneş takip sistemini karşılaştırarak gerçekleştirmişlerdir. 7:48 ile 17:24 saatleri arasında toplam 9 saat 36 dakika boyunca süren testin sonucunda iki-eksen güneş takip sisteminin sabit sisteme göre 8,98°C daha fazla sıcaklık elde edilmiştir.

Demirtaş (2006), bilgisayar kontrollü bir güneş takip sistemi tasarlamıştır. Temmuz ayı boyunca hem tasarlanan güneş takip sistemi hem de sabit sistem ile ölçümleri gerçekleştirerek, ölçüm sonuçlarını kaydedip, sistemi bir bilgisayar ile kontrol edebilmek için mikrodenetleyici tabanlı bir arabirim oluşturmuştur. Kaydedilen verileri kullanarak her iki sistemi enerji üretimi ve verim açısından karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda güneş takip sisteminin sabit sisteme göre enerji üretimi ve performans bakımından %35 oranda daha verimli olduğu ifade edilmiştir.

Demir (2007), bir mikrodenetleyici tabanlı iki-eksen güneş takip sistemi tasarlamış ve iki-eksen güneş takip sistemi ile sabit sistemi güç çıkışları açısından karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda hareketli sistemin sabit sisteme göre güç çıkışı %14,4- %31,2 oranında daha fazla olduğu görülmüştür.

Arifoğlu vd. (2009), güneşin gün boyu PV panele dik gelmesini sağlayacak iki-eksen güneş takip sisteminin prototipi gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak bu prototip ile panelin verimini artırmışlardır.

Argun (2012), sabit düzlemsel kolektörler ile güneş takipli kolektörleri aynı zaman diliminde teste tabi tutup elde edilen test sonuçlarını inceleyerek verim karşılaştırması yapmıştır. Bu test verilerinin analiz sonuçlarına göre güneş takipli kollektör sisteminin mevcut sistemlere göre %22 daha fazla verime sahip olduğunu deneyler ile gösterilmiştir.

Bravo vd. (2012), 10kW güce sahip bir dish stirling tesisinin çevresel analizini yaparak benzer bir PV tesis ile karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırma sonucunda aynı elektriği üretmek için dish stirling sistemleri 56,7 m² alan kullanırken PV sistemlerde bu değeri 73,2 m²'e çıkararak iki sistem arasında yaklaşık %25'lik bir fark olduğunu belirtmişlerdir.

Kıvrak vd. (2012), açık döngü PV iki eksen güneş takip sistemi tasarlamış ve bu sistemi 37° eğime sahip sabit bir sistem ile karşılaştırmışlardır. Sabit ve hareketli sistem arasındaki verim farkının mayıs ayında %64 olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca sabit bir sistemin 1000 m² PV panel alanında ürettiği enerjiyi hareketli sistem 600 m² alanda ürettiğini böylece hareketli sistemin yerden de tasarruf sağladığını ifade etmişlerdir.

Bakos ve Antoniadis (2013), Yunanistanın Girit adasına 10 MW'lık güce sahip bir dish stirling santrali kurulmasını düşünerek sistem hakkında teorik analizler yapmışlardır. Bu analizlerin sonucunda tüm güneş teknolojilerinde solar dish stirling sistemlerinin %31,25 ile verime sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Yılmaz (2013), iki-eksen güneş takip sistemini tasarlamıştır. Sistemde damperli motor kullanarak enerji tüketimini minimize etmiştir. Ayrıca iki-eksen güneş takip sisteminin verimini sabit sistem ile karşılaştırmak için her iki sistemi aynı koşullar altında test etmiştir. Sonuç olarak tasarlanan iki-eksen güneş takip sistemi sabit sisteme göre kış aylarında %70, yaz aylarında %11, yıllık ortalamada ise %31,67 daha fazla verime sahip olduğu görülmüştür.

Mansiri vd. (2014), FH Stralsund Üniversitesinde bir solar dish stirling sistemini test etmiş ve ulaştığı parametreler ile Tayland için uygulanabilir bir dish stirling prototipi üzerinden performans simülasyonu yapmıştır. Bu benzetim sonuçlarına göre güneş enerjisinden elektrik enerjisine dönüşümde %17 enerji verimliliği değerini görmüş ve bu teknoloji ile çevreye duyarlı ve temiz elektriğin üretimin olası olduğunu belirtmişlerdir.

Shafie vd. (2015), taşınabilir, GPS tabanlı iki-eksen güneş takip sistemi geliştirmişlerdir. Takip sisteminin, güneşin konumunu belirlemesi için GPS modülü ve pusula sensörü kullanmışlardır. Ayrıca sabit eğimli bir PV panel ile geliştirdikleri iki-eksen güneş takip sisteminin performansının analizini gerçekleştirmişlerdir. Gerçekleştirdikleri bu analiz sonucunda iki-eksen güneş takip sisteminin sabit eğimli sisteme göre açık bir günde %27, kapalı bir günde ise %19 daha fazla enerji ürettiğini gözlemlemişlerdir.

Atalay (2016), 1kW'lık PV güç sistemini sanal olarak modelleyerek İzmir ili koşulları için Matlab/Simulink ile simüle etmiştir. Simülasyon sonucunda elde ettiği verileri kurulu olan eş bir sistem ile karşılaştırarak sonuçları incelemiştir. Ayrıca iki-eksen PV güneş takip sistemini sabit sistem ile karşılaştırmıştır. Yaptığı bu çalışmalar ışığında güneş takip mekanizmasına sahip PV panelin sabit PV panele göre %29,6 daha fazla performans ile çalıştığını bulmuştur.

Eke ve Er (2016), güneşin koordinatlarına göre güneş takibi yapabilen PLC programı geliştirmişlerdir. Bu program yardımıyla iki-eksen güneş takip sistemi tasarlamışlar ve sistemin kontrolünü PLC LOGO cihazı ile sağlamışlardır. Tasarladıkları iki-eksen güneş takip sistemi ile sabit eğimli sistemi karşılaştırmışlar ve bu iki sistemin yıllık güç değerleri arasında %60'ı geçen, günlük bazda elde edilen elektrik enerjisinde ise %45'e varan kazançlar elde etmişlerdir.

Uzunok (2017), elektrik enerjisinden azami seviyede istifade etmek amacıyla iki-eksen güneş takip sistemi geliştirerek sabit sistem ile verim karşılaştırılmasını gerçekleştirmiştir. Bu iki sistemin ölçümü sırasında sıcaklık, güneşin radyasyon şiddeti, akım, voltaj ve bağıl nem gibi değerleri de ölçmüşlerdir. Çalışmanın

sonucunda iki eksen güneş takip sisteminin sabit sisteme göre %17,07 oranında verim artışı sağladığını ifade etmişlerdir.

Variş (2017), güneşi takip edebilen 5,2kW gücünde iki-eksen PV sistem tasarımı ve simülasyonunu gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada iki-eksen güneş takip sistemi, farklı benzetim programları ve uygulama sonuçları ile sabit eksen sistem ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda simülasyonları yapılan 5,2 kWp gücündeki sistemlerden iki-eksen güneş takip sisteminin, sabit sisteme göre aylara göre farklılık gösterebilmesine rağmen genel olarak %32 daha fazla üretim yaptığı gözlemlenmiştir.

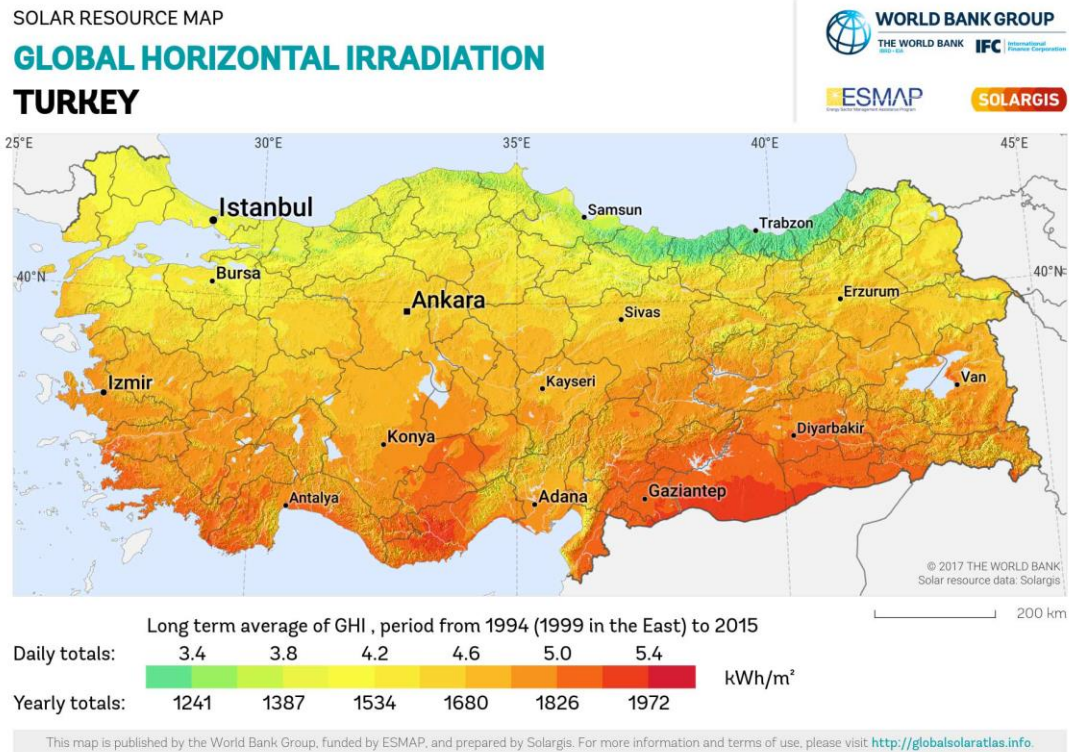
Siddique vd. (2018), güneş enerjisinden azami güç çıkışı sağlamak için dinamo, stirling motoru ve bir iki-eksen takip mekanizması içeren parabolik solar dish stirling sistemi tasarlamışlardır. Bu tasarımın sonucunda sistemin taşınabilir olması ve güneş ışığını tek bir yerde toplamasından dolayı hem altyapıdan uzak bölgelerde kullanılabilme yeteneği hem de diğer güneş panellerine göre daha yüksek verim elde ettiği belirtmişlerdir.

3. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışımaya enerjisidir. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir (Anonim, 2019I).

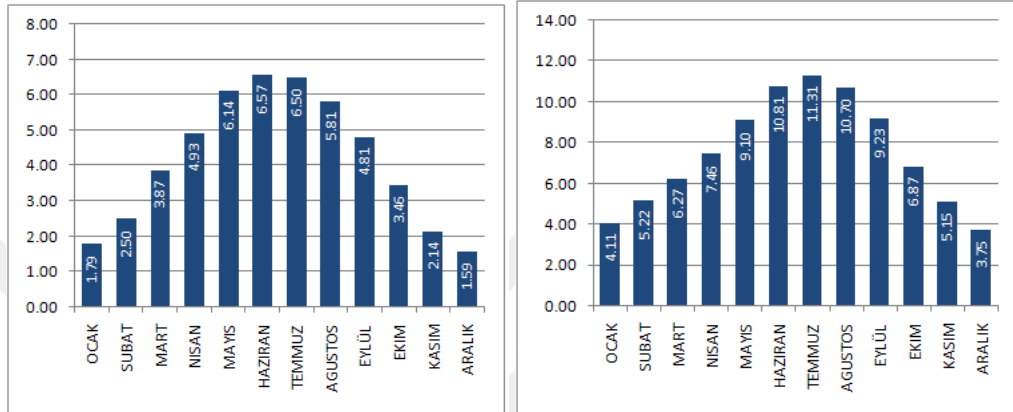
3.1. Türkiye’de Güneş Enerji Potansiyeli

Türkiye coğrafi olarak Kuzey Yarım Küre’de yer alır ve 36-42° kuzey enlemleri ile 26- 45° doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Yapılan ölçümlere göre, ülkemizin %63’ünde 10 ay, %17’inde 1 yıl boyunca güneş enerjisinden yararlanmak mümkündür (Çıtıroğlu, 2000). Şekil 3.1.’de Türkiye’deki global horizontal güneş radyasyonu gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Türkiye global horizontal güneş radyasyonu (Anonim, 2019a)

Şekil 3.1.'de görüldüğü üzere ülkemizin genelinde toplam güneş radyasyonu miktarı ortalamanın üzerindedir. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2737 saat (günlük toplamı 7,5 saattir), yıllık toplam gelen güneş enerjisi ise 1527 kWh/m²yıl, yani günlük toplam 4.2 kWh/m² değerinde belirlenmiştir (Anonim, 2019). Şekil 3.2.'de Türkiye Global Güneş Radyasyon (kWh/m²- gün) ve güneşlenme süreleri(saat) verilmiştir.



Şekil 3.2. Türkiye global güneş radyasyon (kWh/m²- gün) / Türkiye güneşlenme süreleri(saat) (Anonim, 2019k)

Şekil 3.2.'de görüldüğü gibi, ülkemiz açısından bakıldığında güneş radyasyon/ışınım değerlerinin elektrik üretimi açısından oldukça avantajlı bir konumda olduğu görülmektedir. Bu nedenle enerji ihtiyacının karşılanması ve fosil yakıt kaynaklı çevre zararlarının önüne geçilmesi için Türkiye genelinde güneş enerjisinden elektrik üretimi artırılarak ülkemizin büyük güneş enerji potansiyeli değerlendirilmesi oldukça önemli olacağı düşünülmektedir.

3.2. Güneş Açısı ve Hesapları

3.2.1. Enlem açısı

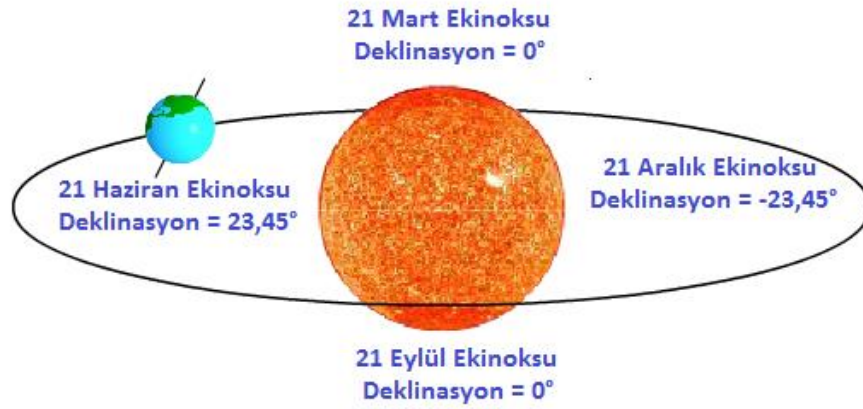
Enlem açısı(ϕ), dünya üzerindeki herhangi bir noktayı, dünya merkezine birleştiren doğru ile ekvator çizgisi arasında kalan açıdır. Kuzey tarafı pozitif (+), güney tarafı negatif (-) olmak üzere açısal değeri -90° ile $+90^\circ$ arasında değişmektedir. Enlem açısı, sistem üzerinde GPS cihazı tarafından ölçülerek güneş yükseklik açısının hesaplanmasında kullanılmaktadır.

3.2.2. Boylam açısı

Boylam açısı, yeryüzündeki herhangi bir noktanın Greenwich'e (Başlangıç Meridyeni) olan uzaklığının açısal değerine denilmektedir. Boylam açısı, sistem üzerinde GPS cihazı tarafından ölçülerek saat açısı hesaplamalarında kullanılmaktadır.

3.2.3. Deklinasyon açısı

Deklinasyon açısı(δ), dünya ve güneş arasındaki açının dünyanın ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Deklinasyon açısı, kuzey yarım küre için pozitif (+), güney yarım küre için negatif (-) değerlidir. Deklinasyon açısı, 21 Aralık kış gündönümünde $-23,45^\circ$ ile 21 Haziran yaz gündönümünde $+23,45^\circ$ arasında değişmektedir. Ayrıca deklinasyon, İlkbahar ekinoksunda (21 Mart) ve Sonbahar ekinoksunda (21 Eylül) 0° açısal değere sahip olur. Ayrıca deklinasyon açısının ekinokslara göre değişimi Şekil 3.3.'de gösterilmiştir (Anonim, 2019d).



Şekil 3.3. Deklinasyon açısının ekinokslara göre değişimi (Anonim, 2019d)

Deklinasyon açısı, Eşitlik 3.1 ile Eşitlik 3.3'te verilen Cooper denklemi (P. I. Cooper, 1969) ile hesaplanabilir:

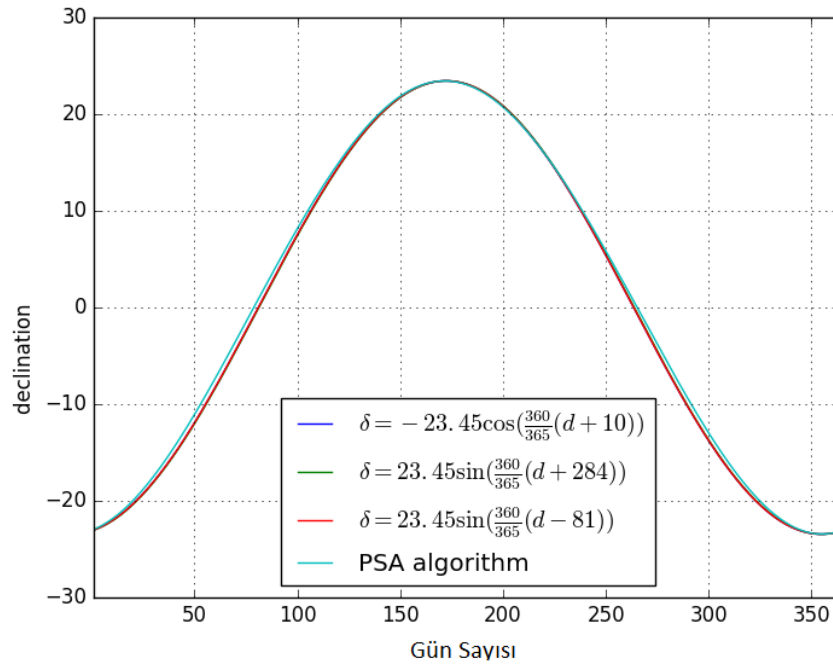
$$\delta = -23,45 \cdot \cos\left(\frac{360}{365} \cdot (d + 10)\right) \quad (3.1)$$

Yukarıdaki denklemde d, 1 Ocak'tan itibaren gün sayısıdır. Cooper denkleminin yanısıra deklinasyon açısını bulmak için alternatif formüller de bulunmaktadır. Deklinasyon açısını bulmak için farklı ekinokslara odaklanmaktadır. Bunlar:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(\frac{360}{365} \cdot (d + 284)\right) \quad (3.2)$$

$$\delta = 23,45 \cdot \cos\left(\frac{360}{365} \cdot (d - 81)\right) \quad (3.3)$$

Eşitlik 3.1 ile Eşitlik 3.3 haricinde deklinasyon açısını hesaplamak için Position solar algorithm (PSA) algoritması da kullanılmaktadır (Blanco vd., 2001). Eşitlik 3.1 ile Eşitlik 3.3 doğruluk karşılaştırılması Şekil 3.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Deklinasyon açısı formüllerinin karşılaştırılması (Anonim, 2019d)

3.2.4. Saat açısı

Saat açısı(ω), yerel güneş saatinin açısal değeri olarak ifade edilebilir. Saat açısı, öğle vakti 0° 'dir. Dünyamız saatte 15° döndüğü için gün içinde saat açısı, saat başına 15° 'er

derece artmaktadır. Saat açısı, öğleden önce negatif (-), öğleden sonra ise pozitif (+)'dir. Eşitlik 3.4'te saat açısının denklemi verilmiştir (Anonim, 2019n).

$$\omega = 15 \cdot ((LH + (LM/60)) - 12) \quad (3.4)$$

Yukarıdaki denklemde ω , saat açısı, LH, yerel saat, LM, yerel dakikayı temsil etmektedir.

3.2.5. Güneş yükseklik açısı

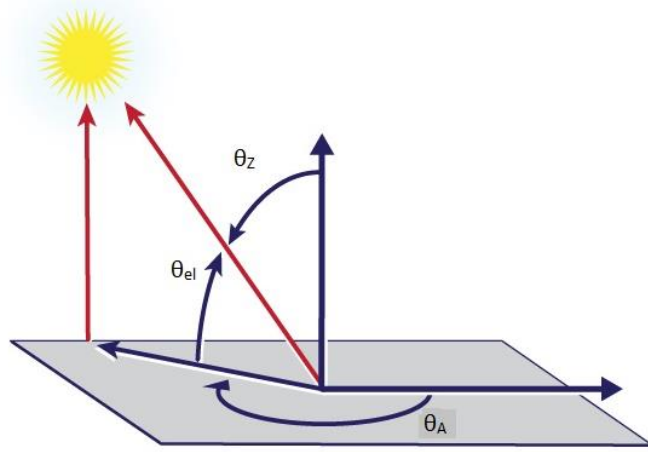
Yükseklik açısı(α), yatayda ölçülen güneşin gökyüzündeki açısal yüksekliğidir. Yükseklik açısı, güneş doğarken 0° , güneş tam tepede iken 90° 'dir. Yükseklik açısı, gün boyunca güneşin hareketi ile beraber sürekli değişmektedir. Ayrıca yükseklik açısı bir yerin enlemine(ϕ) ve deklinasyon açısına(δ) göre değişmektedir. Yükseklik açısı Eşitlik 3.5 ile hesaplanmaktadır (Anonim, 2019e).

$$\alpha = \sin^{-1}[\sin(\delta) \sin(\phi) + \cos(\delta) \cos(\phi) \cos(\omega)] \quad (3.5)$$

3.2.6. Zenith açısı

Zenith açısı(ζ), güneş ile dikey eksen arasındaki açıdır. Zenith açısı, yükseklik açısına benzerdir ancak yükseklik açısı yatayda ölçülürken, zenith açısı dikeyde ölçülmektedir. Bu yüzden zenith ile yükseklik açısı birbirlerini terslemektedir. Zenith açısı ile güneş yükseklik açısının karşılaştırılması Şekil 3.5.'de denklemi ise Eşitlik 3.6'da verilmiştir (Anonim, 2019n).

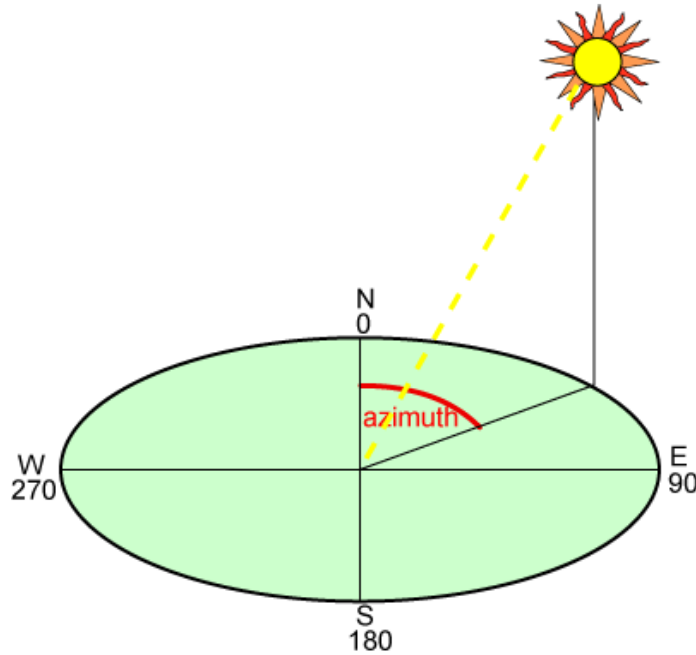
$$\zeta = 90 - \alpha \quad (3.6)$$



Şekil 3.5. Zenith ile yükseklik açısının karşılaştırılması (Anonim, 2019h)

3.2.7. Azimuth açısı

Azimuth açısı(γ), güneş ışığının geldiği pusula yönüdür. Azimuth açısı, kuzeyi referans açısı olarak alınmıştır. Bu yüzden güneş doğarken azimuth açısı 90° , güneş batar iken 270° olmaktadır. Ayrıca azimuth açısı, enleme(ϕ), deklinasyon açısına(δ), yükseklik açısına(α) ve saat açısına(ω) bağlıdır. Şekil 3.6'da azimuth açısının kuzeydoğu yönünde örnekleme verilmiştir (Anonim, 2019c).



Şekil 3.6. Azimuth açısının kuzeydoğu yönünde örnekleme (Anonim, 2019c)

Azimuth açısının denklemi Eşitlik 3.7'de verilmiştir (Anonim, 2019c).

$$\gamma = \frac{\cos^{-1}[\sin(\delta) \cos(\phi) - \cos(\delta) \sin(\phi) \cos(\omega)]}{\cos \alpha} \quad (3.7)$$

3.3. Güneş Zamanı

19. Yüzyıl'a kadar çoğu insan, güneş tam tepedeyken öğle vakti olacak şekilde yerel güneş zamanını kullanmışlar ve her kasabanın kendine ait zaman dilimi mevcut idi. Taşımacılık yavaş olduğu için kilometrelerce uzaklıktaki bir kasabanın zamanının birkaç dakika değişmesi önemli değildi. Ancak demiryollarının ortaya çıkmasıyla daha kesin bir zaman dilimine gerek duyuldu. Bu yüzden her bölgeyi kapsayan zaman dilimleri ortaya çıkmıştır (Zerubavel, 1982). Zaman dilimleri politik sınırlar, enerji tasarrufu vb. gibi çeşitli nedenlerden dolayı güneş zamanı ile farklılıklar gösterebilmektedir.

3.3.1. Yerel standart zaman meridyeni

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

$$LSTM = 15. \Delta T_{GMT} \quad (3.8)$$

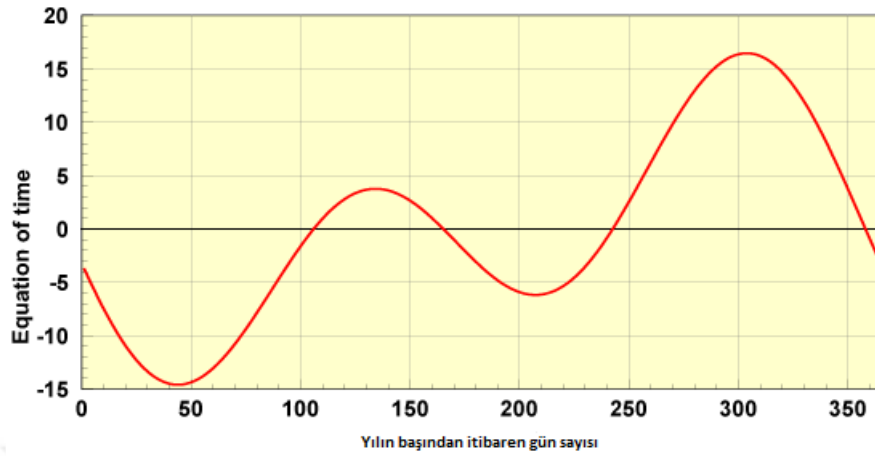
Eşitlik 3.8'de ΔT_{GMT} yerel zaman diliminin saat olarak başlangıç meridyenine olan uzaklığıdır. Örneğin GMT+3 zaman dilimine sahip bir bölgenin LSTM = 45° olmaktadır.

3.3.2. Zaman Eşitlik Denklemi

Zaman Eşitlik denklemi (EoT), Dünya'nın yörünge eğimini dakika olarak düzeltmektedir. Bu denklem Eşitlik 3.9'da verilmiştir (Anonim, 2019g).

$$EoT = 9,87 \sin(2B) - 7,53 \cos(B) - 1,5 \sin(B) \quad B = \frac{360}{365} (d)(-81) \quad (3.9)$$

Yukarıdaki denklemde B, zaman eşitlik denklemi değişkenidir. Şekil 3.7.'de zaman eşitlik denkleminin yılın günlerine göre olan değişimi verilmiştir.



Şekil 3.7. EoT denkleminin günlere göre olan değişimi (Anonim, 2019g).

3.3.3. Zaman Düzeltme Faktörü

Zaman düzeltme faktörü (TC), dakika olarak zaman dilimi içerisindeki boylamsal değişkenlik nedeniyle belirli bir zaman dilimindeki yerel güneş zamanını hesaplamaktadır. Zaman düzeltme faktörü, denklem olarak ifadesi Eşitlik 3.10'da verilmiştir (Anonim, 2019g).

$$TC = 4 \cdot (\text{Boylam} - \text{LSTM}) + \text{EoT} \quad (3.10)$$

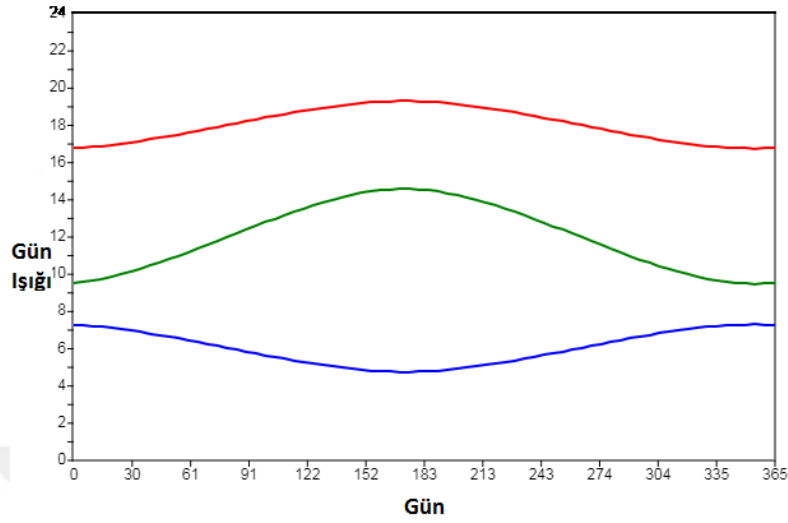
3.3.4. Güneş doğuş ve batış zamanı

Güneş doğuş ve batış zamanı, güneş yükseklik açısının (α) 0° olduğu andaki zaman dilimidir. Güneş doğuş ve batış zamanı denklemleri Eşitlik 3.11 ve 3.12'de verilmiştir (Anonim, 2019e).

$$\text{Doğuş} = 12 - \frac{1}{15} \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) - \frac{TC}{60} \quad (3.11)$$

$$\text{Batış} = 12 + \frac{1}{15} \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) - \frac{TC}{60} \quad (3.12)$$

37° enlem üzerinde bulunan Isparta şehrinin Güneş doğum, Güneş batış ve Güneşlenme saatleri Şekil 3.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. 37° Enlem Isparta güneş zamanı parametreleri (Anonim, 2019f)

Şekil 3.8.'de verilen yeşil renkli gösterge, güneş doğum süresi, mavi renkli gösterge, güneş batış süresi, kırmızı renkli gösterge ise güneşlenme süresini ifade etmektedir.

3.4. Güneş Işınım Hesabı

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminde belirli bir zamanda mevcut güneş miktarını bilmek önemlidir. Üretilen elektrik enerjisi güneş ışınımı (radyasyonu) ile doğru orantılıdır. Güneş ışınımının birimi kW/m^2 'dir. Güneş ışınımı ölçümü, gün boyunca düzenli olarak alınan global ve direkt ışınım(radyasyon) ölçümlerinden oluşmaktadır. Bu ölçümler, bir piranometre (global ışınımı ölçerek) ve/veya bir pyrliometre (direkt ışınımı ölçerek) ile yapılır.

3.4.1. Hava kütlesi katsayısı

Hava kütlesi katsayısı (AM), normalize edilmiş atmosferden geçen ışığın, bu geçişteki azalma oranını veren bir parametredir. Hava kütlesi katsayısı, zenith(ζ) açısına göre değişmektedir. Zenith açısı, eğer 90° ise Hava kütlesi katsayısı 1 olmaktadır. Hava kütlesi katsayısı Eşitlik 3.13'te verilmiştir (Anonim, 2019b).

$$AM = \frac{1}{\cos \zeta} \quad (3.13)$$

Hava kütlesi katsayısı için 3.13'te verilen eşitlik, atmosferin yatay bir tabaka olduğu varsayılarak hesaplanmıştır. Ancak atmosferimizin eğriliğinin de hesaba katıldığı formül Eşitlik 3.14'te verilmiştir (Kasten ve Young, 1989).

$$AM = \frac{1}{\cos \zeta + 0,50572(96,07995 - \zeta)^{-1,6364}} \quad (3.14)$$

3.4.2. Direkt ışınım yoğunluğu

Direkt ışınım yoğunluğu (I_D), güneş ışınlarının dik olan bir düzlem üzerine düşmesiyle, o düzlem üzerinde alınan toplam güneş ışınım miktarıdır. Direkt ışınım yoğunluğunun birimi kW/m^2 'dir. Direkt ışınım yoğunluğu Eşitlik 3.15'te verilen denklem ile hesaplanmaktadır (Meinel ve Meinel, 1977).

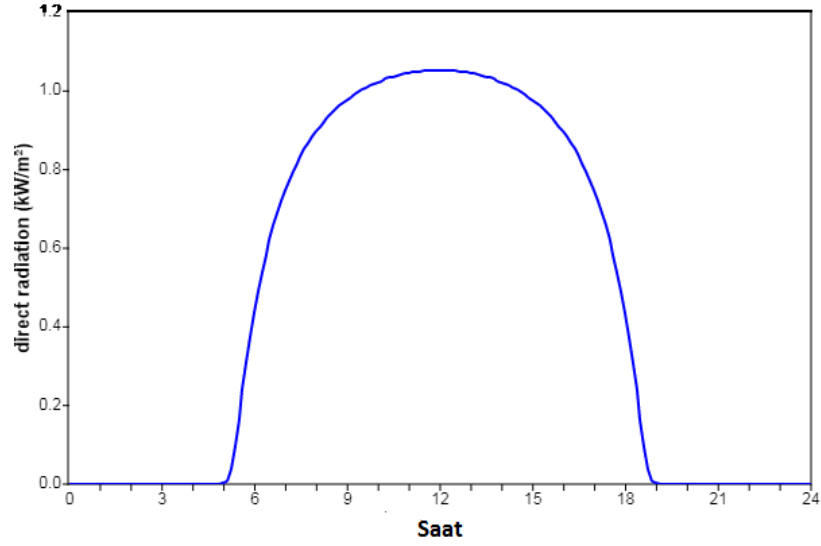
$$I_D = 1,353 \cdot 0,7^{AM^{0,678}} \quad (3.15)$$

Eşitlik 3.15'te 1.353 sabit sayısının birimi kW/m^2 'dir. 0.7 katsayısı ise atmosfer üzerine düşen ışınımın %70'i yeryüzüne aktarıldığı için alınmıştır. 0.678 ise ekstra güç terim katsayısıdır.

Güneş ışığı yoğunluğu deniz seviyesi ile doğru orantılıdır. Eğer bu bilgiye göre direkt ışınım formülünü revize edersek Eşitlik 3.16'da verilen denklemi ile elde edilir (Laue, 1970).

$$I_D = 1,353[(1 - ah)0,7^{AM^{0,678}} + ah] \quad (3.16)$$

Eşitlik 3.16'da verilen a, sabit katsayı ve değeri 0.14, h ise bulunulan konumun deniz seviyesinden kilometre (km) cinsinden değeridir. Şekil 3.9. 'da Isparta ilinin 21 Haziran tarihindeki direkt güneş ışınım değerleri gösterilmiştir.



Şekil 3.9. 37° Enlem Isparta direkt güneş ışınımı (Anonim, 2019f)

3.4.3. Küresel ışınım

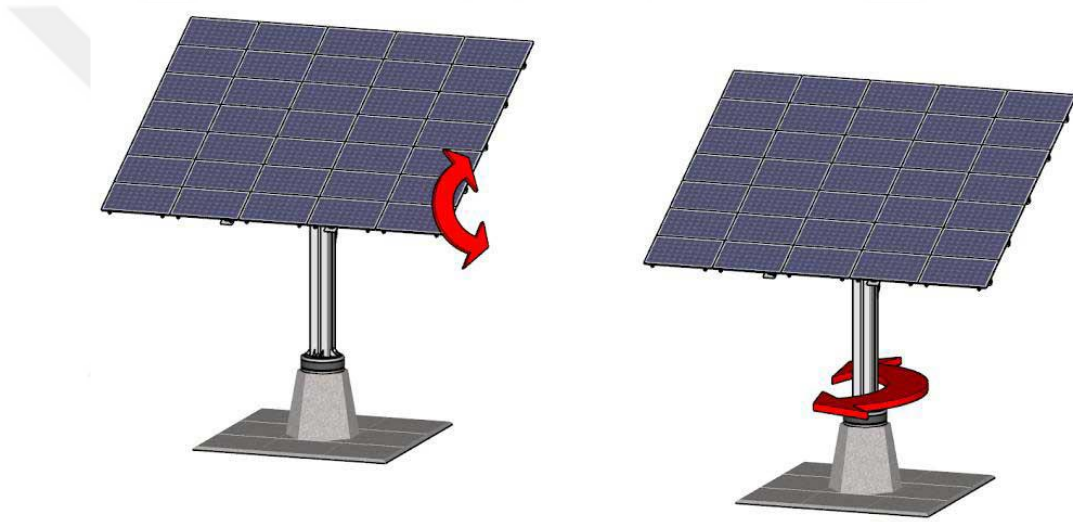
Açık bir günde küresel ışınım (I_G), dünyadaki herhangi bir düzlem üzerine düşen toplam ışınım miktarıdır ve direkt ışınımından %10 daha fazladır. Küresel ışınımın denklemi Eşitlik 3.17'de verilmiştir.

$$I_G = 1,1 \cdot I_D \quad (3.17)$$

4. GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİ

4.1. Tek Eksen Güneş Takip Sistemi

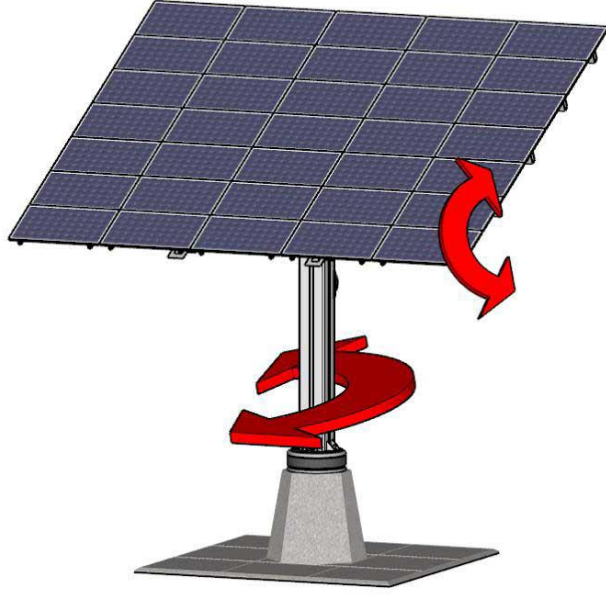
Tek eksen güneş takip sistemlerinde yoğunlaştırıcı sadece tek eksen üzerinde hareket etmektedir. Bu hareket iki şekilde gerçekleşmektedir. Bunlardan ilki zenith açısının sabit olup sistemin azimuth açısının değiştirildiği sistem, ikincisi ise azimuth açısının sabit olup zenith açısının değiştirildiği sistemdir. Tek eksen güneş takip sistemi sabit sisteme göre %31 oranında daha fazla verim sağlayabilmektedir (Bilgin, 2006). Şekil 4.1.'de tek eksen güneş takip sistemleri gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Tek eksen güneş yükseklik ve azimuth kontrol sistemleri (Varış, 2017)

4.2. Çift Eksen Güneş Takip Sistemi

Çift eksen güneş takip sistemlerinde yoğunlaştırıcı hem azimuth hem de zenith olmak üzere iki eksen de hareket etmektedir. Bu sistemler sabit sistemlere göre %34-37 oranında enerji verimi sağlamaktadır (Bilgin, 2006). Azimuth ekseni, çanağın doğu-batı yönünde hareketinin, zenith ekseni ise çanağın yükseklik değişim hareketinin sağlandığı eksenlerdir. Şekil 4.2.'de çift eksen güneş takip sisteminin hareket yönleri gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Çift eksen güneş takip sistemi hareket yönleri (Varış, 2017)

5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1. Materyal

5.1.1. Motor

Güneş takip sisteminin eksen hareketleri için iki adet 3 faz asenkron AC motor kullanılmıştır. Bu motorların biri azimuth eksenini diğeri ise zenith eksenine sabitlenerek, eksenlerin hareketi sağlanmıştır. Çizelge 5.1.'de AC motorların parametre değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.1. 3 Faz asenkron AC motor özellikleri

Parametre	Motor Azimuth	Motor Zenith
RPM	1365	1365
kW	0.55	0.55
Cos ϕ	0.75	0.75

Çizelge 5.1.'de parametreleri verilen 3 faz asenkron AC motor Şekil 6.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Sistemde kullanılan 3 faz AC Motor

5.1.2 Redüktör ve dişli çark

Redüktör, dönme ve tork oranının değiştirilmesini sağlayan bir dişli sistemi olarak ifade edilebilir. Yapısal olarak dişli çarklar, miller, yataklar vb. parçalardan oluşan sistemin genel adı olarak da açıklanabilmektedir. Gerçekleştirilen güneş takip sisteminde kullanılan redüktör, motordan elde edilen tork değerini artırmak ve motor çıkış devir sayısını, güneşin izlenebilmesi için gerekli olan hıza düşürmek için kullanılmaktadır. Şekil 5.2'de sistem üzerinde kullanılan redüktör gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Sistem üzerinde kullanılan redüktör

Çizelge 5.2.'de sistem üzerinde kullanılan redüktörün özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.2. Sistem redüktör özellikleri

Parametre	Redüktör Azimuth	Redüktör Zenith
D _{OR}	102:1	102:1
Tork	1:10	1:10

Çizelge 5.2.'de verilen D_{OR}, redüktör düşürme oranını ifade etmektedir. Sistemde kullanılan redüktörün çıkışına dişli çarklar eklenerek motor çıkış devir sayısı daha fazla düşürülmüştür. Redüktörün çıkış mili üzerine 21 adet dişe sahip dişli çark eklenerek hareket kuvveti, aktarma zinciri yardımıyla 65 adet dişe sahip çarka gönderilmiştir. Dişli çarkların düşürme oranını veren denklem Eşitlik 5.1'de verilmiştir.

$$D_{OD} = D_1/D_2 \quad (5.1)$$

Eşitlik 5.1'de verilen D_{OD}, dişli çark düşürme oranını, D₁, birinci dişlinin diş sayısını, D₂ ise ikinci dişlinin diş sayısını ifade etmektedir. Eşitlik 5.1'de verilen denklemi kullanarak düşürme oranını hesaplırsak, D_O değeri 3.1 olarak bulunur. Bir başka deyişle motor çıkış devir sayısı 3.1 oranında düşürülmüş olur.

Redüktör ve dişli çark sistemi ile gerçekleştirilen düşürme oranlarının hesabı Eşitlik 5.2'de verilmiştir.

$$rpm_{çıkış} = (1365/D_{OD})/D_{OR} = 4.31 \text{ rpm} \quad (5.2)$$

Eşitlik 5.2'de verilen rpm_{çıkış} değeri, sistem çıkışında elde edilen toplam rpm değerini ifade etmektedir. Ayrıca bulunan rpm_{çıkış} değeri sayesinde sistemdeki azimuth ve zenith eksen motorlarının güneş takibi sırasında 1° dönmesi için gerekli olan süre değeri de bulunabilmektedir. Bu değer güneş takip sistemi algoritması için gerekli olan motor döndürme sürelerinin hesaplanması için kullanılmaktadır.

Bu zaman değerinin azimuth ve zenith eksenleri için hesaplanmasının ilk aşaması Eşitlik 5.3 ve 5.4'te verilmiştir.

$$Zenith_{tur} = \frac{rpm_{çıkış} \cdot vfd_z}{100} \cdot 360^\circ = 139.64^\circ \quad (5.3)$$

Eşitlik 5.3'te verilen, $zenith_{tur}$ zenith eksenini için dakikadaki derece cinsinden dönüş değerini, vfd_z , zenith motorunun sürücü frekans yüzde değerini (%9), 360° ise tur sayısının derece cinsine dönüştüren katsayıyı ifade etmektedir. Eşitlik 5.3 ile zenith eksen motorunun %9'luk bir frekans değerinde dakikadaki derece cinsinden dönüş değeri 139.64° olarak bulunmuştur.

Eşitlik 5.4'te ise azimuth ekseninin dakikadaki derece cinsinden dönüş değerinin hesaplanması verilmiştir.

$$Azimuth_{tur} = \frac{rpm_{çıkış} \cdot vfd_a}{100} \cdot 360^\circ = 108.61^\circ \quad (5.4)$$

Eşitlik 5.4'te verilen $Azimuth_{tur}$, azimuth eksenini için dakikadaki derece cinsinden dönüş değerini, vfd_a ise azimuth motorunun sürücü frekans yüzde değerini (%7) ifade etmektedir. Eşitlik 5.4 ile azimuth eksen motorunun %7'lik bir frekans değerinde dakikadaki derece cinsinden dönüş değeri 108.61° olarak bulunmuştur.

Eşitlik 5.3 ve 5.4'te elde edilen dönüş değerleri ile azimuth ve zenith eksen motorlarının 1° dönmesi için gerekli olan çalışma sürelerini veren denklem Eşitlik 5.5 ve 5.6'da verilmiştir.

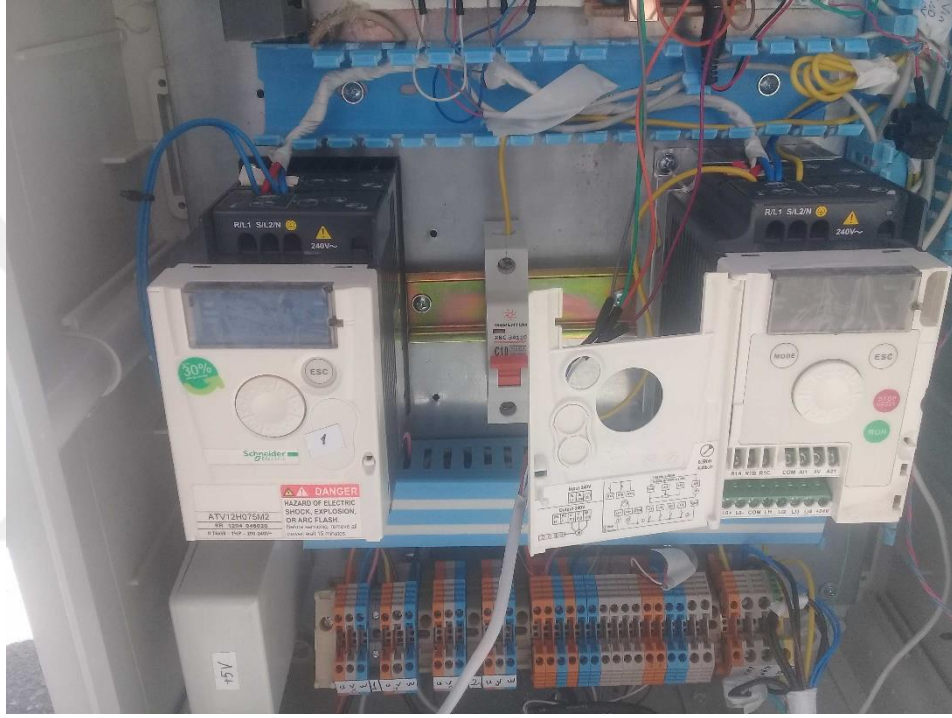
$$Zenith_{süre} = 60 / Zenith_{tur} = 0.43 \text{ sn} \quad (5.5)$$

$$Azimuth_{süre} = 60 / Azimuth_{tur} = 0.55 \text{ sn} \quad (5.6)$$

Eşitlik 5.5 ve 5.6'da verilen $Zenith_{süre}$, zenith eksen motorunun 1° dönmesi için gerekli olan saniye cinsinden süre değerini, $Azimuth_{süre}$, azimuth eksen motorunun 1° dönmesi için gerekli olan saniye cinsinden süre değerini ifade etmektedir.

5.1.3. Değişken frekanslı sürücü

Değişken frekanslı sürücü (VFD), bir AC motorun hızını sistem frekansını değiştirerek kontrol eden cihazlardır. AC motor hızı frekansa bağlıdır. Motor hızı, sürücünün çıkış frekansındaki değişimi ile kontrol edilmektedir. Şekil 5.3.'te sistemde kullanılan motor sürücüler gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Sistemde kullanılan motor sürücüler

Değişken frekanslı sürücü (VFD) cihazının bu frekans değişimini gerçekleştirebilmesi için üç ana bileşeni bulunmaktadır. Bunlardan ilki doğrultucu bileşenidir. Bu bileşen girişteki alternatif akımı, doğru akıma dönüştürmek için kullanılmaktadır. Dönüştürülen bu akım ikinci bileşen olan depolama kısmına gönderilerek burada akım depolanıp stabil hale getirilerek eviriciye gönderilmektedir. Evireç, gücü motorlara ileten transistörleri içermektedir. Bu sayede motora istenilen frekansta akım gönderilerek motor hız kontrolü sağlanmış olmaktadır.

5.1.4. Yoğunlaştırıcı çanak

Yoğunlaştırıcı çanak, sistem üzerine düşen güneş ışınlarını toplayarak reaktöre yansıtan güneş takip sistemi elemanıdır. Yoğunlaştırıcı çeşitli yansıtıcı materyaller ile üretilmektedir. Sistem üzerinde bulunan yoğunlaştırıcı birbirine denk 16 yansıtıcı panelden oluşmakta ve üzerine gelen bütün güneş ışığını reaktöre odaklamaktadır. Ayrıca 2 metre çapa sahip olan yoğunlaştırıcı çanağa bağlı 4 adet dengeleme kolu ısıtıcı tüpü çanağın odağına sabitlemektedir. Şekil 5.4.'te yoğunlaştırıcı çanak gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Güneş takip sistemi yoğunlaştırıcı çanak

5.1.5. Isıtıcı tüp

Isıtıcı tüp, yoğunlaştırıcı çanak üzerine düşen güneş ışınlarının odaklanarak yansıtıldığı ve içerisinde iletilen suyun, yansıtılan güneş ışınları ile ısıtıldığı sistem elemanıdır. Reaktörün üzerinde su giriş ve çıkış sistemi bulunmaktadır. Su sirkülasyon tankından su sirkülasyon pompası ile ısıtıcı tüpe alınan soğuk su ısıtılarak tekrar sirkülasyon tankına verilmektedir. Şekil 5.5'te ısıtıcı tüp gösterilmiştir.

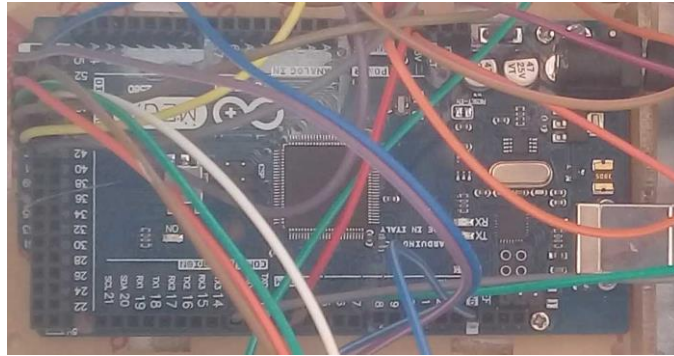


Şekil 5.5. Isıtıcı tüp

Ayrıca ısıtıcı tüp üzerinde bulunan emniyet ventili yardımıyla sistem içerisinde oluşabilecek aşırı basınca karşı önlem alınmaktadır. Buna ek olarak kullanılan su taşıma hortumları da yüksek basınç ve sıcaklığa karşı dayanıklı olarak seçilmiştir.

5.1.6. Mikrodenetleyici

Güneş takip sisteminde mikrodenetleyici olarak Arduino Mega2560 kullanılmıştır. Arduino Mega2560 üzerinde 54 adet dijital giriş/çıkış bulunmakta ve bunların 15 tanesi PWM için kullanılabilir. Ayrıca bu dijital girişlerin yanında 16 adet analog giriş/çıkışa da sahiptir. Şekil 5.6.'da sistem üzerinde kullanılan Arduino Mega2560 mikrodenetleyicisi gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Sistem üzerinde kullanılan Arduino Mega2560

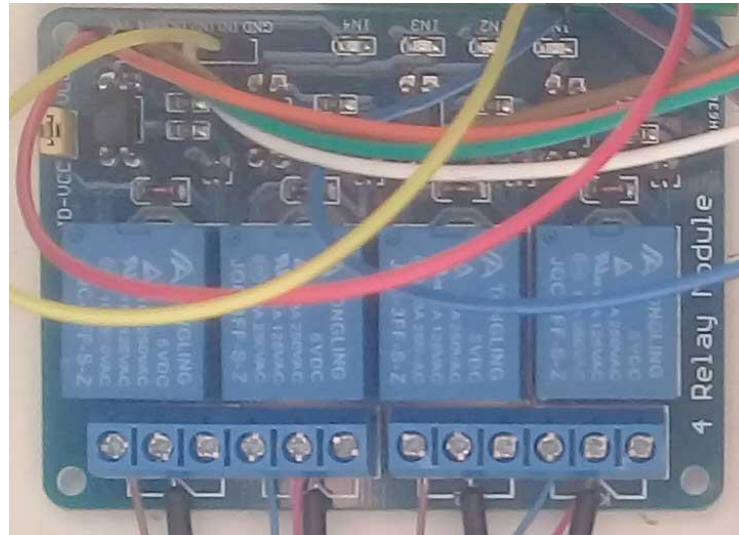
PC ile olan bağlantısı USB-TTL dönüştürücü ile sağlanmaktadır. Bu bağlantı sayesinde herhangi bir işletim sistemi üzerinde kendi Arduino IDE programı ile kolaylıkla programlanabilmektedir. Çizelge 5.3.'de Arduino Mega2560 mikrodenetleyicisinin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.3. Arduino Mega2560 Özellikleri

Mikrodenetleyici	ATmega2560
Çalışma Gerilimi	5V
Giriş Voltajı	7-12V
Dijital I/O	54
Analog I/O	16
Frekans	16 MHz

5.1.7. Röle modülü

Sistemde kullanılan röle modülü NO (normalde açık), NC (normalde kapalı) ve COM (ortak pin) bağlantılarına sahiptir. Modül üzerinde kullanılan röleler 5 VDC veya 220VAC gerilimlere kadar çalışmaktadır. Röle modülünün çalışması arduino üzerinden gelecek tetikleme sinyali ile gerçekleşmektedir. Şekil 5.7'de motor sürücülerinin tetikleme sinyallerini sağlayan 4 kanal röle modülü gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Sistemde kullanılan röle modülü

Sistem üzerinde röle modülü motor sürücülerinin çalışması için gerekli olan tetikleme sinyalini göndermek için kullanılmaktadır. Bu sayede arduino'dan aldığımız 5V gerilim ile motor sürücüleri vasıtasıyla AC motorları kontrol etmek mümkün olacaktır.

5.1.8. Enkoder

Encoder, bağlandığı motor milinin hareket açısına göre dijital bir elektrik sinyali üreten bir cihazdır. Sistem üzerinde motorlara verilen açısal dönme emirlerinin doğru bir şekilde uygulandığının kontrolü amacıyla geri besleme olarak kullanılmaktadır. Şekil 5.8'de sistemin azimuth eksenine bağlı olan rotary enkoder gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Sistemde kullanılan rotary enkoder

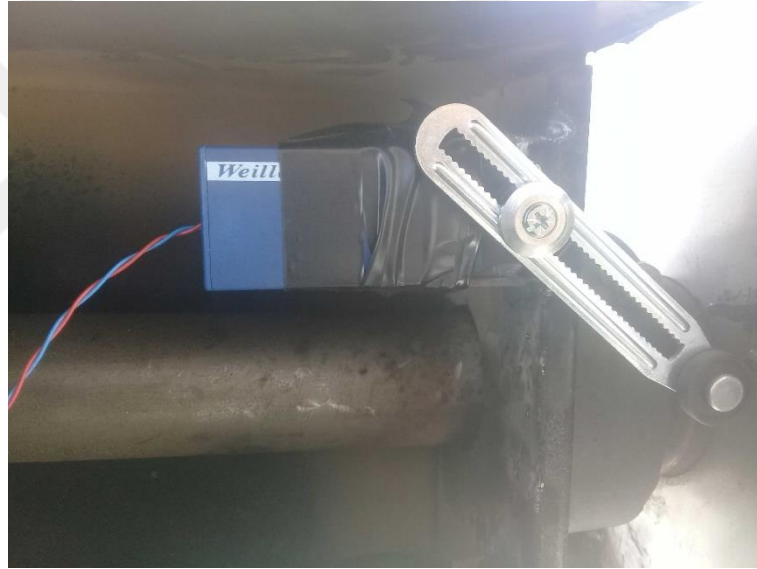
Şekil 5.8.'de verilen rotary encoder hem azimuth hem de zenith açı kontrolü için motor redüktör çıkış millerine kaplin ile bağlanmıştır. Bu bağlantı sonucunda redüktör milinin dönüş sayısına göre rotary encoder belli bir pals üreterek mikrodenetleyiciye çanağın dönüş açısını iletmektedir. Çizelge 5.4.'de kullanılan rotary enkoderin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.4. Sistemde kullanılan enkoder özellikleri

Parametre	Enkoder Azimuth	Enkoder Zenith
Çalışma Gerilimi	12-24V	12-24V
Mil Çapı	8 mm	8 mm
Çözünürlük	100	100
Çıkış Fazları	A, B, Z	A, B, Z

5.1.9. Mekanik sınır anahtarı

Şekil 5.9.'da gösterilen mekanik sınır anahtarı, sistemin doğu-batı ve yukarı-aşağı sınırlarının belirlenebilmesi için kullanılan bir elemandır. Her eksen için iki adet olmak üzere toplamda dört adet kullanılmıştır. Sınır anahtarı içerisinde NO (normalde açık) ve NC (normalde kapalı) kontakları bulunmaktadır.

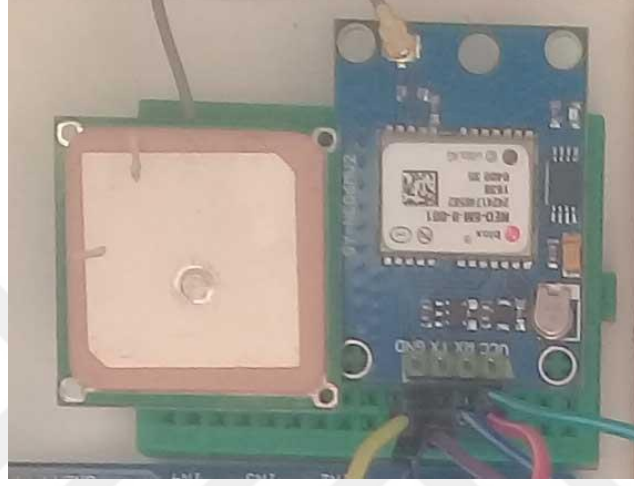


Şekil 5.9. Sistemde kullanılan mekanik sınır anahtarı

Sistemde kullanılan bu anahtarlar hem sistemin resetlenmesi sırasında hem de meydana gelebilecek elektronik aksaklıklar sonucunda sistemin güvenliğini sağlamak adına kullanılmaktadır.

5.1.10. GPS modülü

Şekil 5.10.'da gösterilen GPS Modülü, sistemin güneş takibini gerçekleştirebilmesi amacıyla ihtiyaç duyduğu saat, tarih ve koordinat bilgilerini sağlayan elemandır. Modül üzerinde bulunan uFL bağlantılı pasif bir seramik anten ile herhangi bir konumda istenilen GPS verileri elde edilmektedir.



Şekil 5.10. Sistemde kullanılan GPS modülü

Elde edilen veriler modül üzerindeki Rx ve Tx bağlantıları yardımıyla mikrodenetleyiciye iletilerek burada güneş açıları bulunmaktadır. Böylece sistem başlangıç çalıştırması haricinde herhangi bir desteğe ihtiyaç duymadan dünyanın her konumu için otonom bir şekilde çalışmasına devam edecektir. Çizelge 5.5.'de GPS modülünün özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.5. Sistemde kullanılan GPS modül özellikleri

Model	GY-NEO06MV2
Çalışma Gerilimi	3.3-5V
Baudrate	9600
Anten Kazancı	1dBi

5.1.11. Almemo 2590-9 datalogger

Almemo 2590-9 datalogger, güneş takip sisteminde kullanılan ışınlım, termokupl, sıcaklık ve nem sensörlerinden gelen verileri kaydeden bir cihazdır. Almemo 2590-9 datalogger Şekil 5.11.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.11. Sistemde kullanılan Almemo 2590-9 datalogger

Cihaz üzerinde bulunan M0-M8 girişleri üzerinden sisteme bağlanan sensörleri algılayıp ayarlanan belirli bir zaman periyodu boyunca bu sensörlerden gelen verileri kaydedebilmektedir. Kayıt edilen sensör verileri A1 ve A2 çıkışları yardımıyla bilgisayara aktarılabilir. Almemo 2590-9 datalogger özellikleri Çizelge 5.6.'da verilmiştir.

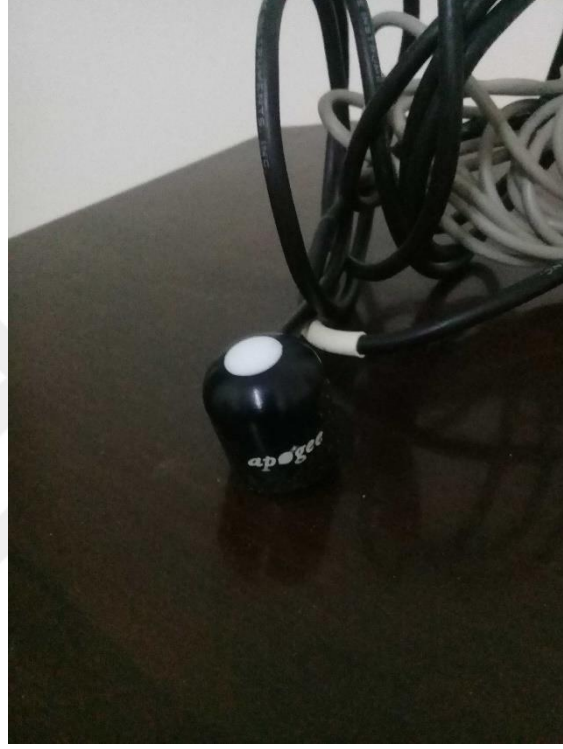
Çizelge 5.6. Sistemde kullanılan Almemo 2590-9 datalogger özellikleri

Çalışma Gerilimi	12 V
Sensör Giriş Port	M0...M8
Çıkış Port	A1, A2
Hafıza	505 Kb
Bağlantı Tipi	RS232

A1 veya A2 çıkış portlarına bağlanan kabloların datalogger tarafında Almemo ZA serisi kablo, PC tarafında ise RS232 kablo kullanılmaktadır.

5.1.12. Güneş ışınım sensörü

Şekil 5.12.'de gösterilen Apogee güneş ışınım sensörü, sistem üzerine sabitlendiği konuma göre 180° görüş açısı ile üzerine gelen güneş ışınımını ölçen bir cihazdır. 1 ms tepki süresine sahip olan cihaz ölçtüğü ışınım verilerini datalogger yardımıyla kaydetmektedir.



Şekil 5.12. Apogee güneş ışınım sensörü

Şekil 5.12.'de gösterilen Apogee güneş ışınım sensörü datalogger olarak Şekil 5.13'te gösterilen Hobo H08-004-02 cihazını kullanmaktadır.



Şekil 5.13. Hobo H08-004-02 datalogger

Hobo datalogger, Apogee güneş ışınım sensöründen aldığı verileri kaydetmekte ve üzerinde bulunan veri çıkış portu ile PC 'e aktarımı gerçekleştirilmektedir. Çizelge 5.7.'de Apogee güneş ışınım sensörünün özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.7. Apogee güneş ışınım sensör özellikleri

Model	PYR-1878
Hassasiyet	4.08(W/m ²)/mV
Görüş Açısı	180°
Ölçüm Aralığı	360-1120 nm
Tepki Süresi	1 ms

5.1.13. Termokupl

Termokupl, genel olarak sıcaklık ölçümlerinde kullanılmaktadır. Yapı olarak termokupl iki farklı alaşımın kaynaklanması sonucunda oluşturulan basit bir ölçü elemanıdır. Kaynak noktası olan uç ölçüm noktası diğer uç ise referans noktası olarak bilinmektedir. Termokupldaki sıcaklık ölçümü bu iki uç arasındaki sıcaklık farkından dolayı oluşan gerilimin ölçülmesi ile sağlanmaktadır. Bu iki uç arasındaki sıcaklık farkı oluşan fark gerilimi ile doğru orantılı olmaktadır.

Termokupl, ısıtıcı tüpün giriş ve çıkış su sıcaklıklarının ölçümü için kullanılacaktır. Termokupl ile ölçülen sıcaklık verileri Almemo 2590-9 datalogger yardımı ile kaydedilmektedir.

5.1.14. Sıcaklık ve nem sensörü

Ortam sıcaklık ve neminin ölçülmesi amacıyla Şekil 5.14.'te gösterilen Almemo FHA646AG ısı ve nem sensörü kullanılmıştır. Sensör üzerinde bulunan koruma yapısı kötü hava koşullarına karşı cihaza koruma sağlamaktadır.



Şekil 5.14. Sıcaklık ve nem sensörü

Tek veri kablosu üzerinden hem hava sıcaklığı hem de nem bilgilerini veri kaydediciye gönderebilme özelliğine sahiptir. Çizelge 5.8.'de Almemo FHA646AG sıcaklık ve nem sensör özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.8. Sıcaklık ve nem sensör özellikleri

	Sıcaklık	Nem
Model	FHA646AG	FHA646AG
Hassasiyet	%1	0.1 °C
Sensör Tipi	Kapasitif	NTC

5.1.15. Su devirdaim sistemi

Su devirdaim sistemi ısı ve basınca dayanıklı hortum, devirdaim motoru ve su devirdaim tankından oluşmaktadır. Bu sistem reaktöre su giriş tarafından tanktan aldığı soğuk suyu devirdaim motoru yardımıyla gönderirken reaktörün su çıkış tarafından ısınan suyu tekrar su devirdaim tankına göndermektedir. Şekil 5.15.'te su devirdaim pompası gösterilmiştir.



Şekil 5.15. Su devirdaim pompası

Su devirdaim tankına bağlı olan devirdaim motorunun ara bağlantıları Şekil 5.16.'da gösterilen ısı ve basınca dayanıklı hortumlar ile yapılmıştır. Güneş takip sisteminin gün içerisindeki hareketlerinin kısıtlanmaması adına hortumlar gerekli olan uzunluk ve sertliklerde seçilmiştir.



Şekil 5.16. Sıcaklık ve basınca dayanıklı su hortumları

Sistemde kullanılan hortumlar soğuk su ve sıcak su da kullanılmak üzere iki çeşit olarak seçilmiştir. Soğuk su giriş kısmı için 1 inç, sıcak su çıkış kısmı için 1.5 inç hortum kullanılmıştır. Bunun nedeni sıcak su tarafında su buharından kaynaklanabilecek basıncın önüne geçebilmek içindir.

Su devirdaim sisteminde kullanılacak suyun depolanması adına Şekil 5.17.'de gösterilen 1000 litre kapasiteli su tankı kullanılmıştır.



Şekil 5.17. Sistemde kullanılan su devirdaim tankı

5.2. Yöntem

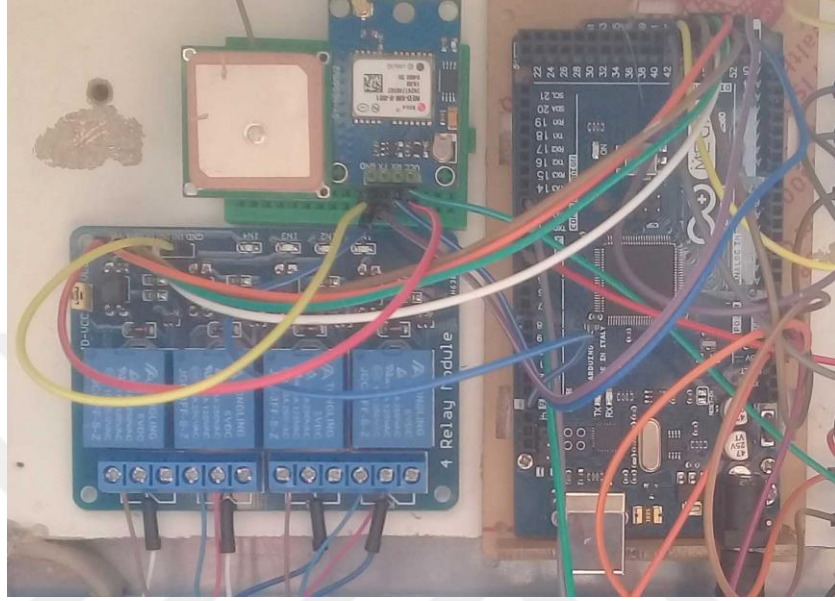
Geliştirilen güneş takip sistemi, yöntem olarak güneş takip kontrol düzeneği, deney düzeneği ve çalışma prensibi olarak üç ana bölüm olarak incelenebilmektedir. Güneş takip kontrol bölümünde güneş takibi için gerekli olan çalışma düzeneği, deney düzeneği bölümünde sistemin sensör ölçümleri ve son olarak çalışma prensibi bölümünde sistemin çalışma algoritmasına değinilmiştir.

5.2.1. Tasarlanan güneş izleme ve kontrol düzeneği

Geliştirilen sistem ve yazılım sayesinde güneşin gün boyunca hareketi izlenmiş ve sistemden elde edilecek azami güç çıkışı sağlanmıştır. Güneş takip sisteminde kullanılan Arduino Mega2560 mikrodenetleyicisi GPS modülünden elde edilen gerçek zamanlı saat, tarih ve koordinat verilerinin işlenerek güneş açısı hesaplarının analiz edilmesi için kullanılmıştır.

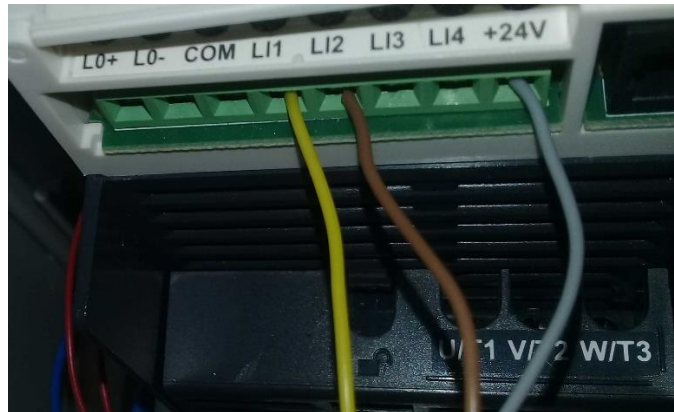
Bu çalışmada, Şekil 5.18.'de gösterilen GPS modülü kullanılarak dünyanın herhangi bir konumunda sistemin harici bir ayarlamaya ihtiyaç duymadan son derece kararlı bir

şekilde çalışması sağlanmıştır. Sistemde elde edilen bu kararlılık sayesinde güneş takip sistemi bulutlu günlerde bile herhangi bir sapma olmadan güneşi takip edebilmektedir. Geliştirilen yazılım sayesinde GPS modülü yardımıyla hesaplanan güneş açısı değerlerine göre motorların hareket edebilmesi için röleler kullanılmıştır.



Şekil 5.18. Tasarlanan güneş izleme düzeneği

Sistem üzerinde eksen hareketlerinin gerçekleştirilmesi için iki adet AC motor ve bu motorları sürmek için değişken frekanslı motor sürücüleri kullanılmıştır. Değişken frekanslı motor sürücülerini röle ile sürülebilmesi için yine sürücü üzerinde bulunan lojik girişler kullanılmıştır. Şekil 5.19.'da gösterilen bu lojik girişler +24VDC ile tetiklenmekte ve Lojik 1 ileri hareketi sağlarken, Lojik 2 geri hareketini sağlamaktadır.



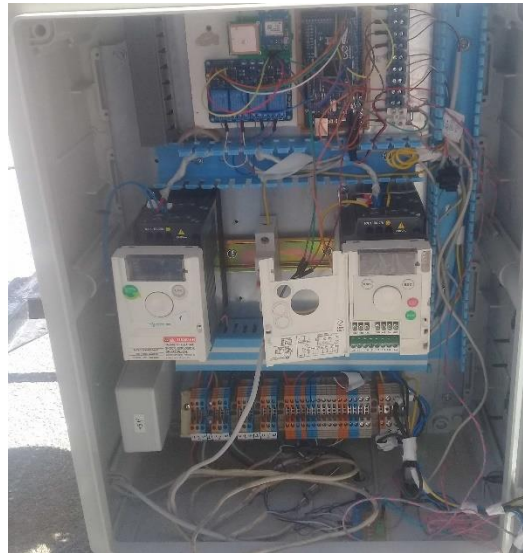
Şekil 5.19. Değişken frekanslı sürücü lojik girişleri

Ayrıca kontrol sistemi üzerinde sistemin herhangi bir durumda tekrar başlatılabilmesi için reset butonu eklenmiştir. Kullanılan bu reset butonu ile sistem ilk başlangıç durumuna dönerek tekrar güneş açılarını hesaplayarak güneş takibine devam edecektir. Reset butonu Şekil 5.20.'de gösterildiği gibi güneş takip sistemi kontrol panosuna sabitlenmiştir.



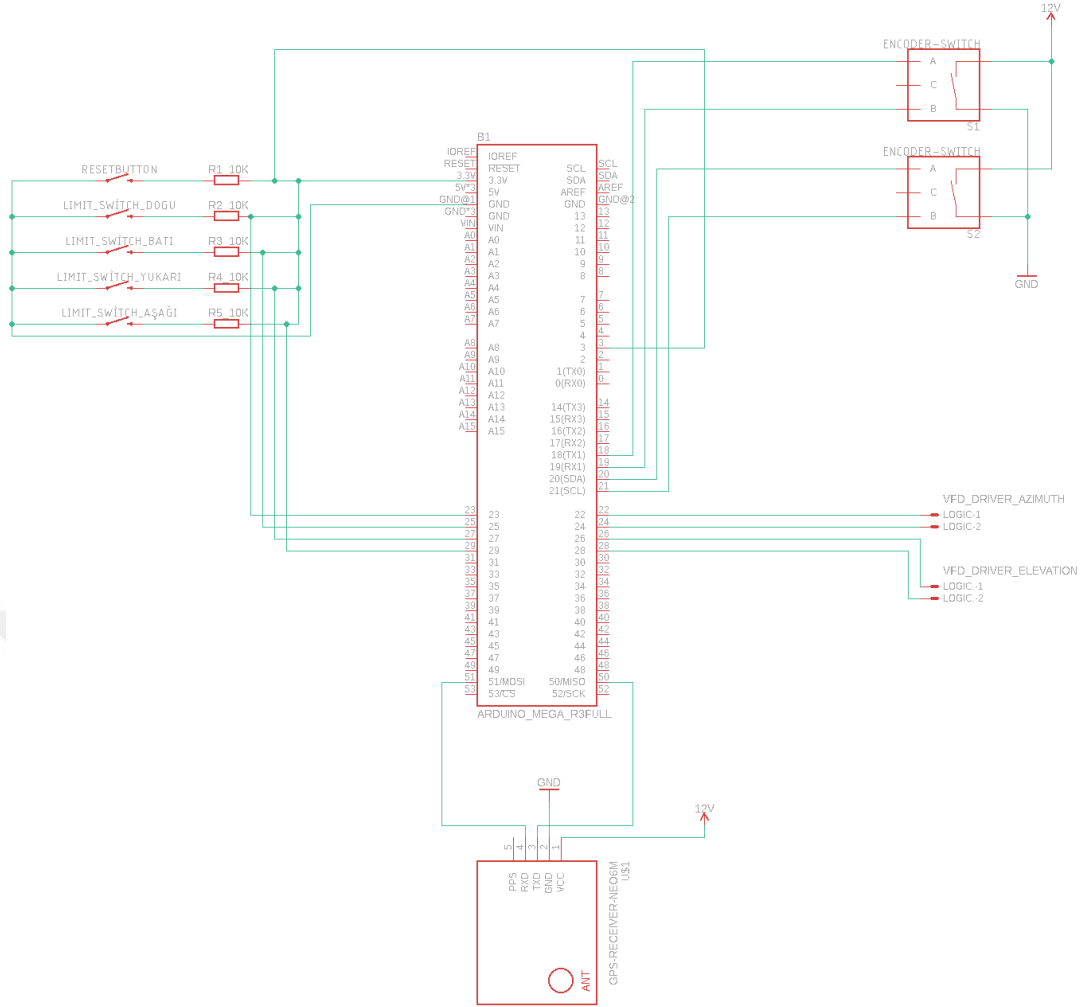
Şekil 5.20. Güneş takip sistemi reset butonu

Güneş takip sisteminin kontrol düzeneği şekil 5.21.'de verilmiştir.



Şekil 5.21. Güneş takip sistemi kontrol düzeneği

Şekil 5.22.'de güneş takip sistemi güneş izleme ve kontrol düzeneği devre şeması gösterilmiştir.



Şekil 5.22. Güneş izleme ve kontrol düzeneği devre şeması

5.2.2. Deney düzeneği

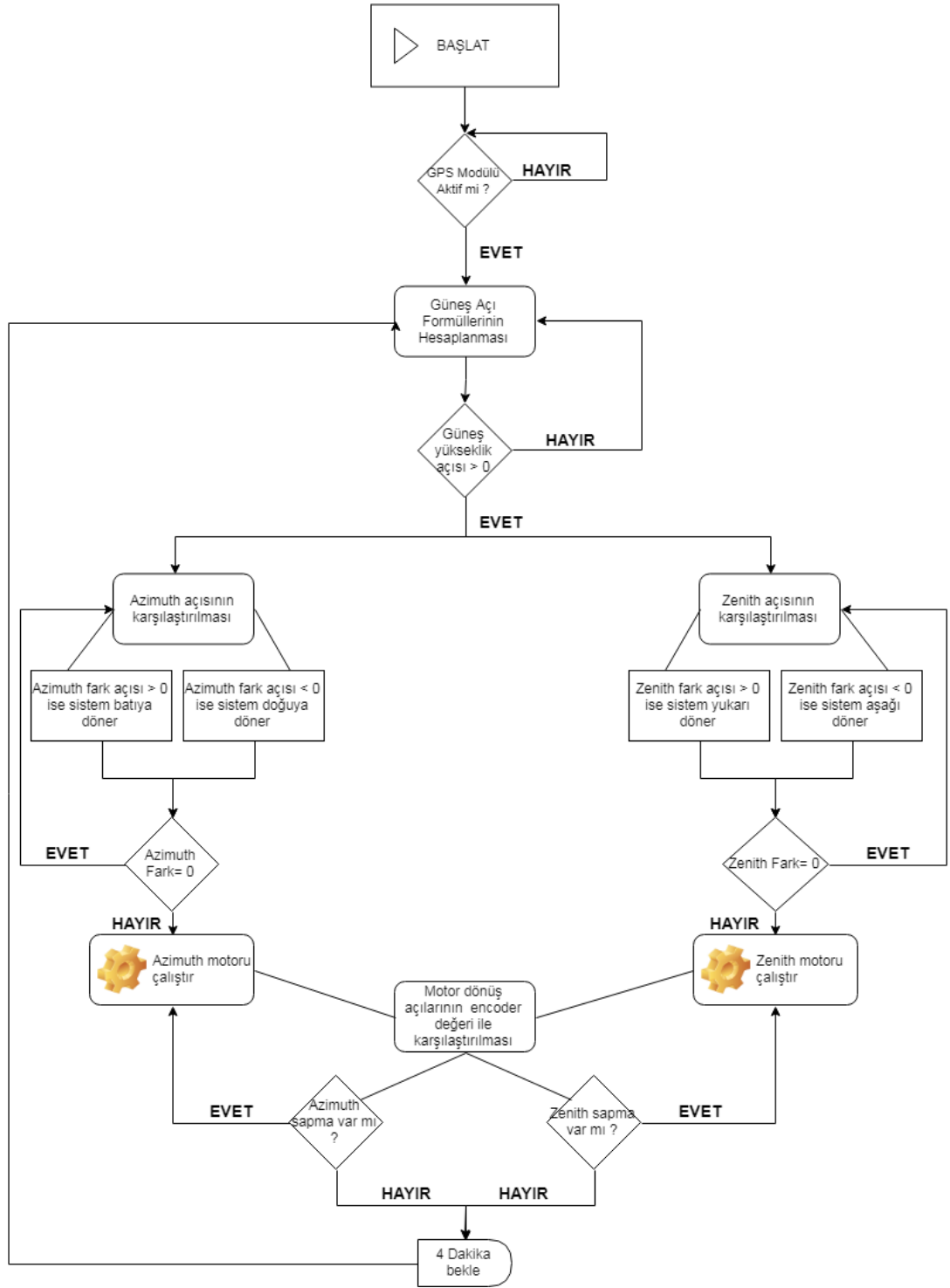
Tasarladığımız deney düzeneğinde su giriş ve çıkış sıcaklıklarının ölçümü adına iki adet termokupl, ortam sıcaklık ve nem ölçümlerinin gerçekleştirilmesi için Almemo marka FHA646AG sıcaklık ve nem sensörü ve termokupl ve FHA646AG sensörlerinin ölçüm sonuçlarının kaydedilmesi için Almemo 2590-9 datalogger kullanılmıştır. Ayrıca güneş takip sisteminine ulaşan güneş radyasyonunun ölçülmesi için Apogee marka güneş radyasyon sensörü ve Hobo marka datalogger kullanılmıştır.

5.2.3. Güneş takip sistemi çalışma prensibi

Güneş takip sisteminin güneş izleme gerçekleştirilmesi için GPS modülü kullanılmaktadır. GPS modülü vasıtasıyla güneş açıları 4 dakikalık periyotlar ile hesaplanarak azimuth ve zenith açılarına göre motorların hareketi sağlanmaktadır. Motorların hareketi ile sistem üzerindeki yoğunlaştırıcı çanak, güneşe her zaman dik konumda tutularak güneş ışınlarından gelen enerjinin azami düzeyde ısıtıcı tüpe odaklanması sağlanmaktadır.

Güneş takip sisteminin güneş açısı hesaplarına göre motor hareketleri sonrasındaki doğruluğu azimuth ve zenith eksenlerinde bulunan rotary enkoderlar ile kontrol edilmektedir. Bu sayede eksenlerde oluşabilecek açı sapmalarına karşı önlem alınmaktadır.

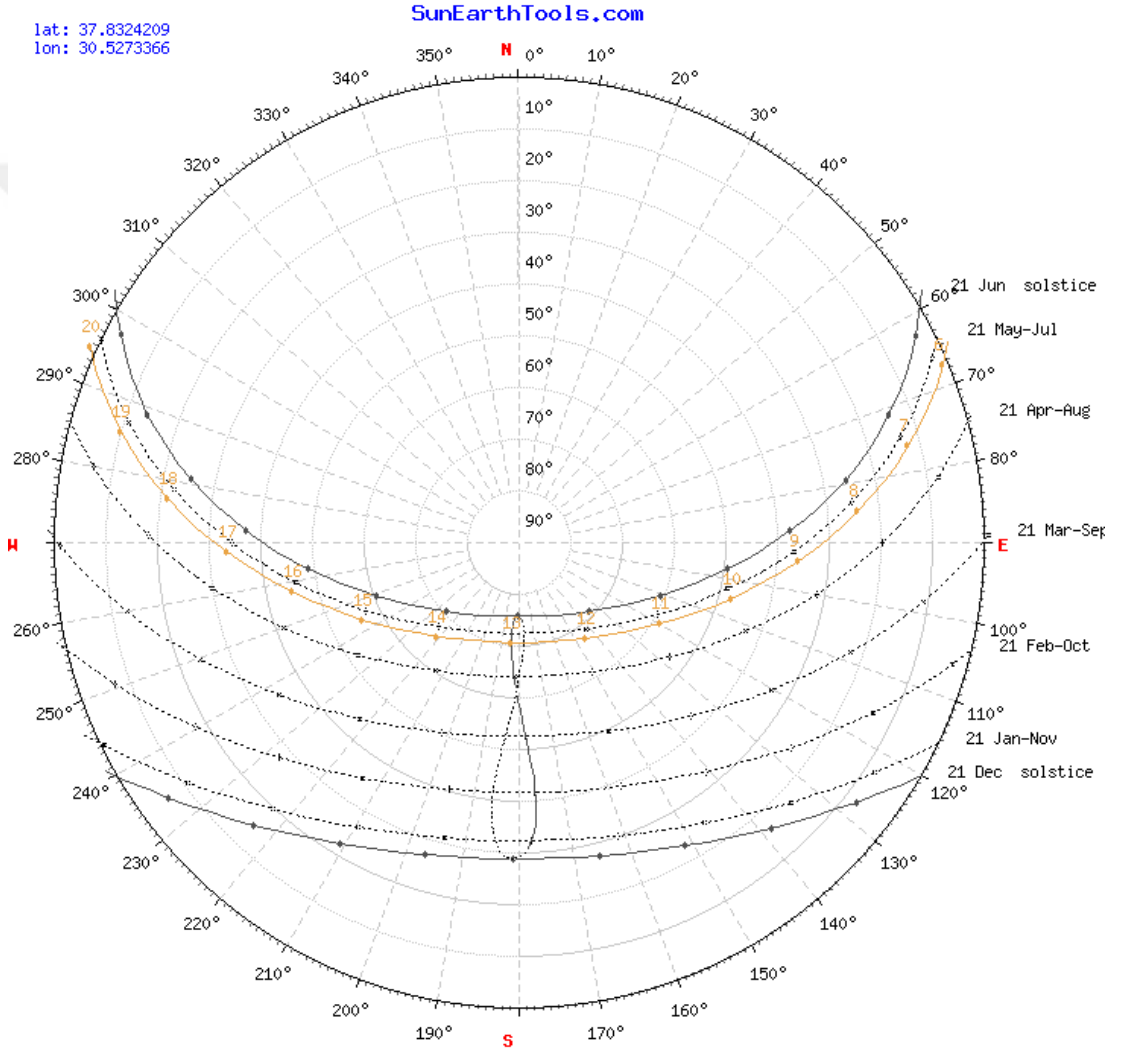
Sistemin çalışmasında herhangi bir GPS kalibrasyon hatası ile karşılaşmamak adına güneş takip sistemi GPS modülünün aktif hale gelmesinin ardından harekete geçmektedir. Bu işlem ile sistemde karşılaşılabilecek yanlış hesaplamaların önüne geçilmesi amaçlanarak güneşin daha stabil ve doğru bir şekilde takibi sağlanmaktadır. Şekil 5.23.'te güneş takip sistemi çalışma algoritması gösterilmiştir.



Şekil 5.23. Güneş takip sistemi çalışma algoritması

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Deneyley mayıs ayında toplam 7 ayrı gün için 5 adet parametre ölçümü gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümler 24.05.2019-30.05.2019 tarihleri arasında 37.83240° enlem ve 30.52730° boylamda Süleyman Demirel Üniversitesi Batı Yerleşkesinde gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneylere ait konuma ilişkin güneş diyagramı Şekil 6.1.'de verilmiştir.



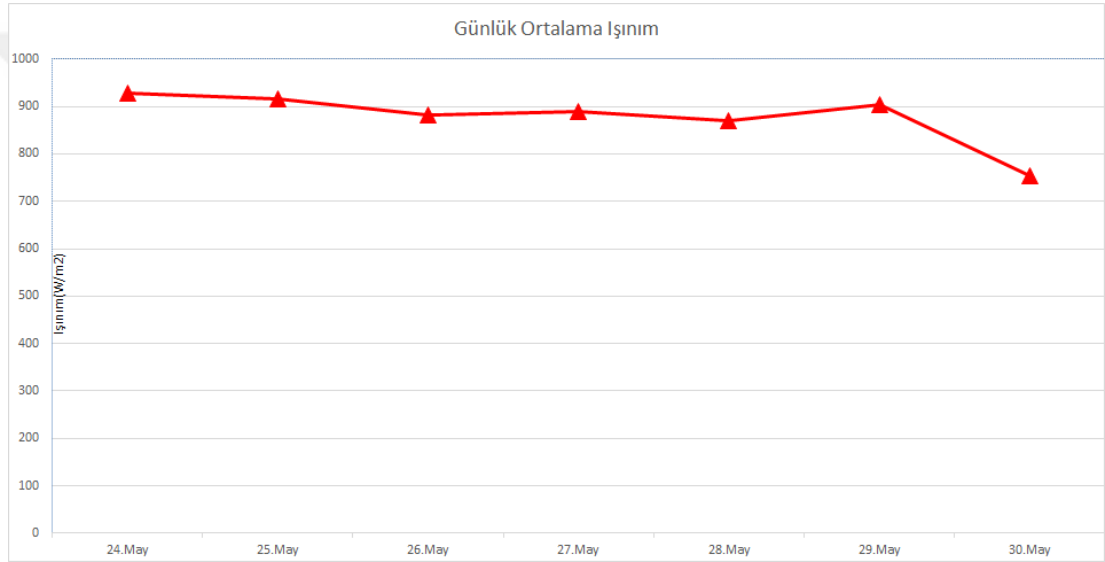
Şekil 6.1. Deney konumuna ait güneş diyagramı (Anonim, 2019i)

24-30 Mayıs tarihleri arasında gerçekleştirilen deneyler sonucunda ölçülen günlük ortalama güneş ışınım değerleri Çizelge 6.1.'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Günlük ortalama ışınım değerleri

Tarih	Günlük Ortalama Işınım (W/m^2)
24.05.2019	929
25.05.2019	916
26.05.2019	882
27.05.2019	890
28.05.2019	869
29.05.2019	903
30.05.2019	754

Çizelge 6.1.'de verilen günlük ortalama ışınım değerleri grafiksel olarak Şekil 6.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Günlük ortalama ışınım değerlerinin grafiksel gösterimi

Şekil 6.2.'de gösterilen günlük ortalama ışınım değerleri günlere göre farklılıklar göstermektedir. Işınım değerlerinin bu değişimi öncelikle bulut olmak üzere hava şartlarından kaynaklanmaktadır. Grafikte de görüldüğü üzere 30 Mayıs tarihli deneye ait günlük ortalama ışınım değerinin diğer günlerde ölçülen günlük ortalama ışınım değerlerine göre düşük olmasının sebebi 30 Mayıs tarihinde havanın çok bulutlu olmasıdır.

Güneş takip sistemi ile 24-30 Mayıs tarihleri arasında yapılan deneylerde ısıtılan su için harcanan enerjinin hesabı yapılmıştır. Yapılan bu hesap sonrasında güneş takip sisteminin kayıp ve verim hesabı yapılmıştır. Suyun ısıtılması için gerekli olan denklem Eşitlik 6.1'de verilmiştir (Özdemir ve Özkaya, 2015)

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (6.1)$$

Eşitlik 6.1'de verilen Q, ısı enerjisi, m, su miktarı, c, özgül ısı, ΔT ise ısı değişimini ifade etmektedir. Bu eşitlik deney sonuçlarında bulunan su giriş ve çıkış değerlerinin asgari ve azami seviyeleri baz alınarak hesaplandığı zaman Q değerinin günlere göre değişimi elde edilmektedir. Bu değişim değerleri Çizelge 6.2.'de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Q değerinin günlere göre değişimi

Tarih	M(kg)	c(kJ/kg°C)	ΔT(°C)	Q(kJ)	Debi(%)
24.05.2019	200	4.185	49	41013	10
25.05.2019	200	4.185	64.8	54238	10
26.05.2019	200	4.185	63.9	53485	10
27.05.2019	200	4.185	64.4	53903	10
28.05.2019	200	4.185	23.2	19419	100
29.05.2019	200	4.185	22.2	18582	100
30.05.2019	200	4.185	18.2	30467	100

Kollektörümüzün alanını hesaplamak için Eşitlik 6.2'de verilen denklemi kullanırsak (Alorcon vd., 2013);

$$Aa = \frac{\pi \cdot Da^2}{4} = 3.14 \text{ m}^2 \quad (6.2)$$

Eşitlik 6.2'de verilen A_a , kollektörün alanını, D_a , kollektörün çapını ifade etmektedir. Sistemden elde edilen enerji miktarını hesaplamak için ilk olarak kollektörün odak noktasının alanını bulmamız gerekmektedir. Bu alan denklemi Eşitlik 6.3'te verilmiştir.

$$A_F = \pi \cdot r^2 = 0.055 \text{ m}^2 \quad (6.3)$$

Eşitlik 6.3'te verilen A_F , odak alanını, r ise ısıtıcı tüpün yarıçapını ifade etmektedir. Eşitlik 6.3'te elde ettiğimiz odak alanı ile Eşitlik 6.4'te kollektörün odaklama kazancını hesaplayabiliriz (Alorcon vd., 2013).

$$C_K = \frac{Aa - A_{FG}}{A_F} = 56 \quad (6.4)$$

Eşitlik 6.4'te verilen C_K , odaklama kazancını, A_{FG} ise odak gölgelenme alanını ifade etmektedir. Eşitlik 6.4'te bulduğumuz kazanç değeri ile odakta toplanan enerji miktarını Eşitlik 6.5'te verilen denklem ile bulabiliriz (Laka, 2011).

$$E_F = I_{GO} \cdot (A_a - A_{FG}) \cdot C_K \cdot \frac{3600 \cdot 7.5}{1000} \quad (6.5)$$

Eşitlik 6.5'te verilen I_{GO} , günlük ortalama ışınımı, E_F ise odakta toplanan enerji miktarını, 3600, saniyeden saate çevirme katsayısını ve 7.5 ise günlük gerçekleştirilen ortalama deney süresini ifade etmektedir. Eşitlik 6.5'te verilen denklem yardımı ile günlük ortalama ışınımın odağa yansıtılması sonucu kayıplar ihmal edildiğinde elde edilecek enerji miktarını bulmaktayız. Ancak daha net bir sonuç elde etmek için enerji kayıplarını da hesaplamak gerekmektedir.

Başlıca enerji kayıpları güneş takip sisteminde; odak kayıpları (L_F), tesisat kayıpları (L_T) ve ısıtıcı tüp kayıplarından (L_R) oluşmaktadır. Odak kaybı, yoğunlaştırıcı çanaktan kaynaklanan ve çanak üzerine gelen güneş ışınlarının odağa yansıtılırken yaşadığı kayıpları ifade etmektedir. Odak kaybı (L_F), güneş takip sistemi için %50 olarak belirlenmiştir. Tesisat kaybı (L_T), su debisinin %100 olduğu 28-30 Mayıs tarihleri arasındaki deney sonuçlarında verilen su giriş sıcaklığı ile tank su giriş sıcaklığı farkının ΔT 'e oranlanması ile bulunmaktadır. Tesisat kaybı denklemi Eşitlik 6.6'da verilmiştir.

$$L_T = \Delta T / \Delta_{SCS-TS} \quad (6.6)$$

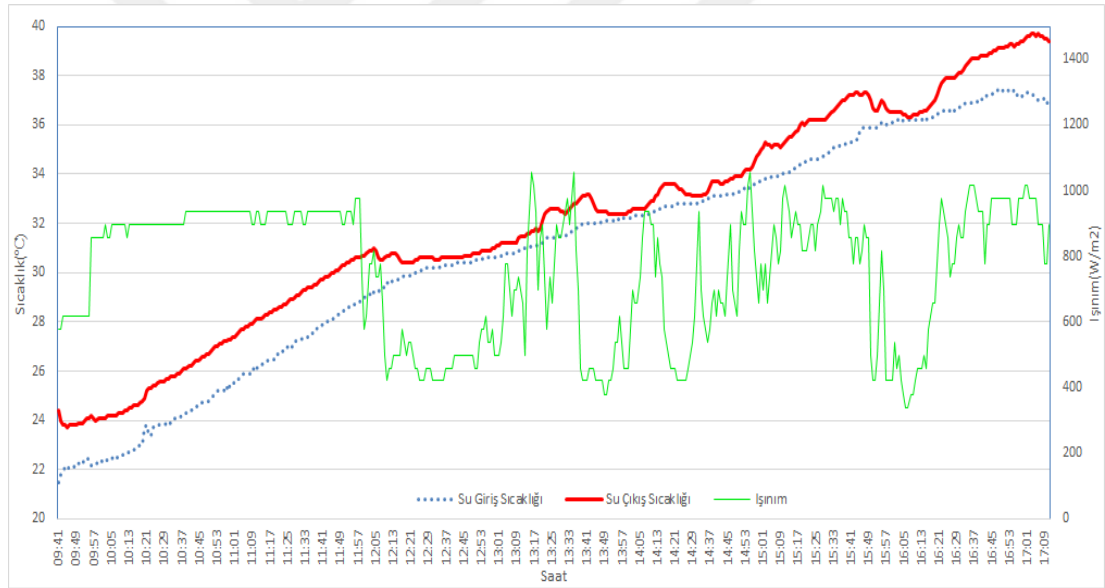
Eşitlik 6.6'da verilen Δ_{SCS-TS} değeri su çıkış sıcaklığı ile tank su sıcaklığı ortalamasının farkını ifade etmektedir. Eşitlik 6.6'da verilen denklem sonucunda L_T değeri günlük olarak hesaplanmış ve ortalamaları alınmıştır. Bu işlemin sonucunda L_T değeri %37 bulunmuştur.

Odak ve tesisat kayıpları, üretilen toplam enerjiden (E_F) çıkarıldıktan sonra geriye kalan kayıplar ise ısıtıcı tüp kayıpları olarak ifade edilebilir. Üretilen enerji ve sistem kayıplarını Çizelge 6.3'te verilmiştir.

Çizelge 6.3. Sistemde enerji dağılım tablosu

Tarih	E _F (kJ)	Q(kJ)	L _F (kJ)	L _T (kJ)	L _R (kJ)
24.05.2019	4326315	41013	2163157	1600736	521409
25.05.2019	4265775	54238	2132887	1578336	500314
26.05.2019	4107438	53485	2053719	1519752	480482
27.05.2019	4144694	53903	2072347	1533536	484908
28.05.2019	4046898	19419	2023449	1497352	506678
29.05.2019	4205234	18582	2102617	1555936	528099
30.05.2019	3511347	30467	1755673	1299198	426009

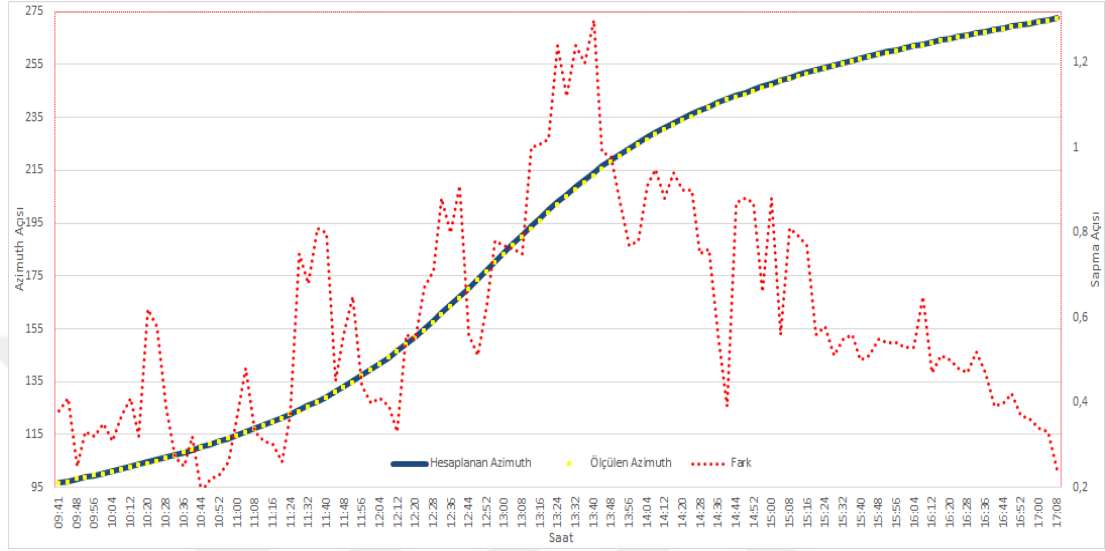
24-30 Mayıs arasındaki deney sonuçlarını grafiksel olarak incelersek sensörlerden ölçülüp kaydedilen veriler arasındaki bağıntıları daha iyi yorumlayabiliriz. Şekil 6.3'te 30 Mayıs tarihli deney sonuçlarının grafiksel gösterimi verilmiştir.



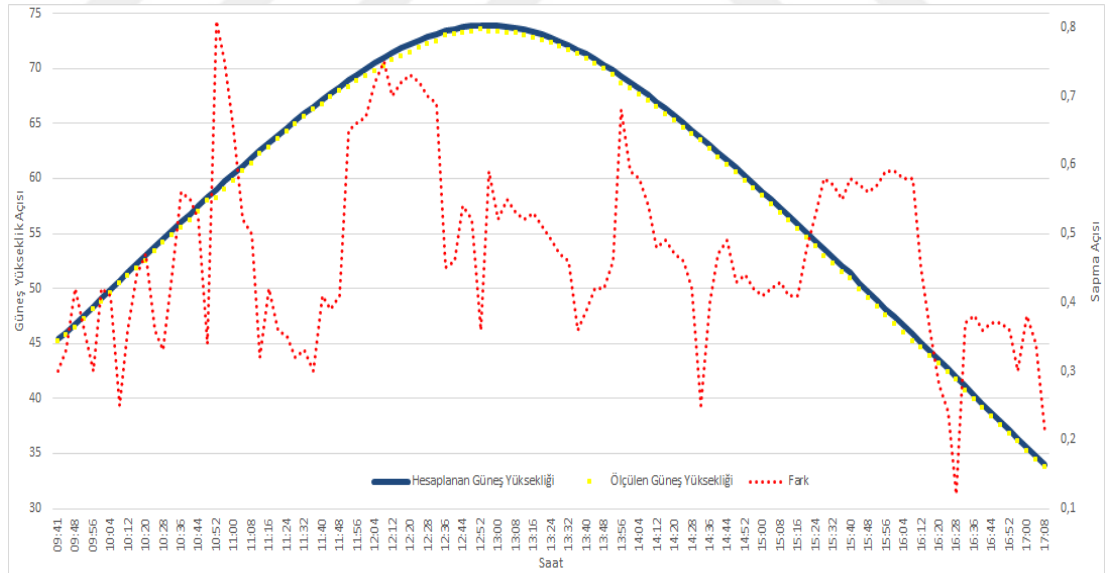
Şekil 6.3. 30 Mayıs deney sonuç grafiği

30 Mayıs tarihli deney sonuçları incelendiğinde ışıınım değerlerindeki kararsızlık deney gününün bulutlu olmasından kaynaklanmaktadır. Işınım değerlerindeki bu kararsızlık saat 12:00 civarından başlayıp deney bitimi olan 17:09'a kadar sürmektedir. Aynı şekilde ışıınım değerlerine paralel olarak su çıkış sıcaklık değerinin de değişkenlik gösterdiği gözlemlenmektedir.

24-30 Mayıs tarihleri arasında gerçekleştirilen deneyler süresince azimuth ve güneş yükseklik açılarının takibi gerçekleştirilerek sistemin güneşi takip etmesi sağlanmıştır. Şekil 6.4 ve 6.5'te 30 Mayıs tarihine ait sistemin azimuth ve güneş yükseklik açısı takip grafikleri verilmiştir.

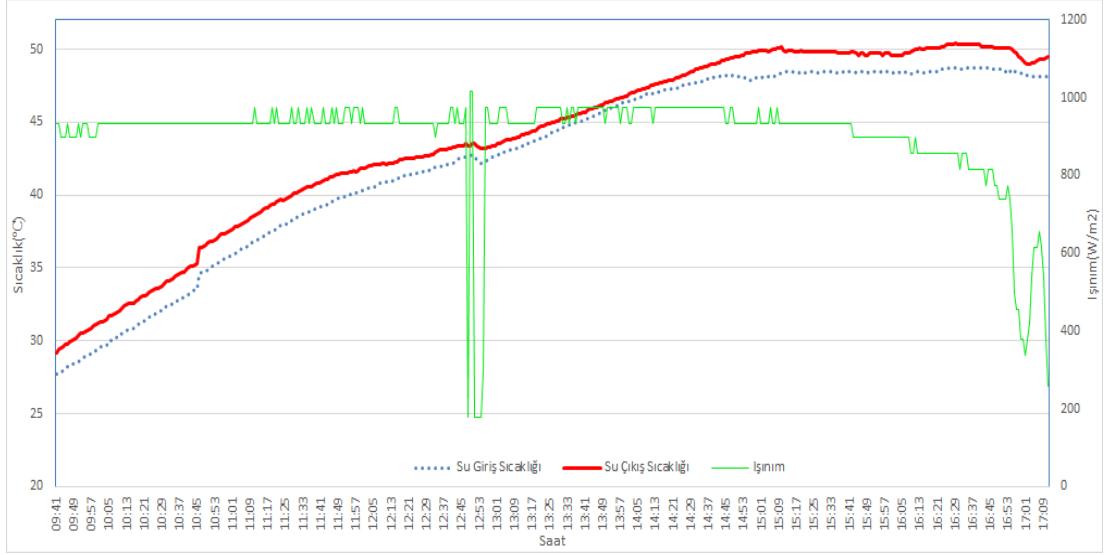


Şekil 6.4. 30 Mayıs tarihli azimuth açısı takip ve sapma değer grafiği



Şekil 6.5. 30 Mayıs tarihli güneş yükseklik açısı takip ve sapma değer grafiği

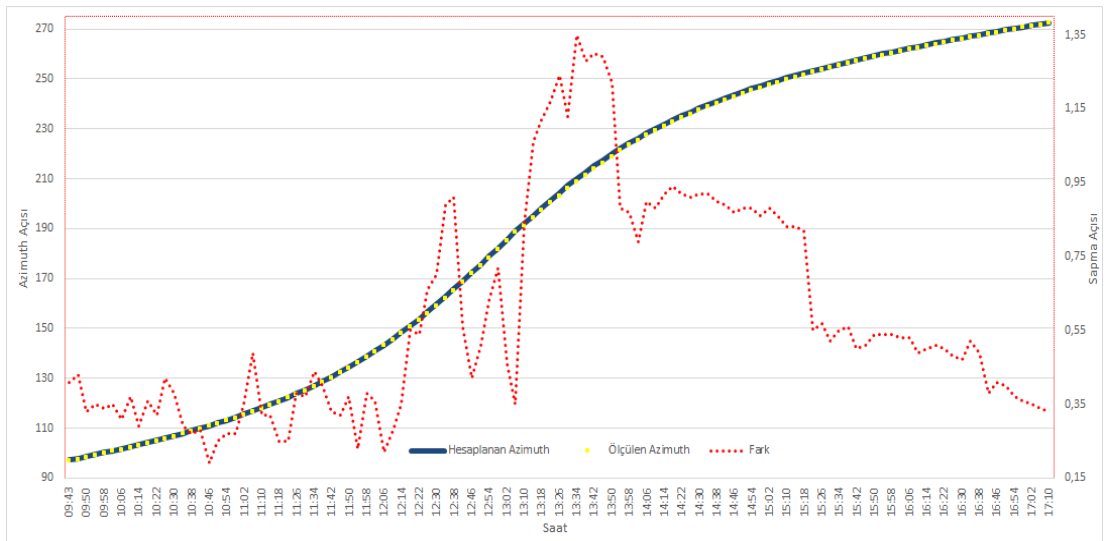
29 Mayıs tarihli deney sonuçlarının grafiksel gösterimi Şekil 6.6'da gösterilmiştir.



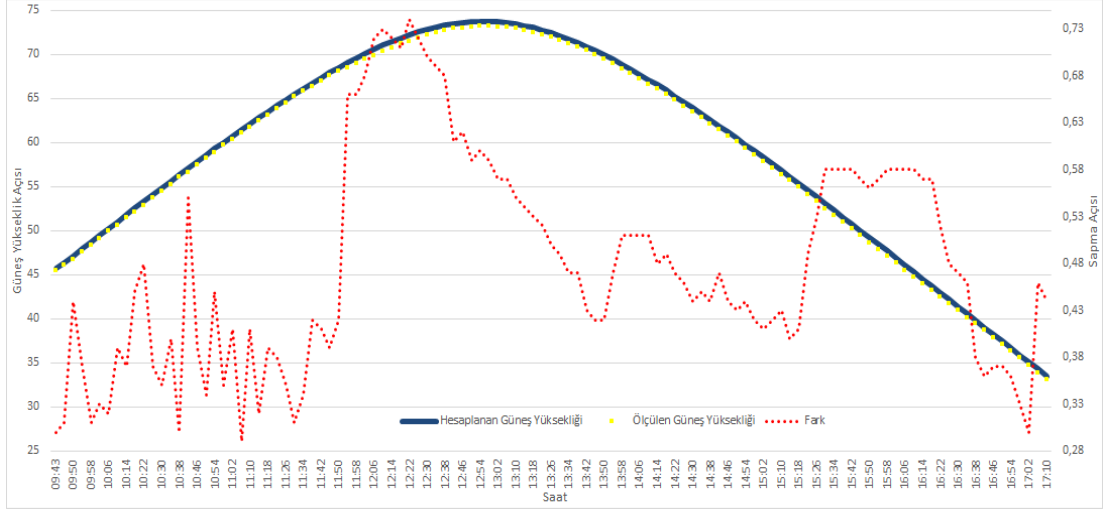
Şekil 6.6. 29 Mayıs deney sonuç grafiği

29 Mayıs tarihli deney sonuç grafiği incelendiğinde saat 12:45-13:00 arasında ve saat 16:45'ten sonra ışınım değerinde bulut etkisi ile bir düşüş gerçekleştiği görülmektedir. Işınımında gerçekleşen bu düşüşe paralel olarak da su çıkış sıcaklığında da bir düşüş yaşanmıştır. Belirtilen bu saatler haricinde gün içinde ışınım değeri genellikle stabil görülmektedir.

Şekil 6.7 ve 6.8'de 29 Mayıs tarihine ait sistemin azimuth ve güneş yükseklik açısı takip grafikleri verilmiştir.

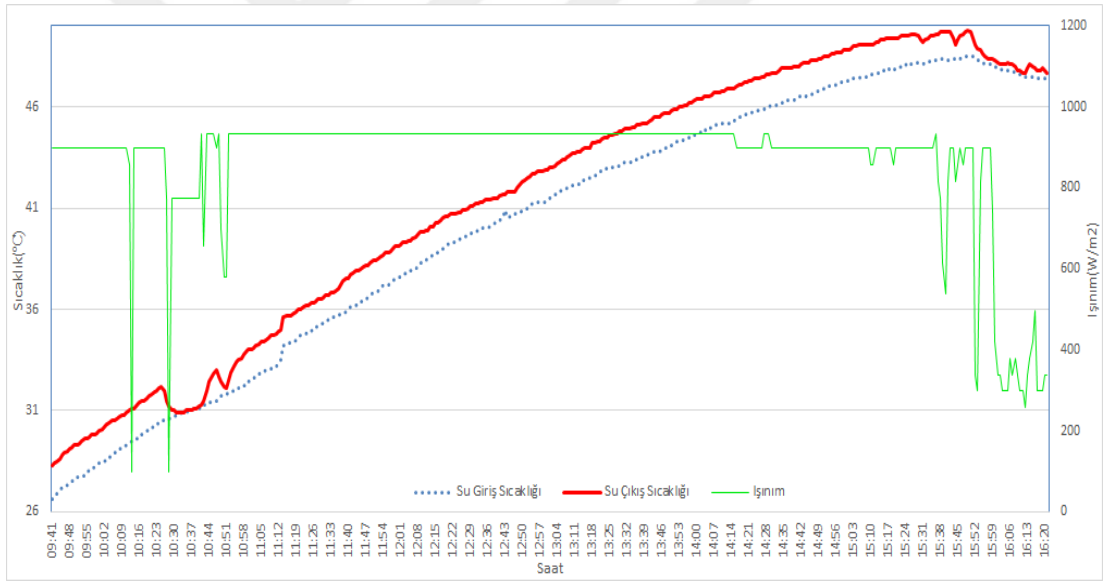


Şekil 6.7. 29 Mayıs tarihli azimuth açısı takip ve sapma değer grafiği



Şekil 6.8. 29 Mayıs tarihli güneş yükseklik açısı takip ve sapma değer grafiği

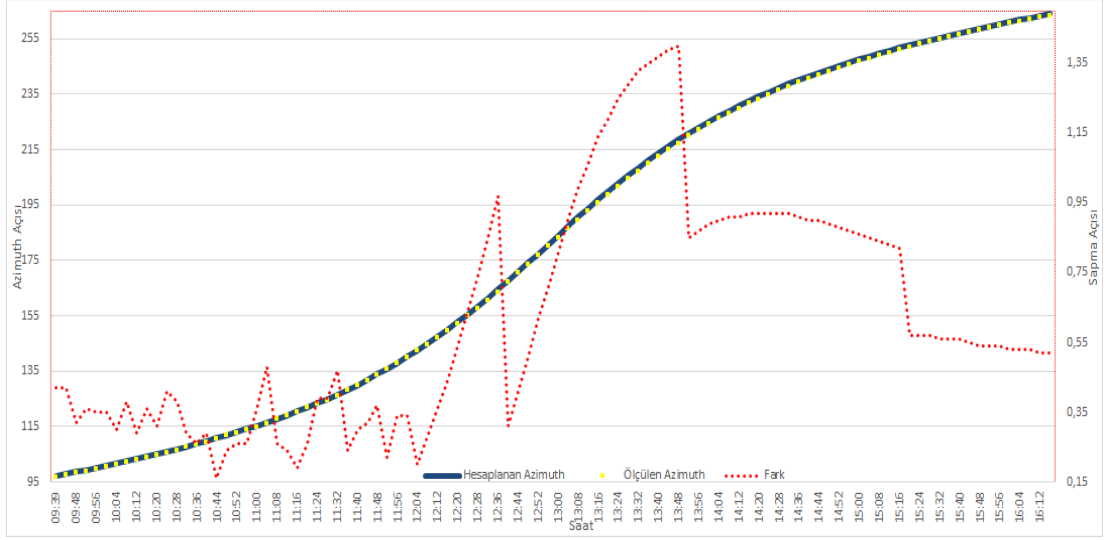
28 Mayıs tarihli deney sonuçlarının grafiksel gösterimi Şekil 6.9’da gösterilmiştir.



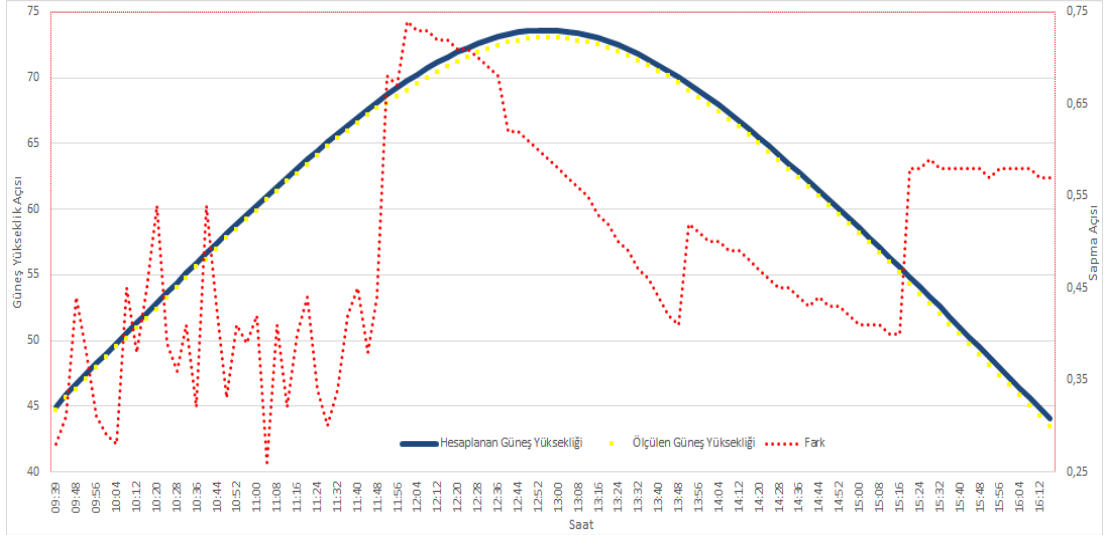
Şekil 6.9. 28 Mayıs deney sonuç grafiği

Su giriş ve çıkış sıcaklıkları gün boyunca düzenli bir şekilde artış göstermesine rağmen saat 10:00-11:00 arasında ve 15:30-16:15 arasında ışınım düşmesinden kaynaklı su çıkış sıcaklığında bir düşüş yaşandığı gözlemlenmiştir.

Şekil 6.10. ve 6.11.’de 28 Mayıs tarihine ait sistemin azimuth ve güneş yükseklik açı takip grafikleri verilmiştir.

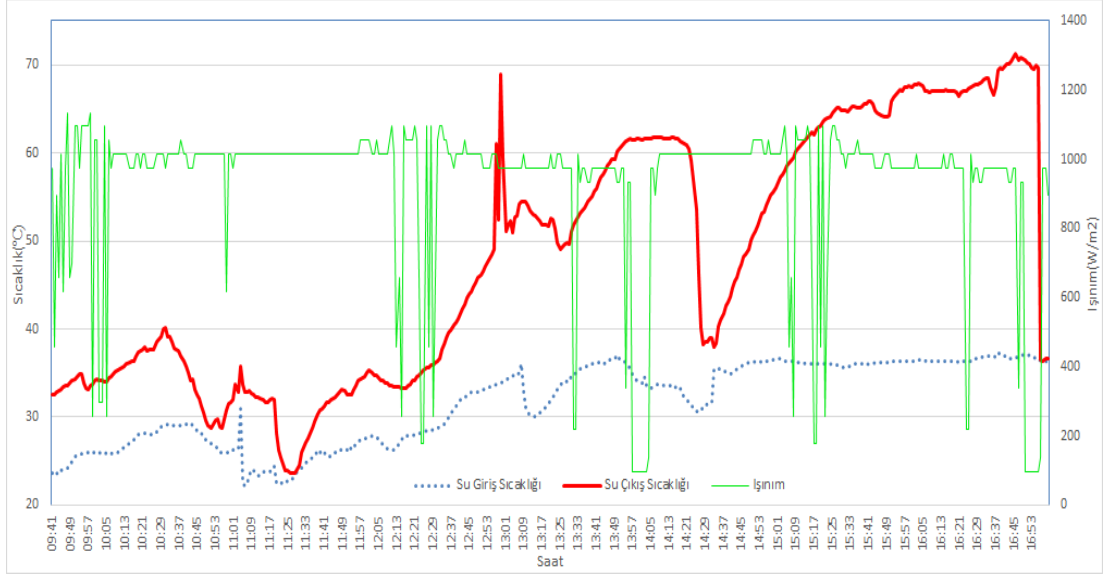


Şekil 6.10. 28 Mayıs tarihli azimuth açısı takip ve sapma değer grafiği



Şekil 6.11. 28 Mayıs tarihli güneş yükseklik açısı takip ve sapma değer grafiği

28-30 Mayıs tarihleri arasındaki deneylerde su debisi %100 yapılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ancak su debisindeki herhangi bir azalma durumunda sistem verimindeki değişimin incelenmesi adına 24-27 tarihleri arasındaki deneyler gerçekleştirilmiştir. 24-27 Mayıs tarihleri arasındaki deneylerde su debisi %10 değerine ayarlanmış ve ölçümler gerçekleştirilmiştir. Su debisinin sonuçlar üzerindeki etkisine örnek olması için 24 Mayıs tarihine ait deney sonuç grafiği Şekil 6.12'de verilmiştir.



Şekil 6.12. 24 Mayıs deney sonuç grafiği

Şekil 6.12.'de verilen 24 Mayıs tarihli deney sonuç grafiği incelendiğinde gün boyunca bulutlanma nedeniyle ışınım değerlerinde bir kararsızlık bulunmaktadır. Ancak buna rağmen su çıkış sıcaklığı gün genelinde artış göstermektedir. Su çıkış sıcaklığındaki artış ışınım değerinden bağımsız bir şekilde gerçekleşmektedir. Bunun nedeni su debisinin %10 düzeyine çekilmesidir. Su debisinin azaltılması ışınım değeri ile su çıkış sıcaklığı arasındaki etkileşim hassasiyetini de azaltmaktadır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada GPS tabanlı 2-eksen güneş takip sistemi geliştirilmiş ve geliştirilen sistem ile yapılan deney sonuçları analiz edilmiştir. Analiz edilen deney sonuçlarına göre 28-30 Mayıs tarihleri arasındaki %100 debi ile yapılan deneylerde su çıkış sıcaklığının ışıınım değerleri ile doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir. 24-27 Mayıs tarihleri arasındaki %10 debi ile yapılan deneylerde ise su çıkış sıcaklığının ışıınım değerleri ile teoride doğru orantılı olarak artış göstermesi gerekirken uygulamada herhangi bir bağıntı gözlemlenmemiştir. Bunun nedeni 24-27 Mayıs tarihleri arasında yapılan deneylerde su debisinin %10 olarak ayarlanmasıdır. Su debisinin %10 olması ışıınım ile su çıkış sıcaklığı arasındaki bağıntının hassas bir şekilde görülmesinin önüne geçmektedir.

Ayrıca 28-30 Mayıs tarihleri arasında yapılan deneylerde ölçülen ve hesaplanan güneş açıları da karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda Şekil 6.4., 6.5., 6.7., 6.8., 6.10. ve 6.11.'de gösterilen grafikler elde edilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde hesaplanan ve ölçülen azimuth ile güneş yükseklik değerleri arasında minimum sapma payı olduğu görülmektedir. Elde edilen düşük sapma payı sayesinde 2-eksen güneş takip sisteminden elde edilen verim, cihazın güneş ışınlarını daha az hata payı ve dik bir konumda almasından dolayı artmaktadır.

Sonuç olarak geliştirilen GPS tabanlı 2-eksen güneş takip sistemi, kapalı çevrim güneş takip kontrollü (LDR, mini PV vb.) sistemlere göre GPS özelliği yardımıyla dünya üzerinde herhangi bir konumda ve hava koşullarından bağımsız şekilde daha kararlı bir çalışma gerçekleştirmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdallah, S. & Nijmeh, S. (2004). Two axes sun tracking system with PLC control. *Energy Conversion and Management*, 45(11), 1931–1939. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2003.10.007.
- Alorcon, J., Hortua, J. & Lopez, A. (2013). Design and construction of a solar collector parabolic dish for rural zones in Colombia. *Tecciencia*, 7, 14–22. doi:http://dx.doi.org/10.18180/tecciencia.2013.14.2.
- Altın, V. (2004). Güneş Enerjisinden Yararlanılarak Elektrik Üretimi. *Mimar ve Mühendis Dergisi*, 33, 28–31.
- Anonim (2019). <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes> (Son Erişim Tarihi: 15.04.2019)
- Anonim (2019a). <https://globalsolaratlas.info/downloads/turkey> (Son Erişim Tarihi: 15.04.2019)
- Anonim (2019b). <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/air-mass> (Son Erişim Tarihi: 27.04.2019)
- Anonim (2019c). <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/azimuth-angle> (Son Erişim Tarihi: 27.04.2019)
- Anonim (2019d). <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/declination-angle> (Son Erişim Tarihi: 27.04.2019)
- Anonim (2019e). <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/elevation-angle> (Son Erişim Tarihi: 27.04.2019)
- Anonim (2019f). <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/calculation-of-solar-insolation> (Son Erişim Tarihi: 27.04.2019)
- Anonim (2019g). <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/solar-timeTC> (Son Erişim Tarihi: 27.04.2019)
- Anonim (2019h). <https://pvpmc.sandia.gov/modeling-steps/1-weather-design-inputs/sun-position/> (Son Erişim Tarihi: 27.04.2019)
- Anonim (2019i). <https://www.sunearthtools.com/dp/tools/possun.php?lang=en> (Son Erişim Tarihi: 10.05.2019)
- Anonim (2019k). <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/> (Son Erişim Tarihi: 15.04.2019)
- Anonim (2019l). <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/genjtekno.aspx> (Son Erişim Tarihi: 15.04.2019)

- Anonim (2019m). http://www.emo.org.tr/ekler/1076c3237c38c7f_ek.pdf?dergi=1123
(Son Erişim Tarihi: 20.04.2019)
- Anonim (2019n). <http://www.me.umn.edu/courses/me4131/LabManual/AppDSolarRadiation.pdf> (Son Erişim Tarihi: 25.04.2019)
- Argun, K. (2012). *Güneş Takip Sistemine Sahip Düzlemsel Kollektörün Performansının Deneysel Olarak Belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Arifoğlu, B., Çamur, S., Beşer, K.E. & Beşer, E. (2009). *Güneş Panellerinin Üretim Kapasitesini Arttıracak Güneşi Takip Edebilen Güneş Panel Sisteminin Prototipi*. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu. 21-22 Mayıs, Kocaeli, 124-128.
- Armakan, E. (2003). *2-Eksenli Güneş Takip Sisteminin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü)
- Atalay, Y. (2016). *İki Eksenli Güneş Takip Mekanizmasına 1KW'lık PV Güç Sisteminin Modellenmesi ve Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Bakos, G.C. & Antoniadis, C. (2013). Techno-economic appraisal of a dish/stirling solar power plant in Greece based on an innovative solar concentrator formed by elastic film. *Renewable Energy*, 60, 446–453. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2013.05.031>.
- Bilgin, Z. (2006). *Güneş Takip Sistemi ve Gerçekleştirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Bingöl, O., Altıntaş, A. & Öner, Y. (2006). Microcontroller Based Solar Tracking System and Its Implementation. *Journal of Engineering Sciences*, 12, 243–248.
- Blanco, M., Padilla, A., Moratalla, L. & Coira, L. (2001). Computing the solar vector. *Solar Energy*, 70, 431–341.
- Bravo, Y., Carvalho, M., Serra, L.M., Monné, C., Alonso, S., Moreno, F. & Muñoz, M. (2012). Environmental Evaluation of Dish-Stirling Technology for Power Generation. *Solar Energy*, 86, 2811–2825. doi:10.1016/j.solener.2012.06.019.
- Çıtıroğlu, A. (2000). Güneş Enerjisinden Yararlanarak Elektrik Üretimi. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 485, 14–19.
- Demir, C. (2007). *Mikrodenetleyici Tabanlı İzleme Sistemi İle Güneş Paneli Verim Optimizasyonu*. (Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Demirtaş, M. (2006). Bilgisayar Kontrollü Güneş Takip Sisteminin Tasarımı ve Uygulanması. *Journal of Polytechnic*, 9, 247–253. doi: 10.2339/2006.9.4.247-253

- Eke, R. & Er, E. (2016). Design of Tracking System With Programable Logic Controller. *The Journal of Global Engineering Studies*, 3(1), 32–45.
- Kasten, F. & Young, A. (1989). Revised optical air mass tables and approximation formula. *Optical Society of America*, 28, 4735–4738. doi: <https://doi.org/10.1364/AO.28.004735>
- Kıvrak, S., Gündüzalp, M. & Dinçer, F. (2012). Theoretical and experimental performance investigation of a two- axis solar tracker under the climatic condition of Denizli, Turkey. *Przeglad Elektrotechniczny*, 88(2).
- Kılıç, F. (2015). Güneş Enerjisi, Türkiye’deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri. *Mühendis ve Makina*, 56(671), 28–40.
- Laue, E. (1970). The measurement of solar spectral irradiance at different terrestrial elevations. *Solar Energy*, 13, 43–57. doi: [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(70\)90006-X](https://doi.org/10.1016/0038-092X(70)90006-X)
- Laka, S. (2011). Çanaklı Güneş Yansıtıcılarıyla Çalışan Stirling Güç Üretme Sisteminin Termodinamik Analizi. (Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniveristesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Mancini, T., Heller, P., Butler, B., Osborn, B., Schiel, W., Goldberg, V., Buck, R., Diver, R., Andraka, C. & Moreno, J. (2003). Dish-Stirling Systems: An Overview of Development and Status. *Journal of Solar Energy Engineering*, 125(2), 135. doi:10.1115/1.1562634
- Mansiri, K., Sukchai, S. & Sirisamphanwong, C. (2014). Investigations to Conduct a Study about Possibilities to Use Small Scale Solar Dish Stirling Engine System in Thailand. *Energy Procedia*, 56, 367–377. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.07.169>
- Meinel, A. & Meinel, P. (1977). Applied solar energy. *NASA STI/Recon Technical Report A*, 77, 251–326.
- Özdemir, M. & Özkaya, M. (2015). Ankara İli Şartlarında Düşey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Enerji ve Ekserji Analizi. *Politeknik Dergisi*, 18(4), 269-280.
- Ünsaçar, F. (1990). *Düzlem Kollektörlerde Güneş Takip Sisteminin Geliştirilerek Kullanılması*. (Doktora Tezi, Konya Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- P. I. Cooper (1969). The absorption of radiation in solar stills. *Solar Energy*, 12, 333–346. doi: [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(69\)90047-4](https://doi.org/10.1016/0038-092X(69)90047-4)
- Prinsloo, G. & Dobson, R. (2015). Solar Tracking. Gerro Prinsloo Yayınları, Solar Books Basımevi.

- Shafie, S., Hasan, W.Z.W., Kadir, M.Z.A.A., Sidek, M.H.M., Radzi, M.M., Ahmad, S.A. & Marhaban, M.H. (2015). *GPS based portable dual-axis solar tracking system using astronomical equation*. IEEE International Conference Power and Energy (PECON), 1-3 Aralık, Malezya, 245-249.
- Siddique, A., Hassan, M.W., Aslam, M.K., Aslam, M.N., Xu, Y. & Aslam, W. (2018). A Prototype Model for Generating Electricity Using Solar Parabolic Dish, Stirling Engine and Solar Tracking System. *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, 10(4), 308–317. doi:10.17706/ijcee.2018.10.4.308-317
- Uzunok, S. (2017). *Fotovoltaik Modüllerin Elektrik Enerjisi Üretiminde Güneş Takip Sisteminin Etkisinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Varış, C. (2017). *Çift Eksenli Güneş Takip Sisteminin Pilot Uygulaması Üretim Değerlendirmesi ve Ekonomik Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Yılmaz, M. (2013). *Güneş Takip Sistemi ile Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Elde Etme Yöntemleri ve Optimum Verimin Belirlenmesi*. (Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Zerubavel, E. (1982). The Standardization of Time: A Sociohistorical Perspective. *American Journal of Sociology*, 88, 1–23.

EKLER

EK A Deney Sonuçları

Çizelge A.1. 30 Mayıs deney sonuçları

Saat	Sıcaklık	Nem	Su Giriş Sıcaklık	Su Çıkış Sıcaklık	DeltaT	Işınım
09:45	24.15	46.2	22	23.7	1.7	616.08
09:50	24.41	45.6	22.3	23.9	1.6	616.08
09:55	24.7	44.5	22.4	24.1	1.7	616.08
10:00	24.78	43.6	22.4	24.1	1.7	856.8
10:05	25.3	42.9	22.5	24.2	1.7	897.6
10:10	25.67	42.2	22.6	24.3	1.7	897.6
10:15	25.44	41.7	22.8	24.6	1.8	897.6
10:20	25.27	40.9	23.7	24.9	1.2	897.6
10:25	25.05	40.6	23.8	25.4	1.6	897.6
10:30	24.94	39.4	23.9	25.7	1.8	897.6
10:35	25.04	38.3	24.1	25.9	1.8	897.6
10:40	25.63	37.5	24.3	26.2	1.9	934.32
10:45	25.74	36.3	24.7	26.5	1.8	934.32
10:50	26.15	35.8	24.9	26.8	1.9	934.32
10:55	25.81	36	25.2	27.1	1.9	934.32
11:00	26.11	35.9	25.5	27.4	1.9	934.32
11:05	26.08	35.8	25.9	27.7	1.8	934.32
11:10	26.49	36.1	26.2	28	1.8	897.6
11:15	26.62	35.6	26.4	28.3	1.9	897.6
11:20	26.65	35.6	26.7	28.5	1.8	934.32
11:25	26.61	35.3	27	28.8	1.8	897.6
11:30	26.88	34.6	27.2	29.1	1.9	934.32
11:35	26.82	35	27.5	29.4	1.9	934.32
11:40	26.94	34.6	27.8	29.7	1.9	934.32
11:45	27.26	34.2	28.1	30	1.9	934.32
11:50	27.4	34.1	28.4	30.3	1.9	897.6
11:55	26.91	33.9	28.7	30.5	1.8	897.6
12:00	27.9	33.5	29	30.7	1.7	579.36
12:05	28.27	33.2	29.2	30.9	1.7	738.48
12:10	28.53	32.6	29.6	30.7	1.1	420.24
12:15	28.68	31.7	29.7	30.7	1	497.76
12:20	29.37	31.4	29.9	30.4	0.5	538.56
12:25	29.76	31	30.1	30.6	0.5	420.24
12:30	29.78	31.3	30.2	30.6	0.4	456.96
12:35	29.43	30.7	30.3	30.6	0.3	420.24
12:40	28.84	30.5	30.3	30.6	0.3	456.96
12:45	27.67	30.3	30.4	30.7	0.3	497.76

Çizelge A.1. 30 Mayıs deney sonuçları (devam)

12:50	27.94	30.3	30.5	30.8	0.3	456.96
12:55	28.28	30.5	30.6	30.9	0.3	616.08
13:00	28.62	30.2	30.6	31.1	0.5	497.76
13:05	28.94	30.6	30.8	31.2	0.4	775.2
13:10	28.86	31.2	30.9	31.4	0.5	738.48
13:15	28.94	31.9	31	31.6	0.6	934.32
13:20	28.79	32.3	31.1	31.8	0.7	856.8
13:25	29.22	32.4	31.4	32.6	1.2	656.88
13:30	29.41	32	31.5	32.5	1	897.6
13:35	29.64	32.5	31.7	32.8	1.1	1056.72
13:40	29.48	33.3	32	33.1	1.1	420.24
13:45	29.8	33.5	32	32.6	0.6	420.24
13:50	29.33	34.2	32.1	32.5	0.4	379.44
13:55	29.71	33.4	32.2	32.4	0.2	538.56
14:00	29.17	32.9	32.2	32.5	0.3	456.96
14:05	29.01	32.3	32.3	32.6	0.3	738.48
14:10	29.18	31.8	32.4	32.9	0.5	897.6
14:15	29.92	31.8	32.6	33.5	0.9	738.48
14:20	29.06	32	32.7	33.6	0.9	456.96
14:25	29.27	31.4	32.8	33.3	0.5	420.24
14:30	29.38	31	32.8	33.1	0.3	616.08
14:35	29.97	30.8	32.9	33.2	0.3	579.36
14:40	30.03	30.5	33.1	33.7	0.6	616.08
14:45	30.33	30.8	33.2	33.7	0.5	738.48
14:50	30.16	31.9	33.3	33.9	0.6	816
14:55	29.89	32.3	33.5	34.2	0.7	1056.72
15:00	29.86	32.4	33.7	35	1.3	775.2
15:05	30.14	33	33.9	35.1	1.2	816
15:10	29.83	33.8	34	35.2	1.2	975.12
15:15	30.24	34.3	34.2	35.6	1.4	897.6
15:20	30.7	35.8	34.5	36	1.5	816
15:25	30.86	34.6	34.6	36.2	1.6	816
15:30	31.52	34.5	34.9	36.3	1.4	975.12
15:35	31.63	34.1	35.1	36.8	1.7	975.12
15:40	31.22	34.4	35.3	37.2	1.9	856.8
15:45	31.08	34.5	35.8	37.2	1.4	775.2
15:50	30.95	34.7	35.9	37	1.1	497.76
15:55	30.85	35.6	36.1	37	0.9	816
16:00	30.68	35.8	36.1	36.5	0.4	420.24
16:05	30.63	36.6	36.2	36.4	0.2	379.44
16:10	30.83	38.3	36.2	36.4	0.2	420.24
16:15	30.66	39.1	36.2	36.6	0.4	456.96
16:20	31.04	39.1	36.4	37.2	0.8	775.2

Çizelge A.1. 30 Mayıs deney sonuçları (devam)

16:25	31.05	40	36.6	37.9	1.3	856.8
16:30	31.24	40.5	36.7	38.1	1.4	897.6
16:35	30.96	40.6	36.9	38.6	1.7	1015.92
16:40	31.39	40	37.1	38.8	1.7	934.32
16:45	31.22	40.5	37.2	38.9	1.7	975.12
16:50	31.48	41	37.4	39.1	1.7	975.12
16:55	31.31	41.7	37.4	39.2	1.8	897.6
17:00	31.54	41.8	37.3	39.5	2.2	1015.92
17:05	32.03	41.2	37.1	39.6	2.5	975.12
17:10	31.32	41.7	36.9	39.5	2.6	775.2



Çizelge A.2. 30 Mayıs azimuth ve güneş yükseklik açısı karşılaştırılması

Saat	Hesaplanan Azimuth	Ölçülen Azimuth	Azimuth Fark	Hesaplanan Elevation	Ölçülen Elevation	Elevation Fark
09:41	96.91	96.53	0.38	45.44	45.14	0.3
09:44	97.44	97.03	0.41	46.03	45.7	0.33
09:48	98.17	97.92	0.25	46.81	46.39	0.42
09:52	98.91	98.58	0.33	47.59	47.23	0.36
09:56	99.66	99.34	0.32	48.37	48.07	0.3
10:00	100.43	100.08	0.35	49.15	48.73	0.42
10:04	101.22	100.91	0.31	49.92	49.51	0.41
10:08	102.02	101.65	0.37	50.7	50.45	0.25
10:12	102.84	102.43	0.41	51.47	51.11	0.36
10:16	103.69	103.37	0.32	52.24	51.8	0.44
10:20	104.55	103.93	0.62	53	52.53	0.47
10:24	105.44	104.86	0.58	53.77	53.41	0.36
10:28	106.35	105.96	0.39	54.53	54.2	0.33
10:32	107.29	107.02	0.27	55.28	54.84	0.44
10:36	108.26	108.01	0.25	56.03	55.47	0.56
10:40	109.25	108.93	0.32	56.78	56.23	0.55
10:44	110.28	110.09	0.19	57.52	57	0.52
10:48	111.34	111.12	0.22	58.26	57.92	0.34
10:52	112.43	112.2	0.23	58.99	58.18	0.81
10:56	113.56	113.3	0.26	59.72	58.97	0.75
11:00	114.74	114.38	0.36	60.44	59.79	0.65
11:04	115.96	115.48	0.48	61.16	60.64	0.52
11:08	117.22	116.89	0.33	61.86	61.36	0.5
11:12	118.53	118.22	0.31	62.56	62.24	0.32
11:16	119.9	119.6	0.3	63.25	62.83	0.42
11:20	121.32	121.06	0.26	63.93	63.57	0.36
11:24	122.8	122.43	0.37	64.6	64.25	0.35
11:28	124.35	123.6	0.75	65.26	64.94	0.32
11:32	125.96	125.28	0.68	65.9	65.57	0.33
11:36	127.65	126.84	0.81	66.54	66.24	0.3
11:40	129.41	128.61	0.8	67.15	66.74	0.41
11:44	131.25	130.8	0.45	67.76	67.37	0.39
11:48	133.18	132.62	0.56	68.34	67.93	0.41
11:52	135.2	134.55	0.65	68.91	68.26	0.65
11:56	137.31	136.87	0.44	69.45	68.79	0.66
12:00	139.53	139.13	0.4	69.98	69.31	0.67
12:04	141.84	141.43	0.41	70.48	69.76	0.72
12:08	144.25	143.86	0.39	70.95	70.2	0.75
12:12	146.77	146.44	0.33	71.4	70.7	0.7

Çizelge A.2. 30 Mayıs azimuth ve güneş yükseklik açısı karşılaştırılması (devam)

12:16	149.4	148.84	0.56	71.82	71.1	0.72
12:20	152.14	151.59	0.55	72.2	71.47	0.73
12:24	154.98	154.31	0.67	72.56	71.84	0.72
12:28	157.92	157.21	0.71	72.87	72.17	0.7
12:32	160.95	160.07	0.88	73.15	72.46	0.69
12:36	164.07	163.27	0.8	73.39	72.94	0.45
12:40	167.26	166.35	0.91	73.58	73.12	0.46
12:44	170.52	169.96	0.56	73.74	73.2	0.54
12:48	173.82	173.31	0.51	73.84	73.32	0.52
12:52	177.16	176.53	0.63	73.91	73.55	0.36
12:56	180.51	179.73	0.78	73.92	73.33	0.59
13:00	183.86	183.09	0.77	73.89	73.37	0.52
13:04	187.18	186.42	0.76	73.82	73.27	0.55
13:08	190.48	189.73	0.75	73.7	73.17	0.53
13:12	193.72	192.72	1	73.53	73.01	0.52
13:16	196.89	195.88	1.01	73.32	72.79	0.53
13:20	199.98	198.96	1.02	73.08	72.57	0.51
13:24	202.99	201.75	1.24	72.79	72.3	0.49
13:28	205.9	204.78	1.12	72.46	71.99	0.47
13:32	208.71	207.47	1.24	72.1	71.64	0.46
13:36	211.41	210.21	1.2	71.7	71.34	0.36
13:40	214.01	212.71	1.3	71.28	70.89	0.39
13:44	216.5	215.51	0.99	70.82	70.4	0.42
13:48	218.89	217.91	0.98	70.34	69.92	0.42
13:52	221.17	220.3	0.87	69.83	69.37	0.46
13:56	223.35	222.58	0.77	69.3	68.62	0.68
14:00	225.44	224.66	0.78	68.75	68.16	0.59
14:04	227.43	226.52	0.91	68.18	67.6	0.58
14:08	229.34	228.39	0.95	67.59	67.05	0.54
14:12	231.16	230.28	0.88	66.98	66.5	0.48
14:16	232.9	231.96	0.94	66.36	65.87	0.49
14:20	234.56	233.66	0.9	65.72	65.25	0.47
14:24	236.16	235.26	0.9	65.07	64.61	0.46
14:28	237.68	236.93	0.75	64.41	63.99	0.42
14:32	239.15	238.39	0.76	63.74	63.49	0.25
14:36	240.55	239.99	0.56	63.06	62.66	0.4
14:40	241.9	241.51	0.39	62.36	61.89	0.47
14:44	243.2	242.33	0.87	61.66	61.17	0.49
14:48	244.45	243.57	0.88	60.96	60.53	0.43
14:52	245.66	244.79	0.87	60.24	59.8	0.44
14:56	246.82	246.16	0.66	59.52	59.1	0.42
15:00	247.94	247.06	0.88	58.79	58.38	0.41
15:04	249.03	248.47	0.56	58.06	57.64	0.42
15:08	250.08	249.27	0.81	57.32	56.89	0.43
15:12	251.1	250.31	0.79	56.57	56.16	0.41

Çizelge A.2. 30 Mayıs azimuth ve güneş yükseklik açısı karşılaştırılması(devam)

15:16	252.08	251.31	0.77	55.82	55.41	0.41
15:20	253.04	252.48	0.56	55.07	54.59	0.48
15:24	253.97	253.39	0.58	54.31	53.78	0.53
15:28	254.87	254.36	0.51	53.55	52.97	0.58
15:32	255.76	255.21	0.55	52.79	52.22	0.57
15:36	256.61	256.05	0.56	52.02	51.47	0.55
15:40	257.24	256.74	0.5	51.45	50.87	0.58
15:44	258.27	257.76	0.51	50.48	49.91	0.57
15:48	259.07	258.52	0.55	49.71	49.15	0.56
15:52	259.85	259.31	0.54	48.93	48.36	0.57
15:56	260.62	260.08	0.54	48.16	47.57	0.59
16:00	261.37	260.84	0.53	47.38	46.79	0.59
16:04	262.1	261.57	0.53	46.6	46.02	0.58
16:08	262.82	262.17	0.65	45.81	45.23	0.58
16:12	263.53	263.06	0.47	45.03	44.58	0.45
16:16	264.23	263.72	0.51	44.25	43.89	0.36
16:20	264.91	264.41	0.5	43.46	43.18	0.28
16:24	265.59	265.11	0.48	42.67	42.43	0.24
16:28	266.25	265.78	0.47	41.89	41.77	0.12
16:32	266.91	266.39	0.52	41.1	40.73	0.37
16:36	267.56	267.09	0.47	40.31	39.93	0.38
16:40	268.19	267.8	0.39	39.52	39.16	0.36
16:44	268.82	268.42	0.4	38.73	38.36	0.37
16:48	269.45	269.03	0.42	37.94	37.57	0.37
16:52	270.06	269.69	0.37	37.16	36.8	0.36
16:56	270.67	270.31	0.36	36.37	36.07	0.3
17:00	271.28	270.94	0.34	35.58	35.2	0.38
17:04	271.88	271.55	0.33	34.79	34.45	0.34
17:08	272.47	272.23	0.24	34	33.79	0.21

Çizelge A.3. 29 Mayıs deney sonuçları

Saat	Sıcaklık	Nem	Su Giriş Sıcaklık	Su Çıkış Sıcaklık	DeltaT	Işınım
09:45	27.6	41.1	27.8	29.5	1.7	897.6
09:50	26.94	40.6	28.3	30	1.7	897.6
09:55	28.28	40.2	28.8	30.5	1.7	934.32
10:00	27.99	39.9	29.2	31	1.8	897.6
10:05	28.02	39.4	29.7	31.4	1.7	934.32
10:10	28.38	38.8	30.2	31.9	1.7	934.32
10:15	28.87	38.5	30.7	32.5	1.8	934.32
10:20	27.78	37.7	31.1	32.8	1.7	934.32
10:25	28.15	37.4	31.6	33.3	1.7	934.32
10:30	28.16	36.7	32.1	33.7	1.6	934.32
10:35	28.3	36	32.5	34.2	1.7	934.32
10:40	28.19	35.5	32.9	34.7	1.8	934.32
10:45	29.04	34.5	33.4	35.1	1.7	934.32
10:50	29.11	34.2	34.8	36.5	1.7	934.32
10:55	28.99	34	35.2	36.9	1.7	934.32
11:00	29.56	34.6	35.7	37.4	1.7	934.32
11:05	29.7	35.1	36.1	37.8	1.7	934.32
11:10	30.04	35.9	36.6	38.3	1.7	934.32
11:15	30.34	36.4	37	38.8	1.8	934.32
11:20	30.56	36.5	37.4	39.3	1.9	934.32
11:25	30.78	36.3	37.9	39.7	1.8	934.32
11:30	31.08	35.8	38.3	40	1.7	975.12
11:35	31.5	35.7	38.7	40.4	1.7	934.32
11:40	31.29	35.6	39	40.7	1.7	934.32
11:45	31.35	35.2	39.3	41.1	1.8	934.32
11:50	31.04	34.8	39.7	41.4	1.7	975.12
11:55	31.29	34.5	39.9	41.5	1.6	975.12
12:00	31.74	34.3	40.2	41.7	1.5	975.12
12:05	31.6	34.2	40.5	42	1.5	934.32
12:10	31.42	34	40.8	42.1	1.3	934.32
12:15	31.66	33.8	40.9	42.2	1.3	934.32
12:20	31.48	33.3	41.3	42.4	1.1	934.32
12:25	31.52	33	41.4	42.5	1.1	934.32
12:30	31.83	32.5	41.7	42.7	1	934.32
12:35	31.84	31.3	41.9	42.9	1	897.6
12:40	31.86	31.1	42.1	43.1	1	934.32
12:45	31.72	31.1	42.4	43.4	1	975.12
12:50	32.38	30.7	42.7	43.4	0.7	179.52
12:55	31.68	30.4	42.3	43.3	1	179.52
13:00	31.42	30.3	42.5	43.3	0.8	934.32
13:05	31.72	30.1	42.8	43.6	0.8	975.12
13:10	32.73	30.1	43.1	43.9	0.8	934.32
13:15	32.22	29.9	43.4	44.1	0.7	934.32
13:20	32.58	29.9	43.7	44.4	0.7	934.32

Çizelge A.3. 29 Mayıs deney sonuçları (devam)

13:25	32.79	29.9	44	44.8	0.8	975.12
13:30	32.94	29.9	44.4	45.1	0.7	975.12
13:35	32.75	29.9	44.7	45.3	0.6	975.12
13:40	33.56	29.6	45	45.6	0.6	975.12
13:45	33.6	29.3	45.3	45.9	0.6	975.12
13:50	33.82	29	45.7	46.2	0.5	975.12
13:55	34.06	28.7	46	46.4	0.4	975.12
14:00	33.65	28.5	46.3	46.7	0.4	975.12
14:05	33.27	28.4	46.5	47	0.5	975.12
14:10	33.28	28.4	46.8	47.3	0.5	975.12
14:15	33.58	28.9	47	47.6	0.6	975.12
14:20	33.69	29.1	47.3	47.8	0.5	975.12
14:25	33.94	29.1	47.4	48	0.6	975.12
14:30	34.08	29.1	47.6	48.4	0.8	975.12
14:35	33.82	29.1	47.8	48.7	0.9	975.12
14:40	33.62	29.1	48	49	1	975.12
14:45	33.44	29.1	48.2	49.2	1	975.12
14:50	33.45	29.2	48.2	49.4	1.2	975.12
14:55	33.79	29.6	48	49.6	1.6	934.32
15:00	33.92	29.8	48	49.8	1.8	934.32
15:05	33.8	30.1	48	49.9	1.9	934.32
15:10	33.69	30.5	48.2	50.1	1.9	975.12
15:15	34.26	31	48.5	49.9	1.4	934.32
15:20	33.82	31.2	48.4	49.8	1.4	934.32
15:25	33.69	31.9	48.5	49.8	1.3	934.32
15:30	33.18	32.2	48.4	49.8	1.4	934.32
15:35	33.53	32.7	48.5	49.8	1.3	934.32
15:40	33.2	33	48.5	49.7	1.2	934.32
15:45	33.28	33.4	48.5	49.8	1.3	897.6
15:50	33.24	33.7	48.5	49.6	1.1	897.6
15:55	33.21	34.3	48.5	49.7	1.2	897.6
16:00	33.26	34.5	48.5	49.7	1.2	897.6
16:05	33.37	34.9	48.5	49.6	1.1	897.6
16:10	33.26	35.4	48.4	49.7	1.3	897.6
16:15	33.21	35.9	48.4	50.1	1.7	856.8
16:20	33.13	36.3	48.5	50.1	1.6	856.8
16:25	33.25	36.6	48.6	50.2	1.6	856.8
16:30	33.2	37.5	48.7	50.3	1.6	856.8
16:35	33.03	37.8	48.7	50.3	1.6	856.8
16:40	32.89	38	48.7	50.3	1.6	816
16:45	32.99	38.4	48.7	50.2	1.5	775.2
16:50	32.75	38.5	48.6	50.1	1.5	775.2
16:55	32.52	38.3	48.6	50.1	1.5	775.2
17:00	32.37	38.8	48.4	49.5	1.1	456.96
17:05	31.98	39	48.1	49	0.9	420.24

Çizelge A.4. 29 Mayıs azimuth ve güneş yükseklik açısı karşılaştırılması

Saat	Azimuth	Ölçülen Azimuth	Azimuth Fark	Elevation	Ölçülen Elevation	Elevation Fark
09:43	97.47	97.06	0.41	45.78	45.48	0.3
09:46	98.01	97.58	0.43	46.36	46.05	0.31
09:50	98.75	98.42	0.33	47.14	46.7	0.44
09:54	99.5	99.15	0.35	47.92	47.55	0.37
09:58	100.26	99.92	0.34	48.7	48.39	0.31
10:02	101.04	100.69	0.35	49.48	49.15	0.33
10:06	101.84	101.53	0.31	50.25	49.93	0.32
10:10	102.66	102.29	0.37	51.02	50.63	0.39
10:14	103.5	103.21	0.29	51.79	51.42	0.37
10:18	104.35	103.99	0.36	52.56	52.11	0.45
10:22	105.23	104.91	0.32	53.32	52.84	0.48
10:26	106.14	105.72	0.42	54.08	53.71	0.37
10:30	107.06	106.68	0.38	54.84	54.49	0.35
10:34	108.02	107.73	0.29	55.59	55.19	0.4
10:38	109	108.73	0.27	56.34	56.04	0.3
10:42	110.02	109.74	0.28	57.09	56.54	0.55
10:46	111.07	110.88	0.19	57.83	57.44	0.39
10:50	112.15	111.9	0.25	58.56	58.22	0.34
10:54	113.26	112.99	0.27	59.29	58.84	0.45
10:58	114.42	114.15	0.27	60.01	59.66	0.35
11:02	115.62	115.27	0.35	60.73	60.32	0.41
11:06	116.87	116.38	0.49	61.43	61.14	0.29
11:10	118.16	117.84	0.32	62.14	61.73	0.41
11:14	119.5	119.18	0.32	62.83	62.51	0.32
11:18	120.9	120.65	0.25	63.51	63.12	0.39
11:22	122.36	122.11	0.25	64.18	63.8	0.38
11:26	123.87	123.49	0.38	64.84	64.49	0.35
11:30	125.46	125.09	0.37	65.49	65.18	0.31
11:34	127.11	126.67	0.44	66.13	65.79	0.34
11:38	128.84	128.44	0.4	66.75	66.33	0.42
11:42	130.64	130.31	0.33	67.36	66.95	0.41
11:46	132.53	132.21	0.32	67.95	67.56	0.39
11:50	134.5	134.13	0.37	68.52	68.1	0.42
11:54	136.57	136.34	0.23	69.08	68.42	0.66
11:58	138.73	138.35	0.38	69.61	68.95	0.66
12:02	140.99	140.63	0.36	70.12	69.44	0.68
12:06	143.35	143.13	0.22	70.6	69.88	0.72
12:10	145.81	145.53	0.28	71.06	70.33	0.73
12:14	148.38	148.03	0.35	71.49	70.77	0.72
12:18	151.05	150.5	0.55	71.89	71.18	0.71
12:22	153.83	153.29	0.54	72.26	71.52	0.74
12:26	156.71	156.05	0.66	72.59	71.87	0.72

Çizelge A.4. 29 Mayıs azimuth ve güneş yükseklik açısı karşılaştırılması (devam)

12:30	159.68	158.98	0.7	72.88	72.18	0.7
12:34	162.74	161.85	0.89	73.14	72.45	0.69
12:38	165.87	164.96	0.91	73.35	72.67	0.68
12:42	169.08	168.52	0.56	73.52	72.91	0.61
12:46	172.34	171.92	0.42	73.65	73.03	0.62
12:50	175.63	175.12	0.51	73.73	73.14	0.59
12:54	178.95	178.32	0.63	73.77	73.17	0.6
12:58	182.28	181.56	0.72	73.76	73.17	0.59
13:02	185.59	185.13	0.46	73.71	73.14	0.57
13:06	188.87	188.52	0.35	73.61	73.04	0.57
13:10	192.12	191.28	0.84	73.47	72.92	0.55
13:14	195.3	194.24	1.06	73.28	72.74	0.54
13:18	198.41	197.29	1.12	73.05	72.52	0.53
13:22	201.44	200.27	1.17	72.78	72.26	0.52
13:26	204.38	203.14	1.24	72.47	71.97	0.5
13:30	207.22	206.09	1.13	72.13	71.64	0.49
13:34	209.96	208.61	1.35	71.75	71.28	0.47
13:38	212.6	211.32	1.28	71.34	70.87	0.47
13:42	215.13	213.83	1.3	70.9	70.47	0.43
13:46	217.55	216.26	1.29	70.44	70.02	0.42
13:50	219.88	218.66	1.22	69.94	69.52	0.42
13:54	222.1	221.22	0.88	69.43	68.96	0.47
13:58	224.23	223.36	0.87	68.89	68.38	0.51
14:02	226.26	225.47	0.79	68.33	67.82	0.51
14:06	228.2	227.3	0.9	67.75	67.24	0.51
14:10	230.06	229.18	0.88	67.15	66.64	0.51
14:14	231.84	230.92	0.92	66.54	66.06	0.48
14:18	233.54	232.6	0.94	65.91	65.42	0.49
14:22	235.17	234.25	0.92	65.27	64.8	0.47
14:26	236.73	235.82	0.91	64.61	64.15	0.46
14:30	238.22	237.3	0.92	63.95	63.51	0.44
14:34	239.66	238.74	0.92	63.27	62.82	0.45
14:38	241.04	240.14	0.9	62.59	62.15	0.44
14:42	242.36	241.47	0.89	61.89	61.42	0.47
14:46	243.64	242.77	0.87	61.19	60.75	0.44
14:50	244.86	243.98	0.88	60.48	60.05	0.43
14:54	246.05	245.17	0.88	59.76	59.32	0.44
14:58	247.19	246.33	0.86	59.04	58.62	0.42
15:02	248.3	247.42	0.88	58.31	57.9	0.41
15:06	249.37	248.51	0.86	57.57	57.15	0.42
15:10	250.4	249.57	0.83	56.83	56.4	0.43
15:14	251.41	250.58	0.83	56.08	55.68	0.4
15:18	252.38	251.56	0.82	55.33	54.92	0.41
15:22	253.33	252.78	0.55	54.58	54.09	0.49
15:26	254.25	253.68	0.57	53.82	53.29	0.53

Çizelge A.4. 29 Mayıs azimuth ve güneş yükseklik açısı karşılaştırılması (devam)

15:30	255.14	254.62	0.52	53.06	52.48	0.58
15:34	256.01	255.46	0.55	52.3	51.72	0.58
15:38	256.86	256.3	0.56	51.53	50.95	0.58
15:42	257.69	257.19	0.5	50.76	50.18	0.58
15:46	258.5	257.99	0.51	49.99	49.42	0.57
15:50	259.29	258.75	0.54	49.21	48.65	0.56
15:54	260.07	259.53	0.54	48.44	47.87	0.57
15:58	260.83	260.29	0.54	47.66	47.08	0.58
16:02	261.57	261.04	0.53	46.88	46.3	0.58
16:06	262.3	261.77	0.53	46.1	45.52	0.58
16:10	263.02	262.53	0.49	45.31	44.73	0.58
16:14	263.73	263.23	0.5	44.53	43.96	0.57
16:18	264.42	263.91	0.51	43.75	43.18	0.57
16:22	265.1	264.6	0.5	42.96	42.44	0.52
16:26	265.77	265.29	0.48	42.17	41.69	0.48
16:30	266.43	265.96	0.47	41.39	40.92	0.47
16:34	267.09	266.57	0.52	40.6	40.14	0.46
16:38	267.73	267.24	0.49	39.81	39.43	0.38
16:42	268.37	267.99	0.38	39.02	38.66	0.36
16:46	268.99	268.58	0.41	38.23	37.86	0.37
16:50	269.62	269.22	0.4	37.44	37.07	0.37
16:54	270.23	269.86	0.37	36.66	36.3	0.36
16:58	270.84	270.48	0.36	35.87	35.54	0.33
17:02	271.44	271.09	0.35	35.08	34.78	0.3
17:06	272.04	271.7	0.34	34.29	33.83	0.46
17:10	272.63	272.3	0.33	33.5	33.06	0.44

Çizelge A.5. 28 Mayıs deney sonuçları

Saat	Sıcaklık	Nem	Su Giriş Sıcaklık	Su Çıkış Sıcaklık	DeltaT	Işınım
09:40	18.38	39.8	26.7	28.4	1.7	897.6
09:45	18.65	39.3	27.3	29	1.7	897.6
09:50	20.3	38.7	27.7	29.4	1.7	897.6
09:55	19.19	38.4	28.1	29.8	1.7	897.6
10:00	19.28	37.7	28.5	30.2	1.7	897.6
10:05	19.33	37.2	28.9	30.6	1.7	897.6
10:10	20.12	36.7	29.4	31	1.6	856.8
10:15	20.95	36	29.8	31.5	1.7	897.6
10:20	21.91	35.3	30.3	31.9	1.6	897.6
10:25	22.11	34.3	30.6	31.5	0.9	775.2
10:30	21.95	34.1	30.8	30.9	0.1	775.2
10:35	21.41	34.1	31	31	0	775.2
10:40	21.86	34.8	31.3	31.5	0.2	656.88
10:45	22.11	35.4	31.5	33	1.5	897.6
10:50	21.11	36	31.9	32.5	0.6	934.32
10:55	23.17	36.4	32.2	33.6	1.4	934.32
11:00	22.94	36.6	32.6	34.1	1.5	934.32
11:05	23.45	36.2	33	34.5	1.5	934.32
11:10	23.47	35.9	33.4	34.9	1.5	934.32
11:15	23.15	35.7	34.4	35.7	1.3	934.32
11:20	23.34	35.6	34.7	36.1	1.4	934.32
11:25	23.19	35.1	35.1	36.4	1.3	934.32
11:30	22.99	34.7	35.5	36.7	1.2	934.32
11:35	22.98	34.5	35.8	37.2	1.4	934.32
11:40	23.29	34.3	36.2	37.8	1.6	934.32
11:45	24.56	34.1	36.5	38.2	1.7	934.32
11:50	25.56	34	36.9	38.5	1.6	934.32
11:55	26.32	33.7	37.3	38.9	1.6	934.32
12:00	27.13	33.2	37.7	39.3	1.6	934.32
12:05	27.6	32.9	38	39.6	1.6	934.32
12:10	28.42	32.4	38.5	39.9	1.4	934.32
12:15	29.05	31.3	38.9	40.4	1.5	934.32
12:20	29.81	31	39.3	40.7	1.4	934.32
12:25	30.35	31.1	39.6	40.9	1.3	934.32
12:30	31.16	30.5	39.9	41.2	1.3	934.32
12:35	31.08	30.3	40.1	41.4	1.3	934.32
12:40	31.02	30.3	40.5	41.7	1.2	934.32
12:45	31.03	30.3	40.7	41.8	1.1	934.32
12:50	31.3	30.1	41	42.5	1.5	934.32
12:55	31.27	29.8	41.3	42.8	1.5	934.32

Çizelge A.5. 28 Mayıs deney sonuçları (devam)

13:00	31.48	29.9	41.6	43	1.4	934.32
13:05	31.76	29.9	41.9	43.4	1.5	934.32
13:10	31.71	30	42.2	43.8	1.6	934.32
13:15	32.39	30.1	42.5	44	1.5	934.32
13:20	32.96	29.7	42.8	44.4	1.6	934.32
13:25	31.84	29.4	43	44.7	1.7	934.32
13:30	31.63	29	43.3	44.9	1.6	934.32
13:35	31.62	28.7	43.5	45.1	1.6	934.32
13:40	31.96	28.4	43.8	45.4	1.6	934.32
13:45	32.36	28.4	44	45.7	1.7	934.32
13:50	31.58	28.5	44.3	45.9	1.6	934.32
13:55	31.91	29.1	44.5	46.2	1.7	934.32
14:00	32.88	29.1	44.8	46.4	1.6	934.32
14:05	32.85	29.1	45	46.7	1.7	934.32
14:10	33.64	29.1	45.2	46.9	1.7	934.32
14:15	33.93	29.1	45.5	47.1	1.6	897.6
14:20	33.9	29.1	45.7	47.3	1.6	897.6
14:25	33.9	29.1	45.9	47.5	1.6	934.32
14:30	34.85	29.3	46.1	47.7	1.6	897.6
14:35	35.47	29.7	46.3	47.9	1.6	897.6
14:40	35.38	30.5	46.5	48.1	1.6	897.6
14:45	36.11	31.5	46.7	48.3	1.6	897.6
14:50	35.38	32.1	46.9	48.5	1.6	897.6
14:55	35.41	32.5	47.1	48.7	1.6	897.6
15:00	35.3	32.8	47.4	48.9	1.5	897.6
15:05	34.63	33.1	47.5	49.1	1.6	897.6
15:10	33.71	33.8	47.7	49.2	1.5	897.6
15:15	33.03	35.2	47.9	49.4	1.5	897.6
15:20	33.57	35.2	48	49.5	1.5	897.6
15:25	33.3	34.7	48.2	49.6	1.4	897.6
15:30	33.6	34.6	48.2	49.3	1.1	897.6
15:35	33.58	34.3	48.3	49.6	1.3	816
15:40	32.81	34.5	48.4	49.7	1.3	897.6
15:45	33.25	34.7	48.5	49.6	1.1	856.8
15:50	33.23	24.8	48.4	49.1	0.7	338.64
15:55	33.72	35.3	48.1	48.4	0.3	897.6
16:00	32.21	35.9	47.9	48.1	0.2	338.64
16:05	31.45	37.4	47.8	48.1	0.3	338.64
16:10	31.39	38.6	47.5	47.7	0.2	257.04
16:15	31.22	39.3	47.4	47.8	0.4	297.84

Çizelge A.6. 28 Mayıs azimuth ve güneş yükseklik açısı karşılaştırılması

Saat	Azimuth	Ölçülen Azimuth	Azimuth Fark	Elevation	Ölçülen Elevation	Elevation Fark
09:39	96.97	96.55	0.42	44.93	44.65	0.28
09:44	97.87	97.45	0.42	45.91	45.6	0.31
09:48	98.6	98.28	0.32	46.69	46.25	0.44
09:52	99.34	98.98	0.36	47.47	47.09	0.38
09:56	100.1	99.75	0.35	48.25	47.94	0.31
10:00	100.88	100.53	0.35	49.03	48.74	0.29
10:04	101.67	101.37	0.3	49.8	49.52	0.28
10:08	102.48	102.1	0.38	50.57	50.12	0.45
10:12	103.31	103.02	0.29	51.34	50.96	0.38
10:16	104.16	103.8	0.36	52.11	51.66	0.45
10:20	105.03	104.72	0.31	52.87	52.33	0.54
10:24	105.93	105.52	0.41	53.64	53.25	0.39
10:28	106.85	106.47	0.38	54.39	54.03	0.36
10:32	107.79	107.5	0.29	55.15	54.74	0.41
10:36	108.77	108.51	0.26	55.9	55.58	0.32
10:40	109.77	109.48	0.29	56.64	56.1	0.54
10:44	110.81	110.65	0.16	57.38	56.95	0.43
10:48	111.87	111.63	0.24	58.12	57.79	0.33
10:52	112.98	112.72	0.26	58.85	58.44	0.41
10:56	114.12	113.86	0.26	59.57	59.18	0.39
11:00	115.3	114.94	0.36	60.29	59.87	0.42
11:04	116.53	116.05	0.48	61	60.74	0.26
11:08	117.8	117.54	0.26	61.7	61.29	0.41
11:12	119.12	118.88	0.24	62.4	62.08	0.32
11:16	120.5	120.31	0.19	63.08	62.68	0.4
11:20	121.93	121.67	0.26	63.76	63.32	0.44
11:24	123.42	123.03	0.39	64.42	64.08	0.34
11:28	124.97	124.58	0.39	65.08	64.78	0.3
11:32	126.59	126.12	0.47	65.72	65.38	0.34
11:36	128.28	128.04	0.24	66.34	65.92	0.42
11:40	130.05	129.75	0.3	66.96	66.51	0.45
11:44	131.9	131.58	0.32	67.55	67.17	0.38
11:48	133.83	133.46	0.37	68.13	67.69	0.44
11:52	135.85	135.63	0.22	68.69	68.01	0.68
11:56	137.96	137.62	0.34	69.23	68.56	0.67
12:00	140.17	139.83	0.34	69.75	69.01	0.74
12:04	142.47	142.27	0.2	70.24	69.51	0.73
12:08	144.88	144.6	0.28	70.71	69.98	0.73
12:12	147.39	147.03	0.36	71.15	70.43	0.72

Çizelge A.6. 28 Mayıs azimuth ve güneş yükseklik açısı karşılaştırılması (devam)

12:16	150	149.56	0.44	71.56	70.84	0.72
12:20	152.72	152.18	0.54	71.94	71.23	0.71
12:24	155.53	154.89	0.64	72.29	71.58	0.71
12:28	158.44	157.7	0.74	72.6	71.9	0.7
12:32	161.44	160.59	0.85	72.87	72.18	0.69
12:36	164.52	163.55	0.97	73.1	72.42	0.68
12:40	167.67	167.36	0.31	73.29	72.67	0.62
12:44	170.88	170.47	0.41	73.44	72.82	0.62
12:48	174.13	173.62	0.51	73.54	72.93	0.61
12:52	177.42	176.8	0.62	73.6	73	0.6
12:56	180.71	180	0.71	73.61	73.02	0.59
13:00	184.01	183.2	0.81	73.58	73	0.58
13:04	187.28	186.38	0.9	73.5	72.93	0.57
13:08	190.52	189.53	0.99	73.38	72.82	0.56
13:12	193.7	192.64	1.06	73.22	72.67	0.55
13:16	196.83	195.69	1.14	73.01	72.48	0.53
13:20	199.87	198.68	1.19	72.76	72.24	0.52
13:24	202.84	201.59	1.25	72.47	71.97	0.5
13:28	205.71	204.42	1.29	72.15	71.66	0.49
13:32	208.48	207.15	1.33	71.79	71.32	0.47
13:36	211.15	209.8	1.35	71.4	70.94	0.46
13:40	213.72	212.35	1.37	70.97	70.53	0.44
13:44	216.19	214.8	1.39	70.52	70.1	0.42
13:48	218.56	217.16	1.4	70.04	69.63	0.41
13:52	220.82	219.97	0.85	69.54	69.02	0.52
13:56	222.99	222.12	0.87	69.01	68.5	0.51
14:00	225.06	224.17	0.89	68.46	67.96	0.5
14:04	227.04	226.14	0.9	67.9	67.4	0.5
14:08	228.94	228.03	0.91	67.31	66.82	0.49
14:12	230.75	229.84	0.91	66.71	66.22	0.49
14:16	232.49	231.57	0.92	66.09	65.61	0.48
14:20	234.15	233.23	0.92	65.46	64.99	0.47
14:24	235.74	234.82	0.92	64.81	64.35	0.46
14:28	237.27	236.35	0.92	64.15	63.7	0.45
14:32	238.74	237.82	0.92	63.48	63.03	0.45
14:36	240.14	239.23	0.91	62.8	62.36	0.44
14:40	241.49	240.59	0.9	62.11	61.68	0.43
14:44	242.8	241.9	0.9	61.42	60.98	0.44
14:48	244.05	243.16	0.89	60.71	60.28	0.43
14:52	245.26	244.38	0.88	60	59.57	0.43
14:56	246.42	245.55	0.87	59.28	58.86	0.42
15:00	247.55	246.69	0.86	58.55	58.14	0.41
15:04	248.64	247.79	0.85	57.82	57.41	0.41
15:08	249.69	248.85	0.84	57.08	56.67	0.41
15:12	250.71	249.88	0.83	56.34	55.94	0.4

Çizelge A.6. 28 Mayıs azimuth ve güneş yükseklik açısı karşılaştırılması (devam)

15:16	251.7	250.88	0.82	55.59	55.19	0.4
15:20	252.66	252.09	0.57	54.84	54.26	0.58
15:24	253.6	253.03	0.57	54.08	53.5	0.58
15:28	254.51	253.94	0.57	53.33	52.74	0.59
15:32	255.39	254.83	0.56	52.56	51.98	0.58
15:36	256.26	255.7	0.56	51.8	51.22	0.58
15:40	257.1	256.54	0.56	51.03	50.45	0.58
15:44	257.92	257.37	0.55	50.26	49.68	0.58
15:48	258.72	258.18	0.54	49.49	48.91	0.58
15:52	259.51	258.97	0.54	48.71	48.14	0.57
15:56	260.28	259.74	0.54	47.94	47.36	0.58
16:00	261.03	260.5	0.53	47.16	46.58	0.58
16:04	261.77	261.24	0.53	46.38	45.8	0.58
16:08	262.5	261.97	0.53	45.6	45.02	0.58
16:12	263.21	262.69	0.52	44.81	44.24	0.57
16:16	263.91	263.39	0.52	44.03	43.46	0.57

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Atılgan TEMİR
Doğum Yeri ve Yılı : Antalya, 1992
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : atilgantemir@gmail.com

Eğitim Durumu

Lisans : SDÜ, Elektrik Elektronik Mühendisliği

Mesleki Deneyim

TUSAŞ/TAI	2013
Sağlam Yangın	2015-2016
TERMA Mühendislik	2017