

**GÜNEŞİN KONUMUNA GÖRE İKİ EKSENDE HAREKET
EDEN SENSÖRSÜZ BİR SİSTEM ÜZERİNDEKİ IŞINIM
ÖLÇER CİHAZININ PERFORMANSI ÜZERİNE BİR
ARAŞTIRMA**

Kübra DEDE



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜNEŞİN KONUMUNA GÖRE İKİ EKSENDE HAREKET EDEN SENSÖRSÜZ
BİR SİSTEM ÜZERİNDEKİ IŞINIM ÖLÇER CİHAZININ PERFORMANSI
ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

Kübra DEDE
0000-0002-1459-3869

Doç. Dr. Ferhat KURTULMUŞ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2020
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Kübra DEDE tarafından hazırlanan “GÜNEŞİN KONUMUNA GÖRE İKİ EKSENDE HAREKET EDEN SENSÖRSÜZ BİR SİSTEM ÜZERİNDEKİ IŞINIM ÖLÇER CİHAZININ PERFORMANSI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Ferhat KURTULMUŞ

Başkan : Aaaaa. Dr. Aaaaaaaaa AAAAAAAAA
000-000-000-000
Aaaaaaaaa Üniversitesi,
Aaaaaaaaaaaaa Fakültesi,
Aaaaaaaa Aaaaaaaaaaaaa Anabilim Dalı **İmza**

U.Ü. Üye : Aaaaa. Dr. Aaaaaaaaa AAAAAAAAA
000-000-000-000
Aaaaaaaaa Üniversitesi,
Aaaaaaaaaaaaa Fakültesi,
Aaaaaaaa Aaaaaaaaaaaaa Anabilim Dalı **İmza**

Üye : Aaaaa. Dr. Aaaaaaaaa AAAAAAAAA
000-000-000-000
Aaaaaaaaa Üniversitesi,
Aaaaaaaaaaaaa Fakültesi,
Aaaaaaaa Aaaaaaaaaaaaa Anabilim Dalı **İmza**

Üye : Aaaaa. Dr. Aaaaaaaaa AAAAAAAAA
000-000-000-000
Aaaaaaaaa Üniversitesi,
Aaaaaaaaaaaaa Fakültesi,
Aaaaaaaa Aaaaaaaaaaaaa Anabilim Dalı **İmza**

Üye : Aaaaa. Dr. Aaaaaaaaa AAAAAAAAA
000-000-000-000
Aaaaaaaaa Üniversitesi,
Aaaaaaaaaaaaa Fakültesi,
Aaaaaaaa Aaaaaaaaaaaaa Anabilim Dalı **İmza**

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü

.././.....

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

.../.../.....

Kübra DEDE

ÖZET

Yüksek Lisans

GÜNEŞİN KONUMUNA GÖRE İKİ EKSENDE HAREKET EDEN SENSÖRSÜZ BİR SİSTEM ÜZERİNDEKİ IŞINIM ÖLÇER CİHAZININ PERFORMANSI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Kübra DEDE

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ferhat KURTULMUŞ

Dünya nüfusu ve tüketimin artmasıyla enerji ihtiyacının karşılanması önemli bir sorun haline gelmiştir. Fosil yakıtların zaman içinde tükenmeleri, çevreyi kirletmeleri ve sera etkisi yaratarak iklim değişikliğine sebep olmaları gibi nedenler güneş, rüzgâr, jeotermal ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygın olarak kullanılmaya başlanmasını sağlamıştır.

Fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının aktif olarak kullanılmasını sağlamak amacıyla her geçen gün yeni teknolojiler geliştirilmektedir. Söz konusu teknoloji ürünlerinin performanslarının ölçümlenebilir olması yenilenebilir kaynaklardan optimum miktarda verim elde edilebilmesi bakımından önemlidir. Örneğin bir güneş paneli vasıtasıyla güneşten enerji elde edilirken panellerin güneşe dik açı ile konumlandırılarak güneş ışınlarını dik açı ile almaları sağlanmaktadır. Panellerin güneşe olan açıları farklı yöntemlerle tespit edilerek en uygun konum bulunabilmektedir. Bu çalışmada güneş ışınımının ölçülmesinde, manuel olarak el ile nişan alma yöntemi yerine optik izleme sensörü kullanılmaksızın konum ve zamana bağlı olarak güneş açılarının hesaplanmasıyla iki eksenli hareket eden bir güneş takip sistemi cihazı geliştirmek amaçlanmıştır. Bu takip sistemi üzerine yerleştirilen ışınım ölçer cihazının performansında nasıl bir değişim olacağı gözlemlenmiştir.

Aynı konum ve saatte manuel olarak çalıştırılan bir ışınım ölçer cihazından elde edilen veriler ile geliştirilen takip sistemine bağlı diğer ışınım ölçer cihazından alınan veriler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda güneş takip sistemine ilişkin ışınım ölçer cihazının havanın bulutlu olması durumunda bile güneşin konumunu doğru tespit ettiği ve ölçüm alabildiği, manuel olarak kullanılan ışınım ölçer cihazının ise insani hatalara açık olduğu sonucuna varılmıştır. Güneş takip sistemi üzerine yerleştirilen pirheliyometre cihazına ilişkin ışınım ölçümü ortalama hata yüzde değerlerinin %10'dan daha küçük hatalar ile gerçekleştiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, ışınım ölçer, mikrodenetleyici, güneş takip sistemi, gömülü sistem

2020, vii + 68 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

RESEARCH ON THE PERFORMANCE OF THE RADIATION METER ON A
SENSORLESS SYSTEM MOVING ON DUAL-AXIS ACCORDING TO THE
POSITION OF THE SUN

Kübra DEDE

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biosystems Engineering

Supervisor: Doç. Dr. Ferhat KURTULMUŞ

Supplying energy needs has become a fundamental problem with the increase in the world population and consumption. The reasons such as fossil fuels being depleted over time, polluting the environment, and causing climate change by creating a greenhouse effect have led to the widespread use of renewable energy sources such as sun, wind, geothermal and biomass.

New technologies are being developed day by day to ensure the active use of renewable energy sources instead of fossil fuels. The performances of these technology products must be measurable in terms of obtaining the optimum amount of renewable resources. For example, while obtaining energy from the sun using a solar panel, the panels are positioned at right angles to the sun, so that they receive the sun rays at right angles. The most appropriate position can be found by determining the angles of the panels to the sun by different methods. In this study, it is aimed to develop a solar tracking system device that moves in two axes by calculating the solar angles based on the position and time without using an optical tracking sensor instead of a manual aiming method in measuring solar radiation. It was observed that the performance changes of the radiation meter device placed on this tracking system.

The data obtained from a radiation meter device operated manually at the same location and hour and the data obtained from another irradiation meter connected to a tracking system developed on an automatic system moving according to the position of the sun on a planar surface were compared. As a result of the comparison, it was concluded that the irradiation meter device for the solar tracking system could accurately detect the position of the sun and take measurements even in cloudy weather. The manually operated irradiation device was open to human error. It was observed that the average error percentage values of the irradiance measurement related to the pyrliometer device placed on the solar tracking system were performed with errors of less than 10%.

Key words: Solar energy, radiation meter, microcontroller, sun track system, embedded system

2020, vii + 68 sayfa.

TEŞEKKÜR

Tez alıőmam sűresince desteklerini ve yardımlarını hibir zaman esirgemeyen baőta danıőmanım saygıdeęer Do. Dr. Ferhat KURTULMUŐ olmak űzere, bilgi ve tecrűbeleriyle beni yűnlendiren sayın Prof. Dr. Ali VARDAR ve Dr. Onur TAŐKIN'a teőekkűrlerimi sunarım.

Hayatımın her anında gűsterdikleri sonsuz sevgi, destek ve anlayıő için çok kıymetli babam Mustafa DEDE'ye, çok kıymetli annem Hamide DEDE'ye ve deęerli kardeőlerim Ayőegűl TEKİN, Esra ŐCEK ve Elif DEDE'ye gűnűlden teőekkűr ederim.

Kűbra DEDE

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	ii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	7
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	17
3.1. Materyal.....	17
3.1.1. Pirheliyometre ve Piranometre.....	17
3.1.2. Motorlar.....	20
3.1.3. Motor Sürücü Devresi.....	23
3.1.4. RTC Modülü.....	24
3.1.5. Arduino Uno Mikrodenetleyici.....	25
3.1.6. 25W5R6J Direnç.....	27
3.2. Yöntem.....	27
3.2.1. Güneşin Konumunun Hesaplanması.....	27
3.2.2. Matlab ve Excel.....	31
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	34
5. SONUÇ.....	64
KAYNAKLAR.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	68

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
I	Akım
V	Gerilim
W	Watt
PV	Fotovoltaik
°C	Derece santigrat
Isc	Kısa devre akımı
IG	Işınım kazancı
IF	Sabit PV modüle ilişkin ışınım değeri
IT	Hareketli PV modülüne ilişkin ışınım değeri

Kısaltmalar	Açıklama
GPS	Global Positioning System
GIS	Geographical Information Systems
VRA	Variable Rate Application
NDVI	Normalize fark bitki indeksi
NIR	Yakın kızılötesi
LDR	Light Dependent Resistor
PLC	Programlanabilir Mantıksal Denetleyici
IOT	Internet of Things
MHZ	Megahertz
RTC	Real Time Clock
$\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$	Mikrovolt/Watt/Metrekare
MPE	Mean Percentage Error
MAPE	Mean Absolute Percentage Error
RMSE	Root Mean Square Error

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Hareketli güneş paneli.....	7
Şekil 2.2. Pirheliyometre cihazından okunan değerler.....	8
Şekil 2.3. Güneş takip sistemi.....	8
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan güneş takip cihazı ve pirheliyometre	17
Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan pirheliyometre	18
Şekil 3.3. Pirheliyometre ebatları.....	18
Şekil 3.4. Piranometre cihazı	19
Şekil 3.5 Çalışmada kullanılan güneş takip sistemine ilişkin piranometre cihazı	20
Şekil 3.6. Güneş takip sisteminde kullanılan step motor	20
Şekil 3.7. Hibrit step motor yapısı	21
Şekil 3.8 Sabit mıknatıslı step motor yapısı.....	22
Şekil 3.9. Değişken relüktanslı step motor yapısı	22
Şekil 3.10. Sistemde kullanılan sürücü devresi.....	23
Şekil 3.11. Sistemde kullanılan sürücü devresi.....	24
Şekil 3.12 DS1302 RTC modülü	24
Şekil 3.13. Arduino Uno genel görünümü	25
Şekil 3.14. Güneş takip sisteminde kullanılan Arduino Uno	26
Şekil 3.15. Sistemde kullanılan 25W5R6J direnç.....	27
Şekil 3.16. Güneş açıları	28
Şekil 3.17. Arduino IDE arayüzü.....	29
Şekil 3.18. Arduino IDE arayüzü.....	30
Şekil 3.19. LoggerNet arayüzü ekran görüntüsü.....	31
Şekil 4.1. 21.06.2019 tarihinde elde edilen verilere ilişkin Matlab analiz sonuçları	40
Şekil 4.2. 23.06.2019 tarihinde elde edilen verilere ilişkin Matlab analiz sonuçları	43
Şekil 4.3. 27.06.2019 tarihinde elde edilen verilere ilişkin Matlab analiz sonuçları	47
Şekil 4.4. 28.06.2019 tarihinde elde edilen verilere ilişkin Matlab analiz sonuçları	52
Şekil 4.5. 29.06.2019 tarihinde elde edilen verilere ilişkin Matlab analiz sonuçları	53
Şekil 4.6. 30.06.2019 tarihinde elde edilen verilere ilişkin Matlab analiz sonuçları	57
Şekil 4.7. Matlab Sonuçlarının Grafik Analizleri	61

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Işınım değerleri tablosu.....	10
Çizelge 2.2 PV modüllerin performans verileri	12
Çizelge 2.3. PV modüllerin performans verileri	14
Çizelge 2.4. Sabit sistem ve çift eksenli takip sisteminin performans karşılaştırılması .	16
Çizelge 4.1. 23.06.2019 tarihinde elde edilen verilerin MPE değeri	35
Çizelge 4.2. 23.06.2019 tarihinde elde edilen verilerin MAPE değeri	36
Çizelge 4.3. 23.06.2019 tarihinde elde edilen verilerin RMSE değeri	37
Çizelge 4.4. 23.06.2019 tarihinde elde edilen verilerin R ² değeri.....	38
Çizelge 4.5. 21.06.2019 tarihine ilişkin ölçüm verileri.....	39
Çizelge 4.6. 21.06.2019 tarihine ilişkin Excel analiz verileri	41
Çizelge 4.7. 23.06.2019 tarihine ilişkin ölçüm verileri.....	43
Çizelge 4.8. 23.06.2019 tarihine ilişkin Excel analiz verileri	44
Çizelge 4.9. 27.06.2019 tarihine ilişkin ölçüm verileri.....	45
Çizelge 4.10. 27.06.2019 tarihine ilişkin Excel analiz verileri	46
Çizelge 4.11. 27.06.2019 tarihine ilişkin hatalı değerden arındırılmış Excel analiz verileri	48
Çizelge 4.12. 28.06.2019 tarihinde elde edilen veriler	50
Çizelge 4.13. 28.06.2019 tarihinde elde edilen Excel analiz verileri.....	51
Çizelge 4.14. 29.06.2019 tarihinde elde edilen veriler	53
Çizelge 4.15. 29.06.2019 tarihinde elde edilen Excel analiz verileri.....	54
Çizelge 4.16. 30.06.2019 tarihinde elde edilen veriler	56
Çizelge 4.17. 30.06.2019 tarihinde elde edilen Excel analiz verileri.....	58
Çizelge 4.18. 30.06.2019 tarihinde elde edilen Excel analiz verilerinin tekrar incelenmesi	60
Çizelge 4.19. Genel Değerlendirme Sonucu	62

1. GİRİŞ

Son yıllarda teknolojinin de ilerlemesiyle, temiz ve doğa ile dost enerji olarak nitelendirilen yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı artmaya başlamıştır. Ülkeler farklı enerji kaynaklarına sahip olabilmektedirler ve bu kaynakların en verimli şekilde kullanılması üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Türkiye bulunduğu konum nedeniyle; güneş, rüzgâr, hidrolik, jeotermal ve biyokütle gibi enerji kaynakları bakımından enerji potansiyeli yüksek bir ülkedir. Türkiye'nin 2018'de elektrik üretiminin %37,3'ü kömürden, %29,8'i doğal gazdan, %19,8'i hidrolik enerjiden, %6,6'sı rüzgârdan, %2,6'sı güneşten, %2,5'i jeotermal enerjiden ve %1,4'ü diğer kaynaklardan elde edilmiştir (Anonim 2020a). Ayrıca, 2019 yılı Eylül ayı sonu itibariyle kurulu gücümüzün kaynaklara göre dağılımı; %31,4 hidrolik enerji, %28,6 doğal gaz, %22,4 kömür, %8,1 rüzgâr, %6,2 güneş, %1,6 jeotermal ve %1,7 diğer kaynak kullanımı şeklindedir (Anonim 2020a). Ülkemizin, yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelini henüz maksimum seviyede kullanamamasına karşın dört mevsim güneş alıyor olması sebebiyle güneş enerjisi; ısıtma, soğutma, aydınlatma, elektrik üretimi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Güneş enerjisi yeryüzüne fotonlar (güneş ışığı bileşenleri) aracılığı ile iletilmektedir ve güneş enerjisi teknolojileri genel olarak fotovoltaik güneş teknolojisi ve ısıl güneş teknolojileri şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Fotovoltaik hücreler (güneş hücreleri), yüzeylerine gelen fotonların doğrudan elektrik enerjisine çevrilmesine imkân veren yarı iletken maddelerdir. Isıl güneş teknolojilerinde ise ilk olarak güneş enerjisinden ısı elde edilmekte ve sonrasında ısının doğrudan kullanılmasına ek olarak elde edilen ısı elektrik enerjisine de dönüştürülebilmektedir (YEGM 2020).

Fotovoltaik hücrelerin yüzeyleri genellikle dikdörtgen veya kare şeklindedir. Kalınlıkları 0,1 mm ve 0,4 mm arasında, yüzey alanları ise 100 cm² ile 250 cm² arasında değişkenlik göstermektedir. Fotovoltaik hücreler, silisyum gibi kimyasal maddelerden üretilmektedir. Bu hücrelerden elde edilen verim genellikle %5-25 civarındadır. Fotovoltaik hücreler seri ya da paralel olarak bağlanarak fotovoltaik paneller (güneş

paneli) ve fotovoltaik paneller de seri ya da paralel olarak bağlanarak fotovoltaik sistemler oluşturulmaktadır.

Isıl güneş teknolojileri ise; yoğunlaştırıcı sistemler ve düşük sıcaklık sistemleri olmak üzere iki ana kategoride incelenmektedir. Ülkemizde en yaygın kullanılan ısıl güneş teknolojisi örneği düşük sıcaklık sistemlerine ilişkin olarak bilinen düzlemsel güneş kolektörleridir. Düzlemsel güneş kolektörleri, güneş ışınlarını toplayan ve ışınları akışkan bir maddeye ısı şeklinde yönlendiren yapılar olarak tanımlanabilmektedir. Genellikle su ısıtma amacıyla kullanılmaktadırlar.

Düzlemsel güneş kolektörleri, optimum verim elde edilmesi amacıyla bulunduğu konum baz alınarak güneşi en uzun süre dik açı ile alacak şekilde yerleştirilmektedir. Güneşi anlık olarak takip ederek gün boyu dik açı ile güneş ışınlarının alınmasına imkân veren otomatik sistemler mevcut olmasına karşın, bu sistemlerin maliyetlerinin yüksek olması ve zaman zaman elde edilen elektrik enerjisinden daha çok enerji harcamaları dolayısıyla yaygın olarak kullanılmamaktadır.

Diğer taraftan ülkemiz bir tarım ülkesidir ve tarımsal faaliyetler yaygın olarak sürdürülmektedir. Güneş enerjisinden elde edilen enerji kullanılarak tarımsal amaçlı olarak aşağıdaki faaliyetler rahatlıkla gerçekleştirilmekte ve ekonomik açıdan kazanç sağlanmaktadır;

- Tarım arazilerinin sulanmasında kullanılan pompaların çalıştırılması
- Tarım arazilerinde kullanılan sulama sistemlerinin çalıştırılması
- Tarım ürünlerinin kurutulması
- Soğuk hava depolarının çalıştırılması
- Seraların ısıtılması
- Tarım ürünleri paketleme cihazlarının çalıştırılması
- Tarım alanlarının aydınlatılması
- Su arıtma sistemlerinin çalıştırılması
- Vb.

Tüm bunlar ekonomik açıdan fayda sağlamakla beraber çevreyle dost bir yaklaşım içerisinde gerçekleşmektedir. Solar radyasyonun doğa ile dost ilişkisi temiz enerji ile sınırlı değildir. Bitkilerin sağlıklı bir şekilde gelişebilmeleri için güneş ışınlarına ihtiyaçları vardır. Tarım arazilerinde tohumların çimlenmesi, fidanların ve ağaçların tomurcuklarının çiçek açması, meyvelerin sebzelerin gelişip büyümesi ve sağlıklı ürünlerin elde edilmesinde güneş ışınları doğrudan etki sahibidir. Bunlara ek olarak, bitkiler güneş ışınları sayesinde fotosentez yapmaktadırlar. Fotosentez; yeşil bitkilerin güneş ışınlarından aldıkları enerji ile havadan aldıkları karbondioksit kullanılarak oksijen ve organik madde üretilmesi işlemidir. Yani güneş ışınları sayesinde doğadaki oksijen miktarı artmakta ve üretilen organik madde sayesinde bitkilerin gelişmesi sağlanmaktadır.

Oldukça karmaşık bir süreç olan tarımsal üretimde farklı bitki besleme muameleleri, farklı sulama stratejileri ve farklı ilaçlama uygulamalarının ürün üzerindeki olası etkilerini anlayabilmek bir gerekliliktir. Günümüzde hassas tarım teknolojileri kapsamında ürün izleme ve keşif faaliyetleri; bitki gelişimini takip edebilmek ve farklı agronomik kararların ürünün gelişim sürecinde veya bir sonraki üretim süreçlerinde ne gibi etkilere yol açtığı konularında bilgi sahibi olabilmek bakımından büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla gelişen teknoloji ile birlikte özellikle meyve bahçeciliğinde Sap Flow Metre, Dendrometre, toprak ve nem sensörleri gibi sistemlere ek olarak meteorolojik izleme istasyonları da agronomik kararların izlenebilirliği amacıyla kullanılmaktadır. Bu sistemlerdeki güneş ışınımı ölçümleri, bitkilerde izlenebilecek herhangi bir anomalinin güneş ışınımı değişiminden kaynaklı olup olmadığı konusunda yol gösterici olmaktadır. Bu çerçevede güneş ışınımının otomatik takip sistemleriyle ölçülebilmesi hassas tarım kapsamında kullanılan duyargaların güvenilirliği açısından önem taşımaktadır.

Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte; ekonomik açıdan fayda sağlanması, ürün kalitesinin artırılması ve çevre kirliliğinin azaltılması amacıyla hassas tarım uygulamaları yaygınlaştırılmıştır. Hassas tarımda uzaktan algılama, coğrafi bilgi sistemi (GIS), küresel konum belirleme (GPS) ve değişken oran girdi uygulamaları (VRA) gibi teknolojiler kullanılmaktadır. Uzaktan algılama yöntemleri ile bitkilerle fiziksel olarak aynı ortamda

bulunmadan onların mevcut durumlarının izlenebilmesi ve verim ile ilgili tahminlerde bulunulabilmesi sağlanmaktadır. Söz konusu tahminler değerlendirilirken Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) değeri okunmaktadır. NDVI, elektromanyetik spektrumun görünür ve NIR bantlarını kullanarak bitkinin canlılığını tespit etmek için kullanılan bir yöntemdir (Kavak ve Ark. 2015). NDVI değerini hesaplamak için kullanılan denklem şu şekildedir;

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (1.1)$$

NDVI, denklem sonucunda -1 ile +1 arasında bir değer çıkmaktadır. Sağlıklı bitkinin, üzerine düşen görünür ışığı emerken yakın kızıl ötesi ışığın çoğunu yansıttığı bilinmektedir. Sağlıksız bitki ise görünür ışığı daha fazla yansıtırken yakın kızıl ötesini daha az yansıtmaktadır (Anonim 2020b). NDVI değeri bitkide bulunan klorofil miktarının tespit edilmesi için de bir belirleyicidir. Buradan anlaşılacağı üzere, yeşil bitki örtüsünün geniş yer kapladığı alanlarda NDVI değeri +1 değerine yaklaşacaktır. Güneşin konumunun gün içerisinde değişmesi sebebiyle bitkilerin güneş ışınlarını yani fotonları alışı açılımları değişmektedir. Ayrıca bulutluluk sis gibi güneş ve dünyanın konum ve açısından görece bağımsız olan değişkenler tarım arazisindeki güneşlenme seviyelerini etkilemektedir. Bu nedenlerle gün içerisinde yeşil bitkilerden ölçülen NDVI değeri de değişecektir. Görünür ışık ile bitkinin fotosentez yapması için uygun enerji iletilerek canlılığını sürdürmesi sağlanmaktadır. Bu sebeple güneş ışınımının ölçülmesi ve izlenmesi önemlidir.

Dünyaya gelen güneş ışınları direkt, difüz, yansıyan ve toplam güneş ışınımı olarak sınıflandırılmaktadır. Direkt güneş ışınımı doğrudan yeryüzüne inen ışınımdır. Difüz ışınımı güneşten doğrudan gelmeyip, atmosfer içinde her yöne dağılarak yayılan ışınımdır. Bulutlu bir günde güneş gökyüzünde görünmezken yeryüzüne inen ışınlar difüz ışınımına örnek olarak verilebilir. Yansıyan güneş ışınımı, güneşten gelen ışının bir yüzeye çarptıktan sonra yön değiştirmesiyle oluşmaktadır. Toplam güneş ışınımı ise gökyüzünden gelen ışınların tamamını oluşturmaktadır ve hesaplama işlemi yapılarak tespit edilmektedir. Bir bölgenin güneş ışınımının ölçülmesi o bölgenin güneş enerjisi

potansiyelinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Güneş ışınımı ölçülmesinde temel olarak piranometre ve pirheliyometre cihazları kullanılmaktadır.

Piranometre cihazı ile toplam ışınım ve difüz ışınımı ölçülmektedir. Pirheliyometre cihazı ise direkt ışınımı ölçmekte ve ölçme işlemini güneş takip cihazları ile gerçekleştirmektedir. Pirheliyometrenin güneşe doğrudan odaklanmaması durumunda doğru sonuç alınamamaktadır.

Güneş takip sistemleri tek ekseninde veya çift ekseninde güneşi takip eden mekanizmalardır. Bu sistemlerin en yaygın uygulamalarından bir tanesi hareketli güneş panelleridir. Güneş panellerinin gün boyu güneşi takip etmeleri sağlanarak panellerin güneş alma süreleri arttırılmakta ve böylelikle daha çok enerji elde edilmektedir.

Güneş takip sistemleri genellikle üzerlerine monte edilen bir Işığa Bağımlı Direnç (LDR) esaslı ışık sensörü ile çalışmaktadırlar. LDR ışığa duyarlıdır. Gün boyu güneşi takip ederek mekanizmayı güneşe yöneltilmektedir. Bu sayede her an güneş takibi sağlanmaktadır. Ancak, yaygın olarak kullanılan bu sensörlü sistem, havanın bulutlu olması gibi meteorolojik koşullardan etkilenerek istenen görevi gerçekleştirememektedir. LDR sensörü havanın kapalı olması sebebiyle güneşi algılayamamaktadır. Dolayısıyla sistem çalışmamakta veya hatalı çalışmaktadır.

Güneşin yeryüzüne olan konumu, yersel konum, tarih ve saate göre tespit edilebilmektedir. Söz konusu verileri kullanarak güneşin anlık olarak takip edilmesini sağlayan takip mekanizmaları da mevcuttur. Bu mekanizmalarda LDR sensörü kullanılmayarak güneşin takip edilmesi sağlanmaktadır. Böylelikle sistem olumsuz hava şartlarından etkilenmeden kesintisiz çalışmaktadır.

Takip cihazlarının bir diğer kullanım alanı ise ışınım ölçer cihazların güneşi gün boyu takip etmelerinin sağlanmasıdır. Üzerinde pirheliyometre olan LDR sensörlü bir güneş takip sistemini düşündüğümüzde, havanın kapalı olması durumunda ışınım ölçer cihazı güneşe odaklanamayacak ve doğru sonuçları vermeyecektir.

Pirheliyometre ile ölçüm yaparken sensörlü bir güneş takip sistemine alternatif olarak el ile nişan alma yöntemi kullanılarak da ölçüm yapılabilmektedir. Ancak manuel olarak yapılan bu işlem insani hatalara açıktır ve her zaman sağlıklı sonuç vermemektedir. Otomatik takip sistemleri insani hataları elimine etmektedir ve daha objektif sonuçlar elde edilmektedir.

Bu çalışmada; aynı konum ve saatte el ile nişan alma yöntemi ile çalıştırılan aynı özelliklere sahip bir pirheliyometreden elde edilen veriler ve düşük maliyetli ekipman kullanan düzlemsel bir yüzeyde güneşin konumuna göre hareket eden sensörsüz otomatik bir sistem üzerindeki bir diğer pirheliyometreden alınan verilerin karşılaştırılmasıyla, sensörsüz takip sistemlerinin güvenilirliğinin ve ölçüm işlemlerinde insan işgücüne olan bağımlılığın azaltılmasının gerekliliğinin kanıtlanması amaçlanmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

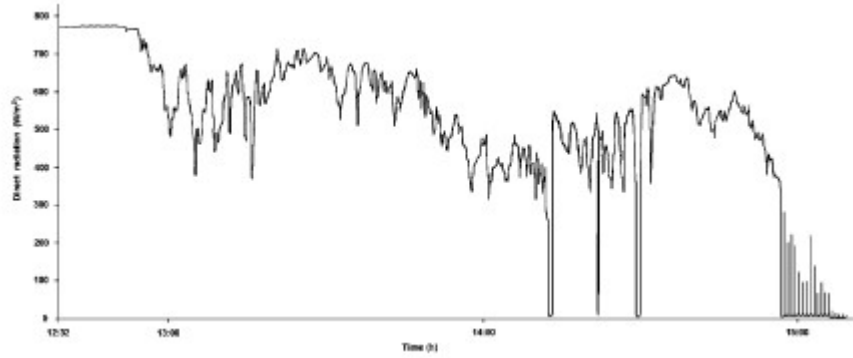
Güneş takip sistemleri güneş panellerinin güneşe dik açı ile konumlandırılması için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sayede güneş enerjisinden elde edilen verim artmaktadır. Şekil 2.1’de gösterilen Rizk ve Chaiko (2008) tarafından tasarlanan güneş takip sistemi güneş panelleri için kullanılmıştır. Işık sensörü ve step motor kullanılan bu takip sistemi, güneş panellerinin doğru açıda tutulmasını sağlamak için tasarlanmış ve test edilmiştir. Güneş takip sistemi üzerindeki hareketli güneş paneli ile verimdeki oransal artış %39-70 değerine kadar çıkmıştır.



Şekil 2.1. Hareketli güneş paneli (Rizk ve Chaiko 2008).

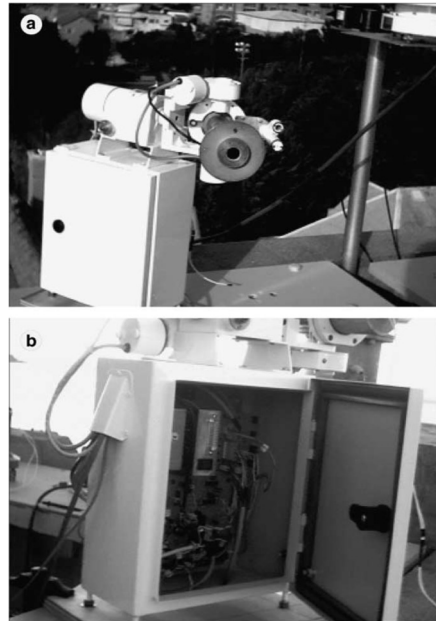
Pirheliyometre ile ışınım ölçümü yapılırken pirheliyometrenin güneşe dik açı ile odaklanması gerekmektedir. El ile nişan alma yönteminin pratik bir çözüm olmayışı, güneş takip sistemlerinin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamıştır. P. Roth ve ark. (2004) pirheliyometre ile direkt güneş ışınımını ölçen bir takip cihazı geliştirmişlerdir. Güneşin konumunu tespit etmek amacıyla ışık sensörü yerleştirilmiş, iki adet DC motor ve Z80 tip işlemci kullanılmıştır. Ek olarak, bulutlu havalarda ışık sensörlerinin çalışmadığı durumlarda güneşin konumu hesaplanarak pirheliyometre güneşe yönlendirilmiştir. Bu durum güneş tekrar sensör tarafından algılanana kadar devam

ettirilmiştir. Şekil 2.2’de pirheliyometre cihazından okunan değerler görülmektedir. Solar radyasyonu ölçüm alt limiti 140 W/m^2 olarak tespit edilmiştir. Radyasyon bu değerin altına indiğinde ölçüm alınmamaktadır. Güneş takip cihazı Valparaiso iklim koşullarında test edilmiştir ve 140 W/m^2 ’nin üzerindeki ışınım şiddeti için etkili sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 2.2. Pirheliyometre cihazından okunan değerler (P. Roth ve ark. 2004).

P. Roth ve ark. (2005) bir diğer çalışmalarında düşük maliyetli iki eksenli bir güneş takip sistemi geliştirmiş ve onu diğer takip cihazlarıyla kıyaslayarak test etmişlerdir. Söz konusu güneş takip sistemi Şekil 2.3’te görülmektedir. Takip cihazı pirheliyometre ile otomatik ölçüm yapmaktadır.



Şekil 2.3. Güneş takip sistemi (P. Roth ve ark. 2005).

Geliştirilen cihazda 2 adet step motor kullanılarak 2 eksenle hareket verilmiştir. Güneşin konumunu tespit etmek için ise sensörlü ve sensörsüz olmak üzere iki seçenek bulunmaktadır. Sensörsüz takip seçeneği ile güneşin konumu matematiksel olarak hesaplanarak tespit edilmiştir. Takip cihazında DC motorların yerine step motor, eski tip Z80 mikro işlemci yerine yeni model mikroişlemci kullanılmıştır. Elektronik ünitesi tamamen yenilenmiştir. Araştırma sonucuna göre geliştirilen cihaz İsviçre marka INTRA güneş takip cihazı ile benzer sonuçları verirken yapım maliyeti daha düşük olarak tespit edilmiştir.

Havanın bulutlu olması durumunda güneş takip sisteminin doğru çalışması için güneşin konumunun matematiksel olarak hesaplanması dışında farklı çözümler de bulunmaktadır. Step motor, mikrodenetleyici ve LDR vasıtasıyla çalışan bir güneş takip sisteminin işlevini kesintisiz yerine getirmesini sağlamak amacıyla farklı koşullarda çalışması planlanabilmektedir. Normal gün ışığı koşulları, kötü hava koşulları ve çift yönlü döndürme seçenekleri altında çalışabilmektedir (Khan ve ark. 2010).

Khan ve ark. (2010) tarafından tasarlanan güneş takip sistemi, normal gün ışığı koşullarında doğudan batıya doğru 15 dakikada bir $3,75^\circ$ döndürülmektedir. Kötü hava koşullarında sistemin çalışmasında aksaklıklar yaşandığı ve takip sisteminin çalışmadığı bildirilmiştir. Bu sorunu çözmek için kısa bir gecikme sağlanmış ve mikrodenetleyici step motoru döndürmek için bekleme durumu 15 dakikaya eşit hale getirilmiştir. Gün sonunda, güneş takip işlemi sonlandırılmıştır. Güneş takip sisteminin çift yönlü hareket özelliği sayesinde, ertesi gün güneşi tekrar takip etmesi için tersi yönde yani batıdan doğuya bir hareket gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

PV sistemleri ile güneş izlenerek elektrik maliyetleri azaltılmaktadır. PV modüllerinin güneşi izlemesi ile sabit sistemlere oranla %15 ile %35 arasında verim sağlanmaktadır (Khadidja ve ark. 2014). Güneş takip sistemlerinin hareketleri PLC cihazı kullanılarak da gerçekleştirilmektedir. Khadidja ve ark. (2014) tarafından geliştirilen güneş takip sistemi çift eksenlidir ve PLC cihazı ile kontrol edilmektedir. Söz konusu güneş takip sisteminde ışık sensörü kullanılmamıştır. Güneş koordinatları matematiksel olarak hesaplanmıştır.

Araştırmacılar azimut ve elevasyon açılarının tespit edilerek DC motorlara yön verilmesinin önemini vurgulamışlardır.

Literatürde sabit güneş paneli ile hareketli güneş paneli arasında performans analizinin yapıldığı çalışmalar mevcuttur. Prabodh ve Kumar (2011) iki eksende hareket eden bir güneş takip sistemi üzerindeki panelden elde edilen verim ve sabit güneş panelinden elde edilen verimi kıyaslamışlardır. Bu kıyaslamayı yaparken güneşin konumuna göre 37° eğim açısına sahip bir PV modülü ile azimut ve elevasyon açısı güneşin hareketine göre değişen bir PV modülü kullanmışlardır. Ölçümler ortalama olarak 27°C ortam sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Performans analizi yapılırken; kolektörden alınan güneş ışınımı, maksimum saatlik elektrik gücü (Pmax), kısa devre akımı (Isc) ve açık devre akımı (Voc) ile Dolum faktörü (FF) kıyaslanmıştır. Otomatik güneş takip sisteminde DC motor, LDR sensörü ve mikrodenetleyici kullanılmıştır. Sabit PV modüle ilişkin ışınım değeri (IF) ve hareketli PV modülüne ilişkin ışınım değeri (IT) ile ışınım kazancı (IG) Çizelge 2.1’de görülmektedir.

Çizelge 2.1. Işınım değerleri tablosu (Prabodh ve Kumar 2011).

Saat	IF(W/m ²)	IT(W/m ²)	IG(W/m ²)
6:00 AM	58	104	46
7:00 AM	174	349	174
8:00 AM	349	570	221
9:00 AM	640	710	6
10:00 AM	704	733	29
11:00 AM	791	803	11
12:00 PM	805	809	3
1:00 PM	803	805	2
2:00 PM	582	675	93
3:00 PM	291	465	174
4:00 PM	116	296	180
5:00 PM	17	110	93

Çizelge 2.1 incelendiğinde saat 11.00 ile 13.00 aralığında yani öğlen saatlerinde ışınım kazancı farkının çok az olduğu, ancak diğer saatler için sabit PV modülüne oranla hareketli PV modülünden daha yüksek verim elde edildiği görülmektedir. Çift eksenli otomatik güneş takip sistemleri dikey hareket ekseninin sabit tutulması ile de tasarlanabilmektedir. Rana (2013), tarafından geliştirilen takip sistemi sabit bir dikey

eksen ve ayarlanabilir yatay eksene sahiptir. Yatay ekseninde yapılan hareket, ışık sensörü ile yön verilen 360° dönebilen motorlar ile gerçekleştirilmiştir. Sistemde temel olarak LDR, zamanlayıcı, step motor ve PV modül kullanılmıştır.

Güneş takip sistemlerinin efektif çalışması kadar kontrol edilebilir olması da önemlidir. Çınar ve ark. (2014), tarafından geliştirilen güneş takip sistemi mekanik ve kontrol olmak üzere temelde iki kısımdan oluşmaktadır. Mekanik kısım, servo motorlar sayesinde iki ekseninde hareket etmektedir. Kontrol sistemi ise uzaktan erişim ile çalışmaktadır. Uzaktan erişimin sağlanması için PLC üniteleri ve bilgisayar arayüzü kullanılmaktadır. Bilgisayar arayüzünden otomatik kontrol seçilmesi durumunda PLC cihazında gömülü algoritma çalışmaktadır. Otomatik kontrol seçeneği seçildiğinde ışık sensörleri sayesinde güneş takip edilmektedir. Otomatik sistemde bir arıza olması durumunda manuel kontrol seçeneği ile mekanik kısım, matematiksel olarak hesaplanan güneş konum koordinatlarına bilgisayar tarafından PLC'ye gönderilen sinyal ile yönlendirilmektedir. Kontrol sistemi sayesinde iki saatte bir ölçüm alınması gibi ya da belirli saat aralıklarında ölçüm alınması gibi farklı seçenekler seçilebilmektedir. Geliştirilen takip sistemi, 35° eğim açılı sabit 3 adet 60W PV panel ve güneş takip sistemi üzerindeki 3 adet 60W PV panel ile karşılaştırılmıştır. Söz konusu paneller mono-kristal, poli-kristal ve ince filmden yapılmışlardır. Takip sistemi için beş farklı strateji uygulanmıştır. Bunlar, sırasıyla; güneşin konumunun hesaplanarak hareket mekanizmasının saatte bir güneşin konumuna yönlendirilmesi, güneşin konumunun hesaplanarak hareket mekanizmasının iki saatte bir güneşin konumuna yönlendirilmesi, güneşin konumunun hesaplanarak hareket mekanizmasının üç saatte bir güneşin konumuna yönlendirilmesi, güneşin konumunun hesaplanarak hareket mekanizmasının saatte bir güneşin konumuna yönlendirilmesi ve ışık sensörü vasıtasıyla güneşin kesintisiz olarak takip edilmesidir. Beş farklı strateji sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 2.2'de görülmektedir. Buna göre, 5 nolu stratejiye ilişkin otomatik takip sistemi ile gün boyu güneşin takip edilmesiyle daha fazla enerji elde edildiği tespit edilmiştir.

Çizelge 2.2 PV modüllerin performans verileri (Çınar ve ark. 2014).

Strateji	Platform tipi	Takip Sistemi			Sabit Sistem			
	PV panel tipi	Mono-Kristal	İnce Film	Poli-Kristal	Mono-Kristal	İnce Film	Poli-Kristal	
1	Toplam Üretim (Wh)	354,43	101,41	394,72		258,99	42,89	265,78
	Toplam Radyasyon (W/m ²)				7640			
	Ortalama Yüzey Sıcaklığı (°C)	33,06	32,43	31,38		31,36	31,06	30,76
	Ortalama Ortam Sıcaklığı (°C)				27,86			
2	Toplam Üretim (Wh)	347,22	71,92	382,34		264,73	49,97	275,51
	Toplam Radyasyon (W/m ²)				7134			
	Ortalama Yüzey Sıcaklığı (°C)	33,51	33,07	31,93		32,45	32,48	32,05
	Ortalama Ortam Sıcaklığı (°C)				28,2			
3	Toplam Üretim (Wh)	173,06	42,54	186,54		190,01	38,07	204,7
	Toplam Radyasyon (W/m ²)				6541			
	Ortalama Yüzey Sıcaklığı (°C)	31,99	31,69	31,09		31,93	32,11	32,01
	Ortalama Ortam Sıcaklığı (°C)				28,27			
4	Toplam Üretim (Wh)	253,68	50,47	279,23		212,39	43,69	225,51
	Toplam Radyasyon (W/m ²)				5785			
	Ortalama Yüzey Sıcaklığı (°C)	29,43	29,13	28,29		28,87	29,37	29,25
	Ortalama Ortam Sıcaklığı (°C)				25,66			
5	Toplam Üretim (Wh)	403,27	109,41	423,31		301,05	72,91	298,13
	Toplam Radyasyon (W/m ²)				7665			
	Ortalama Yüzey Sıcaklığı (°C)	31,19	30,89	29,55		28,59	28,37	27,99
	Ortalama Ortam Sıcaklığı (°C)				24,3			

Yao ve ark. (2014) çok amaçlı kullanılan çift eksenli bir solar takip sistemi kontrolü üzerinde çalışmışlardır. Söz konusu sistemde günlük takip stratejisi ve normal izleme stratejisi geliştirilmiştir. Normal izleme stratejisi, izleme hatasını önceden belirlenmiş bir değerden daha küçük tutmakta ve birincil ve ikincil eksenini döndürmektedir. Bir bilgisayar aracılığı ile kontrol edilen mikroişlemci, motorların güneş takip sistemini hareket ettirmesini sağlamaktadır. Güneşin konumu sensör ve matematiksel hesaplama kullanılarak tespit edilmektedir. Böylelikle bulutlu havalarda sistemde meydana gelen hataların önüne geçilmektedir. Günlük takip stratejisi ise, birincil eksenin sabit

tutulmasını ve izleme işlemi sonunda eksen üzerinde ayarlama yapılmasını sağlamaktadır.

Bir diğer güneş takip sistemi ise Elagib ve Osman (2013) tarafından solar haritalama yöntemi kullanılarak geliştirilmiştir. Solar haritalama yöntemi güneşin konumunun matematiksel olarak hesaplanmasıyla ilişkilidir. Böylelikle güneşin anlık olarak konum koordinatları çıkarılmaktadır. Güneş takip sisteminin geliştirilebilmesi için bir güneş konum hesaplama algoritması oluşturulmaktadır. Konum tespiti yapılırken GPS verilerinin otomatik olarak alınması ya da manuel olarak girilmesi sağlanmaktadır. Mikrodenetleyici vasıtasıyla güneşin konum tespiti yapılmakta ve takip mekanizması motorlar tarafından koordinatlara yönlendirilmektedir.

Duarte ve ark. (2011) tarafından geliştirilen güneş takip sistemi de solar haritalama yöntemine dayanmaktadır. Güneş takip sistemi temelde mekanik tasarım, elektronik tasarım, elektrik tasarımı ve kontrol programından oluşmaktadır. Güneş takip sistemi ile yıl boyunca güvenilir ve doğru ölçüm yapılarak enerji dönüşüm verimliliği artırılmıştır.

Sabit PV panel ve iki eksenli güneş takip sistemi üzerindeki PV panele ilişkin verim değerlerinin kıyaslamasına ek olarak, tek eksenli güneş takip sistemi ve çift eksenli güneş takip sistemleri arasındaki verim farkının tespit edilmesi için de çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalardan bir tanesi de Catarius ve Christiner (2010) tarafından yapılmıştır. Geliştirilen çift eksenli güneş takip sistemi, sabit sistem ve tek eksenli güneş takip sistemi ile karşılaştırılmıştır. 20W PV panel kullanılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen verilere göre; çift eksenli güneş takip sistemi sabit sisteme göre yıllık %48,982, tek eksenli takip sistemine göre ise %36,504 daha fazla verim sağlamaktadır.

İki eksenli güneş takip sistemi ve 25° eğim ile sabit olarak yerleştirilen PV panelin verimine ilişkin bir diğer çalışma Mostafa ve ark. (2019) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada yaklaşık 2kg ağırlığında 20W PV panel kullanılmıştır. Güneş takip sistemi; LDR, Arduino UNO mikrodenetleyici, 2 adet servo motor kullanılarak oluşturulmuştur. Çizelge 2.3'te sabit güneş paneli ve hareketli güneş paneline ilişkin voltaj değerlerinin farklı gün ve saatleri görülmektedir. Hareketli güneş panelinin güneşi gün boyu takip

etmesi sebebiyle sabit güneş panelinden %37,76 değerinde daha fazla voltaj elde edildiği saptanmıştır.

Çizelge 2.3. PV modüllerin performans verileri (Mostafa ve ark. 2019).

Zaman	Sabit	Takip
8:00 AM	18,1 V	22,5 V
9:00 AM	18,8 V	22,7 V
10:00 AM	20,2 V	22,9 V
11:00 AM	20,7 V	23,1 V
12:00 PM	21,2 V	23,1 V
1:00 PM	23,2 V	23,2 V
2:00 PM	20,4 V	23,2 V
3:00 PM	12,8 V	22,4 V
4:00 PM	9,7 V	21,7 V
5:00 PM	6,3 V	20,8 V
6:00 PM	5,7 V	18,4 V

Nesnelerin interneti (IOT) teknolojileri hayatımızın her alanında rol aldığı gibi güneş takip sistemlerinde de kullanılmaktadır. Said ve ark. (2020) çift eksenli bir güneş takip sisteminin IOT teknolojileri ile kontrol edilmesi üzerine çalışmışlar ve çift eksenli güneş takip sistemini tek eksenli güneş takip sistemi ile karşılaştırmışlardır. Güneş takip sisteminde Arduino UNO mikrodenetleyici, LDR sensörü ve iki adet servo motor kullanmışlardır. Bir WIFI ESP8266 cihazı, takip sistemi ve IOT izleme sistemi arasında aracı olarak yer almaktadır. IOT izleme sistemi temel olarak güneş takip sisteminden alınan verilerin saklanması sağlayan bir internet arayüzüdür. Çift eksenli güneş takip sisteminden gelen veriler ve tek eksenli güneş takip sisteminden gelen veriler karşılaştırıldığında çift eksenli güneş takip sisteminin %45,11 değerine kadar daha verimli olduğu ortaya konulmuştur.

Sabit bir açı ile yerleştirilen paneller gün boyunca güneş ışınlarını dik açı ile alamayacakları için optimum verim alınamamaktadır. Pratama ve ark. (2019) tarafından gerçekleştirilen bir diğer benzer çalışma PV panellerin verimlerinin artırılması için çift eksenli güneş takip sistemi kullanılmasına yöneliktir. Geliştirilen güneş takip sisteminde; Arduino UNO mikrodenetleyici, LDR ve servo motorlar kullanılmaktadır. Tüm deney verileri bir SD kart içerisinde saklanmaktadır. Çift eksenli güneş takip sistemi ve sabit bir

sistem karşılaştırılmıştır. Buna göre; çift eksenli güneş takip sistemi sabit sisteme göre %33,16 daha fazla verim sağlamıştır. Sabit sistem sadece öğle saatlerinde etkili bir şekilde çalışırken, hareketli sistem gün boyu çalışmaktadır.

Tirmikci ve Yavuz (2015) tarafından gerçekleştirilen güneş takip sistemlerine ilişkin çalışmada ise sensörsüz çift eksenli bir güneş takip sistemi üzerinde çalışılmıştır. Takip sistemi azimut ve elevasyon açılarına göre hareket ederek güneşi takip etmektedir. Sistemde 20 V DC motor kullanılmaktadır. DC motorların maksimum itme kuvvetleri 600 N ve maksimum hızları 300 mm/s'dir. Takip sisteminin kontrol edilmesi için PIC16F877A mikrodenetleyici kullanılmaktadır. PIC16F877A'nın düşük maliyetli ve kolay bulunur olması vurgulanmaktadır. Geliştirilen takip sisteminin, sabit sisteme oranla %40, tek eksenli takip sistemine göre ise %20 daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Mousazadeh ve ark (2009) tarafından yapılan çalışmalarda farklı tiplerdeki güneş takip cihazları karşılaştırılmış ve en etkili takip sisteminin azimut ve elevasyon açısına göre yapılan sistem olduğu ortaya konmuştur. Takip sistemlerinin enerji tüketimlerinin yüksek olduğu söylenmesine karşın takip cihazı ile meydana gelen güç tüketimi artan enerjinin %2-3'ü civarında olduğu belirtilmiştir.

PLC cihazı ile kontrol edilen bir diğer takip cihazına ilişkin çalışma Sungur (2009) tarafından gerçekleştirilmiştir. Takip sistemi tek ya da çift eksenli güneşi takip etmek için tasarlanmıştır. Bu sistemde güneşin konumuna ilişkin azimut ve elevasyon açıları matematiksel yöntemlerle hesaplanmaktadır. Sistemde 24 V DC motor kullanılmaktadır ve sistemin üzerine PV panel yerleştirilmiştir. Güneş açılarına göre programlanan PLC cihazı gerçek zamanlı saat modülü içermektedir. Bu sayede takip sistemi yıl, ay, gün ve saat olarak ayarlanabilmektedir. Çift eksenli takip sistemi 37,6 enlemi Konya-Türkiye konumunda çalıştırılmıştır ve aynı bölgede kullanılan sabit PV paneller ile karşılaştırıldığında %42,6 daha fazla verim elde edildiği tespit edilmiştir.

Bir diğer benzer çalışma Abdallah ve Nijmet (2004) tarafından yapılmıştır. Geliştirilen çift eksenli güneş takip sistemi PLC ile kontrol edilmektedir. Sistemde sensör kullanılmayıp güneşin konumu matematiksel olarak hesaplanmaktadır. Güneş takip

sistemi, PLC sisteminin durması durumunda bir açık döngü kontrol yöntemi ile çalıştırılmaktadır. Geliştirilen takip sistemi 32° eğime sahip bir sabit sistem ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 2.4'te görülmektedir. Buna göre, çift eksenli güneş takip sistemi %41,34'e kadar daha iyi performans göstermektedir.

Çizelge 2.4. Sabit sistem ve çift eksenli takip sisteminin performans karşılaştırılması (Abdallah ve Nijmeh 2004).

Tarih	İki Eksende Takip	Sabit Aç	Kazanç (%)
7.5.2001	41,266	27,746	48,73
10.5.2001	27,49	20,73	32,61
11.5.2001	34,534	23,661	45,95
12.5.2001	36,057	26,11	38,09
Ortalama	3,483675	2,456175	41,34

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Tez çalışmasında, sisli ve bulutlu havalarda güneşin konumunun hatasız tespit edilmesi için düşük maliyetli ekipman kullanılarak oluşturulan sensörsüz bir güneş takip cihazı geliştirilmiştir. Sistemde LDR kullanılmayarak, güneşin konumu matematiksel formüllerle anlık olarak hesaplanmaktadır. Böylelikle pirheliyometre cihazı güneş ışınımını anlık olarak ölçmektedir. Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de güneş takip cihazı üzerine monte edilen bir pirheliyometre görülmektedir.

3.1.1. Pirheliyometre ve Piranometre



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan güneş takip cihazı ve pirheliyometre.



Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan pirheliyometre.

Bu çalışmada 2 adet pirheliyometre (Kipp & Zonen, CHP1, Almanya) kullanılmıştır. Pirheliyometrelerden biri güneş takip cihazı üzerine monte edilirken diğer pirheliyometre el ile nişan alma yöntemi ile manuel olarak kullanılmıştır. CHP1 pirheliyometre atmosferik koşullar altında 25 mV çıkışa sahiptir ve 12 bit analog girişli bir veri kaydedici kullanılmaktadır. $7-14 \mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$ hassasiyetle ölçüm yapılmaktadır. 200-4000 nm özel aralığı bulunmaktadır. Güç kaynağına ihtiyaç duyulmamaktadır. CHP1 pirheliyometre ile doğrudan güneş ışınımı ölçülmektedir. Şekil 3.3'te pirheliyometrenin ebatları detaylı olarak görülmektedir.



Şekil 3.3. Pirheliyometre ebatları (Anonim 2020c).

Piranometreler toplam ve düfuz ışınımının ölçülmesi için kullanılmaktadır. Bu çalışmada pirheliyometreden elde edilen veriler bir piranometreden (Kipp & Zonen, CM11, Almanya) alınan verilerle de karşılaştırılarak ölçümlerin doğruluğu kontrol edilmiştir. Şekil 3.4'te gösterilen piranometre camının altında konumlandırılmış 100 çift ısı sensörden oluşmaktadır. $4-6 \mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$ hassasiyetle ölçüm yapmaktadır. Cihazın 310-2800 nm özel

aralığı bulunmaktadır. RS232 seri arayüzü sayesinde ölçülen değerler anlık olarak bir bilgisayara aktarılmaktadır (Anonim 2020c). Şekil 3.4'te görülen piranometre cihazı ile güneş takip sisteminin çalıştığı süre boyunca sürekli olarak ışıınım ölçümü yapılmıştır. Bu sayede toplam ışıınım değeri anlık olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3.4. Piranometre cihazı (Anonim 2020c).

Şekil 3.5'te çalışmada kullanılan güneş takip sistemine ilişkin piranometre cihazı görülmektedir.



Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan güneş takip sistemine ilişkin piranometre cihazı.

3.1.2.Motorlar

Geliştirilen güneş takip sisteminin yatay ve dikey ekseninde hareket etmesi için Şekil 3.6’da gösterilen 2 adet 23LM-C 1,8° HYBRID 2,5 V step motor (Minebea, Miniangle stepper, Tayland) kullanılmıştır.

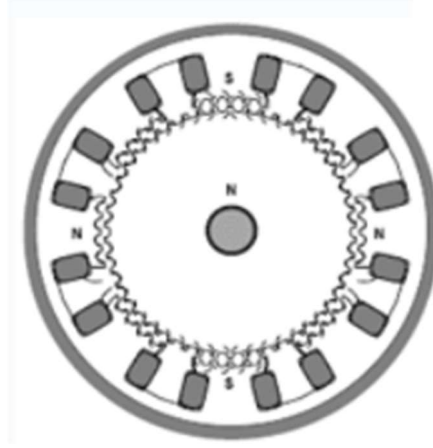


Şekil 3.6. Güneş takip sisteminde kullanılan step motor.

Kullanılan motorların step yani adım açısı 1,8°dir ve artı-eksi %5 hata payı bulunmaktadır. Güneş takip sisteminin hareket açısı step hareketleri ile değiştirilmektedir. Step motorların hareket açıları 360° üzerinden hesaplanmaktadır. Step

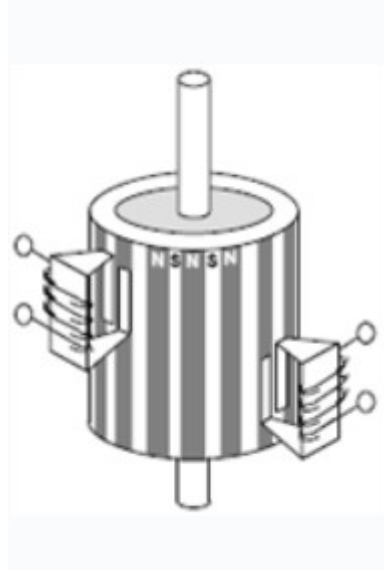
hareketleri motorun sürücü devresinden gelen sinyaller ile kontrol edilmektedir. Gelen sinyaller ile step sayısı, motorun dönüş yönü ve dönüş hızı değiştirilebilmektedir. Motor sürücü devresi, bir mikroişlemci veya bilgi işlem cihazından gelen sinyaller vasıtasıyla açık döngülü kontrol edilmektedir.

Step motor çeşitleri motorun iç yapısına bağlı olarak; iki fazlı, tek parçalı, çok parçalı, hibrit, lineer, sabit mıknatıslı ve değişken redüktanslı step motor olarak sınıflandırılmaktadır. Bu çalışmada hibrit step motor kullanılmıştır. Şekil 3.7’de hibrit step motor yapısı verilmektedir. Hibrit step motorların rotorlarında sabit mıknatıs bulunmaktadır. Hibrit step motor, sabit mıknatıslı step motor ve değişken redüktanslı step motorların çalışma prensiplerini içermektedir.



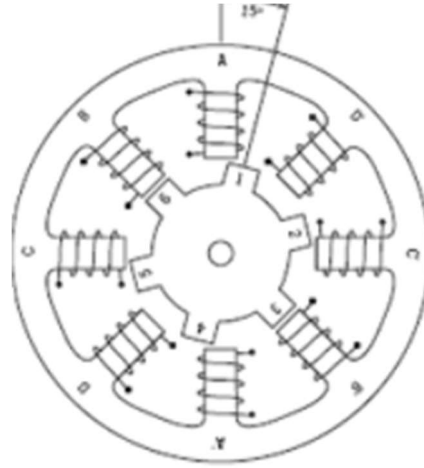
Şekil 3.7. Hibrit step motor yapısı (Anonim 2020d).

Şekil 3.8’de bir sabit mıknatıslı step motor yapısı görülmektedir. Sabit mıknatıslı step motorların rotor bölümünde sabit mıknatıslar yer almaktadır. N ve S kutupları rotor shaftına paralel olarak konumlandırılmıştır. Stator bobinlere uygulanan voltaj ve bobinlerden geçen akım yönüyle ilişkili olarak motorun dönüşü sağlanmaktadır.



Şekil 3.8. Sabit mıknatıslı step motor yapısı (Anonim 2020d).

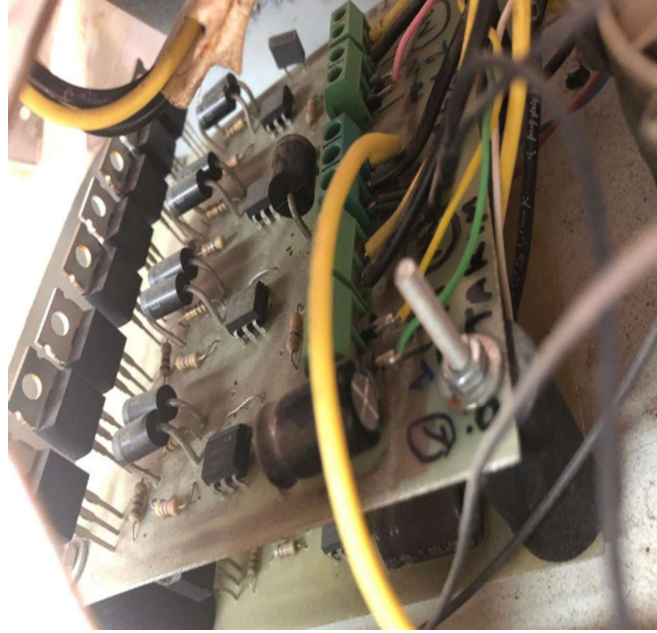
Değişken redüktanslı step motorların rotoru yumuşak demirden yapılmaktadır ve Şekil 3.9'da görüldüğü üzere rotor çevresinde silindir eksene paralel stator diş yapıları bulunmaktadır. Stator diş yapılarına DC akım verildiğinde kutuplar mıknatıslanarak rotor dişlerin stator diş yapıları tarafından çekilmesiyle istenen hareket gerçekleşmektedir.



Şekil 3.9. Değişken relüktanslı step motor yapısı (Anonim 2020d).

3.1.3.Motor Sürücü Devresi

Motor sürücü devreleri motorların hareket etmesini sağlayan kartlardır. Bir mikroişlemciden gelen hareket sinyali sürücü devreye ulaşır ve bu sayede step motorun istenen yönde istenen adım kadar hareket etmesi sağlanır. Geliştirilen güneş takip sistemine ilişkin step motorların çalıştırılması için el yapımı bir sürücü devre tasarlanmıştır. Kullanılan sürücü devreye ilişkin resimler Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de görülmektedir. Step motor sürücü devreleri genel olarak motorlara giden akımın düzenlenmesi ve sınırlandırılmasını sağlamamaktadırlar.



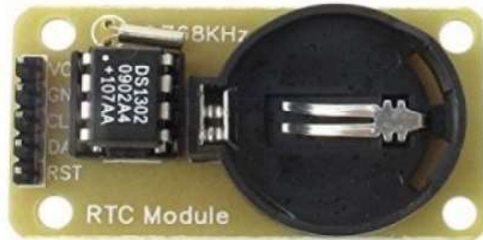
Şekil 3.10. Sistemde kullanılan sürücü devresi.



Şekil 3.11. Sistemde kullanılan sürücü devresi.

3.1.4.RTC Modülü

RTC modülü; yıl, gün saat, dakika ve saniye bilgilerini sürekli olarak içerisinde bulundurması sebebiyle zaman verilerinin okunması için kullanılmaktadır. Şekil 3.12’de kullanılan RTC modülü görülmektedir. Sistemde DS1302 RTC kullanılmıştır ve bir mikrodenetleyici (Arduino, UNO V3, İtalya) üzerine entegre edilmiştir. DS1302 RTC, zaman sapmalarının az olması sebebiyle tercih edilmektedir. Elektrik bulunmadığı durumlarda harici pil ile de çalışabilmektedir. Ayrıca sistem çalışmasa bile zaman bilgisini hafızasında tutabilmektedir.

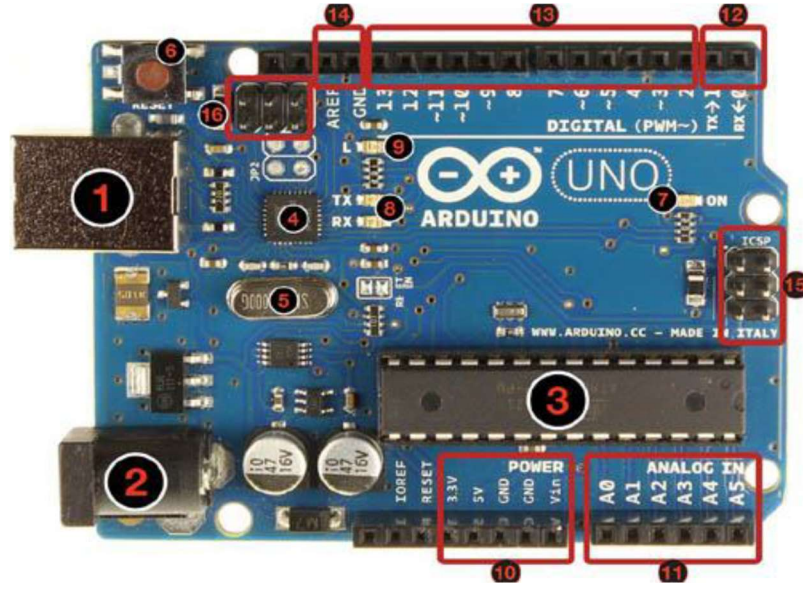


Şekil 3.12. DS1302 RTC modülü (Anonim 2020e).

3.1.5.Arduino Uno Mikrodenetleyici

Arduino, üzerinde mikrodenetleyici, mikrodenetleyicinin programlanmasını sağlayan entegreler, güç doğrultucu ve güç çıkışları barındıran bir giriş-çıkış kartıdır. Güneş takip sisteminde Arduino Uno kullanılmıştır. Arduino Uno üzerinde 14 adet dijital giriş-çıkış pini, 6 analog giriş ve bir USB girişi bulunmaktadır. Kartın 16 MHz kristal osilatörü, 2,1 mm güç girişi, ICSP başlığı ve reset pini vardır. Ayrıca kart, DC 7-12 V güç kaynağı ile bir bilgisayar bağlantısı veya harici güç kaynağı kullanılarak çalıştırılabilmektedir. Mikrodenetleyici kart ATmega328 işlemci kullanmaktadır.

Şekil 3.13 üzerinde Arduino Uno'ya ait temel kısımlar gösterilmektedir. Buna göre gösterilen numaralar aşağıda açıklanmaktadır. Şekil 3.14'te ise güneş takip sisteminde kullanılan mikroişlemci görülmektedir.



Şekil 3.13. Arduino Uno genel görünümü (Anonim 2020f).

1. USB girişi
2. Güç girişi
3. Mikrodenetleyici
4. Haberleşme kartı

5. Osilatör
6. Reset butonu
7. Güç ışığı
8. TX (1) / NX ışığı
9. Led
10. Güç pinleri
11. Analog girişler
12. TX (1) / RX (Serial 0) pinleri
13. Dijital giriş-çıkış pinleri
14. Ground ve AREF pinleri
15. Mikrodenetleyici için ICSP
16. USB için ICSP



Şekil 3.14. Güneş takip sisteminde kullanılan Arduino Uno.

3.1.6.25W5R6J Direnç

Güneş takip sisteminden geçen akımı sınırlayarak belli bir değerde tutmak amacıyla Şekil 3.15'te görülen 2 adet 25W5R6J direnç kullanılmıştır. Dirençler sayesinde hassas sistem motor sürücüleri ve RTC'nin yüksek akımdan zarar görmesi engellenmiştir. Bu dirençler üzerine gelen akımı belirli bir seviyede ileterek geri kalan akımı ısı enerjisine dönüştürmektedir. Sistemin beslenme gerilimi bölünüp küçültülerek Arduino çalıştırılmaktadır.

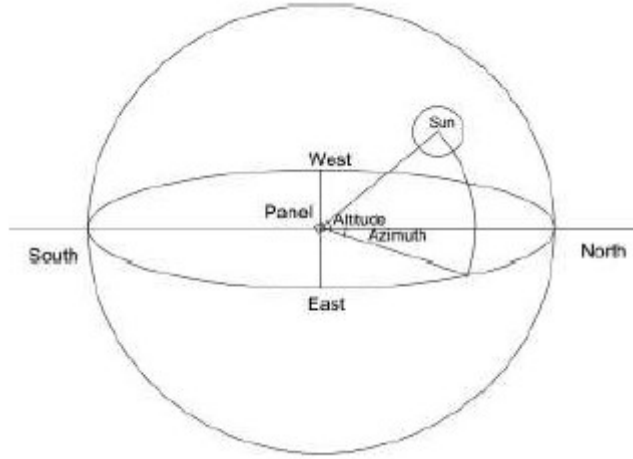


Şekil 3.15. Sistemde kullanılan 25W5R6J direnç.

3.2.Yöntem

3.2.1.Güneşin Konumunun Hesaplanması

Geliştirilen güneş takip sisteminde güneşin konum koordinatları LDR kullanılmadan matematiksel yöntemle hesaplanmıştır. Bu sayede sistem, güneşi anlık olarak takip etmiştir. Güneşin takip edilmesi için Şekil 3.16'da gösterilen azimut (azimuth) ve elevasyon (altitude) açıların hesaplanmasına ihtiyaç vardır.



Şekil 3.16. Güneş açıları (Karim ve ark. 2014).

Güneşin konumunun hesaplanması için yüzey azimut açısı kullanılmaktadır (Kaçan ve Ülgen 2012). Bu açı, -180 ve +180 derece arasında değişerek güneş takip sisteminin doğu-batı yönünde yani yatay ekseninde hareket etmesini sağlamaktadır. Elevasyon açısı ise güneş takip sisteminin kuzey-güney yani dikey ekseninde hareket etmesini sağlayan yükseklik açısıdır. Azimut açısı eşitlik 1, elevasyon açısı ise eşitlik 2 ile hesaplanmaktadır (Karim ve ark. 2014).

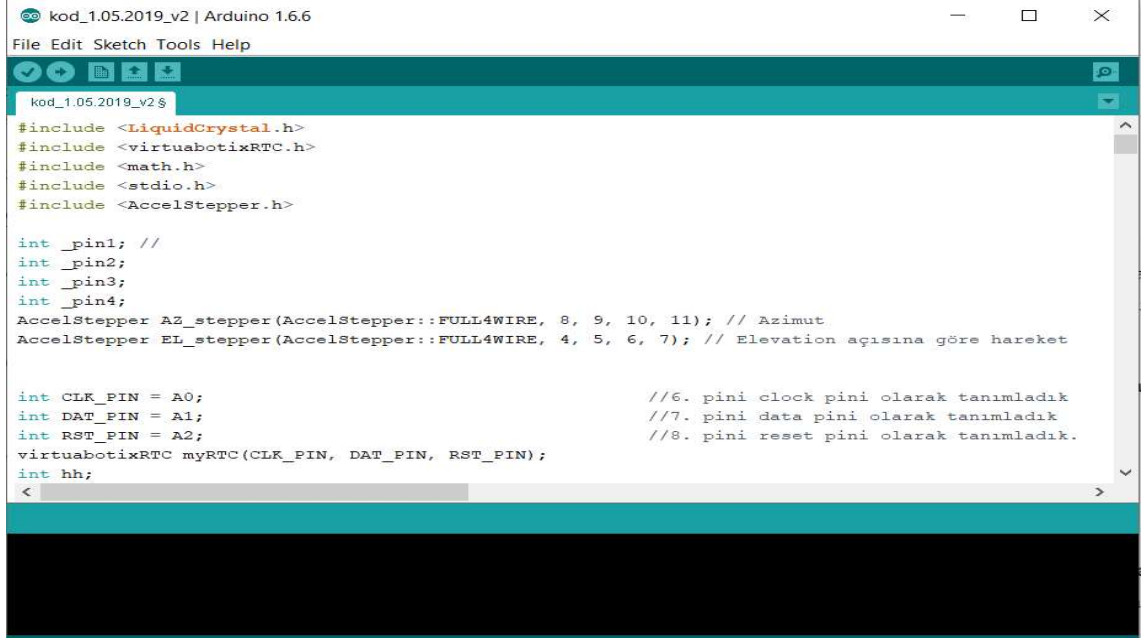
$$\psi = 180 + a \sin\left(\frac{-\sin \omega \cos \delta}{\cos \alpha}\right) \quad (3.1)$$

$$\alpha = a \sin(\sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega) \quad (3.2)$$

Burada φ enlem açısını, δ deklinasyon açısını, ω saat açısını, α elevasyon açısını, ψ ise azimut açısını temsil etmektedir (Karim ve ark. 2014).

3.2.2. Arduino IDE

Arduino IDE programı ile güneş takip sisteminin çalışmasını sağlayan kodlar yazılıp derlenerek Şekil 3.17 ve Şekil 3.18’de gösterilen bir arayüz aracılığıyla Arduino kartı içerisine yüklenmiştir. Güneşin konumu anlık olarak bu aşamada matematiksel olarak hesaplanarak motorların birinin azimut açısına, diğerinin ise elevasyon açısına yönelmesi sağlanmıştır.



```
kod_1.05.2019_v2 | Arduino 1.6.6
File Edit Sketch Tools Help
kod_1.05.2019_v2 $
#include <LiquidCrystal.h>
#include <virtuabotixRTC.h>
#include <math.h>
#include <stdio.h>
#include <AccelStepper.h>

int _pin1; //
int _pin2;
int _pin3;
int _pin4;
AccelStepper AZ_stepper(AccelStepper::FULL4WIRE, 8, 9, 10, 11); // Azimut
AccelStepper EL_stepper(AccelStepper::FULL4WIRE, 4, 5, 6, 7); // Elevation açısına göre hareket

int CLK_PIN = A0; //6. pini clock pini olarak tanımladık
int DAT_PIN = A1; //7. pini data pini olarak tanımladık
int RST_PIN = A2; //8. pini reset pini olarak tanımladık.
virtuabotixRTC myRTC(CLK_PIN, DAT_PIN, RST_PIN);
int hh;
```

Şekil 3.17. Arduino IDE arayüzü.

Arduino IDE üzerinden öncelikle pinler ve sabit değerler tanımlanmıştır. Güneş takip sistemi 28,8606 boylam ve 40,2309 enlem konumunda (Bursa-Türkiye) çalıştırılmıştır. Sonrasında ise azimut ve yükseklik açılarına ilişkin formüller esas alınarak ilgili açılar hesaplanmış ve step sayısına dönüştürülerek motorların hareket etmesi sağlanmıştır. Step motorların her 10 dakikada bir hareket etmesi tasarlanmıştır.


```
File Edit Sketch Tools Help
k0d_1.05.2019_v2$
int EL_SWITCH = 2; // Elevation 0 açısına getirmeyi sağlayacak switch den alınacak input un bağlantı pi
// ***NEW*** ***NEW*** ***NEW***

double pi=3.14159265359;
double RADYAN = (2*pi)/360;
double DERECE = 360/(2*pi);
double TIME = (hh*(60*60)+mm*60+ss)/(24*60*60);
int TIME_ZONE = 3;
double LONGITUDE = 28.8606;
double LATITUDE = 40.2309;
double UT, JD, JC, GEOM_1,geomi, GEOM_2, SUN_EQ_CTR, SUN_TRUE_LONG, SUN_APP_LONG, DECLINATION, EQ_TIME,

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(4, OUTPUT);
  pinMode(5, OUTPUT);
  pinMode(6, OUTPUT);
  pinMode(7, OUTPUT);
  pinMode(8, OUTPUT);
  pinMode(9, OUTPUT);
  pinMode(10, OUTPUT);
  pinMode(11, OUTPUT);

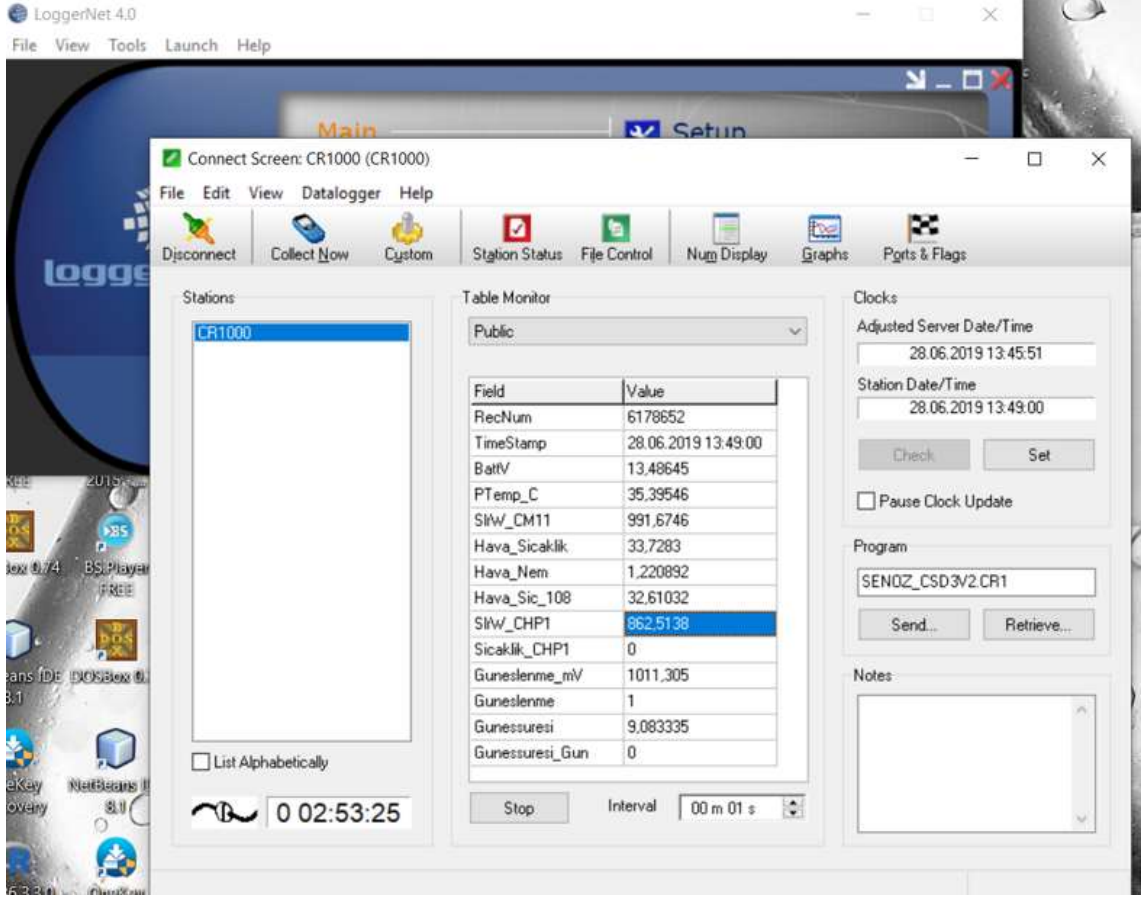
  // ***NEW*** ***NEW*** ***NEW***
  pinMode(AZ_SWITCH, INPUT); // AZİMUTH VE
  pinMode(EL_SWITCH, INPUT); // ELEVATION İÇİN SWITCH INPUT

  AZ_stepper.setMaxSpeed(500.0);
  EL_stepper.setMaxSpeed(500.0);
  AZ_stepper.setSpeed(500.0);
  EL_stepper.setSpeed(500.0);
  AZ_stepper.setAcceleration(100);
  EL_stepper.setAcceleration(100);
  // AZ stepper.move(1000); // Bir önceki konumdan kaç step ileri ya da geri gideceğini motora ilet ve d
< >
```

Şekil 3.18. Arduino IDE arayüzü.

3.2.3. LoggerNet

LoggerNet pırheliyometre ve pıranometreden alınan değerlerin gösterilmesini sağlayan bir arayüzdür. Güneş takip sistemi üzerine yerleştirilen pırheliyometre, genel ışınım ölçen pıranometre ve manuel olarak el ile nişan alma yöntemi ile ölçüm yapılan pırheliyometre cihazlarından alınan ışınım değerleri LoggerNet arayüzü ile görüntülenmiştir. Şekil 3.19’da 28.06.2019 tarihinde pırheliyometreden ve pıranometreden alınan ışınım verilerine ait değerlerin okunduğu LoggerNet arayüzü görülmektedir.



Şekil 3.19. LoggerNet arayüzü ekran görüntüsü.

S1rW_CHP değeri pirheliyometreden alınan değeri, S1rW_CM11 değeri ise piranometre cihazından alınan değeri göstermektedir. İki değerin de birbirine yakın olması, güneş takip sisteminin doğru çalıştığı anlamına gelmektedir.

3.2.4. Matlab ve Excel

Elde edilen ışınım verilerinin analiz edilmesi için Matlab ve Excel programı kullanılmıştır. MATLAB (Mathworks, R2015a, CA ABD) bir hesaplama yazılımı ve buna ilişkin programlama dilidir. Veriler, bir güneş takip algoritması ile güneşin konumunun tespit edilerek otomatik bir güneş takip cihazı ile yapılan ölçüm ve el ile nişan alma yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen manuel ölçüm olarak ikiye ayrılmıştır. Güneş takip sistemi ile yapılan ışınım ölçüm değerlerinin manuel ölçümle elde edilen değerlere oranlarının karakteristik olarak incelemesi ve hata paylarının hesaplanması Matlab ve Excel üzerinde MPE, MAPE, RMSE hata terimi ve R^2 determinasyon katsayısı

başlıkları altında değerlendirilmiştir. Tüm bu istatistiksel doğruluk testlerinde R^2 hariç, elde edilen değer ne kadar küçükse model performansının değerle orantılı olarak daha iyi olduğu kabul edilmektedir (Elagib ve ark.1999). MPE, MAPE, RMSE hata terimlerinin ideal değerleri sıfırdır (Arslanoğlu 2016).

MPE ifadesinin açılımı ortalama yüzde hatadır. Bir makinenin gerçek değerleri ile ölçtüğü değerler arasındaki farkın ortalama yüzdesidir. MPE, daha basit hata bulma işlemlerinde kullanılmaktadır. MPE değeri hesaplanırken hatalarının mutlak değerlerinden ziyade gerçek değerleri kullanıldığı için, pozitif ve negatif tahmin hataları birbirini sıfırlama işlemi göreceğinden MPE değeri önyargı ölçüsü olarak kullanılmıştır. Bu ölçütün bir dezavantajı ise gerçek değerlerin sıfır olması durumunda hata oranı bulunamamasıdır. MPE hata terimi eşitlik 3.3 (Arslanoğlu 2016) ile hesaplanmaktadır.

$$MPE = \frac{100}{n} \sum_j^n \frac{e_j}{A_j} \quad (3.3)$$

MAPE ifadesinin açılımı ortalama mutlak yüzde hatadır. Regresyon modellerinde tahminlerin doğruluğunu tespit etmek için kullanılan hata değeri ölçme yöntemidir. MAPE değeri ile elde edilen hata değerinin; %10'dan küçük olması durumunda yüksek doğrulukta tahmin yapıldığı, %10-20 olması durumunda iyi seviyede tahmin yapıldığı, %20-50 olması durumunda kabul edilebilir düzeyde olduğu ve %50'den büyük olması durumunda ise tahminin doğru olmadığı varsayılmaktadır (Moreno ve ark. 2013). Gerçek değerler arasında sıfır mevcut ise, matematiğin sıfıra bölünmeme kuralından MAPE sonucu hesaplanamamaktadır. Çok düşük verimli ölçüm sonuçları için yüzde hatası %100 den fazla olamamaktadır. Ancak yüksek verimli ölçüm sonuçları olduğunda yüzde hatasının üst sınırı yoktur. MAPE hata terimi eşitlik 3.4 ile hesaplanmaktadır (Arslanoğlu 2016).

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{e_t}{y_t} \right| \quad (3.4)$$

RMSE açılımını karekök ortalama hatadır. Güneş takip sistemi üzerindeki pirheliyometre cihazından elde edilen ölçüm değerleri ve el ile nişan alma yöntemi yani manuel ölçüm yapılan pirheliyometreden elde edilen değerlerin arasındaki uzaklığın bulunmasına ve hatanın büyüklüğünün öğrenilmesine imkân veren kuadratik bir metriktir. RMSE beklenen gerçek değerlerin cihazın ölçtüğüne olan hataların (kalıntıların) standart sapmasını göstermektedir. Kalıntılar, regresyon hattının veri noktalarından ne kadar uzakta olduğunun ifadesidir. RMSE, bu kalıntıların ne şekilde dağıldığının göstergesidir. Başka bir ifadeyle, verilere en ideal çizgi etrafında o verilerin yoğunluğunu göstermektedir. Elde edilen RMSE değeri sıfır ile sonsuz arasında değişmektedir. RMSE sıfıra ne kadar yakınsa hatanın o kadar az olduğu kabul edilmektedir. RMSE ayrıca matematiksel hesaplamada kullanılmak istenmeyen mutlak değer kullanıldığını da ortadan kaldırmaktadır. RMSE hata terimi eşitlik 3.5 ile hesaplanmaktadır (Arslanoğlu 2016).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^2} \quad (3.5)$$

R^2 determinasyon katsayısı ile deneysel verilerin doğrusal eğriye olan uyumu tespit edilmektedir. R^2 değeri 1'e ne kadar yakınsa verilerin doğrusal eğriye yakın olduğu kabul edilmektedir (Elagib ve ark.1999). R^2 determinasyon kat sayısı eşitlik 3.6 ile hesaplanmaktadır (Arslanoğlu 2016).

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{ERR}}{SS_{TOT}} = 1 - \frac{\sum_i (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2} \quad (3.6)$$

R^2 determinasyon katsayısı hesaplama eşitliği yorumlandığında SSTotal hatasının sapması düşükse sonucun doğruluğunun daha yüksek çıkacağı anlaşılmaktadır. SSError hatasının sapması düşük ve bulunan SSTotal hatasının sapması yüksekse yapılan ölçümün verimsiz olduğu anlamına gelmektedir. Bunun tam tersi bir durum olan SSError hatasının sapması yüksek ve bulunan SSTotal hatasının sapması düşük ise bu iyi bir verimde olduğu anlamına gelmektedir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Güneş takip sistemi üzerindeki pirheliyometre cihazı ve manuel olarak ölçüm yapılan pirheliyometre cihazından altı gün boyunca elde edilen veriler Matlab ve Excel ortamında hesaplamalara tabi tutulmuştur.

Gözlem yapılan her güne ait MPE, MAPE, RMSE değerlerinin ve R^2 determinasyon katsayısının MATLAB ortamında analizi aşağıdaki Matlab kodu ile yapılmıştır;

```
% predictions: makineden ölçülen değerler dizisi
```

```
% manuel: manuel hesaplanan değerler dizisi
```

```
mdl = fitlm (predictions, manuel);
```

```
r2 = mdl.Rsquared.Ordinary;
```

```
rmse = sqrt (mean ((predictions- manuel). ^2));
```

```
mape = mean ((abs (predictions- manuel)). /manuel);
```

Excel ortamında gerçekleşen analiz ve elde edilen sonuçlar ise aşağıda detaylandırılmaktadır. Çizelge 4.1’de görüldüğü üzere, 23.06.2019 tarihinde elde edilen manuel ölçüm yöntemi kullanılan pirheliyometre ve güneş takip algoritması ile çalışan güneş takip cihazının üzerindeki bir pirheliyometreden alınan ölçüm değerleri kullanılarak MPE hata terimi hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1. 23.06.2019 tarihinde elde edilen verilerin MPE değeri

No	Manuel Ölçüm Verisi	Güneş Takip Sistemi Ölçüm Verisi	İşlem1	Fark Değeri = (Güneş Takip Sistemi Ölçüm Verisi - Manuel Ölçüm Verisi)	İşlem2	Fark Değeri/ Güneş Takip Sistemi Ölçüm Verisi
1	203,866	197,7684	<=>	6,0973	<=>	0,02991
2	335,011	315,07	<=>	19,9414	<=>	0,05952
3	338,733	317,4497	<=>	21,2828	<=>	0,06283
4	430,203	460,2764	<=>	-30,0731	<=>	-0,06990
5	704,095	630,7433	<=>	73,3512	<=>	0,10418
6	710,847	703,7947	<=>	7,0518	<=>	0,00992
7	756,551	807,0962	<=>	-50,5455	<=>	-0,06681
8	738,9	744,1908	<=>	-5,2904	<=>	-0,00716
9	746,392	784,43	<=>	-38,0377	<=>	-0,05096
10	668,131	703,0691	<=>	-34,9377	<=>	-0,05229
11	607,984	569,4371	<=>	38,547	<=>	0,06340
12	602,152	568,6193	<=>	33,5325	<=>	0,05569
13	566,193	350,9925	<=>	215,2002	<=>	0,38008
14	744,348	737,6377	<=>	6,7099	<=>	0,00901
15	778,257	810,2422	<=>	-31,9852	<=>	-0,04110
16	770,984	761,8877	<=>	9,0966	<=>	0,01180
17	763,392	717,8936	<=>	45,4987	<=>	0,05960
18	785,992	832,4767	<=>	-46,4848	<=>	-0,05914
	MPE DEĞERİ (Fark Değeri/ Güneş Takip Sistemi Ölçüm Verisi değerlerinin ortalamasıdır.)					0,0277

Tüm değerler için manuel ölçüm verileri ile güneş takip sistemi vasıtasıyla elde edilen ölçüm verileri arasındaki fark alınmaktadır. Çalışmada MPE için hesaplanan değerler negatif veya pozitif olarak elde edilmiştir. Bu durum, MPE yönteminin hata oranını bulmadaki bir dezavantajdır. Fark değerler, güneş takip sistemi vasıtasıyla alınan ölçüm verilerine bölünmektedir. Burada yapılan işlem ile; güneş takip sistemi üzerindeki pirheliyometreden alınan ölçüm değeri ve diğer pirheliyometreye ilişkin manuel ölçüm değerinin birbirine olan hata oranı bulunmuştur. Örneğin Çizelge 4.1 birinci satırda %3 pozitif değer oranı, yedinci satırda ise %6 negatif değer oranı ile ölçüm yapıldığı görülmektedir. Bu değerlerin ortalaması, MPE hata terimini vermektedir. Bu ortalama değer 0,0277 olarak hesaplanmıştır. Böylelikle, güneş takip sistemi vasıtasıyla gerçekleşen ölçümde yaklaşık %3 lük hata terimi elde edilmiştir. Negatif hata oranı

değerleri pozitif hata oran değerlerini nötrlemektedir. Ancak, hata oran değerlerinin birbirini işlemde etkisiz kılmaması gerekmektedir. Bu yüzden değerlerin birbirini etkisiz kılmaması için hepsinin MAPE hata terimi yani hataların mutlak değerleri alınmaktadır. Dolayısıyla verilerin arasındaki farkın mutlak değeri alınarak, eksi hataların pozitif yapılmasıyla hata kaybı engellenmektedir. Sonrasında ise bahsedilen mutlak değer sonuçlarını güneş takip sistemi ölçüm verilerine bölerek ortalaması alınmaktadır. Çizelge 4.2'de gösterilen MAPE değeri, yüzde olarak sonuç verdiği için kullanışlı bir yöntemdir.

Çizelge 4.2. 23.06.2019 tarihinde elde edilen verilerin MAPE değeri

No	Manuel Ölçüm Verisi	Güneş Takip Sistemi Ölçüm Verisi	İşlem1	Mutlak Fark Değeri = (Güneş Takip Sistemi Ölçüm Verisi - Manuel Ölçüm Verisi)	İşlem2	Mutlak Fark Değeri/ Güneş Takip Sistemi Ölçüm Verisi
1	203,866	197,7684	<=>	6,0973	<=>	0,0299
2	335,011	315,07	<=>	19,9414	<=>	0,0595
3	338,733	317,4497	<=>	21,2828	<=>	0,0628
4	430,203	460,2764	<=>	30,0731	<=>	0,0699
5	704,095	630,7433	<=>	73,3512	<=>	0,1042
6	710,847	703,7947	<=>	7,0518	<=>	0,0099
7	756,551	807,0962	<=>	50,5455	<=>	0,0668
8	738,9	744,1908	<=>	5,2904	<=>	0,0072
9	746,392	784,43	<=>	38,0377	<=>	0,0510
10	668,131	703,0691	<=>	34,9377	<=>	0,0523
11	607,984	569,4371	<=>	38,547	<=>	0,0634
12	602,152	568,6193	<=>	33,5325	<=>	0,0557
13	566,193	350,9925	<=>	215,2002	<=>	0,3801
14	744,348	737,6377	<=>	6,7099	<=>	0,0090
15	778,257	810,2422	<=>	31,9852	<=>	0,0411
16	770,984	761,8877	<=>	9,0966	<=>	0,0118
17	763,392	717,8936	<=>	45,4987	<=>	0,0596
18	785,992	832,4767	<=>	46,4848	<=>	0,0591
MAPE DEĞERİ (Fark Değeri/ Güneş Takip Sistemi Ölçüm Verisi değerlerinin ortalamasıdır.) =						0,0663

Çalışmada incelenen bir diğer performans ölçütü ise RMSE değeridir. MPE değerindeki gerçek hataları görmek için mutlak değer alınıp, hata oran değerlerinin birbirini işlemde etkisiz kılmaması sağlanarak MAPE değeri tespit edilmiştir. RMSE değerini hesaplamak için, mutlak değer dışındaki değerlerin kareleri alınmaktadır. Karelerinin alınmasının avantajı, ufak bir hatanın büyük bir değere dönüşerek belirginleşmesidir. Örneğin; 3 birim olan bir hata, karesi alındığında 9 birim olarak büyük bir oran oluşmaktadır. Böylelikle hataya karşı RMSE değeri ile birlikte daha duyarlı bir bulgu elde edilmektedir. RMSE değeri hesaplanırken manuel ölçüm sonucu elde edilen değerler ile güneş takip sistemi vasıtasıyla elde edilen ölçüm değerleri arasındaki farkın karesi alınmıştır. Çizelge 4.3'te birinci satırdaki RMSE fark değeri ile Çizelge 4.1'de birinci satırdaki MPE fark değeri ile karşılaştırıldığında, 6,08 birimlik bir fark varken bu değerın karesi alındığında 37 birimlik bir farka neden olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.3. 23.06.2019 tarihinde elde edilen verilerin RMSE değeri

No	Manuel Ölçüm Verisi	Güneş Takip Sistemi Ölçüm Verisi	İşlem1	Fark Değeri = (Güneş Takip Sistemi Ölçüm Verisi - Manuel Ölçüm Verisi)	İşlem2	Fark Değerinin Karesi
1	203,866	197,7684	<=>	6,0973	<=>	37,1771
2	335,011	315,07	<=>	19,9414	<=>	397,6594
3	338,733	317,4497	<=>	21,2828	<=>	452,9576
4	430,203	460,2764	<=>	-30,0731	<=>	904,3913
5	704,095	630,7433	<=>	73,3512	<=>	5380,3985
6	710,847	703,7947	<=>	7,0518	<=>	49,7279
7	756,551	807,0962	<=>	-50,5455	<=>	2554,8476
8	738,9	744,1908	<=>	-5,2904	<=>	27,9883
9	746,392	784,43	<=>	-38,0377	<=>	1446,8666
10	668,131	703,0691	<=>	-34,9377	<=>	1220,6429
11	607,984	569,4371	<=>	38,547	<=>	1485,8712
12	602,152	568,6193	<=>	33,5325	<=>	1124,4286
13	566,193	350,9925	<=>	215,2002	<=>	46311,1261
14	744,348	737,6377	<=>	6,7099	<=>	45,0228
15	778,257	810,2422	<=>	-31,9852	<=>	1023,0530
16	770,984	761,8877	<=>	9,0966	<=>	82,7481
17	763,392	717,8936	<=>	45,4987	<=>	2070,1317
18	785,992	832,4767	<=>	-46,4848	<=>	2160,8366
Fark Değerlerinin Ortalaması						3709,7709
Fark Değerlerinin Ortalamasının Karekökü						60,9079

Çizelge 4.3'te fark değerlerinin karelerinin ortalamaları alınıp, elde edilen sonucun karekökü alındığında ortalama olarak veri başına 60 birimlik hata yapılmış olduğu görülmektedir. Burada, RMSE değeri 60 birim hata olarak bulunmuştur. 23.06.2019 tarihinde gerçekleştirilen ölçümler sonucunda elde edilen verilerin değer aralığı 0 ile 832 arasındadır. Bu sebeple tespit edilen 60 birimlik RMSE değeri kabul edilebilir düzeydedir. Tahmin sisteminin genel başarısı ise R^2 değeri ile ortaya konulmuştur. Çizelge 4.4'te 23.06.2019 tarihinde elde edilen verilerin R^2 determinasyon katsayısı görülmektedir.

Çizelge 4.4. 23.06.2019 tarihinde elde edilen verilerin R^2 değeri

No	Manuel Ölçüm Verisi	Güneş Takip Sistemi Ölçüm Verisi	İşlem1	X=Manuel Değerlerin Ortalaması-Manuel Değer	İşlem2	Fark Değerinin Karesi
1	203,866	197,7684	<=>	177449,1193	<=>	37,1771
2	335,011	315,07	<=>	84158,82228	<=>	397,6594
3	338,733	317,4497	<=>	82013,67623	<=>	452,9576
4	430,203	460,2764	<=>	37989,71319	<=>	904,3913
5	704,095	630,7433	<=>	6238,108935	<=>	5380,3985
6	710,847	703,7947	<=>	7350,267316	<=>	49,7279
7	756,551	807,0962	<=>	17275,92156	<=>	2554,8476
8	738,9	744,1908	<=>	12947,61791	<=>	27,9883
9	746,392	784,43	<=>	14708,71712	<=>	1446,8666
10	668,131	703,0691	<=>	1850,599946	<=>	1220,6429
11	607,984	569,4371	<=>	293,3923637	<=>	1485,8712
12	602,152	568,6193	<=>	527,207521	<=>	1124,4286
13	566,193	350,9925	<=>	3471,578184	<=>	46311,1261
14	744,348	737,6377	<=>	14216,93753	<=>	45,0228
15	778,257	810,2422	<=>	23453,14599	<=>	1023,0530
16	770,984	761,8877	<=>	21278,49451	<=>	82,7481
17	763,392	717,8936	<=>	19121,22012	<=>	2070,1317
18	785,992	832,4767	<=>	25882,08482	<=>	2160,8366
X=Manuel Değerlerin Ortalaması-Manuel Değer				550226,6248		
				Fark Değerleri Karesi Toplamı	=	66775,8753
Manuel Değerlerin Ortalaması				625,1128		
SSError				550226,6248		
SSTotal				66775,8753		
R^2				0,9096		

Çizelge 4.4'te gösterilen 66775,8753 olarak bulunan SSTotal değerini hesaplamak için öncelikle güneş takip sistemi vasıtasıyla elde edilen ölçüm değerlerinin ortalaması bulunmuştur. Daha sonra, güneş takip sistemi vasıtasıyla elde edilen ölçüm değerleri ile ortalama değerinin farklarının karesi alınarak hesaplanmıştır. Karesinin alınmasının sebebi pozitif ve negatif değerlerin birbirlerini götürmemesinin istenmesidir. Bu nedenle kareleri alınarak tüm değerlerin toplamı bulunmaktadır. 550226,6248 olarak bulunan SSError hata sapmasının değeri ise güneş takip sistemi vasıtasıyla elde edilen ölçüm değerleri ve manuel ölçüm değerlerinin farklarının karesi alınarak, tüm değerlerinin toplamından oluşmaktadır. Bu değerleri elde ettikten sonra R^2 değeri hesaplanmıştır. R^2 değerinin 0 ile 1 arasında olması beklenmektedir. Farklı bir değer çıkması durumunda verimin çok düşük ya da sapmalara sebep olacak değerler olabileceği düşünülmektedir.


İlk ölçüm günü olan 21.06.2019 tarihinde havanın yoğun parçalı bulutlu olması sebebiyle güneşten istenilen değerde veri alınamamıştır. Ancak, Çizelge 4.5'te görüldüğü üzere belirli zaman aralıklarında alınan değerler neticesinde güneş takip sistemi ile alınan ölçüm verilerinin manuel ölçüm verilerine paralel olduğu ve verimli çalıştığı sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.5. 21.06.2019 tarihine ilişkin ölçüm verileri

Saat	Güneş Takip Sistemi Ölçüm Verisi	Manuel Ölçüm Verisi
Bilgi:	Tarih: 21.06.2019	Parçalı Bulutlu
11:40	4,0721	2,7003
11:55	2,0912	1,6778
12:15	18,1941	24,7458
12:25	294,2067	287,181
12:35	472,427	384,0033
12:45	558,758	549,0441
12:55	389,1561	254,3677
13:00	4,19353	5,033224

Ayrıca 21.06.2019 tarihinde elde edilen verilere ilişkin MPE, MAPE, RMSE hata değerleri ve R^2 determinasyon katsayısının Şekil 4.1’ de Matlab ortamında ve Çizelge 4.6’da ise Excel ortamında hesaplanma aşamaları görülmektedir.

```
1 % predictions: makineden ölçülen değerler dizisi
2 % manuel: manuel hesaplanan değerler dizisi
3
4 predictions = [4.0721;2.0912;18.1941;294.2067;472.427;558.758;389.1561;4.19353];
5 manuel= [2.7003;1.6778;24.7458;287.181;384.0033;549.0441;254.3677;5.033224];
6 mdl = fitlm(predictions, manuel);
7 r2 = mdl.Rsquared.Ordinary;
8 rmse = sqrt(mean((predictions - manuel).^2));
9 mape = mean((abs(predictions - manuel) ./manuel));
10 plot(mdl);
11
```



Name	Value
manuel	[2.7003;1.6778;24.745...
mape	0.2485
mdl	1x1 LinearModel
predictions	[4.0721;2.0912;18.194...
r2	0.9589
rmse	57.2015

Şekil 4.1. 21.06.2019 tarihinde elde edilen verilere ilişkin Matlab analiz sonuçları.

Çizelge 4.6. 21.06.2019 tarihine ilişkin Excel analiz verileri

No	Manuel Ölçüm	Takip Sistemi (Güneş Takip Sistemi Ölçüm Verisi)	Fark Değeri = (Takip Sistemi Değeri- Manuel Değer)	Fark Değeri/ Takip Sistemi Değeri	Mutlak Fark Değeri/ Takip Sistemi Değeri	Fark Değerinin Karesi	Manuel Ölçüm Değerlerin Ortalaması- Manuel Değer
1	4,0721	2,7003	1,3718	0,02991	0,5080	1,8818	45716,9573 9
2	2,0912	1,6778	0,4134	0,05952	0,2464	0,1709	46567,9746
3	18,1941	24,7458	-6,5517	0,06283	0,2648	42,9248	39877,3906
4	294,2067	287,1810	7,0257	-0,06990	0,0245	49,3605	5824,64452
5	472,4270	384,0033	88,4237	0,10418	0,2303	7818,7507	64790,4378 8
6	558,7580	549,0441	9,7139	0,00992	0,0177	94,3599	116192,806
7	389,1561	254,3677	134,7884	-0,06681	0,5299	18167,912 8	29332,9877 2
8	4,1935	5,0332	-0,839694	-0,00716	0,1668	0,7051	45665,0449 7
MPE DEĞERİ ((Fark Değeri/Takip Sistemi Değeri) verilerinin ortalamasıdır.)							0,0153
MAPE DEĞERİ ((Fark Değeri/ Takip Sistemi Değeri) verilerinin ortalamasıdır)							0,2485
Fark Değerlerinin Karesinin Ortalaması							3272,0083
RMSE DEĞERİ (Fark Değerlerinin Karesinin Ortalamasının Karekökü)							57,2015
Fark Değerleri Karesi Toplamı							26176,0664
"Manuel Değerlerin Ortalaması-Manuel Değer" Toplamı							393968,243 7
Manuel Değerlerin Ortalaması							217,8873
SSError							393968,243 7
SSTotal							26176,0664
R²							0,9589

Çizelge 4.6’da MPE hata değeri 0,0153 bulunmuştur. Yani %2’lik bir hata ile MPE yöntemine göre güneş takip sistemi üzerindeki piheliyometrenin ölçüm yaptığı tespit edilmiştir.

MAPE hata değeri ise 0,2485 olarak bulunmuştur. %25’lik bir hata ile MAPE yöntemine göre güneş takip sistemi üzerindeki piheliyometrenin ölçüm yaptığı sonucuna varılmıştır. Değerin büyüklüğü ölçüm saatlerinde hava durumundaki değişkenliklerin ölçüm değerleri üzerinde oluşturduğu aşırı sapmalardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bu değer %20-50 arasında olması sebebiyle kabul edilebilir düzeyde makul tahmin sınıfındadır (Moreno ve ark. 2013).

RMSE değeri izelge 4.6'da görüldüğü üzere 57,2015 bulunmuştur. Yani 57 birimlik bir hata ile RMSE yöntemine göre güneş takip sistemi üzerindeki pirheliyometrenin ölçüm yaptığı tespit edilmiştir. Değer aralığına bakıldığında 1 ile 560 birimlik bir alanda hesap yapıldığı göz önüne alınırsa 57 birimlik bir hatanın çok büyük bir fark olmadığı görülmektedir.

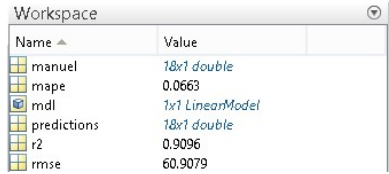
Bu denemeye ilişkin R^2 determinasyon katsayısı ise 0,9589 olarak bulunmuştur. 1'e çok yakın olması sebebiyle güneş takip sistemi üzerindeki pirheliyometrenin başarılı ölçüm yaptığı sonucuna varılabilir.

İkinci lm günü az parçalı bulutlu olup güneşten istenilen değerde veri alınarak gözlem yapılmıştır. Belirli zaman aralıklarında alınan değerler bulut etkisi ile düşüp yükselmiş, ancak güneş takip sistemi üzerindeki pirheliyometreden elde edilen verilerin el ile nişan alma yöntemi kullanılan manuel ölçüm verilerine paralel devam ettiği ve verimli çalıştığı grlmştir. Çizelge 4.7'de 23.06.2019 tarihine ilişkin ölçüm verileri ve Şekil 4.2'de Matlab ortamında hesaplanan MPE, MAPE, RMSE hata değerleri ile R^2 determinasyon katsayısı analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.7. 23.06.2019 tarihine ilişkin ölçüm verileri

Saat	Güneş Takip Sistemi Ölçüm Verisi	Manuel Ölçüm Verisi
Bilgi:	23.06.2019	Parçalı Bulutlu
10:07	203,8657	197,7684
10:16	335,0114	315,07
10:36	338,7325	317,4497
10:42	430,2033	460,2764
10:54	704,0945	630,7433
11:17	710,8465	703,7947
11:34	756,5507	807,0962
11:52	738,9004	744,1908
12:10	746,3923	784,43
12:30	668,1314	703,0691
12:48	607,9841	569,4371
13:06	602,1518	568,6193
13:24	566,1927	350,9925
13:42	744,3476	737,6377
14:00	778,257	810,2422
14:18	770,9843	761,8877
14:36	763,3923	717,8936
14:54	785,9919	832,4767

```
1 % predictions: makineden ölçülen değerler dizisi
2 % manuel: manuel hesaplanan değerler dizisi
3
4 - manuel = [203.8657;335.0114;338.7325;430.2033;704.0945;710.8465;756.5507;738.9004;746.3923;668.1314;607.9841;602.15
5 778.257;770.9843;763.3923;785.9919];
6 - predictions= [197.7684;315.07;317.4497;460.2764;630.7433;703.7947;807.0962;744.1908;784.43;703.0691;569.4371;568.61
7 810.2422;761.8877;717.8936;832.4767];
8 - mdl = fitlm(predictions, manuel );
9 - r2 = mdl.Rsquared.Ordinary;
10 - rmse = sqrt(mean((predictions - manuel).^2));
11 - mape = mean((abs(predictions - manuel))./manuel);
12 - plot(mdl);
```



Şekil 4.2. 23.06.2019 tarihinde elde edilen verilere ilişkin Matlab analiz sonuçları.

Çizelge 4.8’de Excel ortamında yapılan hesaplamalarda görüldüğü üzere MPE hata değeri 0,0277 olarak bulunmuştur. Yani sistemin yaklaşık %3 lük bir hata ile MPE yöntemine göre ölçüm sapması yaptığı anlaşılmaktadır. MAPE hata değeri ise 0,0663

bulunmuştur. MAPE yöntemine göre %7’lik bir hata ile ölçüm işleminin gerçekleştiği saptanmıştır.

Çizelge 4.8. 23.06.2019 tarihine ilişkin Excel analiz verileri

No	Manuel Ölçüm	Takip Sistemi (Güneş Takip Sistemi Ölçüm Verisi)	Fark Değeri = (Takip Sistemi Değeri- Manuel Değer)	Fark Değeri/ Takip Sistemi Değeri	Mutlak Fark Değeri/ Takip Sistemi Değeri	Fark Değerinin Karesi	Manuel Ölçüm Değerlerin Ortalaması- Manuel Değer
1	203,866	197,7684	6,0973	0,02991	0,0299	37,1771	177449,1193
2	335,011	315,07	19,9414	0,05952	0,0595	397,6594	84158,82228
3	338,733	317,4497	21,2828	0,06283	0,0628	452,9576	82013,67623
4	430,203	460,2764	-30,0731	-0,06990	0,0699	904,3913	37989,71319
5	704,095	630,7433	73,3512	0,10418	0,1042	5380,3985	6238,108935
6	710,847	703,7947	7,0518	0,00992	0,0099	49,7279	7350,267316
7	756,551	807,0962	-50,5455	-0,06681	0,0668	2554,8476	17275,92156
8	738,9	744,1908	-5,2904	-0,00716	0,0072	27,9883	12947,61791
9	746,392	784,43	-38,0377	-0,05096	0,0510	1446,8666	14708,71712
10	668,131	703,0691	-34,9377	-0,05229	0,0523	1220,6429	1850,599946
11	607,984	569,4371	38,547	0,06340	0,0634	1485,8712	293,3923637
12	602,152	568,6193	33,5325	0,05569	0,0557	1124,4286	527,207521
13	566,193	350,9925	215,2002	0,38008	0,3801	46311,1261	3471,578184
14	744,348	737,6377	6,7099	0,00901	0,0090	45,0228	14216,93753
15	778,257	810,2422	-31,9852	-0,04110	0,0411	1023,0530	23453,14599
16	770,984	761,8877	9,0966	0,01180	0,0118	82,7481	21278,49451
17	763,392	717,8936	45,4987	0,05960	0,0596	2070,1317	19121,22012
18	785,992	832,4767	-46,4848	-0,05914	0,0591	2160,8366	25882,08482
MPE DEĞERİ ((Fark Değeri/Makine değeri) verilerinin ortalamasıdır)							0,0277
MAPE DEĞERİ ((Fark Değeri/Makine değeri) verilerinin ortalamasıdır)							0,0663
Fark Değerlerinin Karesinin Ortalaması							3709,7709
RMSE DEĞERİ (Fark Değerlerinin Karesinin Ortalamasının Karekökü)							60,9079
Fark Değerleri Karesi Toplamı							550226,6248
“Manuel Değerlerin Ortalaması-Manuel Değer” Toplamı							393968,2437
Manuel Değerlerin Ortalaması							625,1128
SSError							550226,6248
SSTotal							66775,8753
R²							0,9096

Bir diğer hata terimi olan RMSE ise 60,9079 olarak hesaplanmıştır. Deneysel bulgulara göre 197 ile 810 birimlik bir alanda 61 birimlik bir hata ile RMSE yöntemine göre güneş

takip sistemi üzerindeki pirheliyometre cihazının ölçüm yaptığı anlaşılmaktadır. R^2 determinasyon katsayısı 0,9096 bulunmuştur. Bu değer 1'e yakın olması sebebiyle başarılı ölçüm yapıldığı anlaşılmaktadır. Deneyin yapıldığı konumda 27.06.2019 tarihi az parçalı bulutlu bir gündür ve sistemin ölçüm başarısı 23.06.2019 tarihli gün ile benzer performansta gerçekleşmiştir. Güneşten istenilen değerde veri alınıp gözlem yapılabilmiştir. Belirli zaman aralıklarında alınan değerlerin bulutluluk etkisi sebebi ile oldukça değişken olmasına karşın güneş takip sistemi üzerindeki pirheliyometreden alınan veriler ve manuel ölçüm yapılan pirheliyometreden elde edilen verilerin paralel devam ettiği ve verimli çalıştığı görülmüştür. Değerler Çizelge 4.9'daki gibidir. MPE, MAPE, RMSE hata değerleri ve R^2 determinasyon katsayısı Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11'de Excel'de, Şekil 4.3'te ise Matlab 'da hesaplanan değerler görülmektedir.

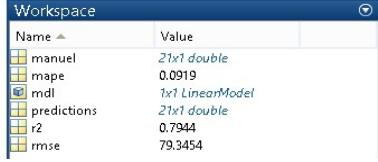
Çizelge 4.9. 27.06.2019 tarihine ilişkin ölçüm verileri

27.06.2019	Parçalı Bulutlu	
Saat	Güneş Takip Sistemi Ölçüm Verisi	Manuel Ölçüm Verisi
09:55	689	215
10:15	601	561,2842
10:36	661,1783	580,8536
10:53	699,839	576,3257
10:58	788,3492	715,5387
11:11	794,7861	746,8434
11:23	802,0741	758,248
11:35	776,5685	743,4396
11:47	789,4169	695,5738
11:59	182,4176	216,385
12:11	610,5767	639,1914
12:23	508,1249	467,5147
12:29	684,5159	570,1563
12:41	728,5439	753,4155
12:53	573,3788	496,1536
13:06	754,402	751,6906
13:12	645,939	754,8177
13:24	971,948	745,5363
13:36	668,9684	637,7458
13:48	714,8933	742,6681
14:00	802,8469	767,589
14:12	762,3395	752,1389

Çizelge 4.10. 27.06.2019 tarihine ilişkin Excel analiz verileri

No	Manuel Ölçüm	Takip Sistemi (Güneş Takip Sistemi Ölçüm Verisi)	Fark Değeri = (Takip Sistemi Değeri- Manuel Değer)	Fark Değeri/ Takip Sistemi Değeri	Mutlak Fark Değeri/ Takip Sistemi Değeri	Fark Değerinin Karesi	Manuel Ölçüm Değerlerin Ortalaması- Manuel Değer
1	689	215	473,9976	2,20281	2,20281	224673,7248	474964,2482
2	601	561,2842	39,4959	0,07037	0,07037	1559,9261	360936,7286
3	661,178	580,8536	80,3247	0,13829	0,13829	6452,0574	437156,7444
4	699,839	576,3257	123,5133	0,21431	0,21431	15255,5353	489774,6259
5	788,349	715,5387	72,8105	0,10176	0,10176	5301,3689	621494,4611
6	794,786	746,8434	47,9427	0,06419	0,06419	2298,5025	631684,9448
7	802,074	758,248	43,8261	0,05780	0,05780	1920,7270	643322,8619
8	776,569	743,4396	33,1289	0,04456	0,04456	1097,5240	603058,6352
9	789,417	695,5738	93,8431	0,13491	0,13491	8806,5274	623179,042
10	182,418	216,385	-33,9674	-0,15698	0,15698	1153,7843	33276,18079
11	610,577	639,1914	-28,6147	-0,04477	0,04477	818,8011	372803,9066
12	508,125	467,5147	40,6102	0,08686	0,08686	1649,1883	258190,914
13	684,516	570,1563	114,3596	0,20058	0,20058	13078,1181	468562,0174
14	728,544	753,4155	-24,8716	-0,03301	0,03301	618,5965	530776,2142
15	573,379	496,1536	77,2252	0,15565	0,15565	5963,7315	328763,2483
16	754,402	751,6906	2,7114	0,00361	0,00361	7,3517	569122,3776
17	645,939	754,8177	-108,8787	-0,14425	0,14425	11854,5713	417237,1917
18	971,948	745,5363	226,4117	0,30369	0,30369	51262,2579	944682,9147
19	668,968	637,7458	31,2226	0,04896	0,04896	974,8508	447518,7202
20	714,893	742,6681	-27,7748	-0,03740	0,03740	771,4395	511072,4304
21	802,847	767,589	35,2579	0,04593	0,04593	1243,1195	644563,1448
22	762,34	752,1389	10,2006	0,01356	0,01356	104,0522	581161,5133
MPE DEĞERİ ((Fark Değeri/Makine değeri) verilerinin ortalamasıdır)							0,1578
MAPE DEĞERİ ((Fark Değeri/Makine değeri) verilerinin ortalamasıdır)							0,1956
Fark Değerlerinin Karesinin Ortalaması							356865,7562
RMSE DEĞERİ (Fark Değerlerinin Karesinin Ortalamasının Karekökü)							127,3624
Fark Değerleri Karesi Toplamı							132192,0314
"Manuel Değerlerin Ortalaması-Manuel Değer" Toplamı							10993303,07
Manuel Değerlerin Ortalaması							691
SSError							476191,4367
SSTotal							356865,7562
R²							0,25058

```
1 % predictions: makineden ölçülen değerler dizisi
2 % manuel: manuel hesaplanan değerler dizisi
3
4 predictions = [561.2842;580.8536;576.3257;715.5387;746.8434;758.248;743.4396;695.5738;216.385;639.1914;467.5147;570
5 753.4155;496.1536;751.6906;754.8177;745.5363;637.7458;742.6681;767.589;752.1389];
6 manuel = [601;661.1783;699.839;788.3492;794.7861;802.0741;776.5685;789.4169;182.4176;610.5767;508.1249;684.5159;728
7 573.3788;754.402;645.939;971.948;668.9684;714.8933;802.8469;762.3395];
8 mdl = fitlm(predictions, manuel);
9 r2 = mdl.Rsquared.Ordinary;
10 rmse = sqrt(mean((predictions - manuel).^2));
11 mape = mean(abs(predictions - manuel)./manuel);
12 plot(mdl);
```



Name	Value
manuel	21x1 double
mape	0.0919
mdl	1x1 LinearModel
predictions	21x1 double
r2	0.7944
rmse	79.3454

Şekil 4.3. 27.06.2019 tarihinde elde edilen verilere ilişkin Matlab analiz sonuçları.

MPE hata değeri Çizelge 4.10’da görüldüğü üzere 0,1578 bulunmuştur. %16’lık bir hata ile ölçüm yapıldığı görülmektedir. Bu durum yapılan ölçümlerde beklenmedik bir etken olduğunu göstermektedir. Bu durum el ile nişan alarak yapılan ölçümden kaynaklanan el titremesi gibi bir insan hatası ile açıklanabilir. Önceki ölçümlerde MPE değeri %10’un altında olacak şekilde bulunmuştur. Diğer bulgulara oranla hata değerinin yüksek çıkması nedeniyle, piheliyometrelerden elde edilen verilerde hava koşullarının etkili olabileceği bir değer bulunup bulunmadığı kontrolü yapılmıştır. Çizelge 4.11’de işaretlenen hatalı değer ve analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.11. 27.06.2019 tarihine ilişkin hatalı değerden arındırılmış Excel analiz verileri

No	Manuel Ölçüm	Takip Sistemi (Güneş Takip Sistemi Ölçüm Verisi)	Fark Değeri = (Takip Sistemi Değeri-Manuel Değer)	Fark Değeri/ Takip Sistemi Değeri	Mutlak Fark Değeri/ Takip Sistemi Değeri	Fark Değerinin Karesi	Manuel Ölçüm Değerlerin Ortalaması-Manuel Değer
1	689	215	473,9976	2,20281	2,20281	224673,7248	474964,2482
2	601	561,2842	39,4959	0,07037	0,07037	1559,9261	360936,7286
3	661,178	580,8536	80,3247	0,13829	0,13829	6452,0574	437156,7444
4	699,839	576,3257	123,5133	0,21431	0,21431	15255,5353	489774,6259
5	788,349	715,5387	72,8105	0,10176	0,10176	5301,3689	621494,4611
6	794,786	746,8434	47,9427	0,06419	0,06419	2298,5025	631684,9448
7	802,074	758,248	43,8261	0,05780	0,05780	1920,7270	643322,8619
8	776,569	743,4396	33,1289	0,04456	0,04456	1097,5240	603058,6352
9	789,417	695,5738	93,8431	0,13491	0,13491	8806,5274	623179,042
10	182,418	216,385	-33,9674	-0,15698	0,15698	1153,7843	33276,18079
11	610,577	639,1914	-28,6147	-0,04477	0,04477	818,8011	372803,9066
12	508,125	467,5147	40,6102	0,08686	0,08686	1649,1883	258190,914
13	684,516	570,1563	114,3596	0,20058	0,20058	13078,1181	468562,0174
14	728,544	753,4155	-24,8716	-0,03301	0,03301	618,5965	530776,2142
15	573,379	496,1536	77,2252	0,15565	0,15565	5963,7315	328763,2483
16	754,402	751,6906	2,7114	0,00361	0,00361	7,3517	569122,3776
17	645,939	754,8177	-108,8787	-0,14425	0,14425	11854,5713	417237,1917
18	971,948	745,5363	226,4117	0,30369	0,30369	51262,2579	944682,9147
19	668,968	637,7458	31,2226	0,04896	0,04896	974,8508	447518,7202
20	714,893	742,6681	-27,7748	-0,03740	0,03740	771,4395	511072,4304
21	802,847	767,589	35,2579	0,04593	0,04593	1243,1195	644563,1448
22	762,34	752,1389	10,2006	0,01356	0,01356	104,0522	581161,5133
MPE DEĞERİ ((Fark Değeri/Makine değeri) verilerinin ortalamasıdır)							0,0604
MAPE DEĞERİ ((Fark Değeri/Makine değeri) verilerinin ortalamasıdır)							0,0919
Fark Değerlerinin Karesinin Ortalaması							6294,8586
RMSE DEĞERİ (Fark Değerlerinin Karesinin Ortalamasının Karekökü)							79,3401
Fark Değerleri Karesi Toplamı							132192,0314
"Manuel Değerlerin Ortalaması-Manuel Değer" Toplamı							10518338,82
Manuel Değerlerin Ortalaması							691
SSError							76186,4393
SSTotal							132192,0313
R²							0,7944

Çizelge 4.11'e bakıldığında birinci satırdaki manuel ölçüm verisinin 689, güneş takip sistemine ilişkin verinin ise 215 olarak tespit edildiği görülmektedir. Diğer sonuçlar incelendiğinde takip sistemi ve manuel ölçüm değerlerinin birbirine paralel olması sebebiyle burada, bulutluluğun veya başka bir engelleyicinin neden olduğu anlık bir hatanın meydana geldiği düşünülmektedir. Bulut, kuş, uçak, ışık yansıması vb. ya da manuel ölçüm yapılması sebebiyle insan kaynaklı bir hatadan oluşabilecek görüş

engelleri ölçüm değerlerine etki etmektedir. İhmal edilen aykırı değerlerin veri listesinden çıkarılması sonucunda tekrar hesaplanan MPE hata değeri 0,0604 bulunmuştur. MPE hata oranı %6 ya düşmüştür.

Sapma değerinin etkisini görmek için diğer hata değerlerine bakıldığında Çizelge 4.10'da MAPE hata değeri 0,1956 bulunup %20 hata değeri ile çalıştığı saptanmıştır. RMSE hata değeri ise 127,3624 olarak bulunmuştur. Hesaplanan R^2 determinasyon katsayısı ise 0,25058 gibi 0'a oldukça yakın bir değerdir. Aykırı değer çıkarılarak gerçekleştirilen yeni hesaplamada Çizelge 4.11'de görüldüğü gibi diğer hata oranları sırasıyla MAPE değeri 0,0919, RSME hata değeri 79 birim ve R^2 determinasyon katsayısı 0,7944 olarak bulunmuştur.

Bir diğer deneme günü olan 28.06.2019 tarihinde hava durumu genellikle güneşli olup güneşten istenilen değerde veri alınabilmiştir. Çizelge 4.12'de elde edilen veriler gösterilmektedir.

Çizelge 4.12. 28.06.2019 tarihinde elde edilen veriler

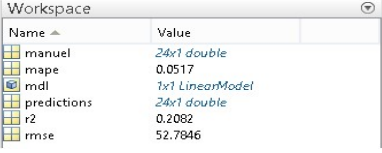
28.06.2019	GÜNEŞLİ	
Saat	Güneş Takip Sistemi Ölçüm Verisi	Manuel Ölçüm Verisi
09:55	815,0065	129,5827
10:15	776,8185	746,0522
10:36	803,6173	670,8378
10:53	809,025	806,3456
10:58	786,1979	809,6176
11:11	792,674	824,5488
11:23	802,2118	817,6729
11:35	887,8443	736,5409
11:47	618,4531	687,3218
11:59	781,5809	805,9337
12:11	883,2134	817,3694
12:23	825,5573	773,7828
12:29	836,465	802,625
12:41	830,1157	768,1778
12:53	810,1321	776,3128
13:06	885,384	866,384
13:12	829,4972	860,0264
13:24	773,756	844,7548
13:36	805,9232	881,504
13:48	805,9232	881,504
14:00	817,19	870,9844
14:12	859,0207	872,1316
14:24	854,8224	863,9839
14:36	840,2181	826,4897
14:48	847,6294	807,8796
15:00	796,052	804,1139

Belirli zaman aralıklarında alınan değerlerin hafif bulutun etkisi ile düşüp yükselmeye uğradığı, ancak güneş takip sistemi ile elde edilen ölçüm verilerinin manuel ölçüm verilerine paralel devam ettiği ve verimli çalıştığı görülmüştür. Elde edilen değerlerin hesaplanarak MPE, MAPE, RMSE hata değerleri ve R^2 determinasyon katsayısı bulunmuştur. Çizelge 4.13'te Excel analiz verileri gösterilmektedir. Analiz işlemleri gerçekleştirirken listenin birinci sırasındaki aykırı değer ihmal edilmiştir. Şekil 4.4'teki gibi performans terimleri Matlab üzerinde de aykırı değer ihmal edilerek hesaplanmıştır.

Çizelge 4.13. 28.06.2019 tarihinde elde edilen Excel analiz verileri

No	Manuel Ölçüm	Takip Sistemi (Güneş Takip Sistemi Ölçüm Verisi)	Fark Değeri = (Takip Sistemi Değeri- Manuel Değer)	Fark Değeri/ Takip Sistemi Değeri	Mutlak Fark Değeri/ Takip Sistemi	Fark Değerinin Karesi	Manuel Ölçüm Değerlerin Ortalaması- Manuel Değer
1	815,007	129,5827	685,4238	5,28947	5,28947	469805,7856	664235,595
2	776,819	746,0522	30,7663	0,04124	0,04124	946,5652	603446,9819
3	803,617	670,8378	132,7795	0,19793	0,19793	17630,3956	645800,7649
4	809,025	806,3456	2,6794	0,00332	0,00332	7,1792	654521,4506
5	786,198	809,6176	-23,4197	-0,02893	0,02893	548,4823	618107,138
6	792,674	824,5488	-31,8748	-0,03866	0,03866	1016,0029	628332,0703
7	802,212	817,6729	-15,4611	-0,01891	0,01891	239,0456	643543,7721
8	887,844	736,5409	151,3034	0,20542	0,20542	22892,7189	788267,501
9	618,453	687,3218	-68,8687	-0,10020	0,10020	4742,8978	382484,2369
10	781,581	805,9337	-24,3528	-0,03022	0,03022	593,0589	610868,7032
11	883,213	817,3694	65,844	0,08056	0,08056	4335,4323	780065,9099
12	825,557	773,7828	51,7745	0,06691	0,06691	2680,5989	681544,8556
13	836,465	802,625	33,84	0,04216	0,04216	1145,1456	699673,6962
14	830,116	768,1778	61,9379	0,08063	0,08063	3836,3035	689092,0754
15	810,132	776,3128	33,8193	0,04356	0,04356	1143,7451	656314,0195
16	885,384	866,384	19	0,02193	0,02193	361,0000	783904,8275
17	829,497	860,0264	-30,5292	-0,03550	0,03550	932,0321	688065,6048
18	773,756	844,7548	-70,9988	-0,08405	0,08405	5040,8296	598698,3475
19	805,923	881,504	-75,5808	-0,08574	0,08574	5712,4573	649512,2043
20	805,923	881,504	-75,5808	-0,08574	0,08574	5712,4573	649512,2043
21	817,19	870,9844	-53,7944	-0,06176	0,06176	2893,8375	667799,4961
22	859,021	872,1316	-13,1109	-0,01503	0,01503	171,8957	737916,563
23	854,822	863,9839	-9,1615	-0,01060	0,01060	83,9331	730721,3355
24	840,218	826,4897	13,7284	0,01661	0,01661	188,4690	705966,4556
25	847,629	807,8796	39,7498	0,04920	0,04920	1580,0466	718475,5997
26	796,052	804,1139	-8,0619	-0,01003	0,01003	64,9942	633698,7867
MPE DEĞERİ ((Fark Değeri/Makine değeri) verilerinin ortalamasıdır)							0,0098
MAPE DEĞERİ ((Fark Değeri/Makine değeri) verilerinin ortalamasıdır)							0,0919
Fark Değerlerinin Karesinin Ortalaması							3379,9810
RMSE DEĞERİ (Fark Değerlerinin Karesinin Ortalamasının Karekökü)							52,7846
Fark Değerleri Karesi Toplamı							84499,5241
“Manuel Değerlerin Ortalaması-Manuel Değer” Toplamı							16646334,6
Manuel Değerlerin Ortalaması							814
SSError							66254,1091
SSTotal							84499,5241
R²							0,2082

```
1 % predictions: makineden ölçülen değerler dizisi
2 % manuel: manuel hesaplanan değerler dizisi
3
4 -
5 predictions = [746.0522;806.3456;809.6176;824.5488;817.6729;736.5409;687.3218;805.9337;817.3694;773.7828;802.625;
6 768.1778;776.3128;866.384;860.0264;844.7548;881.504;881.504;870.9844;872.1316;863.9839;826.4897;807.8796;804.1139];
7 manuel = [776.8185;809.025;786.1979;792.674;802.2118;887.8443;618.4531;781.5809;883.2134;825.5573;836.465;830.1157;
8 810.1321;885.384;829.4972;773.756;805.9232;805.9232;817.19;859.0207;854.8224;840.2181;847.6294;796.052];
9 -
10 mdl = fitlm(predictions, manuel);
11 r2 = mdl.Rsquared.Ordinary;
12 rmse = sqrt(mean((predictions - manuel).^2));
13 mape = mean((abs(predictions - manuel))./manuel);
14 plot(mdl);
```



Name	Value
manuel	24x1 double
mape	0.0517
mdl	1x1 LinearModel
predictions	24x1 double
r2	0.2082
rmse	52.7846

Şekil 4.4. 28.06.2019 tarihinde elde edilen verilere ilişkin Matlab analiz sonuçları

Çizelge 4.13'te MAPE değeri 0,0919'dir. %9'luk bir hata ile MAPE yöntemine göre ölçüm alınmaktadır. RMSE hata değeri 52,7846 olarak bulunmuştur. Yani, 53 birimlik bir hata ile RMSE yöntemine göre ölçüm yapılmıştır. Değer aralığına bakıldığında 129 ile 890 birimlik bir alanda hesap yapıldığı göz önüne alınırsa 53 birimlik bir hatanın çok yüksek olmadığı düşünülebilir. R^2 determinasyon katsayısı ise 0,2082 gibi oldukça düşük bir değer olarak hesaplanmıştır. Bu durum manuel ölçüm ile izleme sisteminin ölçümü arasında meydana gelen kısıda olsa bazı gecikmeler ile açıklanabilir. Gecikme sırasında bulutların hareketi etkisiyle radyasyon değerlerinde hızlı değişiklikler olabilmektedir.

Çizelge 4.14'te 29.06.2019 tarihinde elde edilen verilere bakıldığında havanın parçalı bulutlu olmasına karşın güneşten istenilen değerde veri alınarak uzun bir süre gözlem yapıldığı anlaşılmaktadır. Çizelge 4.15'te Excel ortamında hesaplanan MPE, MAPE, RMSE hata değerleri ve R^2 determinasyon katsayısı gösterilmektedir. Şekil 4.5'te ise Matlab programında hesaplama sonucu gösterilmiştir.

Çizelge 4.14. 29.06.2019 tarihinde elde edilen veriler

29.06.2019	Parçalı Bulutlu	
Saat	Güneş Takip Sistemi Ölçüm Verisi	Manuel Ölçüm Verisi
08:46	489,1983	388,1769
09:00	512,7711	493,3329
09:12	629,1921	721,7932
09:24	766,5125	711,2831
09:36	779,3763	803,7195
09:48	778,1578	762,2524
10:00	711,1145	787,4811
10:12	808,5275	791,947
10:24	801,6251	778,7482
10:36	807,3076	812,8882
10:48	739,8415	801,6742
11:00	783,4731	798,3456
11:12	803,2834	811,9617
11:18	885,2145	828,3453
11:24	125,8431	205,9687
11:36	628,1919	764,4899
11:48	720,3134	716,2206
12:00	768,392	817,1545
12:12	774,3097	819,1404
12:24	796,2412	812,0536
12:36	773,5047	830,037
12:48	805,7615	819,0026
13:00	728,4019	784,9862
13:12	803,5305	824,2936
13:18	781,3502	801,8563
13:24	203,1394	96,489

```

1 % predictions: makeden ölçülen değerler dizisi
2 % manuel: manuel hesaplanan değerler dizisi
3
4 predictions = [388.1769;493.3329;721.7932;711.2831;803.7195;762.2524;787.4811;791.947;778.7482;812.8882;801.6742;79
5 828.3453;764.4899;716.2206;817.1545;819.1404;812.0536;830.037;819.0026;784.9862;824.2936;801.8563;96.489];
6 manuel = [489.1983;512.7711;629.1921;766.5125;779.3763;778.1578;711.1145;808.5275;801.6251;807.3076;739.8415;783.47
7 885.2145;628.1919;720.3134;768.392;774.3097;796.2412;773.5047;805.7615;728.4019;803.5305;781.3502;203.1394];
8 mdl = fitlm(predictions, manuel);
9 r2 = mdl.Rsquared.Ordinary;
10 rmse = sqrt(mean((predictions - manuel).^2));
11 mape = mean((abs(predictions - manuel))./manuel);
12 plot(mdl);

```

Workspace

Name	Value
manuel	25x1 double
mape	0.0786
mdl	1x1 LinearModel
predictions	25x1 double
r2	0.9010
rmse	56.2493

Şekil 4.5. 29.06.2019 tarihinde elde edilen verilere ilişkin Matlab analiz sonuçları.

Çizelge 4.15. 29.06.2019 tarihinde elde edilen Excel analiz verileri

No	Manuel Ölçüm	Takip Sistemi (Güneş Takip Sistemi Ölçüm Verisi)	Fark Değeri = (Takip Sistemi Değeri-Manuel Değer)	Fark Değeri/ Takip Sistemi Değeri	Mutlak Fark Değeri/ Takip Sistemi Değeri	Fark Değerinin Karesi	Manuel Ölçüm Değerlerin Ortalaması-Manuel Değer
1	388,177	489,1983	-101,0214	-0,20650	0,20650	10205,3233	150681,3057
2	493,333	512,7711	-19,4382	-0,03791	0,03791	377,8436	243377,3502
3	721,793	629,1921	92,6011	0,14717	0,14717	8574,9637	520985,4236
4	711,283	766,5125	-55,2294	-0,07205	0,07205	3050,2866	505923,6483
5	803,72	779,3763	24,3432	0,03123	0,03123	592,5914	645965,0347
6	762,252	778,1578	-15,9054	-0,02044	0,02044	252,9817	581028,7213
7	787,481	711,1145	76,3666	0,10739	0,10739	5831,8576	620126,4829
8	791,947	808,5275	-16,5805	-0,02051	0,02051	274,9130	627180,0508
9	778,748	801,6251	-22,8769	-0,02854	0,02854	523,3526	606448,759
10	812,888	807,3076	5,5806	0,00691	0,00691	31,1431	660787,2257
11	801,674	739,8415	61,8327	0,08358	0,08358	3823,2828	642681,5229
12	798,346	783,4731	14,8725	0,01898	0,01898	221,1913	637355,697
13	811,962	803,2834	8,6783	0,01080	0,01080	75,3129	659281,8023
14	828,345	885,2145	-56,8692	-0,06424	0,06424	3234,1059	686155,936
15	205,969	125,8431	80,1256	0,63671	0,63671	6420,1118	42423,10538
16	764,49	628,1919	136,298	0,21697	0,21697	18577,1448	584444,8072
17	716,221	720,3134	-4,0928	-0,00568	0,00568	16,7510	512971,9479
18	817,155	768,392	48,7625	0,06346	0,06346	2377,7814	667741,4769
19	819,14	774,3097	44,8307	0,05790	0,05790	2009,7917	670990,9949
20	812,054	796,2412	15,8124	0,01986	0,01986	250,0320	659431,0493
21	830,037	773,5047	56,5323	0,07309	0,07309	3195,9009	688961,4214
22	819,003	805,7615	13,2411	0,01643	0,01643	175,3267	670765,2588
23	784,986	728,4019	56,5843	0,07768	0,07768	3201,7830	616203,3342
24	824,294	803,5305	20,7631	0,02584	0,02584	431,1063	679459,939
25	801,856	781,3502	20,5061	0,02624	0,02624	420,5001	642973,5258
26	96,489	203,1394	-106,6504	-0,52501	0,52501	11374,3078	9310,127121
MPE DEĞERİ ((Fark Değeri/Makine değeri) verilerinin ortalamasıdır)							0,0246
MAPE DEĞERİ ((Fark Değeri/Makine değeri) verilerinin ortalamasıdır)							0,0786
Fark Değerlerinin Karesinin Ortalaması							3289,2187
RMSE DEĞERİ (Fark Değerlerinin Karesinin Ortalamasının Karekökü)							56,2493
Fark Değerleri Karesi Toplamı							75314,3638
"Manuel Değerlerin Ortalaması-Manuel Değer" Toplamı							14082974,64
Manuel Değerlerin Ortalaması							715
SSError							75314,3638
SSTotal							844243,2130
R²							0,9010

MPE hata değeri 0,0246 olarak bulunmuştur. Denemede MPE yöntemine göre %2'lik bir hata ile ölçüm yapılmıştır. MAPE hata değeri 0,10 olarak hesaplanmıştır. Buradan %10'luk bir hata ile MAPE yöntemine göre ölçüm alındığı saptanmıştır. Çizelge 4.15 incelendiğinde 15. satırdaki ölçüm değerleri arasında %60'lık bir fark olduğu görölmektedir. Aykırı değerlerden kaynaklanan yanıltıcı bulgulara karşı bu değerler ihmal edilerek MAPE hata değeri tekrar hesaplandığında 0,0786 olarak bulunmuştur. Böylelikle hata oranı yaklaşık olarak %8'e olarak hesaplanmıştır. Bundan sonraki RMSE ve R^2 değerleri için de 15. Satırdaki veriler ihmal edilerek işlem yapılmıştır.

Elde edilen RMSE değeri 56,2493'tür. Yani 56 birimlik bir hata ile RMSE yöntemine göre ölçüm alındığı saptanmıştır. R^2 determinasyon katsayısı ise 0,9010 olarak hesaplanmıştır. 1'e yakın olması sebebiyle cihazın başarılı ölçüm yaptığı anlaşılmaktadır.

Bir diğer deneme günü olan 30.06.2019 tarihinde güneşten istenilen değerde veri alınarak uzun bir süre gözlem yapılabilmıştır. Değerler Çizelge 4.16'da verilmiştir. MPE, MAPE, RMSE hata değerleri ve R^2 determinasyon katsayısı hesaplanmıştır.

Çizelge 4.16. 30.06.2019 tarihinde elde edilen veriler

30.06.2019	PARÇALI BULUTLU	
Saat	Güneş Takip Sistemi Ölçüm Verisi	Manuel Ölçüm Verisi
08:46	765,2925	793,3506
09:00	783,132	805,1036
09:12	792,5173	822,735
09:24	802,3506	815,1421
09:36	779,7756	822,8199
09:48	825,3504	827,7888
10:00	820,6347	848,6515
10:12	837,1318	856,9927
10:24	836,6511	860,4924
10:36	821,1711	861,3349
10:48	817,1259	869,1896
11:00	838,8329	865,5711
11:12	802,1142	806,5735
11:18	787,9711	827,1319
11:24	824,2561	856,1326
11:36	773,8323	84,1139
11:48	849,421	856,9849
12:00	826,7692	844,6366
12:12	817,4541	842,1957
12:24	831,1359	854,0436
12:36	798,5768	827,1349
12:48	827,446	841,0643
13:00	898,4485	837,9307
13:12	733,6531	830,5414
13:18	898,4021	903,1127
13:24	900,243	882,8772

Çizelge 4.16'daki değerler incelendiğinde saat 11:36'daki ölçümde güneş takip sistemi ölçümü ile manuel ölçüm arasında ciddi bir fark olduğu görülmektedir. Denemede 11:36 verileri aykırı değer olarak kabul edilerek Çizelge 4.17'de ve Şekil 4.6'da görülen analiz sonuçları elde edilmiştir.

```

1 % predictions: makineden ölçülen değerler dizisi
2 % manuel: manuel hesaplanan değerler dizisi
3
4 - manuel = [765.2925;783.132;792.5173;802.3506;779.7756;825.3504;820.6347;837.1318;836.6511;821.1711;817.1259;838.832
5 787.9711;824.2561;849.421;826.7692;817.4541;831.1359;798.5768;827.446;898.4485;733.6531;898.4021;900.243];
6 - predictions= [793.3506;805.1036;822.735;815.1421;822.8199;827.7888;848.6515;856.9927;860.4924;861.3349;869.1896;865
7 827.1319;856.1326;856.9849;844.6366;842.1957;854.0436;827.1349;841.0643;837.307;830.5414;903.1127;882.8772];
8 - mdl = fitlm(predictions, manuel );
9 - r2 = mdl.Rsquared.Ordinary;
10 - rmse = sqrt(mean((predictions - manuel).^2));
11 - mape = mean(abs(predictions - manuel)./manuel);
12 - plot(mdl);

```

Name	Value
manuel	25x1 double
mape	0.0347
mdl	1x1 LinearModel
predictions	25x1 double
r2	0.5288
rmse	34.3659

Şekil 4.6. 30.06.2019 tarihinde elde edilen verilere ilişkin Matlab analiz sonuçları.

Çizelge 4.17. 30.06.2019 tarihinde elde edilen Excel analiz verileri

No	Manuel Ölçüm	Takip Sistemi (Güneş Takip Sistemi Ölçüm Verisi)	Fark Değeri = (Takip Sistemi Değeri- Manuel Değer)	Fark Değeri/ Takip Sistemi Değeri	Mutlak Fark Değeri/ Takip Sistemi Değeri	Fark Değerinin Karesi	Manuel Ölçüm Değerlerin Ortalaması- Manuel Değer
1	765,2925	793,3506	-28,0581	-0,03537	0,03537	787,2570	2866,714051
2	783,132	805,1036	-21,9716	-0,02729	0,02729	482,7512	1274,647359
3	792,5173	822,735	-30,2177	-0,03673	0,03673	913,1094	692,579428
4	802,3506	815,1421	-12,7915	-0,01569	0,01569	163,6225	271,7091958
5	779,7756	822,8199	-43,0443	-0,05231	0,05231	1852,8118	1525,574534
6	825,3504	827,7888	-2,4384	-0,00295	0,00295	5,9458	42,46081232
7	820,6347	848,6515	-28,0168	-0,03301	0,03301	784,9411	3,2417864
8	837,1318	856,9927	-19,8609	-0,02318	0,02318	394,4553	334,802025
9	836,6511	860,4924	-23,8413	-0,02771	0,02771	568,4076	317,4417886
10	821,1711	861,3349	-40,1638	-0,04663	0,04663	1613,1308	5,461083634
11	817,1259	869,1896	-52,0637	-0,05990	0,05990	2710,6289	2,918302031
12	838,8329	865,5711	-26,7382	-0,03089	0,03089	714,9313	399,9478479
13	802,1142	806,5735	-4,4593	-0,00553	0,00553	19,8854	279,5585286
14	787,9711	827,1319	-39,1608	-0,04735	0,04735	1533,5683	952,531179
15	824,2561	856,1326	-31,8765	-0,03723	0,03723	1016,1113	29,3969579
16	773,8323	84,1139	689,7184	8,19981	8,19981	475711,4713	2025,17135
17	849,421	856,9849	-7,5639	-0,00883	0,00883	57,2126	935,552099
18	826,7692	844,6366	-17,8674	-0,02115	0,02115	319,2440	62,96416396
19	817,4541	842,1957	-24,7416	-0,02938	0,02938	612,1468	1,904686626
20	831,1359	854,0436	-22,9077	-0,02682	0,02682	524,7627	151,3317283
21	798,5768	827,1349	-28,5581	-0,03453	0,03453	815,5651	410,3624106
22	827,446	841,0643	-13,6183	-0,01619	0,01619	185,4581	74,163033
23	898,4485	837,9307	60,5178	0,07222	0,07222	3662,4041	6338,436152
24	733,6531	830,5414	-96,8883	-0,11666	0,11666	9387,3427	7255,820452
25	898,4021	903,1127	-4,7106	-0,00522	0,00522	22,1898	6331,050098
26	900,243	882,8772	17,3658	0,01967	0,01967	301,5710	6627,392091
MPE DEĞERİ ((Fark Değeri/Makine değeri) verilerinin ortalamasıdır)							-0,0259
MAPE DEĞERİ ((Fark Değeri/Makine değeri) verilerinin ortalamasıdır)							0,0347
Fark Değerlerinin Karesinin Ortalaması							1181,0151
RMSE DEĞERİ (Fark Değerlerinin Karesinin Ortalamasının Karekökü)							34,3659
Fark Değerleri Karesi Toplamı							16399,7075
"Manuel Değerlerin Ortalaması-Manuel Değer" Toplamı							23593,70519
Manuel Değerlerin Ortalaması							821
SSError							16399,7075
SSTotal							23593,7052
R²							0,5288

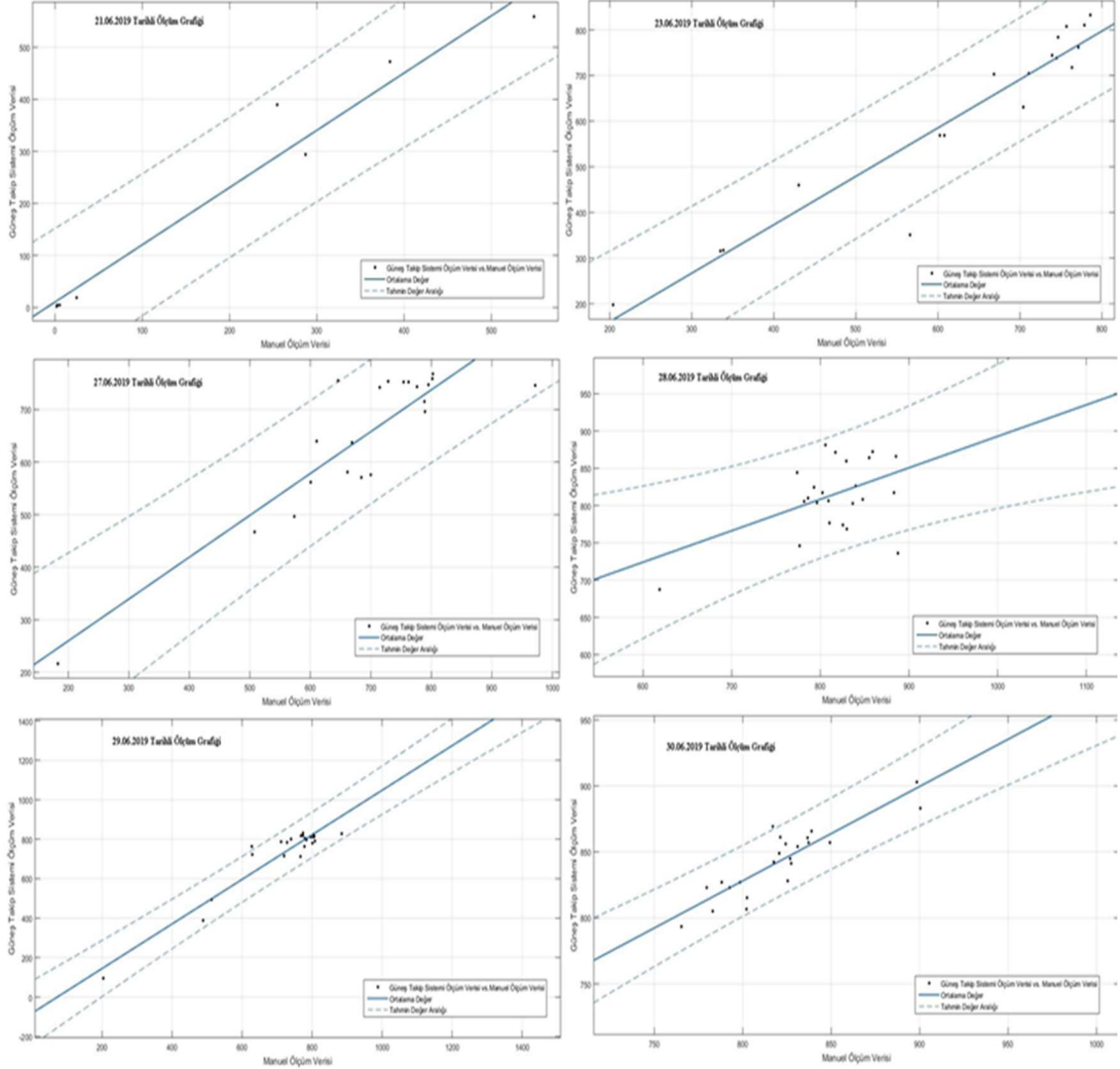
Çizelge 4.17’de MPE hata değerinin 0,0259 olarak bulunduğu görülmektedir. Yani %3 lük bir hata ile MPE yöntemine göre ölçüm yapılmaktadır. MAPE hata değeri 0,0347 olarak hesaplanmıştır. Buna göre %3’lük bir hata ile MAPE yöntemine göre güneş takip sistemi üzerindeki pirheliyometrenin ölçüm yaptığı sonucuna varılmıştır.

Ayrıca RMSE hata değeri 34,3659 olarak bulunmuştur. RMSE yöntemine göre 34 birimlik bir hata ile ölçüm yapıldığı saptanmıştır. Bu denemede 80 ile 900 birimlik bir alanda ölçüm yapıldığı göz önüne alındığında 34 birimlik bir hatanın çok yüksek olmadığı düşünülebilir. R^2 determinasyon katsayısı ise 0,5288 gibi düşük bir değer olarak hesaplanmıştır. Bu sebeple aykırı değer incelemesi yapılmıştır. İnceleme sonucunda Çizelge 4.17’deki 16. satıra ek olarak Çizelge 4.18’deki 23. ve 24. satırdaki değerler de aykırı bulunmuş ve hesaplama dahil edilmemiştir. Yapılan analiz sonucunda iki veri girdisi analizden çıkarıldığında elde edilen R^2 determinasyon katsayısı 0,7842’e çıkmıştır.

Çizelge 4.18. 30.06.2019 tarihinde elde edilen Excel analiz verilerinin tekrar incelenmesi

No	Manuel Ölçüm	Takip Sistemi (Güneş Takip Sistemi Ölçüm Verisi)	Fark Değeri = (Takip Sistemi Değeri-Manuel Değer)	Fark Değeri/ Takip Sistemi Değeri	Mutlak Fark Değeri/ Takip Sistemi	Fark Değerinin Karesi	Manuel Ölçüm Değerlerin Ortalaması-Manuel Değer
1	765,2925	793,3506	-28,0581	-0,03537	0,03537	787,2570	2866,714051
2	783,132	805,1036	-21,9716	-0,02729	0,02729	482,7512	1274,647359
3	792,5173	822,735	-30,2177	-0,03673	0,03673	913,1094	692,579428
4	802,3506	815,1421	-12,7915	-0,01569	0,01569	163,6225	271,7091958
5	779,7756	822,8199	-43,0443	-0,05231	0,05231	1852,8118	1525,574534
6	825,3504	827,7888	-2,4384	-0,00295	0,00295	5,9458	42,46081232
7	820,6347	848,6515	-28,0168	-0,03301	0,03301	784,9411	3,2417864
8	837,1318	856,9927	-19,8609	-0,02318	0,02318	394,4553	334,802025
9	836,6511	860,4924	-23,8413	-0,02771	0,02771	568,4076	317,4417886
10	821,1711	861,3349	-40,1638	-0,04663	0,04663	1613,1308	5,461083634
11	817,1259	869,1896	-52,0637	-0,05990	0,05990	2710,6289	2,918302031
12	838,8329	865,5711	-26,7382	-0,03089	0,03089	714,9313	399,9478479
13	802,1142	806,5735	-4,4593	-0,00553	0,00553	19,8854	279,5585286
14	787,9711	827,1319	-39,1608	-0,04735	0,04735	1533,5683	952,531179
15	824,2561	856,1326	-31,8765	-0,03723	0,03723	1016,1113	29,3969579
16	773,8323	84,1139	689,7184	8,19981	8,19981	475711,4713	2025,17135
17	849,421	856,9849	-7,5639	-0,00883	0,00883	57,2126	935,552099
18	826,7692	844,6366	-17,8674	-0,02115	0,02115	319,2440	62,96416396
19	817,4541	842,1957	-24,7416	-0,02938	0,02938	612,1468	1,904686626
20	831,1359	854,0436	-22,9077	-0,02682	0,02682	524,7627	151,3317283
21	798,5768	827,1349	-28,5581	-0,03453	0,03453	815,5651	410,3624106
22	827,446	841,0643	-13,6183	-0,01619	0,01619	185,4581	74,163033
23	898,4485	837,9307	60,5178	0,07222	0,07222	3662,4041	6338,436152
24	733,6531	830,5414	-96,8883	-0,11666	0,11666	9387,3427	7255,820452
25	898,4021	903,1127	-4,7106	-0,00522	0,00522	22,1898	6331,050098
26	900,243	882,8772	17,3658	0,01967	0,01967	301,5710	6627,392091
MPE DEĞERİ ((Fark Değeri/Makine değeri) verilerinin ortalamasıdır)							-0,0259
MAPE DEĞERİ ((Fark Değeri/Makine değeri) verilerinin ortalamasıdır)							0,0347
Fark Değerlerinin Karesinin Ortalaması							1181,0151
RMSE DEĞERİ (Fark Değerlerinin Karesinin Ortalamasının Karekökü)							34,3659
Fark Değerleri Karesi Toplamı							16399,7075
"Manuel Değerlerin Ortalaması-Manuel Değer" Toplamı							23593,70519
Manuel Değerlerin Ortalaması							821
SSError							16399,7075
SSTotal							23593,7052
R²							0,7842

Güneş takip sistemine ilişkin ölçüm verileri ile manuel ölçüm verilerinin günlük olarak Matlab üzerinde grafiğe dökülmüş hali Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Matlab regresyon grafikleri.

Güneş takip sisteminin üzerindeki pirheliyometreden gelen değerler ve manuel ölçüm yöntemi kullanılarak veri alınan pirheliyometreden gelen değerlerin orantılanması sonucunda oluşan ortalama değer lineer çizgi olarak gösterilmiş ve lineer çizgi etrafında tanımlanan değer aralığı eğrisi kesikli çizgi ile belirtilmiştir. Güneş takip sistemine ilişkin ölçüm verileri ile manuel ölçüme ilişkin verilerinin kesişimi ise nokta olarak belirtilmiştir. Bu değerler istenilen değer aralığında kalarak aykırı değerler ihmal edildiğinde güneş takip sistemi ile manuel ölçüme yakın değerler elde edildiği sonucuna varılmıştır.

Verilerin birden fazla yöntem ile hata oranları hesaplanmıştır. Söz konusu hata değerleri ve R^2 determinasyon katsayısı Çizelge 4.19’da görülmektedir.

Çizelge 4.19. Genel Değerlendirme Sonucu

MPE HATA ORANI	MAPE HATA ORANI	RMSE HATA BİRİMİ	Birim Aralığı	Birim Aralığı Farkı	RMSE HATA BİRİMİ/ Birim Aralığı Farkı	R² HATA DEĞERİ
0,0153	0,2485	57	1-560	559	0,1019678	0,958914199
0,0277	0,0663	61	197-810	613	0,099510604	0,909627831
0,919	0,0604	79	180-975	795	0,099371069	0,794424351
0,0098	0,0582	53	129-890	761	0,069645204	0,20820302
0,0246	0,0786	56	90-890	800	0,07	0,90096843
0,0259	0,0347	34	80-900	820	0,041463415	0,784167633
0,032533333	0,091116667				0,080326348	
3%	9%				8%	

Çizelge 4.19’da görüldüğü üzere güneş takip sistemi üzerine yerleştirilen pirheliyometre cihazının ışınım ölçümünün ortalama hatalarının yüzde değerleri %10’dan daha küçük hatalar ile gerçekleşmiştir. Arslanoğlu’na (2016) göre MPE, MAPE, RMSE hata terimlerinin ideal değerleri sıfırdır. Elde edilen hata oranlarının da %10’dan düşük çıkması sebebiyle güneş takip sistemi üzerindeki pirheliyometreden doğru değerlerin alındığı sonucuna varılmıştır.

MPE hata terimi, ilk aşamada güneş takip sistemine ilişkin pirheliyometrenin ölçüm doğruluğunun pratik bir yöntemle bulunması için kullanılmıştır. Pirheliyometreden gelen verilerin %3 ölçüm hatası ile gerçekleştirildiği görülmüştür. MPE hata terimi işlevselliği gereği negatif sapmaları işlemde yok etmesi sebebiyle %3 gibi düşük bir değer olarak elde edilmiştir. MAPE ve RMSE hata terimi değerleri ise daha detaylı veri analizinde kullanılmıştır. Negatif sapmaları nötrlemem için mutlak değer ve kare alma yöntemi izlenmiştir. Güneş takip sistemi üzerindeki pirheliyometre cihazının ışınım ölçümündeki hassas sapmalar da göz önünde bulundurularak ortalama %8-9 arası hatalar elde edilmiştir. Monaro ve ark. (2016)’a göre hata oranının %10’dan küçük çıkması sistemin yüksek doğrulukta ölçüm yaptığı anlamına gelmektedir. R^2 determinasyon katsayısına

göre tüm değerlerin istenen aralıkta olduğu gözlemlenmiştir. Elagib ve arkadaşlarına (1999) göre R^2 determinasyon katsayısının 1'e yakınlığı tahmin başarısının yüksekliğini göstermektedir. Buna göre; birinci, ikinci ve beşinci günlerde daha başarılı değerler alındığı sonucuna varılmıştır.

P. Roth ve ark. (2005) çalışmalarında düşük maliyetli iki eksenli bir güneş takip sistemi geliştirmiş ve onu diğer takip cihazlarıyla kıyaslayarak test etmişlerdir. Araştırma sonucuna göre geliştirilen cihaz İsviçre marka INTRA güneş takip cihazı ile benzer sonuçları verirken yapım maliyeti daha düşük olarak tespit edilmiştir. Catarius ve Christiner (2010), çift eksenli hareket eden bir güneş takip sistemi geliştirerek sabit sistem ve tek eksenli hareket eden güneş takip sistemi ile karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda elde edilen verilere göre; çift eksenli güneş takip sistemi sabit sisteme göre yıllık %48,982, tek eksenli takip sistemine göre ise %36,504 daha fazla verim sağladığı tespit edilmiştir. Bu tez çalışmasında ise güneşin matematiksel konumunun hesaplandığı bir algoritma ile güneşin konumunun anlık olarak takip edilmesini sağlayan bir güneş takip sistemi üzerine yerleştirilen pirheliyometre cihazı ile el ile nişan alma yöntemi kullanılarak manuel ölçüm yapılan pirheliyometre cihazından alınan veriler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmaya göre güneş takip sisteminin %10'dan daha düşük bir hata oranı ile çalıştığı ortaya koyulmuştur.

5. SONUÇ

Güneş ışınımı ölçülürken manuel olarak el ile nişan alma yöntemi yerine ışık sensörü kullanılmaksızın matematiksel olarak güneş açılarının hesaplanmasıyla güneşin konumuna göre iki ekseninde hareket eden bir güneş takip sistemi cihazı kullanılmıştır. Bunun sonucunda, takip sistemi üzerine konumlandırılan ışınım ölçer cihazının performansında nasıl bir değişim olacağı gözlemlenmiştir. Her iki pirheliyometre cihazına ilişkin kaydedilen ışınım verilerini kıyaslamak üzere Matlab ve Excel üzerinde model uyum iyiliği hesaplamaları yapılmıştır.

Güneş takip sistemi üzerindeki pirheliyometre cihazı ile yapılan güneşin bulutluluk nedeniyle gökyüzünde görünmediği belirli süre aralıklarının da dahil olduğu ölçümler sonucunda, sistemin %10'dan daha az bir hata ile başarılı bir şekilde çalıştığı tespit edilmiştir. Güneş takip sisteminin 5-10 dakikada bir güneşi noktasal olarak takip etmesi sebebiyle pirheliyometre merceğinin veri olarak doğru açıda güneşe yöneldiği gözlemlenmiştir. Güneşin ışık duyargasıyla izlenmemesi ve hava koşullarından böylelikle etkilenmemesinden dolayı manuel güneş ışınımı ölçümünden ve ışık sensörü olan sistemden çok daha başarılı olduğu ve mekanik tesisatın gerekli sabitlemeyi sağlayarak rijit çalıştığı ortaya konulmuştur. Sistemin temel avantajı; insan iş gücüne gereksinim duyulmaksızın istenilen zaman aralığında çalıştırılabilmesidir. Sistemin bir diğer avantajı ise; ışık takip ilkesi ile çalışmadığından ayna, cam, sıvı vb. yansıtıcı ve yabancı ışık kaynaklarından ışınların izleyici duyargaya gelmesi halinde oluşabilecek hatalı yönlendirmelerden etkilenmemesidir. Sistemin kısıtlayıcı bir özelliği, kullanıcı tarafından ilk kurulumunda yapılması gereken terazi sıfırlamasının zaman alıcı olmasıdır. Bu kısıt, ivme ölçer gibi donanımların sisteme dahil edilmesiyle giderilebilir.

Geliştirilen güneş takip sisteminin konum olarak sabit bir noktada çalıştırılması nedeniyle mikroişlemci için bir GNSS modülü kullanılmak yerine güneş koordinatları manuel olarak sisteme girilmiştir. Mikroişlemciye GNSS modülü eklenmesi durumunda dünyanın herhangi bir noktasında sadece zemin sıfırlaması yapılarak enerji verilmesi sonucu çalışmaya başlayıp, güneş ışınım değerleri ölçülebilecektir.

KAYNAKLAR

Anonim, 2020a. Elektrik. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik>-(Erişim tarihi: 15.05.2020).

Anonim, 2020b. Normalized difference vegetation index (NDVI). https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php-(Erişim tarihi: 21.08.2020).

Anonim, 2020c. Solar instruments. <https://www.kippzonen.com/ProductGroup/1/Solar-Instruments> -(Erişim tarihi: 25.05.2020).

Anonim, 2020d. Step Motorlar. http://www.robotiksistem.com/step_motor_cesitleri.html-(Erişim tarihi: 25.05.2020).

Anonim, 2020e. RTC modül - DS1302 gerçek zamanlı saat devresi modülü. <https://www.robotistan.com/ds1302-gercek-zamanli-saat-devresi-modulu-rtc-modulu>-(Erişim tarihi: 25.05.2020).

Anonim, 2020f. Mikrodenetleyiciler. http://recepungoranadolu.meb.k12.tr/meb_iys_dosyalar/34/06/974872/dosyalar/2018_12/24114159_BB.p-(Erişim tarihi: 25.05.2020).

Arslanoğlu, N. 2016. Kocaeli için mevcut global güneş ışınımı tahmin modellerinin uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 21(1): 219-227.

Bin Mostafa, M.T., Choudhury, S.M.T.A., Hosain, S. 2019. Design and performance analysis of a dual axis solar tracker. IEEE 1st International Conference on Energy, Systems and Information Processing (ICESIP), 4-6 July, Chennai, India.

Catarius, A.M., Christiner, M. P. 2010. Azimuth-altitude dual axis solar tracker. Worcester Polytechnic Institute Digital WPI, <https://digitalcommons.wpi.edu/mqp-all/1557>. (Erişim tarihi: 21.08.2020).

Çinar, S., Hocaoğlu, F., Orhun, M. 2014. A remotely accessible solar tracker system design. *J. Renewable Sustainable Energy*, 6, 033143, <https://doi.org/10.1063/1.4885099>

Duarte, F., Gaspar, P.D., Gonçalves, L.C. 2011. Two axes solar tracker based on solar maps, controlled by a low-power microcontroller. *Journal of Energy and Power Engineering*, 5:671-676.

Elagib, N.A., Alvi, S.H., Mansell, M.G. 1999. Correlations between clearness index and relative sunshine duration for Sudan. *Renewable Energy*, 17:473-498.

Elagib, S.B., Osman, N.H. 2013. Design and implementation of dual axis solar tracker based on solar Maps. International conference on computing, Electrical and Electronic Engineering (ICCEEE), 26-28 August, Khartoum, Sudan.

Karim, F., Rashed, M., Quamruzzaman, M. 2014. Design and implementation of a sensorless dual axis solar tracking system based on solar sun chart algorithm using arduino. 1st National Conference on Electrical & Communication Engineering and Renewable Energy, Bangladesh.

Kavak, M.T., Karadoğan, S., Özdemir, G. 2015. Hevsel bahçelerinin NDVI değerlerinin uzaktan algılama teknikleri kullanarak uzun dönem için incelenmesi. L'Hevsel à Amida-Diyarbakır: Études et réhabilitation de jardins mésopotamiens. <https://books.openedition.org/ifeagd/1235>-(Erişim: 21.08.2020).

Khan, T.A, Shahrear T., Rahman R., Alam, S. 2010. Design and construction of an automatic solar tracking system. 6th International Conference on Electrical and Computer Engineering ICECE, 18-20 December, Dhaka, Bangladesh.

Khadidja, B., Dris, K., Boubeker, A., Nouredine, S. 2014. Optimisation of a solar tracker system for photovoltaic power plants in saharian region, example of Ouargla. *Energy Procedia*, 50: 610-618.

Mohd Said, M.N.A., Jumaat, S.A., Jawa, C.R.A. 2020. Dual axis solar tracker with iot monitoring system using arduino. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, 11(1):451-458.

Mousazadeh, H., Keyhani, A., Javadi, A., Mobli, H. 2009. A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13: 1800–1818.

Moreno, J.J.M., Pol, A.P., Abad, A.S. and Blasco, B.C., 2013. Using the R-MAPE index as a resistant measure of forecast accuracy. *Psicothema*, 25(4): 500-506.

Prabodh, P., Kumar, S. 2011. Design, development and performance test of an automatic two-axis Solar tracker system. Annual IEEE India Conference India Conference (INDICON), 2011 Annual IEEE. :1-6 Dec, Hyderabad, India.

Pratama, A.Y., Fauzy, A., Effendi, H. 2019. Performance enhancement of solar panel using dual axis solar tracker. International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI), 9 – 10 July, Bandung, Indonesia.

Rana, S. 2013. A study on automatic dual axis solar tracker system using 555 timer. *International Journal of Technical Research and Applications*, 1(4): 77-85.

Rizk, J., Chaiko, Y. 2008. Solar Tracking System: More efficient use of solar panels. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 41: 341-348.

Roth, P., Georgiev, A., Boudinov, H. 2004. Design and construction of a system for sun-tracking. *Renewable Energy*, 29: 393-402.

Roth, P., Georgiev, A., Boudinov, H. 2005. Cheap two axis sun following device. *Energy Conversion and Management*, 46: 1179–1192.

Sungur, C. 2009. Multi-axes sun-tracking system with PLC control for photovoltaic panels in Turkey. *Renewable Energy*, 34: 1119–1125.

Abdallah, S., Nijmeh, S. 2004. Two axes sun tracking system with PLC control. *Energy Conversion and Management*, 45: 1931–1939.

Tirmikci, C., Yavuz, C. 2015. Comparison of solar trackers and application of a sensorless dual axis solar tracker. *Journal of Energy and Power Engineering*, 9(6): 556-561.

Yao, Y., Hu, Y., Yang, G., Du, J. 2014. A multipurpose dual-axis solar tracker with two tracking strategies. *Renewable Energy*, 72:88-98.

YEGM, 2020. Güneş Enerjisi ve Teknolojileri. http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx-(Erişim tarihi: 21.08.2020)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Kübra DEDE
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa, 1994
Yabancı Dil : İngilizce, Almanca, Romence

Eğitim Durumu
Lise : Bursa Nilüfer Fatih Lisesi
Lisans : Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Andersen Tax Turkey

İletişim (e-posta) : kubradede94@gmail.com

Yayınları :

Dede K., Kurtulmuş F. 2020. A research on the performance of a radiation meter with sensorless solar tracking system moving on dual-axis. CUKUROVA 5th INTERNATIONAL SCIENTIFIC RESEARCHES CONFERENCE, October 9-11, 2020 Adana, Turkey.