T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ PANELLERİNDE, GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİNİN VE PANEL KİRLİLİĞİNİN PANEL VERİMLİLİĞİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÇAĞDAŞ DETAY GEZGİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi AYDIN GÜLLÜ

EDİRNE 2023

Çağdaş Detay Gezgin'in hazırladığı "GÜNEŞ PANELLERİNDE, GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİNİN VE PANEL KİRLİLİĞİNİN PANEL VERİMLİLİĞİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ" başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında bir yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri: İmza

Prof. Dr. Gürkan TUNA ……

Dr. Öğr. Üyesi Aydın GÜLLÜ ……

Dr. Öğr. Üyesi Hayrettin TOYLAN ……

Tez Savunma Tarihi: ……/……/……

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Aydın GÜLLÜ

Tez Danışmanı ……

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

……

Prof. Dr. Hüseyin Rıza Ferhat KARABULUT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

T.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

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

Çağdaş Detay GEZGİN

İmza

Yüksek Lisans Tezi

Güneş Panellerinde, Güneş Takip Sistemlerinin ve Panel Kirliliğinin Panel Verimliliğine Etkisinin İncelenmesi

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Günümüzde artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek için çeşitli üretim yöntemlerine başvurulmaktadır. Artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek için karbon salınımına sebep olan yenilenemeyen enerji kaynakları yerine alternatif yeşil enerji kaynakları tercih edilmeye başlanmıştır. Güneş enerjisi alternatif yeşil enerji kaynakları arasında yüksek potansiyele sahip olması nedeniyle oldukça ön plana çıkmaktadır.

Bu tez çalışmasında, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren güneş panellerinin verimliliklerinin arttırılması için güneş takip sistemlerinin ve yüzey kirliliklerinin panel verimine etkisi araştırılmış ve deneysel uygulamalar yapılmıştır.

Hottel&Woertz metodu ile optimum panel eğim açıları hesaplanmıştır ve bunun yanında güneş açıları ile ülkemizde ve Avrupa'da güneş enerji potansiyelleri incelenmiştir.

Deneysel çalışma için iki adet hesaplamalı ve sensörlü olarak çalışabilen, panel eğim açısı el ile ayarlanabilen ve doğu-batı yönünde tek eksenli güneş takibi yapabilen güneş takip sistemi, bir adet panel eğim açısı el ile ayarlanabilen sabit sistem bilgisayar ortamında CAD programı yardımıyla tasarlanmış ve üretimi yapılmıştır. Çalışmada tüm güneş panellerinden ölçülen veriler her beş dakikada bir kaydedilmiştir. Kaydedilen veriler bilgisayar ortamına aktarılarak verim karşılaştırmaları ve hesaplamalar yapılmıştır.

Çalışmada panel yüzey kirliliklerinden bağımsız yapılan karşılaştırmalarda; güneşli bir günde hesaplamalı tip güneş takip sistemlerinin sabit eğim açılı güneş paneline göre yaklaşık %49,7 daha verimli, beş gün boyunca toplanan verilere göre sensörlü tip güneş takip sisteminin hesaplamalı tip güneş takip sistemine göre yaklaşık %1,7 daha verimli olduğu sonucuna varılmıştır.

Doğal olarak kirlenmeye bırakılan sensörlü tip güneş takip sistemleri ve sabit eğim açılı güneş panelinin 27 gün boyunca yağmursuz geçen sürenin ardından, yüzey kirlilikleri incelenmiş ve aralarındaki verim farklılıkları karşılaştırılmıştır. Yüzey kirliliğine bağımlı olarak yapılan karşılaştırmalarda; sensörlü tip güneş takip sistemli yüzeyi temizlenen güneş panelinin, sensörlü tip güneş takip sistemli yüzeyi kirli bırakılan güneş paneline göre yaklaşık %7,9 daha verimli olduğu; sensörlü tip güneş takip sistemli yüzeyi kirli bırakılan güneş panelinin, sabit eğim açılı yüzeyi kirli bırakılan güneş paneline göre yaklaşık %36,2 daha verimli olduğu; sensörlü tip güneş takip sistemli yüzeyi temizlenen güneş panelinin, sabit eğim açılı yüzeyi kirli bırakılan güneş paneline göre yaklaşık %46,98 daha verimli olduğu hesaplanmıştır.

Yıl : 2023

Sayfa Sayısı : 102

Anahtar Kelimeler : Sabit eğim açılı güneş paneli, sensörlü tip güneş takip sistemi, hesaplamalı tip güneş takip sistemi, güneş paneli verimliliği, güneş panel yüzeyi kirliliği, optimum güneş paneli eğim açısı

Master Thesis

Examination of the Impact of Solar Tracking Systems and Panel Surface Contamination on Panel Efficiency in Solar Panels

Trakya University Institute of Natural and Applied Sciences

Department of Mechatronics Engineering

ABSTRACT

In this age, various energy production methods are used to meet the increasing energy needs. In order to meet the increasing energy needs, alternative green energy sources are being chosen instead of non-renewable energy sources, which cause carbon emissions. Solar energy is recognizably up front because of its high potential among alternative green energy sources.

In this thesis study, in order to increase the efficiency of solar panels which convert the solar energy into electrical energy, impact of surface contamination and solar tracking systems on panel efficiency has been examined and experimental studies has been conducted.

Optimum panel tilt angles were calculated with the Hottel&Woertz method besides this sun angles and solar energy potentials in Turkey and Europe were examined.

For the experimental study, two piece of solar tracking system that can work as angle-calculated and sensor-based, that tilt angle of its panels can be manually fixed, that has single-axis sun tracking in the east-west direction and one piece of fixed tilted system that tilt angle of its panel can be manually fixed has been designed and produced via CAD program in computer. The data measured in all solar panels in this study were recorded every five minutes. The recorded data has been transferred to the computer, and data comparisons and calculations has been performed.

In the comparisons that are made without taking panel surface contamination into consideration, it was concluded that on a sunny day, angle-calculated solar tracking systems are approximately 49.7% more efficient than the fixed tilted system, and according to the data that has been received for five days, the sensor-based solar tracking system is approximately 1.7% more efficient than the angle-calculated solar tracking system.

After leaving the sensor-based solar tracking systems and fixed tilted system to be naturally polluted for 27 days of rain-free period, surface contaminations were examined and efficiency differences between the systems were compared. In the comparisons that are made by taking panel surface contamination into consideration, it was concluded that the clean surfaced solar panel that has sensor-based solar tracking system is approximately 7.9% more efficient than the dusty surfaced solar panel that has sensor-based solar tracking system, and dusty surfaced solar panel that has sensor-based solar tracking system is approximately 36.2% more efficient than the dusty surfaced solar panel that has fixed tilted system, and the clean surfaced solar panel that has sensor-based solar tracking system is approximately 46.98% more efficient than the dusty surfaced solar panel that has fixed tilted system.

Year : 2023

Number of Pages :102

Keywords : Fixed tilted solar panel, sensor-based solar tracking system, angle-calculated solar tracking system, efficiency of solar panel, surface contamination of solar panel, optimum tilt angle of solar panel

ÖNSÖZ

Tez çalışmamda konunun belirlenmesinden tüm uygulama süreçlerine kadar tavsiyeleri ile bana yol gösteren, liderlik eden, sabırlı ve mütevazı yaklaşımıyla desteklerini asla esirgemeyen saygıdeğer tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Aydın GÜLLÜ'ye teşekkürü borç bilirim.

Çalışmalarımda ve uygulama süreçlerinde emeği geçen çalışma arkadaşlarım; Burak KURT, Berk CİRAVOĞLU, Batuhan Can DÜMEN, Yılmaz ÇELİK, Ozdjan LATİFOV, Gürkan UÇAR, maddi ve manevi bana her konuda yardımcı olan sevgili Elif ERYİĞİT, fikirleri ve imkanları ile bana destek olan Ersin FEYZİOĞLU, sağladığı imkanlar için saygıdeğer hocam Dr. Özgür ÖZDEMİR'e teşekkürlerimi borç bilirim.

Beni yetiştiren, bu günlere gelmemi sağlayan, tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini karşılıksız bir şekilde veren sevgili anne ve babama, ayrıca canım kardeşime çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET iv

ABSTRACT vi

ÖNSÖZ viii

İÇİNDEKİLER ix

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ xiii

Simgeler xiii

Kısaltmalar xv

ÇİZELGELER DİZİNİ xvi

ŞEKİLLER DİZİNİ xvii

BÖLÜM 1 GİRİŞ 1

1.1. Kapsam 1

1.2. Literatür Taraması 2

BÖLÜM 2 TEMEL BİLGİLER 5

2.1. Dünya'da ve Türkiye'de Güneş Enerji Potansiyeli 5

2.2. Türkiye İçin Güneş Işınım Verileri 6

2.3. Temel Güneş Açıları 8

2.3.1. Deklinasyon Açısı (δ) 8

2.3.2. Saat Açısı (ω) 9

2.3.3. Enlem Açısı Ø 9

2.4. Türetilen Güneş Açıları 10

2.4.1. Zenit Açısı (θ_z) 10
2.4.2. Yükseklik Açısı (α) 11
2.4.3. Azimut Açısı (ψ) 11
2.4.4. Panel Eğim Açısı (β) 12
2.5. Optimum Panel Eğim Açısı (β_{opt}) 12
2.5.1. Hottel&Woertz Metodu ve Optimum Panel Eğim Açısı (β_{opt}) 13
2.5.2. Hesaplamalar ve Optimum Panel Eğim Açısı Sonuçları 13
2.5.3. Edirne İli İçin Optimum Güneş Paneli Eğim Açılarının Hesaplanması 13
BÖLÜM 3 UYGULAMA VE PROTOTİP DÜZENEĞİ 20
3.1. Güneş Takip Sistemi Prototipi 20
3.1.1. Step Motor 22
3.1.2. Step Motor Sürücü 23
3.1.3. Arduino UNO 24
3.1.4. RTC-Veri Kaydedici Arduino UNO Modülü 25
3.1.5. Arduino UNO Prototip Modülü 26
3.1.6. LM35 Sıcaklık Sensörü 26
3.1.7. Voltaj Sensörü 27
3.1.8. Elektrik Panosu 28
3.1.9. Tel Sarım Alüminyum 100W Direnç 29
3.1.10. Güneş Paneli 30
3.1.11. Dişli Çarklar 31
3.1.12. Mil ve Mil Tutucular 34
3.1.13. Yataklı Rulman 36
3.1.14. Sınır Anahtarı 36
3.1.15. Hareketli Mafsal 37
3.1.16. Z Klemp Güneş Paneli Tutucu 38

3.1.17. Tasarlanan LDR Montaj Parçası 38
3.1.18. Tasarlanan Mil-Motor Bağlantı Parçası 40
3.2. Sabit Güneş Paneli 41
3.3. Sensörlü Tip Güneş Takip Sistemi 43
3.4. Hesaplamalı Tip Güneş Takip Sistemi 45
3.4. Prototiplerin Konuşlandırılması 47
BÖLÜM 4 BULGULAR 49
4.1. Güneş Panellerinden Elde Edilen Veriler ve Karşılaştırma Sonuçları 50
4.1.1. Veri Seti 1 – Yüzey Kirliliğinden Bağımsız Veriler ve Karşılaştırma Sonuçları . 52
4.1.1.1. Veri Seti 1 – Karşılaştırma Sonuçları 53
4.1.2. Veri Seti 2 – Yüzey Kirliliğinden Bağımsız Veriler ve Karşılaştırma Sonuçları . 54
4.1.2.1. Veri Seti 2 – 1. Gün 55
4.1.2.2. Veri Seti 2 – 2. Gün 56
4.1.2.3. Veri Seti 2 – 3. Gün 57
4.1.2.4. Veri Seti 2 – 4. Gün (25 Ekim 2022 Güneş Tutulması) 58
4.1.2.5. Veri Seti 2 – 5. Gün 59
4.1.2.6. Veri Seti 2 – Karşılaştırma Sonuçları 60
4.1.4. Veri Seti 3 – Yüzey Kirliliğine Bağımlı Veriler ve Karşılaştırma Sonuçları 61
4.1.3.1. Veri Seti 3 – 1. Gün 65
4.1.3.2. Veri Seti 3 – 2. Gün 66
4.1.3.3. Veri Seti 3 – 3. Gün 67
4.1.3.4. Veri Seti 3 – 4. Gün 68
4.1.3.5. Veri Seti 3 – 5. Gün 69
4.1.3.6. Veri Seti 3 – Karşılaştırma Sonuçları 70
4.1.5. Veri Seti 4 – Yüzey Kirliliğine Bağımlı Veriler ve Karşılaştırma Sonuçları 71
4.1.5.1. Veri Seti 4 – Karşılaştırma Sonuçları 75

BÖLÜM 5 SONUÇLAR VE TARTIŞMA 77
5.1. Sonuçlar 77
5.2. Tartışma 78
KAYNAKLAR 80
ÖZGEÇMİŞ 83

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

i	: Dişli Çark Çevrim Oranı
Ø, φ	: Enlem Açısı
$P_{ort.}$	: Ortalama Güç Değeri
$P_{panelmaks.}$	: Güneş Panelinin Maksimum Güç Değeri
P_{top}	: Toplam Güç Değeri
P_{veri}	: Güneş Panelinden Alınan Güç Verisi
V	: Volt
$V_{çıkış}$	: Analog Sinyal Pinlerinden Okunan Voltaj Değeri
$V_{çıkışmaks.}$	: Güneş Panelinden Okunabilecek En Yüksek Açık Devre Gerilimi
$V_{giriş}$	: Güneş Panelinden Okunan Voltaj Değeri
$V_{girişmaks.}$	: Voltaj Sensöründen Okunacak En Yüksek Gerilim
W	: Watt
Z_1, Z_2	: Dişli Çarkların Diş Sayıları
α	: Yükseklik Açısı
β	: Panel Eğim Açısı
β_{opt}	: Optimum Panel Eğim Açısı
δ	: Deklinasyon Açısı

$\eta_{12kar.}$: Güneş Panelleri Karşılaştırma Yüzde Verimi

η_{ort} : Ortalama Yüzde Verim Değeri

$\eta_{yüzde}$: Yüzde Verim Değeri

θ_{bd} : Step Motora Gönderilen Her Bir Elektriksel Darbe Sinyali İçin Büyük Dişli Çarkın Dönüş Açısı

θ_{kd} : Step Motor Üzerindeki Küçük Dişli Çarkın Darbe Başına Dönüş Açısı

θ_{smm} : Motor Milinin Darbe Başına Dönüş Açısı

θ_{smm} : Step Motor Mili İçin Darbe Başına Adım Açısı

θ_z : Zenit Açısı

Ω : Ohm

ω : Saat Açısı

ψ : Azimut Açısı

Kısaltmalar

CAD	: Computer-Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
DIP	: Dual In-Line Package (İkili, Sıralı Paket)
FDM	: Fused Deposition Modelling (Eriyik Biriktirmeli Modelleme)
GP1	: Güneş Paneli 1 (Güneş Takip Mekanizmalı)
GP2	: Güneş Paneli 2 (Güneş Takip Mekanizmalı)
HTS	: Hesaplamalı Takip Sistemi
LED	: Light-Emitting Diode (Işık Yayan Diode)
LMT	: Local Mean Time (Yerel Ortalama Zaman veya Mahalli Vasati Zaman)
M2	: Modül 2
PERC	: Passivated Emitter and Rear Cell (Pasive Edilen Yayıcı Arka Kontak Güneş Hücresi)
PLA	: Polilaktik Asit
RTC	: Real Time Clock (Gerçek Zaman Saati)
SEA GP3	: Sabit Eğim Açılı Güneş Paneli 3
STS	: Sensörlü Takip Sistemi
VS1	: Veri Seti 1
VS2	: Veri Seti 2
VS3	: Veri Seti 3
VS4	: Veri Seti 4

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Prototip Bileşenlerinin Açıklamaları 22
Çizelge 3.2. Arduino UNO Özellikleri (Arduino, 2022) 24
Çizelge 3.3. Üretilen Dişli Çarkların Özellikleri 32
Çizelge 4.1. VS4 Güneş Öğlesi İçin Güneş Panellerinden Alınan Veriler 75

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Avrupa güneş enerjisi potansiyeli atlası (Solargis, 2021). 6
Şekil 2.2. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA, 2021). 7
Şekil 2.3. Edirne ili güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA, 2021). 7
Şekil 2.4. Enlem açısı ø, saat açısı ω ve deklinasyon açısı δ'nın gösterimi. 10
Şekil 2.5. Zenit açısı θ_z ve yükseklik açısı α. 11
Şekil 2.6. Azimut açısı ψ 11
Şekil 2.7. Panel eğim açısı β. 12
Şekil 2.8. Deklinasyon açısının yıl boyunca değişimi. 14
Şekil 2.9. Günlük optimum panel eğim açısının yıl boyunca değişimi. 14
Şekil 2.10. Ocak, şubat, mart, nisan, mayıs ve haziran ayları optimum panel eğim açıları. 15
Şekil 2.11. Temmuz, ağustos, eylül, ekim, kasım ve aralık ayları optimum panel eğim açıları. 16
Şekil 2.12. İlkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için optimum panel eğim açıları. 17
Şekil 2.13. İlkbahar-yaz ve sonbahar-kış mevsimleri için 6 aylık optimum panel eğim açıları. 18
Şekil 3.1. Prototipin CAD programından çeşitli açılardan görünümleri. 21
Şekil 3.2. Prototiplerde kullanılan Nema 34 step motor. 22
Şekil 3.3. Prototiplerde kullanılan step motor sürücüsü. 23
Şekil 3.4. Arduino UNO. 25
Şekil 3.5. RTC-veri kaydedici Arduino UNO modülü. 25
Şekil 3.6. Arduino UNO prototip modülü. 26
Şekil 3.7. LM35 sıcaklık sensörü. 27
Şekil 3.8. Voltaj sensörü. 27

Şekil 3.9. Gerilim bölücü devre şeması. 28
Şekil 3.10. Elektrik panosu. 29
Şekil 3.11. Paralel bağlı tel sarım alüminyum dirençler. 29
Şekil 3.12. Güneş panellerinin teknik özelikleri. 30
Şekil 3.13. Güneş panelleri ve teknik çizimi. 31
Şekil 3.14. Dişli çarkların CAD programına ait görselleri. 31
Şekil 3.15. Dişli çarkların teknik çizimleri. 32
Şekil 3.16. Dişli çarkların 3 boyutlu yazıcı dilimleme programına ait ekran görüntüleri. 34
Şekil 3.17. Dişli çarkların 3 boyutlu yazıcı ile üretimi ve montajı. 34
Şekil 3.18. SK20 ve SHF20 mil tutucu parçalar. 35
Şekil 3.19. SK20, SHF20, panel tutucu çerçeve ve mil bağlantısı. 35
Şekil 3.20. Yataklı rulman, mil ve mil-motor bağlantı parçasının sisteme bağlantısı. 36
Şekil 3.21. Sınır anahtarlarının sisteme bağlantısı. 37
Şekil 3.22. Hareketli mafsal, mil-motor bağlantı parçası ve prototip ayaklarının bağlantısı. 37
Şekil 3.23. Z klemp, güneş paneli ve panel tutucu çerçeve bağlantısı. 38
Şekil 3.24. CAD programına ait tasarım görseli. 39
Şekil 3.25. 3 boyutlu yazıcı dilimleme programı ve üretim görselleri. 39
Şekil 3.26. Panel tutucu çerçeve ile LDR montaj parçasının bağlantısı. 40
Şekil 3.27. Mil-motor bağlantı parçasının CAD programına ait görünümü. 40
Şekil 3.28. Eğim açısı ayarlanabilir sabit güneş paneli. 41
Şekil 3.29. Sabit güneş paneli için yazılan programın algoritma şeması. 42
Şekil 3.30. Voltaj, akım ve güç veri okuma fonksiyonu. 43
Şekil 3.31. Sensörlü tip güneş takip sistemi için yazılan programın algoritma şeması. 44
Şekil 3.32. Hesaplamalı tip güneş takip sistemi için yazılan programın algoritma şeması. 46
Şekil 3.33. 41°38’07’’ kuzey enlemi, 26°37’27’’ doğu boylamı konumu. 47
Şekil 3.34. Prototiplerin konumlandırıldığı alan. 48
Şekil 4.1. Güneş panelleri güç-zaman grafiği (VS1). 52
Şekil 4.2. Veri Seti 1 – ortalama verim değerleri. 53
Şekil 4.3. Güneş panelleri güç-zaman grafiği (VS2 – 1. Gün). 55

Şekil 4.4. Güneş panelleri güç-zaman grafiği (VS2 – 2. Gün). 56
Şekil 4.5. Güneş panelleri güç-zaman grafiği (VS2 – 3. Gün). 57
Şekil 4.6. Güneş panelleri güç-zaman grafiği (VS2 – 4. Gün). 58
Şekil 4.7. Güneş panelleri güç-zaman grafiği (VS2 – 5. Gün) 59
Şekil 4.8. Veri Seti 2 – ortalama verim değerleri. 60
Şekil 4.9. STS GP1'in yüzey kirliliği (5 Kasım 2022). 62
Şekil 4.10. STS GP2'nin yüzey kirliliği (5 Kasım 2022). 63
Şekil 4.11. SEA GP3'ün yüzey kirliliği (5 Kasım 2022). 64
Şekil 4.12. Güneş panelleri güç-zaman grafiği (VS3 – 1. Gün). 65
Şekil 4.13. Güneş panelleri güç-zaman grafiği (VS3 – 2. Gün). 66
Şekil 4.14. Güneş panelleri güç-zaman grafiği (VS3 – 3. Gün). 67
Şekil 4.15. Güneş panelleri güç-zaman grafiği (VS3 – 4. Gün). 68
Şekil 4.16. Güneş panelleri güç-zaman grafiği (VS3 – 5. Gün). 69
Şekil 4.17. Veri Seti 3 – ortalama verim değerleri. 70
Şekil 4.18. STS GP1'in yüzey kirliliği (9 Kasım 2022). 72
Şekil 4.19. STS GP2'nin yüzey kirliliği (9 Kasım 2022). 73
Şekil 4.20. SEA GP3'ün yüzey kirliliği (9 Kasım 2022). 74
Şekil 4.21. Veri Seti 4 – ortalama verim değerleri. 75

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde sürekli olarak artan enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmek için karbon salınımına sebep olmayan yeşil enerji kaynaklarına ilgi oldukça artmıştır. Bu enerji kaynakları arasında en yüksek potansiyele sahip olanlardan güneş enerjisi ülkemizde de son zamanlarda oldukça ivme kazanmaktadır.

Güneş enerjisi ile enerji elde etmenin pek çok yöntemi bulunsa da güneşten gelen ışınlanmayı direkt olarak elektrik enerjisine çevirebildiği için güneş panelleri sıkça tercih edilmektedir. Güneş panelleri ile yapılan çalışmalarda verim önemli bir unsurdur. Güneş panellerinin verimlerinin arttırılması amacıyla yapılan bu çalışmada güneş takip sistemlerinin ve panellerin yüzey kirliliğinin verime etkileri incelenmiştir.

1.1. Kapsam

Bu tez çalışmasında konu ile ilgili kaynakların kapsamlı literatür taraması, 2. Bölüm altında güneş enerjisi ile ilgili temel veriler, ülkemizin güneş enerji potansiyeli, temel güneş açıları ve türetilen güneş açıları, optimum panel eğim açısı ve Hottel&Woertz metodu incelenmiştir. 3. Bölümde tez çalışması için geliştirilen güneş takip sistemi, sabit eğim açılı sistemin prototipi, yazılımı ve bileşenleri anlatılmıştır. 4. Bölümde,

gerçekleştirilen uygulamalı çalışma ile toplanan veriler ve hesaplamalı karşılaştırma yapılmıştır. 5. Bölümde sonuçlar özetlenmiş ve tartışma kısmından bahsedilmiştir.

1.2. Literatür Taraması

Optimum panel eğim açısı belirlemek üzerine yurt içinde ve yurt dışında çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. Dal (2021), "Güneş Enerji Panellerindeki Optimum Eğim Açısının Verime Etkisinin İncelenmesi" adlı çalışmasında Kayseri ili için optimum panel eğim açılarını PVGIS ve Hottel&Woertz metotlarıyla optimum panel eğim açısı hesaplamaları yapmış ve bu metotlar arasında karşılaştırma yapmıştır .

Çağlar (2018), "Farklı Derece-Gün Bölgelerindeki Şehirler İçin Optimum Eğim Açısının Belirlenmesi" adlı çalışmasında 4 farklı şehir için (İstanbul, Ankara, Erzurum ve Adana) teorik hesaplama metodu ve Hottel&Woertz metodu ile ayrı ayrı aylık optimum panel eğim açısı hesaplamaları yapmıştır ve bu verileri karşılaştırmıştır.

Yağlı ve Koç (2020), Gaziantep bölgesi için yıllık optimum panel eğim açısını yaklaşık $\beta=31°$ olarak hesaplamıştır.

Aydın (2020), çalışmasında Edirne ili için yıllık optimum panel eğim açılarını $\beta = 32°$ ve $\beta = 42°$ olarak belirleyip açılar arasında panel verimliliği karşılaştırması yapmıştır. Bu karşılaştırmada $\beta = 32°$ panel eğim açısı için $\beta = 42°$ panel eğim açısına göre yaz aylarında daha çok verim elde edilmesine rağmen kış aylarında daha az verim elde edileceği sonucuna varmıştır. $\beta = 32°$ panel eğim açısı ile toplamda yıllık olarak elde edilecek enerji miktarı daha yüksek olduğundan Edirne için yıllık sabit açılı panellerde optimum panel eğim açısını 32°-33° olarak saptamıştır.

Duffie ve Beckman (aktaran Çağlar, 2018) 2013'te yıllık optimum panel eğim açısını konumun enlemine eşit ($\beta= Ø$) almıştır. Hottel&Woertz metodu ile MATLAB programında hesaplanan yıllık optimum panel eğim açısı, enlem açısına eşit olmaktadır. Edirne için enlem açısı $Ø = 41.6771°$ kabul edildiği için yıllık ortalama optimum eğim açısı $\beta = 41.6771°$ olarak hesaplanmıştır.

Ülkemizde ve yurt dışında güneş takip sistemlerinin verime etkilerini araştırmak için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır.

Fathabadi (2016), çalışmasında sensörlü tip güneş takip sisteminin hesaplamalı tip güneş takip sistemine göre daha verimli olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu çalışmada da destekleyici benzer bir sonuç olarak sensörlü tip güneş takip sisteminin, hesaplamalı tip güneş takip sistemine göre daha verimli olduğu hesaplanmıştır.

Sidek ve ark. (2017) çalışmalarında kullandıkları çift eksenli takip sisteminin enerji sarfiyatını da göz önünde bulundurarak çift eksenli takip sisteminin sabit eğim açılı sisteme göre %26,9 daha verimli olduğu sonucuna varmıştır.

Yılmaz (2013) çalışmasında Diyarbakır ili için sabit ve iki eksenli hareketli fotovoltaik sistemler arasında Kasım ayı için yaklaşık ortalama %51, Ekim ayı için yaklaşık ortalama %42 verim artışları tespit etmiştir.

Beyoğlu (2011) "Balıkesir ilinde çift eksenli güneş takip sistemi ile sabit eksenli PV sistemin verimlerinin karşılaştırılması" yüksek lisans tezinde yaptığı karşılaştırmada iki eksenli güneş takip sisteminin, sabit sistemlere göre %39 daha verimli olduğu sonucuna varmıştır.

Armakan (2003) tasarladığı iki eksenli güneş takip sistemi için hesaplamalı olarak Visual Basic derleyicisi ile bilgisayar ortamında güneş açılarını hesaplatmıştır. Oluşturulan iki eksenli hesaplamalı tip güneş takip sisteminin, sabit sistemlere göre teorik olarak yaklaşık %40 daha verimli olduğu sonucuna varmıştır.

Aydın (2016) PIC18F452 modeli mikrodenetleyici ile geliştirdiği çift eksenli güneş takip sisteminin, sabit fotovoltaik sisteme göre %47 daha verimli olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Varış (2017) İstanbul ili konumunda yaptığı çalışmada; 5,2 kWp kurulu güce sahip iki eksenli güneş takip sisteminden toplanan veriler ile PVGIS ve PVSOL simülasyon programından alınan aynı güçteki sabit sistem verilerini karşılaştırarak güneş takip sisteminin yıllık yaklaşık %32 daha fazla verimli olduğunu hesaplamıştır.

Çukurova bölgesinde yapılan çalışmada, tek eksenli güneş takip sistemi, iki eksenli güneş takip sistemi ve sabit eğim açılı sistemlerden 15 gün boyunca toplanan veriler ile karşılaştırma yapıldığında iki eksenli güneş takip sisteminin, sabit açılı sisteme göre yaklaşık %32 daha verimli olduğu, tek eksenli güneş takip sisteminin ise %24 daha

verimli olduğu ortaya koyulmuştur. İki eksenli güneş takip sisteminin, tek eksenli güneş takip sisteminden yaklaşık %7,87 daha verimli olduğu ortaya çıkarılmıştır (Alıcı, 2021).

Güneş panellerinde yüzey kirliliğinin panel verimliliğine etkisi üzerine yapılan çalışmalar bulunmaktadır.

Tan Bayar (2022) yüksek lisans tezi çalışmasında Batman ilinde güneş panelleri üzerinde birikebilecek çeşitli (killi, kireçli ve şehirsel) toz çeşitleri ve süreler için yaklaşık %1 ile %78 arasında verim kayıpları oluşabileceği sonucuna varmıştır. Kurulu gücü yüksek ticari güneş enerji santralleri için bu seviyelerde verim kayıpları göz ardı edilemeyecek seviyededir.

Alagözyaylası (2018) Muğla ili konumunda yaptığı çalışmasında yüzeyi kir, toz, kuş pislikleri ve polen gibi etmenlerden dolayı kirlenen güneş panellerinde %20 civarında verim kayıpları oluştuğu sonucuna varmıştır.

Erat (2018) çalışmasında geliştirdiği panel yüzeyi temizleyici prototip ile %15 ile %20 arasında verim artışı olduğunu gözlemlemiştir.

Abhilash ve Panchal (2016) hem kirlilik hem de verimlilik açısından, kirli yüzeyli takip sistemli, temiz yüzeyli takip sistemli, kirli yüzeyli takip sistemsiz, temiz yüzeyli takip sistemsiz olmak üzere 4 farklı sistemden veriler topladıkları çalışmalarında incelemeler yapmıştır. Kirli yüzeyli sistemlerde temiz olan sistemlere göre verim düşüşleri tespit edilmiştir.

Kara, Erişgin ve Özcan (2022) güneş paneli yüzeyleri üzerinde biriken tozların akustik dalgaları yöntemleriyle temassız bir şekilde temizlenmesi üzerine yaptıkları çalışmada yaklaşık %68'e kadar göreceli verim artışı yakalayarak, panel eğim açısı arttıkça bu yöntem ile verim artışlarının daha da artacağı sonucuna varmışlardır.

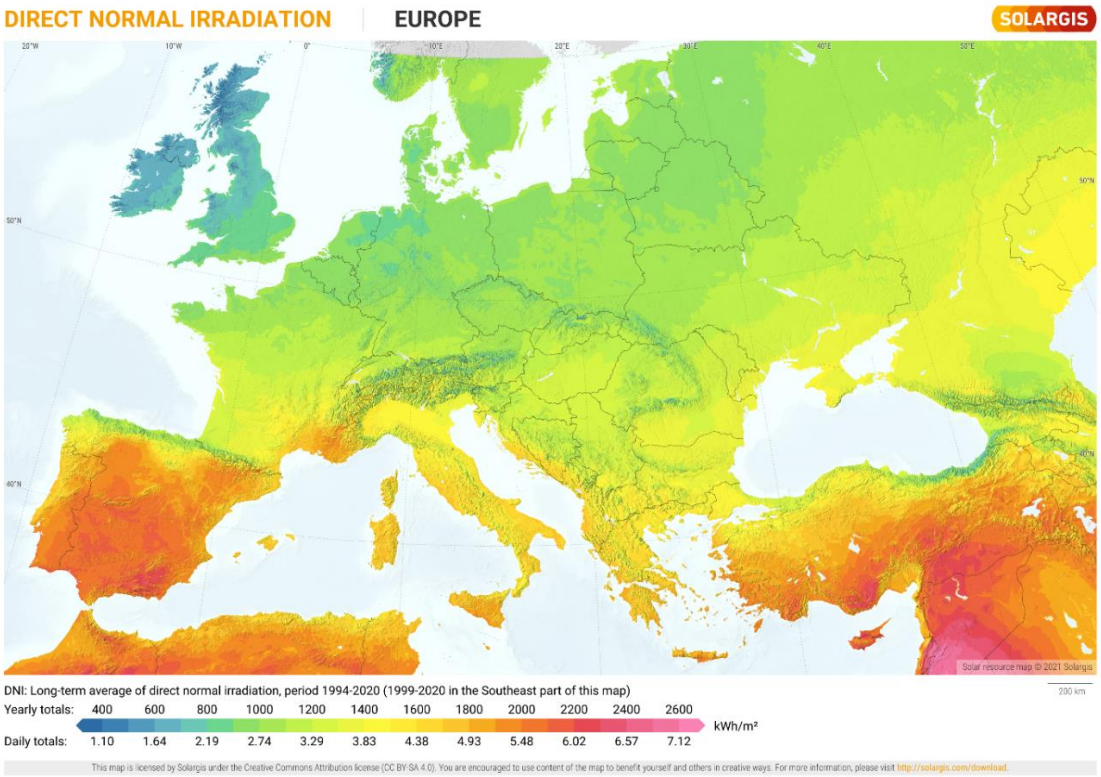
3 boyutlu yazıcılar hakkında yapılan çalışmalarda son zamanlarda bu yazıcıların hızlı prototipleme, az sayıda ve özel üretim gerektiren parçalar için oldukça sık karşımıza çıktığı görülmektedir. İncelenen örnekler ile prototiplerde kullanılmak üzere oldukça karmaşık parçaların üretilebileceği ve 3 boyutlu yazıcılar ile yapılabilecek çalışmaların ufkumuzun genişliği ile sınırlı olduğu görülmektedir (L. Aydın, 2014). Bu çalışmada da sensörlü takip sistemi için tasarlanan sensör montaj parçaları ve tüm dişli çarklar 3 boyutlu yazıcı yardımıyla üretilmiştir.

BÖLÜM 2

TEMEL BİLGİLER

2.1. Dünya'da ve Türkiye'de Güneş Enerji Potansiyeli

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve Solargis'in sitesinden alınan verilere göre Türkiye'nin, çoğu Avrupa ve kuzey ülkesine nazaran daha yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip olduğu Şekil 2.1'de görülmektedir (Solargis, 2021). Enerji atlasları incelendiğinde özellikle ülkemizin güney bölgelerindeki şehirlerin daha yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip olduğu görülür. Alt başlıklarda hem Türkiye hem de çalışmanın yapıldığı şehir olan Edirne için güneş enerjisi potansiyelleri incelenmiştir.

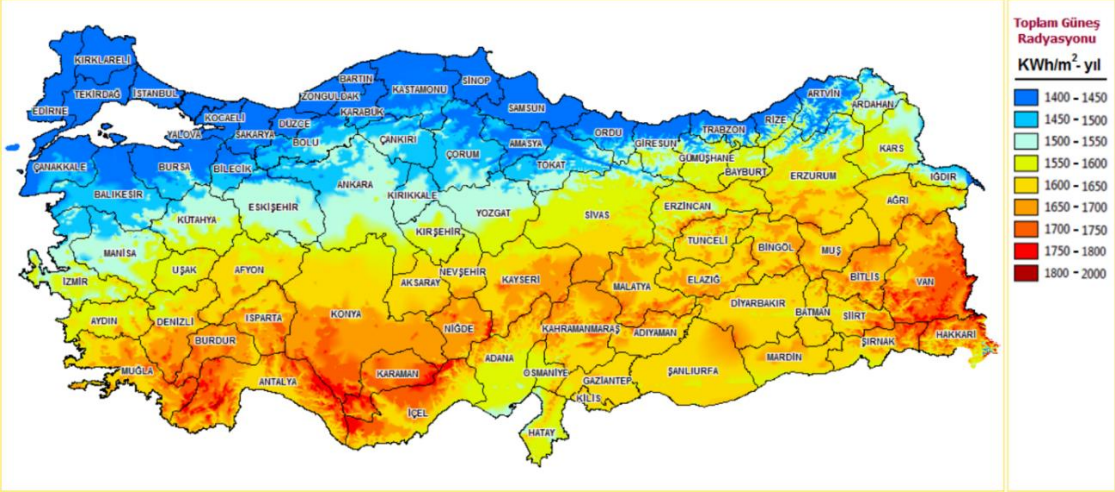


Şekil 2.1. Avrupa güneş enerjisi potansiyeli atlası (Solargis, 2021).

2.2. Türkiye İçin Güneş Işınım Verileri

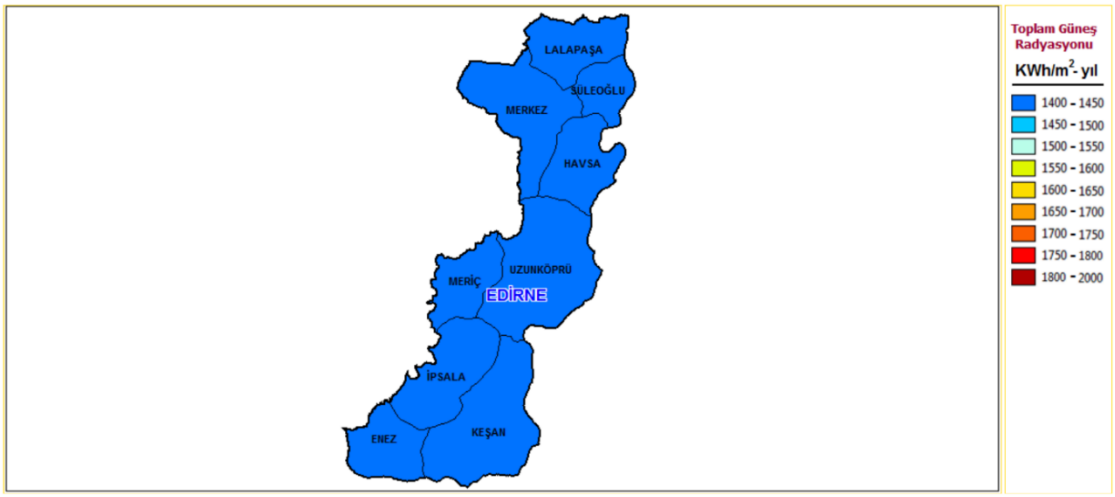
Ülkemiz için oluşturulan veriler incelendiğinde, görüldüğü üzere ülkemizin kuzey enlemlerinde bulunan şehirlerimizde güneş radyasyonu seviyeleri daha az, güney enlemlerinde bulunan şehirlerimizde güneş radyasyonu daha fazladır.

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın sitesinden alınan Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) Şekil 2.2'de gösterilmiştir (GEPA, 2021).



Şekil 2.2. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA, 2021).

Edirne ili için bu veriler incelendiğinde yıllık toplam güneş radyasyonu ise ülkemizdeki diğer illere kıyasla oldukça düşük kalmaktadır.



Şekil 2.3. Edirne ili güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA, 2021).

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın sitesinden alınan Edirne ili için Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) Şekil 2.3'te gösterilmiştir (GEPA, 2021).

2.3. Temel Güneş Açıları

Güneş panellerinin üzerine düşen güneş ışınları dik açıya yaklaştıkça panel verimleri artmaktadır. Güneş takip sistemleri ve bu çalışma için üretilen prototipler de panellerin sürekli olarak güneş ışınlarından en verimli şekilde faydalanacağı açıyı bularak, güneş ışınlarının panel yüzeyine dik veya dik açıya yakın bir şekilde düşmesini sağlayacak şekilde güneşi takip etmek üzerine çalışmaktadır.

Dünyanın kendi etrafında dönüşü, güneş etrafında dönüşü, eksen eğikliğinin yıl boyunca değişimi, dünya üzerindeki gözlemci konumunun değişkenliği, tarih ve saat gibi durumlardan dolayı güneş ışınlarının gözlemciye göre geliş açısı sürekli olarak değişmektedir. Sürekli olarak değişen bu güneş ışınlarının geliş açılarını hesaplamak için bazı temel kavramların tanımlarına ihtiyacımız vardır. Bu temel kavramlar aşağıdaki alt başlıklarda açıklanmıştır.

2.3.1. Deklinasyon Açısı (δ)

Güneş ışınlarının dünyaya geliş açısı, dünyanın eksen eğikliğinden kaynaklı olarak yıl boyunca +23,45° ile -23,45° arasında değişmektedir. Deklinasyon açısı; dünyanın ekvator düzlemi ile güneş ışınlarının yeryüzüne geliş doğrultusu arasındaki açıdır. Deklinasyon açısı sonbahar ve ilkbahar ekinoks günlerinde sıfır (20-21 Mart ve 22-23 Eylül), kış ve yaz gündönümü günlerinde (21-22 Aralık ve 20-22 Haziran) ise en yüksek ve en alçak değeri olan +23,45° ile -23,45° değerlerine ulaşır.

Deklinasyon açısı aşağıdaki Cooper eşitliğinden yaklaşık olarak bulunabilir (Duffie, 2013). Bu eşitlikteki n değeri; 1 Ocak günü başlangıç olarak kabul edildiğinde yılın kaçıncı gününde olduğumuzu ifade eder. Deklinasyon açısı "δ" simgesi ile gösterilmektedir. Denklem 2.1 deklinasyon açısını göstermektedir.

$$\delta = 23{,}45 \ \sin\left(360\frac{284+n}{365}\right) \tag{2.1}$$

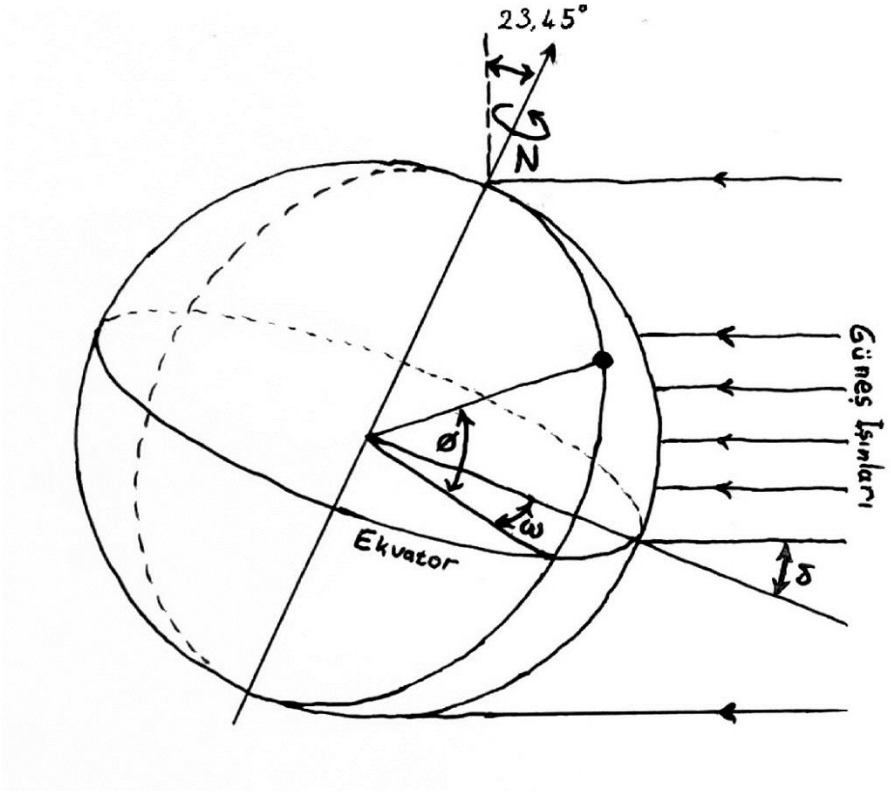
2.3.2. Saat Açısı (ω)

Dünya'da günlerin oluşmasını sağlayan kendi ekseni etrafında yaptığı dönüşten dolayı saatlere göre değişen açı saat açısı olarak adlandırılır. Saat açısı; yeryüzünde bulunduğumuz konumun boylam açısı ile güneş ışınlarının geliş açısı arasındaki açıdır ve öğleden önce negatif, öğleden sonra pozitif olmaktadır. Saat açısı zamanın açısal hali olarak değerlendirilirse 15° boylam 1 saate denk gelmektedir. Güneşin saat açısı yerel ortalama zaman veya diğer ismi ile mahalli vasati zaman (Local Mean Time veya LMT) üzerinden hesaplanır. Yerel ortalama saat 12:00 olduğunda güneş tam tepededir ve saat açısı 0° olmaktadır. Saat açısı güneş öğlesinden öncesinde negatif, sonrasında pozitif değer almaktadır. Saat açısı "ω" simgesi ile gösterilmektedir. Aşağıda Denklem 2.2 ile güneş saat açısı hesabı gösterilmiştir.

$$\omega = 15 \times (LMT - 12) \tag{2.2}$$

2.3.3. Enlem Açısı Ø

Dünyanın üzerinde bulunduğumuz noktanın derece cinsinden enlemine karşılık gelir. Ekvator düzlemi ile yeryüzü koordinat sisteminde gözlemcinin bulunduğu noktayı birleştiren doğrunun yaptığı açıdır. Enlem açısı +90° ile -90° arasında değerler alır. Enlem açısı "Ø" simgesi ile gösterilmektedir. Temel güneş açılarının gösterimi Şekil 2.4'teki gibidir.



Şekil 2.4. Enlem açısı ø, saat açısı ω ve deklinasyon açısı δ'nın gösterimi.

2.4. Türetilen Güneş Açıları

2.4.1. Zenit Açısı (θ_z)

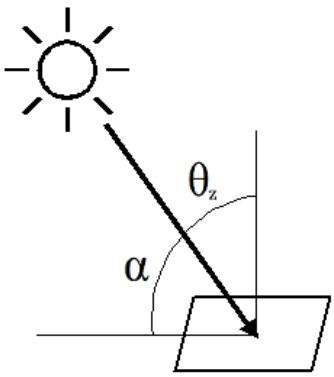
Zenit açısı dünya üzerinde gözlemcinin bulunduğu düzlemin normali ile güneş ışınlarının arasındaki açıdır. Aynı zamanda zenit açısı güneş yükseklik açısının tümler açısıdır. Yani güneş yükseklik açısı ile zenit açıları toplamı 90° ye eşittir.

Zenit açısının güneş panellerinin verimleri üzerinde direkt olarak etkisi mevcuttur (Özkan & Demir, 2019). Zenit açısı "θ_z" simgesi ile gösterilmektedir. Denklem 2.3 zenit açısı ile yükseklik açısı arasındaki ilişki verilmiştir.

$$\theta_z = \alpha - 90 \qquad (2.3)$$

2.4.2. Yükseklik Açısı (α)

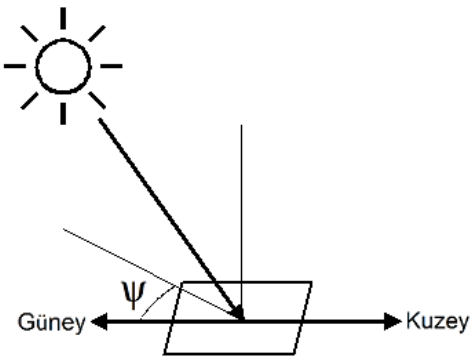
Yükseklik açısı güneş ışınlarının gözlemcinin yeryüzü üzerinde bulunduğu düzlem ile yaptığı açıdır. Yükseklik açısı zenit açısı ile tümler açılarıdır. Şekil 2.5'te yükseklik açısı "α" simgesi ile gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Zenit açısı θ_z ve yükseklik açısı α.

2.4.3. Azimut Açısı (ψ)

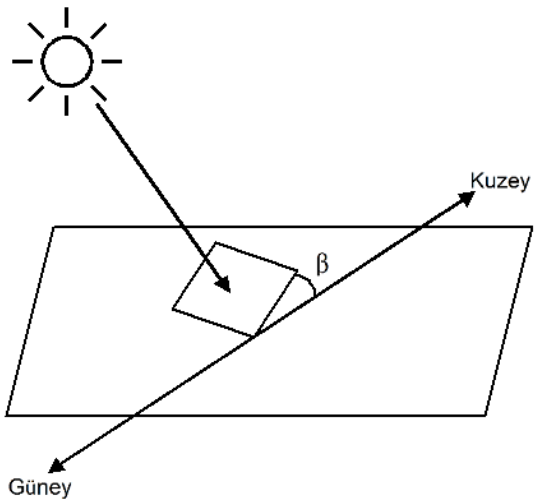
Azimut açısı güneş ışınlarının gözlemcinin bulunduğu düzleme izdüşümü ile direkt güneyin yaptığı açıdır. Azimut açısı sabit eğim açılı güneş panellerinde verimlilik açısından önemli bir unsurdur, güneş panellerinin 0°'den farklı güney azimut açıları ile konumlandırılması durumlarında verim kayıpları gerçekleşmektedir (Yıldırım & Aktacir, 2019). Azimut açısı "ψ" simgesi ile gösterilmektedir. Azimut açısı Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Azimut açısı ψ.

2.4.4. Panel Eğim Açısı (β)

Panel eğim açısı; dünya üzerinde bulunulan yatay düzlem ile güneş paneli arasında kalan açıdır. Panel eğim açısı β ile gösterilmektedir. Panel eğim açısı "β" Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Panel eğim açısı β.

2.5. Optimum Panel Eğim Açısı (β_{opt})

Deklinasyon açısının yıl boyunca sürekli olarak değişiminden ve dünya üzerinde bulunulan enlem açısından dolayı panel eğim açıları aylık, yıllık, mevsimlik olarak değişim göstermektedir. Optimum panel eğim açıları panel verimliliğinin arttırılmasında önemli bir unsurdur ve bu konuda çokça bilimsel çalışma yapılmaktadır (Dal, 2021); (Ulgen, 2006); (Bakirci, 2012).

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen tek eksenli takip sisteminin panel eğim açısı manuel olarak ayarlanabilmektedir. Prototipin optimum panel eğim açılarını belirlemek için yapılan hesaplamalı çalışmadan alt başlıklarda bahsedilmiştir. Alt başlıklardaki hesaplamalarda ekim ve kasım ayları için bulunan optimum aylık panel eğim açıları gerçekleştirilen prototipin güneş panellerinin eğim açılarını ayarlamakta kullanılmıştır.

2.5.1. Hottel&Woertz Metodu ve Optimum Panel Eğim Açısı (β_{opt})

Optimum panel eğim açısı hesaplamalarında kullanılan çokça yöntem vardır. Bu yöntemlerden birisi Hottel&Woertz metodudur. Hottel&Woertz metodu; çeşitli zaman aralıkları için ortalama optimum panel eğim açılarının yaklaşık olarak bulunabildiği bir metottur. Bu metot ile Edirne ili için enlem açısı Ø = 41,6771° olarak kabul edilerek MATLAB programında yıllık, aylık, mevsimlik (3 aylık) ve yarıyıllık (6 aylık) olarak optimum panel eğim açıları hesaplanmıştır.

2.5.2. Hesaplamalar ve Optimum Panel Eğim Açısı Sonuçları

Hottel&Woertz metodu ile optimum panel eğim açısı hesaplamaları için formüller aşağıdaki Denklem 2.4 ve Denklem 2.5'te verilmiştir. Hottel&Woertz metodu kullanılarak MATLAB programında 365 gün için ayrı ayrı panel eğim açıları bulunup ortalamaları alınarak aylık, mevsimlik ve yıllık optimum panel eğim açıları hesaplanmıştır. Denklem 2.4 ve Denklem 2.5'te "β_{opt}" optimum panel eğim açısını, "φ" enlem açısını, "n" gün sayısını ve "δ" deklinasyon açısını ifade etmektedir.

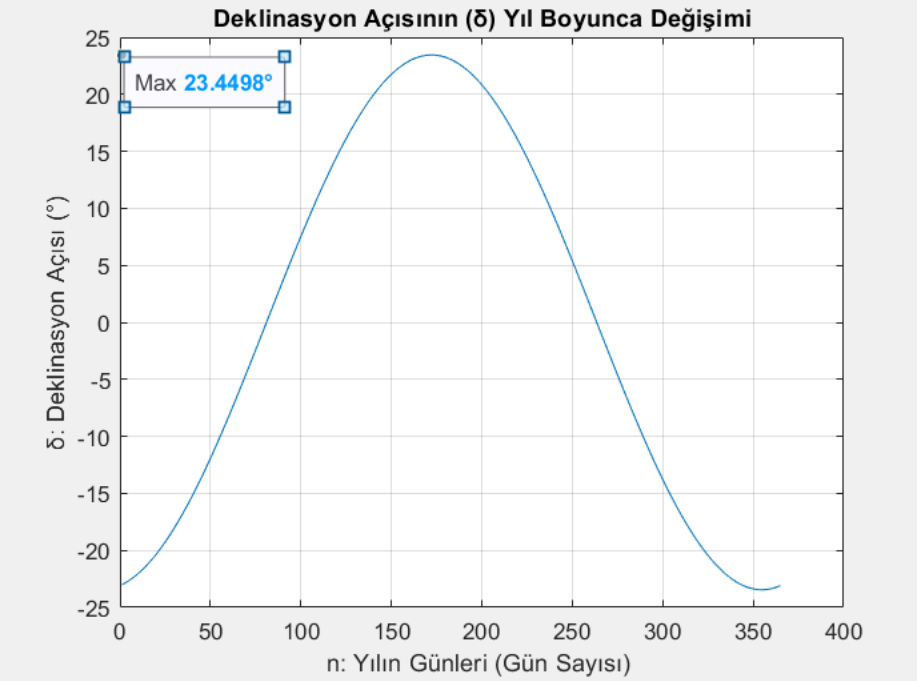
$$\beta_{opt} = \varphi - \delta \tag{2.4}$$

$$\delta = 23{,}45 \sin[360\,(284 + n)/365] \tag{2.5}$$

2.5.3. Edirne İli İçin Optimum Güneş Paneli Eğim Açılarının Hesaplanması

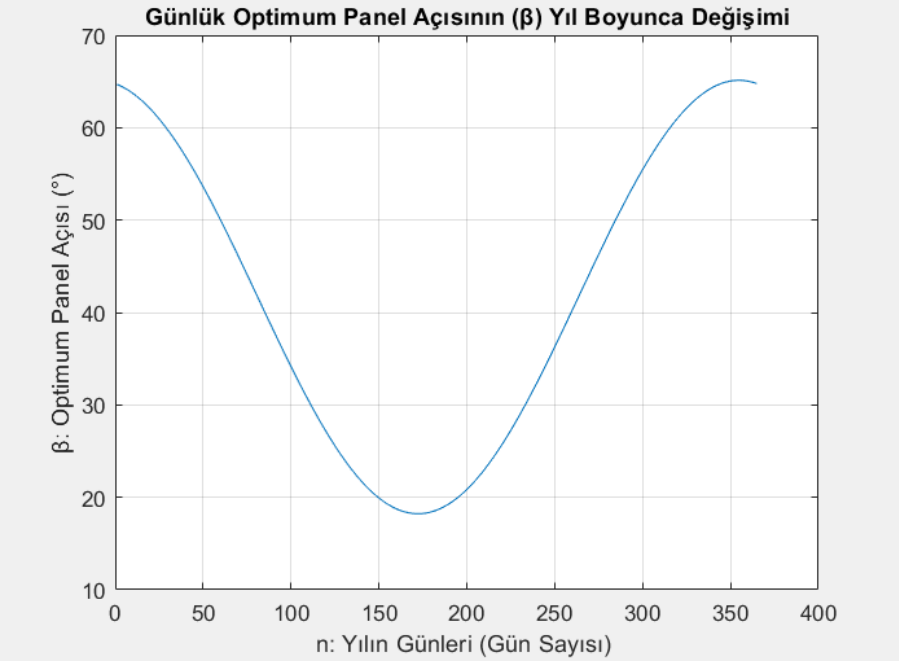
Çalışmada Denklem 2.4 ve Denklem 2.5'e göre Edirne ili için Enlem Açısı Ø = 41,6771° kabul edilerek MATLAB programında günlük deklinasyon açıları (δ) ve günlük optimum panel eğim açıları (β_{opt}) hesaplanmıştır. Günlük olarak hesaplanan değerler baz alınarak aylık, mevsimlik ve yarıyıllık optimum panel eğim açısı değerleri o ayın, mevsimin ve yarıyılın optimum panel eğim açılarının aritmetik ortalamaları alınarak hesaplanmıştır.

Program ile yapılan hesaplamalar için deklinasyon açısının yıl boyunca değişim grafiği Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



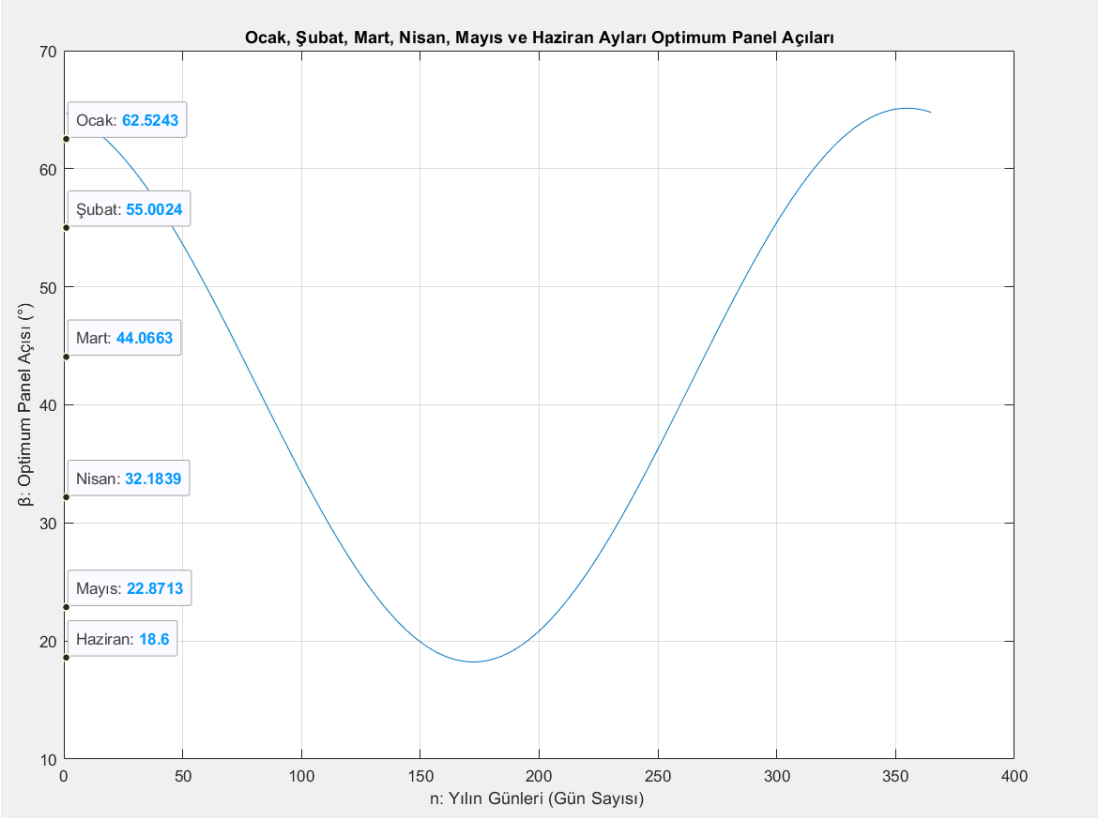
Şekil 2.8. Deklinasyon açısının yıl boyunca değişimi.

Program ile yapılan hesaplamalar için günlük optimum panel eğim açısının yıl boyunca değişim grafiği Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



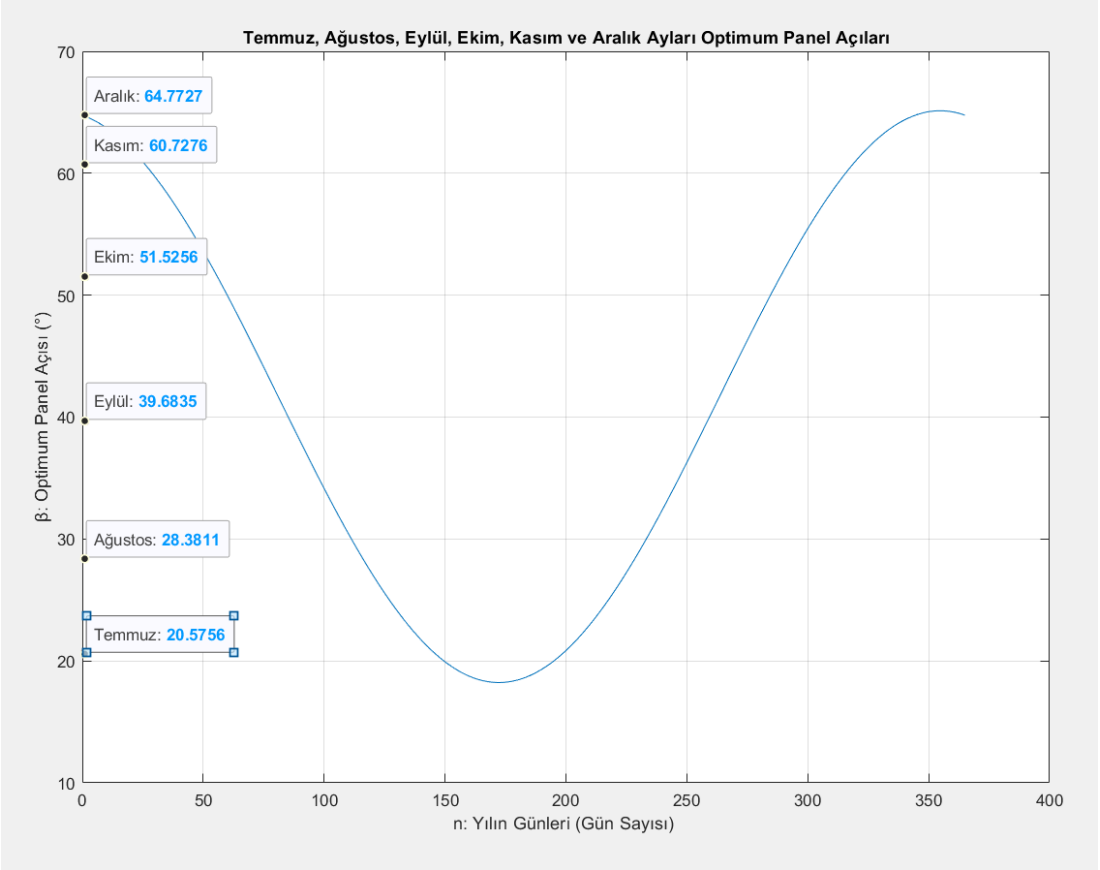
Şekil 2.9. Günlük optimum panel eğim açısının yıl boyunca değişimi.

Program ile ocak, şubat, mart, nisan, mayıs ve haziran ayları için hesaplanan optimum panel eğim açıları Şekil 2.10'da gösterilmiştir. Günlerin optimum panel eğim açılarının ortalamaları alınarak hesaplanan aylık optimum panel eğim açıları ocak ayı için 62,5243°, şubat ayı için 55,0024°, mart ayı için 44,0663°, nisan ayı için 32,1839°, mayıs ayı için 22,8713°, haziran ayı için 18,6° olarak hesaplanmıştır.



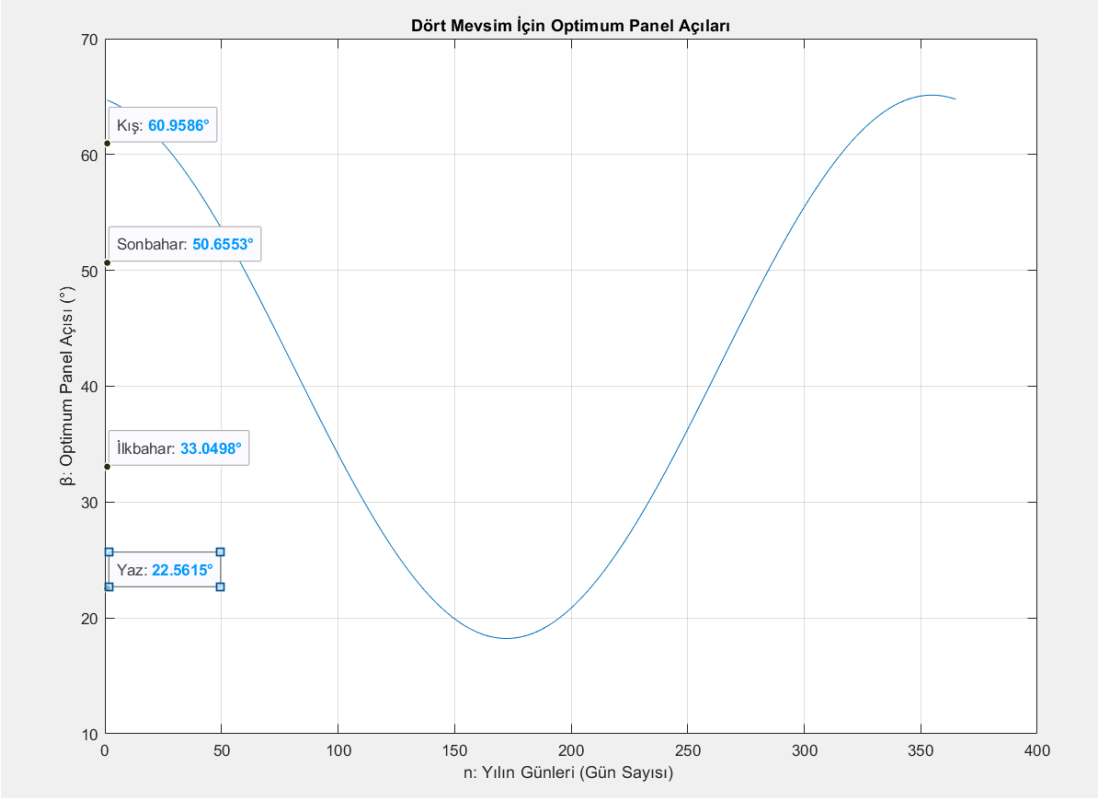
Şekil 2.10. Ocak, şubat, mart, nisan, mayıs ve haziran ayları optimum panel eğim açıları.

Program ile temmuz, ağustos, eylül, ekim, kasım ve aralık ayları için hesaplanan optimum panel eğim açıları Şekil 2.11'de gösterilmiştir. Günlerin optimum panel eğim açılarının ortalamaları alınarak hesaplanan aylık optimum panel eğim açıları temmuz ayı için 20,5756°, ağustos ayı için 28,3811°, eylül ayı için 39,6835°, ekim ayı için 51,5256°, kasım ayı için 60,7276°, aralık ayı için 64,7727° olarak hesaplanmıştır.



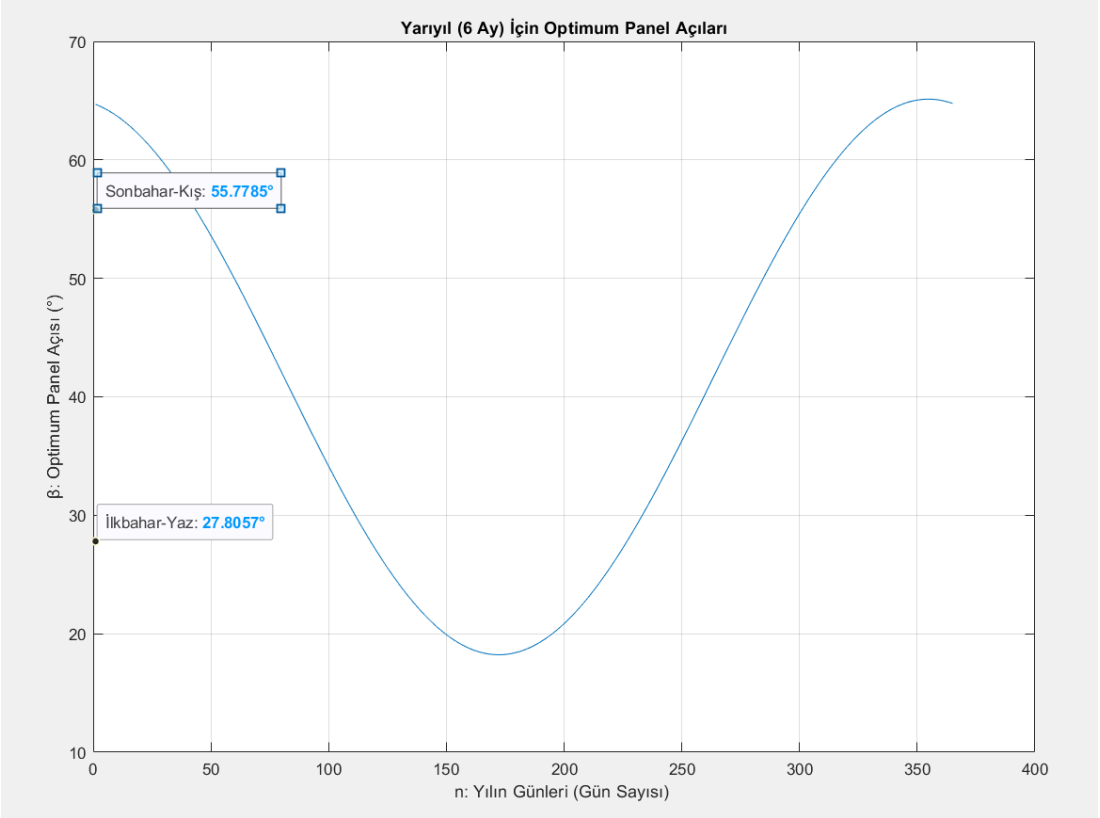
Şekil 2.11. Temmuz, ağustos, eylül, ekim, kasım ve aralık ayları optimum panel eğim açıları.

Program ile ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için hesaplanan optimum panel eğim açıları Şekil 2.12'de gösterilmiştir. Günlerin optimum panel eğim açılarının ortalamaları alınarak hesaplanan mevsimlik optimum panel eğim açıları ilkbahar mevsimi için 33,0498°, yaz mevsimi için 22,5615°, sonbahar mevsimi için 50,6553°, kış mevsimi için 60,9586° olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2.12. İlkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için optimum panel eğim açıları.

Program ile 6 aylık ilkbahar-yaz ve sonbahar-kış mevsimleri için hesaplanan optimum panel eğim açıları Şekil 2.13'te gösterilmiştir. Günlerin optimum panel eğim açılarının ortalamaları alınarak hesaplanan 6 aylık optimum panel eğim açıları ilkbahar-yaz mevsimleri için 27,8057°, sonbahar-kış mevsimleri için 55,7785° olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2.13. İlkbahar-yaz ve sonbahar-kış mevsimleri için 6 aylık optimum panel eğim açıları.

Edirne ili konumunda yapılan hesaplamalarda 365 ayrı günlük deklinasyon açıları, 365 günlük optimum panel eğim açıları hesaplanmıştır. Edirne ili için bu optimum panel eğim açıları yıl boyunca 65.1269° ile 18.2273° arasında değişmektedir. Optimum günlük panel eğim açısının en büyük değeri 65.1269° ile 21 Aralık gündönümünde, en küçük değeri ise 18.2273° ile 21 Haziran gündönümünde oluşmaktadır.

Çalışmada Sonbahar mevsimi için Hottel&Woertz metodu ile MATLAB programında hesaplanan optimum panel eğim açı değeri 50,6553°, üretilen prototiplerin panel eğim açılarının el ile ayarlanması için kullanılmıştır.

BÖLÜM 3

UYGULAMA VE PROTOTİP DÜZENEĞİ

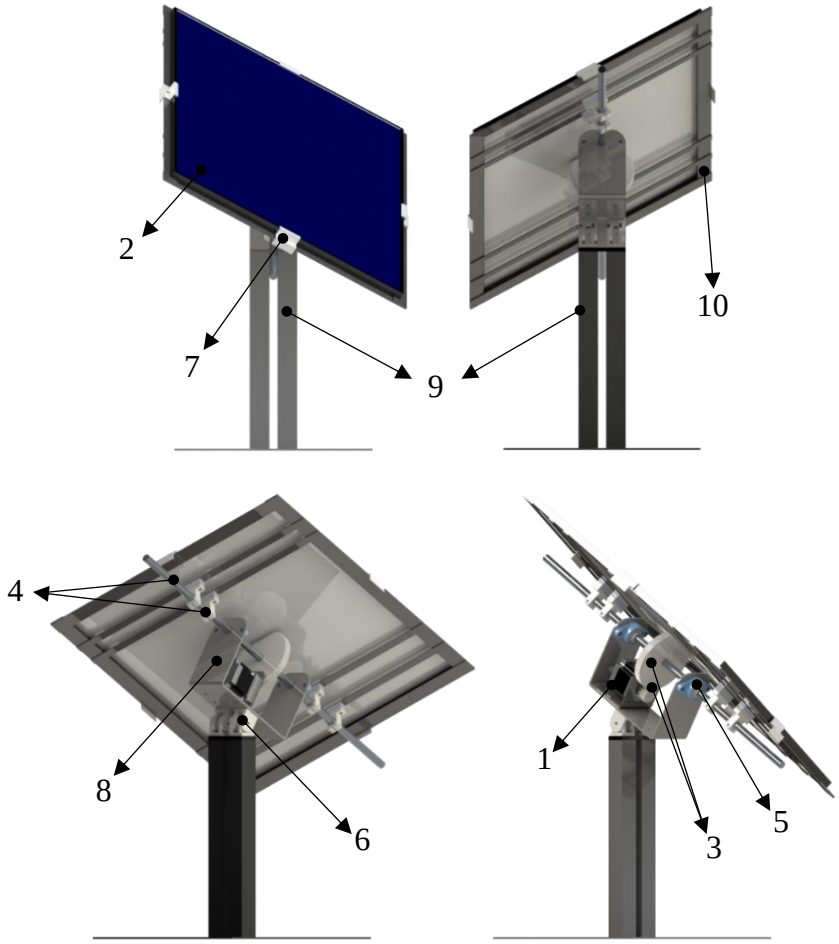
3.1. Güneş Takip Sistemi Prototipi

Güneş takip sistemleri mekanik sistemlerine göre (aktif-pasif), takip ekseni sayılarına göre (tek eksenli-çift eksenli) ve kontrol yöntemine göre (kapalı çevrim sensörlü veya açık çevrim hesaplamalı) olarak farklı şekilde sınıflandırılabilir (Önal, 2009). Temel olarak takip eksenlerinin sayılarına göre tek eksenli ve iki eksenli olarak sınıflandırılabilirler. Bu çalışmada tek eksenli güneş takibi yapan iki adet prototip geliştirilerek uygulaması yapılmıştır ve güneş panellerinden güç verileri toplanmıştır. Bu veriler panel yüzeylerinin kirlilik durumlarına, sensörlü ve hesaplamalı olarak geliştirilen iki ayrı güneş takip yöntemine göre karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Çalışma için gerçekleştirilen prototipler; doğu-batı yönünde tek eksenli olarak takip yapabilmektedir. Güneş panellerinin optimum panel eğim açıları (β_{opt}) Hottel&Woertz metodu ile sonbahar ayları için hesaplanan ortalama değere göre yaklaşık olarak hareketli mafsal yardımıyla ayarlanmıştır. Çalışmada Hottel&Woertz metodu ile Edirne ili ve sonbahar ayları için ortalama optimum panel eğim açısı (β_{opt}) 50,6553° olarak hesaplanmıştır.

Prototiplerin mekanik tasarımı bilgisayar destekli tasarım programı (CAD) yardımıyla yapılmıştır ve tasarlanan parçalar çeşitli yöntemler ile üretilmiştir. Prototipin

CAD programındaki tasarımının önden, çapraz, yandan ve arkadan görünümleri Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Prototipin CAD programından çeşitli açılardan görünümleri.

Şekil 3.1’de oklar ile belirtilen, prototipler için kullanılan bileşenler Çizelge 3.1.’de numaralarıyla birlikte açıklanmıştır.

Çizelge 3.1. Prototip Bileşenlerinin Açıklamaları

1. Step Motor
2. Güneş Paneli
3. Dişli Çarklar
4. Mil ve Mil Tutucular
5. Yataklı Rulman
6. Hareketli Mafsal
7. Z Klemp Güneş Paneli Tutucu
8. Mil-Motor Bağlantı Parçası
9. Prototip Ayakları
10. Panel Tutucu Çerçeve

3.1.1. Step Motor

Güneş takip sisteminin prototipinde sisteme tek eksende hareket vermek için kullanılmıştır. Step motorlar pozisyon kontrolünde avantajlı ve yüksek tutma torklu olmaları sebebiyle tercih edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan step motorun modeli Nema 34 86BHH80-Y420C-Y32B, tutma torku 45kg.cm, akım değeri 4,2A, voltaj değeri 3,6V, 4 fazlı, adım açısı 1,8° ve ağırlığı 2,4kg'dır. Prototiplerde kullanılan step motor çeşidi Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Prototiplerde kullanılan Nema 34 step motor.

3.1.2. Step Motor Sürücü

Prototiplerde kullanılan step motorlara hareket verebilmek için “DM860 2H Microstepdriver” modeli step motor sürücüler kullanılmıştır. Kullanılan step motor sürücüsü Şekil 3.3’te gösterilmiştir. Step motor sürücüleri üzerinde step motor milinin bir tam devir dönmesi için gereken darbe sayısını ayarlamaya yarayan Darbe/Devir tabloları ve sürücü üzerlerinde devir başına darbe sayısını ayarlamak için anahtarlar mevcuttur.



Şekil 3.3. Prototiplerde kullanılan step motor sürücüsü.

Geliştirilen güneş takip sisteminde motorun daha hassas açı değerleri ile çalışmasına ihtiyaç olduğundan sürücü üzerindeki Darbe/Devir tablosu üzerinden bu değer 25600 adım sayısı olarak seçilmiştir. Step motor sürücüsü üzerindeki DIP anahtarda SW5, SW6, SW7 ve SW8 anahtarları sırasıyla tabloda belirtilen konumlarında ayarlanmıştır. Step motorun milinin 1 tur (360°) dönmesi için sürücüye 25600 darbe gönderilmesi gerekmektedir. Her bir darbe için adım açısı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Step motor mili için darbe başına adım açısı (θ_{smm}) formülü Denklem 3.1 ile gösterilmiştir.

$$\theta_{smm} = \frac{360}{Devir\ Başına\ Darbe\ Sayısı} \quad (3.1)$$

$$360/25600 = 0{,}0140625\,°$$

$$\theta_{smm} = 0{,}0140625°$$

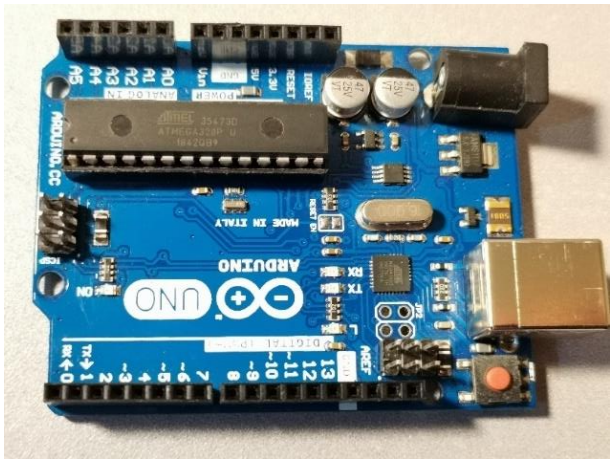
Hesaplanan darbe başına adım açısı değeri 0,0140625°, motor milinin sürücüye gönderilen her bir elektriksel darbe için dönme açısıdır. Bu değer aşağıdaki başlıklarda dişli çarkların çevrim oranı göz önünde bulundurularak tekrar hesaplanıp her bir elektriksel darbe ile güneş panellerinin dönüş açısının hesaplanmasında kullanılmıştır.

3.1.3. Arduino UNO

Prototiplerde geliştirme kartı olarak Arduino UNO kullanılmıştır, kullanılan Arduino UNO Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Kullanılan Arduino UNO ATmega328P mikrodenetleyici çipine sahip, açık kaynak kodlu ve hobi elektroniği için popüler olarak kullanılan bir geliştirme kartıdır. Geliştirme kartının özellikleri aşağıdaki Çizelge 3.2.'de gösterilmiştir (Arduino, 2022).

Çizelge 3.2. Arduino UNO Özellikleri (Arduino, 2022)

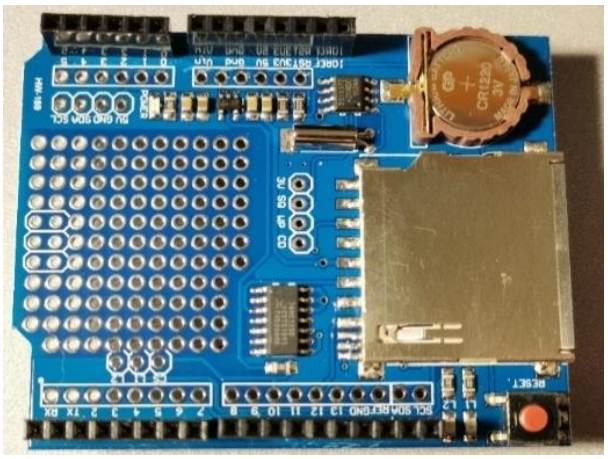
Mikrodenetleyici	Microchip ATmega328P
Çalışma Gerilimi	5 Volt
Kart Giriş Gerilimi	7-12 Volt
Dijital Giriş- Çıkış Pinleri	14 Adet, 6 adedi darbe genişliği modülasyonu (PWM) çıkışı
UART/I2C/SPI Haberleşme	1 Adet/1 Adet /1 Adet
Analog Giriş Pinleri	6 Adet
SRAM/EEPROM	2 Kilobayt/1 Kilobayt
Program Hafızası	32 Kilobayt



Şekil 3.4. Arduino UNO.

3.1.4. RTC-Veri Kaydedici Arduino UNO Modülü

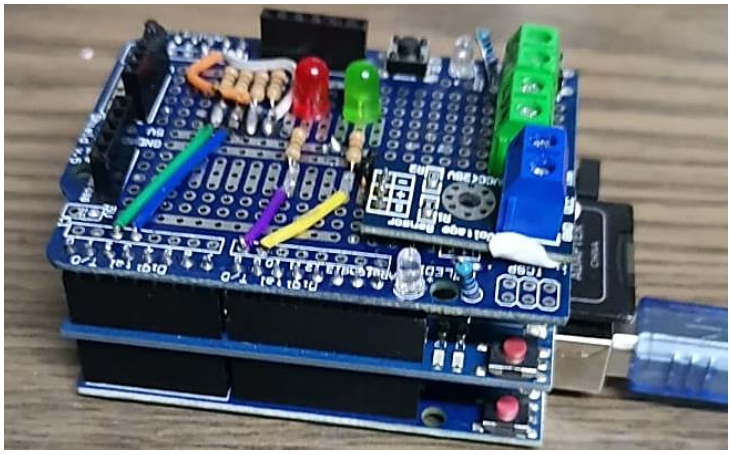
Güneş panellerinden alınan voltaj ve güç verilerini hafıza kartına kaydetmek ve sürekli olarak gerçek saat bilgisine erişmek için kullanılan Real Time Clock (RTC) ve veri kaydedici modülü Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. RTC-veri kaydedici Arduino UNO modülü.

3.1.5. Arduino UNO Prototip Modülü

Gerçekleştirilen prototiplerde Arduino üzerinde kolay bir şekilde devre kurabilmek için UNO modelinin pinleri üzerinde eşleşen prototip modülleri kullanılmıştır. Prototip modülleri üzerine sınır anahtarları için 2 adet 220 Ω (pull-up) direnç, step motorun son dönüş yönünü belli etmek üzere 2 adet LED, 2 adet 330 Ω direnç, voltaj sensörü ve sensör kablolarını bağlamak üzere klemensler lehimlenmiştir. Arduino UNO prototip modülü Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Arduino UNO prototip modülü.

3.1.6. LM35 Sıcaklık Sensörü

LM35 sıcaklık sensörü hava sıcaklığını anlık olarak ölçmek için kullanılmıştır. Sensör IP68 koruma derecelendirmesindedir, su ve toz geçirmez özelliktedir, -20°C 105°C arasında ölçüm yapabilmektedir. Sensörün ölçüm ucu paslanmaz çelik malzeme ile kaplıdır. LM35 sıcaklık sensörü Şekil 3.7 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.7. LM35 sıcaklık sensörü.

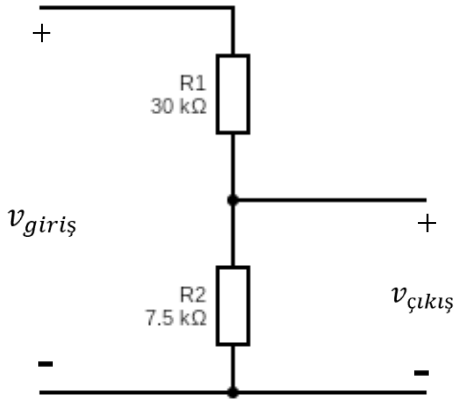
3.1.7. Voltaj Sensörü

Güneş panellerinden gelen voltajların ölçülmesi için basit bir şekilde gerilim bölücü devresi içeren voltaj sensör modülü kullanılmıştır, kullanılan modül Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Kullanılan voltaj sensörü oluşturulan prototip için yeterli olan 25V'a kadar gerilim değerlerini ölçebilmektedir. Sensörden Arduino UNO'nun analog giriş pinlerine bağlanarak veri alınmaktadır.



Şekil 3.8. Voltaj sensörü.

Aşağıda Şekil 3.9'da voltaj sensörünün gerilim bölücü devre şeması ve kullanılan güneş panelinin açık devre gerilimi için voltaj sensöründen çıkışından alınan $V_{çıkışmaks.}$ değeri gösterilmiş ve bu değer Denklem 3.2 ile hesaplanmıştır. Denklemde $V_{giriş}$; güneş panelinden okunan voltaj değerini, $V_{çıkış}$ ise sensörün Arduino UNO'ya bağlanan ve analog sinyal pinlerinden okunan voltaj değerini göstermektedir.



Şekil 3.9. Gerilim bölücü devre şeması.

$$V_{çıkış} = \frac{V_{giriş} \times R_2}{(R_1 + R_2)} \qquad (3.2)$$

$$V_{girişmaks.} = 24{,}05\ V$$

$$V_{çıkışmaks.} = \frac{24{,}05 \times 7500}{(30000 + 7500)}$$

$$V_{çıkışmaks.} = 4{,}81V$$

Denklem yardımıyla hesaplanan maksimum çıkış değeri $V_{çıkışmaks.}$, 5V değerini aşmayıp Arduino UNO ile kullanılabilmektedir. Güneş panelinden okunabilecek en yüksek değer olan açık devre voltajı 24,05V ise voltaj sensörünün maksimum ölçüm sınırı olan 25V'u aşmamaktadır.

3.1.8. Elektrik Panosu

Elektronik cihazların, güç kaynaklarının ve sürücülerin düzenli bir biçimde birbirlerine elektriksel bağlantısının yapılması ve dış ortamdan etkilenmemesi için kapaklı ABS plastik malzemeden elektrik panosu kullanılmıştır. Pano içerisinde klemensler, kaçak akım koruma rölesi, step motor sürücüleri, 12V, 48V ve 5V metal kasalı güç kaynakları, üç adet Arduino UNO ve üzerlerinde elektronik bileşenlerin yer aldığı modüller bulunmaktadır. Kablo bağlantıları ve montajı yapılan elektrik panosu Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Elektrik panosu.

3.1.9. Tel Sarım Alüminyum 100W Direnç

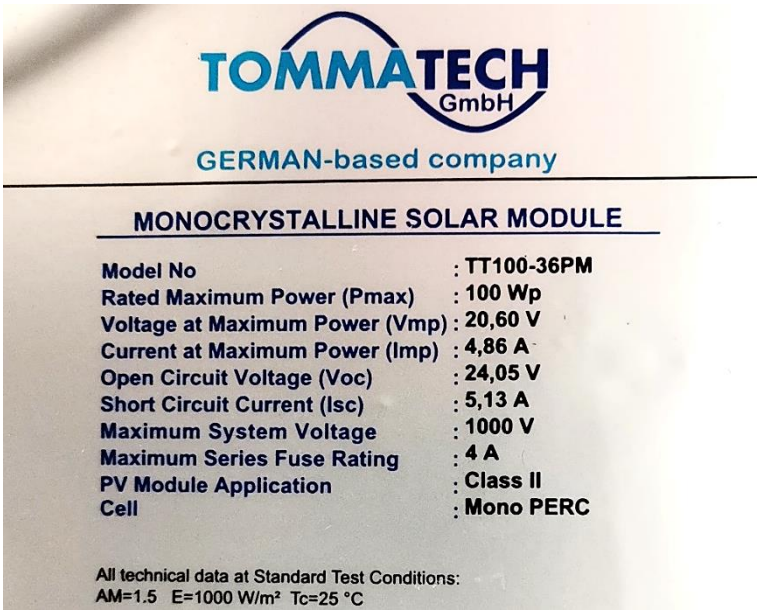
Güneş panellerinin güç çıkışı uçlarına yük olarak 100W ve 10Ω tel sarım alüminyum dirençler ikili paralel gruplar halinde bağlanmıştır. Güneş panellerinin voltaj verisi bu dirençler üzerinden sensörler ile okunmuştur. Dirençlerin prototipe montajlı hali Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



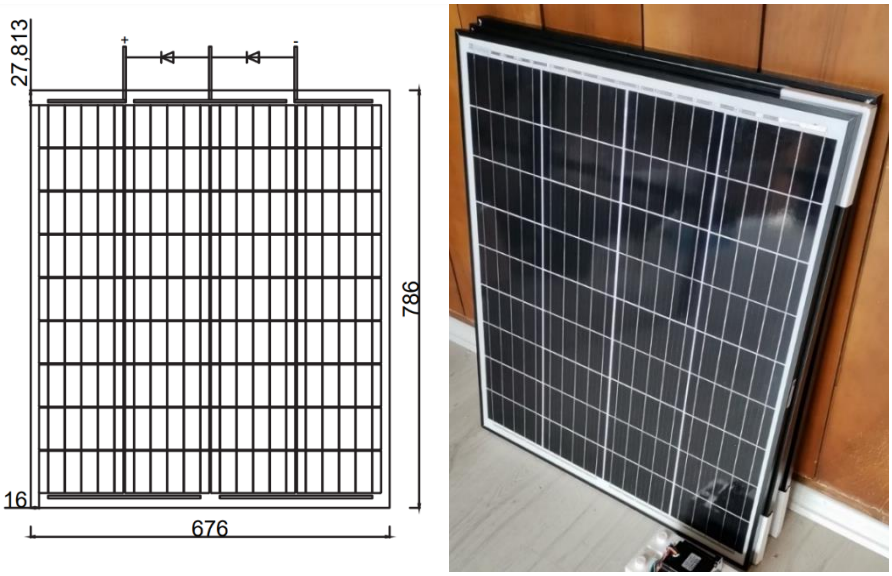
Şekil 3.11. Paralel bağlı tel sarım alüminyum dirençler.

3.1.10. Güneş Paneli

Güneş panelleri basitçe; üzerlerine düşen ışığı elektrik enerjisine dönüştüren, çeşitli yarı iletken malzemeler ve üretim yöntemleri ile imal edilen ürünlerdir. Güneş panellerinin bir dezavantajı üzerlerine düşen ışık enerjisinin sadece %20 kadarını elektrik enerjisine dönüştürebilmesidir (Şengül, İşen, & Uzun). PERC (Passivated Emitter and Rear Contact) teknolojisi güneş panellerinin verimliliklerini arttırmak için kullanılan bir yarı iletken teknolojisidir (Öztürk, 2016). Prototip için kullanılan güneş panelleri maksimum 100W gücünde, monokristal silisyum malzemeden, PERC teknolojisi ile üretilmiş panellerdir. Çalışmada kullanılan panellerin modelleri ve markaları panel verimleri karşılaştırmaları yapılacağından dolayı aynıdır. Güneş panellerinin teknik özelliklerini içeren etiket, panel boyutlarını gösteren teknik çizim ve fotoğrafları Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



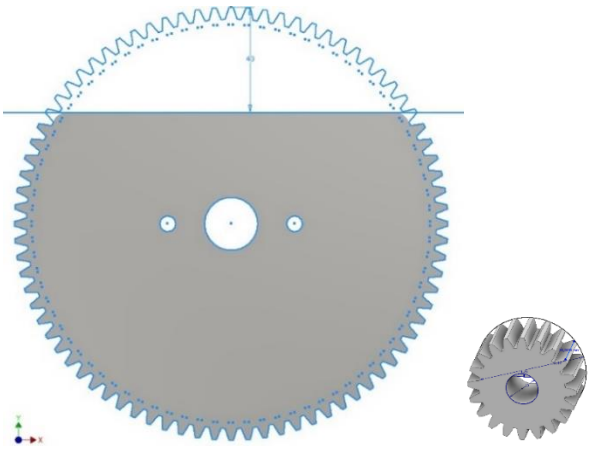
Şekil 3.12. Güneş panellerinin teknik özelikleri.



Şekil 3.13. Güneş panelleri ve teknik çizimi.

3.1.11. Dişli Çarklar

Prototiplerde step motor ve mil arasında güç aktarma elemanı olarak karşılıklı çalışan düz dişli sistemi kullanılmıştır. Sistemde kullanılan küçük dişli çark step motor mili üzerine, büyük dişli çark ise SHF20 bağlantı parçası ile mil üzerine monte edilmiştir. Prototiplerde kullanılan dişli çarkların tasarımı CAD programı yardımıyla yapılıp 3 boyutlu yazıcı ile PLA filamentten üretilmiştir. Üretilen dişli çarkların CAD programına ait görselleri Şekil 3.14'te gösterilmiştir.

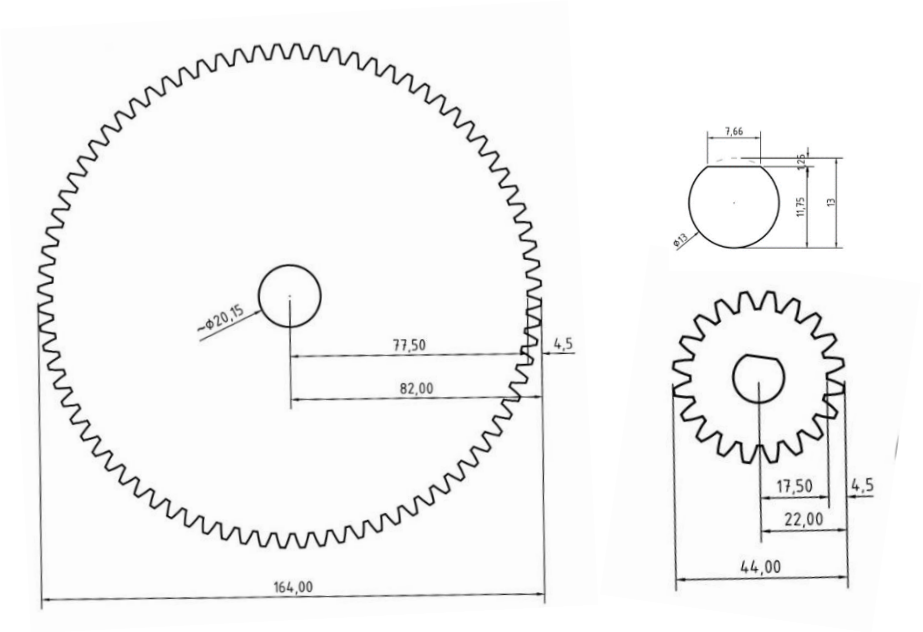


Şekil 3.14. Dişli çarkların CAD programına ait görselleri.

Step motor mili ve panel tutucu çerçeveye bağlı milin üzerine monte edilen dişli çarkların özellikleri Çizelge 3.3. ile verilmiştir. Üretilen dişli çarkların teknik çizimleri Şekil 3.15'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Üretilen Dişli Çarkların Özellikleri

Dişli Çarkların Özellikleri	**Modül (M)**	**Dişli Sayısı (Z)**
Küçük Dişli Çark	M2	$Z_1 = 20$
Büyük Dişli Çark	M2	$Z_2 = 80$



Şekil 3.15. Dişli çarkların teknik çizimleri.

Prototipte kullanılan küçük ve büyük dişli çarkların diş sayıları farklı olduğundan açısal olarak dönüş oranları da farklı olacaktır. Bu açısal oran çevrim oranı (i) ile hesaplanabilir. Aşağıdaki denklemlerde çevrim oranı (i) ve step motora gönderilen her bir elektriksel darbe sinyali için büyük dişli çarkın dönüş açısı (θ_{bd}) hesaplanmıştır. Sistemde kullanılan büyük dişli çark direkt olarak güneş panel tutucu çerçeveye bağlı olduğundan panelin dönüş açısı da bu değere eşittir. Step motor üzerindeki küçük dişli

çarkın darbe başına dönüş açısı (θ_{kd}) ile motor milinin darbe başına dönüş açısı (θ_{smm}) birbirine eşittir. Hesaplamalar Denklem 3.3, 3.4 ve 3.5'te gösterilmiştir (Avcıl, 2006).

$$i = \frac{Z_1}{Z_2} \tag{3.3}$$

$$i = \frac{20}{80}$$

$$i = 0{,}25$$

$$\theta_{kd} = \theta_{smm} \tag{3.4}$$

$$\theta_{kd} = 0{,}0140625°$$

$$\theta_{bd} = \theta_{kd} \times i \tag{3.5}$$

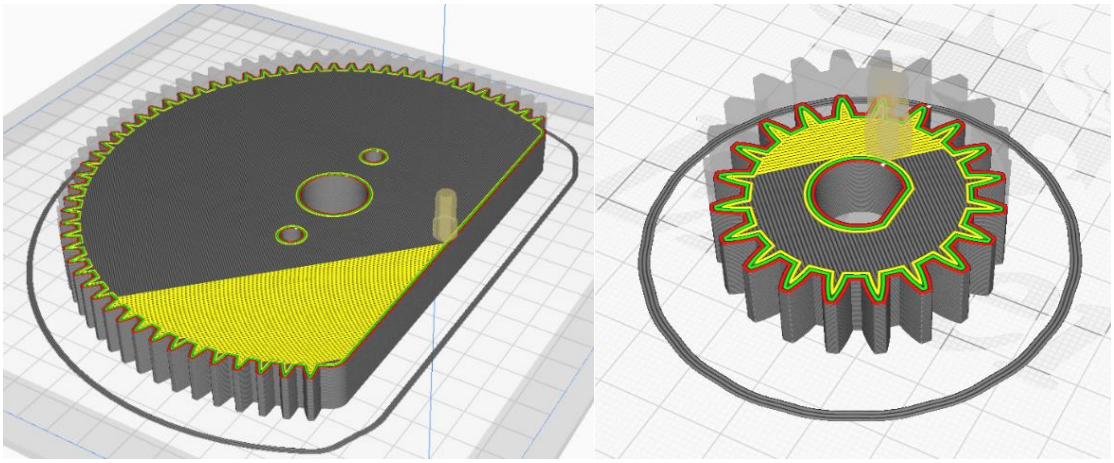
$$\theta_{bd} = 0{,}0140625 \times 0{,}25$$

$$\theta_{bd} = 0{,}003515625°$$

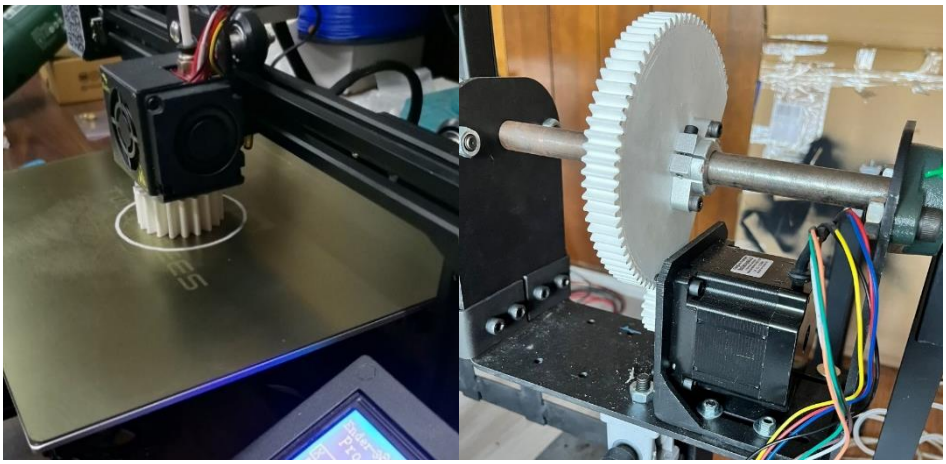
Hesaplanan θ_{bd} açısı takip sisteminin programlamasında adım sayıcı değişken ile çarpılarak panel açısını hesaplamada kullanılmıştır.

Dişli çarkların üretiminde FDM tipi yazıcı ile PLA filamentten baskı alınmıştır. Düşük miktarlarda üretimde maliyet indirgeyici özelliği ve gittikçe yaygınlaşan 3 boyutlu yazıcılara erişim kolaylığı artık pek çok alanda bu yazıcıların kullanılmalarını sağlamaktadır. Kullanılacak parçalar dişli çark gibi mekanik elemanlar olsa da prototipleme için üretilecek parçaların çıktılarının yeterli mekanik özelliklerde olacağı yapılan çalışmalarla desteklenmektedir (Tatlı, 2020).

Dişli çarkların 3 boyutlu yazıcı dilimleme programından üretime hazırlık aşamaları Şekil 3.16'da gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Dişli çarkların 3 boyutlu yazıcı dilimleme programına ait ekran görüntüleri.



Şekil 3.17. Dişli çarkların 3 boyutlu yazıcı ile üretimi ve montajı.

CAD programı yardımıyla tasarlanan ve üretime hazırlanan dişli çarkların 3 boyutlu yazıcı ile üretimleri ve montajları Şekil 3.17'de gösterilmiştir.

3.1.12. Mil ve Mil Tutucular

Prototipte kullanılan büyük dişli çarkı mile cıvatalar ve somunlar yardımıyla sabitlemek için SHF20 mil tutucu bağlantı parçaları kullanılmıştır. Panel tutucu çerçeve ile SK20 mil tutucu bağlantı parçaları cıvatalar ve somunlar yardımıyla birbirine bağlanmıştır. Birleştirme için kullanılan SK20 ve SHF20 mil bağlantı parçalarının fotoğrafları Şekil 3.18'de gösterilmiştir.



Şekil 3.18. SK20 ve SHF20 mil tutucu parçalar.

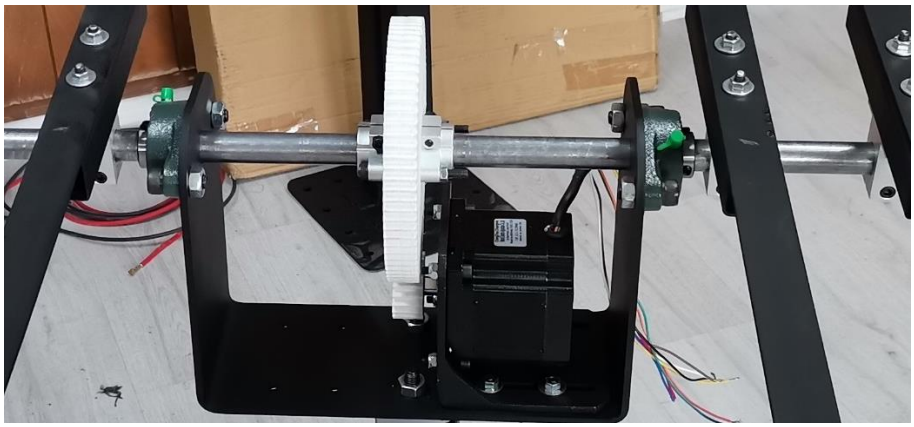
Takip sisteminin tasarımında güneş paneline tek eksende serbestlik verebilmek için 20mm çapında Karbon Çelik-St37-2 (S235JR) malzemeden yapılan miller kullanılmıştır. Mil tutucuların, mil ve panel tutucu çerçeve bağlantısı Şekil 3.19'da gösterilmiştir.



Şekil 3.19. SK20, SHF20, panel tutucu çerçeve ve mil bağlantısı.

3.1.13. Yataklı Rulman

Güneş panellerine tek eksende serbestlik derecesi verebilmek için mil-motor bağlantı parçası ile mil arasında UCFL204 yataklı rulman kullanılmıştır. Mil, rulman iç bileziği üzerindeki setskur cıvatalar yardımıyla rulmana sabitlenmiştir. Şekil 3.20'de yataklı rulman bağlantısı gösterilmektedir.



Şekil 3.20. Yataklı rulman, mil ve mil-motor bağlantı parçasının sisteme bağlantısı.

3.1.14. Sınır Anahtarı

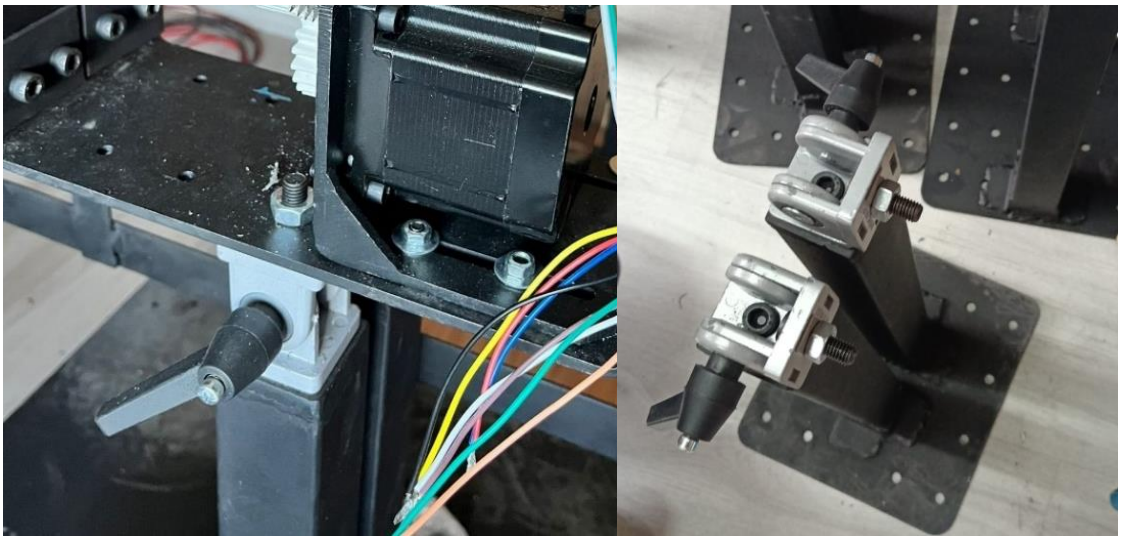
Sınır anahtarları, mekanik sistemlerde çalışma sınırlarını belirleyici elektronik bir anahtar olarak çalışmaktadır. Gerçekleştirilen prototiplerde geri beslemesiz olan step motorlar kullanıldığı için sınır anahtarları yazılım ortamında hareketli sistemin sıfır noktasını kaydetmek ve güneş panellerinin açısını hesaplamak için de kullanılmıştır. Sınır anahtarlarının sisteme bağlantısı Şekil 3.21'de gösterilmiştir.



Şekil 3.21. Sınır anahtarlarının sisteme bağlantısı.

3.1.15. Hareketli Mafsal

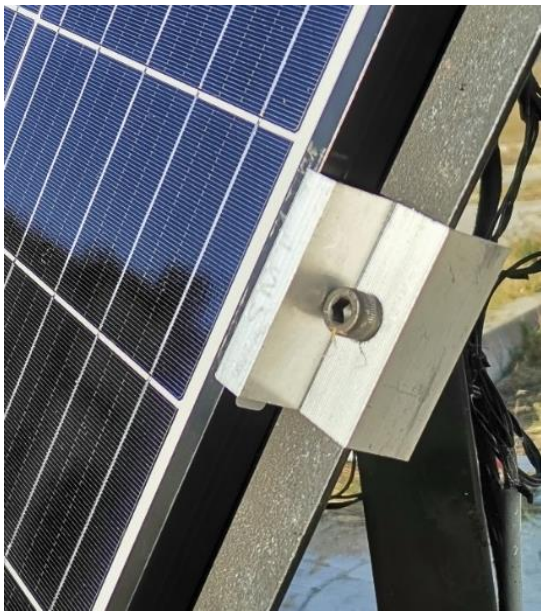
Güneş panellerinin optimum panel açısını manuel olarak ayarlayabilmek için 45x45mm hareketli mafsal kullanılmıştır. Hareketli mafsallar prototip ayakları üzerine cıvatalar yardımıyla birleştirilmiştir. Şekil 3.22'de hareketli mafsal ve prototip ayaklarının bağlantısı gösterilmiştir.



Şekil 3.22. Hareketli mafsal, mil-motor bağlantı parçası ve prototip ayaklarının bağlantısı.

3.1.16. Z Klemp Güneş Paneli Tutucu

Güneş panellerini panel tutucu çerçeveye bağlamak için “z” şeklindeki panel tutucu parçalar kullanılmıştır. Bu parçalar sonlandırıcı z klemp olarak adlandırılmaktadır ve alüminyum malzemeden üretilmektedir. Şekil 3.23’te güneş paneli ve panel tutucu çerçevenin z klemp ile bağlantısı gösterilmektedir.



Şekil 3.23. Z klemp, güneş paneli ve panel tutucu çerçeve bağlantısı.

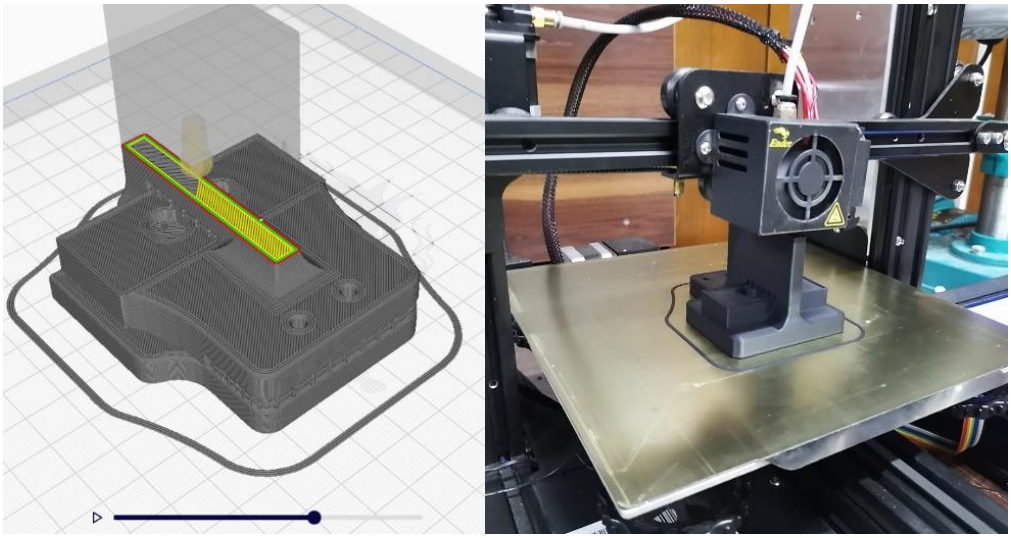
3.1.17. Tasarlanan LDR Montaj Parçası

Sensörlü tip güneş takip sisteminde kullanılmak üzere, doğu ve batı yönünde iki adet ışığa bağımlı direnç bulunduran, bu dirençlerin birinin üzerine güneş saat açısının değişmesi ile gölge düşürülmesini sağlayacak bir sensör montaj parçası, CAD programı ortamında tasarlanmıştır. Tasarlanan parça 3 boyutlu yazıcıda PLA filament ile üretilmiştir. Montaj parçası içerisine ışığa bağımlı dirençler (LDR) yerleştirilip bu dirençleri korozyondan korumak için mikroskoplarda kullanılan lam camı ile üzeri örtülmüştür. Lam camı ile sensör montaj parçasının arası sıvı silikon ile doldurularak korozyona karşı, dolayısıyla sistemde oluşabilecek sensör ölçüm hatalarına karşı önlem alınmıştır.

Doğu batı yönünde güneşin sensörlü takibini sağlamak için güneşin saat açısına göre tek bir direnç üzerine gölge düşecek şekilde bir tasarım yapıldı ve prototipe eklendi. Bilgisayar destekli tasarım programı ile tasarlanıp üç boyutlu yazıcı ile üretilmiştir. Tasarım, üretim montaj ile ilgili görseller Şekil 3.24, Şekil 3.25 ve Şekil 3.26'da verilmiştir.



Şekil 3.24. CAD programına ait tasarım görseli.



Şekil 3.25. 3 boyutlu yazıcı dilimleme programı ve üretim görselleri.



Şekil 3.26. Panel tutucu çerçeve ile LDR montaj parçasının bağlantısı.

3.1.18. Tasarlanan Mil-Motor Bağlantı Parçası

Mil-Motor bağlantı parçası, prototip ayaklarına bağlanan hareketli mafsallar ile güneş takip sistemi arasında taşıyıcı ve birleştirici bir gövde görevi görmektedir. CAD programı yardımıyla tasarlanan bağlantı parçası 5mm kalınlıkta Karbon Çelik-St37-2 (S235JR) malzemeden lazer kesim ve metal büküm yöntemleri ile ürettirilmiştir. Bağlantı parçalarının, cıvatalar ve somunlar yardımıyla hareketli mafsallara, yataklı rulmanlara ve motor flanşına montajı yapılmıştır. Mil-Motor bağlantı parçasının 3 boyutlu tasarım programına ait görünümü Şekil 3.27'de verilmiştir.



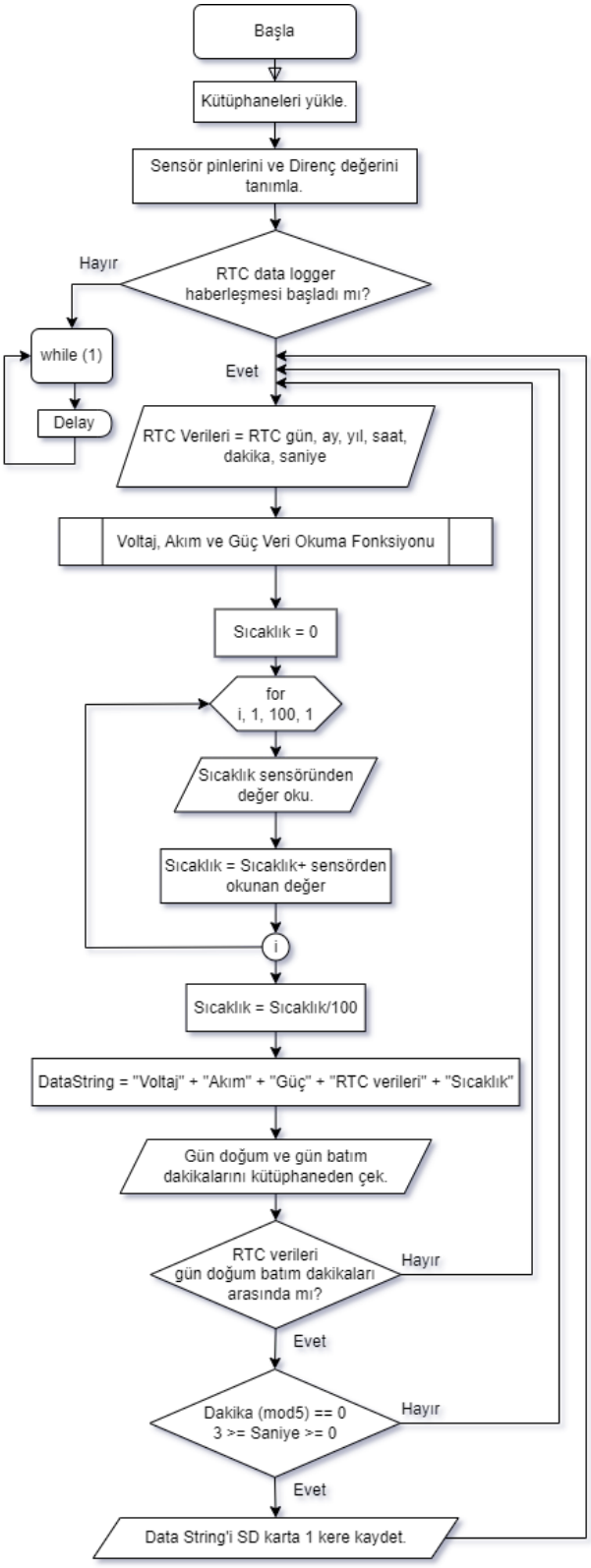
Şekil 3.27. Mil-motor bağlantı parçasının CAD programına ait görünümü.

3.2. Sabit Güneş Paneli

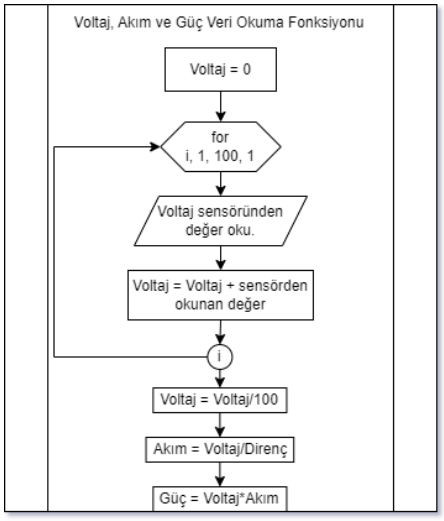
Güneş takip sistemli panellerin, panel eğim açısı ayarlanmış panellere göre karşılaştırılmasının yapılması için eğim açısı hareketli mafsal yardımıyla ayarlanabilir bir sabit panel kullanılmıştır. Kullanılan panelin görseli Şekil 3.28'de gösterilmiştir. Sabit eğim açılı güneş panelinden veri toplamak için yazılan programın algoritma akış şeması Şekil 3.29'da verilmiştir.



Şekil 3.28. Eğim açısı ayarlanabilir sabit güneş paneli.



Şekil 3.29. Sabit güneş paneli için yazılan programın algoritma şeması.

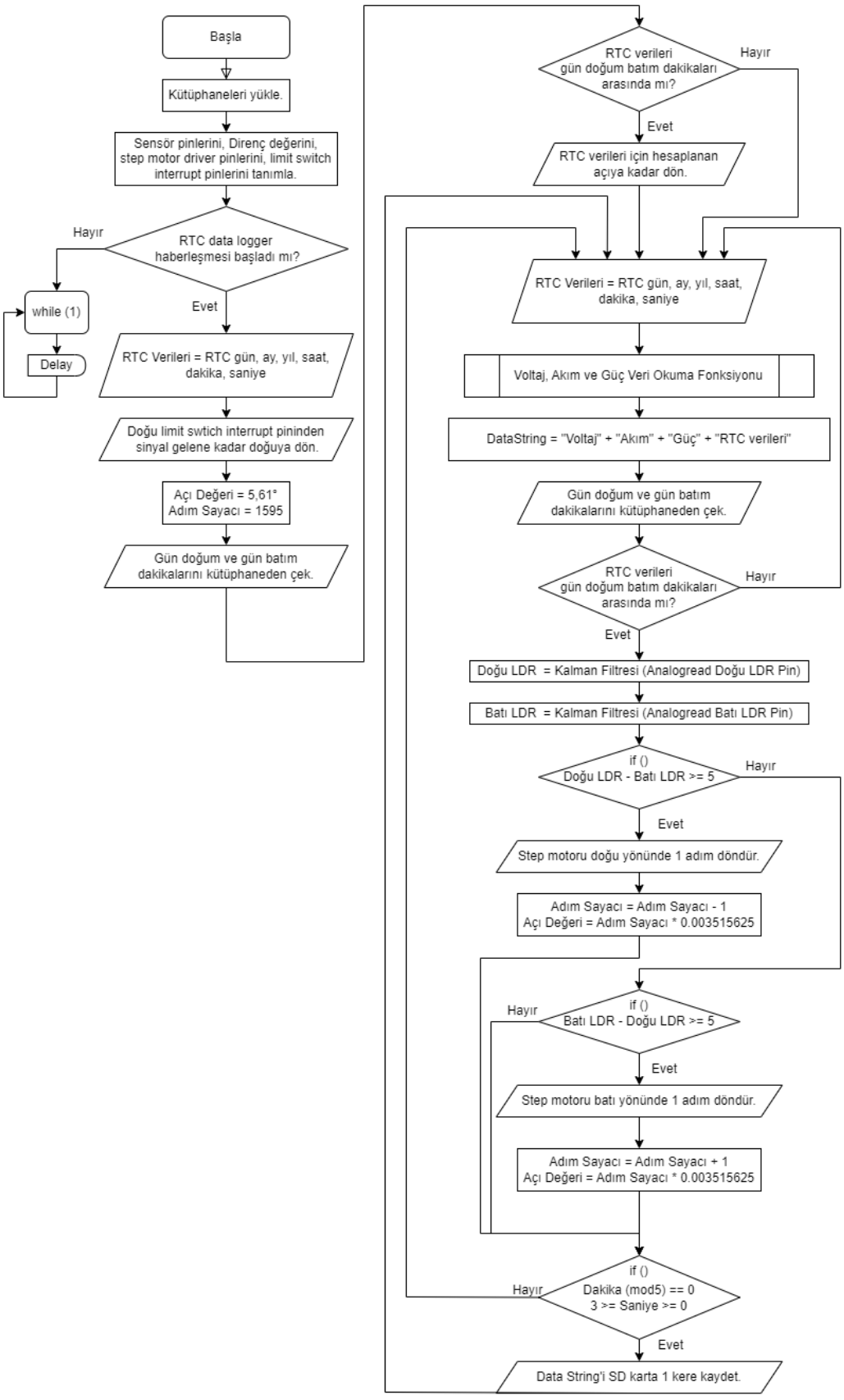


Şekil 3.30. Voltaj, akım ve güç veri okuma fonksiyonu.

Mikrodenetleyicinin analog giriş pinlerinden voltaj verisi okunurken oluşabilecek parazitleri olabildikçe azaltabilmek için ortalama filtresi kullanılmıştır. Şekil 3.30'da yazılan programın voltaj sensöründen veri okuma fonksiyonunun algoritma akış şeması verilmiştir. Bu fonksiyondan ilerleyen başlıklarda "Voltaj, Akım ve Güç Veri Okuma Fonksiyonu" olarak bahsedilmiştir.

3.3. Sensörlü Tip Güneş Takip Sistemi

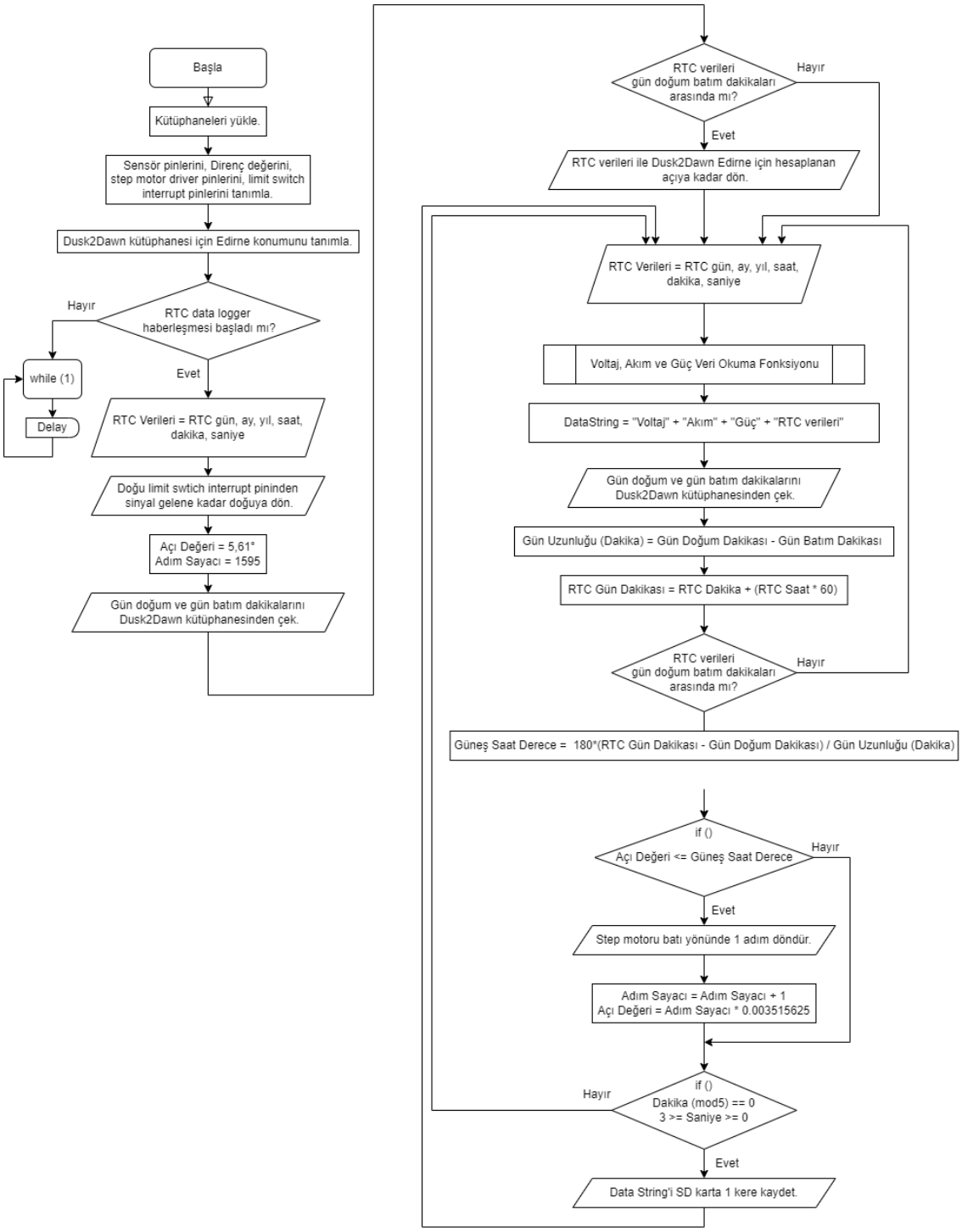
Alınan veriler ile panel kirliliğinin takip sistemlerinde etkilerini inceleyebilmek için iki adet prototip üretilmiştir. Sensörlü tip güneş takip sisteminde LDR montaj parçasına sabitlenen iki adet ışığa bağımlı dirençten (LDR) okunan analog sinyallerin karşılaştırılarak güneş ışığı geliş açısının tayini sağlanmıştır. Sensörlü tip güneş takip sisteminde takip hatalarını azaltabilmek için sensörlerden okunan veriler kalman filtresi ile stabil hale getirilmiştir. Sensörlü tip güneş takip sistemi için yazılan programın algoritma şeması Şekil 3.31'de verilmiştir.



Şekil 3.31. Sensörlü tip güneş takip sistemi için yazılan programın algoritma şeması.

3.4. Hesaplamalı Tip Güneş Takip Sistemi

Hesaplamalı tip güneş takip sisteminde RTC-Veri Kaydedici modüllünden alınan zaman verisi esas alınmıştır. Yapılan hesaplamada güneş panelinin gün içerisinde 180° döneceği varsayılmıştır. Gün uzunluğu dakika cinsinden programa tanımlanan kütüphane verilerine göre hesaplanmış ve dakika başına dönüş açısı belirlenmiştir. Bu yaklaşım ile ekinoks günlerinde tam açı değerleri hesaplanmasına rağmen diğer günler için yaklaşık olarak hesaplanmaktadır. Güneş panelleri her gün için güneş öğlesinde, güneş öğlesi için geçerli olan açı saat açısı 0°'ye dönmektedir. Şekil 3.32'de hesaplamalı tip güneş takip sistemi için yazılan programın algoritma şeması verilmiştir.



Şekil 3.32. Hesaplamalı tip güneş takip sistemi için yazılan programın algoritma şeması.

3.4. Prototiplerin Konuşlandırılması

Prototipler; Trakya Üniversitesi Prof. Dr. Ahmet Karadeniz Yerleşkesi içerisinde yer alan Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu'nun kuzey cephesindeki otopark alanına konuşlandırılmıştır. Şekil 3.33'te harita üzerindeki mavi ok kuzey yönünü ifade etmektedir. Prototiplerin konumlandırıldığı alan coğrafi koordinat sisteminde 41°38'07'' kuzey enlemi ve 26°37'27'' doğu boylamı konumundadır. Prototiplerin deney için konuşlandırıldığı alanın fotoğrafı Şekil 3.34'te gösterilmiştir.



Şekil 3.33. 41°38'07'' kuzey enlemi, 26°37'27'' doğu boylamı konumu.



Şekil 3.34. Prototiplerin konumlandırıldığı alan.

Prototipler, güneş panellerinin yüzeyi güney doğrultusuna bakacak şekilde konumlandırılmıştır. Panellerin eğim açıları hareketli mafsallar yardımıyla el ile ayarlanmıştır.

BÖLÜM 4

BULGULAR

Kurulan düzenekte, bir adet eğim açısı el ile ayarlanabilen sistem, iki adet panel eğim açısı ayarlanabilen tek eksenli güneş takip sistemi ve bu sistemlere bağlı üç adet güneş paneli mevcuttur. Panellerin eğim açıları; çalışma süresi boyunca Edirne ili için Hottel&Woertz metodu ile hesaplanan, sonbahar ayları optimum panel eğim açısı olan 50,6553°'ye yaklaşık olarak ayarlanmıştır.

Veriler elektrik panosu içerisindeki her biri ayrı ayrı bir Arduino'ya bağlı olan hafıza kartlarından bilgisayar ortamına aktarılarak toplanmıştır.

İlerleyen başlıklar altında üç ayrı güneş panelinden veriler yer almaktadır. Bu verilerden bahsederken ifade kolaylığı için kısaltmalar kullanılmıştır. Kısaltmalardaki ilk üç karakter; "HTS" hesaplamalı güneş takip sistemini, "STS" sensörlü güneş takip sistemini, "SEA" sabit eğim açılı sistemi ifade etmektedir. Sonraki üç karakter; "GP1" güneş takibi yapan 1. güneş panelini, "GP2" güneş takibi yapan 2. güneş panelini, "GP3" ise eğim açısı el ile ayarlanabilir sabit açılı 3. güneş panelini ifade etmektedir. Çalışmada kullanılan veri setlerinden "VS1" Veri Seti 1'i, "VS2" Veri Seti 2'yi, "VS3" Veri Seti 3'ü, "VS4" Veri Seti 4'ü ifade etmektedir.

4.1. Güneş Panellerinden Elde Edilen Veriler ve Karşılaştırma Sonuçları

Prototiplerin hafıza kartlarından bilgisayar ortamına aktarılan metin dosyaları Excel programında düzenlenerek işlemeye uygun hale getirilmiştir. İşlemeye uygun hale getirilen ".xlsx" uzantılı dosyalar MATLAB programına aktarılarak tüm hesaplamalar bu ortamda gerçekleştirilmiştir. Kirlilik ile ilgili veri karşılaştırmaları için her iki takipli sistemde de sensörlü tip güneş takibi program çalıştırılarak veri toplanmıştır. Sıcaklık değerlerini ölçen LM35 sıcaklık sensörünün ölçüm ucu, hava sıcaklığını ölçecek şekilde elektrik panosunun altındaki gölgelik alana yerleştirilmiştir. Veriler her 5 dakikada bir kaydedilmiştir.

Verilerin karşılaştırılmasında hesaplamalar için MATLAB programı kullanılmıştır. Verim karşılaştırmaları için VS1, VS2, VS3 ve VS4'teki tüm veriler Denklem 4.1'e göre hesaplatılıp ortalamaları alınarak, Denklem 4.5'e göre verimler yüzdelik olarak karşılaştırılmıştır.

Denklem 4.1 ile yüzde verim hesabı formülü verilmiştir. Denklemdeki $\eta_{yüzde}$ değeri yüzde olarak verimi, $P_{panelmaks.}$ (bu çalışmadaki güneş panelleri için değeri 100 W) güneş panelinin maksimum güç değerini, P_{veri} güneş panelinden alınan güç verisini ifade etmektedir. Güneş panellerinin etiketleri üzerinden alınan panellerin maksimum güç değerlerine göre P_{veri}'nin birimsiz sayısal değeri $\eta_{yüzde}$'ye (yüzde verime) eşit olmaktadır.

$$\eta_{yüzde} = \left(P_{veri}/P_{panelmaks.}\right) \times 100 \qquad (4.1)$$

$$P_{panelmaks.} = 100\ W$$

$$\eta_{yüzde} = P_{veri}$$

Veri setleri için Denklem 4.2, Denklem 4.3 ve Denklem 4.4 ile karşılaştırılacak veriler hesaplanmıştır. Denklemlerde veri setlerindeki veri sayısını ifade eden n değeri; VS1 için 1 ile 70, VS2 için 1 ile 479, VS3 için 1 ile 598, VS4 için 1 ile 9 arasında değer almaktadır. P_{top} her güneş paneli için toplam güç değerini, $P_{ort.}$ ortalama güç değerini, $\eta_{ort.}$

her bir panelin karşılaştırması için bulunan verim değerini ifade etmektedir. Hesaplanan $\eta_{ort.}$ değeri Denklem 4.1'e göre $P_{ort.}$'un birimsiz sayısal değerine eşit olmaktadır.

$$P_{top.} = \sum_{n=1}^{n} P_n \tag{4.2}$$

$$P_{ort.} = \frac{P_{top.}}{n} \tag{4.3}$$

$$\eta_{ort.} = P_{ort.} \tag{4.4}$$

Karşılaştırma için Denklem 4.5 kullanılmıştır. Denklemdeki $\eta_{12kar.}$ karşılaştırmaya dahil edilen 1. ve 2. güneş paneli arasındaki yüzde bazında verim farkını, $\eta_{1ort.}$ karşılaştırmada verimi düşük olan güneş panelinin ortalama verimini, $\eta_{2ort.}$ karşılaştırmada verimi yüksek olan güneş panelinin ortalama verimini ifade etmektedir. Hesaplama sonucunda 2. güneş panelinin, 1. güneş paneline göre $\%\eta_{12kar.}$ kadar daha verimli olduğu sonucu bulunmaktadır. Ayrı ayrı veri setlerinde her güneş paneli için değerler program ile hesaplanıp Denklem 4.5 ile $\eta_{12kar.}$ değerleri bulunmuştur (Mohamadve ark., 2021). Program ile toplam 3441 adet veri karşılaştırmalar için işlenmiştir.

$$\eta_{12kar.} = \frac{(\eta_{2ort.} - \eta_{1ort.})}{\eta_{1ort.}} \times 100 \tag{4.5}$$

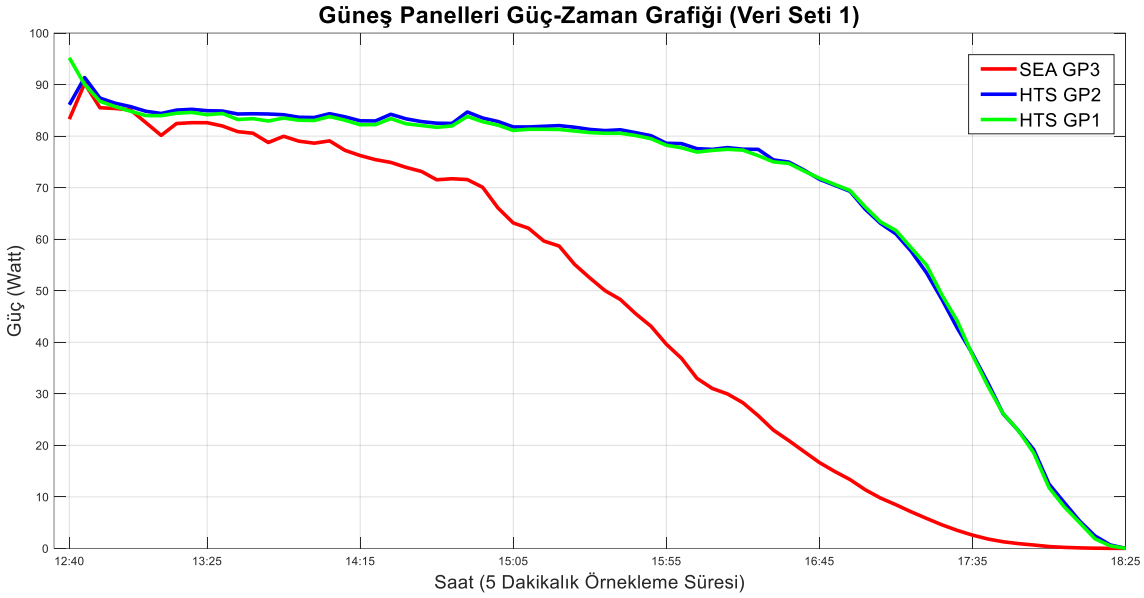
Alt başlıklarda $\eta_{gp1ort.}$ GP1 için hesaplanan ortalama verim değerini, $\eta_{gp2ort.}$ GP2 için hesaplanan ortalama verim değerini, $\eta_{gp3ort.}$ ise GP3 için hesaplanan ortalama verim değerlerini ifade etmektedir.

4.1.1. Veri Seti 1 – Yüzey Kirliliğinden Bağımsız Veriler ve Karşılaştırma Sonuçları

Veri seti 1 için toplanan verilerde SEA GP3 eğim açısı sabit olarak ayarlanmış olup, HTS GP1 ve HTS GP2 hesaplamalı tip güneş takibi yapmaktadır.

Sıcaklık verilerinin ortalama değeri 23,1°C olarak hesaplanmıştır.

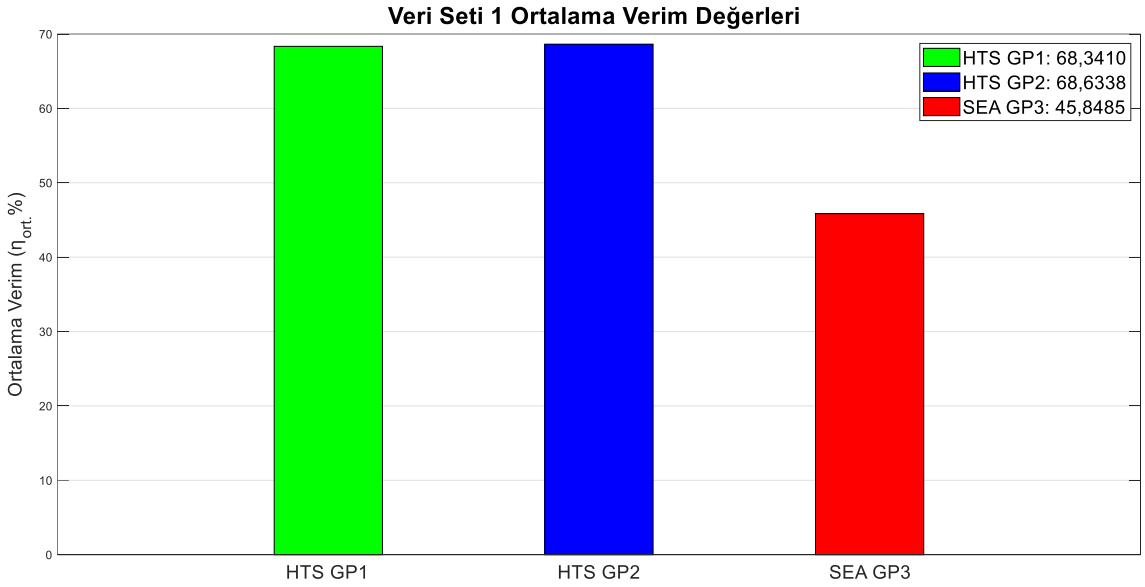
Bu veri setinde 70 adet sıcaklık verisi, her bir güneş paneli için 70 adet güç verisi ve toplamda 280 adet veri kaydedilmiştir. Güneş panellerinin yüzey kirlilik düzeyleri arasında görünür bir fark yoktur. 1. gün için veriler yüzey kirliliklerinden bağımsız olarak karşılaştırılmıştır. Program ile veriler için çizdirilen grafik Şekil 4.1'de gösterilmiştir, veriler 18 Ekim 2022 tarihinde kaydedilmiştir. Günlük hava durumu güneşli olarak gözlenmiştir.



Şekil 4.1. Güneş panelleri güç-zaman grafiği (VS1).

4.1.1.1. Veri Seti 1 – Karşılaştırma Sonuçları

VS1 için program ile hesaplanan verim değerleri Şekil 4.2'de sütun grafik halinde verilmiştir. Ortalama verim değerleri yaklaşık; HTS GP1 için $\eta_{gp1ort.}$ = 68,3410, HTS GP2 için $\eta_{gp2ort.}$ = 68,6338, SEA GP3 için η_{gp3ort} = 45,8485 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.2. Veri Seti 1 – ortalama verim değerleri.

$$\eta_{gp12kar.} = \frac{(\eta_{gp2ort.} - \eta_{gp1ort.})}{\eta_{gp1ort.}} \times 100 \qquad (4.6)$$

$$\eta_{gp12kar.} = 0{,}4285$$

VS1 için Denklem 4.6 ile hesaplanan sonuca göre; HTS GP2, HTS GP1'e göre yaklaşık olarak %0,4285 daha verimlidir.

$$\eta_{gp32kar.} = \frac{(\eta_{gp2ort.} - \eta_{gp3ort.})}{\eta_{gp3ort.}} \times 100 \qquad (4.7)$$

$$\eta_{gp32kar.} = 49{,}6968$$

VS1 için Denklem 4.7 ile hesaplanan sonuca göre; HTS GP2, SEA GP3'e göre yaklaşık olarak %49,6968 daha verimlidir.

$$\eta_{gp31kar.} = \frac{(\eta_{gp1ort.} - \eta_{gp3ort.})}{\eta_{gp3ort.}} \times 100 \quad (4.8)$$

$$\eta_{gp31kar.} = 49{,}0580$$

VS1 için Denklem 4.8 ile hesaplanan sonuca göre; HTS GP1, SEA GP3'e göre yaklaşık olarak %49,0580 daha verimlidir.

HTS GP1 ve HTS GP2 aynı yöntem ile güneş takibi yapmasına rağmen aralarında küçük bir verim farkı vardır. Bu verim farkı güneş panellerinin üretiminden kaynaklı fiziksel farklılıklardan, çevresel sebeplerden, prototipleri konumlandırmada veya açıların el ile ayarlanması esnasında gerçekleşebilecek hata payı olarak (%0,4282) kabul edilebilir düzeydedir. HTS GP1 ve HTS GP2, SEA GP3'e göre %49 civarında daha verimlidir. Bu verim artışı hesaplamalı tip güneş takip sistemlerinin optimum sabit eğim açısı ayarlanan sisteme göre tam güneşli havada yaklaşık %49 daha verimli olduğunu göstermektedir. VS1 için karşılaştırmalar, güneş panellerinin yüzey kirliliklerinden bağımsız olarak yapılmıştır.

4.1.2. Veri Seti 2 – Yüzey Kirliliğinden Bağımsız Veriler ve Karşılaştırma Sonuçları

Veri seti 2 için toplanan verilerde SEA GP3 eğim açısı sabit olarak ayarlanmış olup, HTS GP1 hesaplamalı tip güneş takibi, STS GP2 sensörlü tip güneş takibi yapmaktadır.

8:45-10:50 ve 15:55-16:25 saatleri arasında güneş panelleri üzerine çevresel sebeplerle düşen gölgelerden karşılaştırma verilerinin etkilenmemesi için bu saatler arasındaki veriler dahil edilmemiştir, bu saatlerde alınamayan veriler SEA GP3 ile karşılaştırma yapılması için yeterli olmadığından karşılaştırma sensörlü ve hesaplamalı tip güneş takip sistemleri arasında yapılmıştır. Bu veri setinde 479 adet sıcaklık verisi, her bir güneş paneli için 479 adet güç verisi ve toplamda 1916 adet veri kaydedilmiştir.

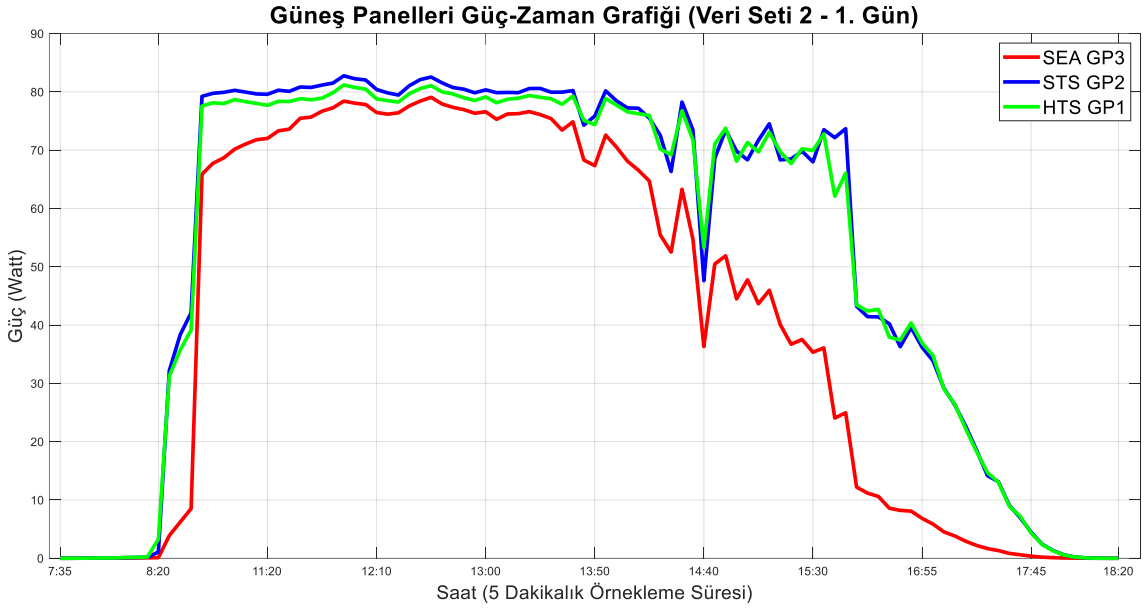
Güneş panelleri, prototiplerin deney için kuruldukları tarihten itibaren kirlenmeye bırakılmıştır. HTS GP1 ve STS GP2'nin yüzey kirlilik düzeyleri arasında görünür bir fark yoktur ancak SEA GP3'ün yüzeyinin diğer panellere göre daha fazla kirlendiği gözlenmiştir. Güneş panellerinin yüzey kirlilikleri arasındaki farklar küçük düzeyde olduğu için bu kısımdaki veriler yüzey kirliliğine bağımlı yapılan karşılaştırma

kısmına katılmamıştır. Bu kısımda toplanan veriler yüzey kirliliklerinden bağımsız olarak karşılaştırılmıştır.

VS2 verileri 22-26 Ekim 2022 tarihleri arasında kaydedilmiştir 25 Ekim 2022 tarihinde gerçekleşen güneş tutulması da verilere yansımıştır. Program ile veriler için çizdirilen grafikler, başlıklar altındaki şekillerde gösterilmiştir.

4.1.2.1. Veri Seti 2 – 1. Gün

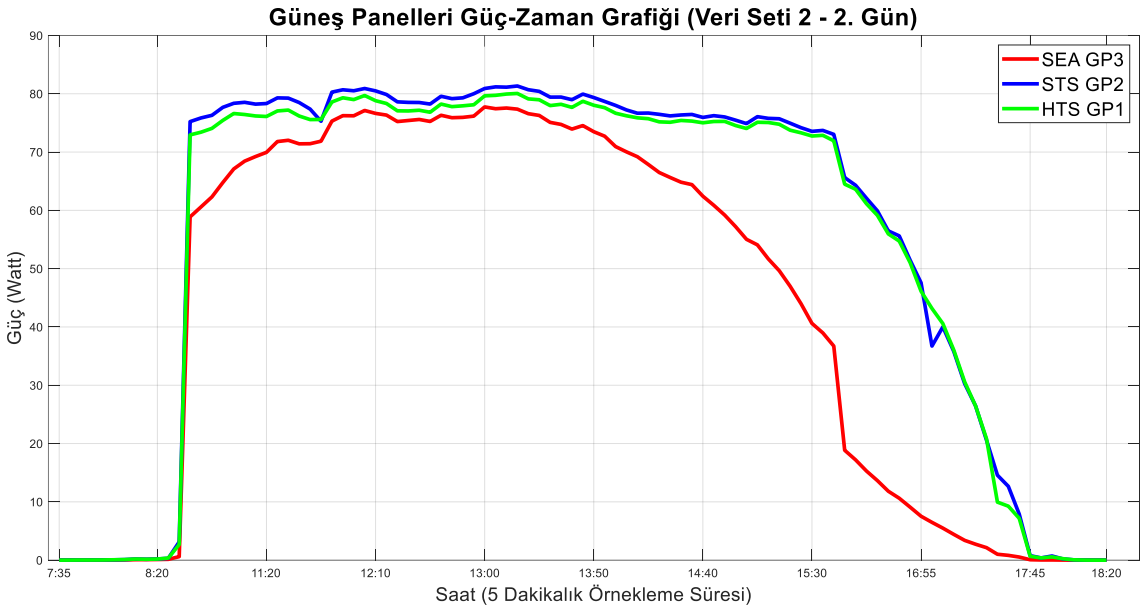
VS2 – 1. gün her güneş paneli için kaydedilen 98'er adet güç verisi 22 Ekim 2022 tarihine aittir. Günlük hava durumu az bulutlu olarak gözlenmiştir. Sıcaklık verilerinin günlük ortalama değeri 17,8°C olarak hesaplanmıştır. Kaydedilen veriler için çizdirilen grafik Şekil 4.3 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Güneş panelleri güç-zaman grafiği (VS2 – 1. Gün).

4.1.2.2. Veri Seti 2 – 2. Gün

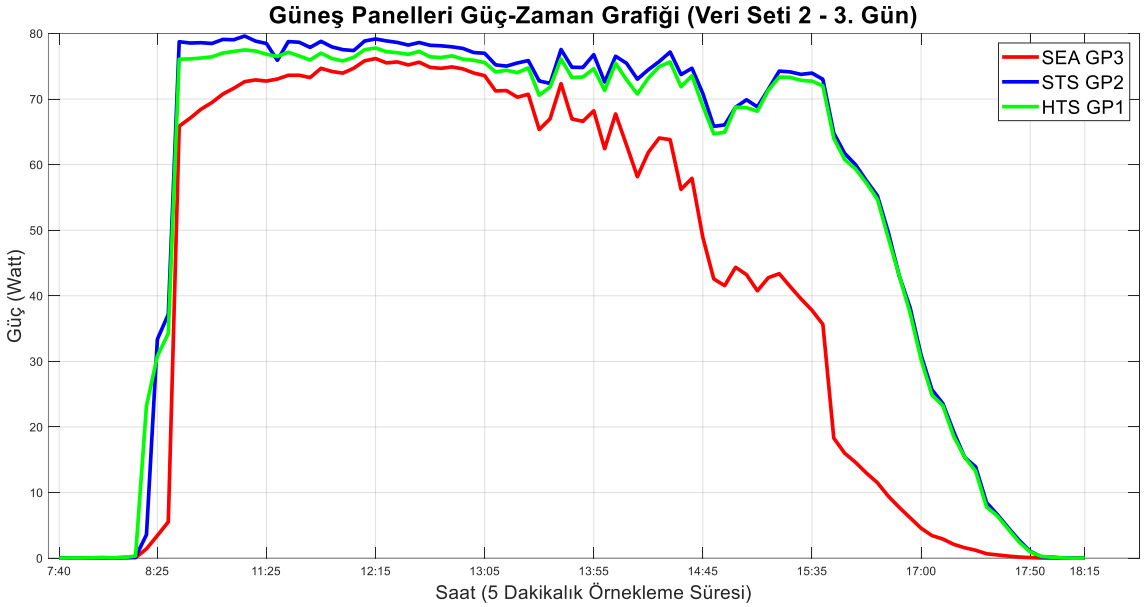
VS2 – 2. gün her güneş paneli için kaydedilen 97'şer adet güç verisi 23 Ekim 2022 tarihine aittir. Günlük hava durumu güneşli olarak gözlenmiştir. Sıcaklık verilerinin günlük ortalama değeri 21,4°C olarak hesaplanmıştır. Kaydedilen veriler için çizdirilen grafik Şekil 4.4 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Güneş panelleri güç-zaman grafiği (VS2 – 2. Gün).

4.1.2.3. Veri Seti 2 – 3. Gün

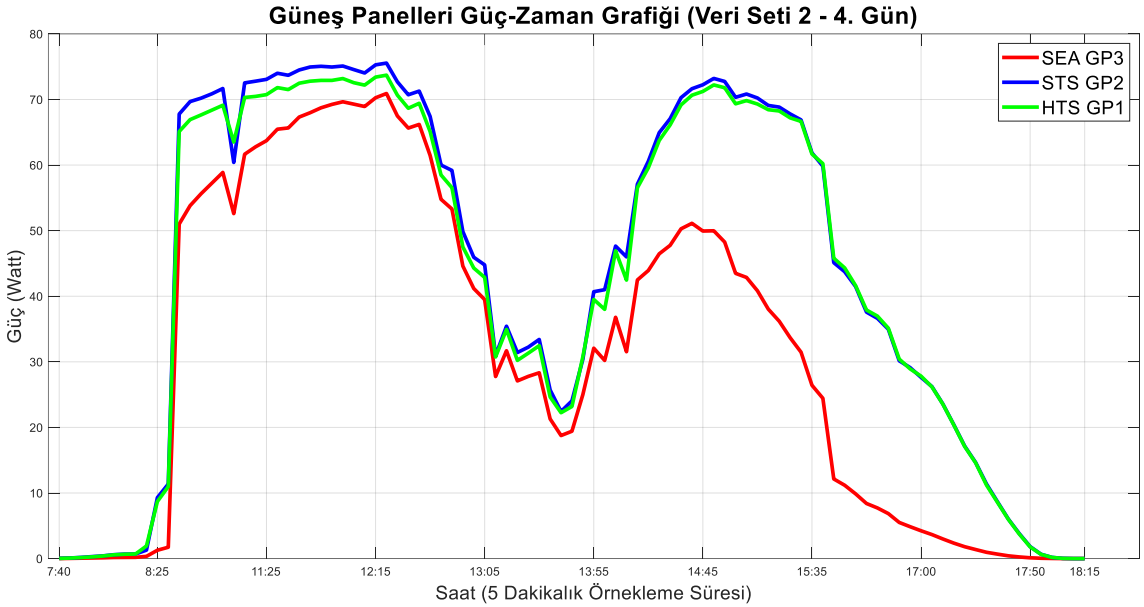
VS2 – 3. gün her güneş paneli için kaydedilen 95'er adet güç verisi 24 Ekim 2022 tarihine aittir. Günlük hava durumu az bulutlu olarak gözlenmiştir. Sıcaklık verilerinin günlük ortalama değeri 22,4°C olarak hesaplanmıştır. Kaydedilen veriler için çizdirilen grafik Şekil 4.5 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Güneş panelleri güç-zaman grafiği (VS2 – 3. Gün).

4.1.2.4. Veri Seti 2 – 4. Gün (25 Ekim 2022 Güneş Tutulması)

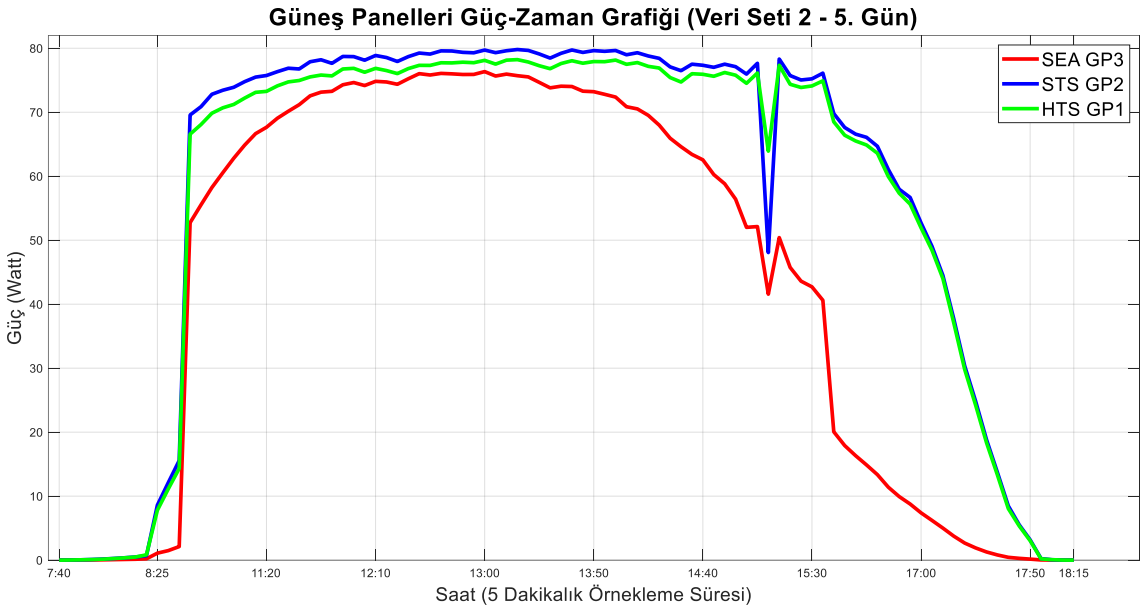
25 Ekim 2022 tarihinde ülkemizden gözlenebilen parçalı güneş tutulması VS2 – 4. günde her güneş paneli için kaydedilen 95'er adet güç verisine yansımıştır. 12:00-15:00 saat aralığında grafikteki değerlerin düştüğü gözlenmiştir, hava durumu az bulutlu olarak gözlenmiştir. Sıcaklık verilerinin günlük ortalama değeri 21,7°C olarak hesaplanmıştır. 25 Ekim 2022 (5.Gün) güneş tutulmasında kaydedilen veriler için çizdirilen grafik Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Güneş panelleri güç-zaman grafiği (VS2 – 4. Gün).

4.1.2.5. Veri Seti 2 – 5. Gün

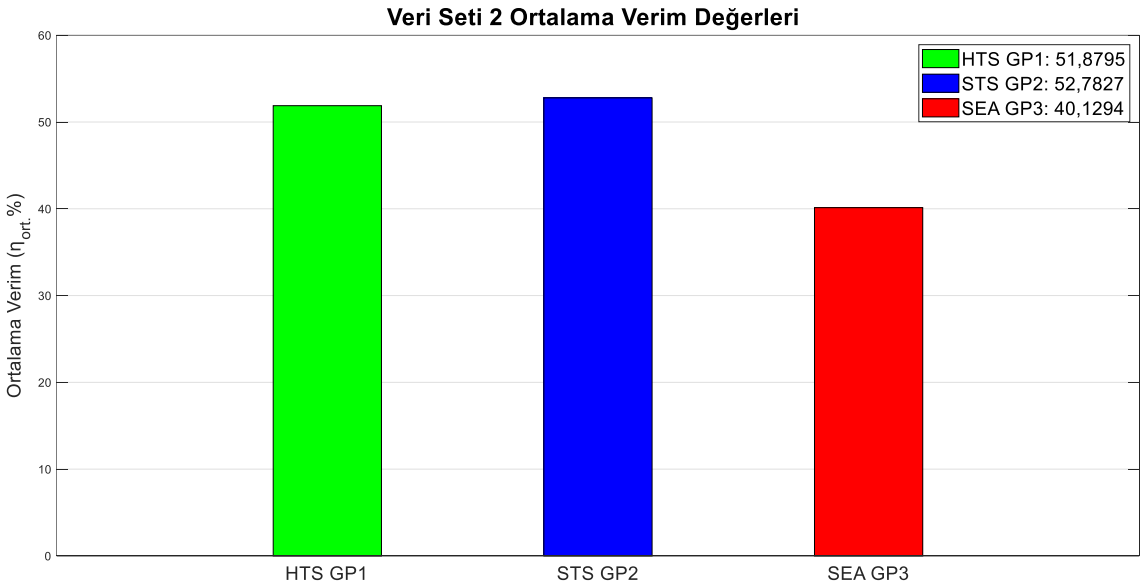
VS2 – 5. gün her güneş paneli için kaydedilen 94'er adet güç verisi 26 Ekim 2022 tarihine aittir. Günlük hava durumu güneşli olarak gözlenmiştir. Sıcaklık verilerinin günlük ortalama değeri 24,9°C olarak hesaplanmıştır. Kaydedilen veriler için çizdirilen grafik Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Güneş panelleri güç-zaman grafiği (VS2 – 5. Gün)

4.1.2.6. Veri Seti 2 – Karşılaştırma Sonuçları

VS2 için program ile hesaplanan verim değerleri Şekil 4.8'de sütun grafik halinde verilmiştir. Ortalama verim değerleri yaklaşık; HTS GP1 için $\eta_{gp1ort.}$ = 51,8795, STS GP2 için $\eta_{gp2ort.}$ = 52,7827, SEA GP3 için η_{gp3ort} = 40,1294 olarak hesaplanmıştır. Karşılaştırmada sadece HTS GP1 ve STS GP2 arasındaki verim farkları hesaplanmıştır.



Şekil 4.8. Veri Seti 2 – ortalama verim değerleri.

$$\eta_{gp12kar.} = \frac{(\eta_{gp2ort.} - \eta_{gp1ort.})}{\eta_{gp1ort.}} \times 100 \qquad (4.9)$$

$$\eta_{gp12kar.} = 1{,}7410$$

Veri seti 2 için Denklem 4.9 ile hesaplanan sonuca göre; STS GP2, HTS GP1'e göre yaklaşık olarak %1,7410 daha verimlidir.

Karşılaştırma sonucunda önceki VS1'de ortaya çıkan hata payı ile birlikte STS GP2'nin HTS GP1'e göre %1,741 daha verimli olduğu hesaplanmıştır. Bu sonuç güneş takip sistemlerinde sensörlü tip güneş takip sisteminin hesaplamalı tip güneş takip sistemine göre daha verimli olduğunu ortaya çıkarmaktadır. VS2 için karşılaştırmalar güneş panellerinin yüzey kirliliklerinden bağımsız olarak yapılmıştır.

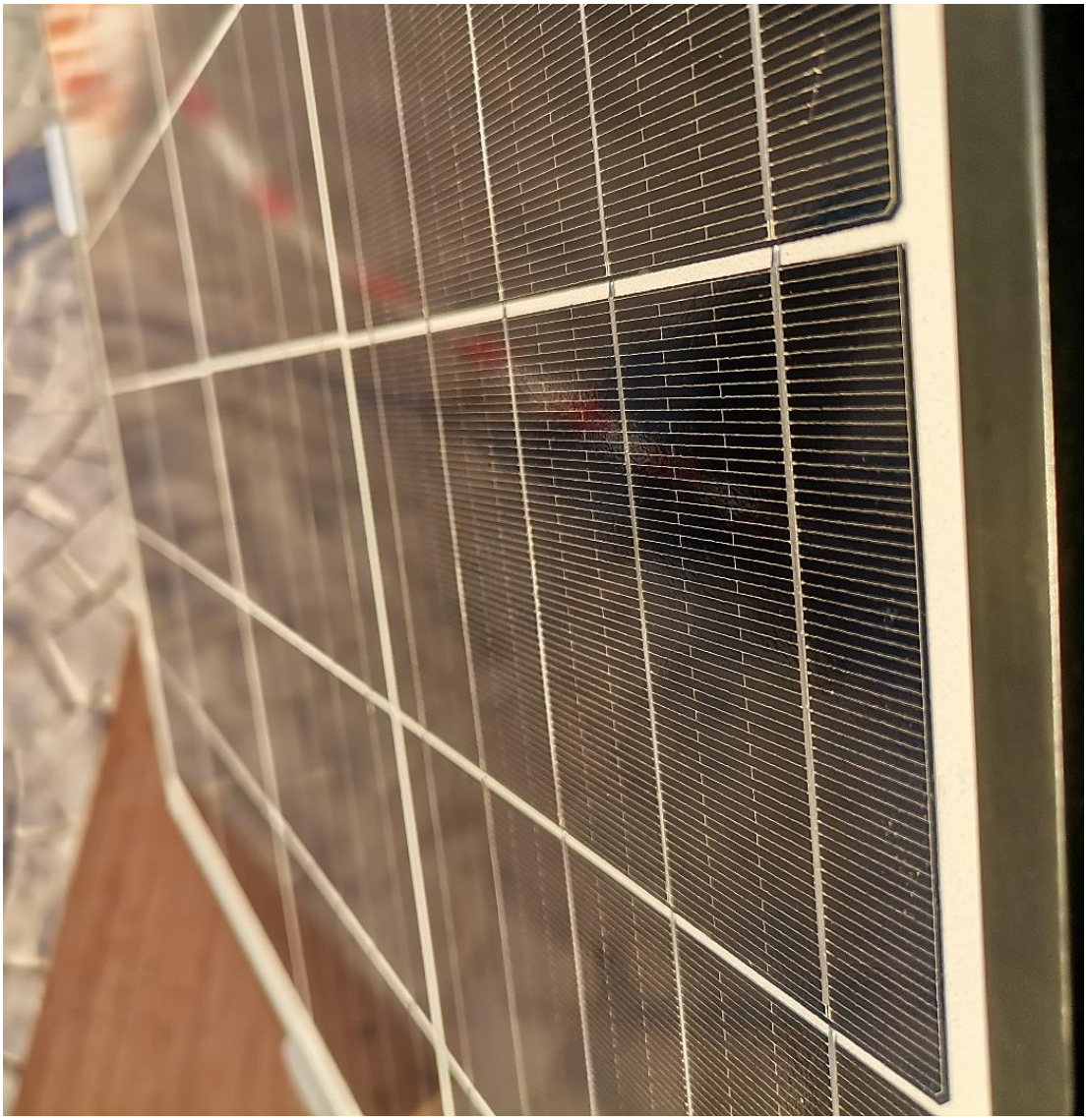
4.1.4. Veri Seti 3 – Yüzey Kirliliğine Bağımlı Veriler ve Karşılaştırma Sonuçları

Veri seti 3 için toplanan verilerde SEA GP3 eğim açısı sabit olarak ayarlanmış olup, STS GP1 ve STS GP2 sensörlü tip güneş takibi yapmaktadır.

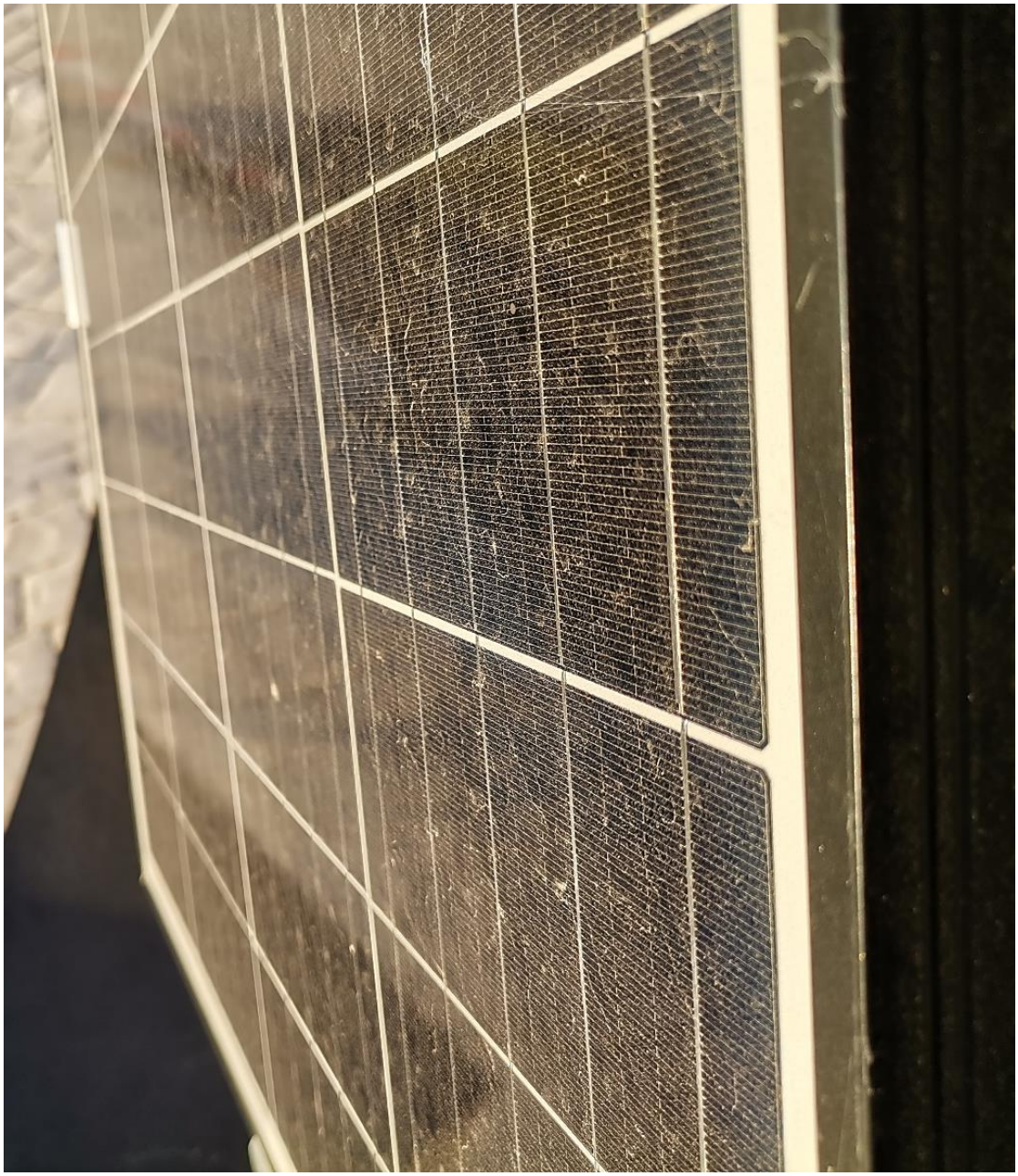
2. gün 15:40'ta; 3. gün 15:40'ta; 4. gün 15:35-15:40 ve 5. gün 15:30-15:45 aralığında güneş panelleri üzerine çevresel sebeplerle düşen gölgelerden karşılaştırma verilerinin etkilenmemesi için bu saatler arasındaki veriler karşılaştırmaya dahil edilmemiştir. Bu veri setinde 5 gün boyunca 598 adet sıcaklık verisi, her bir güneş paneli için 598 adet güç verisi ve toplamda 2392 adet veri kaydedilmiştir.

Güneş panellerinden STS GP1 yüzeyi günlük olarak el ile temizlenmiştir. STS GP2 ve SEA GP3'ün yüzeyi ise kirli bırakılmaya devam edilmiştir. STS GP2 ve SEA GP3'ün yüzey kirliliklerinin, yüzey kirliliğine bağlı deney süresi boyunca birbirinden farklı olduğu gözlenmiştir. En fazla yüzey kirliliğinin SEA GP3'ün yüzeyinde oluştuğu, günlük olarak temizlenmeyen STS GP2'nin SEA GP3'e göre daha az kirlendiği gözlemlenmiştir.

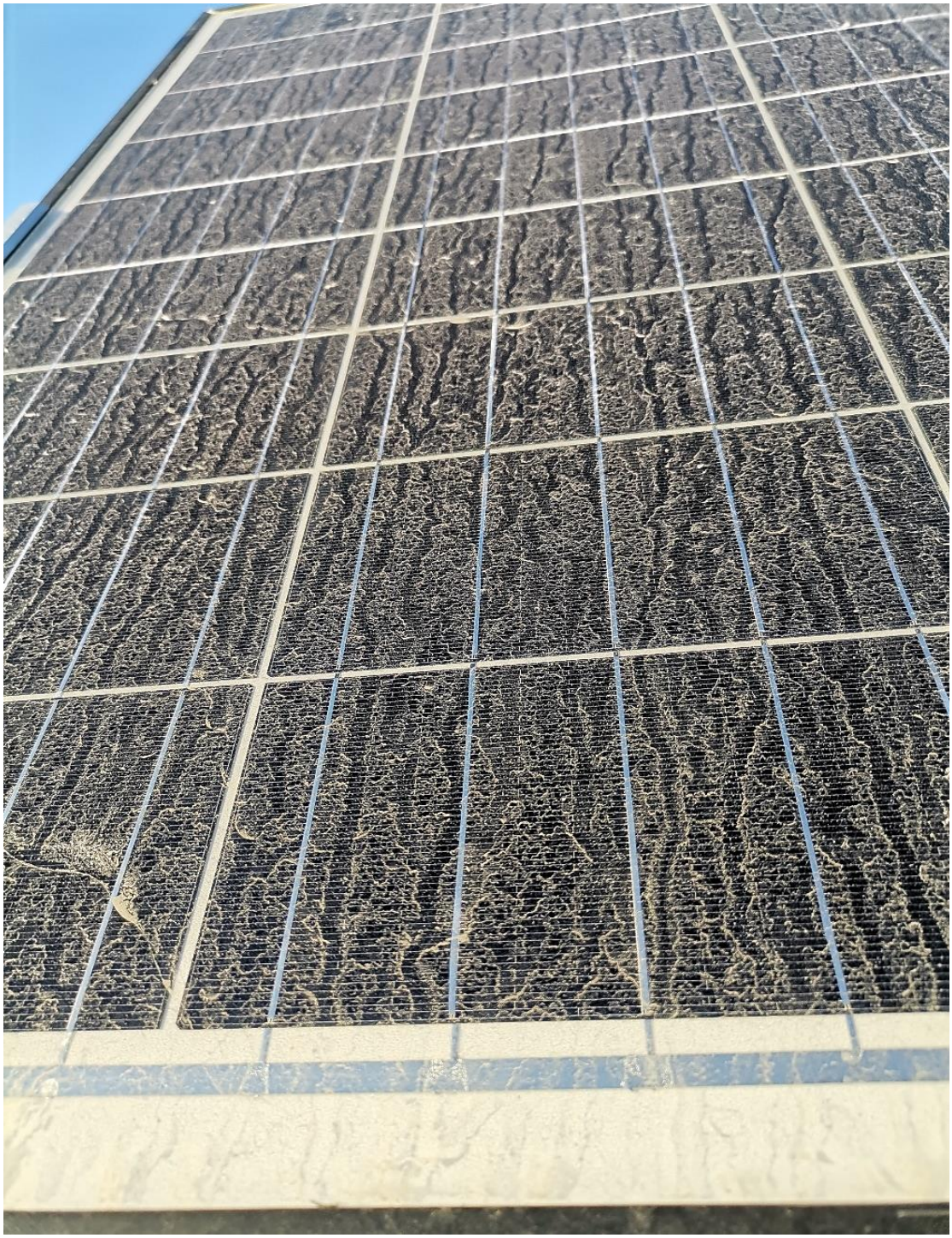
5 günlük veriler 6-10 Kasım 2022 tarihleri arasında kaydedilmiştir. Karşılaştırması yüzey kirliliklerine bağımlı olarak yapılmıştır. Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11'de STS GP1, STS GP2 ve SEA GP3'ün yüzey kirlilikleri gösterilmiştir. Şekillerdeki fotoğraflar 5 Kasım 2022 tarihinde çekilmiştir.



Şekil 4.9. STS GP1’in yüzey kirliliği (5 Kasım 2022).



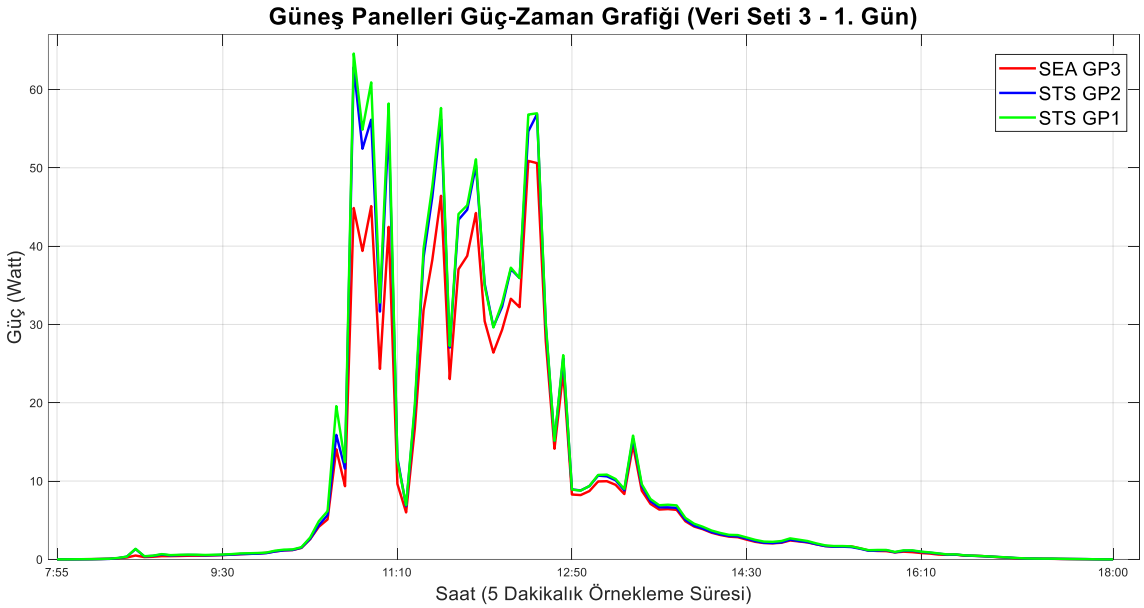
Şekil 4.10. STS GP2’nin yüzey kirliliği (5 Kasım 2022).



Şekil 4.11. SEA GP3'ün yüzey kirliliği (5 Kasım 2022).

4.1.3.1. Veri Seti 3 – 1. Gün

VS3 – 1. gün her güneş paneli için kaydedilen 122'şer adet güç verisi 6 Kasım 2022 tarihine aittir. Günlük hava durumu çok bulutlu olarak gözlenmiştir, öğleden önce zaman zaman güneşlenme olduğundan, kaydedilen verilerde anlık artışlar meydana gelmiştir. Sıcaklık verilerinin günlük ortalama değeri 18,8°C olarak hesaplanmıştır. Kaydedilen veriler için çizdirilen grafik Şekil 4.12'de gösterilmiştir.

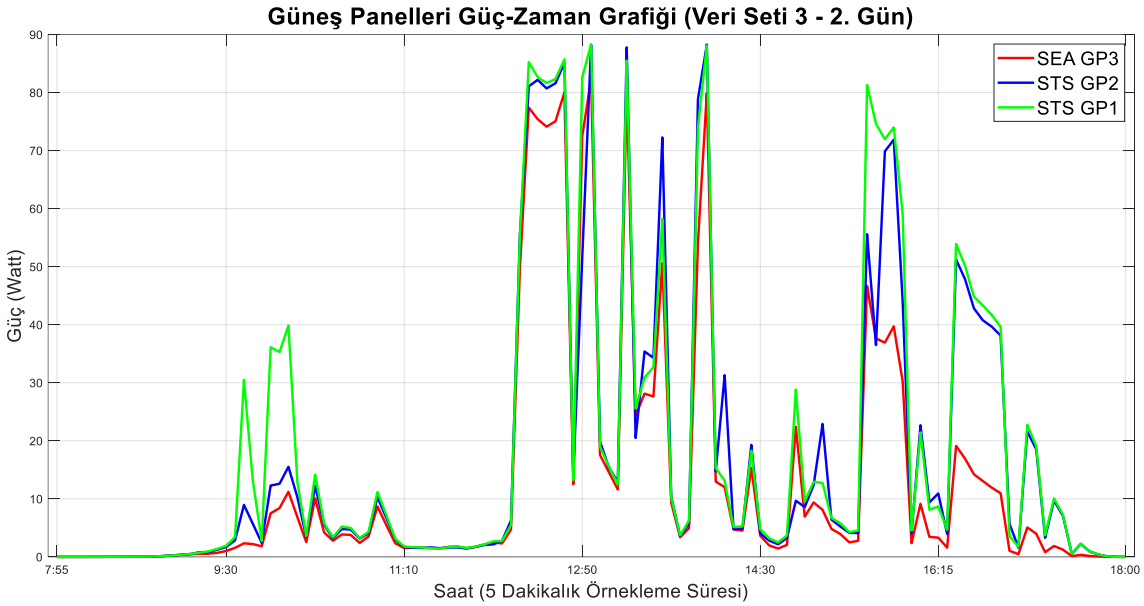


Şekil 4.12. Güneş panelleri güç-zaman grafiği (VS3 – 1. Gün).

Bulutlu günlerde çizgi grafikler neredeyse kesişmekte ve üst üste binmektedir bu yüzden çizgi kalınlıkları inceltilmiştir.

4.1.3.2. Veri Seti 3 – 2. Gün

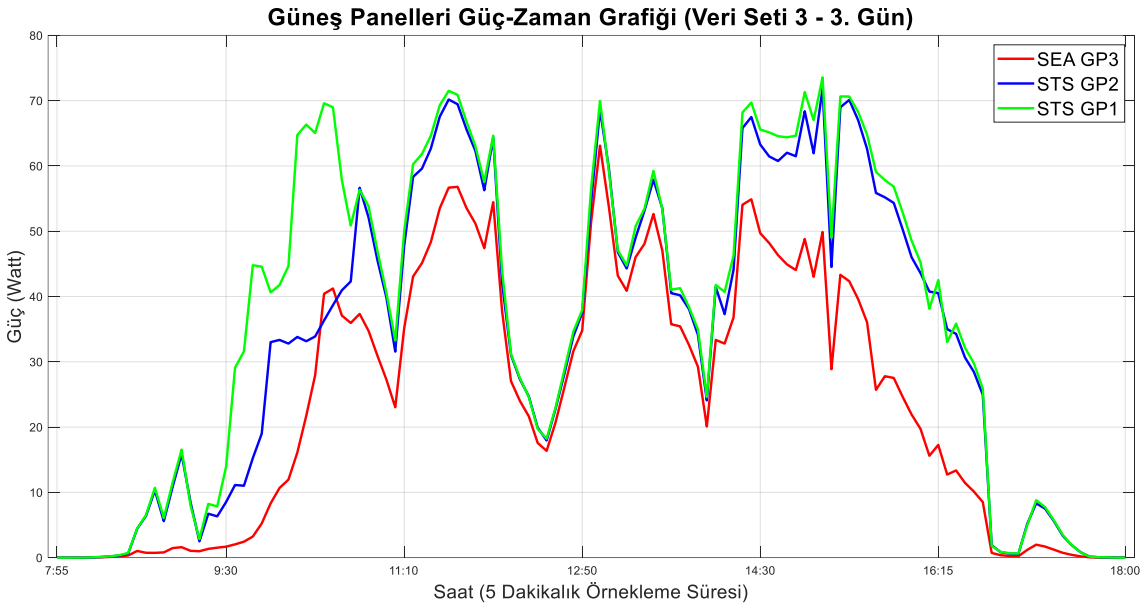
VS3 – 2. gün her güneş paneli için kaydedilen 121'er adet güç verisi 7 Kasım 2022 tarihine aittir. Günlük hava durumu parçalı bulutlu olarak gözlenmiştir. Gün içinde zaman zaman güneşlenme olduğundan dolayı kaydedilen verilerde anlık artışlar meydana gelmiştir. Sıcaklık verilerinin günlük ortalama değeri 17,5°C olarak hesaplanmıştır. Kaydedilen veriler için çizdirilen grafik Şekil 4.13'te gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Güneş panelleri güç-zaman grafiği (VS3 – 2. Gün).

4.1.3.3. Veri Seti 3 – 3. Gün

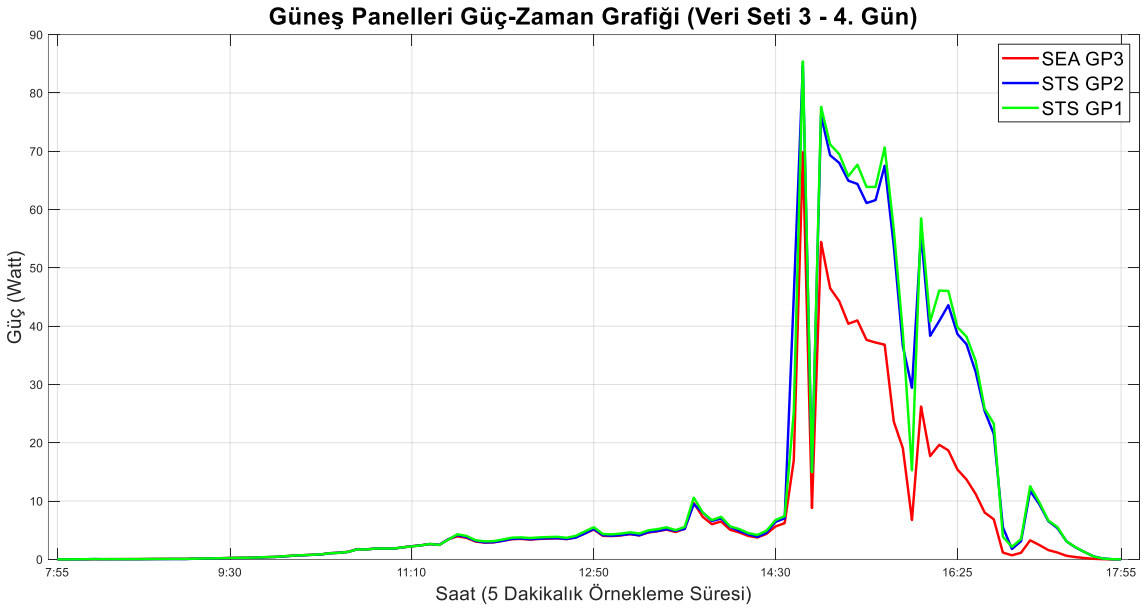
VS3 – 3. gün her güneş paneli için kaydedilen 121'er adet güç verisi 8 Kasım 2022 tarihine aittir. Günlük hava durumu parçalı bulutlu olarak gözlenmiştir. Sıcaklık verilerinin günlük ortalama değeri 15,9°C olarak hesaplanmıştır. Kaydedilen veriler için çizdirilen grafik Şekil 4.14'te gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Güneş panelleri güç-zaman grafiği (VS3 – 3. Gün).

4.1.3.4. Veri Seti 3 – 4. Gün

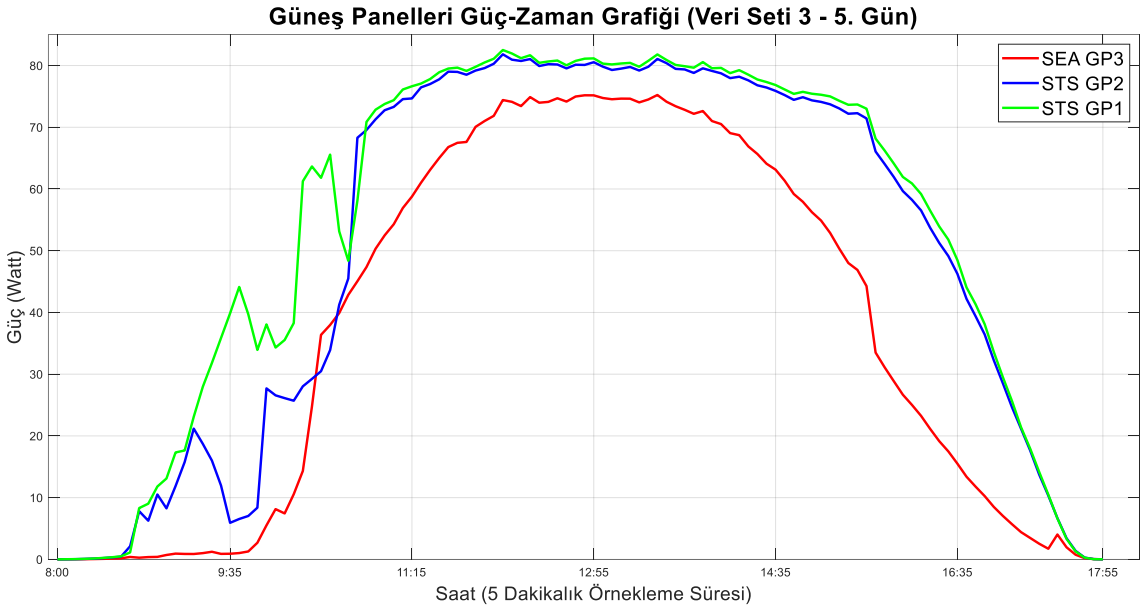
VS3 – 4. gün her güneş paneli için kaydedilen 118'er adet güç verisi 9 Kasım 2022 tarihine aittir. Günlük hava durumu çok bulutlu olarak gözlenmiştir. Öğleden sonra zaman zaman güneşlenme olduğundan, kaydedilen verilerde anlık artışlar meydana gelmiştir. Sıcaklık verilerinin günlük ortalama değeri 14,8°C olarak hesaplanmıştır. Kaydedilen veriler için çizdirilen grafik Şekil 4.15'te gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Güneş panelleri güç-zaman grafiği (VS3 – 4. Gün).

4.1.3.5. Veri Seti 3 – 5. Gün

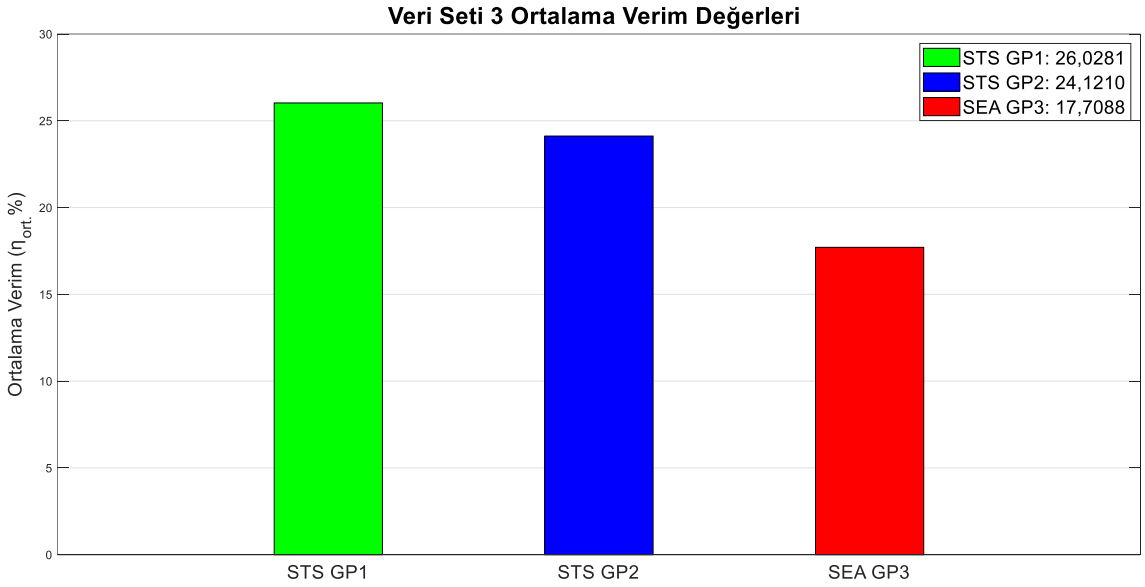
VS3 – 5. gün her güneş paneli için kaydedilen 116'şar adet güç verisi 10 Kasım 2022 tarihine aittir. Günlük hava durumu güneşli olarak gözlenmiştir. Öğleden önce zaman zaman az bulutlu hava gölge oluşturduğundan dolayı bazı verilerde düşüş meydana gelmiştir. Sıcaklık verilerinin günlük ortalama değeri 15,2°C olarak hesaplanmıştır. Kaydedilen veriler için çizdirilen grafik Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Güneş panelleri güç-zaman grafiği (VS3 – 5. Gün).

4.1.3.6. Veri Seti 3 – Karşılaştırma Sonuçları

VS3 için program ile hesaplanan verim değerleri Şekil 4.17'de sütun grafik halinde verilmiştir. Ortalama verim değerleri yaklaşık; STS GP1 için $\eta_{gp1ort.}$ = 26,0281, STS GP2 için $\eta_{gp2ort.}$ = 24,1210, SEA GP3 için η_{gp3ort} = 17,7088 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.17. Veri Seti 3 – ortalama verim değerleri.

$$\eta_{gp21kar.} = \frac{(\eta_{gp1ort.} - \eta_{gp2ort.})}{\eta_{gp2ort.}} \times 100 \qquad (4.10)$$

$$\eta_{gp21kar.} = 7{,}9063$$

VS3 için Denklem 4.12 ile hesaplanan sonuca göre; STS GP1, STS GP2'ye göre yaklaşık olarak %7,9063 daha verimlidir.

$$\eta_{gp32kar.} = \frac{(\eta_{gp2ort.} - \eta_{gp3ort.})}{\eta_{gp3ort.}} \times 100 \qquad (4.11)$$

$$\eta_{gp32kar.} = 36{,}2085$$

Veri seti 3 için Denklem 4.13 ile hesaplanan sonuca göre; STS GP2, SEA GP3'e göre %36,2085 daha verimlidir.

$$\eta_{gp31kar.} = \frac{(\eta_{gp1ort.} - \eta_{gp3ort.})}{\eta_{gp3ort.}} \times 100 \quad (4.12)$$

$$\eta_{gp31kar.} = 46{,}9776$$

Veri seti 3 için Denklem 4.13 ile hesaplanan sonuca göre; STS GP1, SEA GP3'e göre yaklaşık olarak %46,9776 daha verimlidir.

VS3 ile toplanan verilerde güneş panellerinin yüzey kirliliklerine bağımlı karşılaştırma yapılmıştır. Ayrıca sensörlü güneş takip sisteminin de verime etkisi incelenmiştir. VS3 verileri ile hesaplanan sonuçlara göre yüzeyi temizlenen STS GP1 ile yüzeyi kirli bırakılan STS GP2 arasında yaklaşık %7,9 verim farkı mevcuttur. Yüzeyi kirli bırakılan STS GP2'nin, yüzeyi kirli bırakılan SEA GP3'e göre yaklaşık %36,2 daha verimli olduğu, yüzeyi temizlenen STS GP1'in, yüzeyi kirli bırakılan SEA GP3'e göre yaklaşık %46,9 daha verimli olduğu hesaplanmıştır.

4.1.5. Veri Seti 4 – Yüzey Kirliliğine Bağımlı Veriler ve Karşılaştırma Sonuçları

VS4 için toplanan verilerde SEA GP3 eğim açısı sabit olarak ayarlanmış olup, STS GP1 ve STS GP2 sensörlü tip güneş takibi yapmaktadır. STS GP1 ve STS GP2'nin SEA GP3'ün açısına yaklaştığı saatler olan güneş öğlesi verileri baz alınarak, güneş takip sistemlerinin verime etkisi dışında sadece panel yüzeyi kirliliklerinin verime etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

VS4 için toplanan veriler 10 Kasım 2022 tarihine aittir. Hava durumu güneşli olarak gözlenmiştir. Bu tarihte Edirne konumunda güneş öğlesi saati 12:58'dir. Verilerde mevcut olan 12:40 ve 13:20 saatleri arasında her bir güneş paneli için alınan 9'ar verinin ortalamaları ile karşılaştırma yapılmıştır. Güneş öğlesi için güneş panellerinden alınan veriler Çizelge 4.1.'de verilmiştir. STS GP1'in yüzeyi günlük olarak temizlenmektedir. STS GP2'nin ve SEA GP3'ün yüzeyleri ise çalışma süresi boyunca kirlenmeye bırakılmıştır. Panellerin yüzey kirlilikleri Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de gösterildiği gibidir. Şekillerdeki fotoğraflar 9 Kasım 2022 tarihinde çekilmiştir.



Şekil 4.18. STS GP1'in yüzey kirliliği (9 Kasım 2022).



Şekil 4.19. STS GP2'nin yüzey kirliliği (9 Kasım 2022).



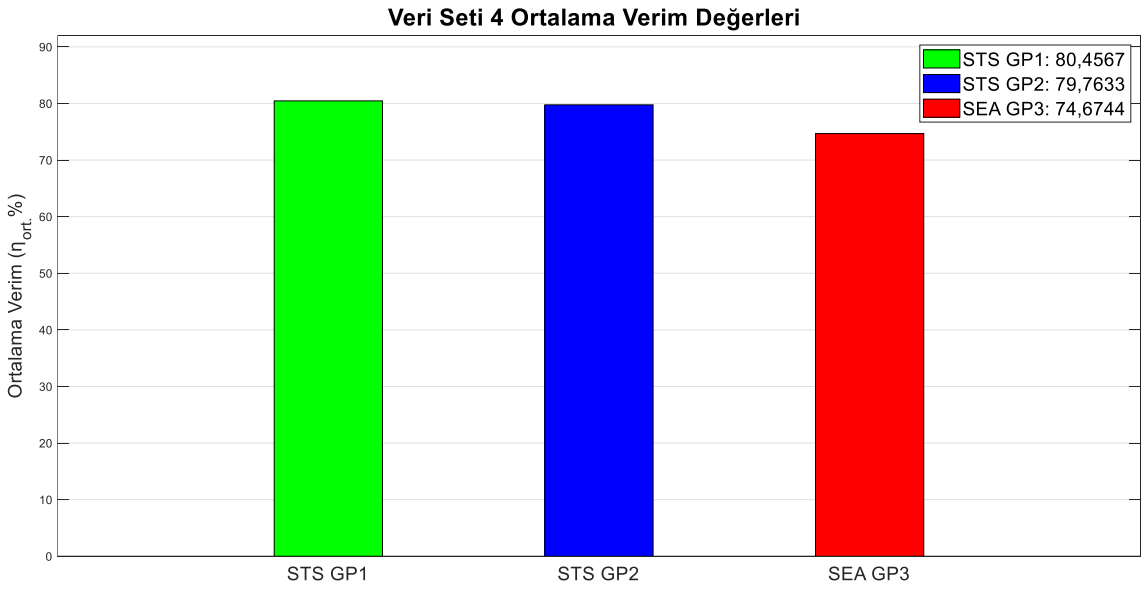
Şekil 4.20. SEA GP3'ün yüzey kirliliği (9 Kasım 2022).

Çizelge 4.1. VS4 Güneş Öğlesi İçin Güneş Panellerinden Alınan Veriler

Saat	STS GP1	STS GP2	SEA GP3
12:40:00	80,04 W	79,54 W	74,16 W
12:45:00	80,75 W	80,13 W	74,98 W
12:50:00	81,11 W	80,10 W	75,18 W
12:55:00	81,16 W	80,54 W	75,17 W
13:00:00	80,31 W	79,82 W	74,74 W
13:05:00	80,18 W	79,28 W	74,54 W
13:10:00	80,33 W	79,50 W	74,64 W
13:15:00	80,43 W	79,77 W	74,63 W
13:20:00	79,80 W	79,19 W	74,03 W

4.1.5.1. Veri Seti 4 – Karşılaştırma Sonuçları

VS4 için program ile hesaplanan verim değerleri Şekil 4.21'de sütun grafik halinde verilmiştir. Ortalama verim değerleri yaklaşık; STS GP1 için $\eta_{gp1ort.}$ = 80,4567, STS GP2 için $\eta_{gp2ort.}$ = 79,7633, SEA GP3 için η_{gp3ort} = 74,6744 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.21. Veri Seti 4 – ortalama verim değerleri.

$$\eta_{gp21kar.} = \frac{(\eta_{gp1ort.} - \eta_{gp2ort.})}{\eta_{gp2ort.}} \times 100 \qquad (4.13)$$

$$\eta_{gp21kar.} = 0{,}8692$$

VS4 için Denklem 4.13 ile hesaplanan sonuca göre; STS GP1, STS GP2'ye göre yaklaşık olarak %0,8692 daha verimlidir.

$$\eta_{gp32kar.} = \frac{(\eta_{gp2ort.} - \eta_{gp3ort.})}{\eta_{gp3ort.}} \times 100 \qquad (4.14)$$

$$\eta_{gp32kar.} = 6{,}8147$$

VS4 için Denklem 4.14 ile hesaplanan sonuca göre; STS GP2, SEA GP3'e göre yaklaşık olarak %6,8147 daha verimlidir.

$$\eta_{gp31kar.} = \frac{(\eta_{gp1ort.} - \eta_{gp3ort.})}{\eta_{gp3ort.}} \times 100 \qquad (4.15)$$

$$\eta_{gp31kar.} = 7{,}7432$$

VS4 için Denklem 4.15 ile hesaplanan sonuca göre; STS GP1, SEA GP3'e göre yaklaşık olarak %7,7432 daha verimlidir.

VS4'te toplanan verilerde STS GP2 ve SEA GP3 yağmursuz geçen 27 günlük kirlenme süresi ile yüzeyleri Şekil 4.19 ve 4.20'de gösterildiği gibi kirlenmiştir. Güneş öğlesine yakın saatlerde toplanan veriler ile karşılaştırma yapıldığında temiz yüzeyli STS GP1'in, yüzeyi kirli bırakılan STS GP2'ye göre %0,8692 daha verimli olduğu hesaplanmıştır. Yüzeyi kirli bırakılan STS GP2'nin, yüzeyi kirli bırakılan SEA GP3'e göre %6,8147 daha verimli olduğu hesaplanmıştır. Yüzeyi temiz olan STS GP1'in, yüzeyi kirli bırakılan SEA GP3'e göre %7,7423 daha verimli olduğu hesaplanmıştır.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada doğu-batı yönünde tek eksenli güneş takibi yapan, panel eğim açısı el ile ayarlanabilen iki adet güneş takip sistemi prototipine bağlı güneş panelleri ve bir adet sabit eğim açılı, panel eğim açısı el ile ayarlanabilen sisteme bağlı güneş paneli ile güç verileri kaydedilerek verim karşılaştırmaları yapılmıştır.

Çalışma için üretilen güneş takip sistemi prototiplerinde aktüatör olarak step motor, kontrolcü olarak Arduino UNO kullanılmıştır. Voltaj sensörü ile güneş panellerinden alınan veriler hafıza kartlarına kaydedilip bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

Güneş takip sistemi için üretilen iki prototip hem sensörlü tip güneş takibi hem de hesaplamalı tip güneş takibi için uygun şekilde hazırlanmıştır. Prototiplerde sensörlü tip güneş takip sistemi için ışığa bağımlı dirençler (LDR) kullanılmıştır. Hesaplamalı tip güneş takip sistemi için ise koordinat ve tarih saat verileri kullanılarak açı hesaplamaları yapılmıştır. İki ayrı güneş takip yöntemi için yazılan programların algoritma şemaları Bölüm 3 içerisinde verilmiştir. Güneş panelleri sonbahar ayları için hesaplanan optimum panel eğim açısı yaklaşık 50° açı ile ayarlanmıştır.

Deneysel çalışmada toplam 11 gün boyunca 5 dakika aralıklarla veriler kaydedilmiştir. Bu veriler 4 ayrı veri seti başlığı altında güneş takip sistemlerinde takip yönteminin çeşidine ve panel yüzeyi kirliliklerinin seviyelerine göre incelenmiştir.

Veri Seti 1 ve Veri Seti 2 için karşılaştırmalar, yüzey kirliliklerinden bağımsız olarak, hesaplamalı tip güneş takip sistemi, sensörlü tip güneş takip sistemi ve sabit eğim açılı güneş paneli arasında yapılmıştır. Veri Seti 3 ve Veri Seti 4 için karşılaştırmalar, güneş panellerinin yüzey kirliliklerine bağlı olarak, sensörlü tip güneş takip sistemleri ve sabit eğim açılı güneş paneli arasında yapılmıştır.

Veri Seti 1 karşılaştırma sonuçlarına göre güneş takip sistemleri arasında yaklaşık olarak %0,43 verim farkı mevcuttur. Takip sistemli güneş panelleri arasındaki bu verim farkı hata payı olarak kabul edilebilecek düzeydedir. Veri Seti 1 ile yüzey kirliliklerinden bağımsız olarak yapılan karşılaştırmada hesaplamalı tip güneş takip sistemli güneş panelleri, sabit eğim açılı güneş paneline göre yaklaşık %49 ile %49,7 arasında daha verimli olduğu hesaplanmıştır.

Veri Seti 2 karşılaştırma sonuçlarına göre yüzey kirliliklerinden bağımsız olarak sensörlü tip güneş takip sistemli güneş panelinin, hesaplamalı tip güneş takip sistemli güneş paneline göre yaklaşık %1,7 daha verimli olduğu hesaplanmıştır.

Veri Seti 3 karşılaştırma sonuçlarına göre yüzeyi temiz olan sensörlü tip güneş takip sistemli güneş panelinin, yüzeyi kirli bırakılan sensörlü tip güneş takipli güneş paneline göre yaklaşık %7,9 daha verimli olduğu hesaplanmıştır. Yüzeyi kirli bırakılan sensörlü takip sistemli güneş panelinin, yüzeyi kirli bırakılan sabit eğim açılı güneş paneline göre yaklaşık %36 daha verimli olduğu hesaplanmıştır. Yüzeyi temiz sensörlü tip güneş takip sistemli güneş panelinin, yüzeyi kirli bırakılan sabit eğim açılı güneş paneline göre yaklaşık %47 daha verimli olduğu hesaplanmıştır.

Veri Seti 4 karşılaştırma sonuçlarına göre güneş panelleri üzerinde biriken kir ve tozların yoğunluğa bağlı olarak yaklaşık %1'den %8'e kadar verimliliğe etkisinin olduğu hesaplanmıştır. Art arda yağmursuz geçen gün sayısı arttığında bu verim farklarının daha yüksek değerlere çıkabileceği düşünülebilir.

5.2. Tartışma

Hesaplamalı tip güneş takip sisteminin programında lineer olarak güneş takibi yapılmaktadır. Bu durum ekinoks tarihleri güneş öğlesi saatleri için doğru sonuçlar vermekte olup bu tarihlerden ve güneş öğlesinden uzaklaştıkça açılar yaklaşık olarak

hesaplanmaktadır. İlerleyen çalışmalarda hesaplamalı tip güneş takip sistemi için saat açısı, doğruluk payı daha yüksek yöntemler ile hesaplanabilir.

Panel eğim açılarının hesaplanmasında kullanılan Hottel&Woertz metodu dünyanın şeklini küre olarak kabul ettiğinden eğim açıları yaklaşık olarak hesaplanmaktadır. Bu yöntem ile hesaplamalar yapılırken dünyanın şeklinin küre olmamasından enlem açısı sebebiyle ortaya çıkan hesaplamadaki hatalar için gerekli düzeltmeler yapılarak güneş açıları daha kesin bir şekilde hesaplanabilir.

Çalışmadaki sabit eğim açılı güneş paneli sayısı bir adet arttırılarak karşılaştırma verilerine farklı bir boyut daha eklenebilir. Eklenen sabit eğim açılı panel ile verim karşılaştırmaları yapılabilir.

Çalışmada denenen bir konu da panel yüzeylerinin sıcaklık ölçümleridir. Hava sıcaklıklarının ölçümü gerçekleştirilmiştir ancak panel yüzeyi sıcaklıklarının verime etkisini incelemek için ilerleyen çalışmalarda panel yüzeyi sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilerek sıcaklığın verime etkileri incelenebilir.

Güneş takip sistemlerinde kazanılan verimden çok takip sistemi için harcanan enerji miktarları önemlidir. Bu çalışmada takip için harcanan enerji miktarları ölçülmeyip, sadece panel yüzeyi kirlilikleri ve takip sistemlerinin verime etkisi takip için harcanan enerjiden bağımsız olarak incelenmiştir. İlerleyen çalışmalarda takip sistemlerinin verime faydaları ve tüketilen enerji miktarları da eklenerek kazanılan verimin faydalı kısmı ortaya çıkarılabilir.

Çalışmanın deney süresi arttırılarak yıl, mevsim veya ay bazında veriler toplanmasıyla yaz ve kış aylarında güneş takip sistemlerinin yıllık, mevsimlik veya aylık verime etkileri ayrıca konu olarak işlenebilir.

Güneş enerjisi ile ilgili çalışmalarda, deneylerin yapılacağı alan dikkatle tüm gün güneşlenecek şekilde seçilmelidir. Bu çalışmada çevresel sebepler küçük bir miktar veri kaybına yol açmıştır.

KAYNAKLAR

Abhilash, B., & Panchal, A. K. (2016). *Self-Cleaning and Tracking Solar Photovoltaic Panel for Improving Efficiency*. Paper presented at the 2016 2nd International Conference on Advances in Electrical, Electronics, Information, Communication and Bio-Informatics (AEEICB).

Alagözyaylası, S. (2018). *Kristal Silisyum Güneş Gözelerinde Doğal İklim Şartlarında Oluşan Tozlanma ve Yüzey Kirliliğinin Verime Etkisi.* (Yüksek Lisans Tezi). T.C. Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.

Alıcı, H. (2021). Designing and Implementation of Novel Solar Tracker System for Çukurova Region.

Arduino. (2022). UNO R3 Datasheet. Retrieved from https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf?_gl=1*g5xqpa*_ga*MTk1ODc0MzYwMy4xNjU1NTgxNzUw*_ga_NEXN8H46L5*MTY3Mjc3MTkxOS40LjEuMTY3Mjc3MzQzNy4wLjAuMA..

Armakan, E. (2003). *Analysis of Two-Axis Sun Tracking System*. İzmir: İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü.

Avcıl, Ö. A. (2006). *Dişli Çarkların Standartlara Göre Hesaplanması ve Bilgisayar Destekli Tasarımla Kontrolü.* (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Aydın, L. (2014). *Üç Boyutlu Yazıcıyla Ayak Bileği Ortezinin Tasarımı ve Geliştirilmesi.* (Yüksek Lisans Tezi). Kocaeli Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

Aydın, M. (2016). *İki Eksenli Güneş Takip Sisteminin Tasarımı ve Prototipinin Üretimi.* (Yüksek Lisans Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Aydın, M. (2020). *Türkiye Koşullarında Güneş Panelleri İçin Optimum Sabit ve Ayarlanabilir Eğim Açılarının Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma.* (Yüksek Lisans Tezi). Bursa Uludağ Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Bakirci, K. (2012). General Models for Optimum Tilt Angles of Solar Panels: Turkey Case Study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16*(8), 6149-6159.

Beyoğlu, M. F. (2011). *Balıkesir İlinde Çift Eksenli Güneş Takip Sistemi ile Sabit Eksenli PV Sistemin Verimlerinin Karşılaştırılması.* (Yüksek Lisans Tezi). Balıkesir Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

Çağlar, A. (2018). Farklı Derece-Gün Bölgelerindeki Şehirler için Optimum Eğim Açısının Belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22*(2), 849-854.

Dal, A. R. (2021). Güneş Enerji Panellerindeki Optimum Eğim Açısının Verime Etkisinin İncelenmesi. *BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 241-250.

Duffie, J. A., Beckman, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes Second Edition*. Hoboken, New Jersey, Canada: John Wiley & Sons, Inc.

Erat, A. (2018). *Fotovoltaik Panel Yüzey Temizliği için Akıllı Sistem Tasarımı.* (Yüksek Lisans Tezi). Necmettin Erbakan Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Fathabadi, H. (2016). Comparative Study Between Two Novel Sensorless and Sensor Based Dual-Axis Solar Trackers. *Solar Energy, 138*, 67-76.

GEPA. (2021, 12 27). Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası Retrieved from https://gepa.enerji.gov.tr

Kara, G., Erişgin, D., & Özcan, H. (2022). Fotovaltaik Panel Temizliğinde Yüzey Akustik Dalgaları Kullanımının Fotovoltaik Panel Performansına Etkilerinin İncelenmesi. *OMÜ Mühendislik Bilimleri ve Teknolojisi Dergisi, 2*(2), 137-154.

Mohamad, A., Rahman, M., Phasinam, K., Mohamad, M. B., Saad, M., & Chionh, S. (2021). *Analysis of An Arduino Based Solar Tracking System.* Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series.

Önal, M. A. (2009). *İki Eksenli Güneş İzleme Sistemi Tasarımı.* (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Özkan, A. O., & Demir, H. B. (2019). Fotovoltaik Panellerde Sıcaklık ve Zenit Açısının Panel Güç Üretimine Etkisi. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1*(1), 1-9.

Öztürk, Z. N. (2016). *Passivated Emitter Rear Side Contact Solar Cells.* (Yüksek Lisans Tezi). Orta Doğu Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Ensitüsü,

Sidek, M., Azis, N., Hasan, W., Ab Kadir, M., Shafie, S., & Radzi, M. (2017). Automated Positioning Dual-Axis Solar Tracking System With Precision Elevation and Azimuth Angle Control. *Energy, 124*, 160-170.

Solargis. (2021). Solar Resource Map © 2021 Solargis Retrieved from https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/europe

Şengül, A., İşen, E., & Uzun, T. Sıcaklık ve Işınım Miktarının Fotovoltaik Panel Üzerindeki Etkisi.

Tan Bayar, M. (2022). *Fotovoltaik Sistemlerde Tozlanmanın Panel Verimi Üzerindeki Etkilerinin Deneysel Olarak Araştırılması.* (Yüksek Lisans Tezi). Batman Üniversitesi/Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Batman.

Tatlı, O. (2020). *Üç Boyutlu Yazıcı Tasarımı, İmalatı Ve Dolgu Geometrisinin Mekanik Özelliklere Etkisi.* (Yüksek Lisans Tezi). Bursa Uludağ Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Ulgen, K. (2006). Optimum Tilt Angle for Solar Collectors. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 28*(13), 1171-1180.

Varış, Ç. (2017). *Çift Eksenli Güneş Takip Sisteminin Pilot Uygulaması, Üretim Değerlendirmesi Ve Ekonomik Analizi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.

Yağlı, H., & Koç, Y. (2020). Gaziantep Bölgesi İçin Güneş Enerjisinden Elektrik Üretiminde Kurulacak Panellerin Optimum Eğim Açılarının Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(19), 475-483.

Yıldırım, E., & Aktacir, M. A. (2019). Investigation of Azimuth and Tilt Angle Effects on Building Integrated Photovoltaic Systems. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 34*(2), 609-619.

Yılmaz, M. (2013). *Güneş Takip Sistemi ile Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Elde Etme Yöntemleri ve Optimum Verimin Belirlenmesi.* (Doktora Tezi). Marmara Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

30 Kasım 1996'da Aydın'da doğdum. İlkokul ve ortaokulu Edirne Kırkpınar Ağası Alper Yazoğlu İlköğretim Okulu'nda okudum. 2010'da lise hayatıma başladım. Edirne İlhami Ertem Anadolu Lisesi'nden 2014'te mezun olduktan sonra Kırklareli Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimime başladım. 2019 yılında Kırklareli Üniversitesi'nden mezun oldum. 2020 yılı Şubat ayından itibaren Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı Tezli Yüksek Lisans Programı öğrencisi olarak lisansüstü eğitimime devam etmekteyim.