

**FARKLI GÜNEŞ PANELLERİNİN ADAPTİF BİR
GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ ÜZERİNDE YILLIK
PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI VE
GÜÇ TAHMİNİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat ORHUN

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

HAZİRAN, 2013

Bu tez çalışması 111E134 numaralı proje ile TUBİTAK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI GÜNEŞ PANELLERİNİN ADAPTİF BİR GÜNEŞ TAKİP
SİSTEMİ ÜZERİNDE YILLIK PERFORMANSLARININ
KARŞILAŞTIRILMASI VE GÜÇ TAHMİNİ

Murat ORHUN

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

HAZİRAN, 2013

TEZ ONAY SAYFASI

Murat ORHUN tarafından hazırlanan “Farklı Güneş Panellerinin Adaptif Bir Güneş Takip Sistemi Üzerinde Yıllık Performanslarının Karşılaştırılması ve Güç Tahmini” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca **21/06/2013** tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU

Başkan : Doç. Dr. Mehmet KURBAN İmza
Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi- Mühendislik Fakültesi,

Üye :Yrd. Doç. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU İmza
Afyon Kocatepe Üniversitesi- Mühendislik Fakültesi,

Üye : Doç. Dr. Abdurrahman KARABULUT İmza
Afyon Kocatepe Üniversitesi- Teknoloji Fakültesi,

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. Mevlüt DOĞAN
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

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

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

beyan ederim.

21/06/2013

İmza

Murat ORHUN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI GÜNEŞ PANELLERİNİN ADAPTİF BİR GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ ÜZERİNDE YILLIK PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI VE GÜÇ TAHMİNİ

Murat ORHUN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU

Bu araştırmada, 01 Mart 2012 – 28 Şubat 2013 tarihleri arasında farklı teknolojilerle üretilmiş, sabit ve hareketli platform üzerine yerleştirilmiş güneş panellerinin güneşin farklı algoritmalarla takibi durumunda performanslarının izlenmesi üzerine kapsamlı bir çalışmayı içermektedir. Çalışmada ilk olarak PLC tabanlı bir kontrol sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan kontrol sistemi geliştirilen bir bilgisayar yazılımı ile haberleşmektedir. Farklı güneş takip stratejileri güneş takip sistemi üzerinde denenmiştir. Bu aşamada hareketli ve sabit sistemler üzerine yerleştirilmiş güneş panellerinden ölçülen akım, gerilim ve sıcaklık gibi parametreler belirli periyodlarla kaydedilmiştir. Daha sonra bu veriler analiz edilerek takip algoritmalarının performansları karşılaştırılmıştır. Son olarak veriler üzerinde farklı güç tahmin modelleri geliştirilmiş, performansları karşılaştırılmış ve sonuçlar tartışılmıştır

2013, xiii + 105 sayfa

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji Sistemleri, Güneş Takip Sistemleri, Fotovoltaik Enerji Sistemleri, Güneş Takip Algoritmaları.

ABSTRACT

M.Sc Thesis

YEARLY PERFORMANCE COMPARISON OF DIFFERENT PV MODULES LOCATED ON AN ADAPTIVE SOLAR TRACKER SYSTEM

Murat ORHUN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of mechanical Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Fatih Onur Hocaoglu

In this research, includes a detailed study on the performance investigation of solar panels located both on fixed and tracked systems with different tracking strategies. During project time first a PLC based system is designed. Designed system is able to communicate with computer software developed. While tracing the sun, for all tracking strategies important parameters that effect the module efficiency (such as current, voltage and temperature) are measured by the help of convenient sensors located on the modules. Then these parameters are collected and evaluated. By this way both performance of Pv modules and different tracking algorithms are investigated. As a final step energy prediction models are developed, performances of these models are discussed.

2013, xiii + 105 pages

Key Words: Renewable Energy Systems, Solar Tracker Systems, Fotovoltaic Energy, Electrical Energy Production, Solar Tracking Algorithms.

TEŐEKKÖR

Bu araştırmanın konusu, deneysel alışmaların ynlendirilmesi, sonuların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarında dolay tez danışmanım Sayın Yrd.Do.Dr. Fatih Onur HOCAOğLU'na, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Yrd.Do.Dr.Said Mahmut INAR ve Arř.Gör. Emre AKARSLAN'a, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teőekkr ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolay aileme teőekkr ederim.

Murat ORHUN

AFYONKARAHİSAR, 2013

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
RESİMLER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	2
2.1 Güneş Potansiyelinin Analiz Edilmesi	5
2.2 PV Panellerin Eğim Açısının Belirlenmesi	6
2.3 Güneş ve Rüzgar Enerjisinin Hibrit Kullanımı.....	7
2.4 Güneş Panellerinin Enerji Üretimlerinin Tahmini.....	8
3. MATERYAL ve METOT	9
3.1 Kurulacak Sistem Bileşenlerinin Seçimi.....	9
3.1.1 Güneş Panellerinin Seçimi	9
3.1.2 Güneş Panellerini Monte Etmek İçin Tasarlanan Platformlar	10
3.1.3 PLC Kontrol Ünitesi Konfigürasyonunun Tespiti.....	11
3.1.4 Ölçme Donanımlarının Seçimi	14
3.1.5 Paneller İçin Gerekli Yüklerin Seçimi.....	15
3.1.6 Kontrol ve Veri Toplama Programı Konfigürasyonunu.....	15
3.2 Adaptif Güneş Takip Sisteminin Kurulumu Çalışmaları.....	17
3.2.1 Güneş Paneli Platformların Sabit ve Hareketli Taşıyıcılara Montajı	17
3.2.2 PLC Kontrol Ünitesinin Panoya Montajı	22
3.2.3 Ölçme Donanımlarının Montajı.....	23
3.2.4 Koşullandırıcı Devrenin Gerçekleştirilmesi ve Panoya Montajı	24
3.2.5 Panel yüklerinin panoya montajı	28
3.3 Kurulan Sistemin Devreye Alınması ve Veri Toplama Çalışmaları.....	28
3.3.1 PLC Kontrol Programı	29
3.3.2 Sunucu Bilgisayar İçin Arayüz Programı	33
3.4 Tez Süresinde Karşılaşılan Problemlerin Giderilmesi.....	40
3.4.1 Kuzey-Güney Eksen Milinin Değiştirilmesi	40

3.4.2 Panel Üzerine Yerleştirilen LDR Sensörlerinin Konumlarının Değiştirilmesi	40
3.4.3 Doğu-Batı Yönündeki Açisal Kontrolü Sağlayan Encoder deki Arızanın Giderilmesi	42
3.5 Enerji Tahmin Modelleri	42
3.5.1 Yapay Sinir Ağları.....	42
3.6 Güneş Geometrisi	44
3.6.1 Yerel Güneş Zamanı ve Yerel Zaman	45
3.6.2 Yerel Standart Zaman Meridyeni (LSTM).....	45
3.6.3 Zaman Eşitliği (EoT).....	45
3.6.4 Zaman düzeltme Katsayısı (TC).....	46
3.6.5 Yerel Güneş Zamanı (LST)	46
3.6.6 Saat Açısı (HA)	46
3.6.7 Eğim Açısı	47
2.3.8. Yükseklik ve Azimut	47
3.7 Adaptif Bir Güneş Takip Algoritması Tasarımı	47
4. BULGULAR	50
4.1 Hareketli ve Sabit Güneş panellerinin Üretimleri.....	50
4.2 Hareketli ve Sabit Güneş panellerinin Üretimleri ve Sıcaklık ile İlişkisi	57
4.3. Yıl İçerisindeki Üretim En Fazla ve En Az Olduğu Hafta	81
4.4 Farklı Takip Algoritmalarının Enerji Üretimine Etkisi	84
4.5 Tasarlanan Adaptif Güneş Takip Algoritmasının Üretim Performansı	85
4.6 YSA ile Güç Tahmini	86
4.6.1 Kısa Dönem Güç Tahmini	87
4.6.2 Orta Dönem Güç Tahmini	90
4.6.3 Uzun Dönem Güç Tahmini	92
4.7 Hareketli ve Sabit Panellerin Fiyat / Performans Oranlarının Karşılaştırılması	94
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	96
6. KAYNAKLAR.....	98
ÖZGEÇMİŞ.....	105

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

°C	Santigrat derece
MWh	Megawatt saat
µm	Mikronmetre
A	Amper
V	Volt
kΩ	Kiloohm
°	Derece
mA	Miliamper
Cm	Santimetre
W	Watt

Kısaltmalar

PLC	Programlanabilir mantıksal denetleyiciler
PV	Fotovoltaik
DC	Doğru akım
LED	Işık yayan diyot
LDR	Işığa bağımlı direnç
YSA	Yapay sinir ağları
RMSE	Root Mean Square Error

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Sabit ve hareketli güneş panelleri için tasarlanan platformlar.	11
Şekil 3.2 Sistemin prensip şeması.	16
Şekil 3.3 Platformun sabit taşıyıcı sisteme montajı.	17
Şekil 3.4 Platformun hareketli taşıyıcı sisteme montajı.	18
Şekil 3.5 Platforma bağlanan karşıt ağırlıklar.	19
Şekil 3.6 Halatlı karşıt ağırlık sistemi.	20
Şekil 3.7 Yeniden düzenlenmiş halatlı karşıt ağırlık sistemi.	21
Şekil 3.8 Gerilim bölücü devre şeması.	25
Şekil 3.9 Akım dönüştürücü devre şeması.	25
Şekil 3.10 LDR'ler için ışık seviyesi ölçme devresi.	26
Şekil 3.11 Koşullandırıcı devre için tasarlanan baskı devre şeması.	27
Şekil 3.12 PLC programı akış diyagramı.	31
Şekil 3.13 LDR ışık şiddetlerine göre yönelme alt programı akış şeması.	33
Şekil 3.14 Arayüz programı akış şeması.	36
Şekil 3. 15 Saat başı takip algoritması akış şeması.	38
Şekil 3.16 Güneşin yıllık azimut açısının yarımşar saatlik değişimi.	39
Şekil 3.17 Güneşin yıllık yükseklik (elevation) açısının yarımşar saatlik değişimi.	39
Şekil 3.18 Kuzey-Güney eksenini için planlanan tek parçalı mil tasarımı.	40
Şekil 3.19 İki gizli katmana sahip bir yapay sinir ağı mimarisi.	43
Şekil 4.1 Hareketli monokristal güneş panelinin 1 yıllık üretimi.	50

Şekil 4.2 Hareketli monokristal güneş panelinin 1 yıllık üretimi.....	51
Şekil 4.3 Sabit monokristal güneş panelinin 1 yıllık üretimi.	51
Şekil 4.4 Hareketli incefilm güneş panelinin 1 yıllık üretimi.	52
Şekil 4.5 Sabit incefilm güneş panelinin 1 yıllık üretimi.	52
Şekil 4.6 Hareketli polikristal güneş panelinin 1 yıllık üretimi.	53
Şekil 4.7 Sabit polikristal güneş panelinin 1 yıllık üretimi.	53
Şekil 4.8 Hareketli güneş panellerinin 1 yıllık toplam üretimleri.	54
Şekil 4.9 Sabit güneş panellerinin 1 yıllık toplam üretimleri.....	54
Şekil 4.10 Hareketli ve sabit güneş panellerinin toplam üretimlerinin yüzdelik dağılımı.	55
Şekil 4.11 Yıllık toplam güneş ışınım verileri.	56
Şekil 4.12 Hareketli güneş panellerinin Ocak ayındaki 1 haftalık üretimleri.	57
Şekil 4.13 Hareketli güneş panellerinin Ocak ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları....	58
Şekil 4.14 Sabit güneş panellerinin Ocak ayındaki 1 haftalık üretimleri.....	58
Şekil 4.15 Sabit güneş panellerinin Ocak ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.	59
Şekil 4.16 Hareketli güneş panellerinin Şubat ayındaki 1 haftalık üretimleri.....	59
Şekil 4.17 Hareketli güneş panellerinin Şubat ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları... 60	
Şekil 4.18 Sabit güneş panellerinin Şubat ayındaki 1 haftalık üretimleri.	60
Şekil 4.19 Sabit güneş panellerinin Şubat ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.....	61
Şekil 4.20 Hareketli güneş panellerinin Mart ayındaki 1 haftalık üretimleri.....	61
Şekil 4.21 Hareketli güneş panellerinin Mart ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları. ...	62
Şekil 4.22 Sabit güneş panellerinin Mart ayındaki 1 haftalık üretimleri.	62

Şekil 4.23 Sabit güneş panellerinin Mart ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.....	63
Şekil 4.24 Hareketli güneş panellerinin Nisan ayındaki 1 haftalık üretimleri.	63
Şekil 4.25 Hareketli güneş panellerinin Nisan ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları...	64
Şekil 4.26 Sabit güneş panellerinin Nisan ayındaki 1 haftalık üretimleri.	64
Şekil 4.27 Sabit güneş panellerinin Nisan ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.	65
Şekil 4.28 Hareketli güneş panellerinin Mayıs ayındaki 1 haftalık üretimleri.....	65
Şekil 4.29 Hareketli güneş panellerinin Mayıs ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları. .	66
Şekil 4.30 Sabit güneş panellerinin Mayıs ayındaki 1 haftalık üretimleri.	66
Şekil 4.31 Sabit güneş panellerinin Mayıs ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.....	67
Şekil 4.32 Hareketli güneş panellerinin Haziran ayındaki 1 haftalık üretimleri.	67
Şekil 4.33 Hareketli güneş panellerinin Haziran ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.	68
Şekil 4.34 Sabit güneş panellerinin Haziran ayındaki 1 haftalık üretimleri.....	68
Şekil 4.35 Sabit güneş panellerinin Haziran ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.	69
Şekil 4.36 Hareketli güneş panellerinin Temmuz ayındaki 1 haftalık üretimleri.	69
Şekil 4.37 Hareketli güneş panellerinin Temmuz ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.	70
Şekil 4.38 Sabit güneş panellerinin Temmuz ayındaki 1 haftalık üretimleri.	70
Şekil 4.39 Sabit güneş panellerinin Temmuz ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları. ...	71
Şekil 4.40 Hareketli güneş panellerinin Ağustos ayındaki 1 haftalık üretimleri.....	71
Şekil 4.41 Hareketli güneş panellerinin Ağustos ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.	72
Şekil 4.42 Sabit güneş panellerinin Ağustos ayındaki 1 haftalık üretimleri.	72

Şekil 4.43 Sabit güneş panellerinin Ağustos ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.....	73
Şekil 4.44 Hareketli güneş panellerinin Eylül ayındaki 1 haftalık üretimleri.	73
Şekil 4.45 Hareketli güneş panellerinin Eylül ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları. ..	74
Şekil 4.46 Sabit güneş panellerinin Eylül ayındaki 1 haftalık üretimleri.....	74
Şekil 4.47 Sabit güneş panellerinin Eylül ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.	75
Şekil 4.48 Hareketli güneş panellerinin Ekim ayındaki 1 haftalık üretimleri.	75
Şekil 4.49 Hareketli güneş panellerinin Ekim ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları. ..	76
Şekil 4.50 Sabit güneş panellerinin Ekim ayındaki 1 haftalık üretimleri.....	76
Şekil 4.51 Sabit güneş panellerinin Ekim ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.	77
Şekil 4.52 Hareketli güneş panellerinin Kasım ayındaki 1 haftalık üretimleri.	77
Şekil 4.53 Hareketli güneş panellerinin Kasım ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları..	78
Şekil 4.54 Sabit güneş panellerinin Kasım ayındaki 1 haftalık üretimleri.....	78
Şekil 4.55 Sabit güneş panellerinin Kasım ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.	79
Şekil 4.56 Hareketli güneş panellerinin Aralık ayındaki 1 haftalık üretimleri.	79
Şekil 4.57 Hareketli güneş panellerinin Aralık ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları. .	80
Şekil 4.58 Sabit güneş panellerinin Aralık ayındaki 1 haftalık üretimleri.	80
Şekil 4.59 Sabit güneş panellerinin aralık ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.....	81
Şekil 4.60 Hareketli güneş panellerinin yıl içerisindeki üretiminin en yüksek olduğu hafta.	82
Şekil 4.61 Hareketli güneş panellerinin yıl içerisindeki üretiminin en düşük olduğu hafta.	82
Şekil 4.62 Sabit güneş panellerinin yıl içerisindeki üretiminin en yüksek olduğu hafta.	83

Şekil 4. 63 Sabit güneş panellerinin yıl içerisindeki üretiminin en düşük olduğu hafta.	83
Şekil 4.64 İnce film güneş paneline ait ölçülmüş verilerin ve test çıktılarının aynı grafik üzerinde görünümü.	88
Şekil 4.65 Şekil 4.63'ün rasgele seçilmiş bir bölümünün büyütülmüş hali	89
Şekil 4.66 Ölçülmüş olan verilerin ağ çıktıları ile değişimi.....	89
Şekil 4.67 Monokristal güneş paneline ait ölçülmüş verilerin ve test çıktılarının aynı grafik üzerinde görünümü.	91
Şekil 4.68 Ölçülmüş olan verilerin ağ çıktıları ile değişimi.....	91
Şekil 4.69 Polikristal güneş paneline ait ölçülmüş verilerin ve test çıktılarının aynı grafik üzerinde görünümü.	93
Şekil 4.70 Ölçülmüş olan verilerin ağ çıktıları ile değişimi.....	93

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Alınan güneş panellerinin teknik özellikleri.	9
Çizelge 3.2 Sistemde ölçülen ve kontrol edilen parametreler.	12
Çizelge 3.3 Hareketli ve sabit polikristal güneş panelinin aylara göre 1 günlük üretimleri.	48
Çizelge 4. 1 Hareketli ve sabit güneş panellerinin toplam üretimleri.	55
Çizelge 4.2 Hareketli güneş panelinin sabit panellere göre üretim artışı.	56
Çizelge 4.3 Hareketli ve sabit güneş panellerinin farklı algoritmalarındaki üretimleri. ...	84
Çizelge 4.4 LDR ve Tasarlanan algoritmanın Üretimleri.	85
Çizelge 4.5 Yapay sinir ağı ile oluşturulan modeller.	86
Çizelge 4.6 Modellere ait RMSE değerleri.	88
Çizelge 4.7 Modellere ait RMSE değerleri.	90
Çizelge 4.8 Modellere ait RMSE değerleri.	92
Çizelge 4.9 Güneş panellerinin aylara göre fiyat / performans oranları.	95

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 3.1 Alınan güneş panellerinin montaj görünümü.	9
Resim 3.2 PLC ana modülü ve ölçme modülü.	14
Resim 3.3 Hareketli mekanik aksam.	22
Resim 3.4 Üzerine panellerin yerleştirildiği sabit platform.	22
Resim 3.5 PLC kontrol ünitesinin panodaki görünüşü.	23
Resim 3.6 Güneş panelleri üzerindeki LDR ve PT-100 sensörlerin yerleşimi.	24
Resim 3.7 Elektronik montajı tamamlanmış koşullandırıcı devrenin panodaki görünümü.	27
Resim 3.8 Panel yüklerinin görünümü.	28
Resim 3.9 Delta PLC için program geliştirme yazılımı.	30
Resim 3.10 Güneş takip sistemi arayüz programı sekmeleri.	34
Resim 3.11 LDR sensörlerinin panel üzerine doğrudan yerleşimi.	41
Resim 3.12 LDR sensörlerinin panel üzerine doğrudan yerleşimi.	41
Resim 3.13 Doğu-Batı encoder tamiri.	42

1. GİRİŞ

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten sistemler, günümüzde kullanılan enerji kaynaklarının giderek azalması ve maliyetinin artması sonucu oldukça popüler hale gelmiştir. Fakat güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten sistemlerin de ilk kurulum maliyetleri oldukça yüksek, verimleri ise oldukça düşüktür. Bu nedenle bu tür sistemlerden maksimum verimle faydalanmak çok önemlidir.

Bu çalışmada, Afyon Kocatepe Üniversitesinde atıl durumdaki mekanik güneş takip sistemi üzerine PLC tabanlı bir kontrol sistemi geliştirilmiştir. Bu sayede güneş takip sistemine internet üzerinden istenildiği zaman müdahale edilebilmekte ve takip algoritması istenildiği şekilde değiştirilebilmektedir. Çalışmada güneş takip sisteminin performansı, üç farklı teknoloji (monokristal, polikristal ve ince film) ile üretilmiş güneş panellerinin üretim performansları, farklı algoritmaların enerji verimliliğine etkisi, hareketli güneş panelleri ve sabit platform üzerine yerleştirilmiş güneş panellerinin performanslarının karşılaştırılması, panellerin yüzey sıcaklığının üretim performansına etkisi araştırılmıştır. Denenen farklı algoritmalar ve performans çıktıları Bölüm 4'te sunulmuş ve Bölüm 5' de tartışılmıştır. Çalışmada ayrıca farklı güç tahmin modelleri geliştirilmiş ve performansları karşılaştırılmıştır. Bunun yanı sıra güneş takip algoritması önerilmiş ve üretim performansı karşılaştırılmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Güneş enerjisinden maksimum verim ile faydalanabilmek oldukça önemlidir. Bu tür sistemlerden maksimum verimle faydalana bilmek için güneş ışınlarının güneş panellerinin yüzeyine dik gelmesi gerekir. Aksi takdirde zaten düşük olan verimleri daha da düşecektir. Bilindiği gibi güneşin hareketi gün uzunluğuna ve mevsimlere göre farklılık göstermektedir. Bu nedenle güneş ışınlarının güneş panellerinin yüzeyine dik gelebilmesi için güneş takip sistemi ve takip algoritması kullanılmalıdır. Bu tür sistemlerin tesis edilmesinden evvel ciddi bir fizibilite çalışmasının yapılması oldukça önemlidir. Literatürde farklı bölgeler için gerçekleştirilmiş pek çok fizibilite çalışması mevcuttur. Aşağıdaki çalışmalar bu tür çalışmalara örnek olarak verilebilir:

Kelly and Gibson (2009), geliştirmiş oldukları güneş takip sistemi ile bulutlu havalarda güneş panellerinin verimlerini artırmışlardır.

Kelly and Gibson (2011), 2009 yılındaki yapmış oldukları çalışmayı geliştirerek farklı çevre koşulları ve mevsimlere göre enerji üretimini artırmaya çalışmışlardır.

İspanyada gerçekleştirilen bir çalışmada ise Cruz-Peragón vd. (2011), güneş takip sistemlerinde üretilen enerji avantajlarını değerlendirmişlerdir.

Başka bir çalışmada ise Chong and Wong (2009), güneşi takip etmek için kullanılan Kolektörün izleme hassasiyeti artırmaya çalışmışlardır.

Abdallah and Badran (2008), yapmış olduğu çalışmada güneş takip sistemi kullanmanın sabit sisteme göre ne kadar verimli olduğunu araştırmışlardır.

Abdallah and Nijmeh (2004), PLC (Programlanabilir Mantıksal Denetleyici) kontrollü, iki eksenli güneş takip sistemi tasarlamışlardır. Kontrol için gün içerisinde güneşin konumunu dört kez ölçmüşler ve bu ölçüme göre güneşin hızını tahmin etmişler. Tahmin ettikleri hız ile sistemi sürekli döndürerek güneşi takip etmişlerdir. Sistemden elde ettikleri enerjiyi, güney yönünde 32° eğim açısı ile yerleştirilmiş sabit sistemde üretilen enerji ile karşılaştırmışlar ve sonucunda hareketli sistemin sabit sisteme göre yaklaşık % 41 daha fazla enerji ürettiğini fakat takip etmek için harcadıkları enerjinin ürettikleri enerjinin %3'ünü geçtiğini belirtmiştir.

Huang and Sun (2007), tek eksenli üç pozisyonlu (sabah, öğle ve ikindi olmak üzere güneşi üç hareket ile) güneş takip sistemine yerleştirdikleri düşük yoğunlaşma oranına sahip reflektör ile panel çıkış gücünü yaklaşık % 23 oranında artırmışlardır.

Bakos (2006), verimliliği artırmak için parabolik oluklu kolektör ile iki eksenli güneş takip sistemi tasarlamıştır.

Abu-Khader vd. (2008), PLC kontrollü iki eksenli güneş takip sistemi tasarlamışlardır. Güneş takip sistemini gün içerisinde güneşin konumuna göre dört kez döndürerek ürettikleri enerji sabit sisteme göre %30 ile %45 arasında daha fazla olduğunu ve güneşi takip etmek için harcadığı enerji ürettiği enerjinin %3'ünün altında olduğunu tespit etmiştir.

Bingol vd. (2006), mikro işlemci tabanlı güneş takip sisteminde step motor ve ışık sensörü kullanarak güneşi takip etmeye yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir.

Contreras vd. (2006), Teksas Üniversitesinde yapmış oldukları bir çalışmada mikro denetleyiciler, DC (Doğru Akım) motor, kızıl ötesi sensörü, foto-direnç ve PVC özel parçalar kullanarak üç bağıntılı robot kollu taşıma bilir güneş takip sistemi geliştirmişlerdir.

Jinayim vd. (2007), Beyaz LED (Işık Yayan Diyot) tabanlı aydınlatma sistemi için yüksek verimli ve düşük güç tüketimli bir güneş takip sistemi tasarlamışlardır.

Güneş takip sistemlerinin maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle Lynch and Salameh (1990), iki eksenli, elektronik kontrollü, düşük maliyetli bir güneş takip sistemi tasarlamışlardır. Sistem iki tane elektro-optik sensör, düşük maliyetli elektronik kontrol devresi, yüksek torklu DC motor ve ekipmanlarını içermektedir. Kullanmış oldukları elektronik kontrol devresinin güneşi izleme çözünürlüğü $0,1^{\circ}$ dir. Ayrıca elektro-optik sensörler sayesinde üretimin çok az ya da hiç olmadığı bulutlu havalardaki hareketlerini kısıtlayarak sistemin enerji tüketimlerini de azaltmışlardır.

Düşük maliyetle yapılan başka bir çalışma ise Zogbi and Laplaze (1984), tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada dört adet elektro-optik sensör, hareket motorları ve elektronik kontrol devresi kullanılmıştır.

Rumala (1986), servo motor, foto direnç sensörleri ve sinyal işleme devresi kullanarak gölge yöntemli bir güneş takip sistemi geliştirmiştir.

Sefa vd. (2009), Türkiye de yapmış oldukları çalışmada RS 485 haberleşme ara birimi ve mikro denetleyici kontrollü tek eksenli güneş takip sistemi tasarlamışlardır. Sistem mekanizmasının basit olması sayesinde kolay kurulum ve daha az bakım olanağı sağlayacağını belirtmişlerdir.

Demirtaş (2006) bilgisayar kontrollü iki eksenli güneş takip sistemi tasarlamış ve imal etmiştir. Sistemin dikey ve yatay hareketini step motor (adım motoru) ile sağlamıştır. Elde edilen verileri bilgisayar ortamına kaydedebilmek için ve sistemi bilgisayar ile kontrol edebilmek için mikro denetleyici kontrollü bir ara birim kullanmıştır. Güneş takip sistemi ile takip edildiğinde normal gün ışığında 12 Volt, güneşe dik olduğu zamanlarda 18,5 Volt, güneşi yeterli hassasiyette takip edemediği veya havanın kapalı olduğu zamanlarda ise 10 Volt civarında gerilim üretmiştir. Hareketli sistemin üretimlerini sabit sistem ile karşılaştırdığında %35 daha fazla üretim elde ettiğini savunmuştur.

Roth vd. (2004), güneşin konumunu takip etmek için elektromekanik bir sistem tasarlamış ve Federico Santa Maria Teknik Üniversitesi, Güneş Değerlendirme Laboratuvarında imal etmişleridir. Platformu iki adet küçük DC motor ile hareket ettirmişlerdir. Güneş ışınlarını pyrliometre ile doğrudan otomatik olarak ölçmüşlerdir. Bulutlu hava koşulları altında güneş görülmediğinden kullandıkları bir bilgisayar programı ile güneşin konumunu hesaplayarak (detektörler tekrar güneşi algılayana kadar) kontrollü sağlamışlardır. Yapmış oldukları bu çalışmayı Şili'nin Valparaiso şehrinde denemiş ve oldukça verimli olduğunu sistemin üzerine yerleştirilen güneş panellerinin dışında kolektör gibi farklı sistemlerinde kolayca monte ederek farklı amaçlar içinde kullanılabileceğini savunmuşlardır.

Abu-Malouh vd. (2011), güneş takip sisteminin üzerine yerleştirdikleri çanak şeklindeki yapı ile güneşten gelen ışınları orta noktada odaklayarak güneş fırını imal etmişlerdir. Orta noktasında ki sıcaklığı yemek pişirmek için yeterli olan 93 °C ye kadar çıkarmışlardır.

Benzer başka bir çalışmada ise Al-Soud vd. (2010), güneş takip sistemi üzerine yerleştirdikleri yarım silindir şeklindeki bir yapı ile güneş ışınlarını orta noktada odaklayarak sıcaklığı 90 °C'yi bulan güneş fırını imal etmişlerdir.

Seme and Štumberger (2011), iki eksenli güneş takip sistemi üzerinde güneş radyasyonu ve Diferansiyel Evrim kullanarak güneş açıları için yeni bir tahmin algoritması geliştirmişlerdir.

Sungur (2009), Türkiye de yapmış olduğu çalışmada güneşin azimut ve yükseklik açısını bir süre hesaplamış ve güneşin hareketine göre güneş takip sistemini PLC ile kontrol etmiş ve ürettiği elektrik enerjisi sabit sistemin ürettiği enerji ile karşılaştırdığında sabite göre %42,6 daha fazla ürettiğini tespit etmiştir.

Eke ve Senturk (2012), Muğla üniversitesi kampüsünde kurdukları iki eksenli güneş takip sistemi ile enlem açısına eşit yerleştirdikleri sabit sistemin üretimlerini karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma sonucun da Nisan 2010 ve Mart 2011 tarihleri arasında ölçtükleri bir yıllık üretim verilerine göre hareketli sistemin üretiminin sabit sisteme üretimine göre %30,79 daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Huang vd. (2011), yapmış oldukları çalışmada tek eksenli üç konumlu (konum 1: sabah (güneş yeni doğduğundan panel daha dik), konum 2: öğlen (güneş tam tepede olduğundan panel daha yatık), konum 3: akşam (güneş batacağından panel daha dik)) bir güneş takip sistemi ile sabit sistem arasındaki üretimi uzun vadede test etmişler ve sonuç olarak hareketli sistemin üretiminin sabit sisteme göre %35,8 daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.

Benzer çalışmalar olarak Boico and Lehman (2012), Khalifa and Al-Mutawalli (1998), Aiuchi vd. (2006), Urbano vd. (2003), Karimova vd. (2005), Salawu and Oduyemi (1987), tarafından yapılan çalışmalar örnek olarak verilebilir.

2.1 Güneş Potansiyelinin Analiz Edilmesi

PV (Fotovoltaik) sistemlerinden en iyi verimle faydalanabilmek için kurulumu yapılacağı bölgenin güneş potansiyelinin analiz edilmesi gerekmektedir. Farklı bölgeler

için güneş potansiyelinin belirlenmesiyle ilgili literatürde birçok fizibilite çalışması bulunmaktadır. Aşağıdaki çalışmalar bu tür çalışmalara örnek olarak verilebilir.

Sözen vd. (2005), Türkiye için güneş ışınım potansiyelini araştırmışlardır.

Bir başka çalışmada ise Raja and Abro (1994), Pakistan'ın çeşitli bölgelerindeki güneş ve rüzgar potansiyelini analiz etmişlerdir.

Ayrıca Syafawati vd. (2012), güneş ışınlarını kullanarak Ulu Pauh, Perlis ve Malezya için güneş enerji potansiyelini analiz etmişlerdir.

Yue and Huang (2011), Tayvan'da arazi koşullarındaki güneş enerji potansiyelini değerlendirmiştir.

Kablan (2003), Ürdün'de yapmış olduğu çalışmada 2001-2005 yılları arasındaki güneş ışınım verilerini kullanarak güneş enerjili su ısıtma sistemleri ve enerji tasarrufu tahmini üzerine çalışmıştır.

Güneş enerji potansiyelin belirlenmesine yönelik çalışmalara ek olarak, Kaygusuz ve Sarı (2003), Nielsen (2011) ve Sorapipatana (2010), yapmış oldukları çalışmalar gösterilebilir.

2.2 PV Panellerin Eğim Açısının Belirlenmesi

Güneş takip sisteminin kullanılması güneş panellerinin maksimum verim ile üretim yapmaları açısından önemlidir. Fakat güneş takip sistemlerini maliyetlerin yüksek oluşu ve sürekli bakıma ihtiyaç duymaları nedeniyle özellikle kırsal alanlardaki uygulamalarda kullanımı yaygın değildir. Bu tür durumlarda güneş takip sistemi yerine sabit sistemler tercih edilebilir. Fakat sabit sistemleri gelişi güzel bir şekilde yerleştirmek verimlerini düşüreceğinden uygun eğim açısı ile yerleştirilmeleri oldukça önemlidir. Eğim açısı günlere ve arazinin coğrafi konumuna göre farklılık göstermektedir. Bu nedenle belirli zamanlara (günlük, haftalık, aylık, mevsimlere vs.) göre eğim açısının belirlenebilmesi için hesaplamalar yapmak gereklidir. Eğim açısını belirlemeye yönelik yapılan çalışmalardan bazıları şunlardır:

Kacira vd. (2004), Şanlıurfa için PV panellerin eğim açısını belirlemeye yönelik yapmış oldukları çalışmada en uygun eğim açısının haziran ayı için 13°, aralık ayı için ise 61° olduğunu belirtmişlerdir.

Başka bir çalışmada ise Benghanem (2011), Suudi Arabistan'ın Medine şehri için mevsimlere göre panel eğim açısını hesaplayarak, Kış ayları için (Aralık, Ocak, Şubat) 37°, ilkbahar ayları için (Mart, Nisan, Mayıs) 17°, yaz ayları için (Haziran, Temmuz, Ağustos) 12° ve sonbahar ayları için (Eylül, Ekim, Kasım) 28° olduğunu belirtmiştir. Mevsimlere göre bulmuş oldu eğim açısının ortalamasının 23,5° olduğunu ve bu açının Medine'nin enlem açısına karşılık geldiğini belirtmiştir. Panellerin eğim açısına göre değil de enlem açısına göre yerleştirilmesi durumunda yıllık ortalama %8'lik bir enerji kaybının olacağını hesaplamıştır.

Skeiker (2009), Suriye de yapmış olduğu çalışmada güneş kolektörleri için en iyi eğim açısını hesaplamış, bir yıllık etki eden değişimin 12 kes olduğunu ve eğim açısı kullanılması durumunda verimin %30 oranında artacağını söylemiştir.

Eğim açısını hesaplamaya yönelik yapılan bazı çalışmalar ise, Siraki and Pillay (2012), Lubitz (2011), Mehleri vd. (2010), Kaldellis and Zafirakis (2012), tarafından yapılmıştır.

2.3 Güneş ve Rüzgar Enerjisinin Hibrit Kullanımı

Bazı bölgelerin coğrafi konunu ve hava şartlarından dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarında güneş enerjini veya rüzgâr enerjisini tek başına kullanmak enerji üretimi ve maliyet açısından verimli olmaya bilir. Bu nedenle güneş ve rüzgâr enerjisini hibrit bir hiyerarşide beraber kullanmak gerekir. Literatürde bu tür enerji kaynaklarının hibrit bir şekilde kullanıldığı birçok çalışmalar vardır. Aşağıdaki çalışmalar bu tür çalışmalara örnek olarak verilebilir:

Chong vd. (2011), Elektrik enerjisi üretimi için şehir merkezinde bulunun 200 metre yüksekliğinde ki bir binanın üzerine kurmuş oldukları rüzgâr ve güneş enerji sistemlerini hibrit bir şekilde kullanarak o binadaki enerji tüketiminin bir kısmını

karşlamışlar. Yapmış olduğu yıllık enerji tasarrufunun 195,2 MWh olduğunu hesaplamışlar.

Başka bir çalışmada Bekele and Palm (2010), Etiyopya bölgesi için güneş ve rüzgâr tabanlı hibrit enerji sisteminin fizibilite çalışmasını yapmışlar.

Diğer taraftan Ai vd. (2003), Nema vd. (2009), Yang vd. (2007), rüzgâr ve güneş enerjisinin hibrit olarak kullanılmasıyla ilgili çalışmalar yapmıştır.

2.4 Güneş Panellerinin Enerji Üretimlerinin Tahmini

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten sistemlerin değişken hava şartları nedeniyle herhangi bir zaman diliminde ne kadar elektrik enerjisi üretilbileceği kesin olarak hesaplanamamaktadır. Literatürde güneş panellerinin enerji üretimlerini tahmin etmek için çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar aşağıda özetlenmiştir:

Sfetsos and Coonick (2000), yapmış oldukları çalışmada bir adım sonraki ışınım şiddetini tahmin etmek için YSA (Yapay Sinir Ağları) kullanmışlardır.

Diğer taraftan Chowdhury and Rahman (1987), açık hava modelini normalize ederek yarımşar saatlik tahmin yapmışlardır.

Bir başka çalışmada Hammer vd. (1999), uydudan alınmış verileri kullanarak güneş ışınım şiddeti verilerinin tahmini için istatistiksel bir yöntem geliştirmişlerdir.

Su vd. (2012), gride bağlı güneş modüllerinin çıkış güçlerini ve verimlerini gerçek zamanlı olarak modellemişlerdir.

Hocaoğlu vd. (2008), optimal katsayılı lineer filtreler ve YSA kullanılarak saatlik ışınım şiddeti tahmini yapmışlardır.

Chupong and Plangklang (2011), Thailand'da bulunan gride bağlı bir sistemin çıkış gücünü ışınım şiddeti verileri kullanılmaksızın tahmin eden bir yöntem geliştirmişlerdir.

Koussa vd. (2011), ise farklı izleme sistemleri kullanarak PV sistemlerin çevre koşulları altında ölçülen enerji verimlerini modelleyerek geliştirmişlerdir.

3. MATERYAL ve METOT

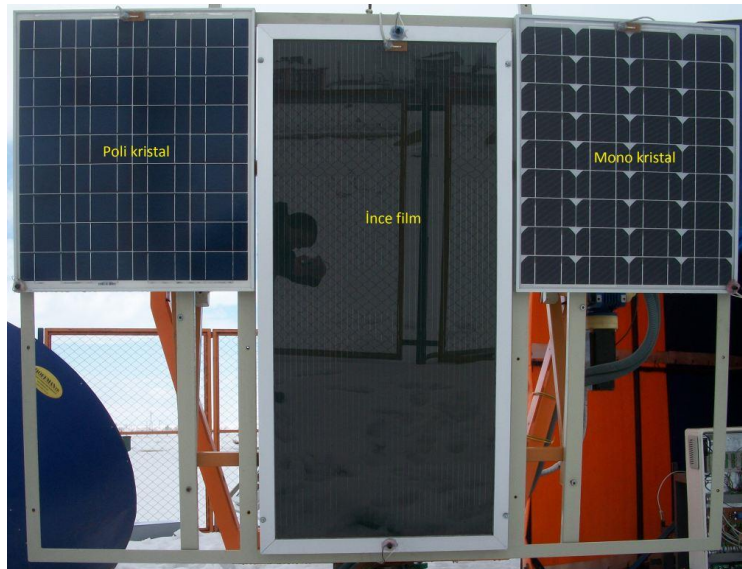
3.1 Kurulacak Sistem Bileşenlerinin Seçimi

3.1.1 Güneş Panellerinin Seçimi

Monokristal, polikristal ve ince film olmak üzere üç farklı teknolojiye üretilmiş toplam altı adet güneş paneli kullanılmıştır. Bu panellerin güçleri eşit olacak şekilde seçilmiştir. Resim 3.1’de verilen panellerin karakteristik özellikleri Çizelge 3.1’de sunulmuştur.

Çizelge 3.1 Alınan güneş panellerinin teknik özellikleri.

Panel Tipi	Monokristal	İnce film	Polikristal
Standart Güç (W)	60	60	60
Kısa Devre Akımı (A)	3,73	1,57	3,97
Açık Devre Gerilimi (V)	21,6	61,44	21,7
Mak. Güç Akımı (A)	3,47	1,21	3,41
Mak. Güç Gerilimi (V)	17,3	45,45	17,6
Mak. Sistem Gerilimi (V)	760	1000	1000



Resim 3.1 Alınan güneş panellerinin montaj görünümü.

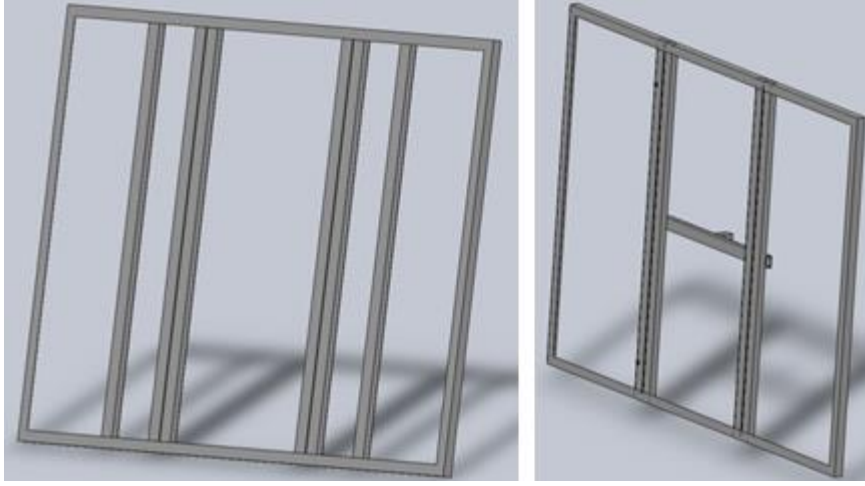
Monokristal güneş panellerinin verimleri % 20 civarındadır. Diğer güneş panellerine nazaran verimleri yüksek ve daha kalitelidir. Fakat üretimleri teknolojileri bakımında daha uzun sürdüğünden maliyetleri diğer güneş panellerine göre biraz yüksektir. Bu nedenle kısa vadeli çalışmalarda maliyeti artıracağından kullanılması tercih edilmez. Monokristal güneş panelleri 25 yılda verimlerinin sadece % 20 sini kaybettiğinden uzun vadeli bir yatırımdır.

Polikristal güneş panellerinin verimleri %16 civarındadır. Kalite ve verimlilik açısından incelediğimizde monokristal güneş pillerinin biraz gerisinde kalsa da maliyetlerinin monokristal güneş paneline göre düşük olması nedeniyle çok tercih edilmektedir. Polikristal güneş panelleri de monokristal güneş panelleri gibi 25 yılda verimlerinin sadece % 20 sini kaybeder.

İnce film güneş panellerinin verimleri % 10 civarındadır. Monokristal ve polikristal güneş panelleri 180 – 350 µm kalınlıkta iken CIS güneş panellerinin kalınlığı 5 µm dir. Kalınlığının düşük olmasından dolayı verimi ve maliyeti çok düşüktür. Monokristal ve polikristal güneş panellerine göre yüzey alanı yaklaşık iki kat daha büyüktür. Yüzey alanı büyük olduğu için çok yer kaplayacağından binaların dış cephe kaplamasında kullanılarak aynı zamanda elektrik üretmesi sağlanabilir. İnce film güneş pilleri monokristal ve polikristal güneş pillerinin aksine 10 – 15 yılda verimlerinin % 20 sini kaybeder.

3.1.2 Güneş Panellerini Monte Etmek İçin Tasarlanan Platformlar

Panellerinin üç tanesi güneşi takip eden hareketli gövdeye diğer üç tanesi de sabit olarak yere monte edilmiştir. Bunun için güneş panellerinin ebatlarına uygun ergonomiye sahip montaj platformu tasarlanmış ve panellerin temin edildiği firma tarafından imal ettirilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Sabit ve hareketli güneş panelleri için tasarlanan platformlar.

3.1.3 PLC Kontrol Ünitesi Konfigürasyonunun Tespiti

PLC'ler endüstriyel ortamlara uygun olarak üretildiklerinden ağır işletme koşullarında çalışacak olan güneş takip sisteminde kullanımı daha uygundur. Bu nedenle adaptif güneş takip sisteminin kontrolü ve sistemde ölçülecek verileri toplamak için PLC kullanımı tercih edilmiştir. Piyasada çeşitli amaçlar için üretilmiş, değişik kapasite ve özelliklere sahip farklı üretici firmaların birçok PLC ürünü bulunmaktadır. Bir PLC konfigürasyonu belirlenirken öncelikle sistemde ölçülecek parametrelerin sayısı, türü, değişim aralığı gibi özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Söz konusu özellikler konfigürasyonun fiyatını doğrudan etkileyeceğinden bu aşama çalışma öncesi iyi planlanmalıdır.

Tasarlanan sistemde, güneşi takip eden ve sabit olarak yerleştirilmiş toplam altı güneş paneli bulunmaktadır. Sistemde ölçülecek parametreler belirlenirken öncelikle güneş panellerinin her biri için akım, gerilim ve sıcaklık parametreleri göz önünde tutulmuştur. İkinci olarak güneş takip sisteminin denetimi için gerekli parametrelerin ölçüm ve kontrolünde kullanılacak PLC konfigürasyonu dikkate alınmıştır. Sistemde ölçülmesi ve kontrol edilmesi gereken tüm parametreler aşağıda verilmektedir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2 Sistemde ölçülen ve kontrol edilen parametreler.

Parametre adı	Değişim aralığı	Adet	Açıklama
Mono kristal panel akımı	0–3.5A	2	Hareketli ve sabit paneller için
Poli kristal panel akımı	0–3.9A	2	Hareketli ve sabit paneller için
İnce film panel akımı	0–1.6A	2	Hareketli ve sabit paneller için
Mono kristal panel gerilimi	0 –21.6V	2	Hareketli ve sabit paneller için
Poli kristal panel gerilimi	0–21.7V	2	Hareketli ve sabit paneller için
İnce film panel gerilimi	0–61.4V	2	Hareketli ve sabit paneller için
Panel sıcaklıkları	-50 – 70°C	6	Tüm paneller için yüzey sıcaklığı
Dış ortam sıcaklığı	-50 – 70°C	1	Sistemin bulunduğu ortam sıcaklığı
İç ortam sıcaklığı	-50 – 70°C	1	Kontrol ofisinin sıcaklığı
Doğu LDR	3– 10kΩ	1	Doğu yönü ışık şiddeti
Batı LDR	3 – 10kΩ	1	Batı yönü ışık şiddeti
Kuzey LDR	3 – 10kΩ	1	Kuzey yönü ışık şiddeti
Güney LDR	3 – 10kΩ	1	Güney yönü ışık şiddeti
Doğu-batı sensörü	Sayısal	1	Platfor doğu-batı ekseninde son sınırı
Doğu-batı enkoder	0 – 10V	1	Doğu-batı ekseninde açı değeri
Kuzey-güney enkoder	0 – 10V	1	Kuzey-güney ekseninde açı değeri
Doğu-batı servo	-	1	Sürücü kontrolü için modül
Kuzey-güney servo	-	1	Sürücü kontrolü için modül
Doğu-batı servo on-off	Sayısal	1	Sürücü açma kapama çıkışı
Kuzey-güney servo on-off	Sayısal	1	Sürücü açma kapama çıkışı
Elle-otomatik butonu	Sayısal	1	Elle veya otomatik mod seçme butonu
Doğu butonu	Sayısal	1	Doğu yön hareket butonu (Elle kontrol için)
Batı butonu	Sayısal	1	Batı yön hareket butonu (Elle kontrol için)
Kuzey butonu	Sayısal	1	Kuzey yön hareket butonu (Elle kontrol için)
Güney butonu	Sayısal	1	Güney yön hareket butonu (Elle kontrol için)

Çizelge 3.2'deki parametreler sıcaklık ölçüm girişleri, analog ölçümler, sayısal giriş/çıkışlar ve servo sürücü kontrolü olmak üzere dört ana grupta incelenebilir. Aşağıda bu dört grup parametreyle ilgili ayrıntılar verilmektedir.

Tasarlanan sistemde, PT-100 sensör kullanarak gerçekleştirilecek toplam sekiz sıcaklık ölçümü yapılmaktadır. Bu ölçümler için PT-100 sensörlerinin doğrudan bağlanabildiği PLC ölçme modüllerinin kullanımı uygun bulunmuştur. Bunun için dört adet sensör bağlantısı yapılabilen iki sıcaklık modülü seçilmiştir.

Ayrıca altı panel gerilimi, altı panel akımı, dört yön LDR (Işığa Bağımlı Direnç) gerilimi ve iki eksen açısını ölçen enkoder gerilimi olmak üzere toplam 14 analog ölçüm yapılmaktadır. Çizelge 3.2'de verilen analog giriş parametreleri dikkatle incelendiğinde 0 – 61.4V, 0 – 3,5A ve 3 – 10k Ω gibi birbirinden farklı değişim aralıklarına sahip oldukları görülmektedir. PLC analog giriş modülleri genellikle 0 – 10V, -10 – 10V, 4 – 20mA veya 0 – 20mA gibi ölçme aralığına sahip olarak üretildiklerinden verilen değişim aralıklarında ölçüm yapmaya elverişli PLC analog giriş modülü bulmak mümkün değildir. Bunun için sistemde ölçülecek analog giriş parametrelerini PLC ölçme girişi seviyesi olan 0 –10V seviyesine dönüştürmekte kullanılan ve ayrıntıları “3.1.4 Ölçme Donanımlarının Seçimi” kısmında verilecek olan bir elektronik devre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler için dört analog girişi bulunan dört adet modül seçilmesi yerinde bulunmuştur.

Sistemde kullanılan sayısal giriş-çıkışlar için PLC ana modülü (CPU modülü) üzerinde bulunan sayısal giriş-çıkışları yeterli olacağından bunun için ekstra bir modül seçmeye gerek duyulmamıştır.

Kuzey-güney ve doğu-batı eksenlerindeki servo motor sürücülerinin kontrolü için servo modüllerinin kullanımı gereklidir. Bunun için iki servo sürücü modülü seçilmesi uygun görülmüştür.



Resim 3.2 PLC ana modülü ve ölçme modülü.

Yukarıda ayrıntıları verilen parametreleri ölçmeye ve kontrol etmeye uygun PLC konfigürasyonu için proje bütçesi de göz önüne alınarak piyasada yaygın kullanım alanına sahip DELTA firmasının PLC ve modüllerinin alımı uygun bulunmuştur. Buna göre bir adet DP20SX2 PLC ana modülü, dört adet DVP04AD analog giriş modülü, iki adet DVP04PT PT-100 ısı ölçme modülü, iki adet DVP01PU servo motor kontrol modülü ve bütün modülleri besleyecek 24V anahtarlama güç kaynağı temin edilmiştir (Resim 3.2).

3.1.4 Ölçme Donanımlarının Seçimi

Seçilen ölçme donanımları; gerilim koşullandırma devresi, LDR ve PT-100 sensörlerinden ibarettir. Proje ekibi tarafından tasarlanan gerilim koşullandırma devresi akım gerilim ve ışık şiddeti ölçme girişlerini PLC analog girişlerinin ölçme aralığı olan 0 –10V seviyesine dönüştürmektedir.

Gerilim ölçümleri için ayarlı dirençten oluşan gerilim bölücü kullanılmıştır. Gerilim bölücü devresine, olası parazit oluşumlarını yok etmek amacıyla alçak geçiren bir filtre eklenmiştir. Ayrıca PLC ölçme girişlerine yüksek gerilim gitmesini önleyebilmek amacıyla ters seri bağlı iki zener diyod ölçme girişlerine eklenmiştir.

Akım ölçümleri için LEM firmasının LA55-P akım dönüştürücüsü kullanılmıştır. Bu dönüştürücü akım penceresinden geçirilen iletkenin üzerinden akan akımla orantılı bir gerilim

üretmektedir. Sensör bu dönüştürme işlemini 12V simetrik besleme ile gerçekleştirmektedir. Bu nedenle tasarlanacak devreye bir de simetrik güç kaynağı ilave edilmiştir.

Doğu, batı, kuzey ve güney yön ışık şiddetlerini ölçme amacıyla kullanılan LDR'lerin direnci ışık şiddetine bağlı olarak değişmektedir. Buradaki direnç değişimini 0 –10V seviyesinde değişim gösteren gerilime dönüştürmek için iki adet tersleyen (inverter) op-amp kullanılmıştır.

Akım, gerilim ve ışık şiddeti ölçümleri için tasarlanan tüm koşullandırma devrelerinde kalibrasyonun rahat yapılabilmesi için geniş turlu ayarlı dirençler kullanılması düşünülmüştür. Ayrıca tasarımı yapılan elektronik devrenin tüm giriş-çıkışlarının kolayca yapılabilmesi ve gerektiğinde kolaylıkla sökülüp takılabilmesi klemensler kullanılması uygun görülmüştür.

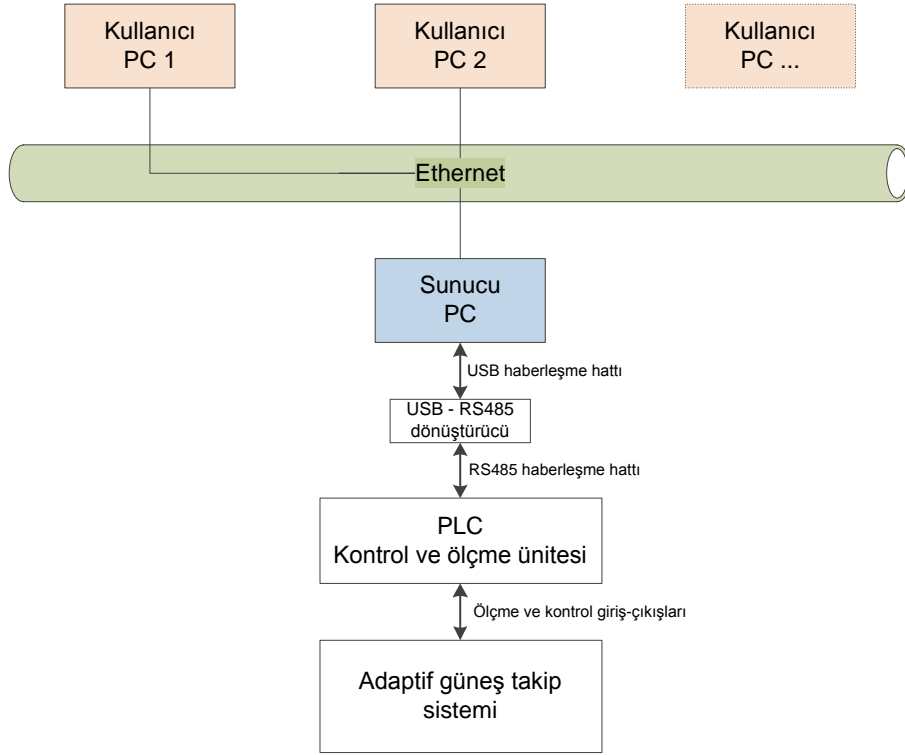
3.1.5 Paneller İçin Gerekli Yüklerin Seçimi

Güneş panellerinde üretilen elektrik enerjisinin herhangi bir yerde depolanmadan üretildiği anda bir yük üzerinde tüketilmesi uygun görülmüştür. Bunun için panel çalışma gerilimlerine ve güçlerine uygun olarak altı adet yük belirlenmiştir. Piyasada bu amaç için üretilmiş bir yük bulunmadığından ve özel bir yük yaptırmanın da proje bütçesi dahilinde gerçekleştirilmesinin mümkün olmaması nedeniyle pratik ve ucuz bir çözüm olarak otomotiv sektöründe kullanılan 24V, 75W far ampulleri tercih edilmiştir ve yük olarak kullanılmıştır (Resim 3.8).

3.1.6 Kontrol ve Veri Toplama Programı Konfigürasyonunu

Adaptif güneş takip sisteminin kontrolünü ve veri toplama fonksiyonlarını yerine getiren programın, sistemin yakınında bulunan ve Güneş & Rüzgar Enerjisi Araştırma ve Uygulama Merkezi çalışma ofisi olarak kullanılan konteyner içinde, bir sunucu

bilgisayarda çalıştırılması düşünülmüştür. Bu bilgisayar üniversitenin internet ağına sabit IP ile bağlanmış ve bu sayede internet bağlantısı bulunan herhangi bir yerden de sistemin kontrolü ve izlenmesi mümkün hale getirilmiştir. Şekil 3.2’de adaptif güneş takip sisteminin kontrolüne ilişkin prensip blok şeması verilmiştir.



Şekil 3.2 Sistemin prensip şeması.

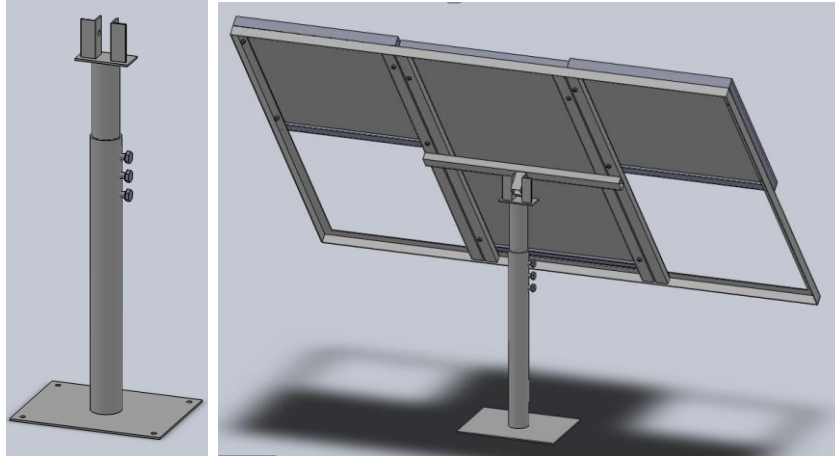
PLC ile kontrol edilen sistem, PLC'nin RS485 haberleşme portu üzerinden USB-RS485 dönüştürücü ile sunucu bilgisayara bağlanmıştır. Bu RS485 haberleşme hattı sayesinde PLC üzerinden sistem parametrelerinin kontrolü ve ölçümü yapılabildiği gibi gerektiğinde PLC içine gömülen program kodu da güncellenebilecektir. Sunucu bilgisayar sabit IP ile internete bağlandığından söz konusu tüm bu özelliklerin uzaktan erişim yöntemiyle internet olan herhangi bir yerden de kullanımı mümkün hale getirilmiştir. Bu işlemlerde Afyon Kocatepe Üniversitesi bünyesinde yer alan eski bir bilgisayar ve veri iletişim kabloları kullanılmıştır.

3.2 Adaptif Güneş Takip Sisteminin Kurulumu Çalışmaları

3.2.1 Güneş Paneli Platformların Sabit ve Hareketli Taşıyıcılara Montajı

Tasarımı proje ekibi tarafından yapılan platformların sabit ve hareketli taşıyıcılara montajları proje ekibi tarafından gerçekleştirilmiştir. Her iki taşıyıcı sisteme platformların montajına ilişkin ayrıntılı bilgiler ve karşılaşılan sorunlara üretilen çözümler aşağıda ayrıntılarıyla sunulmuştur.

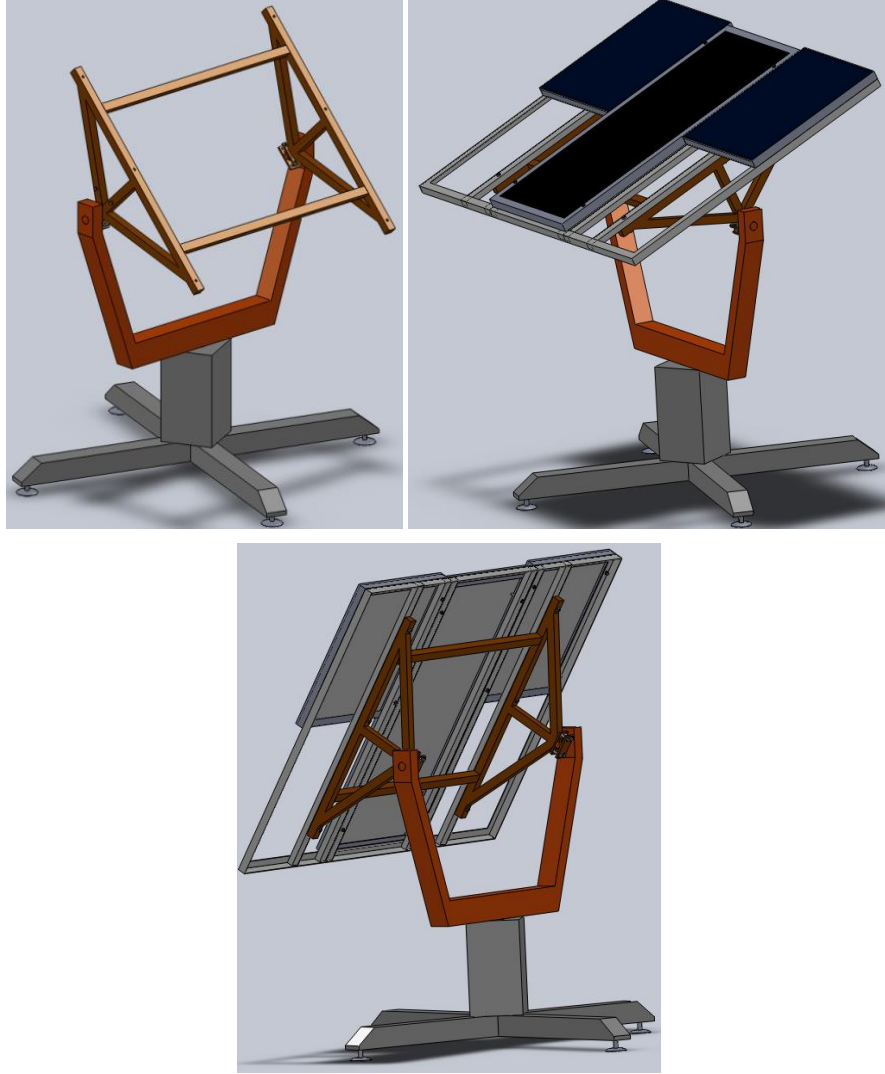
Tasarımı gerçekleştirilen sabit taşıyıcı, kuzey-güney ve doğu-batı yönlerinde ayarlanarak sabitlenebilmektedir. Ayrıca bu taşıyıcının yerden yüksekliği de istenilen seviyeye ayarlanabilmektedir (Şekil 3.3). İmalatı platformlarla birlikte yapılmış olan sabit taşıyıcı, hareketli taşıyıcı sistemde bulunan güneş panellerine gölge yapmayacak bir konuma monte edilmiştir.



Şekil 3.3 Platformun sabit taşıyıcı sisteme montajı.

Doğu-batı ve kuzey-güney eksenlerinde hareket edebilen taşıyıcı sistem üzerinde bulunan atıl durumdaki donanımların sökülmesinin ardından sistemde bir dizi bakım çalışmaları yapılmıştır. İlk olarak eksen hareketlerini sağlayan servo motorlar ve devir düşürücü redüktörlerinin bakımı yapıp faal hale getirilmiştir. Ardından mekanik aksamda kullanılması düşünülen ancak uzun süre dış ortamda kalması sebebiyle paslanmış metal aksam boyanmıştır. Bu aşamada gerekli malzemeler üniversite bünyesinde yer alan metal atölyesinden temin edilmiştir. Bu bakım çalışmalarının

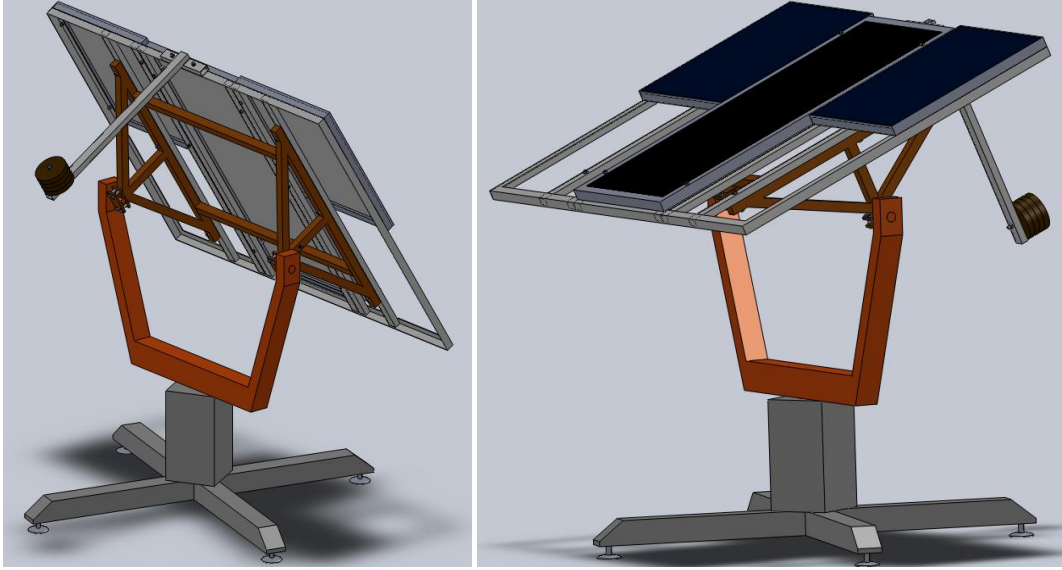
ardından platformun hareketli taşıyıcı sisteme montajı gerçekleştirilmiştir. Ardından platform hareketli taşıyıcıya monte edilmiştir. Aşağıda platformun hareketli taşıyıcı sisteme monte edilmiş halinin üç boyutlu teknik resimleri görülmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Platformun hareketli taşıyıcı sisteme montajı.

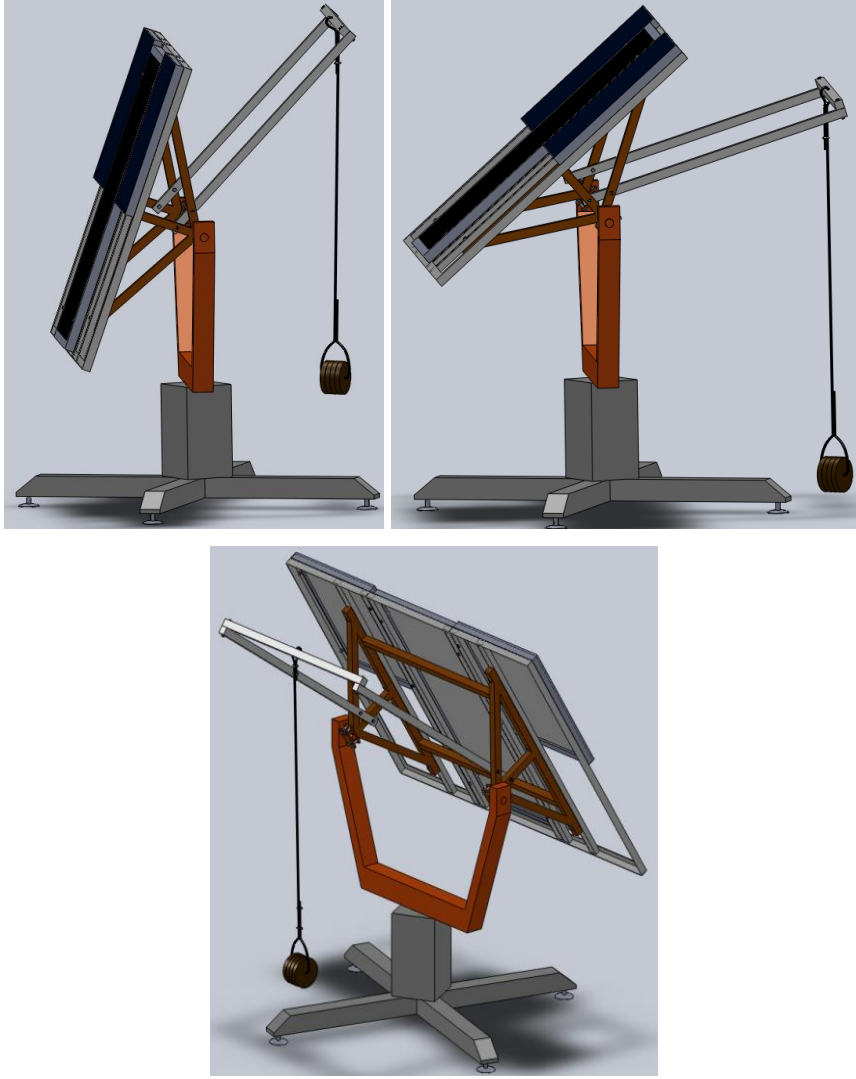
Platformun hareketli taşıyıcı sisteme montajından sonra bir dizi test çalışmaları yapılmıştır. Bu testlerde platform yere dik pozisyonda iken kuzey-güney eksenine servo motorunun platformu kuzey yönünde hareket ettiremediği ve servo sürücüsünün arıza durumuna geçtiği gözlemlenmiştir. Sürücünün kullanım kılavuzu incelendiğinde verdiği arıza kodunun servo motorun aşırı yüklendiğini gösterdiği görülmüştür. Karşılaşılan bu sorunun üstesinden gelmek için ya motor gücü artırılacak ya da milde oluşan momenti

sıfırlamak için karşıt ağırlık bağlanacaktı. Bu seçeneklerden ilki servo motorun, sürücüsünün ve redüktörünün değiştirilmesini gerektireceğinden ve bu durum proje bütçesinde yer almadığından tercih edilmemiştir. Bu durumda ikinci seçenek olan karşıt ağırlıkla mildeki momenti sıfırlama yoluna gidilmiştir. Bunun için ilk olarak platformun üst kısmına monte edilmiş bir kuvvet kolu Şekil 3.5’de görüldüğü gibi platformun arka tarafına doğru uzatılarak ucuna bir ağırlık bağlanmıştır.



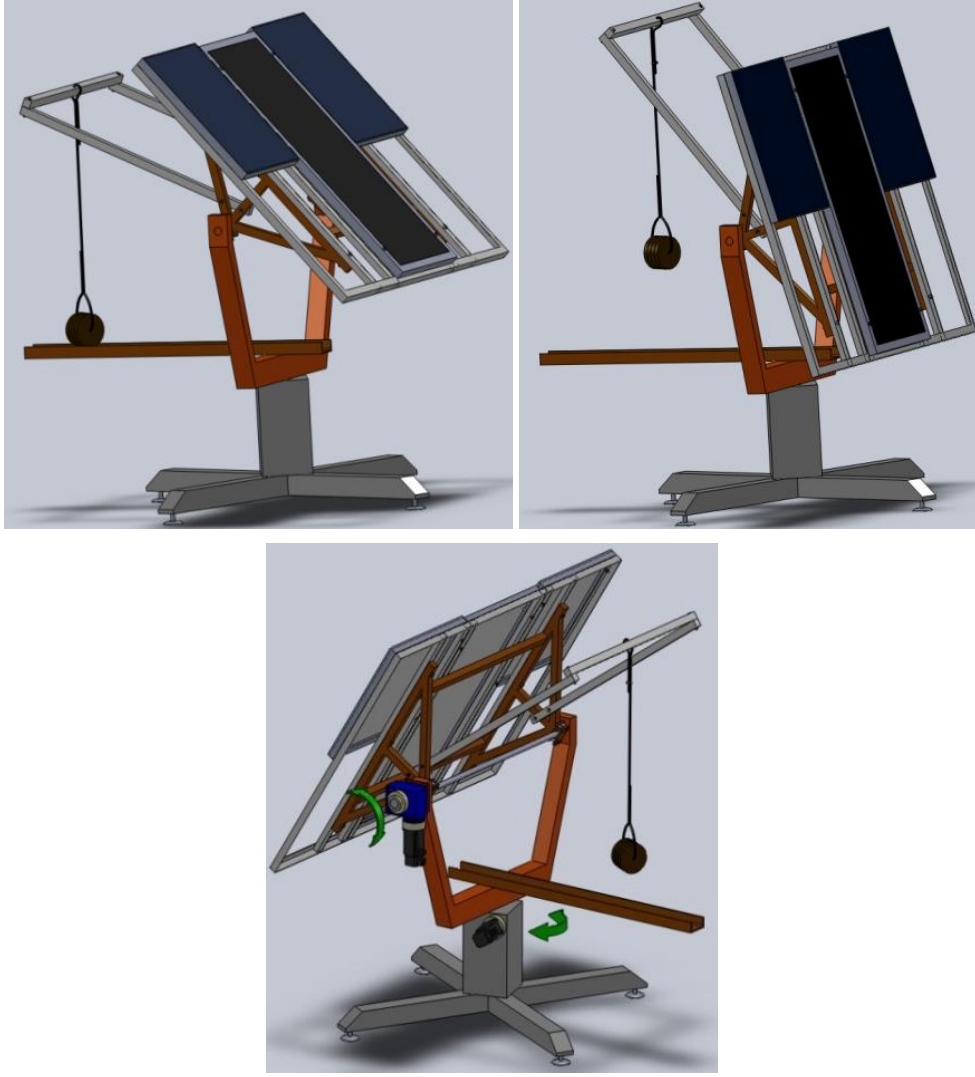
Şekil 3.5 Platforma bağlanan karşıt ağırlıklar.

Şekil 3.5’de görüldüğü gibi platform yere dik pozisyonda iken kuvvet koluna bağlanan ağırlık sayesinde mildeki moment sıfırlanabilmiş ve servo motor platformu kuzey yönde hareket ettirebilmiştir. Ancak platform yere dik pozisyondan yatay pozisyona doğru yaklaştıkça bağlanan bu ağırlık mil momentini ters yönde artırıcı bir durum oluşturmuştur ve sürücüde yine aynı arıza durumu ile karşılaşmıştır. Bu durum göstermiştir ki platformun farklı pozisyonları için farklı büyüklükte karşıt ağırlıklara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaç karşısında Şekil 3.6’da görülen halatlı karşıt ağırlık düzeneği sisteme entegre edilmiştir.



Şekil 3.6 Halatlı karşıt ağırlık sistemi.

Güneş takip sistemine ilave edilen halatlı düzenek sayesinde ihtiyaç fazlası ağırlıklar istenilen bir pozisyonda yere temas ederek devreden çıkmakta ve böylece milde ters yönde bir moment oluşumuna neden olmamaktadır. Takip sisteminde yapılan testlerde, tasarlanan bu karşıt ağırlık düzeneğinde yere temas eden ağırlıklar yüzünden doğu-batı ekseninde dönüş hareketinin mümkün olmadığı ve zeminde bulunan kablo tesisatına zarar verdiği görülmüştür. Ağırlıkların yere temasından kaynaklanan bu problem taşıyıcı platforma monte edilen 12 cm genişliğindeki bir U profil üzerine ağırlıkların düşürülmesi ile ortadan kaldırılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Yeniden düzenlenmiş halatlı karşıt ağırlık sistemi.

Şekil 3.7’de görüldüğü gibi platform kuzeye doğru hareket ettikçe görevi biten ağırlıklar U profil üzerine sırasıyla yerleşmekte ve böylece platform doğu-batı ekseninde problemsiz hareket ettirilebilmektedir.

Tasarımı tamamlanan ve monte edilen hareketli ve sabit sistemlerin resimleri Resim 3.3 ve 3.4’te verilmiştir.



Resim 3.3 Hareketli mekanik aksam.

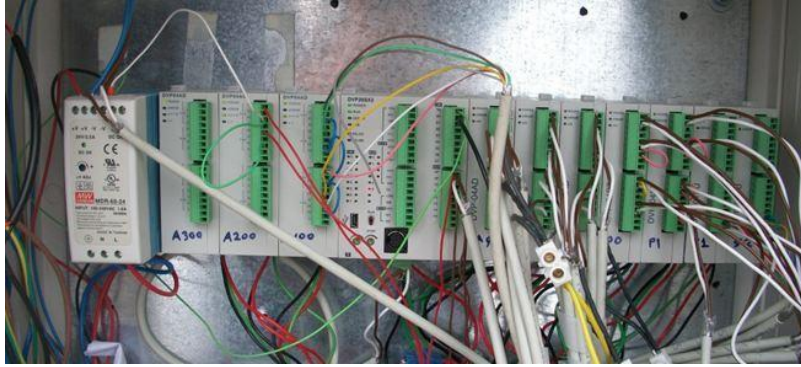


Resim 3.4 Üzerine panellerin yerlestirildiği sabit platform.

3.2.2 PLC Kontrol Ünitesinin Panoya Montajı

PLC kontrol ünitesi bir adet DP20SX2 PLC ana modülü, dört adet DVP04AD analog giriş modülü, iki adet DVP04PT PT-100 sıcaklık ölçme modülü ve iki adet DVP01PU

servo kontrol modülü olmak üzere dokuz modülden oluşmaktadır. Bu modüller Resim 3.5’de görüldüğü gibi birbiri ardına PLC ana modülüne akuple bağlanmıştır. PLC ana modülü ve modüller arasındaki haberleşme modül bağlantı terminalleri üzerinden gerçekleştirilmektedir. Ancak modüller arasında besleme geçişi bulunmadığından tüm modüllerin güç kaynağı ile bağlantıları harici kablo çekilerek gerçekleştirilmiştir. Kablo montajlarının ardından PLC kontrol ünitesi modülleri ile birlikte bir bütün olarak ray üzerine monte edilmiştir (Resim 3.5).



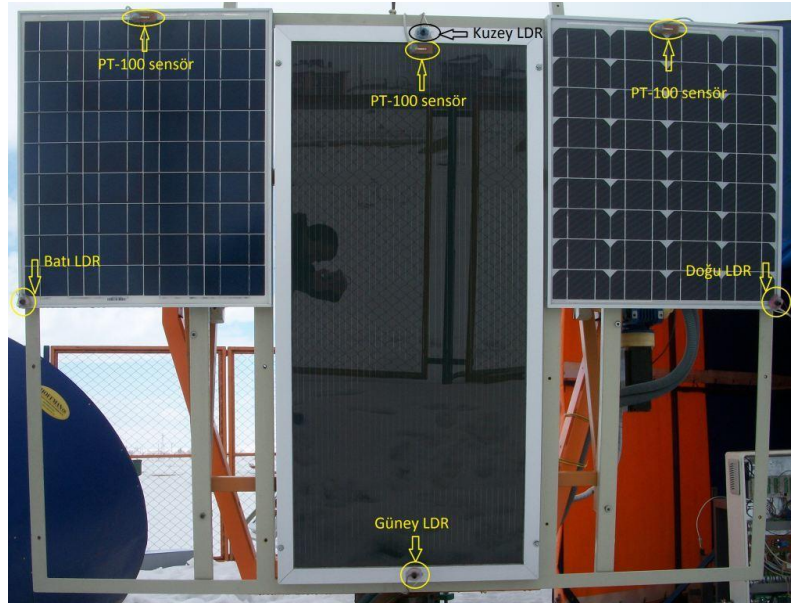
Resim 3.5 PLC kontrol ünitesinin panodaki görünüşü.

Panoya montajı yapılan PLC kontrol ünitesinin, ölçme girişleri (panel sıcaklık sensörleri, panel akım ve gerilimleri, kuzey, güney, doğu ve batı LDR girişleri, kuzey-güney ve doğu-batı eksen enkoderleri, doğu-batı sınır sensörü), kontrol çıkışları (kuzey-güney ve doğu-batı servo start-stop çıkışları ve kuzey-güney ve doğu-batı servo motorları sürücüleri için yön ve hız kontrol çıkışları) ve PLC haberleşme bağlantıları gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık sensörleri, LDR sensörleri ve haberleşme bağlantıları için blendajlı (shielded) kablolar kullanılmış ve bu kabloların blendajları toprak hattına bağlanmıştır. Böylece ölçme sinyallerinde oluşabilecek olası gürültünün önüne geçilebilmiştir.

3.2.3 Ölçme Donanımlarının Montajı

Tasarımı yapılan güneş takip sisteminde; kuzey, güney, doğu ve batı yönleri için ışık şiddeti LDR sensörleri ve güneş panellerinin yüzey sıcaklıkları için PT-100 sensörleri

kullanılmaktadır. LDR sensörleri güneşi takip eden hareketli platformun dört kenarının orta noktalarına monte edilmiştir (Resim 3.6). Böylece platformun dış kenarlarının ışık seviyeleri ayrı ayrı ölçülebileceği düşünülmüştür. Güneş panellerinin yüzey sıcaklığını ölçmek üzere kullanılan PT-100 sensörleri, çok ince bağlantı pinine sahip olduğundan, bağlantı kolaylığı elde edilebilmesi için, yaklaşık 2x4cm ebatında plakete (delikli pertinaks) lehimlenmiş ve plaketer panelin güneşe bakan yüzeyine silikon ile yapıştırılmıştır (Resim 3.6). Görüldüğü gibi PT-100 sensörler panel hücrelerini kapatmayacak şekilde mümkün olduğu kadar dış kenarlara yakın bir yere monte edilmiştir.

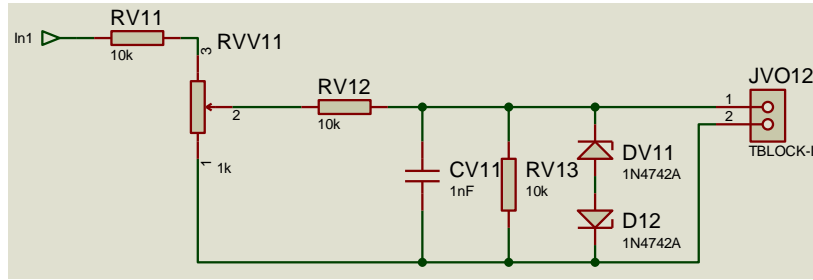


Resim 3.6 Güneş panelleri üzerindeki LDR ve PT-100 sensörlerin yerleşimi.

3.2.4 Koşullandırıcı Devrenin Gerçekleştirilmesi ve Panoya Montajı

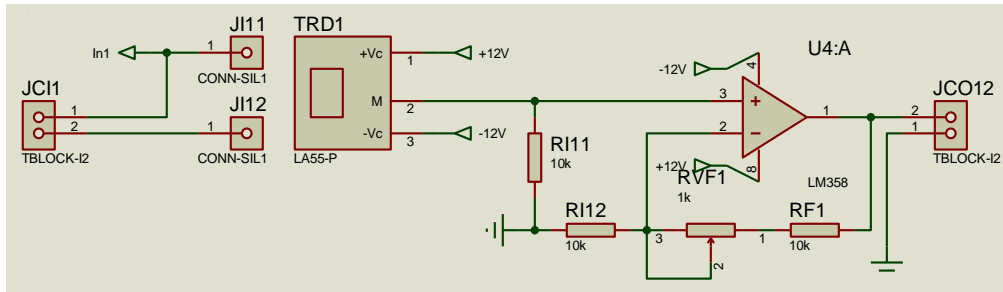
Güneş takip sisteminde kullanılan altı güneş panelinin akım ve gerilim büyüklükleri ile hareketli platformun dış kenarlarındaki ışık şiddetini ölçebilmek için bir koşullandırma devresi tasarlanmıştır. Panel gerilimleri PLC analog giriş geriliminin üzerinde olduğu için Şekil 3.8’de verilen gerilim bölücü devre tasarlanmıştır. Şekil 3.8’de tasarlanan gerilim bölücülerden sadece bir ölçme kanalının bağlantı şeması verilmiştir. Ancak

tasarlanan devre üzerinde sekiz adet gerilim bölücü yerleştirilmiş ve bunlardan altı tanesi paneller için kullanılırken iki tanesi yedek bırakılmıştır. Tasarlanan gerilim bölücüsünde bir alçak geçiren filtre ve olası gerilim yükselmelerine karşı ters seri bağlı iki adet 12V zener diyod kullanılmıştır. Bu sayede gerilim girişlerinde oluşabilecek yüksek frekanslı bileşenler filtre edilebildiği gibi yüksek gerilim girişine karşı da önlem alınmıştır (Şekil 3.8).



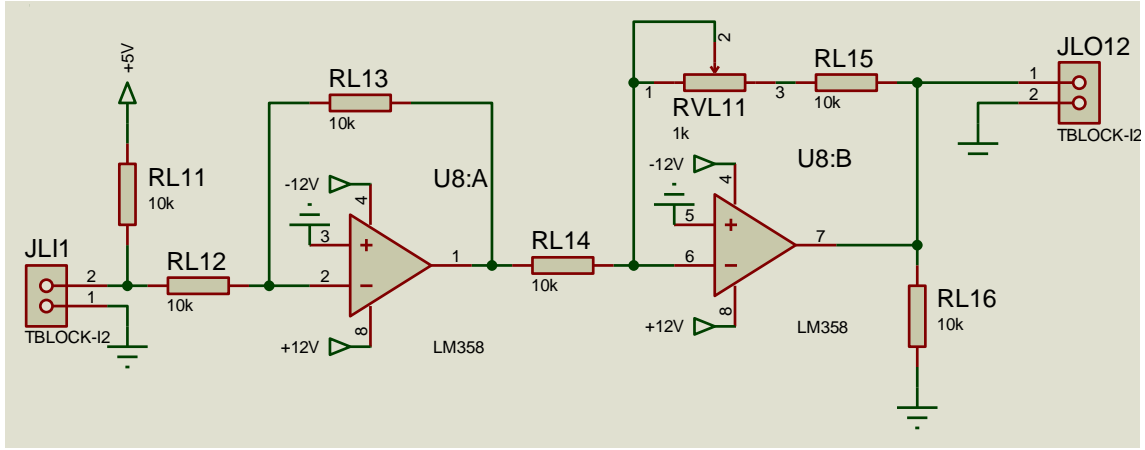
Şekil 3.8 Gerilim bölücü devre şeması.

Panel akımlarını güç devresini etkilemeden ölçebilmek için LEM-LA55P dönüştürücüleri kullanılmıştır. Dönüştürücünün primer akım kapasitesi 50A ve dönüştürme oranı 1:1000'dir. Dönüştürücü çıkış akımı, bir direnç üzerinden geçirilmekte ve bu dirençteki gerilim düşümü bir op-amp ile yükseltilmektedir. Op-amp kazancı çok turlu bir ayarlı direnç ile değiştirilerek akım kalibrasyonu gerçekleştirilebilmektedir (Şekil 3.9). Ayrıca güneş panelleri akım seviyesinin maksimum 4A olması sebebiyle sensörün doğrusal çalışmasını garantileyebilmek amacıyla akım penceresinden kablo 5 tur geçirilmiştir.



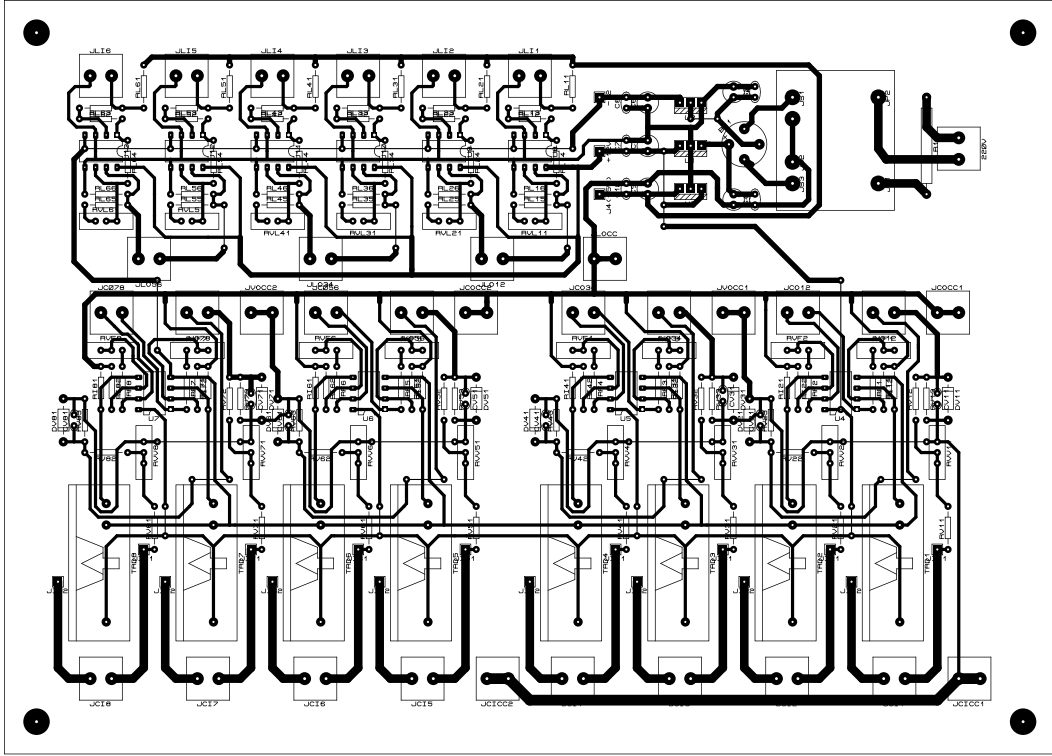
Şekil 3.9 Akım dönüştürücü devre şeması.

Hareketli panelin dış kenarlarına monte edilen LDR sensörleri ile ışık seviyelerini ölçebilmek için iki tersleyen (inverter) op-amp ardışık bağlanmıştır (Şekil 3.10). Böylece gerilim bölücü ile LDR üzerinde düşen gerilim önce birinci op-amp ile terslendikten sonra kazancı birden büyük ikinci op-amp ile 0 – 10V arası gerilime dönüştürülmüştür. Verilen devre bir LDR için tasarlanmıştır ve bu devreden kart üzerine toplam altı adet yerleştirilmiştir. Işık seviyesinin kalibrasyonu, ikinci tersleyen op-amp devresinin kazancının geniş turlu bir ayarlı direnç ile değiştirilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Hareketli platformun normal vektörünün açısı ile güneşin yeryüzüne geliş açısı aynı doğrultuya denk düştüğünde kuzey-güney LDR gerilimleri ve doğu-batı LDR gerilimleri birbirlerine eşit olacak şekilde kalibre edilmiştir.



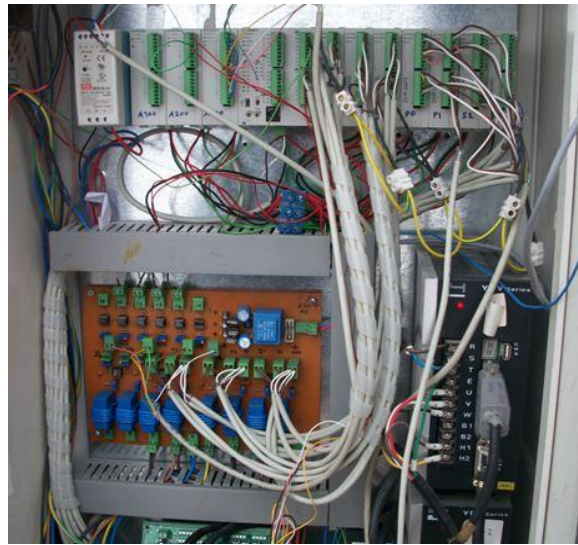
Şekil 3.10 LDR'ler için ışık seviyesi ölçme devresi.

Sekiz adet gerilim, sekiz adet akım ve altı adet ışık şiddeti ölçüm devreleri ile simetrik güç kaynağı devresinin tamamı elektronik tasarım programında şematik olarak çizildikten sonra baskı devresi tasarlanmıştır (Şekil 3.11). Aşağıdaki şemada, baskı devrenin üstten görünümü, malzeme yerleşim düzeni ve yollarla birlikte görülmektedir. Tasarlanan baskı devre şeması plakete dönüştürüldükten sonra tüm elektronik malzemelerin montajı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.11 Koşullandırıcı devre için tasarlanan baskı devre şeması.

Elektronik malzeme montajının tamamlanmasının ardından devre kontrol ünitesinin bulunduğu panoya monte edilmiştir (Resim 3.7). Devrenin orta kısmındaki klemensler PLC tarafına bağlantı yapılacak olan devre çıkışlarıdır. Devrenin iki kenarına dağıtılmış klemensler ise panel çıkışları, yükler ve LDR sensörlerinin bağlandığı devre girişleridir.



Resim 3.7 Elektronik montajı tamamlanmış koşullandırıcı devrenin panodaki görünümü.

3.2.5 Panel yüklerinin panoya montajı

Güneş takip sisteminde altı panelin ürettiği enerji depolama işlemine tabi tutulmadan yükler üzerinde doğrudan tüketilmektedir. Sistemde kullanılan monokristal ve polikristal paneller 22V ve 4A nominal değerlere sahipken, ince film paneller 60V ve 1,6A nominal çalışma değerlerine sahiptir. Her bir panel için nominal çalışma gerilimi ve akımına uygun müstakil yükler kullanılmıştır. Kullanılan yükler rezistif karakterde olduklarından güç harcaması sırasında ısı açığa çıkarmaktadır. Bu nedenle yükler PLC kontrol ünitesi panosunun dışına monte edilmiştir. Aşağıda yüklerin panoya montajı görülmektedir (Resim 3.8).



Resim 3.8 Panel yüklerinin görünümü.

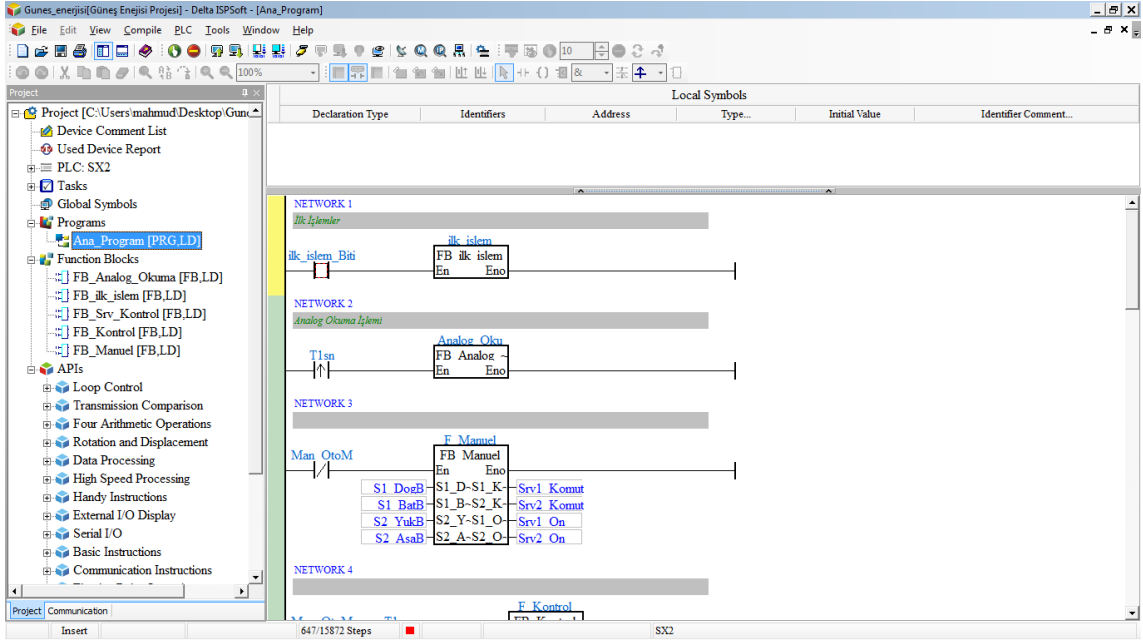
3.3 Kurulan Sistemin Devreye Alınması ve Veri Toplama Çalışmaları

Güneş takip sisteminin kontrolünü ve veri toplama işlemlerini gerçekleştiren yazılım altyapısı temelde iki kısımdan oluşmaktadır. Yazılımlardan ilki PLC kontrol ünitesi içine gömülen ve güneş takip algoritmalarının işletildiği aynı zamanda ölçme işlemlerinin de yerine getirildiği kontrol programıdır. İkinci yazılım ise sunucu bilgisayar üzerinde çalışan ve güneş takip sistemi ile kullanıcı arasında PLC üzerinden

iletişim sağlayan ara yüz (interface) programıdır. Bu iki program aşağıda sırasıyla ayrıntılı olarak sunulmaktadır.

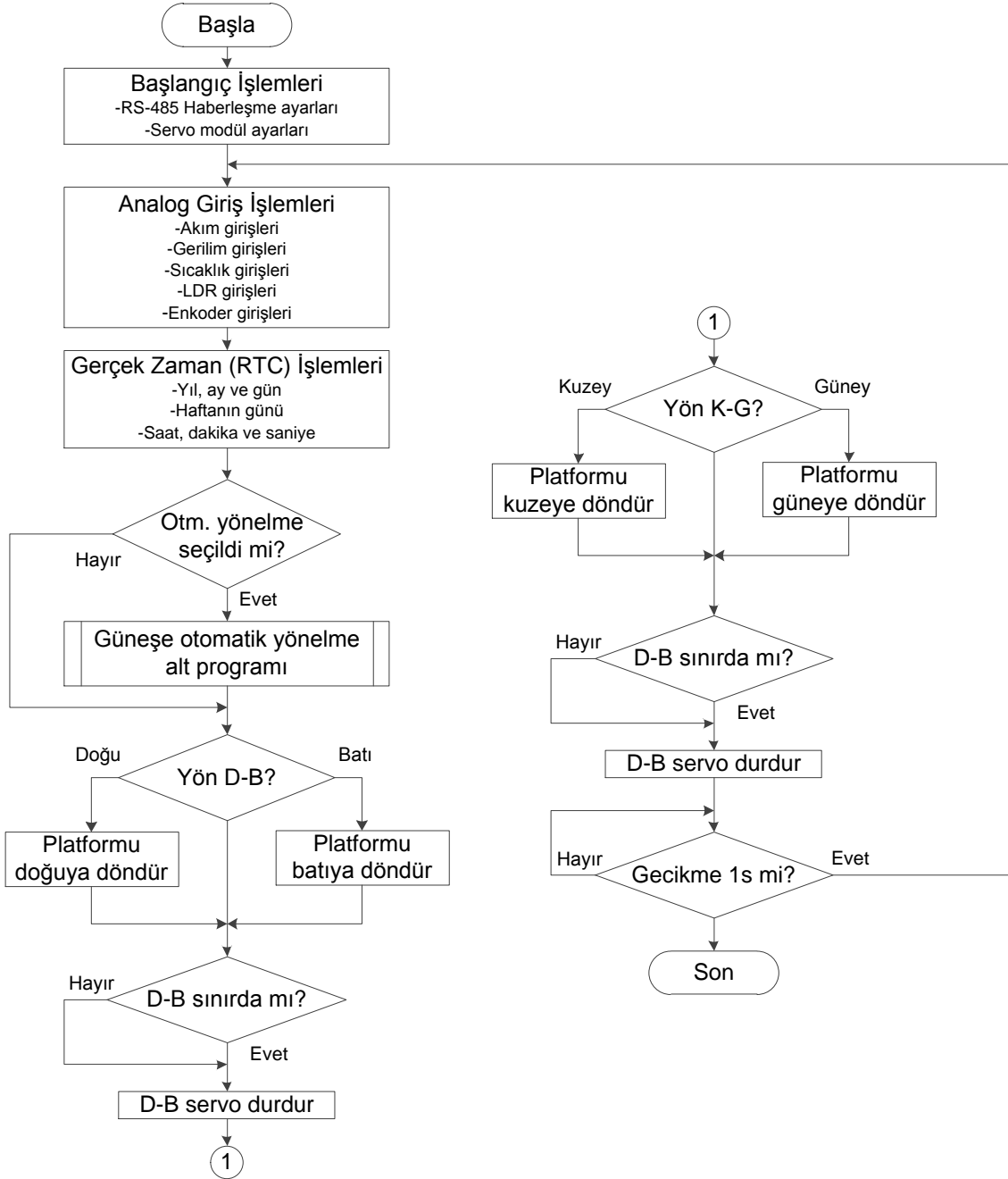
3.3.1 PLC Kontrol Programı

PLC kontrol ünitesi içine gömülen program servo motorların kontrolünü, güneş panellerinin akım, gerilim, yüzey sıcaklığı gibi parametrelerinin ölçme işlemlerini yerine getirmektedir. Güneş takip sisteminde PLC kullanılmasının sebebi, yukarıda Bölüm 3.1.3’de izah edildiği üzere, kontrol ünitesinin ağır işletme koşullarına maruz kalma durumudur. Örneğin kış aylarında açık alanda bulunan kontrol ünitesi sıfırın altında 30 derece soğukta çalışmak zorunda kalabilmektedir. Benzer şekilde yaz aylarında da 40 derecenin üzerinde sıcakta çalışması gerekebilmektedir. Nitekim bu sene tüm yurt genelinde olduğu gibi Afyonkarahisar bölgesinde de çok sert bir kış geçirilmiştir. Projenin gerçekleştirildiği sistemde daha önceden kullanılmış ve atıl durumdaki bilgisayar tabanlı altyapı söz konusu şartlarda çalışmaya uygun olmadığı gibi günlerce hatta haftalarca sorunsuz çalışması beklenen güneş takip sisteminin sıradan bir masaüstü bilgisayarla uzun süre işletilmesi de mümkün değildir. PLC’ler ise endüstriyel şartlarda çalışmaya uygun imal edildiklerinden hem ağır atmosferik şartlara hem de uzun süreli kesintisiz çalışmaya imkân sunmaktadır. PLC güneş takip sisteminin de panelleri istenilen takip algoritmasına göre güneş yönlendirmekte ve sistemden topladığı verileri belirli zaman aralıklarında (interval) haberleşme portu üzerinden bilgisayara göndermektedir. Zaman aralıkları dakika olarak belirlenmiş ve böylelikle çözünürlüğü oldukça yüksek veri ölçümleri yapılmıştır. Aşağıda PLC kontrol programının tasarlandığı DELTA firmasının “ISPSoft” isimli program geliştirme editör ekranı görülmektedir (Resim 3.9).



Resim 3.9 Delta PLC için program geliştirme yazılımı.

PLC için tasarlanan programın akış şeması genel hatlarıyla aşağıda Şekil 3.12’de görülmektedir. Akış diyagramında görüldüğü gibi ilk olarak, PLC ile sunucu bilgisayar arasındaki uzaktan erişimi sağlayan RS-485 haberleşme hattı ve servo motor sürücü modüllerinin başlangıç ayarları gerçekleştirilmektedir. Ardından güneş takip sisteminin analizinde kullanılan parametreler için analog giriş ölçme süreci yürütülmektedir. Analog ölçme sürecinin tamamlanmasını takiben PLC içinde bulunan gerçek zaman saatinden yıl, ay, gün, haftanın günü, saat, dakika ve saniye bilgilerinin okunma işlemi yerine getirilmektedir. Programın buraya kadar olan kısmı parametre ölçümlerini kapsamaktadır ve ölçülen parametreler RS-485 haberleşme hattı üzerinden sunucu bilgisayara gönderilmektedir. Bu aşamada PLC programının akış diyagramı Şekil 3.12’de sunulmuştur.



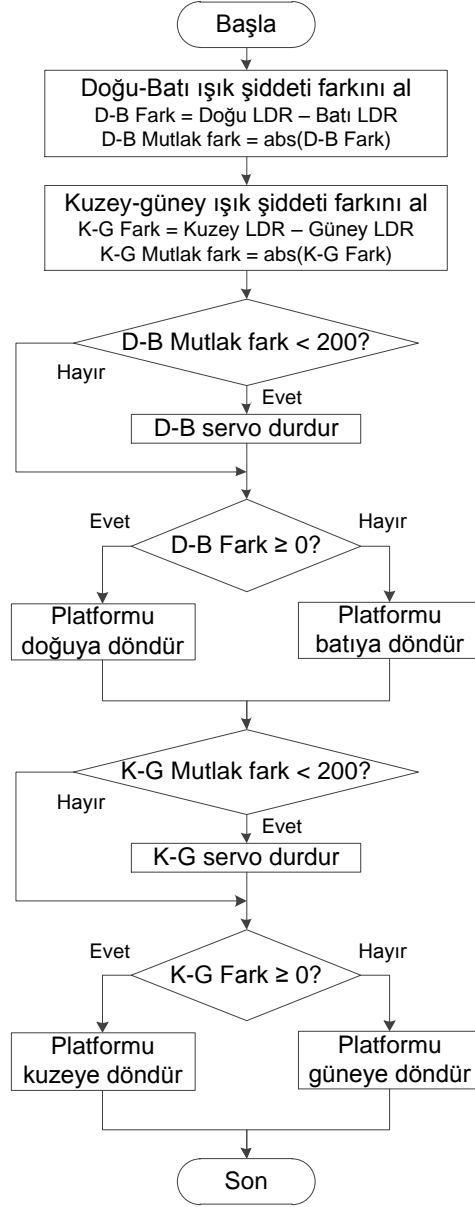
Şekil 3.12 PLC programı akış diyagramı.

Ölçme işlemlerinin tamamlanmasının ardından ara yüz programı üzerinde hangi takip algoritmasının seçildiğinin belirlendiği bir sorgulama yapılmaktadır. Eğer ara yüz üzerinde, LDR ışık şiddetlerine göre güneşe otomatik yönelen algoritma seçilmişse, “Güneşe otomatik yönelme alt programı” işletilmektedir. Bu alt programa ait akış şeması aşağıda verilmektedir (Şekil 3.13). Diğer güneş takip algoritmaları sunucu bilgisayar üzerinde çalışan ara yüz programında çalışmaktadır.

LDR ışık şiddetlerine göre güneşe otomatik yönelen algoritma seçilmemişse programda sırasıyla doğu-batı ve kuzey-güney servo kontrolleri gerçekleştirilmektedir. İlk olarak ara yüz üzerinden gelen doğu ya da batı yönlendirme isteği sorgulanmakta ve servo seçilen yönde hareket ettirilmektedir. Söz konusu hareketin hızı ve açısı ara yüz üzerinden gönderilen isteğe göre gerçekleştirilmektedir. Ayrıca doğu-batı yönünde hareket başlatıldıktan sonra doğu-batı sınır değeri enkoder ve yaklaşım sensörü ile izlenmekte ve son sınıra gelinmişse servo motor durdurulmaktadır. Bu sayede PLC, platformu ara yüz programından gelen herhangi bir komuta gerek duymadan sınırdaki durdurabilmektedir. Böylece sunucudaki ara yüz programın kilitlenmesi, bilgisayarın kapanması ve RS-485 haberleşmenin kesilmesi gibi olumsuz durumlarda sistemin güvenli bir şekilde durdurulması sağlanabilmektedir. Doğu-batı servo kontrolü için yapılan işlemler, benzer mantıkla kuzey-güney servo kontrolü için de gerçekleştirilmektedir.

Servo kontrolünün ardından bir saniyelik gecikme sağlanmakta ve bir saniyenin dolmasıyla birlikte analog okuma işlemlerinden başlayarak tüm işlemler tekrarlanmaktadır. Burada ölçme ve kontrol zaman gecikmesinin (time interval) bir saniye olduğu da görülmektedir.

LDR ışık şiddetlerine göre çalışan yönelme algoritmasının icra edildiği alt programa ait akış şeması aşağıda Şekil 3.13'de verilmektedir. Bu alt programda ilk olarak doğu ve batı LDR ışık şiddeti farkı işaretli ve işaretsiz (mutlak) değerler olarak elde edilmektedir. Ardından benzer işlemler kuzey ve güney LDR ışık şiddetleri için gerçekleştirilmektedir. Doğu-batı ve kuzey-güney ışık şiddeti fark değerleri elde edildikten sonra servo kontrol süreci başlatılmaktadır.

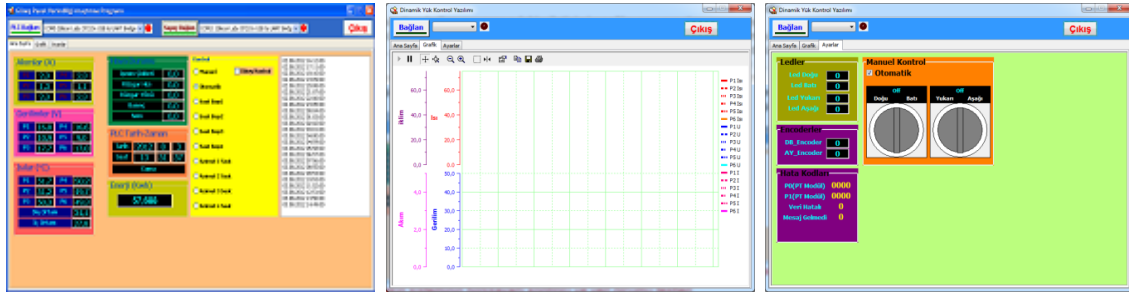


Şekil 3.13 LDR ışık şiddetlerine göre yönelme alt programı akış şeması.

3.3.2 Sunucu Bilgisayar İçin Arayüz Programı

Güneş takip sistemi ile kullanıcı arasındaki iletişimi sağlayan arayüz programı; ölçülen parametrelerinin grafikler ve göstergeler yardımıyla izlenmesi, takip algoritmalarının seçimi, verilerin toplanıp kaydedilmesi, güneş takip sisteminin elle kontrolü gibi görevleri yerine getirmektedir (Resim 3.10). Bu arayüz programı özel bir firmaya

sistem ihtiyaçları doğrultusunda hazırlanmıştır. Arayüz programı bir dizüstü bilgisayar üzerinde çalıştırılmaktadır ve bu bilgisayar için Afyon Kocatepe Üniversitesi, Bilgi İşlem Merkezi tarafından sabit IP tahsis edilmiştir. Bu sayede sisteme internet üzerinden uzaktan erişim sağlanabilmektedir. Resim 3.10’da görüldüğü gibi arayüz programı veri izleme göstergelerinin bulunduğu “Ana Sayfa”, verilerin grafikler üzerinden izlenebildiği “Grafik” ve güneş takip sisteminin elle kontrol edilebildiği “Ayarlar” olmak üzere üç sekmeden oluşmaktadır.



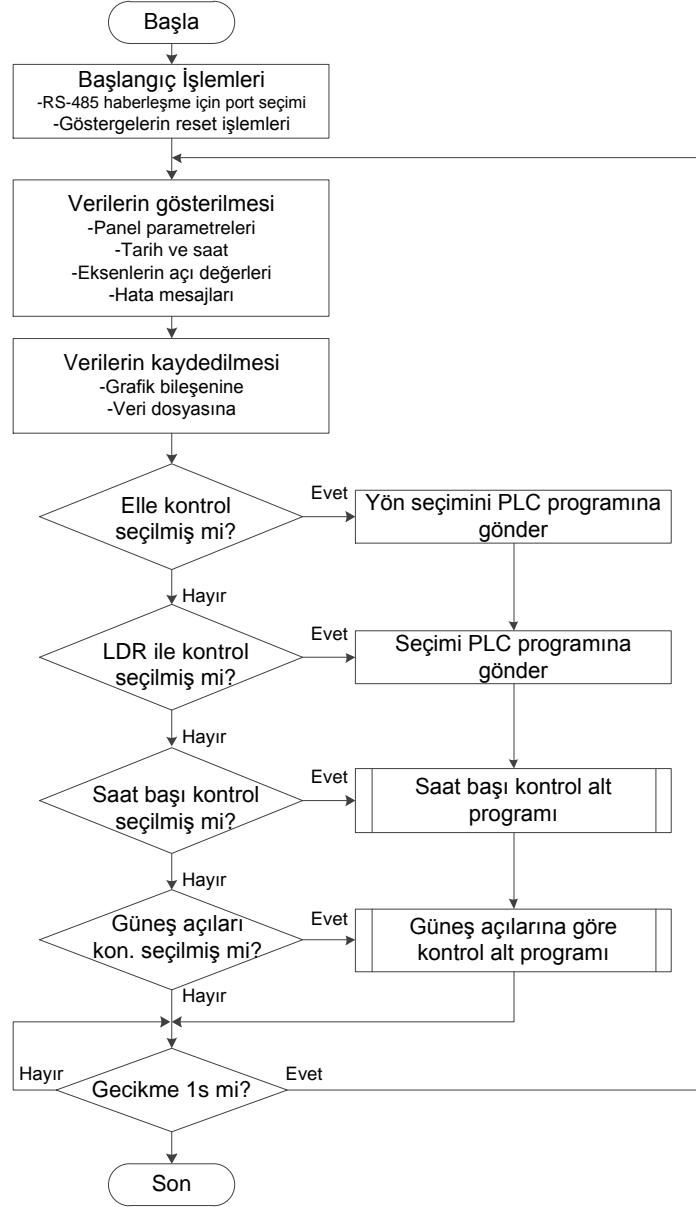
Resim 3.10 Güneş takip sistemi arayüz programı sekmesi.

Program çalıştırıldığında ilk yapılması gereken işlem sistemin uzaktan kontrolünü sağlayan PLC ile bilgisayar arasındaki RS-485 haberleşmenin sağlanması için port seçiminin yapılmasıdır. Port seçiminin ardından “Bağlan” butonuna basılarak iletişim başlatılmaktadır. İletişimin başlamasıyla birlikte ana sayfa sekmesinde panel akımları, gerilimleri, yüzey sıcaklıkları, PLC tarih ve saati, dış ve iç ortam sıcaklıkları gibi parametre değerleri görüntülenmektedir. Hava durumu bölümünde görülen ışınım şiddeti parametresi için önceki projeden kalan atıl durumdaki KippZonen firmasının CMP6 model ışınım şiddeti ölçeri kullanılması düşünülmüştür. Ancak CMP6 çıkışının 0-20mV aralığında gerilim vermesi sebebiyle PLC analog girişlerine doğrudan bağlanamamıştır. Bunun yerine yine önceki projeden kalan atıl durumdaki KippZonen firmasının Meteon model el tipi veri toplayıcısı (data logger) kullanılmıştır.

Arayüzün “Grafikler” sekmesinde ise toplanan veriler grafiksel olarak görülmekte, veriler zoom yaparak yakından incelenebilmektedir. Grafik bileşenleri sayesinde verilerin günlük, haftalık değişimleri görülebilmekte ve herhangi bir aksaklık olması durumunda müdahale etme şansı olabilmektedir.

Arayüzün ayarlar isimli son sekmesinde güneş takip sisteminin elle hareket ettirilmesi sağlanabilmektedir. Elle kontrol seçeneği takip sisteminde gerçekleştirilecek tamirat ve tadilat çalışmalarında platformun uygun pozisyona konumlandırılmasında oldukça faydalı olmaktadır. Ayarlar sekmesinde bu işlem için doğu-batı ve kuzey-güney yön seçme anahtarları bulunmaktadır. Ayrıca elle kontrol durumunda sisteme hâkimiyeti artırmak için doğu-batı ve kuzey-güney enkoder değerleri, doğu, batı, kuzey ve güney yönü ışık şiddeti değerleri ve PLC modülü hata mesajları görüntülenmektedir. Böylece kullanıcı elle sistemi kontrol ederken bu değerleri izlemekte ve kritik bir noktaya yaklaşılmışsa veya bir hata meydana gelmişse sistemi durdurabilmektedir.

LDR ışık şiddetlerine göre çalışan takip algoritması haricindeki tesis edilecek tüm algoritmaların ara yüz programına entegre edilmesi düşünülmüştür. Bu algoritma güneşin doğuş ve batış saatleri arasındaki süre içinde her saat başında belirli bir açıda doğudan batıya yönelme işlemi gerçekleştirilmektedir. Her saat başında kat edilecek açı bölüm 3.6 da ayrıntılı anlatılan yöntem ile hesaplanan güneşin konumunu dosyadan okuyarak o açı değerine gelmektedir. Kullanılan bir başka algoritma ise güneşin doğuşundan batışına kadar platformun kat etmesi gereken toplam açı değerinin, yine güneşin doğuşundan batışına geçen toplam süreye bölünmesiyle bulunmaktadır. Aşağıda ara yüz programının akış şeması görülmektedir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 Arayüz programı akış şeması.

Akış şemasında görüldüğü gibi başlangıç ayarlarının ardından verilerin gösterilme ve kaydedilme işlemleri gerçekleştirilmektedir. Veri gösterme ve kayıt işlemlerinin ardından takip algoritmalarının hangisinin seçildiği sorgulanmakta ve seçime göre uygun algoritma icra edilmektedir. Tüm bu işlemler 1 saniye zaman gecikmesi ile gerçekleştirilmektedir. Ancak verilerin kayıt dosyasına ve grafik bileşenine yazdırma gecikmesi 1 dakika olarak belirlenmiştir.

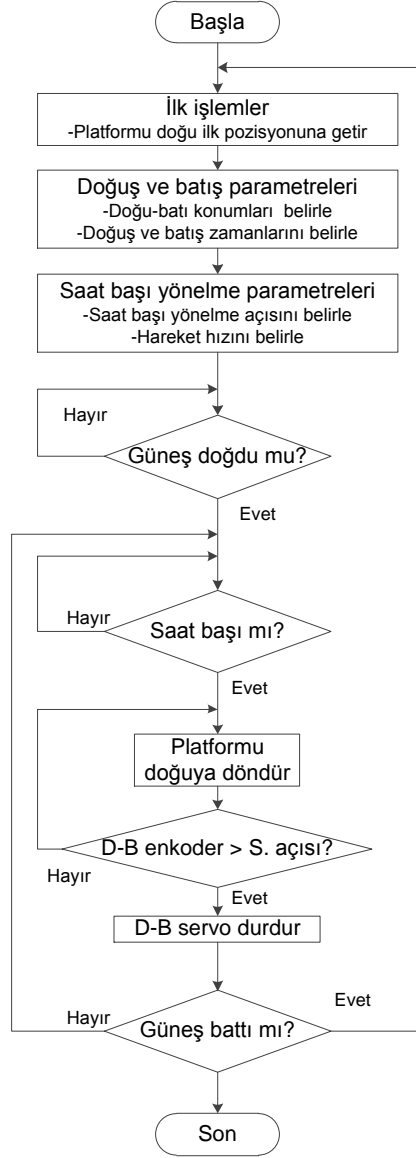
Akış şemasında görüldüğü gibi elle kontrol seçilmişse kullanıcının yön istekleri PLC programına gönderilmektedir. PLC programı platformu istenilen yönde, elle kontrol için belirlenen sabit hızda, hareket ettirmektedir. Kontrol sırasında eksen açıları, haberleşme hata kodları ve diğer sistem parametreleri izlenebilmektedir.

Eğer LDR ışık şiddetlerine göre güneşe otomatik yönelen program seçilmiş ise bu durumda seçim PLC programına gönderilmekte ve yukarıda PLC programı kısmında ayrıntılarıyla verilen algoritma işletilmektedir. Bu durumda arayüz programı platformun kontrolünü PLC programına devretmektedir. Ancak arayüz programı verilerin gösterilme ve kayıt işlemlerini yerine getirmeye devam etmektedir.

Saat başı takip algoritması seçilmesi durumunda ise bir alt program çalıştırılmaktadır. Bu alt programın işleyişini gösteren akış şeması aşağıda Şekil 3.14’de verilmiştir. Saat başı algoritması güneşin konumuna göre hareket etmesini istersek azimut ve eğim açılarını dosyadan alarak saat başında o değere gelecektir. Eğer güneş geometrisine göre değil de eşit aralıklarla takip etmesini istersek ilk olarak platform güneşin doğuş pozisyonuna konumlandırılmaktadır. Ardından güneşin doğuş ve batış konumlarına ilişkin platformun doğu ve batı sınır açıları ile güneşin doğuş ve batış zamanları belirlenmektedir. Bu değerler üzerinden saat başı kat edilecek doğu-batı eksenindeki açı değeri hesaplanmaktadır (Denklem 3.1).

$$\alpha_s = \frac{\alpha_d - \alpha_b}{t_d - t_b} \quad (3.1)$$

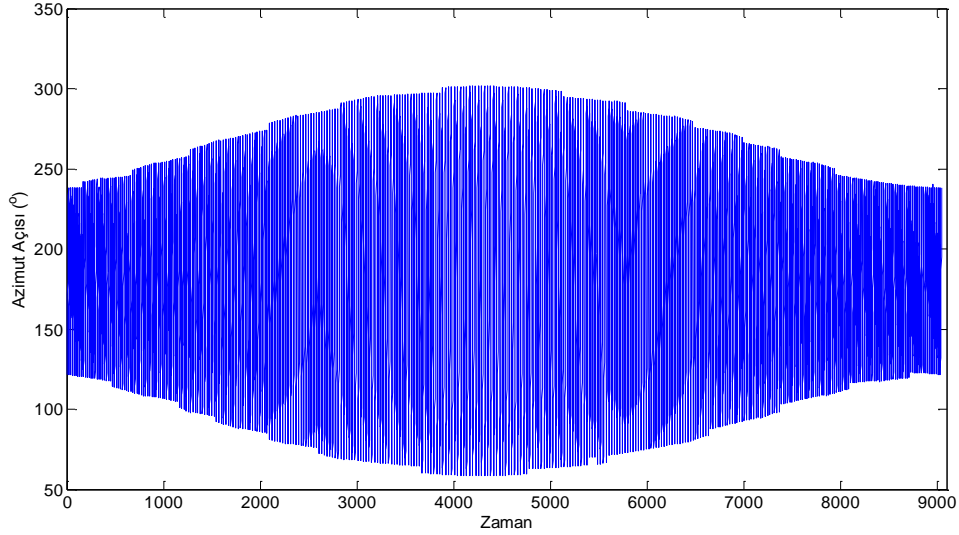
Burada α_s saat başı yönelme açısını, α_d güneşin doğuş açısı ve α_b güneşin batış açısını belirtmektedir. t_d ve t_b ise sırasıyla güneşin doğuş ve batış zamanıdır. Denklem paydası gün ışığının mevcut olduğu saat değerini vermektedir. Bu durumda denklemden [derece/saat] biriminde saat başına karşılık gelen açı değeri elde edilmektedir.



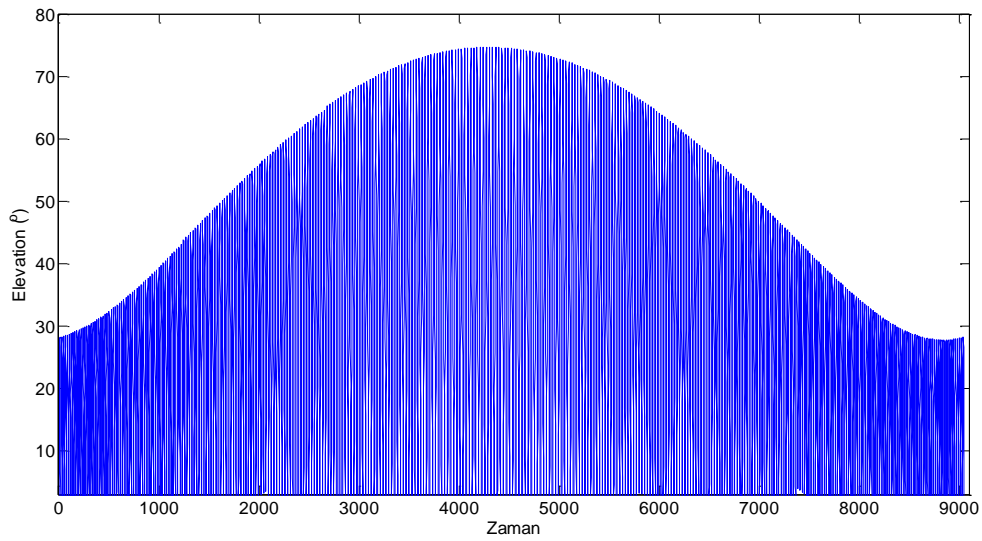
Şekil 3. 15 Saat başı takip algoritması akış şeması.

Saat başı açı değerinin belirlenmesine müteakip PLC den alınan gerçek zaman saati değerleri üzerinden güneşin doğuş saati kontrol edilmektedir. Güneş doğmuşsa bu durumda saat başı zamanı yine gerçek zaman saati değerleri üzerinden tespit edilmektedir. Saat başı olmuşsa platform sabit bir hızda doğuya hareket ettirilmekte ve saat başı açısı değeri kadar hareket sağlanmışsa servo motor durdurulmaktadır. Ardından güneşin batış süresi kontrol edilmekte ve eğer güneş batmamış ise bir sonraki saat başında aynı işlem tekrarlanmaktadır. Eğer güneşin batış süresi gelmiş ise takip durdurulmakta ve platform güneşin doğuş pozisyonuna getirilerek güneşin doğuş süresi beklenmektedir.

Bölüm 3.6’da ayrıntılı olarak anlatılan yöntem ile hesaplanan azimut (güneşin gün içerisindeki kuzey eksen ile yaptığı açı) ve Elevation açıları (güneşin gün içerisindeki yatay eksen ile yaptığı açılar) aşağıda sunulmuştur (Şekil 3.15-3.16).



Şekil 3.16 Güneşin yıllık azimut açısının yarımşar saatlik değişimi.



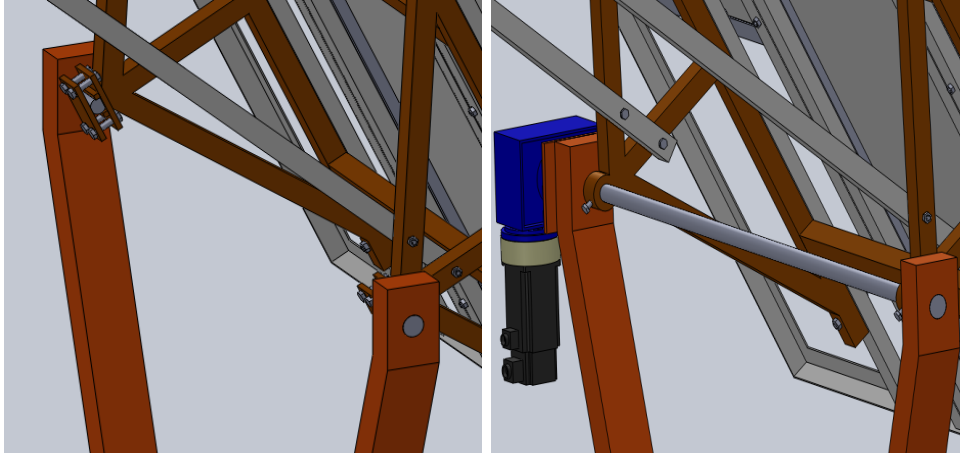
Şekil 3.17 Güneşin yıllık yükseklik (elevation) açısının yarımşar saatlik değişimi.

Azimut açısı güneşin doğu-batı yönündeki değişimini yükseklik açısı ise güneşin yatay eksen ile yaptığı açıyı göstermektedir. Şekil 3.15’deki güneşin doğuş ve batış açılarına bakıldığında gün uzunluğunun yaz aylarında diğer aylardan daha büyük olduğu, şekil 3.16’deki açılara bakıldığında da yaz aylarında güneşin diğer aylara göre daha yüksekte olduğu görülmektedir.

3.4 Tez Süresinde Karşılaşılan Problemlerin Giderilmesi

3.4.1 Kuzey-Güney Eksen Milinin Değiştirilmesi

Sisteme monte edilen platformu kuzey-güney ekseninde hareket ettiren mil hassas olarak yataklanmamış ve iki parçalı olarak tasarlanmıştır. (Şekil 3.18).



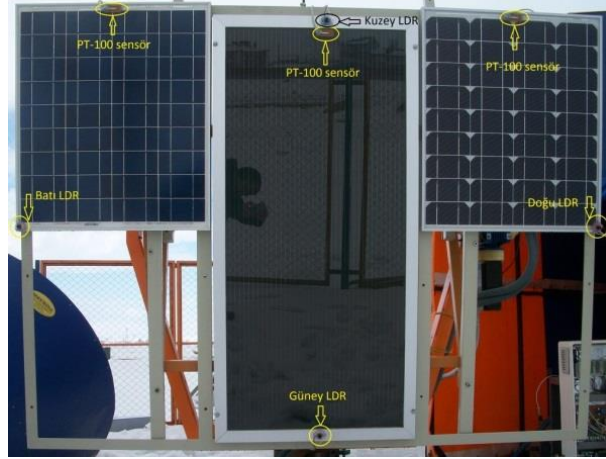
Şekil 3.18 Kuzey-Güney eksenini için planlanan tek parçalı mil tasarımı.

Şekil 3.18’de solda görülen mevcut iki parçalı mil yapısı platformun ağırlığından dolayı dengeli bir dönüş sağlayamamakta ve mekanik arızalara neden olmaktadır. Bu durum Şekil 3.18’de sağda görülen kuzey-güney dönüş ekseninde boydan boya uzanan tek parçalı mil sayesinde ve daha hassas yataklama ile ortadan kaldırılmıştır. Ayrıca kuzey-güney eksenini mil momentini artırabilmek için bu ekseninde kullanılan redüktör (1/60) dönüştürme oranı daha yüksek (1/100) bir redüktörle değiştirilmiştir. Kuzey-güney ekseninde momentin artırılmasıyla birlikte servo motorun daha rahat çalışması sağlanmıştır.

3.4.2 Panel Üzerine Yerleştirilen LDR Sensörlerinin Konumlarının Değiştirilmesi

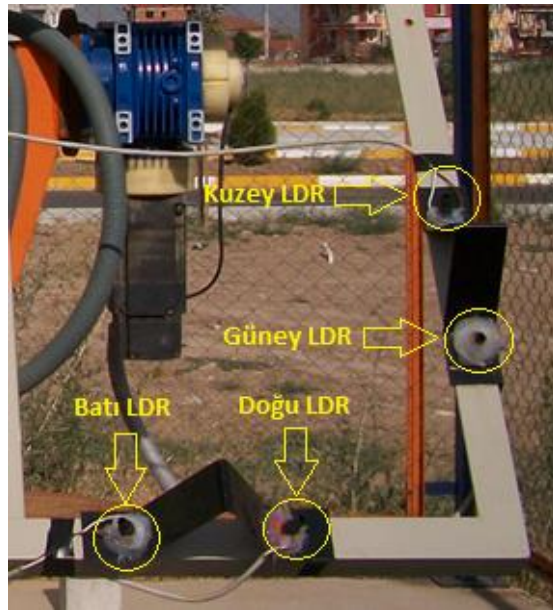
Platformun dörtkenarına doğrudan yerleştirilen LDR sensörleri, güneşin hareketi ile oluşması gereken gölde durumunu istenilen düzeyde oluşturamadığından yön tehni

hassas olarak yapılamamıştır. Ayrıca platformun dörtkenarına yerleştirilen LDR sensörlerinde denge durumu birden fazla noktada oluşmuştur. Bu durum ise LDR sensörleri ile kontrol yapmamızı imkansız hale getirerek platformun güneşi takip edememesine neden olmuştur (Resim 3.11).



Resim 3.11 LDR sensörlerinin panel üzerine doğrudan yerleşimi.

LDR sensörlerinin platform üzerine üçgen aparat ile yerleştirilmesi sonucu güneşin dik olmadığı zamanlarda üçgen aparatın yapmış olduğu gölge sayesinde LDR sensörleri ile yön tayini yapılabilmiş ve güneş hassas olarak takip edilebilmiştir (Resim 3.12).



Resim 3.12 LDR sensörlerinin panel üzerine doğrudan yerleşimi.

3.4.3 Doğu-Batı Yönündeki Açısal Kontrolü Sağlayan Encoder deki Arızanın Giderilmesi

Doğu-Batı yönündeki encoder değerlerinde meydana gelen değişimlerden dolayı encoder de arıza olduğu anlaşılmıştır. Güneş takip sisteminin gövdesi ve doğu batı yönündeki hareket mekanizması (servo motor ve redüktör) sökülerek redüktör milindeki hareketi encoder miline aktaran civatanın gevşemesinden dolayı meydana gelen arıza proje ekibi tarafından giderilmiştir. Sökülen parçalar monte edilerek sistem tekrar çalışmaya başlamıştır (Resim 3.13).



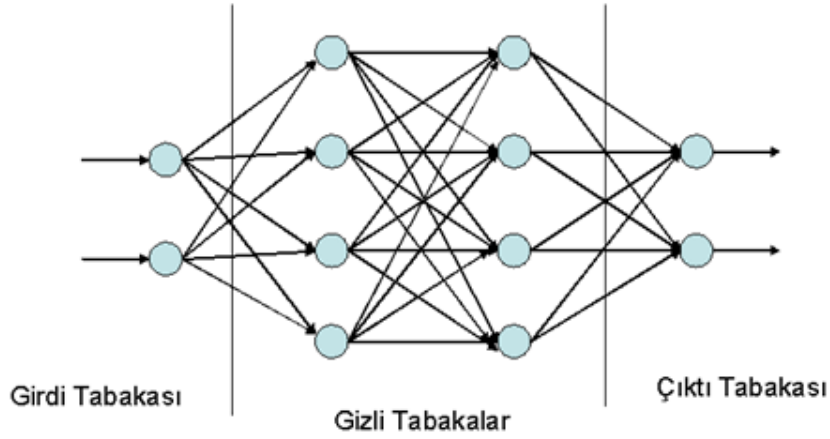
Resim 3.13 Doğu-Batı encoder tamiri.

3.5 Enerji Tahmin Modelleri

3.5.1 Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları, insan beyninin çalışma prensibi baz alınarak modellenen sistemlerdir. Bu sistemler, kontrolden robotik uygulamalarına, örüntü tanımadan tahmin uygulamalarına, güç sistemlerinden optimizasyona kadar çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu sistemler özellikle sistem modelleme uygulamalarında çok faydalıdır (Kalogirou, 2001).

Bir yapay sinir ağı genellikle bir girdi katmanı, belirlenen sayıda gizli katman ve bir çıkış katmanından oluşur. Bir katmanda bulunan nöronlar, diğer katmandaki her bir nöronla birbirine bağlantılıdır. Biyolojide, bu bağlantılara sinaps adı verilmektedir. Her bir sinapsın bir ağırlık değeri vardır ve bu sinaps üzerinden gönderilen bir sinyal, bu ağırlık değeri ile çarpılır. Şekil 3.19'da 2 gizli katmana sahip bir ağ mimarisi görülmektedir.



Şekil 3.19 İki gizli katmana sahip bir yapay sinir ağı mimarisi.

Aktivasyon fonksiyonları ise bir YSA'da nöronun çıkış genliğini, istenilen değerler arasında sınırlar. Bu değerler çoğunlukla $[0,1]$ veya $[-1,1]$ arasındadır. Lineer ve doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonlarının yapay sinir ağlarında kullanılması karmaşık ve çok farklı problemlere uygulanmasını sağlamıştır. Mühendislikte ve pek çok alanda en çok kullanılan öğrenme algoritması, geriye yayılma algoritmasıdır. Bunun en büyük nedeni, öğrenme kapasitesinin yüksek ve algoritmasının basit olmasıdır (Kaya vd. 2005).

Geri yayımlı ağ; sistem öğrenirken hataların, çıktı katmanından girdi katmanına doğru geriye yayıldığı ağıdır. Gizli birimler hedef değeri bilemedikleri için öğrenemezler. Önceki katmandan hataları alıp geriye doğru yayarak öğrendikleri için bu çok gerekli bir süreçtir. Çıktı değeri karşılaştırma yapmak için yalnızca bir hedef değerine sahiptir. Hatalar düğümler yoluyla geri iletilir. Bu sayede bağlantı ağırlıkları sürekli değiştirilir. Ağırlıklarda hatalar kabul edilebilir seviyeye küçülünceye kadar öğrenme sürer (Lawrence, 1997).

Hatayı belirlemek için farklı hesaplama yöntemleri mevcuttur. Bunlardan en sık kullanılanı ortalama karesel hataların karekökü (RMSE)'dir. Ortalama karesel hataların karekökü;

$$RMSE = \sqrt{(y_g - y_t)^2 / n} \quad (3.2)$$

formülü ile hesaplanır. Burada Y_g gerçek değeri, Y_t ise algoritma çıktısını ifade etmektedir. Hatanın sıfır ya da sıfıra çok yakın olması ağın iyi eğitildiği anlamına gelir (Caner ve Akarşlan 2009).

3.6 Güneş Geometrisi

Öğlen vaktindeki güneşin Azimut ve yükseklik açısı PV panelleri konumlandırmak için iki temel açıdır. Fakat gün boyunca güneşin pozisyonunun değişimini hesaplamak için hem yükseklik açısı hem de azimut açısının gün içerisindeki değişimleri hesaplanmalıdır. Zaman uyumluluğu bakımından dünya üzerindeki bölgeler belirli zaman kuşaklarına bölünmüşlerdir. Fakat bu zaman kuşaklarında öğle vaktinin güneşin tam tepede olduğu zamana karşılık gelmesini gerektirmez. Benzer şekilde, güneşin doğuşu zaman kuşağının herhangi bir noktasındaki güneşin doğuşu olarak tanımlanır. Ancak tek bir zaman kuşağında kat edilen mesafe nedeniyle yatay ekseninde güneşin bu zaman kuşağının herhangi bir bölgesinde gerçekten ortadan kaybolduğu zaman güneş batış zamanından oldukça farklı olabilir. Bu tür düzenlemeler gereklidir aksi takdirde bir evden biraz ötedeki bir ev için zaman birkaç saniye farklı olacaktır. Diğer taraftan güneş zamanı her bir özel boylam için tektir. Sonuç olarak güneşin pozisyonunu hesaplamak için ilk olarak yerel güneş zamanı bulunur, daha sonra yükseklik ve azimut açıları hesaplanır.

3.6.1 Yerel Güneş Zamanı ve Yerel Zaman

Yerel öğle güneş zamanı (LST) güneşin en tepede olduğu zaman olarak tanımlanabilir. Yerel zaman ise LST'den genellikle farklıdır. Bunun nedeni ise güneşin yörüngesinin eğimi ve insanların zaman kuşağı uygulamaları ve güneş ışığından faydalanmak için yapılan değişikliklerdir.

3.6.2 Yerel Standart Zaman Meridyeni (LSTM)

LSTM, Greenwich ortalama zamanı için kullanılan başlangıç meridyeni ile benzer olan belirli bir zaman kuşağı için kullanılan referans meridyenidir. LSTM aşağıdaki şekilde gösterilmiştir:

LSTM denklem 1 yardımı ile hesaplanabilir:

$$LSTM = 15^{\circ} \cdot \Delta T_{GMT} \quad (3.3)$$

Bu eşitlikte yer alan ΔT_{GMT} yerel zamanın Greenwich ortalama zamanından saat olarak farkıdır.

3.6.3 Zaman Eşitliği (EoT)

EoT dakika olarak dünyanın ekseninin eğimini ile eksantrikliğini düzelten ampirik bir formüldür ve aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$EoT = 9.87 \sin(2B) - 7.53 \cos(B) - 1.5 \sin(B) \quad (3.4)$$

$$B = \frac{360}{365} (d - 81) \quad (3.5)$$

Burada d yıl başlangıcından itibaren hangi günde olduğunu göstermektedir.

3.6.4 Zaman düzeltme Katsayısı (TC)

Net zaman düzeltme katsayısı zaman kuşağındaki boylam değişimlerinden meydana gelen verilen zaman kuşağındaki yerel güneş zamanı değişimlerini dikkate almak için tanımlanmıştır ve aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir.

$$TC = 4(LSTM - enlem) + EoT \quad (3.6)$$

4 katsayısı dünyanın her 4 dakikada 1⁰ dönmesinden kaynaklanmaktadır.

3.6.5 Yerel Güneş Zamanı (LST)

Yerel güneş zamanı (LST) yerel zamanı ayarlamak için tanımlanan önceki iki düzeltmeyi kullanarak hesaplanabilir.

$$LST = LT + \frac{TC}{60} \quad (3.7)$$

3.6.6 Saat Açısı (HA)

Saat açısı yerel güneş zamanını (LST) güneşin gökyüzünde hareket ettiği derece adedine dönüştürmek için tanımlanmıştır. Tanım olarak güneşin tam tepede olduğu zamanda (solar noon) saat açısı 0⁰ dir. Güneş saatte 15⁰ döndüğü için güneşin saatlik hareketi solar öğleden 15⁰ farklarla hesaplanacaktır. Sabah saatlerinde güneş açısı negatiftir. Öğlen saatlerinde ise pozitiftir.

$$HR = 15^0 (LST - 12) \quad (3.8)$$

3.6.7 Eğim Açısı

Eğim açısı aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$\delta = 23.45^\circ \sin\left[\frac{360}{365}(d - 81)\right] \quad (3.9)$$

Burada d yıl başlangıcından itibaren kaçınıcı günde olduğunu göstermektedir.

2.3.8. Yükseklik ve Azimut

$$Yükseklik = \sin^{-1}[\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos(HA)] \quad (3.10)$$

$$Azimut = \cos^{-1}\left[\frac{\sin \delta \cos \phi - \cos \delta \sin \phi \cos(HA)}{\cos \alpha}\right] \quad (4.11)$$

Formülleriyle hesaplanabilir. Burada ϕ bölgenin enlem açısı olup kuzey yarım kürede + değeri alır.

3.7 Adaptif Bir Güneş Takip Algoritması Tasarımı

Elektrik enerjisi üretiminde güneş panellerinden maksimum verim ile yararlanabilmek için hassas bir güneş takip algoritması ile güneşi takip etmek gereklidir. Fakat güneşin doğuşundan batışına kadar güneşi hassas bir şekilde takip etmek sistemin harcadığı enerjiyi artırmaktadır. Güneş panellerinin ürettikleri enerjilere bakıldığında güneş ne kadar hassas takip edilirse edilsin sabahın ilk saatlerinde ve akşam saatlerinde enerji üretimi minimum düzeyde olduğu görünmektedir. Bu denklemlerle sabahın ilk saatlerinde ve akşam saatlerinde güneş takip ederek enerji harcamak maliyet açısından mantıklı değildir. Hassas güneş takip algoritması kullanmak yerine üretimin olmadığı saatlerde güneşi takip etmeyen ve üretimin olduğu saatlerde en az hareket sağlayarak optimum verim ile çalışabilen Adaptif bir güneş takip algoritması kullanmak daha doğru olacaktır.

Çizelge 3.3 Hareketli ve sabit polikristal güneş panelinin aylara göre 1 günlük üretimleri.

AYLAR	MART		NİSAN		MAYIS		HAZİRAN		TEMMUZ		AĞUSTOS	
SAAT	Har.	Sabit	Har.	Sabit	Har.	Sabit	Har.	Sabit	Har.	Sabit	Har.	Sabit
00:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
01:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
02:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
03:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
04:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
06:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	4,9	0,0	2,3	0,0	0,1	0,0
07:00	0,0	0,0	14,7	0,0	29,0	0,2	21,1	0,0	20,2	0,4	24,4	0,2
08:00	2,1	0,6	44,6	10,9	43,0	13,2	41,4	7,0	39,7	14,4	40,8	7,7
09:00	35,2	28,2	45,7	37,6	43,9	36,5	43,9	33,8	40,9	35,9	41,4	32,2
10:00	52,1	49,6	45,3	42,9	39,8	36,0	44,1	40,9	41,9	39,7	38,6	35,2
11:00	50,8	48,7	45,5	43,1	43,2	40,0	43,7	41,4	41,6	39,8	17,7	17,3
12:00	51,5	50,0	44,9	42,6	46,7	43,7	43,4	41,3	40,9	39,2	13,7	12,8
13:00	51,5	50,1	44,3	41,9	17,7	15,9	43,0	40,9	40,6	38,9	12,5	11,7
14:00	51,1	50,3	46,2	43,7	14,9	13,3	42,6	40,2	40,7	38,4	27,7	25,9
15:00	48,8	33,7	45,9	30,2	16,1	13,7	42,4	39,2	40,6	37,4	42,0	40,2
16:00	20,4	6,1	46,1	6,1	32,3	10,1	40,8	19,2	39,5	14,4	37,8	17,3
17:00	1,4	0,7	44,7	1,0	18,3	2,2	19,2	1,9	34,9	0,7	38,0	2,5
18:00	0,0	0,0	13,8	0,1	0,8	0,2	0,7	0,1	13,1	0,1	35,7	0,4
19:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0
20:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Çizelge 3.3’ de hareketli ve sabit güneş panellerinin her ayın ortasındaki üretimleri yer almaktadır. Hareketli ve sabit güneş panellerinin üretimlerine bakıldığında 10 ile 15 saatleri arasında güneşi takip etmesine rağmen hareketli güneş panelin üretimi ile sabit panelin (güney yönünde ve bölgenin enlem açısı olan yaklaşık 38° eğim açısı ile yerleştirilmiş) üretimi arasında önemli bir fark olmadığı görülmektedir.

Dolayısıyla bu saatler arasında güneşi takip etmek gereksiz yere enerji sarfiyatına neden olacağından güneşi sürekli takip ettirmek yerine güneş panellerini gün içerisinde en az hareket ile optimum noktalara getiren bir algoritma tasarlamak gerekmektedir.

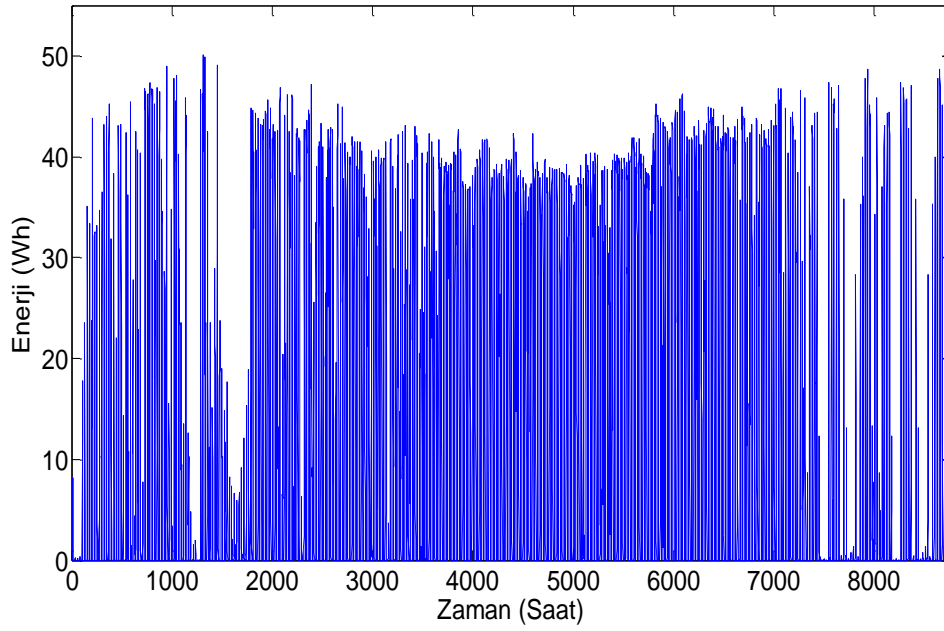
Çizelge 3.3'e bakıldığında ağustos ayı için sabah saat 8 ve 9 da öğleden sonra ise saat 16,17 ve 18 de hareketli panellerde sabit panele göre çok daha fazla üretim olduğu, saat 10 ile 15 arasında ise sabit panelin üretiminin hareketli panelin üretimine yakın olduğu görülmektedir. Bu nedenle güneş panellerinin, güneşin saat 8' deki azimut açısı değerinden başlamasını ve ilk hareketini saat 10.30' da yaparak panellerin, güneşin saat 13' deki azimut açısı değerine gelmesini, İkinci hareketini saat 15.30' da yaparak panellerin, güneşin saat 17'deki azimut açısı değerine gelmesini ve son hareketini ise saat 21' de yaparak tekrar başlangıç konumuna gelmesini ön gören ve toplam üç hareket ile LDR ile güneşi takip eden hareketli güneş panelinin üretimine çok yakın üretim yapan adaptif bir güneş takip algoritması tasarlanmıştır. Algoritmada kullanılan azimut açısı (güneşin kuzey eksenine ile yaptığı açı) bölüm 3.6' da sunulan güneş geometrisi formülleri ile hesaplanmıştır. Tasarlanan bu algoritma ağustos ayı için denenmiş ve sonuçları bölüm 4'de sunulmuştur.

4. BULGULAR

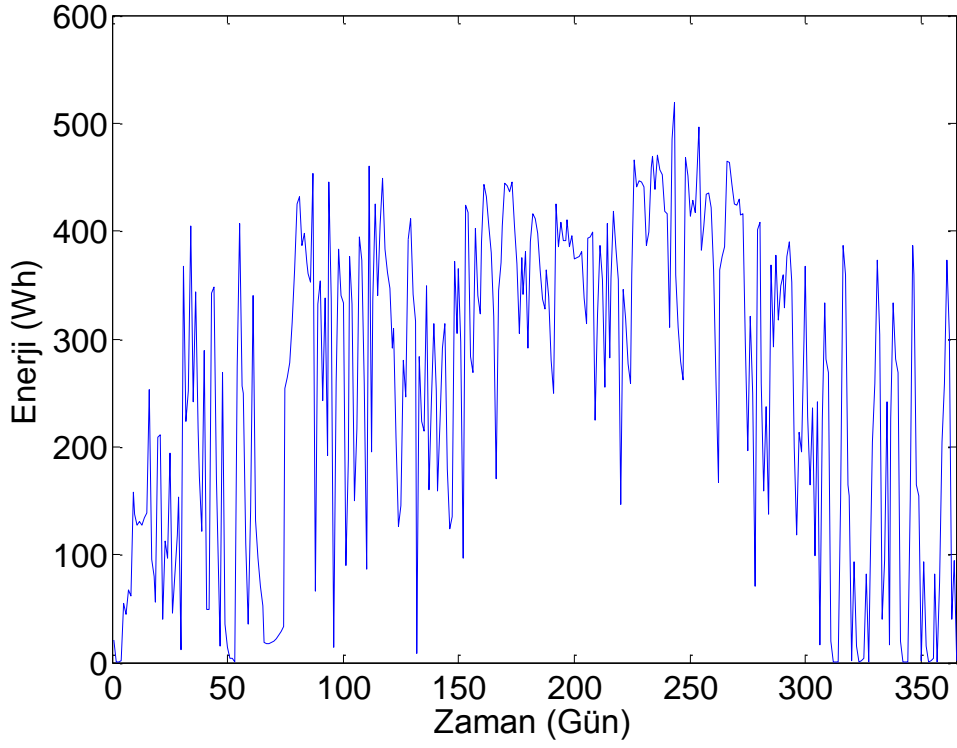
Tez kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda 01 Mart 2012 ve 28 Şubat 2013 tarihleri arasında ölçülüp kayıt edilen verilerden elde edilen bulgular ve sonuçları aşağıda detaylı bir şekil de sunulmuştur.

4.1 Hareketli ve Sabit Güneş panellerinin Üretimleri

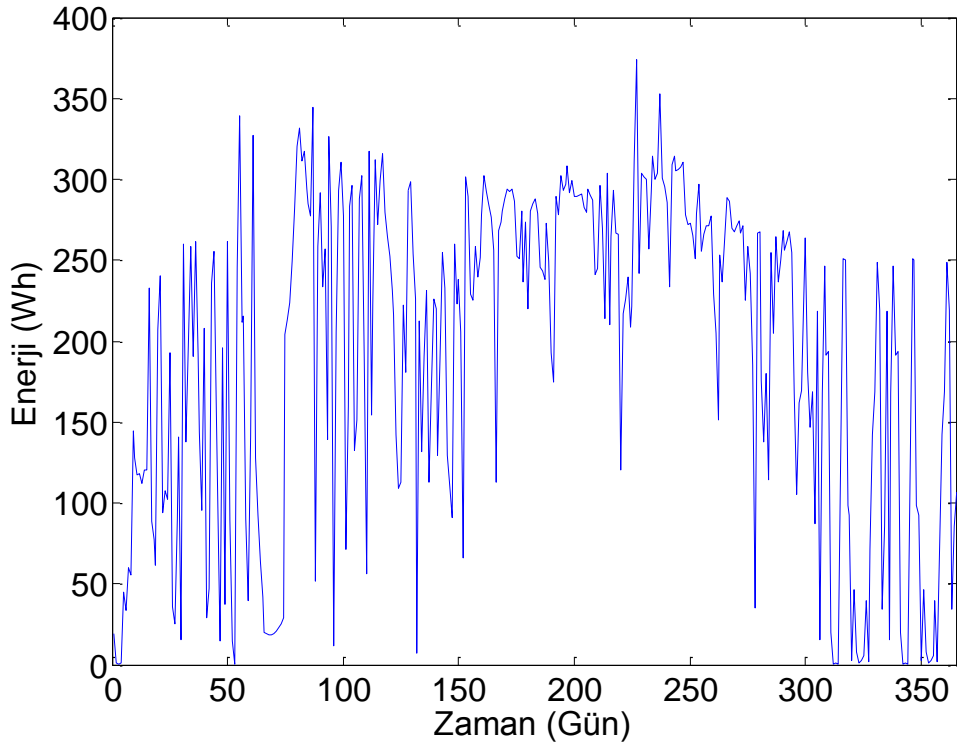
Hareketli ve sabit platform üzerine yerleştirilmiş güneş panellerinin üretimleri dakikalık sıklıklarla ölçülmüş ve saatlik ortalamaları alınmıştır. Hareketli monokristal güneş paneline ait üretim verilerinin yıllık değişimi saatlik olarak aşağıda sunulmuş fakat verilerinin çokluğundan dolayı anlaşılır olmadığı görülmüştür. Bu nedenle verilerin günlük toplamları hesaplanmış ve grafikler günlük olarak aşağıda sunulmuştur.



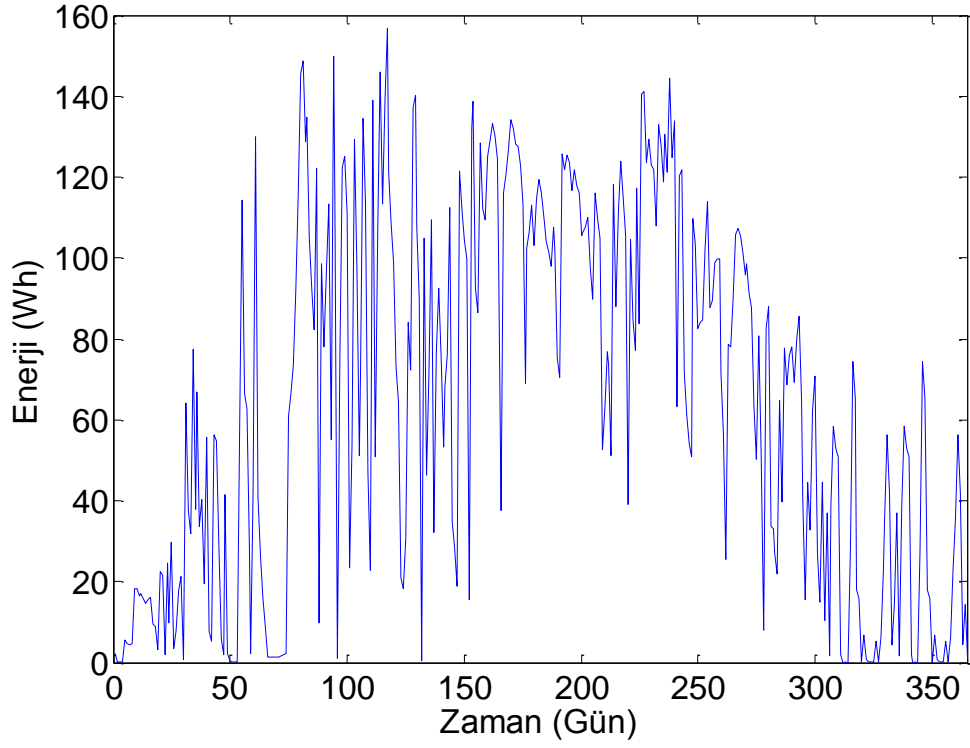
Şekil 4.1 Hareketli monokristal güneş panelinin 1 yıllık üretimi.



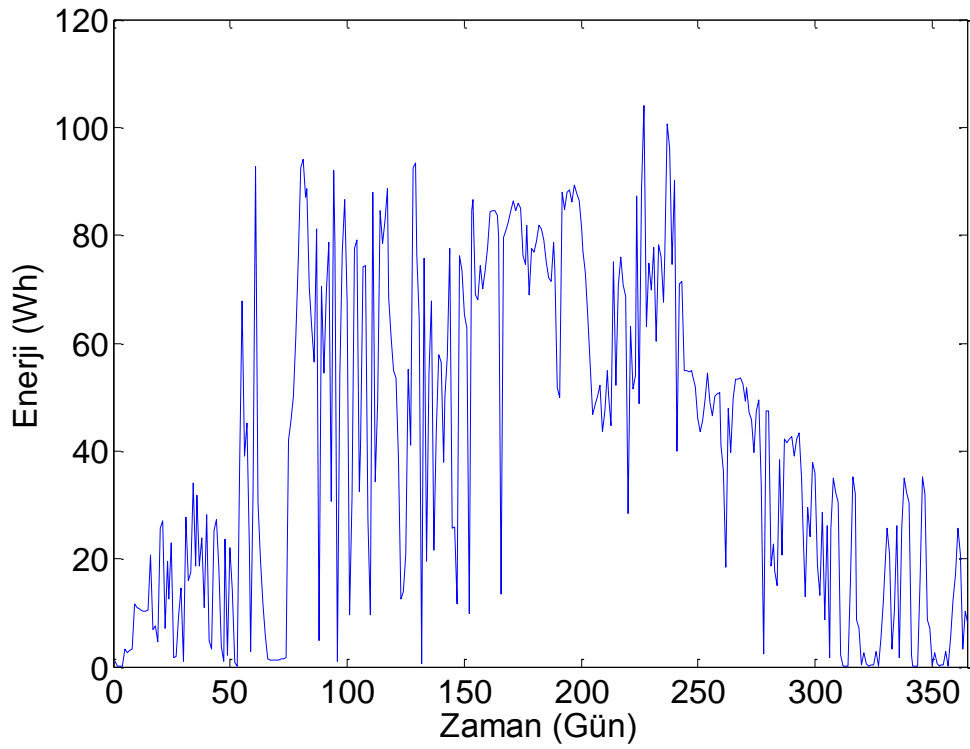
Şekil 4.2 Hareketli monokristal güneş panelinin 1 yıllık üretimi.



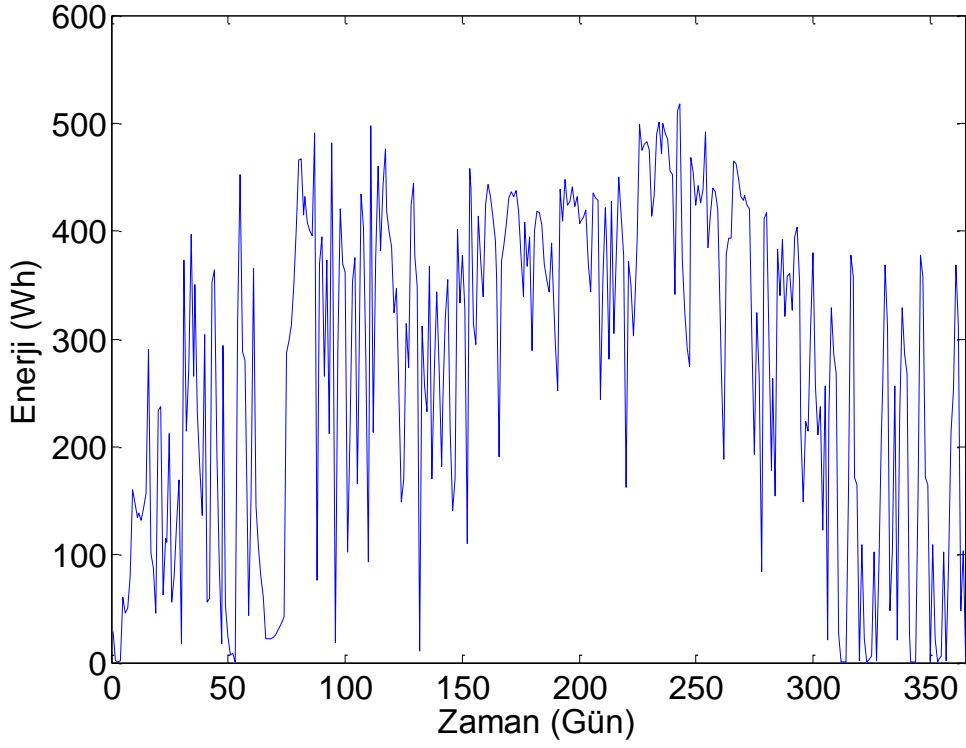
Şekil 4.3 Sabit monokristal güneş panelinin 1 yıllık üretimi.



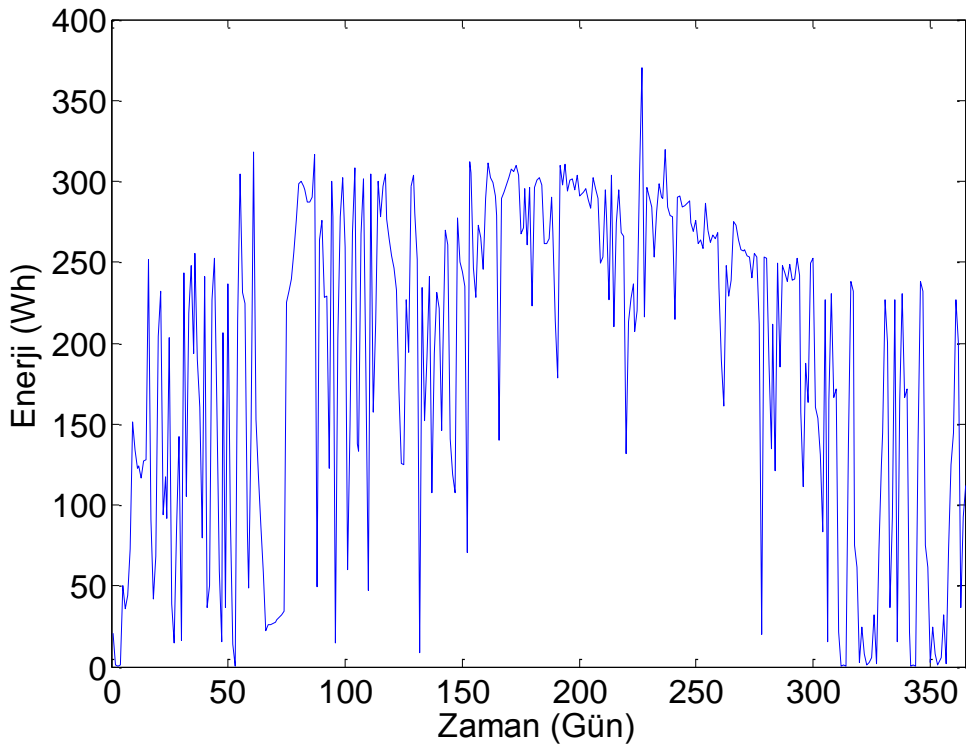
Şekil 4.4 Hareketli incefilm güneş panelinin 1 yıllık üretimi.



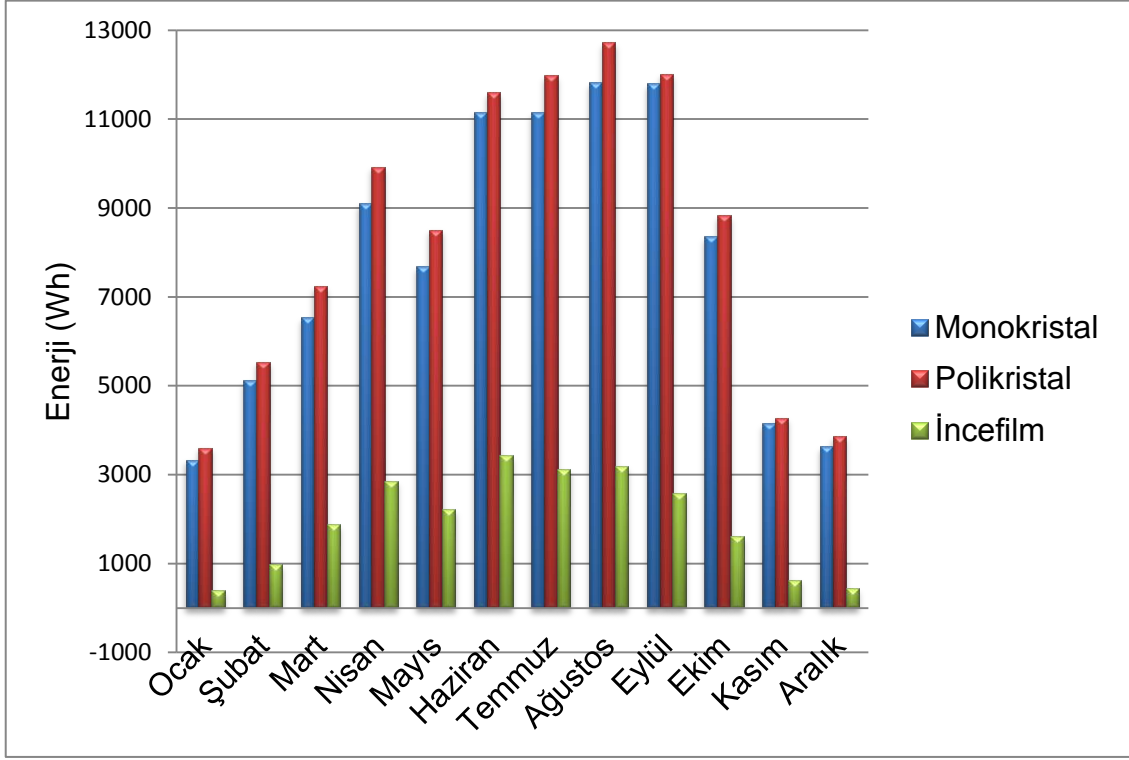
Şekil 4.5 Sabit incefilm güneş panelinin 1 yıllık üretimi.



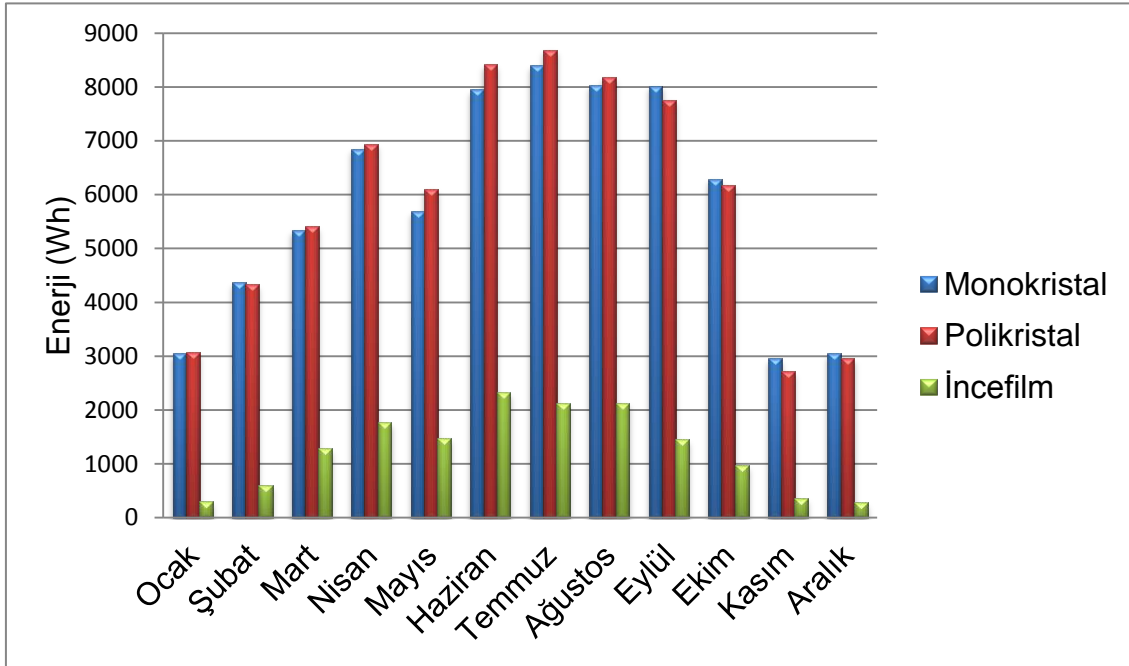
Şekil 4.6 Hareketli polikristal güneş panelinin 1 yıllık üretimi.



Şekil 4.7 Sabit polikristal güneş panelinin 1 yıllık üretimi.



Şekil 4.8 Hareketli güneş panellerinin 1 yıllık toplam üretimleri.

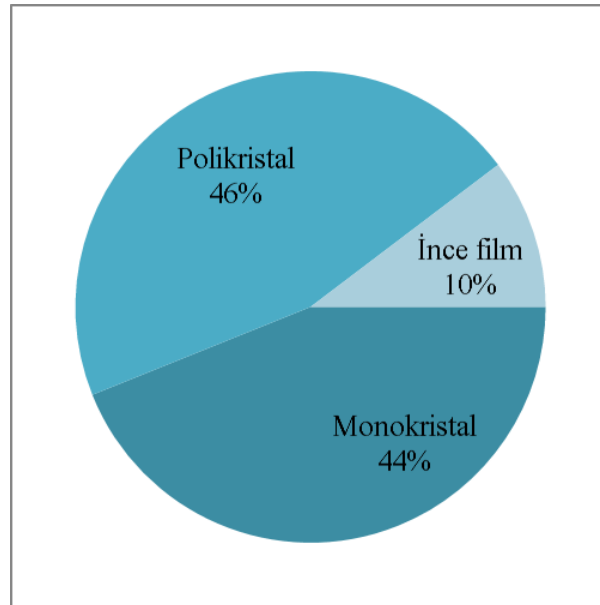


Şekil 4.9 Sabit güneş panellerinin 1 yıllık toplam üretimleri.

Çizelge 4. 1 Hareketli ve sabit güneş panellerinin toplam üretimleri.

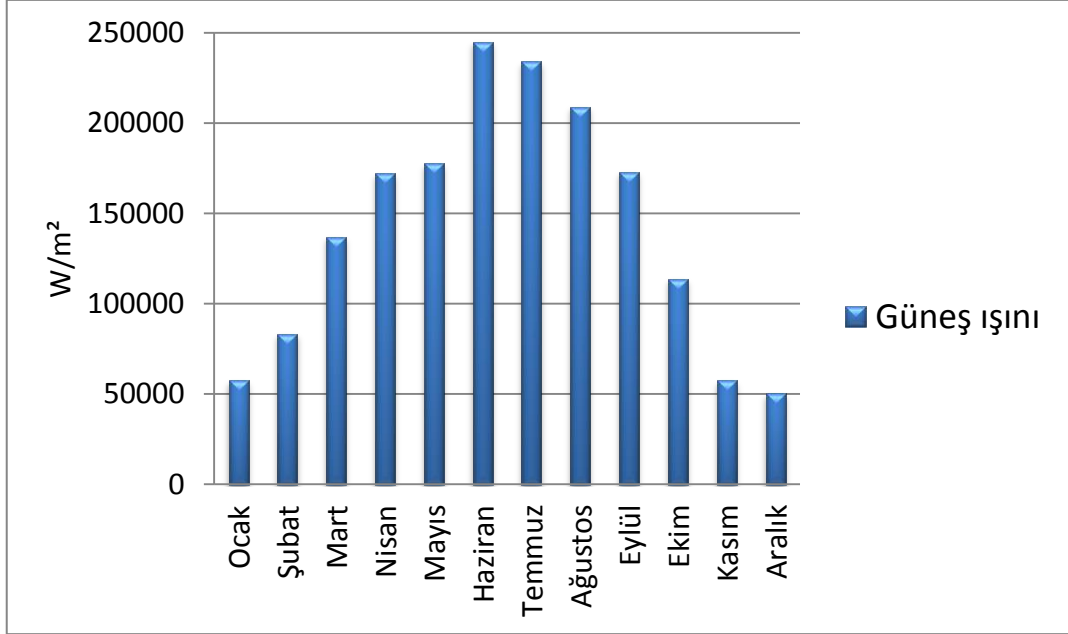
Aylar	TOPLAM ÜRETİMLER					
	Hareketli			Sabit		
	Monokristal	İncefilm	Polikristal	Monokristal	İncefilm	Polikristal
Ocak	3332	401	3604	3049	300	3066
Şubat	5113	980	5536	4361	593	4336
Mart	6548	1889	7241	5337	1280	5407
Nisan	9105	2863	9922	6844	1767	6937
Mayıs	7689	2221	8508	5686	1480	6106
Haziran	11167	3428	11595	7953	2320	8409
Temmuz	11155	3120	11977	8404	2123	8684
Ağustos	11832	3196	12730	8032	2127	8183
Eylül	11801	2589	12018	8020	1452	7758
Ekim	8369	1607	8834	6289	967	6178
Kasım	4152	638	4282	2951	355	2718
Aralık	3641	442	3855	3053	285	2958
Toplam	93903	23373	100102	69980	15049	70740

Şekil 4.1 – 4.9 ve Çizelge 4.1 incelendiğinde hareketli panellerin sabit panellere göre üretimlerinin önemli ölçüde arttığı görülmektedir. Ayrıca yaz aylarına doğru, havaların güneşli olması nedeniyle kış aylarına nazaran üretimlerin önemli ölçüde arttığı görülmektedir.



Şekil 4.10 Hareketli ve sabit güneş panellerinin toplam üretimlerinin yüzdelik dağılımı.

Şekil 4.10' a bakıldığında en düşük üretimin ince film, en yüksek üretimin ise polikristal güneş panelin de gerçekleştiği görülmektedir. Ayrıca monokristal güneş panelinin üretiminin polikristal güneş panelinin üretimine çok yakın olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 4.11 Yıllık toplam güneş ışınım verileri.

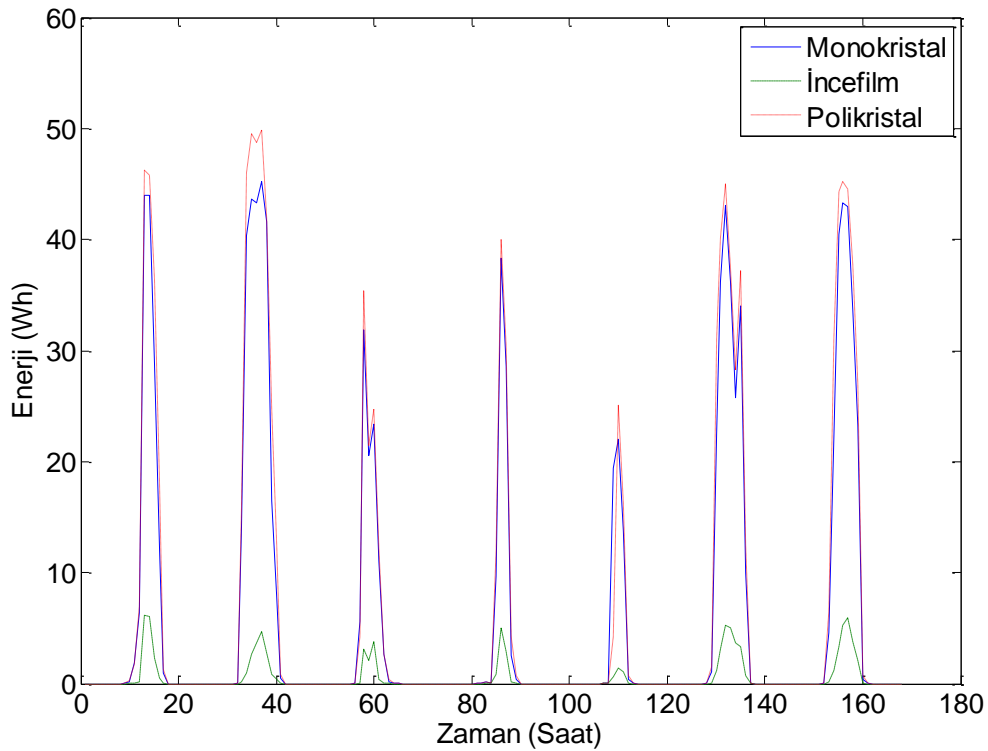
Çizelge 4.2 Hareketli güneş panelinin sabit panellere göre üretim artışı.

AYLAR	PANEL TÜRÜ		
	Monokristal	Polikristal	İncefilm
Ocak	% 9.3	% 17.5	% 33.7
Şubat	% 17.2	% 27.7	% 65.3
Mart	% 22.7	% 33.9	% 47.6
Nisan	% 33.0	% 43.0	% 62.0
Mayıs	% 35.2	% 39.3	% 49.9
Haziran	% 40.4	% 37.9	% 47.8
Temmuz	% 32.8	% 37.9	% 47.0
Ağustos	% 43.7	% 48.4	% 50.3
Eylül	% 47.1	% 54.9	% 78.3
Ekim	% 33.1	% 43.0	% 66.2
Kasım	% 40.7	% 57.5	% 79.7
Aralık	% 19.3	% 30.3	% 55.1
Toplam	% 34.2	% 41.5	% 55.3

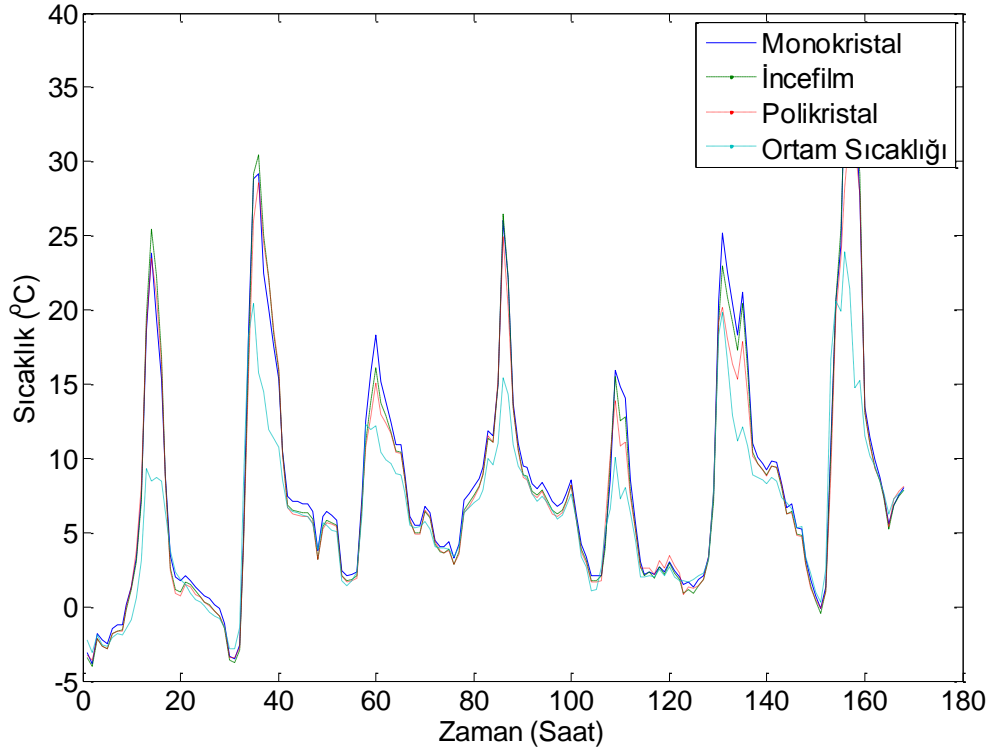
Hareketli güneş panellerinin sabit güneş panellerine göre ne kadar fazla üretim yaptığı yüzdelik dilimlerle çizelge 4.2’ de verilmiştir. Çizelge incelediğinde güneş panellerinin güneşi takip etmeleri durumunda üretim artışları önemli ölçüde arttığı görülmektedir. Güneşin takip edilmesi durumunda sabit panele göre en fazla üretim artışı ise ince film güneş panelinde görülmüştür. İnce film güneş panelinde sonraki en fazla artış ise polikristal güneş panelinde meydana gelmektedir.

4.2 Hareketli ve Sabit Güneş panellerinin Üretimleri ve Sıcaklık ile İlişkisi

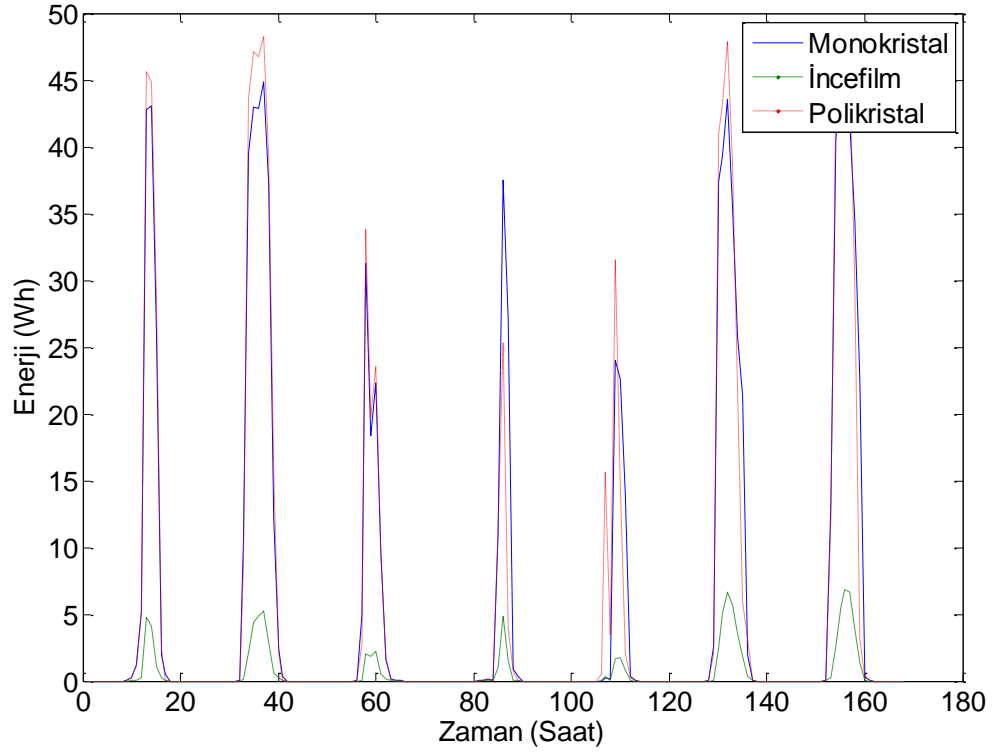
Hareketli ve sabit güneş panellerinin üretimleri ve panellerin yüzey sıcaklıklarının her ay için birer haftalık değişimleri aşağıda sunulmuştur.



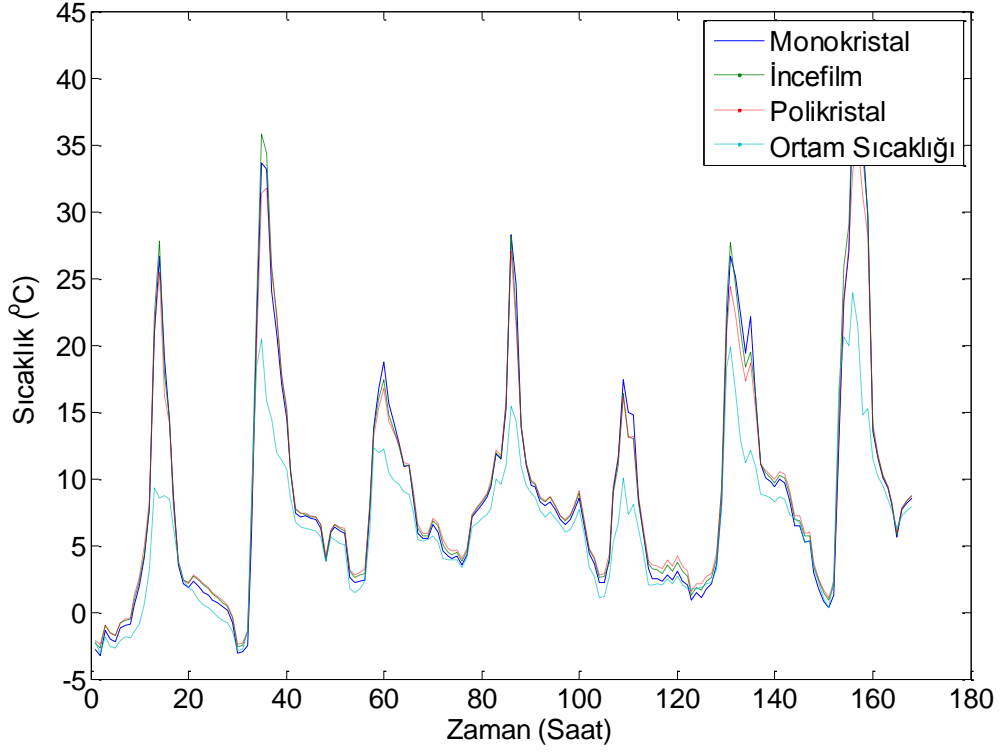
Şekil 4.12 Hareketli güneş panellerinin Ocak ayındaki 1 haftalık üretimleri.



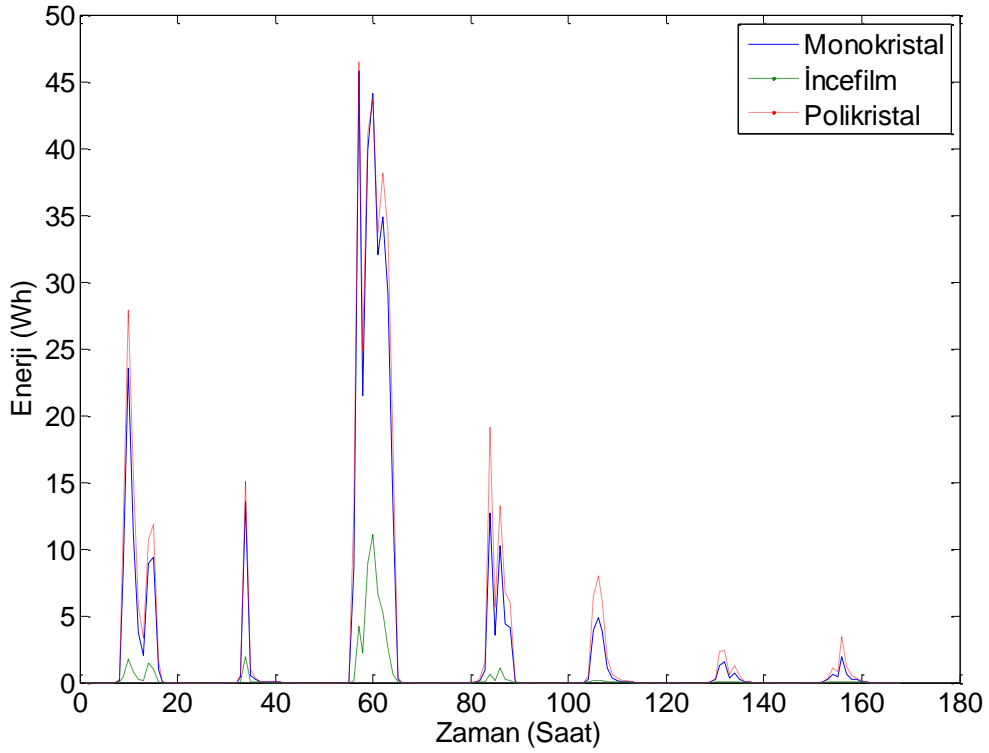
Şekil 4.13 Hareketli güneş panellerinin Ocak ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.



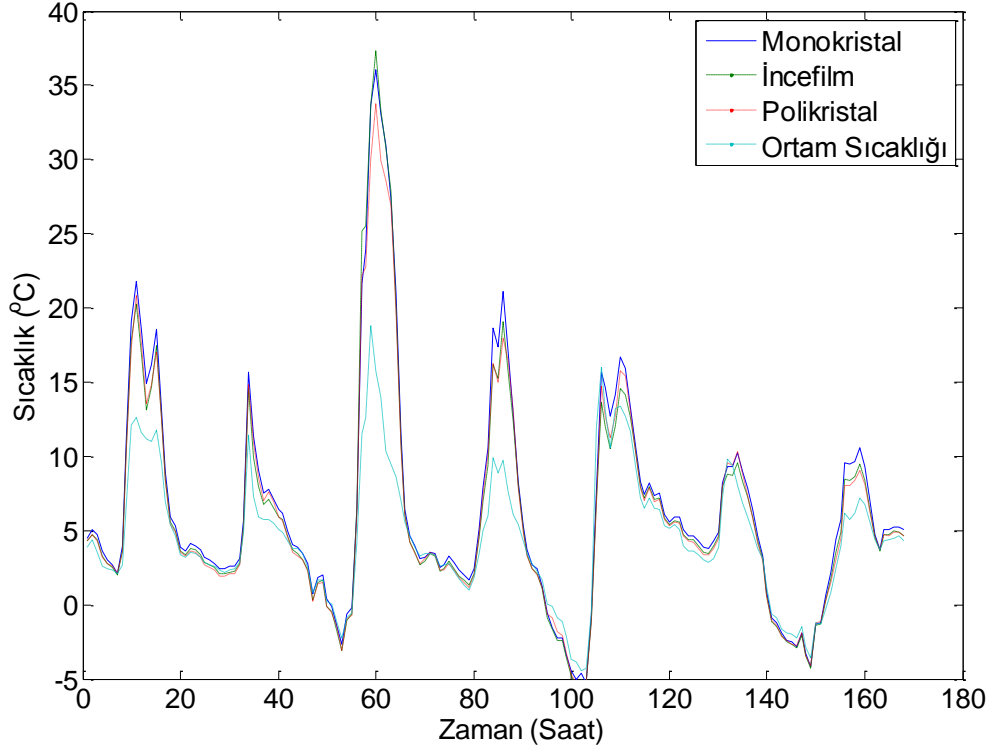
Şekil 4.14 Sabit güneş panellerinin Ocak ayındaki 1 haftalık üretimleri.



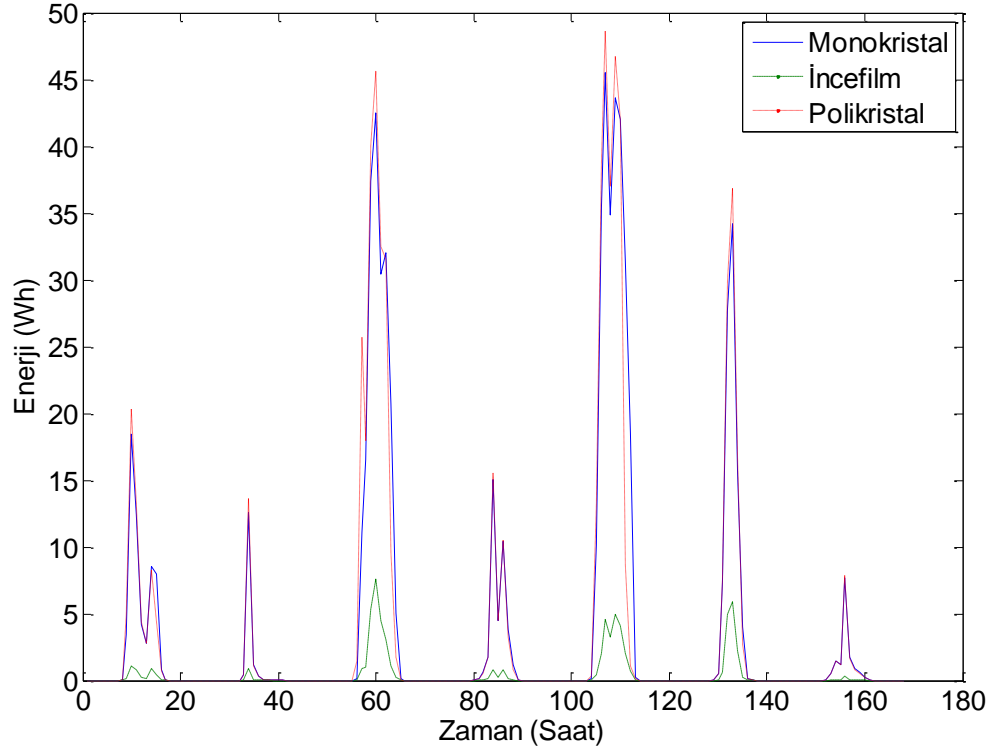
Şekil 4.15 Sabit güneş panellerinin Ocak ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.



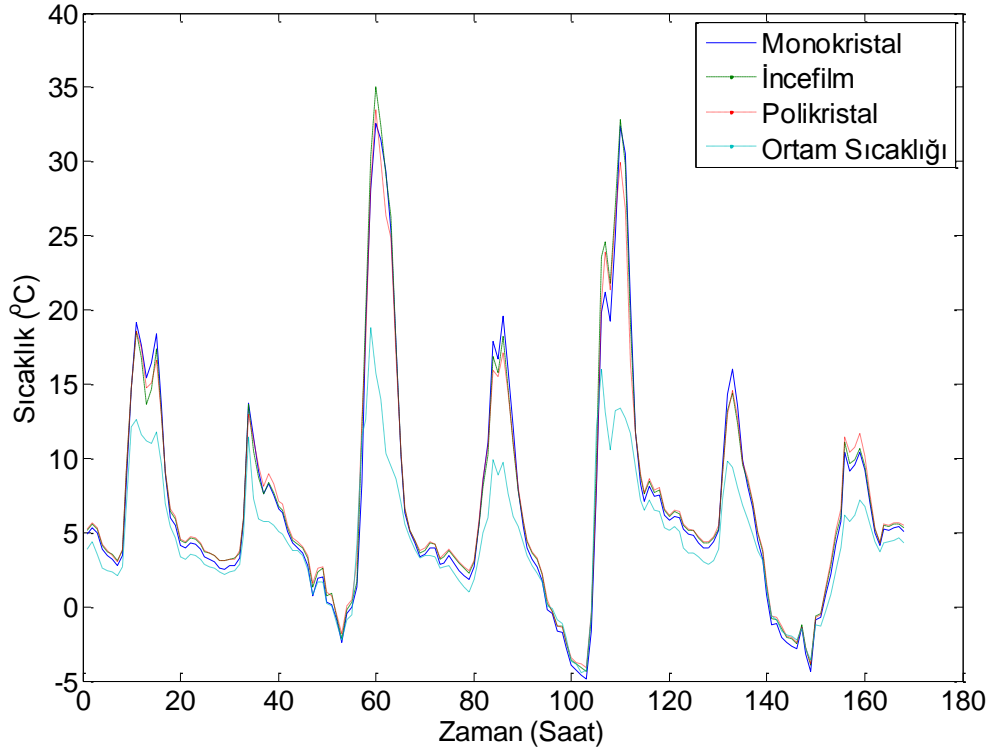
Şekil 4.16 Hareketli güneş panellerinin Şubat ayındaki 1 haftalık üretimleri.



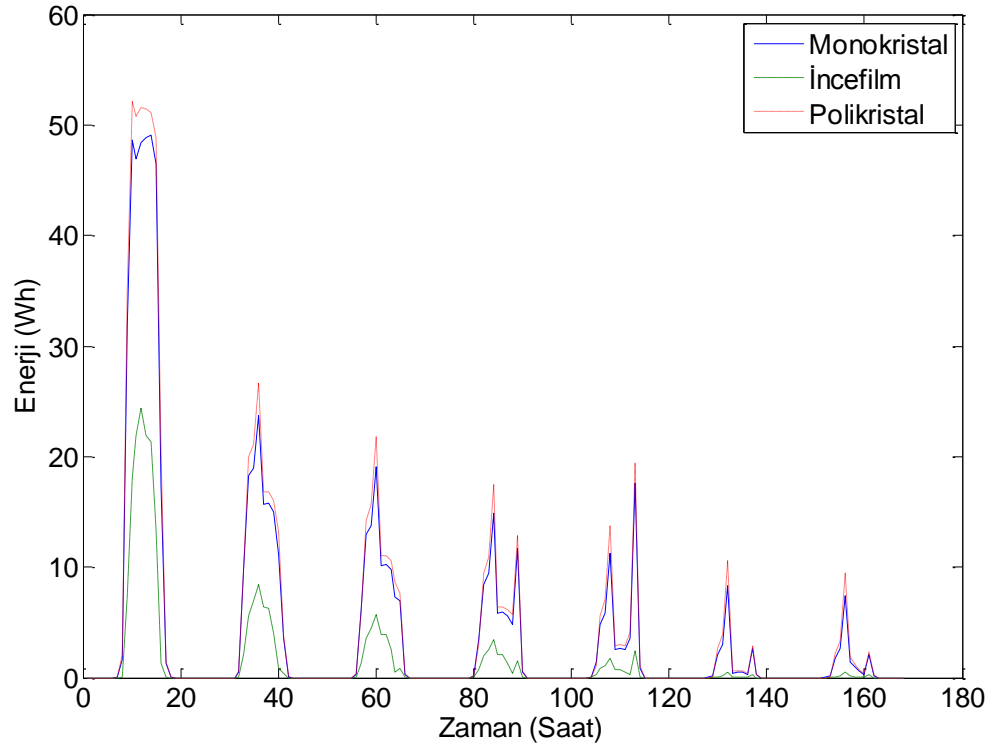
Şekil 4.17 Hareketli güneş panellerinin Şubat ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.



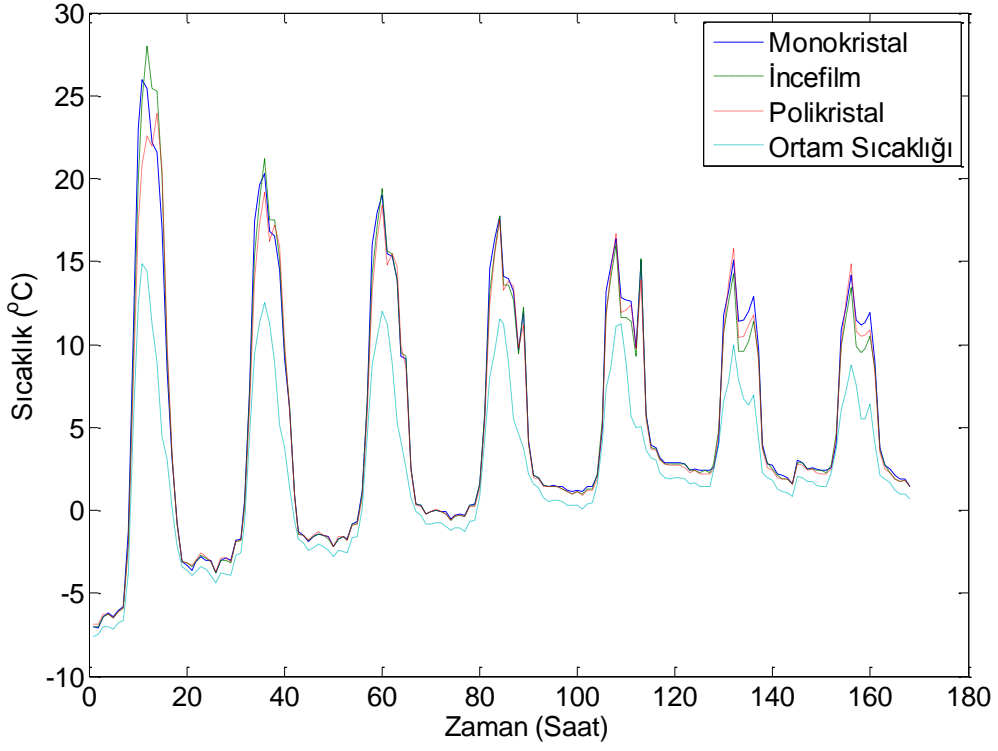
Şekil 4.18 Sabit güneş panellerinin Şubat ayındaki 1 haftalık üretimleri.



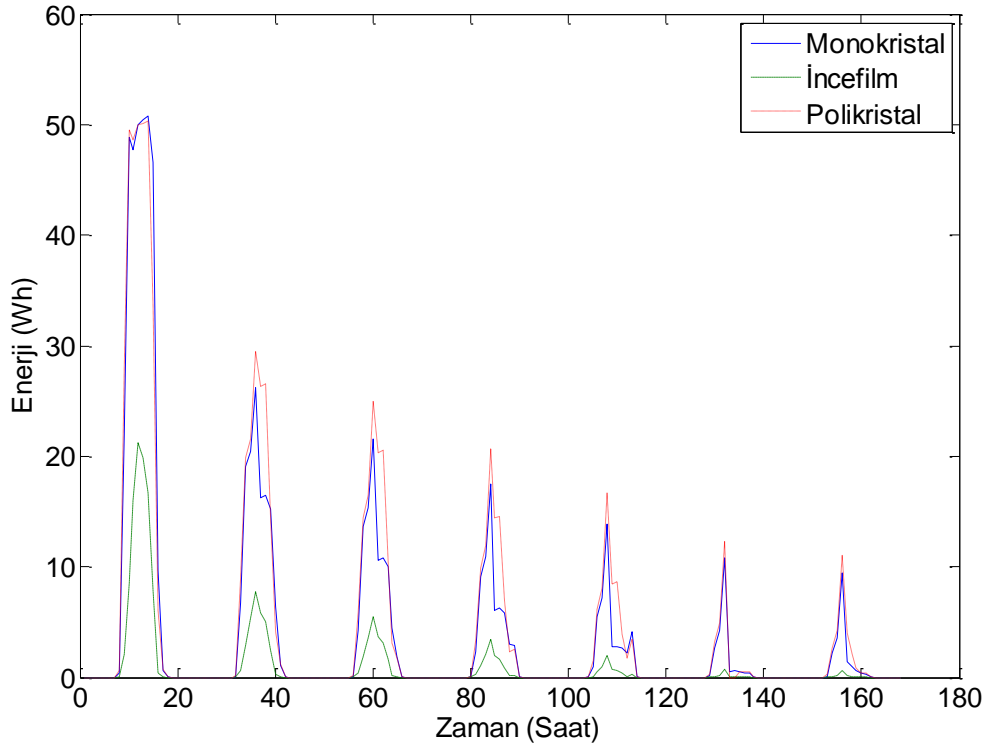
Şekil 4.19 Sabit güneş panellerinin Şubat ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.



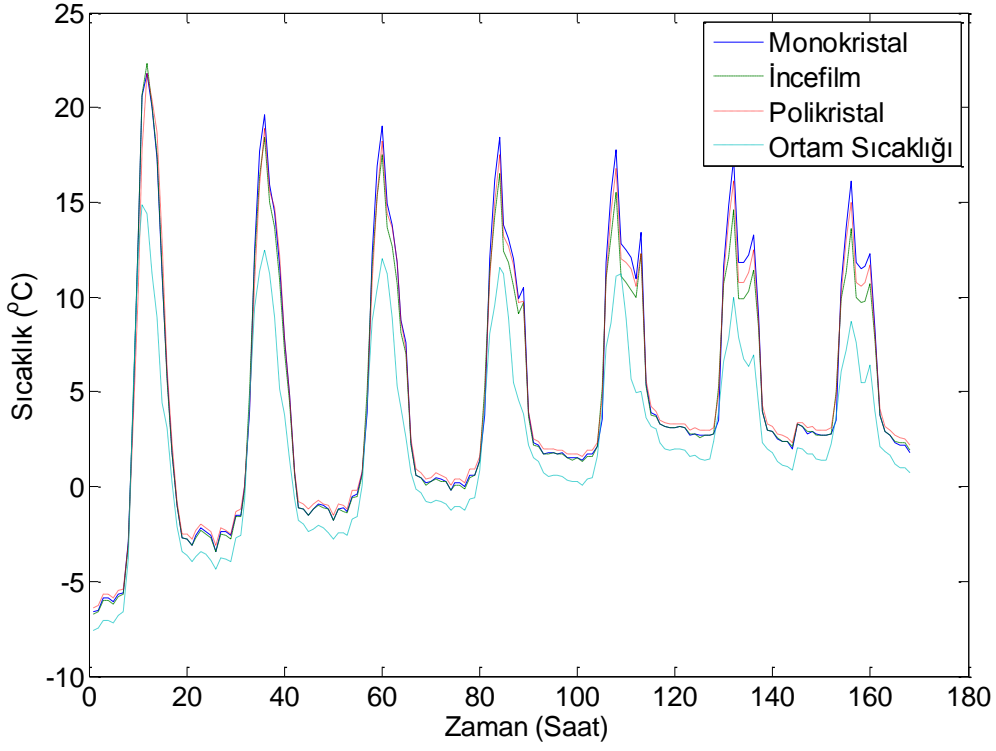
Şekil 4.20 Hareketli güneş panellerinin Mart ayındaki 1 haftalık üretimleri.



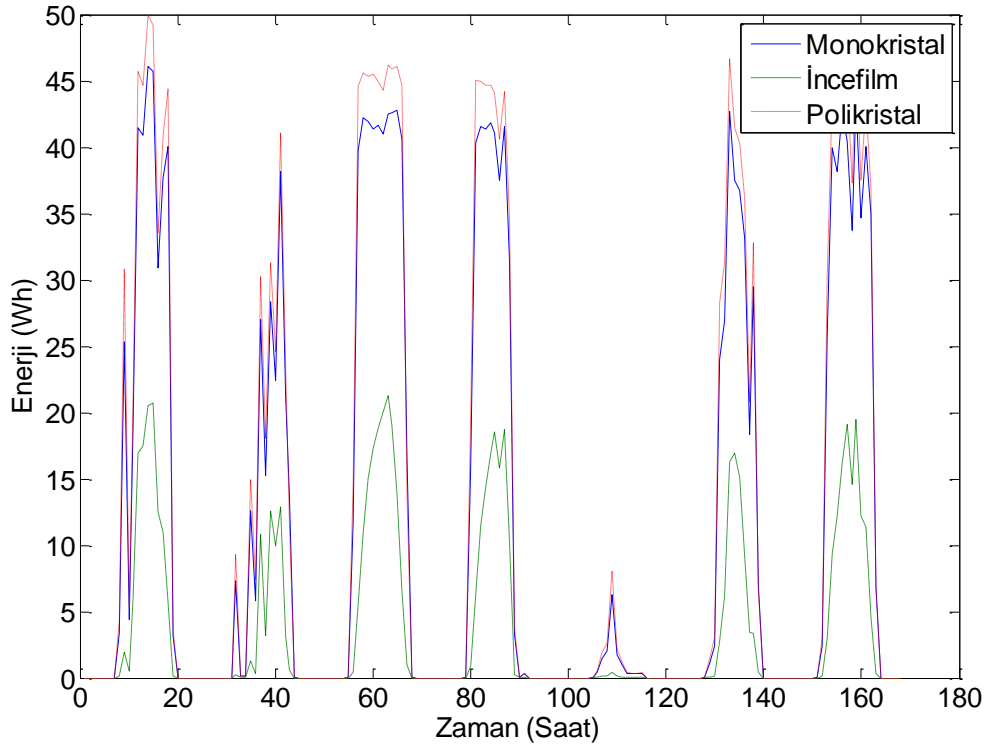
Şekil 4.21 Hareketli güneş panellerinin Mart ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.



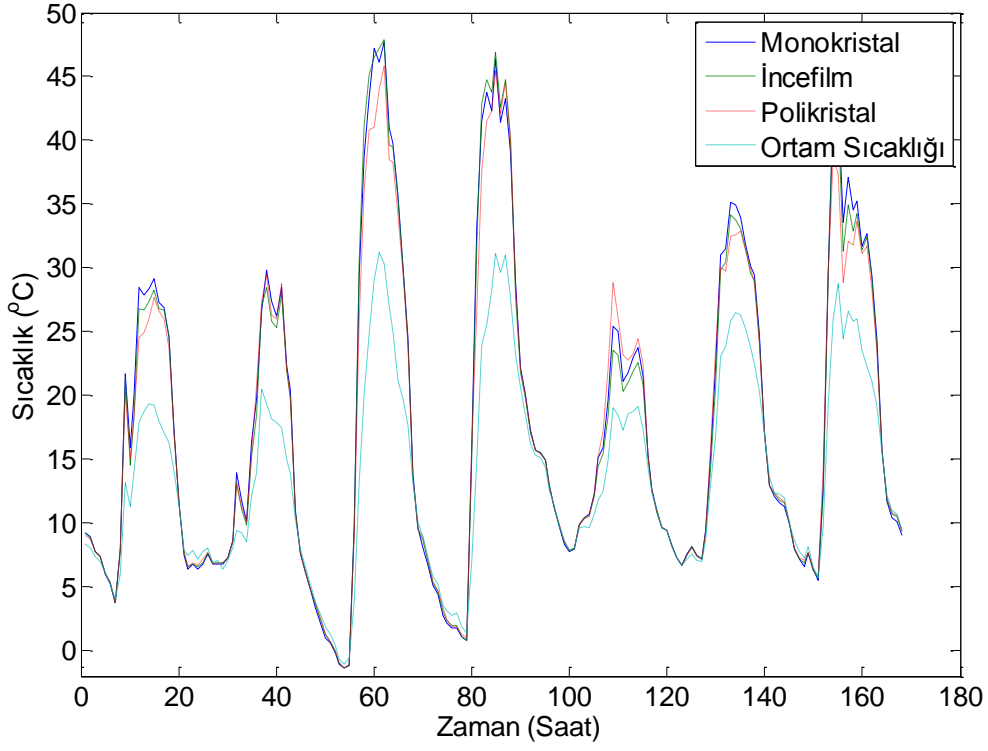
Şekil 4.22 Sabit güneş panellerinin Mart ayındaki 1 haftalık üretimleri.



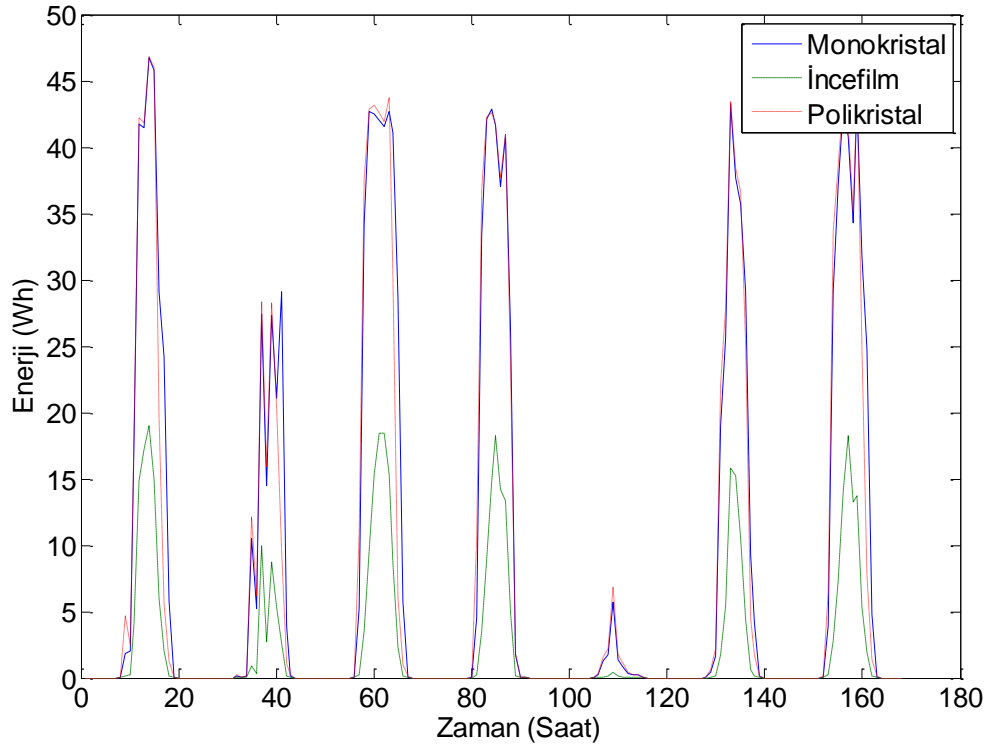
Şekil 4.23 Sabit güneş panellerinin Mart ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.



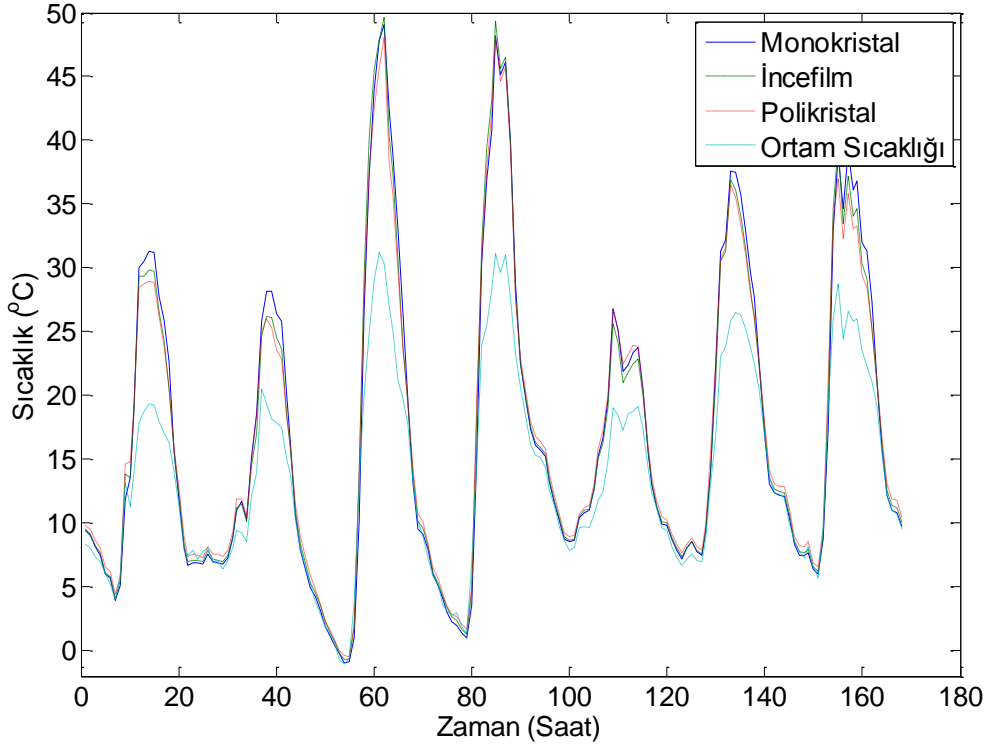
Şekil 4.24 Hareketli güneş panellerinin Nisan ayındaki 1 haftalık üretimleri.



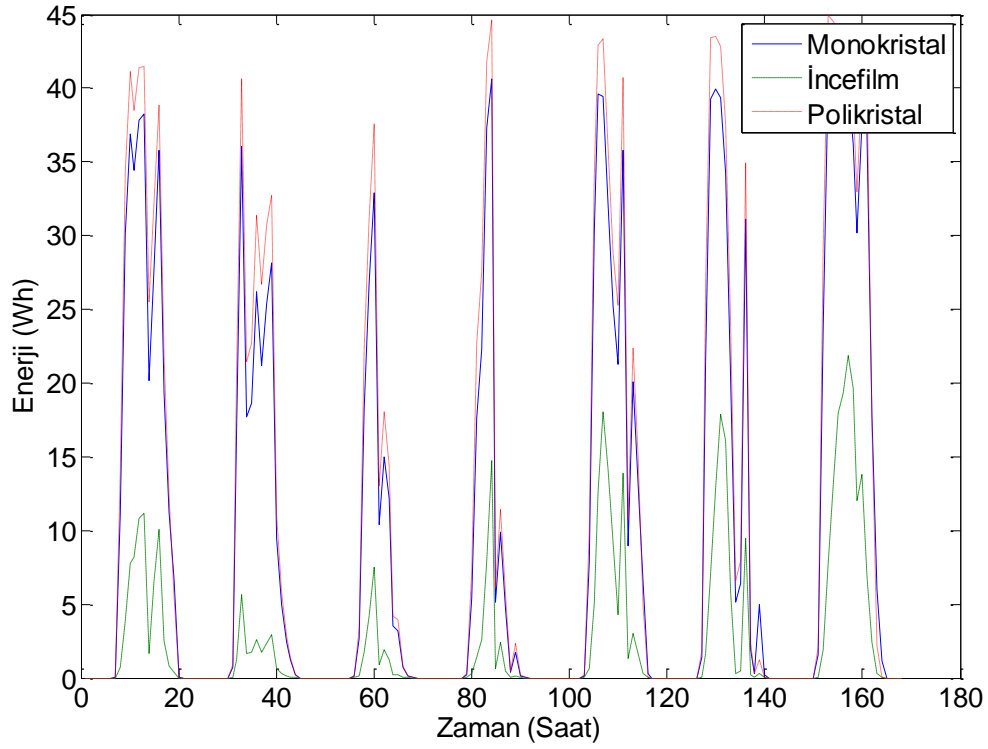
Şekil 4.25 Hareketli güneş panellerinin Nisan ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.



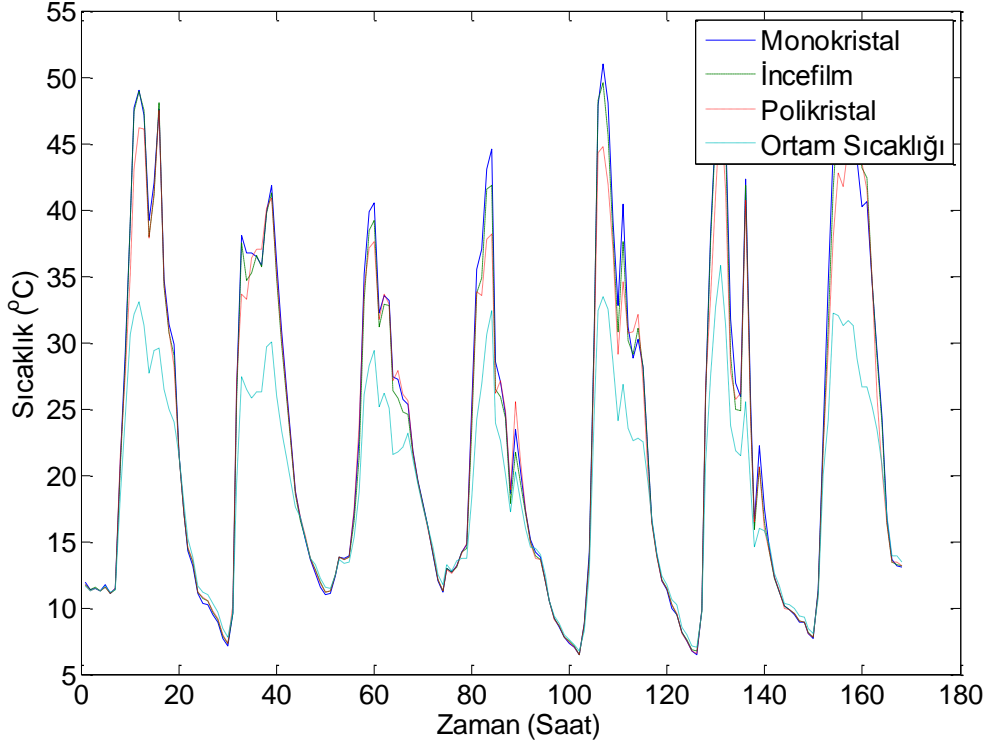
Şekil 4.26 Sabit güneş panellerinin Nisan ayındaki 1 haftalık üretimleri.



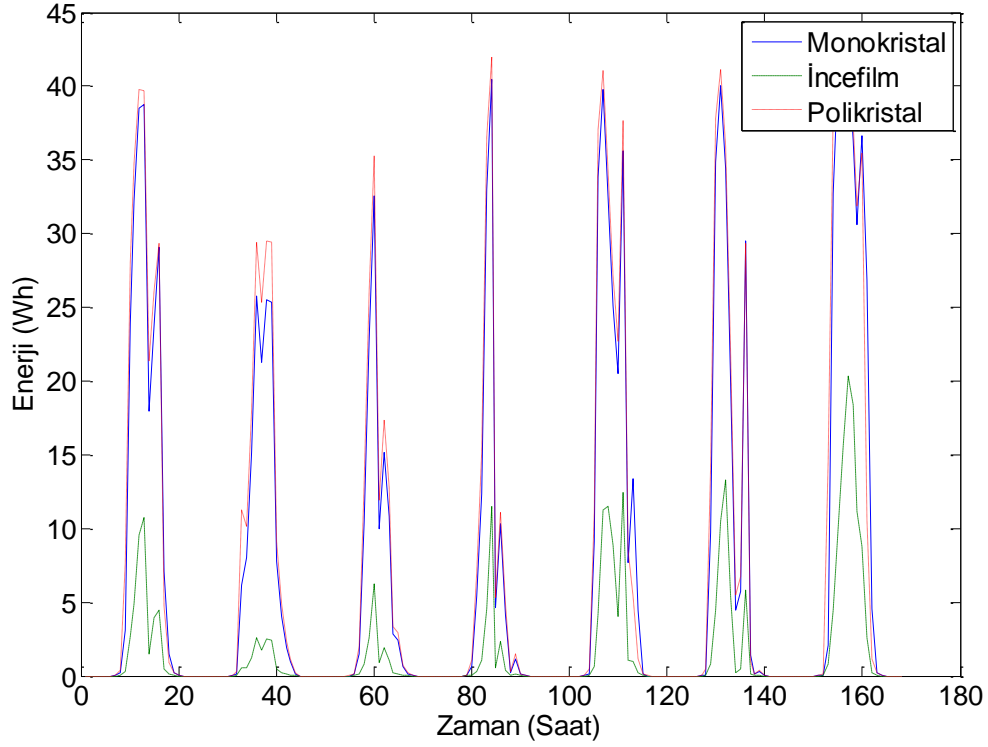
Şekil 4.27 Sabit güneş panellerinin Nisan ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.



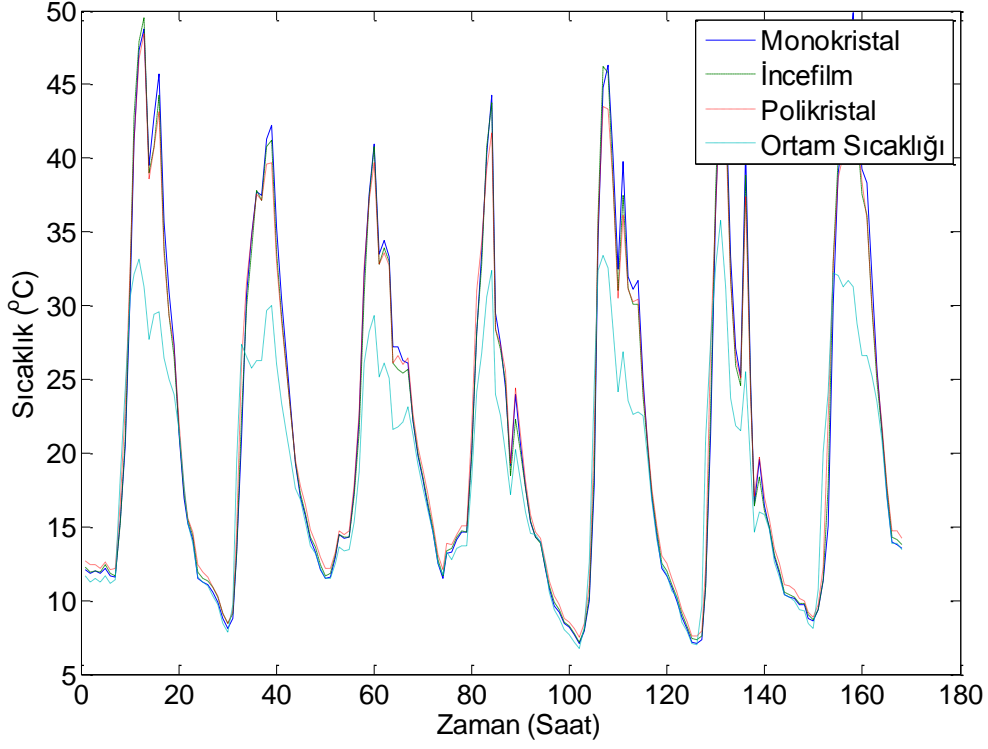
Şekil 4.28 Hareketli güneş panellerinin Mayıs ayındaki 1 haftalık üretimleri.



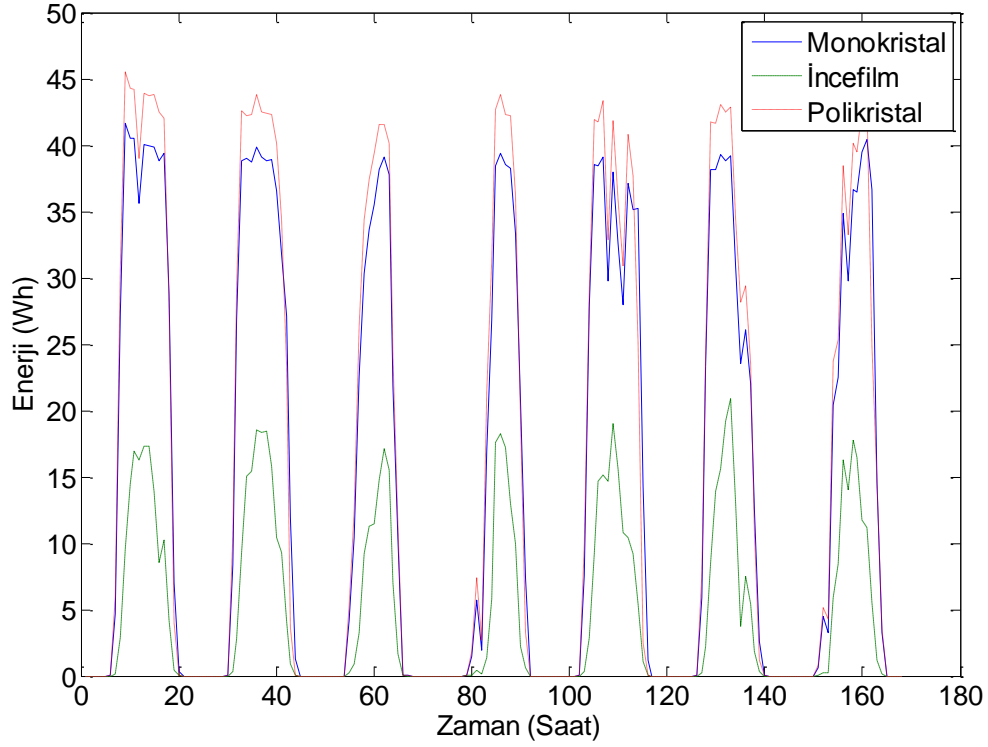
Şekil 4.29 Hareketli güneş panellerinin Mayıs ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.



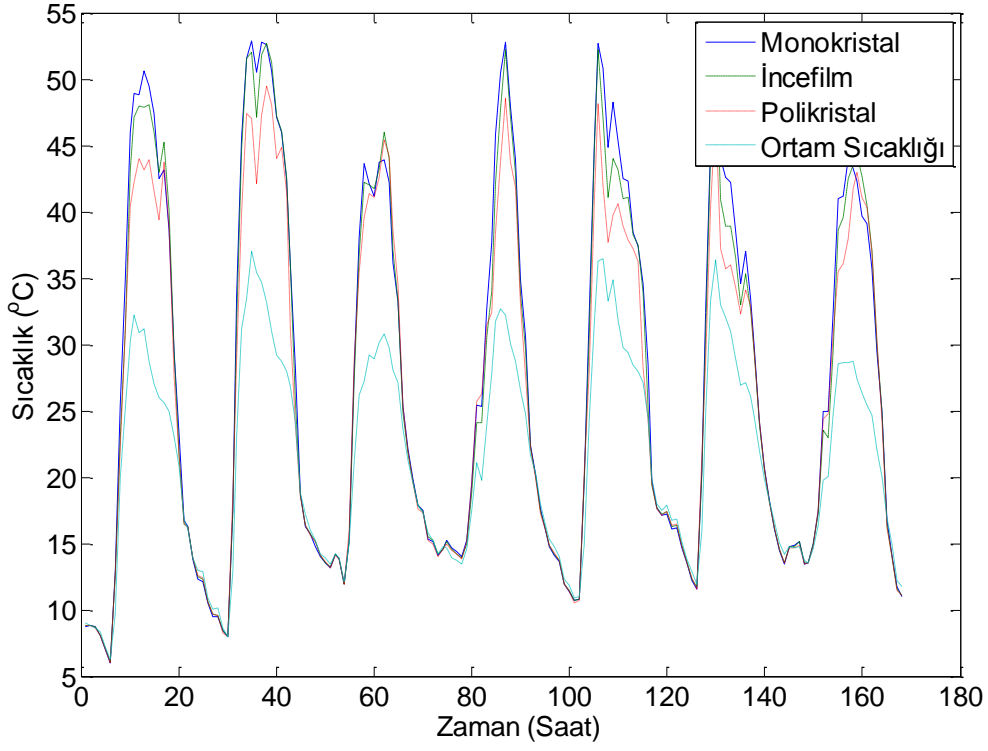
Şekil 4.30 Sabit güneş panellerinin Mayıs ayındaki 1 haftalık üretimleri.



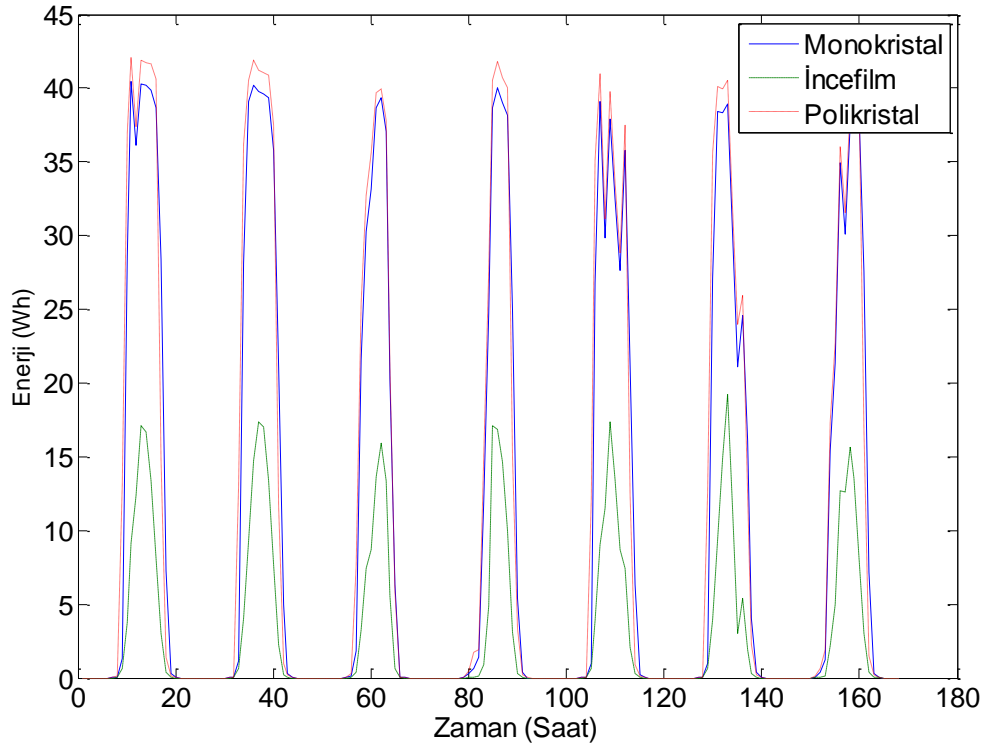
Şekil 4.31 Sabit güneş panellerinin Mayıs ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.



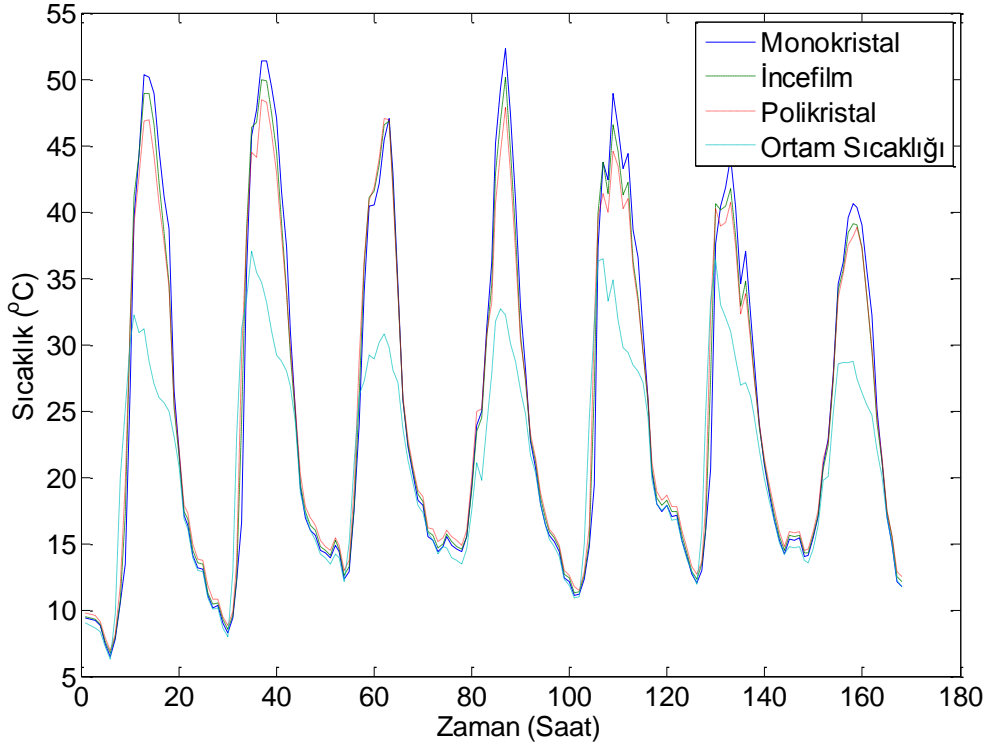
Şekil 4.32 Hareketli güneş panellerinin Haziran ayındaki 1 haftalık üretimleri.



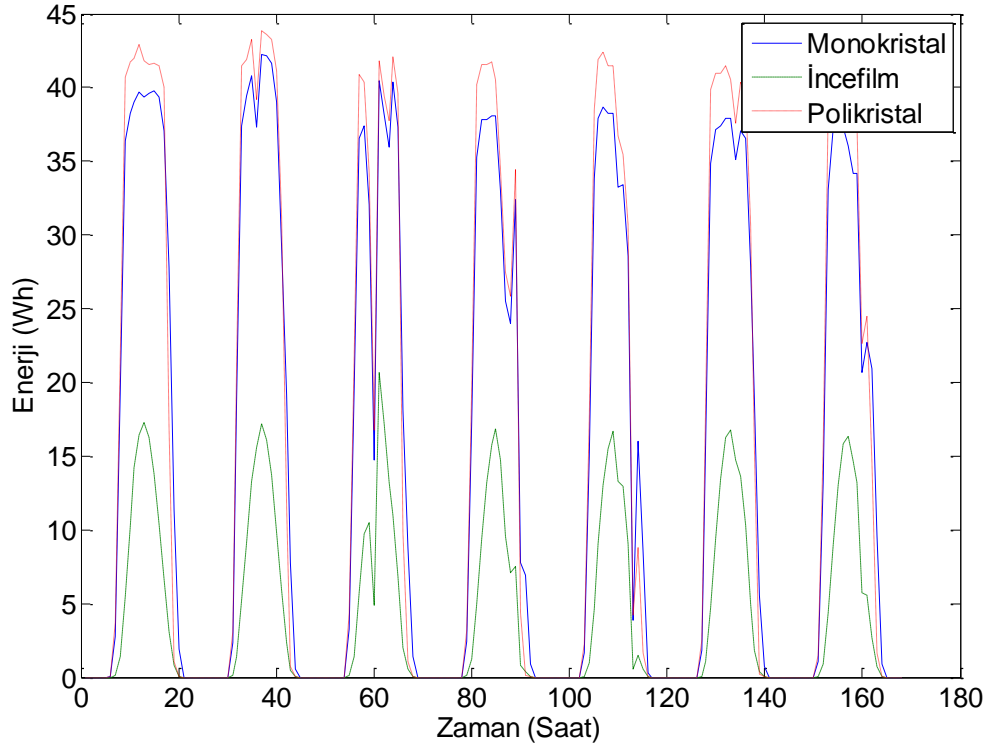
Şekil 4.33 Hareketli güneş panellerinin Haziran ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.



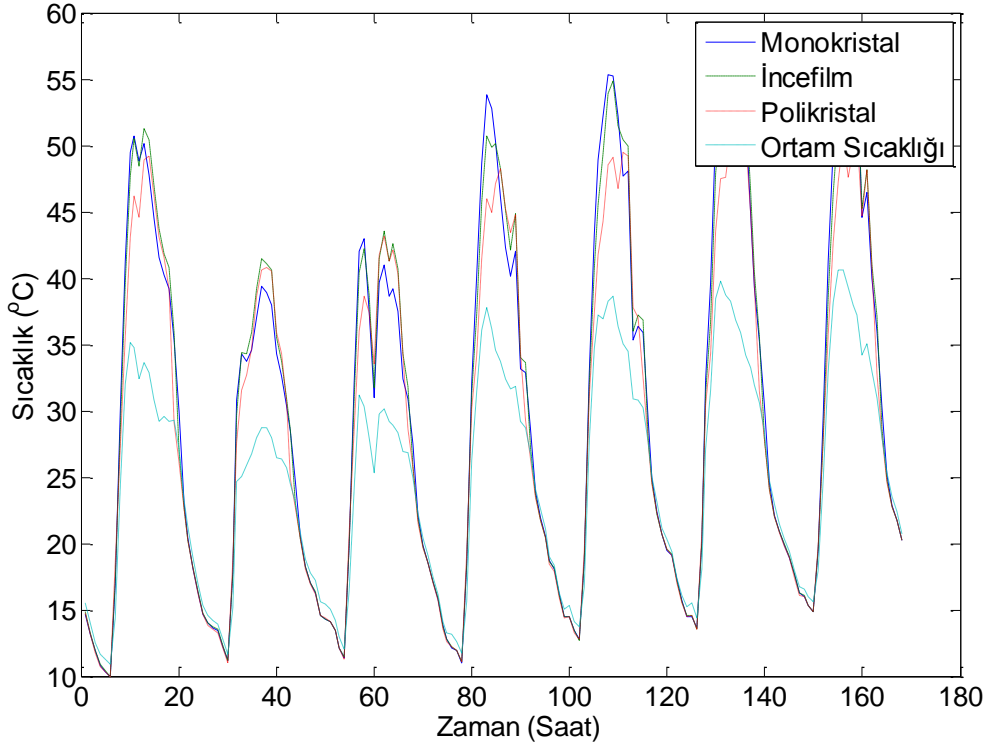
Şekil 4.34 Sabit güneş panellerinin Haziran ayındaki 1 haftalık üretimleri.



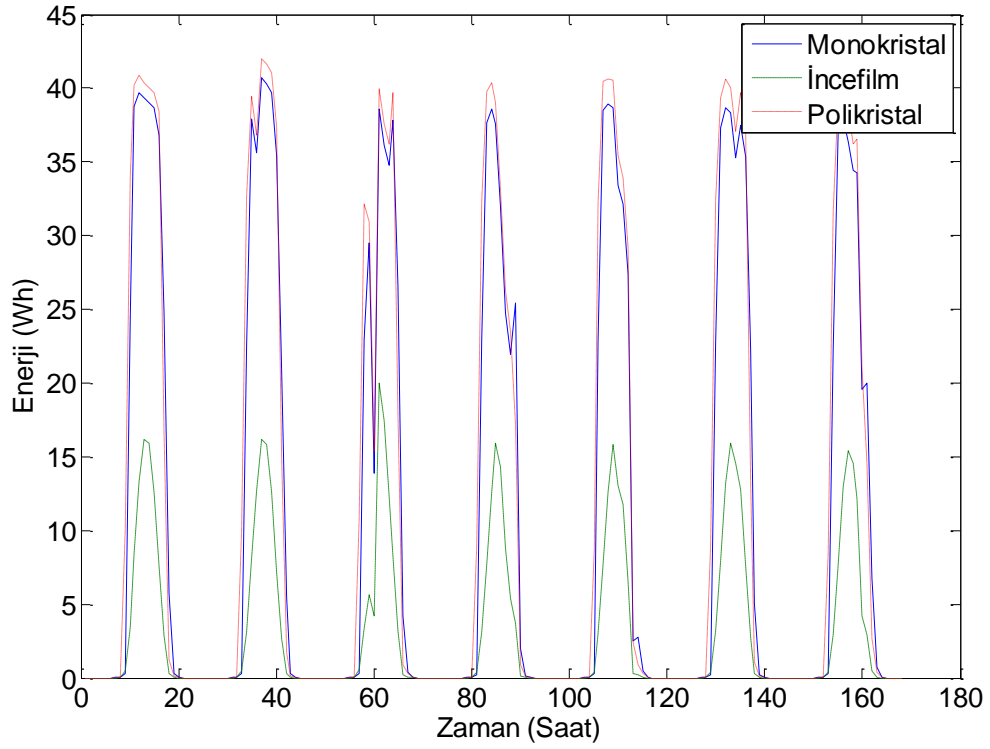
Şekil 4.35 Sabit güneş panellerinin Haziran ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.



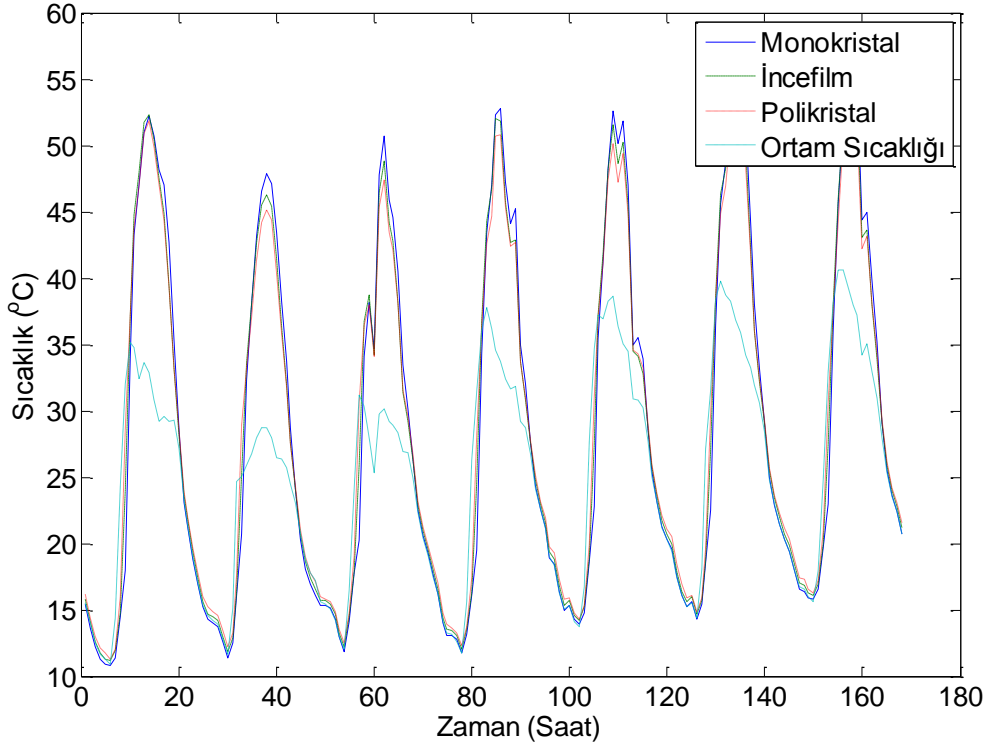
Şekil 4.36 Hareketli güneş panellerinin Temmuz ayındaki 1 haftalık üretimleri.



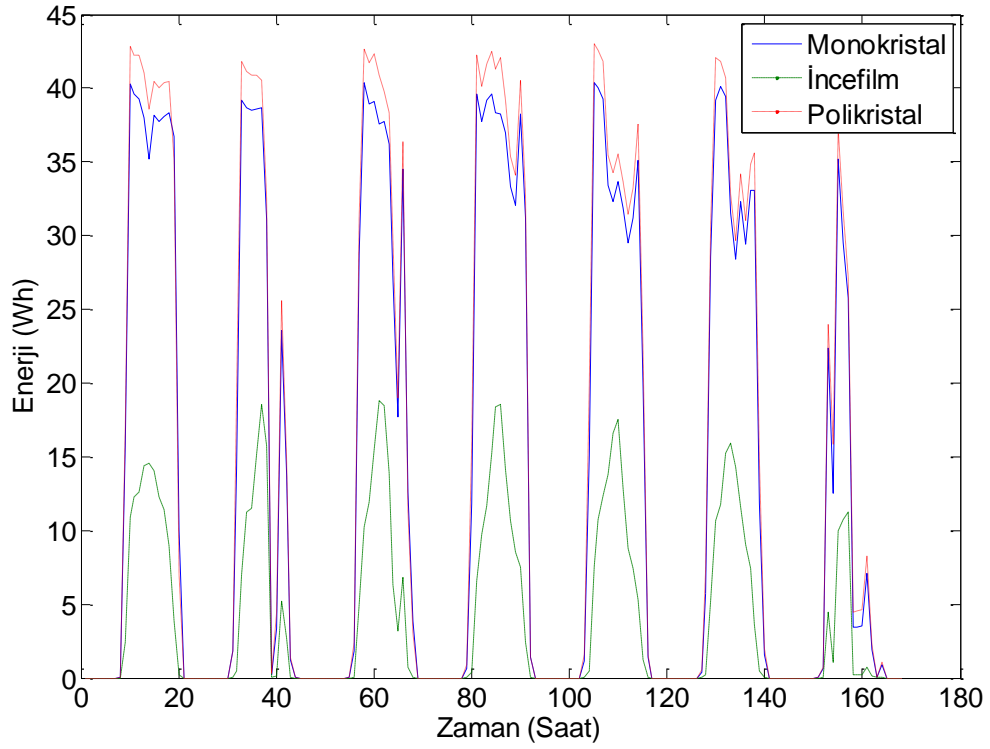
Şekil 4.37 Hareketli güneş panellerinin Temmuz ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.



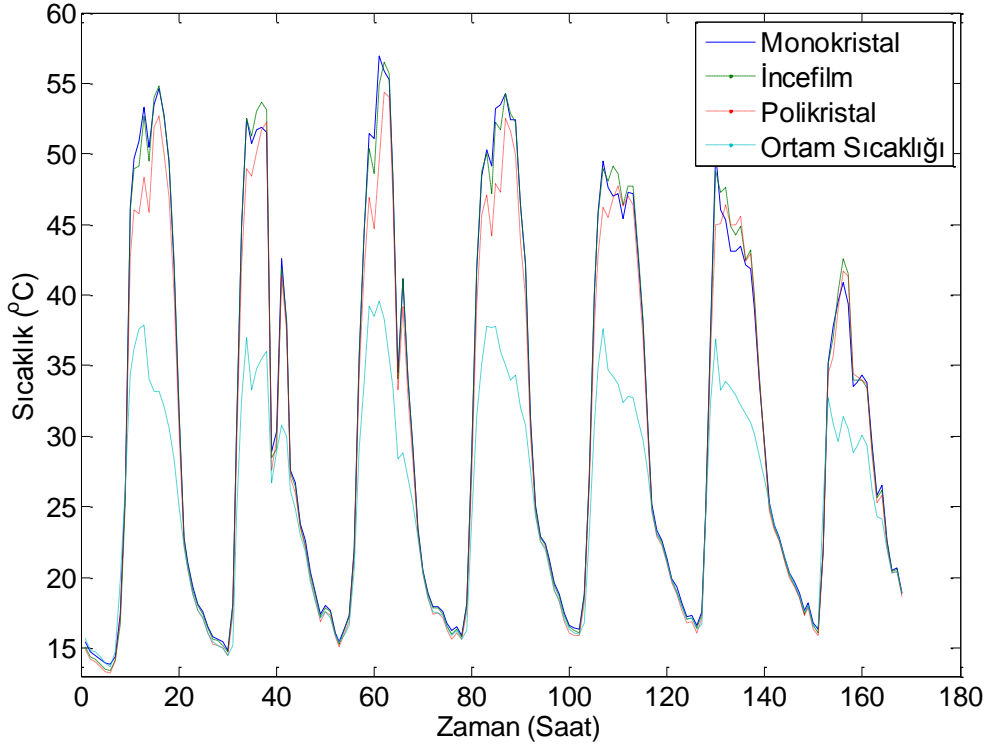
Şekil 4.38 Sabit güneş panellerinin Temmuz ayındaki 1 haftalık üretimleri.



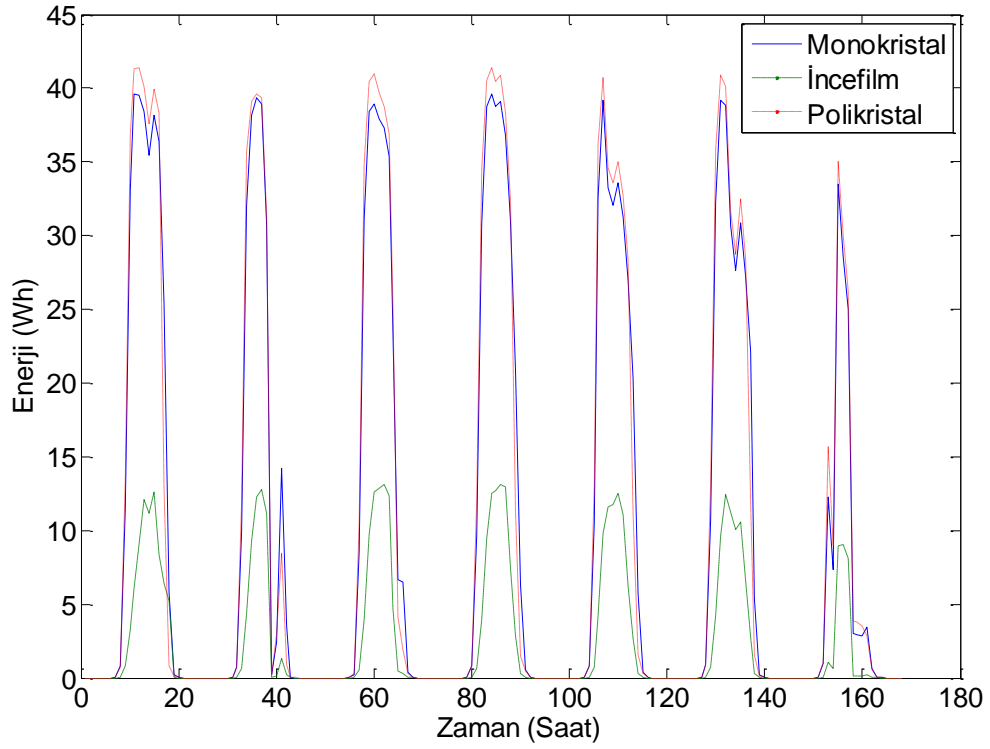
Şekil 4.39 Sabit güneş panellerinin Temmuz ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.



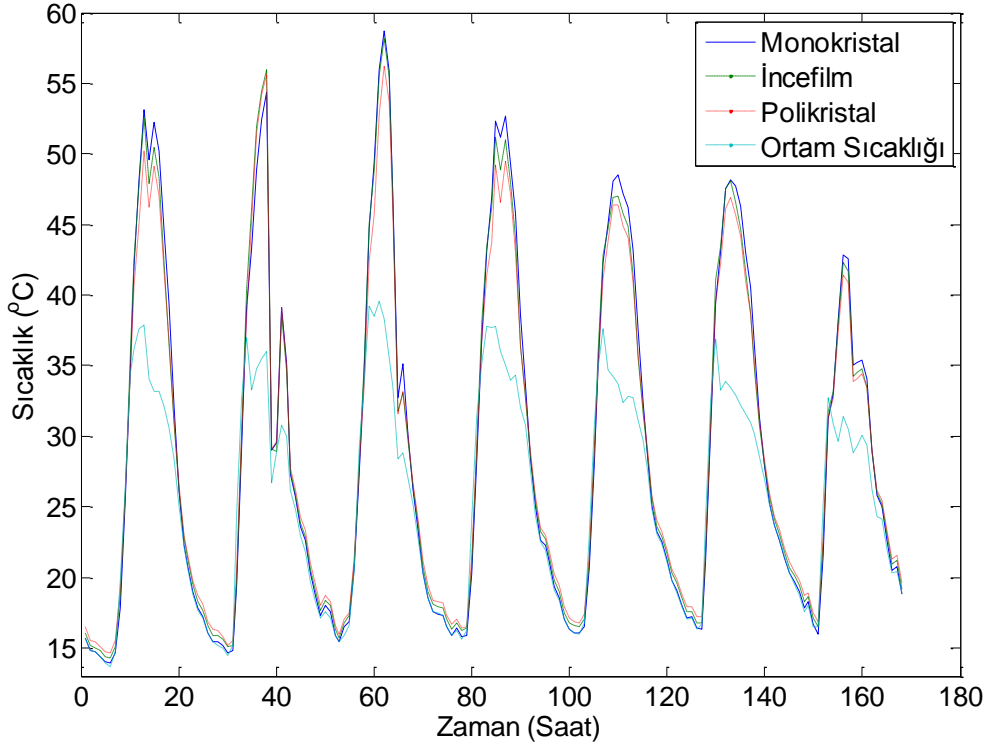
Şekil 4.40 Hareketli güneş panellerinin Ağustos ayındaki 1 haftalık üretimleri.



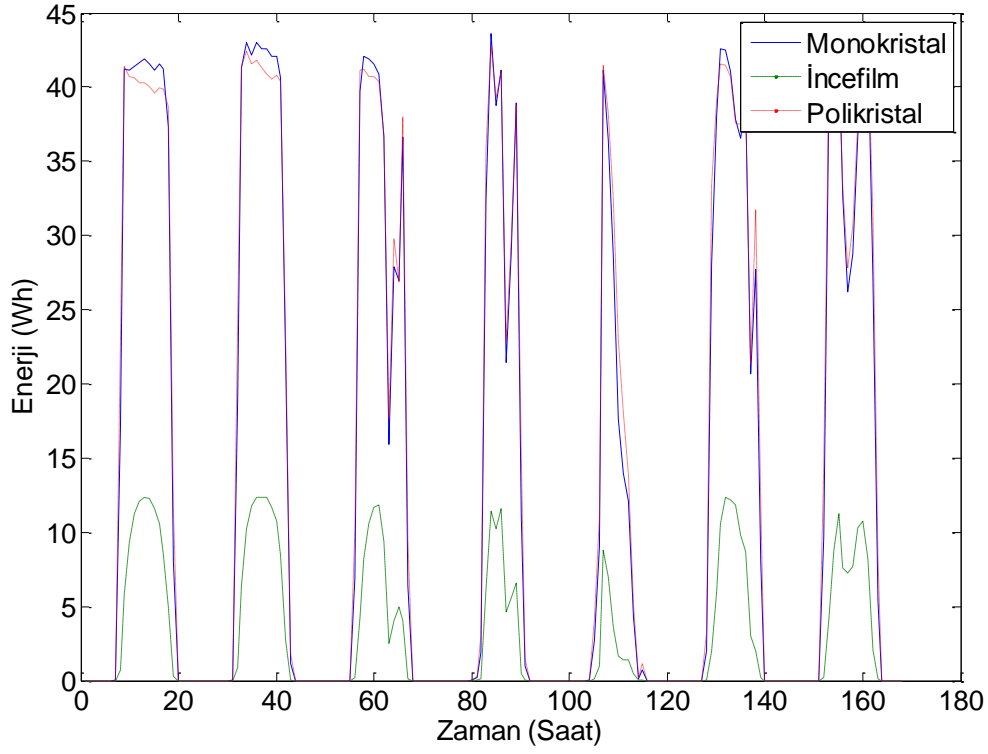
Şekil 4.41 Hareketli güneş panellerinin Ağustos ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.



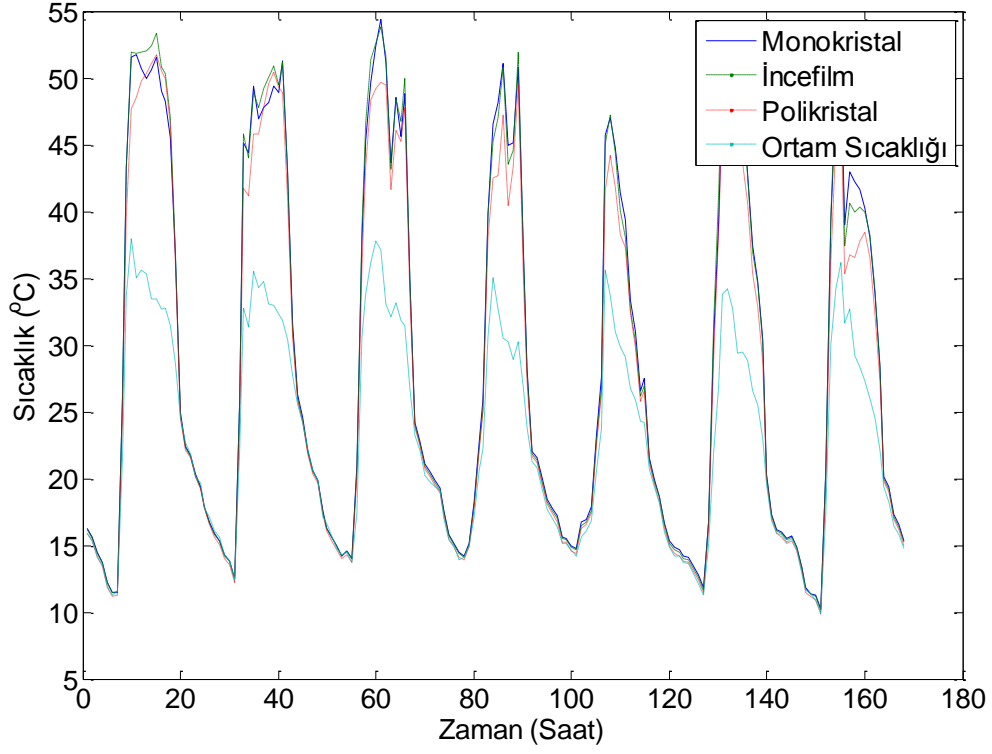
Şekil 4.42 Sabit güneş panellerinin Ağustos ayındaki 1 haftalık üretimleri.



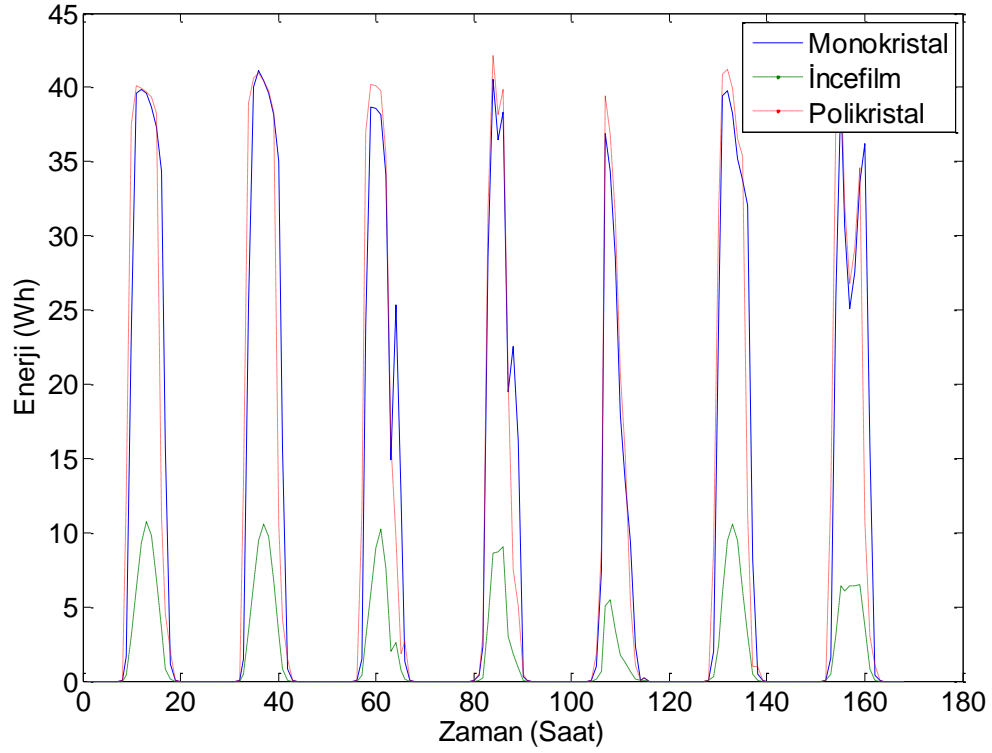
Şekil 4.43 Sabit güneş panellerinin Ağustos ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.



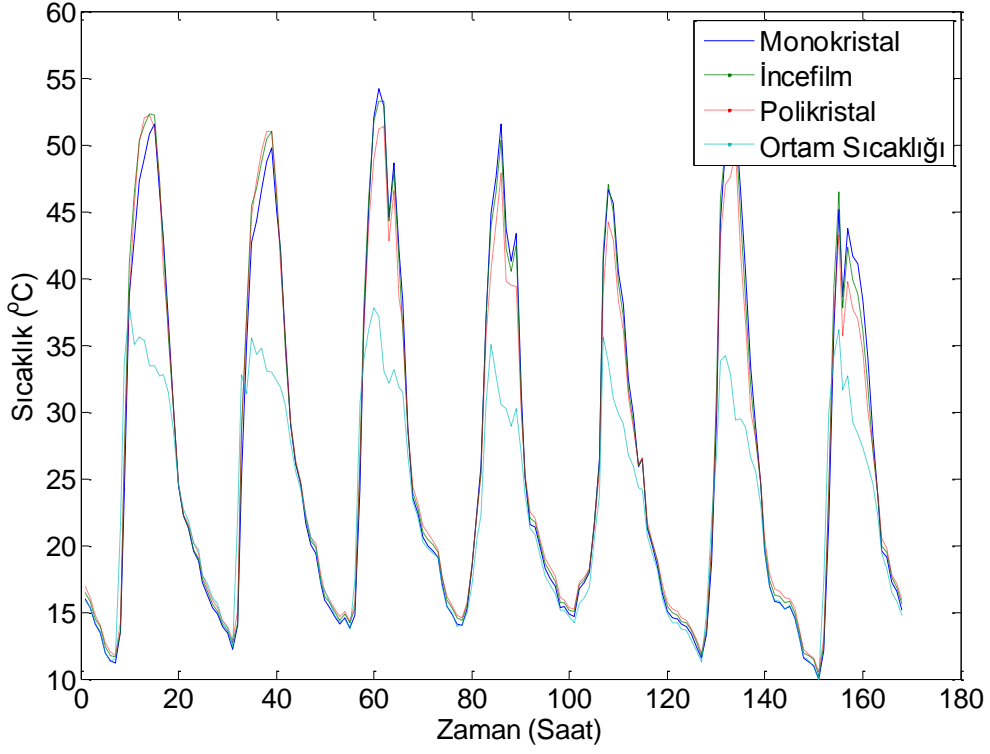
Şekil 4.44 Hareketli güneş panellerinin Eylül ayındaki 1 haftalık üretimleri.



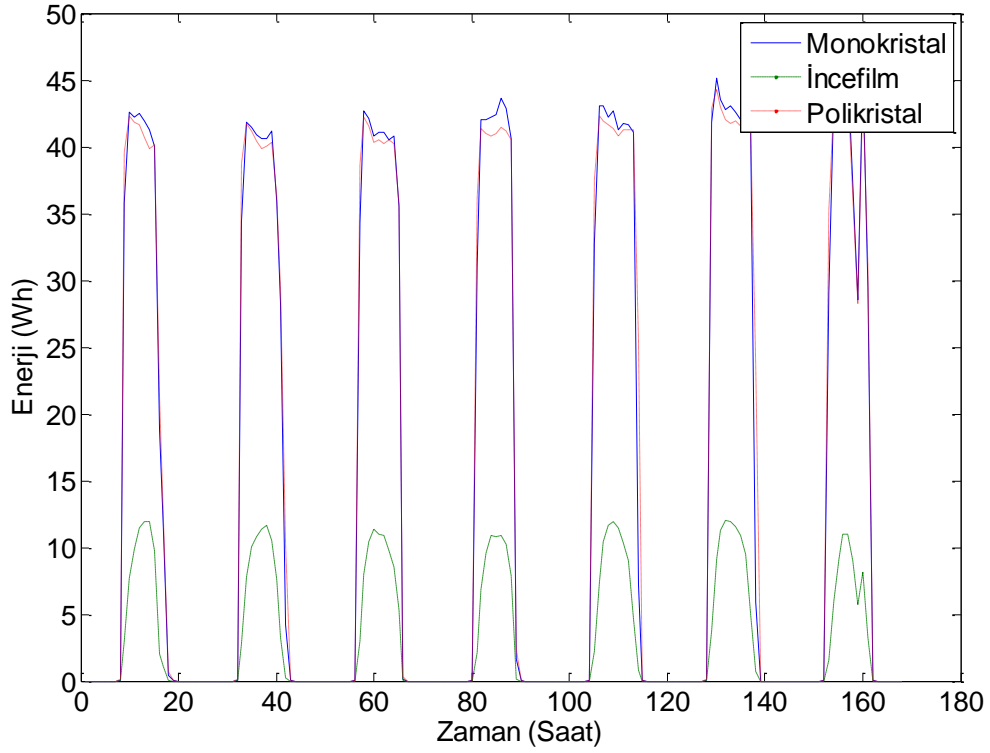
Şekil 4.45 Hareketli güneş panellerinin Eylül ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.



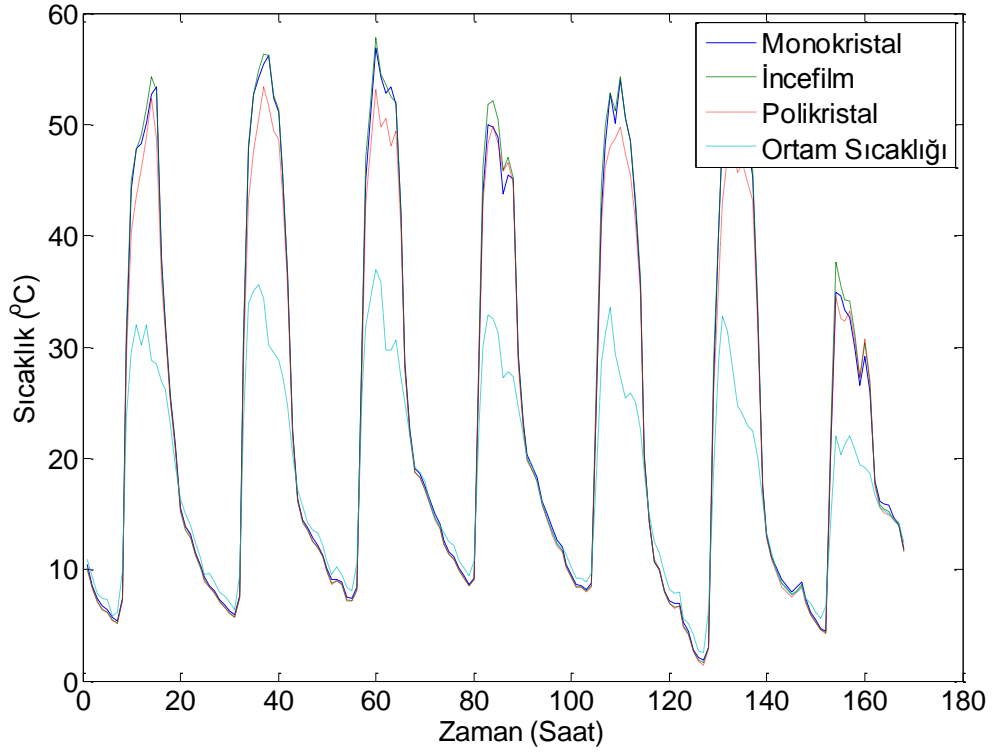
Şekil 4.46 Sabit güneş panellerinin Eylül ayındaki 1 haftalık üretimleri.



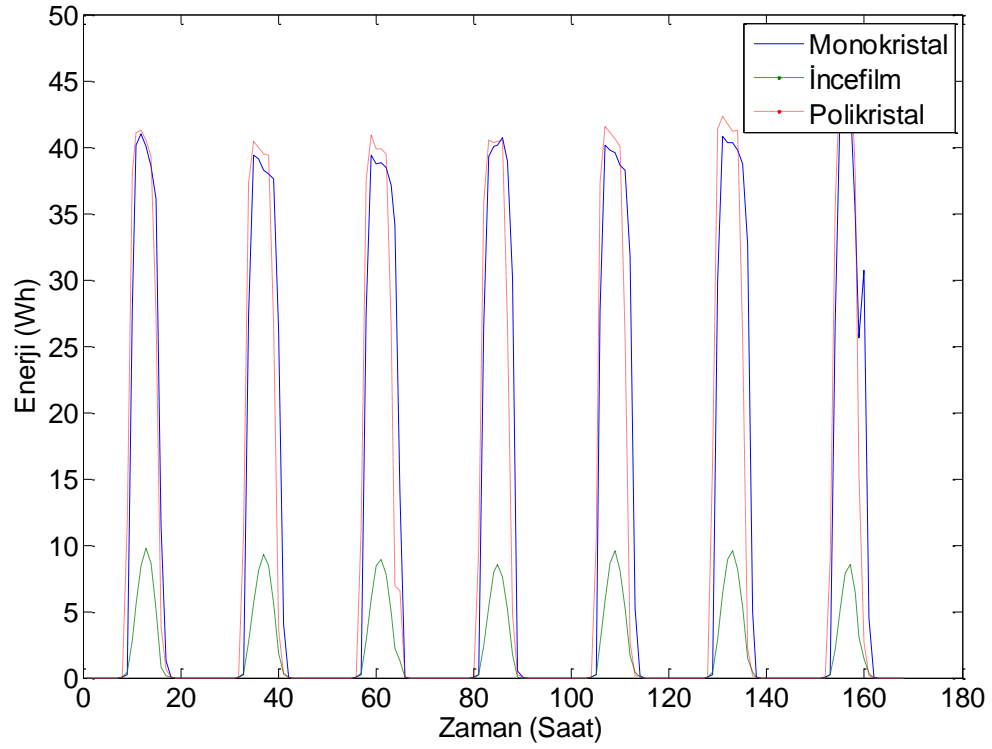
Şekil 4.47 Sabit güneş panellerinin Eylül ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.



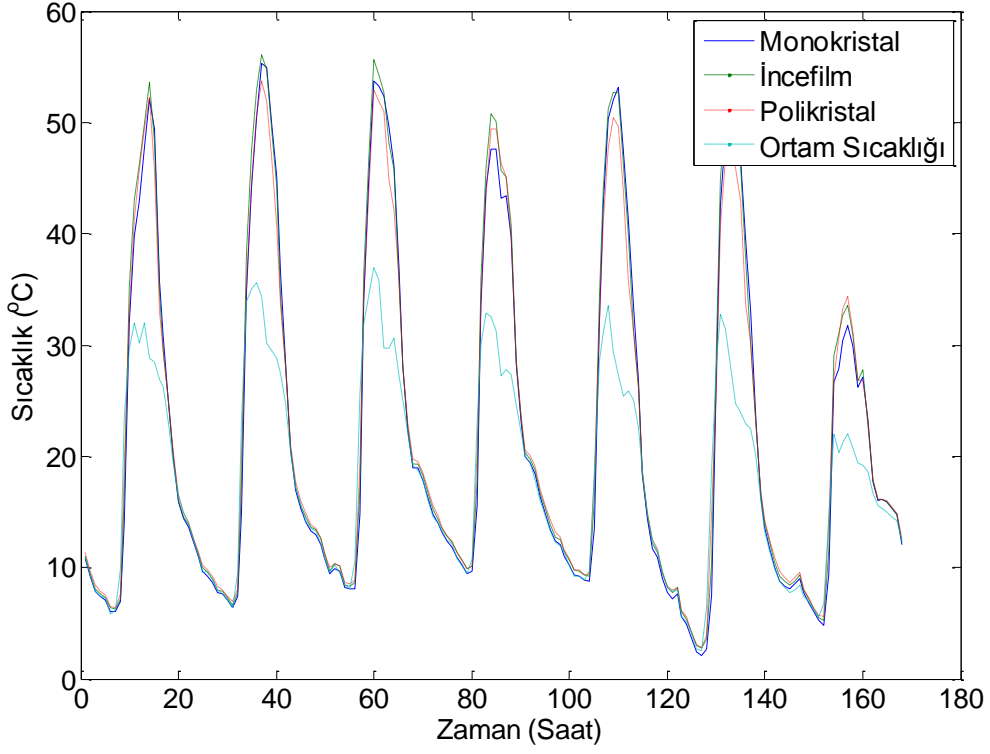
Şekil 4.48 Hareketli güneş panellerinin Ekim ayındaki 1 haftalık üretimleri.



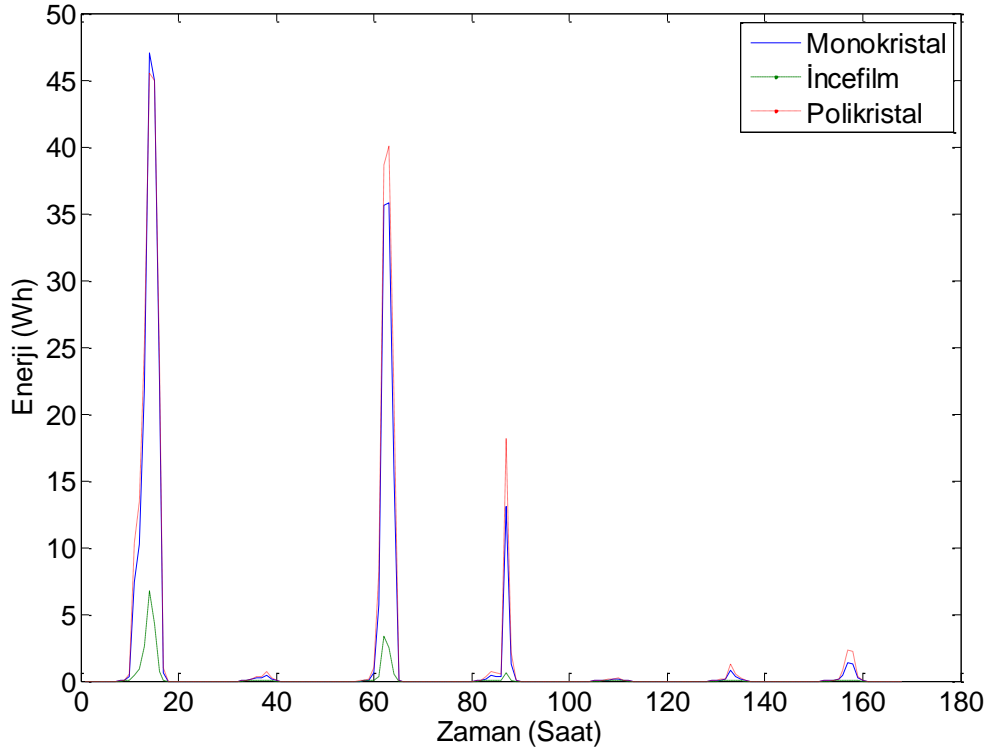
Şekil 4.49 Hareketli güneş panellerinin Ekim ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.



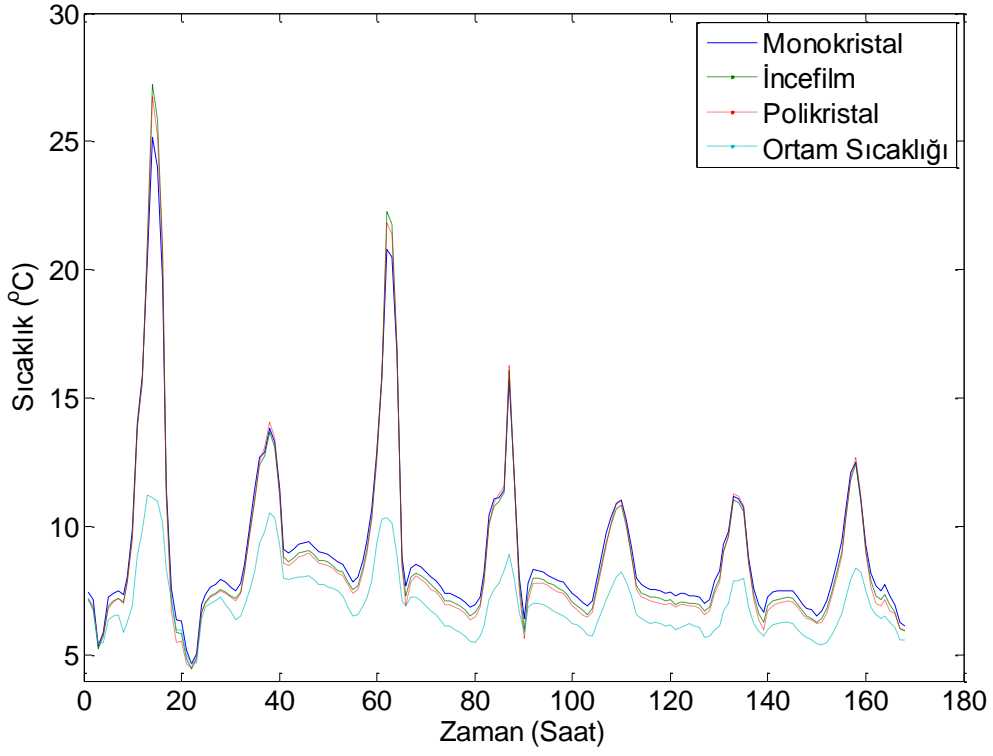
Şekil 4.50 Sabit güneş panellerinin Ekim ayındaki 1 haftalık üretimleri.



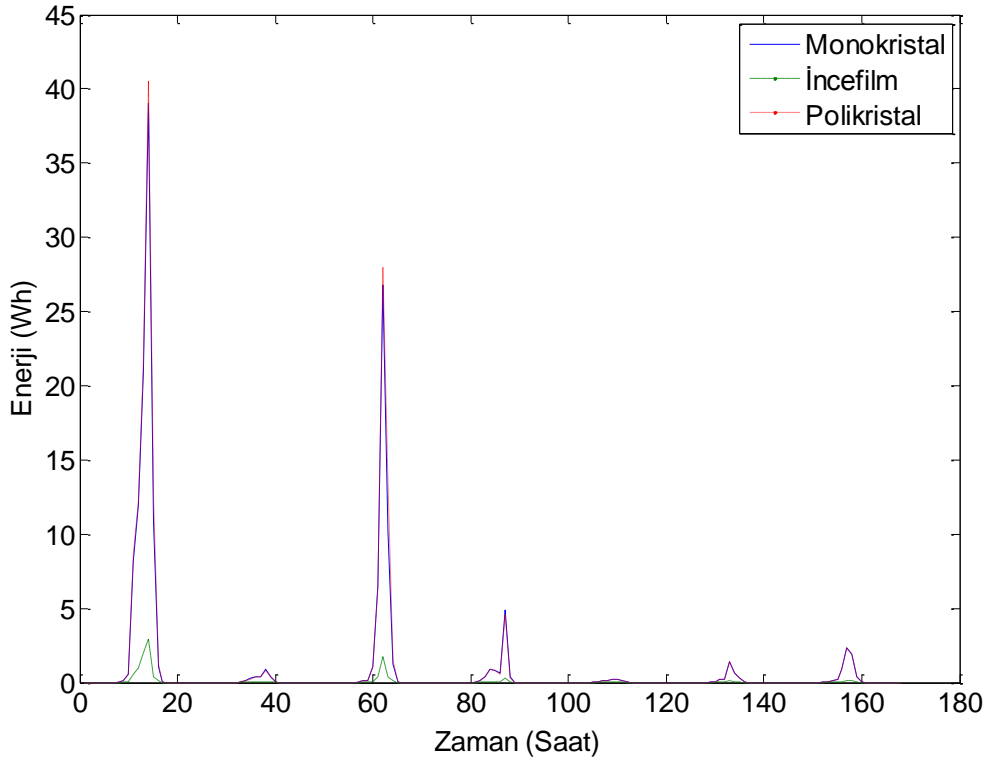
Şekil 4.51 Sabit güneş panellerinin Ekim ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.



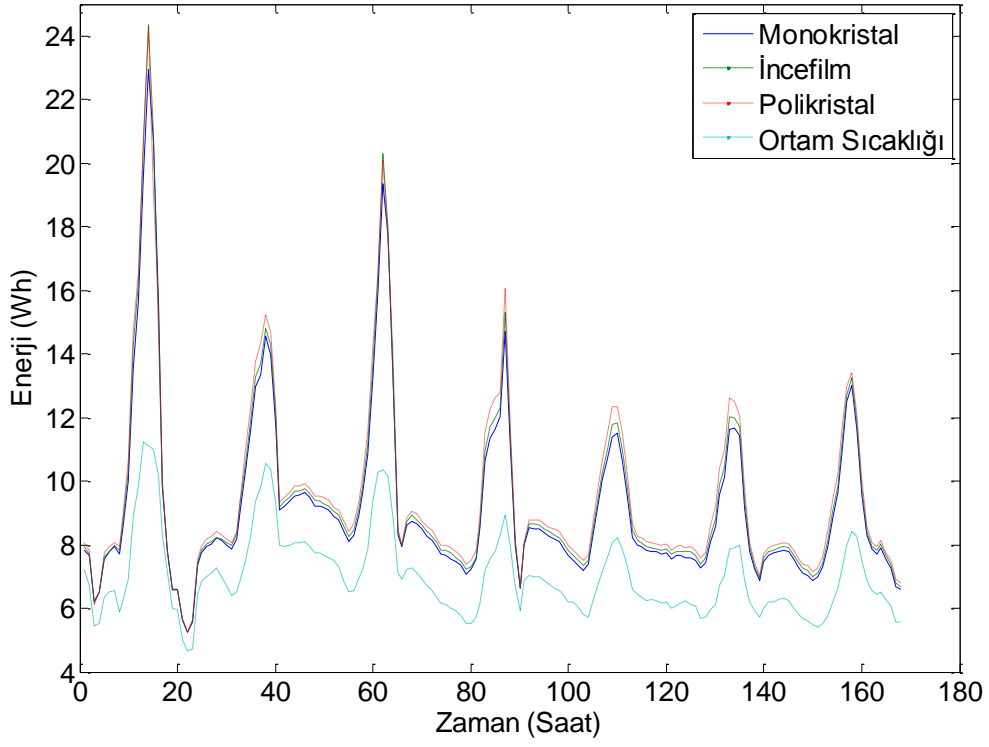
Şekil 4.52 Hareketli güneş panellerinin Kasım ayındaki 1 haftalık üretimleri.



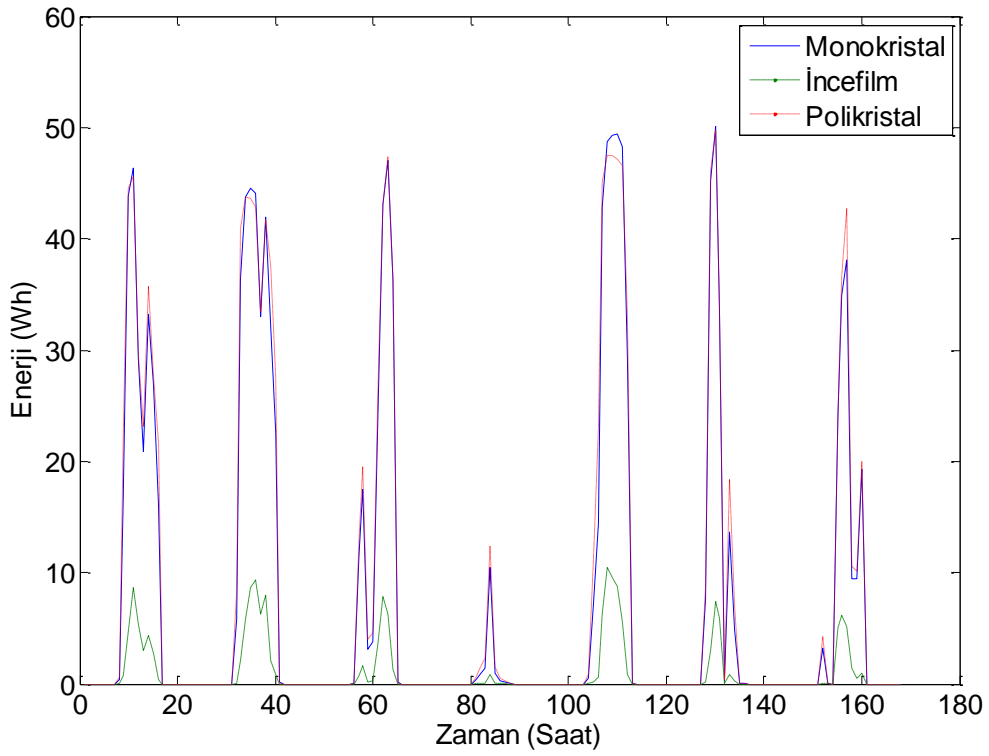
Şekil 4.53 Hareketli güneş panellerinin Kasım ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.



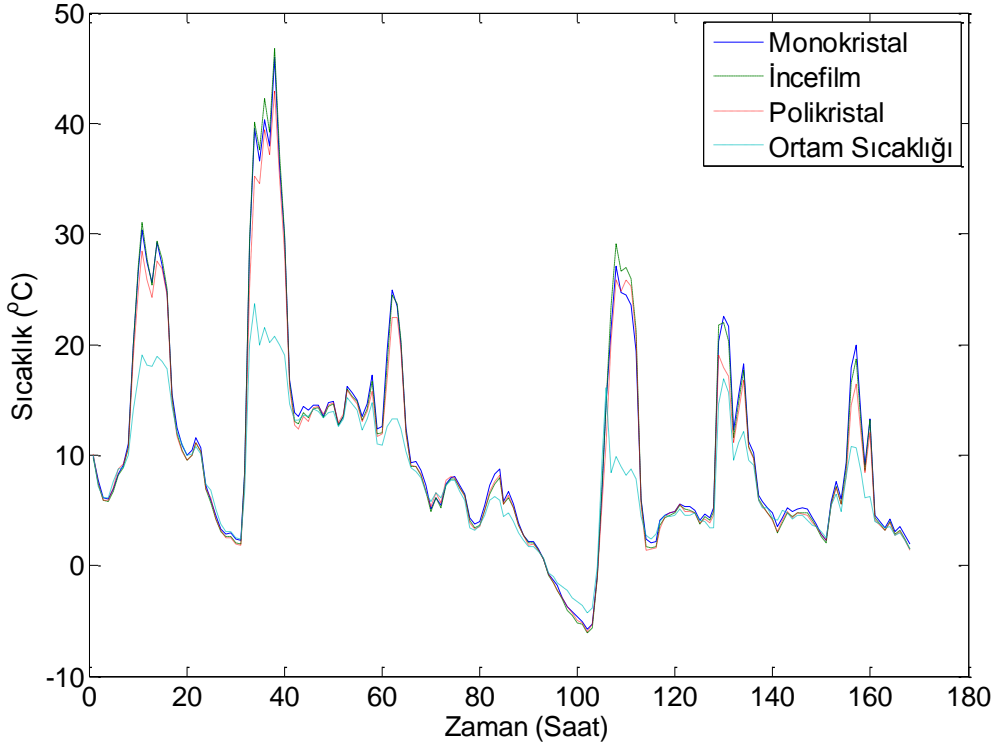
Şekil 4.54 Sabit güneş panellerinin Kasım ayındaki 1 haftalık üretimleri.



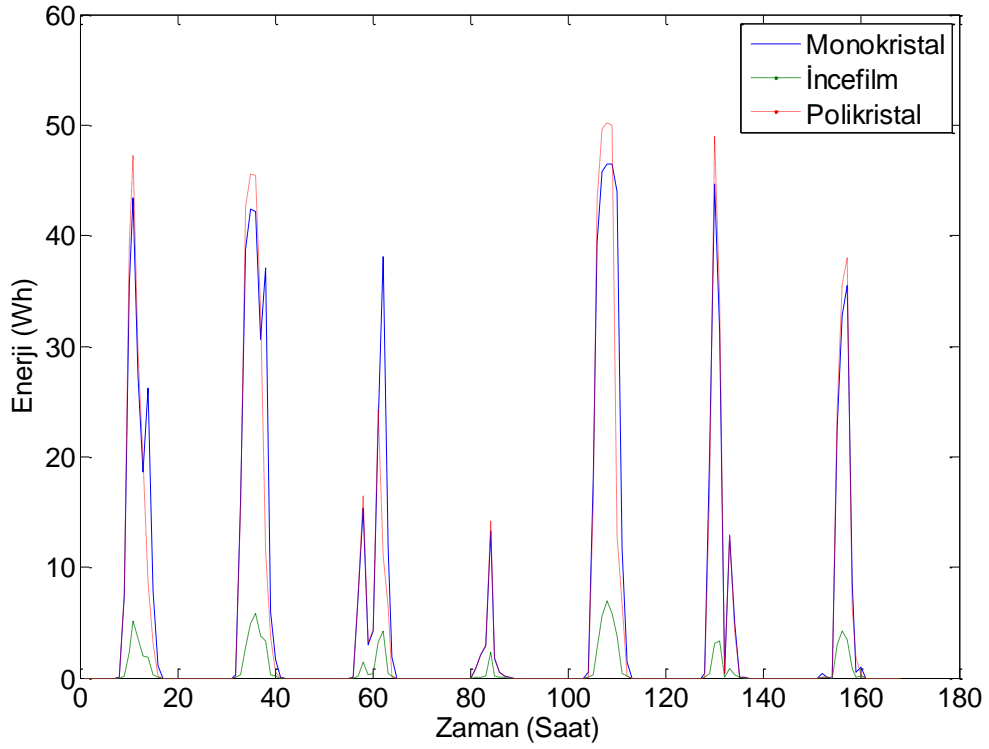
Şekil 4.55 Sabit güneş panellerinin Kasım ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.



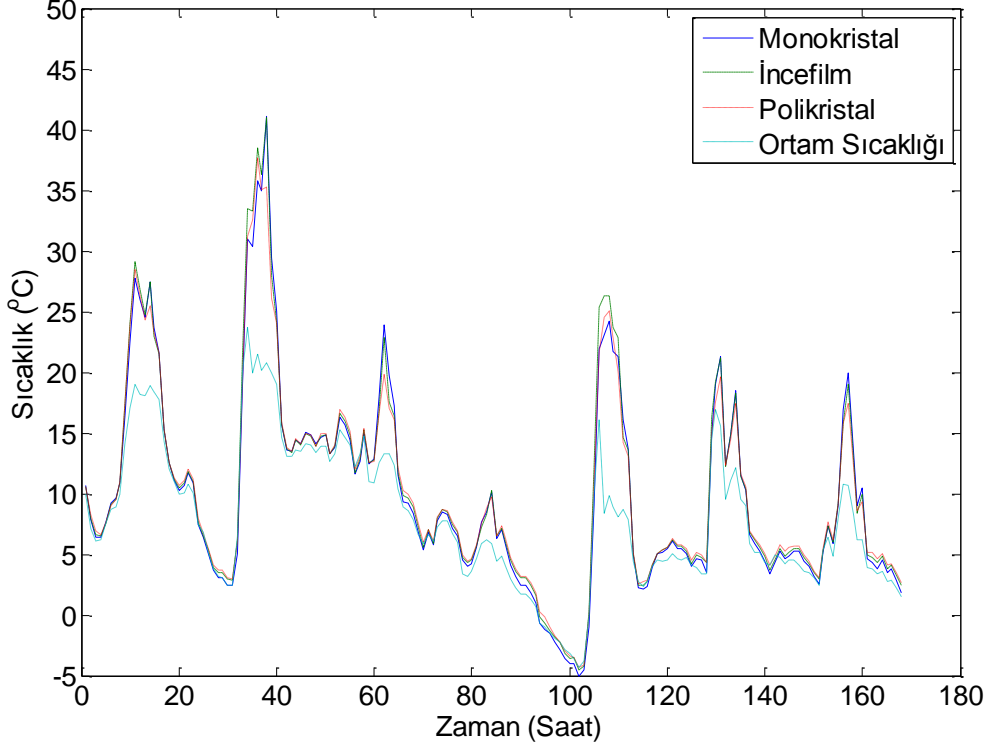
Şekil 4.56 Hareketli güneş panellerinin Aralık ayındaki 1 haftalık üretimleri.



Şekil 4.57 Hareketli güneş panellerinin Aralık ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.



Şekil 4.58 Sabit güneş panellerinin Aralık ayındaki 1 haftalık üretimleri.

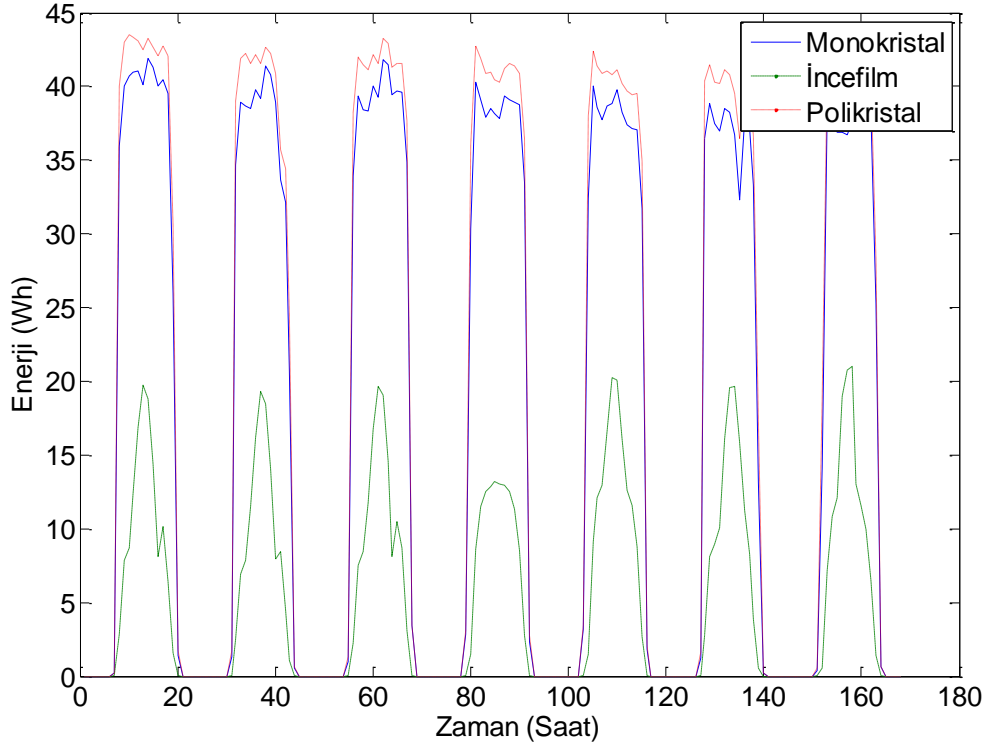


Şekil 4.59 Sabit güneş panellerinin aralık ayındaki 1 haftalık yüzey sıcaklıkları.

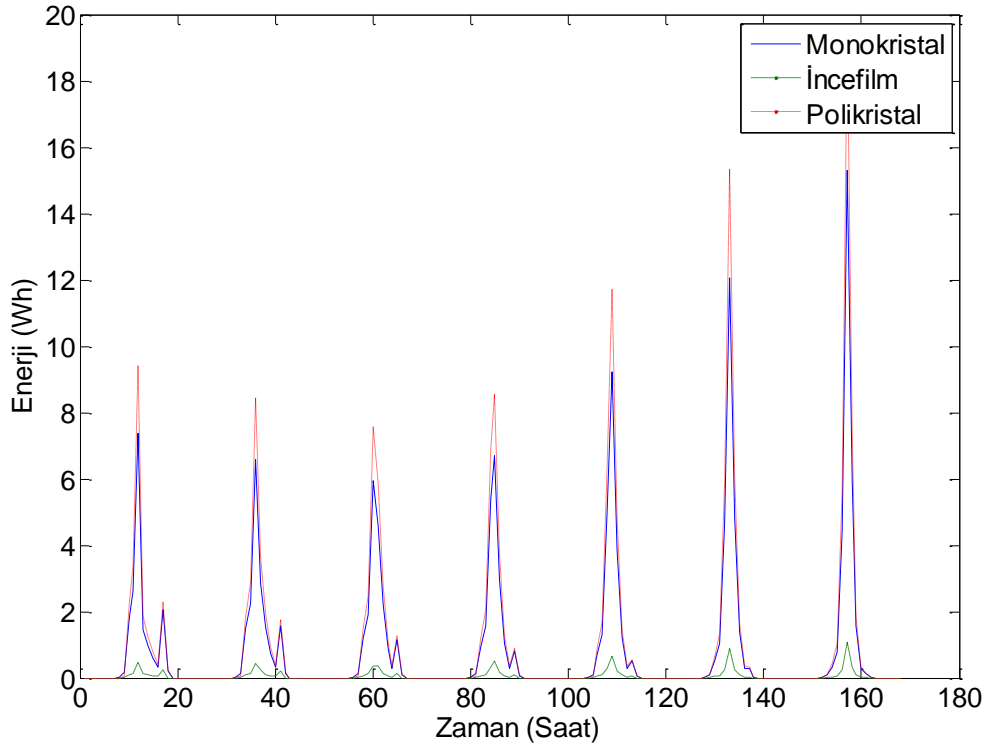
Yukarıdaki grafikler incelendiğinde güneş panellerinin içerisinde en yüksek yüzey sıcaklığının ince film en düşük yüzey sıcaklığının ise polikristal güneş panelinde olduğu görülmektedir. Panellerin üretimleri ise yüzey sıcaklığındaki durumun tersi olan polikristal en yüksek, ince film güneş panelinde ise en düşük şekilde gerçekleşmiştir. Dolayısıyla grafiklerden de anlaşılacağı üzere sıcaklığın üretim üzerinde negatif bir etkisi olduğu, en çok ısınan ve en az üretim yapan güneş panelinin ise ince film olduğu anlaşılmaktadır.

4.3. Yıl İçerisindeki Üretimin En Fazla ve En Az Olduğu Hafta

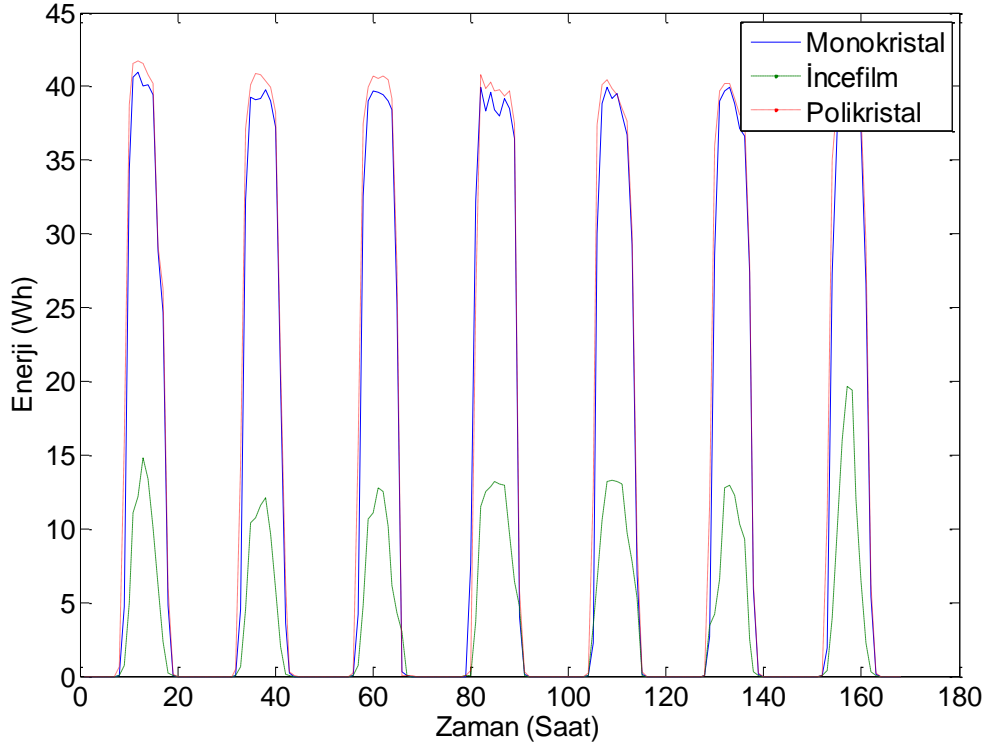
Hareketli ve sabit güneş panellerinin yıl içerisindeki üretimlerinin en yüksek ve en düşük olduğu haftalar aşağıda sunulmuştur.



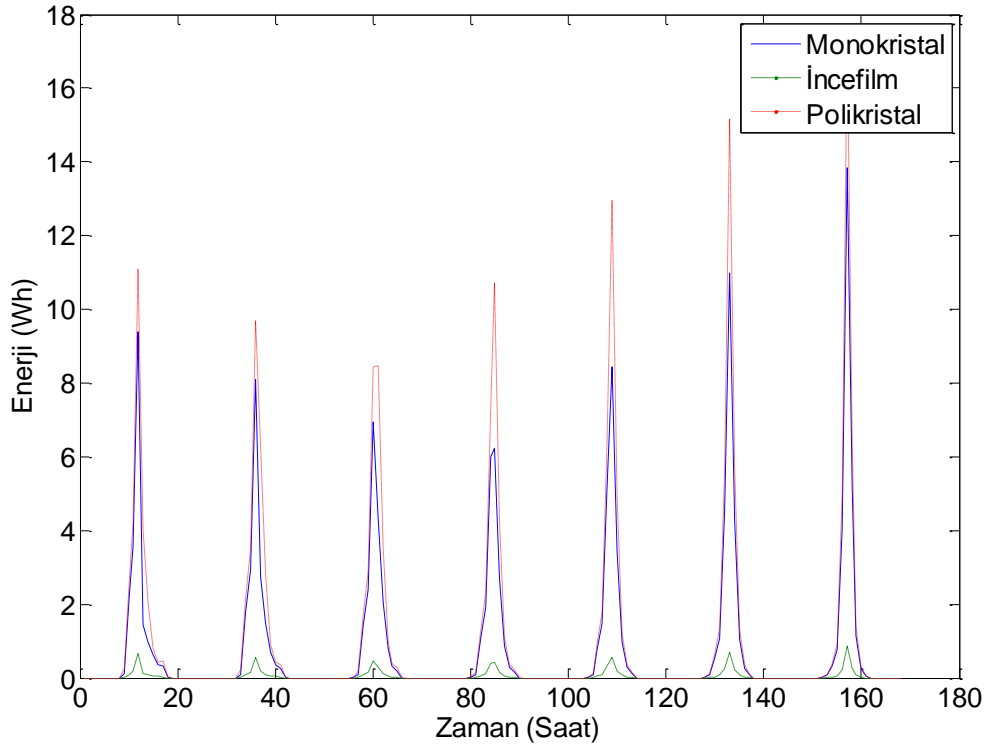
Şekil 4.60 Hareketli güneş panellerinin yıl içerisindeki üretiminin en yüksek olduğu hafta.



Şekil 4.61 Hareketli güneş panellerinin yıl içerisindeki üretiminin en düşük olduğu hafta.



Şekil 4.62 Sabit güneş panellerinin yıl içerisindeki üretiminin en yüksek olduğu hafta.



Şekil 4. 63 Sabit güneş panellerinin yıl içerisindeki üretiminin en düşük olduğu hafta.

Hareketli ve sabit güneş panelleri en yüksek üretimlerini 21-27 Ağustos 2012 tarihleri arasında, en düşük üretimleri ise 7-13 Mart 2012 tarihleri arasında gerçekleştirmiştir.

4.4 Farklı Takip Algoritmalarının Enerji Üretimine Etkisi

Güneş takip algoritmaları üretilen enerji miktarı açısından büyük önem arz etmektedir. Aşağıda hareketli ve sabit güneş panellerinin beş farklı algoritma ile takip edilmesi sunucunda elde edilen üretim miktarı, o güne ait ortalama ortam sıcaklığı ve toplam güneş ışınım şiddeti yer almaktadır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3 Hareketli ve sabit güneş panellerinin farklı algoritmalarındaki üretimleri.

Algoritmalar	Platformun Özelliği	HAREKETLİ			SABİT		
	PV Panel Özelliği	M.kristal	İ.film	P.kristal	M.kristal	İ.film	P.kristal
1. Algoritma	Top. Üretim (Wh)	354,43	101,41	394,72	258,99	42,89	265,78
	Top. Işınım Şiddeti (W/m ²)	7640					
	Ort. Yüzey Sıcaklığı (°C)	33,06	32,43	31,38	31,36	31,06	30,76
	Ort. Ortam sıcaklığı (°C)	27,86					
2. Algoritma	Top. Üretim (Wh)	347,22	71,92	382,34	264,73	49,97	275,51
	Top. Işınım Şiddeti (W/m ²)	7134					
	Ort. Yüzey Sıcaklığı (°C)	33,51	33,07	31,93	32,45	32,48	32,05
	Ort. Ortam sıcaklığı (°C)	28,02					
3. Algoritma	Top. Üretim (Wh)	173,06	42,54	186,54	190,01	38,07	204,7
	Top. Işınım Şiddeti (W/m ²)	6541					
	Ort. Yüzey Sıcaklığı (°C)	31,99	31,69	31,09	31,93	32,11	32,01
	Ort. Ortam sıcaklığı (°C)	28,27					
4. Algoritma	Top. Üretim (Wh)	253,68	50,47	279,23	212,39	43,69	225,51
	Top. Işınım Şiddeti (W/m ²)	5785					
	Ort. Yüzey Sıcaklığı (°C)	29,45	29,13	28,29	28,87	29,37	29,25
	Ort. Ortam sıcaklığı (°C)	25,66					
LDR	Top. Üretim (Wh)	403,27	109,41	423,31	301,05	72,91	298,13
	Top. Işınım Şiddeti (W/m ²)	7665					
	Ort. Yüzey Sıcaklığı (°C)	31,19	30,89	29,55	28,59	28,37	27,99
	Ort. Ortam sıcaklığı (°C)	24,03					

Birinci algoritma güneşin azimut açısına (güneşin kuzey eksenini ile yaptığı açı) göre saat başı hareket ederek güneşi takip etmiştir. İkinci algoritma güneşin azimut açısına göre iki saatte bir hareket ederek takip etmiştir. Üçüncü algoritma güneşin azimut açısına göre üç saatte bir takip etmiştir. Dördüncü algoritma da güneşin azimut açısına göre dört saatte bir takip etmiştir. LDR ise güneşin her hareketi hassas bir şekilde takip etmiştir. Algoritmalarda kullanılan azimut açıları Bölüm 3.6 de yer alan formüller ile hesaplanmıştır.

Tablodaki üretimlere bakıldığında en iyi üretim beklenildiği gibi LDR ile takip edilmesi sonucunda elde edilmiştir. Devamındaki en iyi üretim ise sırasıyla birinci ve ikinci algoritma ile elde edilmiştir. Üçüncü algoritma ise dördüncü algoritmadan daha fazla üretim elde etmesi beklenirken dördüncü algoritmadan daha az üretmiştir. Bunun sebebinin ise dördüncü algoritmanın üçüncü algoritmaya göre daha fazla noktada güneşe dik geldi tahmin edilmektedir.

4.5 Tasarlanan Adaptif Güneş Takip Algoritmasının Üretim Performansı

Çizelge 4.4 LDR ve Tasarlanan algoritmanın Üretimleri.

Saat	LDR (Wh)	Tasarlanan Algoritma (Wh)
06:00	0,61	0,01
07:00	26,74	18,26
08:00	42,8	36,04
09:00	42,09	41,39
10:00	41,95	40,6
11:00	41,22	40,51
12:00	41,05	40,51
13:00	40,52	40,1
14:00	40,29	39,96
15:00	40,43	36,3
16:00	39,73	35,53
17:00	40,4	36,93
18:00	35,8	30,6
19:00	3,96	2,95
Toplam	477,59	439,71

Önerilen adaptif güneş takip algoritması ile güneş panellerini dikey ekseninde hiç hareket ettirmeden (bölgenin enlem acısına göre sabit) yatay ekseninde ise toplamda üç hareket ettirilerek yaklaşık 440 Wh üretim elde edilmiştir (Çizelge 4.4). Aynı gün güneşi LDR ile takip eden sistemin üretimine yaklaşık 38 Wh fark ile yaklaşmıştır. Bu demek oluyor ki güneşi hassas takip etmek yerine günde üç kez uygun pozisyonlara hareket ederek çok yakın bir üretim elde edilebilir.

4.6 YSA ile Güç Tahmini

Güç tahminleri genellikle kısa dönemli, orta dönemli ve uzun dönemli olmak üzere üç grupta değerlendirilir. Kısa dönemli tahminlerde saatlik, günlük ve haftalık tahminler yapılır. Orta dönemli tahminlerde aylık ve 3 aylık tahminler yapılırken uzun dönemli tahminlerde ise yıllık ve üzeri tahminler yapılır.

Yaptığımız çalışmada ise elimizde yeteri kadar veri olmadığı için kısa dönemli tahminde saatlik, orta dönemli tahminde günlük ve uzun dönemli tahminde haftalık olarak yapılmıştır.

Çizelge 4.5 Yapay sinir ağı ile oluşturulan modeller.

	GİRDİ SAYISI	GİRDİLER	ÇIKTILAR
Model - 1	3	Panel Yüzey Sıcaklığı, Ortam Sıcaklığı, Güneş Işınım Şiddeti Verileri	Panel Çıkış Gücü
Model - 2	2	Panel Yüzey Sıcaklığı, Güneş Işınım Şiddeti Verileri	Panel Çıkış Gücü
Model - 3	2	Panel Yüzey Sıcaklığı, Ortam Sıcaklığı	Panel Çıkış Gücü
Model - 4	1	Panel Yüzey Sıcaklığı	Panel Çıkış Gücü
Model - 5	1	Ortam Sıcaklığı	Panel Çıkış Gücü

Test ve eğitim verileri oluşturulurken YSA modellerinin verilerin genel davranışını ezberlemesini engellemek amacıyla veriler rasgele karıştırılmıştır. Ayrıca kullanılan transfer fonksiyonunun karakteristiği nedeniyle test ve eğitim verileri ilk olarak (0-1) aralığın da normalize edilmiş, eğitim ve test işleri tamamlandıktan sonra veriler normalizasyondaki yöntemin tersi ile denormalize edilmiştir. Transfer fonksiyonu tüm katmanlar için lineer kullanılmıştır. İterasyon sayısı 100 ve hedef MSE 1×10^{-5} olarak belirlendi. YSA modelleri Levenberg-Marquard algoritması ve farklı sayıda gizli katman sinir hücresi sayısı kullanılarak eğitilmiş ve test edilmiştir. Gizli katmandaki nöron sayısının 8 olması durumunda eğitimin daha kısa sürede tamamlandığı tespit edilmiştir.

2012 Mart ve 2013 Şubat tarihleri arasında ölçülüp kaydedilmiş olan ışınım verileri ile güneş panellerinin yüzey sıcaklıkları, üretimleri ve ortam sıcaklıkları verileri ile Çizelge 4.5 deki YSA modelleri kullanılarak kısa, orta ve uzun dönemli tahminler yapılmış ve aşağıda sunulmuştur.

4.6.1 Kısa Dönem Güç Tahmini

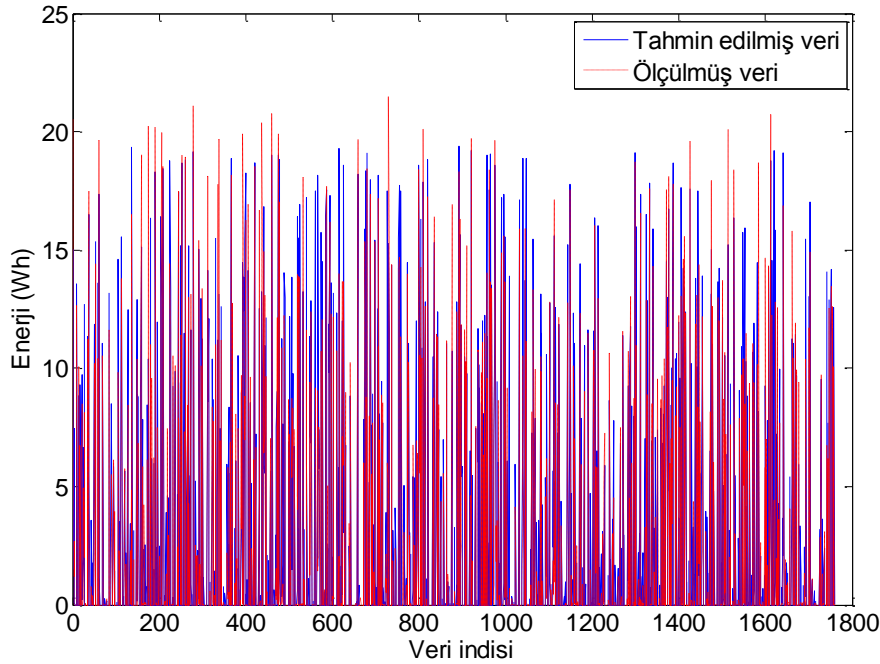
Monokristal, ince film ve polikristal güneş panellerinden dakikalık sıklıklarla ölçülmüş sıcaklık ve üretim verileri ile onar dakikalık sıklıklarla ölçülmüş güneş ışınım verilerinin ortalamaları alınarak saatlik verilere dönüştürülmüştür. Toplam 8760 saatlik verilerin 7000 saatliği eğitim için geriye kalan 1760 saatlik veri test için kullanılmıştır. Eğitim ve test işlemleri sonucunda elde edilen ağ çıktıları (panellerden üretilen güç değerleri) gerçek güç üretim değerleriyle ortalama hata değerlerinin karesinin karekökü (Root Mean Square Error- RMSE) kriterine göre karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.6'de sunulmuştur.

Çizelge 4.6 Modellere ait RMSE değerleri.

Model No	Eğitim (Wh)			Test (Wh)		
	Monokristal	İnce film	Polikristal	Monokristal	İnce film	Polikristal
1	4,9344	2,5711	5,8323	4,9570	2,5837	5,8711
2	5,8364	2,3625	6,4134	5,5476	2,5298	6,2725
3	4,9005	2,4176	1,7585	4,7018	2,4044	1,5777
4	7,5784	2,7102	8,4814	7,2649	2,7229	8,3027
5	10,8635	3,4384	11,5493	10,7426	3,4882	11,4223

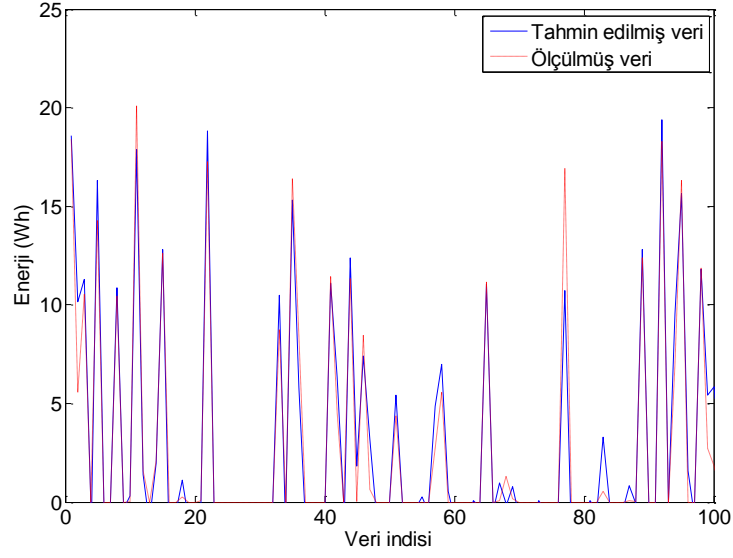
Çizelgeden hangi modelin daha uygun olacağı anlaşılabilir. Ancak panellerin üretimlerine ait enerjiler hesaplanmadığı için paneller arası bir kıyaslama yapmak doğru olmayacaktır. Test verilerine bakıldığında monokristal, ince film ve polikristal güneş panelleri için 1. Modelin daha uygun olduğu anlaşılmaktadır. Yapılan bu modelleme sonucunda monokristal, ince film ve polikristal güneş panellerinin üretimlerinde yüzey sıcaklığı, ortam sıcaklıklarıyla önemli etkisi olduğu anlaşılmaktadır.

Ölçülen veriler ile Ağ çıktılarının değişimleri her üç panel tipi için de incelenmiş olup ince film teknolojisi ile üretilmiş olan verilere ait sonuçlar Şekil 4.63’de sunulmuştur.



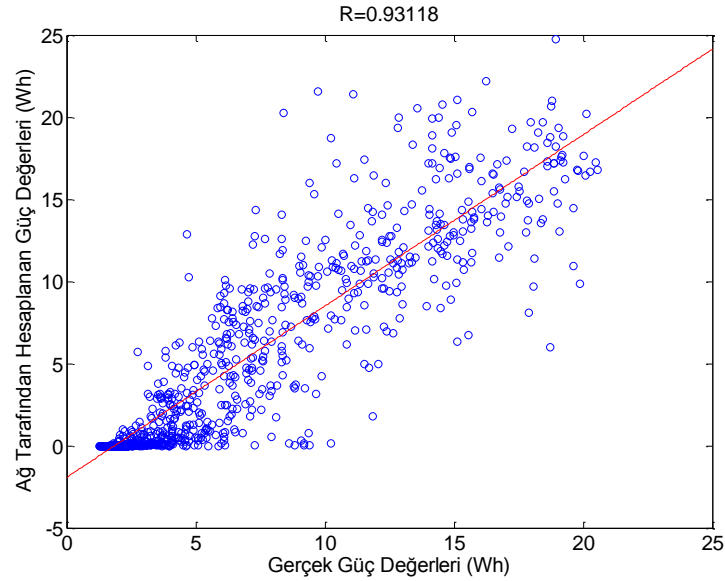
Şekil 4.64 İnce film güneş paneline ait ölçülmüş verilerin ve test çıktılarının aynı grafik üzerinde görünümü.

Şekil 4.63'te veri sayısının fazla olması tahmin performansının grafik üzerinden anlaşılmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle şekil 4.63'ün bir bölümünün büyütülmüş hali Şekil 4.64'te sunulmuştur.



Şekil 4.65 Şekil 4.63'ün rasgele seçilmiş bir bölümünün büyütülmüş hali

Ağ tarafından bulunan verilerin ölçülmüş verilere göre korelasyonunun incelenmesi amacıyla verilerin birbirlerine göre değişimleri Şekil 4.65'de sunulmuştur.



Şekil 4.66 Ölçülmüş olan verilerin ağ çıktıları ile değişimi.

4.6.2 Orta Dönem Güç Tahmini

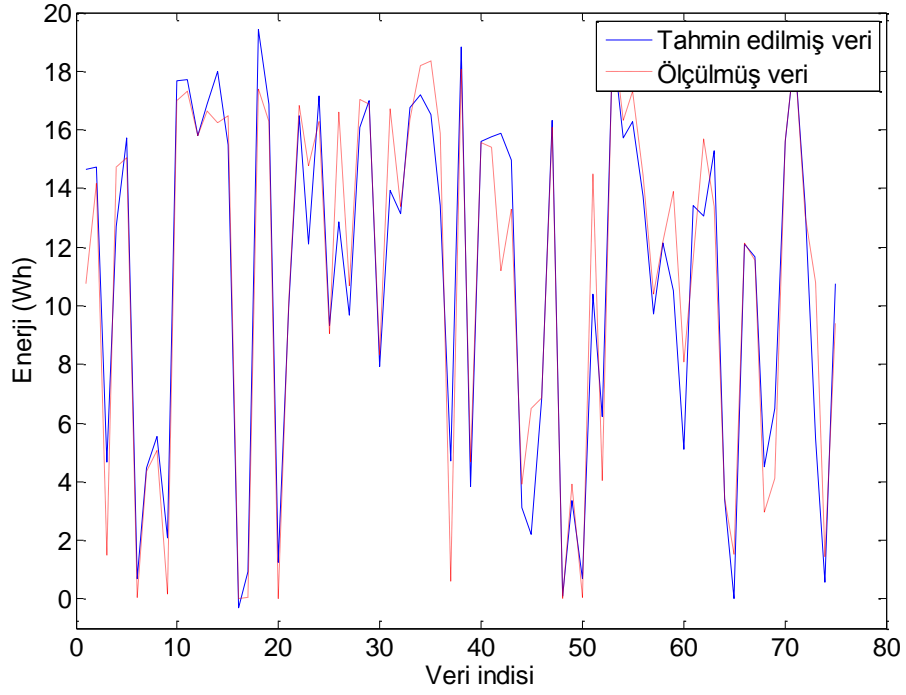
Monokristal, ince film ve polikristal güneş panellerinden dakikalık sıklıklarla ölçülmüş sıcaklık ve üretim verileri ile onar dakikalık sıklıklarla ölçülmüş güneş ışınım verilerinin ortalamaları alınarak günlük verilere dönüştürülmüştür. Toplam 365 günlük verilerin 290 günlüğü eğitim için geriye kalan 75 günlük veri test için kullanılmıştır. Eğitim ve test işlemleri sonucunda elde edilen ağ çıktıları gerçek güç üretim değerleriyle RMSE kriterine göre karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları Çizelge 4,7’de sunulmuştur.

Çizelge 4.7 Modellere ait RMSE değerleri.

Model No	Eğitim (Wh)			Test (Wh)		
	Monokristal	İnce film	Polikristal	Monokristal	İnce film	Polikristal
1	1,9605	0,7664	2,2432	1,8268	0,7889	2,0307
2	2,9502	0,8806	2,7870	2,9453	0,9837	2,7973
3	2,2139	0,8699	2,4245	2,0976	0,8958	2,1142
4	3,5097	1,1573	3,6682	3,3334	1,0868	3,8179
5	4,1330	1,2429	4,2484	3,7369	1,2767	4,0038

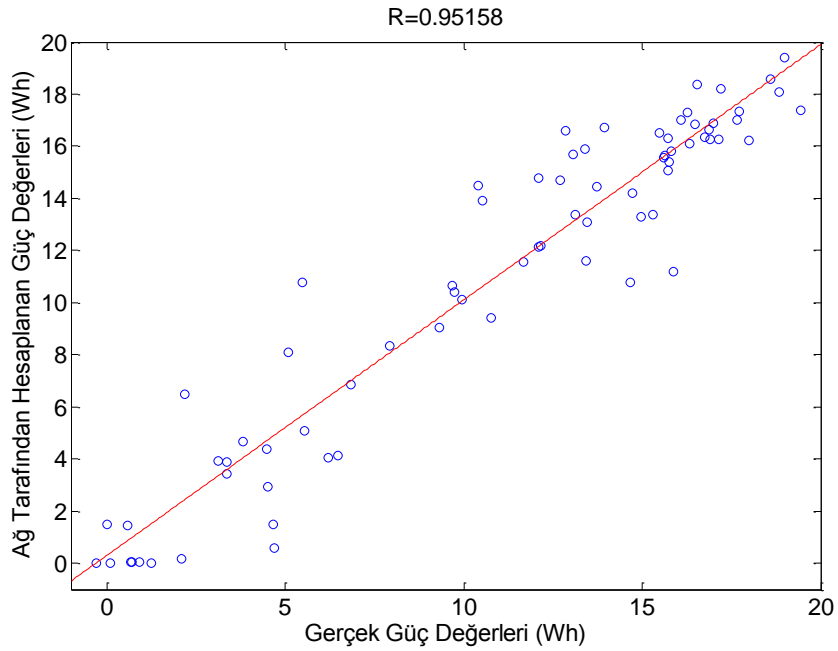
Çizelgeden hangi modelin daha uygun olacağı anlaşılabilir. Ancak panellerin üretimlerine ait enerjiler hesaplanmadığı için paneller arası bir kıyaslama yapmak doğru olmayacaktır. Test verilerine bakıldığında monokristal, ince film ve polikristal güneş panelleri için 1. Modelin daha uygun olduğu anlaşılmaktadır. Yapılan bu modelleme sonucunda monokristal, ince film ve polikristal güneş panellerinin üretimlerinde yüzey ve ortam sıcaklığının önemli etkisi olduğu anlaşılmaktadır.

Ölçülen veriler ile Ağ çıktılarının değişimleri her üç panel tipi için de incelenmiş olup monokristal güneş paneline ait sonuçlar Şekil 4.66’da sunulmuştur



Şekil 4.67 Monokristal güneş paneline ait ölçülmüş verilerin ve test çıktılarının aynı grafik üzerinde görünümü.

Ağ tarafından bulunun verilerin ölçülmüş verilere göre korelasyonunun incelenmesi amacıyla verilerin birbirlerine göre değişimleri Şekil 4.67’de sunulmuştur.



Şekil 4.68 Ölçülmüş olan verilerin ağ çıktıları ile değişimi.

4.6.3 Uzun Dönem Güç Tahmini

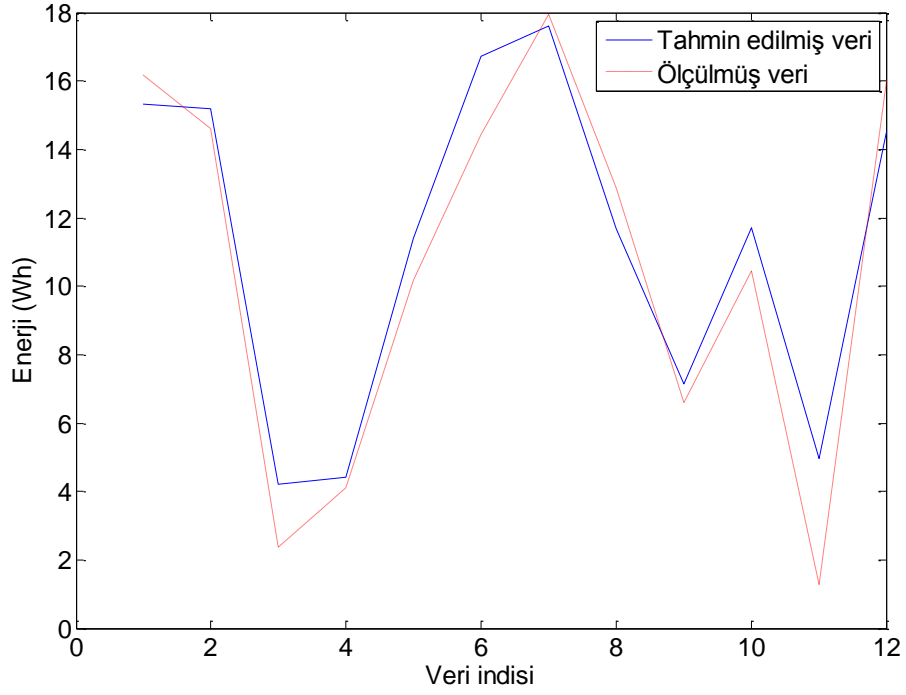
Monokristal, ince film ve polikristal güneş panellerinden dakikalık sıklıklarla ölçülmüş sıcaklık ve üretim verileri ile onar dakikalık sıklıklarla ölçülmüş güneş ışınım verilerinin ortalamaları alınarak haftalık verilere dönüştürülmüştür. Toplam 52 haftalık verilerin 40 haftalığı eğitim için geriye kalan 12 haftalık veri test için kullanılmıştır. Eğitim ve test işlemleri sonucunda elde edilen ağ çıktıları gerçek güç üretim değerleriyle RMSE kriterine göre karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları Çizelge 4,8’de sunulmuştur.

Çizelge 4.8 Modellere ait RMSE değerleri

Model No	Eğitim (Wh)			Test (Wh)		
	Monokristal	İnce film	Polikristal	Monokristal	İnce film	Polikristal
1	1,1526	0,7006	1,1431	1,5925	0,5206	1,2055
2	1,9316	0,7104	1,8202	2,2887	0,7939	1,9793
3	1,4834	0,6961	1,2473	1,3689	0,8509	1,8412
4	1,9009	0,6328	1,7892	1,9864	0,8140	2,2856
5	1,7671	0,6629	2,3397	2,4088	0,8985	2,2483

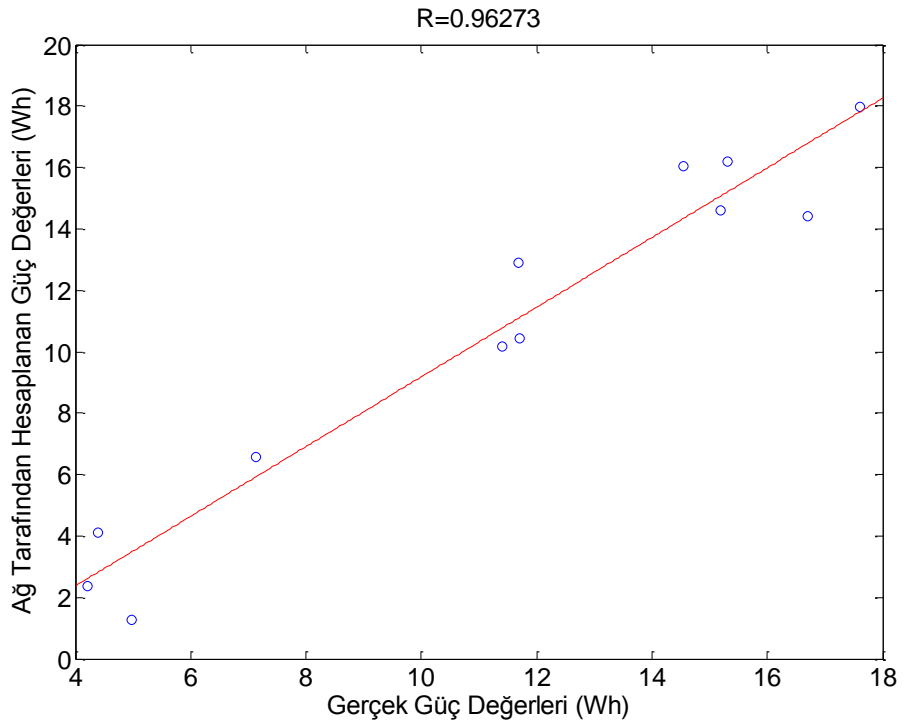
Çizelge hangi modelin daha uygun olacağı anlaşılabilir. Ancak panellerin üretimlerine ait enerjiler hesaplanmadığı için paneller arası bir kıyaslama yapmak doğru olmayacaktır. Test verilerine bakıldığında monokristal için 3.modelin kullanılmasının daha uygun olacağı anlaşılmaktadır. Diğer taraftan ince film ve polikristal panel için 1. Modelin daha uygun olduğu anlaşılmaktadır. Yapılan bu modelleme sonucunda polikristal ve ince film panellerin üretimlerinin yüzey ve ortam sıcaklıklarıyla ilişkilerinin monokristal panellerin üretimlerinin yüzey ve ortam sıcaklıklarına nazaran daha zayıf olduğu anlaşılmaktadır.

Ölçülen veriler ile Ağ çıktılarının değişimleri her üç panel tipi için de incelenmiş olup polikristal güneş paneline ait sonuçlar Şekil 4.68’de sunulmuştur



Şekil 4.69 Polikristal güneş paneline ait ölçülmüş verilerin ve test çıktılarının aynı grafik üzerinde görünümü.

Ağ tarafından bulunan verilerin ölçülmüş verilere göre korelasyonunun incelenmesi amacıyla verilerin birbirlerine göre değişimleri Şekil 4.69’de sunulmuştur.



Şekil 4.70 Ölçülmüş olan verilerin ağ çıktıları ile değişimi.

4.7 Hareketli ve Sabit Panellerin Fiyat / Performans Oranlarının Karşılaştırılması

Fiyat / Performans oranı panel seçimi yapılırken büyük önem taşımaktadır. Bu oranın düşük çıkması güneş panellerinden üretilen elektrik enerjisinin maliyetinin düşük olması anlamına gelir.

Fiyat /Performans oranındaki fiyat kısmı hesaplanırken panelin watt başı maliyeti panel toplam kaç watt ise onunla çarpılarak bulunmuştur (Denklem 4.1). Performans kısmı hesaplanırken güneş panellerin aylık toplam üretiminin teorik olarak üretmesi gereken üretime bölünmesiyle bulunmuştur (Denklem 4.2). Teorik olarak üretmesi gereken üretim ise hesaplamaların yapıldığı ayki toplam güneşlenme süresini güneş panellerinin kurulu gücü ile çarpılarak bulunmuştur.

$$Fiyat = watt\ başı\ maliyet \times kurulu\ güç \quad (4.1)$$

$$Performans = \frac{toplam\ üretim}{(kurulu\ güç \times aylık\ güneşlenme\ süresi)} \quad (4.2)$$

Güneş panellerinin maliyetleri satıcı firma, marka ve modellerine göre değişiklik göstermektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda yaklaşık fiyatları aşağıda verilmiştir.

Monokristal güneş panellerin watt başına maliyeti 2.5€+KDV (www.solar-bazaar.com).

İnce film güneş panelinin watt başına maliyeti 2€+KDV (www.solar-bazaar.com).

Polikristal güneş panellerinin watt başına maliyeti 2.2€+KDV (www.ekogunes.com).

Çizelge 4.9 Güneş panellerinin aylara göre fiyat / performans oranları.

Aylar	FİYAT/PERFORMANS					
	Hareketli			Sabit		
	Monokristal	İncefilm	Polikristal	Monokristal	İncefilm	Polikristal
Ocak	2311	12841	1858	2526	17164	2184
Şubat	1496	5220	1202	1754	8627	1534
Mart	1411	3272	1110	1731	4827	1486
Nisan	1064	2263	849	1415	3667	1214
Mayıs	1402	3246	1102	1896	4869	1535
Haziran	1001	2181	838	1406	3222	1156
Temmuz	1002	2395	812	1330	3521	1119
Ağustos	819	2027	662	1206	3046	1029
Eylül	789	2406	674	1161	4290	1044
Ekim	1057	3680	870	1406	6115	1245
Kasım	1885	8201	1589	2652	14738	2503
Aralık	2013	11086	1653	2400	17193	2154
Ortalama	1176	3159	959	1578	4906	1357

Çizelge 4,9' da hareketli ve sabit güneş panellerinin aylık olarak bir yıllık fiyat/performans oranları yer almaktadır. Fiyat/performans oranı şu şekilde yorumlanabilir: Güneş panelinin kurulu güç maliyetinin düşük olması beklenir. Diğer taraftan performansının ise yüksek olması beklenir bu durumda Fiyat/performans oranının düşük olması istenilen durumdur. Çizelge bu husus dikkate alınarak incelendiğinde çalışmada kullanılan panellerden polikristal güneş panellerinin diğer panellere göre daha uygun olduğu tespit edilmiştir. Ancak güneş panellerini oluşturan hücrelerin üretim kalitesi önemlidir. Bu hücreler birbirleriyle seri/paralel konfigürasyonlar da bağlanarak paneller üretilmektedir. Bu durumda üretilen hücrelerin tamamının yüksek ve aynı kalitede olmasını gerekir. Bu nedenle pratik uygulamalarda yüksek kaliteli panellerin tercih edilmesi uygun olacaktır.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Monokristal, polikristal ve ince film teknolojileriyle üretilmiş güneş panellerinin üretimleri incelendiğinde polikristal güneş panelinin üretimi toplam üretimin %46'sı ile en yüksek, İnce film güneş panelinin üretimi toplam üretimim % 10'u ile en düşük olduğu görülmüştür. Monokristal güneş panelinin üretimi ise toplam üretimin % 44'ünü oluşturarak polikristal güneş paneline çok yakın bir üretim gerçekleştirmiştir.

Ayrıca yaz aylarına doğru gidildikçe havaların güneşli olması nedeniyle üretimlerinin önemli ölçüde arttığı görülmektedir.

Hareketli güneş panellerinin üretimlerinin sabit güneş panellerinin üretimleri ile kıyaslandığında sabit güneş panellerine göre hareketli panellerin üretimlerinde sırasıyla monokristal güneş panellerinde %34,2, polikristal güneş panellerinde %41,5 ve ince film güneş panellerinde %55,3 artış gözlemlenmiştir. Bu sonuçlardan anlaşılacağı üzere güneşin takip edilmesi durumunda en fazla verim artışının ince film güneş panelinde olduğu görülmektedir.

Güneş panellerini üretimleri ile sıcaklık ilişkisi incelendiğinde, en yüksek yüzey sıcaklığının ince film en düşük yüzey sıcaklığının ise polikristal güneş panelinde olduğu gözlemlenmiştir. Panellerin üretimleri ise yüzey sıcaklığı ile ters orantılı olarak polikristal güneş paneli en yüksek, ince film güneş panelinde ise en düşük şekilde gerçekleşmiştir. Dolayısıyla sıcaklığın üretim üzerinde negatif bir etkisi olduğu, en çok ısınan güneş panelinin en az üretim yaptığı anlaşılmaktadır.

Hareketli ve sabit güneş panellerin üretimlerinin haftalık olarak incelendiğinde yıl içerisindeki en yüksek üretimlerini 21-27 Ağustos 2012, en düşük üretimlerini ise 7-13 Mart 2012 tarihleri arasında gerçekleştirmiştir.

Denen algoritmalar içerisinde en iyi sonuç LDR ile takip algoritmasında gerçekleşmiştir. İkinci en iyi sonuç ise güneşi azimut ve eğim açısına göre saat başı takip algoritmasında gerçekleşmiştir.

Önermiş olduğumuz adaptif güneş takip algoritması ile toplamda üç kez hareket ettirilerek aynı gün güneşi LDR ile takip eden sistemin üretimine yaklaşık 38 Wh fark ile yaklaşmıştır. Bu sonuçtan anlaşılacağı üzere güneşi hassas takip etmek yerine günde üç kez uygun pozisyonlara hareket ederek yakın bir üretim elde edilebilir.

Güç tahmininde farklı teknolojilerle üretilmiş aynı çıkış gücüne sahip üç panelin üretimlerine etki eden parametreler incelenmiştir. Bu amaçla farklı girdilere sahip Yapay Sinir Ağı yapıları oluşturulmuş ve aynı parametrelerle eğitilmiştir. Eğitilen yapılar daha sonra ağa sunulmamış verilerle test edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde panel yüzey sıcaklığı ve ortam sıcaklığının panel çıkış güçlerine önemli ölçüde etkisinin bulunduğu anlaşılmaktadır.

Güneş panelinin kurulu güç maliyetinin düşük olması beklenir. Diğer taraftan performansının ise yüksek olması beklenir bu durumda Fiyat/performans oranının düşük olması istenilen durumdur. Çalışmada kullanılan panellerden polikristal güneş panellerinin diğer panellere göre daha uygun olduğu tespit edilmiştir. Ancak güneş panellerini oluşturan hücrelerin üretim kalitesi önemlidir. Bu hücreler birbirleriyle seri/paralel konfigürasyonlar da bağlanarak paneller üretilmektedir. Bu durumda üretilen hücrelerin tamamının yüksek ve aynı kalitede olmasını gerekir. Bu nedenle pratik uygulamalarda yüksek kaliteli panellerin tercih edilmesi uygun olacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Abdallah, S. and Badran, O.O. (2008). Sun tracking system for productivity Enhancement of solar still. *Desalination*, **220**: 669-676.
- Abdallah, S. and Nijmeh, S. (2004). Two axes sun tracking system with PLC control. *Energy Conversion and Management*, **45**: 1931-1939.
- Abu-Khader, M.M., Badran O.O. and Abdallah S. (2008). Evaluating multi-axes sun-Tracking system at different modes of operation in Jordan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **12**: 864-873.
- Abu-Malouh, R., Abdallah, S. and Muslih, I.M. (2011). Design, construction and Operation of spherical solar cooker with automatic sun tracking system. *Energy Conversion and Management*, **52**: 615-620.
- Aiuchi, K., Yoshida, K., Onozaki, M., Katayama, Y., Nakamura, M. and Nakamura, K. (2006). Sensor-controlled heliostat with an equatorial mount. *Solar Energy*, **80**: 1089-1097.
- Ai, B., Yang, H., Shen, H. and Liao, X. (2003). Computer-aided design of PV/wind Hybrid System. *Renewable Energy*, **28**: 1491-1512.
- Al-Soud, M.S., Abdallah, E., Akayleh, A., Abdallah, S. and Hrayshat, E.S. (2010). A parabolic solar cooker with automatic two axes sun tracking system. *Applied Energy*, **87**: 463-470.
- Bakos, G.C. (2006). Design and construction of a two-axis Sun tracking system for parabolic trough collector (PTC) efficiency improvement. *Renewable Energy*, **31**: 2411-2421.
- Bekele, G. and Palm, B. (2010). Feasibility study for a standalone solar–wind-based Hybrid energy system for application in Ethiopia. *Applied Energy*, **87**: 487-495.
- Benghanem, M. (2011). Optimization of tilt angle for solar panel: Case study for Madinah, Saudi Arabia. *Applied Energy*, **88**: 1427-1433.

- Bingol, O., ALTINTAS, A. and ÖNER, Y. (2006). Microcontroller based solar-tracking system and its implementation. *Journal of Engineering Sciences*, **12**: 243-248.
- Boico, F. and Lehman, B. (2012). Multiple-input Maximum Power Point Tracking Algorithm for solar panels with reduced sensing circuitry for portable applications. *Solar Energy*, **86**: 463-475.
- Caner, M. and Akarşlan, E. (2009). Mermer Kesme İşleminde Spesifik Enerji Faktörünün ANFIS ve YSA Yöntemleri ile Tahmini. *Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **15**: 221-226.
- Chong, K.K. and Wong, C.W. (2009). General formula for on-axis sun-tracking system and its application in improving tracking accuracy of solar collector. *Solar Energy*, **83**: 298-305.
- Chong, W.T., Naghavi, M.S., Poh, S.C., Mahlia, T.M.I. and Pan, K.C. (2011). Techno-economic analysis of a wind-solar hybrid renewable energy system with rainwater collection feature for urban high-rise application, *Applied Energy*, **88**: 4067-4077.
- Chowdhury, B. and Rahman, S. (1987). Forecasting sub-hourly solar irradiance for prediction of photovoltaic output. *IEEE Photovoltaic Specialists Conference, (19th, New Orleans, LA)*, 171-176.
- Chupong, C. and Plangklang, B. (2011). Forecasting power output of PV grid connected system in Thailand without using solar radiation measurement. *Energy Procedia*, **9**: 230-237.
- Contreras, A., Garcia, J., Gonzalez, C. and Martinez, E. (2006). Portable solar tracker. http://engineering.utsa.edu/EE/sd/projects/spring2006/13/Team_13_Final_Presentation.pdf, 10.05.2013
- Demirtaş, M. (2006). Bilgisayar Kontrollü Güneş Takip Sisteminin Tasarımı ve Uygulaması. *Politeknik Dergisi*, **9**: 247-253.

- Eke, R. and Senturk, A. (2012). Performance comparison of a double-axis sun tracking versus fixed PV system. *Solar Energy*, **86**: 2665-2672.
- Fernando, C.P., Pedro, J.C.P., Francisco, A.D., Rafael, L.G. and José M.P. (2011). An approach to evaluate the energy advantage of two axes solar tracking systems in Spain, *Applied Energy*, **88**: 5131-5142, (2011).
- Hammer, A., Heinemann, D., Lorenz, E. and Lückehe ,B.(1999). Short-term forecasting of solar radiation: a statistical approach using satellite data. *Solar Energy*, **67**: 139-150.
- Hocaoglu, F.O., Gerek, O.N. and Kurban M. (2008). Hourly solar radiation forecasting using optimal coefficient 2-D linear filters and feed-forward neural networks. *Solar Energy*, 82: 714-726.
- Huang, B.J. and Sun, F.S. (2007). Feasibility study of one axis three positions tracking solar PV with low concentration ratio reflector. *Energy Conversion and Management*, **48**: 1273-1280.
- Huang, B.J., Ding, W.L. and Huang, Y.C. (2011). Long-term field test of solar PV power generation using one-axis 3-position sun tracker. *Solar Energy*, 85: 1935-1944, (2011).
- Jinayim, T., Arunrungrasmi, S., Tanitteerapan, T. and Mungkung N. (2007). Highly efficient low power consumption tracking solar cells for white LED-based lighting system. *International Journal of Electrical Computer and Systems Engineering*, **1**: 1307-5179.
- Kablan, M.M. (2003). Forecasting the demand on solar water heating systems and their energy savings potential during the period 2001–2005 in Jordan. *Energy Conversion and Management*, **44**: 2027-2036.
- Kacira, M., Simsek, M., Babur, Y. and Demirkol, S. (2004). Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey. *Renewable Energy*, **29**: 1265-1275.

- Kaldellis, J. and Zafirakis, D. (2012). Experimental investigation of the optimum photovoltaic panels' tilt angle during the summer period. *Energy*, **38**: 305-314.
- Kalogirou, S.A. (2001). Artificial neural networks in renewable energy systems applications: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **5**: 373–401.
- Karimova, K.S., Saqibb, M.A., Akhterc, P., Ahmedd, M.M., Chatthad, J.A. and Yousafzaid S.A. (2005). A simple photo-voltaic tracking system. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, **87**: 49-59.
- Kaya, İ., Oktay, S. and Engin O. (2005). Kalite kontrol problemlerinin çözümünde yapay sinir ağlarının kullanımı. *Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **21**: 92-107.
- Kaygusuz, K. And Sarı, A. (2003). Renewable energy potential and utilization in Turkey. *Energy Conversion and Management*, **44**: 459-478.
- Kelly, A.N. and Gibson, T.L. (2009). Improved photovoltaic energy output for cloudy conditions with a solar tracking system. *Solar Energy*, **83**: 2092-2101.
- Kelly, A.N. and Gibson, T.L. (2011). Increasing the solar photovoltaic energy capture on sunny and cloudy days. *Solar Energy*, **85**: 111-125.
- Khalifa, A.J.N. and Al-Mutawalli, S.S. (1998). Effect of two-axis sun tracking on the performance of compound parabolic concentrators. *Energy Conversion and Management*, **39**: 1073-1079.
- Koussa, M., Cheknane, A., Hadji, S., Haddadi, M. and Nouredine, S. (2011). Measured and modelled improvement in solar energy yield from flat plate photovoltaic systems utilizing different tracking systems and under a range of environmental conditions. *Applied Energy*, **88**: 1756-1771.
- Lawrence, R. (1997). Forecasting stock prices using neural networks. *Department of Computer Science, (University of Manitobo)*, 5-10.

- Lubitz, W.D. (2011). Effect of manual tilt adjustments on incident irradiance on fixed and tracking solar panels. *Applied Energy*, **88**: 1710-1719.
- Lynch, W. A. and Salameh, Z.M. (1990). Simple electro-optically controlled dual-axis sun tracker. *Solar Energy*, **45**: 65-69.
- Mehlerli, E.D., Zervas, P.L., Sarimveis, H., Palyvos, J.A. and Markatos N.C. (2010). Determination of the optimal tilt angle and orientation for solar photovoltaic arrays. *Renewable Energy*, **35**: 2468-2475.
- Nema, P., Nema, R.K. and Rangnekar, S. (2009). A current and future state of art development of hybrid energy system using wind and PV-solar: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **13**: 2096-2103.
- Nielsen, M.V., Svendsen, S. and Jensen, L.B. (2011). Quantifying the potential of automated dynamic solar shading in office buildings through integrated simulations of energy and daylight. *Solar Energy*, **85**: 757-768.
- Raja, I.A. and Abro, R.S. (1994). Solar and Wind Energy Potential and Utilization in Pakistan. *Renewable Energy*, **5**: 583-586.
- Roth, P., Georgiev, A. and Boudinov, H. (2004). Design and construction of a system for sun-tracking. *Renewable Energy*, **29**: 393-402.
- Rumala, S.S.N. (1986). A shadow method for automatic tracking. *Solar Energy*, **37**: 245-247.
- Salawu, R.I. and Oduyemi, T.A. (1987). A microprocessor controlled solar tracking system, *Journal of Microcomputer Applications*, **10**: 55-62.
- Sefa, İ., Demirtas, M. and Çolak İ. (2009). Application of one-axis sun tracking system. *Energy Conversion and Management*, **50**: 2709-2718.
- Seme, S. and Štumberger, G.(2011). A novel prediction algorithm for solar angles using solar radiation and Differential Evolution for dual-axis sun tracking purposes. *Solar Energy*, **85**: 2757-2770.

- Sfetsos, A. and Coonick, A. (2000). Univariate and multivariate forecasting of hourly solar radiation with artificial intelligence techniques. *Solar Energy*, **68**: 169-178.
- Siraki, A.G. and Pillay, P. (2012). Study of optimum tilt angles for solar panels in different latitudes for urban applications. *Solar Energy*, **86**: 1920-1928.
- Skeiker, K. (2009). Optimum tilt angle and orientation for solar collectors in Syria. *Energy Conversion and Management*, **50**: 2439-2448.
- Sorapipatana, C. (2010). An assessment of solar energy potential in Kampuchea. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **14**: 2174-2178.
- Sözen, A., Arcaklıoğlu, E., Özalp, M. and Kanit, E.G. (2005). Solar-energy potential in Turkey. *Applied Energy*, **80**: 367-381.
- Sungur, C. (2009). Multi-axes sun-tracking system with PLC control for photovoltaic panels in Turkey. *Renewable Energy*, **34**: 1119-1125.
- Su, Y., Chan, L., Shu, L. and Tsui, K.L. (2012). Real-time prediction models for output power and efficiency of grid-connected solar photovoltaic systems. *Applied Energy*, **93**: 319-326.
- Syafawati, A.N., Daut, I., Irwanto, M., Farhana, Z., Razliana, N., Arizadayana, Z. and Shema, S.S. (2012). Potential of Solar Energy Harvesting in Ulu Pauh, Perlis, Malaysia Using Solar Radiation-Analysis Studies. *Energy Procedia*, **14**: 1503-1508.
- Tina, G.M. and Gagliano, S. (2011). Probabilistic modelling of hybrid solar/wind power system with solar tracking system. *Renewable Energy*, **36**: 1719-1727.
- Urbano, J.A., Matsumoto, Y., Asomoza, R., Aceves, F.J., Sotelo, A. and Jacome A. (2003). 5 Wp PV module-based stand-alone solar tracking system. *Proceedings of the 3rd world conference of photovoltaic energy conversion*, **3**: 2463-2465.
- Yang, H., Lu, L. and Zhou, W. (2007). A novel optimization sizing model for hybrid solar-wind power generation system, *Solar Energy*, **81**: 76-84.

Yue, C. and Huang, G. (2011). An evaluation of domestic solar energy potential in Taiwan incorporating land use analysis, *Energy Policy*, **39**: 7988-8002.

Zogbi, R. And Laplaze, D. (1984). Design and construction of a sun tracker. *Solar Energy*, **33**: 369-372.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Murat ORHUN
Doğum Yeri ve Tarihi : Düzce 13.01.1986
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim : muratorhun@windowslive.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Düzce Endüstri Meslek Lisesi, Torna Tesviye Bölümü
Ön Lisans : Abant İzzet Baysal Üni., Düzce M.Y.O., Makine Bölümü
Lisans : Afyon Kocatepe Üni., Makine Res. ve Konst. Öğrt.

Yayımları (SCI ve diğer)

Ulusal Yayınlar :

Çınar, SM., Orhun, M., Hocaoğlu, FO., (2012), Solar tracker system design, 6th International Ege Energy Symposium & Exhibition, Ege University, Izmir, Turkey, June 28-30, (518-525).

Uluslararası Yayınlar :

Akarşlan, E., Orhun M., Hocaoğlu FO., Çınar SM., (2012), Farklı Teknolojilerle Üretilmiş Fotovoltaik Panellerin Çıkış Güçlerinin Modellenmesi, ELECO '2012 Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Bursa, 29 Kasım - 01 Aralık, (176-179).

Orhun, M., Koca YB., Hocaoğlu FO., Çınar SM., (2012), Farklı Yüzey Açılarındaki Işınım Şiddetlerinin Afyonkarahisar Bölgesi İçin Karşılaştırılması ve Güneş Panellerinden Elde Edilebilecek En Yüksek Elektrik Enerjisi Üretimi İçin Uygun Açıların Tespiti, *AKÜ FEBİD*, 12, 025201 (1-5)

Projeler :

Adaptif Bir Güneş Takip Sistemi Üzerinde Çeşitli Güneş Panellerinin Verimlilik Analizi ve Enerji Tahmini. 111E134 Numaralı TUBİTAK Projesi, Bursiyer, 2011-2012.