

**T.C.**  
**MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ ANABİLİM DALI**

**PROGRAMLANABİLİR LOJİK KONTROL (PLC) İLE**  
**GÜNEŞİ İZLEYEN SİSTEMİN BİR FOTOVOLTAİK**  
**MODÜLE UYGULANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ENVER ER**

**EKİM 2014**

**MUĞLA**

**T.C.**  
**MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ ANABİLİM DALI**

**PROGRAMLANABİLİR LOJİK KONTROL (PLC) İLE**  
**GÜNEŞİ İZLEYEN SİSTEMİN BİR FOTOVOLTAİK**  
**MODÜLE UYGULANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ENVER ER**

**EKİM 2014**

**MUĞLA**

MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü

TEZ ONAYI

ENVER ER tarafından hazırlanan PROGRAMLANABİLİR LOJİK KONTROL (PLC) İLE GÜNEŞİ İZLEYEN SİSTEMİN BİR FOTOVOLTAİK MODÜLE UYGULANMASI başlıklı tezinin, 15/10/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Enerji Anabilim Dalı'nda yüksek lisans derecesi için gerekli şartları sağladığı oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

TEZ SINAV JURİSİ

Doç. Dr. Ali KEÇEBAŞ (Jüri Başkanı)

Enerji Anabilim Dalı,  
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

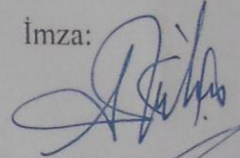
Yrd. Doç. Dr. Rüştü EKE (Danışman)

Enerji Anabilim Dalı,  
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

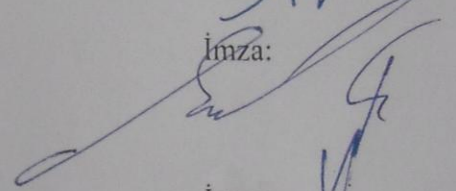
Doç. Dr. A.Sertap KAVASOĞLU(Üye)

Fizik Anabilim Dalı,  
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

İmza:



İmza:



İmza:

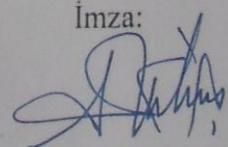


ANA BİLİM DALI BAŞKANLIĞI ONAYI

Doç. Dr. Ali KEÇEBAŞ

Enerji Ana Bilim Dalı Başkanı,  
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

İmza:



Savunma Tarihi: 15/10/2014

Tez çalışmalarım sırasında elde ettiğim ve sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgelerin tarafımdan bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde edildiğini; akademik ve bilimsel etik kurallara uygun olduğunu beyan ederim. Ayrıca, akademik ve bilimsel etik kuralları gereği bu tez çalışması sırasında elde edilmemiş başkalarına ait tüm orijinal bilgi ve sonuçlara atıf yapıldığını da beyan ederim.

Enver ER

15/10/2014

## ÖZET

### PROGRAMLANABİLİR LOJİK KONTROL (PLC) İLE GÜNEŞİ İZLEYEN SİSTEMİN BİR FOTOVOLTAİK MODÜLE UYGULANMASI

Enver ER

Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Anabilim Dalı

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Rüştü EKE

Ekim 2014, 82 Sayfa

Bu çalışmada, güneş izleme sistemleri ve çeşitleri incelenerek güneşin astronomik koordinatına dayalı farklı PLC programları geliştirilmiştir.

Güneş izleme sisteminin kontrolü PLC LOGO! cihazı ile sağlanmıştır. Güneş izlemesi için tasarlanan yüzeyin hareketi 2 adet lineer motor ile gerçekleştirilmiştir. İnce film bir fotovoltaik modül tasarlanan sistem üzerine yerleştirilmiştir. Uygulamanın yapıldığı sahada tamamen güneye bakacak şekilde, sabit eğimde ve güneş izleme sistemi üzerindeki ile özdeş fotovoltaik modül kullanılmıştır. Kesintisiz olarak ölçülen akım, gerilim ve yüzeylerdeki güneş ışınım değerleri kullanılarak üretilen enerjilerin karşılaştırılması yapılmıştır.

Geliştirilen yazılımla 4 ve 8 dakikalık farklı güneş izleme aralıkları kullanılarak fotovoltaik modüllerde üretilebilecek DC enerji hesaplanmıştır. İzleme aralığı azaltıldığında günlere göre değişmekle birlikte 4 dakikalık izleme aralığında %1-3 oranında daha fazla enerji üretildiği gösterilmiştir. Güneş izleme sistemiyle, 30° sabit eğimdeki güneye bakan fotovoltaik modüle göre tek eksenli izlemede yaklaşık %41, çift eksenli izlemede ise yaklaşık %46 daha fazla elektrik enerjisi üretildiği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Güneş izleme, PLC, LOGO, PV.

## ABSTRACT

### TRACKING SYSTEM WITH PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC) AND ITS APPLICATION TO A PHOTOVOLTAIC MODULE

Enver ER

Master of Science (M.Sc.)

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department Of Energy

Supervisor: Assist.Prof.Dr. Rüştü EKE

October 2014, 82 Pages

In this study, solar tracking system types are investigated and several PLC programmes are developed using the astronomical coordinates of the sun.

Solar tracking system is controlled with PLC LOGO!. The motion of the surface of the solar tracking system is evaluated with 2 linear motors. A thin film photovoltaic module is fixed on the developed solar tracking surface. An identical thin film photovoltaic module with a south oriented fixed tilt angle is installed on the application site. Generated electricity is calculated and compared using the continuously measured current, voltage and plane of array irradiation.

DC electricity values of photovoltaic modules are calculated for 4 and 8 minutes different solar tracking intervals. It is found that 1-3% more electricity is generated for 4 minute interval with narrower tracking intervals. It is calculated that 41% more electricity is generated with a one axis solar tracking system and 46% more electricity is generated with a dual axis solar tracking system against to a south oriented 30° tilt fixed photovoltaic module.

**Keywords:** Solar tracking, PLC, LOGO, PV.

## ÖNSÖZ

Çalışmalarım sırasında desteklerini benden esirgemeyen değerli tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Rüştü EKE, her konuda desteğini aldığım çalışma arkadaşım Öğr. Gör. Kadir CENGİZ ve değerli katkılarından dolayı arkadaşım Mehmet ÖĞÜN'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, çalışmam boyunca beni destekleyen sevgili eşim Hülya KAPTAN ER, biricik oğlum Kayra Cem ER, değerli annem ve babama şükranlarımı sunarım.

Bu Yüksek Lisans tez çalışması, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi tarafından BAP 13/27 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir.

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>x</b>
<b>SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>xiii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. GÜNEŞ</b> .....	<b>4</b>
2.1. Güneşten Gelen Enerjinin Değişimi.....	6
2.2. Yatay Yüzeydeki Güneş Enerjisi Potansiyeli .....	8
<b>3. GÜNEŞ İZLEME SİSTEMLERİ (GİS)</b> .....	<b>15</b>
3.1. Dönüş Eksenleri .....	17
3.2. Tek Eksenli Güneş İzleme Sistemleri .....	18
3.2.1. Polar tek eksenli izleme sistemleri.....	18
3.2.2. Azimut tek eksenli izleme sistemleri .....	19
3.2.3. Yatay tek eksenli izleme sistemleri.....	20
3.3. Çift Eksenli Güneş İzleme Sistemleri .....	20
3.3.1. Polar çift eksenli izleme sistemleri .....	20
3.3.2. Azimut çift eksenli izleme sistemleri.....	21
3.4. Kontrol Sistemine Göre Güneş İzleme Sistemleri .....	22
3.4.1. Açık döngü sistemler (kronolojik izleme).....	22
3.4.2. Kapalı döngü sistemler (aktif sensörlü) .....	22
3.4.3. Aktif sensörlü izleme - kronolojik izleme karşılaştırması .....	23
<b>4. PROGRAMLANABİLİR LOJİK KONTROLÖR (PLC)</b> .....	<b>24</b>
4.1. PLC'nin Tarihi .....	24
4.2. PLC'lerin Genel Kullanım Amacı .....	25
4.3. PLC'lerin Yapısı .....	26
4.4. Klasik Kumanda Sistemi İle PLC'nin Karşılaştırılması .....	29
4.5. PLC Program Yazılım Dilleri .....	29
4.5.1. Kontak plan (ladder plan).....	30
4.5.2. Fonksiyon plan (FBD).....	30

4.6. PLC Logo!.....	31
4.6.1. PLC logo! programlama birimi.....	33
<b>5. MATERYAL VE METOT .....</b>	<b>34</b>
5.1. Materyal .....	34
5.1.1. Fotovoltaik modül .....	37
5.1.2. Akım gerilim ölçümlerinin gerçekleştiği sistem .....	38
5.1.3. Güneş izleme sisteminin tanıtılması .....	39
5.2. Metot .....	40
5.2.1. PLC programını yazma aşamaları.....	45
5.2.1.1. Güneş pozisyonlarının belirlenmesi .....	45
5.2.2. Akış diyagramı .....	48
5.2.3. Siemens LOGO! soft comfort programı .....	49
5.2.3.1. Proje oluşturma.....	50
5.2.3.2. Donanım ayarları.....	50
5.2.4. PLC programının yazılması .....	51
5.2.5. Güç devresi kurulması .....	53
5.2.6. PLC programının PLC'ye yüklenmesi.....	54
<b>6. DENEYSEL BULGULAR .....</b>	<b>55</b>
6.1. Tek Eksenli GİS .....	56
6.1.1. Eğim açısı 30° olan 8 dakika aralıklarla izleme yapan tek eksenli GİS ..	57
6.1.2. İdeal eğim açısında 8 dakika aralıklarla izleme yapan tek eksenli GİS...	59
6.1.3. Eğim açısı 30° olan 4 dakika aralıklarla izleme yapan tek eksenli GİS ..	61
6.1.4. İdeal eğim açısında 4 dakika aralıklarla izleme yapan tek eksenli GİS...	62
6.1.5. Tek eksenli GİS enerji kazançlarının gün boyunca karşılaştırılması .....	64
6.2. Çift Eksenli GİS .....	65
6.2.1. Hareketi 4 dakikada bir yapan çift eksenli GİS .....	65
6.2.2. Hareketi 8 dakikada bir yapan çift eksenli GİS .....	69
6.2.3. Çift eksenli GİS'de enerji kazançlarının karşılaştırılması .....	73
6.3. Güneş İzleme Türlerinin Karşılaştırılması .....	74
<b>7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>75</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>78</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>82</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Günlük ortalama güneşlenme süresine göre il sıralaması.....	11
Çizelge 5.1. Deneylede kullanılan PV modülün özellikleri.....	37
Çizelge 5.2. Muğla ili güneş açısı sınırları .....	41
Çizelge 6.1. 22 Temmuz 2014'te 3 farklı noktada güneş ışınımı ve maksimum güç değişimleri .....	58
Çizelge 6.2. Tek eksenli izleme türlerinde kazanç karşılaştırılması .....	64
Çizelge 6.3. Çift eksenli izleme türlerinde kazanç karşılaştırılması .....	73
Çizelge 7.1. Deney günlerindeki güneş ışınım değerleri .....	77

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Dünyanın güneş etrafındaki yıllık yörüngesi .....	5
Şekil 2.2. Güneşin izlediği yolun değişimi .....	5
Şekil 2.3. Güneşten gelen enerjinin yıl içindeki değişimi.....	6
Şekil 2.4. Dünyaya gelen güneş ışınlarının iletimi ve yansıması.....	7
Şekil 2.5. Dünyada yatay yüzeydeki güneş enerji ışınımı .....	8
Şekil 2.6. Avrupa’da yatay yüzeydeki toplam güneş ışınımı.....	9
Şekil 2.7. Türkiye’de yatay yüzeydeki toplam güneş ışınımı .....	9
Şekil 2.8. Türkiye günlük ortalama ışınımın aylara göre değişimi .....	10
Şekil 2.9. Türkiye günlük ortalama güneşlenme süresinin aylara göre değişimi.....	11
Şekil 2.10. Muğla ilinin yatay yüzeydeki güneş ışınım haritası .....	12
Şekil 2.11. Muğla günlük ortalama ışınımın aylara göre değişimi .....	12
Şekil 2.12. Muğla günlük ortalama güneşlenme süresinin aylara göre değişimi.....	13
Şekil 2.13. Türkiye’de aylara göre günlük ortalama elektrik enerjisi tüketimi .....	13
Şekil 3.1. Güneş geliş açısı, eğim açısı ve azimut açısı .....	16
Şekil 3.2. GİS’deki dönüş eksenleri .....	17
Şekil 3.3. İzleme sisteminin doğu-batı ekseninde dönüşü-a .....	19
Şekil 3.4. İzleme sisteminin doğu-batı ekseninde dönüşü-b .....	19
Şekil 3.5. İzleme sisteminin kuzey-güney ekseninde dönüşü .....	20
Şekil 3.6. İzleme sisteminin doğu-batı ve kuzey güney ekseninde dönüşü-a .....	21
Şekil 3.7. İzleme sisteminin doğu-batı ve kuzey-güney ekseninde dönüşü-b .....	21
Şekil 3.8. Açık döngü sistem şeması.....	22
Şekil 3.9. Kapalı döngü sistem şeması.....	23
Şekil 4.1. PLC birimleri .....	27
Şekil 4.2. PLC’lerin blok şeması.....	27
Şekil 4.3. PLC ile çevre birimleri arasındaki bağlantı .....	28
Şekil 4.4. Ladder plan örneği .....	30
Şekil 4.5. Fonksiyon plan örneği.....	30
Şekil 4.6. PLC LOGO! bölümleri .....	31
Şekil 4.7. PLC LOGO! program menüleri .....	32
Şekil 5.1. Klasik elektromekanik kumanda panosu .....	34

Şekil 5.2. Lineer DC motor .....	36
Şekil 5.3. Mekanik gövde.....	37
Şekil 5.4. Akım gerilim ölçümlerinin gerçekleştiği sistemin tarayıcı kısmı.....	38
Şekil 5.5. Akım gerilim ölçümünü gerçekleştiren sistemin program görünümü .....	39
Şekil 5.6. Sabit 30° eğimli PV modül ile GİS.....	40
Şekil 5.7. Muğla ilinde 21 aralık tarihinde güneşin izlediği yörünge .....	41
Şekil 5.8. Muğla ilinde 21 mart ve 23 eylül tarihlerinde güneşin izlediği yörünge ...	42
Şekil 5.9. Muğla ilinde 21 haziran tarihinde güneşin izlediği yörünge .....	42
Şekil 5.10. Muğla için açık bir günde eğimli yüzeylerde ışınım şiddetinin değişimi	43
Şekil 5.11. Muğla ilinde 11 haziran için en fazla enerjinin elde edildiği eğim.....	44
Şekil 5.12. Muğla ili için aylara göre, ideal eğim açılarının değişimi .....	44
Şekil 5.13. Güneş pozisyonunu hesaplayan programın ekran görüntüsü.....	45
Şekil 5.14. MIDC SOLPOS programından motorların hareket süreleri-a .....	46
Şekil 5.15. MIDC SOLPOS programından motorların hareket süreleri-b.....	47
Şekil 5.16. MIDC SOLPOS programından motorların hareket süreleri-c .....	48
Şekil 5.17. GİS PLC programı akış diyagramı .....	49
Şekil 5.18. LOGO! soft comfort programında proje oluşturma.....	50
Şekil 5.19. Siemens PLC LOGO! OBA6 standart özellikleri.....	50
Şekil 5.20. PLC programı (D-B) .....	51
Şekil 5.21. PLC programı (B-D).....	52
Şekil 5.22. PLC programı (G-K).....	52
Şekil 5.23. PLC programı (K-G).....	53
Şekil 5.24. GİS güç devresi.....	54
Şekil 6.1. 22 Temmuz 2014 tarihli maksimum güçlerin karşılaştırılması .....	57
Şekil 6.2. 22 Temmuz 2014 tarihli ölçülen ışık miktarı.....	59
Şekil 6.3. 29 Temmuz 2014 tarihli ölçülen ışık miktarı.....	59
Şekil 6.4. 29 Temmuz 2014 tarihli maksimum güçlerin karşılaştırılması .....	60
Şekil 6.5. 25 Ağustos 2014 tarihli ölçülen ışık miktarı.....	61
Şekil 6.6. 25 Ağustos 2014 tarihli maksimum güçlerin karşılaştırılması .....	62
Şekil 6.7. 22 Ağustos 2014 tarihli ölçülen ışık miktarı.....	63
Şekil 6.8. 22 Ağustos 2014 tarihli maksimum güçlerin karşılaştırılması .....	63
Şekil 6.9. 13 Temmuz 2014 tarihli ölçülen ışık miktarı.....	65

Şekil 6.10. 13 Temmuz 2014 tarihli maksimum güçlerin karşılaştırılması .....	66
Şekil 6.11. 13 Temmuz 2014 tarihli normalize edilmiş güç kazancı .....	67
Şekil 6.12. Saat 7:39'da test edilen PV modüllerin akım-gerilim değişimleri.....	68
Şekil 6.13. Saat 13:09'da test edilen PV modüllerin akım-gerilim değişimleri.....	68
Şekil 6.14. Saat 18:39'da test edilen PV modüllerin akım-gerilim değişimleri.....	69
Şekil 6.15. 10 Temmuz 2014 tarihli ölçülen ışık miktarı.....	69
Şekil 6.16. 10 Temmuz 2014 tarihli maksimum güçlerin karşılaştırılması .....	70
Şekil 6.17. 18 Mart 2014 tarihli maksimum güçlerin karşılaştırılması.....	71
Şekil 6.18. 19 Mart 2014 tarihli maksimum güçlerin karşılaştırılması.....	72
Şekil 6.19. 20 Temmuz 2014 tarihli maksimum güçlerin karşılaştırılması .....	73
Şekil 6.20. Sabit yüzey eğimli PV modülle GİS arasındaki enerji farkı oranları .....	74
Şekil 7.1. Sabit yüzey eğimli PV modülle GİS'de üretilen enerjilerin farkları .....	76

## SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$\beta$	Modül eğim açısı
$\delta$	Deklinasyon açısı
$\omega$	Saat açısı
$\gamma$	Azimut açısı
$\theta$	Güneş geliş açısı
$\Phi$	Enlem değeri
$\Delta P$	Güç farkı
E	Enerji kazancı
$E_{30}$	Sabit 30° eğimli PV modülde üretilen enerji
$E_{GIS}$	Güneş izleme sisteminde üretilen enerji
$E_N$	Normalize edilmiş enerji
$G(W/m^2)$	Güneşten gelen toplam enerji miktarı
H	Saat
$H_\beta$	Eğimli yüzeye güneşten gelen günlük toplam enerji miktarı
I	Giriş
$I_{MPP}$	Maksimum güç noktasındaki akım
$I_{sc}$	Kısa devre akımı
$P_{30}$	30° eğimli PV modülün maksimum DC gücü
$P_{GIS}$	Güneş izleme sistemi maksimum DC gücü
$P_{max}$	Maksimum güç
$P_{max,N}$	Normalize edilmiş maksimum güç
$P_{mpp}$	Maksimum tepe noktasındaki güç
$P_{STC}$	Standart test koşullarındaki güç değeri
Q	Çıkış
$V_{MPP}$	Maksimum güç noktasındaki gerilim
$V_{oc}$	Açık devre gerilimi
A	Amper
AC	Alternatif akım
B	Batı
°C	Santigrat derece

CPU	İşlemci
D	Doğu
DC	Doğru akım
FBD	Fonksiyon Blok Diyagramı
G	Güney
GIS	Güneş İzleme Sistemi
K	Kuzey
PLC	Programlanabilir Lojik Kontrol
PV	Fotovoltaik
V	Volt

# 1. GİRİŞ

Fotovoltaik (PV) sistemlerin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Buna rağmen yüksek üretim maliyetleri, ışınım ve sıcaklık gibi çevresel koşullara bağlı olarak elektriksel enerji verimliliğinin düşük olması PV sistemlerin yaygınlaşmasının önündeki engellerdendir. Elektriksel enerji verimliliğini artırmak için; PV enerji dönüşüm veriminden, güneş enerjisinin yüzeylerde daha fazla toplanmasına kadar çeşitli çalışmalar yapılmaktadır (Uslu, 2012).

PV yapılarında elde edilen elektriksel çıkış gücü PV yüzeye düşen güneş ışığı miktarı ile doğru orantılıdır. Gün içerisinde güneş ışınları farklı açılarla yerküremize ulaşmaktadır. Dolayısıyla PV modüllerden gün içerisinde elde edilecek güç değeri sürekli değişmektedir. Yüzeye gelen güneş enerjisinden daha fazla yararlanabilmek ve PV modüllerden daha yüksek elektriksel güç elde edebilmek, PV modül yüzeyinin normalinin güneş ışınlarına paralel duruma getirilmesi ile mümkündür. Güneş izleme sistemi (GİS), güneş ışınlarının modül yüzeyine dik bir şekilde gelmesini sağlamak için PV yüzeyin hareket ettirilerek güneş ışınımından maksimum seviyede faydalanmayı amaçlayan sistemlerdir.

GİS kullanılması, sabit yüzey eğimli PV sistemlere göre daha yüksek maliyete sahip olup kurulması ve uygulaması karmaşıktır. Ancak GİS üzerine yerleştirilmiş olan PV modüller sabit eğimli yüzeye yerleştirilmiş PV modüllere göre anlık olarak daha yüksek güç çıkışı ve yıllık olarak daha fazla enerji üretimi gerçekleştirebilmektedir. Birçok uygulamada elde edilen sonuçlara göre yıllık enerji kazancının %30-42 arasında olduğu gösterilmiştir (Enslin, 1992; Eke ve Şentürk, 2012; Kalaycı, 2012).

GİS genellikle pasif izleme ve aktif izleme olarak iki kategoride sınıflandırılır. Pasif izleme bir maddenin termal olarak genişlemesine dayanmaktadır. Aktif izleme ise yazılan programlar ile kontrol cihazlarının çalıştırılmasına dayalı sistemlerdir. Ayrıca bu izleme sistemleri de; tek veya çift eksenle izleme, astronomik veya foto sensörlü izleme, özerk veya yardımcı enerji kaynağı ile izleme, sürekli veya belirli aralıklarla izleme gibi sınıflarda kategorize edilebilir (Bayod-Rujula vd., 2011).

Tek eksenli GİS’de azimut açısına bağılı olarak izleme yapılmaktadır. Çift eksenli GİS’de ise azimut açısı yanında güneş yükseklik açısı değişimlerine bağılı olarak izleme gerçekleştirilmektedir. Kontrol sistemlerine göre GİS, astronomik ve sensörlü olarak iki grupta incelenmektedir (Uzunok, 2007; Lee vd., 2009; Şüyun, 2009). Sensörlü GİS’de geri bildirim elemanı kullanılmaktadır. Geri bildirim elemanı üzerine gelen güneşin ışığına ve sıcaklığına göre güneş izleme kontrol sistemine sinyal göndererek motorlar aracılığıyla gün boyu yüzeyin güneşe yönelmesini sağlamaktadır. Geri bildirim elemanı olarak çoğunlukla foto direnç, foto transistör, foto pil ve shaft enkoder kullanılmaktadır (Öksüztepe, 1998; Al-Mohamad, 2004; Bilgin, 2006; Demir, 2007). Astronomik GİS ise bir yerde, güneşin izleyeceği yörüngenin önceden bilinmesi prensibine dayanarak GİS yüzeyinin o yörüngeye paralel şekilde hareket ettirilerek gerçekleştirilir.

GİS güneş izleme yüzeyinin hareketini sağlamak için mekanik aksama, kontrol sistemine ve motor sürücü sistemine bağılı olarak asenkron, step, servo, lineer, redüktörlü, AC, DC vb. gibi çok değişik motorlar kullanılmaktadır (Şenol, 2005; Şenpınar, 2005; Beyoğlu, 2011).

GİS uygulamalarının çoğu yardımcı enerji kaynağıyla, motorların çalışması için ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisini şebekeden tedarik ederek çalışmaktadır. Fakat enerjisini sisteme bağılı PV modüllerden alan GİS’lerde bulunmaktadır (Dinçadam, 2008).

GİS yüzeyine yerleştirilmek üzere sadece PV modüller kullanılmamaktadır. Bunun yanı sıra GİS güneş kolektörlerine de uygulanabilmektedir. GİS kolektörlere uygulandığında sabit yüzey eğimli kolektörlere göre daha verimli, yaklaşık olarak iki kolektörün vereceği ısı enerjisini hareketli tek bir kolektör verebilecek hale gelebildiği gösterilmiştir (Argun, 2012).

Bu çalışmada, yazılan farklı programlanabilir lojik kontrol (PLC) programları kullanılarak kontrol edilen GİS üzerine yerleştirilmiş olan PV modül ile sabit eğimli yüzeye yerleştirilmiş olan özdeş bir PV modülden üretilen elektrik enerjisi arasındaki farkı belirlemek amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda; tek ve çift eksenli GİS kullanıldığında sabit eğimdeki PV modüle göre enerji kazancının ve izlemenin yapıldığı zaman aralığı değiştirilerek enerji kazancındaki değişimin belirlenmesi

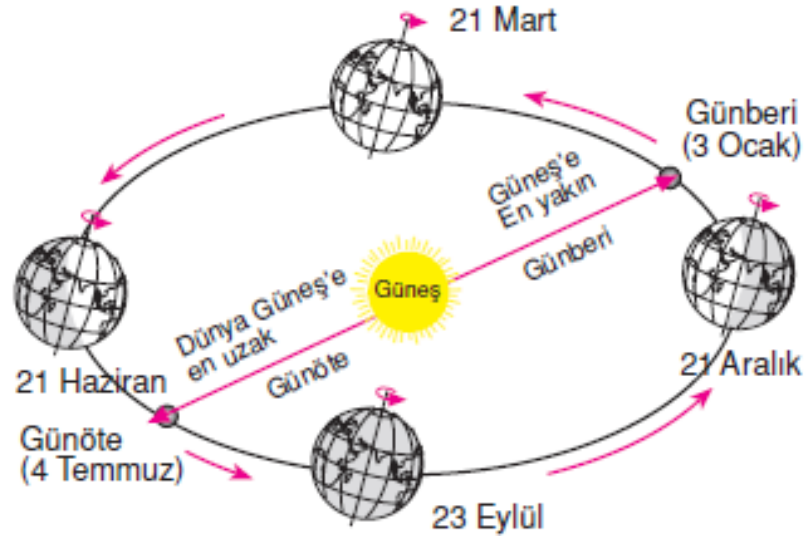
gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın daha önce yapılmış diğer çalışmalardan farkı GİS'in otomatik kontrolü için PLC cihazlarının en basit ve en az maliyetli ürünlerinden olan PLC LOGO! cihazından bir adet kullanılmasıdır. Dünyada GİS'in kontrol edilmesinde PLC LOGO! kullanılan çalışmada ise bu cihazdan 2 adet kullanılarak izleme yaptırılmıştır (Salah ve Salem, 2004). Türkiye'de yapılan çalışmalarda PLC cihazlarının farklı bir çeşidi olan PLC S7 200 kullanılarak izleme gerçekleştirilmiştir (Sungur, 2009; Bayrak ve Gençoğlu, 2011). PLC LOGO! cihazı için geliştirilen farklı programlar ile GİS'in hareketini sağlayan iki adet lineer DC motorun kontrolü sağlanmıştır.

## 2. GÜNEŞ

Güneş,  $1,39 \times 10^9$  m çapında yoğun sıcak gazlar içeren bir küredir. Ayrıca hidrojen ve helyum gazlarından oluşan orta büyüklükte bir yıldızdır. Dünya ile güneş arasındaki mesafe yaklaşık 150 milyon km kadardır. Güneşin 1 saniyede ürettiği enerji miktarı, insanlığın şimdiye kadar kullandığı enerji miktarından fazladır. Dünya, güneşten gelen enerjinin sadece milyarda birini alır. Güneşin sıcaklığı merkeze doğru artar ve  $20 \times 10^6$  K olur. Yüzey sıcaklığı ise 6000 K'dir. Güneşten gelen enerji çeşitli dalga boylarında ışınlar olarak dünyaya ulaşmaktadır (Uyarel ve Öz, 1987).

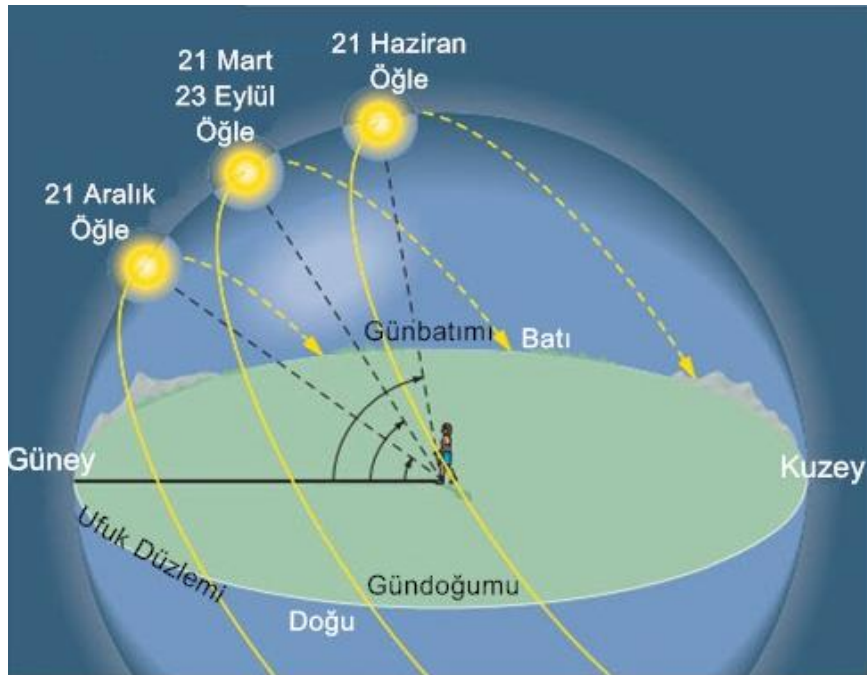
Güneşten sürekli  $3,8 \times 10^{23}$  kW gücünde enerji yayılımı olmaktadır. Bu enerji yayılımının olması için güneş saniyede 4,7 milyon ton kütle kaybetmektedir (Makvart, 1994).

Dünyanın güneş etrafındaki yıllık yörüngesinde dünyanın güneşe olan uzaklığı 3 ocak tarihinde en kısa mesafeye inerek 147 milyon km olurken 4 temmuz tarihinde en uzun mesafeye çıkarak 152 milyon km olmaktadır (Şekil 2.1.). Kuzey yarım kürede dünya ile güneş arasındaki mesafe en kısa olduğu zaman kış mevsimini en uzun olduğu zaman ise yaz mevsimi yaşanmaktadır. Güney yarım kürede ise bu durumun tersi söz konusudur. Dolayısıyla dünyadaki mevsimsel ve günlük sıcaklık değişimleri, güneşe yakınlıktan ziyade güneş ışınlarının yeryüzüne geliş açısıyla ilgilidir. Mevsimsel değişimler, dünyanın kutup eksenindeki  $23,45^\circ$  eğimi ve güneş etrafındaki dönüşünden kaynaklanmaktayken, günlük değişimler dünyanın kendi eksenini etrafındaki dönüşünden kaynaklanmaktadır. Ayrıca dünyanın kutup eksenindeki  $23,45^\circ$  lik eğim, yıl boyunca gece-gündüz uzunluğunda da değişimler ortaya çıkarmaktadır (Bilgin, 2006).



Şekil 2.1. Dünyanın güneş etrafındaki yıllık yörüngesi

Yaz mevsiminde güneş diğer mevsimlere göre daha erken doğup daha geç batmaktadır ve güneş yükseklik açısı en üst seviyededir (Şekil 2.2.). Dolayısıyla güneşin günlük hareketinin (doğuş ve batış) yanı sıra bir de mevsimsel hareketi söz konusudur.

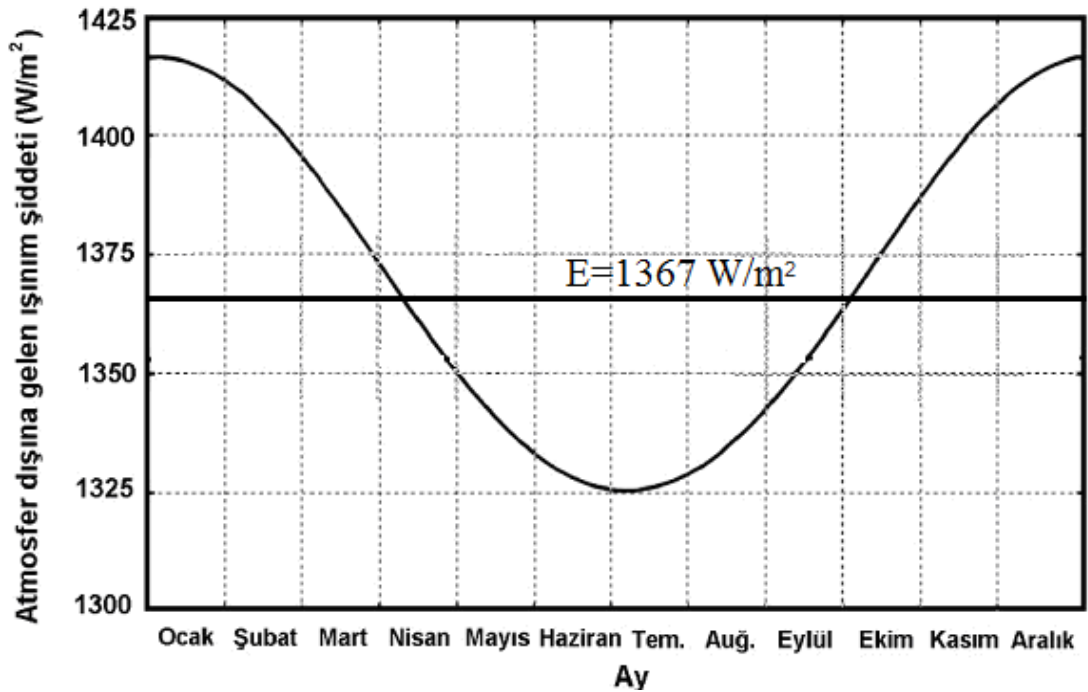


Şekil 2.2. Güneşin izlediği yolun değişimi

## 2.1. Güneşten Gelen Enerjinin Değişimi

Güneşten yeryüzüne gelen ışınım şiddeti, gün içinde güneş ışınlarının geliş açısına bağlı olarak değişir. Açık bir günde güneş ışınım şiddeti, öğle vaktinde gün içindeki en yüksek değerine ulaşır. Bunun sebebi, güneş ışınlarının atmosfer içinde izlediği yolun öğle vaktinde en az olmasıdır.

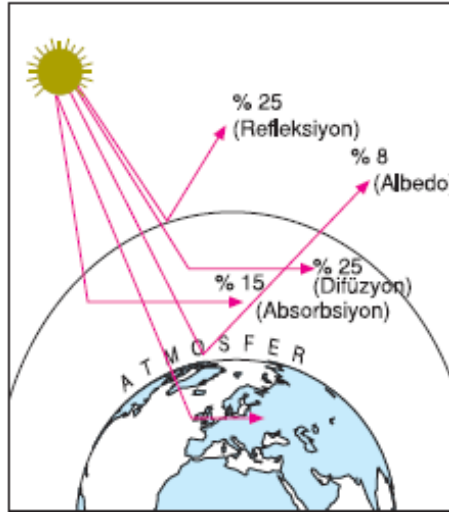
Güneşten ışınım yoluyla atmosfer dışına da birim alana 1300-1400 W arasında enerji gelmektedir. Dünya atmosferinin dışında güneş ışınımının şiddeti, yaklaşık olarak sabittir ve 1353 ile 1373 W/m<sup>2</sup> arasında değerler alır; ancak yeryüzünde 0-1100 W/m<sup>2</sup> değerleri arasında değişim gösterir. Güneşten dünyaya gelen bu enerji, dünyanın güneş etrafında çizdiği yörüngenin eliptik olması nedeniyle değişkendir (Şekil 2.3.).



Şekil 2.3. Güneşten gelen enerjinin yıl içindeki değişimi

Atmosfer güneşten gelen enerjinin %6 kadarını yansıtır, %16 kadarını da sönümler ve böylece deniz seviyesinde ulaşılabilen en yüksek güneş enerjisi 1020 W/m<sup>2</sup> seviyesine düşer. Bulutlar gelen ışınımı, yansıtma suretiyle yaklaşık %20, sönümlenme suretiyle de yaklaşık %16 azaltırlar (Anonim, 2014b).

Güneş ışınımının tamamı yer yüzeyine ulaşmaz, %25 kadarı dünya atmosferi tarafından geriye yansıtılır, %25'i atmosfer içerisine yayılır, %15 kadarı atmosfer tarafından yutulur ve %8 kadarı yere çarparak geri yansımaktadır. Bu özelliklerin hepsi atmosfer içerisindeki enerji kayıpları olurken geriye kalan %27'lik kısım yer yüzüne ulaşmaktadır (Şekil 2.4.). Bitkiler, fotosentez sırasında güneş ışığıyla birlikte karbondioksit ve su kullanarak, oksijen üretirler. Fotosentez, yeryüzünde bitkisel yaşamın kaynağıdır. Dünyaya gelen bütün güneş ışınımı sonunda ısıya dönüşür ve uzaya geri verilir.



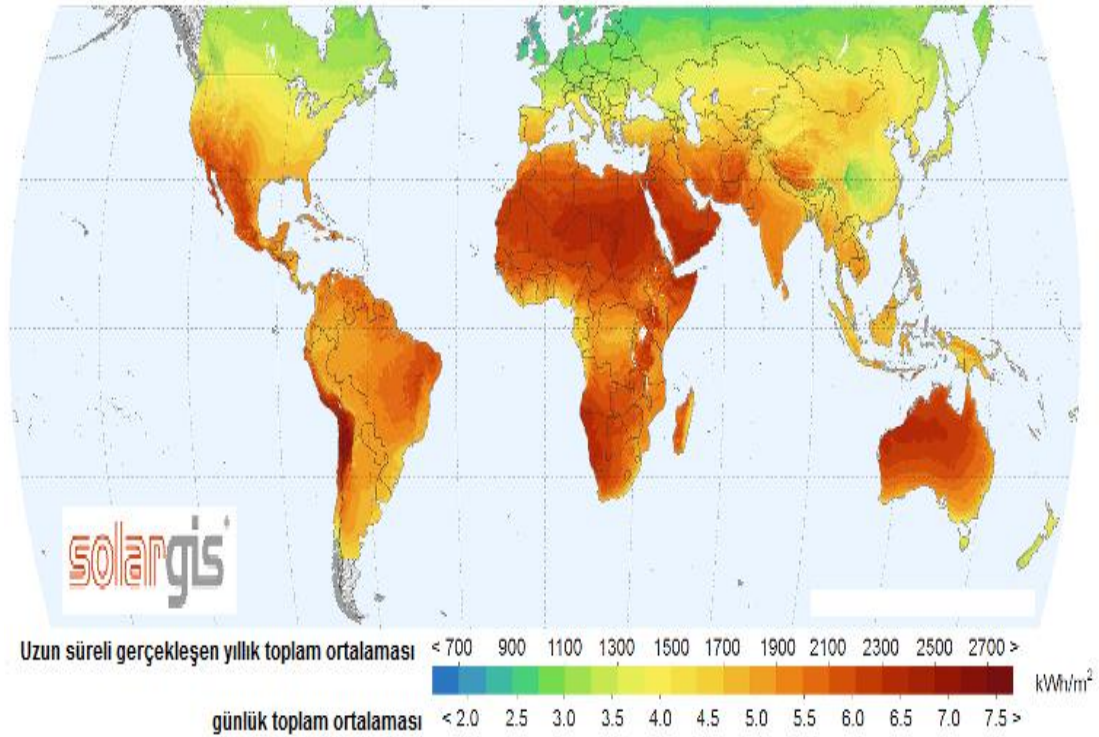
Şekil 2.4. Dünyaya gelen güneş ışınlarının iletimi ve yansımaları

Günümüzde dünya nüfusundaki artış ve buna bağlı olarak enerji ihtiyacındaki yükseliş, alternatif yakıtlara daha fazla önem verilmesine ve buna bağlı olarak daha fazla zaman ve para harcanmasına neden olmaktadır. Varolan fosil yakıt kaynaklarının tükenebilir olması ve enerji üretimi sırasında da sülfür ve azot oksitler gibi bazı kimyasalları üreterek çevreye verdiği zarar da düşünüldüğünde, verilen önemin artmasının normal olduğu görülmektedir. Bu kapsamda alternatif enerji kaynaklarından, güneşle termal ısıtma, güneş enerjisi modülü ve yakıt pilleri sahip olduğu pek çok olumlu özellik ile ön plana çıkmaktadır. Güneş enerjisinin öneminin giderek artması beklenmektedir. Çünkü güneş yeryüzünde tüketilen toplam enerjiden 20.000 kez daha fazla enerjiyi yeryüzüne yollar, çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Endüstride (fabrikalar ve organize sanayi bölgeleri) ile yerleşim alanlarında (evler, siteler) termal (sıcak su, radyatör ön ısıtma, havuz ısıtma) ve fotovoltaik

uygulamaları bulunmaktadır. Ayrıca uydu ve uzay istasyonlarında güneşten elektrik elde etmek için kullanılan güneş enerjisi modülü teknolojilerindeki gelişim, bunların verimlerindeki artış sayesinde daha ekonomik hale gelmektedirler (Anonim, 2014a).

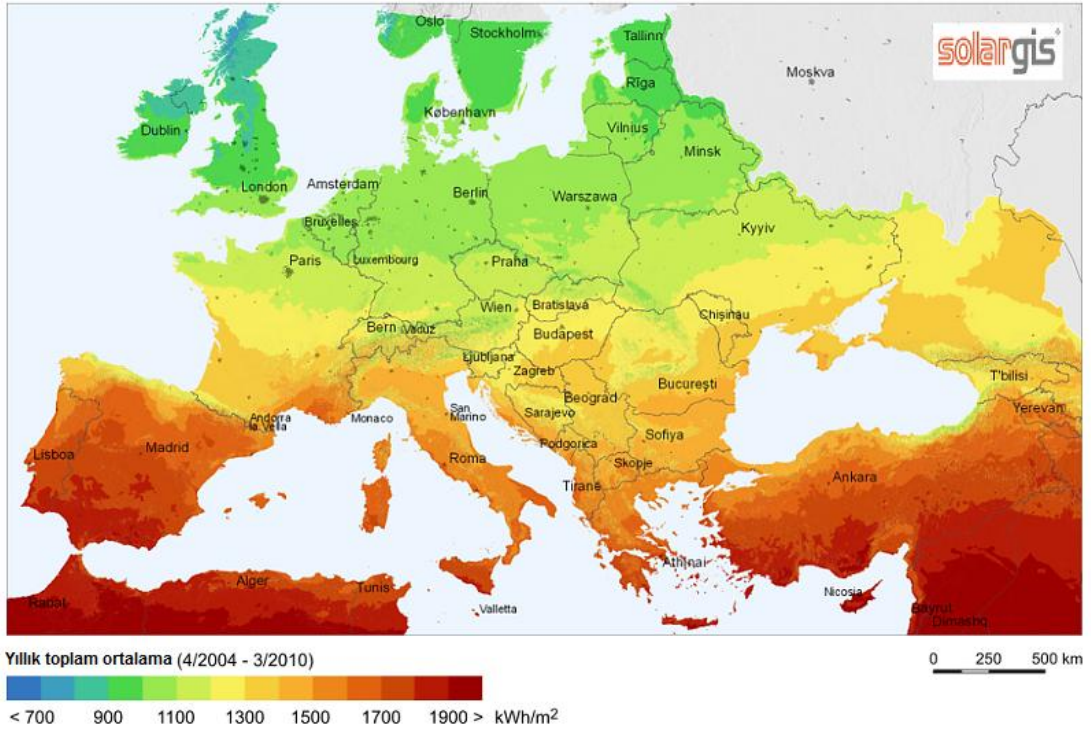
## 2.2. Yatay Yüzeydeki Güneş Enerjisi Potansiyeli

Dünyaya yatay yüzeye gelen güneş ışınımında ekvatora yakın bölümlere gelen güneş ışınımı en üst seviyededir (Şekil 2.5.). Dünyaya gelen güneş ışınımı kutuplara doğru gidildikçe azalmaktadır (Anonim, 2014d).



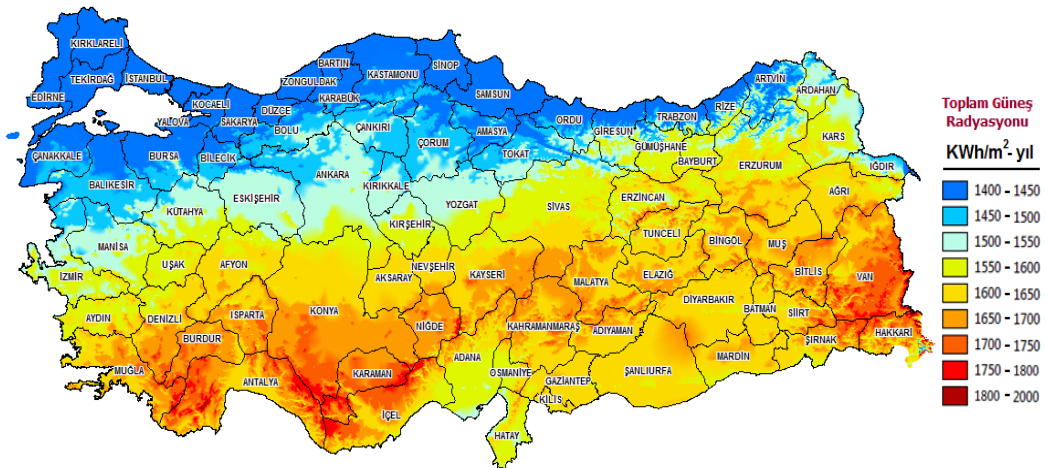
Şekil 2.5. Dünyada yatay yüzeydeki güneş enerji ışınımı

Avrupa kıtasındaki yatay yüzeye gelen toplam yıllık ışınımın ülkelere göre değişiminde Türkiye, İspanya, İtalya'nın güneyi ve Yunanistan'ın güneyi ile birlikte en yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip olduğu görülmektedir (Şekil 2.6.).



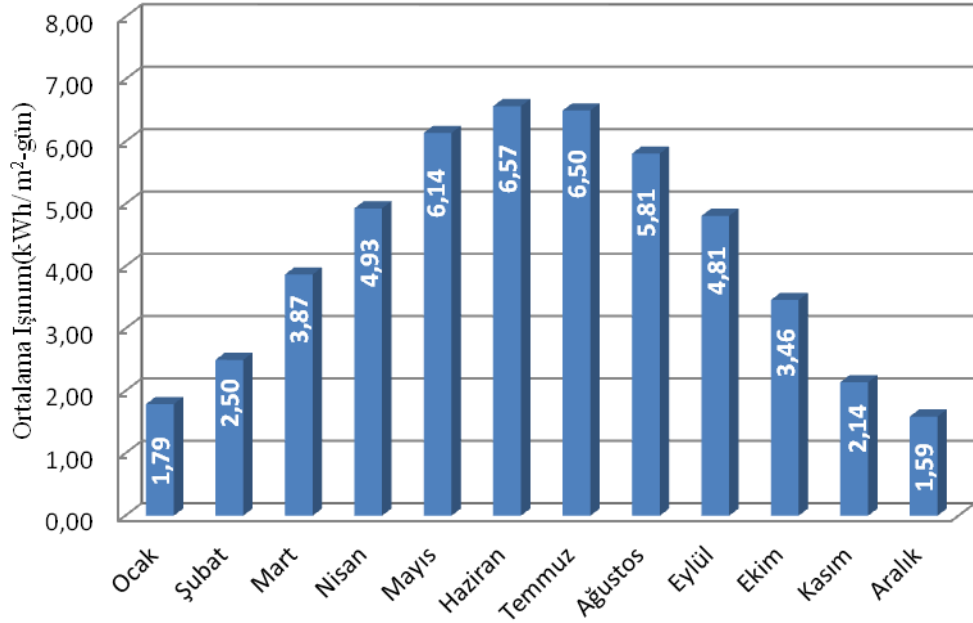
Şekil 2.6. Avrupa’da yatay yüzeydeki toplam güneş ışınımı

Türkiye’ye gelen güneş enerjisi haritasında Şekil 2.7.’de verildiği gibi ışınım miktarının yüksek olduğu yerler koyu kırmızı tonlarda, ışınım miktarının az olduğu bölgeler ise koyu mavi tonlarda gösterilmiştir. Türkiye için güney bölgelerinde Muğla, Antalya, Karaman çevresi ve doğu bölgelerinde Van çevresi daha çok güneş enerjisi potansiyeline sahip olduğu görülmektedir.



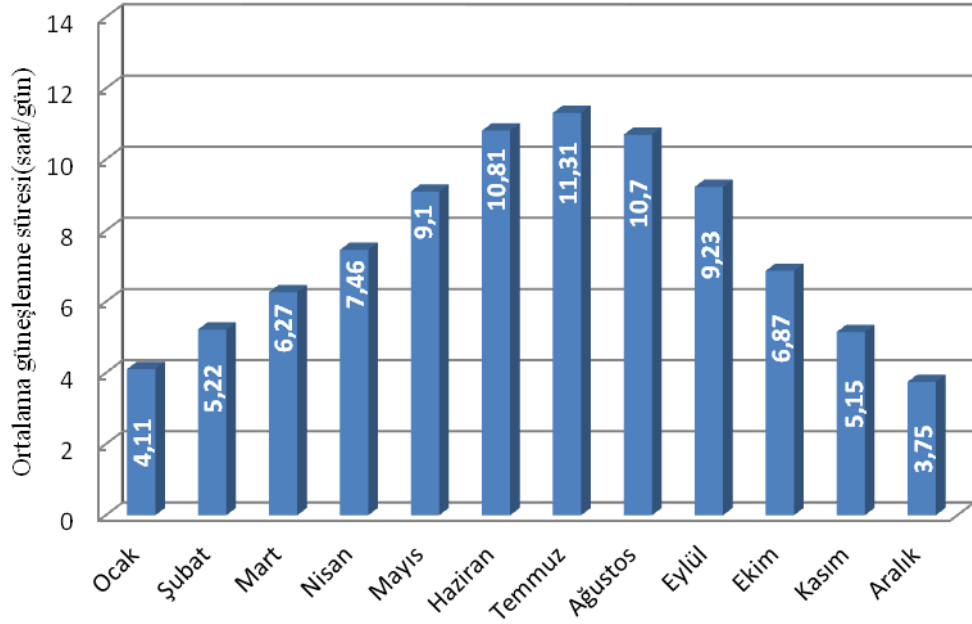
Şekil 2.7. Türkiye’de yatay yüzeydeki toplam güneş ışınımı

Ülkemiz, 36°–42° kuzey paralelleri arasında olup güneş enerjisi potansiyeli bakımından elverişli bir konumda bulunmaktadır. Coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre yüksek durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük ortalama 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m<sup>2</sup>-yıl (günlük ortalama 3,6 kWh/m<sup>2</sup>) olduğu tespit edilmiştir. Türkiye'nin aylık güneşlenme süresi ile güneş enerjisi potansiyeli haziran, temmuz ve ağustos aylarında yüksek iken, kış aylarında düşük değerleri almaktadır. Türkiye'nin aylık verilere göre günlük ortalama global ışınım değerleri incelendiğinde, en düşük değer aralık ayında 1,59 kWh/m<sup>2</sup>-gün, en yüksek değerin ise haziran ayında 6,57 kWh/m<sup>2</sup>-gün olduğu Şekil 2.8.'de görülmektedir.



Şekil 2.8. Türkiye günlük ortalama ışınımın aylara göre değişimi

Ülkemiz güneşlenme süresi bakımından çok zengin bir ülkedir. Güneş alma süresinin en az gerçekleştiği dönem aralık ayında 103 saat, ortalama günlük 3,75 saat iken en çok gerçekleştiği dönem ise temmuz ayında 365 saat, ortalama günlük ise 11,31 saat olarak gerçekleşmektedir (Şekil 2.9.).



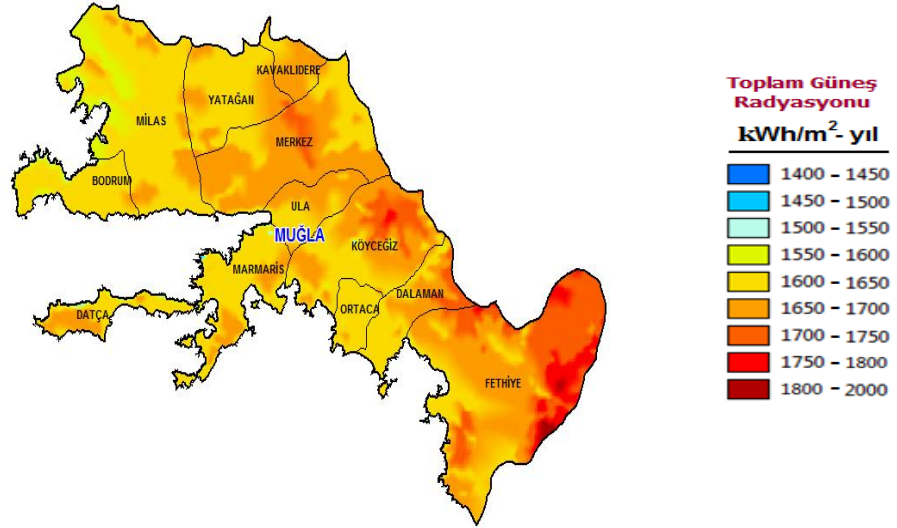
Şekil 2.9. Türkiye günlük ortalama güneşlenme süresinin aylara göre değişimi

Muğla ilinin günlük ortalama güneşlenme süresi 7,48 saat olarak gerçekleşmektedir. Çizelge 2.1.'de görüldüğü gibi Türkiye'de illere göre ortalama günlük güneşlenme süreleri göz önüne alındığında Muğla ön sıralarda karşımıza çıkmaktadır (Kutlu, 2002).

Çizelge 2.1. Günlük ortalama güneşlenme süresine göre il sıralaması

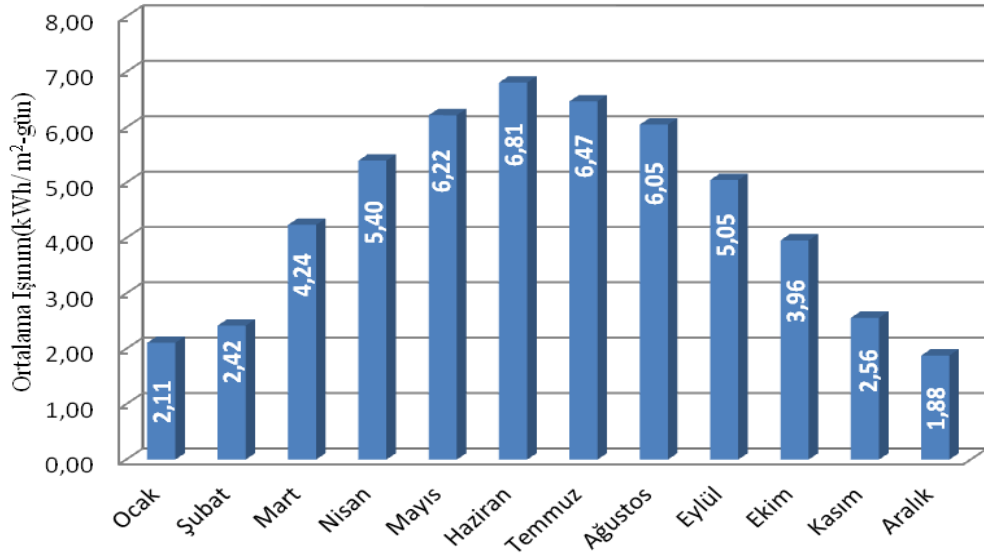
Sıralama	İl	Günlük Ortalama Güneşlenme Süresi(Saat)
1	Şanlıurfa	8,30
2	Antalya	8,28
3	İzmir	8,06
4	G.Antep-Diyarbakır	8,01
5	Adana	7,55
6	Muğla	7,48
7	Siirt	7,43
8	Malatya	7,41
9	Çanakkale	7,31
10	Konya-Isparta	7,29

Muğla iline ait Şekil 2.10.'daki güneş ışınım haritasında Muğla geneli yıllık ortalama 1600-1750 kWh/m<sup>2</sup>'lik güneş ışınım potansiyeline sahiptir. Fethiye'nin doğusu ve Köyceğiz'in kuzeyi dikkat çekmektedir.



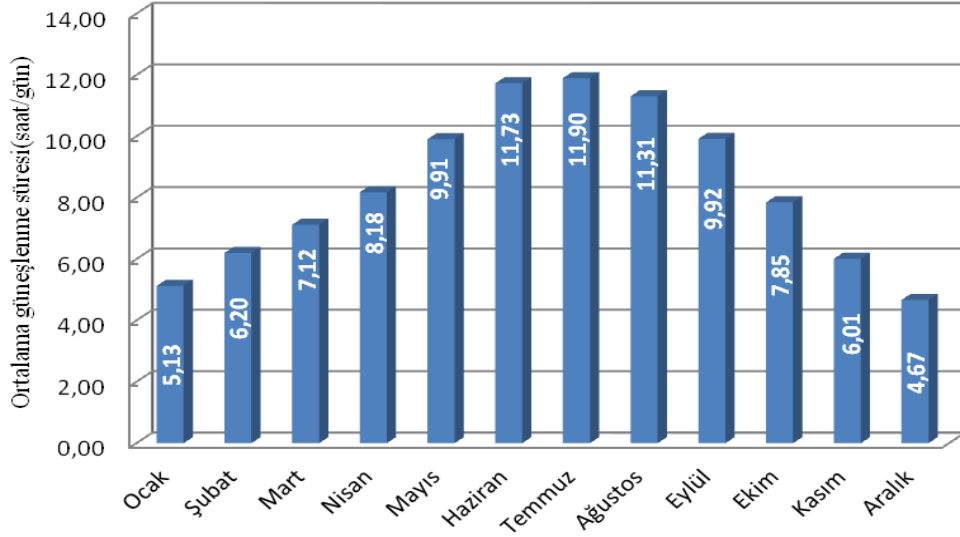
Şekil 2.10. Muğla ilinin yatay yüzeydeki güneş ışımm haritası

Muğla ilinin Şekil 2.11.'deki aylık verilerde günlük ortalama ışımm değerleri incelendiğinde en düşük aralık ayında 1,88 kWh/m<sup>2</sup>-gün iken en yüksek ise haziran ayında 6,81 kWh/m<sup>2</sup>-gün olarak gerçekleşmektedir. Güneş ışımm değerleri şubat ve temmuz ayları hariç Türkiye ortalama güneş ışımm değerlerinden yüksektir. Muğla ili ortalama ışımm değerleri açısından Türkiye ortalamasının üzerinde bir ildir.



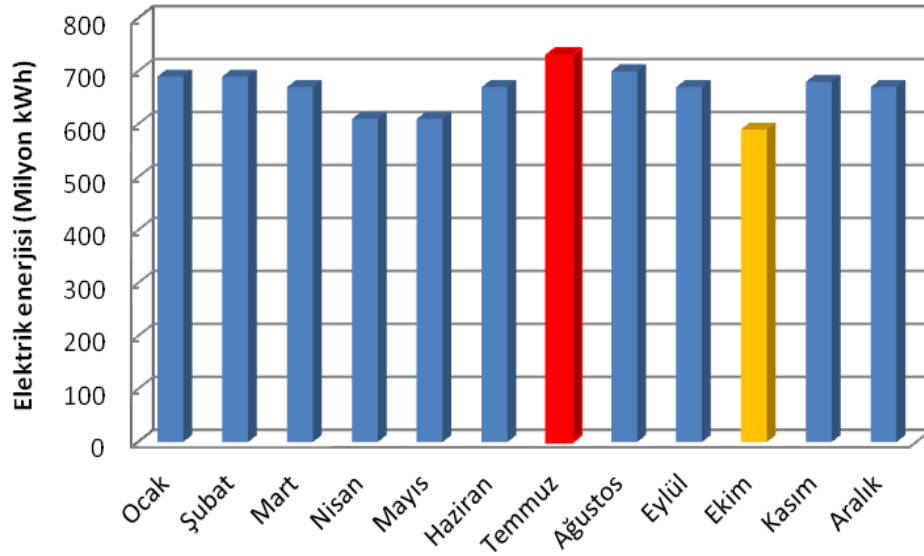
Şekil 2.11. Muğla günlük ortalama ışımmın aylara göre değişimi

Muğla ili aylık veriler göre Şekil 2.12.'de verilen günlük ortalama güneşlenme süreleri incelendiğinde bütün aylarda Türkiye ortalamasının üzerinde değerler görülmektedir. En düşük aralık ayında 4,67 saat ve en yüksek temmuz ayında 11,90 saat olarak gerçekleşmektedir.



Şekil 2.12. Muğla günlük ortalama güneşlenme süresinin aylara göre değişimi

Türkiye genelinde Şekil 2.13.'te günlük ortalama elektrik tüketimine bakıldığında temmuz ayında en yüksek seviyesine çıkmakta ekim ayında ise en az tüketim gerçekleşmektedir.



Şekil 2.13. Türkiye'de aylara göre günlük ortalama elektrik enerjisi tüketimi

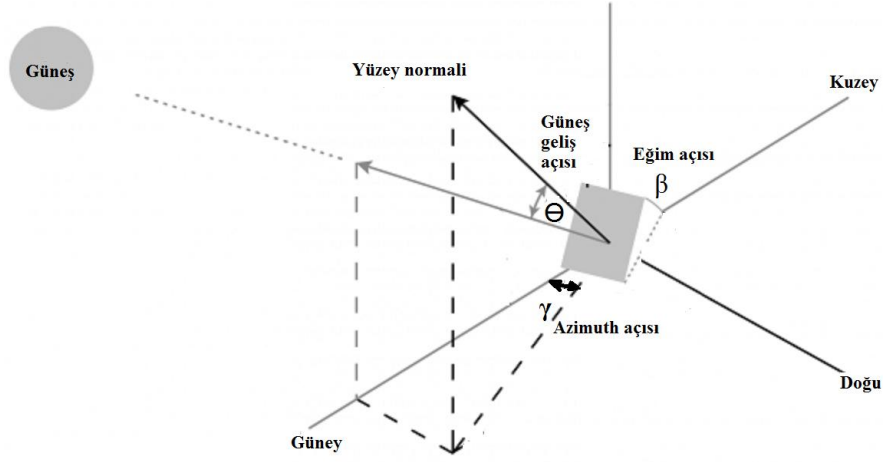
Muğla ilinde de benzer bir elektrik enerjisi tüketimi vardır. Özellikle Muğla'da güneş enerjisi değerlerinin yüksek olduğu yaz aylarında turist sayısındaki artış nüfusu arttırdığından dolayı elektrik tüketimi artışına bir miktar daha etki etmektedir. Muğla ilinin tüm güneş verileri göz önüne alınarak incelendiğinde, her türlü fotovoltaik sistemi kurmak için çok uygun bir yer olacağı gözükmektedir.

### 3. GÜNEŞ İZLEME SİSTEMLERİ (GİS)

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretmede yararlanılırken bu kaynaklarla kurulan sistemlerin ilk kurulum maliyetleri fosil yakıtlar ile elektrik üretmeye göre daha yüksektir. Kurulan sistemin en kısa sürede kendini amorte etmesi istenir. Güneşten elektrik üretilmesini sağlayan fotovoltaiik (PV) sistemlerde de yatırım geri dönüş süresini azaltmak amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Üretim verimliliğinin artırılması ile yatırım geri dönüşüm süresi kısaltılabilir. Bu ise mevcut PV modül ile elektriksel bağlantılar değiştirilmeden, ancak enerji dönüşümü sağlayan PV modül üzerine düşen güneş enerjisini artırarak gerçekleştirilebilir. Güneş ışınları gün içerisinde sürekli olarak farklı bir açıyla seçilen yüzeye geleceğinden en fazla enerji bu ışınlar ile modül yüzeyinin birbirine dik olmasını veya yüzey normali ile güneş ışınlarının doğrultusunun paralel olmasını sağlayarak mümkündür. Güneş enerjisinden daha fazla elektrik enerjisi elde etmek için güneşi takip eden bir sistemin geliştirilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

İlk güneş izleme ünitesi 1962 yılında, Finster tarafında tamamen mekanik olarak tasarlanmıştır. Bundan 1 yıl sonra Saavedra, otomatik elektronik kontrol ünitesine sahip bir mekanizma geliştirmiş ve Eppley ışınım ölçerini yönlendirmek için kullanmıştır (Roth vd., 2005).

Güneş enerjisinden faydalanmak için geliştirilen sistemler, güneşin ışınımından yararlanmaktadır. Adi bir camdan geçen doğrudan ışınım yoluyla elde edilecek ısı, onun (enlem itibarıyla) dünya üzerindeki yerine, hangi yöne dönük olduğuna, günün hangi saatinde ve yılın hangi gününde bulunduğuyla bağlıdır. Güneş geliş açısı ( $\Theta$ ), yüzeye gelen direkt güneş ışınımı ile yüzeyin normali arasındaki açıdır (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Güneş geliş açısı, eğim açısı ve azimut açısı

Güneş ışınımından yararlanmak için geliştirilen sistemlerde doğrudan ışıınımdan faydalanma miktarının maksimum olması için güneş geliş açısının minimum hatta  $0^\circ$  olması gerektiği Eşitlik (3.1)'deki formülden de anlaşılabilir. Bunun için azimut açısının ( $\gamma$ ) ve eğim açısının ( $\beta$ ) sürekli değiştirilmesi gereklidir (Şekil 3.1.). Seçilen modülün bulunduğu yere göre aynı güneş geliş açısını elde etmek için farklı eğim açıları ( $\beta$ ) gerekecektir.

$$\cos \theta = \begin{aligned} & \sin \delta \cdot \sin \phi \cdot \cos \beta \\ & - \sin \delta \cdot \cos \phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma \\ & + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \beta \cdot \cos \omega \\ & + \cos \delta \cdot \sin \phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega \\ & + \cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega \end{aligned} \quad (3.1)$$

Dünyanın  $23,45^\circ$  eğik eksenli ve güneş geliş açısının  $0^\circ$  olmasını temin edebilmek için, eğim açısının yer ve mevsimler itibariyle değiştirilmesi gerekmektedir. Bunun için kuzey - güney ekseninde güneş izleme yüzeyi aşağı yukarı hareket ederek izleme yapılması gerekmektedir. Ayrıca güneşin her gün doğudan batıya doğru olan hareketinin güneş geliş açısına olan etkisini ortadan kaldırmak için yüzey ve bu doğrultudaki açısının da günün değişik zamanları itibariyle değiştirilmesi gerekir. Sabit, yatay bir düzleme gelen enerji sabah ve akşam dolaylarında en az, öğle saatlerinde ise en fazla olmaktadır. Güneş geliş açısının minimum olabilmesi için güneşin doğu-batı istikametindeki hareketinin de takip edilmesi gerekir.

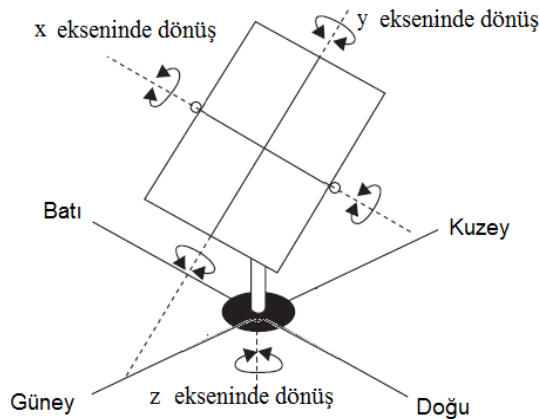
Güneş İzleme Sistemleri (GIS-Solar Tracking Systems)  $\gamma$  ve  $\beta$  açılarından birini veya her ikisini birden değiştirmek suretiyle, güneş ışınının modül üzerine dik olarak gelmesini sağlamak için geliştirilmiştir. Güneşin iki ekseninde hareket ile izlendiği sistemlerde güneş geliş açısı  $0^\circ$  olmaktadır (Deriş, 1979).

PV yüzeylerin güneş izlemesi yapmadan yerleştirilmesi, yüzeyin kuzey-güney doğrultusu üzerine başka bir deyişle azimut açısı  $0^\circ$  yapılarak sabit bir eğim açısıyla, yönlendirilmesiyle sağlanır. Bu yönlendirme kuzey yarım kürede güneye, güney yarım kürede ise kuzeye doğru olması gereklidir (Batman, 1991).

Bu çalışmada GIS ile yapılacak karşılaştırmalarda yüzey azimut açısı  $0^\circ$  olacak şekilde tam güneye yönelmiş ve Muğla ili için bir yılda en fazla güneş enerjisinin elde edildiği eğim açısı olan  $30^\circ$  eğimli yüzeye yerleştirilmiş bir PV modül kullanılmıştır.

### 3.1. Dönüş Eksenleri

PV modül yüzeyinin herhangi bir anda güneş ışınına dik konumda olabilmesi için kuzey-güney doğrultusundaki  $\beta$  açısının ayarlanması gerekmektedir. Bu dönüş, x ekseninde olmalıdır. Modülün gün boyunca kendisine ait azimut açısının sıfır olması için güneşin bu açıya sebep olan doğu-batı yönündeki dönüş hareketini izlemesi gereklidir. Bu dönüş, Şekil 3.2.'de gösterilen y veya z ekseninde olabilmektedir (Kalaycı, 2012).



Şekil 3.2. GIS'deki dönüş eksenleri

### **3.2. Tek Eksenli Güneş İzleme Sistemleri**

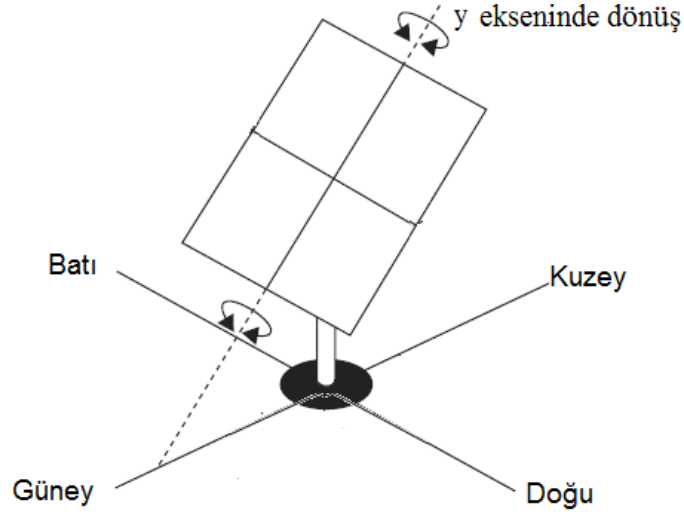
Tek eksenli izleyici sistemler güneş enerjili sistemler için azimut ya da dikey hareketlerinden birini gerçekleştirir. Tek eksenli hareketin tercih sebebi de bazen monte edildiği alandaki serbest alandır. Örneğin parabolik oluklu sistemler azimut açısı takibi yaparken çoğu çatı uygulaması PV sistem yer kısıtlılığı sebebiyle sadece yükseklik açısı takibi yapmaktadır.

Tek eksenli güneş izleyicileri, enerji üretim performansını arttırmanın ve ticari güneş sistemlerini ekonomikleştirmenin en basit yoludur. Basit ekipmanlar kullanılarak PV modül performansı önemli ölçüde arttırılabilir. İzleyici sistem üreticisi RayTracker, sistemlerinin enerji verimliliğini sabit açılı sistemlere göre %23, düz PV modüllere göre %38 fazla olduğunu kanıtlamıştır (Mastar, 2011).

Çift eksenli sistemler tek eksenlilere göre enerji verimliliğinde ek avantaj sağlarken, bakım masrafları ve montaj zorluğu nedeniyle dezavantaja sahiptir. Tek eksenlilere göre hataya müsait olan hareketli daha çok parça içermektedir. Ayrıca genelde tek eksenli izleyiciler daha az profile sahiptir, daha hafiftirler. Hatta bazen çift eksenli izleyicilerinin yarısı kadar olabilir. Tek eksenli izleme sistemleri polar, yatay ve azimut olarak üç grupta sınıflandırılır.

#### **3.2.1. Polar tek eksenli izleme sistemleri**

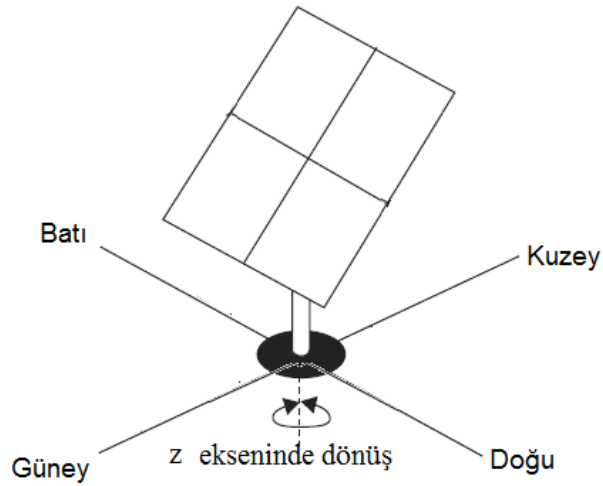
PV modül yüzeyi güneşe doğru eğimli ve yüzey alanının ağırlık merkezinden geçen bir eksen (y eksen) döndürülerek azimut açısı takip ettirilir (Şekil 3.3.). Sistemin geometrisi gereği yüzey azimut açısı hareketini yaparken yükseklik açısını da kısmen takip eder. Bu nedenle enerji üretim değerleri açısından bakıldığında diğer tek eksenli izleme sistemleriyle karşılaştırıldığında polar tek eksenli izleme sistemlerinin performansı yüksektir.



Şekil 3.3. İzleme sisteminin doğu-batı ekseninde dönüşü-a

### 3.2.2. Azimut tek eksenli izleme sistemleri

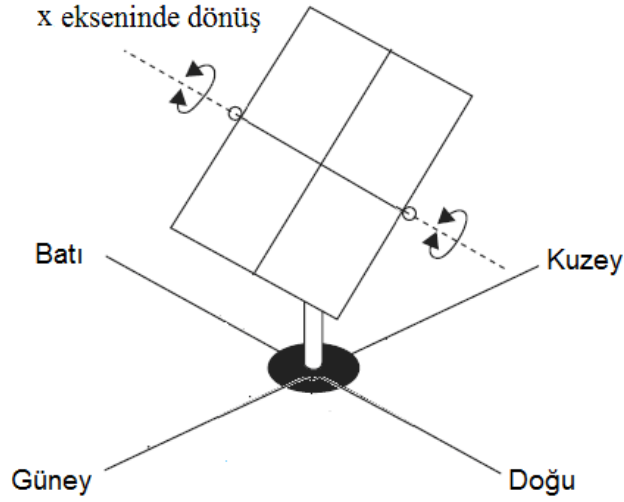
PV yüzeylere eğim açısı verilmiş bir konstrüksiyon üzerinde Şekil 3.4.'te görüldüğü gibi yere dik bir eksende (z eksen) döndürülerek çalışır. Bu tip tek eksenli izleme sistemleri büyük yüzey alanları söz konusu olduğunda daha çok tercih edilebilmektedir.



Şekil 3.4. İzleme sisteminin doğu-batı ekseninde dönüşü-b

### 3.2.3. Yatay tek eksenli izleme sistemleri

Yatay tek eksenli izleme sistemleri, Şekil 3.5.'te görüldüğü gibi yere yatay bir eksen (x eksen) etrafında yüzeylerin hareket ettirilmesi prensibine göre çalışır. Bu tip izleme sistemleri yükseklik açısının  $90^\circ$ 'lere yaklaştığı bölgelerde başka bir deyişle ekvatorial bölgelerde ( $0^\circ$ - $30^\circ$ ) kullanılır. Yapı olarak birden çok sistemi hareket ettirilebilmeye uygundur. Bu sistemde tek motor ile birçok PV dizi aynı anda çalıştırılabilir.



Şekil 3.5. İzleme sisteminin kuzey-güney ekseninde dönüşü

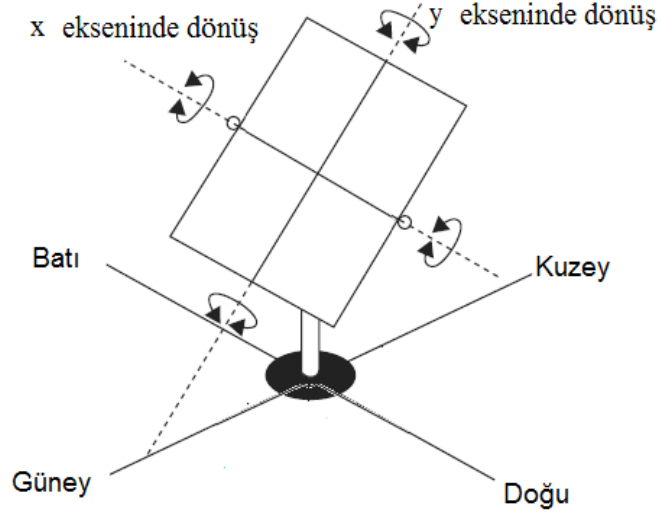
### 3.3. Çift Eksenli Güneş İzleme Sistemleri

Çift eksenli izleyici sistemler yükseklik ve azimut eksenlerinin her ikisinde de harekete izin vermektedir. Bu izleyici sistemler yüksek yeterlilikte doğruluğa sahip komponentler kullanılarak en iyi performansı sağlamaktadır. Çift eksenli izleme sistemleri azimut ve polar olmak üzere iki grupta sınıflandırılmaktadır.

#### 3.3.1. Polar çift eksenli izleme sistemleri

Polar çift eksenli izleme sistemlerinde y eksenindeki dönüşle güneş doğu-batı yönünde x eksenindeki dönüşle de kuzey-güney yönündeki izleme gerçekleştirilmiş olmaktadır (Şekil 3.6.). Bu çalışmada kullandığımız çift eksenli izleme, polar çift

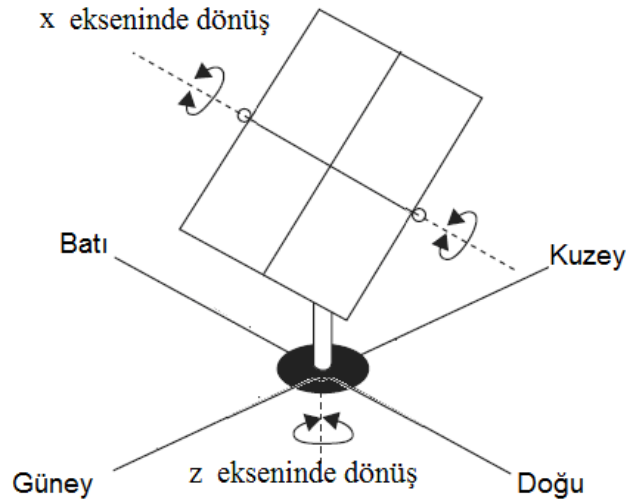
eksenli izleme sistemidir. PV modülü x ve y eksenlerinde hareket ettirilerek güneş izlemesi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.6. İzleme sisteminin doğu-batı ve kuzey güney ekseninde dñtüőü-a

### 3.3.2. Azimut çift eksenli izleme sistemleri

Gün içinde hem kendi etrafında hem mevsimsel harekete göre Şekil 3.7.'de görüldüğü gibi iki eksende (x ve z eksenleri) sürekli hareket etmektedir. Kontrol edilmesi polar çift eksenli izlemeye göre daha karmaşıktır (Mastar, 2011).



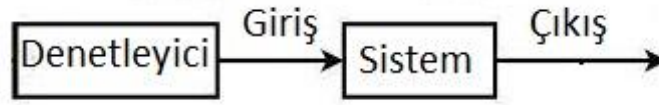
Şekil 3.7. İzleme sisteminin doğu-batı ve kuzey-güney ekseninde dñtüőü-b

### 3.4. Kontrol Sistemine Göre Güneş İzleme Sistemleri

Aktif GİS'ler kontrol sistemlerine göre açık döngülü (astronomik sistem) ve kapalı döngülü (sensörlü sistem) sistemler olarak iki grupta incelemek mümkündür.

#### 3.4.1. Açık döngü sistemler (kronolojik izleme)

Aslında dünyanın herhangi bir noktası için güneşin yılın herhangi bir günü ve saatinde hangi koordinatlarda olacağı önceden bilinmektedir. Bu düşünceden hareketle güneşin yerini tespit etmek amacıyla sensör kullanılmasına gerek duyulmadan koordinat bilgilerine göre güneş izlemesi yapan mikroişlemci ve mikrodenetleyici kontrollü sistemler bu gruba girmektedir. Sistemde giriş bilgilerine bağlı olarak çıkış işlemlerinin gerçekleşmesi söz konusudur (Şekil 3.8.). Sistemde geri bildirim yoktur. Yazılan programlarda çıkışı kontrol edecek bir ekipman bulunmamaktadır. Kronolojik izleme sistemi doğrudan güneşin yıl içerisinde ve gün içerisindeki hareketine bağlıdır (Umut, 2008).



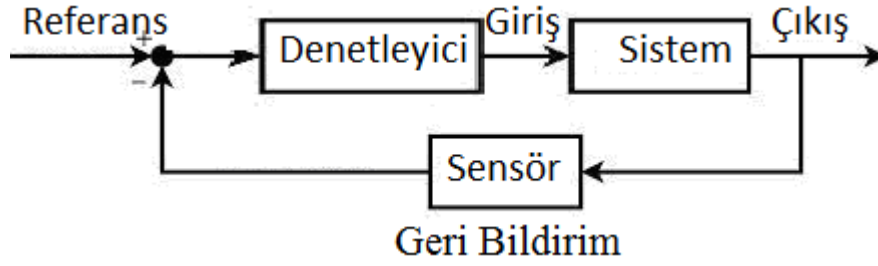
Şekil 3.8. Açık döngü sistem şeması

Bu çalışmada kullandığımız kontrol metodu açık döngülü kontrol sistemidir. Başka bir deyişle güneşin yerini tespit etmek için herhangi bir sensör kullanılmamaktadır. Sisteme verdiğimiz giriş bilgilerine bağlı olarak sistemin gün boyu istenilen zamanlarda çıkışı aktif hale getirme işlemi söz konusudur. Çıkış sistem tarafından kontrol edilmez.

#### 3.4.2. Kapalı döngü sistemler (aktif sensörlü)

Çeşitli sensörler vasıtasıyla güneşin yerini tespit ederek güneşi izlemesi istenilen yüzeylerin güneşe doğru yönelmesini sağlayan sistemlerdir. Bu sistemlerde geri bildirim olduğu için kapalı döngü olarak adlandırılmışlardır (Şekil 3.9.). Diğer

sistemlere göre en gerçekçi izlemeyi yapan sistemler kapalı döngü sistemlerdir. Dezavantaj olarak, bakımı diğerlerine göre daha zordur (Umut, 2008).



Şekil 3.9. Kapalı döngü sistem şeması

### 3.4.3. Aktif sensörlü izleme - kronolojik izleme karşılaştırması

Aktif sensörlü izlemede hassas elektronik elemanlar kullanılarak sürekli güneşe yönelimi sağlamak için gün boyunca motorlar çalışır. Kronolojik izlemede sistem, güneşin izleyeceği yörünge önceden bilindiği için motorlar belirli zaman aralıklarıyla çalıştırılarak izleme yaptırılır. Sistemlerin genel avantaj ve dezavantajları şu şekildedir.

Açık döngülü sistemlerin avantajları, hassasiyet oranı denklemlerden dolayı çok iyi seviyededir. Bir işlemci birçok izleme sistemini kontrol edebilmektedir. Asla güneşin açılma yörüngesinden dışarıya çıkmaz. Yarı açık veya kapalı gökyüzü sistemin çalışmasını etkilemez. Dezavantajları ise gün içerisinde geri bildirim olmadığı için hizalama hataları var ise sistem tarafından fark edilmez. Ancak kullanıcı kontrollerini yaparken gözlemleyebilir.

Kapalı döngülü sistemlerin avantajı, her zaman güneş ışığının en parlak noktasına yönelir. Dezavantajları ise sensör üzerindeki toz ve pislikler çalışmayı olumsuz etkiler. Parlak noktayı ararken motorlar daha çok çalışacağı için açık döngülü sistemlere göre daha çok enerji tüketebilir. Her izleme sistemi için ayrı bir işlemci veya bilgisayar ve sensör gerektirir.

## **4. PROGRAMLANABİLİR LOJİK KONTROLÖR (PLC)**

Programlanabilir Mantık Denetleyicileri (Programmable Logic Controller, PLC) endüstriyel otomasyon sistemlerinin kumanda ve kontrol devrelerini gerçekleştirmeye uygun yapıda giriş-çıkış birimleri ve iletişim arabirimleri ile donatılmış, kontrol yapısına uygun bir sistem programı altında çalışan endüstriyel bir bilgisayardır (Kurtulan, 2008).

PLC, algılayıcılardan aldığı bilgiyi kendine verilen programa göre işleyen ve sonuçlarını iş elemanlarına aktaran bir mikrobilgisayar sistemidir. Klasik kumanda sisteminin bazı olumsuz yönlerini gidermek amacıyla geliştirilmiştir. Zamanla özellikleri geliştirilerek ardışık kontrol, hareket denetimi (doğrusal ve döner hareket denetimi), süreç denetimi (sıcaklık, basınç, nem, hız), veri yönetimi (makine veya süreç hakkında veri toplama, izleme ve raporlama) gibi amaçlarla endüstriyel kontrol alanlarında kullanılabilir hale getirilmiştir (Megep, 2011).

### **4.1. PLC'nin Tarihi**

İlk ticari PLC, 1969 yılında röleli elektriksel kumanda devrelerinin yerine kullanılmak üzere Modicon firması tarafından geliştirilmiş ve üretilmiştir. Röleli kumanda devreleri yerine kullanılmak üzere geliştirilen bu aygıt yalnız temel mantıksal işlem komutları içerdiğinden, programlanabilir lojik kontrolör (PLC) adı ile sunulmuştur. İlk ticari PLC'nin endüstride başarıyla uygulanmasından sonra, Allen-Bradley, General Electric, GEC, Siemens ve Westinghouse gibi firmalar orta maliyette yüksek seviyede PLC'ler üretmiştir. Mitsubishi, Omron ve Toshiba gibi firmaların ucuz maliyette yüksek performanslı PLC'ler geliştirmelerinden sonra, bu aygıtlar endüstriyel otomasyon devrelerinde yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır (Megep, 2011).

Günümüzde üretilen PLC'lerin giriş-çıkış sayısı, işlem yeteneği gibi özellikleri başlangıçtaki durumu ile kıyaslanamayacak bir düzeye ulaşmıştır. Örneğin, geniş ölçekli olarak tanımlanan PLC'lerde giriş-çıkış sayısı binleri, program belleği "megabyte" boyutunu ve işlem yeteneği bir genel amaçlı kişisel bilgisayar düzeyine ulaşmıştır. Bu durum, daha karmaşık kumanda ve kontrol işlevlerinin PLC ile kolayca gerçekleşmesine olanak sağlamaktadır.

Bu aygıtın geri bildirimli kontrol devrelerinde de kullanılmaya başlaması, alışlagelmiş PLC adının tartışılmasına neden olmuştur. Birçok üretici firma, bu kontrolörlerin hem mantıksal temelli kumanda devrelerinde hem de geri bildirimli kontrol sistemlerinde kullanılmaları nedeniyle, PLC yerine, programlanabilir kontrolör adını kullanmayı daha uygun bulmuş ve kişisel bilgisayarlardan ayırmak amacıyla, kısaca PCs olarak tanımlanmıştır. Bazı üretici firmalar ise ilk sunulduğu andaki "Programmable Logic Controller" kelimelerinin baş harflerinden oluşan PLC adını kullanmayı sürdürmektedir. Ülkemizde de PLC adı daha çok kullanılmaktadır (Kurtulan, 2008).

Zamanla PLC özellikleri geliştirilmiş ve 1978 yılında PLC'lerin birbirine veri aktarmasına imkan veren veri devresi tasarlanmıştır. 1980 yılında küçük, tek parça, düşük maliyetli, 64 giriş/çıkışlı ve daha güçlü bir PLC olan 84 Micro piyasaya sürülmüştür. Başlangıçta yalnızca basit işlemler için kullanılan PLC'ler günümüzde çeşitli firmalar tarafından geliştirilerek çok daha karmaşık sorunları çözebilecek özelliklerle donatılmış ve endüstriyel kontrol alanlarında güvenle kullanılmaya başlanmıştır (Megep, 2011).

#### **4.2. PLC'lerin Genel Kullanım Amacı**

Genel olarak PLC, endüstri alanında kullanılmak üzere tasarlanmış dijital prensiplere göre kullanıcı tarafından yazılan fonksiyonu gerçekleştiren, giriş-çıkış birimleri sayesinde sistemle veri alışverişinde bulunan, içerisinde barındırdığı zamanlama, sayma, saklama ve aritmetik işlem fonksiyonları ile genel kontrol sağlayan elektronik bir cihazdır. PLC, kontrol edilen sistemde meydana gelen fiziksel olayları çeşitli

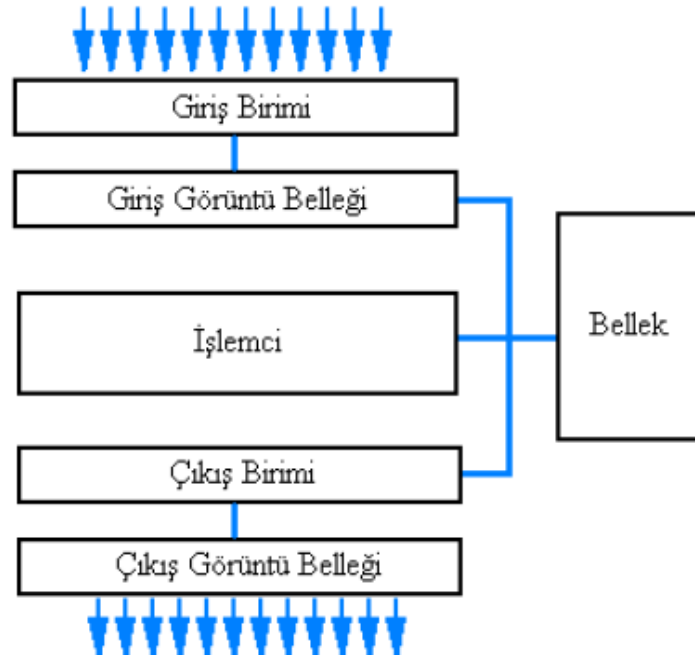
sensörler ile belirleyerek, gelen bilgileri PLC kullanıcısının önceden yazmış olduğu programa göre değerlendirir ve değerlendirme ile ortaya çıkan sonuçları kumanda ettiği elemanlar aracılığı ile sisteme yansıtır.

Sistemden gelen bilgiler, çalışma anında meydana gelen değişimlerin elektriksel sinyallere dönüştürülmüş halidir. Bu bilgiler analog ya da dijital olabilir. Gelen bilgi analog ise gelen değer belirlenmiş bir aralığı için, dijital ise sinyalin olması ya da olmamasına göre sorgulama yapılır. PLC ile sadece bir makine kontrolü yapılabileceği gibi, bir fabrikanın tüm kumanda sistemi de gerçekleştirilebilir. Basit bir makinenin kontrolü ile fabrikanın tüm kumanda sistemi arasındaki fark sadece kullanılan kontrolörün kapasitesidir. PLC'ler bugün akla gelebilecek her sektörde yer almaktadır. Kimya sektöründen gıda sektörüne, üretim ve dağıtım hatlarından depolama sistemlerine, marketlerden bina otomasyonuna kadar çok geniş bir yelpazede kontrol sistemlerinin vazgeçilmez elemanları olmuşlardır (Kurtulan, 2008).

### **4.3. PLC'lerin Yapısı**

Bir PLC temel olarak 3 ana bölüme oluşur. Bunlar Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi giriş, çıkış ve işlemci birimidir. Giriş birimi, çeşitli elektriksel özelliklerdeki kumanda ya da geri bildirim işaretlerinin PLC'de işlenecek sayısal büyüklüklere dönüştürülmesini sağlar. Çıkış birimi, PLC'de işlenen verilere ilişkin sayısal değerlerin kontrol edilen sisteme uygun elektriksel işaretlere dönüştürülmesini sağlayan birimdir (Kurtulan, 2008). Elektromanyetik valf, lamba, küçük güçlü motor vb. alıcılar elektriksel değerleri uygun olması durumunda doğrudan PLC'ye bağlanabileceği gibi transistör, röle vb. diğer kontrol elemanları üzerinden de kontrol edilebilir (Megep, 2011).

İşlemci birimi, PLC belleğindeki sistem programına göre çalışmayı düzenleyen ve kullanıcı programını yürüten en önemli birimdir. İşlemci (CPU), hafızaya kaydedilmiş olan programın içeriğine ve giriş sinyallerine göre çıkış sinyallerini kontrol etmektedir (Kurtulan, 2008).



Şekil 4.1. PLC birimleri

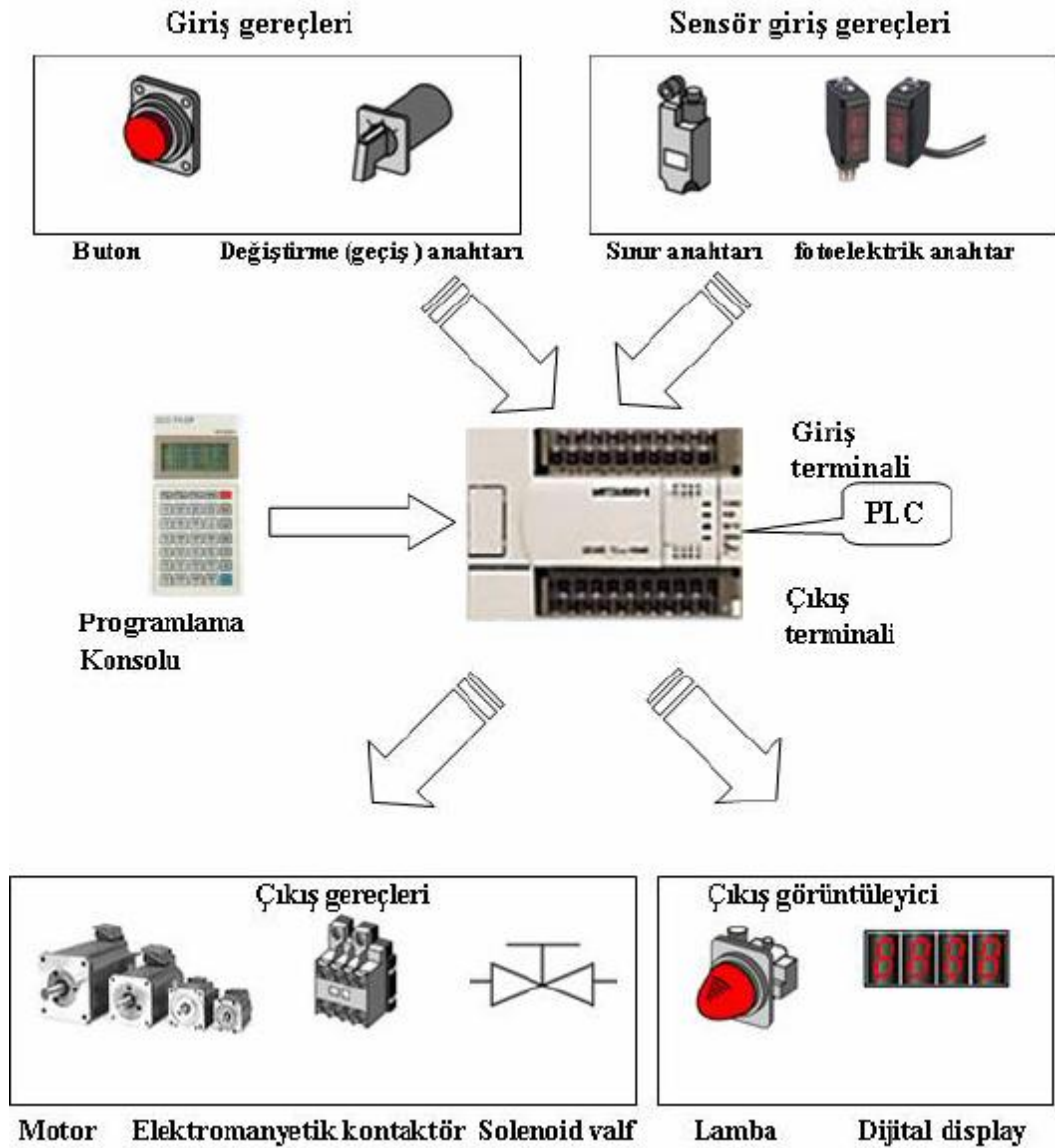
Hafızaya kaydedilen program işlemci (CPU) tarafından okunur. Okunduktan sonra da programın içeriği yapılabirliğine göre kontrol edilir. Program uygulanabilir olduğunda, CPU tarafından çalıştırılır ve bir sonraki adıma geçilir. Hafızadaki tüm program satır satır işlenir (Şekil 4.2.).



Şekil 4.2. PLC'lerin blok şeması

PLC ile çevre birimleri arasındaki bağlantı Şekil 4.3.'te gösterilmektedir. Giriş elemanı olarak buton, anahtar, seçici anahtar, dijital anahtar, sınır anahtarı, fotoelektrik anahtar, yaklaşım anahtarı vb. kullanılabilir. Bu elemanlardan gelen sinyaller PLC'nin işlemcisine giriş arabirimi üzerinden gönderilir (Megep, 2011).

Referans, programlama konsolu, komut listesindeki komutları kullanarak program yazmak ve bu programı PLC'ye göndererek kaydetmek için kullanılan bir programlama gereçidir.



Şekil 4.3. PLC ile çevre birimleri arasındaki bağlantı

#### **4.4. Klasik Kumanda Sistemi İle PLC'nin Karşılaştırılması**

Aşağıda PLC kullanımının klasik kumanda sistemli kontrole göre çeşitli açılardan üstünlükleri belirtilmiştir.

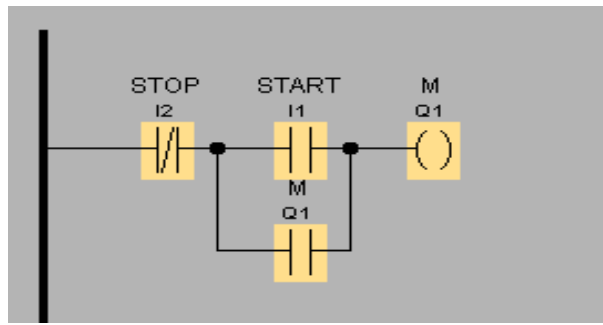
- Ekonomik açıdan, Fabrikasyonda 10 ve üzeri elektromanyetik kontaktör veya anahtar kullanımı PLC kullanımına göre daha maliyetlidir.
- Tasarımda iş gücü kazancı açısından, PLC kullanıldığında kontrol devresinin dizaynı ve değiştirilmesi daha kolaydır. Aynı elemanlar için çalışma şeklini değiştirmek isterseniz PLC içerisindeki programı değiştirmek yeterli olacaktır.
- Üretim süresi açısından, PLC'de gereçlerin teknik özelliklerinin değiştirilmesinde ve parçaların montajının, basitleştirilmesinde esneklikler vardır. Kablolamanın basitleştirilmesi sayesinde üretim süresi azaltılır ve böylece genel maliyet de azaltılmış olur.
- Küçük boy ve standartlaştırma açısından, PLC klasik kumanda sistemli kontrole göre çok daha küçük boyutludur. Programın tekrar tekrar kullanımı sayesinde seri üretim mümkündür. (Program EPROM içerisinde saklanır)
- Bakım kolaylığı açısından, PLC'nin hata teşhis fonksiyonu kullanılarak sistemdeki hata kolaylıkla bulunup gerekli bakım kolaylıkla yapılabilir Ayrıca PLC'nin ömrü, klasik kumandanın çoğu elemanına göre daha uzundur (Megep, 2011).

#### **4.5. PLC Program Yazılım Dilleri**

PLC'de program yazılırken şekil ve içerik açısından kontak plan (ladder) ve fonksiyon plan (FBD) olmak üzere PLC programlanmasında iki çeşit yazılım dili vardır.

#### 4.5.1. Kontak plan (ladder plan)

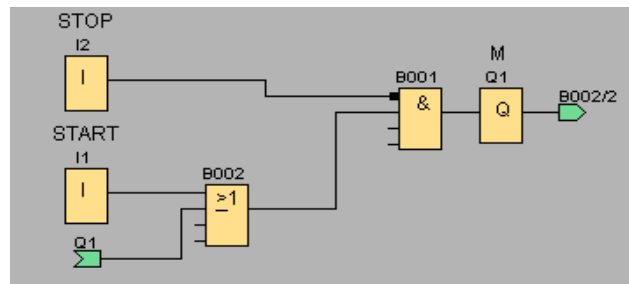
Ladder plan, röle ve kontaktörlerle yapılan klasik kumanda devrelerinin çizimlerine benzeyen grafiksel bir programlama şeklidir. Ladder plan gerçek elektrik devrelerinde olduğu gibi bir enerji kaynağından kontaklar aracılığıyla akan enerjiyi sembolize etmek şeklinde kullanıcıya kolay gelebilecek bir programlama mantığına sahiptir. Ladder programında sol tarafta gösterilen dikey çizgi enerji kaynağını gösterir. Kapalı kontaklar enerji akışına izin verirken açık kontaklar enerji akışına izin vermezler. Ladder plan yöntemi daha çok elektrik eğitimi almış kişiler ve yeni başlayanlar için uygundur (Şekil 4.4.).



Şekil 4.4. Ladder plan örneği

#### 4.5.2. Fonksiyon plan (FBD)

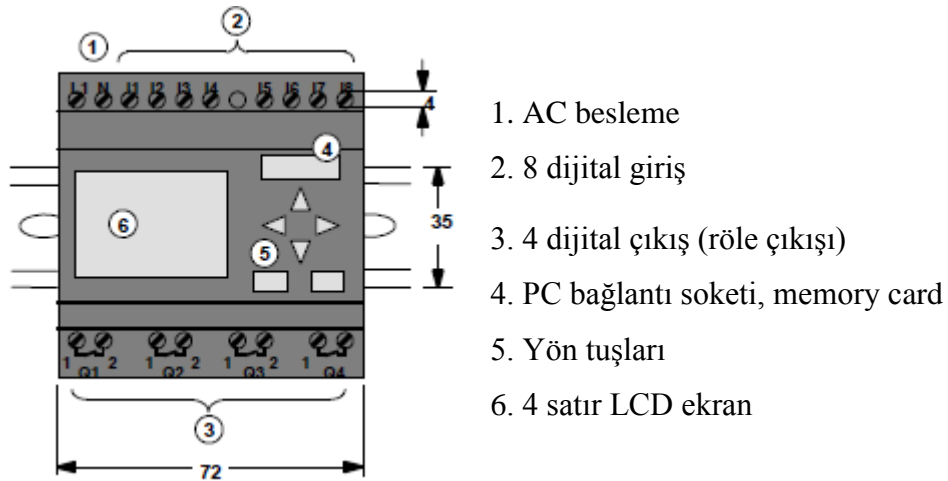
Fonksiyon plan çizim yöntemi, lojik kapıların kullanımına dayanan ve şematik bir gösterim şekli sunan programlama şeklidir. Kullanılan lojik semboller Şekil 4.5.'te verildiği gibi kutular şeklinde gösterilir. Sembollerin sol tarafında giriş sinyalleri, sağ tarafında ise çıkış sinyalleri bulunur. Bu yöntem dijital elektronik eğitimi almış kişilerce daha rahat kullanılabilir (Megap, 2012; Öğün, 2013).



Şekil 4.5. Fonksiyon plan örneği

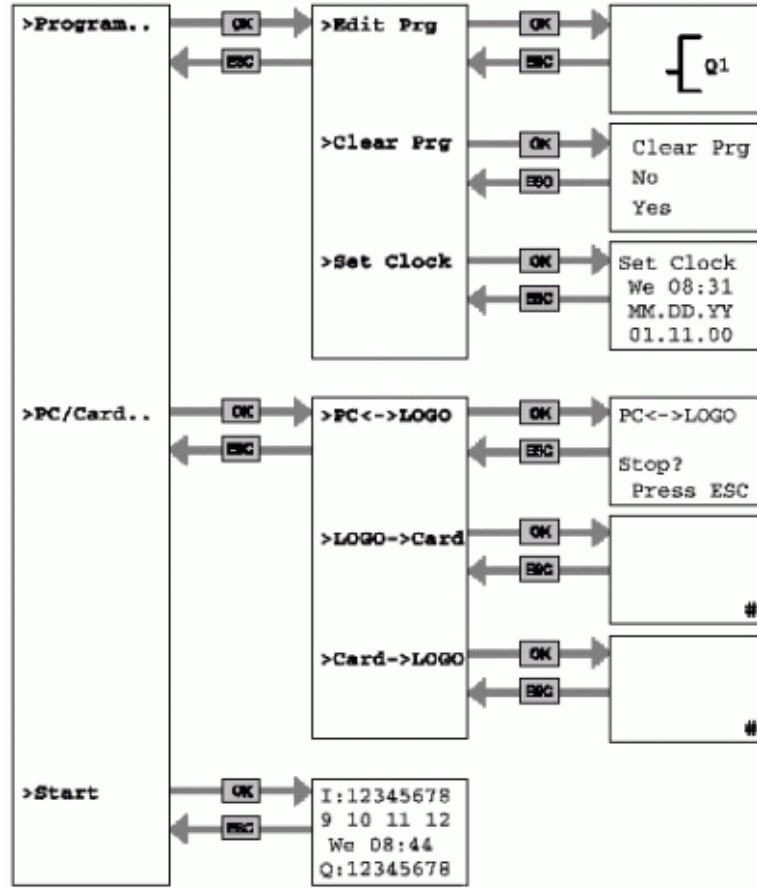
#### 4.6. PLC Logo!

Siemens S7-200 serisi PLC'ler bu yazılım dilleriyle programlanabilmektedir. LOGO! Siemens'in evrensel lojik modülüdür. Siemens LOGO PLC'ler ise bu yöntemlerden biri olan FBD ile daha kolay programlanmaktadır. LOGO PLC'ler çalışma gerilimleri, giriş gerilimleri, gerilim türleri (DC-AC) ve giriş-çıkış sayılarına göre değişik ihtiyaçları karşılamak için değişik tiplerde üretilirler. Bunlar biri olan Siemens Logo! 230RC Şekil 4.6.'da görüldüğü gibi 8 giriş, 4 röle çıkışlı bir PLC'dir. PLC, hem kendi üzerinde bulunan LCD ekran, hem de PC kablosu bağlantısı ile bilgisayardan programlanabilmektedir. Giriş ünitesi 115-120 AC ve 230-240 AC olmak üzere değişik gerilim kademelerinde çalışmaktadır. Çıkış röle çıkışlı ve 220V AC, 10 A'lik kontak değerlerine sahiptir. PLC LOGO!'nun ekranlı tip olması tercih edilir. Böylelikle acil durumlarda programı değişikliği yapmak için ekrandan faydalanılır (Siemens, 2014).



Şekil 4.6. PLC LOGO! bölümleri

PLC LOGO! içindeki program menüsünün alt menülerinden olan edit Program menüsüne girildiğinde programlamaya başlangıç ekranı gelir. Clear program menüsünde PLC'nin hafızasında buluna programın silinmesi sağlanır. Set clock menüsünde de tarih ve saat ayarları yapılabilmektedir. PC/CARD alt menüsünde, üç seçenek bulunmaktadır. Bu seçeneklerden PC<->LOGO bilgisayarda yazılan programın PLC'ye aktarılması esnasında bu seçenek seçili olmalıdır (Şekil 4.7.).



Şekil 4.7. PLC LOGO! program menüleri

LOGO<->CARD alt menüsünde ise PLC’de kayıtlı olan programın hafıza kartına (Memory Card) aktarılması durumunda kullanılır. CARD<->LOGO seçeneği PLC hafıza kartındaki programın LOGO’ya aktarılmasını sağlar. START menüsü ise yazılı olan programın yürütülmesini sağlamaktadır (Siemens, 2014)

Programlayıcı cihaz ile CPU arasındaki haberleşmeyi sağlamak için PLC iletişim kablosu kullanılır. Yazılan programın PLC’ye aktarılmasını sağlar. USB veya RS232 seri port tipinde girişleri olanları mevcuttur. Bu çalışmada kullanım kolaylığı açısından USB tip olan PLC LOGO! kablosu kullanılmıştır.

PLC LOGO!’nun kumanda panosuna yerleştirilmesi için 35 mm’lik standart bir PLC rayı kullanılmıştır. PLC’nin yanında bu raylara 1 fazlı otomat ve röle soketi de yerleştirilmiştir. PLC raya takılırken biraz bastırmak suretiyle tırnağı yerine oturacaktır. PLC raydan söküleceği zaman bir tornavidaya ihtiyaç vardır. Tırnağı alttan çekilerek PLC raydan çıkarılabilir.

#### **4.6.1. PLC logo! programlama birimi**

Yazılan bir programın işletilmek üzere PLC program belleğine yüklenmesi bir programlayıcı birimi ile sağlanır. Programlayıcı birimi mikroişlemci tabanlı özel bir el aygıtı olabileceği gibi genel amaçlı kişisel bir bilgisayara yüklenmiş bir yazılımda olabilir. Bu birim; programın yazılması, PLC'ye aktarılması ve çalışma anında giriş/çıkış, sayıcı, zamanlayıcı ve veri belleğindeki çeşitli kaydedicilerin durumlarının gözlenmesi ya da değiştirilmesi gibi olanakları da sağlar. Günümüzde genel amaçlı kişisel bilgisayarlara yüklenen özel yazılımların kullanımı yaygındır.

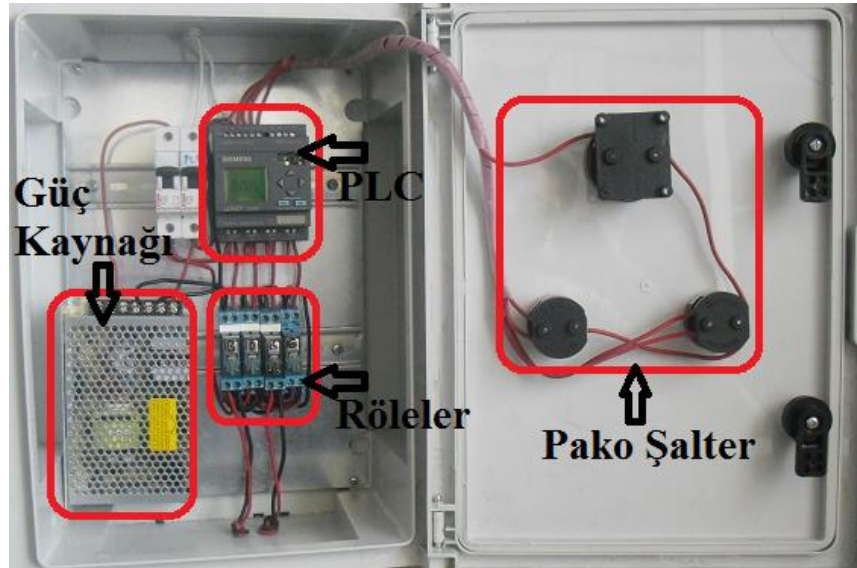
Bu çalışmada Siemens tarafından geliştirilmiş olan kullanıcı dostu PLC LOGO! için kullanılan Siemens LOGO! Soft Comfort yazılımı kullanılmıştır. Ayrıca usb kablo bağlantısı ile geliştirilen yazılımlar PLC'ye yüklenmiştir (Siemens, 2014).

## 5. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde, çalışmada kullanılan materyaller tek tek tanıtılacak ve ayrıca güneş izlemesinin nasıl yapıldığı motorların hareket etme sürelerinin nasıl belirlendiği ve yazılan PLC programı ve güç devresi aşamalar halinde işlem sırasına göre anlatılacaktır.

### 5.1. Materyal

Güneş izleme sisteminde (GİS) kullandığımız temel materyalleri tanıtmak gerekirse; PLC, röleler ve güç kaynağının içerisine yerleştirildiği kumanda panosu, 30X40 cm ölçülerinde PVC'den yapılmış bir malzemedir. Kumanda panosu üzerine manuel kontrolü sağlamak için 3 adet pako şalter yerleştirilmiştir (Şekil 5.1.).



Şekil 5.1. Klasik elektromekanik kumanda panosu

Bu çalışmada, 12 V indüktör beslemeli röle kullanılmıştır. Röle PLC dijital çıkıştan gelen sinyal ile enerji alarak normalde açık olan kontaklarını kapalı konuma geçirerek kendisine bağlı olan ekipmanın devreye girmesini sağlar. Rölenin giriş bobini 12 V iken çıkış uçlarına ise çalıştıracağı ekipmanın enerji ihtiyacını karşılayacak şekilde besleme yapılmaktadır. Röleler elektronik devrelerde elektronik karta lehim ile bağlanırken, endüstriyel uygulamalarda röle soketi tercih edilmektedir. Böylece rölenin kablo bağlantıları oldukça kolaylaşmış olur ve herhangi bir arıza durumunda rölenin yerinden çıkarılıp yeni bir röle ile değiştirilmesi çok pratik bir hal almış olur. Bu çalışmada seçilen diğer elemanlarda olduğu gibi rölenin de endüstriyel uygulamalarda yaygın kullanımlı olan tipi tercih edilmiştir (Şekil 5.1.).

Bir eksen etrafında döndürülebilen, arka arkaya dizilmiş birçok dilimden oluşan ve çok konumlu olan şalterlere, paket şalter adı verilir. Elektriksel aygıtlara otomatik olarak kumanda etmek, her zaman ekonomik olmaz. Bu nedenle ufak güçlü ve basit aygıtların çalıştırılmaları, daha çok paket şalterlerle yapılır. Paket şalterler, kumanda devrelerinde butonların yerine de kullanılabilirler. Paket şalterler, arka arkaya dizilmiş ve paketlenmiş birçok dilimden oluşur. Her dilimde bir, iki, üç veya dört kontak bulunur. Arzulanan kontak sayısını elde etmek için, uygun sayıda dilim arka arkaya dizilir. Böylece paket şalterlere istenildiği kadar kontak konabilir. Paket şalterlerin kumandası, üzerlerinde bulunan kolu çevirmekle yapılır. Bu kol çevrildiğinde, paket şalterin kontakları açılır ve kapanırlar. Bu çalışmada bir adet 0-1 tipinde 16A'lık ve 2 adet 1-0-2 tipinde 10A'lık paket şalter kullanılmıştır. Paket şalterler kumanda panosu ön kapağına yerleştirilmiştir ve PLC girişlerine bağlantısı yapılmıştır (Şekil 5.1.).

DC lineer motorların beslemesi güç kaynağı üzerinden yapılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan anahtarlamalı güç kaynağı 220 V AC girişli olup çıkış gerilimi 12 V DC ve akım değeri 8,5 A'dır. Güç kaynağının çıkış gücü ise 100 W' tır (Şekil 5.1.).

Bu çalışmada GİS tükettiği elektrik enerjisini bulabilmek için 3 zamanlı bir akıllı ara sayaç kullanıldı. Elektrik sayacının en az gösterebileceği değer 1 Wh'tir. Bundan dolayı sistem uzun süre kullanılıp günlük ortalama elektrik enerjisi tüketimi gün sayısına bölünerek hesaplanmıştır.

Bir DC motorun dönme hareketini, doğrusal harekete dönüştüren cihaza lineer motor denir. Bu sayede itme veya çekme hareketi sağlar. 12 V DC ile çalışır. Motorun ters hareketi isteniyorsa + ve – uçları yer değiştirilir (Şekil 5.2.). Lineer aktüatörler izleme sistemlerinde genellikle yükseklik açısını hareket ettirmek için kullanılır. Bazı izleme sistemi üreticileri hem azimut hem de yükseklik açısını hareket ettirebilmek için lineer aktüatör kullanmışlardır. Lineer aktüatörlerin sonsuz dişli redüktörlü aktüatöre göre en büyük avantajı fiyat avantajıdır. Yüksek hassasiyette çalışabilir. Dezavantajı ise programlaması ve kullanımının çok kompleks olmasıdır (Mastar, 2011). Bu çalışmada güneş izleme yüzeyinin kuzey-güney ekseninde hareketi için 150 mm'lik doğu-batı ekseninde hareketi için ise 250 mm'lik 2 adet lineer DC motor kullanılmıştır. Kullanılan lineer DC motorlar 1000 N gücündedir.



**Şekil 5.2. Lineer DC motor**

GIS'de, doğu-batı motorunun yerleştirildiği kısım, kuzey-güney motorunun yerleştirildiği kısım, fotovoltaik modülün yerleştirileceği kısım ve taşıyıcı ayaktan oluşan mekanik parçalar mevcuttur (Şekil 5.3.). Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi

Kütüphanesi çatısına yerleştirilen GIS taşıyıcı ayağı yere daha sağlam basması için de ağırlıklarla desteklenmiştir.



Şekil 5.3. Mekanik gövde

### 5.1.1. Fotovoltaik modül

Karşılaştırılması yapılan sistemlerde güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürüldüğü ince film bir fotovoltaik (PV) modül kullanılmıştır. Üretici firma tarafından test koşullarındaki çıkış gücü 90Wp olarak verilen modülün elektriksel özellikleri Çizelge 5.1.'de verilmektedir.

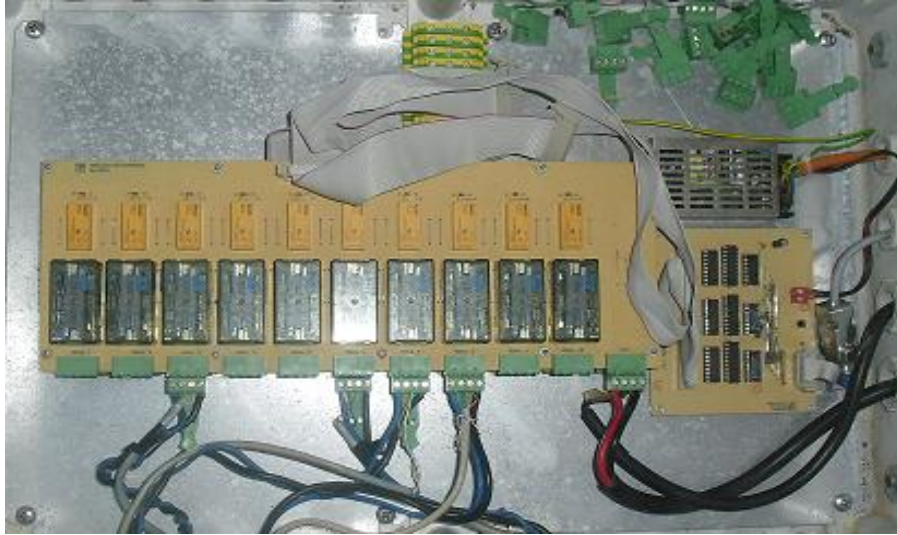
Çizelge 5.1. Deneylerde kullanılan PV modülün özellikleri

Özellik	Değer
Isc	1,37 A
Voc	91 V
Vmpp	72,4 V
Pmpp	90 Wp
Boyutu	0,72 m <sup>2</sup>

### 5.1.2. Akım gerilim ölçümlerinin gerçekleştiği sistem

GİS ve sabit yüzey eğimli PV modülün güç ve enerji değerlerini bilmemiz için akım ve gerilim değerlerinin belirli aralıklarla ölçülmesi gereklidir. Bu ölçümler için Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi kütüphanesi çatısında bulunan ölçüm sistemi kullanılmıştır. Çok kanallı ölçüm sistemi ile bir PV modülün akım-gerilim eğrisi 20 s içerisinde elde edilebilmektedir. Test edilen PV modülün gerilimi, kısa devre durumundaki değerden açık devre durumundaki değere kadar 80 noktada taranarak her bir gerilime karşı gelen akım değerleri ölçülerek bir dosyaya kaydedilmektedir. Belirlenebilen zaman aralıklarıyla gerçekleştirilen bu ölçümler ile gün boyunca sürekli olarak veriler alınabilmektedir. Elde edilen akım-gerilim eğrileri kullanılarak PV modüle ait iç parametrelerin gün içerisindeki değişimi incelenebilmektedir (Eke ve Oktik, 2007).

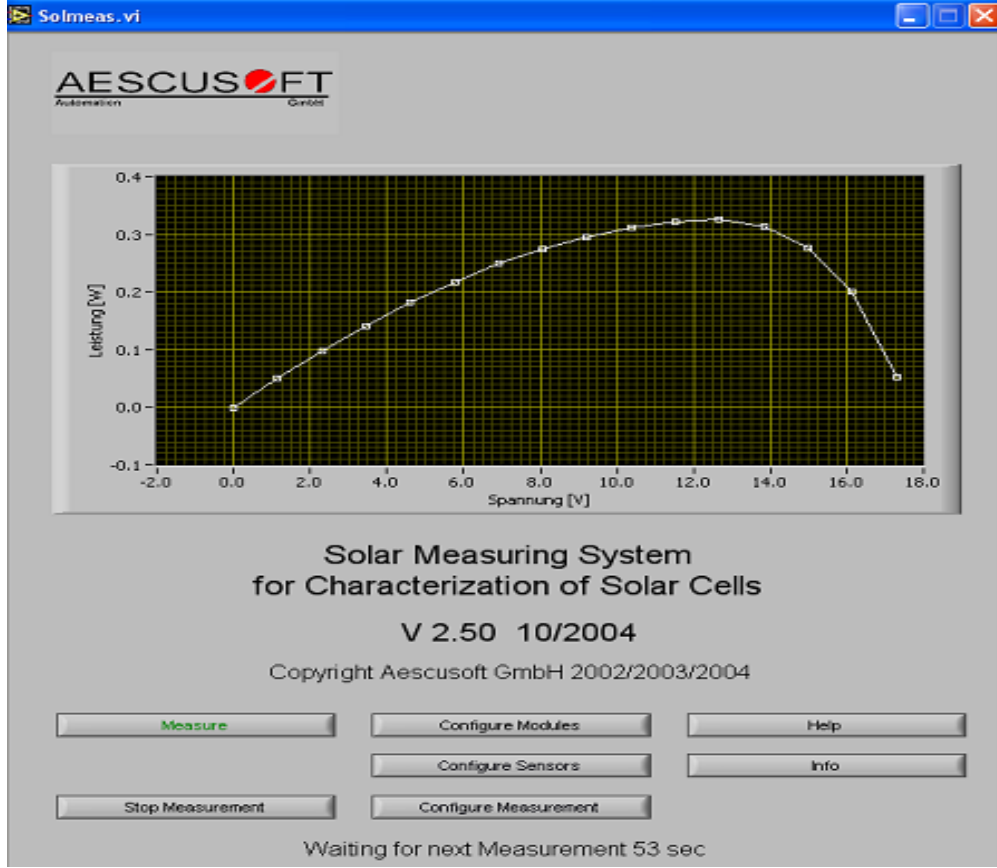
20 kanallı ölçüm sisteminde, sabit yüzey eğimli PV modül ile GİS PV modülü bağlantı kabloları birer kanala yerleştirilmiştir. Böylece akım ve gerilim ölçümleri, ölçüm sistemi sayesinde 5 veya 10 dakikalık aralıklarla sürekli kaydedilmiştir (Şekil 5.4.).



Şekil 5.4. Akım gerilim ölçümlerinin gerçekleştiği sistemin tarayıcı kısmı

Akım gerilim ölçümü yapan sistemde Solmeas adlı bilgisayar programı kullanılmaktadır (Şekil 5.5.). Solmeas programı sayesinde pironometre cihazından gelen ışınım değerleri ve PV modüllerin akım, gerilim değerleri gerekli ayarları

yapılarak, belirli aralıklarla alınan ölçümleri kaydetmektedir. İncelenmek üzere ölçülüp kaydedilen veriler microsoft excel programına dönüştürülmektedir. Burada güneş ışınım değerleri ölçülürken  $50 \text{ W/m}^2$  değeri minimum sınır olarak programa girilmiştir. Böylece sistem bu değer altındaki ölçümleri kaydetmeyecektir.



Şekil 5.5. Akım gerilim ölçümünü gerçekleştiren sistemin program görünümü

### 5.1.3. Güneş izleme sisteminin tanıtılması

Güneye doğru bakan  $30^\circ$  eğimli yerleştirilmiş yıl içerisinde eğimi değiştirilmeyen PV modül ile GİS, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Kütüphanesinin çatısına tam güneye bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Her iki sistemde de özdeş PV modüller kullanılmıştır (Şekil 5.6.).



Şekil 5.6. Sabit 30° eğimli PV modül ile GİS

## 5.2. Metot

Muğla ilinde güneşin izlediği yol doğu-batı ekseninde en az 144° en fazla 220° kuzey-güney ekseninde en az 29° en fazla 76° kadar bir hareketliliğe sahiptir (Çizelge 5.2.). Muğla ilinde doğu-batı eksenindeki hareketliliğe bakarak gündüz uzunluğu yıl boyunca 9,6-14,7 saat arasında değişmektedir. Böylece güneş doğuş

batış saatleri de sürekli değişmektedir. Kuzey-güney eksenindeki hareketlilik incelendiğinde kışın güneş yıl boyunca en düşük seviyesi olan  $29^\circ$  yazın ise yıl boyunca en yüksek seviyesi olan  $76^\circ$  yüksekliğe kadar çıkmaktadır.

**Çizelge 5.2. Muğla ili güneş açısı sınırları**

Tarih	Doğu	Batı	Doğu-batı hareketliliği	Kuzey	Güney	Kuzey-güney hareketliliği
21 Aralık	$-72^\circ$	$72^\circ$	$144^\circ$	$61^\circ$	$90^\circ$	$29^\circ$
21 Haziran	$-110^\circ$	$110^\circ$	$220^\circ$	$14^\circ$	$90^\circ$	$76^\circ$

Kış mevsiminde güneşten faydalanma süresi en azdır (Şekil 5.7.). Güneşin dünya üzerinde en kısa görüldüğü ve gecenin en uzun olduğu gün 21 aralık tarihidir. 21 aralık tarihinde güneş Muğla'da  $-72^\circ$ 'de doğmakta ve  $72^\circ$ 'de batmaktadır (Anonim, 2014e). Öğle vakti ise güneşin yerden yüksekliği  $29^\circ$  seviyesindedir.



**Şekil 5.7. Muğla ilinde 21 aralık tarihinde güneşin izlediği yörünge**

Bahar mevsiminde kışa göre Şekil 5.8.'de görüldüğü gibi güneşin Muğla'da görünme süresi artmaktadır. 21 mart ve 23 eylül tarihlerinde güneş  $-90^\circ$ 'de doğup ve  $90^\circ$ 'de batmaktadır. Gece gündüz süreleri de eşittir ve 12'şer saattir (Anonim, 2014e). Güneşin yerden yüksekliği ise  $53^\circ$  seviyesindedir.



**Şekil 5.8. Muğla ilinde 21 mart ve 23 eylül tarihlerinde güneşin izlediği yörünge**

Yaz mevsiminde güneşin dünya üzerinde en uzun görüldüğü ve gecenin en kısa olduğu günler yaşanmaktadır. En kısa gecenin yaşandığı gün ise 21 haziran tarihidir. Güneş Şekil 5.9.'da görüldüğü gibi doğudan çok önce doğup, batıdan çok sonra batmaktadır (Anonim, 2014e). 21 haziran tarihinde güneş Muğla'da  $-110^{\circ}$ 'de doğup ve  $110^{\circ}$ 'de batmaktadır. Öğle vakti ise güneşin yerden yüksekliği  $76^{\circ}$  seviyesindedir.



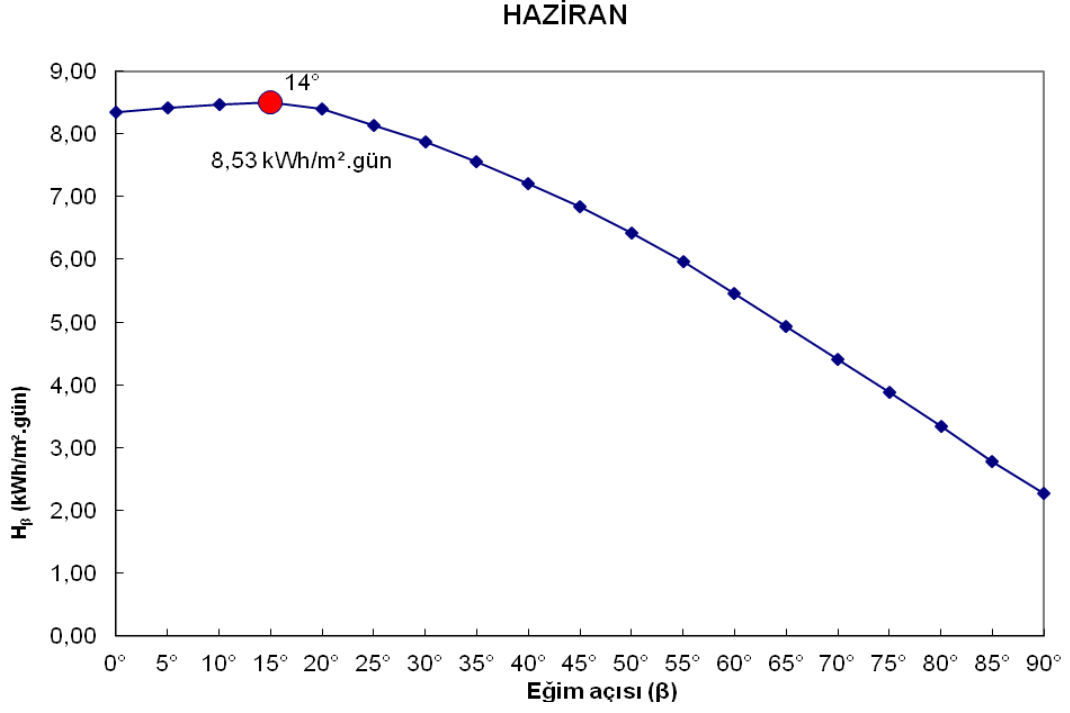
**Şekil 5.9. Muğla ilinde 21 haziran tarihinde güneşin izlediği yörünge**

PVSYST V4.37 PV sistemler için geliştirilmiş bir hesaplama ve simülasyon programıdır. Eğim açısı değiştirilerek günlük enerji miktarı hesaplanacaktır. Muğla ili için PVSYST V4.37 programıyla haziran ayının temsili bir gününde Eğim açısına göre elde edilen enerji hesaplanmasına dair programın ekran görüntüsü görülmektedir. 0°-90° arası her 5 derecede bir sütun ortaya çıkmaktadır (Şekil 5.10.).

Legal Time	W/m²	Global Horiz.	Diffuse Horiz.	Tilt=5° Azim=0°	Tilt=10° Azim=0°	Tilt=15° Azim=0°	Tilt=20° Azim=0°	Tilt=25° Azim=0°	Tilt=30° Azim=0°
21/06/13 00h00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21/06/13 01h00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21/06/13 02h00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21/06/13 03h00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21/06/13 04h00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21/06/13 05h00	7	7	7	7	7	7	6	6	6
21/06/13 06h00	134	38	118	102	85	68	51	33	
21/06/13 07h00	343	64	329	312	294	274	252	228	
21/06/13 08h00	555	86	549	539	525	508	488	464	
21/06/13 09h00	744	103	747	744	737	724	707	685	
21/06/13 10h00	893	117	903	907	905	897	883	863	
21/06/13 11h00	991	125	1006	1015	1017	1012	1000	981	
21/06/13 12h00	1030	129	1048	1058	1062	1058	1047	1029	
21/06/13 13h00	1008	127	1025	1034	1037	1032	1021	1002	
21/06/13 14h00	927	120	939	945	944	937	924	904	
21/06/13 15h00	792	108	797	796	791	779	763	742	
21/06/13 16h00	613	91	609	601	589	574	554	531	
21/06/13 17h00	405	70	393	378	361	341	319	295	
21/06/13 18h00	191	46	174	157	139	119	99	79	
21/06/13 19h00	26	17	21	15	15	15	15	15	
21/06/13 20h00	0	0	0	0	0	0	0	0	
21/06/13 21h00	0	0	0	0	0	0	0	0	
21/06/13 22h00	0	0	0	0	0	0	0	0	
21/06/13 23h00	0	0	0	0	0	0	0	0	

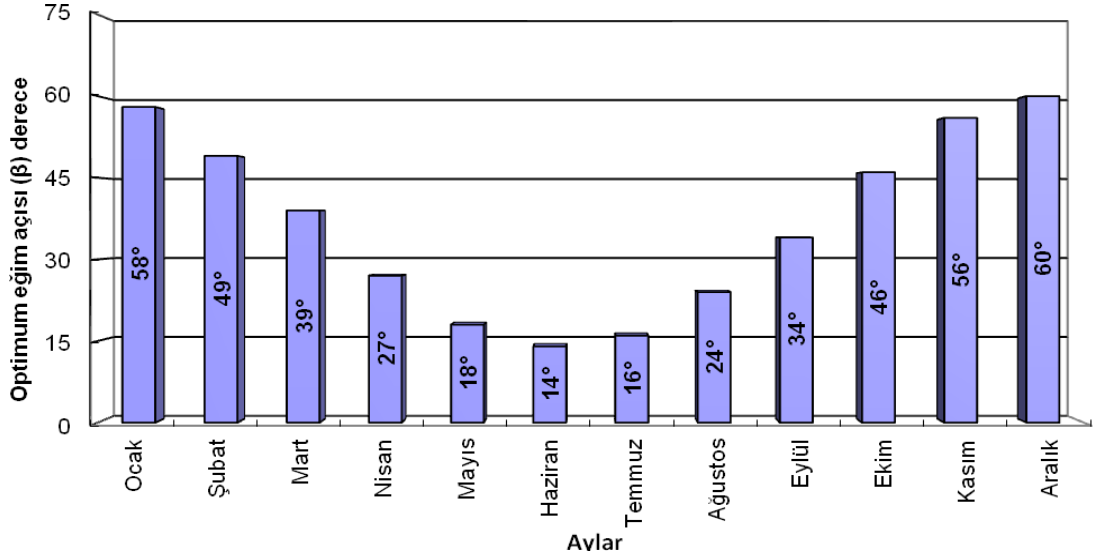
Şekil 5.10. Muğla için açık bir günde eğimli yüzeylerde ışınım şiddetinin değişimi

Oluşan tablo microsoft excel'e aktarılıp hesaplama yaptırılırsa haziran ayı için hangi eğim açısında bir günde bir metre kareye kWh cinsinden en fazla ne kadar güç elde edilebilebileceği ortaya çıkmaktadır. Haziran ayının temsili günü (11 haziran) için en ideal eğim açısının 14° olduğu görülmektedir (Şekil 5.11.). Başka bir deyişle PV modül 11 haziran tarihi için tam güneşe yönlendirilerek eğim açısı 14°'ye ayarlanırsa sabit PV sistemler ve tek eksenli GİS'ler için o gün üretebileceği en fazla enerjiyi üretecektir.



**Şekil 5.11. Muğla ilinde 11 haziran için en fazla enerjinin elde edildiği eğim**

Muğla ili için her ayın temsili günleri referans alınarak yapılan hesaplamada o gün için ideal eğim açıları görülmektedir. İdeal eğim açıları Muğla ili için 14° ile 60° arasında değiştiği gözlenmektedir (Şekil 5.12.).



**Şekil 5.12. Muğla ili için aylara göre, ideal eğim açılarının değişimi**

## 5.2.1. PLC programını yazma aşamaları

PLC programı yazılırken temel hedef güneşin bulunduğu konuma göre motorları hangi sıklıkta ne kadar süreyle hareket ettireceğimizi bilmektir. GİS açı sınırları doğu-batı doğrultusunda  $-65^{\circ}$  ile  $37^{\circ}$  iken kuzey-güney doğrultusunda  $13^{\circ}$  ile  $63^{\circ}$  arasında izleme yapabilmektedir.

### 5.2.1.1. Güneş pozisyonlarının belirlenmesi

Güneşin olması gereken pozisyon belirlenirken MIDC SOLPOS calculator adında bir arayüz programından yararlanılmıştır (Şekil 5.13.). İşlem Muğla merkez enlem ( $37,17^{\circ}$  kuzey) ve boylam ( $28,22^{\circ}$  doğu) değerleri girilerek yapılmıştır (Anonim, 2014f). Örnekleme için en uzun gündüz uzunluğuna sahip 21 haziran günü kullanıldı. Sonuç olarak global ışınma değeri, saat açısı ve güneş zenit açısı 10'ar dakika arayla hesaplatıldı.

**MIDC SOLPOS Calculator**  
Compute the solar position and intensity from time and place

**Required input fields:**

Enter start date:  
Year: 2014 Month: June Day: 21

Enter end date:  
Year: 2014 Month: June Day: 21

Enter output time interval:  
Interval: 10 Units:  Second  Minute

**Enter site location information:**

37.17 Latitude, degrees north (south negative)  
28.22 Longitude, degrees east (west negative)  
3 Time zone, east (west negative)  
1013.0 Surface pressure (mbar)  
23 Ambient dry-bulb temperature ( $^{\circ}$ C)

**Optional input values:**

0 Azimuth of panel surface  
0 Degrees tilt from horizontal of panel  
1367 Solar constant ( $W/m^2$ )  
7.6 Shadow-band width (cm)  
31.7 Shadow-band radius (cm)  
0.04 Shadow-band sky factor  
0 Interval of a measurement period (sec)

**Check desired output values:**

Relative optical airmass  
 Pressure-corrected airmass  
 Solar zenith angle, degrees from zenith, refracted  
 Solar azimuth angle  
 Cosine of solar incidence angle on panel

**Check additional desired output values:**

Cosine refraction corrected solar zenith angle  
 Solar elevation (no atmospheric correction)  
 Solar elevation angle (degrees from horizon, refracted)  
 Extraterrestrial Global Horizontal Solar Irradiance ( $W/m^2$ )  
 Extraterrestrial Direct Normal Solar Irradiance ( $W/m^2$ )  
 Extraterrestrial Global Irradiance on a tilted surface ( $W/m^2$ )  
 Sunrise time, minutes from midnight (local w/o refraction)  
 Sunset time, minutes from midnight (local w/o refraction)  
 Shadow-band correction factor  
 Factor that normalizes Kt, Kn, etc. (prime)  
 Factor that normalizes Kt', Kn', etc. (unprime)

**Data output type:**

ASCII Text  
 ZIP Compressed

Submit Reset

Şekil 5.13. Güneş pozisyonunu hesaplayan programın ekran görüntüsü

MIDC SOLPOS Calculator programından, hesaplamalar sonucu bir text dosyası çıkmaktadır. Bu text dosyası üzerinde işlem yapabilmek için microsoft excel'e aktarılıp üzerinde motorlara yön verecek saatler ve aralıklar belirlenmiştir. Global ışınımın (B sütunu) başladığı nokta 05:50 güneşin doğduğu saattir. Doğu-batı motorunun belirli zaman aralıklarıyla GİS sınırlarında öğleden önce 65° olduğu için saat açısına göre (C sütunu) izlemeye başlama saati 08:50'dir. Kuzey-güney motorunun yine GİS sınırları 63° olduğu için zenit açısına göre (D sütunu) yukarı doğru hareketinin 1. parçasında 150 dakikada 29,65° ilerlemesi için 8 dakikalık aralıklarla 0,57 s ilerleyişinin başlama saati 08:20'dir (Şekil 5.14.).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Saat	Global Işınım	Saat Açısı	Zenith açısı						
2	05:40	0,00	-112,22	92,07						
3	05:50	3,67	-109,72	90,36						
4	06:00	39,82	-107,22	88,63						
5	06:10	77,16	-104,72	86,87						
6	06:20	116,80	-102,22	85,09						
7	06:30	157,42	-99,72	83,29						
8	06:40	198,59	-97,22	81,46						
9	06:50	240,15	-94,72	79,62						
10	07:00	281,96	-92,22	77,76						
11	07:10	323,92	-89,72	75,88						
12	07:20	365,91	-87,22	73,99						
13	07:30	407,84	-84,72	72,09						
14	07:40	449,62	-82,22	70,17						
15	07:50	491,18	-79,72	68,24						
16	08:00	532,43	-77,22	66,30						
17	08:10	573,27	-74,72	64,34						
18	08:20	613,64	-72,22	62,38	öğl. önce 1. parça	β değişimi	toplam s	8dk...s	4dk...s	
19	08:30	653,45	-69,72	60,42	02:30:00	29,65	10,73	0,57	0,29	
20	08:40	692,64	-67,22	58,44	150					
21	08:50	731,12	-64,72	56,46						
22	09:00	768,81	-62,22	54,48						
23	09:10	805,65	-59,72	52,49						
24	09:20	841,57	-57,22	50,50						
25	09:30	876,50	-54,72	48,51						
26	09:40	910,36	-52,22	46,52						
27	09:50	943,10	-49,73	44,53						
28	10:00	974,65	-47,23	42,54						
29	10:10	1004,96	-44,73	40,56						
30	10:20	1033,96	-42,23	38,58						

Şekil 5.14. MIDC SOLPOS programından motorların hareket süreleri-a

Kuzey-güney motorunun öğleden önce yukarı doğru hareketinin 2. parçasında 140 dakikada 19° ilerlemesi için 8 dakikalık aralıklarla 0,39 s ilerleyişinin başlama saati 10:50 bitiş saati 13:10'dur. Güneş öğle saati, saat açısının (C sütunu) sıfır seviyesinde olduğu saat olan 13:10'dur. Kuzey-güney motorunun öğleden sonra aşağı doğru hareketinin 1. parçasında 140 dakikada 19° ilerlemesi için 8 dakikalık aralıklarla 0,39 s ilerleyişinin başlama saati 13:10'dur (Şekil 5.15.).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Saat	Global Işınım	Saat Açısı	Zenith açısı						
31	10:30	1061,60	-39,73	36,62						
32	10:40	1087,82	-37,23	34,67						
33	10:50	1112,58	-34,73	32,73		öğl. önce 2. parça	β değişimi	toplam sn	8dk...sn	4dk...sn
34	11:00	1135,84	-32,23	30,82		02:20:00	19,00	6,88	0,39	0,20
35	11:10	1157,53	-29,73	28,93		140				
36	11:20	1177,63	-27,23	27,08						
37	11:30	1196,09	-24,73	25,26						
38	11:40	1212,89	-22,23	23,50						
39	11:50	1227,98	-19,73	21,80						
40	12:00	1241,34	-17,23	20,18						
41	12:10	1252,95	-14,73	18,67						
42	12:20	1262,77	-12,23	17,29						
43	12:30	1270,81	-9,73	16,08						
44	12:40	1277,02	-7,23	15,07						
45	12:50	1281,41	-4,73	14,32						
46	13:00	1283,97	-2,23	13,87						
47	13:10	1284,70	0,27	13,74						
48	13:20	1283,58	2,77	13,94						
49	13:30	1280,63	5,27	14,46						
50	13:40	1275,84	7,77	15,27						
51	13:50	1269,24	10,27	16,32						
52	14:00	1260,82	12,77	17,57						
53	14:10	1250,61	15,27	18,98						
54	14:20	1238,63	17,76	20,52						
55	14:30	1224,90	20,26	22,16						
56	14:40	1209,44	22,76	23,87						
57	14:50	1192,28	25,26	25,65						
58	15:00	1173,46	27,76	27,47						
59	15:10	1153,02	30,26	29,33						
60	15:20	1130,99	32,76	31,23						

**Kuzeye (yukarı) doğru hareketin 2. parçasında 8 dk. aralıklarla 0,39 s ilerleyişin başlama ve bitiş saati**

**Güneş öğlesi saati**

**Güneye (aşağı) doğru hareketin 1. parçasında 8 dk. aralıklarla 0,39 s ilerleyişin başlama saati**

Şekil 5.15. MIDC SOLPOS programından motorların hareket süreleri-b

Kuzey-güney motorunun öğleden sonra 2. parçasında 150 dakikada  $29,65^\circ$  ilerlemesi için 8 dakikalık aralıklarla 0,57 s ilerleyişinin başlama ve doğu-batı motorunun GİS öğleden sonra sınırı olan  $37^\circ$  ulaştığı zaman durma saati 15:30'dur. Kuzey-güney motorunun GİS sınırları  $63^\circ$  olduğu için zenit açısına göre (D sütunu) durma saati 18:00'dır. Global ışınımın (B sütunu) bittiği nokta 20:20 güneşin battığı saattir ve GİS'i park konumuna alma saatidir (Şekil 5.16.).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Saat	Global Isınım	Saat Açısı	Zenith açısı						
61	15:30	1107,41	35,26	33,15						
62	15:40	1082,33	37,76	35,09						
63	15:50	1055,80	40,26	37,04						
64	16:00	1027,87	42,76	39,01						
65	16:10	998,58	45,26	40,98						
66	16:20	968,00	47,76	42,96						
67	16:30	936,19	50,26	44,95						
68	16:40	903,21	52,76	46,94						
69	16:50	869,11	55,26	48,93						
70	17:00	833,96	57,76	50,93						
71	17:10	797,84	60,26	52,92						
72	17:20	760,81	62,76	54,90						
73	17:30	722,94	65,26	56,89						
74	17:40	684,30	67,76	58,87						
75	17:50	644,98	70,26	60,84						
76	18:00	605,04	72,76	62,80						
77	18:10	564,56	75,26	64,76						
78	18:20	523,62	77,76	66,71						
79	18:30	482,30	80,26	68,65						
80	18:40	440,69	82,76	70,58						
81	18:50	398,87	85,25	72,50						
82	19:00	356,91	87,75	74,40						
83	19:10	314,92	90,25	76,29						
84	19:20	272,99	92,75	78,16						
85	19:30	231,22	95,25	80,02						
86	19:40	189,73	97,75	81,86						
87	19:50	148,66	100,25	83,67						
88	20:00	108,21	102,75	85,47						
89	20:10	69,83	105,25	87,25						
90	20:20	31,15	107,75	89,00						

Şekil 5.16. MIDC SOLPOS programından motorların hareket süreleri-c

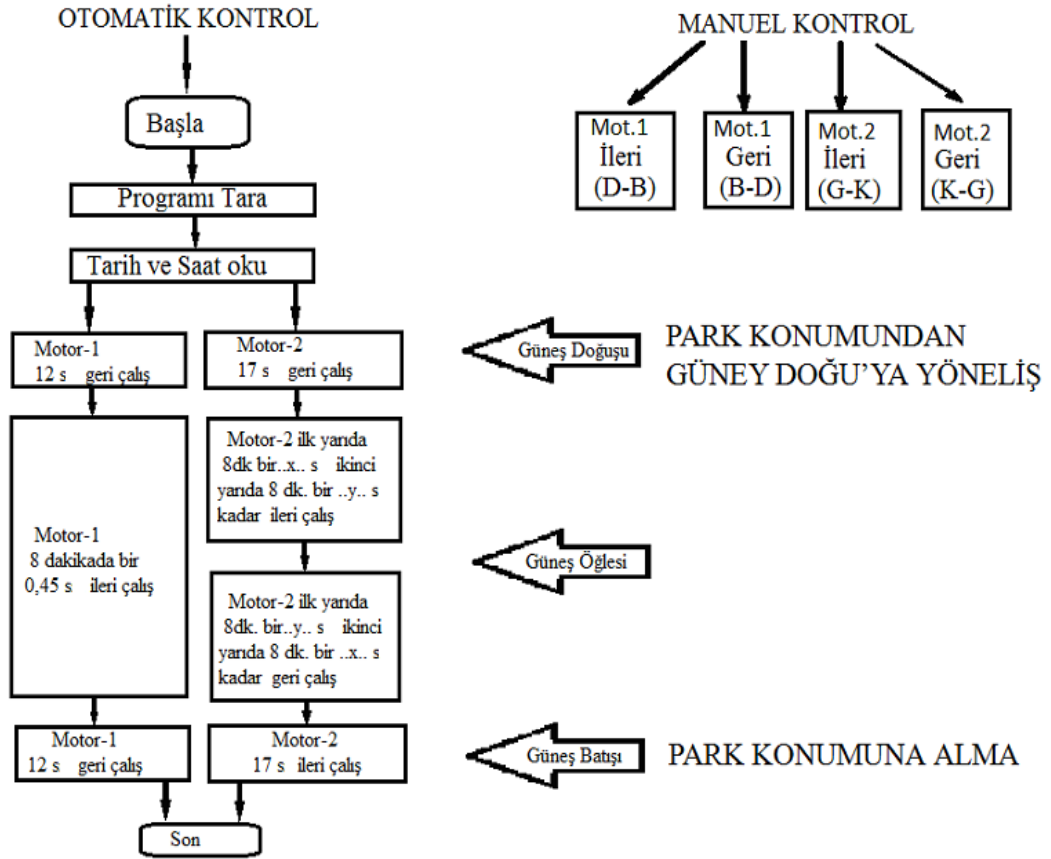
### 5.2.2. Akış diyagramı

GİS'in akış diyagramında sistem ilk başlangıç noktasında park konumundadır. Park konumunda yüzey tam güneye bakar ve eğim açısı da  $10^\circ$  seviyesine ayarlanmaktadır. Eğim açısının  $0^\circ$  değil de  $10^\circ$  olmasıyla yüzey üzerinde yağmur veya pislik birikmemesi amaçlanmaktadır. Güneş doğuş saatinde park konumundan güney doğuya doğru yönelmektedir. Güneş batış saatinde ise sistemin kendini park konumuna alması sağlanmaktadır. Sistem gerekli durumlarda elle müdahale için PLC girişleri aracılığıyla hazır hale getirilmiştir (Şekil 5.17.).

GİS sınırları içinde doğudan batıya harekete geçen motor 8 dakika aralıklarla  $0,45$  s ilerlemesi gerekir. Doğu-batı motoru öğleden önce  $65^\circ$  öğleden sonra  $37^\circ$  ilerlemektedir. Toplam  $102^\circ$ 'lik hareketi  $25$  s'de almaktadır. İlk aşamada hesaplarda 8 dakikada bir  $0,49$  s hareket etmesi öngörüldü. Fakat motorlardan kaynaklı hatalı

izleme olduğu ortaya çıkınca deneme yanılma yoluyla bu sürenin 8 dk için 0,45 s olması gerektiği gözlemlendi.

GİS’de, dünyanın kendi etrafındaki dönüşünde doğu-batı ekseninde 1°’yi 4 dakika sürede ilerlediği için hızı sürekli sabittir. Ama kuzey-güney ekseninde ise bu durum değişkendir. Bunun için kuzey-güney eksenindeki hareket için öğleden önce ve öğleden sonra ikiye parçaya bölünmüştür. Güneş öğlesine yakın parçada kuzey-güney motoru diğer parçaya göre daha az süre hareket etmektedir.



Şekil 5.17. GİS PLC programı akış diyagramı

### 5.2.3. Siemens LOGO! soft comfort programı

Tüm bu elde edilen bilgiler ışığında PLC programı yazılmaya başlanmıştır. PLC LOGO!’yu çalıştırabilmek için yazılan programın PLC’ye yüklenmesi gereklidir. Bu program yine PLC üreticisi tarafından hizmete sunulan Siemens LOGO! soft comfort programıdır (Siemens, 2014).

### 5.2.3.1. Proje oluşturma

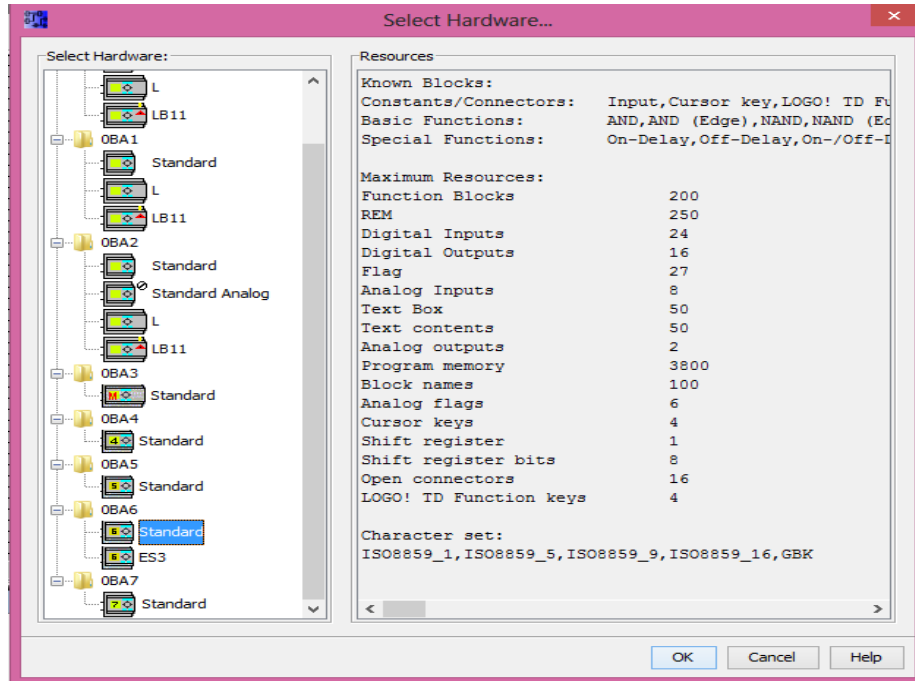
Yeni proje eklemek için Logo! Soft Comfort Program sayfasında File→New→Function Block Diagram (FBD) kısmına tıklandığında yeni proje sayfası açılmış olmaktadır (Şekil 5.18.).



Şekil 5.18. LOGO! soft comfort programında proje oluşturma

### 5.2.3.2. Donanım ayarları

Projede kullandığımız PLC modeliyle Siemens LOGO! soft comfort programı ayarlarındaki PLC modeli işleyişte problem çıkmaması için aynı olması gerekmektedir. Bunun için Logo! Soft Comfort Program sayfasında Tools→Select Hardware tıklanır ve soldaki PLC çeşitlerinden OBA6 Standart seçilmektedir. OBA6 standart PLC'nin özelliği olarak yazılacak program 200 blokla sınırlıdır (Şekil 5.19.). Bu kısıtlamadan dolayı GİS bir yıllık programı tek parça halinde yazılamamıştır.



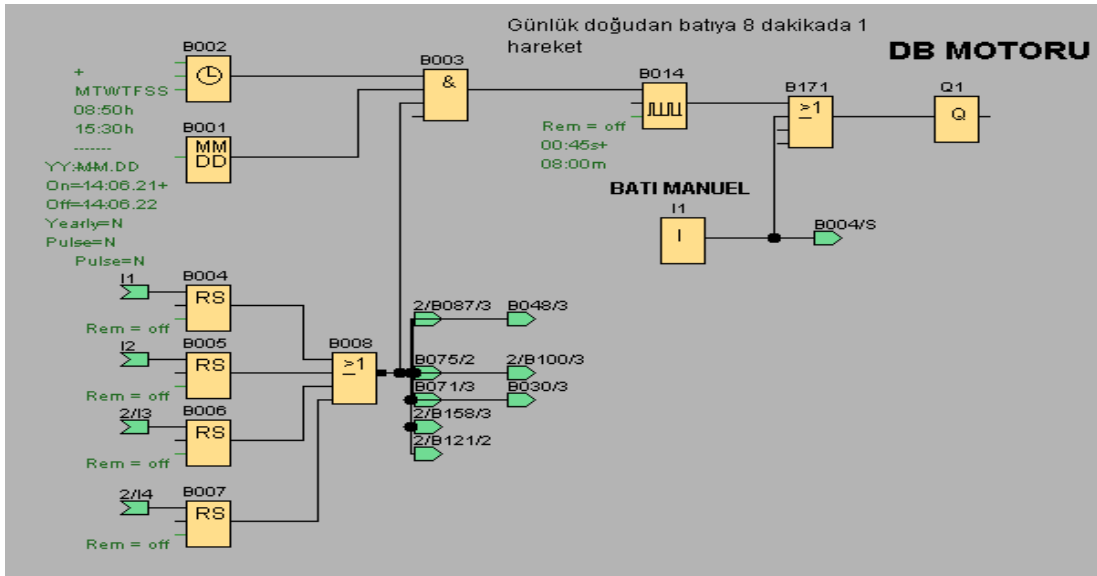
Şekil 5.19. Siemens PLC LOGO! OBA6 standart özellikleri

#### 5.2.4. PLC programının yazılması

Örnek olarak 21 Haziran için GİS PLC programı yazılmıştır. Bu çalışmada GİS PLC programında otomatik kontrol dışında elle müdahaleye de yer verilmiştir. Bunu sağlamak için;

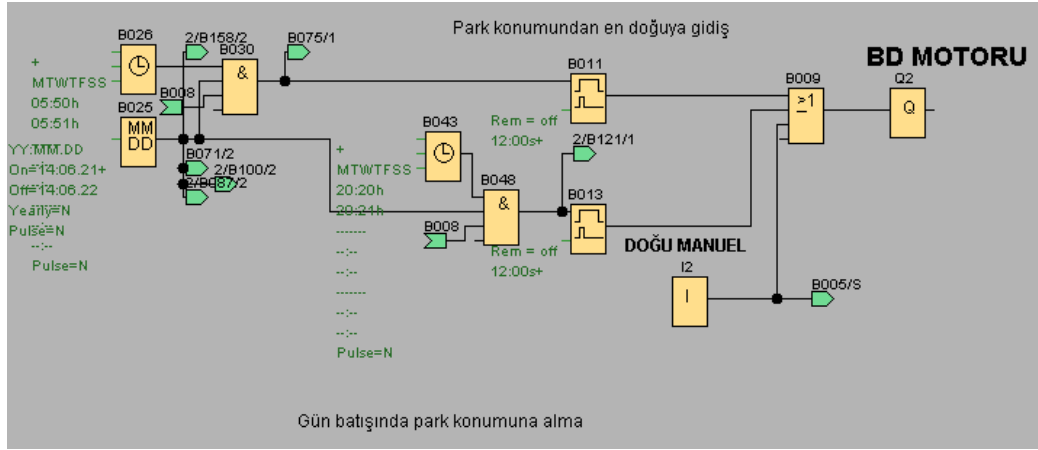
- I1 izleme yüzeyini doğudan batıya hareket ettirir. (Q1 aktif hale gelir)
- I2 izleme yüzeyini batıdan doğuya hareket ettirir. (Q2 aktif hale gelir)
- I3 izleme yüzeyini güneyden kuzeye hareket ettirir. (Q3 aktif hale gelir)
- I4 izleme yüzeyini kuzeyden güneye hareket ettirir. (Q4 aktif hale gelir)

Elle müdahale yapıldığı zaman otomatik izleme devre dışı kalır. Tekrar otomatik izlemeye almak için PLC programının durdurulup çalıştırılması gerekmektedir. B004, B005, B006, B007 ve B008 bloklarının kullanılış amacı herhangi bir manuel giriş olduğunda otomatik izlemenin durması içindir. Doğu-batı doğrultusunda hareket eden motor 08:50-15:30 saatleri arasında 8 dakikada bir B014 bloğu ile 0,45 s ileri hareket ederek güneş batana kadar güneşi yatay olarak izleme işlemini gerçekleştirmiş olmaktadır. I1 pako şalter aracılığıyla aktif hale getirilirse sistem otomatik izlemeyi durdurarak batıya doğru ilerletilir (Şekil 5.20.).



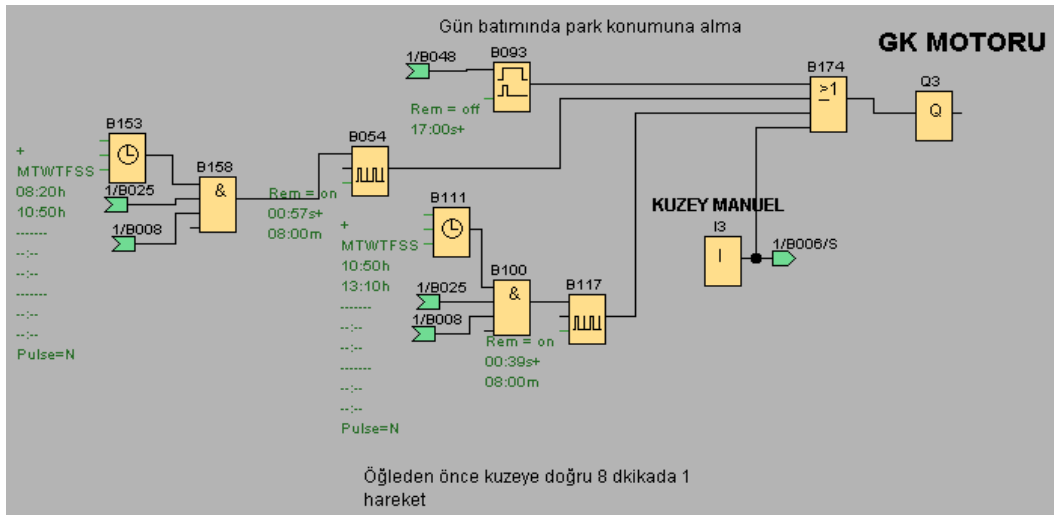
Şekil 5.20. PLC programı (D-B)

Doğu-batı motorunun B011 ile saat 05:50'de güneş doğduğunda 12 s geri çalışarak doğu noktasına gitmesi ve B013 ile saat 20:20'de güneş battığında 12 s geri çalışarak park konumuna hareket etmektedir. I2 pako şalter aracılığıyla aktif hale getirilirse sistem doğuya doğru ilerletilir (Şekil 5.21.).



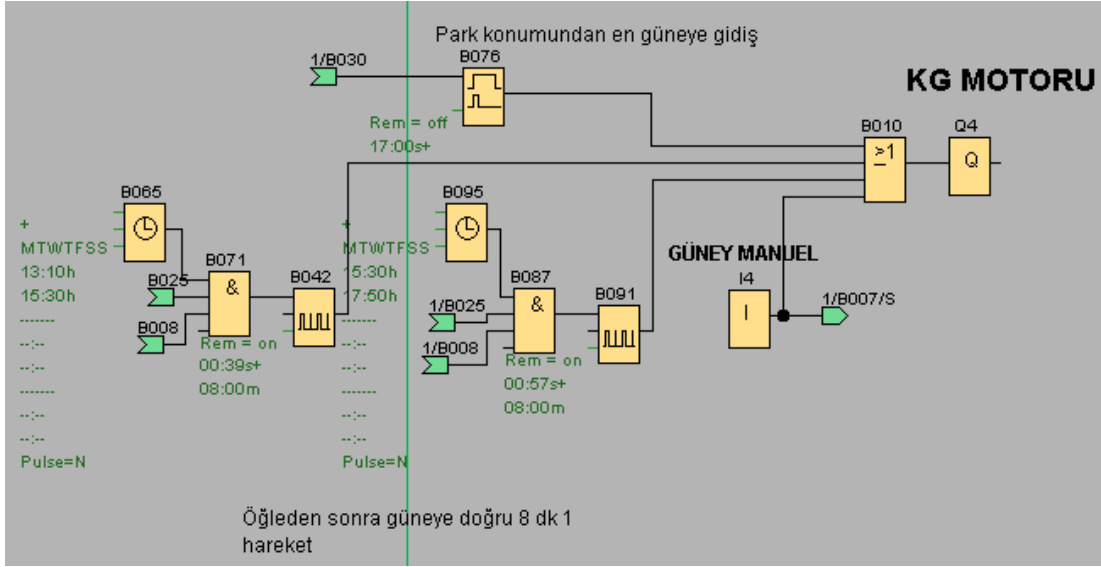
Şekil 5.21. PLC programı (B-D)

Kuzey güney doğrultusunda hareket eden motor öğleye kadar 1. parçada 08:20-10:50 saatleri arasında 8 dakikada bir B054 bloğu ile 0,57 s 2. parçada ise 10:50-13:10 saatleri arasında B117 bloğu ile 0,39 s ileri hareket ederek yukarı doğru dikey hareketi gerçekleştirir. Ayrıca güneş battığında saat 20:20'de B093 bloğu ile 17 s ileri hareket ederek park konumuna gelir. I3 pako şalter aracılığıyla aktif hale getirilirse sistem kuzeye doğru hareket etmektedir (Şekil 5.22.).




Şekil 5.22. PLC programı (G-K)

Kuzey-güney doğrultusunda hareket eden motor öğleden sonra her 8 dakikada bir 1. parçada 13:10-15:30 saatleri arasında B042 bloğu ile 0,39 s 2. parçada ise 15:30-17:50 saatleri arasında B091 bloğu ile 0,57 s geri hareket ederek aşağı doğrudikiy hareketi tamamlar. Ayrıca güneş doğuşunda da saat 05:50'de B076 bloğu ile 17 s geri hareket ederek park konumundan en güneye doğru gitmiş olur. I4 pako şalter aracılığıyla aktif hale getirilirse sistem güneye doğru hareket etmektedir (Şekil 5.23.).



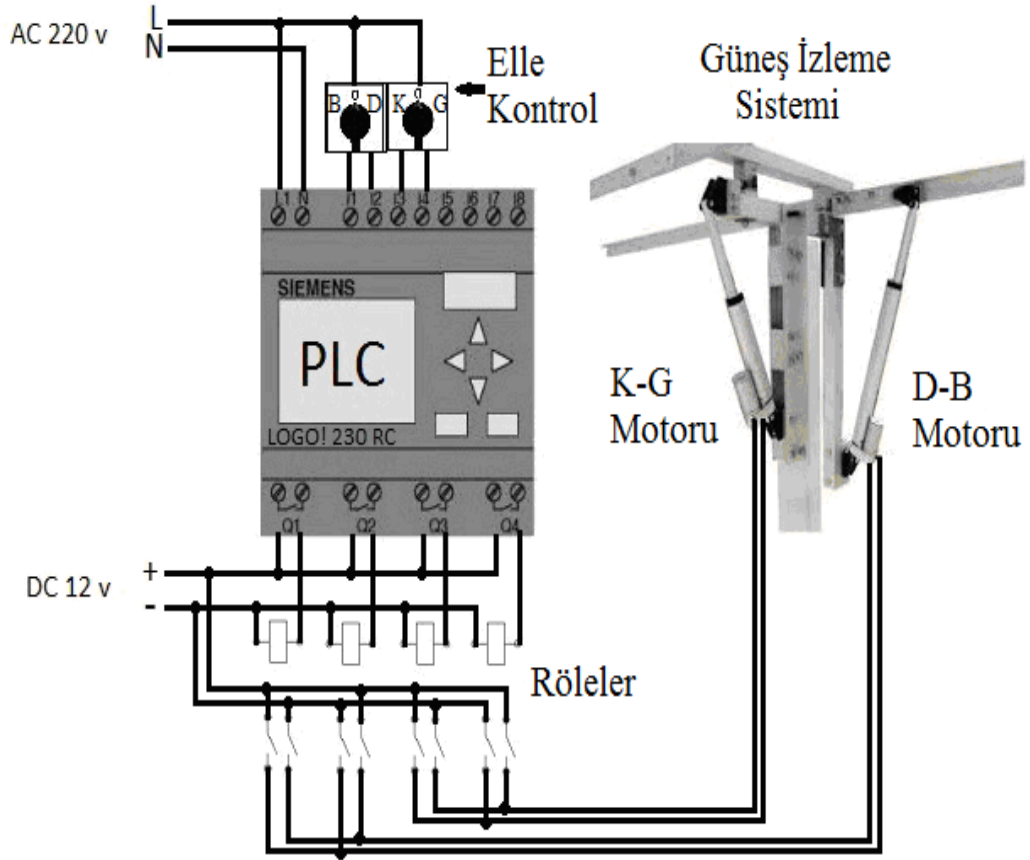
Şekil 5.23. PLC programı (K-G)

PLC programı yazıldıktan sonra LOGO! soft comfort program sayfasında sol menüdeki  simülasyon tuşuna basarak yazılan programın çalışması sanal olarak gözlenmiş olur. Simülasyonda hata varsa yazılan program değiştirilmesi gereklidir.

### 5.2.5. Güç devresi kurulması


Yazılan PLC programının simülasyonunda bir problem gözüküyorsa artık PLC devreye alınabilir. GİS'in devreye bağlantı şeması hem DC hem de AC beraber kullanılmaktadır. PLC girişlerinden 4 tanesi manuel kontrol için pako şalterlere bağlanmıştır. PLC 220 V AC beslemesiyle çalışmaktadır. PLC'nin varolan 4 çıkışı da motorları ileri geri çalıştırmak için kullanılmaktadır. PLC çıkışına 2 motoru ileri

ve geri hareket ettirebilecek 4 adet röle takılmıştır. Motorların beslemesi 12 V DC güç kaynağından sağlanmaktadır (Şekil 5.24.).



Şekil 5.24. GİS güç devresi

### 5.2.6. PLC programının PLC'ye yüklenmesi

PLC LOGO! kablosu bilgisayar ile PLC cihazı arasına takıldıktan sonra Siemens LOGO! soft comfort program sayfasında üst menülerde bulunan  PC→LOGO! sekmesi aktif hale getirildiğinde yazılan programın PLC içerisine yüklenmesi tamamlanmış olur. Böylelikle GİS motorları PLC'den aldığı komutları gerçekleştirmeye başlar. PLC programını ilk çalıştırırken GİS park konumunda olmalıdır ve güneş doğuşundan önce veya güneş batışından sonra devreye alınmalıdır.

## 6. DENEYSEL BULGULAR

Bu çalışmada güneş izleme sisteminin (GİS) kontrol cihazı olan PLC LOGO! için geliştirilen çeşitli programlarla iki lineer DC motorun önceden belirlenen sürelerde çalıştırılıp durdurulmasıyla, güneşe bakan 30° eğimli yüzeydeki fotovoltaik (PV) modüle göre daha fazla elektrik enerjisi üretmek amaçlanmaktadır. GİS doğu-batı ekseninde öğleden önce 65° öğleden sonra 37° kuzey-güney ekseninde ise 13°-63° arasında izleme yapılabilmektedir.

Dünya, kendi eksenini etrafındaki hareketini 24 saatte tamamlamaktadır. Bir günde (1440 dakika) boylamda 360° hareket ettiğinden, bir derecelik boylam ilerlemesi için dünyanın 4 dakika hareket etmesi gereklidir. Bundan dolayı GİS için yazılan PLC programlarında 4'er ve 8'er dakikalık aralıklarla izleme yapılmıştır. Deneysel çalışmalar yapılırken tek eksenli GİS için 4 farklı ve çift eksenli GİS için 2 farklı PLC programları yazılmış ve deneyleri yapılmıştır. PLC programlarında motorların çalışma sıklıkları 4 dakika olduğunda, 8 dakikaya göre motorlar daha sık hareket edecekler ve güneşi daha hassas bir şekilde izleyebileceklerdir (Alata vd., 2005).

PLC programı akış şemasında motorların hareket etme sıklığı 8 dakikada bir olacak şekilde düzenlenmiştir (Şekil 5.18.). Motorların hareket etme sıklığının 4 dakika olacağı denemelerde motorların hareket etme süreleri bu fark göz önüne alınarak değiştirilmiştir.

GİS ile sabit 30° eğimli yüzeye yerleştirilen PV modülün karşılaştırılmaları yapılırken 10 dakikada bir ölçülen maksimum güç noktasındaki akım, gerilim ve ışınım değerleri kullanılarak her iki sistemin de Eşitlik (6.1)'deki gibi ayrı ayrı anlık güç ve enerji değerleri hesaplanmıştır. Enerji değeri hesaplanırken saatlik değerlerin bulunması gereklidir. Bu yüzden bir saatte 6 defa ölçülen değerlerin toplamı Eşitlik (6.2)'de görüldüğü gibi 6'ya bölünerek enerji Wh olarak hesaplanmıştır.

$$P_{\max} = V_{mpp} \cdot I_{mpp} \quad (6.1)$$

$$E = \frac{1}{6} \cdot \sum_{\text{gündogumu}}^{\text{günbatımı}} P \quad (6.2)$$

Sonuçta ölçülen bu değerler kullanılarak 4'er ve 8'er dakikalık izlemelerde sabit 30° eğimli yüzeye yerleştirilmiş PV modüle göre enerji kazançları Eşitlik (6.3) ile hesaplanmıştır. Öğleden önce ve sonra oluşan enerji kazançlarının değişimleri de incelenmiştir.

$$E = \left( \frac{E_{GIS} - E_{30}}{E_{30}} \right) \quad (6.3)$$

GİS'de bazı günler tek eksenli bazı günler çift eksenli izleme yapılmıştır. Tek eksenli izlemede, kuzey güney motoru o gün için belirlenen açıyı ayarlayarak sonrasında çalıştırılmamıştır. Tek eksenli güneş izlemesi sadece doğu-batı ekseninde yapılmıştır. Çift eksenli GİS ise x ve y eksenli olmak üzere iki ekseninde de motorlar gün boyu belirli aralıklarla hareket ederek izleme yapılmıştır.

Muğla ili için güneye yönlendirilmiş bir PV modülün yıllık verilere göre en fazla elektrik enerjisi üretebilmesi için ideal eğim açısı 30° olarak hesaplanmıştır. Bundan dolayı tüm GİS denemelerinde enerji karşılaştırılması yaparken, sabit güneye yönlendirilmiş PV modülün yerleştirildiği yüzeyin eğimi 30° olarak belirlenmiştir. Pironometre ile güneş ışınım ölçümleri de aynı şekilde güneye yönlendirilmiş ve eğim açısı 30° olarak ayarlanmış yüzeyde yapılmaktadır.

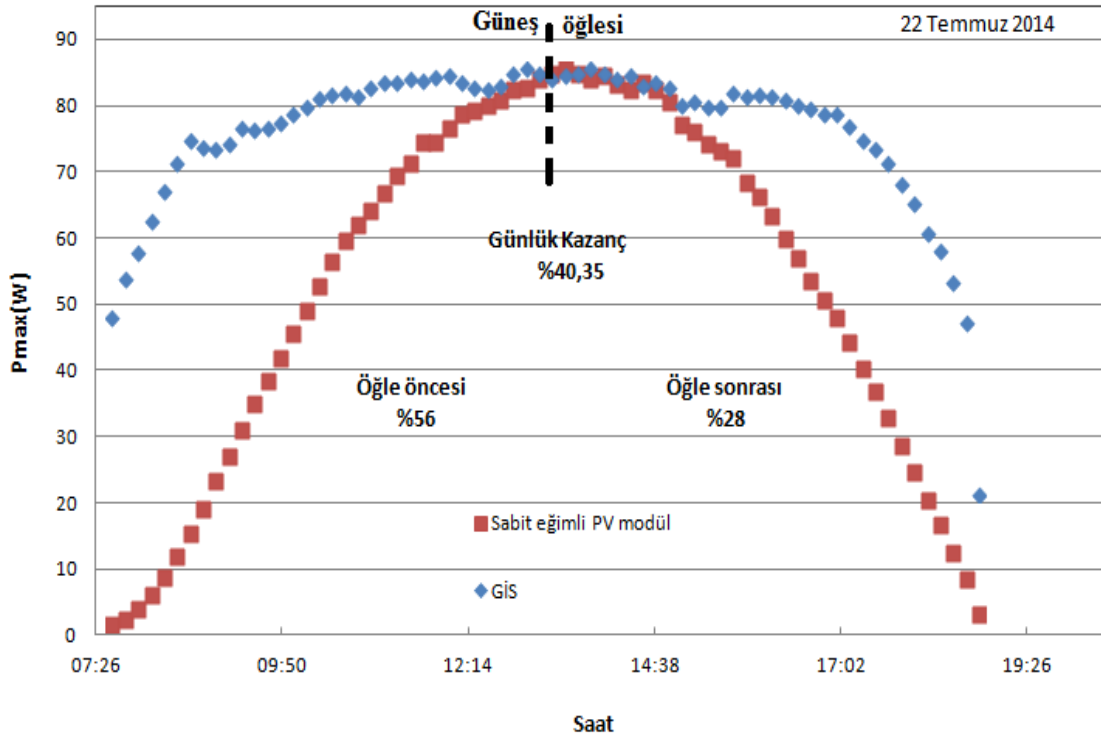
### 6.1. Tek Eksenli GİS

Tek eksenli GİS'de kuzey-güney motoru bir defa çalıştırılarak istenen modül eğim açısı ayarlanmaktadır. Doğu- batı motorunun hareket sıklığını 4 dakikada bir ve 8 dakikada bir yapan ayrıca eğim açısını 30° ve o gün için ideal eğim açılı olacak şekilde toplam 4 ayrı PLC programı kullanılarak, sabit 30° eğimli güneye bakan yüzeydeki PV modülle üretilen elektrik enerjilerinin karşılaştırılmaları yapılmıştır.

### 6.1.1. Eğim açısı 30° olan 8 dakika aralıklarla izleme yapan tek eksenli GİS

İzleme aralığı 8 dakikada bir olan tek eksenli GİS’de 22 Temmuz 2014 tarihi için eğim açısı olarak, Muğla ilinin yıllık verilere göre ideal eğim açısı olan 30° kullanılmıştır. Bu yüzden GİS gökyüzünün açık olduğu bu günde, eğim açısının 30° ayarlanma işlemi PLC programına kuzey-güney motorunun hareket süresi hesaplanarak girilmiş ve doğu batı ekseninde gün boyu 8 dakika aralıklarla güneş izlemesi yapılmıştır.

Ölçüm sisteminden alınan akım, gerilim ölçümleri kullanılarak sabit 30° eğimli PV modülde üretilen toplam enerji 616,18 Wh iken GİS’de üretilen toplam enerji 864,80 Wh olarak gerçekleşmiştir. Bu durumda sabit 30° eğimli yüzeye yerleştirilmiş PV modül ile 30° eğimli tek eksenli GİS’in ürettiği enerjiler karşılaştırıldığında, GİS ile %40,35 daha fazla elektrik enerjisi üretildiği görülmektedir. GİS’de sabit yüzey eğimli PV modüle göre fazladan üretilen 248,62 Wh enerji için sadece 0,45 Wh başka bir deyişle fazladan üretilen enerjinin %0,2’si kadar elektrik enerjisi harcanmıştır (Şekil 6.1.).



Şekil 6.1. 22 Temmuz 2014 tarihli maksimum güçlerin karşılaştırılması

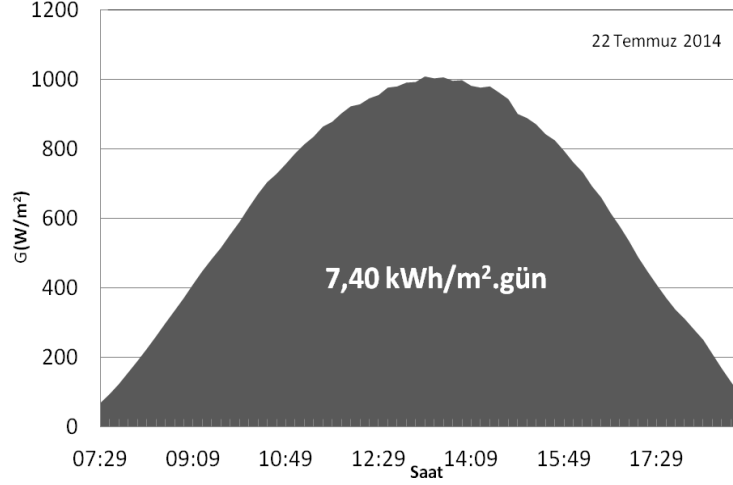
Öğleden önce %56 seviyesinde olan enerji kazancı öğleden sonra %28 seviyesine düşmüştür (Şekil 6.1.). Bu farkın bir sebebi GİS doğu-batı ekseninde öğleden önce 65° öğleden sonra 37° kadar izleme yapabilmesidir. Çizelge 6.1.’de GİS aktif olduğu süre içinde güneş öğlesinde, iki saat öncesi ve iki saat sonrasında güneş ışınım değerleri, sabit PV modül ve GİS maksimum güç değerleri görülmektedir. Sabit yüzey eğimli PV modül maksimum gücü güneş ışınımıyla orantılı bir şekilde değişmektedir. Fakat GİS maksimum gücü öğleden sonra 15:10’da güneş ışınımı daha yüksekken öğleden önce 11:10’daki değerden daha düşük seviyeye gelmiştir. Bunun sebebi GİS PV modülü güneşi izlerken PV modüldeki sıcaklık seviyesinin çok yükselmesidir. Sıcaklığın yükselmesi PV modülün verimini kötü yönde etkilemektedir.

**Çizelge 6.1. 22 Temmuz 2014’te 3 farklı noktada güneş ışınımı ve maksimum güç değişimleri**

Saat	Güneş ışınımı (W/m <sup>2</sup> )	Sabit yüzey eğimli PV modül maksimum gücü (W)	GİS maksimum gücü (W)
11:10	813	69,47	83,70
13:10 (Güneş öğlesi)	993	84,22	85,03
15:10	889	76,24	80,64

Gün doğumu 22/07/2014 tarihinde saat 06:10 olmasına rağmen Şekil 6.1.’de görüldüğü gibi ölçümlerin saat 07:30’da başlama nedeni güneş ışınımını ölçen pironometrenin tam güneşe yönelmiş ve 30° eğimli bir yüzeye yerleştirilmesidir. Pironometre ölçümlere ışık şiddeti 50 W/m<sup>2</sup> seviyesinden sonra başlamaktadır. Pironometreye yeterli gün ışığı, saat 07:30’a kadar düşmemektedir. Bu yüzden GİS’in ilk maksimum güç değeri 48 W olarak gerçekleşmiştir. Aslında pironometrenin konumundan dolayı ölçümler alınamamasına rağmen, saat 07:30 öncesi de GİS enerji üretmektedir.

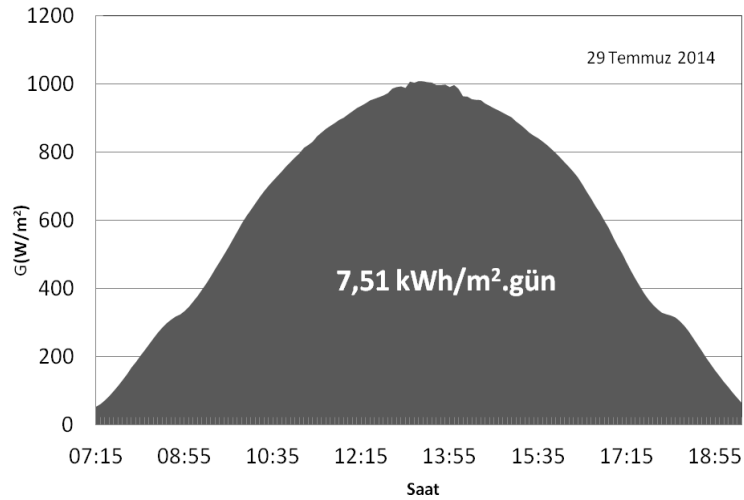
Sabit eğimli pironometre aracılığıyla belirli aralıklarla ölçülen güneş ışınım miktarına göre hesaplanan günlük yüzeye gelen enerji miktarı 22 Temmuz 2014 tarihinde 7,40 kWh/m<sup>2</sup>.gün olarak gerçekleşmektedir (Şekil 6.2.).



Şekil 6.2. 22 Temmuz 2014 tarihli ölçülen ışık miktarı

### 6.1.2. İdeal eğim açısında 8 dakika aralıklarla izleme yapan tek eksenli GİS

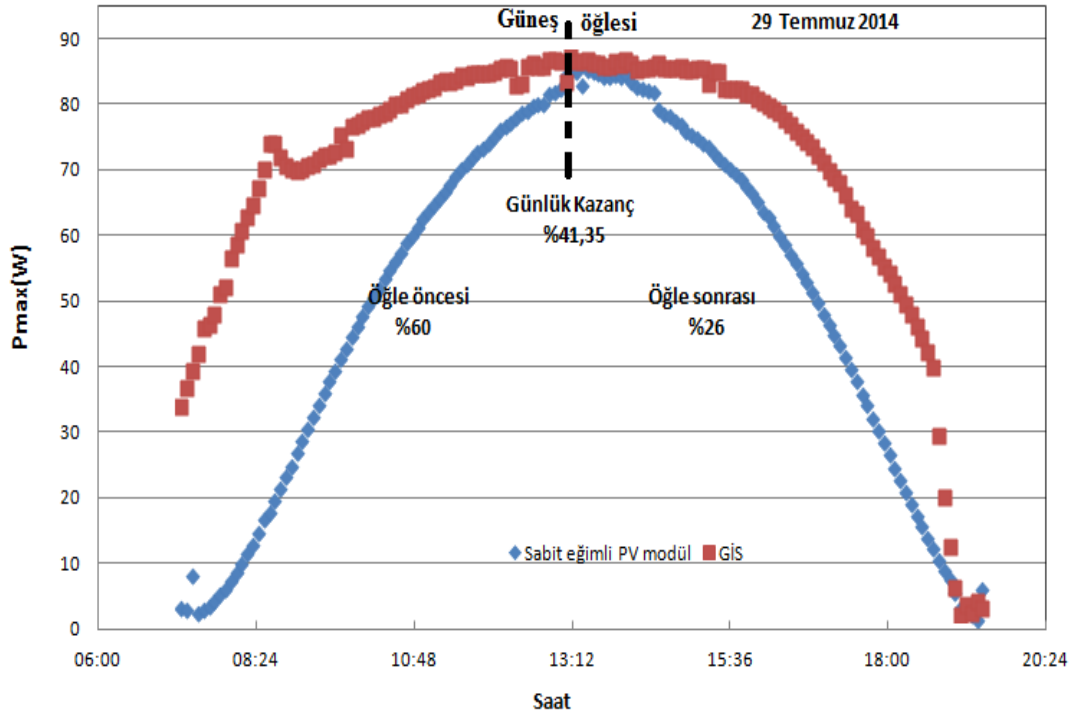
İzleme aralığı 8 dakikada bir olan tek eksenli GİS’de 29 Temmuz 2014 tarihi için ideal eğim açısı  $15^\circ$  olarak hesaplanmıştır. PLC programına kuzey-güney motorunun hareket süresi hesaplanarak girilmiş ve doğu batı ekseninde gün boyu 8 dakika aralıklarla güneş izlemesi yapılmıştır. Işık miktarına göre ölçülüp hesaplanan günlük enerji miktarı 29 Temmuz 2014 tarihinde  $7,51 \text{ kWh/m}^2.\text{gün}$  olarak gerçekleşmektedir (Şekil 6.3.).



Şekil 6.3. 29 Temmuz 2014 tarihli ölçülen ışık miktarı

Ölçülen maksimum akım, gerilim değerlerine göre sabit 30° eğimli PV modülde üretilen toplam enerji 609,28 Wh iken GİS’de üretilen toplam enerji 861,22 Wh olarak gerçekleşmiştir. Bu durumda sabit 30° eğimli PV modül ile optimum eğimli (15°) tek eksenli güneş izleme sistemlerinin ürettiği enerjiler karşılaştırıldığında, GİS ile %41,35 daha fazla elektrik enerjisi üretildiği görülmektedir. GİS’de fazladan üretilen 251,94 Wh enerji için sadece 0,45 Wh elektrik enerjisi harcanmıştır. Öğleden önce %60 seviyesinde olan enerji kazancı öğleden sonra %26 seviyesine gerilemiştir (Şekil 6.4.).

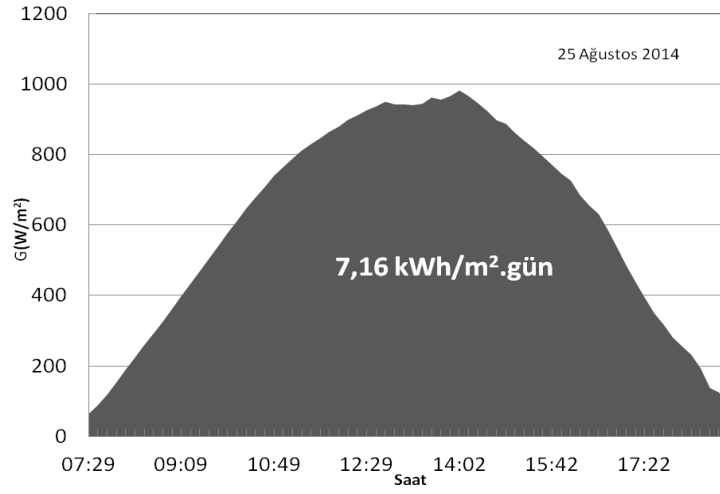
GİS ve sabit 30° eğimli PV modülün konumu açısından, gün batışına yakın saatlerde 19:00-19:30 arası eğriler sıfır seviyesinde ve üst üste binmiştir (Şekil 6.4.). Pironometre PV modüllere göre 2 metre daha yukarıda ölçüm almaktadır. Bundan dolayı pironometre üzerine yeterli güneş ışığı düşmesine rağmen güneşin PV modüller üzerinden çekilmesidir.



Şekil 6.4. 29 Temmuz 2014 tarihli maksimum güçlerin karşılaştırılması

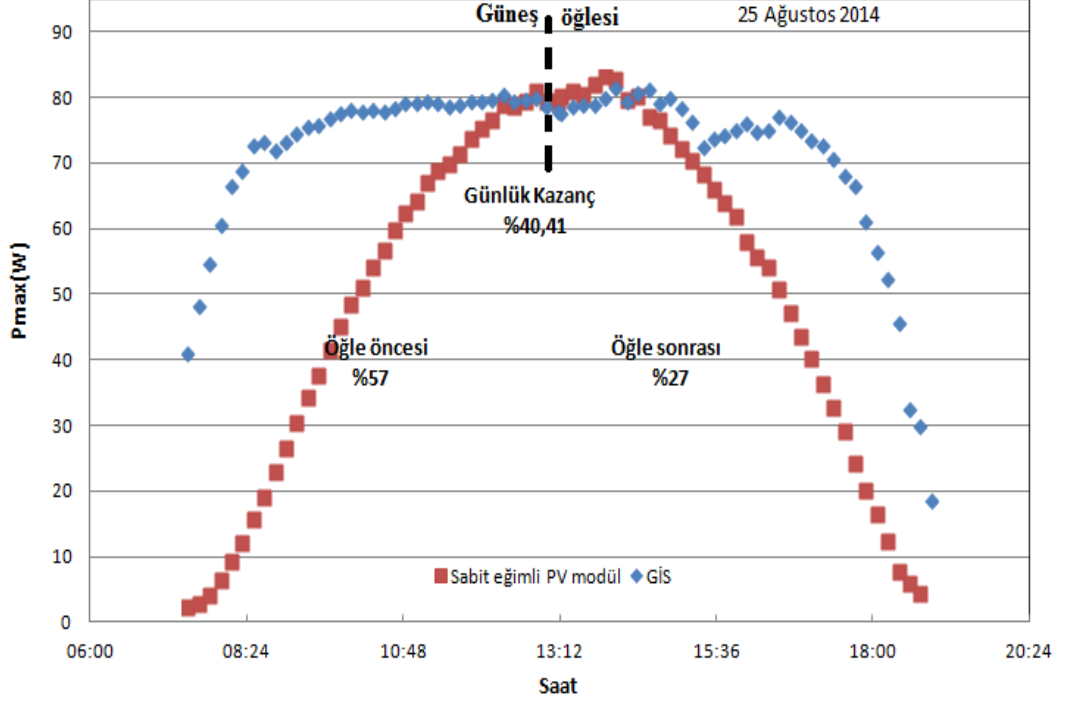
### 6.1.3. Eğim açısı 30° olan 4 dakika aralıklarla izleme yapan tek eksenli GİS

İzlemeyi 4 dakika aralıklarla yapan tek eksenli GİS’de 25 Ağustos 2014 tarihi için eğim açısı 30° belirlenmiştir. Bu yüzden GİS gökyüzünün açık olduğu bu günde eğim açısının 30° ayarlanması için PLC programına kuzey-güney motorunun hareket süresi hesaplanarak girilmiş ve doğu batı ekseninde gün boyu güneş izlemesi yapılmıştır. Işık miktarına göre ölçülüp hesaplanan günlük enerji miktarı 25 Ağustos 2014 tarihinde 7,16 kWh/m<sup>2</sup>.gün olarak gerçekleşmektedir (Şekil 6.5.).



Şekil 6.5. 25 Ağustos 2014 tarihli ölçülen ışık miktarı

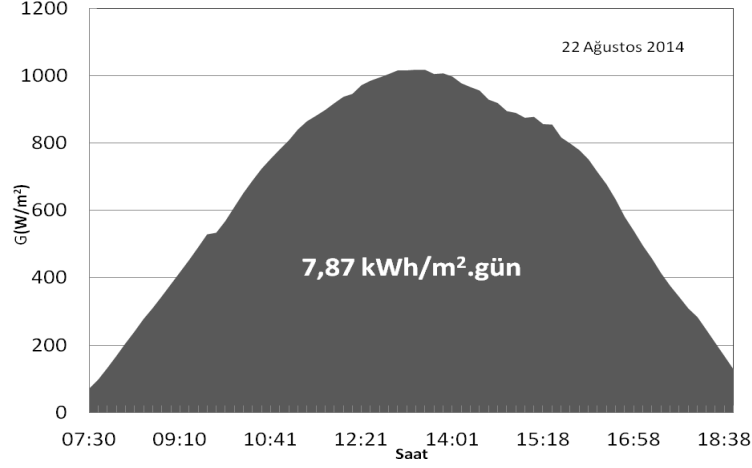
Ölçüm sonuçlarına göre sabit 30° eğimli PV modülde üretilen toplam enerji 597,32 Wh iken GİS’de üretilen toplam enerji 838,69 Wh olarak gerçekleşmiştir. Bu durumda sabit 30° eğimli PV modül ile 30° eğimli tek eksenli güneş izleme sistemlerinin ürettiği enerjiler karşılaştırıldığında, açık bir günde GİS ile %40,41 daha fazla elektrik enerjisi üretildiği görülmektedir. GİS’de fazladan üretilen 241,37 Wh enerji için sadece 0,50 Wh elektrik enerjisi harcanmıştır. Öğleden önce %57 seviyesinde olan enerji kazancı öğleden sonra %27 seviyesine düşmüştür (Şekil 6.6.).



Şekil 6.6. 25 Ağustos 2014 tarihli maksimum güçlerin karşılaştırılması

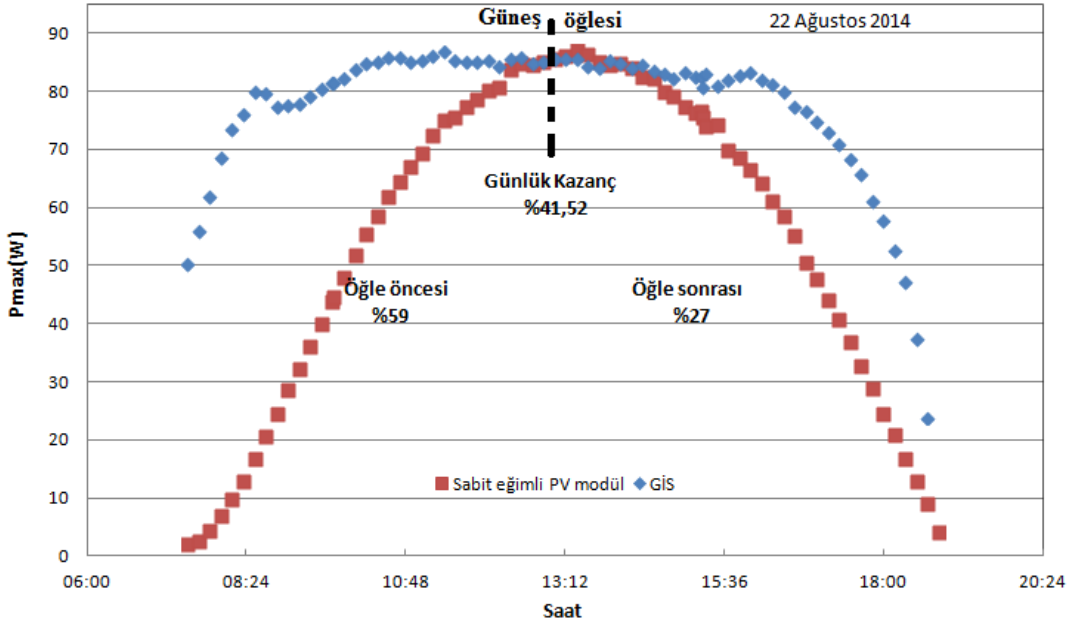
#### 6.1.4. İdeal eğim açısında 4 dakika aralıklarla izleme yapan tek eksenli GİS

İzleme aralığı 4 dakikada bir olan tek eksenli GİS’de 22 Ağustos 2014 tarihi için ideal eğim açısı  $25^\circ$  olarak hesaplanmıştır. Bu yüzden GİS gökyüzünün açık olduğu bu günde kuzey güney ekseninde eğimi  $25^\circ$  ayarlanması için PLC programına kuzey-güney motorunun hareket süresi hesaplanarak girilmiş ve doğu batı ekseninde gün boyu güneş izlemesi yapılmıştır. Işık miktarına göre ölçülüp hesaplanan günlük enerji miktarı 22 Ağustos 2014 tarihinde  $7,87 \text{ kWh/m}^2$ .gün olarak gerçekleşmektedir (Şekil 6.7.).



Şekil 6.7. 22 Ağustos 2014 tarihli ölçülen ışık miktarı

Yapılan ölçümlere göre sabit 30° eğimli PV modülde üretilen toplam enerji 659,49 Wh iken GİS’de üretilen toplam enerji 933,33 Wh olarak gerçekleşmiştir. Bu durumda sabit 30° eğimli PV modül ile optimum eğimli tek eksenli güneş izleme sistemlerinin ürettiği enerjiler karşılaştırıldığında, açık bir günde GİS ile %41,52 daha fazla elektrik enerjisi üretildiği görülmektedir. GİS’de fazladan üretilen 273,84 Wh enerjiyi üretmek için sadece 0,5 Wh başka bir deyişle fazladan üretilen enerjinin %0,2’si kadar elektrik enerjisi harcanmıştır. Öğleden önce %59 seviyesinde olan enerji kazancı öğleden sonra %27 seviyesine inmiştir. (Şekil 6.8.).



Şekil 6.8. 22 Ağustos 2014 tarihli maksimum güçlerin karşılaştırılması

### 6.1.5. Tek eksenli GİS enerji kazançlarının gün boyunca karşılaştırılması

Muğla ili için güneye yönelmiş bir PV modülün yıllık verilere göre en fazla elektrik enerjisi üretebilmesi için en ideal eğim açısı  $30^\circ$  olarak hesaplanmıştır. Ayrıca en fazla enerjiyi üretmek için ise günlük ideal eğim açısı bulunmaktadır. Bu yüzden tek eksenli GİS’de eğim açısı olarak  $30^\circ$  ve günlük ideal eğim açısı denenmektedir.

Tek eksenli izleme türlerinde GİS, sabit  $30^\circ$  eğimli PV modüle göre %40-41 civarında enerji kazancı sağlamaktadır. GİS 90 Wp’lik bir PV modül için temmuz ağustos aylarında ortalama 254 Wh fazla üretilen elektrik enerjisi için 0,45-0,50 Wh başka bir deyişle fazladan üretilen enerjinin binde 2’si kadar elektrik enerjisi harcanmaktadır. GİS, sabit  $30^\circ$  eğimli PV modüle göre enerji kazançları gün ikiye bölünerek karşılaştırıldığında öğleden önce ortalama %58 oranında, öğleden sonra ise ortalama %27 oranında daha fazla elektrik enerjisi üretildiği görülmektedir (Çizelge 6.2.). Bu farkın sebebi GİS doğu-batı ekseninde Ağustos ayı için ifade edersek öğleden önce 250-260 dakika izleme yaparken öğleden sonra 140-150 dakika izleme yapılmaktadır. Ayrıca GİS sıcaklığı öğleden sonra öğleden önceye göre daha çok yükselerek maksimum güç değerlerini negatif yönde etkilemektedir. Tek eksenli izlemede en iyi sonucu %41,52 değerini 4 dakika aralıklarla yapılan ideal eğim açısına ayarlanmış sistemde alınmaktadır.

Çizelge 6.2. Tek eksenli izleme türlerinde kazanç karşılaştırılması

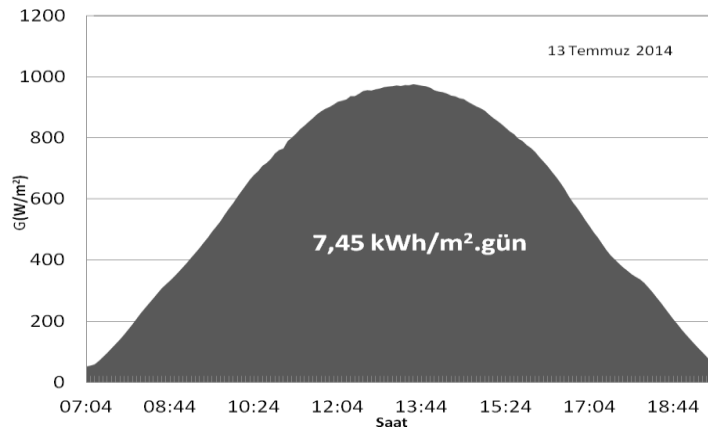
Tarih	İzleme türü (tek eksen)	Öğle öncesi kazanç (%)	Öğle sonrası kazanç (%)	GİS, sabit PV modüle göre günlük enerji kazancı (%)
22.07.2014	8 dk. $30^\circ$ eğimli	56	28	40,32
25.08.2014	4 dk. $30^\circ$ eğimli	57	27	40,41
29.07.2014	8 dk. ideal eğim açılı	60	26	41,35
22.08.2014	4 dk. İdeal eğim açılı	59	27	41,52

## 6.2. Çift Eksenli GİS

Çift eksenli GİS olarak motorların hareket sıklığını 4 dakikada bir ve 8 dakikada bir 2 ayrı PLC programı kullanılarak, Sabit 30° eğimli güneye bakan sistemle üretilen elektrik enerjisinin karşılaştırılmaları yapılmıştır. Güneş izlemede motorların çalışmaya başlama ve çalışmayı bitirme saatleri PLC programına girilirken GİS mekanik aksamının başlangıç ve bitiş sınırları göz önüne alınmıştır. GİS doğu-batı yönünde öğleden önce 65° öğleden sonra 37° hareket edebilmektedir. Kuzey-güney yönünde ise 13°- 63° arası harekete imkan sağlamaktadır.

### 6.2.1. Hareketi 4 dakikada bir yapan çift eksenli GİS

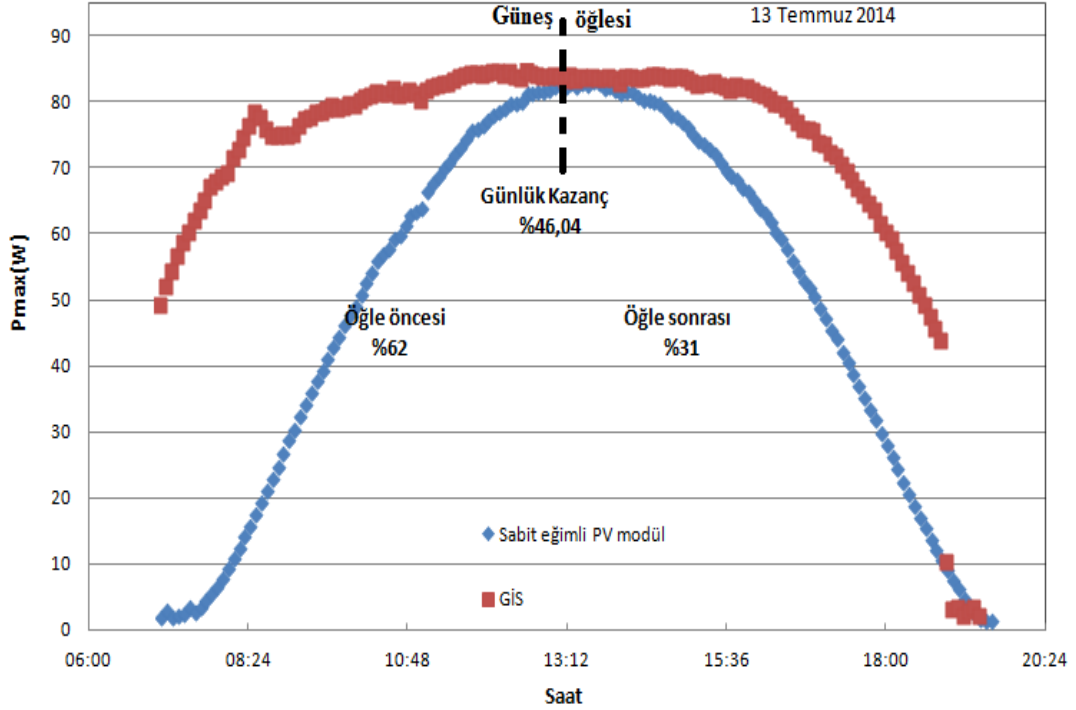
Çift eksenli GİS gözlemi 13 Temmuz 2014 tarihli açık bir günde yapılmıştır. Kuzey-güney ve doğu-batı motorları gün boyu 4 dakika aralıklarla hareket ederek güneş izlemesi yapmıştır. Işık miktarına göre ölçülüp hesaplanan günlük enerji miktarı 13 Temmuz 2014 tarihinde 7,45 kWh/m<sup>2</sup>.gün olarak gerçekleşmektedir (Şekil 6.9.).



Şekil 6.9. 13 Temmuz 2014 tarihli ölçülen ışık miktarı

Yapılan ölçümlere göre sabit 30° eğimli PV modülde üretilen toplam enerji 620,45 Wh iken GİS'de üretilen toplam enerji 906,09 Wh olarak gerçekleşmiştir. Bu durumda sabit 30° eğimli PV modül ile çift eksenli güneş izleme sistemlerinin üretmiş oldukları enerjiler karşılaştırıldığında, açık bir günde GİS ile %46,04 daha fazla elektrik enerjisi üretildiği görülmektedir. GİS'de fazladan üretilen 285,64 Wh

enerji için sadece 0,9 Wh başka bir deyişle fazladan üretilen enerjinin %0,3'ü kadar elektrik enerjisi harcanmıştır. Öğleden önce %62 seviyesinde olan enerji kazancı öğleden sonra %31 seviyesine düşmüştür (Şekil 6.10.).

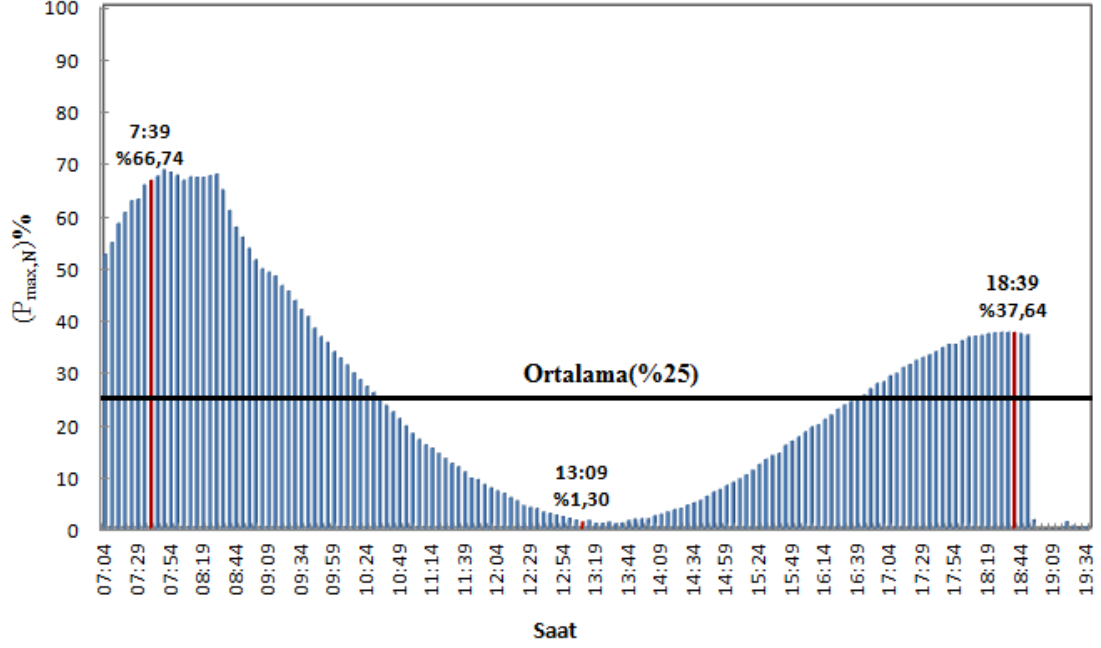


Şekil 6.10. 13 Temmuz 2014 tarihli maksimum güçlerin karşılaştırılması

Gözlemlerde kullandığımız PV modülün standart test koşullarındaki güç değeri ( $P_{STC}$ ) değeri 90 Wp'tir. GİS ile sabit 30° eğimli PV modülde ölçülen güçler maksimum güç noktasındaki değerlerdir. GİS ile sabit 30° eğimli PV modül Eşitlik (6.5)'te verilen formülle hesaplanan normalize edilmiş güç kazancı öğle saatlerinde sıfıra yakınken sabah saatlerinde maksimum %69 oranında bir kazanç oluşmuştur. Öğleden sonra da maksimum %38 oranında bir kazanç olmuştur. Bu farkın sebebi yine Doğu-Batı yönünde öğleden önce, öğleden sonraya göre GİS mekanik özelliğinden dolayı daha uzun süre, yaklaşık olarak 2 katı kadar sürede izleme yapması ve izleme yapılırken GİS kullanılan PV modülün sıcaklığının, PV modül verimi düşürecek seviyelere kadar çıkmasıdır. Günlük ortalama normalize edilmiş güç kazancı ise %25 civarındadır. Saat 18:54'ten sonra grafiğin sıfır seviyelerinde olma nedeni yine pironometre üzerinden güneş ışığı gelmesine rağmen, PV modüller üzerinde güneş ışığının olmamasıdır (Şekil 6.11.).

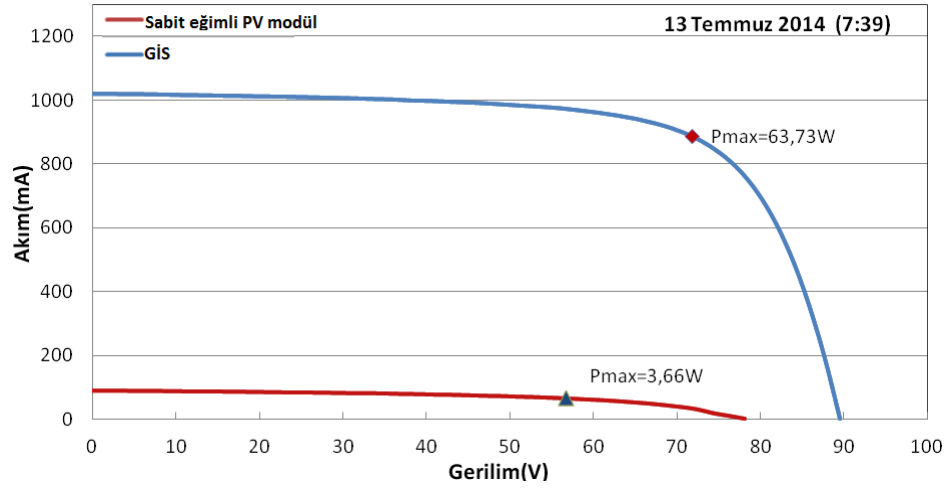
$$\Delta P = P_{GIS} - P_{30} \quad (6.4)$$

$$P_{\max, N} = \frac{\Delta P}{P_{STC}} \quad (6.5)$$



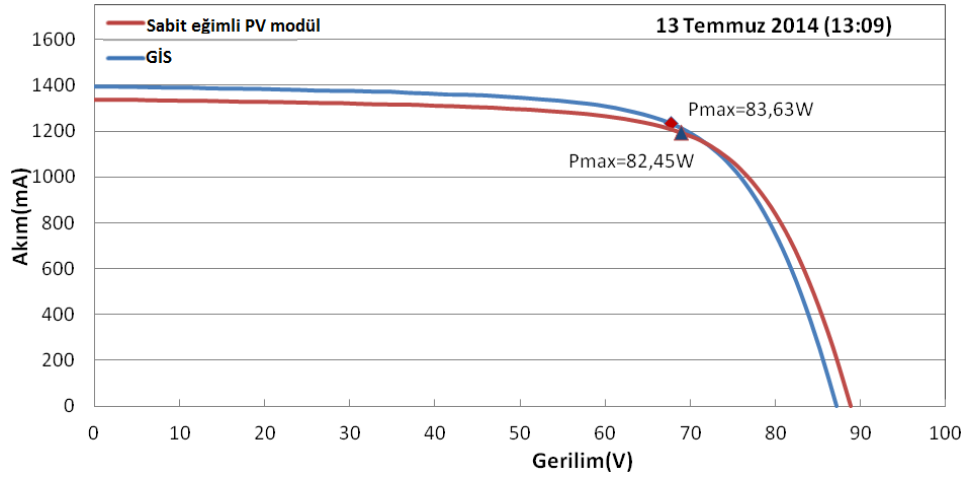
Şekil 6.11. 13 Temmuz 2014 tarihli normalize edilmiş güç kazancı

Şekil 6.11.'de verilen normalizasyon grafiğinde 3 nokta seçilerek akım ve gerilim grafikleri incelendiğinde, 13 Temmuz 2014 tarihinde sabah saat 07:39'da sabit 30° eğimli PV modülde üretilen maksimum güç 3,66 W iken GIS'de üretilen maksimum güç 63,73 W olarak gerçekleşmektedir. GIS ile sabit yüzey eğimli PV modül arasında %66,74 normalize edilmiş güç kazancı vardır (Şekil 6.12.).



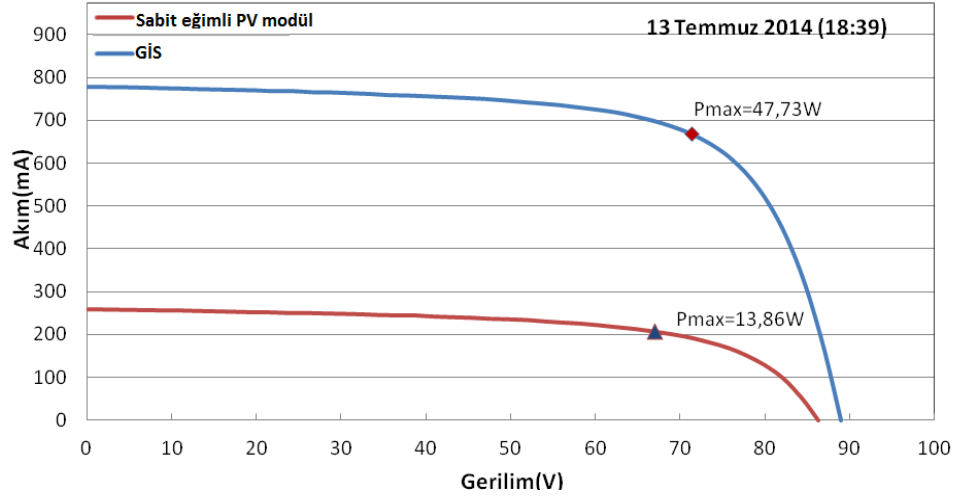
Şekil 6.12. Saat 7:39'da test edilen PV modüllerin akım-gerilim değişimleri

13 Temmuz 2014 tarihinde öğle saat 13:09'da sabit 30° eğimli PV modülde üretilen maksimum güç 82,45 W iken GİS'de üretilen maksimum güç 83,63 W olarak gerçekleşmektedir. GİS ile sabit yüzey eğimli PV modül arasında %1,30 normalize edilmiş güç kazancı vardır (Şekil 6.13.).



Şekil 6.13. Saat 13:09'da test edilen PV modüllerin akım-gerilim değişimleri

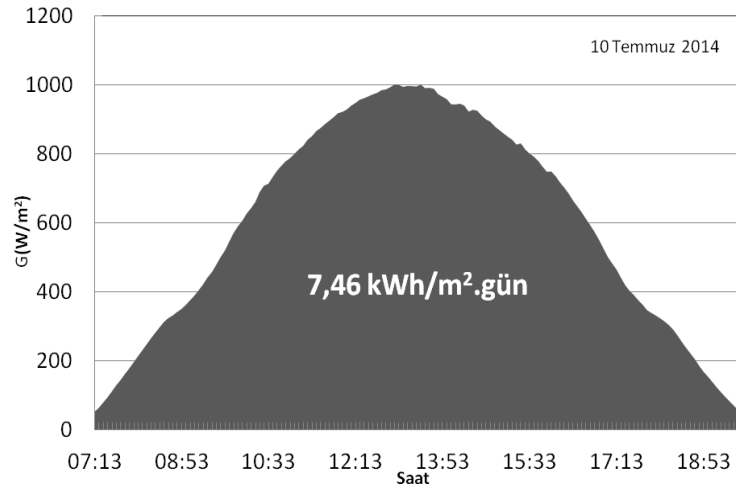
13 Temmuz 2014 tarihinde akşam saat 18:39'da sabit 30° eğimli PV modülde üretilen maksimum güç 13,86 W iken GİS'de üretilen maksimum güç 47,73 W olarak gerçekleşmektedir. GİS ile sabit yüzey eğimli PV modül arasında %37,64 normalize edilmiş güç kazancı vardır (Şekil 6.14.).



Şekil 6.14. Saat 18:39'da test edilen PV modüllerin akım-gerilim değişimleri

### 6.2.2. Hareketi 8 dakikada bir yapan çift eksenli GİS

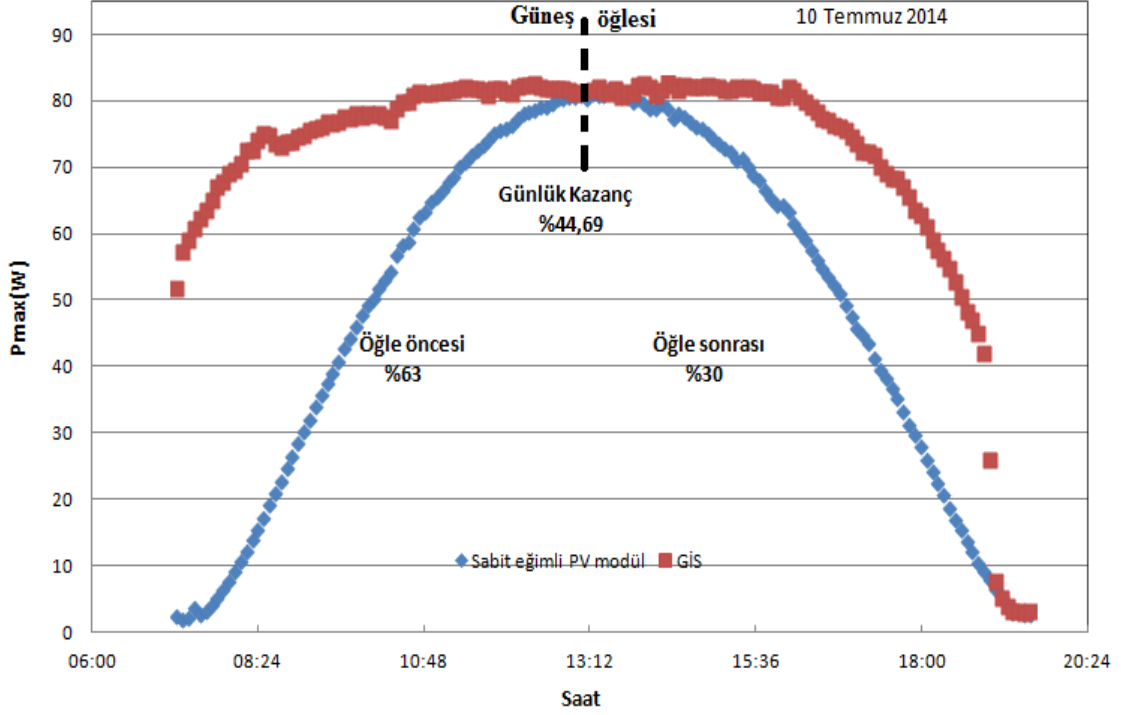
Çift eksenli GİS gözlemi 10 Temmuz 2014 tarihli açık bir günde yapılmıştır. Kuzey-güney ve doğu-batı motorları gün boyu 8 dakika aralıklarla hareket ederek güneş izlemesi yapmıştır. Işık miktarına göre ölçülüp hesaplanan günlük enerji miktarı 10 Temmuz 2014 tarihinde  $7,46 \text{ kWh/m}^2$ .gün olarak gerçekleşmektedir (Şekil 6.15.).



Şekil 6.15. 10 Temmuz 2014 tarihli ölçülen ışık miktarı

Yapılan ölçümlere göre sabit  $30^\circ$  eğimli PV modülde üretilen toplam enerji  $610,54 \text{ Wh}$  iken GİS'de üretilen toplam enerji  $883,41 \text{ Wh}$  olarak gerçekleşmiştir. Bu durumda sabit  $30^\circ$  eğimli PV modül ile çift eksenli güneş izleme sistemlerinin

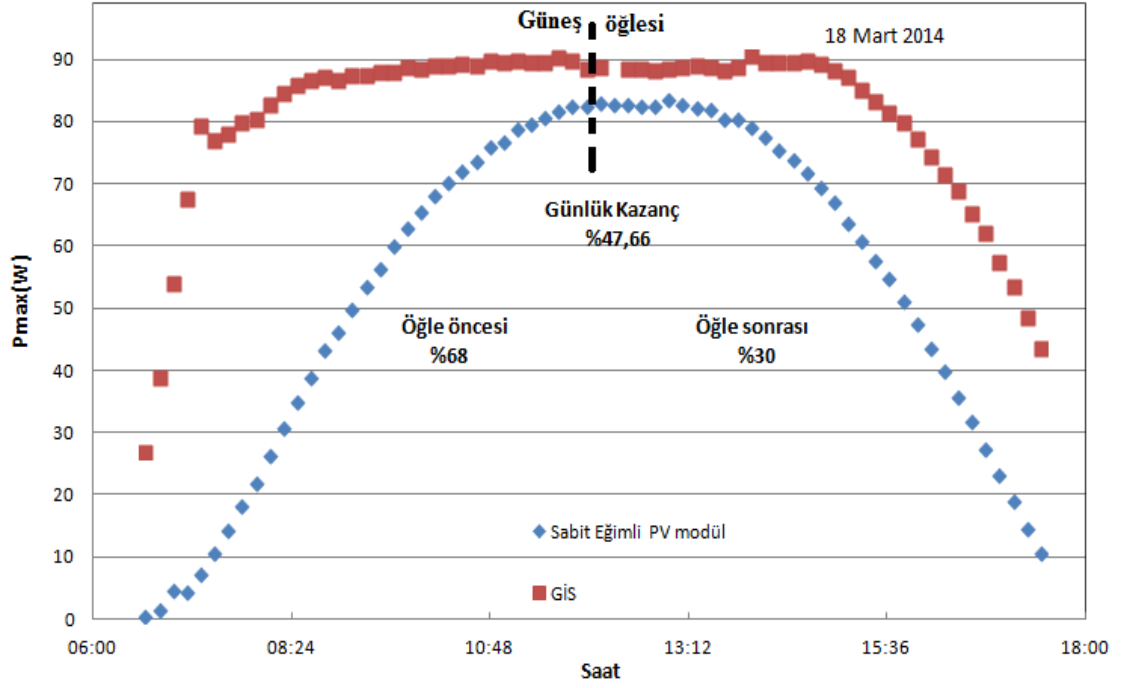
üretmiş oldukları enerjiler karşılaştırıldığında, açık bir günde GİS ile %44,69 daha fazla elektrik enerjisi üretildiği görülmektedir. GİS’de fazladan üretilen 272,87 Wh enerji için sadece 0,85 Wh başka bir deyişle fazladan üretilen enerjinin %0,3’ü kadar elektrik enerjisi harcanmıştır. Öğleden önce %63 seviyesinde olan enerji kazancı öğleden sonra %30 seviyesine düşmüştür (Şekil 6.16.).



Şekil 6.16. 10 Temmuz 2014 tarihli maksimum güçlerin karşılaştırılması

Yaz mevsiminde yapılan bu ölçümün kış mevsimiyle farkını gözlemlemek için daha önceden kuzey-güney ve doğu-batı motorları gün boyu 8 dakika aralıklarla hareket ederek çift eksenli GİS gözlemi 18 mart 2014 tarihli açık bir günde yapılmıştır.

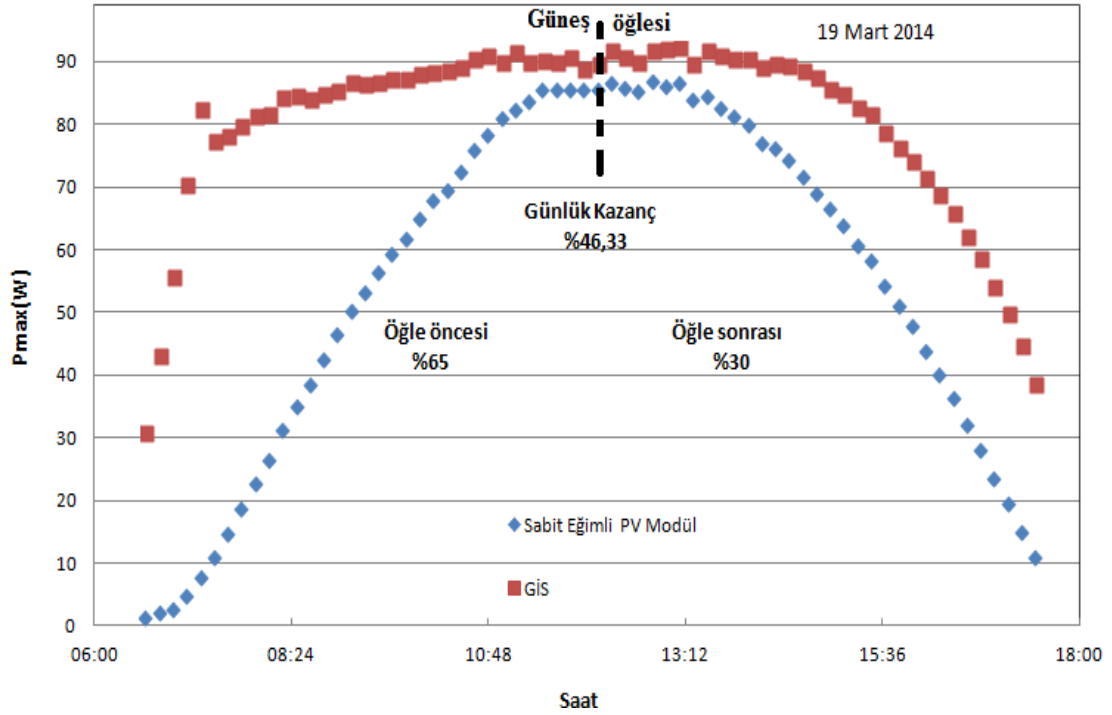
Yapılan ölçümlere göre sabit 30° eğimli PV modülde üretilen toplam enerji 597,72 Wh iken GİS’de üretilen toplam enerji 882,61 Wh olarak gerçekleşmiştir. Bu durumda sabit 30° eğimli PV modül ile çift eksenli GİS’in ürettiği enerjiler karşılaştırıldığında, açık bir günde GİS ile %47,66 daha fazla elektrik enerjisi üretildiği görülmektedir. GİS’de fazladan üretilen 284,89 Wh enerji için sadece 0,80 Wh başka bir deyişle fazladan üretilen enerjinin %0,3’ü kadar elektrik enerjisi harcanmıştır. Öğleden önce %68 seviyesinde olan enerji kazancı öğleden sonra %30 seviyesine düşmüştür (Şekil 6.17.).



Şekil 6.17. 18 Mart 2014 tarihli maksimum güçlerin karşılaştırılması

Kuzey-güney doğrultusundaki harekette öğleden öncesi ve sonrası, bütün çift eksenli izlemelerde 2 parçaya bölündü. Doğu-batı izlemesi gibi tek parça halinde 8 dakikada bir hareketli çift eksenli GİS gözlemi 19 mart 2014 tarihli açık bir günde yapılmıştır.

Yapılan ölçümlere göre sabit 30° eğimli PV modülde üretilen toplam enerji 606,6 Wh iken GİS’de üretilen toplam enerji 887,7 Wh olarak gerçekleşmiştir. Bu durumda sabit 30° eğimli PV modül ile çift eksenli güneş izleme sistemlerinin ürettiği oldukları enerjiler karşılaştırıldığında, açık bir günde GİS ile %46,33 daha fazla elektrik enerjisi üretildiği görülmektedir. GİS’de fazladan üretilen 281,1 Wh enerji için sadece 0,75 Wh başka bir deyişle fazladan üretilen enerjinin %0,3’ü kadar elektrik enerjisi harcanmıştır. Öğleden önce %65 seviyesinde olan enerji kazancı öğleden sonra %30 seviyesine düşmüştür (Şekil 6.18.).

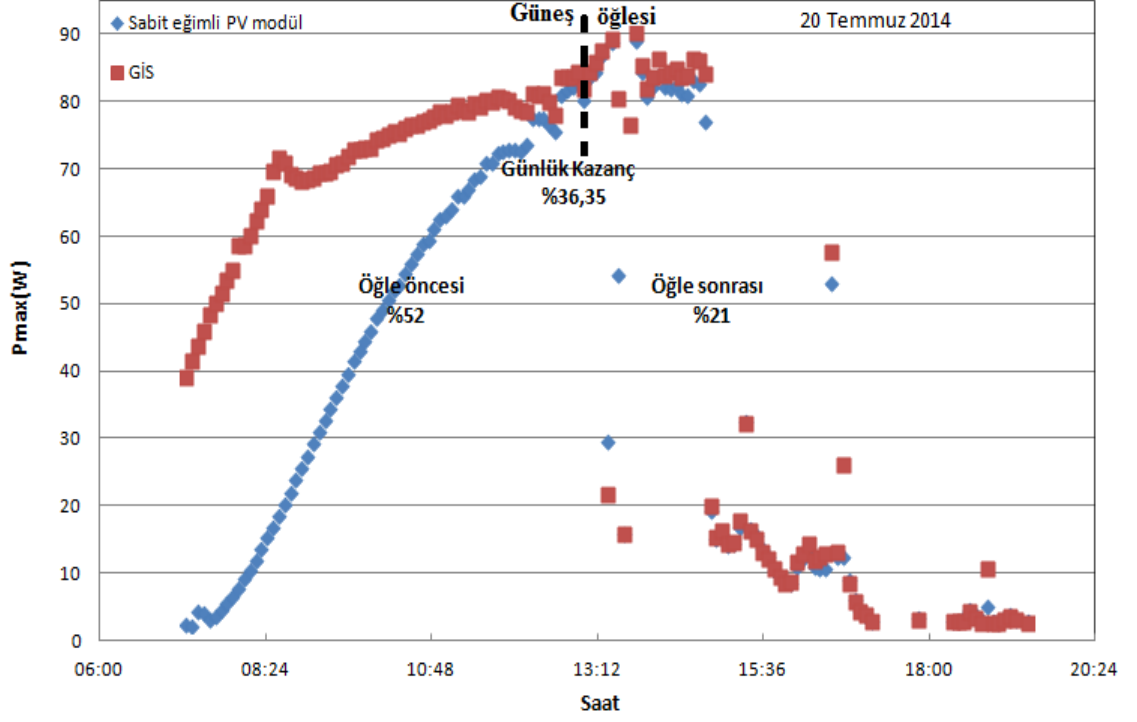


Şekil 6.18. 19 Mart 2014 tarihli maksimum güçlerin karşılaştırılması

Öğleden önce ve öğleden sonra kuzey-güney eksenindeki izleme iki parçaya bölünerek izleme yaptırılmasında tek parça halinde izleme yaptırılmasına göre sabit eksenli PV modülle yapılan enerji karşılaştırmalarına bakarak %3 daha avantajlı olduğu ortaya çıkmaktadır.

Çift eksenli GİS gözlemi 20 Temmuz 2014 tarihli yarı açık bir günde yapılmıştır. Kuzey-güney ve doğu-batı motorları gün boyu 8 dakika aralıklarla hareket ederek güneş izlemesi yapmıştır.

Yapılan ölçümlere göre sabit 30° eğimli PV modülde üretilen toplam enerji 435,96 Wh iken GİS’de üretilen toplam enerji 594,44 Wh olarak gerçekleşmiştir. Bu durumda sabit 30° eğimli PV modül ile çift eksenli güneş izleme sistemlerinin ürettiği enerjiler karşılaştırıldığında, açık bir günde GİS ile %36,35 daha fazla elektrik enerjisi üretildiği görülmektedir. GİS’de fazladan üretilen 158,48 Wh enerji için sadece 0,85 Wh elektrik enerjisi harcanmıştır. 20 Temmuz 2014’te güneşlenme durumu öğleye kadar açık, öğleden sonra bulutludur. Öğleden önce %52 seviyesinde olan enerji kazancı öğleden sonra %21 seviyesine düşmüştür (Şekil 6.19.).



Şekil 6.19. 20 Temmuz 2014 tarihli maksimum güçlerin karşılaştırılması

### 6.2.3. Çift eksenli GİS’de enerji kazançlarının karşılaştırılması

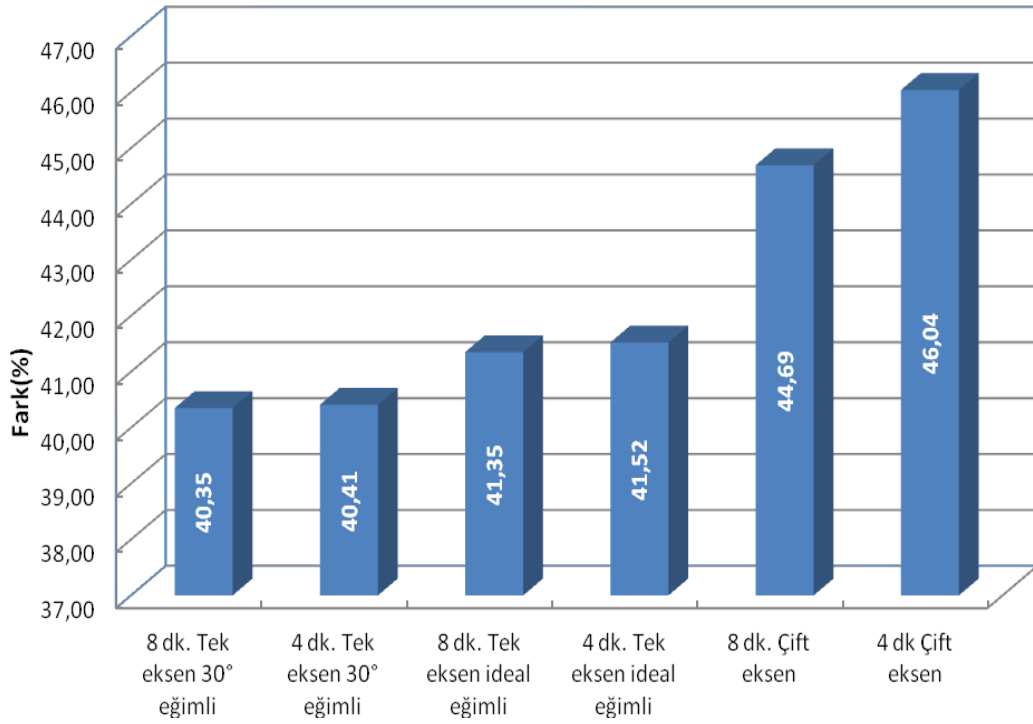
Çift eksenli izleme türlerinde GİS, sabit 30° eğimli PV modüle göre %45-46 civarında enerji kazancı sağlamaktadır. GİS ortalama 281 Wh fazla üretilen elektrik enerjisi için sadece 0,85-0,90 Wh başka bir deyişle binde 3’ü kadar elektrik enerjisi harcamaktadır. Çizelge 6.3.’de verilen verilere göre Sabit 30° eğimli PV modül ile enerji kazançları gün ikiye bölünerek karşılaştırıldığında öğleden önce ortalama %63 oranında, öğleden sonra ise ortalama %31 oranında daha fazla elektrik enerjisi üretildiği görülmektedir. Çift eksenli izlemelerde en avantajlı olan 4 dakika aralıklarla yapılp %46,04 enerji kazancı sağlayan sistemdir.

Çizelge 6.3. Çift eksenli izleme türlerinde kazanç karşılaştırılması

Tarih	İzleme türü (çift eksen)	Öğle öncesi kazanç (%)	Öğle sonrası kazanç (%)	GİS ile sabit PV modüle göre günlük enerji kazancı (%)
10.07.2014	8 dk. aralıklarla	63	30	44,69
13.07.2014	4 dk. aralıklarla	62	31	46,04

### 6.3. Güneş İzleme Türlerinin Karşılaştırılması

PLC’de yazılan 6 farklı program çeşidinde elde edilen veriler karşılaştırıldığında GİS tarafından, sabit 30° eğimli yüzeye yerleştirilmiş PV modüle göre Şekil 6.20.’de gösterildiği gibi %40-46 daha fazla elektrik enerjisi üretilmektedir. Tek eksenli izlemede %40-41 çift eksenli izlemede ise %45-46 daha fazla enerji elde edilmektedir. Çift eksenli izlemenin daha çok enerji kazancı sağladığı görülmektedir. Ayrıca izleme aralığı kısaltıldıkça yine enerji kazancının arttığı görülmektedir.



Şekil 6.20. Sabit yüzey eğimli PV modülle GİS arasındaki enerji farkı oranları

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada geliştirilen PLC programları ile GİS'in kontrolü gerçekleştirilerek 4 ve 8 dakika aralıklarla tek ve çift eksenle izleme yapılarak sabit eğimli yüzeye yerleştirilmiş PV modüle göre enerji kazançları incelenmiştir. Daha kısa izleme aralığında, 4 dakikalık aralıklarda 8 dakikalık aralıklarla izlemeye göre %1-3 oranında daha fazla elektrik enerjisi üretildiği hesaplanmıştır.

Çift eksenli izlemede tek eksenli GİS ile izlemeye göre aynı PV modül için %13-17 arasında değişen bir oranda daha fazla elektrik enerjisi üretilebildiği ortaya konulmuştur.

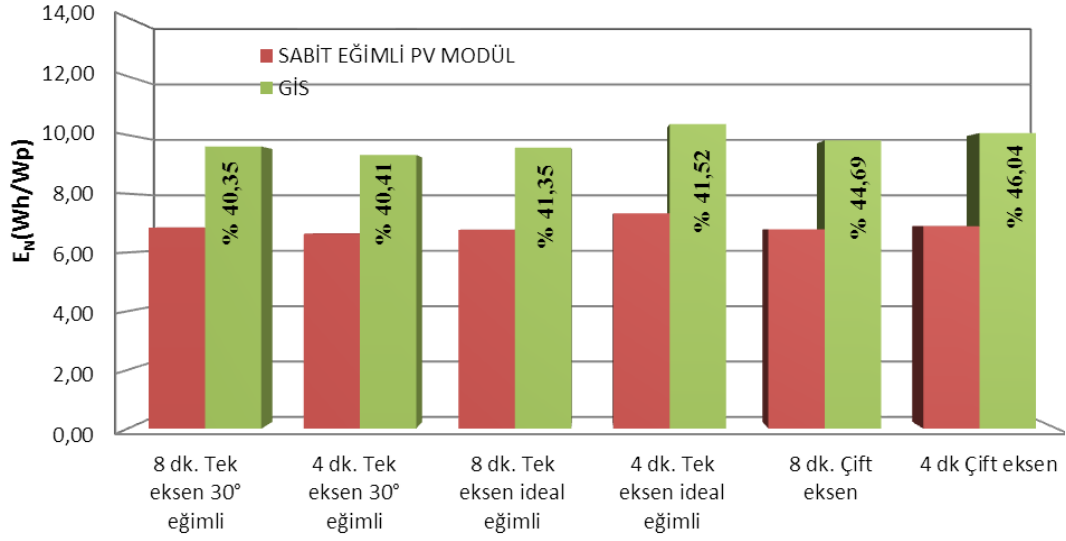
Kullanılan GİS düzeneği ile mekanik olarak doğu-batı ekseninde öğleden önce 65° öğleden sonra 37° izleme yapılabilmektedir. Açık bir yaz gününde GİS üzerinde bulunan bir PV modülde yapılan ölçümlerde sabit eksendeki PV modüle göre öğleden önce %55 olarak hesaplanan enerji kazancının öğleden sonra %30 seviyelerine kadar azaldığı hesaplanmıştır.

Kuzey-güney ekseninde izleme yapılırken öğleden öncesi ve sonrası için iki dilim halinde izleme yapıldığında daha hassas bir izleme gerçekleştirilerek bir bütün olarak izlemeye göre yaklaşık %3 daha fazla enerji kazancı elde edilebilmektedir.

Tek eksenli izlemeler için deneylerin gerçekleştirildiği konumdaki uzun yılların ortalaması alınarak yatay yüzeyde ölçülmüş güneş enerjisi değerlerinden hareketle hesaplanan 30° lik ideal eğim açısı kullanılmıştır. Elektriksel ölçümleri gerçekleştirilen ve kıyaslamalarda kullanılan PV modül için sabit eğim açısı olarak hesaplanan 30° değeri kullanılmıştır.

Farklı günlerde, farklı aralıklarda yapılan izlemeler sonucu hesaplanan enerji kazançları Şekil 7.1.'de gösterilmiştir. Buna göre 8 dakikalık izleme aralığına sahip tek eksenli GİS'de %40,35 daha fazla elektrik enerjisi üretildiği görülmektedir. Aynı şekilde 4 dakika aralıklarla izleme yapan tek eksenli GİS'de ortam sıcaklığının daha yüksek olmasından ve ölçümlerin gerçekleştirildiği günler arasında yaklaşık bir aylık

zaman farkı olmasından dolayı elektrik enerjisi kazancı %40,41 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 7.1. Sabit yüzey eğimli PV modülle GİS’de üretilen enerjilerin farkları

Tek eksenli izleme için 29 Temmuz 2014 tarihi için ideal eğim açısı 15° olarak hesaplanmıştır ve bu eğimde 8 dakika aralıklı izleme için GİS üzerinde bulunan bir PV modül ile sabit eksendekine göre %41,35 daha fazla elektrik enerjisi üretilebileceği hesaplanmıştır. 22 Ağustos 2014 tarihi için ise ideal eğim açısı 25° olarak hesaplanarak 4 dakika aralıklarla izleme yapılmıştır. Bu eğim ve izleme aralığında ise sabit eğimdeki PV modüle göre GİS ile %41,52 daha fazla elektrik enerjisi üretilebileceği hesaplanmıştır.

Farklı izleme aralıkları için çift eksenli GİS gözlemi 10 ve 13 Temmuz 2014 tarihlerinde açık günlerde yapılmıştır. Kuzey-güney ve doğu-batı motorları gün boyu 8 dakika aralıklarla hareket eden GİS ile %44,69 daha fazla elektrik enerjisi üretilebileceği hesaplanmışken 4 dakika izleme aralığına sahip sistemde 30° sabit eğim açısıyla yerleştirilen PV modüle göre %46,04 daha fazla elektrik enerjisi üretilebileceği hesaplanmıştır.

Hesaplamalarda kullanılan, standart test koşullarında üretici firma tarafından 90Wp olarak verilen güce sahip PV modül için Temmuz Ağustos aylarında günlük 240-290 Wh civarında enerji kazancının sağlandığı görülmüştür. GİS’in kontrolü için gün uzunluğunun daha fazla olup izlemenin daha uzun sürelerle gerçekleştirildiği yaz

günlerinde tek eksenli izlemede günlük 0,45-0,50Wh, çift eksenli izlemelerde ise günlük 0,75-0,90Wh enerji harcandığı ölçülmüştür. Sadece doğu-batı ekseninde izlemeyi sağlayan motorun çalıştığı tek eksenli izlemede elde edilen enerji kazancının %0,2 lik kısmı, doğu batı ve kuzey-güney eksenlerindeki izlemeleri sağlayan iki motorun da birlikte çalıştığı çift eksenli izlemede elde edilen enerji kazancının %0,3 lük kısmı harcanmaktadır.

22 ağustos 2014 tarihinde alınan ölçümler ve yapılan hesaplamalarda 4 dakika aralıklarla izleme yapılan ideal eğime ayarlanmış tek eksenli izleme değerleri çift eksenli izlemeden daha yüksek görünmektedir. Bunun nedeni ölçüm yapılan günler için eğimli yüzeylerde ölçülen birim alandaki günlük toplam güneş enerjisi değerinin Çizelge 7.1.'de verildiği diğer günlerden daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

**Çizelge 7.1. Deney günlerindeki güneş ışınlam değerleri**

Tarih	İzleme türü	Güneş ışınlamı (kWh/m <sup>2</sup> .gün)
22.07.2014	8 dk. 30° eğimli tek eksenli GİS	7,40
25.08.2014	4 dk. 30° eğimli tek eksenli GİS	7,16
29.07.2014	8 dk. ideal eğim açılı tek eksenli GİS	7,51
22.08.2014	4 dk. İdeal eğim açılı tek eksenli GİS	7,87
10.07.2014	8 dk. aralıklarla çift eksenli GİS	7,46
13.07.2014	4 dk. aralıklarla çift eksenli GİS	7,45

Yaz haricindeki diğer mevsimler için de ölçümler yapılarak kontrolü gerçekleştirilen sistemin sezonluk ve yıllık performansı hesaplanmalıdır. Alınan ölçümler uygun mekanik ve elektronik ekipmanlar seçilerek daha fazla sayıdaki ve farklı teknolojiye sahip PV modüller kullanılarak tekrarlanmalıdır.

Geliştirilen PLC LOGO! programları kullanılarak çalışan sistem ile istenilen sayıda GİS'i kontrol edebilmek mümkündür.

## KAYNAKLAR

- Al-Mohamad A. (2004) Efficiency improvements of photo-voltaic panels using a Sun-tracking system, *Applied Energy*, 79:345,354.
- Anonim, 2014a, [www.ibb.gov.tr/sites/aydinlatmaenerji/pages/enerjikaynaklari.aspx](http://www.ibb.gov.tr/sites/aydinlatmaenerji/pages/enerjikaynaklari.aspx) Erişim: 21.04.2014
- Anonim, 2014b, [tr.wikipedia.org/wiki/G%C3%BCne%C5%9F\\_enerjisi](http://tr.wikipedia.org/wiki/G%C3%BCne%C5%9F_enerjisi) Erişim: 21.05.2014
- Anonim, 2014c, [www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/gunes.html](http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/gunes.html) Erişim: 21.05.2014
- Anonim, 2014d, [solargis.info/doc/postermaps](http://solargis.info/doc/postermaps) Erişim: 21.05.2014
- Anonim, 2014e, [www.suncalc.net/](http://www.suncalc.net/) Erişim: 21.05.2014
- Anonim, 2014f, [www.nrel.gov/midc/solpos/solpos.html](http://www.nrel.gov/midc/solpos/solpos.html) Erişim: 21.05.2014
- Alata, M., Al-Nimr, M.A. ve Qaroush, Y. (2005) Developing a multipurpose sun tracking system using fuzzy control, *Energy Conversion and Management*, 46:1229-1245.
- Argun, K. (2012) *Güneş takip sistemine sahip düzlemsel kolektörün performansının deneysel olarak belirlenmesi*, Yüksek Lisans, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 62s.
- Batman, M.A. (1991) *Enerji Sistemlerinde Güneş Pillerinin Kullanımı*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 121s.
- Bayold-Rujula A.A., Lorente-Lafuente A.M. ve Cirez Oto F. (2011) Environmental assessment of grid connected photovoltaic plants with 2-axis tracking versus fixed modules systems, *Energy*, 36:3148-3158.

- Bayrak, G. ve Gençoğlu, M.T. (2011) İki Eksenli Güneş Takip Sisteminin Tasarımı ve PLC İle Kontrolü, *Otomatik Kontrol Türk Milli Komitesi Ulusal Toplantısı*, İzmir, 407-411.
- Beyoğlu, M.F. (2011) *Balıkesir ilinde çift eksenli güneş takip sistemi ile sabit eksenli PV sistemin verimlerinin karşılaştırılması*, Yüksek Lisans, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 70s.
- Bilgin, Z. (2006) *Güneş takip sistemi tasarımı ve gerçekleştirilmesi*, Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi, Ankara, 97s.
- Deriş, N. (1979) Güneş enerjisi sıcak su ile ısıtma tekniği, Sermet matbaası, İstanbul, 121s.
- Dinçadam, F. (2008) *Güneş pilleri ile sıcak su elde etme, sokak aydınlatması ve güneş takip sistemi uygulaması*, Yüksek Lisans, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, 70s.
- Enslin R. (1992) Maximum power point tracking: a cost-saving necessity in solar-energy systems, *Renew Energy* 6:549.
- Eke, R. ve Oktik, Ş. (2007) Muğla iklim koşullarına AS1206 tek kristal silisyum (m-Si) fotovoltaik modülün seri ve paralel direnç değerlerinin mevsimsel olarak değişimi, *Journal of Arts and Sciences*, Ankara, 7:21-32.
- Eke, R. ve Şentürk A. (2012) Performance comparison of a double-axis sun tracking versus fixed PV system, *Solar Energy* 86:2665-2672.
- Kalaycı, D. (2012) *Güneş takip sistemlerinin tasarımı*, Yüksek Lisans, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 75s.
- Kurtulan, S. (2008) *PLC ile Endüstriyel Otomasyon SIMATIC S7-200 ve S7-300/S7-400 Uygulamaları*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 446s.
- Kutlu, S. (2002) *Güneş tarlası ile güneş enerjisi üretimi ve uygulama analizi*, Yüksek Lisans, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 78s.

- Lee, C.Y., Chou, P.C., Chiang, C.M., Lin, C.F. (2009) Sun tracking systems: a review, *Sensors* 9:3875–3890.
- Makvart, T. (1994) Solar Electricity, *John Wiley & Sons*, Chichester, U.K., 5-100.69
- Megep, (2011) *PLC Programlama*, MEB, Ankara, 2011, 81s.
- Megep, (2012) *PLC Programlama Teknikleri*, MEB, Ankara, 2011, 109s.
- Öğün, M. (2013) *Bir scada programı kullanılarak programlanabilir mantık denetleyicisi ile trafik ışıkları kontrol uygulaması*, Yüksek Lisans, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, 75s.
- Öksüztepe, E. (1998) *Motor kontrollü güneş izleme sistemi*, Yüksek Lisans, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 83s.
- Roth, P., Georgiev, A. ve Boudinov, H., (2005) Cheap two-axis sun following device, *Energy Conversion and Management*. 46: 1179-92.
- Salah, A. ve Salem, N. (2004) Two axes sun tracking system with PLC control, *Energy Conversion and Management* , 45:1931-1939.
- Siemens, (2014) <http://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/logic-module-logo/demo-software/pages/default.aspx>  
Erişim:20.05.2014
- Sungur, C. (2009) Multi-axes sun-tracking system with PLC control for photovoltaic panels in Turkey, *Renewable Energy*, 34:1119-1125.
- Şenpınar, A. (2005) *Bağımsız güneş pili sistemlerinin bilgisayar ile kontrolü*, Doktora, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 117s.
- Şenol, R. (2005) *Güneş izlemeli fotovoltaik pillerin mobil ölçüm istasyonlarına uygulanması*, Yüksek Lisans, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 130s.

Şüyun, S.B. (2009) *Eğitsel amaçlı bir güneş izleyici geliştirilmesi*, Yüksek Lisans, Muğla Üniversitesi, Muğla, 60s.

Umut, İ. (2008) *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Elektrik Enerjisine Dönüştürmede Kullanılan Yöntemler ve Örnek Uygulamalar*, Yüksek Lisans Tezi ,Trakya Üniversitesi, Edirne, 98s.

Uslu, Ü.A. (2012) *Maksimum güç noktası takibi algoritmalarını kullanarak mikrodenetleyici tabanlı iki eksenli otomatik güneş takip sistemi tasarımı*, Yüksek Lisans, Mersin Üniversitesi, Mersin, 141s.

Uzunok, S. (2007) *Fotovoltaik modüllerin elektrik enerjisi üretiminde güneş takip sisteminin incelenmesi*, Yüksek Lisans, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay, 111s.

Uyarel, A.Y. ve Öz, E.S. (1987) *Güneş Enerjisi ve Uygulamaları*, Birsen Yayınevi, Ankara.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Ad Soyad : Enver ER  
Uyruk : T.C.  
Doğum Yeri ve Tarihi : Gaziantep - 26.06.1982  
Medeni Hali : Evli  
Telefon : 0 541 379 09 78  
E-posta : [enverer@mu.edu.tr](mailto:enverer@mu.edu.tr)

### Eğitim

Alınan Derece	Aldığı Kurum/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Orta Öğretim	G.Antep Mehmet Ruştü Uzel Endüstri Meslek Lisesi	1999
Lisans	Gazi Üniversitesi T.E.F. Elektrik Öğretmenliği	2007

### İş Tecrübesi

Yıl	Yer	Pozisyon/görev
2006-2011	Toprak Mahsulleri Ofisi	Teknisyen
2011-	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi	Öğretim Görevlisi