

**DENEYSEL AMAÇLI, ÇİFT EKSENLİ
GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİNİN
LABVIEW TABANLI KONTROLÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hüseyin KAN

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Bekir ÇENGELCİ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN, 2016

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DENEYSEL AMAÇLI, ÇİFT EKSENLİ GÜNEŞ TAKİP
SİSTEMİNİN LABVIEW TABANLI KONTROLÜ**

Hüseyin KAN

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Bekir ÇENGELCİ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN, 2016

TEZ ONAY SAYFASI

Hüseyin KAN tarafından hazırlanan “Deneysel Amaçlı, Çift Eksenli Güneş Takip Sisteminin Labview Tabanlı Kontrolü ” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca **22/06/2016** tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Bekir ÇENGELCİ

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ALTINKAYA İmza
Karabük Ü. Mühendislik Fakültesi,

Üye : Yrd. Doç. Dr. Murat CANER İmza
Afyon Kocatepe Ü. Teknoloji Fakültesi,

Üye : Yrd. Doç. Dr. Bekir ÇENGELCİ İmza
Afyon Kocatepe Ü. Teknoloji Fakültesi,

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun

...../ / 2016 tarih ve

..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. Hüseyin ENGİNAR

Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

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

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

beyan ederim.

22/06/2016

İmza

Hüseyin KAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DENEYSEL AMAÇLI, ÇİFT EKSENLİ GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİNİN LABVIEW TABANLI KONTROLÜ

Hüseyin KAN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Bekir ÇENGELCİ

Bu uygulamada, yenilenebilir enerji sistemleri alanında yapılacak araştırmalarda ve uygulamalarda kullanılmak üzere labview tabanlı çift eksenli güneş takibi yapabilen bir sistem gerçekleştirilmiştir. Sistem Labview tabanlı ara yüz programı ile güneşten aldığı verileri anlık olarak bilgisayar ortamına kaydedebilmekte ve grafiklerini oluşturabilmektedir. Uygulamanın bu özellikleri sayesinde kullanıcı anlık durumların analizini yapabilecek ve sistem verimliliğinin o anki durumu hakkında bilgi sahibi olabilecektir. Güneş takip sistemini kullanıcılar otomatik veya manüel kullanabileceklerdir. Diğer çalışmalara göre Labview tabanlı ara yüz programının geliştirilmesi, sistemin kontrolünü görsel hale getirmiş ve güneşten alınan veriler anlık olarak izlenebilmektedir. Yapılan uygulama ile Türkiye'de gelişme aşamasında olan güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etme konusunda yapılacak bilimsel çalışmalara alt yapı hazırlamak ve güneş enerjisinin ülkemizde kullanımının yaygınlaştırılmasına katkı sağlanması amaçlanmaktadır.

2016, xi + 62 sayfa

Anahtar Kelimeler: İki Eksenli Güneş Takip Sistemi, Arduino Kontrol, Labview

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE PURPOSE OF EXPERIMENTAL, THE DUAL-AXIS SOLAR TRACKING SYSTEMS LABVIEW BASED CONTROL

Hüseyin KAN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Bekir ÇENGELCİ

In this application, a system capable of Labview-based dual-axis solar tracking to be used in practice and research in the field of renewable energy systems was conducted. The system Labview-based interface program with the data received from the sun can create instant can be recorded to a computer and graphics. Thanks to these features of the application, users will be able to analyze the current status and efficiency of the system about the current state of knowledge will be the owner. Solar tracking system users will be able to use automatic or manual. Development of a Labview-based interface program according to other studies, have made the visual control of the system and the data received from the sun can be tracked in real time. With the application development stage which will be held in Turkey in obtaining electrical energy from solar energy to prepare infrastructure for scientific studies and is intended to contribute to expanding the use of solar energy in our country.

2016, xi + 62 pages

Keywords: Dual-axis solar tracking system, Arduino Control, Labview

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, ve sonuçların değerlendirilmesi aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarında dolayı tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Bekir ÇENGELCİ'ye, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı eşime ve aileme teşekkür ederim.

Hüseyin KAN

AFYONKARAHİSAR, 2016

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
RESİMLER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	4
2.1 Güneş	5
2.2 Güneş Enerjisi	7
2.3 Türkiye'nin Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyeli.....	8
2.4 Türkiye'de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi.....	10
2.5 2015 Yılında Türkiye Elektrik Üretimi ve Tüketimi	12
2.6 Dünyada Güneşten Elektrik Enerjisi Üretimi	13
2.7 Güneş Pilleri (Fotovoltaik Piller).....	15
2.8 Fotovoltaik Etki	16
2.9 Güneş Panellerinin Yapısı	18
2.10 Güneş Pili Çeşitleri	19
2.10.1 Monokristal Silisyum	19
2.10.2 Polikristal Silisyum	19
2.10.3 Galyum Arsenit (GaAs)	20
2.10.4 Amorf Silisyum	21
2.10.5 Kadmiyum Tellürid (CdTe)	21
2.10.6 Bakır İndiyum Diseleneid	21
2.10.7 Nanokristal Güneş Hücreci (Boyalı Hücreler)	22
2.11 Güneş Panellerinin Karşılaştırılması	22
2.13 Güneş Takip Sistemlerinin Sınıflandırılması.....	24
2.13.1 Tek Eksen Kontrollü Sistemler	24
2.13.2 Çift Eksen Kontrollü Sistemler	26

2.13.3 Yer Çekimini Kullanan Takip Sistemleri.....	26
3. MATERİYAL ve METOT	29
3.1 Güneş Paneli	29
3.2 Redüktörlü DC Motor	30
3.3 Doğrusal Aktüatör.....	31
3.4 Solar Şarj Regülatörü.....	33
3.4.1 Max Solsum 6.6F Şarj Regülatörü Teknik Verileri	35
3.5 ACS712 Akım Sensörü.....	35
3.6 Panel Geriliminin Okunması İçin Devre Tasarımı	37
3.7 Tasarlanan Sistemin Kontrol Ünitesi	38
3.7.1 Arduino	38
3.7.2 Arduino Mega Atmega2560.....	38
3.8 L298 Motor Sürücü.....	40
3.9 Sistem Kontrol Kartı	42
3.10 Kontrolör Programı Akış Diyagramı	45
3.11 Bilgisayar İçin Arayüz Programı	47
3.11.1 Labview Arayüz Programı Ön Paneli	48
3.11.2 Labview Arayüz Programı Blok Diyagram	49
3.12 Güneş Takip Sisteminin çalışması	51
3.13 Güneş Takip Sisteminde Alınan Güvenlik Tedbirleri	52
3.14 Güneş Takip Sistemi İle Örnek Veri Toplama Çalışması.....	54
4. TARTIŞMA ve SONUÇ	56
5. KAYNAKLAR.....	58
ÖZGEÇMİŞ.....	61
EKLER	62
EK:1 Kontrol Kartı Devresi.....	62

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

A	Amper
mA	Miliamper
kV	Kilovolt
V	Volt
mV	Milivolt
W	Watt
N	Newton
kWh	Kilo Watt Saat
MWh	Mega Watt Saat
GWh	Giga Watt Saat
Ω	Ohm
S	Saniye
μ s	Mikrosaniye
Hz	Hertz
M	Metre
mm	Milimetre
m ²	Metrekare
μ F	Mikrofarat
nf	Nanofarat
kg	Kilogram
g	Gram
°C	Celcius
rpm	Dakikadaki devir sayısı
mm /s	Milimetre / Saniye
Isc	Panel kısa devre akımı
Voc	Panel açık devre gerilimi
Imp	En yüksek güç tüketimindeki panel akımı
Vmp	En yüksek güç tüketimindeki panel gerilimi

Kısaltmalar

BRICS	Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Güney Afrika Cumhuriyeti devletlerinin oluşturduğu topluluk
CSP	Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri
DC	Doğru Akım
EÜAŞ	Elektrik Üretim Anonim Şirketi
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
IDE	Tümleşik geliştirme ortamı
ICSP	Seri programlama pinleri
MCU	Merkezi işlem birimi
PV	Fotovoltaik
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
MTEP	Milyon Ton Petrol Eşdeğeri
TEP	Ton Petrol Eşdeğeri

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 Güneş açıları	6
Şekil 2. 2 Türkiye güneş enerjisi potansiyeli.	9
Şekil 2. 3 Türkiye güneşlenme süreleri	9
Şekil 2. 4 Türkiye global radyasyon değerleri	10
Şekil 2. 5 2015 Yılı sonu itibariyle Türkiye elektrik enerjisi üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı	12
Şekil 2. 6 Dünyada kurulu toplam güneş paneli kapasitesi.	13
Şekil 2.7 Dünyada güneş paneli kurulu gücü en fazla ülkeler, 2014 yıl sonu	14
Şekil 2. 8 Bir güneş pilinde fotovoltaj etki.....	17
Şekil 2. 9 Güneş paneli.....	18
Şekil 2. 10 Monokristal silisyum güneş pili.	19
Şekil 2. 11 Polikristal silisyum güneş pili.	20
Şekil 2. 12 Galyum arsenit güneş pili.....	20
Şekil 2. 13 Bakır indiyum diselenid güneş pili.....	21
Şekil 2. 14 Panel eğim açısı.....	25
Şekil 3. 1 Max solsum 6.6F solar şarj regülatörü	34
Şekil 3. 2 ACS712 akım sensörü bağlantı şeması	36
Şekil 3. 3 ACS712 akım sensörü giriş akımı ile çıkış geriliminin değişimi	36
Şekil 3. 4 Gerilim bölücü devre şeması.....	37
Şekil 3. 5 L298 motor sürücü entegrasyonu bağlantısı.	42

Şekil 3. 6 Kontrol kartı baskı devresi.	43
Şekil 3. 7 LDR' ler için ışık seviyesi ölçme devresi.	44
Şekil 3. 8 Güneş takip sistemi program akışı.	45
Şekil 3. 9 Arayüz programı ön paneli.	48
Şekil 3. 10 Labview arayüz programı blok diyagram.	50
Şekil 3. 11 Güneş takip sistemi panel akımı	55
Şekil 3. 12 Güneş takip sistemi panel gerilimi.....	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Türkiye kurulu gücünün yıllara göre kaynaklara dağılımı.....	10
Çizelge 2.2 2015 yıl sonu itibariyle Türkiye elektrik enerjisi kurulu gücünün kaynaklara dağılımı	11
Çizelge 2. 3 2015 Yılı sonu itibariyle Türkiye elektrik enerjisi üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı	12
Çizelge 2.4 Dünyada PV panel kurulu güç kapasitesi en fazla ülkeler	15
Çizelge 2. 5 PV Panellerin verimlilikleri.	23
Çizelge 2. 6 Farklı bölgedeki illere ait optimum eğim açıları	26
Çizelge 3. 1 Güneş paneli teknik özellikleri.....	30
Çizelge 3. 2 Redüktörlü DC motor teknik özellikleri.	31
Çizelge 3. 3 Doğrusal aktüatör teknik özellikleri.....	33
Çizelge 3. 4 Max Solsum 6.6F Şarj Regülatörünün Led Durumları	34
Çizelge 3. 5 Max solsum 6.6F şarj regülatörü teknik verileri	35
Çizelge 3. 6 Arduino teknik verileri.....	39

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 3. 1 Tasarlanan güneş takip sistemi.	29
Resim 3. 2 Güneş paneli.	30
Resim 3. 3 Redüktörlü DC motor	31
Resim 3. 4 Doğrusal aktüatör.....	32
Resim 3. 5 Montajı yapılmış doğrusal aktüatör.	32
Resim 3. 6 ACS712 akım sensörü.....	35
Resim 3. 7 Arduino mega 2560.....	39
Resim 3. 8 L298 DC motor sürücüsü.....	40
Resim 3. 9 Kontrol kartı.....	43
Resim 3. 10 Sistem ön paneli.....	46
Resim 3. 11 Panele bağlanan yükler.	52
Resim 3. 12 Panel kilitleme sistemi.	53
Resim 3. 13 Besleme katındaki limit anahtar kapatılırken.	54

1. GİRİŞ

Çağımızda gelişen teknolojiye ve artan dünya nüfusuna bağlı olarak insanoğlunun enerjiye olan ihtiyacı gün geçtikçe hızla artmaktadır. Bu durum dünya ülkelerini yeni enerji kaynaklarını aramaya sürüklemektedir.

Bugün kullanmakta olduğumuz enerjinin büyük bir çoğunluğu çevreye zarar veren fosil kökenli enerji kaynaklarından; çok az bir kısmı ise yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilmektedir. 2013 yılı sonu itibari ile dünya enerji tüketiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının tahmini kullanım oranı % 19,1 iken fosil yakıtların kullanım oranı ise % 78,3' tür (REN21 2015).

Bu duruma Türkiye açısından bakıldığında, TEİAŞ 2014 yılı verilerine göre, Türkiye'de toplam elektrik enerjisi üretiminin yaklaşık 251,96 milyar kWh olduğu, toplam elektrik üretiminin %47,9'nun doğalgazdan, %30.3'nün kömürden, %16.1'inin hidrolik kaynaklardan, %3.4'ünün rüzgardan, %1.6'sının sıvı yakıtlardan, %0.9'unun atık ve jeotermalden, %0.6'sının da yenilenebilir atık kaynaklardan karşılandığı görülmektedir. Bu veriler incelendiğinde Türkiye elektrik enerjisi üretimini ağırlıklı olarak (%79,1) petrol, doğalgaz, kömür gibi fosil enerji kaynaklarından karşılamaktadır. (İnt.Kyn.3). Fosil kaynaklar bakımından oldukça yetersiz olan Türkiye 2013 yılında enerji arzının petrolde %93, doğalgazda %99, taş kömüründe %94 olmak üzere toplamda %73,4'lük bölümü ithalat ile karşılamıştır (EÜAŞ 2014). Yüksek oranda enerjide dışa bağımlılık ülkemizin ekonomik ve siyasi bağımsızlığını tehlikeye sokmaktadır. Bu durum Türkiye için önemli bir problem oluşturmaktadır.

Fosil kökenli yakıtlar çevreye zarar vermekte, canlıların yaşam alanlarının yok etmekte ve iklim değişikliklerine neden olmaktadır. Enerji üretiminde çevresel faktörlerin göz önünde tutulması gerektiği 1974 yılında uluslararası boyutta konuşulmaya başlanmış olup; o günden bu yana Birleşmiş Milletler çatısı altında yapılan görüşmeler ile iklim değişikliği ve çevre kirliliği konusunda önlemler alınmaya çalışılmaktadır. Günümüzde enerji üretiminde çevrenin korunması gerektiği düşüncesi büyük ölçüde genel kabul gören bir yaklaşım haline gelmiştir (Adıyaman 2012). Fosil kökenli enerji kaynaklarının

bir başka handikabı ise Dünya Enerji Forum'unun öngörülerine göre; bu kaynakların rezervlerinin önümüzdeki yüzyılda tükeneceği tahmin edilmektedir (Dinçer 2011).

Bu gerekçeler nedeni ile ülkemizde ve dünyada enerji üretimine sadece fosil kökenli enerji kaynakları ile devam edilemeyeceği kabul edilmesi gereken bir gerçektir. Bu durum çevre dostu enerji olarak bilinen yenilenebilir enerji kaynaklarının ön plana çıkmasına neden olmuştur.

Yenilenebilir enerji kaynakları temiz, çevre dostu tükenmeyen enerji kaynaklarıdır. Bunlar; jeotermal, güneş, hidrolik, rüzgar, hidrojen, dalga ve biokütle olarak sıralanabilir. Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynakları arasında en çok kullanılanı güneş enerjisi kaynağı olmuştur. Tükenmeyen, temiz, çevre dostu olması ve dışalım gerektirmeyen güneş enerjisi, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının en başta gelenidir (Dinçer 2011).

Türkiye sahip olduğu geniş coğrafyası ve bol güneş alan konumu itibari ile güneş enerjisi bakımından birçok ülkeye göre avantajlı konumdadır. Güneş ışınım değerleri açısından bakıldığında İspanya'dan sonra Avrupa'nın en iyi değerlere sahip ikinci ülkesi Türkiye'dir (Altın 2004). Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğünce hazırlanan, Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2.737 saat (günlük toplam 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m².yıl (günlük toplam 4,2 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir (İnt.Kyn.1). Yapılan ölçümlere göre, ülkemizin %63 'ünde 10 ay, %17'sinde ise 1 yıl boyunca güneş enerjisinden yararlanmak mümkündür (Çıtıroğlu 2000). Fakat Türkiye, güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi konusunda yeterli düzeyde değildir. Fotovoltaik güneş panelleri ile elektrik üretiminde Almanya, Çin, Japonya, İtalya'nın ve ABD'nin kurulu güç bakımından dünyada önde gelen ülkelerden olduğu görülmektedir (REN21 2015). Bu ülkelerin fotovoltaik güneş panelleri kurulu güçleri, Giga Wattlar seviyesinde iken ülkemizin fotovoltaik güneş panelleri kurulu gücü TEİAŞ istatistiklerine 40,2 Mega Watt olarak 2014 yılında ilk defa girmiştir (İnt.Kyn.2).

Bu uygulamada, yenilenebilir enerji sistemleri alanında yapılacak çalışmalara altyapı oluşturulması amacı ile Labview tabanlı çift eksenli güneş takibi yapabilen bir sistem gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen sistem Labview tabanlı ara yüz programı ile güneşten aldığı verileri anlık olarak bilgisayar ortamına kaydedebilmekte ve grafiklerini oluşturabilmektedir. Uygulamanın bu özellikleri sayesinde kullanıcı anlık durumların analizini yapabilecek ve sistem verimliliğinin o anki durumu hakkında bilgi sahibi olabilecektir. Güneş takip sistemini kullanıcılar otomatik veya manüel kullanılabileceklerdir. Diğer çalışmalara göre Labview tabanlı ara yüz programının geliştirilmesi, sistemin kontrolünü görsel hale getirmiş ve güneşten alınan veriler anlık olarak izlenebilmektedir.

Yapılan uygulama ile Türkiye'de gelişme aşamasında olan güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etme konusunda yapılacak çalışmalara zemin hazırlanması, bu konuda eğitime katkıda bulunulması ve güneş enerjisinin ülkemizde kullanımının yaygınlaştırılması amaçlanmaktadır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Güneş enerjisinden direkt olarak elektrik üretimi güneş pilleri sayesinde gerçekleştirilmektedir. Güneş pillerinin maksimum verim ile çalıştırılması oldukça önemlidir. Güneş pillerinden maksimum verimle elde edebilmek için güneş ışınlarının güneş panellerinin yüzeyine dik gelmesi gerekir. Güneş ışınlarının güneş panellerinin yüzeyine dik gelebilmesi için güneş takip sistemleri ve çeşitli takip algoritmaları geliştirilmiştir. Aşağıda güneş enerjisi, güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi, güneş takip sistemleri ile ilgili yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

(Orhun 2013), 01 Mart 2012 – 28 Şubat 2013 tarihleri arasında Afyon Kocatepe Üniversitesi yerleşkesi içerisinde monokristal, polikristal ve ince film şeklinde üretilmiş fotovoltaik panellerin sabit ve hareketli platform üzerinde, farklı güneş takip algoritmaları ile güneş takibi durumunda performansları izlenmiş, ve bunların karşılaştırmaları yapılmıştır.

(Bayrak ve Gençoğlu 2011), yaptıkları uygulamada PLC (Programmable logic controller) ile iki eksenli güneş takip sistemi geliştirmişlerdir. Çalışmalarında güneşin gün içerisindeki zenit ve solar azimut açılarını baz almışlardır.

(Sefa vd. 2009), yaptığı uygulamada mikro denetleyici kontrollü tek eksenli güneş takip sistemi tasarlamışlardır. Sistemin bilgisayarla haberleşmesinde RS 485 haberleşme arabirimi kullanmışlardır. Kurdukları sistemin mekanik aksamının basit olduğunu, bu nedenle kolay kurulum ve daha az bakım gerektirdiğini belirtmişlerdir.

(Sungur 2009), yaptığı uygulamada PLC kontrollü güneş takip sistemi geliştirmiş ve geliştirilen sistemle güneşin azimut ve yükseklik açısını bir süre hesaplamış ve güneşin hareketine göre güneş takibi yapmıştır. Yaptığı çalışma ile sabit tutulan panel ile güneş takibi yapan sistemin verimlerini karşılaştırmış ve hareketli panelin sabite panele göre %42,6 daha fazla elektrik enerjisi ürettiğini tespit etmiştir.

(Seme and Stumberger 2011), yaptıkları uygulamada iki eksenli güneş takip sistemi geliştirmişler ve bu sistem üzerinde güneş radyasyonu ve Diferansiyel Evrim kullanarak güneş açıları için yeni bir tahmin algoritması geliştirmişlerdir.

(Huang vd. 2011), tasarladıkları çalışmada tek eksenli üç konumlu (sabah, öğlen, akşam farklı konumlar) bir güneş takip sistemi ile sabit sistem arasındaki üretimi uzun süre test etmişler, sabit ve hareketli güneş sisteminin karşılaştırmasını yapmışlardır. Hareketli panelin sabite panele göre %35,8 daha fazla elektrik enerjisi ürettiğini tespit etmişler.

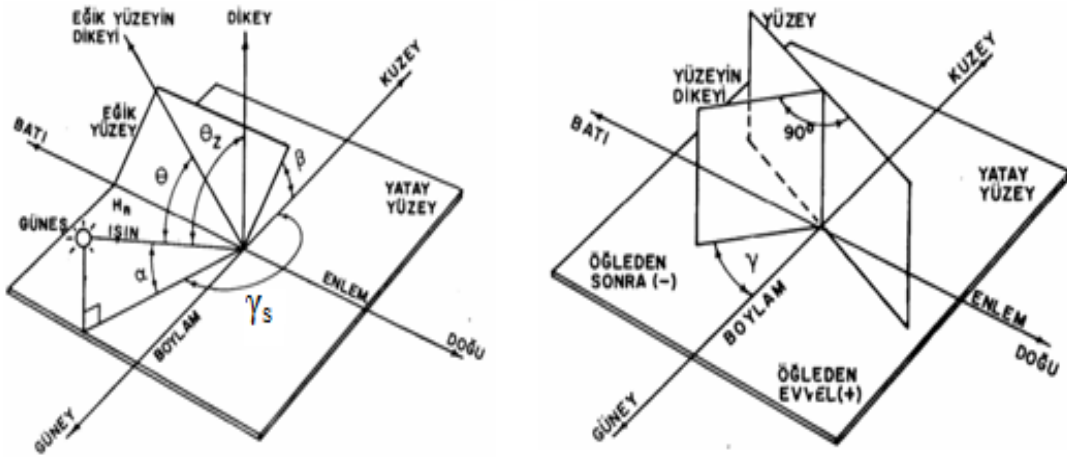
(Sezgin 2014), güneş ışınlarını takip eden panelin hareket etmesini sağlayacak bir sistem geliştirmiştir.

(Şenpınar 2006), yaptığı çalışmasında sabit panelde üretilen elektrik enerjisini maksimumda tutmak için optimum panel açıları üzerine çalışmalar yapmıştır.

2.1 Güneş

Güneş, güneş sisteminin merkezinde yer alan orta büyüklükte bir yıldızdır. Güneş yaklaşık olarak dünyamızdan 150 milyon kilometre uzaklıktadır. Sıcaklığı oldukça yüksektir. Güneş galakside gaz olup, hidrojen ve helyum gazlarından oluşmuştur. Çapı $1,39 \times 10^9$ m, kütlesi $5,97 \times 10^{24}$ kg civarındadır. Güneşin yüzey sıcaklığı yaklaşık olarak 6000 K 'dir. Dünyamızda canlı hayatın devamlılığı için gerekli olan güneş, temel enerji kaynağıdır (Muhtaroglu 2012).

Güneş ışınları sabit ya da hareketli bir düzlem üzerine her zaman aynı açı ile gelmemektedir. Gün içindeki saat dilimine, günün tarihine ve düzlemin bulunduğu coğrafyaya göre değişiklikler göstermektedir. Bu açıları hakkında bilgi edinilerek güneş enerjisinden en verimli şekilde yararlanılabilir. (Şekil 2.1)'de bilinmesi gereken bazı önemli güneş açıları görülmektedir.



Şekil 2. 1 Güneş açıları (Bayrak ve Gençoğlu 2011).

- a. **Yükseklik açısı (α)** : Yatay düzlemin güneşin doğrultusu ile yaptığı açıdır.
- b. **Güneş Azimut açısı (γ_s)** : Güneş ışınlarının saat yönünde, kuzeye göre yaptığı sapmayı gösteren açıdır. Örneğin saat 12.00'de 180° olmaktadır.
- c. **Yüzey azimut açısı (γ)** : Yüzey dikeyinin, yerel boylama göre, sapmasını gösteren açıdır. -180 ile 180 arasında değişkenlik gösterebilir. Güneyde 0° olan açı, doğuya doğru artı, batıya doğru eksi değer almaktadır.
- d. **Geliş açısı (θ)**: Güneş ışını ile eğik yüzeyin dikeyi arasındaki açıdır.
- e. **Zenit açısı (θ_z)**: Yatay yüzeyin normali ile güneş ışınları arasında oluşan açı.
- f. **Eğim açısı (β)** : Yatay yüzey ile eğik yüzey (panel) arasında kalan açıdır.
- g. **Deklinaşyon açısı (δ)** : Dünya-güneş doğrultusunun yerin ekvator düzlemi yaptığı açıdır. Bu açı, dünyanın kendi eksenini ve yörünge düzlemi ile yapmış olduğu 23 derece 27 dakikalık açı sebebiyle oluşmaktadır. Deklinaşyon açısı gece ile gündüzün eşit olduğu tarihlerde (21 Mart ve 23 Eylül) sıfırdır. En yüksek değerini 21 Haziran 'da $23,45^\circ$ olarak, en düşük değerini ise, 21 Aralık 'ta $-23,45^\circ$ olarak görmektedir. Deklinaşyon açısını yaklaşık olarak hesaplayabilmek için Cooper denklemi kullanılmaktadır.

$$\delta = 23,45 \sin [360. ((284 + n) / 365)] \quad (2.1)$$

Formülde kullanılan n değeri 1 Ocak 'tan itibaren gün sayısını ifade etmektedir. 1 Ocak 'ta $n=1$ dir.

2.2 Güneş Enerjisi

Güneş, nükleer enerji dışındaki bütün enerjilerin dolaylı veya direkt kaynağıdır. Güneş enerjisi, güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden açığa çıkan ışıma enerjisidir. Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti, yaklaşık olarak 1370 W/m^2 değerindedir, ancak yeryüzüne ulaşan miktarı atmosferden dolayı $0-1100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasında değişim gösterir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır (İnt. Kyn.11).

Termonükleer bir reaktör olan güneşten çeşitli dalga boylarında (62 MW/m^2) enerji yayılmakta ve güneşin bütün yüzeyinden yayılan enerjinin sadece iki milyarda biri yeryüzüne gelmektedir. Dünya'ya güneşten, 150 milyon kilometre yol kat ederek gelen enerji, dünya' da bir yılda kullanılan enerjinin yaklaşık 15 bin katıdır.

Güneş radyasyonunun enerji olarak % 46'sı spektrumun kızılötesi bölgesinde, % 45'i görünür ışık bölgesinde geri kalan yüzdesi de mor ötesinde bulunur. Güneş ışınımının tamamı yer yüzeyine ulaşamaz, % 30 kadarı dünya atmosferi tarafından geriye yansıtılır, % 50'si atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşır. Güneşten gelen ışınımının % 20'si ise, atmosfer ve bulutlarda tutulur. Bu enerji ile Dünya'nın sıcaklığı yükselir ve yeryüzünde yaşam mümkün olur. Rüzgar hareketlerine ve okyanus dalgalanmalarına da bu ısınma neden olur. Yer yüzeyine gelen güneş ışınımının %1'den azı bitkiler tarafından fotosentez olayında kullanılır. Bitkiler, fotosentez sırasında güneş ışığıyla birlikte karbondioksit ve su kullanarak, oksijen ve şeker üretirler. Fotosentez, yeryüzünde bitkisel yaşamın kaynağıdır. Dünya'ya gelen bütün güneş ışınımı, sonunda ısıya dönüşür ve uzaya geri verilir.

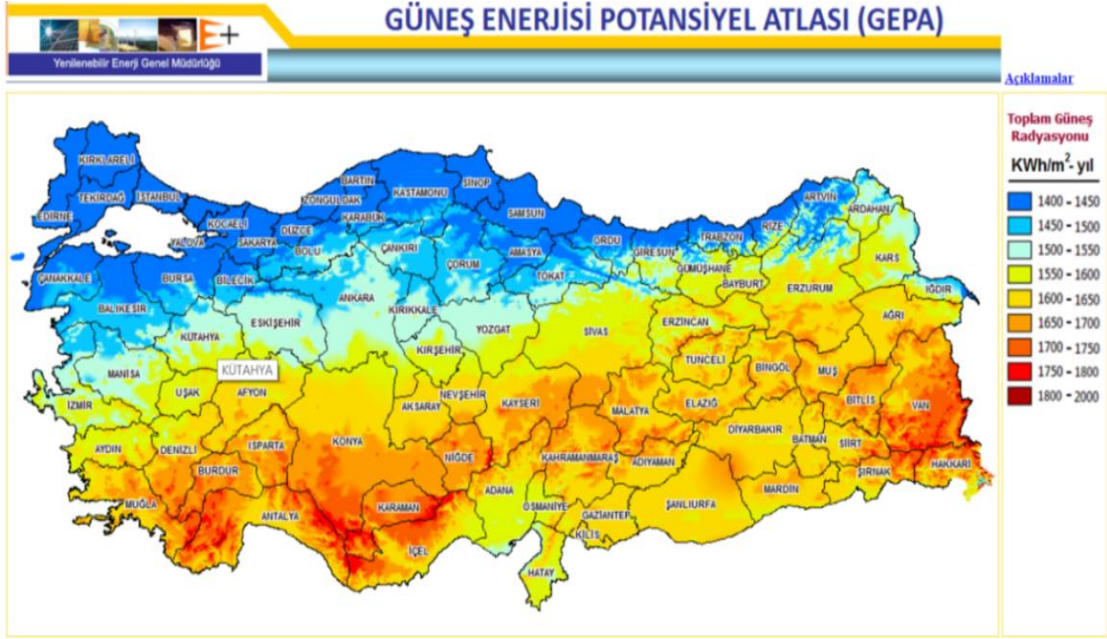
Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri, teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş ve güneş enerjisi çevresel bakımdan temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi 2009).

Güneş enerjisinden hem ısı enerjisi hem de direkt elektrik enerjisi elde edilebilmektedir. Elektrik elde edilmesi için iki farklı yöntem kullanılır. Bunlardan birincisi, güneşten gelen ısı enerjisi, kollektörler ve aynalar yardımıyla toplanarak güneş termik santrallerinde basınçlı buhar elde edilir. Basınçlı buhar türbinlerde kinetik enerjiye döndürülmekte ve türbinler tarafından döndürülen jeneratörlerde elektrik enerjisi üretilmektedir. İkincisi ise; güneş radyasyonuna bağlı olarak elektrik enerjisi üreten güneş pillerinden yararlanılır (Şenpınar 2006).

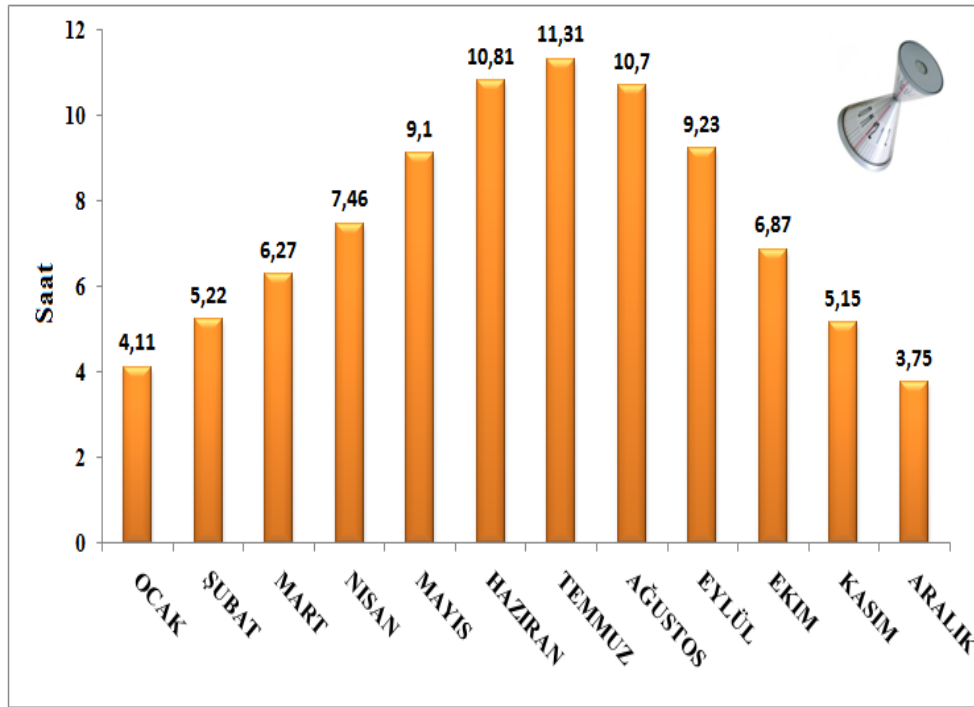
2.3 Türkiye'nin Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyeli

Türkiye'de yıllık 380 milyar kilowatt-saatlik güneş enerjisi potansiyeli var (Kılıç 2015). Coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi 'dir (İnt.Kyn.13). Türkiye'de Hakkari ili ve çevresi ışınım değerleri en iyi olan bölgemizdir. Sert ve soğuk iklime sahip bu yer kışın en fazla ışınım alan yerdir. Rakım yüksektir. Havadaki su buharı, yağmur ve kar şeklinde yoğunlaşmakta ve atmosfer daha berrak olup ışınım perdelenmesi en az seviyededir. En az ışınım alan bölge Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesidir. Bu bölgenin hem enlem değeri büyük hem de iklimi rutubetlidir. Atmosferdeki fazla su buharı, ışınımın perdelenmesine neden olmaktadır. Marmara ve Kuzey Ege Bölgesi, Karadeniz'e göre biraz daha iyi durumdadır. Güney Ege, Batı Akdeniz ve Orta Anadolu Bölgeleri orta derecede ışınım almaktadır. Doğu Akdeniz ve Doğu Anadolu Bölgeleri ışınım değerleri iyi olan bölgelerimizdir (Şekil 2.2).

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMI) mevcut bulunan 1985-2006 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2741 saattir. Bu değer günlük ortalama 7,5 saate karşılık gelmektedir.

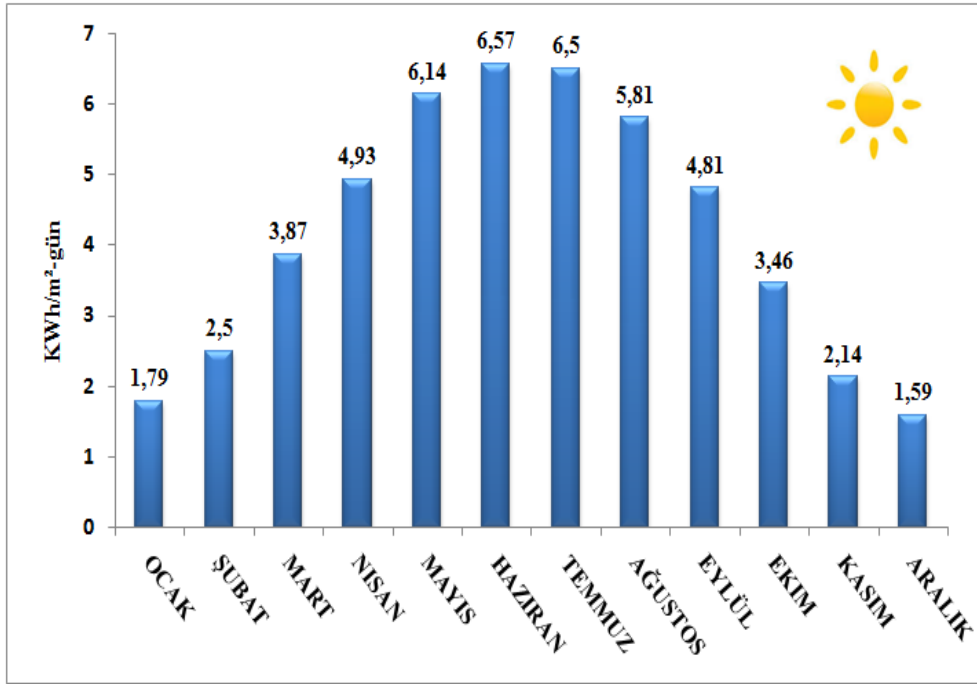


Şekil 2. 2 Türkiye güneş enerjisi potansiyeli (İnt.Kyn.12).



Şekil 2. 3 Türkiye güneşlenme süreleri (İnt.Kyn.12).

Güneşlenme süresinin aylara dağılımı (Şekil 2.3) 'de gösterilmiştir. Ortalama toplam ışıma şiddeti 1.527 kWh/m²-yıl (günlük ortalama 4,2 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2. 4 Türkiye global radyasyon değerleri (İnt.Kyn.12).

2.4 Türkiye'de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi

Çizelge 2.1 Türkiye kurulu gücünün yıllara göre kaynaklara dağılımı (İnt.Kyn.2).

TÜRKİYE KURULU GÜCÜNÜN BİRİNCİL ENERJİ KAYNAKLARINA GÖRE YILLAR İTİBARIYLA GELİŞİMİ (2006- 2014)						
YIL	TERMİK	HİDROLİK	JEOTERMAL	RÜZGAR	GÜNEŞ	TOPLAM
2006	27 420,2	13 062,7	81,9	-		40 564,8
2007	27 271,6	13 394,9	169,2	-		40 835,7
2008	27 595,0	13 828,7	29,8	363,7		41 817,2
2009	29 339,1	14 553,3	77,2	791,6		44 761,2
2010	32 278,5	15 831,2	94,2	1 320,2		49 524,1
2011	33 931,1	17 137,1	114,2	1 728,7		52 911,1
2012	35 027,2	19 609,4	162,2	2 260,6		57 059,4
2013	38 648,0	22 289,0	310,8	2 759,7		64 007,5
2014	41 801,8	23 643,2	404,9	3 629,7	40,2	69 519,8

Birim: MW.

Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) verilerine göre ilk defa 2014 yılında güneş enerjisinden elektrik üretildiğine dair bilgi bulunmaktadır (Çizelge 2.1). Türkiye 2014 yılında kurulu güneş santrali gücü 40,2 MW, güneşten elektrik enerjisi üretimi toplamı 17,4 GWh' olarak gerçekleşmiştir (İnt.Kyn.2 ve İnt.Kyn.3).

Çizelge 2.2 2015 yıl sonu itibariyle Türkiye elektrik enerjisi kurulu gücünün kaynaklara dağılımı (İnt.Kyn.14).

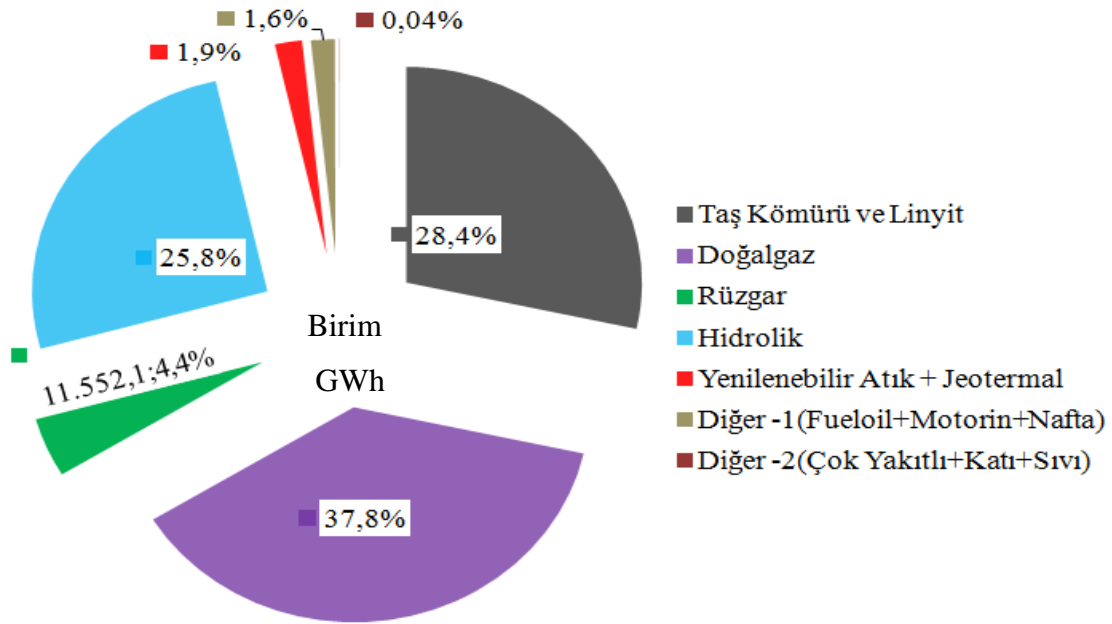
YAKIT CİNSLERİ	KURULU GÜÇ (MW)	KATKI (%)	SANTRAL SAYISI
Fuel-Oil + Nafta + Motorin	446,0	0,6	17
Yerli Kömür (Taş Kömürü+Linyit+ Asfaltit)	9.418,4	12,9	29
İthal Kömür	6.064,2	8,3	8
Doğalgaz + LNG	21.222,1	29,0	233
Atık+Atık ısı+Pirolitik Yağ	344,7	0,5	69
Çok Yakıtlılar (Katı+Sıvı)	667,1	0,9	23
Çok Yakıtlılar (Sıvı+D.Gaz)	3.684,0	5,0	46
Jeotermal	623,9	0,9	21
Hidrolik Barajlı	19.077,2	26,1	109
Hidrolik Akarsu	6.790,6	9,3	451
Rüzgar	4.498,4	6,1	113
Termik (Lisanssız)	56,5	0,1	24
Rüzgar (Lisanssız)	4,8	0,0	9
Güneş (Lisanssız)	248,8	0,3	362
TOPLAM	73.146,7	100,0	1.514

Çizelge 2.2 'de 2015 yıl sonu itibariyle Türkiye elektrik enerjisi kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarına dağılımı detaylı şekilde verilmiştir. Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2 karşılaştırıldığında, en dikkat çekici veri güneş santralleri kurulu gücündeki artış miktarıdır. 2014 sonu itibari ile kurulu güneş santrali gücü 40,2 MW iken, 2015 sonu itibari ile 248,8 MW değerine ulaşmıştır. 30 Nisan 2016 sonu itibari ile Türkiye elektrik enerjisi kurulu gücü 74 626,7 MW, güneş santrallerinin kurulu gücü 409,7 MW ve sayısı 556 'ya ulaşmıştır. Toplam elektrik santrali sayısı 1738 'dir (İnt.Kyn.14).

2.5 2015 Yılında Türkiye Elektrik Üretimi ve Tüketimi

Çizelge 2. 3 2015 Yılı sonu itibariyle Türkiye elektrik enerjisi üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı.

KAYNAKLAR	ÜRETİM MİKTARI (GWh)	KATKI %
Kömür (Taş+İthal+Linyit+Asfaltit)	73.872,6	28,4
Doğalgaz+LNG	98.193,4	37,8
Hidrolik	66.903,2	25,8
Rüzgar	11.552,1	4,4
Yenilenebilir Atık + Jeotermal	4.831,8	1,9
Diğer-1-(Fueloil+Motorin+Nafta)	4.243,2	1,6
Diğer-2-(Çok Yakıtlı+Katı+Sıvı)	94,1	0,04
Toplam	259.690,3	100,0



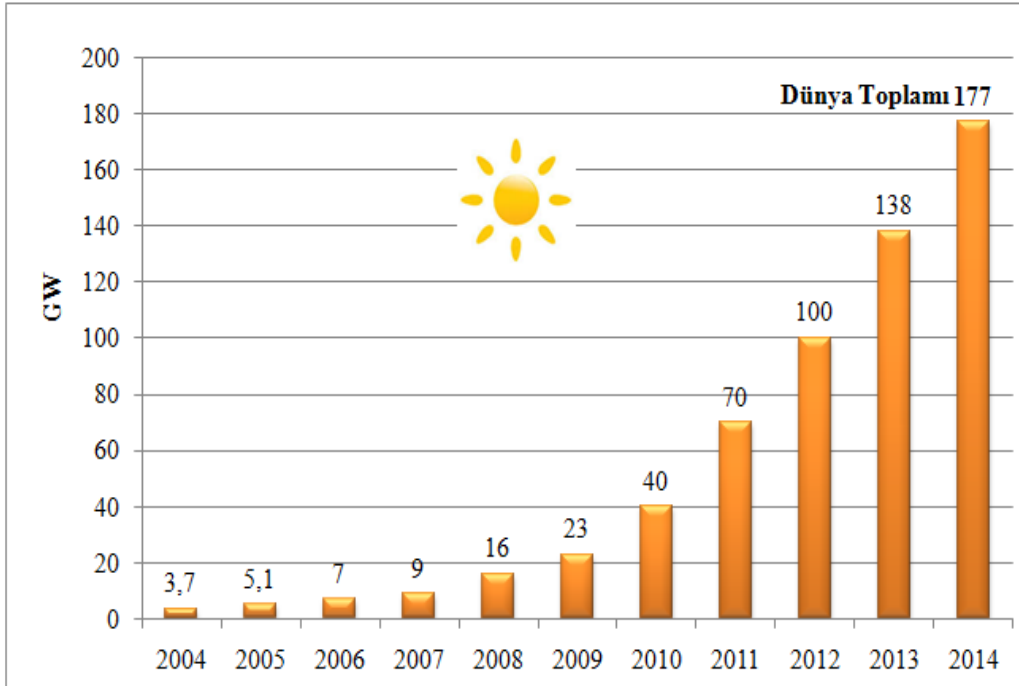
Şekil 2. 5 2015 Yılı sonu itibariyle Türkiye elektrik enerjisi üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı

Şekil 2.5'de 2015 Yılı sonu itibariyle Türkiye elektrik enerjisi üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı gösterilmiştir. TEİAŞ 'ın açıkladığı bu veriler, bürüt ve geçici

değerler olup birim değeri gigawatsaat'tir. 2015 yılı Türkiye elektrik üretimi 259.690,3 GWh, tüketim ise 264.136,8 GWh olarak gerçekleşmiştir. 2015 yılı sonu itibariyle dış alım değeri 7.411,1 GWh , dış satım değeri 2.946,6 GWh olarak gerçekleşmiştir. (İnt. Kyn.4).

2.6 Dünyada Güneşten Elektrik Enerjisi Üretimi

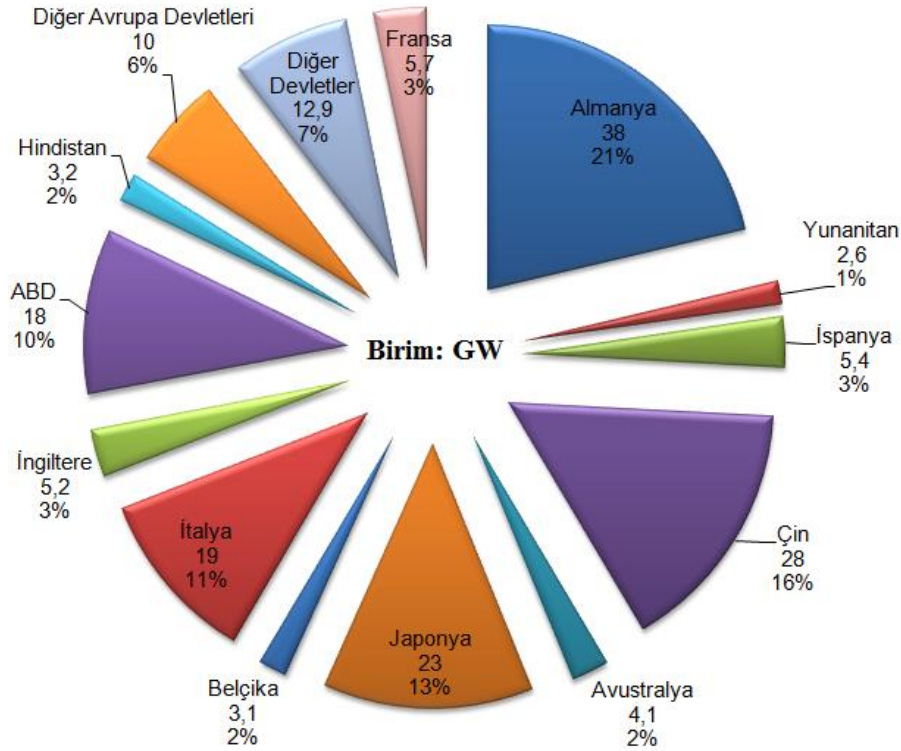
Güneş enerjisinin doğrudan yenilenebilir enerji kaynağı olarak yaygın kullanımına 2006 yılından sonra başlanmıştır (Şekil 2.6). 2000 yılından sonra yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı artmıştır. Hidrolik dışı yenilenebilir enerji kaynakları % 70' lerin üzerinde artış gösterirken güneş enerjisi kullanımındaki artış 2007 yılına kadar yok denecek kadar az seviyede kalmıştır. Bunun sebebi, fotovoltaik panellerin ve diğer güneş enerjisi ekipmanlarının maliyetinin yüksek olmasıdır (ÇOLAK 2010). 2014 yılı sonu çok kristalli paneller için fiyatın 0,6 USD/W seviyelerine gerilediği tespit edilmiştir. Dünyada kurulu toplam güneş paneli kapasitesi 2014 yıl sonu itibari ile 177 GW ulaşmıştır. Kurulu güneş paneli kapasitesi 2013 den 2014 artış 39 GW olmuştur (REN21 2015).



Şekil 2. 6 Dünyada kurulu toplam güneş paneli kapasitesi (REN21 2015).

Şekil 2.7 incelendiğinde Almanya, Çin, Japonya, İtalya'nın ve ABD'nin fotovoltaik güneş panelleri ile elektrik üretiminde kurulu güç bakımından dünyada önde gelen ülkelerden olduğu görülmektedir.

Türkiye'de güneş enerjisinden yaygın olarak sıcak su üretiminde ve sera ısıtmasında yararlanılmaktadır. Türkiye ısısal güneş enerjisi üretimi ve kullanımı açısından Çin, ABD ve Japonya'dan sonra dünya dördüncüsü durumundadır. Ancak elektrik enerjisi üretim ve kullanımı açısından bakıldığında yeterli düzeyde olmadığı ve aşılması gereken birçok mali ve teknolojik engelin bulunduğu görülmektedir (Dinçer 2011).



Şekil 2.7 Dünyada güneş paneli kurulu gücü en fazla ülkeler, 2014 yıl sonu (Solar Power Europe 2015).

Güneş enerjisinde oldukça ileri seviyede olan Almanya, 2014 sonunda güneş enerjisi kurulu gücünü 38 200 MW'a çıkarmıştır ve güneş enerjisi kurulu gücü %21'lik payla kömürün ardından ikinci sıraya yükseltmiştir. Aynı zamanda Almanya, 2050'ye kadar

elektrik ihtiyacının yüzde 80'ini yenilenebilir kaynaklardan karşılamayı hedeflemektedir. İtalya son yıllarda güneş enerjisine önemli yatırımlar yaptı. İtalya'da 2015 Şubat ayında tüketilen elektriğin %5,1'i güneş enerji santrallerinde üretilmiştir. Japonya'nın, 2020 yılına kadar kuracağı sistemlerle, ülkesindeki 32 000 okulun elektrik ve ısınma ihtiyacını güneş enerjisi ile karşılamayı planladığı görülmektedir. (Kılıç 2015)

Çizelge 2.4 'de Dünyada PV panel kurulu gücü en fazla 10 ülkenin 2014 yılında kurulu güç artımı görülmektedir. Ülkelerin PV panel kurulu güç artırımını incelendiğinde; Çin, Japonya, ABD, İngiltere 'nin mevcut kapasitelerini %50 'den fazla artırdıkları gözlenmektedir.

Çizelge 2.4 Dünyada PV panel kurulu güç kapasitesi en fazla ülkeler (REN21 2015).

ÜLKELER	Toplam 2013 Sonu (GW)	2014 Yılında Eklenen (GW)	Toplam 2014 Sonu (GW)
Almanya	36,3	1,9	38,2
Çin	17,5	10,6	28,2
Japonya	13,6	9,7	23,3
İtalya	18,1	0,4	18,5
ABD	12,1	6,2	18,3
Fransa	4,7	0,9	5,7
İspanya	5,3	~0	5,4
İngiltere	3,4	2,4	5,2
Avustralya	3,2	0,9	4,1
Hindistan	2,5	0,7	3,2
Dünya TOPLAMI	138	40	177

2.7 Güneş Pilleri (Fotovoltaik Piller)

19. yüzyılın başlarında güneş pillerinin buluşunu yaklaştıran ilk gelişmeler sağlandı. A. Edmond Becquerel 1839 yılında platin tabakalar üzerinde yaptığı çalışmayla fotovoltaik etkiyi buldu. 1873 yılında Becquerel'in çalışmalarından yararlanarak Willoughby Smith ilk basit güneş pilini üretmiştir. 1954 Pearson ve Fuller, iyon yüklü silisyum (diğer

bilinen adıyla silikon) ile güneş pilleri oluşturularak bugünkü güneş pili teknolojisini belirlediler. 1988 yılında ABD’de Güneş Enerjisi Uygulama Kurumu tarafından % 17 verimli tek eklemli güneş pili geliştirilmiştir. 2009 yılında ise New South Wales Üniversitesi güneş pili araştırmacıları güneş pillerindeki verimi % 43’e çıkarmayı başarmışlardır (Muhtaroglu 2012).

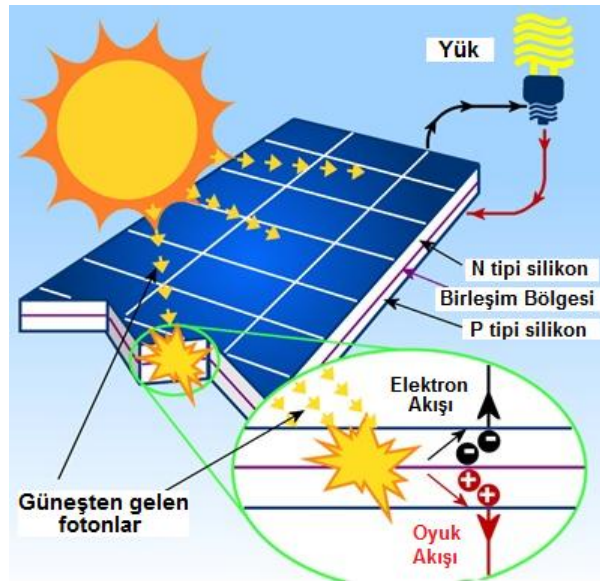
Güneş enerjisinden elektrik üretimi için kullanılan en yaygın yöntem fotovoltaik yöntemdir. Güneş enerjisi, güneş hücresinin yapısına bağlı olarak % 5 ile % 30 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir. Bu yöntemde kullanılan Güneş Paneli binlerce Güneş Hücresinden (Güneş Pili) oluşur. Hücrelerin yüzey şekilleri kare, dikdörtgen ve daire şeklinde olup, alanları genellikle 100 cm² kadardır. Kalınlıkları ise 0.1mm-0.4 mm arasında değişir. Güneş Hücreleri, yarı-iletken maddelerden yapırlar ve üretimlerinde en çok kullanılan maddeler; Kristal Silisyum, Amorf Silisyum, Galyum, Arsenit ve Kadmiyum Tellür'dür (Kılıç 2015).

2.8 Fotovoltaik Etki

Fotovoltaik (photovoltaic) terimi, ışıktan gerilim üretilmesi anlamına gelir ve genellikle “PV” ile gösterilir. Fotovoltaik piller, enerjinin korunumu yasasına uygun olarak, ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren cihazlar olup enerjiyi depolayamazlar. Işık kaynağı ortadan kalktığında, pilin ürettiği elektrik de kesilecektir.

Günümüz elektronik ürünlerinde kullanılan transistörler, doğrultucu diyotlar gibi güneş pilleri de, yarı iletken maddelerden yapırlar. Yarı iletken özellik gösteren birçok madde arasında güneş pili yapmak için en elverişli olanlar, silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür gibi maddelerdir. Yarı iletken maddelerin güneş pili olarak kullanılabilmeleri için N ya da P tipi katkılanmaları gereklidir. Katkılama, saf yarı iletken eriyik içerisine istenilen katkı maddelerinin kontrollü olarak eklenmesiyle yapılır. Elde edilen yarı iletkenin N ya da P tipi olması katkı maddesine bağlıdır. En yaygın güneş pili maddesi olarak kullanılan silisyumdan n tipi silisyum elde etmek için silisyum eriyiğine periyodik cetvelin 5. grubundan bir element, örneğin fosfor eklenir. Silisyum ’un dış yörüngesinde 4, fosforun dış yörüngesinde 5 elektron olduğu için,

fosforun fazla olan tek elektronu kristal yapıya bir elektron verir. Bu nedenle V. grup elementlerine “verici” ya da “N tipi” katkı maddesi denir. P tipi silisyum elde etmek için ise, eriyiğe 3. gruptan bir element (alüminyum, indiyum, bor gibi) eklenir. Bu elementlerin son yörüngesinde 3 elektron olduğu için kristalde bir elektron eksikliği oluşur, bu elektron yokluğuna oyuk ya da boşluk denir ve pozitif yük taşıdığı varsayılır. Bu tür maddelere de “P tipi” ya da “alıcı” katkı maddeleri denir. P ya da N tipi ana malzemenin içerisine gerekli katkı maddelerinin katılması ile yarı iletken eklemler oluşturulur. N tipi yarı iletkende elektronlar, P tipi yarı iletkende oyuklar çoğunluk taşıyıcısıdır. P ve N tipi yarı iletkenler bir araya gelmeden önce, her iki madde de elektriksel bakımdan nötrdür. P-N eklem oluştuğunda, N tipindeki çoğunluk taşıyıcısı olan elektronlar, P tipine doğru akım oluştururlar. Bu olay her iki tarafta da yük dengesi oluşana kadar devam eder. P-N tipi maddenin ara yüzeyinde, yani eklem bölgesinde, P bölgesi tarafında negatif, N bölgesi tarafında pozitif yük birikir. Bu eklem bölgesine “geçiş bölgesi” ya da “yükten arındırılmış bölge” denir. Bu bölgede oluşan elektrik alan “yapısal elektrik alan” olarak adlandırılır. Yarı iletken eklemine güneş pili olarak çalışması için eklem bölgesinde fotovoltaj dönüşümünün sağlanması gerekir. Bu dönüşüm iki aşamada olur, ilk olarak, eklem bölgesine ışık düşürülerek elektron-oyuk çiftleri oluşturulur, ikinci olarak ise, bunlar bölgedeki elektrik alan yardımıyla birbirlerinden ayrılır (İnt.Kyn.5).

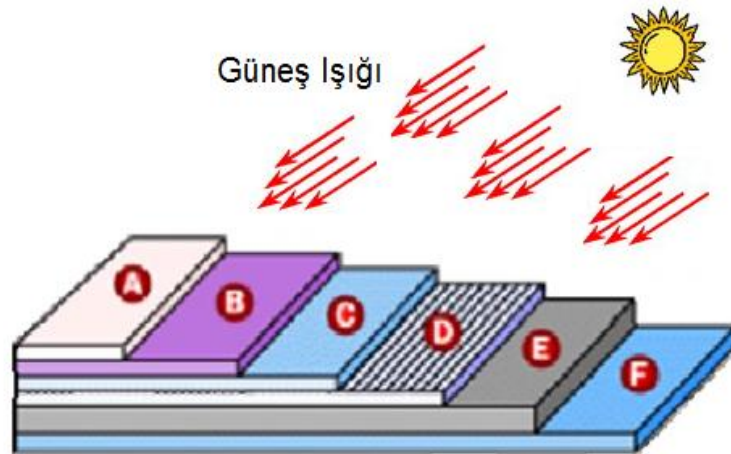


Şekil 2. 8 Bir güneş pilinde fotovoltaj etki (İnt.Kyn.5).

Yarıiletkenler, bir yasak enerji aralığı tarafından ayrılan iki enerji bandından oluşur. Bu bandlar valans bandı ve iletkenlik bandı adını alırlar. Bu yasak enerji aralığına eşit veya daha büyük enerjili bir foton, yarıiletken tarafından soğurulduğu zaman, enerjisini valans banddaki bir elektrona vererek, elektronun iletkenlik bandına çıkmasını sağlar. Böylece, elektron-oyuk çifti oluşur. Eğer bu çiftler P-N eklemine yeterince yakın ise elektrik alanı yüklerin ayrılmasına sebep olur ve elektronlar N bölgesine ve oyuklar da P bölgesine hareket eder. Bu şekilde güneş pili, elektronları N bölgesine, oyukları da P bölgesine iten bir pompa gibi çalışır (Şekil 2.8). Birbirlerinden ayrılan elektron-oyuk çiftleri, güneş pilinin uçlarında yararlı bir güç çıkışı oluştururlar. Bu süreç yeniden bir fotonun pil yüzeyine çarpmasıyla aynı şekilde devam eder. Eğer güneş pilinin iki tarafı bir yüke bağlanmış ise, pile güneş geldiği sürece elektrik akımı devam edecektir (Kalogirou 2009). Bu sayede elde edilen çok sayıda güneş hücresi birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilirler. Bu yapıya güneş paneli, güneş modülü, ya da fotovoltaiik modül adı verilir.

2.9 Güneş Panellerinin Yapısı

Şekil 2.9' da bir güneş panelinin yapısı verilmiştir. Panelde A bölgesi koruma camı, B bölgesi geri yansımayı engelleyici anti-reflektif madde, C bölgesi ızgara şeklinde üst kontak, D bölgesi N tipi silikon, E bölgesi P tipi silikon ve F bölgesi alt kontağı göstermektedir.



Şekil 2. 9 Güneş paneli.

2.10 Güneş Pili Çeşitleri

Güneş pilleri yapıldığı malzemeye göre isimlendirilmektedir. En yaygın olarak kullanılanlar monokristal silisyum, polikristal silisyum, Galyum Arsenit, amorf silisyum, Kadmiyum Tellürid, Bakır indium diselenoid ve diğer güneş pilleri olarak sıralanabilir.

2.10.1 Monokristal Silisyum

Önce büyütülüp daha sonra 150-200 mikron kalınlıkta ince tabakalar halinde dilimlenen monokristal silisyum bloklardan üretilen güneş pillerinde laboratuvar şartlarında %24, ticari modüllerde ise %15'in üzerinde verim elde edilmektedir (İnt.Kyn.11). Yapım aşamasında malzeme kaybının çok oluşu, maliyetinin fazla olması alternatif malzemelere yönelimi sağlamıştır (Karamanav 2007).

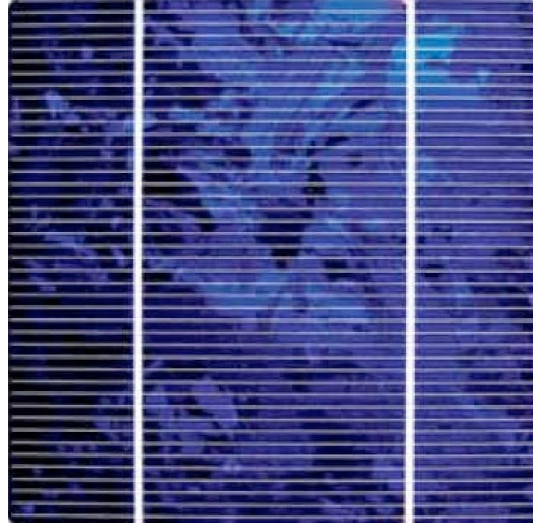


Şekil 2. 10 Monokristal silisyum güneş pili.

2.10.2 Polikristal Silisyum

Üretimi monokristal hücelere göre daha kolaydır. Silikon malzeme kendiliğinden, ince şerit şeklinde eriyik malzeme içinden çıkarılır ve kesim işine gerek kalmaz. Ayrıca monokristal hücelere göre yapısal olarak daha dayanıklıdır. Polikristal silisyum güneş

pilleri ise daha ucuza üretilmektedir. Verimleri %10 ile %14 arasındadır (Başoğlu 2013).



Şekil 2. 11 Polikristal silisyum güneş pili.

2.10.3 Galyum Arsenit (GaAs)

Bu malzemeyle laboratuvar şartlarında %25 ve %28 (optik yoğunlaştırıcı) verim elde edilmektedir. Diğer yarıiletkenlerle birlikte oluşturulan çok eklemlili GaAs pillerde %30 verim elde edilmiştir. GaAs güneş pilleri uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcı sistemlerde kullanılmaktadır. En büyük dezavantajı maliyetinin yüksek oluşudur (İnt. Kyn.11).



Şekil 2. 12 Galyum arsenit güneş pili.

2.10.4 Amorf Silisyum

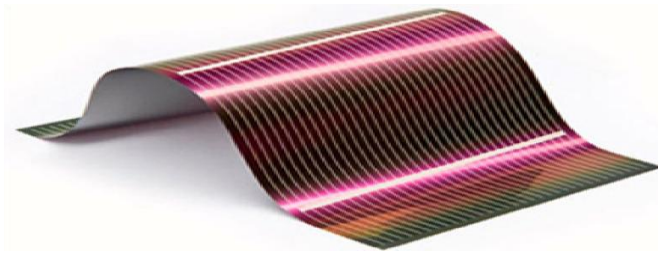
Amorf ve silisyum kristallerinden meydana gelir. Bu malzemeyle laboratuvar şartlarında elde edilen verim %10 dolayında, ticari modüllerde ise %5-7 mertebesindedir. Günümüzde daha çok küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılan amorf silisyum direkt güneş ışınımı az olan bölgelerde de santral uygulamalarında kullanılmaktadır. Amorf silisyumun bir başka önemli uygulama sahası ise binalara entegre yarısaydam cam yüzeyler, bina dış koruyucusu ve enerji üretici uygulamalarıdır. (İnt.Kyn.11). Düşük sıcaklıklarda üretilebilir olması, ve güneş ışınlarını yüksek miktarda soğurabilmesi amorf silisyum güneş pillerini ekonomik yapmaktadır (Muhtaroglu 2012).

2.10.5 Kadmiyum Tellürid (CdTe)

Çok kristal yapıda bir malzeme olan CdTe ile güneş hücre maliyetinin çok aşağılara çekileceği tahmin edilmektedir. Laboratuvar tipi küçük hücrelerde %16, ticari tip modüllerde ise %7 civarında verim elde edilmektedir (İnt.Kyn.11). Ünite üzerinde çok az miktarda kullanılmasına rağmen, kadmiyum zehirli bir maddedir ve üretim aşamasında bazı önlemler alınmaktadır.

2.10.6 Bakır İndiyum Diseleneid

Bu çok kristal hücre laboratuvar şartlarında %17,7 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde ise %10,2 verim elde edilmiştir (İnt.Kyn.11). Malzeme yapısı karmaşık olduğu için üretim maliyeti yüksektir. Yapısında bulunan Hidrojen Selenür zehirli bir gaz olduğu için üretim sürecinde önlem alınmalıdır (Başoğlu 2013).



Şekil 2. 13 Bakır indiyum diseleneid güneş pili.

2.10.7 Nanokristal Güneş Hücresi (Boyalı Hücreler)

1991 yılında İsviçreli profesör Michael Graetzel 'in bulduğu bu hücreler silisyum teknolojisine alternatif olarak daha da geliştirilebilir. Graetzel hücresinin temel malzemesi, bir yarı iletken olan titanyum dioksittir (TiO₂). Bu yarı iletken, p-n bağlantısı prensibiyle çalışmaz. Bunun yerine, bitkilerin fotosentezi sırasında klorofilin güneş ışığını kullanması gibi, güneş ışığını bir organik boya sayesinde soğurur. Bu teknolojiye kullanılan malzemeler zehirsizdir. Üstelik üretimleri ucuz ve kolaydır. Nanokristal güneş pillerinde laboratuvar ortamında küçük hücrelerle % 12 verime ulaşılmıştır. Avustralyalı STA firması tarafından yapılan ilk sınırlı seri üretimde verim % 5 olmuştur. Bu hücreler, gölgeye ve verimsiz düşme açalarına karşı iyi tolerans gösterir. Kristal hücrelerin tersine, yüksek sıcaklıklarda verimleri artar. (Gemicioğlu 2011)

Son yıllarda üzerinde çalışılan güneş pilleri ticari ortama girmiş olan geleneksel silisyum güneş hücrelerinin yerini alabilecek verimleri aynı ama üretim teknolojileri daha kolay ve daha ucuz olan güneş hücreleri üzerinde de son yıllarda çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Bunlar; foto elektrokimyasal, polimer yapılı plastik hücreler ve güneş spektrumunun çeşitli dalga boylarına uyum sağlayacak kuantum güneş hücreleri gibi yeni teknolojilerdir.

2.11 Güneş Panellerinin Karşılaştırılması

Kristal yapılı güneş hücreleri, verimi en yüksek güneş hücreleridir. Polikristal hücrelerin verimi monokristal hücrelere kıyasla daha düşük olmasına rağmen, üretim maliyetleri monokristal hücrelere göre daha düşüktür. İnce film hücreler kristal yapılı hücrelere kıyasla verimi daha düşüktür. Bu nedenle aynı değerde kurulu güç için ince film hücreler, kristal yapılı güneş hücrelerine göre daha çok alanı kaplamaktadır. Fakat fiyatları kristal hücrelere göre daha düşük olduğundan ince film hücreler tercih edilmektedir. İnce film hücrelerde verimi en yüksek olan hücre bakır indiyum diselenid 'dir. Bunu kadmiyum tellürid (CdTe) ve amorf silisyum (a-Si) takip eder. Güneş

hücrelerinin verimlilikleri ve 1 kWp için gerekli alanlar karşılaştırmalı olarak çizelge 2.5' de verilmiştir (Gemicioğlu 2011).

Çizelge 2. 5 PV Panellerin verimlilikleri.

Güneş Hücresi	Malzemesi	Hücre malzemesi (laboratuarda) %	Hücre verimi (üretimde) %	Modül verimi (üretimde) %	1 kWp için gerekli alan m²
Kristal silisyum güneş hücreleri	Monokristal Silisyum (m-Si)	24,7	18	14	7-9 m ²
	Polikristal Silisyum (p-Si)	19,8	16	13	8-11 m ²
İnce film güneş hücreleri	Bakır İndiyum Diselenid (CIS)	18,8	14	10	11-13 m ²
	Kadmiyum Tellürid (CdTe)	16,4	10	9	14-18 m ²
	Amorf Silisyum (a-Si)	13	10,5	7,5	16-20 m ²

2.12 Güneş Takip Sistemleri

Güneş enerjisi sistemlerinin yaygınlaşmasıyla birlikte, bu sistemlerin verimliliği de büyük önem arz etmektedir. Güneş panellerinin kullanılmasında güneş takip sistemlerinin de bulunması zorunlu değildir, fakat performansın yükseltilmesi için gereklidir. Güneş takip düzeneklerinin, güneş pillerinden alınan verimi artırması yanında, maliyet, güvenilirlik, enerji tüketimi ve bakım gibi olumsuz yanları da vardır. Güneş takip sistemleri güneş panellerini, güneşten gelen radyasyonu en iyi şekilde alacak diklikte tutmaya çalışarak elde edilecek enerjiyi maksimum hale getirmeyi hedefler. Ancak, dikliği sağlamada çok yüksek çözünürlüğe de ihtiyaç yoktur, zira

optimal dik açıdan 10^0 derecelik sapmada dahi verim % 98.5'in üzerindedir (Oral 2015).

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

2.13 Güneş Takip Sistemlerinin Sınıflandırılması

Güneş takip sistemleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir.

- 1) Takip eksenine göre;
 - a) Tek eksen kontrollü sistemler
 - b) Çift eksen kontrollü sistemler
- 2) Kontrol mekanizmasına göre;
 - a) Yerçekimini Kullanan Takip Sistemleri
 - b) Kronolojik Takip Sistemleri
 - c) Aktif Sensörlü Takip Sistemleri

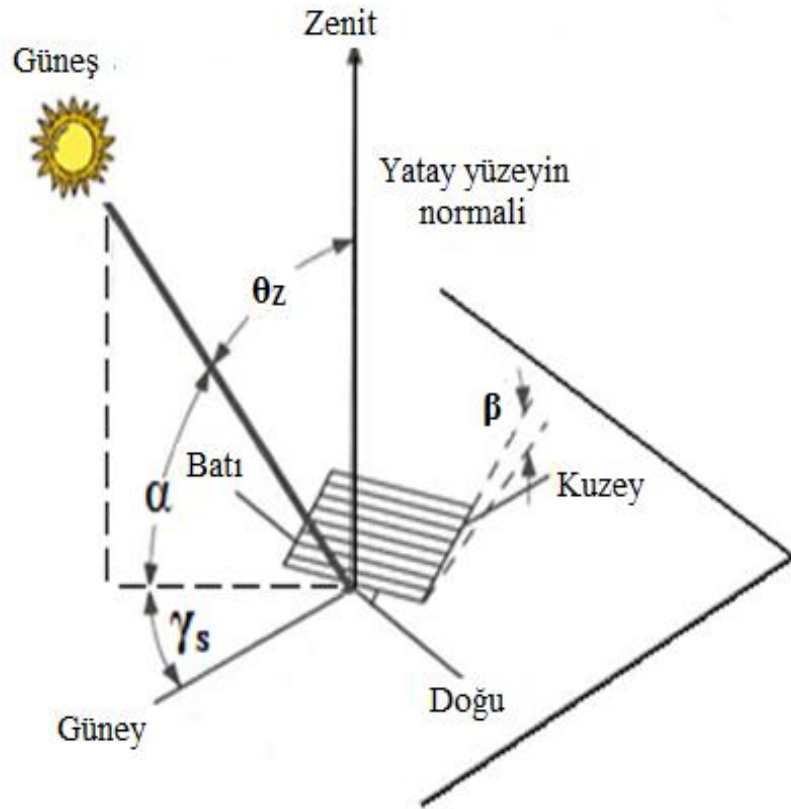
2.13.1 Tek Eksen Kontrollü Sistemler

Tek eksenli izleyici sistemler güneş takibini yatay veya dikey eksenlerden birinde gerçekleştirir. Panelin monte edildiği alandaki yerin dar olması tek eksenli hareketin tercih sebebi olabilmektedir. Örneğin çoğu çatı uygulamasında fotovoltaik sistem için yer kısıtlılığı sebebiyle sadece yükseklik açısı takibi yapılmaktadır.

Çift eksenli sistemler tek eksenlilere göre enerji verimliliğinde avantaj sağlarken, bakım masrafları ve montaj zorluğu nedeniyle dezavantaja sahiptir. Tek eksenlilere göre

hataya müsait olan hareketli daha çok parça içerir. Ayrıca genelde tek eksenli izleyiciler daha az donanıma sahiptir ve daha hafiftirler.

Tek eksenli takip yapan sistem eğer sadece güneş azimut açısını takip edecekse veya panel belirli açılarda sabit tutulacaksa, panel eğim açılarının (β) aylık ve mevsimlik olarak belirlenmesi sistemden optimum verimin alınması için avantaj sağlayacaktır. Çünkü güneşin yükseklik açısı (α) yıl içerisinde her gün değişiklik göstermektedir. Bu durumda optimum verim için panelin de eğim açısının değiştirilmesi aşıkardır. Şekil 2.14' de bu tip sistemler için panelin yerleştirme yönü ve eğim açısı gösterilmiştir.



Şekil 2. 14 Panel eğim açısı.

Panele verilecek eğim açısı (β) bulunulan yerin enlem açısına (ϕ) ve yıl içerisinde zamana göre değişiklik göstermektedir. Çizelge 2.6'da bazı illere ait optimum panel eğim açıları, aylara göre derece cinsinden verilmiştir (Şenpınar 2006).

Çizelge 2. 6 Farklı bölgedeki illere ait optimum eğim açıları (β) .

İl	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haz.	Tem.	Ağus.	Eylül	Ekim	Kasım	Aral.
Ankara	60,40	52,88	41,94	30,06	20,75	16,48	18,45	26,26	37,56	49,40	58,61	62,65
Elazığ	59,52	52,00	41,06	29,18	19,87	15,60	17,57	25,38	36,68	48,52	57,73	61,77
İstanb.	61,85	54,33	43,39	31,51	22,20	17,93	19,90	27,71	39,01	50,85	60,06	64,10
İzmir	59,09	51,57	40,63	28,75	19,44	15,17	17,14	24,95	36,25	48,09	57,30	61,34
Mersin	57,32	49,80	38,86	26,98	17,67	13,40	15,37	23,18	34,48	46,32	55,53	59,57
Sinop	62,85	55,33	44,39	32,51	23,20	18,93	20,90	28,71	40,01	51,85	61,06	65,10
Ş.Urfa	57,92	50,40	39,46	27,58	18,27	14,00	15,97	23,78	35,08	46,92	56,13	60,17
Afyon	59,29	51,77	40,83	28,95	19,64	15,37	17,34	25,15	36,45	48,29	57,5	61,54

Güneş paneli sisteminin eğim açısı (β), en iyi ortalama yaz performansı için ($\emptyset-15$)° ve en iyi kış performansı için de ($\emptyset+15$)° olmalıdır. Optimum ilkbahar veya sonbahar veya yıllık performans için, güneş panelinin yaklaşık olarak ($0,9.\emptyset$) açısında monte edilmesi gerekmektedir (Şenpınar 2006).

2.13.2 Çift Eksen Kontrollü Sistemler

Çift eksenli izleyici sistemler yatay ve düşey eksenlerin her ikisinde de harekete izin verir. Bu izleyici sistemlerde yüksek yeterlilikte doğruluğa sahip donanımlar kullanılarak en iyi performans sağlanabilir. Bu tez kapsamında yapılan uygulama çift eksen kontrol sistematığı ile çalışmaktadır ve üçüncü bölümde bu sistem detaylı olarak açıklanmıştır.

2.13.3 Yer Çekimini Kullanan Takip Sistemleri

Yer çekimi kullanarak çalışan sistemlerde panellerin sağ ve sol kenarlarına yerleştirilmiş ve içlerinde özel bir sıvı (genellikle Freon) olan tüpler bulunmaktadır. Bu tüpler arasında bağlantı mevcuttur ve aralarında sıvı geçişi olmaktadır. Tüp içinde yer alan sıvı ısıya karşı duyarlıdır ve genişleme katsayısı yüksektir. Paneller dengede olması için öncelikle ağırlık merkezine göre yerleştirilmiştir. Dengede olan panellerden güneş

ışığına maruz kalan taraftaki sıvı genleşeceği için karşı tüpe doğru akmakta ve ağırlık merkezinin değişmesini sağlayarak panelin güneşe doğru hareketini gerçekleştirmektedir. Panelin hareketi güneş ışınları panele dik gelmeye başlayana kadar devam etmektedir (Sezgin 2014).

Bu tip takip sistemlerinin yapıları basittir, fakat düşük sıcaklıklarda çalışmama / durma gibi bir riskleri de mevcuttur. Ekonomik açıdan çoğunlukla daha düşük olmalarına rağmen henüz tüketiciler tarafında pek rağbet görmemektedir.

2.13.4 Kronolojik Takip Sistemleri

Bu çeşit kontrol sistemlerinde, sistemin mevcut durumuyla alakalı herhangi bir bilgi kontrolöre gelmemektedir. Dolayısı ile sistemin girişi çıkışından haberdar olmaz. Açık döngü sistemler giriş ve çıkış bilgisi bilinen sistemlerde kullanılmaktadır.

Güneş konumunun belirlenmesi için herhangi bir algılayıcı sistem kullanılmaz. Güneşin, dünyanın herhangi bir noktasında, yılın herhangi bir gününde ve saatinde hangi konumda olacağı bilgisi önceden bilinmektedir. Dolayısıyla güneş'in konumu yıllık ve günlük davranışına göre matematiksel olarak modellenenir. Elde edilen matematiksel modele göre açı değerleri sistemin kontrol değişkenlerini oluşturur. Kontrol yapısı oluşturulurken panellerin bulunduğu bölgenin enlem, boylam ve yerel saat bilgilerinin bilinmesi güneş konumunun belirlenmesi için yeterlidir.

2.13.5 Aktif Sensörlü Takip Sistemleri

Sistemin güneşi takip edebilmesi için gerekli konum bilgisi algılayıcılar tarafından sağlanır ve kapalı çevrim çalışan sistemlerdir. Güneş panellerinin ışığın yoğun olduğu yöne yönelmesi prensibi ile çalışan sistemlerde algılayıcı olarak ışığa duyarlı algılayıcılar veya özel geliştirilmiş algılayıcılar kullanılabilir. Güneş panelinin ön yüzüne yerleştirilen algılayıcı günün değişen saatlerine göre ışığın daha yoğun geldiği yönü algılar ve buna göre bir sinyal üretir. Bu sinyal kontrolör tarafından işlenerek sistemin tek ekseninde veya iki ekseninde hareketi gerçekleştirilir. Bu sistemin kronolojik

takip sistemine göre dezavantajı kullanılan algılayıcılar ortam koşullarından zamanla etkilenebilir ve hatalı ölçümler yapabilir. Buna bağlı olarak güneşin konumu yanlış tespit edilebilir veya sistem kararsızlaşabilir.

3. MATERYAL ve METOT

Sistemimiz 40 W'lık bir PV panel, güneş azimut açısını takip edecek bir DC motor, güneş yükseklik açısını takip edecek bir doğrusal aktüatör, Arduino Mega 2560 mikro kontrolör, LCD panel, akü, regülatör ve bu bileşenlerin monte edildiği ana şaseden oluşmaktadır (Resim 3.1).



Resim 3. 1 Tasarlanan güneş takip sistemi.

3.1 Güneş Paneli

Tasarlanan güneş takip sisteminde Resim 3.2'de görülen 40 W gücünde polikristal panel kullanılmıştır. Panele ait teknik veriler Çizelge 3.1'de verilmiştir.



Resim 3. 2 Güneş paneli.

Çizelge 3. 1 Güneş paneli teknik özellikleri (İnt.Kyn.8).

Güneş paneli	Özellikleri
Cinsi	Polikristal Silisyum
En yüksek gücü (Pmax)	40 Watt
En yüksek güç tüketimindeki gerilimi (Vmp)	18,83 Volt
En yüksek güç tüketimindeki akımı (Imp)	2,12 Amper
Açık Devre Gerilimi (Voc)	22,46 Volt
Kısa Devre Akımı (Isc)	2,27 Amper
Boyutları	668 mm x 455 mm x 35 mm
Ağırlık	3,7 kg
Nominal çalışma sıcaklığı	47°C +/-2°C

3.2 Redüktörlü DC Motor

Tasarlanan güneş takip sisteminin azimut açısını takibi için Resim 3.3'deki L tipi redüktörlü ve 5 rpm devir sayısına sahip DC motor kullanılmıştır. Redüktör, motorların yüksek dönüş hızlarını makineler için gerekli olan dönüş hızlarına düşürmek için tasarlanan kapalı dişli düzenekleridir. Motora ait teknik özellikler Çizelge 3.2'de verilmiştir.



Resim 3. 3 Redüktörlü DC motor.

Çizelge 3. 2 Redüktörlü DC motor teknik özellikleri.

Redüktörlü DC motor	Özellikleri
Çalışma Gerilimi	12 V DC
Nominal Akımı	1,5 A
Tork	500 N.cm
Şaft Uzunluğu	15 mm
Şaft Çapı	8 mm
Çalışma Hızı	5 rpm
Redüktör Tipi	L Redüktör

3.3 Doğrusal Aktüatör

Tasarlanan sistemde güneş yükseklik açısının takibi için doğrusal aktüatör kullanılmıştır. Doğrusal aktüatör, düşük voltaja sahip DC motorun dönme hareketini doğrusal (lineer) harekete çeviren (yani itme ve çekme hareketlerini sağlamak sureti ile) cihazlardır (Resim 3.4). Elektrikli doğrusal aktüatörler bir motor, bir dişli yatak ve dönmeyi sağlayan bir somun içerirler. Doğrusal aktüatörler, sonsuz dişliye sahip bir vidalı milin düşük devirde dönen dişli bir motor tarafından tahrik edilmesiyle itme veya çekme kuvveti oluştururlar.



Resim 3. 4 Doğrusal aktüatör.

Doğrusal aktüatörler geniş bir uygulama alanına sahiptirler. Bir şey kaldırılacağı, itileceği, çekileceği, veya konumlandırılacağı zaman doğrusal aktüatörlerin kullanımı vazgeçilmez bir hale gelmektedir. Bu tür aktüatörlerin kullanımı oldukça basit, verimli, temiz ve sessizdir. Daha az bileşenle kontrol edilebildikleri için doğrusal aktüatörler olağanüstü bir dayanıklılık sunmaktadır. Daha fazla maliyet getirdiği sanılsa da, aktüatörler gerçekte ciddi bir maliyet avantajı sunmaktadırlar. Resim 3.5' de sistemimizde montajı yapılmış doğrusal aktüatör görülmektedir.



Resim 3. 5 Montajı yapılmış doğrusal aktüatör.

Çizelge 3.3'de çift eksenli güneş takip sisteminde kullandığımız doğrusal aktüatörün teknik özellikleri verilmiştir.

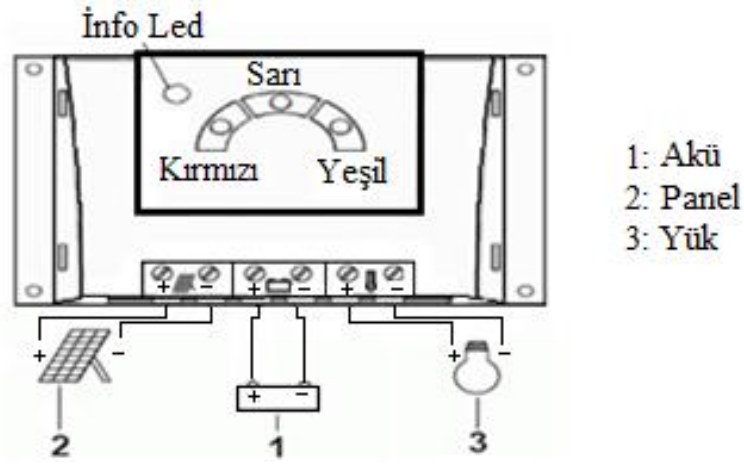
Çizelge 3. 3 Doğrusal aktüatör teknik özellikleri.

Doğrusal aktüatör	Özellikleri
Çalışma Gerilimi	24 V DC
Boşta Akımı	500 mA
Zorlanma Akımı	4 A
Strok mesafesi	200 mm
Çalışma Hızı	7 mm/s
İtme gücü	750 N (75 kg)

3.4 Solar Şarj Regülatörü

Tasarlanan güneş takip sisteminin çalışabilmesi sistemde kullanılan akünün belirli zaman aralıkları ile şarj edilmesi gerekir. Bu işlemin gerçekleştirilmesi için Şekil 3.1'de bağlantı şeması verilen 12 voltluk şarj regülatörü kullanılmıştır. Şarj regülatörüne ait teknik veriler çizelge 3.5'de verilmiştir. Akünün zarar görmeden şarj olabilmesi için, şarj kontrol cihazı kullanılması gereken bir elemandır. Akünün şarj olabilmesi için belirli bir gerilim seviyesinde ve sabit bir gerilime ihtiyaç vardır. Bunu sağlayacak olan şarj regülatörüdür.

Sistemde kullanılan şarj regülatörünün çalışma durumu hakkındaki bilgi üzerindeki led lambalar yardımı ile öğrenilmektedir. Regülatörün üzerinde info led, kırmızı, sarı ve yeşil renk olarak dört adet led lamba bulunmaktadır. Çizelge 3.4'de led lambaların ışık verme durumları ve bunların ne anlama geldiği anlatılmıştır.



Şekil 3. 1 Max solsum 6.6F solar şarj regülatörü (İnt.Kyn.7).

Çizelge 3. 4 Max Solsum 6.6F Şarj Regülatörünün Led Durumları.

LED	DURUM	ANLAMI
Info Led	Sürekli yeşil yanması	Normal çalışma durumu
	Yavaş kırmızı yanması	Sistem arızalı <ul style="list-style-type: none"> ➤ Çok yüksek şarj akımı ➤ Kısa devre ➤ Yüksek sıcaklık Kırmızı Led ile birlikte: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Batarya çok düşük Yeşil Led ile birlikte: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Batarya çok düşük
Kırmızı Batarya Ledi	Hızlı yanıp sönme	Batarya boş, düşük voltaj nedeni ile ayırma öncesi uyarı, yükler hala devrede.
	Yavaş yanıp sönme	Derin deşarj koruması aktif, yükler ayrıldı.
Sarı Batarya Ledi	Sürekli yanması	Batarya zayıf, yükler devrede.
	Yavaş yanıp sönme	Derin deşarj noktasına hala ulaşamadı, yükler devre dışı.
Yeşil Batarya Ledi	Sürekli yanması	Batarya iyi.
	Yavaş yanıp sönme	Batarya tam dolu, düzenli şarj aktif.

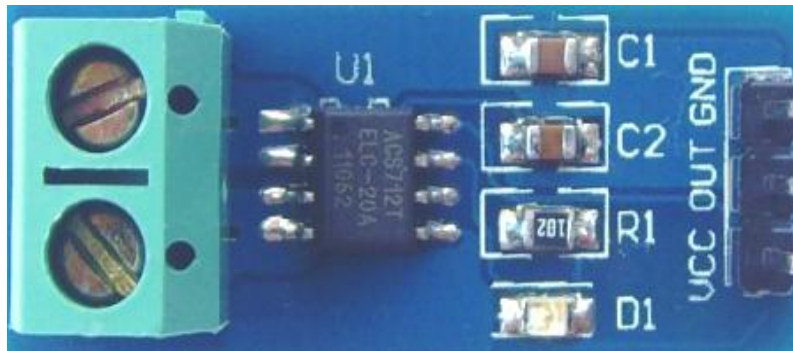
3.4.1 Max Solsum 6.6F Şarj Regülatörü Teknik Verileri

Çizelge 3. 5 Max solsum 6.6F şarj regülatörü teknik verileri (İnt.Kyn.7).

Steca Solsum F	6.6F	8.8F	10.10F
Sistem gerilimi		12 V (24 V)	
Akım tüketimi		< 4mA	
Açık devre panel gerilimi		< 47 V	
Modül Akımı	6 A	8 A	10 A
Yük Akımı	6 A	8 A	10 A
Şarj gerilimi sonu		13,9 V (27,8 V)	
Şarj gerilimi		14.4 V (28.8 V)	
Tekrar yük bağlanma gerilimi		> 50 % / 12,4 V ... 12,7 V (24,8 V ... 25,4 V)	
Derin deşarj koruma gerilimi		< 30 % / 11,2 V ... 11,6 V (22,4 V ... 23,2 V)	
Çalışma sıcaklığı		-25 °C ... +50 °C	

3.5 ACS712 Akım Sensörü

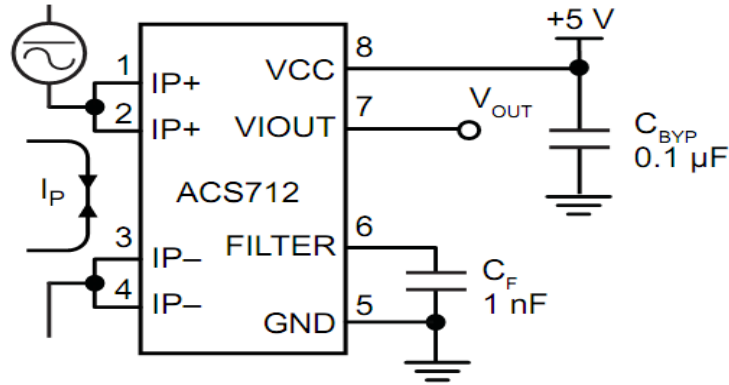
Tasarlanan sistemde panelden yüklere gönderilen akımın ölçülebilmesi için Allegro firmasının ACS712 akım sensörü kullanılmıştır. ACS712 akım sensörü Hall-Effect prensibine göre çalışan bir akım algılama entegresidir (Resim 3.6). 5, 20 ve 30 Amperlik 3 farklı versiyonu bulunmaktadır.



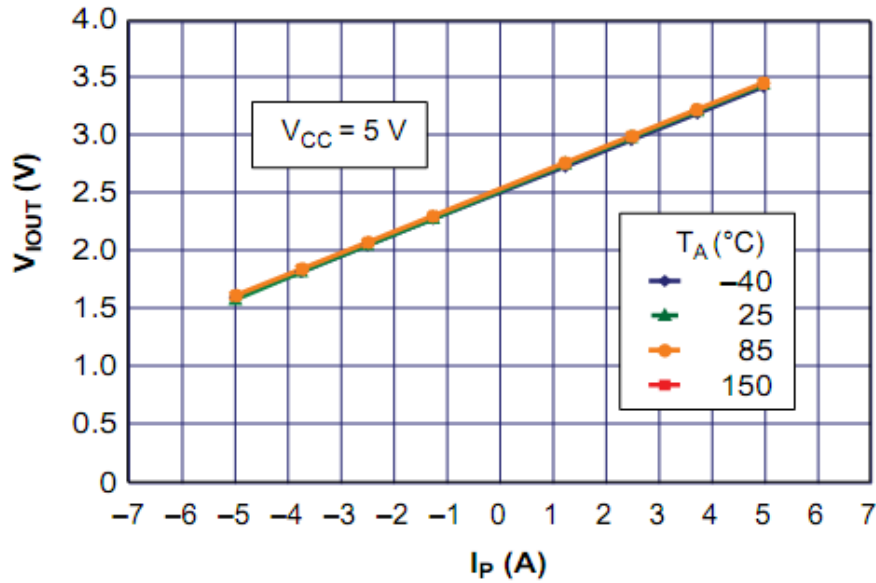
Resim 3. 6 ACS712 akım sensörü.

Sensörün çalışması için 5V'luk besleme yeterlidir. 1-2 nolu pinler akım giriş pinleri, 3-4 nolu pinler ise akım çıkış pinleridir. Sensörün bağlantı şeması Şekil 3.2'de verilmiştir. Çıkış sinyalinin filtrelenmesi için birde filtre kapasitesi kullanılmaktadır. Bu kapasite değeri ayrıca çıkış tazeleme frekansını da etkilemektedir.

ACS712, giriş pinlerinden çıkış pinlerine doğru akan akımla doğru orantılı olarak 0-5 V arasında çıkış gerilimi üretir. Giriş akımı sıfır iken çıkış gerilimi 2,5 Volt'tur. Akım pozitif yönde akmaya başladığında ACS712'nin çıkış gerilimi artmaya başlar. Akım ters yönde aktığında ise çıkış gerilimi azalır. 0-2,5 V arası çıkış gerilimi için okunan akım negatif değerler alır. Çıkış gerilimi 2,5-5 V arası ise okunan akım pozitif değerler alır.



Şekil 3. 2 ACS712 akım sensörü bağlantı şeması (İnt.Kyn.4).



Şekil 3. 3 ACS712 akım sensörü giriş akımı ile çıkış geriliminin değişimi (İnt.Kyn.4).

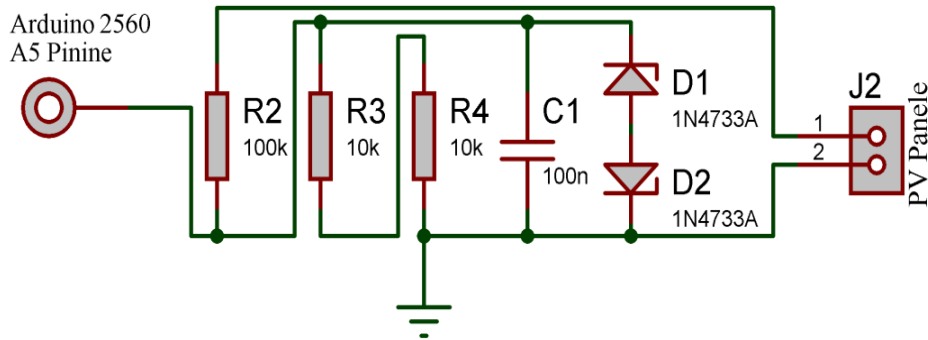
Şekil 3.3’de ACS712 akım sensörünün giriş akımına göre çıkışındaki gerilim değişimi görülmektedir. Girişteki 1 amperlik değişime karşılık çıkışta 0,185 V gerilim üretilir (İnt.Kyn.4).

ACS712 akım sensörüne ait bazı özellikler şunlardır İnt.Kyn.4).

- Düşük gürültü
- FILTER pini ile bant genişliği ayarlanabilme
- Giriş akımındaki değişime çıkışta cevap süresi 5 μ s
- 80 kHz bant genişliği
- Toplam çıkış hatası 25°C sıcaklıkta % 1,5
- 1.2 m Ω iç direnç
- 1-4 nolu pinler ile 5-8 nolu pinler arası 2.1 kV RMS minimum izolasyon gerilimi
- 5.0 V besleme
- AC ve DC akım ölçme
- 66 ila 185 mV/A çıkış hassasiyeti

3.6 Panel Geriliminin Okunması İçin Devre Tasarımı

Panelde üretilen gerilimin okunabilmesi için Şekil 3.4’de verilen gerilim bölücü devre tasarlanmıştır. Elde edilen panel gerilimi Arduino Mega2560 analog giriş geriliminin üzerinde olduğu bir gerilim bölücüye ihtiyaç duyulmuştur. Tasarlanan devre sayesinde 30 volta kadar gerilim ölçme imkanına kavuşulmuştur. Sistemde kullanılan panelin açık devre gerilimi maksimum 22,46 Volt olduğu için devrenin ölçme sınırı yeterlidir.



Şekil 3. 4 Gerilim bölücü devre şeması.

Tasarlanan gerilim bölücüde, bir adet alçak geçiren filtre ve olası gerilim yükselmelerine karşı ters seri bağlı iki adet 5.1V zener diyot kullanılmıştır. Bu sayede gerilim girişlerinde oluşabilecek yüksek frekanslı bileşenler filtre edilebildiği gibi yüksek gerilim girişine karşı da önlem alınmıştır .

3.7 Tasarlanan Sistemin Kontrol Ünitesi

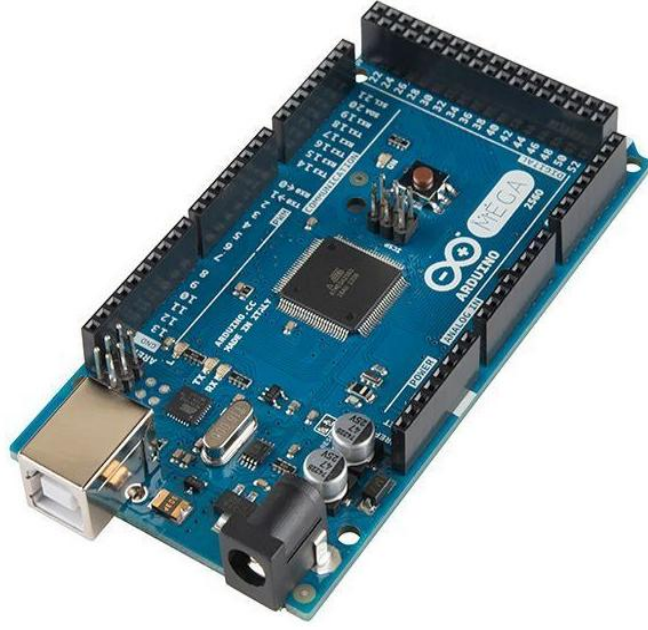
3.7.1 Arduino

Arduino, açık kaynak kodlu bir mikrodenetleyici kartıdır. Ana MCU, Atmel tabanlıdır. (MCU'ya önceden bir mini program – bootloader yüklenmiştir). Kart ile robotik ve elektronik uygulamalar geniş kütüphane desteği sayesinde kolayca gerçekleştirilebilir.

Arduino geliştirilmek istenilen projelerin çeşitlerine göre farklı yapılarda olabilir ama genel olarak bütün modelleri tek kart mikro kontrolcü yapısındadır. Üzerinde USB portu, analog ve sayısal giriş/çıkış birimleri bulunur. Programlama için C/C++ dili kullanılır ve Java üzerinde geliştirilmiş, geliştirme, derleme, yükleme özelliklerine sahip Arduino IDE ile programlanır. Geliştirme ortamının ve sürücülerinin kurulumu çok kolaydır. Bütün platformlarda (Windows, Linux ve Mac) çalışabilir.

3.7.2 Arduino Mega Atmega2560

Tasarlanan sistemde kontrol elemanı olarak Arduino Mega Atmega2560 tabanlı bir mikroişlemci kartı kullanılmıştır (Resim 3.7). Üzerinde 54 dijital giriş / çıkış pini (bunlardan 14'ü PWM çıkışları olarak kullanılabilir), 16 analog girişten, 4 UART'tan (donanımsal seri portları), bir I2C (Inter-Integrated Circuit) seri haberleşme türlerinden senkron haberleşme donanımı, bir SPI (Serial Peripheral Interface) senkron seri haberleşme donanımı, 13 Numaralı pine bağlı bir led, 16 MHz bir kristal osilatör, bir USB bağlantısı, bir güç girişi, bir ICSP bağlantısı ve bir reset butonu bulunmaktadır. Mega, Arduino UNO için tasarlanmış pek çok kart ile uyumludur.



Resim 3. 7 Arduino mega 2560.

Mega 2560 USB bağlantısı üzerinden veya harici güç kaynağı ile beslenebilir. Güç kaynağı otomatik olarak seçilir. Mega 2560 bilgisayarın USB çıkışını koruyan bir sigorta içermektedir. Çoğu bilgisayar kendi iç korumasını sağlamasına rağmen, bu sigorta ekstra bir koruma katmanı sağlamaktadır. Mega 2560 bilgisayarın USB çıkışından 500 mA den fazla akım çeker ise bu sigorta aktif olur. Aşırı akım çekme durumu ortadan kalkar ise sigorta otomatik olarak pasif hale gelir (İnt.Kyn.9).

Çizelge 3. 6 Arduino teknik verileri.

Arduino mega 2560	Özellikleri
Çalışma Gerilimi	5V
Giriş Gerilimi (Önerilen)	7-12V
Giriş Gerilimi (Sınır)	6-20V
Dijital I/O Pinleri	54 (15 Adedi PWM Çıkış olarak yönlendirilebilir.)
Analog Giriş Pin Sayısı	16 adet
Her bir G/Ç pini başına akım	20 mA
3.3V gerilim çıkışı akımı	50 mA (maksimum)

Çizelge 3. 6 (Devam) Arduino teknik verileri.

Arduino mega 2560	Özellikleri
Flash Memory	256 KB (8 KB'ı Program yükleyici tarafından kullanılıyor.)
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Saat Hızı	16 MHz
Uzunluk	101.52 mm
Genişlik	53.3 mm
Ağırlık	37 g

3.8 L298 Motor Sürücü

Sistemimizde kullanılan redüktörlü doğru akım motorunun ve doğrusal aktüatörün sürülmesi için ST Microelectronics firmasına ait L298 motor sürücü entegresi kullanılmıştır (Resim 3.8). L298 motor sürücü entegresi mikro denetleyicilerle çok kolay kontrol edilebilmektedir.



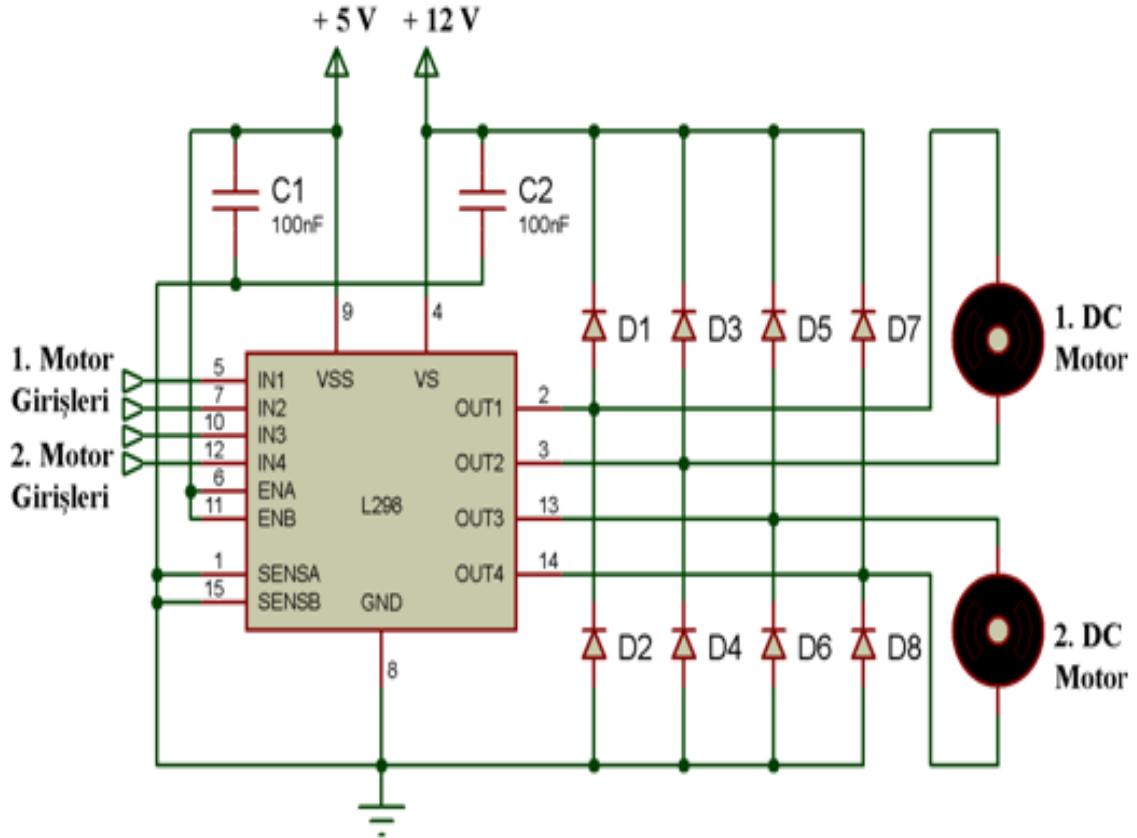
Resim 3. 8 L298 DC motor sürücüsü.

L298 entegresi 4 giriş 4 çıkışlı iki adet H köprüye sahip motor sürücü entegresidir. Bu iki adet köprü A ve B olarak isimlendirilmiştir. L298 ile iki motoru birbirinden bağımsız olarak iki yöne sürmek mümkündür. L298 entegresinde toplam 15 adet uç bulunmaktadır. Bunlardan IN1, IN2, OUT1, OUT2, ENA, SENSE A köprüsü için, IN3, IN4, OUT3, OUT4, ENB, SENSE B köprüsü içindir.

- **IN1, IN2(5,7):** Bu uçlar A köprüsü için olan girişlerdir. +5 volt ile çalışır. Eğer IN1'e 5V, IN2'ye 0V verince motor ileri dönerse, tam tersini verdiğimizde geri dönecektir. Her iki uca da aynı değeri verirsek (0V:0V veya 5V:5V) motor dönmez.
- **IN3, IN4(10,12):** Bu uçlar B köprüsü için olan girişlerdir. A köprüsüyle aynı şekilde çalışır.
- **OUT1, OUT2(2,3):** A köprüsü çıkışlarıdır. Bu çıkışlar motorun iki ucuna bağlanacaktır. Motorların herhangi bir zorlanma durumunda oluşacak olan ters akımın entegreye zarar vermemesi için çıkışlar ile motor arasına ikişer adet diyot bağlanmalıdır. Bu diyotların birisinin yönü topraktan çıkışa doğru, diğeri de çıkıştan pozitif beslemeye doğru olmalıdır.
- **OUT3, OUT4 (13,14):** B köprüsü için çıkış uçlarıdır. A köprüsüyle aynı şekilde çalışır.
- **ENA, ENB(6,11):** A ve B köprülerini etkinleştirmek için bu uç +5 volt bağlaması gerekmektedir.
- **SENSA, SENSE(1,15):** A ve B köprülerinin çıkış akımlarının sınırlandırılması için kullanılır. Bu uçlar ile toprak arasına bağlanacak direnç sayesinde köprülerin çıkış akımları kontrol edilebilir. Eğer köprülerin çıkış akımları sınırlandırılmayacak ise bu uçlar toprağa bağlanmalıdır.
- **VS(4):** Çıkışlardan kaç volt almak istenirse bu uç o voltaja bağlanır. En fazla 46 volt verilebilir. Ayrıca köprülerin çıkış akımları üzerindeki küçük salınımları yok etmek için bu bacakla toprak arasına 100 nF'lık kondansatör bağlanmalıdır.
- **VSS(9):** Bu uç, L298' in çalışması için +5 volta bağlanmalıdır. Yine küçük salınımları yok etmek için VSS ile toprak arasına 100nF'lık kondansatör bağlanmalıdır.

- **GND(8):** Bu bacak, L298' in çalışması için toprağa bağlanmalıdır (İnt.Kyn.10).

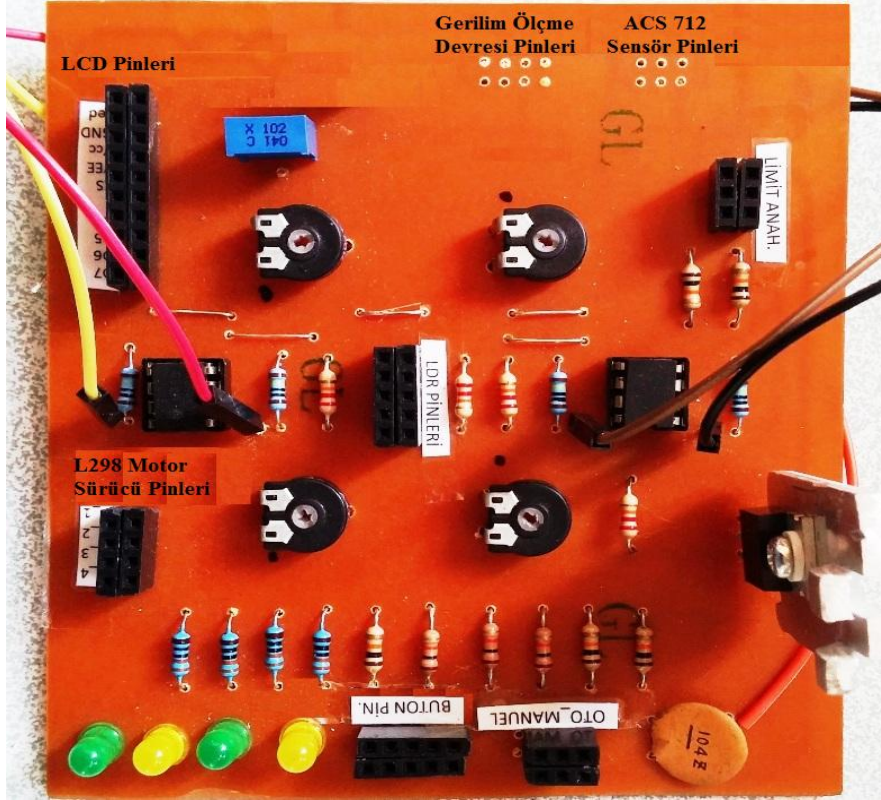
Bu anlatılanlar doğrultusunda çizilmiş Şekil 3. 5 'de iki adet DC motorun L298 ile sürülmesine ait bağlantı şeması verilmiştir.



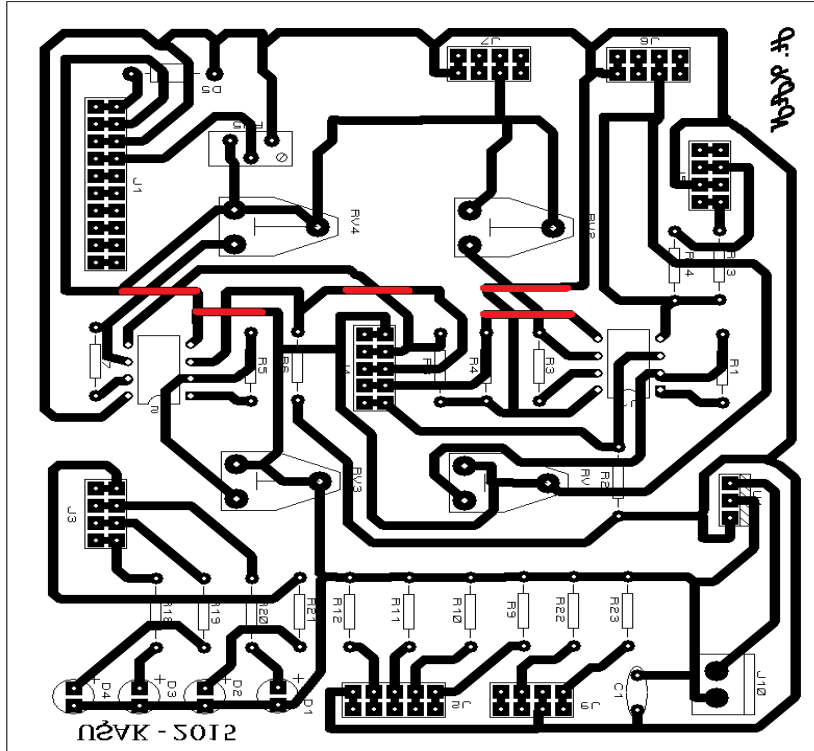
Şekil 3. 5 L298 motor sürücü entegresi bağlantısı.

3.9 Sistem Kontrol Kartı

Tasarlanan kart manüel kontrol için buton bağlantılarını, 4 adet LDR için ışık seviyesi ölçme devresini, panelin sağa ve sola dönüşlerini sınırlandıran güvenlik devresini, panelin otomatik veya manüel kontrolü için seçim devresini, LCD ekran için pin bağlantılarını, motor sürücü pin bağlantılarını, akım sensörü (ACS712) ve gerilim ölçme devresi pin bağlantılarını içinde barındıran bir kontrol kartı tasarlanmıştır. Resim 3.9' da kartın resmi ve Şekil 3. 6' da kartın baskı devresi verilmiştir.

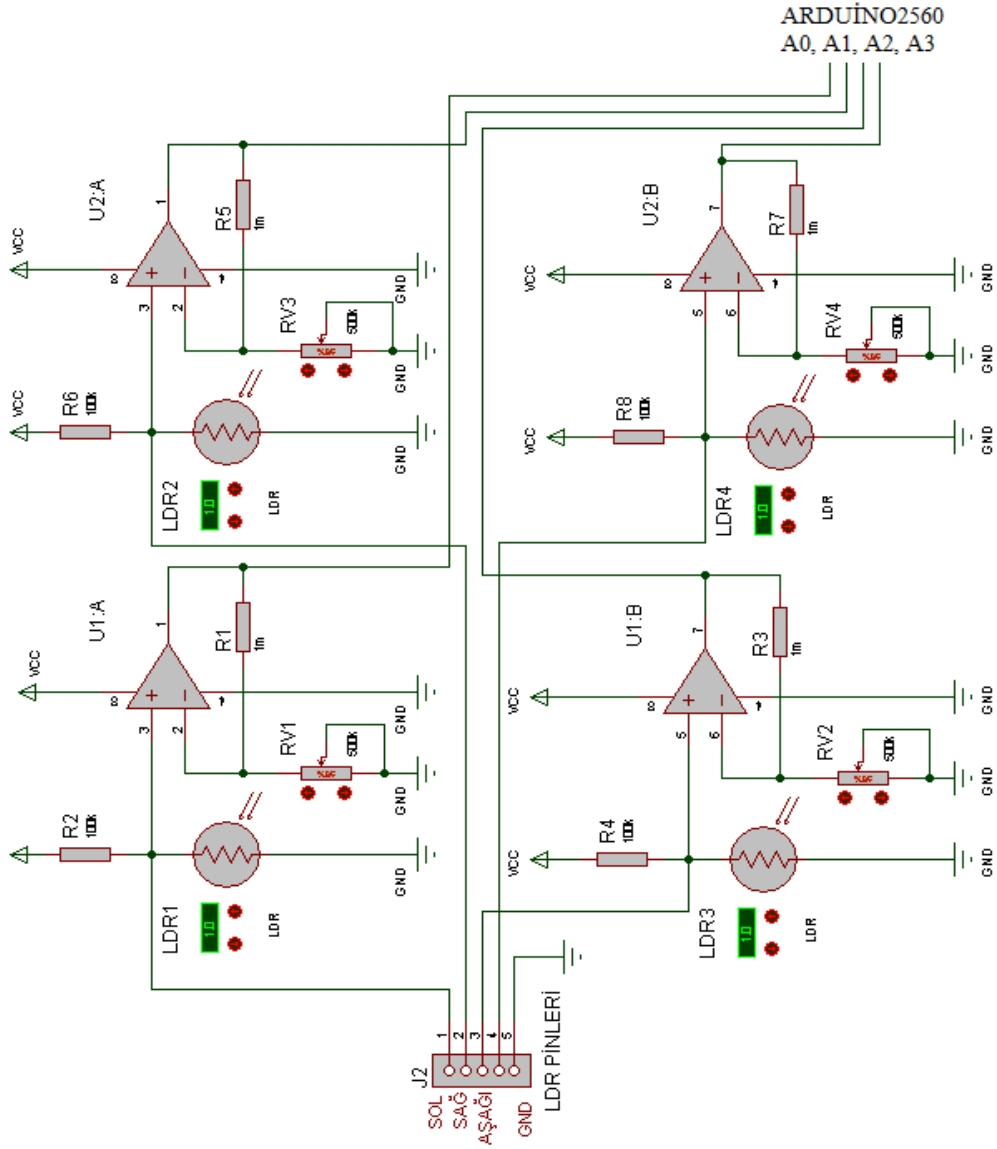


Resim 3. 9 Kontrol kartı.



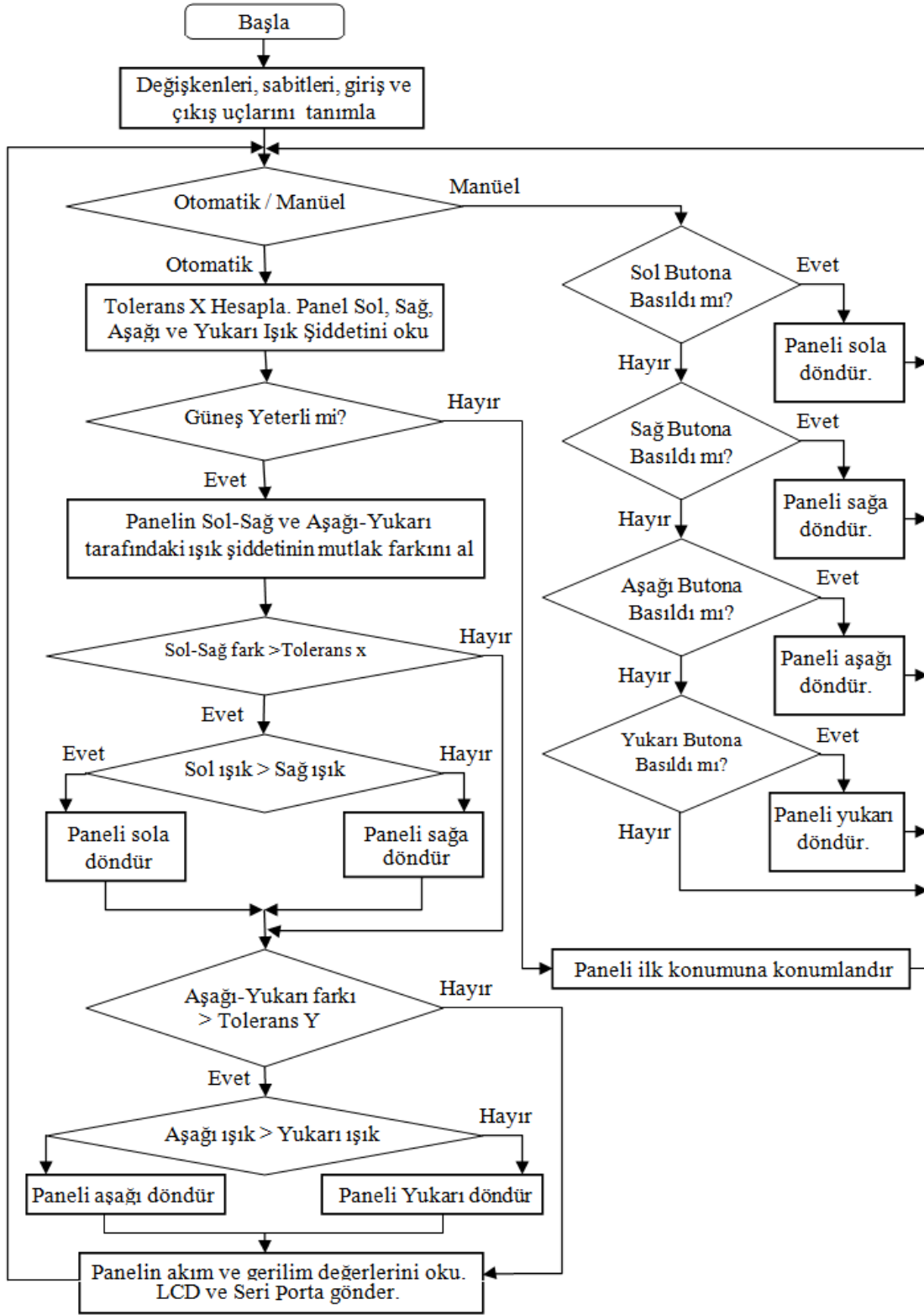
Şekil 3. 6 Kontrol kartı baskı devresi.

Tasarlanan sistemde güneşin yönünün belirlenmesi amacıyla hareketli panelin dış kenarlarında 4 adet ışığa duyarlı direnç (LDR) kullanılmıştır. Üretimdeki küçük hatalardan dolayı tüm LDR'ler aynı karakteristiğe sahip değildir. Bu nedenle üzerlerindeki gerilimler farklı olmaktadır. Bu durum panelin tam olarak güneşe yönlenmesine mani olmaktadır. Bu problemi çözmek için şekil 3. 7 'de verilen ışık seviyesi ölçme devresi tasarlanmıştır. Kart üzerinde bulunan trimpotlar sayesinde panelin normal vektörünün açısı ile güneşin yeryüzüne geliş açısı aynı doğrultuya denk düştüğünde, aşağı-yukarı LDR gerilimleri ve sol-sağ LDR gerilimleri birbirlerine eşit olacak şekilde kalibre edilmiştir.



Şekil 3. 7 LDR' ler için ışık seviyesi ölçme devresi.

3.10 Kontrolör Programı Akış Diyagramı



Şekil 3. 8 Güneş takip sistemi program akışı.

Tasarlanan güneş takip sistemi iki eksende kapalı döngü kontrol sistemi esasına göre güneşi takip etmektedir. Sistemin çalışma mantığını şekil 3.8'de verilen program akışı oluşturmaktadır. Sisteme enerji verildiğinde Arduino Mega2560 gerekli pin ayarlamalarını yaptıktan sonra otomatik / manüel seçim anahtarının konumunu sorgulamaktadır. Eğer anahtar manüel konumda ise kontrolör manüel kontrol butonlarının konumlarını taramaktadır. Butonlardan herhangi birine basılırsa panel basılan buton yönünde hareket edecektir (Resim 3.10). Panelin hareketleri her yönde sınır anahtarları ile sınırlandırılmıştır.



Resim 3. 10 Sistem ön paneli.

Otomatik / manüel seçim anahtarı otomatik konuma alınır ise kontrolör panel etrafındaki dört adet LDR 'den çevresindeki ışık şiddetini ölçmekte güneşin takip edilip edilmeyeceği hakkında karar vermektedir. Güneş takip edilemeyecek seviyede ortam kararlı ise sistem bu durumda akşam olduğuna karar vermekte; paneli güneşin doğduğu pozisyona otomatik olarak konumlandırmakta ve sabah güneşinin doğuşunu beklemektedir. Sabah güneşin doğuşu ile beraber takibat tekrar başlamaktadır. Eğer güneş ışığı yeterli düzeyde ise panel otomatik olarak güneşe yönelmekte ve güneş takibi başlamaktadır. Otomatik takip için panelin sol-sağ ve aşağı-yukarı yönlerindeki ışık şiddetlerinin mutlak farkları alınmakta eğer bu farklar tolerans değerlerinden küçükse panel konumunu korumakta, büyükse hangi yöndeki ışık şiddeti büyük olduğu tespit edilmekte ve panel o yöne yönlendirilmektedir.

Panelin yatay ve dikey eksendeki güneşi takibatı belirli bir tolerans değerine göre yapılmaktadır. Eğer takibat işlemi belirli bir tolerans değerine göre yapılmaz ise panel

sürekli sola - sağa veya aşağı - yukarı doğru kararsız hareketler yapacaktır. Panelin dikey eksenindeki hareketlerinin kontrolünde kullanılan tolerans değeri sabittir. Bu değer yapılan deneyler sonucunda optimum bir değere ayarlanmıştır. Nedeni ise dikey ekseninde panelin güneşi yüksek hassasiyetle takip etmesine gerek olmadığı görülmüştür. Çünkü yüksek hassasiyetle dikey ekseninde güneşin takibatı panelden elde edilen elektrik enerjisinde kayda değer bir değişim göstermemiştir. Panelin yatay eksenindeki hareketlerinin kontrolünde kullanılan tolerans değeri ise matematiksel bir fonksiyona göre hesaplanmakta ve değişkendir. Bu değer güneş ışınları yüksek seviyede ise tolerans düşürülmekte ve güneş takibi yüksek hassasiyetle yapılmakta; eğer hava puslu ve güneş ışınları zayıfsa tolerans değeri artırılmakta ve güneşin takibatı daha zayıf hassasiyetle yapılması yeterli olmaktadır. Bu durum bize sistemin öz tüketiminde tasarrufa gitmemizi sağlamaktadır. Panelin yatay eksenindeki hareketlerinin kontrolünde kullanılan tolerans değeri için;

$$\text{Tolerans}_x = (\text{Sol}/10) + 6 \quad (3.1)$$

Tolerans_x : Yatay ekseninde tolerans

Sol: Sol LDR'den okunan ham gerilim değeri

Formülde görüldüğü gibi sol LDR 'den okunan ham gerilim değeri ortam ışık seviyesi azaldıkça artacak dolayısı ile Tolerans_x artacaktır. Formülde altı değeri sabit olarak eklenmiştir. Aksi durumda tolerans değeri güneş ışınları yoğun olduğu zamanlarda çok azalmakta ve panel kararsız hareketler yapmaktadır.

3.11 Bilgisayar İçin Arayüz Programı

Bu uygulamada National Instruments firması tarafından geliştirilmiş olan Labview grafik programlama dili ile ara yüz programı oluşturulmuştur. Labview grafik programlama dili C, C++, C#, Basic gibi yazılım geliştirme platformudur. C, C++, C#, Basic gibi yazılım geliştirme platformları metin tabanlı iken Labview, grafiksel tabanlı yazılım geliştirme platformudur. Labview programları blok diyagram şeklinde oluşturulur.

Bir Labview programı üç ana parçaya sahiptir. Bunlar ön panel, blok diyagram ve bağlayıcılardır (connector). Ön panel bir Labview programının kullanıcı ara yüzüdür. Ön panel, tuşları, göstergeleri, sayısal giriş çıkış birimlerini, grafikleri ve benzeri görsel simgeleri kapsar. Blok diyagram, Labview’ de hazırlanmış grafik ara yüzün program kodudur. Bir blok diyagram, ikonlar, gömülü fonksiyonlar (nümerik, karşılaştırma, zamanlama ve benzeri) ve program kontrol yapılarından oluşur. Blok diyagram içindeki yapıları birbirine bağlayarak aralarında ilişki kurmak ve işlem yapmak mümkündür. Bağlayıcılar, programın veri geçitlerini sağlar (Arıcı 2014).

3.11.1 Labview Arayüz Programı Ön Paneli

Şekil 3.9’ da sistem arayüz programı, ön panel şekli verilmiştir. Ön panel (1) numaralı bölümde yatay eksen ve dikey eksen motorlarının dönüş yönleri ve panelin kontrolünün otomatik veya manuel durumları hakkında bilgi alınır.



Şekil 3. 9 Arayüz programı ön paneli.

(2) numaralı bölümde, "Veri Al" butonuna basıldığı esnada yük uçlarındaki akım ve gerilim değerleri ekrana getirilir. "Kaydet" butonuna basıldığında yük uçlarındaki akım ve gerilim değerleri seçmiş olduğumuz dosya yolundaki ".txt" dosyasına kaydedilir. "Aç" butonuna basıldığında dosya yolundaki dosya açılır. (3) numaralı bölümde yük uçlarındaki akım ve gerilimin grafikleri çizdirilir. (4) numaralı bölümde panelden yüke gönderilen akım ve gerilim değerleri analog göstergelerde anlık durumları takip edilebilmektedir.

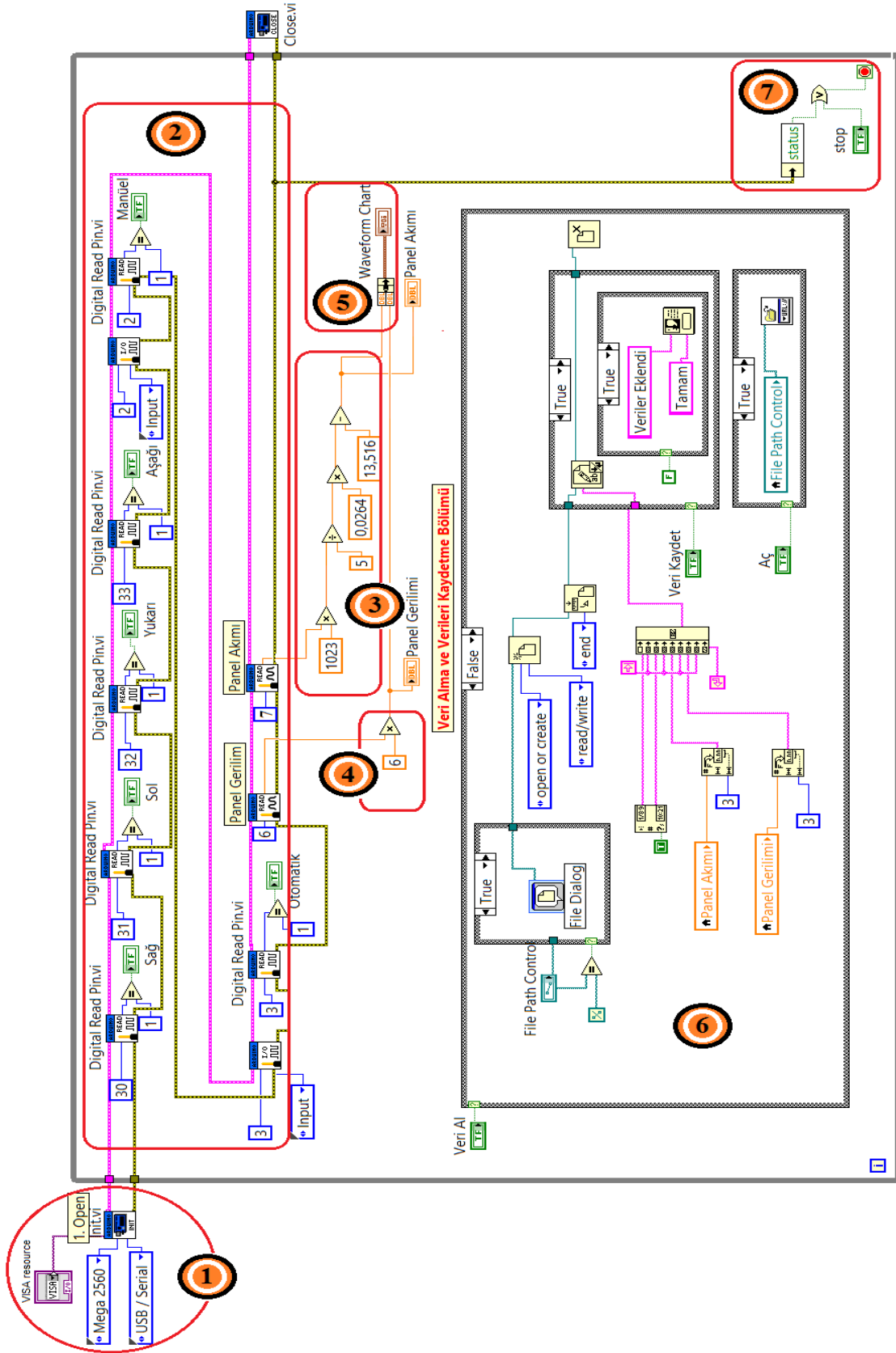
3.11.2 Labview Arayüz Programı Blok Diyagram

Labview programlama ortamında Arduino kartlarını kullanabilmek için Arduino-Labview arayüz paketinin Labview programına entegre edilmesi gerekir. Arduino için Labview arayüz paketi JKI VI Package Manager programı kullanılarak National Instruments firmasının internet sitesinden indirilebilir. Arduino için Labview arayüz paketi indirildikten sonra blok diyagramda görülen Arduino ile ilgili ikonlar görülmeye başlanacaktır.

Labview arayüz programı blok diyagram bir numaralı bölümde; seri port kaynağı, Arduino kart tipi ve Arduino - Labview arası iletişim şekli seçilmektedir.

Labview arayüz programı blok diyagram iki numaralı bölümde; yatay eksen ve düşey eksen motorlarının dönüş yönleri ve panelin kontrolünün otomatik veya manüel durumları hakkında bilgi almak için Digital Read ikonlarıyla ilgili pinler okunmaktadır. Aynı şekilde iki numaralı bölümde panelde üretilen gerilim ve akım bilgileri Analog Read ikonu ile okunmaktadır.

Labview arayüz programı blok diyagram üç numaralı bölümde; ACS712 sensöründen ham olarak alınan panel akım bilgileri gerçek akım bilgilerine dönüştürülmektedir.



Şekil 3. 10 Labview arayüz programı blok diyagram.

Labview arayüz programı blok diyagram dört numaralı bölümde; gerilimin gerçek değeri hesaplanması için Arduino analog uçlarında ölçülen değer 6 ile çarpılarak gerçek gerilim değeri bulunmuştur. Bunun nedeni, panel gerilimi Arduino Mega2560 analog giriş geriliminin üzerinde olduğu bir gerilim bölücü devre tarafından Arduino analog uçlarına gerçek gerilim değeri 1/6 oranında küçültülerek verilmiştir.

Labview arayüz programı blok diyagram beş numaralı bölümde; Bundle ikonu ile hesaplanan panel akım ve gerilim bilgileri birleştirilerek Waveform Chart ikonuna aktarılmakta ve grafiği çizdirilmektedir.

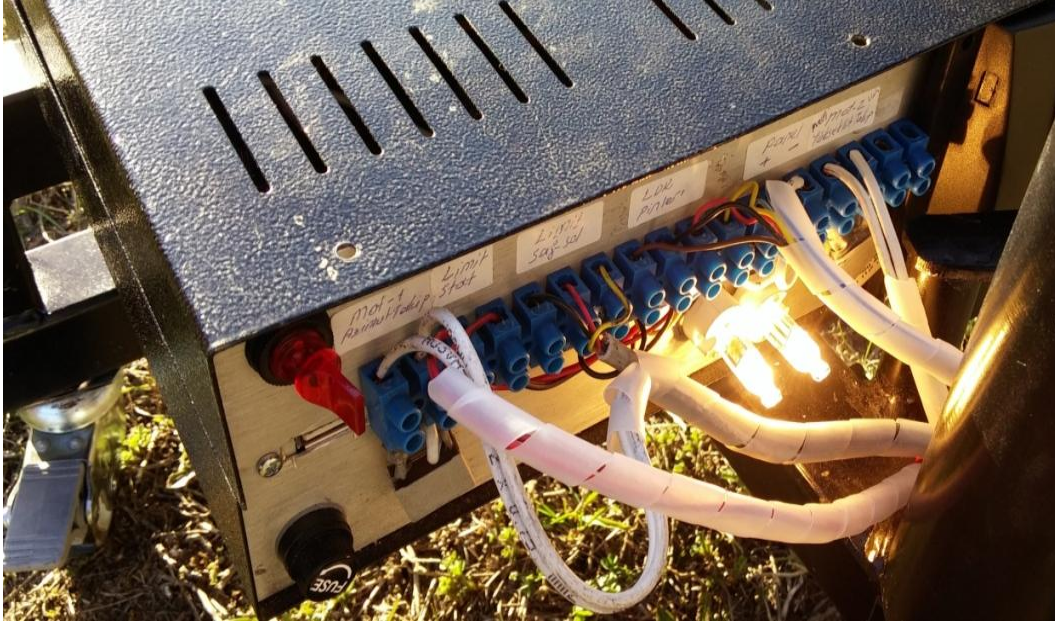
Labview arayüz programı blok diyagram altı numaralı bölümde; ara yüz programının ön panelinde "Verileri kaydet" butonu ile alınan panel akım ve gerilim verileri Number To Fractional String Function ikonlarıyla veriler alınmaktadır. Alınan veriler Concatenate Strings Function ikonuyla birleştirilmektedir. Oluşturulan veri kümesi belirlenen text dosyasına kaydedilmektedir.

Labview arayüz programı blok diyagram yedi numaralı bölümde; ön paneldeki stop butonuna basılması durumunda veya programda bir hata oluşması durumunda en dıştaki while döngüsünden çıkılmakta ve program kapatılmaktadır.

3.12 Güneş Takip Sisteminin çalışması

Laboratuvar deney seti olarak tasarlanan sistem iki eksende güneşi takip edebilmektedir. Bu işlemin seçimi ön paneldeki otomatik / manüel seçim anahtarı tarafından yapılmaktadır. Anahtar manüel konumda iken, ön panelde bulunan sol-sağ ve aşağı-yukarı butonları ile panel istenilen konuma konumlandırılabilir. Panel yatay ekseninde 280 ° lik açığı ve dikey ekseninde 120 ° lik açığı tarayabilmektedir.

Tasarlanan sistem iki adet 12 V 20 W' lık birbiri ile seri bağlı halojen lamba ile yüklenmektedir. Yüklerin seri bağlanmasının amacı, yük gerilimini artırmaktır. Bu sayede panelden daha verimli bir şekilde yararlanılmıştır.



Resim 3. 11 Panele bağlanan yükler.

Sistem otomatik ve manüel konumunda yüklerin çektiği akımı ve yüklerin üzerindeki gerilimi hem ön paneldeki LCD 'ye hem de sistemimizin USB çıkışından, bilgisayar üzerinde çalışan Labview programına göndermektedir. PV panelin ürettiği elektrik enerjisine ait akım ve gerilim değerleri Labview programı tarafından bir txt uzantılı dosyada saklanmakta, akım ve gerilim grafikleri çizdirilebilmektedir. Sistem bu özellikleri ile kullanıcıya; manüel konumda uygun bir konuma konumlandırılmış bir panelin ürettiği elektrik enerjisi ile güneşin otomatik olarak takip edildiği durumda panelin ürettiği elektrik enerjisini kıyaslama imkanı sunmaktadır.

Sistem üzerinde bulunan, regülatörü sayesinde şarj konumunda iken ürettiği elektrik enerjisini 7 Ah. lik aküye depolamaktadır. Bu depolanan enerji sayesinde yaklaşık 4 gün güneş takibi yapabilmektedir. Sistem üzerindeki akünün kapasitesi yükseltilerek sistemin güneşi takip süresi artırılabilir.

3.13 Güneş Takip Sisteminde Alınan Güvenlik Tedbirleri

Güneş takip sistemi portatif bir deney seti olarak tasarlandığı için kolay taşınabilmektedir. Bunu sağlamak için sistem şasesine dört adet hareketli tekerlek

takılmıştır. Fakat taşınabilir olması bazı sorunları da beraberinde getirmiştir. Taşıma esnasında panel el ile sağa veya sola doğru çevrilmesi durumunda panelin yatay eksenindeki hareketini kontrol eden motorun redüktör dişlilerinin bozulacağı görülmüştür. Bunun için panelin yatay eksenindeki hareketi bir kilitleme mekanizması ile kilitlemiştir (Resim 3.12).



Resim 3. 12 Panel kilitleme sistemi.

Sistemin başka bir güvenlik tedbiri ise panel kilitli iken kullanıcıların sistemi hata ile çalıştırabileceği ve panelin yatay hareketini kontrol eden motorun zorlanıp, zarar göreceği tespit edilmiştir. Bu problemin çözümü için sistemin besleme katına bir limit anahtarı konulmuştur. Sistemin çalıştırılabilmesi için bu anahtarın kapatılması gerekir (Resim 3.13). Tasarlanan sistem sayesinde kullanıcının anahtarı kapatabilmesi için önce panelin dönmesini engelleyen kilidi açması gerekir.



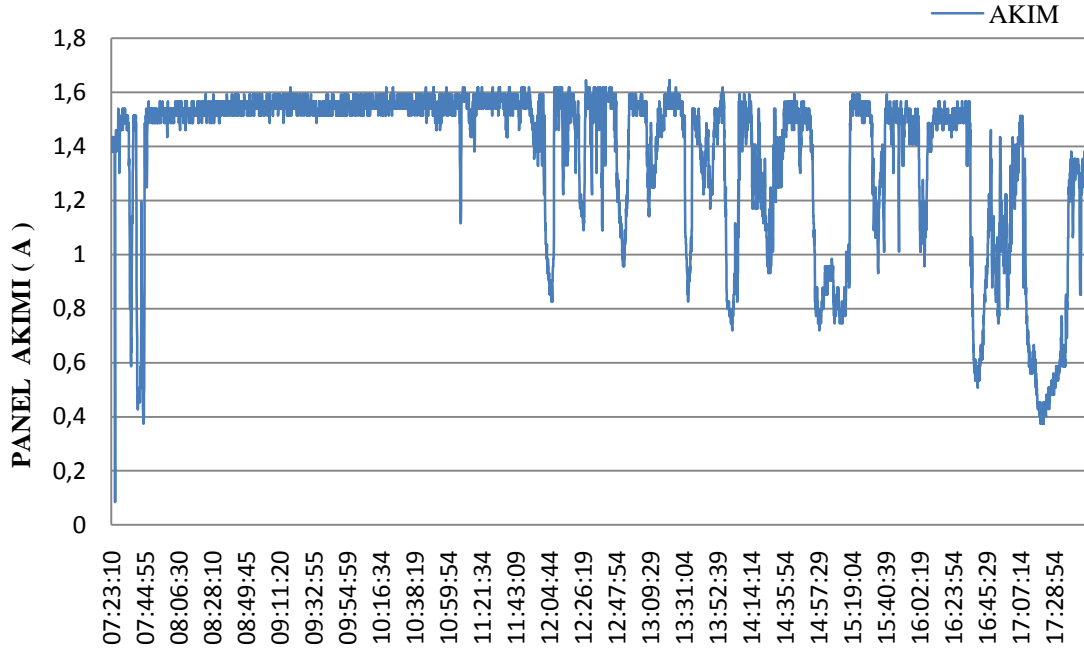
Resim 3. 13 Besleme katındaki limit anahtar kapatılırken.

3.14 Güneş Takip Sistemi İle Örnek Veri Toplama Çalışması

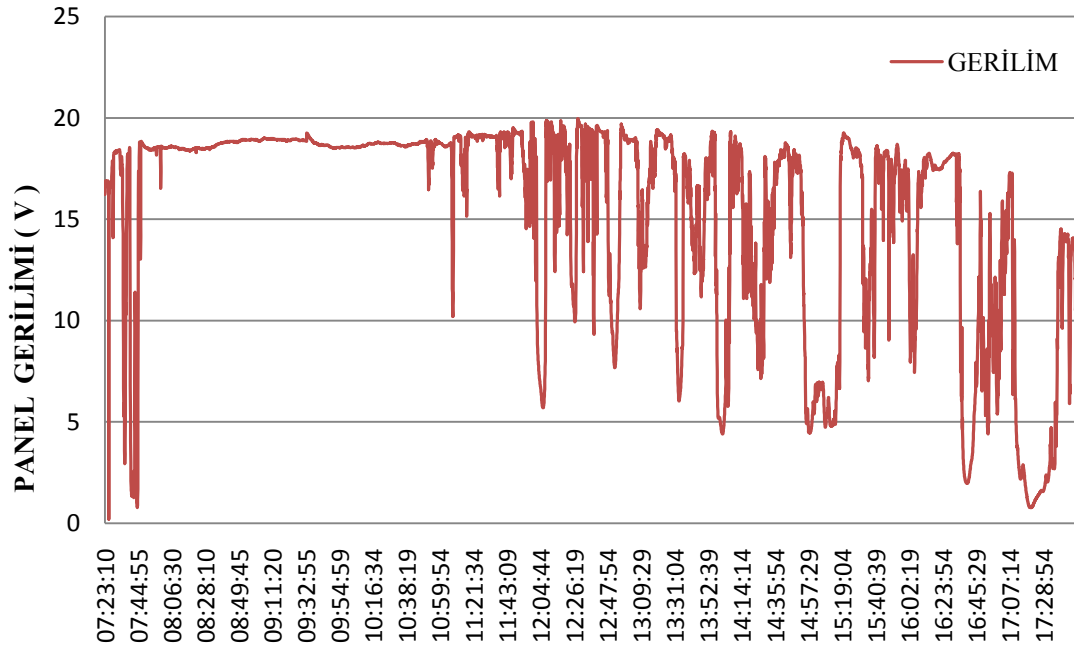
Aşağıda şekil 3.11 ve 3.12 'de yapılan veri toplama çalışması sonucunda, elde edilen güneş takip sistemine ait panel akım ve gerilim grafikleri verilmiştir. Veri toplama çalışması UŞAK ili Banaz ilçesinde 12.05.2016 tarihinde 7:23-17:49 saatleri arasında yapılmıştır. Panel 2 adet birbiri ile seri bağlı 12 volt 20 watt gücünde halojen lambalarla yüklenmiştir. PV panel olarak, çizelge 3.1 'de teknik özellikleri verilen panel kullanılmıştır. Güneş takip sistemi hareketli olarak çalıştırılmıştır. Bilgisayar üzerinde çalışan labview programı tarafından 5 saniye zaman aralıkları ile yüklerin çektiği akım ve gerilim verileri bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

Veri toplama çalışmasında hava zaman zaman bulutlanmış ve en yüksek sıcaklık 25 °C olarak ölçülmüştür. Havanın bulutlu geçtiği zaman aralıkları panel akım ve gerilim grafiklerinde açıkça görülmektedir. Sistem belirtilen zaman aralıklarında sorunsuz bir şekilde güneşi takip etmiş ve elde ettiği verileri bilgisayara göndermiştir. Panelden elde edilen; ortalama güç 22,574 W, ortalama akım 1,368 A ortalama gerilim 15,371 Volt olarak elde edilmiştir.

Veri toplama çalışmalarında saat:12:00 'dan sonra bulutlanma başlamıştır. 7:23-12:00 saatleri arasında panelden ortalama 28 watt civarı güç elde edilmiştir. Panelden elde edilen bu güç, maksimum gücün (40 W çizelge 3.1) %70 'dir.



Şekil 3. 11 Güneş takip sistemi panel akımı.



Şekil 3. 12 Güneş takip sistemi panel gerilimi.

4. TARTIŞMA ve SONUÇ

Isınan gezegenimizde buzullar her geçen gün eriyerek azalmakta ve ekolojik düzen bozulmaktadır. Ancak hem nüfus artışı hem de yoğun enerjiye dayalı sanayi üretiminin artması nedeniyle insanoğlunun enerji talebi artmaktadır. Bu nedenle yaşanabilir bir dünya için, enerji gereksinimi konusunda su, rüzgar, güneş, jeotermal gibi alternatif enerji kaynaklarına yönelme gerekliliği artık bir tercihten öte zorunluluk haline gelmiştir. Yaşanabilir bir dünya için çevre dostu enerji kaynaklarına yatırımlar desteklenmelidir.

Türkiye yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş açısından çok şanslıdır. Türkiye Avrupa ülkeleri arasında İspanya'dan sonra en iyi güneş ışımaya değerlerine sahiptir. Fakat yapılan araştırmalarda Türkiye'nin güneş enerjisinden elektrik üretimi konusunda yetersiz olduğu; bu önemli potansiyelini yeterince değerlendirmedeği görülmektedir. Türkiye 2014 yılında kurulu güneş santrali gücü 40,2 MW (TEİAŞ) iken, Avrupa'da bu konuda liderlik yapan Almanya, İtalya, İspanya, Fransa ve İngiltere'nin kurulu güneş santrali gücü 2014 yılında GW (Gigawatt) seviyesindedir.

Temiz, güvenilir ve çevre dostu bir enerji kaynağı olan ve fosil yakıtların kullanımından kaynaklanan çevre sorunlarının hiç birine yol açmayan güneş enerjisi gün geçtikçe önem kazanmaya ve yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde öne çıkmaya başlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları konusunda dünyada önemli bir potansiyele sahip olan Türkiye'de, bu kaynakların öncelikli tercih edilmesi ekonomik, sosyal ve çevre açısından birçok avantajı beraberinde getirecektir. Fosil yakıtlar nedeniyle yabancı kaynaklara bağımlılığın ortadan kaldırılması ya da mümkün olduğunca azaltılması ve yeni istihdam alanlarının açılması sağlanmış olacaktır.

Oluşturulan sistem otomatik olarak güneşi takip edebilmekte veya manüel olarak paneli kontrol edebilmektedir. Güneş takip sistemi, yükler tarafından panelden çekilen akım ve gerilim değerlerini başarılı bir şekilde bilgisayara göndermiş ve bu değerler bir dosyada saklanmıştır. Tezin 3. bölümünde, yapılan örnek veri toplama çalışmasına ait bilgiler ve elde edilen veriler doğrultusunda çizilen panel akım ve gerilim grafikleri verilmiştir.

Yapılan uygulama ile Türkiye'de gelişme aşamasında olan güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etme konusunda farkındalık oluşturulması, bu konuda araştırmalara katkıda bulunması, güneş verimliliğinin araştırılması, bir bölgenin güneş haritasının çıkarılması ve güneş enerjisinin ülkemizde kullanımının yaygınlaştırılması amaçlanmıştır.

5. KAYNAKLAR

- Adıyaman, Ç. (2012). Türkiye'nin yenilenebilir enerji politikaları. Yüksek lisans tezi, Niğde Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Niğde.
- Altın, V. (2004). Güneş enerjisinden yararlanılarak elektrik üretimi. *Mimar ve Mühendis Dergisi*, **33**: 28-31.
- Arıcı, İ. (2014). Labview tabanlı bir elektronik deney seti geliştirilmesi. Yüksek lisans tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- Başoğlu, M.E. (2013). Güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan maksimum güç noktası izleyicili yükseltici da-da dönüştürücü analizi ve gerçekleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Bayrak, G., Gençoğlu M.T. (2011). İki eksenli güneş takip sisteminin tasarımı ve PLC ile kontrolü. Otomatik Kontrol Türk Milli Komitesi Ulusal Toplantısı, İzmir,14-16 Eylül, 407-411.
- Çıtıroğlu, A. (2000). Güneş enerjisinden yararlanarak elektrik üretimi. *Mühendis ve Makine Dergisi*, **485**: 14-19.
- Çolak, Ş.Ç. (2010). Fotovoltaik paneller yardımı ile güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin maliyet analizi ve gelecekteki projeksiyonu. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Diñer, F. (2011). Türkiye'de güneş enerjisinden elektrik üretim potansiyeli – ekonomik analizi ve AB ülkeleri ile karşılaştırmalı değerlendirme. *KSU Mühendislik Dergisi*, **14**: 8-17
- Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi (2009). Dünya'da ve Türkiye'de güneş enerjisi.
- EÜAŞ (2014). Elektrik Üretim Sektör Raporu.
- Gemicioğlu, A. G. (2011). Türkiye'de enerji verimliliği açısından PV sistemlerin performansının değerlendirilmesinde kullanılacak bir yaklaşım. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Huang, B.J., Ding, W.L. and Huang, Y.C. (2011). Long-term field test of solar PV power generation using one-axis 3-position sun tracker. *Solar Energy*, **85**: 1935-1944

- Kılıç, F. Ç. (2015). Güneş enerjisi, Türkiye'deki son durumu ve üretim teknolojileri, *Mühendis ve Makina Dergisi*, **671**: 28-40.
- Kalogirou, S.A. (2009). Solar energy engineering process and systems, elsevier, New York.
- Karamanav, M. (2007). Güneş enerjisi ve güneş pilleri. yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Muhtaroglu, K. T. (2012). Güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren çevre dostu sistemin tasarlanması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Oral, G. (2015). İki eksenli güneş izleme panelinin kontrolü. yüksek lisans tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Orhun, M. (2013). Farklı güneş panellerinin adaptif bir güneş takip sistemi üzerinde yıllık performanslarının karşılaştırılması ve güç tahmini. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- REN21 (2015). Renewables 2015 global status report, renewables energy policy network for the 21st century, Paris, France.
- Roth, P., Georgiev, A., Boudinov, H., (2005). Cheap two-axis sun following device. *Energy Conversion and Management*. **46**: 1179-92.
- Sefa, İ., Demirtas, M. and Çolak İ. (2009). Application of one-axis sun tracking system. *Energy Conversion and Management*, **50**: 2709-2718
- Sezgin, B. (2014). Güneş ışınlarını takip eden panelin hareket etmesini sağlayacak bir sistemin geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Seme, S. and Stumberger, G. (2011). A novel prediction algorithm for solar angles using solar radiation and differential evolution for dual-axis sun tracking purposes. *Solar Energy*, **85**: 2757-2770.
- Solar Power Europe (2015). Global market outlook for solar power 2015-2019, Belçika
- Sungur, C. (2009). Multi-axes sun-tracking system with PLC control for photovoltaic panels in Turkey. *Renewable Energy*, **34**: 1119-1125.
- Şenpınar, A. (2006). Güneş açılarına bağlı olarak optimum sabit güneş paneli açısının hesaplanması, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları

İnternet Kaynakları

- 1- <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes>, 09.01.2016
- 2-[http://www.teias.gov.tr/T%C3%BCrkiyeElektrik%C4%B0statistikleri/istatistik2014/kguc\(1-13\)/4.xls](http://www.teias.gov.tr/T%C3%BCrkiyeElektrik%C4%B0statistikleri/istatistik2014/kguc(1-13)/4.xls), 10.01.2016
- 3-<http://www.teias.gov.tr/FaaliyetRaporlari/faaliyetrap2014/2014.pdf>, 09.01.2016
- 4-<http://www.teias.gov.tr/yukdagitim/2015geciciuretimtuketim.htm>, 15.05.2016
- 5-<http://www.kuark.org/2014/12/gunes-pilleri-nasil-calisir/>, 06.04.2016
- 6-<http://www.allegromicro.com/~media/Files/Datasheets/ACS712-Datasheet.ashx>, 10.02.2016
- 7-http://www.soselectronic.pl/a_info/resource/c/SOLSUM8.8F.pdf, 15.01.2016
- 8-<http://www.supplysolarpanel.com/pdf/SL40TU-18P.pdf>, 14.02.2016
- 9-<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>, 16.02.2016
- 10-<http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00000240.pdf>, 20.02.2016
- 11-http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx, 11.03.2016
- 12- <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>, 13.03.2016
- 13- <http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/tgunes.html>, 15.03.2016
- 14- <http://www.teias.gov.tr/yukdagitim/kuruluguc.xls>, 15.05.2016

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hüseyin KAN
Doğum Yeri ve Tarihi : Salihli-02/11/1974
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) :5058183090 - kanhuseyin@yahoo.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Salihli Endüstri Meslek Lisesi (1989-1992)
Lisans : Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi (1992-1996)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi (2014-2016)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Banaz Şehit Tuncay Durmuş Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi (1996-2016)

Yayımları (SCI ve diğer) :

Çengelci, B. ve Kan, H. (2016). Uygulama amaçlı iki eksenli güneş takip sistemi, 1. Uluslararası Mühendislik Teknolojileri ve Uygulamalı Bilimler Konferansı, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, 21-22 Nisan.

EKLER

EK:1 Kontrol Kartı Devresi.

