

**ARDUİNO TABANLI MPPT SOLAR ŞARJ KONTROLÖRÜ TASARIMI VE
UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hakan Yahya AKDENİZ

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet YÖNETKEN

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ – YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ
ANABİLİM DALI

Haziran 2019

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ARDUİNO TABANLI MPPT SOLAR ŞARJ KONTROLÖRÜ
TASARIMI VE UYGULAMASI

Hakan Yahya AKDENİZ

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Yönetken

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ – YENİLENEBİLİR ENERJİ
SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI

Haziran 2019

TEZ ONAY SAYFASI

Hakan Yahya AKDENİZ tarafından hazırlanan “Arduino Tabanlı MPPT Solar Şarj Kontrolörü Tasarımı ve Uygulaması” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 20./06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği / oy çokluğu** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektrik Mühendisliği-Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

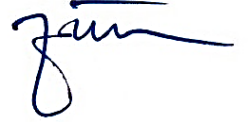
Danışman : Dr. Öğretim Üyesi Ahmet YÖNETKEN

İmza

Başkan : Dr. Öğretim Üyesi Emre AKARSLAN
Afyon Kocatepe Ü., Mühendislik Fakültesi



Üye : Dr. Öğretim Üyesi Ahmet YÖNETKEN
Afyon Kocatepe Ü., Mühendislik Fakültesi



Üye : Dr. Öğretim Üyesi Ahmet BİÇER
Burdur Mehmet Akif Ersoy Ü., Gölhisar SHMYO



Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve

..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. İbrahim EROL

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.

17/06/2019

H. Y. Akdeniz

Hakan Yahya AKDENİZ

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

ARDUİNO TABANLI MPPT SOLAR ŞARJ KONTROLÖRÜ TASARIMI VE
UYGULAMASI

Hakan Yahya AKDENİZ
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Mühendisliği – Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet YÖNETKEN

Gelişen teknoloji ve sanayileşme, enerjiye olan ihtiyacı her geçen gün arttırmaktadır. Enerji üretiminde fosil yakıtlar önemli bir yer teşkil etmektedir. Bu kaynakların çevreci olmaması ve yakın zamanda tükeneceğinin öngörülmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan gereksinimi arttırmaktadır. Bu kaynaklardan biri de güneş enerjisidir. Fotovoltaik paneller kullanılarak güneş ışınımından elektrik enerjisi elde edilmektedir.

Fotovoltaik panellerden elde edilen enerji; ışınım, sıcaklık, kirlenme gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle, şebekeden bağımsız sistemlerde panelin doğrudan doğruya aküyü şarj etmesi uygun değildir. Fotovoltaik sistemlerde akım ve gerilim doğrusal olmayan bir şekilde artmakta olup, gücün maksimum olduğu bir nokta vardır. Bu maksimum güç noktası çeşitli yöntemlerle izlenmekte ve enerji mümkün olan en az oranda kayba uğrayarak depolanmaktadır. Bataryanın tamamen boşalması ya da aşırı şarj olmasının önüne geçmek için şarj kontrolör devreleri kullanılmaktadır. Kontrollü bir şekilde yapılan şarj, bataryanın ömrünün daha uzun olmasını sağlamaktadır. Bu işlemi gerçekleştirmek için MPPT ve PWM şarj kontrolörleri kullanılmaktadır. PWM kontrolörlerin verimi oldukça düşüktür. MPPT kontrolörler ise panelden çekebileceği maksimum enerjiyi elde etmeye çalışmaktadır.

Bu tez çalışmasında, Arduino ile kontrol edilen maksimum güç noktası izleyici solar şarj kontrolörü devresi tasarlanmış, devre gerçekleştirilmiş ve deneysel çalışmaların sonuçları

irdelenmiştir. Maksimum güç noktasının takibinde değiştir-gözle (P&O) yöntemi kullanılmıştır. Fotovoltaik panellerden elde edilen enerjinin verimliliğinin artırılması amaçlanmıştır.

2019, xii + 65 sayfa

Anahtar Kelimeler: Maksimum güç noktası, Değiştir ve gözle, Arduino, Yenilenebilir enerji, Güneş enerjisi

ABSTRACT
M.Sc. Thesis

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF ARDUINO BASED MPPT SOLAR
CHARGE CONTROLLER

Hakan Yahya AKDENİZ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical Engineering – Renewable Energy Systems

Supervisor: Asst. Prof. Ahmet YÖNETKEN

Developing technology and industrialization increase the need for energy every day. Fossil fuels play an important role in energy production. The fact that these resources are not environmentally friendly and that they will soon be exhausted increases the need for renewable energy sources. One of these sources is solar energy. Photovoltaic panels provide electrical energy from solar radiation.

Energy from photovoltaic panels varies depending on factors such as radiation, temperature and contamination. Therefore, in off-grid systems, it is not appropriate for the panel to charge the battery directly. In photovoltaic systems, the current and voltage increase non-linearly and there is a point where power is maximum. This maximum power point is monitored by various methods and the energy is stored with minimum loss. Charge controller circuits are used to prevent the battery from being completely discharged or overcharged. Controlled charging ensures longer battery life. MPPT and PWM charge controllers are used to perform this operation. PWM controllers have very low efficiency. MPPT controllers try to get the maximum energy they can pull from the panel.

In this thesis, Arduino controlled maximum power point tracer solar charge controller circuit was designed, the circuit was performed and the results of experimental studies were examined. The perturb and observe (P & O) method was used to monitor the maximum power point. It is aimed to increase the efficiency of energy obtained from

photovoltaic panels.

2019, xii + 65 pages

Keywords: Maximum power point, Perturb and observe, Arduino, Renewable energy,
Solar energy

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel alışmaların ynlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarında dolay tez danışmanım Sayın Dr. ğr. yesi Ahmet YÖNETKEN'e, her konuda neri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı eşim Mevlde AKDENİZ'e ve aileme teşekkür ederim.

Hakan Yahya AKDENİZ
AFYONKARAHİSAR, 2019

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
RESİMLER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
2.1 Enerji.....	3
2.2 Yenilenebilir Enerji.....	4
2.3 Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	5
2.3.1 Güneş Enerjisi	5
2.3.2 Rüzgar Enerjisi.....	6
2.3.3 Hidrolik Enerji	6
2.3.4 Jeotermal Enerji	7
2.3.5 Biyokütle Enerjisi.....	8
2.3.6 Dalga Enerjisi.....	8
2.4 Dünya’da Yenilenebilir Enerji Kullanımı.....	9
2.5 Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kullanımı.....	10
2.6 Fotovoltaik Sistemler	12
2.6.1 Güneş Işınımı	13
2.6.2 Güneş Hücresi	16
2.6.3 Güneş Hücresi Çeşitleri.....	20
2.7 Maksimum Güç Noktası İzleme	20
2.8 Maksimum Güç Noktası İzleme Yöntemleri	22
2.8.1 Doğrudan Maksimum Güç Noktası İzleme Yöntemleri	22
2.8.2 Dolaylı Maksimum Güç Noktası İzleme Yöntemleri	22
2.8.3 Maksimum Güç Noktası İzleme Yöntemlerinin İncelenmesi.....	23
2.8.3.1 Değiştir-Gözle Yöntemi	23

2.8.3.2 Artan İletkenlik Yöntemi.....	24
2.8.3.3 Kısa Devre Akımı Yöntemi.....	24
2.8.3.4 Sabit Gerilim Yöntemi.....	25
2.8.3.5 Açık Devre Gerilimi Yöntemi.....	26
2.8.3.6 Bulanık Mantık.....	26
2.9 DA-DA Dönüştürücüler.....	27
2.9.1 Düşüren Dönüştürücüler.....	27
2.9.2 Yükselten Dönüştürücüler.....	29
2.9.3 Düşüren-Yükselten Dönüştürücüler.....	30
3. MATERYAL ve METOT.....	32
3.1 Solar Şarj Kontrolörünün Özellikleri.....	32
3.2 Sistem Donanımı.....	33
3.2.1 Arduino.....	35
3.2.2 ACS712 Akım Sensörü.....	37
3.2.3 Gerilim Bölücü Devre.....	39
3.2.4 Düşüren Dönüştürücü Devre.....	40
3.2.5 Gerilim Regülatörü.....	42
3.2.6 Bluetooth Modülü.....	42
3.2.7 Likit Kristal Ekran.....	43
3.3 Sistem Yazılımı.....	43
3.3.1 Arduino Yazılımı Arduino IDE.....	44
3.3.2 Android Uygulama.....	46
4. BULGULAR.....	49
4.1 MPPT Şarj Kontrolörünün Farklı Sıcaklık Değerlerinde Test Edilmesi.....	50
4.2 MPPT Şarj Kontrolörünün Farklı Hava Koşullarında Test Edilmesi.....	51
4.3 MPPT Şarj Kontrolörünün, Akümülatörün Farklı Doluluk Oranlarında Test Edilmesi.....	52
4.3 Emülatör Tarafından Hesaplanan Maksimum Güç Noktası Değerleri.....	53
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	55
6. KAYNAKLAR.....	58
ÖZGEÇMİŞ.....	65

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

A	Amper
C	Kondansatör
D	Görev döngüsü
e	Elektron yükü
I _{max}	Maksimum güç noktasının akımı
L	Bobin
P	Güç
P _{max}	Maksimum güç
R	Direnç
T	Sıcaklık
V	Volt
V _{max}	Maksimum güç noktasının gerilimi
Ω	Ohm

Kısaltmalar

DA	Doğru akım
DC	Doğru akım
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
FV	Fotovoltaik
LCD	Likit kristal ekran
MGNİ	Maksimum güç noktası izleyici
MPP	Maksimum güç noktası
MPPT	Maksimum güç noktası izleyici
PWM	Darbe genişlik modülasyonu
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim A.Ş.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Enerji kaynaklarının kategorizasyonu.....	3
Şekil 2.2 2016 yılı itibariyle Dünya ülkeleri toplam elektrik enerjisi üretiminin kaynak bazında dağılımı.....	9
Şekil 2.3 Türkiye'nin kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı.....	10
Şekil 2.4 Birincil enerji kaynakları açısından Türkiye'nin kurulu gücünün yıllara göre değişimi.....	11
Şekil 2.5 2017 yılı yenilenebilir enerji kaynaklarının dağılımı.....	11
Şekil 2.6 Fotovoltaik panellerde oluşan kayıpların nedenleri.....	13
Şekil 2.7 Türkiye Güneş enerjisi potansiyeli atlası.....	14
Şekil 2.8 Türkiye'de aylara göre saat cinsinden güneşlenme süreleri.....	15
Şekil 2.9 Türkiye'de aylara göre KWh/m ² cinsinden global radyasyon değerleri.....	15
Şekil 2.10 Fotovoltaik hücre, modül ve diziler.....	16
Şekil 2.11 Güneş pilinin yapısı.....	17
Şekil 2.12 Güneş pilinin tek diyotlu eşdeğer devresi.....	18
Şekil 2.13 Güneş paneline düşen ışınımın akım, gerilim ve güç üzerindeki etkisi.....	19
Şekil 2.14 Güneş panelindeki sıcaklığın akım, gerilim ve güç üzerindeki etkisi.....	19
Şekil 2.15 Güneş hücresine ait I-V grafiği ve maksimum güç noktası.....	21
Şekil 2.16 Artan iletkenlik yöntemini açıklayan P-V grafiği.....	24
Şekil 2.17 Sabit gerilim yöntemine ait akış diyagramı.....	25
Şekil 2.18 Bulanık mantığın temel yapısı.....	27
Şekil 2.19 Düşüren dönüştürücü devre şeması.....	28
Şekil 2.20 Düşüren dönüştürücü bobin akım-gerilim grafiği.....	28
Şekil 2.21 Yükselten dönüştürücü devre şeması.....	29
Şekil 2.22 Yükselten dönüştürücüde bobine ait akım gerilim dalga şekilleri.....	30
Şekil 2.23 Düşüren-yükselten dönüştürücü devre şeması.....	31
Şekil 3.1 Solar şarj kontrolörü devresi blok diyagramı.....	33
Şekil 3.2 Solar şarj kontrolörü devre şeması.....	34
Şekil 3.3 Baskı devre ve malzeme yerleşim şeması.....	34
Şekil 3.4 Arduino Nanopin konfigürasyonu.....	36
Şekil 3.5 ACS712 sensörünün akım artışına bağlı gerilim değişimi grafiği.....	38
Şekil 3.6 ACS712 akım sensörünün devreye bağlantısı.....	38
Şekil 3.7 Fotovoltaik panel geriliminin ölçülmesi.....	40

Şekil 3.8 Batarya geriliminin ölçülmesi.....	40
Şekil 3.9 Kontrolörde bulunan düşüren dönüştürücü devre şeması	41
Şekil 3.10 HC-05 Bluetooth modülü bağlantı şeması.....	43
Şekil 3.11 Değiştir ve gözle algoritması akış diyagramı	45
Şekil 3.12 Bluetooth bağlantısına ilişkin kod bloğu	47
Şekil 3.13 Verilerin okunmasına ilişkin kod bloğu	48

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Değiştir gözle yönteminde güç değişimine göre çalışma adımları.....	23
Çizelge 3.1 Arduino Nanoteknik özellikleri.....	36
Çizelge 3.2 Panel ve aküye göre şarj durumu.....	46
Çizelge 4.1 Fotovoltaik panelin elektriksel özellikleri.....	50
Çizelge 4.2 Sıcaklık ile maksimum güç noktası değişimi.....	50
Çizelge 4.3 Işınım ile maksimum güç noktası değişimi.....	51
Çizelge 4.4 Batarya ve panel değerlerine göre şarj olma durumu.....	52
Çizelge 4.5 Emülatör ve kontrolör devre değerlerinin karşılaştırılması.....	54

RESİMLER DİZİNİ

Sayfa

Resim 3.1 Devre kartı	35
Resim 3.2 ACS712 akım sensörü.....	37
Resim 3.3 LM2596 gerilim regülatörü.....	42
Resim 3.4 Devrede kullanılan LCDekranın görünümü.....	43
Resim 3.5 Arduino IDE’de yazılan programın ekran görüntüsü.....	44
Resim 3.6 MIT App Inventor tasarım alanı görüntüsü.....	47
Resim 3.7 Uygulamanın ekran görüntüsü.....	48
Resim 4.1 Deney düzeneği.....	49
Resim 4.2 Farklı şarj durumlarında LCD ekran görüntüsü	52
Resim 4.3 Magna Power PPPE kullanıcı arayüzü.....	53

1. GİRİŞ

Enerji ihtiyacı; günümüzde sanayinin ve teknolojinin gelişmesi, enerjiye gereksinim duyan teknolojik aletlerin artması ve yaygınlaşması ile birlikte hat safhaya ulaşmıştır. Enerji ihtiyacı geleneksel enerji kaynağı olarak adlandırılan fosil yakıtlardan sağlanmaktayken; bu yakıtların sınırlı olması, çevreyi kirletmesi, yeniden kullanımının mümkün olmaması gibi faktörler alternatif enerji kaynağı arayışlarını ortaya çıkarmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının sonsuz, temiz, ucuz ve yeniden kullanılabilir nitelikte olması, bu kaynakları fosil yakıtların alternatifi konumuna getirmiştir. Ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanabilmek adına enerji politikaları geliştirmekte ve daha fazla yatırım yapmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin ve verimli bir şekilde kullanılması hakkında araştırmalar yapılmaktadır. Enerji üretiminde en önemli faktörlerden biri verimliliklerdir. Verimli şekilde enerji üretimi maliyetleri azaltmakta, enerji kaybının önüne geçmektedir.

Güneş bütün enerjilerin ana kaynağıdır. Fotovoltaik paneller kullanılarak güneşten doğrudan doğruya enerji üretilebilmektedir. Panellerden elde edilen enerji gün içinde; gölgelenme, ışınım şiddeti, sıcaklık, fiziksel deformasyon gibi faktörlere bağlı olarak gün değişkenlik göstermektedir. Bu değişken koşullar altında panelden elde edilen enerji ile akünün doğrudan doğruya şarj edilmesi uygun değildir. Panelden elde edilen enerji ile akümülatörün şarj edilmesi için şarj kontrolörleri kullanılması gerekmektedir. Fotovoltaik sistemlerde MPPT ve PWM şarj kontrolörleri kullanılmaktadır. PWM şarj kontrolörleri panelden elde ettikleri enerjiyi akümülatör gerilimine uygun hale getirmek için PWM metodunu kullanmakta, enerjinin gerekli olan kısmını almakta, fazla olan kısmını kullanmamaktadır. Bu yöntemde enerji kaybı ortaya çıkmaktadır. Enerji kaybının önüne geçilmesi ve panelden elde edilebilecek maksimum enerjinin elde edilebilmesi için MPPT şarj kontrolörleri geliştirilmiştir. Bu kontrolörler lineer olarak değişmeyen akım ve gerilimin, maksimum güç üretmek için uygun olduğu değerleri tespit ederek en fazla miktarda gücün depolanmasını sağlamaktadır. Maksimum güç noktasını izlemek için çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir. Değişir gözle (P&O) yöntemi basit yapısı ve doğru sonuçlar vermesi nedeniyle yaygın olarak MPPT algoritmalarının işletilmesinde

mikrodenetleyiciler kullanılmaktadır. Alanyazında farklı mikrodenetleyiciler ile geliştirilmiş şarj kontrolörlerine rastlanmaktadır. Arduino günümüzde kullanımı yaygınlaşan, kolay programlanabilen, açık kaynak kodlu bir mikrodenetleyici kartıdır. Çalışması için gerekli elektronik donanımı üzerinde bulundurduğu için özellikle hızlı bir şekilde prototip geliştirme amacıyla kullanılması mümkündür. Devre tasarımında kullanılacak birçok bileşenin modüler yapıda olması tasarımı kolaylaştırmaktadır.

Alanyazında maksimum güç noktası izleyici hakkında çok sayıda çalışmaya rastlanmaktadır. Bu çalışmalarda maksimum güç noktası izleyici tasarımları, algoritmaları, maksimum güç noktası izleme yöntemlerinin geliştirilmesi ve birlikte kullanılması üzerinde durulmaktadır.

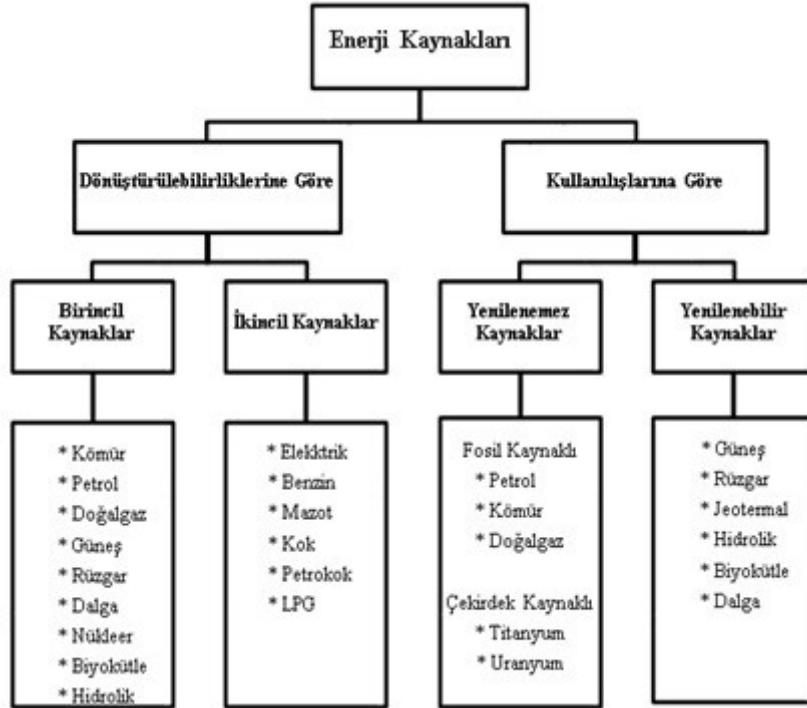
MPPT hakkında alanyazında bulunan çalışmaların önemli bir kısmı teorik çalışmalardan oluşmakta, uygulamalı çalışmaların yetersiz olduğu görülmektedir. Bu çalışmada; Arduino tabanlı, değiştir-gözle algoritmasını kullanan, maksimum güç noktası takibi yapan bir solar şarj kontrolörü tasarlanmış, gerçekleştirilmiş ve farklı hava koşullarında test edilmiş, değişen ışınım ve ısı faktörlerinden nasıl etkilendiği araştırılmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Enerji

Enerji, en genel tanımıyla bir sistemin veya cismin iş yapabilme yeteneği olarak ifade edilmektedir. Enerji bir sistemin çalışması, çalışmasını devam ettirmesi, mevcut konumunu değiştirmesi için duyduğu temel gereksinimdir. Enerji doğrudan gözlemlenememesine karşın, varlıklar üzerinde oluşturduğu etki gözlemlenebilmekte ve bu gözlemlere dayalı olarak hesaplanabilmektedir (Bozkurt 2008).

Enerjinin korunumu ilkesine göre enerji kullanıldığında yok olmamakta, başka bir enerji formuna dönüşmektedir. Bu değişim sonucunda sistemin toplam enerjisi sabit kalmaktadır. Bu ilkedan yola çıkarak enerji kaynaklarından elde edilen farklı yapıda bulunan enerji birtakım işlemler sonunda elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Elektrik enerjisinin üretilmesi için farklı enerji kaynakları kullanılmaktadır. Enerji kaynakları, kullanılış, dönüştürülebilirlik özelliklerine göre sınıflandırılmakta ve bu kaynaklarının kategorizasyonuna ait şema Şekil 2.1’de gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Enerji kaynaklarının kategorizasyonu (Koç vd. 2018).

Enerji kaynakları dönüştürülebilirliklerine göre incelendiğinde birincil kaynaklar ve ikincil (nihai) kaynaklar olarak sınıflandırılmaktadır. Birincil enerji kaynakları, nihai enerji kaynaklarına dönüştürülmek için kullanılmaktadır. İkincil enerji kaynakları, birincil enerji kaynaklarının işlenmiş ve dönüştürülmüş formudur (Karataş 2009). Örnek verecek olursak güneş birincil enerji kaynağı, güneşten üretilen elektrik ise ikincil enerji kaynağıdır.

Yenilenemez enerji kaynakları, doğada sınırlı miktarda bulunan, kullanıldığında tükenen, yeniden oluşması için çok uzun bir sürenin geçmesi gereken kaynaklardır. Enerji üretimi için gerekli ham maddenin kolay bulunması sebebiyle sıklıkla tercih edilmektedir. Enerji kaynağının sınırlı olması ve her geçen gün kullanıma bağlı olarak azalması hammadde fiyatlarının ve dolayısıyla enerji üretim maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Yenilenemez enerji kaynaklarının sebep olduğu ekonomik, çevresel ve toplumsal sorunların ortadan kaldırılabilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ortaya çıkmıştır.

2.2 Yenilenebilir Enerji

Dünyada enerjiye ve dolayısıyla enerji kaynaklarına olan ihtiyaç sürekli artış göstermektedir. Sanayinin gelişmesi, nüfusun artması, teknolojinin gelişmesi ve teknolojik ürünlerin kullanımının yaygınlaşması, enerji talebinin ve ihtiyacının bu denli artmasına neden olmaktadır.

Günümüzde enerji ihtiyacının büyük bir kısmı fosil yakıtlar kullanılarak karşılanmaktadır. Fosil yakıtlar ile enerji üretimi, çeşitli hastalıklara ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. Ayrıca yakın gelecekte fosil yakıtların tükeneceğinin öngörülüyor olması da yeni enerji kaynakları bulma konusunda çalışmaların hızlanmasına sebebiyet vermektedir (Andreea *et al.* 2008). Bu çalışmalar, gelişmiş ülkelerin sürdürülebilir enerji politikalarını benimsemesini sağlamaktadır.

Sürdürülebilir enerji politikası, enerjinin; ekonomik, toplumsal ve çevresel maliyetlerinin en aza indirilmesini ve sürekliliğini hedefleyen politika ve teknolojik faaliyetleri ifade

etmektedir. Bu politikanın ana amacı çevrenin gelecek nesillere temiz ve yaşanabilir olarak aktarılmasıdır (Bayraç vd. 2018). Doğal kaynakların enerji üretiminde kullanılması, fosil yakıtlara alternatif kaynaklar bulunması, enerji üretiminde sürdürülebilirliğin sağlanması, elde edilen enerjinin dağıtımının gerçekleştirilmesi konusunda yapılan çalışmalar yenilenebilir enerji kavramının ortaya çıkmasını sağlamıştır.

Yenilenebilir enerji; kendini doğal bir süreç içerisinde tekrarlayan, kalıcı, sonsuz kabul edilen enerji akışlarından elde edilen enerji türüdür (Twidell and Weir 2015). Yenilenebilir enerji kaynaklarının çevreye verdikleri zararın, geleneksel enerji kaynakları ile kıyaslandığında çok az olması, işletme ve bakım masraflarının az olması yenilenebilir enerjinin önemini arttırmaktadır (Haskök 2005). Yenilenebilir enerji kaynakları yerel sanayinin gelişmesine, kırsal kalkınmanın sağlanmasına ve buna bağlı olarak istihdamın artmasına da katkı sağlamaktadır (Bayraç vd. 2018).

2.3 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları doğal, sonsuz olduğu düşünülen, çevreci, yeniden kullanılabilen kaynaklardır. Güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidrolik enerji, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi ve dalga enerjisi yenilenebilir kaynaklardır.

2.3.1 Güneş Enerjisi

Güneş, en temel enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Yeryüzünde ve atmosferde gerçekleşen fiziksel ve biyolojik durumları, ışınimleri sayesinde etkilemektedir. Güneş şekil itibari ile bir küreye benzemektedir. Işınimlarını da bu kürenin dışına doğru her yöne ve homojen bir şekilde gerçekleştirmektedir. Güneş çok yüksek bir sıcaklığa sahiptir. Güneş bir saniyede 4×10^{23} kW gücünde bir ışımaya enerjisi yaymaktadır. Bu ışımaya enerjisi hidrojenin füzyon reaksiyonu sonucunda helyuma dönüşmesi esnasında oluşmakta ve uzaya yayılmaktadır. Bu enerji üretiminin yaklaşık olarak 5 milyar yıl daha devam edeceği tahmin edilmekte, bu bağlamda Güneş sonsuz bir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Dünyaya olan uzaklığı 1496×10^8 km olmasına karşın Güneşten ışınım

yoluyla gönderilen enerji yaklaşık 8 dakikada ulaşmaktadır. Atmosfere ulaşan radyasyonun tamamı yerküreye ulaşmamakta, %17,5'i atmosferi ısıtmakta, %35'i yansımalar sonucunda uzaya geri dönmekte, %47,5'i ise yeryüzüne ulaşmaktadır (Çanka Kılıç 2015). Genel bir ifadeyle güneşte üretilen enerjinin çok küçük bir kısmının dünyaya ulaştığı, bu küçük miktardaki enerjinin bile dünyada yapılan enerji tüketiminin çok üstünde olduğunu söylemek mümkündür.

2.3.2 Rüzgar Enerjisi

Yeryüzünde karalar ve denizlerin güneş tarafından aynı oranda ısıtılmaması, basınç farklarının oluşması yatay hava hareketlerini meydana getirmekte ve bu hava hareketi rüzgar olarak ifade edilmektedir. Görüldüğü gibi rüzgar enerjisinin temel kaynağı güneştir. Rüzgarın kinetik enerjisi rüzgar türbinleri tarafından önce mekanik enerjiye ardından elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Rüzgar enerjisi elektrik üretiminde kullanılan temiz ve sonsuz bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Kurulduğu yerde büyük bir alan kaplaması, gürültü meydana getirmesi, kuş ölümlerine sebebiyet vermesi, iletişim cihazlarının sinyalleri üzerinde bozucu etki oluşturması olumsuz yönleri olarak sıralanabilir (Aslan 2016).

Rüzgar, enerji üretimi için fosil yakıtlara ihtiyaç duymamaktadır. Küresel ısınma ve sera gazları konusunda çalışmalar yapan ülkeler rüzgar enerjisine önem vermektedir. (Şenol 2017). Rüzgar enerjisinin kullanılabilmesi için santrallerin kurulacağı bölgenin belirli bir rüzgar potansiyeline sahip olması gerekmektedir. Devletler, enerji politikalarında rüzgar enerjisinin en etkin ve verimli şekilde kullanılabilmesi için yapılması gereken planlamalara yer vermekte, ülkelerin rüzgar enerjisi haritaları çıkarılmaktadır (Bayraktar ve Kaya 2016). Yeryüzünde yeterli rüzgar potansiyeline sahip alanların belirlenmesi, geliştirilen teknolojilerle yatırım maliyetlerinin düşürülmesi ve verimliliğin artırılması ile rüzgar enerjisi kullanımının önümüzdeki yıllarda daha da artacağı öngörülmektedir.

2.3.3 Hidrolik Enerji

Hidrolik enerji, en genel ifade ile su gücünden yararlanılarak enerji elde edilmesi olarak

tanımlanmaktadır. Yüksek bir noktada bulunan suyun sahip olduğu potansiyel enerji, suyun yer ve seviye değiştirmesiyle kinetik enerjiye dönüşmektedir. Bu kinetik enerji ise jeneratörler vasıtası ile elektrik enerjisine dönüştürölmektedir (Rayamajhee and Aakrit 2018). Bu yöntemle elektrik enerjisi elde edilmesi, hidroelektrik olarak adlandırılmaktadır. Enerjinin ana kaynağı olan güneş, buharlaşmayı sağlayarak su döngüsünün gerçekleşmesini sağlamaktadır. Enerji üretiminde kullanılan su buharlaşarak yüksek noktalara yağmur olarak düşmekte ve tekrar potansiyel enerjiye sahip olmaktadır. Bu yönüyle hidrolik enerji yenilenebilir enerji olarak değerlendirilmektedir.

Hidroelektrik santralleri; kurulum ve bakım maliyetlerinin az olması, dışa bağımlı bir kaynak olmaması, uzun ömürlü olması, minimum seviyede evre kirliliğine sebep olması, bulunduğu bölgeye sosyal ve ekonomik katkılar sağlaması, yörenin iklimini yumuşatması gibi olumlu özelliklere sahiptir (Bulut 2013). İşletilmesi sırasında evre kirliliğine neden olmamasına karşın inşası sırasında gerçekleşen karbondioksit salınımı, doğal alanların su altında kalması olumsuz yönleri olarak sıralanabilir.

2.3.4 Jeotermal Enerji

Jeotermal; yer kabuğunun derin kısımlarında bulunan ısı kaynağının çatlaklardan kaynağa ulaşmış olan suyu ısıtması, ısınan suyun geçirimli kayalardan oluşan haznelerde birikmesi, yeryüzüne kendiliğinden çıkması ya da sondaj yoluyla çıkarılması sonucu elde edilen ve ekonomik değeri olan bir enerji türüdür.

Jeotermal enerji; dış kaynaklar, yakıt ve hava değişiklikleri gibi faktörlere bağlı olmadığı için, sürekli olarak güç üretimine imkan sağlamaktadır. Yerel bir kaynak niteliği taşıdığı için bulunduğu bölge halkı için iş imkanlarının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Jeotermal kaynaklar, enerji üretim maliyetinin düşüklüğü ve emisyon yaymaması nedeni ile diğer enerji üretim kaynakları ile rekabet edebilecek durumdadır. Jeotermal enerji; sıcak su ya da buharın güç santrallerine aktarılmasıyla elektrik üretmek amacıyla kullanılabilir. Bunun yanında bu buhar ve sıcak suyun borular vasıtasıyla pompalanması sonucunda evler, seralar, balık çiftlikleri gibi yerlerin ısıtılmasında kullanılmaktadır (Eniş 2013).

2.3.5 Biyokütle Enerjisi

Yaşamakta ya da yakın geçmişte yaşamış olan organizma ve bu organizmalara ait fosil niteliğinde olmayan organik madde kalıntıları biyokütle olarak adlandırılmaktadır. Bitki kalıntıları, kanalizasyon atıkları, hayvansal, endüstriyel ve evsel organik atıklar biyokütleyi oluşturan unsurlardır ve enerji üretiminde kullanılabilir (Acaroğlu ve Aydoğan 2012).

Biyokütle, gelişmekte olan ülkelerde geniş uygulama alanına sahip olan bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Biyokütleyi oluşturan öğelerin üretim alanının yaygın olması, enerji kaynaklarının üretimi sırasında ekonomik değeri olan ürünler ortaya çıkması bu yenilenebilir enerji kaynağının önemini arttırmaktadır. Biyokütle ile elektrik enerjisi elde edilebilmesinin yanı sıra içten yanmalı motorlar için yakıt üretimi yapılabilmektedir (Akçay 2014).

Dünya genelinde, yıllık 2900 exajoule değerinde bir biyokütle enerji potansiyeli olduğu öngörülmektedir (Acaravcı ve Erdoğan 2018). Enerji bitkileri yetiştirilmesi, enerji üretimi amacıyla atık planlamasının yapılması modern biyokütle enerji teknolojisinin gelişebilmesi için gereklidir (Koçar vd. 2013).

2.3.6 Dalga Enerjisi

Dalgalar; meydana gelen depremler, rüzgar, deniz taşıtlarının hareketleri, güneş ve ayın oluşturduğu çekim kuvveti sebebiyle oluşmaktadır. Dalga enerjisi, dalgaların oluşturduğu yüzeyin altında veya üstündeki salınım hareketlerinden elde edilen bir enerji türüdür. Dalgaların ana kaynağı rüzgar dalgaların sürekliliğini sağlamaktadır. Enerji üretiminde rüzgarın meydana getirdiği dalgaların esas alınması enerji üretiminin sürekliliği için önemlidir.

Dalga enerjisi üretimi için gerekli kaynağın çok olması, enerji üretimi için fosil yakıtlara ihtiyaç duyulmaması, fosil yakıt kullanımının beraberinde getirdiği kirlilik ve fiyat değişiminden etkilenme gibi olumsuz etkilere sahip olmaması dalga enerjisini tercih edilir

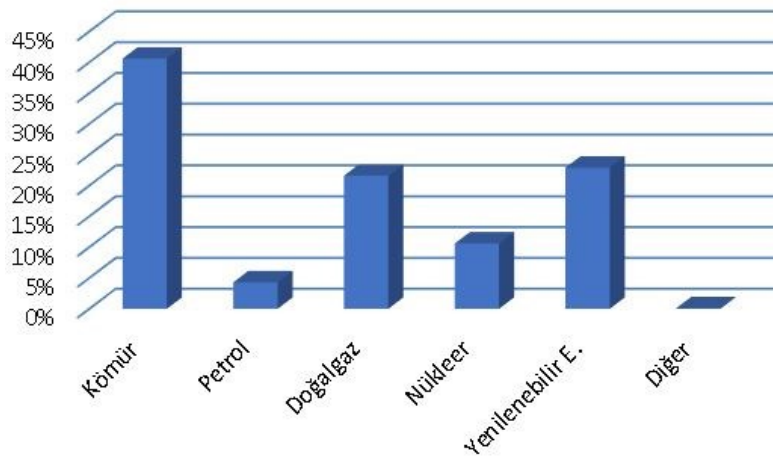
kılmaktadır (Sağlam *et al.*2010).

2.4 Dünya’da Yenilenebilir Enerji Kullanımı

Yenilenebilir enerji kaynaklarından; su ısıtma, elektrik enerjisi üretimi, seraların ısıtılması işlemleri gibi çeşitli amaçlarla faydalanılmaktadır. Bu amaçlar arasında elektrik üretimi ekonomik anlamda en büyük öneme sahiptir (Seydioğulları 2013).

Enerjinin geleceği hakkında oluşturulan senaryolar 2040 yılına kadar olan süreç içinde fosil yakıtların enerji üretiminde kullanılmalarındaki payın kısmen azalacağını fakat diğer kaynaklar içinde hakim kaynaklar olma özelliğini sürdüreceğini öngörmektedir. Enerji kaynakları içinde nükleer enerjinin öneminin artması beklenmektedir. 2040 yılında yenilenebilir enerji kaynakları kullanım oranının %16,1 olacağı öngörülmektedir. Küresel elektrik talebinde yıllık %2,3 artış gerçekleşerek 2040 yılında talebin %80 artacağı düşünülmektedir (ETKB 2017).

Dünya genelinde yenilenebilir enerji üretimi için gerekli olan kaynaklar çok miktarda bulunmasına karşın, enerji üretiminde kullanılma açısından ilk sırayı fosil yakıtlar almaktadır. Bu yakıtların başlıcaları kömür ve doğalgazdır. Şekil 2.2’de 2017 yılı itibariyle Dünya ülkeleri toplam elektrik üretiminin kaynak bazında yüzdeler olarak dağılımı gösterilmektedir.

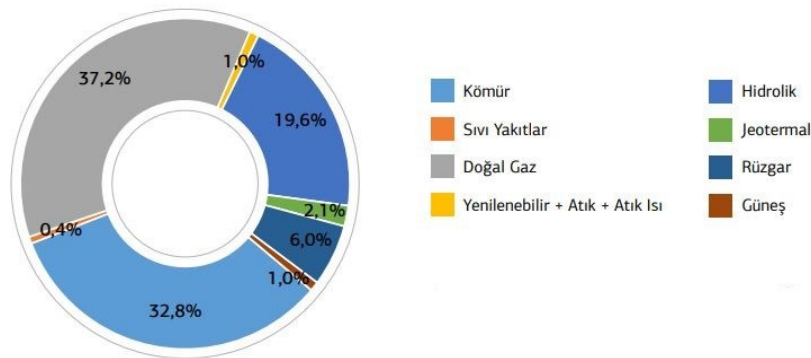


Şekil 2.2 2016 yılı itibariyle Dünya ülkeleri toplam elektrik enerjisi üretiminin kaynak bazında yüzdeler dağılımı (ETKB 2017).

Dünya’da birincil kaynaklardan elektrik enerjisi üretiminde %40,6’lık pay ile kömür birinci sıradadır. Kömürü, %22,9’luk oranla yenilenebilir enerji kaynakları ve %21,6’lık oranla doğalgaz takip etmektedir.

2.5 Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kullanımı

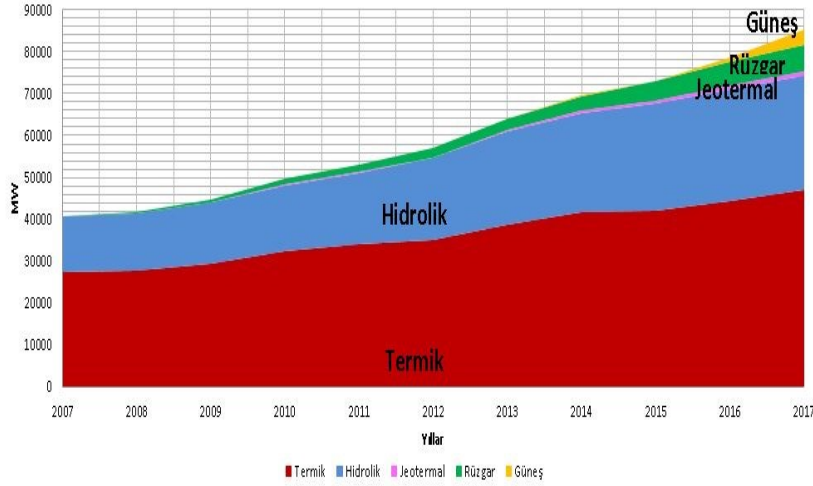
Türkiye, yenilenebilir enerji potansiyeli açısından zengin kaynaklara sahiptir. Güneş, rüzgar, hidrolik, jeotermal ve biyokütle enerjilerinin üretilmesi için yüksek bir potansiyele sahiptir. Dünyada yapılan çalışmalara paralel olarak Türkiye’de de yenilenebilir enerji politikaları önem kazanmaktadır. Yenilenebilir enerji çalışmaları son yıllarda hız kazanmasına karşın halen enerji üretiminde fosil yakıtların kullanım payı daha büyüktür (Yılmaz 2012). Şekil 2.3’te Türkiye’nin kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 2.3 2017 yılında Türkiye’nin kurulu gücünün birincil kaynaklara göre dağılımı (TEİAŞ 2017).

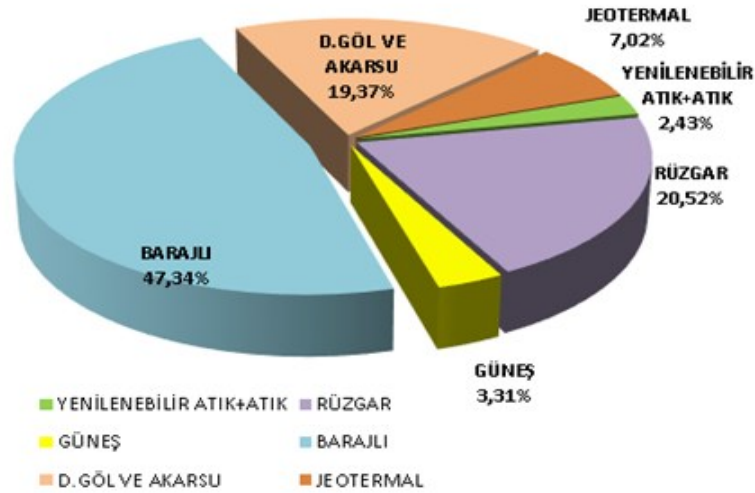
Şekil 2.3’teki grafikte Türkiye’de kurulu gücün %19,6’sının hidrolik enerjiden %37,2’sinin doğal gazdan, %32,8’inin ise kömürden elde edildiği görülmektedir. Grafiğe göre yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye’nin kurulu gücündeki payı %29,7’dir.

Şekil 2.4’de birincil enerji kaynakları açısından Türkiye’nin kurulu gücünün yıllara göre değişimi gösterilmektedir. Grafikte; enerji üretiminin genellikle termik ve hidroelektrik santrallerden sağlandığı görülmektedir. Fosil yakıtlara olan bağımlılık yüksek seviyede olmakla birlikte son yıllarda özellikle güneş ve rüzgar enerjisi, enerji üretiminde kullanılmaktadır.



Şekil 2.4 Birincil enerji kaynakları açısından Türkiye'nin kurulu gücünün yıllara göre değişimi (İnt.Kyn.1).

Şekil 2.5'te Türkiye'de enerji üretiminde kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının oransal dağılımı gösterilmektedir. Enerji üretiminde baraj, göl ve akarsulardan üretilen hidroenerji %66,7'lik oranla en büyük paya sahiptir. Bunu rüzgar enerjisi ve jeotermal enerji izlemektedir.



Şekil 2.5 2017 yılı yenilenebilir enerji kaynaklarının dağılımı (İnt.Kyn.2).

Güneş enerjisinden faydalanmak için coğrafi konum, güneşin geliş açısı çok önemlidir. Türkiye; coğrafi konumu itibari ile yıl boyunca enerji üretmek için yeterli derecede güneş alan ülkeler arasındadır. Bu bağlamda güneş enerjisi, Türkiye'de kullanımı yaygınlaşan alternatif enerji kaynakları listesinde üst sıralardadır (Demiröz vd. 2016).

2.6 Fotovoltaik Sistemler

Güneş enerjisi; kolay bulunabilir, ucuz ve temiz olması özellikleri ile en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından. Güneş enerjisi; fotovoltaik etki ile elektrik enerjisi üretimde kullanılmaktadır. Fotovoltaik; bir hücre tarafından güneş ışınımının elektrik enerjisine dönüştürülmesi işlemi olarak tanımlanmaktadır (Chander *et al.* 2015).

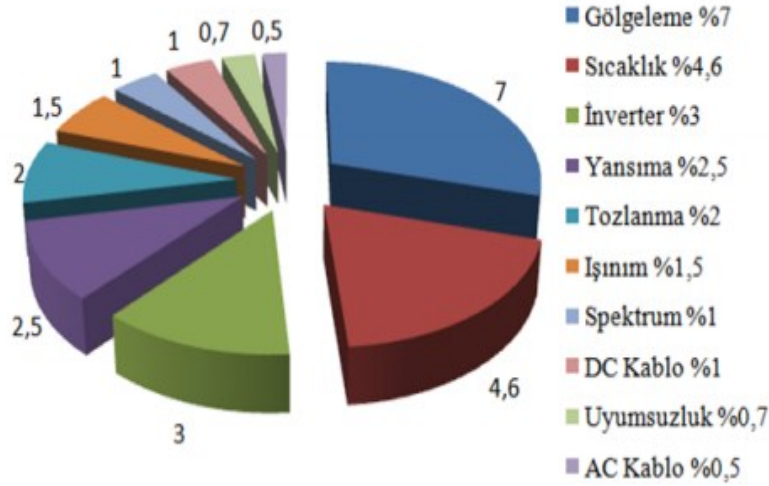
Fotovoltaik sistemler; elektriksel gücü sistemin gücü ile uyumlu olan alıcıları çalıştırabilmektedir. Bu sistemler özellikle elektrik şebekesinin bulunmadığı kırsal bölgelerde enerji sağlama, otoyollarda aydınlatma ve sinyalizasyon, parklarda aydınlatma amacıyla kullanılabilir. Fotovoltaik sistemler elektrik şebekesine bağlı olma durumlarına göre şebekeden bağımsız ve şebeke bağlantılı sistemler olarak sınıflandırılmaktadır.

Şebekeden bağımsız sistemler, genellikle kırsal bölgelerde elektrik şebekesi yoluyla enerjinin ulaştırılmadığı ya da şebekeden enerji edinmenin tercih edilmediği yerlerde kullanılmaktadır. Şebekeden bağımsız sistemlerde günlük kullanılması planlanan enerji hesabı yapılarak fotovoltaik sistemin tasarımı yapılmakta, güneş ışınımının ulaşmadığı zaman diliminde de kullanılmak üzere enerji depo edilmektedir.

Şebeke bağlantılı sistemler ise üretilen enerjinin şebekeye verilmesi prensibine uygun olarak çalışmaktadır. Bu sistemler yüksek güçlü santraller şeklinde yapılandırılabilir gibi düşük güçlü olarak binalara enerji sağlanması ve fazla üretilen enerjinin şebekeye aktarılması amacıyla da kurulabilmektedir. Bu sistemde akümülatöre ihtiyaç duyulmamakta, fazla üretilen enerji şebekeye satılabilmektedir. Sistemin arıza yapması durumunda şebekeden elektrik kullanımı devreye girmekte, kesintinin önüne geçmektedir. Şebekeye verilecek elektriğin harmonik, sinyal şekli gibi değerlerinin yüksek nitelikte olması gerekliliği sistem kurulumunu maliyetli hale getirmektedir.

Fotovoltaik sistemlerde; sıcaklık, gölgelenme, tozlanma, yansıma, ışınım gibi faktörler üretilen enerjide kayıpların meydana gelmesine, sistemin veriminin düşmesine neden olmaktadır. Doğa kaynaklı olan faktörlerin önüne geçmek mümkün olmayacağından,

gerekli enerjiye göre sistem tasarımı gerçekleştirilirken kayıpların göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Sancar 2018). Şekil 2.6'da fotovoltaik panellerde oluşan kayıpların nedenleri grafiksel olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.6 Fotovoltaik panellerde oluşan kayıpların nedenleri (Çarkıt 2017).

Fotovoltaik sistemlerde enerjinin ana kaynağı güneştir. Sistem; güneş hücrelerinin, güneş ışınımını elektriksel enerjiye dönüştürmesi esasına göre çalışmaktadır.

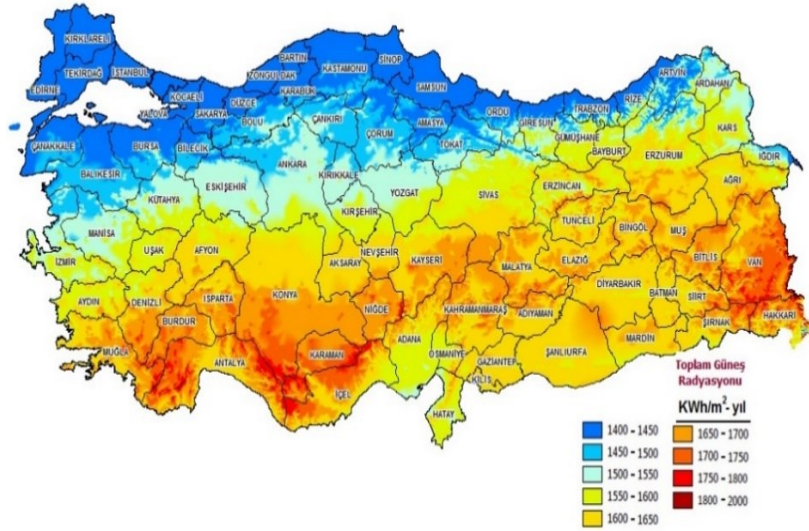
2.6.1 Güneş Işınımı

Güneş fotovoltaik enerjinin kaynağıdır. Fotonlar, güneş çekirdeğinde hidrojenin helyuma dönüşmesi sırasında ortaya çıkan enerjiyi dünyaya ulaştırmaktadır. Fotonlar tarafından iletilen enerjinin bir kısmı atmosferden geçerken fiziksel engellere bağlı olarak azalır ve tamamı yeryüzüne ulaşmaz. Atmosfere gelen enerjinin %70'i yeryüzüne iletelebilmektedir. Güneş ışığındaki fotonlar, farklı enerji seviyesi ve dalga boyuna sahiptir. Güneş ışınlarının önemli bir kısmı 1 ev den az bir enerji ve 1240 mm'den büyük dalga boyuna sahip olsa da güneş pilleri bu enerjinin tamamını elektrik enerjisine çevirememektedir (Kangal 2008).

Fotovoltaik santrallerin kurulumu için bölgenin aldığı ışınım miktarının belirlenmesi gerekmektedir. Fotovoltaik sistemler ışınım şiddetinin yüksek olduğu yerlerde daha verimli olarak çalışmaktadır. Işınım şiddeti piranometre adı verilen cihaz ile tespit

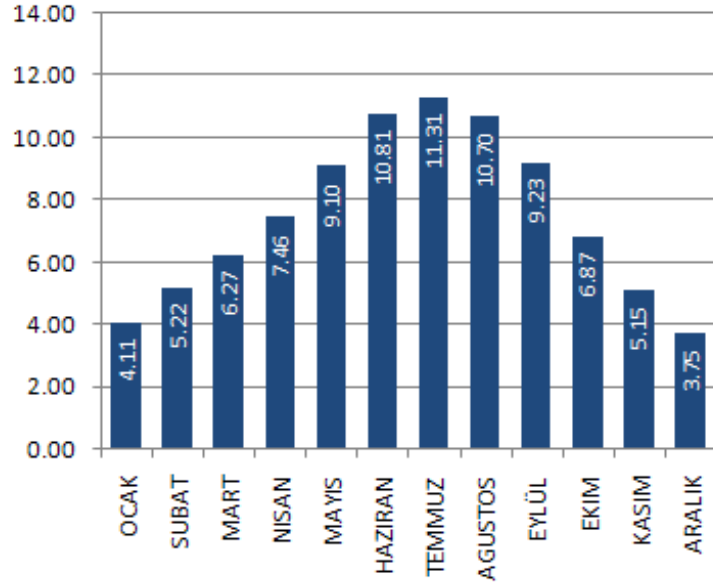
edilmektedir (Özdemir 2007). Bir bölgenin ışınım şiddetine ait ölçümler; ölçüm zamanındaki değişimler, hava kirliliği, bulutluluk oranı, mevsim değişimleri, bir önceki ölçüm noktasına olan uzaklık, güneşin konumu gibi faktörlere bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Yeryüzüne bir yılda ulaşan güneş enerjisi, mevcut fosil kaynaklardan elde edilebilecek enerjinin 160 katıdır. Güneş enerjisi kullanmak için en önemli unsur yeterli ışınım şiddetini almanın yanı sıra bu enerjinin nasıl verimli kullanılacağına tespit edilmesidir (Aksungur vd. 2013).

Türkiye coğrafi konum itibariyle, fotovoltaik sistemlerin verimli olarak çalışabilmesi için gerekli ışınımı alabilmektedir. Şekil 2.7’de Türkiye’nin Güneş enerjisi potansiyeli haritası gösterilmektedir. Ülkenin güney ve doğusunda enerji potansiyelinin daha fazla olduğu, kuzey bölgelerde ışınım şiddetinin ve buna bağlı olarak güneş enerjisi potansiyelinin az olduğu görülmektedir.



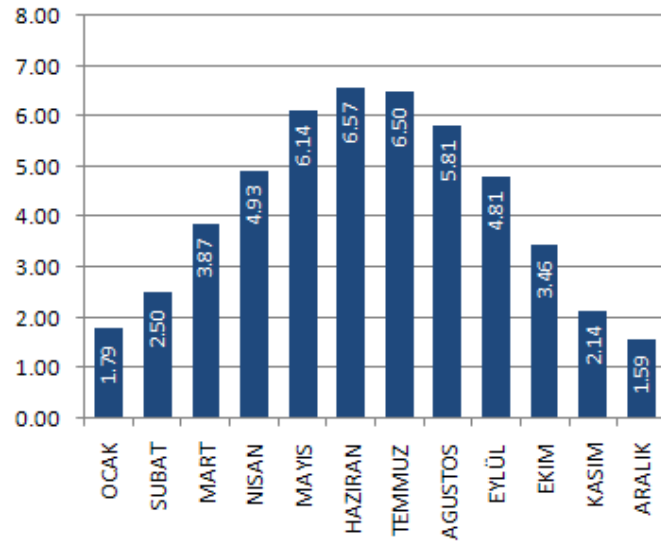
Şekil 2.7 Türkiye Güneş enerjisi potansiyel atlası (İnt.Kyn.3).

Şekil 2.8’de Türkiye’de aylara göre saat cinsinden güneşlenme süreleri gösterilmektedir. Grafikte, güneşlenme süresi baz alındığında Türkiye’de güneş enerjisinden elektrik üretmek için en uygun ayların Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül olduğu görülmektedir. Türkiye’de özellikle yaz aylarında güneşlenme süresi artmaktadır. Güneşlenme süresinin fazla olması güneş enerjisi potansiyelinin yüksek olmasını sağlamaktadır.



Şekil 2.8 Türkiye’de aylara göre saat cinsinden güneşlenme süreleri (İnt.Kyn.3).

Güneşten yeryüzüne ulaşan ışınlar global radyasyon ya da toplam radyasyon olarak adlandırılmaktadır. Işınlar atmosfere ulaştığı anda atmosfer tabakaları tarafından soğurulmakta, yansıtılarak kırılmakta, şekil ve yön değiştirmektedir. Global radyasyon, sıcaklık, nem, güneşlenme süresi, basınç değerlerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Akkurt vd. 2011). Şekil 2.9’da Türkiye’de aylara göre KWh/m² cinsinden global radyasyon değerleri gösterilmektedir. Global radyasyon fotovoltaik sistem tasarımı yapılırken dikkate alınması gereken en önemli faktörlerden biridir.

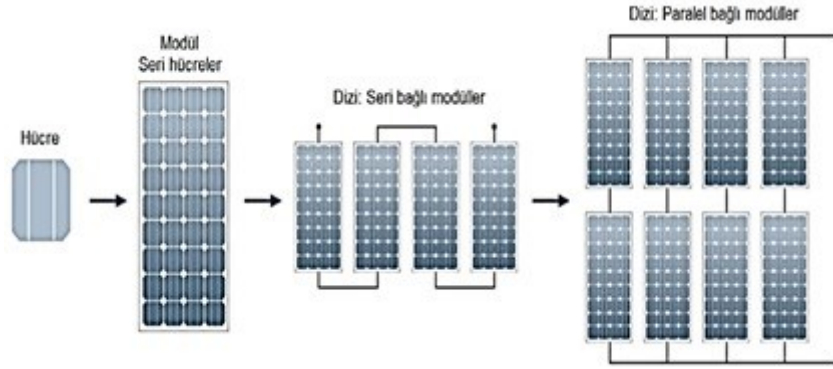


Şekil 2.9 Türkiye’de aylara göre KWh/m² cinsinden global radyasyon değerleri (İnt.Kyn.3).

Türkiye’de Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında bölgeye düşen toplam ışınım şiddeti, maksimum değerini almaktadır.

2.6.2 Güneş Hücresi

Fotovoltaik sistemlerin en küçük parçası güneş hücreleridir. Güneş hücresi üzerine düşen güneş ışığını doğru akım enerjisine çeviren araçlardır. Bir güneş hücresinin tek başına üretebileceği enerji miktarı oldukça küçük olduğundan birden fazla hücre bir araya getirilerek kullanılmaktadır. Güneş hücreleri bir araya getirilerek modüller, modüller bir araya getirilerek paneller ve güneş santrallerini oluşturulmaktadır. Güç ihtiyacına göre fotovoltaik modüllerin seri ya da paralel bağlanması ile değeri Megawatt seviyesine ulaşan fotovoltaik diziler elde edilmektedir. Şekil 2.10’da fotovoltaik hücrelerden oluşan modül ve dizi tasarımları gösterilmektedir.

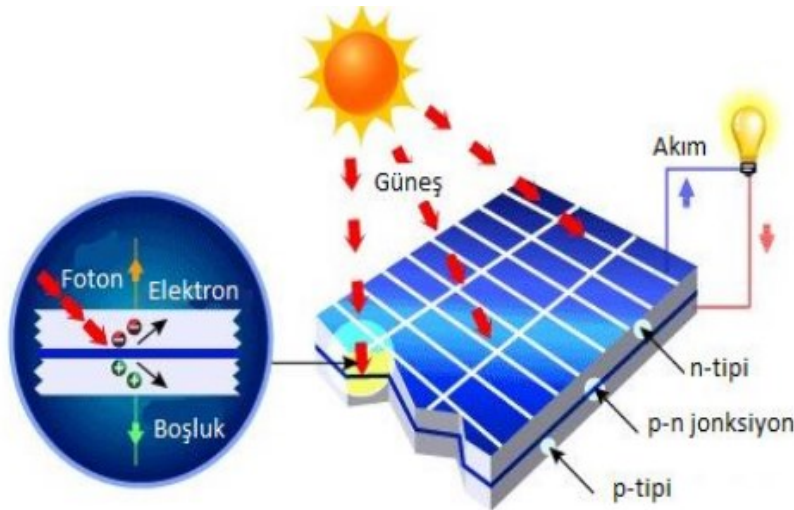


Şekil 2.10 Fotovoltaik hücre, modül ve diziler (İnt.Kyn.4).

Güneş hücreleri özellikle uzay uygulamalarında kullanılmalarına karşın uzun bir süre kendilerine kullanım alanı bulamamıştır. Hücrelerin üretim maliyetlerinin yüksek olması ve bu maliyetlere karşılığında elde edilen gücün düşük olması, güneş hücrelerinin kullanım alanının sınırlı kalmasına neden olmuştur. Güneş hücreleri ile ilgili yapılan çalışmalar maliyeti düşürmeyi ve verimliliği arttırmayı amaçlamaktadır. Zaman içerisinde fotovoltaik sistemlerin verimlilikleri artmış olmasına rağmen fosil yakıtlarla mukayese edildiğinde yüksek maliyetlere sahiptir (Erdoğan 2012).

Güneş hücresinin çalışma prensibi fotovoltaik etki ile açıklanmaktadır. Fotovoltaik etki,

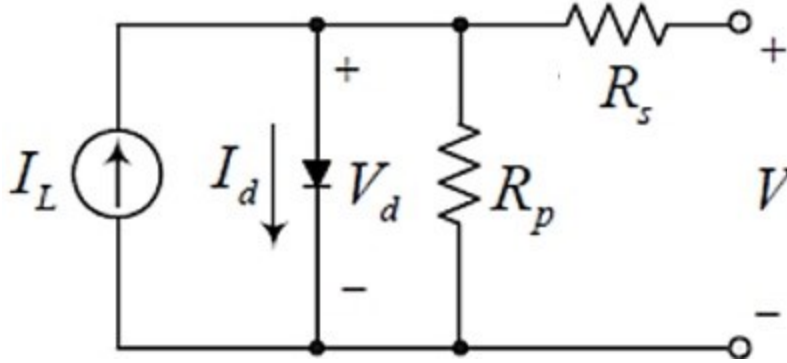
bir güneş hücresinin, fotonlar tarafından taşınan güneş enerjisini elektriksel forma dönüştürdüğü fiziksel bir işlem olarak tanımlanmaktadır. Enerji paketi olarak nitelendirilen fotonların yarı iletken yüzeye çarpması sonucu olarak serbest elektronlar ortaya çıkmaktadır. Farklı iki malzemenin birleşme yüzeyinin foton ışınımı ile aydınlatılması halinde iki malzeme arasında elektriksel potansiyel oluşmaktadır. Bu prensipten yola çıkarak N ve P tipi silikon malzemenin birleşme yüzeyinde elektrik alanı oluşturulmaktadır. Oluşturulan alan bir diyot gibi çalışarak N tipi silikon malzemedan P tipi silikon malzemeye elektron akışına izin vermekte, ters elektron akışını ise engellemektedir (Baitoul *et al.* 2014). P ve N tipi malzemelerin eklem bölgesinde fotovoltaiik etkinin gerçekleşmesi, elektrik alan altında hızlanan elektronların akım akışı ve DC güç meydana getirmesi, yarı iletken malzemelerin fotovoltaiik pil olarak çalışmasını sağlamaktadır. Şekil 2.11’de güneş pilinin yapısı ve gösterilmektedir.



Şekil 2.11 Güneş pilinin yapısı (Özçalık vd. 2013).

Güneş pilleri p ve n tipi yarı iletkenlerin yüzeysel olarak birleştirilmesiyle oluşturulduğundan ışık almayan ortamda I-V karakteristiği diyot karakteristiği ile benzeşim göstermektedir. Işık altında ise akım kaynağı, seri ve paralel bağlı dirençler ve bir diyot ile elektriksel eşdeğer devre olarak modellenebilmektedir. Güneş pillerinin modellenebilmesi için tek diyot, çift diyot ve üçlü diyot modelleri mevcuttur. Üçlü diyot modeli karmaşık bir yapıya sahiptir ve kullanımı zordur. Çift diyot devre modeli ışınımın az olduğu hallerde bile çok iyi sonuçlar vermesine karşın tek diyot devre modelinin hesaplama kolaylığı ve doğruluk oranı bu modelin en sık kullanılan model olmasını

sağlamaktadır (Şentürk 2018). Güneş piline ait tek diyotlu elektriksel eşdeğer devre modeli Şekil 2.12'de gösterilmektedir.



Şekil 2.12 Güneş pilinin tek diyotlu eşdeğer devresi (Adak vd. 2019).

Bu model aynı zamanda beş parametre modeli olarak da anılmaktadır. Bu model matematiksel olarak eşitlik 2.1'deki gibi ifade edilmektedir.

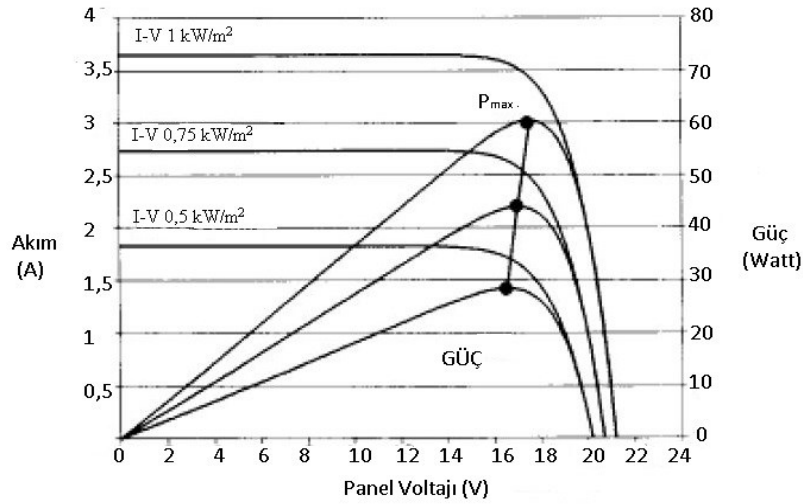
$$I = I_L - I_0 \left(e^{\frac{q(V+I.R_S)}{AK_B T}} - 1 \right) - \frac{(V+I.R_S)}{R_{SH}} \quad (2.1)$$

Burada;

- I = Güneş pilinin çıkış akımı (A)
- I_L = Fotovoltaik akım (A)
- I_0 = Karanlıkta ters doyma akımı (A)
- A = Düzeltilmiş diyot faktörü
- R_S = Seri direnç (Ω)
- R_{SH} = Paralel direnç (Ω)
- e = Elektron yükü ($1,60 \times 10^{-19} C$)
- T = Sıcaklık ($^{\circ}K$)
- k = Boltzmann sabiti ($1,38 \times 10^{-23} J/^{\circ}K$) anlamına gelmektedir.

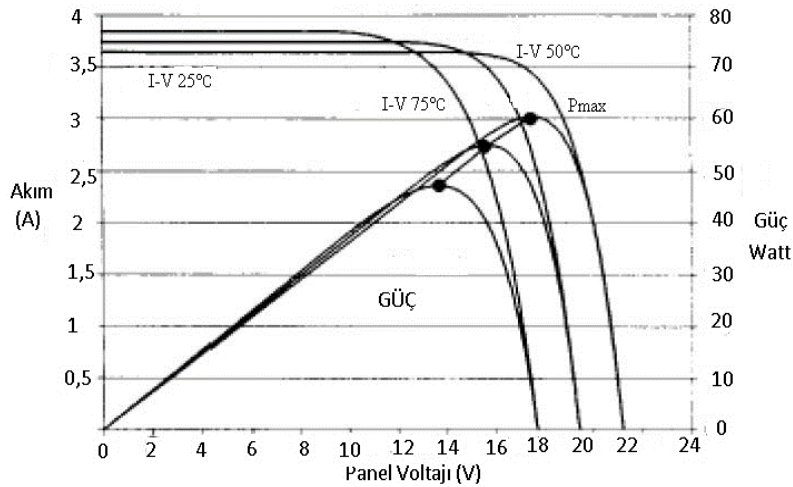
Fotovoltaik hücrelere ait akım gerilim ve güç gerilim eğrilerine, üretici firma tarafından katalog bilgilerinde yer verilmektedir. Şekil 2.13'te 60 Watt gücündeki bir fotovoltaik panelin farklı ışınım değerlerindeki I-V eğrisi gösterilmektedir. Hücrenin aldığı ışınım

şiddeti ile doğru orantılı olarak akımın arttığı görülmektedir. Panele ait maksimum güç noktasında, ışınım şiddetindeki artışın etkisiyle hızlı bir artış gerçekleşmektedir (Yümsek 2010). Sabit sıcaklık altında ışınım artışı güç artışını sağlamakta, maksimum güç noktasının gerilim değeri artmaktadır.



Şekil 2.13 Güneş paneline düşen ışınımın akım, gerilim ve güç üzerindeki etkisi (Yümsek 2010).

Şekil 2.14'de güneş panelindeki sıcaklığın akım, gerilim ve güç üzerindeki etkisi gösterilmektedir. Hücre sıcaklığının artması güç noktasının gerilim değerinin düşmesine neden olmaktadır. Bu durum aynı zamanda hücreden elde edilebilecek maksimum gücün de düşmesine neden olmaktadır.



Şekil 2.14 Güneş panelindeki sıcaklığın akım, gerilim ve güç üzerindeki etkisi (Yümsek 2010).

Bir fotovoltaik pilin uçlarından okunan gerilim değeri ve elde edilebilecek akım miktarı yüzeye düşen ışınım şiddeti ve sıcaklıkla değişkenlik göstermektedir. Işınım şiddeti arttığında güç artarken, sıcaklık artarken güç azalmaktadır. Işınım ve sıcaklık en iyi uyum limiti için belirleyici faktörlerdir.

Güneş panellerindeki en önemli unsurlardan biri de verimdir. Güneş panelleri, güneş hücrelerinin seri bağlanmasıyla elde edilmekte ve uzun yıllar dış ortamın bozucu faktörlerinden etkilenmeyecek şekilde paketlenmektedir. Panel gücü yıllar içinde kademeli olarak azalırken 25. yılda %80'lik güce düşmektedir. Bazı güneş panellerinde bu düşüş kademeli değil doğrusal olarak gerçekleşmektedir. Doğrusal düşüş aynı süre içinde kademeli düşüşe göre daha verimli olmaktadır. Fotovoltaik panellerde tolerans $\pm\%2,5$ ile $\pm\%5$ arasında değerler almaktadır (Boztepe 2017). Yüksek toleranslı panellerde güç kaybı daha fazla olacağından panel seçiminde düşük toleranslı panellerin seçilmesi gerekmektedir.

2.6.3 Güneş Hücresi Çeşitleri

Teknolojideki gelişmeler ve konu ile ilgili yapılan çalışmalar neticesinde, daha verimli çalışan güneş hücreleri elde edebilmek amacıyla farklı malzemeler ve üretim teknikleri kullanılarak çeşitli güneş hücreleri üretilmektedir. Bunlarda bazıları; monokristal, polikristal, galyum-arsenit, bakır indiyum, amorf silisyum, ince film ve kadmiyum tellür güneş hücresidir.

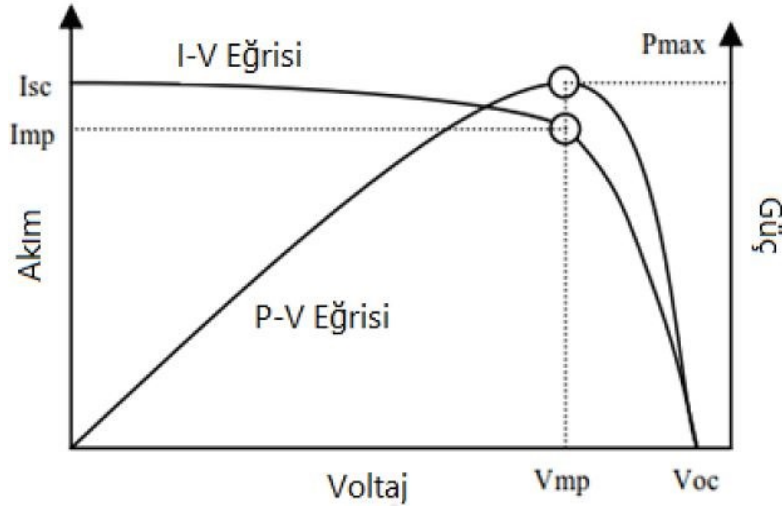
2.7 Maksimum Güç Noktası İzleme

Fotovoltaik sistemlerin tasarımında ilk yatırım maliyetleri ve verim önemli hususlardandır. Bu sistemler genel olarak güneş pilleri, depolama üniteleri, bağlantı kabloları ve koruma elemanlarından oluşmaktadır. Sistemden elde etmek istenen enerjinin miktarı ve güneş pilinin özellikleri, diğer elemanların nitelik ve niceliğinin tespit edilmesinde ve maliyetin ortaya çıkmasında referans öğelerdir (Onat ve Ersöz 2009). Yüksek verimli çalışmayan bir fotovoltaik sistemden istenen enerjinin elde edilmesi için ek paneller kullanılmaktadır. Bu durum yatırım maliyetinin artmasına ve gereksiz enerji

kayıplarına neden olmaktadır. Sistemi en verimli şekilde tasarlamak, ekonomik kayıpların önüne geçmektedir.

Güneş pillerinden elde edilen enerji gün boyu doğrusal değildir. Şebekeden bağımsız sistemlerde akünün doğrudan doğruya panele bağlanması ve verimli bir şekilde şarj olması mümkün değildir. Panel yüzeyinin kirli olması, eğim açısı, güneşlenme oranı, ışınım, panelin eski olması, bulutlanma gibi faktörlere bağlı olarak gerilim değişkenlik göstermektedir (Sher *et al.* 2015). Güneş hücresinden maksimum güç çekilmesini etkileyen faktörler güneş ışınımları, yük empedansı ve modül sıcaklığıdır. Artan sıcaklık açık devre voltajını azaltırken güneş ışınlarının yoğunluğu kısa devre akımını arttırmaktadır.

Bu değişken akım ve gerilim değerlerine göre gücün maksimum olduğu bir nokta vardır. Akım ve gerilimin kontrol edilerek bu noktanın belirlenmesine ve güneş panellerinden maksimum güç çekilmesine maksimum güç noktası takibi denilmektedir (Wang *et al.* 2016). Şekil 2.15'te temel bir güneş hücresine ait I-V grafiği ile maksimum güç noktası gösterilmektedir.



Şekil 2.15 Güneş hücresine ait I-V grafiği ve maksimum güç noktası (Karami *et al.*2017).

Maksimum güç noktasının belirlenmesi ve yüke aktarılması, sistemin verimini artırarak minimum enerji kaybının yaşanmasını sağlayacaktır. Bu güç noktasının tespiti için maksimum güç noktası izleme yöntemleri kullanılmaktadır.

2.8 Maksimum Güç Noktası İzleme Yöntemleri

Fotovoltaik panellerden maksimum gücün elde edilerek yüke aktarılması için çeşitli algoritmalar kullanılmaktadır. Maksimum güç noktasının yakalanması için kullanılan birkaç teknik vardır. Bu tekniklerden bazıları akım ve gerilim gibi basit değerlerin okunmasına dayanırken, bazıları ise fotovoltaik modülün özelliklerini ve maksimum güç noktasını daha kesin olarak belirlemek için daha karmaşık modeller kullanmaktadır. Bir sistem ne kadar karmaşıksa, kullanılan sensörler maliyeti o denli arttırmaktadır. Bunun yanı sıra maksimum güç noktasına ilişkin yapılan hesaplamalar ne kadar doğru ise verimlilik o oranda artmaktadır (Vicente *et al.* 2015). Maksimum güç noktası takip yöntemleri doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki grupta sınıflandırılmaktadır.

2.8.1 Doğrudan Maksimum Güç Noktası İzleme Yöntemleri

Doğrudan MGNİ yöntemlerinde panele ait akım, gerilim ve güç verileri anlık olarak takip edilmekte, değişen veriler algoritmalarla işlenerek maksimum güç noktasının tespiti yapılmaktadır (Zakki *et al.* 2017). Maksimum güç noktasının tespitinde dolaylı MGNİ yöntemlerine göre daha başarılı olmakla birlikte, çıkış değerlerinin sürekli kontrol ediliyor ve hesaplanıyor olması sistemi daha yavaş kılmaktadır.

2.8.2 Dolaylı Maksimum Güç Noktası İzleme Yöntemleri

Dolaylı MPPT yöntemlerinde panele ait veriler önceden toplanmakta ve buna uygun olarak hazırlanan algoritmalar ile güç noktasının belirlenmesi sağlanmaktadır. Fotovoltaik panele ait değerler çalışma anında sürekli hesaplanmamaktadır.

Sistem, panele ait referans değerlere göre çalıştığı için hızlıdır. Sistemin çalışması panel tipine göre değişkenlik gösterdiğinden, farklı paneller için her defasında tasarımın yeniden yapılması gerekliliği bu yöntemin dezavantajlarından biridir. Sistemdeki parametrelerin sıcaklık, sistemin yaşlanması, fiziksel deformasyon, kirlenme, gölgelenme gibi etkilerle farklılaşması maksimum güç noktasının bulunmasında hata oranını arttırmaktadır (Dallago *et al.* 2015).

2.8.3 Maksimum Güç Noktası İzleme Yöntemlerinin İncelenmesi

Alanyazında eğri uydurma, açık devre gerilimi, kısa devre akımı, taramalı tablo, farklılık, değiştir-gözle, gerilim geri besleme, artan iletkenlik, bulanık mantık yöntemi gibi birçok maksimum güç noktası izleme yöntemine rastlanmaktadır. Bu bölümde çalışmalarda daha sık kullanılan yöntemlerden bazılarına yer verilmiştir.

2.8.3.1 Değiştir-Gözle Yöntemi

Değiştir ve gözle yöntemi (P&O); maksimum güç noktası izleme yöntemlerinden en çok kullanılanlarındandır. Bu yöntemde, maksimum güç noktasına ulaşmak için fotovoltaik panelin akım ve gerilimi ölçülür. Gerilim değeri, arttırma ya da azaltma şeklinde değiştirilerek yapılan değişikliğin panelden elde edilen güçte nasıl bir farklılaşmaya yol açtığı gözlenir. Eğer yapılan değişiklik gücün artmasını sağlamışsa, gerilimin aynı yönde değiştirilmesine devam edilir. Güçte azalma tespit edilmişse değişikliğin yönü değiştirilir. Bu işlem maksimum güç noktasına ulaşana kadar tekrarlanmaktadır. Çizelge 2.1’de güçteki artma ya da azalma durumunu göre yöntemin çalışma adımları gösterilmektedir.

Çizelge 2.1 Değiştir gözle yönteminde güç değişimine göre çalışma adımları.

Değişim Yönü	Güç Değişimi	Sonraki Değişimin Yönü
Artış	Artış	Artış
Artış	Azalış	Azalış
Azalış	Artış	Azalış
Azalış	Azalış	Artış

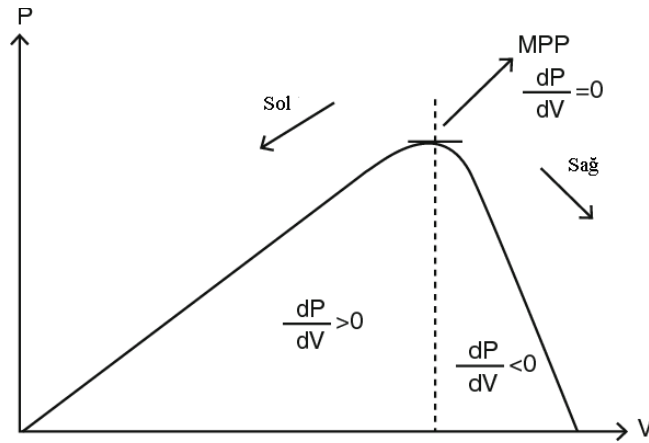
Değiştir-gözle yönteminde maksimum güç noktasına ulaşıldığında bile güç noktası arayışı devam etmekte ve maksimum güç noktası etrafında salınımlar gerçekleşmektedir. Bu durum yöntemin dezavantajlarındandır. Değiştir gözle yöntemi anlık ışınım ve sıcaklık değişimlerinden olumsuz etkilenmektedir. Buna bağlı olarak değiştir-gözle yöntemini kullanan güç noktası izleyiciler, ani ışınım ve sıcaklık değişikliklerinde maksimum güç noktasından uzaklaşmaktadır. Maksimum güç noktasında meydana gelen salınımlar ve atmosfer koşullarındaki değişimler fotovoltaik sistemde enerji kayıplarına neden olmaktadır.

2.8.3.2 Artan İletkenlik Yöntemi

Artan iletkenlik yönteminde maksimum güç noktasının bulunabilmesi için türev algoritması kullanılmaktadır. Fotovoltaik gücünün gerilimine göre türevi aşağıdaki eşitlik 2.2'deki gibi ifade edilmektedir.

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(IV)}{dV} = 1 + V \cdot \frac{d(I)}{dV} = 1 + V \cdot \frac{\Delta I}{\Delta V} \quad (2.2)$$

Denklem seçilen çalışma noktasına göre çözümlendiğinde; sonucun sıfır olduğu çalışma noktası maksimum güç noktasıdır. Negatif değer alan noktalar maksimum güç noktasının sağında, pozitif değer alan noktalar ise maksimum güç noktasının solunda bulunmaktadır. Böylece anlık iletkenlik, artan iletkenlikle karşılaştırılarak maksimum güç noktası takibi sağlanabilmektedir (Masood *et al.* 2014). Şekil 2.16'da artan iletkenlik yöntemini açıklayan P-V grafiği gösterilmektedir.



Şekil 2.16 Artan iletkenlik yöntemini açıklayan P-V grafiği (Lokanadham and Bhaskar 2012).

2.8.3.3 Kısa Devre Akımı Yöntemi

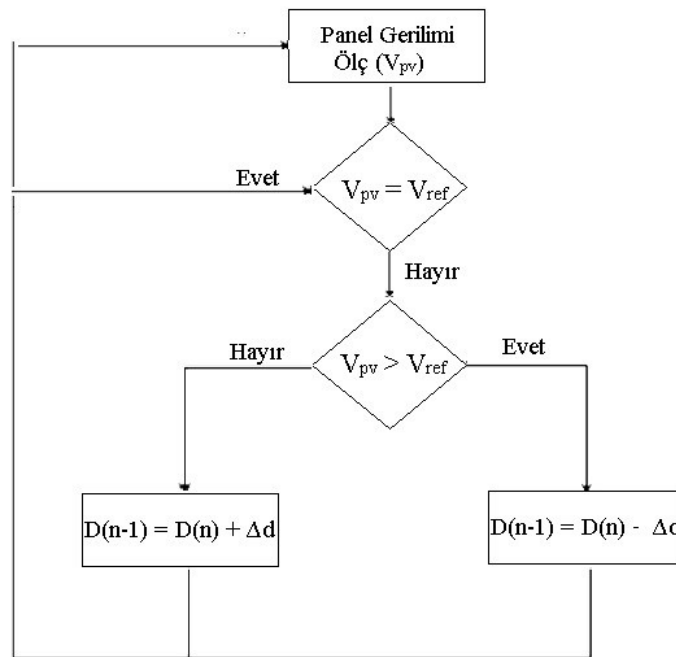
Fotovoltaik panelin kısa devre akımı ile maksimum güç noktası doğrusal olarak değişmektedir. Bu durum eşitlik 2.3'te ifade edildiği gibidir,

$$I_{mpp} = k_2 \cdot I_{sc} \quad (2.3)$$

Eşitlikte verilen k_2 değeri oransal sabit olup fotovoltaik panelin karakteristiği ile ilgilidir. I_{mpp} maksimum güç noktasındaki akımı, I_{sc} ise kısa devre akımını ifade etmektedir. Bu yöntemde fotovoltaik panel belirli aralıklarla yükten ayrılarak kısa devre edilmekte ve kısa devre akımı tespit edilmektedir. Kısa devre gerilimi ve k_2 oransal sabiti kullanılarak maksimum güç noktası akımı hesaplanmaktadır. Sonrasında sistem bu akım noktasını referans değer olarak kabul ederek çalışmakta, işlemleri belirli aralıklarla yinelemektedir. Kısa devre akımı yöntemi kolay bir yöntem olmasına karşın kısa devre akımını belirlemek için yükün panelden ayrılma zorunluluğu enerji kayıplarına yol açmaktadır. Sadece akım sensörüne ihtiyaç duyduğu için ekonomik, hızlı ve makul kabul edilebilecek verimliliktedir.

2.8.3.4 Sabit Gerilim Yöntemi

Sabit gerilim yöntemi maksimum güç noktası izleme yöntemlerinden en basit olanıdır. Bu yöntemde iklimsel değişiklikler gibi dış etkenler dikkate alınmamaktadır. Yüke verilen güç anlık olarak kesilmekte ve panelin açık devre gerilimi ölçülmektedir. Bu gerilimin, önceden belirlenen bir referans gerilimine eşit olup olmadığı kontrol edilmektedir. Şekil 2.17’de sabit gerilim yöntemine ait akış diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 2.17 Sabit gerilim yöntemine ait akış diyagramı (Keskin 2014).

Referans gerilim belirlenen bir maksimum güç noktası geriliminin k orantı sabiti ile çarpılmasıyla hesaplanmakta (Latif and Hussain 2014) ve eşitlik 2.4’de gösterilmektedir.

$$V_{mpp} = V_{oc} \cdot k \quad (2.4)$$

Eşitlikte; V_{mpp} maksimum güç noktası gerilimini, V_{oc} açık devre gerilimini, k oran katsayısını göstermektedir. Fotovoltaik panellerin özelliklerini yansıtan oran katsayısı olan k , her fotovoltaik panel için aynı olmayıp farklı paneller için farklı olmakla birlikte 0,8 değerine yakın bir değer almaktadır. Yöntem yapısı itibariyle basittir ve hızlı çalışmaktadır ancak maksimum güç noktası izleme hatası büyük olmaktadır (Meng *et al.* 2017). Bu yöntem doğrudan doğruya maksimum güç noktası izleme yöntemi olarak kullanılsa da diğer yöntemlerle birleştirilerek kullanılabilir.

2.8.3.5 Açık Devre Gerilimi Yöntemi

Fotovoltaik sistemin açık devre gerilimi ile maksimum güç noktası arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Bu ilişki eşitlik 2.5’te ifade edildiği gibidir;

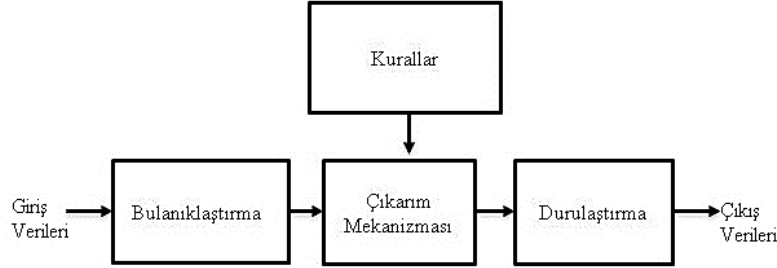
$$V_{mpp} = k \cdot V_{oc} \quad (2.5)$$

Bu sistemde bir fotovoltaik hücre çalışma sırasında devreden çıkarılarak açık devre gerilimi hesaplanmakta, k oransal sabiti ile çarpılarak maksimum güç noktası gerilimi hesaplanmaktadır. Fotovoltaik hücrenin bir süre devreden çıkarılması enerji kayıplarına neden olmaktadır. Bu yöntem gerçekte tam olarak maksimum güç noktasını yakalayamasa da tasarım kolaylığı ve ekonomik yapısıyla uygulamalarda tercih edilmektedir.

2.8.3.6 Bulanık Mantık

Son yıllarda bulanık mantık kullanımı birçok alanda kullanılmaktadır. Fotovoltaik sistemlerde bulanık mantık yöntemi maksimum güç noktasının belirlenmesi için kullanılmaktadır. Bu yöntem kullanılan fotovoltaik hücreye ait model bilgilerini

gerektirmemektedir fakat tasarımcının fotovoltaiik sistemin işleyişine tam olarak hakim olması gerekliliği vardır. Sağlam ve birçok sisteme oranla basit yapıdadır (Cheikh *et al.* 2007). Bulanık mantık yöntemi üç aşamada gerçekleşmektedir. Bunlar bulanıklaştırma aşaması, çıkarım mekanizması ve durulayıcı olarak sıralanmaktadır. Şekil 2.18’de bulanık mantığın temel yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.18 Bulanık mantığın temel yapısı.

Geleneksel kontrol yöntemleri, paralel izleme hızını ve kontrol doğruluğunu garanti edememektedir. Bulanık mantık yöntemi ise; karmaşık kontrol sistemlerinde bilinmeyen veya az bilinen matematiksel modeller üzerinde iyi kontrol etkisine sahiptir.

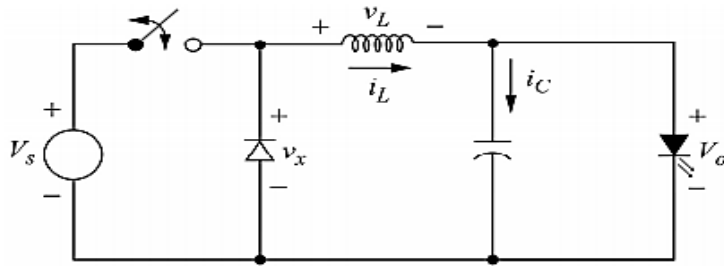
2.9 DA-DA Dönüştürücüler

DA-DA dönüştürücüler, bir kaynaktan elde edilen doğru akımdan farklı değerde doğru akım elde edilmesini sağlayan elektronik devrelerdir. Maksimum güç noktası izleyicilerde DA-DA dönüştürücüler fotovoltaiik panelden en fazla gücün alınabilmesi için fotovoltaiik panelin giriş voltajını düzenlemek amacıyla kullanılmaktadır. Maksimum güç noktası izleyicilerinde düşüren dönüştürücü veya yükselten dönüştürücü kullanılmaktadır. Dönüştürücü tercihi tasarlanan sistemin gücü ile ilgilidir. Genellikle düşük güçlü sistemlerde düşüren dönüştürücü, yüksek güçlü sistemlerde ise yükselten dönüştürücü tercih edilmektedir. Bu dönüştürücülerde enerji bir indüktör vasıtasıyla girişten çıkışa azaltılarak ya da artırılarak aktarılmaktadır (Taghizadeh *et al.* 2015).

2.9.1 Düşüren Dönüştürücüler

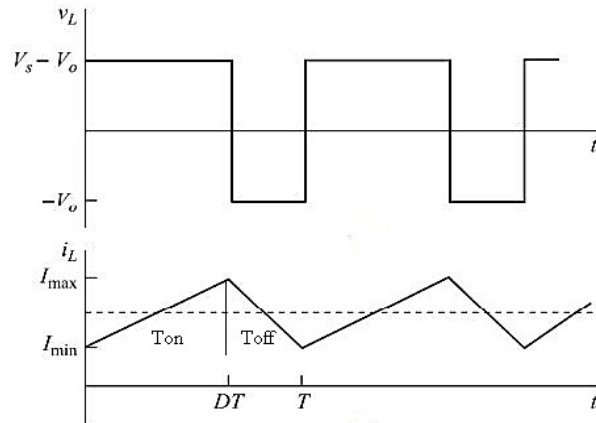
Düşüren dönüştürücüler besleme girişinden aldığı gerilimi düşürürken akımı arttıran DA-

DA güç dönüştürücüsüdür. Düşüren dönüştürücü; transistör, diyot, bobin ve kondansatörlerden oluşmaktadır. Düşüren dönüştürücülerin besleme girişine ve yük çıkışına gerilim dalgalanmalarını önlemek için filtre devresi ilave edilmektedir. Düşüren dönüştürücüler, doğrusal regülatörlere oranla çok daha yüksek güç verimliliği sağlamaktadır. Çıkış dalgalanmasının minimum miktarda olması, sabite yakın bir çıkış değeri sağlamaktadır. Şekil 2.19'da düşüren dönüştürücüye ait devre şeması gösterilmektedir.



Şekil 2.19 Düşüren dönüştürücü devre şeması (Karagül 2014).

Şekil 2.20'deki düşüren dönüştürücü devresinde giriş ile bobin arasında bir anahtar bulunmaktadır. Anahtar kapatıldığında bobin üzerinden akım akmaya başlar ve bobinin gösterdiği direncin etkisiyle iki ucu arasında potansiyel fark meydana gelir. Bu durum akımın yavaş yavaş yükselmesini sağlar. Anahtar kapalı iken kondansatör şarj olur. Anahtar açıldığında ise bobin akımı yavaş yavaş azalırken, kondansatör yük üzerinden deşarj olur. Anahtar kapalı olduğu sürece yük beslenir (Toprak 2011). Şekil 2.20'de bobin-gerilim ve bobin-akım dalga şekilleri gösterilmektedir.



Şekil 2.20 Düşüren dönüştürücü bobin akım-gerilim grafiği (Hart 2010).

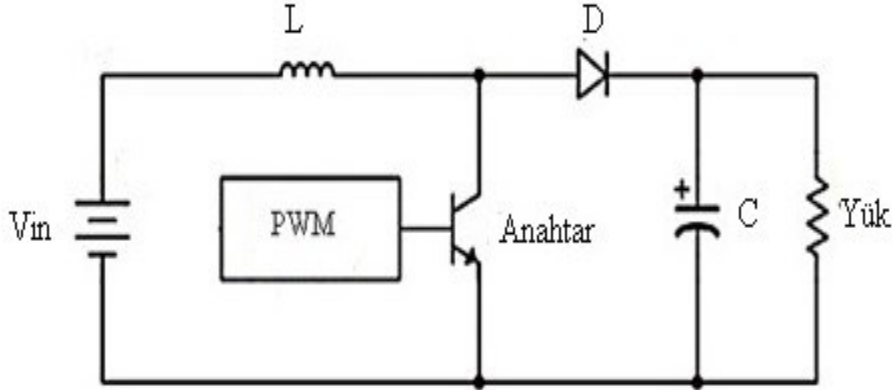
Düşüren dönüştürücünün çıkış gerilimi eşitlik 2.6'da verilen ifade ile hesaplanmaktadır.

$$V_o = V_{in} \cdot D \quad (2.6)$$

Bu eşitlikte D; anahtarın kapalı pozisyonda olduğu görev periyodunu ifade etmekte olup çıkış gerilimi bu sürenin değiştirilmesiyle kontrol edilebilmektedir.

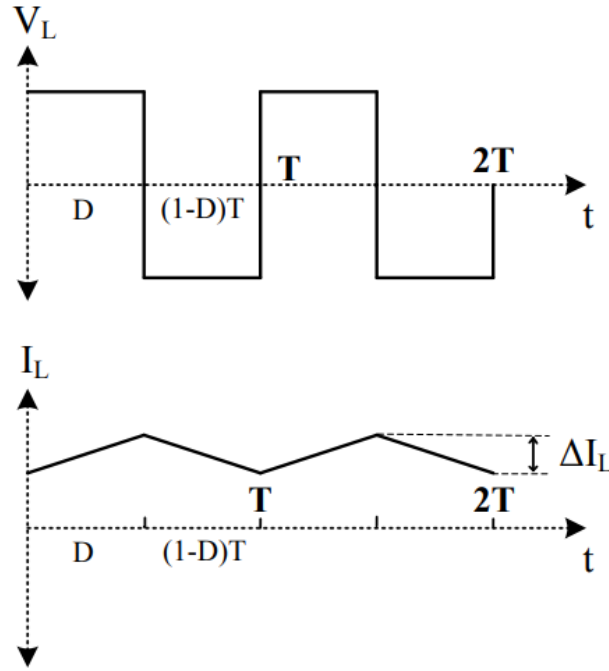
2.9.2 Yükselten Dönüştürücüler

Kaynak geriliminden daha yüksek gerilimlere ihtiyaç duyulan devrelerde, bataryaların bir araya getirilerek gerilimin artırılmasına alternatif olarak, ihtiyaç duyulan gerilimlerin elde edilmesi için mevcut gerilimi yükselten dönüştürücüler kullanılmaktadır. Yükselten dönüştürücüler, girişine uygulanan gerilimi yükselterek çıkışına aktaran elektronik devrelerdir. Şekil 2.21'de yükselten dönüştürücü devre şeması gösterilmektedir.



Şekil 2.21 Yükselten dönüştürücü devre şeması (Küçük vd. 2016).

Devrenin çalışması, anahtarın iletimde olması ve kesimde olması durumlarına göre iki şekilde incelenmektedir. Anahtar kapalıyken akım, bobin ve anahtar üzerinden geçerek devresini tamamlar. Bu sırada akım, bobin üzerinde bir manyetik alan meydana getirir ve bu manyetik alanda enerji depo edilir. Anahtar kesimdeyken bobin üzerinde depolanan enerjiden kaynaklanan gerilim indüklenir. Bu gerilim, giriş gerilimine eklenerek çıkış gerilimi olarak aktarılmaktadır (Çalışkan 2011). Bu şekilde çıkış geriliminin giriş geriliminden büyük olması sağlanmaktadır. Şekil 2.22'de anahtarın iletimde ve kesimde olmasına göre bobinin akım ve gerilim değişim grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 2.22 Yükselten dönüştürücüde bobine ait akım gerilim dalga şekilleri (Küçük *et al* 2016).

Yükselten dönüştürücünün V_o çıkış gerilimi ile V_{in} giriş gerilimi arasındaki ilişki eşitlik 2.7’de ifade edilmektedir.

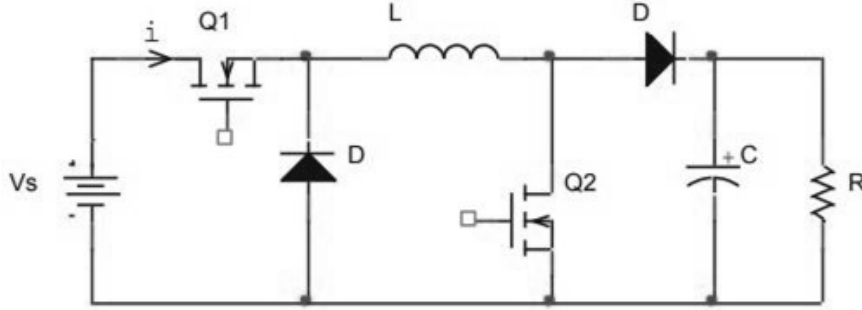
$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1}{1 - D} \quad (2.7)$$

Devrenin anahtarlama frekansı ve buna bağlı olarak çalışma döngüsünün değiştirilmesi, çıkış geriliminin de değişmesini sağlamaktadır.

2.9.3 Düşüren-Yükselten Dönüştürücüler

Güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen gerilimde gün içinde birtakım faktörlere bağlı olarak değişiklikler görülmektedir. DA güç kaynağı bulunduran sistemlerde ise çıkış geriliminin ayarlanmış olması gerekmektedir. Güç kaynağının çıkışından ayarlanabilir pozitif bir gerilim almak için düşüren ve yükselten dönüştürücüler bir arada kullanılabilir. Güç kaynağından elde edilen gerilim önce düşüren dönüştürücü tarafından düşürülmekte, ardından yükselten dönüştürücü tarafından yükseltilmektedir. Düşüren ve yükselten dönüştürücülerin bir araya getirilerek

art arda bağlanmasıyla düşüren-yükselten dönüştürücüler oluşturulmaktadır. Şekil 2.23'te düşüren-yükselten dönüştürücü devre şeması gösterilmektedir.



Şekil 2.23 Düşüren-yükselten dönüştürücü devre şeması (Chandran and Chandran 2015).

Düşüren-yükselten dönüştürücü devresinde sürekli çalışma durumunda gerilim çevirme oranı, eşitlik 2.8'deki gibi çeviricilerin çevirme oranlarının çarpılmasıyla bulunmaktadır.

$$\frac{V_o}{V_{in}} = D \cdot \frac{1}{1 - D} \quad (2.8)$$

Denklemden D , anahtarlama elemanını kontrol edecek sinyalin doluluk oranını göstermektedir. Bu oran 0,5'e eşitse giriş gerilimi çıkış gerilimine eşit olmaktadır. 0,5'ten büyükse; devre, yükselten dönüştürücü olarak çalışmakta ve çıkış gerilimi giriş geriliminden büyük olmaktadır. Oran 0,5'ten küçükse; çıkış gerilimi giriş geriliminden küçüktür ve devre düşüren dönüştürücü olarak çalışmaktadır.

3. MATERYAL ve METOT

Bu bölümde Arduino mikrodenetleyici kartı kullanılarak, değiştir-gözle yöntemini kullanan solar şarj kontrolörünün tasarımı ve gerçekleştirilmesine ilişkin bilgilere detaylı olarak yer verilmektedir. Çalışma yazılım ve donanım olmak üzere iki başlık altında incelenmektedir.

3.1 Solar Şarj Kontrolörünün Özellikleri

Solar şarj kontrolörünün görevi fotovoltaik panellerden elde edilen elektrik enerjisinin regüle edilerek depolama birimine aktarılmasıdır. Akülerin şarjında önemli unsurlardan biri de akülerin tam boşalmasının önüne geçilmesi ve yeterli doluluğa ulaştığında şarjın kesilmesidir. Bu işlemlerin yapılmaması durumunda akülerin ömrünün çok uzun olması beklenemez. Şarj kontrolörü akünün doluluk oranını sürekli kontrol ederek, akülerin fazla yüklenmesinin önüne geçmek için panelden aktarılan elektrik enerjisini kesmektedir. Akü belirli bir doluluk oranının altına düştüğünde ise yük ile olan bağlantı kesilerek yükün aküden enerji çekmesi ve dolayısıyla akünün boşalması engellenmektedir. Şarj kontrol cihazı ile akülerin şarjı gerçekleştirilebileceği gibi cihazda bulunan DA çıkış ile DA yüklerle doğrudan enerji sağlanması mümkündür.

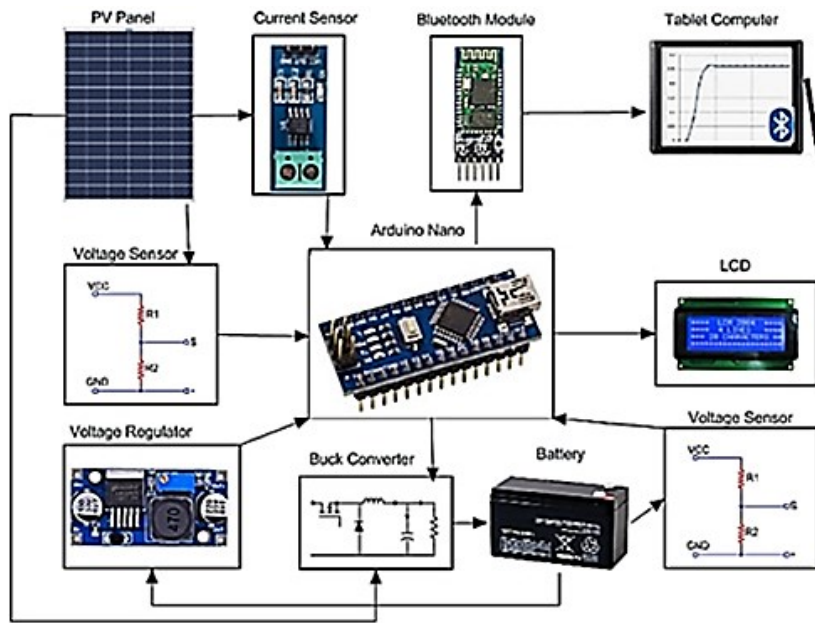
Akülerin şarj edilmesi için farklı tipte şarj kontrolörleri bulunmakla birlikte verimin yüksek olması istenen uygulamalarda MPPT (maksimum güç noktası izleyici) olan cihazlar kullanılmaktadır.

Fotovoltaik sistemlerde kullanılan akü voltajının kullanıcı tarafından periyodik olarak takip edilmesi, sistemde oluşabilecek aksaklıkların erken bir şekilde tespit edilmesine ve akünün belirli bir değer altına düşmesi durumunda sisteme müdahale edilmesine imkan tanımaktadır. Fotovoltaik panelden elde edilen değerlerin izlenmesi ise sistemde gerçekleşebilecek herhangi bir arızanın fark edilmesini kolaylaştıracaktır. Bu nedenle şarj kontrol cihazının üzerinde verilerin izlenebileceği bir ekran bulunması, cihaza ulaşmanın zor olacağı yerlerde ise bu verilerin kablosuz olarak uzaktan izlenebilmesi önem taşımaktadır.

Bu çalışma özelliklerine uygun olarak maksimum verimliliğin sağlanabilmesi için değiştir ve gözle maksimum güç noktası izleme yöntemini kullanan, sisteme ait verilerin LCD ekran ya da bluetooth aracılığıyla mobil cihazlarla uzaktan izlenebildiği, depolanan enerji ile DC bir yükün doğrudan beslenebildiği, fotovoltaik panel, batarya ve şarj kontrolöründen oluşan bir sistem tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir.

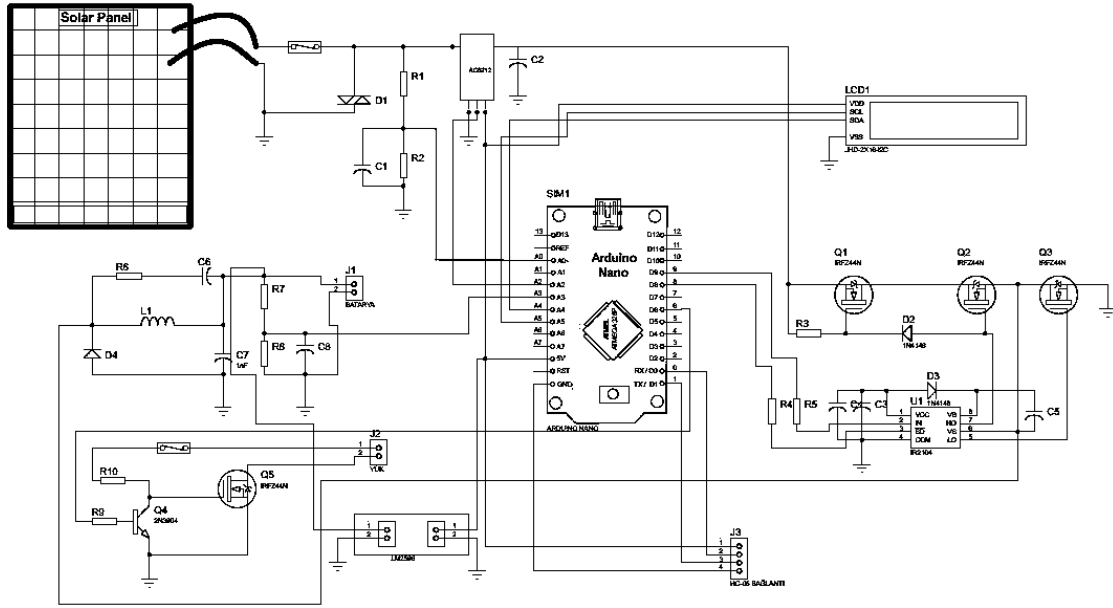
3.2 Sistem Donanımı

Sistemin ana elemanları; Arduino Nano, ACS 712 akım sensörü, düşüren dönüştürücü devresi, LM2596 gerilim regülatörü, gerilim bölücü devre, LCD ekran ve bluetooth modülüdür. Sistem batarya ve fotovoltaik panel ile birlikte çalışmaktadır. Şekil 3.1’de sistemi oluşturan elemanların bağlantılarını belirten blok diyagram gösterilmektedir.



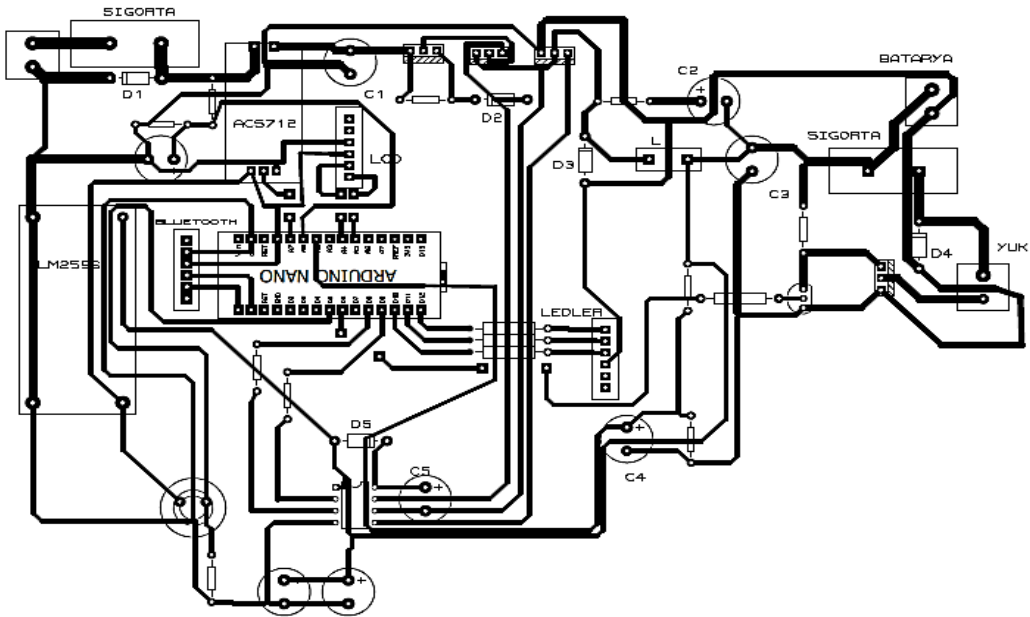
Şekil 3.1 Solar şarj kontrolörü devresi blok diyagramı.

Tasarlanan sistemin işleyişi ve elektronik devre elemanlarının kullanım özellikleri dikkate alınarak devre şeması çizilmiştir. Devre şeması çizimi Proteus içinde bulunan ISIS programında gerçekleştirilmiştir. ISIS programında tasarlanan devrenin benzetimi gerçekleştirilmiş ve çıkan ölçüm sonuçlarına göre devre elemanlarının değerleri üzerinde düzenlemeler yapılmıştır. Şekil 3.2’de Arduino tabanlı solar şarj kontrolörü devresine ait devre şeması gösterilmektedir.



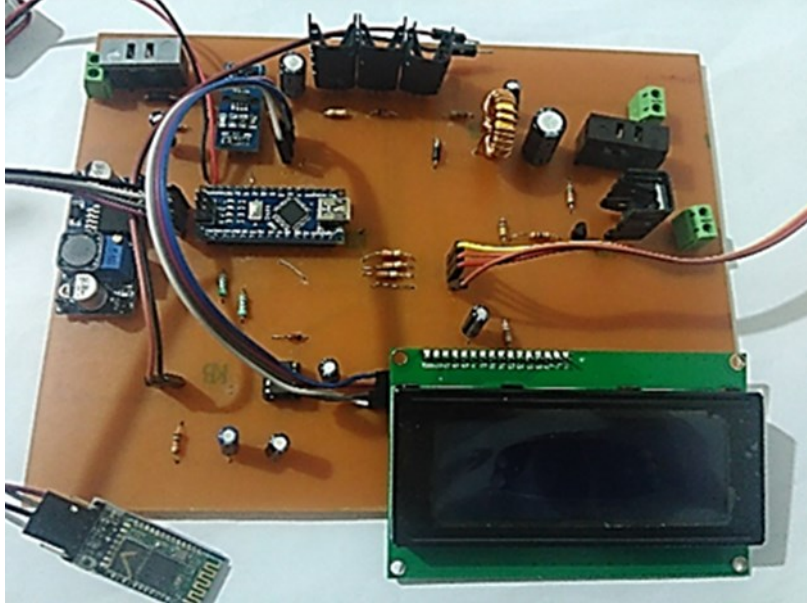
Şekil 3.2 Solar şarj kontrolörü devre şeması.

Donanım elemanlarının bir baskı devre kartı ile bir araya getirilmiştir. Elektronik devre elemanları, Arduino ve diğer modüller bu kart üzerine lehimlenmiştir. Baskı devre şeması Proteus içinde bulunan Ares programı ile çizilmiştir. Solar şarj kontrolörü devresinin baskı devre şeması Şekil 3.3'te gösterilmektedir.



Şekil 3.3 Baskı devre ve malzeme yerleşim şeması.

Devrenin tamamlanmış ve modüllerin bir araya getirilmiş hali Resim 3.1’de gösterilmektedir.



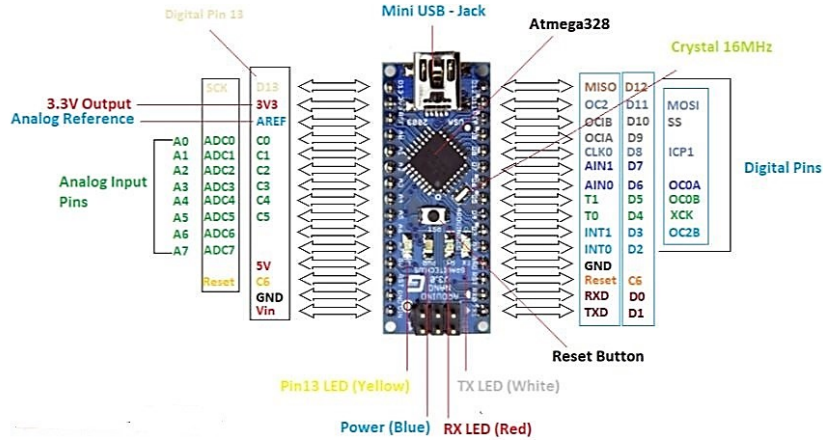
Resim 3.1 Devre kartı.

3.2.1 Arduino

Arduino açık kaynak kodlu bir donanım kartıdır. Son yıllarda Arduino kartına olan ilgi oldukça artmıştır. Kullanımının kolay olması, programlanmasıyla ilgili çok sayıda basılı ve basılı olmayan kaynak bulunması, kullandığı dilin anlaşılır olması bu mikrodenetleyici kartına olan ilginin artmasında önemli etkenler olarak sıralanabilir. Arduino için shield adı verilen modüller geliştirilmektedir. Bu modüllerin kullanımının kolay olması, lehimleme gibi işlemleri azaltması özellikle prototip geliştirmek için kullanılmasına imkan sağlamaktadır.

Arduino 8, 16 ve 32 bit AVR teknolojisini kullanan Atmega 328 mikrodenetleyicisini üzerinde bulundurmaktadır. Atmega 328; 20 MHz clock osilatörü, 32 Kb flaş, 1Kb SRam, 23 giriş-çıkış pini, 6 kanal 10 Bit ADC ve 6 PWM çıkışa sahiptir (Nayyar and Puri 2016). Solar şarj kontrolörü devresinde kullanılacak I/O pin sayısı, devrenin boyutu, sistemde kullanılacak modüllerin özellikleri dikkate alınarak Arduino Nano modeli tercih

edilmiştir. Şekil 3.4’de Arduino Nano pin konfigürasyonu gösterilmektedir.



Şekil 3.4 Arduino Nano pin konfigürasyonu (İnt.Kyn.5).

Devre tasarımında Arduino Nanonun teknik özellikleri göz önünde bulundurulmuştur. Çizelge 3.1’de Arduino Nano modelinin teknik özellikleri gösterilmektedir. Devrede kullanılacak giriş çıkış pinlerinin sayısı belirlenmiş ve bu modelin pin sayısı yeterli bulunmuştur.

Çizelge 3.1 Arduino Nano teknik özellikleri.

Çalışma gerilimi	5 V
Giriş gerilimi	7-12 V
Flah bellek	32 kB
Saat hızı	16 MHz
Analog pin sayısı	8
Giriş / Çıkış pin başına akımı	40 mA
Dijital I/O pin sayısı	22
PWM çıkış sayısı	6

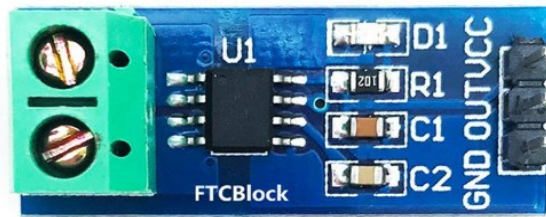
Arduino kartlarının proje ve prototip geliştirmede tercih edilmesinin bazı nedenleri şunlardır:

- Arduino, platformdan bağımsız olarak çalışmaktadır. Windows, Linux ve Mac OS’ da sorunsuz bir şekilde programlanabilmektedir.

- Açık kaynak donanımlıdır. Arduino kartına ilişkin kartın devre şeması üretici firma tarafından paylaşılmaktadır. Kartın farklı firmalar tarafından serbestçe üretilebiliyor olması maliyet üzerinde olumlu etki yapmakta, kartın fiyatının makul seviyede olmasını sağlamakta, aynı zamanda kullanıcıların kendi kartını tasarlamasına imkan sağlamaktadır.
- Açık kaynak kodlu yazılım kullanmaktadır. Programlama dili C++ diline benzer yapıdadır. C yaygın kullanıma sahip olduğu için Arduinodan farklı mikrodenetleyicilere geçmek isteyen kullanıcıların uyum sağlaması kolay olmaktadır.
- Programlanması oldukça kolaydır. Mikrodenetleyicinin programlanması için ek bir donanım ve yazılım gerektirmemektedir. Arduino IDE esnek, sağlam ve anlaşılması kolay programlama imkanı sunmaktadır.
- Arduino hakkında oldukça fazla kaynak bulunmaktadır. Açık kaynak kodlu olmasının avantajlarından biri olarak kullanıcılar tecrübelerini birbirine aktarmakta, yeni projelerin geliştirilmesinin önü açılmaktadır. Aynı zamanda IDE yazılımı içerisinde birçok örnek kullanım kodu bulunmaktadır.

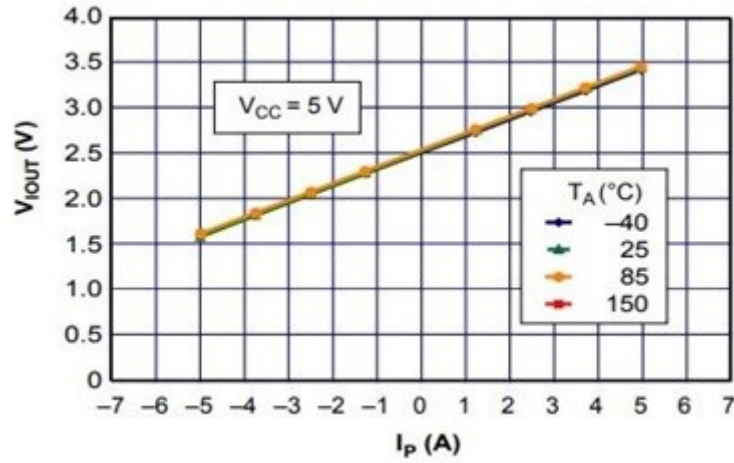
3.2.2 ACS712 Akım Sensörü

Fotovoltaik panel çıkışından alınan akımın değerini ölçmek için ACS712 akım sensörü kullanılmıştır. ACS712, hall etkisi yöntemi ile elektrik akımını yüksek hassasiyetle ölçebilen bir sensördür. Resim 3.2’de ACS712 akım sensörü gösterilmektedir.



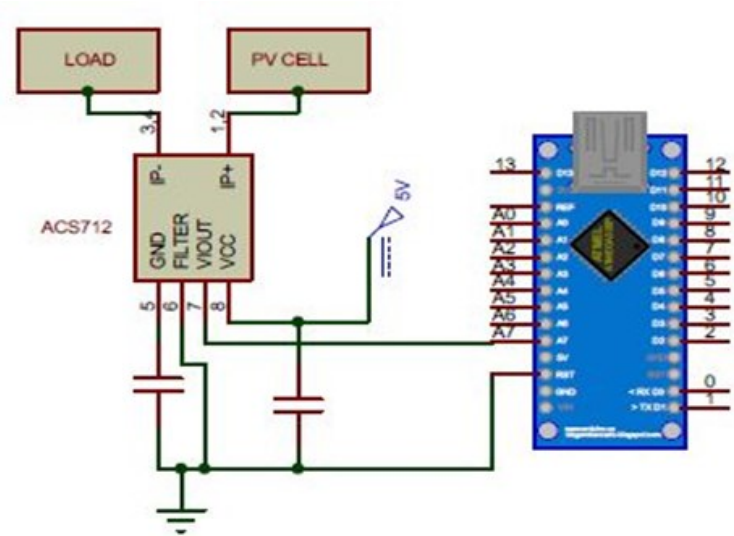
Resim 3.2 ACS712 akım sensörü.

Ölçülen akım değerine orantılı bir çıkış voltajı, akım sensörü tarafından üretilir. ACS712 akım sensörünün çıkış ucunda artan ve azalan her akım değeri için gerilim değişimi olmaktadır. Akım değeri, bu gerilim değeri kullanılarak mikrodenetleyici tarafından hesaplanmaktadır. ACS712 modülünün ± 5 , ± 20 ve ± 30 A akım ölçebilen çeşitleri bulunmaktadır. Devrede maksimum 5A akım değerini ölçebilen model kullanılmıştır. Bu modelin akım-gerilim ilişkisini gösteren grafik Şekil 3.5'te gösterilmektedir.



Şekil 3.5 ACS712 sensörünün akım artışına bağlı gerilim değişimi grafiği (İnt.Kyn.6).

ACS712 modülü üzerinde IP-, IP+ ve Out uçları bulunmaktadır. Yük ve kaynak IP uçlarına bağlanırken Out ucu analog değerler aldığı için Arduinonun analog ucuna bağlanmaktadır. Şekil 3.6'da ACS712'nin devreye bağlantısını göstermektedir.



Şekil 3.6 ACS712 akım sensörünün devreye bağlantısı.

ACS712 akım sensörü kullanım kolaylığı ve ekonomik olması nedeniyle alternatif akım ve doğru akım algılama uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedir. Yük algılama ve yönetimi, aşırı akım koruması bu uygulamalardan bazılarıdır. Bu çalışmada ACS712 fotovoltaik panelin gücünün anlık olarak belirlenebilmesi için gerekli olan akım değerinin tespit edilmesinde kullanılmıştır.

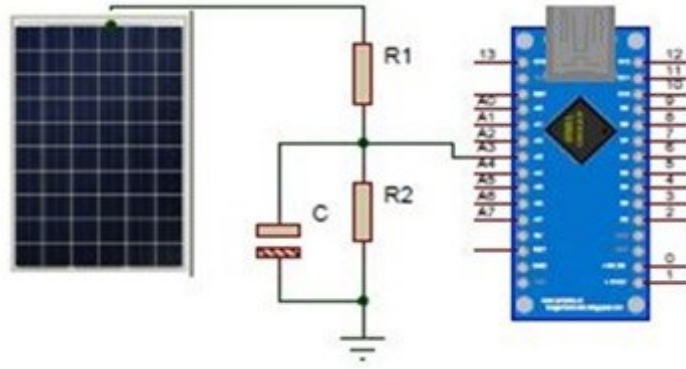
3.2.3 Gerilim Bölücü Devre

Maksimum güç noktasının takibi için panelden elde edilen gücün sürekli olarak ölçülmesi gerekmektedir. Devrenin akımı doğrudan doğruya ACS712 akım sensörü ile ölçülebilirken devre gerilimini özellikle yüksek voltajlarda ölçmek Arduinonun hasar görmesine neden olacaktır. Arduinonun analog girişinden 0-5 V aralığındaki gerilim değerlerini okumak mümkündür. Bu nedenle Arduino girişlerine yüksek voltaj uygulamak yerine gerilim bölücü devre üzerinden ölçüm yapılmıştır.

Gerilim bölücü devre seri bağlanmış 2 dirençten meydana gelmektedir. Panelden elde edilen gerilim, direnç değerleri ile orantılı olarak dirençlerin üzerine düşmektedir. Gerilim bölücü devrede kullanılacak direnç değerlerinin belirlenmesinde panelden elde edilecek ve aküden ölçülebilecek maksimum gerilim değerleri göz önünde bulundurulmuştur. Direnç değerlerinin seçilmesinde dikkat edilmesi gereken diğer husus ise dirençlerin tolerans değerleridir. Maksimum gerilim değerlerinde ve en yüksek tolerans aralığında Arduinonun analog girişine 5 Volt üzerinde bir gerilim düşmemesi sağlanmıştır. Ölçülen değerler 0-1024 aralığında bir değer almakta ve Arduino, referans gerilim değerini kullanarak fotovoltaik panelin gerilim değerini hesaplamaktadır. Fotovoltaik panelin gerilimi V_{PV} , Arduinonun analog girişine uygulanan gerilim V_{ARD} olarak isimlendirilecek olursa, eşitlik 3.1'deki gibi hesaplanmaktadır.

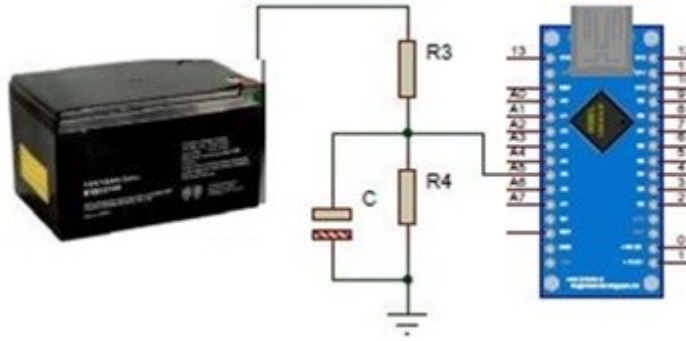
$$V_{ARD} = V_{PV} \cdot \frac{R_2}{(R_1+R_2)} \quad (3.1)$$

Şekil 3.7'de fotovoltaik panele ait gerilim değerini ölçmek için kullanılan gerilim bölücü devrenin Arduinoya bağlantı şeması gösterilmektedir.



Şekil 3.7 Fotovoltaik panel geriliminin ölçülmesi.

Sistemde fotovoltaik panelin geriliminin yanı sıra bataryanın da gerilimi ölçülmektedir. Bataryanın doluluk oranının belirlenmesi P&O algoritmasının işletilmesi için oldukça önemlidir. Batarya geriliminin belirlenmesi için de gerilim bölücü devre oluşturularak Arduinonun analog girişine bağlanmıştır. Şekil 3.8’de bataryanın gerilimini ölçmek için kullanılan gerilim bölücü devrenin bağlantı şeması gösterilmektedir.



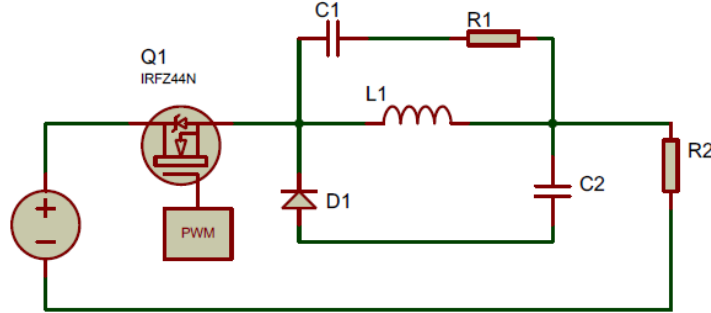
Şekil 3.8 Batarya geriliminin ölçülmesi.

Bu şekilde küçük gerilim değerleri kullanılarak sistemin hasar görmesi önlenmiş ve sistemin gerilim değerleri elde edilmiştir.

3.2.4 Düşüren Dönüştürücü Devre

Düşüren dönüştürücü, voltajı azaltan, basit bir yapıya ve yüksek verime sahip bir DA-DA dönüştürücüdür. Düşüren dönüştürücülerin çıkış voltajını PWM yöntemini kullanarak kontrol etmek mümkündür. PWM metodu sabit frekans ve değişken doluluk oranı prensibi ile çalışmaktadır. Bir sinyalin bir süre içinde aktif olması, doluluk oranı olarak

tanımlanmaktadır. Şekil 3.9’da şarj kontrolöründe kullanılan düşüren dönüştürücü devre şeması gösterilmektedir.



Şekil 3.9 Kontrolörde kullanılan düşüren dönüştürücü devre şeması.

Düşüren dönüştürücü girişine uygulanan PWM sinyali, devreyi aralıklı olarak iletimde tutarak voltajın etkin değerini azaltır. Bu PWM sinyalleri solar şarj kontrol devresinde Arduino tarafından üretilmektedir. Arduinonun çıkış gerilimi mosfetleri sürmek için yetersiz kalmaktadır. Arduinodan elde edilen PWM sinyallerini güçlendirmek ve anahtarlama işlemini gerçekleştirmek için mosfetler bir IR2104 mosfet sürücüsü tarafından sürülmektedir. Panelden elde edilen gerilimin aküye aktarılmak istenen oranda ayarlanması düşüren dönüştürücü tarafından sağlanmaktadır

Projede anahtarlama elemanı olarak IRFZ44N mosfet kullanılmıştır. IRFZ44N 60 Volt değerinde gate-source gerilimine sahiptir. IRFZ44N iyi ve hızlı bir anahtarlama elemanı olduğu için tercih edilmiştir. Mosfetler, yüksek frekansın anahtarlamasını sağlamaktadır. Düşüren dönüştürücülerde anahtarlama-gerilim ilişkisi eşitlik 3.2 ve eşitlik 3.3’te gösterilmektedir.

$$D = \frac{T_{0N}}{T_{0N} + T_{0FF}} = \frac{T_{0N}}{T_S} \quad (3.2)$$

$$V_o = D \cdot V \quad (3.3)$$

Eşitlikler; çıkış voltajının iletim zamanına (D) bağlı olduğunu ve düşüren dönüştürücülerdeki çıkış voltajının her zaman giriş voltajından daha küçük olacağını göstermektedir.

3.2.5 Gerilim Regülatörü

Arduino Nano; USB girişinden, besleme girişinden, V_{in} ucundan ve V_{cc} pininden beslenebilmektedir. Projede kullanılan Arduino Nano sabit bir gerilimle beslenmesi açısından LM2596 gerilim regülatörü modülü ile 5V gerilim uygulanarak V_{cc} ucundan beslenmiştir. Arduinonun gerilim değişikliklerinden etkilenmeden sabit bir voltaj ile çalıştırılması amaçlanmıştır. Resim 3.3'te LM2596 gerilim regülatörü gösterilmektedir.

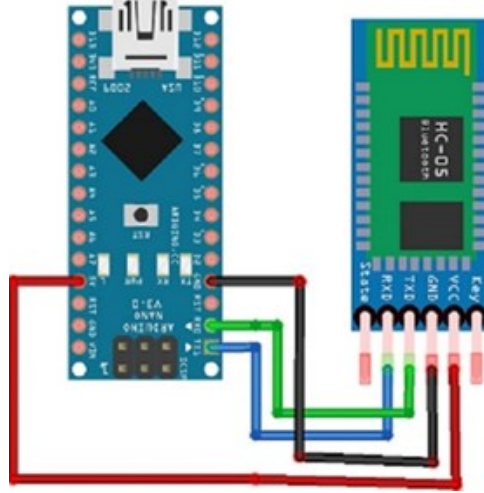


Resim 3.3 LM2596 gerilim regülatörü.

LM2596 bir düşüren dönüştürücüdür. İstenilen gerilim değeri üzerinde bulunan vida ile ayarlanabilmektedir. Çıkış gerilimi besleme geriliminden her zaman daha küçük olacağı için girişine istenen gerilimden daha fazlası uygulanmalıdır. Şarj kontrolörü devresinde LM2596 bataryaya bağlanmış, böylece devreyi beslemek için ek kaynak ihtiyacı ortadan kaldırılmıştır.

3.2.6 Bluetooth Modülü

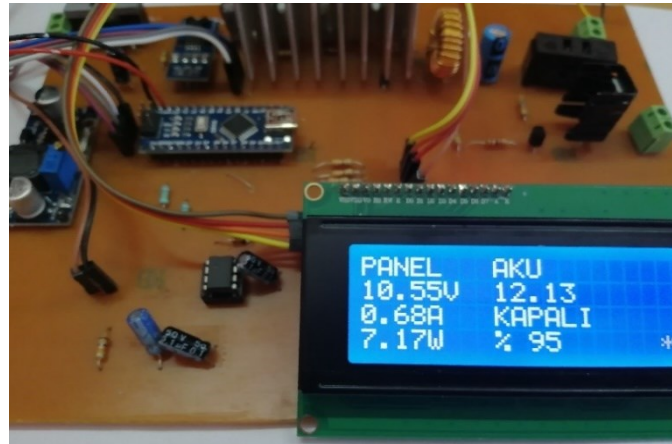
Şarj kontrolörü, kontrolöre ulaşmanın her zaman mümkün olmadığı yüksek ya da uzak bir noktaya monte edilmiş olabilmektedir. Bu durumda sistemde bulunan LCD ekrandan verileri takip etmek zorlaşabilmektedir. Kullanıcı tarafından, şarj kontrolörünün fotovoltajik sistem hakkında oluşturduğu verilerin uzaktan izlenebilmesi için sisteme bir bluetooth modülü dahil edilmiştir. Verilerin ve sistem durumunun Android işletim sistemine sahip mobil cihazlar tarafından görüntülenebilmesi planlanmıştır. Sistemde HC-05 Bluetooth modülü kullanılmıştır. HC-05 bluetooth modülü, seri iletişim yöntemini kullanarak verileri android uygulamasına iletmektedir. Şekil 3.10'da Arduino Nano'ya HC05 bluetooth modülü bağlantısının Fritzing çizimi gösterilmektedir.



Şekil 3.10 HC-05 Bluetooth modülü bağlantı şeması.

3.2.7 Likit Kristal Ekran

Fotovoltaik panelin akım ve gerilimi, akünün gerilimi ve doluluk oranı, sistemin şarj etme durumu gibi verilerin kullanıcı tarafından görüntülenebilmesi, kullanıcının sistemin durumundan haberdar edilebilmesi için şarj kontrolü devresinde 4x20 LCD ekran kullanılmıştır. Resim 3.4’ de devrede kullanılan LCD ekran gösterilmektedir.

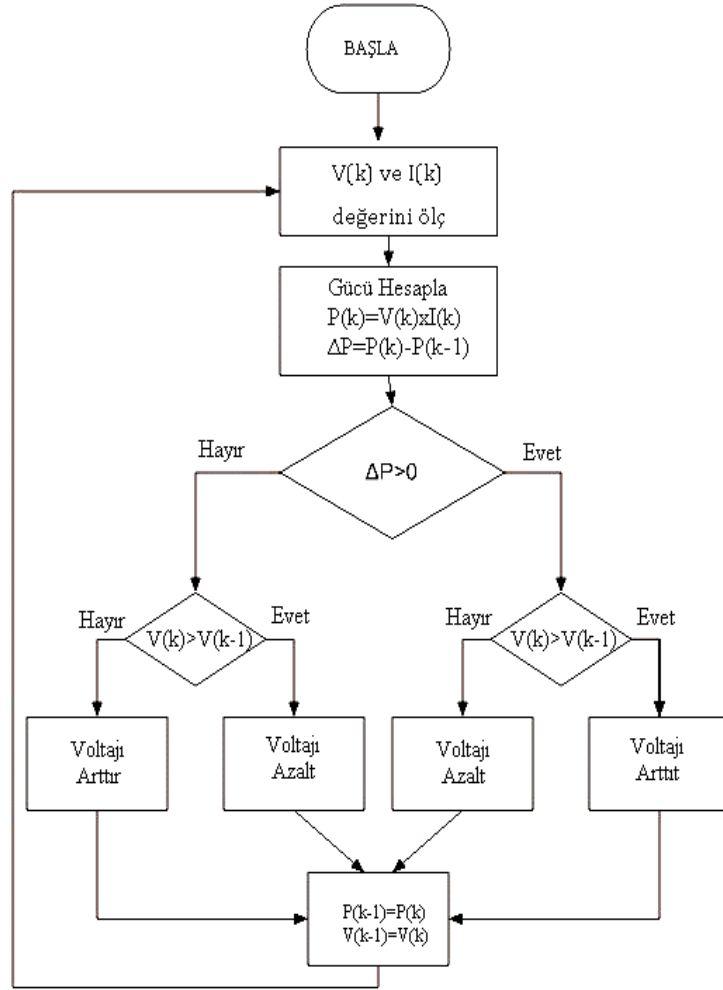


Resim 3.4 Devrede kullanılan LCD ekranın görünümü.

3.3 Sistem Yazılımı

Sistem yazılımı; Arduinonun programlanması ve verilerin uzaktan takibi için Android uygulamanın oluşturulması olmak üzere iki aşamadan meydana gelmektedir.

sensöründen alınan değer ile hesaplanmaktadır. Gerilim değeri ise Arduino ve panele bağlanmış olan gerilim bölücü dirençlerden elde edilen voltaj değeri ile hesaplanmaktadır. Bir sonraki adımda voltaj değeri 0,1 Volt arttırılarak güç yeniden hesaplanmaktadır. Bir önceki adıma kıyasla güçte bir artış varsa, sistem gerilimi arttırmaya devam etmektedir. Güçte azalma varsa artışın yönü ters çevrilerek gerilim azaltılmaktadır. Bu azaltma işlemi güçte artışa neden olmuşsa sistem gerilimi azaltmaya devam ettirmektedir. Gerilimin azaltılmasına bağlı olarak güçte artış meydana geliyorsa, gerilim azaltılmaktadır. Değişir ve gözle yönteminin çalışmasını gösteren akış diyagramı Şekil 3.11’de gösterilmektedir.



Şekil 3.11 Değişir ve gözle algoritması akış diyagramı.

Sistem; şarj yöntemini, fotovoltaiik panel gücü ve bataryanın doluluk oranı faktörlerine bağlı olarak belirlemektedir. Şartlara göre sistemin çalışma durumlarına Çizelge 3.2’de

yer verilmiştir.

Çizelge 3.2 Panel ve aküye göre şarj durumu.

PV Panel Gücü	Akü Durumu	Şarj	PWM
Çok düşük	-	Kapalı	%0
Düşük	Boş	Açık	%100
Yüksek	Boş	Bulk	Maksimum
Yüksek	Dolu	Float	Minimum

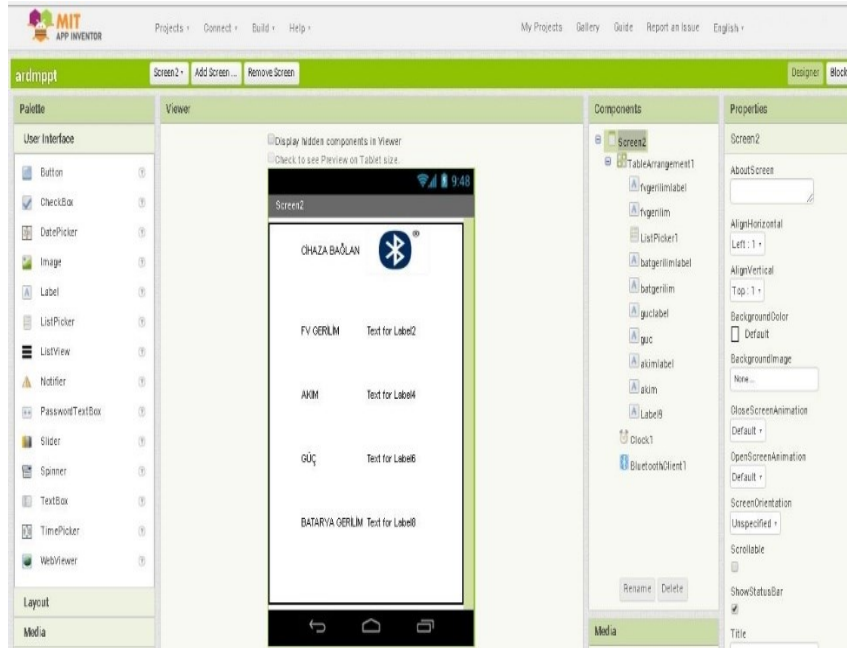
Bulk şarj; batarya voltajının belirli bir seviyeye gelene kadar sabit bir akım ve gerilimle şarj edilmesi olarak tanımlanmaktadır. Batarya gerilimi bir seviyeye ulaştığında tam doluluk oranının sağlanabilmesi için akü voltajı yaklaşık 14,1 Volta kadar yükseltilmekte ardından 13,6 Volt seviyesine çekilmektedir. Bu durum ise float şarj olarak adlandırılmaktadır.

3.3.2 Android Uygulama

Solar şarj kontrolü devresi üzerinde bulunan bluetooth modülü aracılığı ile sistemin işleyişi sırasında elde edilen akım, gerilim, güç ve şarj durumu verilerini bir mobil cihaza aktarmaktadır. Bu verilerin kullanıcı tarafından görüntülenebilmesi için android tabanlı bir uygulamaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla bir uygulama tasarlanarak gerçekleştirilmiştir.

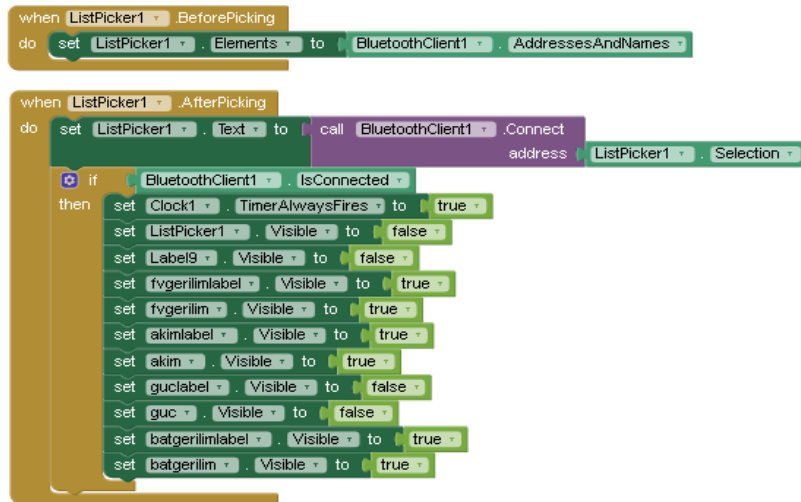
Uygulama App Inventor ile hazırlanmıştır. App Inventor tamamen grafiksel arayüze sahip olan sürükle bırak yöntemiyle karmaşık sözdizimi bilgisine sahip olmaksızın programlamayı basit hale getiren çevrimiçi bir geliştirme platformudur. Resim 3.6'da MIT App Inventor platformunun tasarım alanı gösterilmektedir. Tasarım alanında nesnelere sürükle bırak yöntemi ile alana yerleştirilmekte, biçimsel düzenlemeleri yapılabilmektedir. Hazırlanan Apk dosyası doğrudan indirilebilmekte ya da emülatör aracılığı ile cihaza yüklenmeden test edilebilmektedir. Emülatör bir bilgisayar sisteminin başka bir bilgisayar sistemi altında çalıştırılmasına ve denenmesine imkan sağlamaktadır. App Inventor emülatörü ise Android işletim sisteminde çalışmak üzere hazırlanan

uygulama dosyasını Windows işletim sistemi üzerinde test etmekte kullanılmaktadır.



Resim 3.6 MIT App Inventor tasarım alanı görüntüsü.

Uygulama kod bloklarından oluşmaktadır. Uygulamamın gerçekleştirmesi gereken işlem öncelikle bluetooth bağlantısını sağlamak, ardından Arduino tarafından gönderilen verileri okuyarak ekrana yazdırmaktır. Şekil 3.12’de uygulama ile cihaz arasında bluetooth bağlantısı kurulmasına, Şekil 3.13’de ise Arduinodan gelen verilerin okunmasına ilişkin kod bloğu gösterilmektedir.



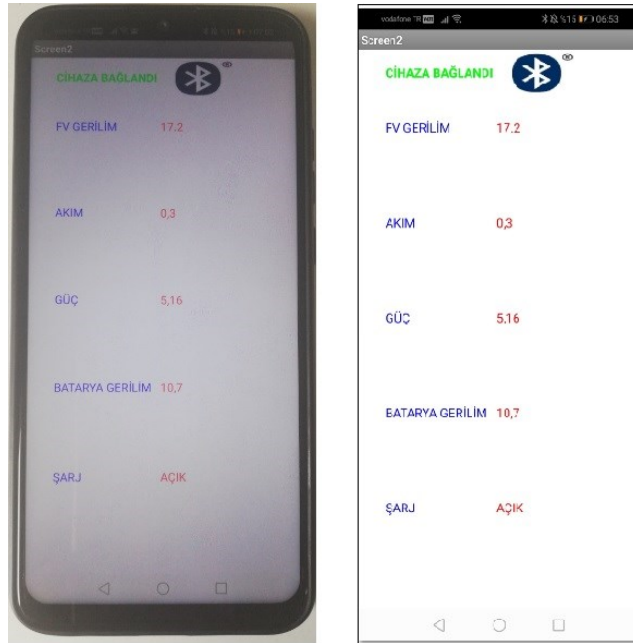
Şekil 3.12 Bluetooth bağlantısına ilişkin kod bloğu.

```
initialize glob_list to create empty list
initialize glob_input to ""

when Clock1.Timer
do if BluetoothClient1.isConnected
then if call BluetoothClient1.BytesAvailableToReceive > 0
then set global input to call BluetoothClient1.ReceiveText
numberOfBytes call BluetoothClient1.BytesAvailableToReceive
set global list to split text get global input
at ""
set akim.Text to select list item list get global list
index 1
set fvgerilim.Text to select list item list get global list
index 2
set batgerilim.Text to select list item list get global list
index 3
set global input to ""
set global list to 0
```

Şekil 3.13 Verilerin okunmasına ilişkin kod bloğu.

MIT App Inventor ortamında hazırlanan tasarım, uygulama dosyasına dönüştürülmekte ve Android işletim sistemine sahip olan cihazlarla uyumlu olarak kullanılmaktadır. Resim 3.7’de uygulamanın çalışmasına ilişkin ekran görüntüsü gösterilmektedir.

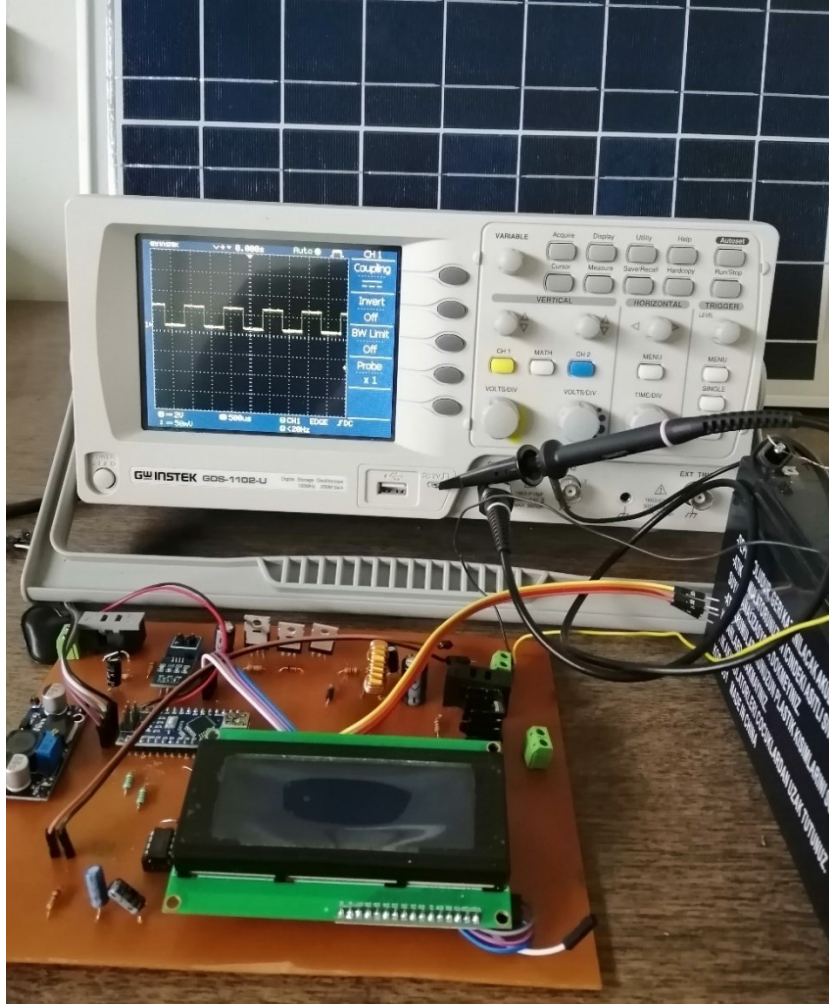


Resim 3.7 Uygulamanın ekran görüntüsü.

Ekrandaki bilgiler, Arduino ile sensörlerden okunan verilerin değişimi ile eş zamanlı olarak güncellenmektedir.

4. BULGULAR

Çalışmada maksimum güç noktasını takip eden, değiştir gözle algoritmasını kullanan, Arduino ile kontrol edilen bir solar şarj kontrolörü gerçekleştirilmiştir. Güneşten fotovoltaik paneller aracılığıyla daha verimli bir şekilde elektrik enerjisi elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu bölümde solar şarj kontrolörüne ait deneysel sonuçlar incelenmiştir. Geliştirilen solar şarj kontrolörüne akümülatör ve fotovoltaik panel bağlantısı yapılarak deney düzeneği oluşturulmuştur. Devrede üzerinde bulunan panel ve akü girişlerine doğrudan bağlantı yapılmıştır. Şekil 4.1’de oluşturulan deney düzeneği gösterilmektedir.



Resim 4.1 Deney düzeneği.

Deneyde 50W gücünde polikristal fotovoltaik panel kullanılmıştır. Fotovoltaik panele ilişkin elektriksel özellikler Çizelge 4.1’de gösterildiği gibidir. Panele ait veriler standart

test koşulları olan 1000 W/m^2 güneş ışınımı ve 25°C hücre sıcaklığı koşulları için geçerlidir.

Çizelge 4.1 Fotovoltaik panelin elektriksel özellikleri.

Maksimum güç gerilimi	V_{mp}	17,30 V
Maksimum güç akımı	I_{mp}	2,90 A
Açık devre gerilimi	V_{oc}	21,60 V
Kısa devre akımı	I_{sc}	3,17 A
Maksimum güç	P_{max}	50 W

Şarj kontrolü devresi farklı hava ve sıcaklık koşullarından test edilmiştir. Yapılan deneyler 2019 yılında ve $38,730-30,510$ enlem-boylam noktalarında bulunan Afyonkarahisar ilinde gerçekleştirilmiştir.

4.1 MPPT Şarj Kontrolörünün Farklı Sıcaklık Değerlerinde Test Edilmesi

MPPT solar şarj kontrolörü devresi, akümülatör ve fotovoltaik panel ile oluşturulan deney düzeneği farklı hava sıcaklıklarında test edilmiştir. Işınım şiddeti faktörünün sonuçlarda oluşturacağı etkinin en aza indirilmesi için birbirine benzeyen hava koşullarında ölçümler yapılmıştır. Fotovoltaik panele ait akım ve gerilim değerleri şarj kontrolörü tarafından ölçülmüştür. Deney sonucunda elde edilen değerler Çizelge 4.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.2 Sıcaklık ile maksimum güç noktası değişimi.

Ölçüm No	Sıcaklık($^\circ\text{C}$)	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_{out} (V)	P_{max} (W)
1	3	18,82	1,92	13,2	36,13
2	7	18,54	1,92	13,1	35,59
3	10	18,35	1,93	13,1	35,41
4	12	18,12	1,94	13	35,15
5	16	17,90	1,93	12,90	34,54
6	18	17,70	1,93	12,83	34,16
7	20	17,65	1,93	12,81	34,06
8	23	17,40	1,94	12,75	33,75

Çizelge 4.2 (Devamı) Sıcaklık ile maksimum güç noktası değişimi.

9	25	17,25	1,94	12,70	33,46
10	27	17,15	1,94	12,66	33,27

Değerler incelendiğinde giriş voltajı (V_{in}) değerinin sıcaklıkla ters orantılı olarak değiştiği, buna bağlı olarak maksimum güç noktasının da aşağı doğru kaydığı görülmektedir.

4.2 MPPT Şarj Kontrolörünün Farklı Hava Koşullarında Test Edilmesi

Işınım şiddetinin maksimum güç noktasındaki değişime etkisini belirlemek için farklı hava koşullarında ve yaklaşık olarak benzer sıcaklıklarda giriş-çıkış gerilimi, akım değeri ölçülmüş, maksimum güç değeri hesaplanmıştır. Ölçümlere ilişkin veriler Çizelge 4.3' te gösterilmektedir. Çizelge 4.3'te bulutluluk derecesi çoktan aza doğru sıralanmıştır. 1 numaralı ölçüm havanın en bulutlu olduğu, 8 numaralı ölçüm ise havanın açık ve gölgelenme oranının en düşük olduğu ölçümü ifade etmektedir.

Çizelge 4.3 Işınım ile maksimum güç noktası değişimi.

Ölçüm No	Hava Durumu	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_{out} (V)	P_{max} (W)
1	Bulutlu	16,45	0,28	4	4,03
2	Parçalı bulutlu	18,00	1,15	9,98	20,70
3	Parçalı bulutlu	18,20	1,70	12,23	30,94
4	Parçalı bulutlu	18,30	1,75	12,42	32,02
5	Parçalı bulutlu	18,35	2	13,3	36,70
6	Güneşli	18,00	2,15	13,6	38,70
7	Güneşli	17,85	2,25	13,9	40,16
8	Güneşli	18,5	2,20	14,1	40,70

Çizelge 4.3 incelendiğinde maksimum güç noktasının, ışınım şiddetinin artmasıyla pozitif yönde bir hareket gösterdiği görülmektedir. Işınım şiddetinin artmasıyla akım ve gerilim değerlerinde değişimler görülürken, güçteki artış akım değerinin artmasından kaynaklanmaktadır.

4.3 MPPT Şarj Kontrolörünün, Akümülatörün Farklı Doluluk Oranlarında Test Edilmesi

Solar şarj kontrolörü devresi, şarj türünü fotovolttaik panelden elde edilen güç ve bataryanın doluluk oranını dikkate alarak belirlemektedir. Batarya ve fotovolttaik panel parametrelerine göre tekrarlanan, sistemin şarj etme, şarjı kesme ya da şarj türünü belirlemesine ilişkin deney sonuçları Çizelge 4.4’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.4 Batarya ve panel değerlerine göre şarj olma durumu.

Ölçüm No	V _{bat} (V)	V _{in} (V)	I _{in} (A)	P _{max} (W)	Şarj Olma
1	11,40	10,55	0,01	0,10	Kapalı
2	10,20	11,20	0,65	7,28	Açık
3	11,65	12,45	2,55	31,75	Bulk
4	12,2	14,40	2,60	37,44	Float

Tabloda; panel gücünün çok düşük olduğu durumlarda şarj durumunun kapalı olarak belirlendiği, panel gününün düşük ve bataryanın tam şarjlı olmadığı durumda şarjın açık tutulduğu görülmektedir. Batarya tam şarjlı duruma ulaşana kadar bulk şarj ile sabit gerilim altında şarj edilmekte, ardından float şarj ile tam şarj durumunun sağlanması için 14,4 Volt seviyesine ulaşılmaya çalışılmaktadır. Devrenin farklı şarj durumunda çalışmasına ilişkin devrede bulunan LCD ekran görüntüleri Resim 4.2’de gösterilmektedir.

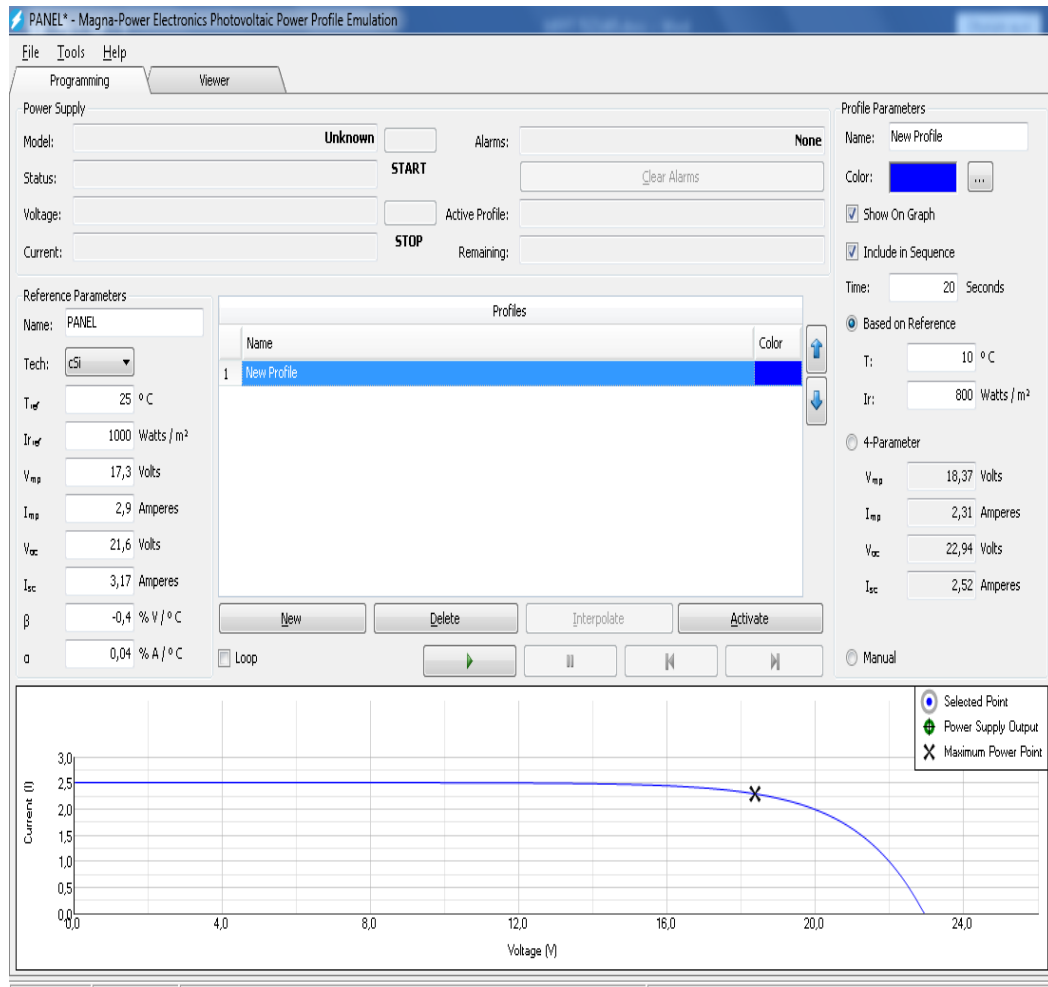
PANEL 18.10V 2.15A 38.91W	AKU 11.83 BULK % 87	PANEL 12.27V 0.56A 6.87W	AKU 10.38 ACIK % 50
PANEL 18.60V 2.23A 41.47W	AKU 12.6 FLOAT % 100	PANEL 10.55V 0.68A 7.17W	AKU 12.13 KAPALI % 95

Resim 4.2 Farklı şarj durumlarında LCD ekran görüntüsü.

4.3 Emülatör Tarafından Hesaplanan Maksimum Güç Noktası Değerleri

Şarj kontrolörünün farklı atmosfer koşulları altında maksimum güç noktasını takip edebilme yeteneğinin kontrol edilebilmesi için Magna Power firmasının geliştirdiği Electronics Photovoltaic Power Profile Emulation (PPPE) programının 2.0.0.12 versiyonu kullanılmıştır. Bu programa fotovoltaik panelin kataloğunda yer alan değerler girildiğinde; emülatör, güneş pili davranışı göstermekte ve maksimum güç noktasını belirlemektedir. Programa tanımlanan panel karakteristiklerinden yararlanarak çıkış akımını ve gerilimini değiştirebilmektedir.

Emülatör programlar, donanımsal olayları yazılım olarak taklit etmekte kullanılmaktadır. Resim 4.3'te bu programın arayüz ekranı gösterilmektedir.



Resim 4.3 Magna Power PPPE kullanıcı arayüzü.

Çalışmada; solar şarj kontrolü devresinin maksimum güç noktasını izleyip izlemediğinin tespiti için fotovoltaik panele ait karakteristik veriler ile ışınım, sıcaklık verileri programa girilmiştir. Programın belirlediği maksimum güç noktası ile şarj kontrolörü devresinden elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.5 Emülatör ve kontrolör devre değerlerinin karşılaştırılması.

Ölçüm No	Sıcaklık(°C)	V_{mpp}	I_{mpp}	V_{emulator}	I_{emulator}
1	3	18,82	1,92	18,93	2,03
2	7	18,54	1,92	18,72	2,03
3	10	18,35	1,93	18,56	2,06
4	12	18,12	1,94	18,33	2,06
5	16	17,90	1,93	18,11	2,04
6	27	17,15	1,94	17,53	2,02

Çizelgede emülatör sonuçları ile devreden elde edilen sonuçların aynı olmadığı fakat yakın değerler aldığı, akım, gerilim ve maksimum güç noktalarındaki artış ve azalışların benzer şekilde değişim gösterdiği görülmektedir. Gerçek koşullardaki fiziksel bozulma, gölgelenme, panelin kirlenmesi, hava koşullarındaki ani değişimler sonuçlardaki bu farklılaşmanın nedeni olarak gösterilebilir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Fotovoltaik sistemlerden elde edilen enerji; ışınım şiddeti, sıcaklık, gölgelenme, kirlilik, fiziksel deformasyon gibi nedenlerle değişkenlik gösterebilmektedir. Aynı zamanda bir fotovoltaik pilden elde edilen akım ve gerilim lineer olmayan bir şekilde değişmekte, bir eğri çizmektedir. Bu eğri üzerinde akım ve gerilim değerleri çarpımının maksimum olduğu bir nokta vardır ve bu nokta maksimum güç noktası olarak adlandırılmaktadır. Bir panelden maksimum güç noktasında enerji elde edilmesi, maksimum verimliliği sağlamak ve enerji kayıplarının önüne geçmektedir. Maksimum güç noktasının takibi için farklı yöntemler kullanan maksimum güç noktası izleyiciler kullanılmaktadır. Şebekeden bağımsız sistemlerde fotovoltaik panelden elde edilen enerji ile doğrudan akümülatörü şarj etmenin sakıncaları bulunduğu için akümülatörün maksimum güç noktasında bir solar şarj kontrolörü tarafından şarj edilmesi uygundur. Şarj kontrolörü kullanmak yükün doğru bir gerilimle beslenmesini sağlayacağı gibi akümülatörün ömrünün uzamasını sağlamakta, akünün aşırı şarj olmasının ya da tamamen boşalmasının önüne geçmektedir. Bu çalışmada bir MPPT solar şarj kontrolörü gerçekleştirilmiş, farklı atmosfer koşulları altında test edilerek sonuçları gözlemlenmiştir.

MPPT solar şarj kontrolörünün Arduino ile gerçekleştirilmesi; devrenin kolay tasarlanmasını, sade bir yapıda olmasını, kolay programlanmasını sağlamıştır. Donanım elemanlarının modüler yapıda olması herhangi bir arıza durumunda arızanın giderilmesini kolaylaştırmıştır.

Şarj kontrolörü devrelerinin üzerinde ekran olan ve ekran olmayan modelleri tasarlanmaktadır. Fotovoltaik sistemlerde sistemin ilk kurulumunun yapılması ve kendi haline bırakılması uygun değildir. Özellikle birden fazla panelin kullanıldığı sistemlerde bir panelde oluşabilecek arıza, diğer panellerin enerji üretimini de etkileyebilmektedir. Solar şarj kontrolörü devresinde oluşabilecek bir arıza akünün tamamen boşalmasına ya da aşırı şarj olmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle sistemin görevli personel tarafından takip edilmesi uygundur. Çalışma kapsamında geliştirilen devre üzerinde, verilerin takibinin yapılabilmesi için bir LCD ekran ve bir bluetooth modülü bulunmaktadır. Kullanıcı LCD ekran üzerinden akım, gerilim, batarya doluluk oranı, şarj

olma durumu gibi bilgileri doğrudan okuyabilmektedir. Bazı sistemlerde panellerin kurulum konumu itibarıyla ekranı görebilmek her seferinde mümkün olmayabilmektedir. Sisteme eklenen bluetooth cihazı sistemden aldığı verileri geliştirilen bir Android uygulamasına gönderebilmekte, bu veriler kullanıcı tarafından açık alanda 100 metre mesafeye kadar cep telefonu, tablet gibi mobil cihazlar vasıtasıyla görüntülenebilmektedir. Yapılan deneylerde verilerin anlık olarak aktarıldığı, herhangi bir kesinti problemi yaşanmadığı belirlenmiştir. Verilerin daha uzak mesafelerden görüntülenmesi gereken durumlarda, sisteme internet modülü eklenmesi ve verilerin bir web sunucusu üzerinden kullanıcıya aktarılması faydalı olacaktır. Birden fazla solar şarj kontrolü kullanılması gereken sistemlerde bütün bilgilerin tek bir kullanıcı panelinde toplanması sistemin kullanılabilirliğini arttıracaktır.

Maksimum güç noktasına; fotovoltaiik panelin karakteristik özellikleri, panelin açısı, ışınım şiddeti ve sıcaklık etki etmektedir. Işınım şiddetinin etkisinin belirlenmesi için gerçekleştirilen deneysel çalışmada bulutlu, parçalı bulutlu ve güneşli havada yapılan ölçüm sonuçları kaydedilmiştir. Akım, gerilim ve maksimum güç değerinin ışınım şiddetinin artmasıyla arttığı tespit edilmiştir. Ünlü ve arkadaşları (2015) yaptıkları benzetim çalışmasında ışığın maksimum güç noktasını arttırdığını belirlemiştir. Bu sonuç alanyazındaki diğer sonuçlarla örtüşmektedir.

Çalışmada, sıcaklıktaki artış ya da azalışın panelden elde edilen gücün maksimum noktasını değiştirip değiştirmediği araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar sonunda sıcaklığın artmasıyla birlikte panel geriliminin düştüğü buna bağlı olarak maksimum güç noktasının aşağıya çekildiği belirlenmiştir.

Işınım miktarının artması genellikle sıcaklığın da artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle ışınım şiddetinin maksimum güç noktasını arttırması ve bununla birlikte sıcaklığın maksimum güç noktasını azaltmaması için panelleri hava sirkülasyonunun olduğu bölgelere yerleştirmek faydalı olacaktır. Panellerin güneşi uygun açıda görmesi maksimum güç noktasını arttıracaktır.

MPPT solar şarj kontrolöründen elde edilen veriler, emülatör programına fotovoltaiik

panel özellikleri girilerek elde edilen verilerle karşılaştırılmış, sonuçların tam olarak örtüşmediği fakat büyük oranda yakınlık gösterdiği görülmüştür. Sonuçların farklılık göstermesi; gerçek atmosfer koşullarında sıcaklık ve ışınım şiddetindeki değişikliklerin anlık olarak gerçekleşmesi fakat emülatör programındaki parametrelerin sürekli sabit kalmasından kaynaklandığı şeklinde yorumlanmaktadır.

İleriki çalışmalarda şarj kontrolörünün verimliliğinin artırılması, cihazların birbiri ile haberleşmesi, anahtarlardan meydana gelebilecek bozulmaların önüne geçmek için yumuşak anahtarlama teknikleri geliştirilmesi, maksimum güç noktasını ararken oluşan salınımların azaltılması için algoritma geliştirilmesi araştırılabilir konular arasındadır.

6. KAYNAKLAR

- Acaravcı, A. and Erdoğan, S. (2018). Renewable energy, environment and economic growth nexus: An empirical analyses for selected countries. *Eskisehir Osmangazi University Journal Of Economics and Administrative Sciences*, **13**: 53-64.
- Acaroğlu, M. and Aydoğan, H. (2012). Biofuels energy sources and future of biofuels energy in Turkey. *Biomass and Bioenergy*, **36**: 69-76.
- Adak, S., Cangi, H. ve Yılmaz, A.S. (2019). Fotovoltaik sistemin çıkış gücünün sıcaklık ve ışımaya bağlı matematiksel modellenmesi ve simülasyonu, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, **11**: 316-327.
- Akçay, T. (2014). Trakya Bölgesinde Çeltik Sapının Biyokütle Potansiyeli ve Enerji Değerlerinin Saptanması, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Tekirdağ.
- Akkurt, İ., Günoglu, K. ve Mavi, B. (2011). Yapay sinir ağları (YSA) yöntemi ile global radyasyon tahmini. *Engineering Sciences*, **6**: 527-532.
- Aksungur, K.M., Kurban, M. ve Filik, Ü.B. (2013). Türkiye'nin Farklı Bölgelerindeki Güneş Işınım Verilerinin Analizi ve Değerlendirilmesi. 5. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, Kocaeli, 23-24 Mayıs, 1-4.
- Andreea, Z., Ildiko, I. and Florentina, C. (2008). Mixed instruments in promoting renewable energy sources: Lessons from the European experience. *Annals of University of Ordea*, **17**: 542-548.
- Aslan, A. (2016). Bandırma rüzgar enerjisi potansiyelinin araştırılması ve seçilen rüzgar türbinlerinin ekonomik analizi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **18**: 75-85.
- Baitoul, M., Khaldoun, A. and Ennaceri, H. (2014). Development And İntegration Of İnnovative Low-Cost PV Windows Based On Dye Sensitized Solar Cells Technology: Application İn Morocco. 2014 International Renewable And Sustainable Energy Conference, Morocco, 17-19 October, 782-787.

- Bayraç, H.N., Çelikay, F. ve Çildir, M. (2018). Küreselleşme Sürecinde Sürdürülebilir Enerji Politikaları, Ekin Kitabevi, 1. baskı, Bursa, Türkiye.
- Bayraktar, Y. ve Kaya, H.İ. (2016). Yenilenebilir enerji politikaları ve rüzgâr enerjisi açısından bir karşılaştırma: Çin, Almanya ve Türkiye örneği. *Uluslararası Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, **4**:1-18.
- Bozkurt, A.U. (2008). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Enerji Verimliliği Açısından Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Boztepe, M. (2017). Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Verimliliği Etkileyen Parametreler. 4. İzmir Enerji Verimliliği Günleri, Yaşar Üniversitesi, İzmir, 19-20 Ocak.
- Bulut, M. (2013). Hidroelektrik Enerji ve Hidroelektrik Santrallerde Türbin Tipi Seçiminin Verime Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane.
- Chander, S., Purohit, A., Sharma, A., Nehra, S.P. and Dhaka, M.S. (2015). A study on photovoltaic parameters of mono-crystalline silicon solar cell with cell temperature. *Energy Reports*, **1**: 104-109.
- Cheikh, M.A., Larbes, C., Kebir, G.T. and Zerguerras, A. (2007). Maximum power point tracking using a fuzzy logic control scheme. *Revue des energies Renouvelables*, **10**: 387-395.
- Çalışkan, E. (2011). Fotovoltaik Sistemler İçin Dsp Temelli Güneş Çeviricisi Tasarımı ve Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Chandran, C. and Chandran, L.R. (2015). Performance analysis of Two Switch Buck Boost Converter fed DC motor. 2015 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication. Chennai, 22-23 April, 99-102.
- Çanka Kılıç, F. (2015). Güneş enerjisi, Türkiye'deki son durumu ve üretim teknolojileri.

- Çarkıt, T. (2017). Yenilenebilir Enerji Kaynakları Depolama Sistemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Dallago, E., Liberale, A., Miotti, D. and Venchi, G. (2015). Direct MPPT algorithm for PV sources with only voltage measurements. *IEEE Transactions on Power Electronics*, **30**: 6742-6750.
- Demiröz, E., Kurban, M. ve Dokur, E. (2016). Güneş enerji sistemlerinin verimlilik analizi: Bilecik-Kütahya uygulaması. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, **5**: 87-100.
- Eniş, A. (2013). Enerji Politikaları ile Yerli, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları. TMMOB Türkiye IV. Enerji Sempozyumu Bildirileri, Ankara, 10-12 Aralık, 295-324.
- Erdinç, O. (2012). Şebekeden Bağımsız Uygulamalar İçin Hibrit Bir Rüzgâr Türbini/Fotovoltaik/Yakıt Hücresi/Batarya Sisteminin Optimizasyonu, Tasarımı ve Uygulaması. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Erdoğan, Y., Dinçler, T., Kuncan, M. ve Ertunç, H.M. (2014). Güneş Panelleri İçin Yüksek Verimli Maksimum Güç Noktası İzleyicisi (Mppt) Tasarımı. Türk Otomatik Kontrol Toplantısı, Kocaeli, 11-13 Eylül, 1055-1060.
- ETKB. (2017). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Dünya ve Türkiye enerji ve tabii kaynaklar görünümü, Ankara.
- Haskök, A.Ş. (2005). Türkiye'nin Mevcut Enerji Kaynaklarının Durum Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Husain, M.A., Khan, A., Tariq, A., Khan, Z.A. and Jain, A. (2018). Aspects involved in the modeling of PV system, comparison of MPPT schemes, and study of different ambient conditions using P&O method, *System and Architecture*, 285-303.

- Kangal, S. (2008). Fotovoltaik Sistem Analizi ve Labview Tabanlı Mppt Simülasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Karagül, A. B., Başol, D. ve Yücedağ, İ. (2014). Güç elektroniği dönüştürücü modelleri eğitim modülü. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **2**: 79-87.
- Karami, N., Moubayed, N. and Outbib, R. (2017). General review and classification of different MPPT Techniques. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, **68**: 1-18.
- Karataş, S. (2009). Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları İçerisinde Rüzgar ve Güneş Enejisinin Yeri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Keskin, Y.E. (2014). Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Küçük, T.V., Özbay, H., Canta, Y., Karabacak, M. ve Kale, M. (2016). Yüksek frekans DA/DA senkron yükselten dönüştürücü tasarımı. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **4**: 772-781.
- Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y. ve Uğurlu, İ. (2018). Dünya’da ve Türkiye’de enerji görünümünün genel değerlendirilmesi. *Engineer & the Machinery Magazine*, **692**: 86-114.
- Koçar, G., Eryaşar, A., Ersöz, Ö., Arıcı, Ş. ve Bayrakçı, A.G. (2013). Biyokütle enerjisine sektörel yaklaşım: İzmir örneği, *Mühendis ve Makina*, **639**: 78-85.
- Latif, T. and Hussain, S.R. (2014). Design of a Charge Controller Based on SEPIC and Buck Topology Using Modified Incremental Conductance MPPT. 8th international conference on Electrical and computer Engineering, Bangladesh, 20-22 December, 824-827.
- Lokanadham, M. and Bhaskar, K.V. (2012). Incremental conductance based maximum power point tracking (MPPT) for photovoltaic system. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, **2**: 1420-1424.

- Ma, X., Jiandong, D., Xiao, W., Tuo, S., Yanhang, W. and Ting, S. (2018). Research of Photovoltaic Systems MPPT Based on Improved Grey Wolf Algorithm Under Partial Shading Conditions. 2nd IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration, BeiJing, 20-22 October, 1-6.
- Masood, B., Siddique, M.S., Asif, R.M. and Zia-ul-Haq, M. (2014). Maximum Power Point Tracking Using Hybrid Perturb & Observe And Incremental Conductance Techniques. 4th International Conference on Engineering Technology and Technopreneuship, Kuala Lumpur, 26-28 August, 354-359.
- Meng, X., Leng, M., Zhang, H. and Xu, T. (2017). MPPT Control Strategy Based On CVT And Variable Step Hysteresis Comparison Method. 29th Chinese Control and Decision Conference, Chongqing, 28-30 May, 3252-3257.
- Nayyar, A. and Puri, V. (2016). A Review of Arduino Board's, Lilypad's & Arduino Shields. 3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development, New Delhi, 16-18 March, 1485-1492.
- Onat, N. ve Ersöz, S. (2009). Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası İzleyici Algoritmalarının Karşılaştırılması. 5. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Diyarbakır, 19-21 Haziran, 50-56.
- Özçalık, H.R., Yılmaz, S. ve Kılıç, E. (2013). Güneş pilinin bir diyotlu eşdeğer devre yardımıyla matematiksel modelinin çıkartılması ve parametrelerinin incelenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **16**: 23-29.
- Özdemir, Ş. (2007). Fotovoltaik Sistemler İçin Mikrodenetleyicili En Yüksek Güç Noktasını İzleyen Bir Konvertörün Gerçekleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Rayamajhee, V. and Joshi, A. (2018). Economic trade-offs between hydroelectricity production and environmental externalities: A case for local externality mitigation fund. *Renewable Energy*, **129**: 237-244.

- Sağlam, M., Sulukan, E. and Uyar, T. S. (2010). Wave energy and technical potential of Turkey. *Journal of Naval Science and Engineering*, **6**: 34-50.
- Sancar, M.R. (2018). Fotovoltaik Panelin Performansına Etki Eden Faktörlerin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Seydioğulları, H.S. (2013). Sürdürülebilir kalkınma için yenilenebilir enerji. *Planlama*, **23**: 19-25.
- Şenol, Ü. (2017). Rüzgar Enerjisi ve Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Tahmini. Yüksek Lisans Tezi, Bozok Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat.
- Şentürk, A. (2018). Fotovoltaik modüllerin akım-gerilim eğrilerinin simülasyonunda kullanılacak olan yöntemin seçimi. *Bahkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **20**: 341-354.
- Taghizadeh, H., Cross, A.M., Whitehouse, R. and Barker, C. (2015). Switched Capacitor DC-DC Converters For HVDC Applications. 11th IET International Conference on AC and DC Power Transmission. Birmingham, 10-12 February, 1-9.
- Twidell, J. and Weir, T. (2015). Renewable Energy Resources, Routledge, 3. edition, London, UK.
- TEİAŞ (2017). Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Faaliyet Raporu 2017
- Vicente, E.M., Vicente, P.S., Moreno, R.L. and Ribeiro, E.R. (2015). Steady State and Dynamic Analysis for MPPT Techniques. 1st Southern Power Electronics Conference , Fortaleza, 29 November-2 December, 1-6.
- Wang, H., Vinayagam, L., Jiang, H., Cai, Z. Q. and Li, H. (2016). New MPPT Solar Generation Implemented With Constant-Voltage Constant-Current DC/DC Converter. 51. International Universities Power Engineering Conference, Coimbra, 6-9 September, 1-6.

Yılmaz, M. (2012). Türkiye'nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, **4**: 33-54.

Zakki, M.I.M., Hussain, M. N. M. and Seroji, M. N. (2017). A hybrid fast distributed maximum power point tracking technique in rapid mismatching condition. IEEE 2nd International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems, Kota Kinabalu, 21 October, 1-6.

İnternet Kaynakları

- 1- <https://www.teias.gov.tr/tr/i-kurulu-guc>, 14.04.2019
- 2- <http://www.teias.gov.tr/sites/default/files/2017-10/39.docx>, 15.04.2019
- 3- <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator>, 16.04.2019
- 4- http://www.emo.org.tr/ekler/3a921ffad054cb0_ek.pdf, 14.04.2019
- 5- <https://www.theengineeringprojects.com/2018/06/introduction-to-arduino-nano.html>, 16.04.2019
- 6- <https://www.sparkfun.com/datasheets/BreakoutBoards/0712.pdf>, 15.04.2019

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hakan Yahya AKDENİZ
Doğum Yeri ve Tarihi : Balıkesir 1984
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim : 0 507 958 79 29 / hakanyahya@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Konya Fatih Anadolu Meslek Lisesi, (2003)
Lisans : Selçuk Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi
Elektronik Öğretmenliği Bölümü, (2008)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri
Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği-Yenilenebilir
Enerji Sistemleri Anabilim Dalı, (2019)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :
Milli Eğitim Bakanlığı (2009-devam ediyor)

Yayımları (SCI ve diğer) :

Akdeniz, H.Y. and Yönetken, A. (2019). Design and implementation of P&O maximum power point tracker algorithm based solar charge controller. *International Journal of Applied Mathematics Electronics and Computers*, 7: 22-26. Retrieved from <http://dergipark.org.tr/ijamec/issue/45258/534336>