

**MİKROİŞLEMCİ DENETİMLİ  
HİBRİT SİSTEM TASARIM VE UYGULAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Melike ÇATAL

Danışman

Doç. Dr. Ahmet YÖNETKEN

YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI

Kasım 2021

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MİKROİŞLEMCİ DENETİMLİ HİBRİT SİSTEM TASARIM  
VE  
UYGULAMASI**

**Melike ÇATAL**

**Danışman**

**Doç. Dr. Ahmet YÖNETKEN**

**YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI**

**Kasım 2021**

## TEZ ONAY SAYFASI

Melike ÇATAL tarafından hazırlanan “Mikroişlemci Denetimli Hibrit Sistem Tasarım ve Uygulaması” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 11 / 11 / 2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Doç Dr. Ahmet YÖNETKEN

**Başkan** : Dr. Öğr. Üyesi Rasim DOĞAN  
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet BİÇER  
M. Akif Üniversitesi, Gölhisar Sağlık Hizmetleri Meslek Okulu

**Üye** : Doç Dr. Ahmet YÖNETKEN  
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

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

.....  
Prof. Dr. İbrahim EROL  
Enstitü Müdürü

## BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

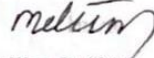
Afyon Kocatepe Üniversitesi

**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.**

11 / 11 / 2021

  
Melike ÇATAL

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### MİKRODENETLEYİCİ DENETİMLİ HİBRİT SİSTEM TASARIM VE UYGULAMASI

Melike ÇATAL  
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Ahmet YÖNETKEN

Yenilenebilir enerjinin günümüzde ve gelecekte daha verimli kullanılabilmesi ve devamlılığının sağlamayı başarabilmesi açısından yapılan bir çalışmadır. Yenilebilir enerji kaynaklı elektrik enerjisinin üretiminde hibrit enerji üretim sisteminin modelinin kurulmasının yapılması ve sistemin enerji üretimi üzerindeki etkileri analiz edilerek gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Kurulan hibrit enerji üretim sistemi rüzgâr ve güneş enerjisinden faydalanılmıştır. Bu enerji türlerinin yetersiz kalması durumunda enerji depolama sisteminden enerji temin edilmektedir. Hibrit enerji üretim sistemlerinde enerji üretiminin devamlılığını sağlamak amacıyla mikrodenetleyici ile denetim yapılmıştır. Yükselen enerji faturaları, enerji kesintileri ve üretimin çevreye zarar vermeden yapılması açısından hibrit enerji üreten sistem, şebeke ve diğer sistemlere göre daha cazip olduğunu göstermektedir. Sisteme dâhil edilen enerji depolama sistemi sayesinde herhangi bir yük olmasa dahi sistem enerji üretmeye devam ederek enerji depolama yapacaktır. Bu sayede istenildiği zaman depolanan enerji kullanılabilir ve üretim kesintisiz bir şekilde devam etmesi sağlanmıştır. Hibrit enerji üreten sistemi kurulduktan sonra üretim değerleri izlenmiştir. Elde edilen enerji verileri değerlendirilmiştir.

**2021, x + 80 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:**Güneş Enerjisi, Rüzgâr Enerjisi, Hibrit Sistemler, Mikrodenetleyici

## **ABSTRACT**

M.Sc.Thesis

### **MICROPROCESSOR CONTROLLED HYBRID SYSTEM DESIGN AND IMPLEMENTATION**

Melike ÇATAL

Afyon Kocatepe University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Renewable Energy Systems

**Supervisor:** Assoc. Prof. Ahmet YÖNETKEN

It is a study carried out in order to ensure that renewable energy can be used more efficiently today and in the future and to achieve its continuity. Necessary calculations were made by establishing the model of the hybrid energy production system in the production of electrical energy from renewable energy and analyzing the effects of the system on energy production. The established hybrid power generation system has benefited from wind and solar energy. In case these energy types are insufficient, energy is supplied from the energy storage system. In order to ensure the continuity of energy production in hybrid energy production systems, control was made with a microcontroller. In terms of rising energy bills, power cuts and production without harming the environment, the hybrid energy generating system shows that it is more attractive than the grid and other systems. Thanks to the energy storage system included in the system, even if there is no load, the system will continue to produce energy and store energy. In this way, the stored energy can be used whenever required and the production continues uninterruptedly. After the hybrid energy generating system was installed, the production values were monitored. The energy data obtained were evaluated.

**2021, x + 80 pages**

**Keywords:** Solar Energy, Wind Power, Hybrid Systems, Microcontroller.

## TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel alışmaların ynlendirilmesi, sonuların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarında dolay ız danışmanım Do. Dr. Ahmet YÖNETKEN, araştırma ve yazım sresince yardımlarını esirgemeyen Afyon Kocatepe Üniversitesi GRAM alışanı olan Hasan SARIÇOBAN'a her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını grdğim hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolay aileme teşekkür ederim.

Melike ÇATAL  
Afyonkarahisar 2021

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	i
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ .....	x
1. GİRİŞ.....	x
2. ENERJİNİN TANIMI VE ENERJİ KAYNAKLARI.....	7
2.1 Enerji Kaynakları .....	9
2.1.1 Tükenebilir Enerji Kaynakları .....	12
2.1.2 Tüklenmeyen Enerji Kaynakları .....	13
2.1.3 Türkiye'nin Enerji Bakımından Konumu .....	14
2.1.3.1 Dünya Genelinde Güneş Enerjisinin Potansiyeli .....	20
2.1.3.2 Türkiye'nin Güneş Enerjisi Bakımından Konumu .....	21
2.1.3.3 Dünya Genelinde Rüzgar Enerjisinin Potansiyeli.....	23
2.1.3.4 Türkiye'nin Rüzgar Enerjisi Bakımından Konumu.....	25
2.2 Hibrit Enerji Üretim Sistemleri ve Bileşenleri .....	26
2.2.1 Rüzgar Türbininin Sınıflandırılması ve Bileşenleri .....	27
2.2.1.1 Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması.....	28
2.2.1.2 Yatay Eksenli Rüzgar Türbinlerinin Tanıtılması .....	28
2.2.1.3 Dikey Eksenli Rüzgar Türbinlerinin Tanıtılması.....	29
2.2.1.4 Yatay Eksenli Rüzgar Türbinlerinin Ana Elemanları .....	30
2.2.2 Güneş Enerjisinin Tanıtılması.....	33
2.2.2.1 Güneş Pilleri.....	33
2.2.2.2 Fotovoltaik Pilleri .....	34
2.2.2.3 Fv Eşdeğer Devre Modelleri .....	36
2.2.2.4 Güneş Pili'nin Güç Verimlilikleri .....	38
2.2.2.5 Güneş Pili Çalışma Prensipleri ve Karakteristik Özellikleri.....	40



2.2.2.6 Güneş Pili Çeşitlerinin Tanıtılması .....	41
2.2.2.7 Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Verimliliği Etkileyen Parametrele ...	42
2.2.2.8 Güneş Takip Sistemi .....	42
2.2.3 Eviriciler(İnvertörler) .....	44
2.2.3.1 Tek Fazlı Gerilim Beslemeli İnvertörler .....	44
2.2.3.2 Üç Fazlı Gerilim Beslemeli İnvertörler .....	45
2.2.4 Aküler.....	46
2.2.5 Alternatörler .....	46
2.2.5.1 Alternatör Parçaları .....	47
2.2.5.2 Alternatörlerde Gerilim ve Frekans Regülatörü.....	47
2.2.5.3 Alternatör Çeşitleri.....	48
2.2.6 Mikrodenetleyiciler .....	48
2.2.6.1 Mikrodenetleyici Tanımı ve Çeşitleri .....	48
2.2.6.2 Mikroişlemci ve Mikrodenetleyici Arasındaki Farklar.....	49
2.2.6.3 Mikrodenetleyicilerde Dikkat Edilmesi Gereken Özellikler .....	50
2.2.7 Maksimum Güç Noktası Takibi .....	50
3. MATERYAL ve METOT .....	52
3.1 Rüzgar, Güneş ve Akü Grubundan Oluşan Hibrit Sisteminin Bileşenleri ve Özellikleri .....	52
3.1.1 Sistemde Kullanılan Rüzgar Türbinin Özellikleri .....	53
3.1.2 Sistemde Kullanılan Fotovoltaik Panellerin Özellikleri .....	55
3.1.3 Sistemde Kullanılan İnvertör .....	55
3.1.4 Batarya Kontrol Cihazı .....	56
3.1.5 Sistemde Kullanılan Akümülatör .....	57
3.1.6 Sistemin Enerjisinin Aktif Bir Biçimde Kullanılabilmesi İçin Kontrol Sisteminin Planlanması .....	59
3.1.7 Sistemin Kurulum Aşaması.....	63
4. BULGULAR .....	66
5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....	71
6. KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	80

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

KWh	Kilowatt/saat
AC	Alternatif akım
DC	Doğru akım
MW	Megawatt
KW	Kilowatt
W	Watt
P	Güç
Cm <sup>2</sup>	Santimetrekare
I <sub>s</sub>	Doyum akımı
H <sub>f</sub>	Foton enerjisi
R <sub>s</sub>	Seri direnç
R <sub>f</sub>	Paralel direnç
I <sub>pv</sub>	Foton akımı
K	Boltzmann sabiti
N <sub>s</sub>	Seri hücre sayısı
N <sub>p</sub>	Paralel hücre sayısı
V <sub>OC</sub>	Açık devre gerilimi
K	Kelvin
Ah	Amper/saat
T <sub>S</sub>	Anahtarlama sinyali periyodu
Kv	Kilovolt
P	Kutup sayısı
F	Frekans
Mp	Sıcaklığa bağlı katsayı
V <sub>t</sub>	Sıcaklık gerilimi
V <sub>d</sub>	Diyot gerilimi
A	Panel kalite güç faktörü
Q	Elektron yükü
C <sub>kapasite</sub>	Akümülatör kapasitesi

### Kısaltmalar

---

BP	British Petroleum
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
ETKB	T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
Tep	Ton eşdeğer petrol
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1 2035 yılında Dünya'da ki birincil enerji talebi, Milyartep (IEA 2013) .....	8
Şekil 2.2 Milyar tep cinsinden enerji tüketim artışı (BP 2020).....	8
Şekil 2.3 Enerji kaynaklarının tüketim oranları değişimi (BP 2020) .....	9
Şekil 2.4 Dünya enerji üretim ve tüketim değerleri (Demirtaş 2008).....	10
Şekil 2.5 Türkiye'nin enerji üretim ve değerleri (Demirtaş 2008).....	11
Şekil 2.6 2019 brüt elektrik üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre aylık dağılımı (TEİAŞ 2019) .....	15
Şekil 2.7 2019 brüt elektrik üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre aylık %lik dağılımı(TEİAŞ 2019) .....	15
Şekil 2.8 Türkiye'nin günlük nihai enerji tüketimi (Dünya Enerji Konseyi 2017).....	16
Şekil 2.9 Toplam enerji tüketiminin enerji kaynaklarına göre dağılımı 2017 .....	17
Şekil 2.10 Nihai enerji tüketiminin sektörlere göre dağılımı 2017 .....	18
Şekil 2.11 Dünya'da güneş enerjisi kullanımı (Solar Power Europe 2018).....	21
Şekil 2.12 Türkiye'de yatay düzlemde ve optimum açıda elde edilen güneş enerjisi değerleri (JRCEuropean Commission Photovoltaic Databases 2009) .....	22
Şekil 2.13 Türkiye'nin güneş enerjisi haritası(Enerji Atlası Kayn-1) .....	22
Şekil 2.14 Dünya'nın Rüzgâr potansiyel dağılımı (Salamanoğlu ve Çetin 2009) .....	24
Şekil 2.15 Rüzgar enerji sisteminin çalışam prensibi .....	27
Şekil 2.16 Rüzgar türbinlerinin rotor tipleri ve kullanım alanları (Kayn-1) .....	28
Şekil 2.17 Düşey eksenli rüzgâr türbininin genel yapısı (Enerji Portalı Kayn-2).....	29
Şekil 2.18 Yatay eksenli rüzgar türbinlerinin ana elemanları(Kayn-3).....	30
Şekil 2.19 Rotor kanatları (Kayn-4) .....	31
Şekil 2.20 Dişli kutusu (Enerji Portalı Kayn-5) .....	31
Şekil 2.21 YAW(yön saptırma) mekanizması (Kayn-6).....	32
Şekil 2.22 Güneş pili, hücre, modül ve panel modeli (Kayn-7).....	33
Şekil 2.23 Fotovoltaik pilin yapısı (Kayn-8).....	34
Şekil 2.24 Fotovoltaik piller, paneller ve dizini .....	35
Şekil 2.25 FV eşdeğer devre modeli (genel model) .....	36
Şekil 2.26 FV eşdeğer devre modelleri .....	37
Şekil 2.27 MGN değişimi (Kaplan, Şirin ve Yıldız 2019).....	39

Şekil 2.28 Performans oranı tanımları(Kaplan, Şirin ve Yıldız 2019).....	40
Şekil 2.29 Güneş pili çalışma prensibi(Kayn-9) .....	41
Şekil 2.30 Kullanılan malzemeye bağlı olarak farklı güneş pili türleri .....	41
Şekil 2.31 FV panel garanti süreleri.....	42
Şekil 2.32 Çift eksenli güneş paneli(Kaplan, Şirin ve Yıldız 2019) .....	42
Şekil 2.33 Tam fazlı köprü invertör için (a) devre şeması (b) gerilim dalga şekilleri (Fesli 2009).....	45
Şekil 2.34 Üç fazlı gerilim beslemeli invertörün (a) devre şeması (b) çıkış gerilim dalga şekilleri (Fesli 2009).....	45
Şekil 2.35 Alternatör devresi (Fesli 2009) .....	46
Şekil 2.36 Alternatörün demontaj hali ve parçaları.....	47
Şekil 2.37 Mikrodenetleyicilerin kullanım alanları (Kayn-10).....	49
Şekil 2.38 Mikrodenetleyici çeşitleri (Kayn-11).....	49
Şekil 3.1 Sistem blok diyagramı .....	52
Şekil 3.2 Rüzgar türbininin tahmini ve aylık üretimi ve güç eğrileri(Kayn-12).....	54
Şekil 3.3 60 W monokristal güneş paneli(Kayn-13).....	55
Şekil 3.4 Sistemde kullanılan invertör .....	56
Şekil 3.5 PIC 18F877 mikrodenetleyicisinin bağlantı uçları .....	59
Şekil 3.6 Kontrol kartı açık devre şeması.....	59
Şekil 3.7 Sistem için yazılan kod sayfası .....	61
Şekil 3.8 Ölçme kartı.....	62
Şekil 3.9 Hibrit sistemin kontrol algoritması. ....	63
Şekil 4.1 Rüzgar türbininin saatlik üretim miktarı .....	67
Şekil 4.2 Güneş panelinin saatlik üretim miktarı .....	67
Şekil 4.3 Ocak Ayı saatlik ışınım değerleri.....	68
Şekil 4.4 Fotovoltaik panellerin Ocak ayı için üretimdeki gerilim ve akım grafiği.....	68
Şekil 4.5 Şubat Ayı saatlik ışınım değerleri .....	68
Şekil 4.6 Şubat ayı için gerilim ve akım değerlerinin grafiği. ....	69
Şekil 4.7 Mart Ayı saatlik ışınım değerleri .....	69
Şekil 4.8 Mart ayı için akım ve gerilim değerlerinin grafiği.....	69

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 2.1</b> Türkiye’de Aylara göre güneşlenme süreleri .....	22
<b>Çizelge 2.2</b> Jeneratörlerde kutup sayısı ile devir sayısı arasındaki ilişki .....	31
<b>Çizelge 2.3</b> Güneş panelinde rapor edilmiş en yüksek verimlilikler.....	38
<b>Çizelge 3.1</b> Rüzgar türbininin teknik özellikleri .....	54
<b>Çizelge 3.2</b> PV panellerinin karakteristik özellikleri .....	55
<b>Çizelge 3.3</b> İnvörtörün teknik özellikleri.....	56
<b>Çizelge 3.4</b> PIC 18F877’nin teknik özellikleri.....	60
<b>Çizelge 4.1</b> Rüzgar, güneş ve akümülatörün aylık üretim miktarları.....	70

## RESİMLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Resim 2.1</b> Türkiye rüzgâr atlası (50 m yükseklik için).....	26
<b>Resim 2.2</b> Rüzgârın gelme durumuna göre yatay türbin tasarımları (Hambarcı 2018) .	29
<b>Resim 2.3</b> Güneş takipli solar panel (Kaplan, Şirin ve Yıldız 2019).....	43
<b>Resim 2.4</b> İki eksenli güneş paneli (Kaplan, Şirin ve Yıldız 2019).....	43
<b>Resim 3.1</b> Rüzgâr türbini .....	53
<b>Resim 3.2</b> Batarya kontrol cihazı .....	57
<b>Resim 3.3</b> Sistemde kullanılan akümülatör.....	58
<b>Resim 3.4</b> Kontrol kartı.....	60
<b>Resim 3.5</b> Rüzgâr türbini monte edilmiş hali.....	64
<b>Resim 3.6</b> Güneş panellerinin monte edilmiş hali .....	64
<b>Resim 3.7</b> Sistem bağlantıları .....	65

## 1. GİRİŞ

İnsan ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için ve etkili bir kalkınmanın desteklenmesinde önemli bir görev üstlenen enerji, ulaşım, mesken ve sanayi gibi başlıca sektörlerde kullanılmaktadır. Yalnızca enerji; hayatımızın bir parçası ve vazgeçilmez faydalarının yanı sıra üretim, dönüşüm, iletim ve tüketimde ciddi bir çevre kirliliğe neden olmaktadır.

Gelişmekte olan teknolojinin yanı sıra, ortaya çıkan modern ihtiyaçlara olan yönelim nedeniyle her geçen gün artan elektrik tüketimi, insanları yeni enerji kaynakları arama yönüne doğru gitmektedir. Bu konuda dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta da bilinçsizce ve araştırmadan seçilen ve kullanılan enerji kaynakları nedeniyle dünyanın her yerine hızlı bir şekilde enfekte olması ve dünyadaki doğal yaşamın etkilenmesidir.

Nüfus artışına, sanayinin gelişmesi de eklenince kurulmuş olan büyük boyutlardaki enerji üretim ve dönüşüm tesisleri çevrenin doğal dengesini büyük ölçüde etkiledikleri gibi dünya genelini de olumsuz etkileri oluşturmaktadır. Sözü edilen enerji gereksinimi karşılayabilmek için atılacak en önemli adım; yenilenebilir, devamlılığı olan, doğaya zarar vermeyen, temiz enerji kaynakları kullanımını kabul edip, bu düşüncenin yaygınlaştırılmasına gitmektir. Sayı olarak artan bilinçli uygulamalar da yenilenebilir ve temiz enerjinin çevre üstündeki olumlu etkilerini açıkça göstermektedir (Mei vd. 2006). Ancak, enerji ihtiyacı karşılanması konusunda temiz enerjiye gerekli olan ilginin verilmemesi üzücü bir gerçektir. Ne yazık ki, ülkemizde de bilinçsizce uygulanmakta olan, kısa bir süre içinde verimliliğini yitirecek olan kaynaklara yönelenlere sıkça rastlanmaktadır. Petrol ve petrol kullanılarak üretilen ürünlerinin enerji olarak kullanılması sonucunda havada gaz tabakasına yani atmosfere ulaşan insan sağlığına zarar veren bu atmosfere salınan sera gazlarının neden olduğu ön görülen sera etkisinin sonucu olarak dünya tehlikeli bir durum altında olduğu bilinmektedir.

Zehirleyici özelliği bulunan gazlar bir katman oluşturduğu dünyanın yüzey kısmına gelmekte olan ışık dalgalarının dünyanın yüzeyinden yansiyarak oradan ayrılmasını önlemektedir.

Bu anlatılan durumda dünya fazla bir biçimde ısınmaya sebebiyet vermektedir. Bu sebeple çevre problemleri milli olarak düşünüldüğü gibi dünya çapında da düşünülmesi gerekmektedir. Yeniden bu sebepler doğrultusunda çevre problemlerini yok edebilmek için, zorunlu önlemlerin alınıp, dünya çapında her bireyin birlikte hareket edip bu konudaki görevlerini yerine getirmesi önem kazanmaktadır.

Dünyada büyük ölçüde konvansiyonel enerji kaynakları, (petrol, taş kömürü, linyit, doğalgaz, odun ve atom) ısrarla tercih edilmektedir. Bu durum, çevresel sorunların boyutunu tırmandırmıştır. Düşük çevresel etkiye sahip çevreye zararı olmayan, yenilenebilir enerji kaynaklarını tercih etmek, birçok yönden avantaj sağlamaktadır (Borowy ve Salameh 1996).

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisi ayrı ayrı kullanılabilceği gibi birlikte de kullanılıyor. Bu tür enerji kaynaklarının beraber kullanımı tek başlarına kullanımdan daha çok avantaj sağlamaktadır (Nabil 2006). Hibrit olarak isimlendirilen güneş-rüzgâr uygulamaları ile alakalı geçmiş on yıl içerisinde sayısız çalışmalar yürütülmüştür. Bu çalışmalar genel itibari ile birbirinden ayrı bölgelerde uygulanabilirlik açısından araştırmalara konu olmuştur. Güneş ve rüzgâr kaynaklarının birlikte birçok bölge veya ülkede (Ürdün, Hindistan, Meksika, Amerika, Japonya, Avustralya, Suudi Arabistan vb.) kurulma olasılıkları üzerinde çalışılmıştır ve hibrit sistemlerin düşünülen yerlerde çok pratik kurulumu olması ve mümkün olduğu ispatlanmıştır(Lin 2004). Alternatif enerji kaynakları içinde bu tür sistemler enerji nakil hatlarının olmadığı, enerji nakil hatlarından uzak noktalar için elektrik enerjisi gerektiren uygulamalar için tercih edilir. Kilometrelerce enerji hattı çekmek yerine küçük ölçekli şebekeden bağımsız güç üreteç sistemleri daha mantıklı ve ekonomiktir (Nabil 2006). Sisli havalarda sistem takibi, MPPT yöntemleri, farklı yapıdaki konvektörler kullanımı ile hibrit enerji üreten sistemlerin optimizasyonu ile alakalı pek çok çalışmalar yapılmaktadır (Wang 2008).

Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı şebekeye bağımlı olmayarak tasarlanan güç üreteçlerinden, rüzgâr enerjisi yeni nesil bir enerji kaynağıdır. Son senelerde gelişen ve gelişmekte olan teknoloji ile beraber yenilenebilir enerji elde edilmesindeki artış, rüzgâr



enerjisinin devamlılığı olan, temiz ve sürdürülebilir olmasından kaynaklanmaktadır (Borowy ve Salameh 1994). Ancak doğada büyük ölçüde ve rastgele değişken rüzgârın, küçük kuvvetli rüzgâr enerjisini tek başına enerji üretimi için güvenilir hale getirmektedir. Yani enerji üretiminin devamlılığını sağlamak amacıyla rüzgâr enerjisine ek donanımlar gereklidir. Enerji üretimini sağlayacak birçok farklı ek sistemler vardır. Bu tür ek sistemlerin arasında rüzgâr enerjisine en uygun olanı rüzgâr ile doğal bağlantısı olan güneş enerjisidir.

Yeni nesil bu birbirini tamamlayıcı hibrit enerji üreten sistemler için rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisi bir arada kullanılması ideal bir topolojidir (Borowy ve Salameh 1997). Hibrit enerji üreten sistemlerin performansını en iyi bir şekilde kullanma açısından dizel ve biyogaz sistemlerle uyumu ile alakalı araştırmalar yapılmaktadır (Prasada ve Natarajan 2006). Hibrit sistem uygulamaları için dizel jeneratörler her ne kadar uygun gibi görünse de maddi olarak uygunsuzdurlar (Valenciaga 2001).

Linde ve Clarke (1992), hibrit sistem şeklindeki uzak alan güç kaynaklarını, farklı bileşenlerin tamamlayıcısı olabilmesi açısından çok etkili bir alternatif olarak ele almıştır. Yazarlar, bir hibrit enerji sistemini etkin bir şekilde manipüle etmek için özel bir mikroişlemci kontrol sistemi geliştirmeyi amaçlayan bir proje açıklamışlardır. Böylece mevcut enerji verimli bir şekilde kullanılırken aynı zamanda pil gruplarının ömrü uzatılmaktadır. Sistem, Hibrit Enerji Sistem Yöneticisi (HESM) olarak adlandırılmıştır. HESM, simüle edilmiş ve gerçek enerji kaynaklarına ve yüklerle bağlanarak bir dizi teste tabi tutulmuştur. Bulgular, beklendiği gibi performans göstermesi açısından olumlu sonuçlanmıştır.

Alsema ve Nieuwlaar (2000), fotovoltaik enerji teknolojisinin enerji uygulanabilirliğini gözden geçirmiş, diğer bir deyişle fotovoltaik (PV) sistemlerin sistem bileşenlerinin üretimi sırasında gereken enerji girdisine kıyasla yeterli enerji çıktısı üretip üretemeyeceği sorusuna yanıt aramıştır. Enerji canlılığı, esas olarak enerji geri ödeme süresi (EPBT) açısından değerlendirilmiştir. Enerji teknolojileri için oldukça benzersiz bir durum olan PV sistem üretimi sırasında yüksek enerji girdisinin iki sonucuna dikkat çekilmiştir.

İlk sonuç, PV sistemlerinin CO<sup>2</sup> emisyonunun üretim yerindeki elektrik tedarik sisteminin yakıt karışımına çok bağlı olmasıdır. İkinci bir sonuç ise bir PV sisteminin kurulumu ile CO<sup>2</sup> emisyonlarının fiili olarak azaltılması arasında her zaman bir zaman gecikmesinin var olacağıdır.

Yousaf (2015), yürüttüğü çalışmada “Güneş ve Rüzgâr Hibrit Sistemin Boyut Optimizasyonu”nu incelemiştir. Çalışma, hibrit sistem tasarımında daha gerçekçi bir yaklaşımın mümkün olabilmesi için en az 3 yıl süreyle daha detaylı elektrik yükü veri kaynağının alınmasını önermektedir. HOMER, (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources-Çoklu Enerji Kaynaklarının Hibrit Optimizasyonu) kelimenin tam anlamıyla gerçeğe çok yakın optimum tasarımı sağlayabilmektedir. Buna karşın yine de hibrit sistemin kabloların bağlantı sırasında ki kayıplar ve diğer kurulum işçilik ve nakliye maliyetleri gibi diğer maliyet değişkenlerini ve diğer ilgili değişkenleri elde etmeye ihtiyaç vardır. Daha fazla araştırma çalışması için güneş ve rüzgâr türbini sistemlerindeki kayıpların detaylarının daha fazla çalışılması ve diğer gerçek zamanlı maliyetler hakkında daha detaylı bilgi alınması tavsiye edilmiştir.

Biresselioglu vd. (2017), Türk sanayisinin bakış açısı ile hükümetin enerji güvenliği strateji belgeleri arasındaki karşılıklı ilişkiyi araştırarak, sürece ışık tutma potansiyeli olan bir vaka sunmaktadır. Ayrıca, nitel bir araştırma yoluyla sanayi sektörünün bu bağlamda enerji güvenliğine bakış açısına dair fikir edinmeyi amaçlamaktadır. Ortaya çıkan kavramların analizi ve bunlar arasındaki etkileşim ve karşılıklı ilişki, sanayi sektörünün görüşlerine dayalı bir Türk enerji güvenliği çerçevesinin geliştirilmesine olanak sağlar. Ek olarak, bu çerçeve izlenerek bir dizi politika önerisi geliştirilmiştir. Bu çalışma aynı zamanda endüstri ve hükümet algıları arasındaki olası tutarsızlık alanlarını belirlemekte ve böylece potansiyel olarak iki kilit taraf arasındaki etkileşim ve anlayış düzeylerini teşvik etmektedir.

Emeksiz ve Demirci (2019), yenilikçi hibrit yer seçimi yöntemini kullanarak Türkiye'nin açık deniz rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemeye çalışmıştır. Rüzgâr enerjisi Türkiye'de Kurulu güç kapasitesi bakımından hidroelektrik hariç yenilenebilir enerji kaynakları arasında ilk sırada yer almaktadır.

Ancak, açık deniz rüzgâr enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin değerlendirilmesi konusunda tatmin edici çalışmalar ve yatırımlar bulunmamaktadır. Türkiye'nin açık deniz rüzgâr enerjisi potansiyelinin araştırılması, enerji politikasının güçlendirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Türkiye'de açık deniz rüzgâr santrallerinin kurulması için uygun kıyı bölgelerinin tespiti için Yenilikçi Hibrit Yer Seçim Yöntemi (NHSSM) adlı bir metodoloji geliştirilmiştir.

Rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisi ile bir mesken aydınlatması için gerekli olan yenilenebilir enerji kaynaklı güç üretimini mikrodenetleyici ile denetleyerek hibrit enerji üretiminin en etkin şekilde kullanılması sağlanacaktır. Bu hibrit enerji üreten sistem bir evin mevcut elektrik bağlantısına ilave olarak kurulması planlanmaktadır. Bu sayede gündelik hayata yenilenebilir enerji kaynağı olan rüzgâr ve güneş enerjisinin etkin bir şekilde kazandırılmasına olanak sağlanacaktır. Bu tez çalışmasında yenilenebilir enerji kaynaklarından olan düşük kuvvetli bir alternatör ile rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisi kullanılarak sistemdeki akümülatörler şarj edilecektir. Sistemde güneşten üretilen enerjinin devamlılığı, alternatörün hızı ve akülerin şarjı bir mikrodenetleyici ile denetlenecektir. Mesken elektrik enerjisi ile beslenirken, yenilenebilir enerji kaynağının durumuna göre ne zaman devreye gireceği mikrodenetleyici ile tespit edilecektir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının öncelik sıralandırılması çok kriterli bir karar verme sorunudur ve Türkiye'de ve diğer ülkelerde enerji kaynaklarını değerlendirmek için bir takım teknikler uygulanmıştır.

Tezin birinci bölümünde daha önceden yapılan çalışmaların, üzerinde çalışılacak konu hakkında yapılan araştırmaların taraması yapılmakta ve tezin amacı ve kapsamı hakkında kısaca bilgiler verilmektedir. Çalışmanın ikinci bölümünde enerjinin tanımı ve enerji kaynakları hakkında genel bilgiler verilmektedir. Tükenebilir ve tükenmeyen enerji kaynakları kullanımı ve dünya genelinde ve Türkiye genelinde mevcut durumları incelenmektedir. Tükenebilir ve tükenmeyen enerji kaynaklarının ülkemizde ve dünyamızdaki durumları değerlendirilmektedir. Yine bu bölümde hibrit enerji üretim sistemleri ve bileşenleri ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

Rüzgâr enerjisi bileşenleri ve rüzgâr enerjisinin sınıflandırılması, güneş enerjisi tanımı, güneş pillerinin çalışma prensibi ve güneş pili çeşitleri, invertör, akümülatör ve mikrodenetleyici ayrıntılı olarak anlatılmaktadır. Üçüncü bölüm materyal ve metot bölümüdür. Bu bölümde araştırmada kullanılan güneş paneli, rüzgâr türbini, invertör, akümülatör ve akümülatör kapasitesi hesabı, batarya kontrol cihazı ve mikrodenetleyici anlatılmaktadır.

Yine bu bölümde hibrit enerji üretim sistemi bileşenlerinin belirlenmesi için gerekli olan hesaplamalar yapılmış en uygun sistem tasarlanmıştır. Dördüncü bölümde ise bulgular ve bu sisteme etki eden parametreler verilmiştir. Beşinci bölümde ise elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır.

## 2. ENERJİNİN TANIMI VE ENERJİ KAYNAKLARI

Enerji, bir işi yapabilme yeteneği olarak tanımlanabilir ve insanlar için bir yaşam kaynağı olarak değerlendirilir. Doğada kömür, petrol, doğal gaz, uranyum, biyokütle, jeotermal, hidrolik, güneş ve rüzgâr gibi birincil enerji kaynaklarından enerji elde edilebilir. Petrol, doğal gaz, kömür ve nükleer enerji olarak adlandırılan enerji kaynakları fosil enerji kaynakları olarak bilinmektedir. Rüzgâr, güneş, biyokütle, hidrolik, jeotermal, dalga ve hidrojen enerjisi ise yenilenebilir enerji olarak adlandırılmaktadır. Yenilenebilir enerji daha az sera gazı salınımına neden olmakta ve sürekli kendini yenilemektedir (Çolak ve Kaya 2017).

1973 yılındaki ilk petrol krizinin ardından enerji, dünya çapında anlamlı bir önem kazanmıştır. Buna bağlı olarak dünyanın birçok ülkesinde, alternatif enerji kaynaklarına yönelme gerçekleşmiştir. Bu kaynaklar sınırlı olduğundan, enerjinin sürdürülebilir kullanımına yönelik çeşitli öneriler sunulmuştur. 2000’li yıllarda enerjinin sürdürülebilirliği ve yenilenebilirliği üzerine tartışmalar yoğunlaşmıştır (Önder 2021).

2000’li yılların ortalarından itibaren enerji güvenliği; küresel talepteki artış, rezervlerdeki düşüş, fiyat dalgalanmaları ve ortaya çıkan çevresel ve sürdürülebilirlik kavramları gibi faktörlerin birleşik etkileri nedeniyle hem üretici hem de tüketici ülkelerin siyasi gündemlerinde önemli bir konu olarak ortaya çıkmıştır. Özellikle, üretici ülkelerdeki artan siyasi istikrarsızlık ile birlikte daralan enerji piyasaları, tüketici ülkelerde enerji bulunabilirliği ile ilgili endişeleri arttırarak enerji arzındaki güvenliği gündeme taşımıştır (Bireselioglu 2017).

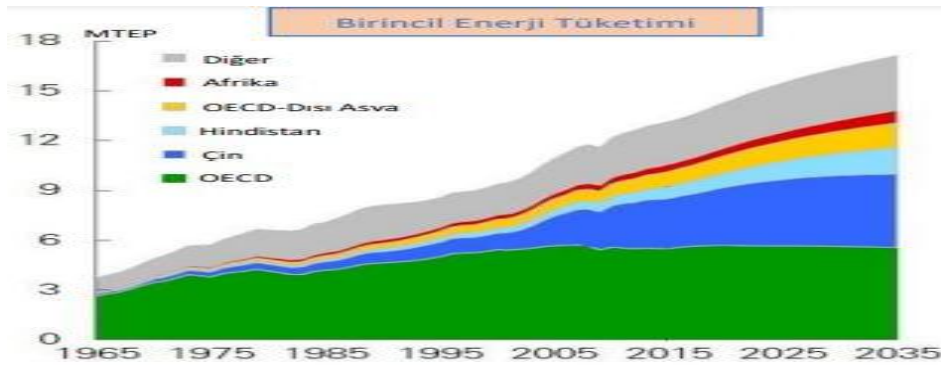
Şekil 2.1’de görülmüş olduğu gibi Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), Dünyada Enerjinin Görünümü 2013, verilerine göre enerji sektöründe öngörülen bazı uzun süreli planların değiştiği belirtilmiştir. Ülkelerin görevlerinin değiştiği, ithalatçıların ihracatçı ve bunların enerji talebindeki ana artışın nedeni olacağı öngörülmektedir. Özellikle

Çin'in enerji talebindeki artışın en temel aktörü, Hindistan'ın ise 2020 senesinden itibaren bunu devralacağı öngörülmektedir (IEA 2013).

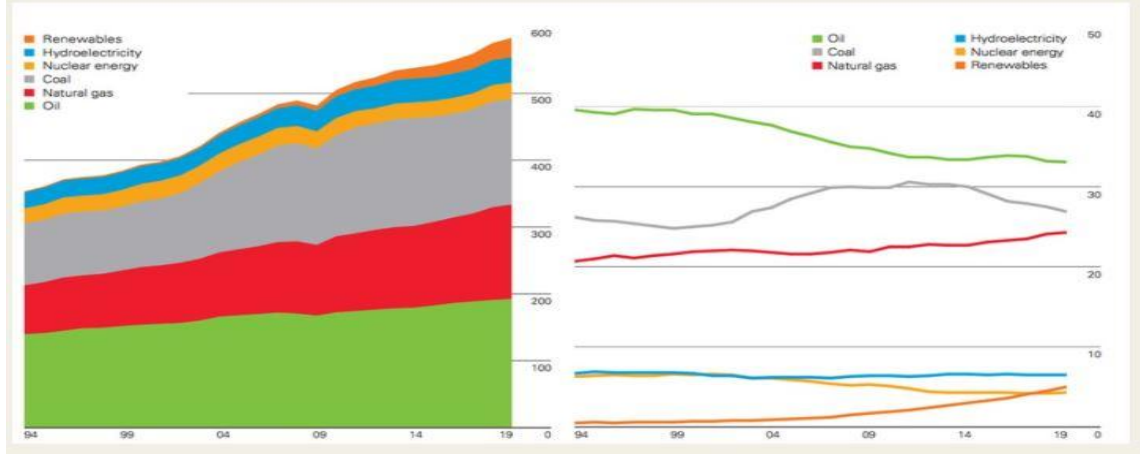


Şekil 2.1 2035 yılında Dünya'daki birincil enerji talebi, Milyar tep (IEA 2013).

Şekil 2.2'de görülen Çin ve Hindistan liderliğinde artmaya devam edecek olan dünya çapında enerji talebinin son 23 senede %52 arttığı son 10 senede ise %30 arttığı görülmekle beraber, 2012-2035 seneleri arasında %41 oranında daha fazla artması beklenmektedir. Bu artışın yaklaşık %27'sinin fosil yakıtlar kaynaklı olan petrol, kömür ve doğalgazdan sağlanacağı geriye kalan miktarların da nükleer enerji, hidroelektrik ve yenilenebilir enerji kaynaklardan sağlanabileceği öngörülmektedir. Aşağıda verilen Şekil 2.3'de görülmüş olduğu gibi elektrik enerji üretiminde kömüre nazaran doğalgazdan enerji üretiminin ciddi oranda artacağı da düşünülmektedir (BP 2020). Verilere göre son yıllarda doğalgazdan enerji üretimi artmıştır.



Şekil 2.2 Milyar tep cinsinden enerji tüketim artışı (BP 2020).



Şekil 2.3 Enerji kaynaklarının tüketim oranları değişimi (BP 2020).

Neredeyse tüm ulusal enerji planları, enerjiden elde edilen sosyal faydayı iyileştirmek veya sürdürmek için dört hayati faktör içermektedir (Twidell ve Weir 2006):

1. Yenilenebilir kaynakların artan kullanımı,
2. Son kullanım ve arzın artan verimliliği verimliliği,
3. Kirlilikte azalma,
4. Yaşam biçimlerinin göz önünde bulundurulmasıdır.

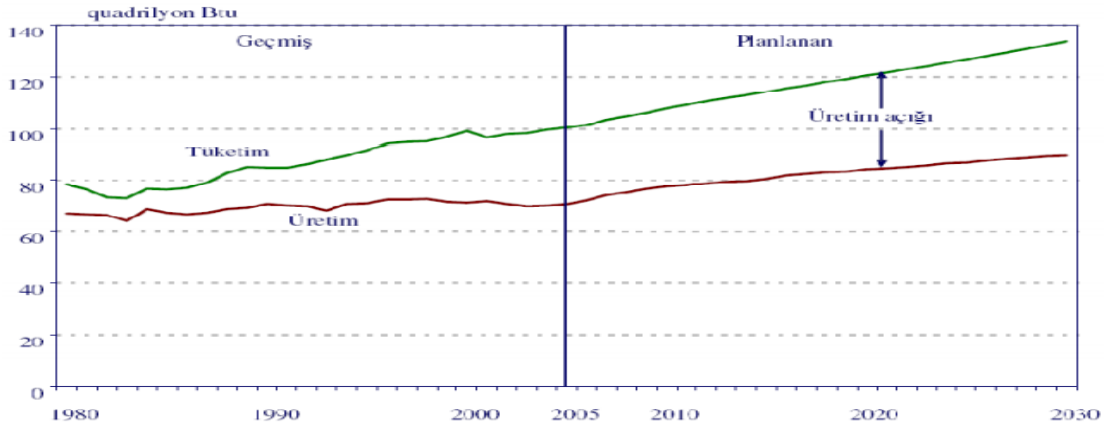
Enerji, dünyada endüstriyel, ekonomik ve günlük yaşam aktiviteleri için vazgeçilmez girdilerden biri haline gelmiştir. Doğal kaynaklara ve enerjiye olan talep, sadece teknolojiadaki hızlı gelişmelerle değil, aynı zamanda dünyadaki sanayileşme, kentleşme ve nüfus artışıyla da giderek artmış ve gelecekte de yükselme eğilimini sürdürmesi beklenmektedir. Enerji doğrudan birincil enerji kaynakları olan biyokütle, kömür, hidro, jeotermal, doğal gaz, petrol, güneş, uranyum ve rüzgârdan belirlenmektedir (Boran 2018).

## 2.1 Enerji Kaynakları

Yaşam tarzındaki, özellikle üretim ve tüketime ilişkin değişiklikler, nihai olarak ekolojik ve ekonomik baskılar doğurmuştur ve nüfus üzerinde etkilere yol açmıştır. Buna karşın, bu tür değişikliklerin ekonomik ve sosyal bedeli, öngörü, planlama ve siyasi irade ile hafifletilebilmektedir. Enerji kaynakları, bu konulara örnek teşkil etmektedir. Aydınlatma, ısıtma, iletişim, bilgisayar, endüstriyel ekipman, ulaşım gibi

kaynaklar için tüm ekonomilerde güvenilir enerji arzı esastır. Enerji alımları, gelişmiş ekonomilerde gayri safi milli hasılanın %5-10'unu oluşturmaktadır. 20. yüzyılda, ağırlıklı olarak fosil yakıtlardan (yani kömür, petrol ve gaz) ve nükleer enerjiden gelen elektriğin eklenmesiyle enerji tüketimi on kattan fazla artış göstermiştir. 21. yüzyılda, daha önce daha az gelişmiş ülkelerde artan sanayileşme ve talep nedeniyle, tüm ülkelerdeki dünya enerji tüketiminde daha fazla artış beklenebilir. Enerji kaynağı ne olursa olsun, enerjinin verimli üretimi ve kullanımına şiddetle ihtiyaç duyulmaktadır (Twidell ve Weir 2006).

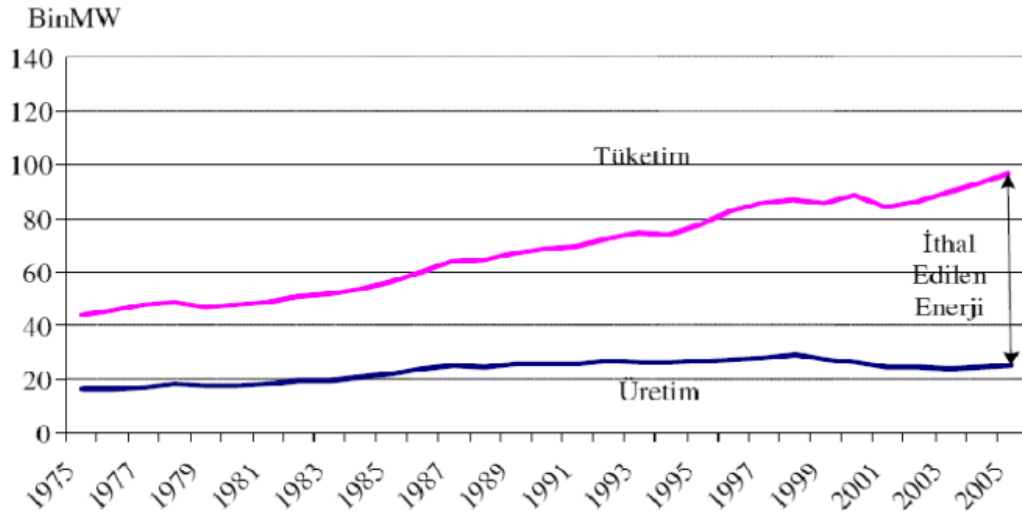
Teknolojinin hızla gelişmesi, dünya nüfusunun artışı gibi nedenlerden dolayı Şekil 2.4'te görülmüş olduğu gibi dünya enerji arzı, enerji talebini karşılamakta yetersiz kalacağı görülmektedir.



Şekil 2.4 Dünya enerji üretim ve tüketim değerleri (Demirtaş 2008).

Ülkemizin enerji tüketim ve üretim potansiyeli Şekil 2.5'de incelendiğinde ise hem üretim hem de tüketimin devamlı artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Ancak aradaki farkın tüketim lehine açıldığı, dolayısı ile ülkemizin enerji gereksiniminin karşılanmasında yetersiz olup dışa bağımlı hale geldiği görülmektedir.





Şekil 2.5 Türkiye'nin enerji üretim ve tüketim değerleri (Demirtaş 2008).

Birincil enerji kaynakları iki ana kategoriye ayrılmaktadır. Kömür, doğal gaz ve petrol gibi yakıtlar fosil kökenlidir. Hidrolik, güneş ve rüzgâr gibi kaynaklar ise yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Fosil yakıtlar, yüksek seviyeli sera gazı emisyonlarının açığa çıkmasına yol açan yanma süreci ile enerjiyi verimli ve ucuz bir şekilde sağlamaktadır. Fosil yakıtların aksine, yenilenebilir enerji kaynakları, üretim süreçleri olmadan enerji sunabilmekte ve daha az zararlı emisyonu sahip olmaktadır. Aynı zamanda sürekli bir döngüye sahip olduğundan tükenmez kaynaklardır ve doğada kullanıma hazır olarak bulunmaktadır. Buna karşın, yenilenebilir enerji kaynaklarının temel dezavantajı, enerjinin fosil yakıtlara göre nispeten verimsiz olması ve pahalı bir yolla elde edilmesidir. Teknolojinin gelişmesiyle bu dezavantajın yakın gelecekte ortadan kalkması beklenmektedir (Şengül vd. 2015).

Küreselleşen dünyada enerji, ekonomik kalkınmanın önemli bir göstergesi olarak ülkeler için hayati öneme sahiptir. Bir toplumda sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak için bol enerji kaynaklarına sahip olmak gerekir. Bu enerji kaynakları makul bir maliyetle elde edilmeli ve herhangi bir olumsuz sosyal etkiye neden olmadan toplumun tüm ihtiyaçları için kullanılmalıdır. Fosil enerji kaynakları sınırlı olmakla birlikte, doğada uzun vadede hidroelektrik, güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynakları bulunmaktadır (Çolak ve Kaya 2017).

Ulusların gelişimi kullanılan enerjiye bağlıdır. Bu nedenle enerji talebi sürekli artmaktadır. Konvansiyonel enerji kaynakları her yerde mevcut değildir ve gelecekte daha da kıt olacaktır. Ayrıca konvansiyonel enerji kaynaklarının çevreye olan olumsuz etkileri nedeniyle dünya genelinde kullanımları azalmaya devam etmektedir (Panwar, Kaushik ve Kothari 2011).

Dünyanın en güncel endişelerinden biri iklim değişikliğidir. İklim değişikliğinin nedenlerinden biri de fosil yakıtlı enerji santrallerinden kaynaklanan sera gazlarıdır. Son yıllarda konvansiyonel enerji kaynakları yerine yenilenebilir enerji kaynakları ön plana çıkmıştır. Hâlihazırda birçok hükümet, çevre dostu ve sonsuz olduğu için yenilenebilir enerji yatırımlarını desteklemektedir. Ayrıca, yenilenebilir enerjinin bir ülkenin enerji bütçesine entegrasyonu, diğer ülkelerden enerji ithalatını azaltarak enerji güvenliğini artırmaktadır (Ercan 2020).

### **2.1.1 Tükenebilir Enerji Kaynakları**

Tükenebilir enerji kaynakları, enerji dönüşümü neticesinde göreceli olarak ya da bütünüyle kaybolan ve aynı maddeden tekrar enerji üretiminin mümkün olmadığı enerji kaynaklarıdır. Fosil kaynaklar; petrol, doğalgaz, taş kömürü, linyit, nükleer enerji olarak sıralanabilir.

Fosil yakıtlar, yenilenebilir olmadığından mevcut stokları son bulmaktadır. Kütle olarak baskın fosil yakıt türü, kömürdür. Bir kaynağın rezerv ömrü, bilinen erişilebilir miktarın mevcut kullanım oranına bölünmesi olarak tanımlanabilir. Bu tanıma göre, petrol ve gaz kaynaklarının ömrü genellikle sadece birkaç on yıl iken kömürün ömrü ise birkaç yüzyıldır. Enerji kaynaklarına ilişkin uygulamada, özellikle hükümet politikası ve uluslararası ilişkiler olmak üzere birçok başka faktör söz konusudur. Tüm bunlara karşın, fosil yakıt rezervleri sınırlıdır ve bu nedenle mevcut enerji tüketimi ve büyüme modelleri uzun vadede sürdürülebilir değildir (Twidell ve Weir 2006).

Fosil yakıtla ilgili çevresel etkiler, son yıllarda ortaya çıkan iklim değişikliği sorunlarını daha fazla gündeme taşımıştır. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı'nda

(COP21 Paris 2015) yapılan tartişmalar sonucunda, aralarında Türkiye'nin de bulunduğu 200'e yakın ülke, fosil yakıt tüketimini azaltarak iklim değişikliğine karşı önlem almak için çığır açan Paris Anlaşması'nı kabul etmiştir. Buna karşın, ABD'nin Paris Anlaşması'ndan çıktığını açıklamasının ardından Türkiye, Yeşil İklım Fonu'na ilişkin sorunlar nedeniyle anlaşmanın onay sürecini askıya alma kararı vermiştir. Yine de, Kyoto Protokolü veya Paris Anlaşması gibi bu uluslararası girişimler, sürdürülebilir bakış açısıyla gelecekteki stratejileri kolaylaştıracak hedeflerin belirlenmesi için gereklidir. Bu anlaşmanın uygulanması, yenilenebilir enerji üretim teknolojilerini geliştirirken fosil yakıt tüketim oranını ve ilgili sonuçları azaltacaktır (Yılan vd. 2020).

Yenilenemez enerji, dünya üzerinde sınırlı miktarda bulunan kaynaklardan alınan ve bundan elli altmış yıl sonra yok olacak olan enerjidir. Yenilenemeyen kaynaklar evre dostu değildir ve sağlığımızı ciddi şekilde etkileyebilir. Yenilenemezler olarak adlandırılırlar çünkü kısa bir süre içinde yeniden retilemezler. Yenilenemeyen kaynaklar fosil yakıtlar, doğal gaz, petrol ve kömür şeklinde bulunur (Swami 2012).

### **2.1.2 Tükenmeyen Enerji Kaynakları**

Yenilenebilir enerji, güneş, rüzgâr, yağmur, gelgit gibi doğal kaynaklardan üretilen ve gerektiğinde tekrar tekrar üretilen enerji dir. Bol miktarda bulunurlar ve bu gezegende mevcut olan en temiz enerji kaynaklarıdır. Örneğin: Güneşten aldığımız enerji elektrik üretmek için kullanılabilir. Benzer şekilde rüzgârdan gelen enerji, jeotermal, bitkilerden gelen biyokütle, gelgitler bu enerji formunu başka bir formda kullanabilir. Dünya çapında, petrol fiyatları, güneş enerjisinin doğrudan dönüşümü (güneş pilleri) gibi çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarının yanı sıra örneğin hidroelektrik ve rüzgâr enerjisi sistemleri gibi diğerlerinin tanıtımı lehine önemli lde artacaktır. Yenilenebilir enerji kaynakları ne tükenir ne de çevremize önemli derecede zararlı etkileri vardır (Swami 2012). Yenilenebilir enerji kaynakları, isminden anlaşılacağı üzere defalarca kullanılarak enerji üretilen, yani tükenmeyen enerji kaynakları olarak ifade edilebilir.

Fosil yakıtların küresel ölçekte azaldığı gerçeği, son on yılda birçok araştırmacıyı yenilenebilir enerji kaynaklarına odaklanmaya zorlamıştır. Ayrıca, birçok ülkede

sanayileşme ve nüfus artışı, artan enerji talebi ile birleştiğinde, ekonomik ve çevre dostu olan yenilenebilir enerji kaynaklarını daha popüler hale getirmiştir. Fosil yakıtlara dayalı bir ekonomi sistemi ise günümüzde sürdürülemez hale gelmiştir (Emeksiz ve Demirci 2019).

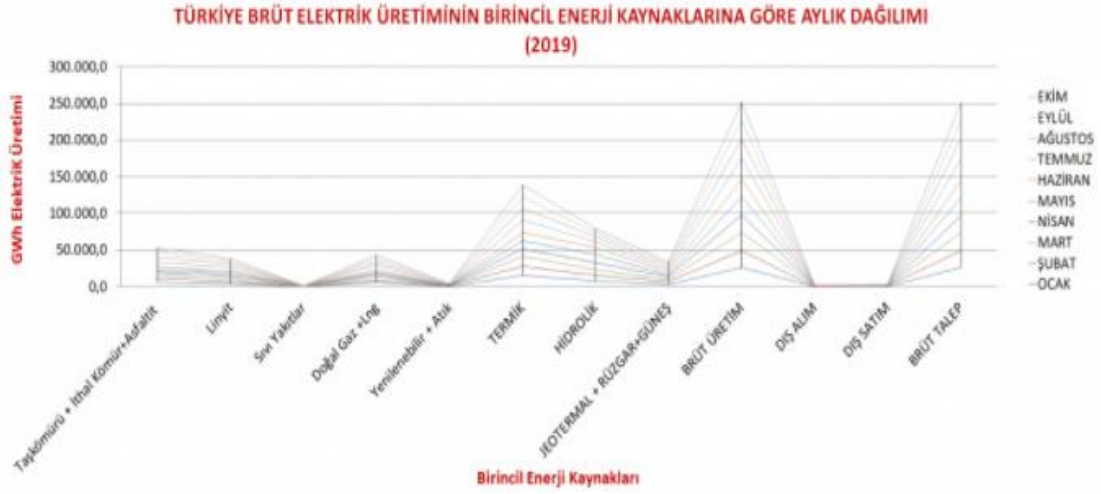
Yenilenebilir enerji; güneş, rüzgâr, jeotermal, hidroelektrik, dalga, biyokütle, hidrojen gibi doğal kaynaklardan elde edilebilen tükenmez enerji türüdür. Tükenmez olmasının yanı sıra, dışa bağımlılığın azalması, yerli üretim yoluyla yatırım ve istihdamın artırılması ve son olarak ekonomik büyümenin hızlanması açısından önem taşımaktadır (Önder 2021).

### **2.1.3 Türkiye'nin Enerji Bakımından Konumu**

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de ana enerji kaynakları petrol, doğalgaz, taş kömürü, linyit, hidroelektrik enerjisi ve jeotermal yenilenemeyen enerji kaynaklarıdır. Fakat Türkiye'nin oluşumu itibari ile önemli ölçüde 3. Jeolojik dönemde oluştuğundan petrol, doğalgaz ve taş kömürü gibi yenilenemeyen enerji kaynakları yönünden bir miktar fakir durumdadır. Yenilenebilir enerji kaynakları bakımından ise Türkiye önemli bir coğrafi üstünlüğü olan bir konumdadır.

TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim A.Ş.), Ekim ayına kadarki brüt elektrik üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre aylık dağılımını listeler halinde açıkladı. Listedeki verilerin analizini şu biçimde yapabiliriz:

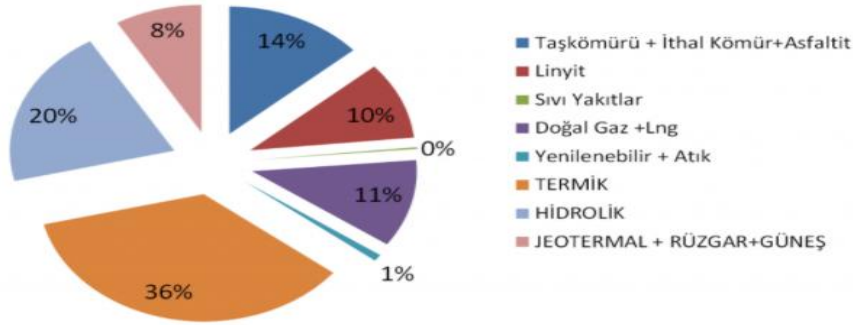
Elektrik üretimi her ay bir önceki aya göre artış gösteriyor. Ekim ayının brüt elektrik üretimi 23.872,1 GWh değerine ulaştı. 2019 toplam brüt elektrik üretimi (Ocak – Ekim) ise 251.316,7 GWh olarak Şekil 2.6'de görülüyor.



**Şekil 2.6** 2019 brüt elektrik üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre aylık dağılımı (TEİAŞ 2019).

Birincil enerji kaynaklarına göre 2019 elektrik üretim istatistikleri Şekil2.6’de incelendiğinde %36 oranıyla en yüksek üretimin termik santral kaynaklı kaynaklardan olduğu görülüyor.

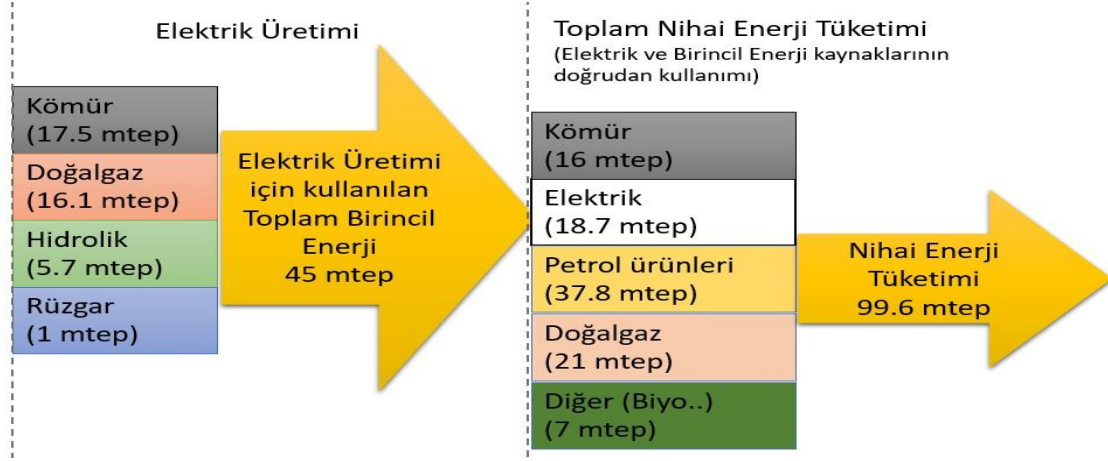
**2019 TOPLAM ELEKTRİK ÜRETİMİNİN BİRİNCİL ENERJİ KAYNAKLARINA GÖRE %' LİK DAĞILIMI (GWh) (OCAK-EKİM)**



**Şekil 2.7** 2019 brüt elektrik üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre aylık %'lik dağılımı (TEİAŞ 2019).

Türkiye'nin Enerji Politikası, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığınca; tam anlamıyla olması gereken zamanda, her durumda yeterli, her açıdan güvenilir, rekabet edilebilir fiyatlardan, çevresel etkilere gerekenli olan özeni göstererek ve çevresel etkileri de göz önünde tutularak tüketiciye en uygun şekilde ulaşması biçiminde tanımlanmaktadır.

Türkiye'nin 2015 yılı nihai enerji tüketim dengesini yaklaşık 100 mtep (99.6) olarak kabul edersek; bu miktarın 18.7 mtep'ini elektrik, 21 mtep'ini doğalgaz, 37.8 mtep'ini petrol ürünleri, kömür de 16 mtep'ini kömür oluşturmaktadır. Bu değerler Şekil 2.8'de görülmektedir.



**Şekil 2.8** Türkiye'nin Günlük Nihai Enerji Tüketimi (Dünya Enerji Konseyi 2017).

Enerji sorunu tüm ülkeler için temel bir önceliktir. Tüm ülkeler, ekonomilerini sürdürmek, yeni yatırımları geliştirmek ve denizaşırı pazarlardaki arzını sürdürmek için üretmek yeterli enerji arzı için çaba göstermektedir. Her ülke aynı zamanda ısıtma, soğutma ve elektrik üretimi gibi günlük operasyonlar için yeterli endüstriyel enerji arzı için çabaladığı gibi, gelişmiş ekonomiler, gelişimlerini sürdürmek için büyük ölçüde yurtdışı pazar tabanını korumaya çalışmaktadır (Bireselioglu 2017).

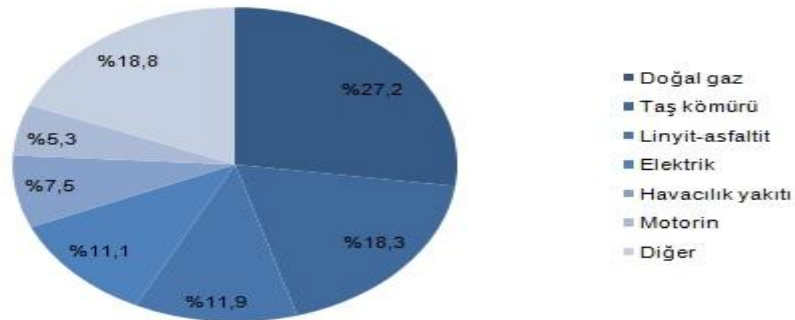
Türkiye'de 2000'li senelerden itibaren rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretiminde önemli bir artış dikkatleri çekmektedir. Türkiye'nin hem mevcut enerji açığını hem de artan talebini, tükenmekte olan fosil yakıtlardan karşılaması olanaklı değildir. Bu noktada rüzgâr ve güneş enerji gibi yenilenebilir kaynaklarının öneminin artacağı görülmektedir.

Avrupa ile Asya arasında doğal bir köprü olan Türkiye, enerji bağlamında stratejik bir geçiş noktası olarak değerlendirilebilir. Türkiye'deki ana enerji kaynakları asfaltit, jeotermal enerji, kömür, hidroelektrik enerji, doğalgaz, linyit ve petrol olarak sıralanabilir (Boran 2018).

Türkiye yenilenebilir enerji kaynaklarıyla üretilen enerjinin tüketim hızı, üretimden daha yüksektir. Dolayısıyla diğer yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanımı daha çok tercih edilmekte ve buna bağlı olarak çevreye salınan emisyon miktarını artış göstermektedir (Önder 2021).

Türkiye gelişmekte olan ülkelerden biri olduğu için, Türkiye'nin enerji ihtiyacı, özellikle elektrik ve ısınma, önümüzdeki yıllarda artacaktır. Türkiye'nin mevcut enerji politikası temelde fosil yakıtlara ve doğal gazlara dayanmaktadır. Ancak sera gazı emisyonlarının çok yüksek olması nedeniyle fosil yakıtlar ve doğalgaz çevre için son derece zararlı enerji kaynaklarıdır. Bu nedenle, uzun vadeli bir yenilenebilir enerji politika planlaması geliştirilmelidir (Boran 2018).

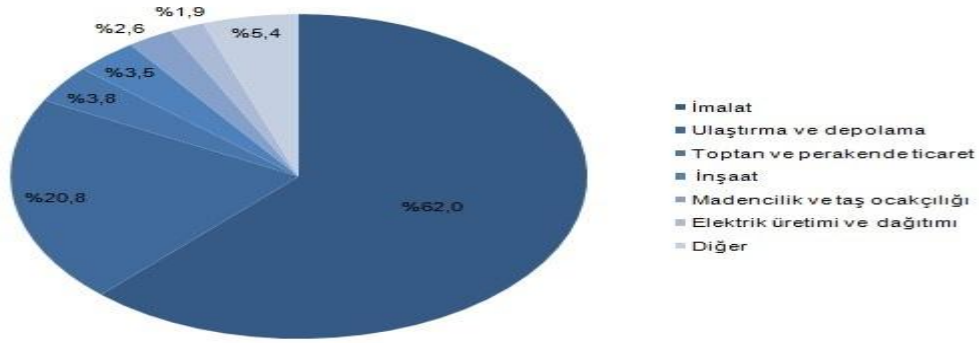
Türkiye’de yıllık enerji kaynakları tüketimine bakıldığında, yenilenemeyen enerji kaynakların fazlalığı dikkat çekmektedir. Türkiye’de 2017 yılında en çok tüketilen enerji kaynağı doğal gaz olmuştur. Toplam sıkıştırılmış doğal gaz ve sıvılaştırılmış doğal gaz tüketimi 29 milyon 592 bin 327 Ton Petrol Eşdeğeri (TEP) iken taşkömürü 19 milyon 640 bin 806 TEP, linyit kömürü ve asfalt kömürü tüketimi ise 721 bin 630 TEP oldu. Bu açıdan bakıldığında Türkiye’de sektör açısından en çok kullanılan enerji kaynaklarının fosil yakıtlara dayalı, yenilenemeyen enerji kaynakları olduğu ortaya çıkmaktadır.



**Şekil 2.9** Toplam enerji tüketiminin enerji kaynaklarına göre dağılımı, 2017 (TÜİK 2018).

Ayrıca sanayi sektöründe 91 milyon 370 bin 932 TEP enerji tüketilirken, hizmetler sektöründe 15 milyon 894 bin 461 TEP enerji tüketildi.

Toplam enerji tüketiminde en çok paya sahip sektörler% 42,2 ile imalat sanayi, % 40 ile elektrik, gaz, buhar ve iklimlendirme üretimi ve dağıtımı ve% 10,2 ile ulaştırma ve depolamadır. Buradan da Türkiye'de elektrik enerjisinin % 40 oranında elektrik üretimi ve dağıtımı amacıyla kullanıldığı sonucuna varılabilir (Önder 2021).



Şekil 2.10 Nihai enerji tüketiminin sektörlere göre dağılımı, 2017 (TÜİK 2018)

Türkiye’de en kirletici sektörler dikkate alınarak geliştirilen politika önerileri aşağıdaki gibi sıralanabilir (Önder 2021):

- İkincil emisyonlara neden olan ana metal sanayi üretimi için, dışa bağımlılığı azaltmak için kamu ve özel sektör yatırımlarının enerji kaynaklarına yönlendirilmesi,
- En çok emisyon üreten elektrik, gaz, buhar ve iklimlendirme tedarik sektörü dikkate alındığında, enerji talebinin hidroelektrik, biyokütle, güneş enerjisi, jeotermal enerji ve rüzgâr gibi kaynaklar kullanılarak yenilenebilir kaynaklardan sağlanması, çevreye duyarlı erişime geçilmesi ve temiz ile ucuz enerji kullanılması,
- Üçüncül düzeyde en yüksek emisyonu neden olan kâğıt ve kâğıt ürünleri imalatı sektörü için doğaya zarar vermeyen ve geri dönüştürülebilen hammadde üretimi teşvik edilmeli ve geleceğe yönelik yerli hammaddenin kullanıldığı yerel bir politikaya geçilmesi,
- Dünya çapında örnek çalışmalardan yararlanılarak tasarlanacak Ulusal Yenilenebilir Enerji Kaynakları Ana Planı ile kısıtlamaları keskin bir şekilde belirlenen enerji bilgi altyapısı oluşturulması,



- Enerji kaynaklarının sürdürülebilirliğini sağlamak için yenilenebilir enerji kaynaklarının yüksek enerji verimliliği teknolojileri ile birlikte kullanılması,
- Tüketilemeyen birincil enerji kaynağı olan Güneş'in dikkate alınarak enerji üretiminde maksimum fayda ile kullanılması,
- Rüzgâr enerjisi kullanımının ulusal ölçekte yaygınlaştırılmasına yönelik teşvikler sunulması,
- Hidroelektrik santrallerin doğayı ve su kaynaklarını harekete geçirecek şekilde planlanması,
- Sanayi sektörü, hizmetler sektörü ve tarım sektörlerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik ederek vergi indirimi uygulanması,
- Yenilenebilir kaynakların ve halkı bilinçlendirme politikalarının önemini ifade eden eğitim faaliyetlerinin uygulanması.

Enerji güvenliği şu anda, özellikle Türkiye gibi hızlı büyüyen ekonomiler için, hükümet gündemlerinde öncelikli konulardan biridir. Tipik olarak enerji yoğun endüstriyel üretime bağlı olan bu ekonomiler, ekonomik kalkınmalarını desteklemek için, özellikle sınırlı yerli enerji kaynaklarına sahip olanları desteklemek için tutarlı ve güvenilir bir enerji kaynağı gerektirmektedir. Sanayi sektörü enerji talebinde önemli bir rol oynadığından, enerji güvenliği stratejisinin başarılı bir şekilde uygulanması, yoğun enerji tüketen sanayi şirketlerinin iş birliğine de bağlılık göstermektedir (Bireselioglu 2017).

Çevre bilincinin artmasıyla sürdürülebilirlik kavramı ortaya çıkarken, yenilenebilir enerji kaynakları Türkiye'de olduğu gibi dünyada da geleceğin enerji planlamasında yerini almaktadır. Halen fosil yakıtların hâkimiyetinde olmasına rağmen, Türkiye elektriği için yenilenebilir enerji payı giderek artmaktadır (Yılan vd. 2020).

1950'den bu yana dünya nüfusu 2,5 kat arttı. Bu artış sonucunda enerji talebi yedi kat arttı. 2030 yılında Türkiye'de enerji tüketiminin günümüze göre %100'ün üzerinde artması beklenmektedir. Bu nedenle Türkiye'de konvansiyonel enerji kaynakları yerine yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş yapılması hedeflenmektedir (Çolak ve Kaya 2017).

### 2.1.3.1 Dünya Genelinde Güneş Enerjisinin Potansiyeli

Güneş enerjisi, en önemli enerji kaynağı olup rüzgâr, akarsu ve dalgaların oluşumu üstündeki etkisi sebebiyle diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının da temelini oluşturmaktadır. Güneşin çekirdeğindeki hidrojen enerjisinin helyuma dönüşmesinden kaynaklanan nükleer etkileşimler sonucunda oluşan enerji olarak da ifade edilebilir. Güneş enerjisi, fotonlarla temsil edilen elektromanyetik dalgalar aracılığı ile Dünya'ya iletilmektedir.

Güneş enerjisi, evrenin her yerine eşit seviyede yayılmamakta ve birim olarak genellikle alana düşen watt cinsinden enerji ( $W/m^2$ ) ile ifade edilmektedir. Havanın güzel olduğu bir günde yeryüzüne, yaklaşık olarak,  $1.000 W/m^2$  enerji düşmekte ve bu miktar coğrafi konuma göre  $650-2.300 W/m^2$  arasında değişmektedir (Erdoğan 2016).

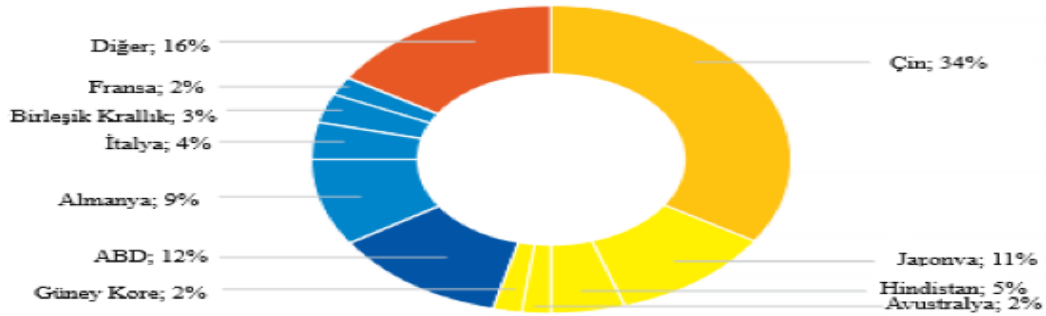
Güneş enerjisinden faydalanarak, çağımızda ısı ve elektrik üretilmektedir. Elektrik üretiminde, ısı bir diğer deyişle termik güneş teknolojileri ve Fotovoltaik (FV) güneş teknolojileri olmak üzere iki teknolojiye dayanılmaktadır (Öztürk 2013). Isıl teknoloji ile elektrik enerjisi üretim sisteminde, ayna düzenekleriyle güneş enerjisi odaklandırıldıktan sonra enerji yoğunluğunun fazla olduğu noktalarda sıcaklık artmakta ve bu noktalardan kızgın su buharı elde edilmektedir. Elde edilen bu kızgın su buharıyla, jeneratörler çevrilmekte ve elektrik üretilmektedir (Çanka Kılıç 2015).

Güneş enerjisi, elektrik üretimi için iki şekilde kullanılabilir: güneş termal ve güneş fotovoltaik panelleri. Elektrik üretim karışımındaki payı çok küçük olmasına rağmen, güneş PV teknolojisi alternatif bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak incelenmektedir (Yılan vd. 2020).

Dünya çapında güneş enerjisinin doğrudan dönüşümü (güneş pilleri) gibi çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep artış göstermektedir. Ayrıca hidroelektrik ve rüzgâr enerjisi sistemleri gibi diğer sistemler de birbirlerini olumlu etkilemekle birlikte önemli ölçüde artış göstermektedir. Çünkü güneş enerjisinde görüldüğü üzere yenilenebilir enerji kaynakları ne tükenmekte ne de çevremize önemli derecede zararlı etkiler vermektedir (Swami 2012).

Bugünün dünyasında güneş enerjisi teknolojilerine yönelik talep, gün geçtikçe artmakta ve maliyetler azalmaktadır. Önceleri, güneş enerjisi sadece ısı enerjisi şeklinde değerlendirilmekteydi. Günümüzde ise fotovoltaik güneş panellerinden yararlanılarak elektrik enerjisi üretilmektedir. Güneşten üretilen enerji; güneş tabanlı ocaklar, güneş pilleri, sıcak su kullanımı, güneş enerjili otomobiller, su arıtma teknolojileri, tarımsal sulama gibi alanlarda görülebilmektedir (Yeşil 2015).

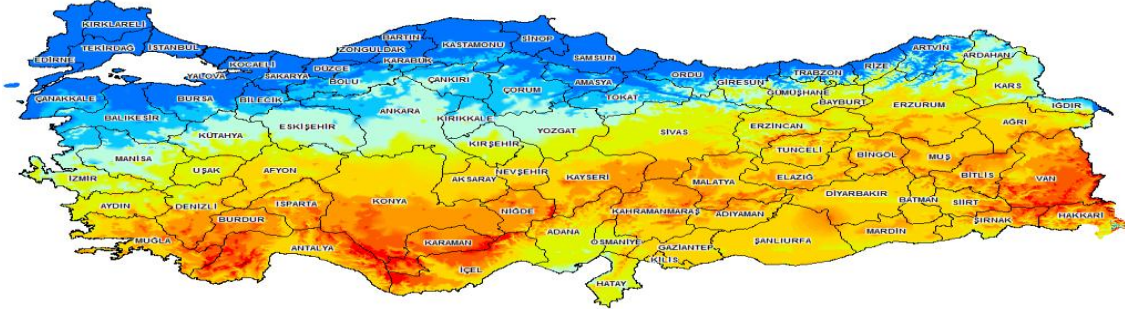
Güneş enerjisinin kurulmuş olduğu sahaların tarıma elverişsiz olması Güneş enerji potansiyelinin etkinliğini artırır. Tarıma elverişli yerlere kurulması durumunda tarımsal üretim azalır.



Şekil 2.11 Dünya’da Güneş Enerjisi Kullanımı (Solar Power Europe 2018)

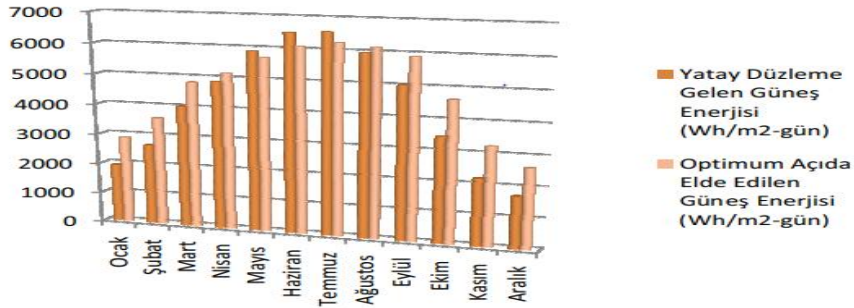
### 2.1.3.2 Türkiye’nin Güneş Enerjisi Bakımından Konumu

Türkiye, Güneş enerjisi bakımından Dünya’daki pek çok ülkeye göre şanslı bir konumdadır. Türkiye’nin konumu bakımından güneş enerjisi potansiyeli Şekil 2.11’de görülmektedir. Türkiye’de Güneş Enerjisi potansiyeli 1015 kWh’tır. Güneş ışınımından faydalanma süresi senede 2.640 saat olarak ölçülmektedir. Türkiye’deki aylara göre güneşlenme süreleri Çizelge 2.1’de yer verilmiştir. Yatay eksenle gelen senelik güneş ışınımı 1.311 kWh/m<sup>2</sup>’dir. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki eğimlere paralel olarak Türkiye’deki nihai enerji tüketimi değerlerinde elektrik enerjisinin payı artmaktadır. 2008 yılı verilerine göre Türkiye de enerji tüketimi yaklaşık olarak 2x10<sup>11</sup> (200 milyar) kWh’tır. Güneş enerji potansiyeli, mevcut enerji tüketiminin 5000 katı olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 2.12 Türkiye'nin güneş enerjisi haritası (Enerji Atlası Kayn-1).

Şekil 2.12'de ki grafik Türkiye'nin güneş bakımından potansiyelinin ne kadar iyi olduğunu göstermektedir.



Şekil 2.13 Türkiye'de Yatay Düzlemde ve Optimum Açıda Elde Edilen Güneş Enerjisi Değerleri (JRC European Commission Photovoltaic Database 2009).

Çizelge 2.1 Türkiye'de Aylara Göre Güneşlenme Süreleri.

Aylar	Güneşlenme süresi (saat/ay)
Ocak	103,0
Şubat	115,0
Mart	165,0
Nisan	197,0
Mayıs	273,0
Haziran	325,0
Temmuz	365,0
Ağustos	343,0
Eylül	280,0
Ekim	214,0
Kasım	157,0
Aralık	103,0
<b>Toplam</b>	<b>2640</b>
<b>Ortalama</b>	<b>7.2 saat/gün</b>

Güneş enerjisinin temel dezavantajları, güneş enerjisinin yatırım maliyetinin çok yüksek olması ve özellikle elektriğin hala verimli bir şekilde üretilmemesi nedeniyle ekonomik bir seçenek olmamasıdır. Teknolojik gelişmeler gerçekleştiğinde Türkiye'nin güneş potansiyeli çok yüksek olduğu için güneş enerjisi çok uygun bir seçenek haline gelecektir (Boran 2018).

2012 yılında güneş kolektörleri ile 768.000 ton petrol eşdeğeri (tep) ısı enerjisi üretilmiştir. Üretilen ısı enerjisinin büyük çoğunluğu konutlarda, geri kalanı ise sanayide kullanılmıştır. 2016 yılı Eylül ayı sonu itibarıyla 861 güneş enerjisi santralının kurulu gücü 660,2 MW olarak hesaplanmıştır (Çolak ve Kaya 2017).

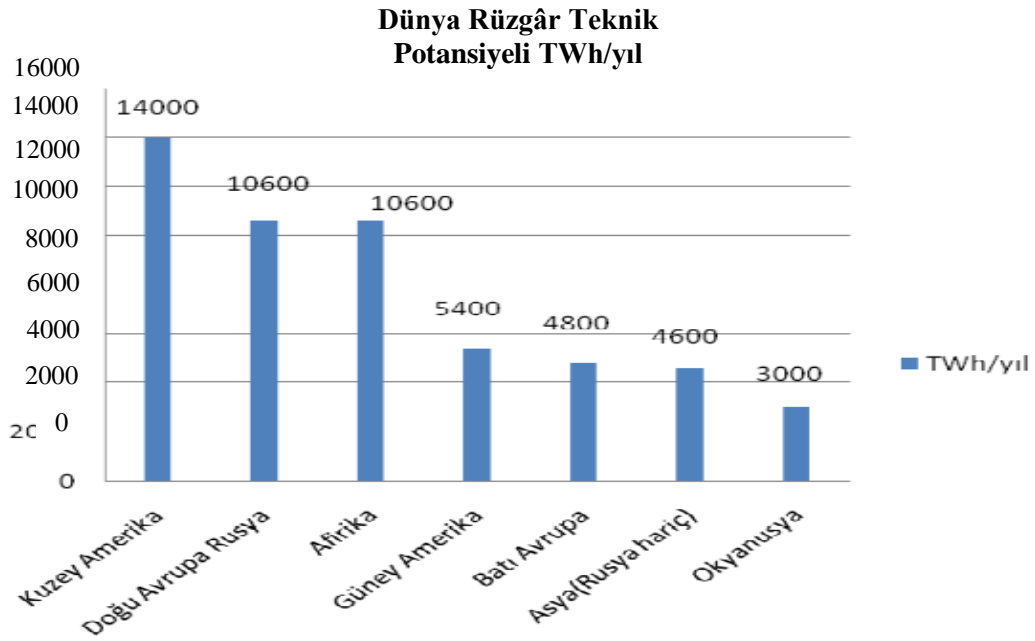
### **2.1.3.3 Dünya Geneline Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli**

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgâr, güneş, jeotermal, okyanus ve biyoenerji gibi doğal enerji kaynakları bulunmaktadır. Özellikle Rüzgâr enerjisi, enerji üretimindeki potansiyeli, piyasa değeri, geniş uygulama yelpazesi ve ekonomik dostu özellikleri nedeniyle bu enerji kaynakları arasında büyük önem taşımaktadır. Yenilenebilir Enerji 2018 Küresel Durum Raporu incelendiğinde; kurulu rüzgâr enerjisi, 2017 itibarıyla hidroelektrik hariç toplam yenilenebilir enerji kapasitesinin yaklaşık % 51'ini oluşturmaktadır. Büyüyen rüzgâr enerjisi piyasası incelendiğinde, yatırımcıların karada rüzgâr enerjisi santralleri kurarken karşılaştıkları arazi kısıtlamalarının onları açık deniz rüzgâr enerjisine zorlamaya başladığı görülmektedir. Açık deniz ve kara bölgeleri karşılaştırıldığında, açık denizler, düşük yüzey pürüzlülüğü nedeniyle daha yüksek rüzgâr hızı ve rüzgâr gücü yoğunluğu sağlamaktadır (Emeksiz ve Demirci 2019).

Modern türbinler ve enerji dönüşüm sistemleri ile rüzgârdan güç elde edilmesi yerleşik bir endüstridir. Makineler, onlarca watt'tan birkaç MW'a kadar yaklaşık 1 metreden başlayıp 100 metreyi aşan çaplarda üretilmektedir. Geleneksel mekanik makineler, su pompalamak için daha da geliştirilmekle beraber günümüzde baskın ticaret şekli olan elektrik üretimi için kullanılmaktadır. Bu tür 'rüzgâr türbini jeneratörleri', rüzgâr enerjisi potansiyeli olan birçok ülke şebekeleri için 'ana akım üretim' olarak kabul edilmiştir.

Örneğin; Avrupa, ABD, Hindistan ve Çin'in bazı bölgeleri ile bazı ülkeler, rüzgâr enerjisi kapasitelerini istikrarlı bir şekilde arttırmaktadır. İzole ve otonom enerji üretimi için daha küçük rüzgâr türbini jeneratörleri yaygın olduğu görülmektedir (Twidell ve Weir 2006).

Dünya'da kıtalara göre rüzgâr teknik potansiyeli dağılımı aşağıda görülen grafikte Şekil 2.14'deyar verilmiştir.



Şekil 2.14 Dünya'nın rüzgâr potansiyel dağılımı (Salmanoğlu ve Çetin 2009).

Rüzgâr enerjisine yönelik kaynak değerlendirmeleri, atmosferde mevcut olan rüzgâr enerjisinin teorik olarak dünyaya güç sağlayabileceğini göstermiştir. Ancak bu enerji potansiyelinin kesin kapsamı hala bilimsel bir tartışma konusudur. Örneğin, büyük ölçekli bir enerji çıkarılmasının genel kaynak üzerinde ne gibi bir etkisi olacağı ve rüzgâr katmanları arasındaki dikey enerji alışverişinin bu ölçekte bir çıkarmayı nasıl etkileyeceği belirsizdir (Bechtle vd. 2019).

Son 5 yılda üç katına çıkan yıllık kümülâtif açık deniz rüzgâr enerjisi kapasitesi, toplam kapasitenin 14.384 GW'a ulaşmasını sağlamıştır. Buna ek olarak, Avrupa ülkeleri ve özellikle İngiltere, kümülâtif açık deniz rüzgâr enerjisi kapasitesi açısından liderdir.

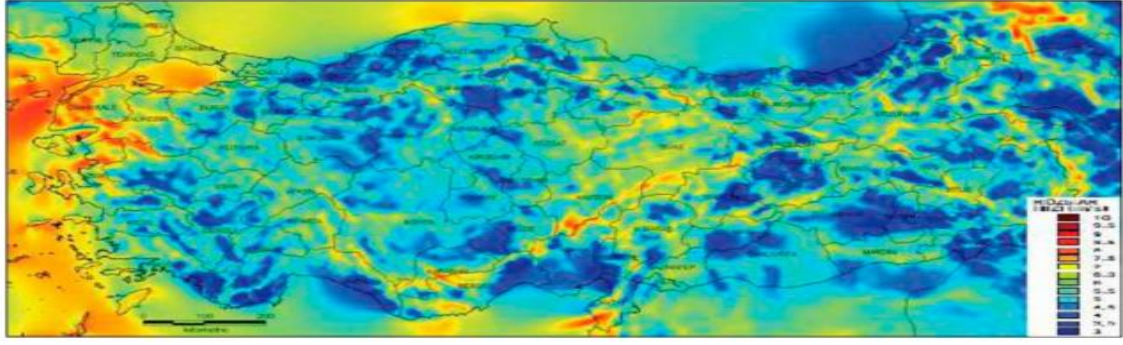
Ayrıca ABD ve Çin de 2030 yılına kadar sırasıyla 22 GW ve 30 GW açık deniz rüzgâr enerjisi kapasitesi kurmayı planlamaktadır. Ayrıca rüzgâr enerjisi kaynakları CBS kullanılarak değerlendirilirken bölgenin çalışma koşulları da göz önünde bulundurulmalıdır. Su derinliği, rüzgâr hızı, ekolojik ortamlar ve arazi yapısı iki farklı senaryoda incelenmiş ve Tayvan'ın açık deniz rüzgâr enerjisinin kaynak potansiyelinin kara rüzgâr enerjisi potansiyelinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Emeksiz ve Demirci 2019).

Rüzgâr enerjisinin maliyeti, diğer enerji kaynakları ile mukayese edildiğinde oldukça öne çıkmaktadır. Geleneksel rüzgâr türbinleri tarafından üretilen güç, rüzgâr kaynağının tutarlılığına bağlı olarak büyük ölçüde değişebilmektedir. Değişkenliği azaltan ve mevcut rüzgâr gücünü artıran bir teknoloji, bu nedenle, rüzgâr enerjisinin etkinliğini arttıran temel önlemlerden biridir. Buna yönelik olarak rüzgâr kaynağının değişkenliği, kapsamlı araştırmalara konu olmaktadır.

#### **2.1.3.4 Türkiye'nin Rüzgâr Enerjisi Bakımından Konumu**

Rüzgâr enerjisi, Türkiye'de kurulu güç kapasitesi bakımından hidroelektrik hariç yenilenebilir enerji kaynakları arasında ilk sırada yer almaktadır. Ancak, açık deniz rüzgâr enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin değerlendirilmesi konusunda tatmin edici çalışmalar ve yatırımlar bulunmamaktadır. Türkiye'nin açık deniz rüzgâr enerjisi potansiyelinin araştırılması, enerji politikasının güçlendirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Emeksiz ve Demirci 2019).

Yıllık ortalama değerler esas alındığında, Türkiye'nin en iyi rüzgâr kaynağı alanları kıyı şeritleri, yüksek bayırlar ve dağların tepesinde veya açık alanların yakınında bulunur. Resim 2.1'de 50 m yükseklik değeri için Türkiye rüzgâr haritasına yer verilmiştir.



**Resim 2.1** Türkiye rüzgâr atlası (50 m yükseklik için).

Rüzgâr enerjisi, farklı sıcaklık aralıklarıyla karşılaşan hava kütlelerinden elde edilir ve rüzgâr türbinleri vasıtasıyla elektriğe dönüştürülür. Türkiye'nin rüzgâr enerjisi potansiyeli 48.000 MW olarak belirlenmiştir. Bu potansiyele tekabül eden toplam alan, Türkiye yüzeyinin % 1.3'üne eşittir. Türkiye'de 2015 yılı sonu itibarıyla yıllık rüzgâr enerjisi üretim miktarı 11.652 GWh, işletilen rüzgâr enerjisi santrallerinin kurulu gücü ise 2016 yılı Eylül ayı sonu itibarıyla 5.228 MW olarak hesaplanmıştır (Çolak ve Kaya 2017).

Türkiye, jeopolitik konumu nedeniyle Avrupa ve Asya arasında bir köprü görevi görmektedir. 783.562 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kaplamaktadır. Karadeniz, Akdeniz ve Ege Denizi ile çevrili olup, her biri farklı ekolojik özelliklere sahip adalar hariç toplam 8.333 km kıyı şeridinde sahiptir. Örneğin Marmara Denizi bir iç denizdir; Karadeniz'in toplam kıyı şeridi 1.700 km, adalar hariç Ege Denizi'nde 2.805 km ve Akdeniz'de 1.577 km'dir. Özellikle komşu ülkenin kıta sahanlığına yakınlığı ve kıyı güvenliği açısından stratejik konumu nedeniyle Türkiye'nin açık deniz rüzgâr enerjisi kapasitesinin tahmin edilmesi için özel ve detaylı bir analiz yapılması gerekmektedir (Emeksiz ve Demirci 2019).

## 2.2 Hibrit Enerji Üretim Sistemleri ve Bileşenleri

Hibrit enerji sistemleri, iki ya da daha fazla enerji kaynağının elektrik enerjisi üretmek amacıyla bir arada kullanıldığı enerji sistemleri olarak tanımlanabilirler. Hibrit enerji sistemlerinde, şebekeye uzak ya da yakın bir tesisin, kırsal veya kentsel bir evin elektrik enerjisi talebini karşılamak için elektrik üretim (rüzgâr türbini, fotovoltaik panel, hidrolik, jeneratör vb.) elemanlarının birkaçı bir araya getirilir.

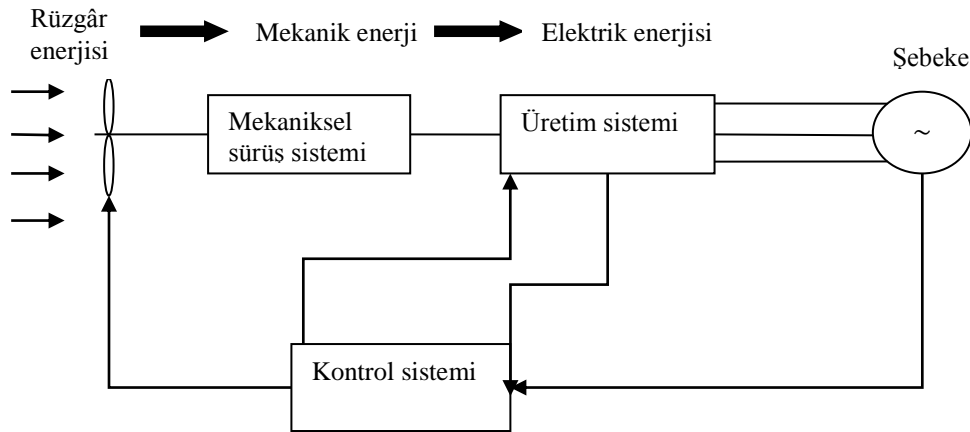


Hibrit enerji sistemlerinde esas amaç yükün beslenmesidir. Fakat bunun dışında, tek kaynağa bağımlı enerji sistemlerinden farkı hibrit sistemdeki kaynaklardan birinin kesilmesi ya da azalması durumunda diğer kaynağın elektrik enerjisi arzındaki güvenilirliği ve devamlılığı sağlamasıdır. Şebeke bağlantısız sistemlerde üretilen enerjinin ihtiyaçtan fazla olması durumlarında ise, enerji bataryalarda depo edilebilir.

Günümüz teknolojileri arasından önde gelen ve gelecekte önemi daha da artacak olanlardan birisi hibrit enerji üretim sistemleridir. Yeni hibrit enerji üretim sistemlerinin gelişimi ile birlikte ihtiyaç duyulan alt sistem ve bileşenlerine duyulan gereksinim de artmıştır. Hibrit sistemler, tamamlayıcı niteliklere sahip en az iki enerji kaynağından yararlanan sistemler olarak tanımlanabilir. Hibrit sistemler yoluyla elde edilen enerjinin verimliliği yüksek olmaktadır.

### 2.2.1 Rüzgâr Türbininin Sınıflandırılması ve Bileşenleri

Rüzgâr enerjisi çıkışında elde edilen değişken gerilime bağlı olarak enerji, doğrudan yüke verilememektedir. Üretilen enerjinin sabit bir değerde yüke iletilmesi için yükselten çevirici çıkışında enerjiyi aküde depolayarak gerektiğinde kullanmak üzere bekletilir.






Şekil 2.15 Rüzgâr enerji sisteminin çalışma prensibi.

### 2.2.1.1 Rüzgâr Türbinlerinin Sınıflandırılması

Rüzgâr türbinleri, rüzgârın kinetik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren bir makinedir.

Rüzgar türbin tipleri ve kullanım yerleri

Rotor Tipleri	$\lambda$ Uç hız oranı	$C_p$ Güç katsayısı	RPM Devir Sayısı	Tork	Kullanım Yeri
 PERVANE TİPİ	6 10	0,42	Yüksek	Alçak	Elektrik Üretimi
 DARRIEUS TİPİ	5 6	0,40	Yüksek	Alçak	Elektrik Üretimi
 CYCLOGIRO TİP	3 4	0,45	Orta	Orta	Elektrik Üretimi veya Su pompalama
 ÇOK KANATLI TİP	3 4	0,35	Orta	Orta	Elektrik Üretimi veya Su pompalama

Rotor Tipleri	$\lambda$ Uç hız oranı	$C_p$ Güç katsayısı	RPM Devir Sayısı	Tork	Kullanım Yeri
 YELKEN KANAT TİPİ	4	0,35	Orta	Orta	Elektrik Üretimi
 FAN TİPİ	1	0,30	Alçak	Alçak	Su Pompalama
 SAVONIUS TİP	1	0,15	Alçak	Yüksek	Su Pompalama
 HOLLANDA TİPİ	2 3	0,17	Alçak	Yüksek	Su pompalama veya Değirmen

Şekil 2.16 Rüzgâr türbinlerinin rotor tipleri ve kullanım alanları (Kayn.-1).

En çok kullanılan türbin tipleri iki gruba ayrılmaktadır. Bu türbinler şunlardır; yatay ve dikey eksenli rüzgâr türbinleri en yaygın kullanılan türler olarak bilinmektedir.

### 2.2.1.2 Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinlerinin Tanıtılması

Bu tip rüzgâr türbinleri, dönme eksenleri rüzgâr yönüne paralel, kanatları ise rüzgârın esme yönüne dik olarak çalışırlar. Kanatların rüzgârın esme yönüne dik olmasıyla türbin rotoru maksimum enerjiyi tutabilmektedir.

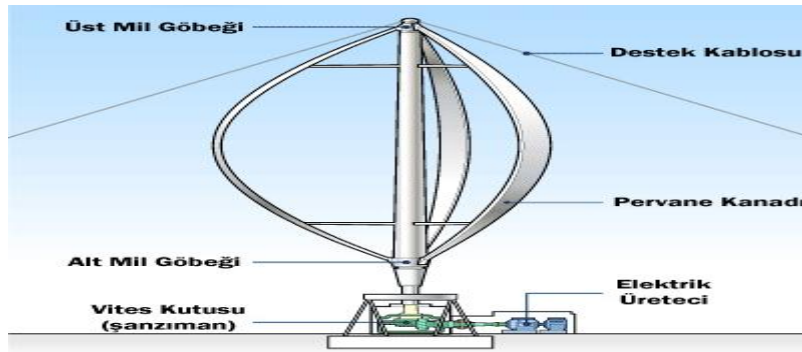


**Resim 2.2** Rüzgârın gelme durumuna göre yatay türbin tasarımları(Hambarcı 2018).

Elektrik üretimi için verimleri biraz düşük kalmaktadır. Çapları büyüdükçe ağırlıkları artacağı için, yatay eksenli türbinleri kurmak pek de kolay değildir. Yatay eksenli türbinler, daha çok su pompası için idealdirler. Genellikle pistonlu pompalarda kullanılırlar.

### 2.2.1.3 Dikey Eksenli Rüzgâr Türbinlerinin Tanıtılması

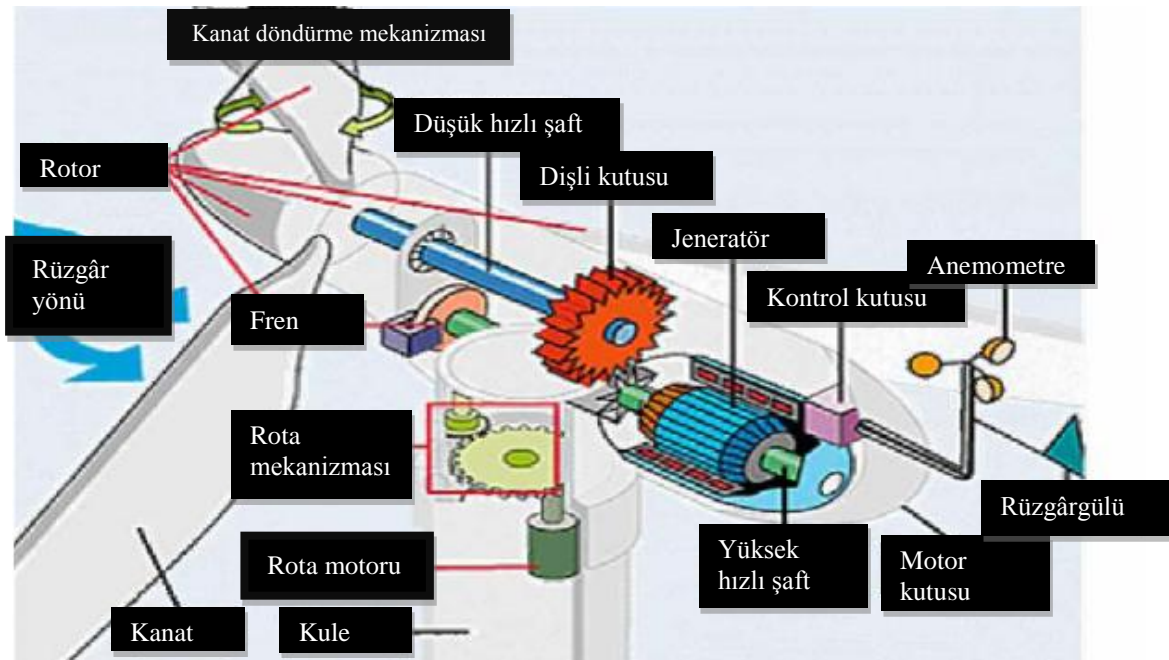
Düşey eksenli türbinlerde, kanatların iç bükey ve dış bükey yüzeyleri arasındaki çekme kuvveti farkı sebebiyle dönme hareketi oluşmaktadır.



**Şekil 2.17** Düşey eksenli rüzgâr türbininin genel yapısı (Enerji Portalı Kayn.-2).

### 2.2.1.4 Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinlerinin Ana Elemanları

Bulunmuş olduğu yerin konumuna göre, rotoru yatay eksende çalışan yatay eksenli rüzgâr türbinleri, kullanımı daha çok alışılmış ve daha rahat bir kullanım sunarlar. Ticari türbinlerin çoğu yatay eksenlidir. Yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde rotor kanatların sayısı azaldıkça rotor daha hızlı dönmektedir. Günümüze uygun olan rotoru yatay eksende çalışan yatay eksenli ve yatay eksene bağlı kanatları olan rüzgâr türbinlerini oluşturan ana elemanları aşağıdaki Şekil 2.18’de görüldüğü gibidir.



Şekil 2.18 Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinlerinin Ana Elemanları (Enerji Portalı Kayn-3).

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi türbin aşağıda anlatılan parçalardan oluşmaktadır:

**Kule:** Kule, rüzgâr türbinlerinde nacelle ve rotoru taşır. Kuleler genelde tüp biçiminde çelik, kafes yapılı ya da betonarme olarak inşa edilir.

**Kule Uzunluğunun Seçimi:** Büyük bir türbinden küçüğüne oranla daha çok büyük bir güç elde edileceği muhakkaktır.

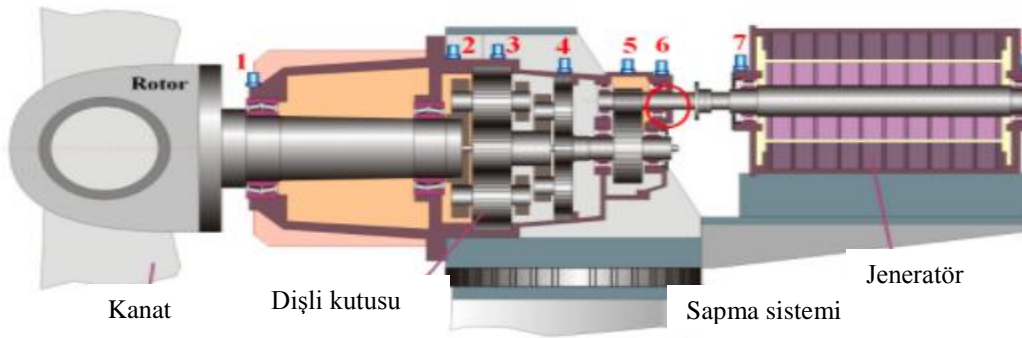
**Rotor Kanatları:** Rüzgâr türbinlerinin kanatları; alüminyum, titan, çelik, elyaf ile

güçlendirilmiş plastik (cam elyafı, karbon elyafı ve aramid elyafı) ve ağaçtan imal edilmektedir.



Şekil 2.19 Rotor Kanatları (Kayn-4).

**Dişli Kutusu:** Pervane milindeki enerji, jeneratöre bir dişli sistemi sayesinde (söz gelimi, çevrim oranı; 1:15) aktarılır. Dişli sistemi, pervane milinin devir sayısını jeneratörün gerek duyduğu devir sayısına çıkarır. 1000 kW saymaca kuvvetli rüzgâr türbinlerinde dişli kutusunun çevrim oranı 1:70'dir.



Şekil 2.20 Dişli Kutusu(Enerji Portalı Kayn-5).

**Jeneratör:** Rüzgâr enerjisi tesislerinde kullanılacak olan jeneratörler, alternatif akım ya da doğru akım jeneratörleri olabilir.

**Çizelge 2.2.** Jeneratörlerde kutup sayısı ile devir sayısı arasındaki ilişki.

Frekans	50 Hz	60 Hz
Kutup sayısı	Dönüş hızı	Dönüş hızı
2	3000	3600
4	1500	1800
6	1000	1200
8	750	900
10	600	720
12	500	600

Rüzgâr Türbinlerinde YAW (yön saptırma) Mekanizması: Genellikle bütün yatay eksenli türbinlerde kullanılır. Bu mekanizma ile motor, dişli kutusu ve rotor rüzgâra doğru yöneltilir. Şekil 2.15’de 1000 kW’lık bir türbinin yön saptırma mekanizması görülüyor.



**Şekil 2.21** YAW (yön saptırma) mekanizması (Kayn.-6)

Kablonun Kıvrılmasını Önleyici Sistem: Jeneratörde üretilen elektrik enerjisi kulede aşağıya kablolar ile iletilir. Ancak kablolar yön saptırma mekanizmasının hareketiyle bükülmeye uğrar, Bu hem mekanik hem de elektrik olarak kabloyu zorlayıcı ve zarar verici bir etkendir. İşte bu durumu engellemek için türbinlerde bu sisteme ihtiyaç duyulmuştur.

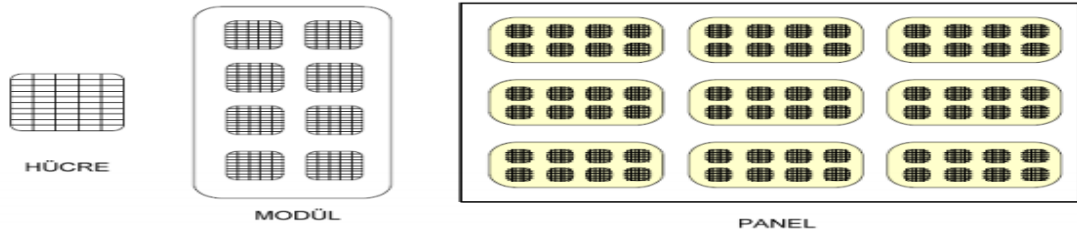
Jeneratörü Başlatma ve Durdurma: Büyük bir rüzgâr türbininin jeneratörünü devreye alma ve jeneratörü devreden çıkarılması esnasında sıradan, rastgele bir anahtar kullanılırsa jeneratör, dişli kutusu ve yakın çevredeki şebeke akımı zarar görebilir. Bunu önlemek amacıyla kullanılacak anahtar jeneratör tasarımı dikkate alınarak seçilir.

Derece Kontrollü Türbinler: Derece kontrollü rüzgâr türbinleri, türbinlerin elektronik kontrolörünü saniyede birkaç defa güç noktasını kontrolünü sağlamaktadır.

Bağımsız Çalışan Akü Şarj Eden Sistemler: Akü şarj eden sistemler, genelde konum olarak şebekeden uzak bölgelerde kullanılmaktadır.

## 2.2.2 Güneş Enerjisinin Tanıtılması

Güneş enerjisi, güneş veya fotovoltaik hücreler aracılığıyla güneş ışığının toplanmasıyla elde edilen bir başka yenilenebilir enerji türüdür. Yüksek yoğunluklu ısı kaynağı, elektrik üretmek için güneş ışığını aynalarla odaklayarak oluşturulur. Güneş enerjisi soğutma, aydınlatma, ısıtma ve diğer enerji talepleri için kullanılabilir (Çolak ve Kaya 2017). En bilinen güneş pilleri bir güneş pili hücreleri 25-30 cm<sup>2</sup> lik kare bir alana karşılık gelip ortalama 1W'lık güç üretebilmektedir.



Şekil 2.22 Güneş pili, hücre, modül ve panel modeli (Kayn.-7).

### 2.2.2.1 Güneş Pilleri

Güneş pili, güneş ışığının enerjisini fotovoltaik etki ile doğrudan elektriğe dönüştüren katı hal bir cihazdır. Hücre meclisleri, güneş panelleri olarak da bilinen güneş modülleri yapmak için kullanılır. Güneş enerjisi olarak adlandırılan bu güneş modüllerinden üretilen enerji, güneş enerjisine bir örnektir (Kumar 2012).

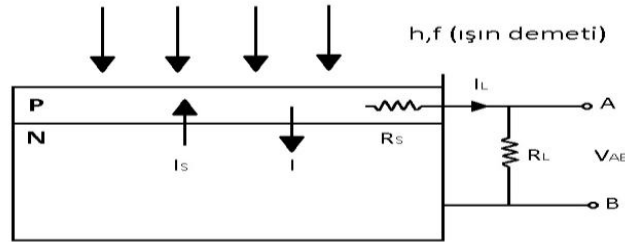
Güneş pilinin ihtiyaçları şu şekilde sıralanabilir (Swami 2012):

- Hem ana elektrik şebekesinden hem de insanlardan uzak yerlere uygun, az bakım gerektiren, uzun ömürlü elektrik kaynaklarına duyulan ihtiyaç. Örneğin uydular, uzak site su pompalama, taşra telekomünikasyon istasyonları ve deniz fenerleri;
- Ana elektrik şebekesinden uzaktaki insanlar için uygun maliyetli güç kaynaklarına duyulan ihtiyaç. Örneğin Aborjin yerleşimleri, taşradaki koyun ve sığır istasyonları ve şebeke bağlantılı alanlardaki bazı ev siteleri.

- Çevreyi kirletmeyen ve sessiz elektrik kaynaklarına duyulan ihtiyaçtır. Örneğin turistik yerler, karavanlar ve kampçılar,
- Küçük miktarlarda güç için uygun ve esnek bir kaynak ihtiyacı. Örneğin hesap makineleri, saatler, ışıkölçerler ve kameralar;
- Küresel ısınmayı azaltmanın bir yolu olarak yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji ihtiyacı.

### 2.2.2.2 Fotovoltaik piller

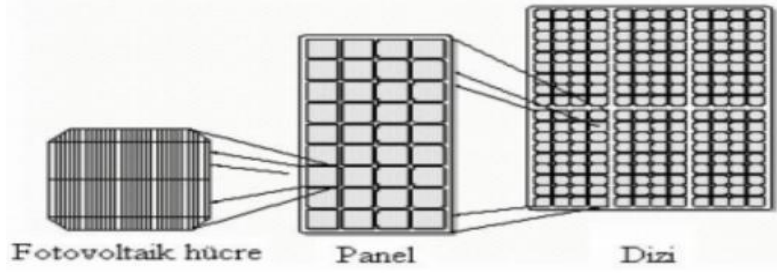
Fotovoltaik (PV), fotovoltaik etki gösteren yarı iletkenler kullanarak güneş ışınımını doğru akım elektriğine dönüştürerek elektrik enerjisi üretme yöntemidir. Fotovoltaik enerji üretimi, bir fotovoltaik malzeme içeren bir dizi hücre içeren güneş panellerini kullanır. Şu anda fotovoltaik için kullanılan malzemeler arasında mono kristalli silikon, polikristalli silikon, amorf silikon, kadmiyum tellür ve bakır indiyum selenit/sülfür bulunur. Yenilenebilir enerji kaynaklarına artan talep nedeniyle, güneş pilleri ve fotovoltaik dizilerin üretimi son yıllarda önemli ölçüde ilerlemiştir (Kumar 2012).



Şekil 2.23 Fotovoltaik Pilin Yapısı.

Dış devreden akım geçerse  $I_s = I - I_L$  olacak biçimde dışarıya elektrik enerjisi alınır. Şekil 2.23'te bu pilin elektrik eşdeğer devresi görülmektedir. En yüksek foton enerjisi yeşil ışık için  $h_f = 2.5\text{eV}$  civarındadır. P-N kavşağındaki temas potansiyeli, elektronları daha yüksek potansiyele çıkaran batarya rolü oynamaktadır.





Şekil 2.24 Fotovoltaik Piller, paneller ve diziler (Kayn.-8).

Fotovoltaik piller seri ya da paralel bağlanarak Şekil 2.24'te görülmüş olduğu gibi bir paneli oluştururlar. Panellerin seri ya da paralel bağlanmasından ise diziler elde edilmektedir. Bu şekilde uygun akım ve gerilim seviyeleri elde edilir.

Yarı iletken malzemelerden yapılan fotovoltaik (PV) güneş pilleri elektrik enerjisi üretmektedir ve fotonlar tarafından aydınlatıldıklarında ölçü birimi Watt veya Kilowatt'tır. PV'nin tarihi, ilk kez 1839'da iki farklı elektrottan üretilmiş bir elektrolit hücresinin deneysel etkilerini gösteren Fransız fizikçi isimleri Alexander Edmond Becquerel tarafından kaydedilen çok uzun bir zamandan başlamaktadır. Hücreler tamamen çıplak ışığa açık olduğunda bir elektrik üretimi olur ve 1954'te Bell Labs ilk güneş pilini tasarlamıştır (Yousaf 2015).

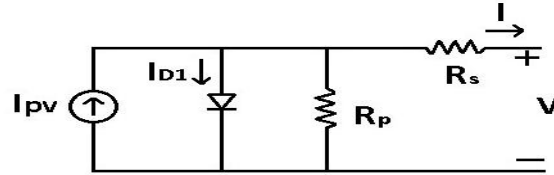
Fotovoltaik enerji dönüşümü, sürdürülebilir bir enerji arzına önemli ölçüde katkıda bulunma potansiyeline sahip ve sera gazı emisyonlarını azaltmaya yardımcı olabilecek, daha umut verici yenilenebilir enerji teknolojilerinden biri olarak yaygın olarak kabul edilmektedir. Bunları yerine getirmek için fotovoltaik (PV) teknolojisinin iki gereksinimi karşılaması gerekir: (Alsema ve Nieuwlaar 2000):

1. PV enerji üretimi kabul edilebilir bir maliyet/performans oranına sahip olmalıdır.
2. PV sistemleri için net enerji verimi sıfırdan daha büyük olmalıdır.

Fotovoltaik etki, bir malzemede ışığa maruz kaldığında bir voltaj (veya buna karşılık gelen bir elektrik akımı) oluşmasıdır. Fotovoltaik etki, fotoelektrik etki ile doğrudan ilişkili olmasına rağmen, iki süreç farklıdır ve birbirinden ayrılmalıdır. Fotoelektrik etkide, elektronlar, yeterli enerjiye sahip radyasyona maruz kaldıklarında bir malzemenin yüzeyinden fırlatılır.

Fotovoltaik etki, üretilen elektronların malzeme içindeki farklı bantlar arasında edilmesi ve iki elektrot arasında bir voltaj oluşmasına neden olması bakımından farklıdır (Kumar 2012).

### 2.2.2.3 FV Eşdeğer Devre Modelleri



Şekil 2.25 FV eşdeğer devre modeli (genel model).

Bu eşdeğer devrede yer alan kısaltmalar; güneş ışığı tarafından üretilen elektrik akımını, diyot akımını, I Yük akımını Rs Seri direnç değerini, Rp Paralel direnç değerini ifade etmektedir. Güneş pilinde oluşan elektrik akımı denklem (2.1)'de ki gibi verilir.

$$I_{pv} = (I_{sc} + K_i(T - T_{ref})) \times \varphi/100 \quad (2.1)$$

Burada  $\varphi$ ,  $\text{kW/mm}^2$  olarak ışınımı,  $I_{sc}$  güneş pilinin 25'de ki kısa devre akımını  $K_i$  güneş pilinin kısa devre akımı sıcaklık sabitini,  $T$  güneş pilinin  $K$  olarak çalışma sıcaklığını gösterir. Denklem (2.2)'de ise ters doyum akımı  $I_{rs}$  verilmiştir. Burada  $V_{oc}$  güneş pilinin açık devre gerilimini,  $N_s$  güneş pili modülündeki seri parça sayısını,  $k$  Boltzmann sabitini,  $A$  ise güneş pilinde kullanılacak olan malzemeye göre ideal bir faktörü ifade etmektedir.

$$I_{rs} = I_{sc} / (e^{\frac{qV_{oc}}{N_s k A T}} - 1) \quad (2.2)$$

$I_s$  akımı doyum akımı olup değeri pile verilen sıcaklığın değeri ile değişir. Doyum akımı denklem (2.3)'te verilmiştir. Burada  $T_{ref}$  güneş pilinin referans sıcaklığını,  $E_g$  güneş pilinde kullanılacak olan yarı iletkenin bant-aralığı enerjisini,  $q$  ise elektron yükünü belirtmektedir.

$$I_s = I_{rs} \times \left(\frac{T}{T_{ref}}\right)^3 e^{\frac{q \times E_g}{A \times k \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T}\right)}} \quad (2.3)$$

I akımının hesaplaması ise denklem (2.4)'teki gibi ifade edilir.

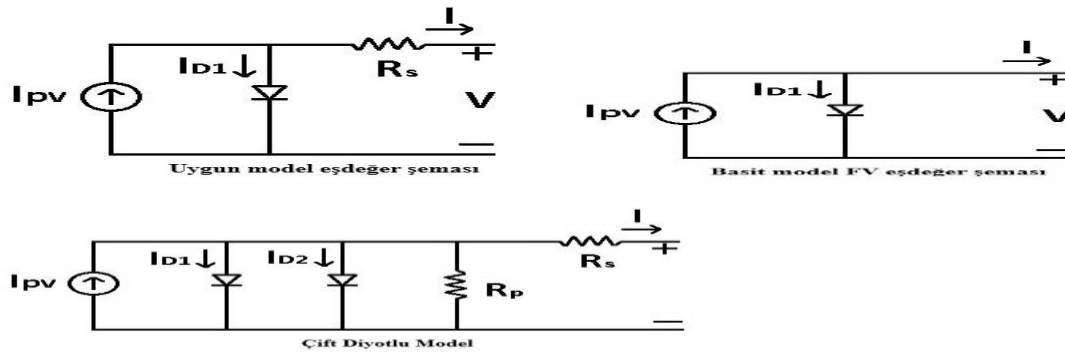
$$I = I_{pv} - I_s \times \left[ e^{\frac{q \times (v + IR_s)}{A k T}} - 1 \right] - \frac{(V + IR_s)}{R_p} \quad (2.4)$$

Şekil 2.25'de yer alan diyot akımı ise denklem (2.5)'te ki gibi ifade edilir. Burada  $V_d$  diyot gerilimi  $V_T$  sıcaklık gerilimidir.

$$I_{d1} = I_s \times e^{V_d / V_T} - 1 \quad (2.5)$$

Bir diğer FV eşdeğer devre modeli Şekil 2.26'da gösterilen çift diyotlu modeldir. Bu modele ilişkin çıkış akımı denklem (2.6)'da verilmiştir.

$$I = I_{pv} - I_{d1} - I_{d2} - \frac{(V + I \times R_s)}{R_p} \quad (2.6)$$



Şekil 2.26 FV eşdeğer devre modelleri.

Şekil 2.26 (a)'da ise uygun modele ilişkin devre şeması görülmektedir. Bu modele ilişkin çıkış akımı ise denklem (2.7)'de verilmektedir. Şekil 2.26 (b)'de ise FV basit model eşdeğer devresi görülmektedir. Bu modele ilişkin çıkış akımı ise denklem (2.8)'de verilmiştir

$$I = I_{pv} - I_s \left[ e^{\frac{q \times (V + IR_s)}{A k T}} - 1 \right] \quad (2.7)$$

$$I = I_{pv} - I_s \left[ e^{\frac{q \times V}{AkT}} - 1 \right] \quad (2.8)$$

Kullanılan modellerin denklemleri güneş dizilerine uyarlanacak olursa, yani seri ve paralel modül ya da panel sayısı için denklemler aşağıda belirtilen gibi elde edilir.

$$I = NpI_{pv} - NpI_s \left[ e^{\frac{q \times \left( \frac{V}{N_s} + \frac{IR_s}{N_p} \right)}{AkT}} - 1 \right] - \frac{NpV + IR_s}{Rp} \quad (2.9)$$

$$I = NpI_{pv} - NpI_s \left[ e^{\frac{q \times \left( \frac{V}{N_s} + \frac{IR_s}{N_p} \right)}{AkT}} - 1 \right] \quad (2.10)$$

$$I = NpI_{pv} - NpI_s \left[ e^{\frac{q \times V}{NsAkT}} - 1 \right] \quad (2.11)$$

#### 2.2.2.4 Güneş Piliin Güç Verimlilikleri

Fotovoltaik güneş pillerinin devamlı gelişmelerine bağlı şekilde verimliliklerinin özetlendiği çizgilerin geçerlilik süreleri bir hayli kısa olmaktadır. Fraunhofer Enstitüsü tarafından yapılan en yüksek verimlilikleri gösteren özet aşağıda belirtilen tabloda gösterilmiştir.

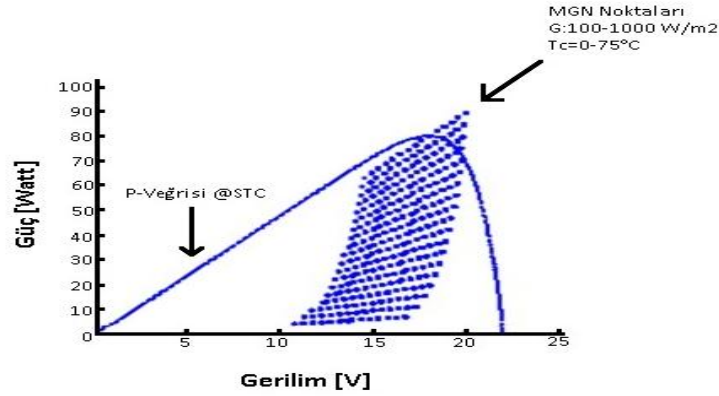
**Çizelge 2.3** Güneş panelinde rapor edilmiş en yüksek verimlilikler.

FV Piliin Cinsi	Alan(cm <sup>2</sup> )	Verimlilik %	Üretilen Birim
Tek Kristalli	4,00	24	Avustralya
Çok Kristalli	21,2	17,4	Almanya
Amorf Silisyum	1	14,7	Birleşik Krallık
Cu/In, GaSe <sub>2</sub>	0,4	17,7	ABD
CdTe/CdS		15,8	ABD
GaAs Tek Kristal	1	23,9	Hollanda

Maksimum Güç Noktası İzleme: Seri ve paralel direnç ihmal edilirse bir güneş panelinin akım gerilim ilişkisi şöyle ifade edilebilir.

$$I_{pv} = I_l - I_s \left( e^{\frac{qV_{pv}}{nKT}} - 1 \right) \quad (2.12)$$

Burada  $V_{pv}$  ve  $I_{pv}$  sırasıyla güneş panelinin gerilimi ve akımı, ışık akımı, Is diyot doyma akımı, q elektron yükü, k Boltzman sabiti, n diyot faktörü ve T hücre sıcaklığıdır. Işınım  $G=100-1000W/mm^2$  arasında ve hücre sıcaklığı  $T_c=0-75^\circ C$  arasında değişirken 36 elemanlı tipik bir FV panelin maksimum güç noktasının (MGN) değişimi denklem (2.12) yardımı ile hesaplanmış ve Şekil 2.27 elde edilmiştir.



Şekil 2.27 MGN değişimi (Kaplan, Şirin ve Yıldız 2019).

Sıcaklığın etkisi: Bir FV panelin hücre sıcaklığı ( $T_c$ ), istenilen bir hava sıcaklığı ( $T_a$ ) ve ışınım ( $G$ ) değeri için NOCT sıcaklığı kullanılarak tahmin edilebilir.

$$T_c = T_a + \frac{NOCT-20}{0,8} G(kW/m^2) \quad (2.13)$$

$$P_m(T_c) = P_{m, stc} [1 - \mu P (T_c - 25)] \quad (2.14)$$

Burada  $P_{m,STC}$  standart test koşullarındaki (STC) panel gücüdür. FV panellerde NOCT sıcaklığı  $42-52^\circ C$  arasında değer almaktadır.

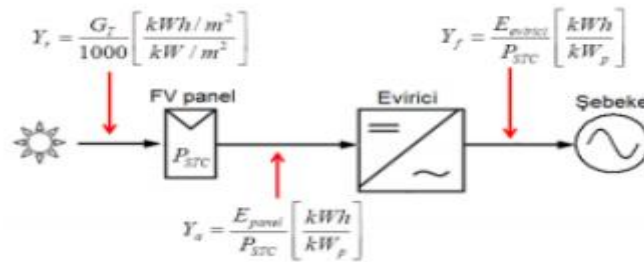
Sistem Verimliliği: Fotovoltaik güç sistemlerinde panel ve eviricinin uyumu performans oranını yüksek tutmak için bir hayli önemlidir.

Performans Oranı: Performans oranı bir verim katsayısı değildir. Kurulu güçten ve ışınım şiddetinden arındırılmış bir başarıım katsayısıdır.

Şekil 2.28’de görülmüş olduğu gibi sisteme giren güneş ışınımı ( $Y_r$ ) 1000 normalize edilmekte ve sistemin ürettiği enerji ( $Y_f$ ) ise kurulu güce oranlanmaktadır. Buna göre Performans oranı (PR) sistemin ürettiği enerjinin ( $Y_f$ ) sisteme giren referans enerjiye ( $Y_r$ ) oranı olarak tanımlanır.

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \quad (2.15)$$

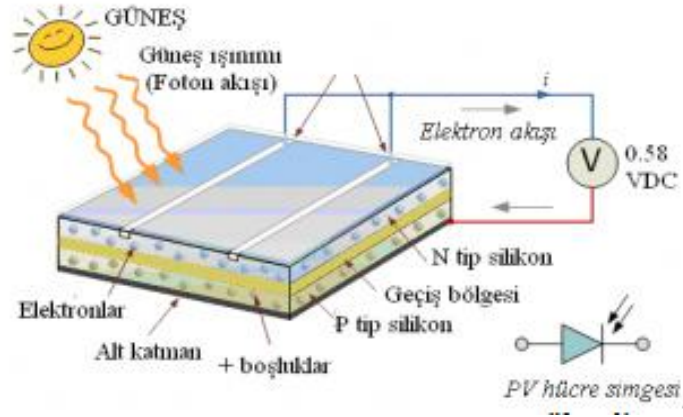
$Y_r$ ’den FV panelin ürettiği enerji olan  $Y_a$  çıkarılırsa panel kayıpları (captureloss) ( $Y_r - Y_a$ ) olarak elde edilir; bunlara dc kablolama, MGN izleme verimi, uyumsuzluk kayıpları, toz ve kir kayıpları vb. dâhildir.



Şekil 2.28 Performans oranı tanımlamaları (Kaplan, Şirin ve Yıldız 2019).

### 2.2.2.5 Güneş Pili Çalışma Prensibi ve Karakteristik Özellikleri

Başka malzemeler kullanılmakta olsa bile, çağımızda, birçok güneş pili silisyumdan yapılmaktadır. Güneş pilinin üzerine güneş ışığı düştüğünde, silisyum atomunun son yörüngesindeki valans elektronu negatif yükler. Işık foton denilen enerji partiküllerinden meydana gelmiştir.



Şekil 2.29 Güneş pili çalışma prensibi (Kayn-9).

### 2.2.2.6 Güneş Pili Çeşitlerinin Tanıtılması

Fosil yakıtların fiyatı, her zamankinden daha fazla artış göstermektedir. Bu nedenle fosil yakıtların yerini alacak ya da kullanımını azaltacak alternatif enerji kaynakları yarıştırmıştır. Organik güneş pilleri kullanarak elektrik üretme faaliyeti, bilim insanlarının yenilenemeyen kaynaklara olan bağımlılığın bir kısmını hafifletmeye çalıştıklarının bir örneğidir. Bu nedenle, Organik Güneş Pili için gerçek bir cihazın davranışını mümkün olduğunca yakın bir şekilde yeniden üretebilen bir simülasyon geliştirilmesi planlanmaktadır (Swami 2012).



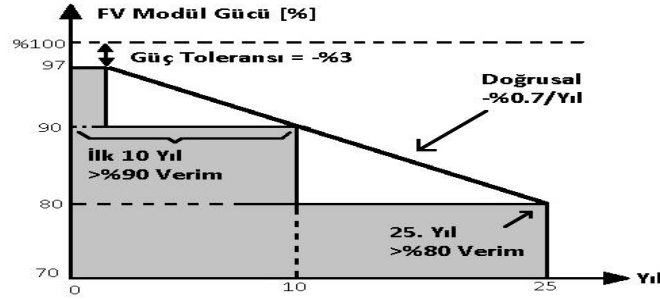
Şekil 2.30 Kullanılan Malzemeye Bağlı Olarak Farklı Güneş Pili Türleri (Swami 2012).

Dökme kare külçelerden yapılmış polikristal silisyum veya çok kristalli silisyum, dikkatle soğutulmuş ve katılaştırılmış büyük erimiş silisyum bloklardır. Bu hücrelerinin üretimi, tek kristal silisyum hücrelere göre daha ucuzdur, ancak daha az verimlidir. Polikristal, sadece %10 civarında verim elde etme yeteneğine sahiptir (Swami 2012)

### 2.2.2.7 Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Verimliliği Etkileyen Parametreler

Güneş panelleri 36 ya da daha çok güneş gözesinin seri bağlanmasıyla oluşturulur ve laminasyon tekniğiyle hermetik olarak ambalajlanarak dış ortamın bozucu etkilerinden uzun seneler (~25 sene) etkilenmemesi sağlanır. Bir FV güç sisteminin ömrünü FV panellerin ömrü belirlediğinden mümkün olduğunca uzun ömürlü güneş panelleri tercih edilmelidir.

Güneş radyasyonu, 0,3-2,5  $\mu\text{m}$  arasında bir dalga boyu bandında yaklaşık  $1.0 \text{ kWm}^{-2}$ 'lik bir maksimum akış yoğunluğunda Dünya yüzeyine ulaşır. Buna kısa dalga radyasyonu denir ve görünür spektrumu içerir. Yerleşim alanları için bu akış, yere, zamana ve hava durumuna bağlı olarak yaklaşık 3 ila  $30 \text{ MJ m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$  arasında değişir. Spektral dağılım, Güneş'in 6000 K yüzey sıcaklığı tarafından belirlenir. Bu, geleneksel mühendislik kaynaklarından çok daha yüksek erişilebilir bir sıcaklık kaynağından çok yüksek termodinamik kalitede bir enerji akışıdır. Akış, hem termal olarak hem de daha önemlisi fotokimyasal ve foto fiziksel işlemler (örneğin fotovoltaik güç ve fotosentez) için kullanılabilir (Twidell ve Weir 2006).



Şekil 2.31 FV panel garanti süreleri.

### 2.2.2.8 Güneş Takip Sistemi



Şekil 2.32 Çift eksenli güneş paneli(Kaplan, Şirin ve Yıldız 2019).



Güneş takip sistemleri takip eksenleri ve kontrol yöntemlerine göre değişiklik göstermektedir. Genel olarak güneş takip sistemlerini şu şekilde sınıflandırabiliriz:

Eksen sayısına göre; tek eksenli kontrol, çift eksenli kontrol olarak sınıflandırılırlar.

Kontrol yöntemine göre; pasif kontrollü sistemler (kapalı döngü), aktif kontrollü sistemler (açık döngü) olarak sınıflandırılırlar.

**Tek Eksenli Kontrol Sistemleri:** Bu kontrol sistemlerinde panel yalnızca tek eksenli hareket etmektedir. Güneş takip sistemi ile verimliliği yaklaşık %20-25 oranlarında arttırmak mümkündür.



**Resim 2.3** Güneş takipli solar panel (Kaplan, Şirin ve Yıldız 2019).

**İki Eksenli Güneş Takip Sistemleri:** İki eksenli kontrol sistemlerinde Güneş'in gökyüzündeki konumunu belirten iki açı değeri ile takip gerçekleştirilir.



**Resim 2.4** İki eksenli güneş paneli (Kaplan, Şirin ve Yıldız 2019).

Kullanılan Kontrol Yöntemine Göre Güneş Takip Sistemleri: iki grupta incelenirler. Pasif kontrollü sistemler, sistemin güneşi takip edebilmesi için gerekli konum bilgisi algılayıcılar tarafından sağlanan ve kapalı çevrim çalışan sistemlerdir.

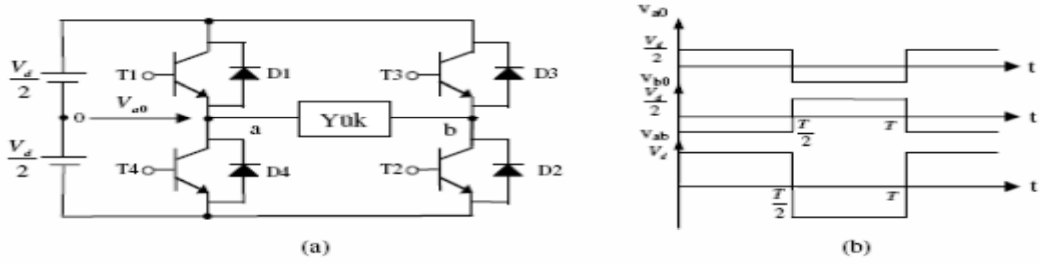
### **2.2.3 Eviriciler (İnvertörler)**

Dağıtılmış üretim ortamında, paralel çalışan invertörler, yenilenebilir enerji kaynaklarının şebeke ile ara yüzlenmesinde veya bir şebeke oluşturulmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu, invertörlerin etkin bir kontrol stratejisiyle paralel çalıştırılmasıyla sağlanabilir. Bu nedenle, paralel bir invertörde voltaj ve güç açısından niteliksel çıktı, belirli performans parametrelerini azaltmak için bir kontrol stratejisi gerektirir. Yük paylaşım kabiliyeti, kararlılık, toplam harmonik bozulma, kararlı durum ve geçici tepki gibi teknik kısıtlamalar, mikro şebeke ile bağlantılı kontrol stratejisinin performans endekslerini belirler (Monica ve Kowsalya 2016).

Doğru akımı (DC) alternatif akıma (AC) çeviren cihaza invertör denir. Bu cihaz piller, güneş modülleri, rüzgâr türbini ve PV paneller gibi kaynaklarla birlikte kullanılır. Yenilenebilir enerji hibrit sistemi ile invertörün yerleştirilmesi ile daha sonra evlerde AC ile çalışan ekipmanlar kullanılabilir (Yousaf 2015).

#### **2.2.3.1 Tek Fazlı Gerilim Beslemeli İnvertörler**

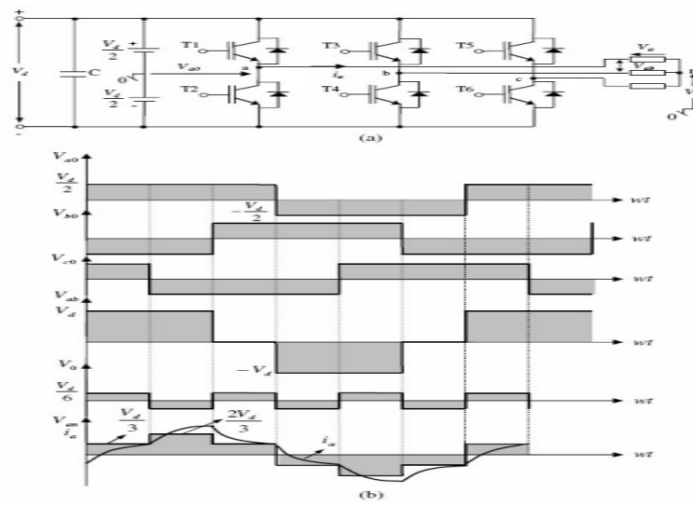
DC kaynaktan AC formda gerilim üretmek için kullanılacak olan temel bir tek fazlı gerilim beslemeli tam köprü invertör devresi Şekil 2.33 (a)'da ve çıkış gerilimi dalga şeklinin değişimi de Şekil 2.33 (b)'de verilmiştir. Devre dört anahtarlama elemanı içermektedir. T1 ve T2 transistörleri aynı anda iletimdeyken, yük uçlarında +Vd gerilimi görülür. T3 ve T4 transistörleri aynı anda iletime sokulduğunda ise, yük uçlarındaki gerilim -Vd olur. Böylece yük uçlarında AC çıkış gerilimi elde edilir. Güç anahtarlama elemanlarına paralel olarak bağlanan ters akım diyotları omikendüktif yüklerde iletime girer ve yük üstündeki enerji, bu diyotlar üzerinden DC kaynağa geri verilir. Böylece bu diyotlar, endüktif yük akımının kesilmesi esnasında oluşan yüksek gerilim tepelerinin anahtarlama elemanına zarar vermesini önler (Güngördü 1986).



**Şekil 2.33** Tek fazlı tam köprü invertör için (a) devre şeması (b) gerilim dalga şekilleri (Fesli 2009).

### 2.2.3.2 Üç Fazlı Gerilim Beslemeli İnvörtörler

Sabit bir DC gerilimden üç fazlı AC çıkış gerilimleri üretmek için üç fazlı invertörler kullanılır. Standart bir üç fazlı gerilim beslemeli invertör yapısı şekil 2.34(a)'da görülmektedir. Burada  $V_a$ ,  $V_b$  ve  $V_c$  inverter çıkış gerilimleri,  $V_d$  DC kaynak gerilimi ve T1-T6 elemanları ise çıkış geriliminin oluşturulmasını sağlamayı başaran altı adet güç anahtarlama elemanıdır. Devrede her bir anahtarlama elemanı  $180^\circ$  süresince iletimde kalmaktadır. Üst koldaki anahtarlama elemanlarından birisi kesime girdikten sonra karşılık gelen alt koldaki anahtarlama elemanı, ölü zaman değeri kadar sonra iletime sokulur. Böylece aynı fazdaki iki anahtarlama elemanının aynı anda iletime girmesi ve DC giriş kaynağının kısa devre olması engellenir (Güngördü 1986).



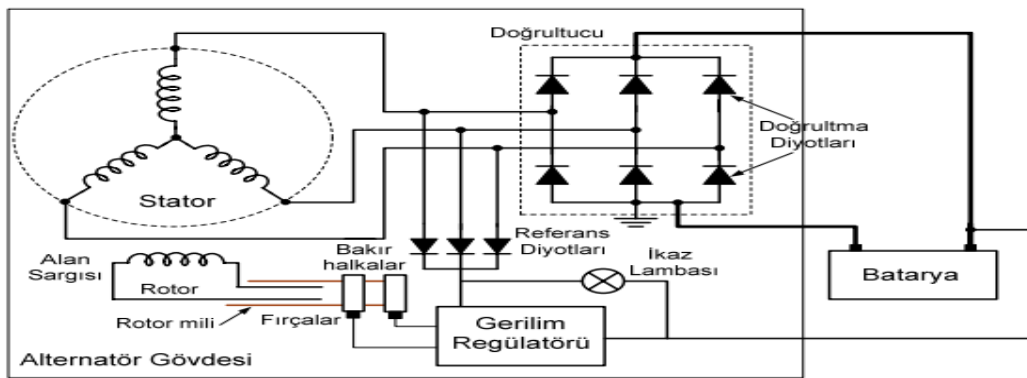
**Şekil 2.34** Üç fazlı gerilim beslemeli invertörün (a) devre şeması (b) çıkış gerilimi dalga şekilleri (Fesli 2009).

## 2.2.4 Aküler

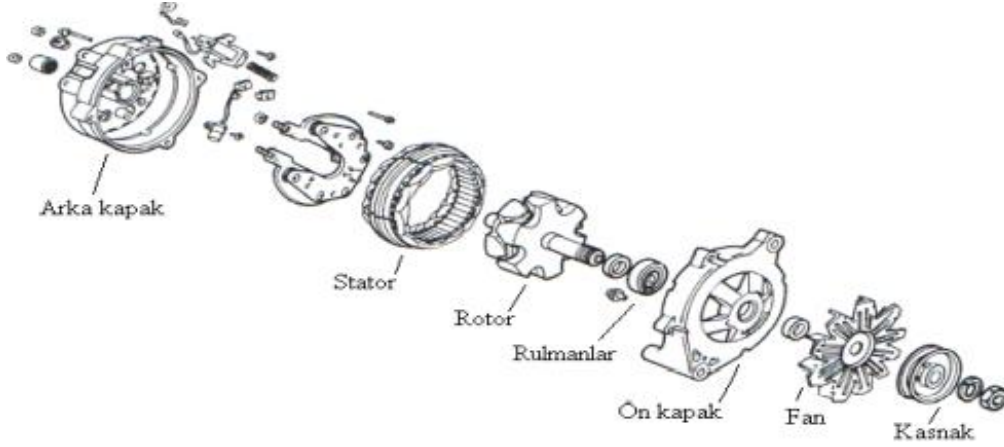
Aküler elektrik enerjisini kimyasal enerji olarak depo edebilen ve istenildiği zaman bunu tekrar elektrik enerjisi olarak veren kimyasal ürünlerdir. Güneş enerjili sistemlerde en çok kurşun-asit ve Nikel kadmiyum tipindeki aküler daha çok kullanılıyor. Özellikle derin deşarj gibi durumlardan dolayı çağımızda kuru tip kurşun-asit sınıfına giren tam kapalı jel aküler kullanılıyor (Özsoy 2011).

## 2.2.5 Alternatörler

Alternatörler alternatif akımdan elektrik enerjisi üreten makinelerdir. Alternatör devresi Şekil 2.35'te gösterildiği gibidir. Bir alternatör yüklendiğinde yükün cinsi ve miktarına bağlı şekilde uç gerilimi değişir. Bu durum elektrik santrallerinde paralel bağlı şekilde çalışan alternatörlerin dengesiz yüklenecek santral veriminin düşmesine neden olur. Yük ile çevirici makinenin devir sayısı da değişmektedir. Bu sebeple yükü çok sık değişen bir alternatör veya alternatör grubunun gerilim ve frekansında dalgalanmalar görülmektedir. Elektrikli cihazların karakteristiklerine uygun çalışabilmeleri için uygun kararlı gerilim ve frekans ile beslemek gerekir. Buradan, alternatörlerin gerilimini ve frekansını sabit tutma mecburiyeti ortaya çıkmaktadır.



Şekil 2.35 Alternatör devresi (Fesli 2009).



Şekil 2.36 Alternatörün demontaj hali ve parçaları (Fesli 2009).

### 2.2.5.1 Alternatör Parçaları

Alternatörün temel parçaları elektro mıknatıslanmayı oluşturan rotor, elektrik akımını üreten stator ve akımı doğrultan diyotlardır. Bunlara ilave olarak, hem de manyetik oluşturulması için rotora akım geçiren fırçalar, rotorun yumuşak bir biçimde dönmesini sağlamayı başaran rulmanlar ve rotoru, statoru ve diyotları soğutma yapmak için bir fan bulunur.

### 2.2.5.2 Alternatörlerde Gerilim ve Frekans Regülâtörü

Alternatörlerin en önemli kullanma yerleri elektrik santralleridir. Elektrik santralleri kesintisiz ve verimli bir elektrik enerjisi sağlayabilmeleri için, paralel bağlı şekilde çalışan birden çok alternatörden oluşmuşlardır. Büyük şebekeleri besleyen elektrik santrallerinin yükleri ise her an değişmektedir. Sonuçta bu yük değişimleri, bir santralde bulunan alternatörlerin dengesiz yüklenmelerine, santral veriminin düşmesine, şebeke gerilimi ve frekansında dalgalanmalara neden olmaktadır (Chan vd. 1980).

Genel olarak bir büyüklüğü sabit tutmaya yarayan cihazlara düzenleyici denir ve şöyle tanımlanır. Herhangi bir biçimde değişen işletme büyüklüğü, ya zaman a bağlı olmaksızın sabit tutmaya yarayan cihazlardır. Kullanıldıkları yerlere göre hız, basınç, frekans ve gerilim regülâtörleri örnek gösterilebilir (Athay 1987).

### 2.2.5.3 Alternatör Çeşitleri

Alternatörler yapılarına göre klasik tip ve kompakt alternatörler olarak sınıflandırılırlar (Kusic vd. 1988):

- Klasik Tip Alternatör, motordan gelen mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirir.
- Kompakt Alternatörler, IC (Entegre devre) regülatörlü bir kompakt (küçük ve hafif) alternatör, standart büyüklükteki bir alternatörden %17 daha küçük ve %26 daha hafiftir.

### 2.2.6 Mikrodenetleyiciler

Bilgisayarlar artık çoğu gerçek zamanlı kontrol sisteminin ayrılmaz bir parçasını oluşturmaktadır. Son birkaç on yılda mikroişlemcilerin ve mikrodenetleyicilerin ortaya çıkmasıyla, bilgisayarların kontrol uygulamalarında kullanımı giderek artmaktadır. Mikrodenetleyiciler, gerçek zamanlı sistemleri kontrol etmek için kullanılabilen tek çipli bilgisayarlardır. Bu tür denetleyicilere gömülü gerçek zamanlı bilgisayarlar da denmektedir. Bu cihazlar düşük maliyetli, tek çipli ve programlanması kolaydır. Mikrodenetleyiciler geleneksel olarak hedef işlemcinin montaj dili kullanılarak programlanmıştır. BASIC, PASCAL veya C gibi üst düzey dilleri kullanarak bu cihazları programlamak artık mümkün hale gelmiştir. Bunun sonucunda çok karmaşık kontrol algoritmaları geliştirilebilir ve mikrodenetleyiciler üzerinde uygulanabilir. Mikrodenetleyici, gömülü bilgisayar kontrol uygulamaları için özel olarak üretilmiş tek çipli bir bilgisayardır. Bu cihazlar çok düşük maliyetlidir ve dijital kontrol uygulamalarında çok rahat kullanılabilir (Alışkan 2006).

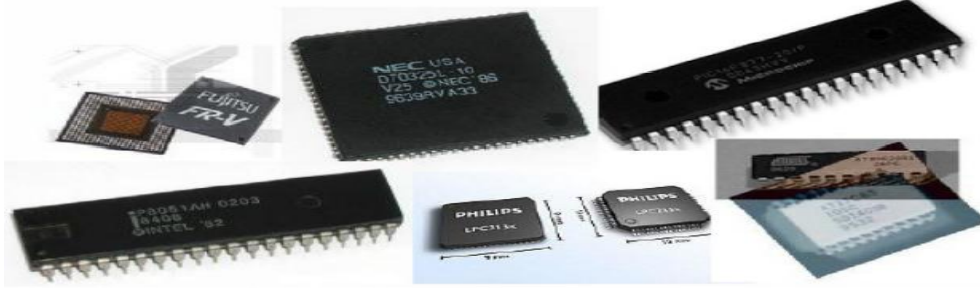
#### 2.2.6.1 Mikrodenetleyici Tanımı ve Çeşitleri

Endüstrinin her kolunda kullanılacak olan mikrodenetleyiciler; otomobillerde, kameralarda, cep telefonlarında, fotokopi ve çamaşır makinelerinde, televizyonlarda, oyuncak gibi cihazlarda sıklıkla kullanılmaktadır (Şekil 2.37).



Şekil 2.37 Mikrodenetleyicilerin kullanım alanları (Kayn.-10).

Farklı marka ve büyüklükteki mikrodenetleyici çeşitleri Şekil 2.38’de gösterilmektedir.



Şekil 2.38 Mikrodenetleyici çeşitleri (Kayn.-11).

### 2.2.6.2 Mikroişlemci ve Mikrodenetleyici Arasındaki Farklar

1970’lerin başında mikroişlemcilerin piyasaya sürülmesinden bu yana, dijital bilgisayarların maliyeti ve boyutu büyük ölçüde azaldı. Intel 8085 veya Mostek Z80 gibi ilk mikroişlemciler çok sınırlıydı. Dijital kontrole olan ilgi ise mikrodenetleyicilerin ortaya çıkmasından bu yana son birkaç on yılda hızla arttı. Mikrodenetleyici, bilgisayar özelliklerinin çoğunu içeren ancak sınırlı boyutlarda olan tek çipli bir bilgisayardır. Bugün, 8 pinli cihazlardan 40 pinli ve hatta 64 veya daha yüksek pinli cihazlara kadar değişen yüzlerce farklı mikro denetleyici türü vardır. Örneğin, PIC16F877, aşağıdaki özelliklere sahip 8 bit, 40 pinli bir mikro denetleyicidir (Alışkan 2006).

- 20 MHz'e kadar çalışma,
- 8K flash program belleği,
- 368 bayt RAM bellek,
- 256 bayt elektriksel olarak silinebilir programlanabilir salt okunur bellek

(EEPROM) belleği,

- 15 tür kesinti,
- 33 bit paralel G/Ç özelliği,
- 2 zamanlayıcı,
- Evrensel senkron-asenkron alıcı/verici (USART) seri iletişimleri,
- 10-bit, 8-kanal A/D dönüştürücü,
- 2 analog karşılaştırıcı,
- 33 talimat,
- Yüksek seviyeli dillerde programlama,
- Düşük maliyet.

### **2.2.6.3 Mikrodenetleyicilerde Dikkat Edilmesi Gereken zellikler**

Mikrodenetleyici, gömülü bilgisayar kontrol uygulamaları için özel olarak üretilmiş tek çipli bir bilgisayardır. Bu cihazlar çok düşük maliyetlidir ve sayısal kontrol uygulamalarında çok rahat kullanılabilir. Çoğu mikrodenetleyici, bilgisayar kontrol uygulamaları için gerekli yerleşik devrelere sahiptir. Örneğin, bir mikro denetleyici, harici sinyallerin rneklenebilmesi için A/D dönüştürücülere sahip olabilir. Ayrıca, dijital verilerin mikro denetleyiciden okunabilmesi veya çıkabilmesi için paralel giriş-çıkış bağlantı noktalarına sahiptirler. Bazı cihazlarda yerleşik D/A dönüştürücüler bulunur ve dönüştürücünün çıkışı, tesisi bir aktatrden (rneğin bir amplifikatör) geçirmek için kullanılabilir. Mikrodenetleyiciler ayrıca yerleşik zamanlayıcıya ve kesme mantığına sahip olabilir. Zamanlayıcıyı veya kesme olanaklarını kullanarak, kontrol algoritmasını doğru bir şekilde uygulamak için mikro denetleyiciyi programlamak mümkündür (Alışkan 2006).

### **2.2.7 Maksimum Gc Noktası Takibi**

PV sistemlerin uygulamalarında, üç tip elektronik kontrol nitesi kullanılıyor: Maksimum Gc Noktası Takipçileri (MPPT), Sabit Voltaj Takipçileri (CVT) ve Lineer Akım Gclendiricileri (LCB).



MPPT' nin çalışma mantığının anlaşılması için evvela alışılmış şarj kontrol ünitelerinin anlaşılması gerekiyor. Klasik bir kontrolcü boş bataryayı şarj ederken, modülleri doğrudan bataryaya bağlar. Bu işlem modülleri batarya geriliminde çalışmaya zorlar. Modülü direkt olarak bataryaya bağlamaktan ziyade, daha verimli olan MPPT sistemler, maksimum güç üretebileceği gerilim değerini hesaplar. 20-80 kHz yüksek frekansta çalışan DC/DC Güç Converter' i olarak çalışırlar. FV panel çıkışındaki DC gerilimi alarak yüksek frekans AC' ye çevirir ve daha sonra istenilen DC değerine çevirirler. Yüksek frekans aralığı sayesinde, çok yüksek verimli çeviriciler, küçük boyutlu elemanlarla tasarlanabilmektedir. Bu durum da MPPT sistem için ekstradan fiziksel bir avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır (Ültanır 1996).

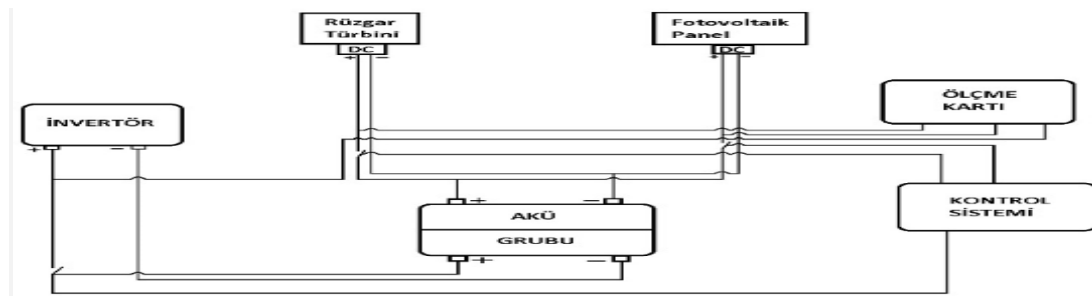
### 3. MATERYAL ve METOT

Bu tez çalışmasında, rüzgâr ve güneş enerjilerinin beraber kullanıldığı Mikrodenetleyici Denetimli Düşük Güçlü Yenilenebilir Enerji Üretici Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi yapılmıştır. Bir evin enerji gereksiniminin bir bölümünü rüzgâr ve güneş enerjisinden elde ettiğimiz elektrik enerjisi ile karşılanmaktadır. Ev tipi hibrit sistem tasarımının için kurulmuş olan deney düzeneği küçük kuvvetli bir rüzgâr türbini ve iki adet PV panelden oluşmaktadır. Ortam şartlarına göre sistemin ihtiyacı olan enerji rüzgâr ve güneşten ayrı ayrı sağlanabileceği gibi bu iki enerji kaynağından alınan enerjiler beraber de kullanılabilir.

Bu sistemde rüzgâr türbini ve güneş panellerinden elde edilen elektrik enerjisi depolama amacı ile akü grubu şarj edilmektedir. Oluşturulan bu düzenekte gelen enerjinin durumuna göre kontrol ünitesi ile akü şarjının hangi kaynaktan sağlanacağına karar verilir. Her iki kaynaktan gelen elektrik enerjisi bir mikrodenetleyici üzerinden kontrol edilmekte ve sistemin akım ve gerilim bilgileri burada değerlendirilmektedir. Hibrit sistemde güneş panellerinden en yüksek verimi alabilmek için maksimum güç noktası takip sistemi kullanılmıştır.

#### 3.1 Rüzgâr, Güneş ve Akü Grubundan Oluşan Hibrit Sisteminin Bileşenleri ve Özellikleri

Güneş ve rüzgâr enerjileri beraber kullanılarak oluşturulan hibrit sistemin uygulamasındaki işlem sırası aşağıda verilmiştir. Uygulanan sistemin blok diyagramı Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 Sistem blok diyagramı.

Öncelikle rüzgâr türbini ve güneş panellerinin kurulacağı yer için araştırma yapılmış ve ilgili kurumlardan veri toplanmıştır. Rüzgâr türbini ile güneş panelleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi çevresine kurulmuştur. Bu çalışmada sistem “Güneş Enerjisi” ya da “Rüzgâr Enerjisi”nin çalışma sistemi ile bütünüyle aynıdır. Fotovoltaik güneş panellerinin ve küçük kuvvetli rüzgâr türbinlerinin iklim şartlarına göre elektrik enerjisi üretimi değişkendir ve bu yüzden tek başlarına mesken için yetersizdir. Küçük bir "hibrit" elektrik sistemi rüzgâr ve fotovoltaik güneş teknolojilerini birleştirilerek pek çok avantaj sağlamaktadır.

### 3.1.1 Sistemde Kullanılan Rüzgâr Türbinin Özellikleri

Hibrit sistemde kullanılan Rüzgâr Türbini Wind markasının EFS 600 Kara modeli olarak seçilmiştir. EFS 600 modeli 600 W'a kadar çıkış gücü sağlamaktadır. Rüzgâr hızına göre çıkış voltajları değiştirilerek verimli elektrik üretimi sağlanmaktadır. Üzerinde bulunan switch ile 12-24 V çıkış olarak ayarlanabilir. 2,5 m/s gibi düşük rüzgâr hızlarında dahi 12 V çıkış sağlanabilmektedir. Karbon fiber kanatları ve yüksek performanslı alternatörü ile rüzgârdan üretilen kazanç bir hayli verimli olmaktadır. Türbin ömrü 20 yıl ve ağırlık olarak 6 kg'dır. Bu çalışmada Resim 3.1'de görülmüş olduğu gibi üç kanatlı bir rüzgâr türbini kullanılmıştır.



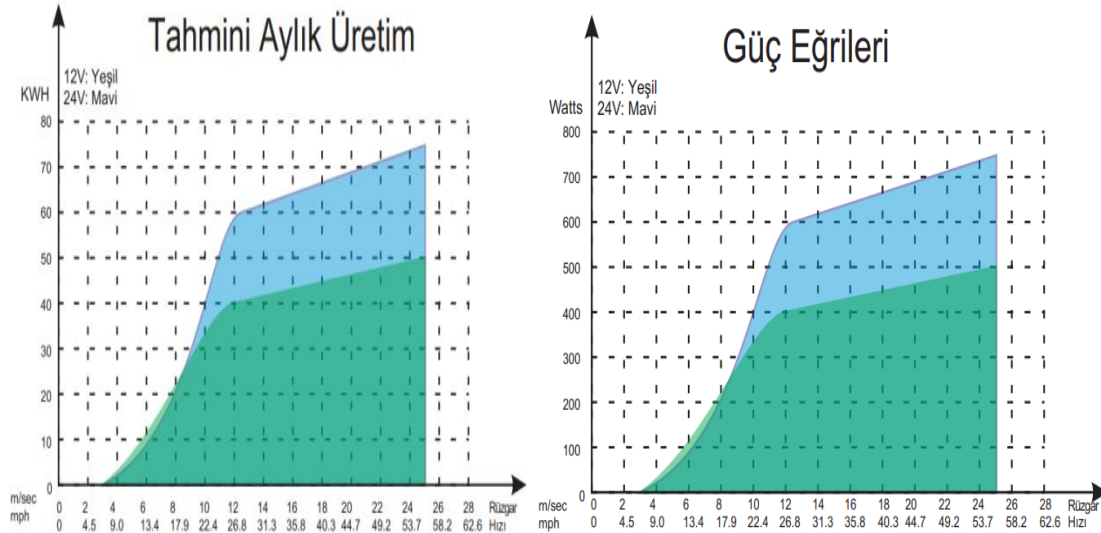
**Resim 3.1** Rüzgâr türbini.

Çalışmada kullanılan rüzgâr türbininin teknik özellikleri ayrıntılı olarak Çizelge 3.1’de görülmektedir.

**Çizelge 3.1** Rüzgâr türbininin teknik özellikleri.

Performans	Hareket
Ölçülen güç(W)=12 V 400 W-24 V 600 W 3 faz AC	Dişli kutu=Yok
Maksimum güç(W)=12 v, 550 W-24 V, 750 W	Jeneratör=Doğrudan, sabit mıknatıs
Ölçülen çalışma rüzgar hızı (m/s)=12	Rotor kanatları=3 adet karbon fiber
Devreye girme rüzgâr hızı (m/s)=2,5	Rotor kanat çapı(m)=1,2
Çalışma rüzgâr hızı (m/s)=Maks. 25	Rotor hızı kontrol=Mekanik
Devreden çıkma rüzgâr hızı (m/s)=60	DC çıkış(Vdc)=12/24
	İnvertör AC çıkış(Vah)=220

Rüzgâr türbininin özelliklerine bağlı kalarak çalışma anında tahmini aylık üretim grafiği ve güç üretimi grafiği Şekil 3.2’de görülmektedir.



**Şekil 3.2** Rüzgâr türbininin tahmini aylık üretimi ve güç eğrileri (İnt. Kayn.-12).

### 3.1.2 Sistemde Kullanılan Fotovoltaik Panellerinin Özellikleri

Bu çalışmada, 2 adet 60 W gücünde olan, hücre verimi %18 olan monokristal paneller kullanılmaktadır. Kullanılan fotovoltaik panelin karakteristik özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 PV panellerin karakteristik özellikleri.

Özellikler	Değerler
Maksimum güç( $P_{max}$ )	60 W
Maksimum güç akımı( $I_{max}$ )	3,47 A
Maksimum güç voltajı( $V_{max}$ )	17,3 V
Açık devre akımı( $I_{sc}$ )	3,73 V
Açık devre voltajı( $V_{oc}$ )	21,6 V
NOTC	47°C
Minimum sigorta değeri	10 A
Maksimum sistem voltajı	760 V



Şekil 3.3 60 W monokristal güneş paneli (Kayn.-13).

### 3.1.3 Sistemde Kullanılan İnvörtör

Hibrit sistemde üretilen DC enerjiyi AC ye dönüştürmek için Victronenergy markasının Phoenix İnvörtör Modeli kullanılmıştır. Üretilen DC enerji, invörtör sayesinde AC 230 V’a kadar dönüşümü sağlanır. Sistemde kullanılan invörtörün teknik özellikleri Çizelge 3.2’de görülmektedir. Kullanılan invörtör aşağıda Şekil 3.3’de görülmektedir.



Şekil 3.4 Sistemde kullanılan invertör.

Çizelge 3.3 İnvörtörün teknik özellikleri.

Özellikler	Değerler
Devam 25°C'de AC gücü(VA)	180
Devam 25°C/40°C'de güç	175/150
Tepe gücü(W)	350
Çıkış AC voltajı/frekans	110VAC veya 250VAC +/-3% 50Hz
Giriş voltaj aralığı (V DC)	10.5-15.5
Düşük pil alarmı (V DC)	11
Düşük pil kapatma (V DC)	10.5
Düşük pil otomatik kurtarma (V DC)	12.5
Maks. alan sayısı verimlilik(%)	87
Ağırlık (kg)	2.7
Boyutlar (yxgxd mm olarak)	72x132x200

### 3.1.4 Batarya Kontrol Cihazı

Sistemde üretilen enerji jel akülere şarj olmaktadır. Şarj sırasında üretilen enerji kontrollü bir şekilde aktarılmalıdır. Bunun için sistemde Steca marka Solarix PRS 3030 şarj kontrol cihazı kullanılmıştır. Böylece akülerin doluluk oranları hakkında bilgi alınır. Batarya kontrol cihazı içinde elektronik bir sigorta bulundurarak akülere koruma sağlar. Aşırı şarj olması durumunda hibrit sistemi bataryadan ayırır.



**Resim 3.2** Batarya kontrol cihazı.

### 3.1.5 Sistemde Kullanılan Akümülatör

Hibrit güç üretim sisteminde rüzgâr, güneş enerjisinden üretiminin olmadığı zamanlarda deneysel olarak yaptığımız ev aydınlatması için gerekli olan enerji elektrik dağıtım şebekesinden öncelikli olarak akülerden temin edilecektir. Bu çalışmada hibrit güç üretim sisteminde üretilen enerjiyi depolamak için 1 adet 200 Ah akü kullanılmaktadır. Üretimin seviyesi düştüğü zamanlarda, evimizin ihtiyacı olan enerji aküden sağlanacaktır. Evimizde dış aydınlatmalar için tasarruf ampulleri ve iç aydınlatmada florasan ampuller kullanılmıştır. Kullanılan 200 Ah'lık akünün, hibrit güç üretimi durduğu vakitlerde ne kadar süre enerji sağlayabileceği hesaplamaları aşağıda görüldüğü gibidir.

İç Aydınlatma: 4 Adet Florasan Lamba ( 18 W)

Dış Aydınlatma: 8 Adet Tasarruf Ampülü (16 W)

$4 \times 18 \text{ W} = 72 \text{ W}$  Toplam İç Aydınlatma

$8 \times 16 \text{ W} = 128 \text{ W}$  Toplam Dış Aydınlatma

Toplam Harcanacak olan Güç = 200 W

Akü hesapları yapılırken, kayıplar ve emniyet şarjıda hesaplanmalıdır. Emniyet şarjı %20, akü için %10 ve tesisat kayıpları %2 olarak hesaplanacaktır.

Emniyet şarjı için kapasite:

$$C_{\text{kapasite}} = 100\text{Ah} \times 0,8 = 80 \text{ Ah}$$

Akü ve Tesisat Kayıpları:

$$C_{\text{kapasite}} = 80 \times 0,9 \times 0,98 = 70,56 \text{ Ah}$$

Tüketilen Toplam Enerjinin Hesaplanması:

$$\begin{aligned} \text{Tüketilen Toplam Enerji} &= C_k \times \text{Sistem Gerilimi} \\ &= 70,56 \times 24 \\ &= 1693,44 \text{ Vah} \end{aligned}$$

Akünün ihtiyaç durumunda sistemi ne kadar süre besleyeceğinin hesaplanması:

$$\begin{aligned} \text{Zaman} &= \text{Tüketilen Toplam Enerji} / \text{Toplam Güç} \\ &= 1693,44 / 200 \text{ W} \\ &= 8,46 \text{ saat} \end{aligned}$$

Sonuç olarak Hibrit sistemdeki 1 adet 100 Ah akü, sistemimize yaklaşık olarak 8,5 saat besleme yapabilecektir. Bu çalışmada 12V'luk 200 Ah 1 adet RITAR RA12-200 akü kullanılmaktadır.



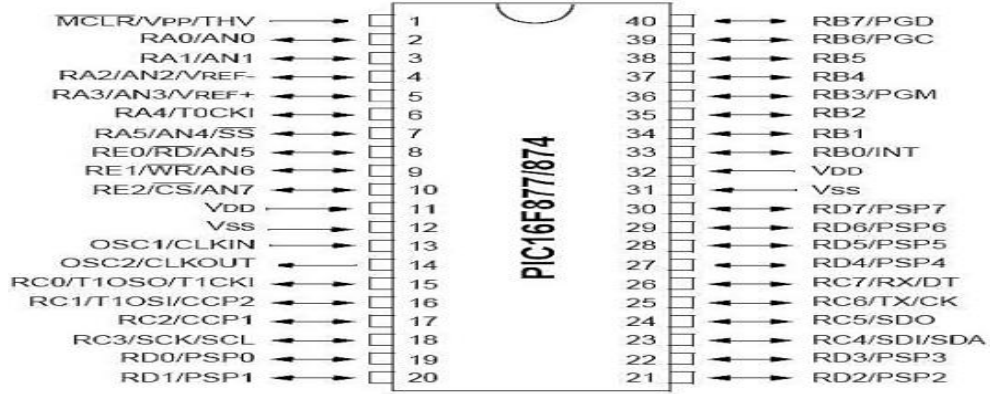
**Resim 3.3** Sistemde kullanılan akümülatör.



### 3.1.6 Sistemin Enerjisinin Aktif Bir Biçimde Kullanılabilmesi İçin Kontrol Sisteminin Planlanması

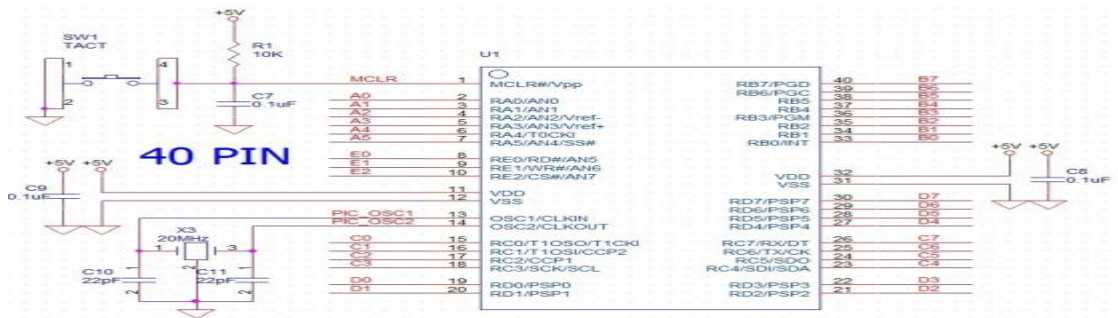
Hibrit enerji üretim sistemi bileşenlerinden rüzgâr türbini ve güneş panellerinin ürettiği enerjinin ev aydınlatması için kullanılacak olan lambaların ihtiyaç duyduğu enerjiden fazla olması halinde artan enerji etkin bir biçimde değerlendirilmektedir.

Denetim sistemi, sistemdeki bütün bileşenlerden gelen akım ve gerilim bilgisi ışığında mikrodenetleyici ile gerçek zamanlı olarak sistemi denetlenmesi planlanmaktadır. Mikrodenetleyici olarak MicroChip firmasının PIC 18F877 i kullanılmıştır.



Şekil 3.5 PIC 16F877 mikrodenetleyicisinin bağlantı uçları.

Bu çalışmada kullanılan kontrol kartının açık devresi Şekil 3.6'da gösterilmektedir.

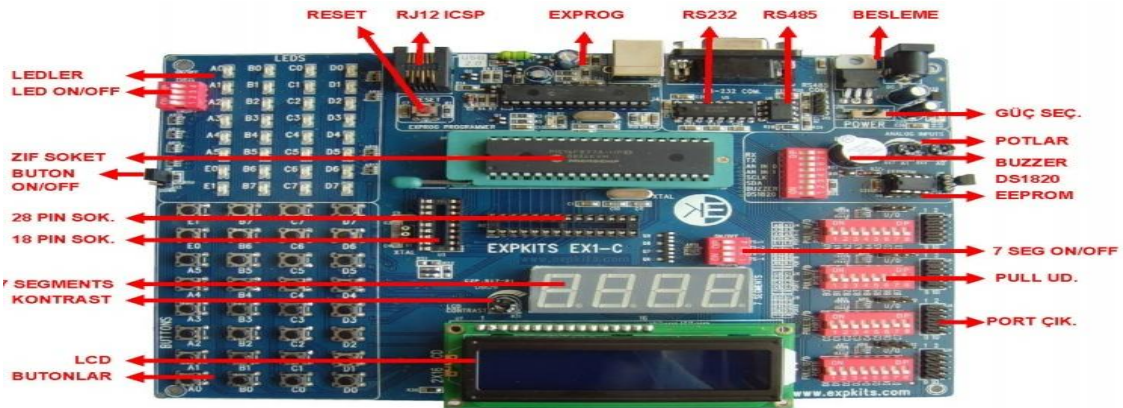


Şekil 3.6 Kontrol kartı açık devre şeması.

**Çizelge 3.4** PIC 16F877'nin teknik özellikleri.

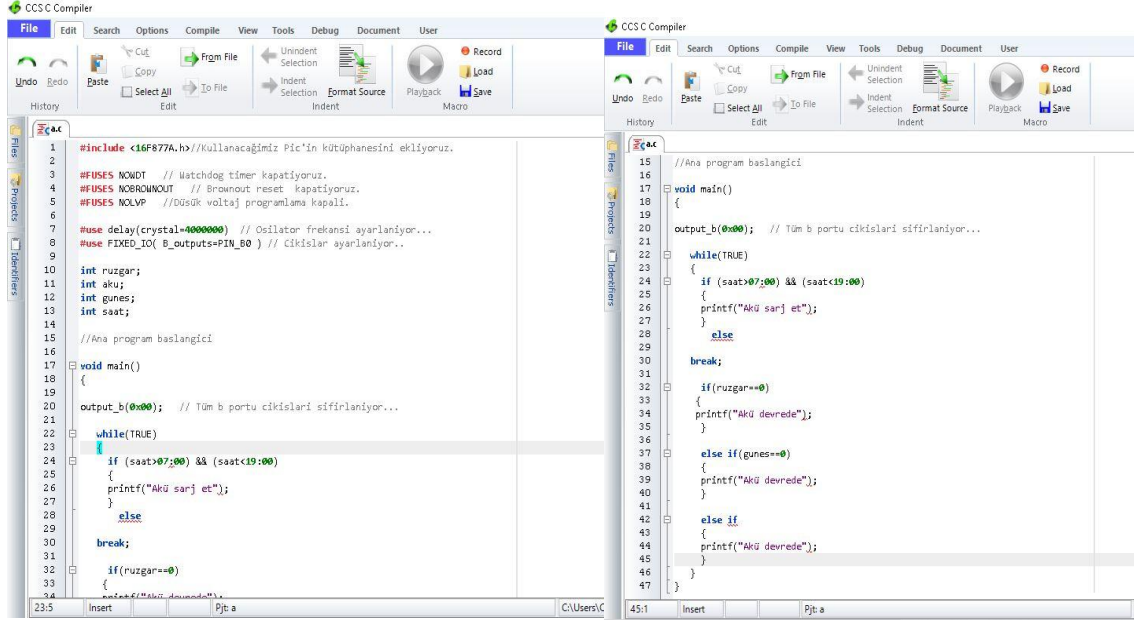
Parametreler	Değerler
Program hafıza tipi	Flaş
Program hafıza(KB)	14
İşlemci hızı(MIPS)	5
RAM bytes	368
Veri EEPROM(bayt)	256
Dijital iletişim çevre birimleri	1-A/E/USART 1-MSSP
Capture//PWM çevre birimleri	2 CCP
Zamanlayıcılar	2 x 8-bit, 1 x 16-bit
ADC	8 kanal, 10-bit
Sıcaklık aralığı(°C)	-40-85
Çalışma voltaj aralığı(V)	2-5,5
Kont pin	40

PIC ile yapılan yük kontrol devresinin plaket üzerine aktarılmış ve eleman montajı yapılmış hali aşağıda Resim 3.4'de görülmektedir.



**Resim 3.4** Kontrol kartı.

PIC C COMPILER programı kullanılarak gerçekleştirilmiş olan kodlama ile kullanıcı, sistemin denetiminde değişiklik yapabilmektedir. Kullanıcı sisteme değerleri LCD ekranda verilen menüden, tuş takımı ile değiştirilebilmektedir. PIC C COMPILER programının dili olan CCS C Compiler ile sistem kodlanır. Şekil 3.7'de bu programda kod yazım sayfası görülmektedir.



Şekil 3.7 Sistem için yazılan kod sayfası.

Kodları anlaşılır olması açısından her bir satırı aşağıda yer almaktadır.

```
#include <16F877A.h>//Kullanacağımız Pic'in kütüphanesini ekliyoruz.
```

```
#FUSES NOWDT // Watchdog timer kapatıyoruz.
```

```
#FUSES NOBROWNOUT // Brownout reset kapatıyoruz.
```

```
#FUSES NOLVP //Düşük voltaj programlama kapalı.
```

```
#use delay(crystal=4000000) // Osilator frekansi ayarlanıyor...
```

```
#use FIXED_IO( B_outputs=PIN_B0 ) // Cıkislar ayarlanıyor..
```

```
int ruzgar;
```

```
int aku;
```

```
int gunes;
```

```
int saat;
```

```
//Ana program baslangici
```

```
void main()
```

```
{
```

```
output_b(0x00); // Tüm b portu cikislari sifirlaniyor...
```

```
while(TRUE)
```

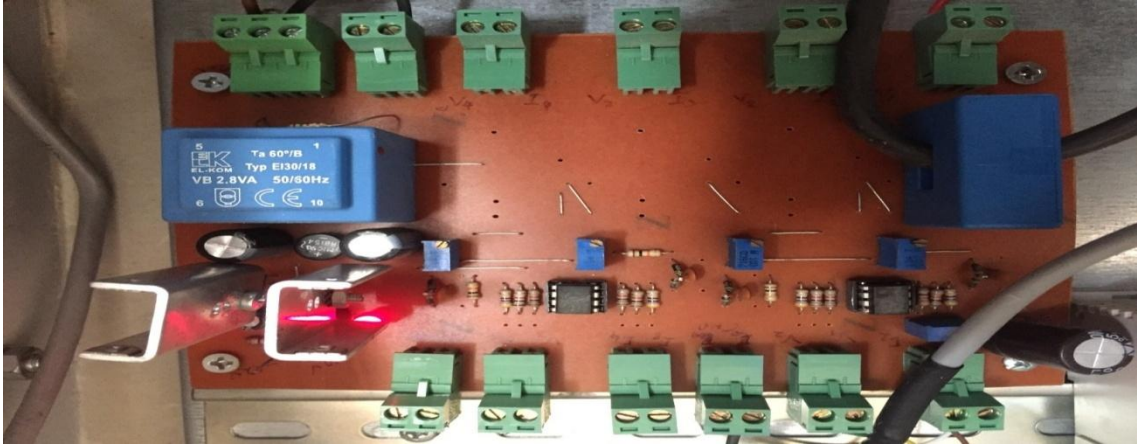
```
{
```

```
if (saat>07:00) && (saat<19:00)
```

```
{
```

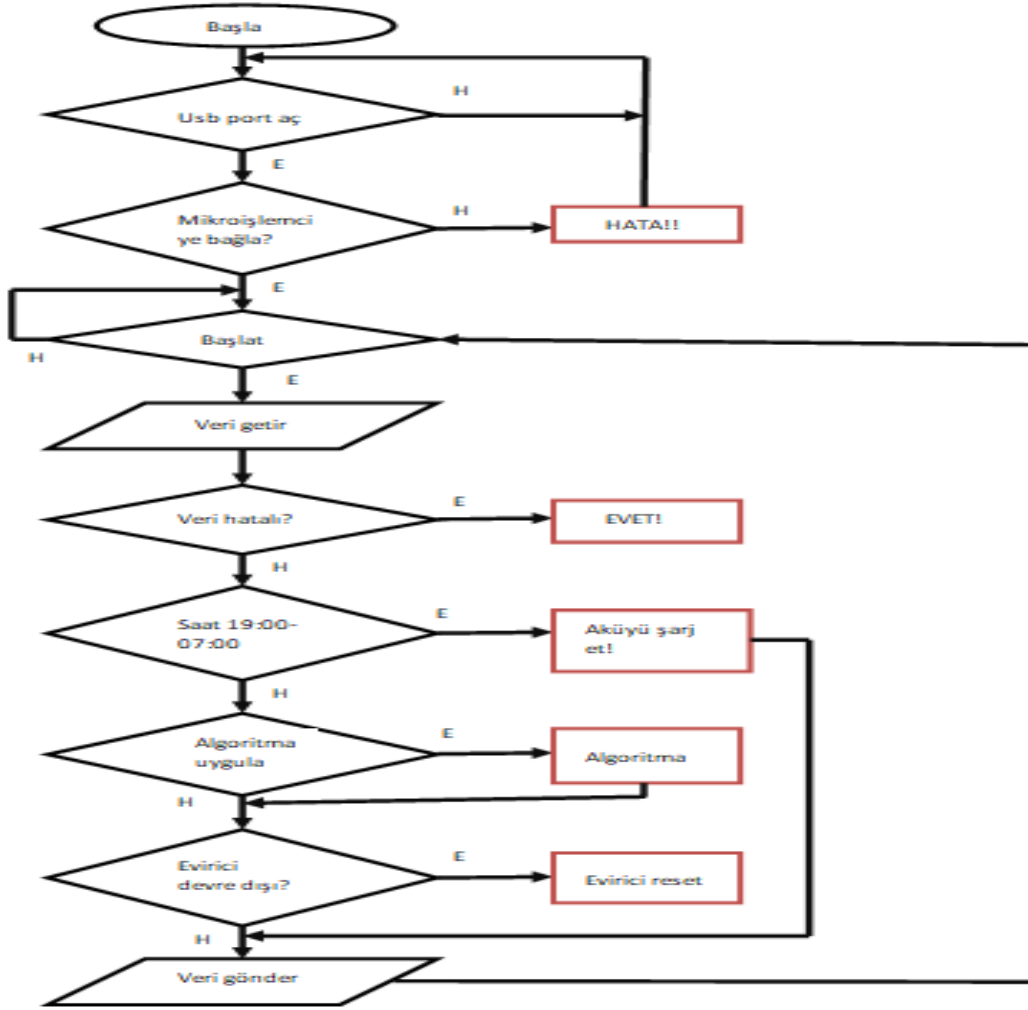
```
printf("Akü sarj et");  
}  
else  
  
break;  
  
if(ruzgar==0)  
{  
printf("Akü devrede");  
}  
  
else if(gunes==0)  
{  
printf("Akü devrede");  
}  
  
else if  
{  
printf("Akü devrede");  
}  
}  
}
```

Ölçme kartı rüzgâr güneş ve invertör sistemine ait akım ve gerilim değerlerini anlık olarak ölçmektedir. Devresi Şekil 3.8’de görülmektedir.



Şekil 3.8 Ölçme kartı.

Gerçekleştirilen yazılım ile sisteme ait algoritma Şekil 3.9’da görülebilir.



Şekil 3.9 Hibrit sistemin kontrol algoritması.

Sistem tarafından ölçülmüş olan değerler yazılım tarafından işlendikten sonra ayrıca PIC mikrodenetleyicisi tarafından bilgisayara iletilmektedir.

### 3.1.7 Sistemin Kurulum Aşaması

Hibrit enerji üreten sistemimizin toplam gücü 720 W'tır. Hibrit enerji üreten sistemimizin montajına ilk olarak, bu çalışmada kullanılacak olan 600 W üretim gücü özelliğine sahip olan rüzgâr türbinini taşıyabileceği 3 metre yüksekliğinde ve 15 santimetre eninde, direğin içi boş olan demir direğin montajı yapılarak başlanmıştır. Bu direk iç içe geçebilen iki direkten oluşmaktadır.



Bunun sebebi gerekli durumlarda kısalabilen, gerekli durumlarda ise uzayabilen boyunu ayarlayabilme vidalarına sahip olmasıdır. Çalışmada kullanılacak olan rüzgâr türbinini direğe montajını yaptıktan sonra bağlantıları yapıldı. Bağlantıları ise direğin içindeki boşluktan geçirilerek panoya ulaşabilmesini sağlandı.

2 tane 60 W gücünde güneş paneli ise deneysel olarak tasarlanan evin çatısına, konumu ise güney tarafında olacak bir şekilde kurulmuştur. Güneş panellerin açısı, çalışmanın yapıldığı il olan Afyonkarahisar'ın enlem açısına (38,75) uygun olarak ayarlanmıştır. Panelleri enlem açısına uygun yerleştirilmesindeki amaç maksimum enerji üretimi elde etmeyi hedeflemektir. Rüzgâr türbini ve güneş panelin monte edilmiş hali Resim 3.5'de görülmektedir.



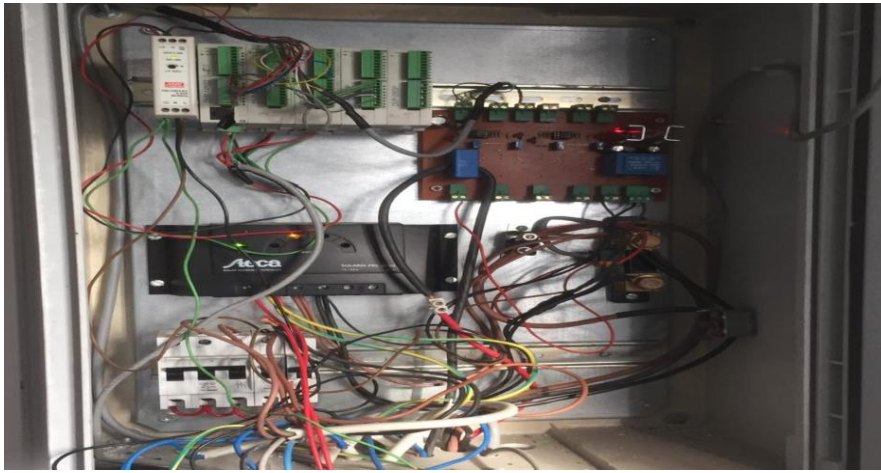
**Resim 3.5** Rüzgâr türbinini monte edilmiş hali.



**Resim 3.6** Güneş panellerinin monte edilmiş hali.

Rüzgâr türbini ve güneş paneli bağlantıları, ilk olarak panoda bulunan batarya kontrol cihazına ulaşmaktadır. + ve – kablolar batarya kontrol cihazına, toprak bağlantıları ise panonun kenarında bulunan toprak levhasına bağlanmıştır.

Batarya kontrol cihazı ise akü kutup noktalarına bağlanmıştır. Burada akü kutup noktalarında, akünün gerilim seviyesinin ölçülebilmesi için ölçme kartına bağlantı yapılmıştır. Ölçme kartı aynı zamanda sistemde bağlı olan yüklerin çektiği akımı, gerilimi ve invertörün dönüştürdüğü AC voltajı da ölçmektedir. Resim3.6'da yapılan bu bağlantılar yer almaktadır.



**Resim 3.7** Sistemin bağlantıları.

Akü kutup noktalarında kontrol kartının açma ve kapatmayı yapmayı sağlayan anahtar bulunmaktadır. Kontrol kartının açma ve kapatma yapan bu anahtar sistemde üretimin durması anında akümülatör bağlantısını harekete geçirerek, invertöre enerji akışı sağlar ve sistemin hiçbir şekilde enerjisiz kalmasına izin vermez. Kontrol kartı aynı zamanda yazılımında bulunan zamanlayıcı ile yüklerin (lambalar) çalışma zamanı geldiğinde aktif hale getirmektedir. Yükler (lambalar) 12 saatte bir devreye girmektedir. Sistemdeki yüklerin amacı evin aydınlatmasını sağlamaktır. Akşam 7 ve sabah 7 arasında devrede olacak şekilde ayarlanmıştır. Kontrol kartı sayesinde akümülatör fazla yüklemekten korunmaktadır. Hibrit enerji üreten sisteminde üretim maksimum düzeye yaklaşmaya başladığında akümülatörün şarj seviyesi hızlı bir şekilde yükselmektedir. Akümülatörü aşırı yüklemekten korumayabilmek amacı ile, kontrol kartı anahtarlarını tek tek açarak akümülatör bağlantılarını kesilmesi gerekmektedir. Böylece akümülatörün zarar görmesini engellenmektedir.

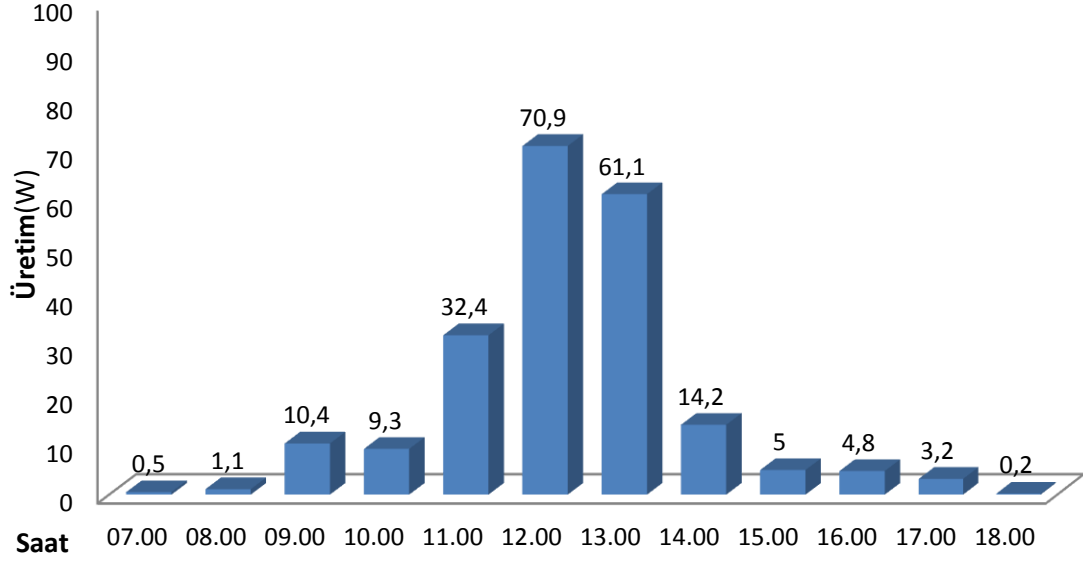
#### 4.BULGULAR

Mikrodenetleyici tarafından denetimi yapılan gücü düşük olan hibrit enerji üreten sistemin tasarımı ve uygulaması yapılmıştır. Şebekeden bağımsız olan rüzgâr türbini, güneş paneli ve akümülatör destekli hibrit enerji üretim sisteminin güç üretmeyi başarma sınırlarına bakıldığında rüzgâr türbini, güneş panelinin enerji üretebilme durumu hava koşullarına bağlı olduğu açıkça görülmektedir. Bu sebeple çalışmada sistemi oluşturan elemanların çalışma durumlarının en iyi biçimde kontrolünü sağlamayı başarabilecek ve üretimi olan enerjinin aktif bir biçimde kullanılabilmesi amacıyla üretilen enerjinin yönetimi için taktikler oluşturulması gerekmektedir. Üretimi olan enerjinin kontrolünün yapılmasındaki neden; yükler için gereksinim duyulan enerjinin hiçbir şekilde kesinti yaşamadan çalışmasını sağlamaktır. Bu işlemler yapılırken akümülatörün enerji verimliliği olabilecek en yüksek değerde tutulması gerekmektedir.

Hibrit enerji üretim sistemlerinde, enerji akışı idare edilmesi için taktiklerini etkileyen en temel faktörler; devamlılığı olan enerji sislerinden elde edilen güç üretiminin miktarı ve akümülatörün doluluk oranıdır.

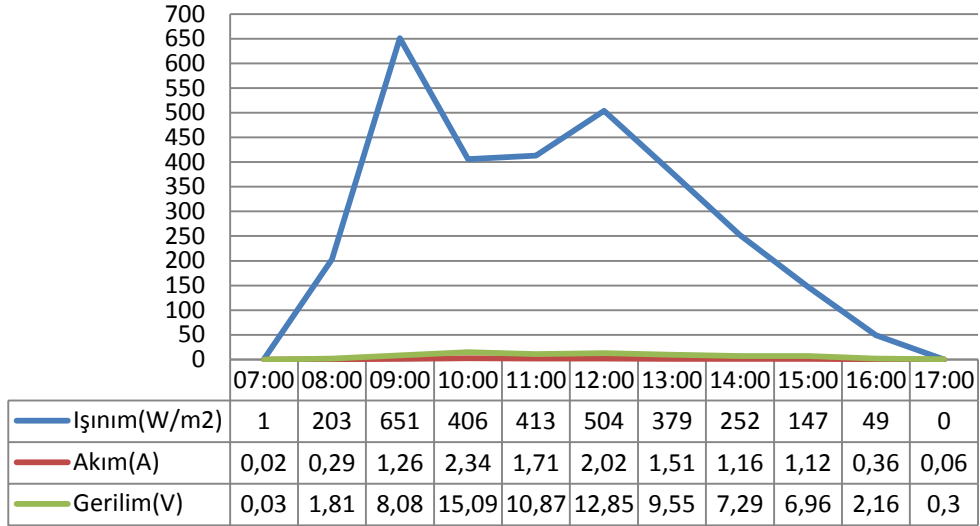
Bu tez çalışmasında, sistemdeki üretilmiş olan enerjiyi ve tüketilmiş olan enerjiyi görmekteyiz. Bu üretimi ve tüketimi olan enerji verileri Eylül-Mart ayları arasında alınmıştır. Hibrit enerji üretim sistemindeki enerji üretimi ve tüketimi olan veriler bilgisayar aracılığı ile saat 07.00-19.00 saatleri arasındaki ölçümler kaydedilmiştir. Çalışması yapılan bu sistemin gün içerisinde birçok kez veri alması hibrit enerji üretim sisteminin kontrol edilebilirliğini zorlaştırmıştır. Bu nedenle veriler gün gün alınmaya devam edilmiştir. Şekil 4.1'de 15 Ekim 2020'de ki rüzgâr enerjisinin bir günlük üretim miktarı görülmektedir.



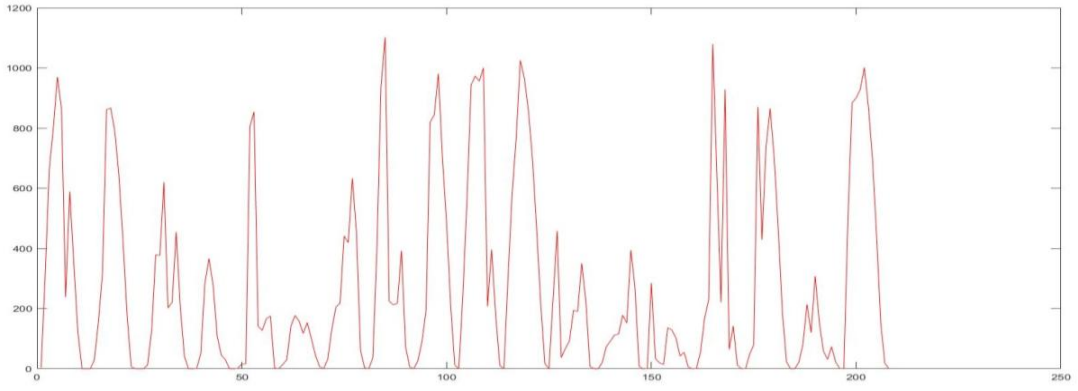


Şekil 4.1 Rüzgâr türbininin saatlik üretim miktarı.

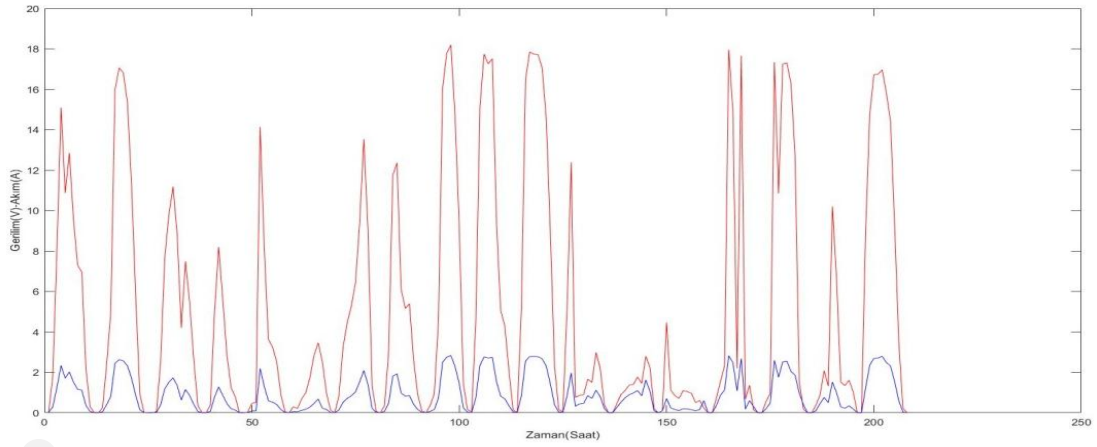
Şekil 4.2’de güneş enerjisinin saatlik üretimi görülmektedir. Güneş enerjisinin üretim verileri bir günlük olup 15 Ekim 2020’de alınmıştır. Veriler ışınım, akım ve gerilim olarak ayrı ayrı gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Güneş panelinin saatlik üretim miktarı.



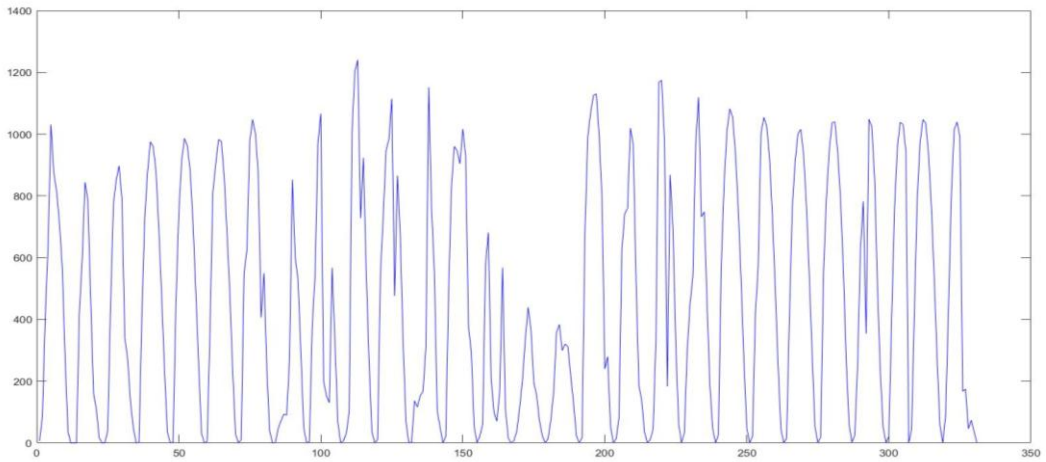
Şekil 4.3 Ocak Ayı Saatlik Işınım Değerleri Grafiği.



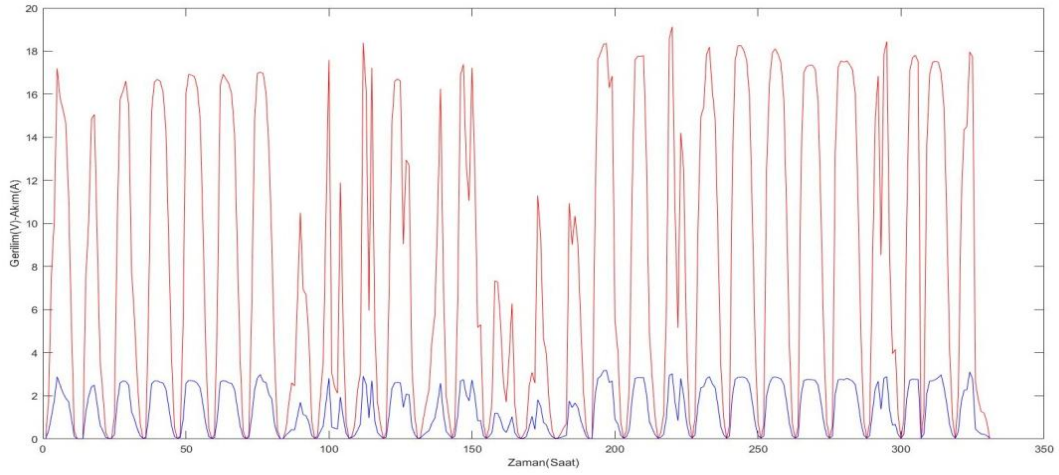
● Gerilim

● Akım

Şekil 4.4 Fotovoltaik panellerin Ocak ayı için üretimdeki gerilim ve akım grafiği.



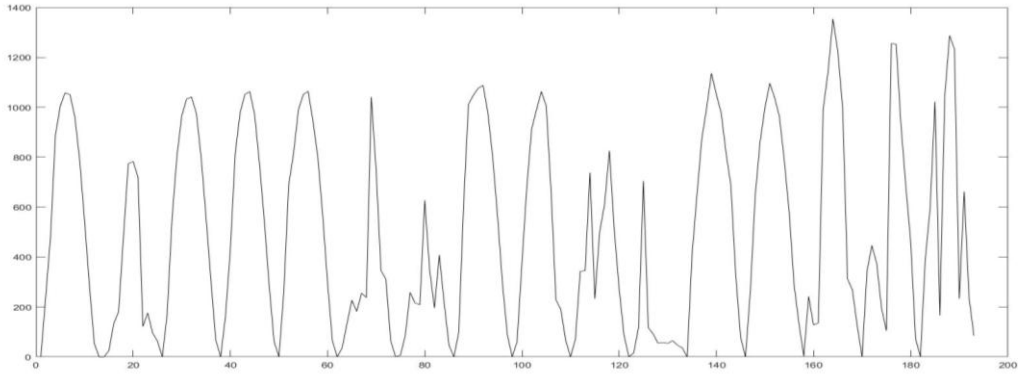
Şekil 4.5 Şubat Ayı Saatlik Işınım Değerleri Grafiği.



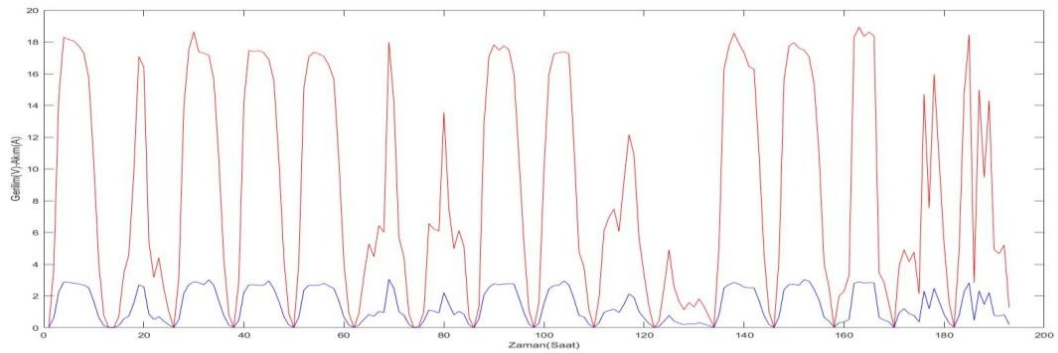
**Gerilim**

**Akım**

**Şekil 4.6 Şubat Ayı Gerilim ve Akım Değerlerinin Grafiği.**



**Şekil 4.7 Mart Ayı Saatlik Işınım Değerleri Grafiği.**



**Gerilim**

**Akım**

**Şekil 4.8 Mart Ayı Akım ve Gerilim Değerlerinin Grafiği.**

Yapılan deneyde ölçülen veriler Afyon Kocatepe Üniversitesi, Güneş ve Rüzgâr Araştırma Merkezinde bulunan sistem ile ölçülmüştür. Işınım verileri Kipp&Zonen markasının Meteon CMP 6 model pironometre ile ölçülmüştür. Veriler sabah saat 07.00 ile akşam 19.00 arasında saat başlarında kayıt edilmek üzere veri seti oluşturulmuştur.

Yapılan çalışmanın rüzgâr enerjisinin üretimi, güneş enerjimi üretimi, akümülatörün verileri Eylül-Mart ayları arasındaki değerleri Çizelge 4.2’de görülmektedir.

**Çizelge 4.1** Rüzgâr, güneş ve akümülatörün aylık üretim miktarları.

<b>Aylar</b>	<b>Rüzgâr(Wh)</b>	<b>Güneş(Wh)</b>	<b>Akümülatör(Wh)</b>
Eylül	250,15	57.646,22	9.641,27
Ekim	140,3	48.159,25	7.551,7
Kasım	183,75	40.349,06	5.254,0
Aralık	158,90	20.967,89	8.932,6
Ocak	-	14.562,5	7.486,2
Şubat	90,60	14.010,36	5.983,7
Mart	-	40.473,62	6.835,0

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Hibrit enerji üretim sistemi şebekeden bağımsız rüzgâr enerjisi ve şebekeden bağımsız güneş enerjisi üretim sistemlerinde enerji kaynakları üretiminin verimliliği, önemli ölçüde değişmektedir.

Önceki yapılan araştırmaların taranması sonucunda elde edilen verilere göre, önümüzdeki yıllar içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarının çok önemli hale geleceği araştırmalar sonucunda ortaya konulmuştur. Bulunduğu alanda üretimi yapıldığı yerel elektrik üretimi ve tüketimi ilkesinin kabul edileceği düşünülmektedir. Bu nedenle yerel üreticilerin birbirine bağlı elektrik sistemlerinin yanında önemli bir konuma sahip olması ve kendi tüketimleri için kimseye ihtiyaç duymadan elektrik üretmeleri beklenmektedir. Bu tarz kendi üretimini sağlayan sistemler için rüzgâr enerjisi sistemleri ve güneş enerjisi sistemleri büyük ölçüde rol oynayacaktır.

Aynı zamanda, gelişen dünyada, aktif politikaların artan enerji talebine uygun hale getirilmesi, girişimciliği canlandıracak sistemleri canlandırması ve endüstrinin bu endüstrilere katkısını artırması gerekmektedir. Tüm faaliyet alanlarında enerji üretim sektörünün verimliliği ve ekonomisi konusunda farkındalık yaratmak ve çevre dostu, insan sağlığına zararsız enerji üretim teknolojilerine olan ilgiyi artırmak geleceğimiz için son derece önemlidir.

Çalışmadan, hibrit enerji üretim sisteminde üretilen toplam enerjinin, kullanılan ana enerji kaynakları mevsimsel enerji olan güneş ve rüzgâr enerjisi olduğu için işletme sırasında kontrollü enerji kaynaklarından daha düşük olduğu bilinmektedir. Ancak güneş panelleri ve rüzgâr türbinlerinin ürettiği enerjinin yükün gerektirdiği enerjiyi sürekli olarak karşılayamadığı bir durum söz konusudur. Bu nedenle, kesintisiz güç kaynağı için yedek bir güç kaynağına ihtiyaç vardır. Bu kaynak, meteorolojik değişiklikler ve coğrafi koşullar ne olursa olsun etkilidir. Doğrusal olmayan hibrit enerji üretim sistemleri için akümülatör desteğine ihtiyaç vardır. Böylelikle yapılan çalışmada hiçbir şekilde enerji kesintisi olmadan sistem çalışmaya devam etmektedir.

Ayrıca tasarlanan algoritma, güneş panelleri ve rüzgâr türbinleri tarafından üretilen fazla elektriğin verimli kullanımı, bir akümülatörde depolama ile sağlanır. Bu durumda kontrol sisteminde kullanılan mikrodenetleyici ile enerji üretiminin yönetimi stratejisinden farklı algoritmalar uygulaması mümkündür. Böylelikle enerji kaynaklarının aktivasyon sırası ve geri çekilme sıklığı gibi değişiklikler durumdan duruma tahmin edilir.

Uygulanan sistemin bir konutun deneysel olarak enerji talebine katkısı incelenmiş olup, enerji üreticilerinin ayrı ayrı kullanmak yerine hibrit sistemlerde birlikte kullanılması enerji üretiminin sürekliliğini güçlendirmektedir. Yapılan bu çalışmada, hibrit enerji üreten sistemin uygulanabilirliğini gösterdi. Daha sonraki zamanlarda yapılacak çalışmalarda sisteme eklenecek güneş panelleri ve daha güçlü bir rüzgâr türbini ile daha fazla enerji üretimi elde edilebilir.

Bir ülkenin net enerji ithalatçısı veya ihracatçısı olup olmadığına bakılmaksızın, kamu veya özel enerji şirketlerinin, fiyat dalgalanmaları, en yüksek talep dönemleri ve hukuksal gereklilikler gibi bir dizi faktör nedeniyle herhangi bir zamanda enerji ithal veya ihraç etmesi gerekebilir. Çünkü enerji dünyanın ve insanlığın gelişimi açısından 1. derece önem arz etmektedir. Dünyada ve ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi ve kullanımda artış gözlenmektedir. Enerjinin birim maliyeti açısından ve ulaşılabilirliği yenilenebilir enerji sistemlerini cazip kılmaktadır. Dünyanın enerji tüketim geleceği ve ülke ekonomisinin gelişimi açısından kullanıcılar kendi enerji ihtiyaçlarının hepsini ya da bir bölümünü kendileri karşılayabilirler ise dışarıdan enerji ithalatının önüne geçilebilir. Böylece enerji alanında dışa bağımlı kalınmamış olacaktır. Sürdürülebilir enerji kararları, çok çeşitli ekonomik, teknik, çevresel ve sosyo-ekonomik kriterlere göre enerji üretim teknolojilerinin karşılaştırılmasını gerektirir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının öncelik sıralandırılması çok kriterli bir karar verme sorunudur.

Yapılan çalışmada hibrit enerji sistemlerinin kurulumu ve enerji ihtiyacının düşük olduğu yerlerde kullanımı açısından düşük güçlü bir tasarım geliştirilmiştir.

Bu tasarım Afyon Kocatepe Üniversitesi, Güneş ve Rüzgâr Araştırma Merkezi' n de bulunan malzemeler ile kurulumu gerçekleştirilmiş olup, kullanılan veriler kurulan hibrit sistemde yapılan çalışmalar sonucu elde edilen üretim verilerinden kullanılmıştır. Sistem mikroişlemci ile kontrol edilmektedir. Sistemde kullanılan rüzgâr türbini ve güneş panelinin ürettiği enerji, akülerde kontrollü bir şekilde depolanıp kullanılmaktadır.

Üretilen enerjinin depolanması ya da kullanılması gerektiği bilgisi mikroişlemci ile belirlenip, yönetimi mikroişlemciye ait olan röleler ile devreye alınıp çıkarılabilecektir. Enerji ihtiyacı olduğu anda mikroişlemci invertöre bilgi göndererek DC enerjinin AC' ye dönüşümünü gerçekleştirerek kullanıma hazır hale getirmektedir. Böylece dengeli ve sistemin korunduğu bir enerji kullanımı sağlanmaktadır. Hibrit sistem ile düşük enerji ihtiyacı olan yerlerde kullanım ve maliyet açısından kullanıcı için pozitif yönde etkileyebileceği düşünülmektedir. Enerjinin hem güneş ve hem rüzgar ile iki farklı üretim alanıyla desteklenmesi, daha yüksek güçlerin ve üretim devamlılığının sağlanması konusunda büyük bir katkı sağlamıştır. Tasarlanan sistemde kurulan bölgede, daha yüksek güçlerde ve sayıda güneş panelleri, yüksek güçte rüzgâr türbini kullanılarak enerji üretimi artırılabilir. Bu araştırma için rüzgâr türbini gerekli üretimi verimli bir şekilde üretmedi. Gözlemler sonucunda rüzgâr türbininin olduğundan daha yüksek yere monte edilmesi gerektiği araştırıldı.

Teknolojideki yeni eğilimler, bağlantılı yazılım-donanım alt sistemlerine dayalı verimli kontrol ve işleme platformları gerektirmektedir. Karmaşıklıkları ve boyutları nedeniyle, bu platformlarda uygulanan algoritmaların test edilmesi ve doğrulanması zordur. Bu tür çözümler tasarlanırken, tüm sistemin yürütülmesi sırasında hem yazılım hem de donanımın kayıtlarının ve belleklerinin iç değerlerinin bilgisinin sağlanması gerekir. Hedeflenen tasarımın son mimarisi ve hata ayıklama yetenekleri, büyük ölçüde hibrit sistemin nasıl bağlandığına ve saat hızına göre bağlılık göstermektedir.

Şebeke istasyonları ile elektrik sağlamanın çok zor olduğu ve şebeke istasyonu genişletmesinin çok pahalı olduğu uzak kırsal alanların elektrik ihtiyacına en ekonomik çözüm hibrit enerji sistemidir. Bu hibrit sistemler, örneğin güneş fotovoltaik, pil ve rüzgâr enerjisi gibi birkaç yenilenebilir enerji kaynağının bir veya daha fazlasının

jeneratör veya şebeke yedekli kombinasyonunu içermektedir. Bu tür bir hibrit sistem tarafından sabit bir sürekli güç akışı sağlanır. Hibrit sistemler, rüzgâr türbini ve fotovoltaik modüllerin gruplandırılmasını içermekte ve bunların herhangi birinin tek başına olduğundan daha fazla güvenilirlik sunmaktadır. Rüzgâr ve güneş hibrit sistemleri ayrıca, sistemin yalnızca tek bir güç kaynağına bağlı olması durumunda gerekli olacak olandan daha küçük, ucuz bileşenlerin kullanımına da izin vermektedir. Bu, uzak bir güç sisteminin fiyatını önemli ölçüde azaltabilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, birçok uygulama ve özellikle şebekeden bağımsız sistemler için inanılmaz bir potansiyel sağlamaktadır. Bu açıdan, yenilenebilir enerji teknolojisinin en umut verici uygulamalarından biri, şebeke genişletmenin pahalı olduğu ve sitenin uzaklığı ile yakıt maliyetinin önemli ölçüde arttığı uzak bölgelerde hibrit enerji sistemlerinin kurulmasıdır.



## 6. KAYNAKLAR

- Alsema E A, Nieuwlaar E, 2000, Energy Viability of Photovoltaic Systems, *Energy Policy*, 28, 999-1010.
- Alışkan, 2006, Mikroişlemci Kullanılarak Neuro-Fuzzy Proses Kontrol Uygulaması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 132s, İstanbul.
- Athay T M, 1987, Generation Scheduling and Control, *Proceedings of The IEEE*, 75, 1592-1606.
- Bechtle P, Schelbergen M, Schmehl R, Zillmann U, Watson S, 2019, Airborne Wind Energy Resource Analysis, *Renewable Energy*, 141, 1103-1116.
- Bireselioglu M E, Yıldırım C, Demir M H, Tokcaer S, 2017, Establishing An Energy Security Frame Work for A Fast-growing Economy Industry Perspectives From Turkey, *Energy Research & Social Science*, 27, 151-162.
- Boran F E, 2018, A New Approach for Evaluation Of Renewable Energy Resources: A Case of Turkey, *Energy Sources*, 13, 196-204.
- Borowy B S, Salameh Z M, 1994, Optimum Photovoltaic Array Sizing In A Wind RV Hybrid System, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 9, 482-488.
- Borowy B S, Salameh Z M, 1996, Methodology For Optimally Sizing The Combination Of A Battery Bank and PV Array In A Wind/PV Hybrid System, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 11, 367-375.
- Borowy B S, Salameh Z M, 1997, Dynamic Response of A Stand-Alone Wind Energy Conversion System with Battery Energy Storage to A Wind Gust, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 12, 73-78.
- Chan Y T, Chmiel A J, Plant J B, 1980, A Microprocessor-Based Current Controller For SCR-DC Motor Drives, *IEEE Transactions on Industrial Electronics and Control Instrumentation*, IECI-27, 169-176.
- Çolak M, Kaya İ, 2017, Prioritization of Renewable Energy Alternatives By Using An Integrated Fuzzy MCDM Model: A Real Case Application for Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 840-853.

- Demirtaş M, 2008, Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Kullanılarak Şebeke İle Paralel Çalışabilen Hibrid Enerji Santrali Tasarımı ve Uygulaması, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 191s, Ankara.
- Emeksiz C, Demirci B, 2019, The Determination of Off shore Wind Energy Potential of Turkey by Using Novelty Hybrid Site Selection Method, Sustainable Energy Technologies and Assessments, 36, 1-21.
- Ercan E, 2020, Rüzgar-Hidro Hibrit Sistemler İçin Optimum Çalışma Stratejilerinin Geliştirilmesi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 144s, Ankara.
- Fesli U, 2009, Mikrodenetleyici Denetimli Düşük Güçlü Yenilenebilir Enerji Üretici Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 128s, Zonguldak.
- Güngördü B, 1986, Microprocessor Implementation of Frequency Control for Wind Energy Conversion System, Middle East Technical University, M.Sc. Thesis, 112s, Ankara.
- Kumar K, 2012, Photovoltaic System, International Journal of Science And Research, 3, 1-17.
- Kusic G L, Sutterfield J A, Caprez A R, 1998 Automatic Generation Control for Hydro Systems, IEEE Transactions on Conversation, 3, 33-39.
- Kutlu S, 2002, Güneş Tarlası İle Elektrik Enerjisi Üretimi ve SDÜ Kampüs Alanında Bir Uygulama Analizi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 110s, Isparta.
- Lin L, 2005, Investigation Characteristics and Application of Hybrid Solar-Wind Power Generation Systems, Hong Kong Polytechnic University, Ph.D. Thesis, 214p, Hong Kong.
- Linde H A, Clark I, 1992, Microprocessor Control of Hybrid Energy Systems, 3D Africon Conference, Africon 92 Proceedings, 217-220.
- Mei Q, Wu W and Xu Z, 2006, A Multi-Directional Power Converter for A Hybrid Renewable Energy Distributed Generation System with Battery Storage, 14-16

August 2006, Shanghai.

- Monica P, Kowsalya M, 2016, Control Strategies of Parallel Operated Inverters In Renewable Energy Application: A Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65, 885-901.
- Önder H G, 2021, Renewable Energy Consumption Policy In Turkey: An Energy Extended Input-Output Analysis, *Renewable Energy*, 175, 783-796.
- Özsoy M F, 2011, Hibrit Rüzgâr-Güneş Enerji Üretim Sistemi ile Bir Elektrik Laboratuvarının Genel Aydınlatma Tasarımı, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans, 117s, Afyonkarahisar.
- Panwar N, Kaushik S, Kothari S, 2011, Role of Renewable Energy Sources In Environmental Protection: A Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 1513-1524.
- Prasada A R and Natarajan E, 2006, Optimization of Integrated Photovoltaic–Wind Power Generation Systems With Battery Storage, *Energy*, 31, 1943–1954.
- Santos J L, Antunes F, Chehab A, Cruz C, 2006, A Maximum Power Point Tracker for PV Systems Using A High Performance Boost Converter, *Solar Energy*, 80, 772-778.
- Swami R, 2012, Solar Cell, *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2, 1-5.
- Şengül Ü, Eren M, Shiraz S E, Gezder V, Şengül A B, 2015, Fuzzy TOPSIS Method for Ranking Renewable Energy Supply Systems In Turkey, *Renewable Energy*, 75, 617–625.
- Twidell J, Weir T, 2005, *Renewable Energy Resources*, Second Edition, Taylor & Francis House, 624p, London.
- Ültanır M Ö, 1996, Yel Değirmenlerinden Günümüze Rüzgâr Enerjisi, *Bilim ve Teknik Dergisi*, Ankara, 341, 56-61.
- Valenciaga F, Puleston P F, Battaiotto P E, Mantz R J, 2001, Power Control of A Photovoltaic Array In A Hybrid Electric Generation System Using Sliding Mode Techniques, *IEE Proceedings - Control Theory and Applications*, 148, 448-455.

Wang C, Li M, 2008, Research on Optimization of Wind and PV Hybrid Power Systems, Proceedings of The 7th World Congress on Intelligent Control and Automation, 25-27 June 2008, China.

Yılan G, Kadirgan M A N, Çiftçioğlu G A, 2020, Analysis of Electricity Generation Options for Sustainable Energy Decision Making: The Case of Turkey, Renewable Energy, 146, 519-529.

Yousaf K, 2015, Size Optimization of Solar and Wind Hybrid System, Bahcesehir University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Master Thesis, 145p, Istanbul.

### **İnternet Kaynakları**

1- <https://www.dunyaenerji.org.tr/bp-enerji-gorunumu-2018/>, 09.09.2020

2- <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1314663>, 19.09.2020

3- <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/650633>, 02.10.2020

4- <https://pdf.direnc.net/upload/pic16f877-20p-pdip-40-8-bit-20-mhz-mikrodenetleyici-datasheet.pdf>, 08.10.2020

5- <https://corumyasam.com/corum-gunes-enerjisinde-nerede-iste-haritasi>, 09.10.2020

6- <https://www.myenerjisolar.com/dunyadaki-ve-turkiye-gunes-enerjisinin-gelisimi-fotovoltaiik-fv-sistemler/>,15.10.2020

7- <https://muhendistan.com/gunes-pilleri-nasil-calisir>, 18.10.2020

8- <https://slideplayer.biz.tr/slide/2335624/>, 21.10.2020

9- <http://dspace.kocaeli.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/11493/1911/259449.pdf?sequence=1&isAllowed=y>,21.10.2020

10-<http://www.mmsrn.com/ruzgar-turbinleri-ve-parcalari/>, 28.10.2020

11-<https://www.enerjimgunesten.com/dikey-eksenli-ruzgar-turbini.html>, 01.11.2020

12-<https://www.enerjiportali.com/ruzgar-turbini-nedir-ruzgar-turbini-cesitleri-nelerdir/>, 05.11.2020

- 13-<https://ekolojist.net/ruzgarin-potansiyeli-ne/>, 10.11.2020
- 14-<file:///C:/Users/CASPER/Downloads/325444.pdf>, 13.11.2020
- 15-<file:///C:/Users/CASPER/Downloads/256643.pdf>, 14.11.2020
- 16-<http://web.firat.edu.tr/iats/cd/subjects/Energy/ETE-21.pdf>, 14.11.2020
- 17-<https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>, 16.11.2020
- 18-<https://www.teias.gov.tr/tr-TR/faaliyet-raporlari>, 17.11.2020
- 19-<https://www.dunyaenerji.org.tr/turkiyenin-gunluk-nihai-enerji-tuketimi-ve-sonuclari-2/>, 17.11.2020
- 20-<https://www.enerjiportali.com/teias-2019-elektrik-uretim-istatistiklerini-yayimladi/>, 20.11.2020
- 21-<http://elektrikelektronikegitimi.blogspot.com/2019/06/turkiyede-elektrik-enerjisi-uretim.html>, 25.11.2020
- 22-<http://tuikweb.tuik.gov.tr/HbPrint.do?id=27667>, 02.05.2021
- 23-<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2013>, 15.11.2020

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Melike ÇATAL  
Doğum Yeri ve Tarihi : Afyonkarahisar, 26.06.1995  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim (Telefon/e-posta) : 05546121666 / melikecatal.mc@hotmail.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Anafartalar Anadolu Lisesi (2009 – 2013)  
Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi, Enerji Sistemleri  
Mühendisliği Bölümü, (2014– 2018)  
Anadolu Üniversitesi, Uluslar arası Ticaret ve Lojistik  
Yönetimi, (2017– 2021)  
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,  
Yenilenebilir Enerji Sistemleri, (2019-2021)

### Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

: 8'inci Ana Bakım Fabrika Müdürlüğü, Lojistik Bölümü  
(2021–Devam Ediyor)