

**HİBRİT ENERJİ ÜRETİM SİSTEMİNDE ÜRETİLEN  
ENERJİNİN MİKRODENETLEYİCİ KULLANILARAK  
DENETİMİ VE ETKİNLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yavuz Bahadır KOCA

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Ahmet YÖNETKEN

İKİNCİ DANIŞMAN

Doç. Dr. Yüksel OĞUZ

YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI

Şubat, 2015

Bu tez çalışması 113E310 numaralı proje ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HİBRİT ENERJİ ÜRETİM SİSTEMİNDE ÜRETİLEN ENERJİNİN**  
**MİKRODENETLEYİCİ KULLANILARAK DENETİMİ**  
**VE**  
**ETKİNLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Yavuz Bahadır KOCA**

**DANIŞMAN**

**Yrd. Doç. Dr. Ahmet YÖNETKEN**

**İKİNCİ DANIŞMAN**

**Doç. Dr. Yüksel OĞUZ**

**YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI**

**Şubat, 2015**

## TEZ ONAY SAYFASI

Yavuz Bahadır KOCA tarafından hazırlanan “HİBRİT ENERJİ ÜRETİM SİSTEMİNDE ÜRETİLEN ENERJİNİN MİKRODENETLEYİCİ KULLANILARAK DENETİMİ VE ETKİNLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 02/02/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektrik Mühendisliği, Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Yrd. Doç. Dr. Ahmet YÖNETKEN

**İkinci Danışmanı** : Doç. Dr. Yüksel OĞUZ

**Başkan** : Doç. Dr. Ayhan EROL  
Afyon Kocatepe Ü., Teknoloji Fakültesi İmza

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Ahmet YÖNETKEN  
Afyon Kocatepe Ü., Mühendislik Fakültesi İmza

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

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

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

**ÖZET**  
Yüksek Lisans Tezi

HİBRİT ENERJİ ÜRETİM SİSTEMİNDE ÜRETİLEN ENERJİNİN  
MİKRODENETLEYİCİ KULLANILARAK DENETİMİ  
VE ETKİNLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Yavuz Bahadır KOCA  
Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı  
**Danışman:** Yrd. Doç. Dr. Ahmet YÖNETKEN  
**İkinci Danışman:** Doç. Dr. Yüksel OĞUZ

Bu tez çalışmasında, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümüne ait Elektrik Makinaları Laboratuvarı, Kontrol Sistemleri Laboratuvarı ve Enerji Sistemleri Laboratuvarının aydınlatılması için AR-GE amaçlı kurulan ve işletilen 1200 W'lık Rüzgâr-Güneş hibrit güç üretim sistemine ek olarak 500 W'lık yakıt pili ve 24V DC 300 Ah'lık akü grubu entegre edilerek enerjide sürekliliğin sağlanması ile birlikte hibrit enerji üretim sisteminde üretilen enerjinin denetimi ve etkinliğinin araştırılması amaçlanmıştır.

Rüzgâr-Güneş ve Yakıt pilinden oluşan enerji üretim sisteminin üretim ve tüketim gücünü daha verimli ve etkin bir şekilde kullanabilmek için mikrodenetleyici destekli kontrol sistemi tasarlanmıştır.

Tasarlanmış kontrol sisteminde enerji sürekliliğini sağlamanın yanında enerji depolama grubunun sürekli devrede kalmasını önleyerek kullanım ömrünü artırmak olacaktır. Tüketicinin talep ettiği enerji temel güç kaynağı olarak kabul edilen rüzgâr ve güneş enerjisinden karşılanamadığı durumlarda tasarlanmış olan denetleyici ile batarya grubu ve/veya yakıt pili devreye alınarak enerjinin sürekliliği sağlanmıştır. Batarya grubunun şarj kapasitesi belli bir oranın üzerine çıktığı zaman ve enerjiye ihtiyaç duyulmadığında devreden denetleyici yardımıyla çıkartılmış bu sayede gereksiz yere enerji kullanımının önüne geçilmiştir.

Bununla beraber uygulamalı olarak gerçekleştirilecek sistem sayesinde kırsal bölgeler de

elektrik şebekesinden bağımsız olarak enerji üretilmesi amaçlanmaktadır. Özellikle kırsal bölgelerde, elektrik şebekesinin ulaşamadığı alanlarda, çevre aydınlatması, tarımsal sulama, güvenlik sistemlerin devamlılığının sağlanması gibi bazı temel enerji ihtiyacının sağlanması düşünülmektedir.

Çalışmanın birinci bölümünde tezin amacı ve kapsamı hakkında kısaca bir bilgi verildikten sonra hibrit güç sistemleri ile daha önceden yapılmış olan çalışmalara ait özet bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde; dünyada ve Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının durumuna değinilerek, güneş ve rüzgâr enerjisi hakkında genel bilgiler verilmiştir. Sonrasında hibrit güç üretim sistemi bileşenlerinin özellikleri ve fonksiyonları anlatılmıştır. Üçüncü bölümde; hibrit güç üretim sistemi bileşenlerinin belirlenmesi için gerekli olan hesaplamalar yapılmış ve maliyetleri tespit edilerek en uygun sistem tasarlanmıştır. Dördüncü bölümde ise bulgular ve bunlara etki eden parametreler verilmiştir. Beşinci bölümde ise elde edilen sonuçlar değerlendirmiştir.

**2015, xiii + 100 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Hibrit Güç Üretim Sistemleri, Güneş Enerjisi, Rüzgâr Enerjisi, Yakıt Pili

**ABSTRACT**  
M.Sc Thesis

HYBRID POWER GENERATION SYSTEMS CONTROL WITH  
MICROCONTROLLER AND INVESTIGATION EFFICIENCY FOR PRODUCING  
ENERGY

Yavuz Bahadır KOCA

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Renewable Energy Systems

**Supervisor:** Assist. Prof. Dr. Ahmet YÖNETKEN

**Second Supervisor:** Assoc. Dr. Prof. Yüksel OĞUZ

This study intends to provide the power continuity of 1200W wind-solar hybrid power generating system set up to lighten the Electric Machinery Laboratory, Control Systems Laboratory and Power Systems Laboratory of the Electrical and Electronic Engineering Department of Faculty of Technology of Afyon Kocatepe University for research and development purposes. A 500W fuel cell and 24V DC 300 Ah battery group is integrated to this system within the scope of the study. The study also proposes to determine and to control the efficiency of the power generated by the hybrid power generating system.

Microcontroller supported control system is designed in order to efficiently use the production and consumption power of the power generating system which includes wind-solar power and fuel cell.

This control system will contribute not only to provide power continuity but also to prolong its physical life by preventing it from being consistently activated. The power continuity is provided by the control system by activating the battery group and/or fuel cell in cases which the demand of the consumer cannot be satisfied with the main power sources, wind and solar power. After a certain charging rate in which there is no more energy requirement, the control system deactivates them in order to prevent unnecessary power consumption.

Furthermore, it is intended to apply this study to rural areas by generating power independent from grid circuit. It is envisaged to satisfy the main power requirements including lightening, irrigation and maintenance of the security camera systems especially in rural areas and in regions which can not benefit from grid circuit.

In addition to the definition of the purpose and the scope of the study, the previous studies

held in the field is described in the initial part of the paper. In the second part, the current situation of the power sources in the World and in Turkey is described and general information about solar and wind power is given. Subsequently, the properties and the functions of the compounds of the hybrid power generating system is discussed. In the third part, calculations necessary to determine the compounds of the hybrid power generating system are made and the appropriate system is designed by taking their costs into consideration. In the fourth part, findings obtained by data and parameters affecting the findings are given. Consequently in the last part, the results are evaluated.

**2015, xiii + 100 pages**

**Key Words:** Hybrid Energy, Wind, Photovoltaic, Fuelcell

## TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel alışmaların ynlendirilmesi, sonuların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarında dolayı tez danışmanlarım Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet YÖNETKEN ve Sayın Doç. Dr. Yüksel OğUZ'a, projenin uygulama ve yazılım sürecindeki büyük desteklerinden dolayı Oğr. Gr. Mustafa NARTKAYA'ya, ayrıca araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarım ve arkadaşlarım, 113E310 numaralı "Hibrit Enerji retim Sisteminde (Güneş, Rüzgâr, Yakıt Pili) retilen Enerjinin Mikrodenetleyici Kullanılarak Denetimi ve Etkinliğinin Araştırılması" isimli proje kapsamında gerçekleştirilen bu tez çalışmasında desteklerini sunan TÜBİTAK'a ve İnci Ak'ye teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı sevgili eşim Rabia KOCA'ya ve aileme teşekkür ederim.

Yavuz Bahadır KOCA  
AFYONKARAHİSAR, 2015



## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xii
RESİMLER DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ .....	6
2.1 Enerji ve Enerji Kaynakları.....	6
2.1.1 Konvansiyonel enerji kaynakları .....	9
2.1.2 Yenilenebilir enerji kaynakları .....	10
2.1.3 Türkiye’de enerjinin durumu .....	11
2.2 Hibrit Güç Enerji Sistemleri ve Bileşenleri .....	15
2.2.1 Güneş enerjisi .....	15
2.2.1.1 Fotovoltaik piller .....	18
2.2.1.2 Fotovoltaik pil çeşitleri.....	21
2.2.2 Rüzgâr enerjisi .....	24
2.2.2.1 Rüzgâr türbin teknolojileri.....	31
2.2.3 Hidrojen ve hidrojen enerjisi .....	37
2.2.4 Yakıt pilleri.....	39
2.2.4.1 Değişken proton membranlı (katı polimer) yakıt pilleri.....	42
2.2.4.2 Alkali yakıt pili .....	43
2.2.4.3 Fosforik asit yakıt pili.....	44
2.2.4.4 Katı oksit yakıt pili .....	45
2.2.4.5 Erimiş karbonat yakıt pili .....	46
2.2.5 DC-DC dönüştürücüler ( Konvertörler).....	47
2.2.6 Eviriciler (İnvertörler) .....	48
2.2.7 Aküler.....	49
3. MATERYAL ve METOT .....	50
3.1 Güneş, Rüzgâr, Yakıt Pili ve Akü Grubundan Oluşan Hibrit Güç Üretim Sisteminin Bileşenleri ve Özellikleri.....	50

3.1.1 Rüzgâr türbini .....	52
3.1.2 Fotovoltaik panel .....	53
3.1.3 Yakıt pili.....	54
3.1.4 Hidrojen Generatörü .....	58
3.1.5 Hidrojen Tüpleri .....	59
3.1.6 Akü grubu.....	60
3.1.7 DC-DC dönüştürücü (Konvertör) .....	62
3.1.8 Evirici (İnvertör) .....	63
3.2 Hibrit Güç Üretim Sisteminde Enerjinin Etkin Kullanılması İçin Kontrol Sisteminin Tasarlanması .....	64
3.3 Yük Kontrol Sisteminin Bağlantı Şekli ve Bileşenleri .....	68
3.3.1 PIC 16F877 ve teknik özellikleri .....	72
3.4 Hibrit Güç Üretim Sisteminde Üretilen ve Tüketilen Enerjinin Akış Kontrolü için Kontrol Sisteminin Kurulumu.....	74
3.5 Uzaktan Hibrit Güç Üretim Sisteminde Üretilen ve Tüketilen Enerjinin Akış Kontrol Yazılımının Arayüzü .....	78
4. BULGULAR .....	80
4.1 Akü Grubu Destekli Hibrit Güç Üretim Sisteminin Enerji Üretim Değerleri .....	80
4.2 Hibrit Güç Üretim Sistemi ile Enerji Tüketim Değerlerinin Karşılaştırılması .....	87
5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....	90
6. KAYNAKLAR.....	94
ÖZGEÇMİŞ.....	100

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

PT	Toplam Lamba Gücü
L	Bobin
D	Diyot
R	Direnç
C	Kondansatör
Ck	Akü Kapasitesi

### Kısaltmalar

---

AA	Alternatif Akım
CIS	Bakır İndiyum Diselenoid
DA	Doğru Akım
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
PV	Güneş Paneli
RT	Rüzgâr Türbini
ETKB	T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
TEP	Ton Eşdeğeri Petrol
PLC	Programlanabilir Lojik Kontrol
TUREB	Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği
GWR	Uluslararası Rüzgâr Raporu
GWEC	Uluslararası Rüzgâr Enerji Birliği
EWEA	Avrupa Rüzgâr Enerjisi Birliği
DOE	ABD Enerji Departmanı
OECD	Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
PEM	Proton Geçirgenli Membran
AEO	Afrika Enerji Görünümü

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1	2035 yılında Dünya’da ki birincil enerji talebi.....	7
Şekil 2.2	Milyar tpe cinsinden enerji tüketim artışı.....	8
Şekil 2.3	Enerji kaynaklarının tüketim oranları değişimi .....	8
Şekil 2.4	2013 yılı ham enerji kaynaklarına göre elektrik enerjisi üretim oranları.....	12
Şekil 2.5	Aylar itibariyle Türkiye’nin günlük güneşlenme süreleri .....	16
Şekil 2.6	Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası .....	17
Şekil 2.7	Afyonkarahisar ili güneş enerjisi potansiyel atlası .....	17
Şekil 2.8	Afyonkarahisar aylar itibariyle güneşlenme süreleri .....	18
Şekil 2.9	Güneş hücresi, modülü ve paneli .....	19
Şekil 2.10	Tipik bir güneş hücresinin görünümü .....	19
Şekil 2.11	İdeal güneş pili eşdeğer devresi. ....	20
Şekil 2.12	Kurulu rüzgâr enerji santrallerinin bölgelere göre dağılımı .....	27
Şekil 2.13	Türkiye rüzgâr enerji santrallerinin yıllara göre kurulan güç bakımından dağılımı.....	28
Şekil 2.14	Türkiye’nin yıllara göre rüzgâr enerji santralleri kurulu güçleri .....	28
Şekil 2.15	Türkiye rüzgâr atlası.....	29
Şekil 2.16	Afyonkarahisar rüzgâr potansiyeli atlası .....	30
Şekil 2.17	Afyonkarahisar kapasite faktörü dağılımı .....	30
Şekil 2.18	Yatay eksenli rüzgâr türbini yapısı .....	33
Şekil 2.19	Düşey eksenli rüzgâr türbin yapısı.....	34
Şekil 2.20	Hidrojen enerjisi sistem döngüsü .....	38

<b>Şekil 2.21</b> Yakıt pili yapısı ve çalışma şekli .....	41
<b>Şekil 2.22</b> Değişken proton membranlı (katı polimer) yakıt pili .....	43
<b>Şekil 2.23</b> Alkali yakıt pili .....	44
<b>Şekil 2.24</b> Fosforik asit yakıt pili .....	45
<b>Şekil 2.25</b> Katı oksit yakıt pili.....	46
<b>Şekil 2.26</b> Erimiş karbonat yakıt pili .....	47
<b>Şekil 3.1</b> Akü grubu destekli rüzgar, güneş ve yakıt pilinden oluşan hibrit enerji üretim sisteminin genel görünüşü .....	51
<b>Şekil 3.2</b> Hibrit güç üretim sistemini oluşturan bileşenlerin bağlantı şeması ve çalışma modeli.....	51
<b>Şekil 3.3</b> Akü grubu destekli rüzgar, güneş ve yakıt pilinden oluşan hibrit enerji üretim sisteminin çalışma mantığı ve enerji akış modeli .....	52
<b>Şekil 3.4</b> Vind EFS 600W rüzgar türbini hız-güç eğrisi.....	53
<b>Şekil 3.5</b> 190W monokristal güneş paneli .....	54
<b>Şekil 3.6</b> Proton değişken membran (PEM) yakıt pili temel yapısı .....	54
<b>Şekil 3.7</b> Yakıt pili kontrol devresi.....	56
<b>Şekil 3.8</b> Basınç-Sıcaklık arasındaki karakteristik eğrisi.....	60
<b>Şekil 3.9</b> Laboratuvarında armatürlerin yerleşim düzeni.....	61
<b>Şekil 3.10</b> Hibrit güç enerji üretim kaynakları çalışma algoritması .....	66
<b>Şekil 3.11</b> Kontrol algoritması .....	67
<b>Şekil 3.12</b> Eviricinin çalışma algoritması .....	68
<b>Şekil 3.13</b> Yük kontrol sisteminin bağlantı şeması .....	70
<b>Şekil 3.14</b> Yük kontrol sisteminin akış diyagramı .....	71

<b>Şekil 3.15</b> PIC 16F877 mikrodenetleyicisinin bağlantı uçları .....	72
<b>Şekil 3.16</b> Akım-gerilim ölçme devresinin baskı devresi .....	75
<b>Şekil 3.17</b> Enerji kaynaklarının devreye alma ve çıkarma işlemleri için gerçekleştirilen anahtarlama devresi.....	76
<b>Şekil 4.1</b> Aylara göre hibrit güç üretim kaynaklarının enerji üretim miktarları .....	81
<b>Şekil 4.2</b> Güneş panellerinden elde edilen ay bazında toplam elektrik enerjisi .....	82
<b>Şekil 4.3</b> Rüzgar türbininden elde edilen ay bazında toplam elektrik enerjisi .....	82
<b>Şekil 4.4</b> Yakıt pilinden elde edilen ay bazında toplam elektrik enerjisi .....	83
<b>Şekil 4.5</b> Akü grubunda depolanan ay bazında toplam elektrik enerjisi .....	83
<b>Şekil 4.6</b> 20 Kasım 2014 gününde güneş panellerinden elde edilen en düşük enerji değerleri.....	84
<b>Şekil 4.7</b> 19 Ağustos 2014 gününde güneş panellerinden elde edilen enerji değerleri ..	85
<b>Şekil 4.8</b> 20 Kasım 2014 günü rüzgar türbininden elde edilen saatlik enerji değerleri..	85
<b>Şekil 4.9</b> 14 Eylül 2014 günü yakıt pilinden gün bazında saatlik enerji değerleri.....	87
<b>Şekil 4.10</b> Hibrit güç üretim sisteminde üretilen, tüketilen, depolanan ve kayıp enerji miktarları .....	88
<b>Şekil 4.11</b> Hibrit güç üretim sisteminden üretilen enerjinin 2014 yılı aylara göre etkin kullanımına ait verim oranları .....	89

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

<b>Çizelge 2.1</b> 2012-2013 yılları üretim programlanan ve gerçekleşen enerji üretimi .....	13
<b>Çizelge 2.2</b> 1993-2013 yılları arası elektrik enerjisi elde edilen ham enerji kaynaklarına göre üretim-tüketim değerleri ve dış alım satım oranları.....	14
<b>Çizelge 2.3</b> Afyonkarahisar ili kurulabilecek rüzgar enerjisi santralleri gösterir güç tablosu .....	31
<b>Çizelge 3.1</b> PEFC-500 yakıt pili özellikleri .....	58
<b>Çizelge 3.2</b> PIC 16F877'nin teknik özellikleri.....	72
<b>Çizelge 4.1</b> Güneş, rüzgâr, yakıt pili ve akü grubunun aylara göre enerji üretim kapasitesi .....	81
<b>Çizelge 4.2</b> Hibrit güç üretim sisteminde üretilen, tüketilen, depolanan ve kayıp enerji miktarları .....	88

## RESİMLER DİZİNİ

### Sayfa

<b>Resim 3.1</b> PEFC 500W yakıt pili.....	55
<b>Resim 3.2</b> Hidrojen generatörü.....	59
<b>Resim 3.3</b> Metal hidrit tüpler.....	59
<b>Resim 3.4</b> 24V DC 300 Ah akü grubu.....	62
<b>Resim 3.5</b> DC-DC Dönüştürücü.....	63
<b>Resim 3.6</b> Tam sinüs dalga, 3kW, 24 V DC-220 V AC evirici .....	64
<b>Resim 3.7</b> PIC ile yapılan yük kontrol devresinin plaka üzerine aktarılmış hali.....	73
<b>Resim 3.8</b> Hibrit güç üretim ve tüketim sisteminde enerji akış kontrolü için dizayn edilen panolar.....	74
<b>Resim 3.9</b> Akım gerilim ölçme devresinin plaka üzerine aktarılmış hali.....	75
<b>Resim 3.10</b> Anahtarlama devresi için kullanılan güç mosfetlerinin bağlantısı.....	77
<b>Resim 3.11</b> Enerji kaynaklarının devreye alma ve çıkarma işlemleri için gerçekleştirilen anahtarlama devresinin plaket üzerindeki görünümü.....	77
<b>Resim 3.12</b> Hibrit güç kontrol ünitesi.....	78
<b>Resim 3.13</b> Hibrit güç kontrol sistemi ekran görüntüsü.....	79



## 1. GİRİŞ

Günlük hayatımızın vazgeçilmez bir unsuru olan enerji, ülkelerin sosyal ve ekonomik yapıları içerisindeki yerini ve önemini korurken, bu enerjinin bir bileşeni olan elektrik enerjisinin payı da gün geçtikçe artmaktadır.

Hayatımızın her anında ihtiyaç duyduğumuz enerji olmazsa olmazlarımızdandır. Günümüzde hızla artan enerji talebi ve buna ters orantılı olarak da hızla azalan fosil yakıtları nedeniyle temiz enerji üretme gereksinimi insanoğlunu yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Hızlı nüfus artışı ile beraberinde gelen çarpık kentleşme ve sanayileşme ile birlikte enerjiye olan talepte ki artış çevresel sorunları da beraberinde getirmiştir.

Halen fosil yakıtlar olarak adlandırdığımız kömür, doğalgaz, petrol gibi yakıtlar mevcut sistemde enerji ihtiyacını karşılayan temel enerji kaynaklarıdır. Bunların tükenir kaynaklar olması, çevreye zararları ve dışa bağımlılıkları ise ortadadır. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilginin her geçen gün daha da arttığı gözlemlenmektedir. Özellikle güneş, rüzgâr, biyogaz, jeotermal ve hidrojen gibi enerji kaynaklarına olan ilginin sonucunda bu alanlardaki araştırmalar daha da önemli bir hale gelmiştir. Dolayısıyla ülkemizin de milli bir meselesi haline gelen ve cari açıktaki en önemli kalemi olan enerjide dışa bağımlığın oluşturduğu olumsuz etkiler bilinmektedir. Bu olumsuz etkileri minimize etmek enerjinin verimli ve tasarruflu kullanımı ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla faydalanılması sayesinde mümkün olabilecektir.

Son yıllardaki gerçekleşen elektrik tüketim değerlerine bakıldığında büyük oranda bir artış gerçekleşmiştir. Temel parametreler olarak nüfus artışı, sanayileşme ve ekonomik gelişmeler dikkate alınarak yapılan elektrik enerjisi talebinin tahmin çalışmaları sonucuna göre önümüzdeki on yıllık dönemde talebin ortalama %7,5 oranında artması beklenmektedir. Böylece 2014 yılında 256,7 milyar kWh olması öngörülen enerji talebinin 2015 yılında 287,3 milyar kWh'e ulaşacağı tahmin edilmektedir. Buna karşılık 2014 yılında 40.000 MW olması beklenen puant güç talebinin ise 2015 yılında 44.260 MW'a ulaşacağı tahmin edilmektedir (TEİAŞ 2014).

Türkiye’deki enerji üretim sistemi 2014 yılında, termik santrallerden 174,8 milyar kWh, hidrolik santrallerden 57,9 milyar kWh, rüzgâr santrallerinden 5,8 milyar kWh ve jeotermal santrallerden 0,9 milyar kWh olmak üzere toplam 239,5 milyar kWh üretim kapasitesine sahiptir (TEİAŞ 2014). Bu verilerden anlaşılacağı üzere mevcut durumda yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam sistemde ki payı henüz %5 seviyelerindedir.

Resmi Gazetede yayınlanarak yürürlüğe giren “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun” ile devlet desteği sağlanmıştır. Ancak, lisanssız işletme kurmak isteyenlerin karşılaştığı mevzuat ve işlem karmaşası halen daha büyük bir problem olarak devam etmektedir. Yasal izinlerin devamında uygulamaya hızlı alınabilmesi için yerelde ki yetkili birimlerce yerinde çözülmesi gerekmektedir. Bununla beraber girişimcilikle bu işe girmek isteyenlere daha iyi devlet teşviklerinin sağlanması bu payın arttırılmasında önemli bir rol oynayacaktır.

Hibrit enerji üretim sistemleriyle ilgili yapılan AR-GE çalışmaları, günlük hayattaki kullanım alanları, akademik çalışmalar ve bulguların özet bilgileri aşağıda verilmiştir.

Son zamanlarda ki teknolojik gelişmeler, devlet teşviklerinin artmasında pozitif bir rol oynamıştır. Fosil yakıtlardan enerji elde etmede artan yüksek maliyetler nedeniyle temiz, tükenmez ve bölgesel uygulanabilirliği olan yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi giderek artan bir eğilim olarak görünmektedir (Niknam *et al.* 2011).

Rüzgâr ve güneş enerjisi gibi kaynaklar farklı iklim koşulları nedeniyle değişken özelliklere sahiptirler. Rüzgâr hızı ve güneş ışınımının değişken olması nedeniyle depolama sistemleri önem kazanmaktadır. Bu nedenle şebekeden bağımsız olan yerlerde enerjinin sürekliliğinin sağlanması amacıyla enerji depolama sistemleri ile birlikte kullanılması gerekmektedir (Ray *et al.* 2011).

Hibrit enerji üretim sistemleri farklı enerji kaynaklarının birçok birleşimi ve depolama cihazları ile yapılabilir. Bir hibrit enerji üretim sisteminde güneş ve rüzgâr enerjisi en yaygın kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Uygulamalarda şebekeden bağımsız rüzgâr ve güneş enerji üretim sistemleri çoğunlukla gaz türbinleri, dizel

generatörler, yakıt pilleri ve akü grupları ile birlikte çalıştırılırlar. Bununla beraber enerjinin sürekliliği ve sistem performansı arttırılır (Nasiraghdam ve Jadid 2012).

Şebekeden bağımsız olan bir evin elektrik talebinin güneş ve rüzgâr enerjisi kullanılarak karşılanması durumu incelenmiştir (Elma 2011). Bir evin deneysel olarak elde edilmiş elektriksel yük talebi incelendiğinde, evin elektriksel yük talebinin gün boyunca geniş güç aralığında değiştiği ve oldukça dinamik olduğu saptanmıştır. Aynı şekilde güneş panellerinden ve rüzgâr türbininden elde edilebilecek enerji miktarı da hem gün boyunca değişkenlik göstermekte hem de süreklilik arz etmemektedir. Rüzgâr ve güneş enerjisi birbirlerini tamamlayıcı özelliğe sahiptirler. Şebekeden bağımsız bir evin yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak kesintisiz bir şekilde beslenebilmesi için akü veya ultra kapasite gibi enerji depolama sistemlerinin de kullanılması gereği ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, kurulan hibrit enerji üretim sisteminde destekleyici kaynak olarak akü kullanılması öngörülmüştür (Elma 2011).

Nelson ve arkadaşları Kuzeybatı Pasifik bölgesinden elektrik şebekesinden bağımsız bir evin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilmek için rüzgâr-güneş-yakıt pili sistemi ile rüzgâr-güneş-akü grubu sistemlerinin ekonomik değerlendirmesine yönelik çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda, rüzgâr-güneş-batarya sisteminin rüzgâr-güneş-yakıt pili ve elektroliz sistemine göre daha ekonomik olduğu tespit edilmiştir. Ancak elektroliz sistemleri ve yakıt pili teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte gelecekte daha ekonomik olacaklarını tahmin edilmiştir (Nelson *et al.* 2006).

Eroğlu ve arkadaşları (2011) çalışmalarında, fotovoltaiik-rüzgâr ve yakıt pilinden oluşan hibrit güç sisteminin mobil bir ev üzerinde uygulaması üzerinde çalışmışlardır. Güneş ve rüzgâr enerjisinin ilk kaynak olarak kullanıldığı bu çalışmada yakıt pili ikincil kaynak olarak değerlendirilmiştir. Mobil ev enerji uygulamasında hidrojen elektrolizör vasıtasıyla elde edilerek yüksek basınçla sıkıştırılarak hidrojen tanklarında depolanır. Rüzgâr ve güneş enerjisinin yetersiz olduğu durumlarda hidrojen yakıt pilinde yakılarak elektrik enerjisi elde edilerek süreklilik sağlanır. Bu çalışma ile farklı yenilenebilir enerji kaynaklarının aynı anda şebeke dışı uygulamalarda kullanılabilirliğini göstermiştir.

Dursun ve Kılıç çalışmalarında (2012) şebekeden bağımsız bir hibrit güç üretim sisteminin kontrolü üzerinde çalışmalardır. Sistemde üç farklı enerji kaynağı olan fotovoltaik paneller, rüzgâr türbini ve değişken proton membranlı yakıt hücresi (PEMFC) kullanılmıştır. Bu sistemde fotovoltaik paneller ve rüzgâr türbini ana kaynağı oluştururken yakıt hücresi, bir yedek güç kaynağı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca kesintisiz enerji talebi ve enerji depolama ihtiyacı için de jel aküler kullanılmıştır.

Koca (2006), “Konutlarda Hibrit Enerji Kullanımı” isimli yüksek lisans tez çalışmasında, mevcut yenilenebilir enerji kaynaklarındaki teknolojik gelişmeler incelenmiştir. Bu sistemin verimliliğinin artırılması ile birlikte enerji sürekliliğinin sağlanması amacıyla kullanılan hibrit enerji üretim sistemleri değerlendirilmiştir. Ayrıca örnek bir fotovoltaik panel ve rüzgâr türbini uygulaması ile bir evin yaklaşık sistem maliyet hesabı yapılmıştır.

Bir köyün elektrik ihtiyacının fotovoltaik pilleri, rüzgâr türbini, yakıt hücresi, süper kapasitör ve elektrolizörden oluşan sistemi mikro-şebeke şeklinde gerçek zamanlı dijital simülatörü (RTDS) olarak modellenmesi yapılarak uygulanmıştır (Gao 2009).

Rüzgâr-fotovoltaik-yakıt pilinden oluşturulmuş küçük bir şebekenin enerji tahminlerini ve işletilmesini göstermişler. Bunlara paralel olarak enerji depolama için tahmin algoritması yapmışlardır. Rüzgâr tarlaları ve fotovoltaik sistemlerden elde edilen elektrik enerjisine olan talep ve piyasa fiyatları gibi belirsizlikler incelenmiş olup, rastgele değişken girdi durumları weibull ve normal dağılım fonksiyonları ile modellenmiştir. Ertesi gün piyasası için de the Gram-Charlier metodu ile toplam enerji ve maliyet hesapları yapılmıştır (Niknam *et al.* 2012).

Bu tez çalışmasında ise Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümüne ait iki laboratuvarın aydınlatılması için kurulmuş olan 1200 Wattlık rüzgâr-güneş sistemine proton değişim membranlı yakıt pili ilave edilerek bir hibrit güç üretim sistemi tasarlanmıştır. Ayrıca rüzgâr-güneş ve yakıt pilinden oluşan enerji üretim sisteminin üretim ve tüketim gücünü daha verimli ve etkin bir şekilde kullanabilmek için programlanabilir lojik kontrol tabanlı bir kontrol sistemi gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen kontrol sistemiyle hibrit güç üretim sisteminden beslenen yüklerin çekmiş olduğu enerji akışı kontrol edilerek izlenmiştir. Güneş panelleri, rüzgâr türbini ve yakıt pilinden gelen bilgiler mikrodenetleyici tabanlı hibrit kontrol cihazında tasarlanan algoritmayla enerji akışı düzenlemesi yapılmıştır. Kontrol sisteminde enerji sürekliliğini sağlamanın yanında enerji depolamada kullanılacak jel akü grubunun sürekli devrede kalmasını önleyerek kullanım ömrünün artırılması hedeflenmektedir. Tüketicinin talep ettiği enerji öncelikle temel güç üretim sistemi olarak kabul edilen rüzgâr ve güneş enerjisinden sağlanacaktır. Tüketicilerin talep ettiği enerjinin karşılanamadığı durumlarda ise batarya grubu veya yakıt pilinde depo edilen enerji ile sağlanacaktır. Batarya grubunun şarj kapasitesi belli bir oranın üzerine çıktığı zaman ve enerjiye ihtiyaç duyulmadığı zamanlarda batarya devreden kontrolör yardımıyla çıkartılacaktır. Bu sayede gereksiz yere enerji kullanımının önüne geçilmiş olacaktır.

Diğer bir hususta, bu tip sistemlerin kurulum maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı tüketici tarafından yapılabilecek tasarrufların tespit edilebilmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada tüketicinin kullanmış olduğu elektrik enerjisinden tasarruf etmek amacıyla aynı işi görecek 18W'lık tüp floresan lambalar yerine 9W'lık power-LED floresan lambalar kullanılmıştır.

## 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş ve rüzgâr enerjisinin kullanım alanı en fazla olan enerji kaynakları olduğu bilinmektedir. Aynı zamanda yakıt pilleri hem temiz enerji kaynağı hem de yakıt olarak hidrojen enerjisini kullandığı için uzun süre enerjinin depolanabileceği sistemlerdir. Bu durumda, yakıt pilleri son yıllarda dünyanın ilgisini çekmiş ve birçok araştırmaya konu olmuştur. Yakıt pillerinden elektrik enerjisi üretimi için kullandığımız hidrojen gazı üretimi, iletimi, depolanması ve enerjiye dönüştürülmesi, güneş ve rüzgâr enerjisi sistemi birlikte kullanılarak çeşitli yöntemler gerçekleştirilebilir. Tüm bu işlem basamaklarını, rüzgar, güneş ve hidrojen hibrit enerji üretim sistemi yapılan bazı literatür çalışmaları aşağıda verilmiştir.

### 2.1 Enerji ve Enerji Kaynakları

Enerji, bir sistemin iş yapma yeteneği olarak tanımlanır. Doğada enerji çeşitli şekillerde görülür. Enerjinin Korunumu Yasasına göre, bir şekilden diğerine dönüşür ve hiçbir şekilde kaybolmaz. Bunu şöyle açıklayabiliriz: katı ve sıvı yakıtlardaki kimyasal enerji, termik ve nükleer santrallerde önce ısı enerjisine, sonra mekanik enerjiye, daha sonra da elektrik enerjisine dönüşür. Enerji bir kütlede depolandığı veya yükseltildiği zaman; potansiyel, harekete geçtiği zaman kinetik enerjiye dönüşür. Enerji türlerini şöyle sıralayabiliriz: mekanik, ısı, ışık, elektrik, kimyasal, ses, elastik, manyetik ve nükleer enerjidir (Oğuz 2012).

Enerji türlerinin çok olduğu görülmekle beraber insanoğlunun geçmişten bu zamana kadar temel gereksinimlerini en kolay sağlayabilecekleri enerji kaynaklarını tercih ettiği görülmektedir. Bu zaman içerisinde kullanılan enerji kaynakları ilk başlarda odun ve bunun gibi en basit ve temel enerji kaynakları iken daha sonraları keşfedilen kömür, petrol ve doğalgaz gibi enerji kaynaklar günümüze kadar gelmiştir.

Günümüze gelindiğinde ise enerji sistemlerinin öncelikli amacının daha iyi bir yaşam kalitesi sunmak olduğu görülmektedir. Modern enerji sistemlerine sahip olan ülkelere bakıldığında sağlık hizmetlerinin, eğitimin, ekonomik olanakların fazlalığının olduğu görülmektedir. Bununla beraber bu ülkelerde yaşayan insanların daha iyi şartlarda ve

uzun bir ömür sürdükleri görülmektedir. Maalesef dünyada halen daha 630 milyondan fazla insanın elektrik enerjisi olmadan yaşadığı ve 730 milyon insanın da kullandıkları elektriğin kalitesiz, güvensiz ve tehlikeli olduğu bilinmektedir (AEO 2014).

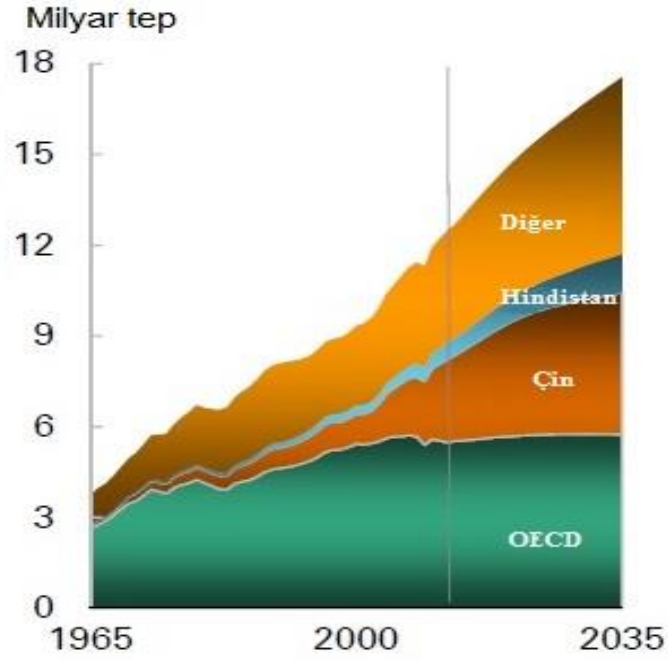
Ülkelerin daha iyi bir ekonomiye sahip olabilmeleri ve hızlı büyüebilmeleri için enerji üretimlerinin ve tüketimlerinin de aynı hızda büyümesi gerekmektedir. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), Dünyada Enerjinin Görünümü 2013, verilerine göre enerji sektöründe öngörölmüş bazı uzun vadeli planların değiştüğü belirtilmiştür. Ülkelerin rollerinin değiştüğü, ithalatçıların ihracatçı ve bunların enerji talebindeki ana artışın sebebi olacağı düşünölmektedir. Özellikle Çin’in enerji talebindeki artışın ana aktörü, Hindistan’ın ise 2020 yılından itibaren bunu devralacağı öngörölmektedir (IEA 2013).



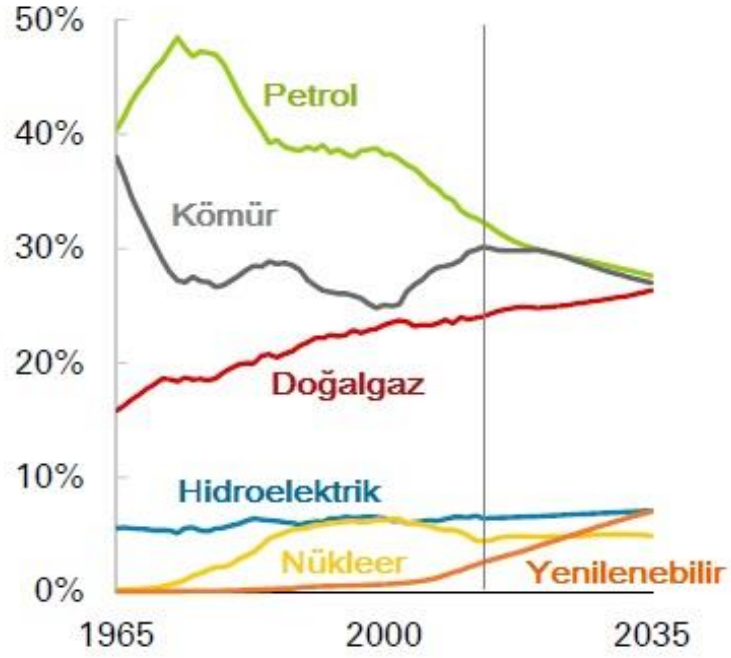
**Şekil 2.1** 2035 yılında Dünya’da ki birincil enerji talebi, Milyar tep (IEA 2013).

Şekil 2.2’de görölen Çin ve Hindistan liderliğinde artmaya devam edecek olan küresel enerji talebinin son 23 yılda %52 arttığı son 10 yılda ise %30 arttığı görölmekle birlikte, 2012-2035 yılları arasında %41 oranında artması beklenmektedir. Bu artışın yaklaşık % 27’sinin fosil yakıtlar olan petrol, kömür ve doğalgazdan sağlanacağı geriye kalan miktarın da nükleer, hidroelektrik ve yenilenebilir enerji kaynaklardan sağlanabileceği öngörölmektedir. Aşağıda verilen Şekil 2.3’de göröldüğü gibi elektrik enerji üretiminde

kömüre nazaran doğalgazdan enerji üretiminin ciddi oranda artacağı da düşünölmektedir (BP 2014).



Şekil 2.2 Milyar tpe cinsinden enerji tüketim artışı (BP 2014).



Şekil 2.3 Enerji kaynaklarının tüketim oranları değişimi (BP 2014).



Her ne kadar doğalgazda bir fosil yakıt olsa bile petrol ve kömüre oranla daha çevreci bir enerji kaynağıdır. ABD ve Avrupa ülkelerinde, çevresel atık problemlerinin halen daha çözülememiş olması nedeni ile eski teknolojilerle yeni santraller inşa edilmemektedir. Bu santrallerin devre dışı bırakılması için ekonomik ömürlerini tamamlamaları beklenmektedir. Gerek çevresel sorunların çözümlenebilmesi gerekse yeni teknolojilerle daha güvenli santrallerin inşa edilebilmesi için AR-GE çalışmaları sürdürülmektedir. Bu amaçla önümüzdeki yıllar içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talebin artmasına paralel olarak hidrojen ve toryum gibi yeni kaynaklara yönelik çalışmalar, enerji alanında köklü değişikliklere yol açacaktır (Pamir 2003).

Dünya enerji üretim ve tüketim değerleri arasındaki farkın artacağından yola çıkarak bunun için de bazı tedbirlerin alınması gerekmektedir. Bu farkın azaltılabilmesinin bir yolu tasarruf ile birlikte tüketilen enerjiyi azaltma yoluna gitmektir. Fakat devamlı büyüyen ekonomiler, sanayileşmesi artan ülkeler açısından çok mümkün olmadığı görülmektedir. Dolayısıyla üretilen enerjinin miktarının daha da artırılması gerekmektedir. Bu da enerji kaynakları olan fosil yakıtlar ile yenilenebilir enerji kaynaklarının daha da fazla kullanılması ile mümkün olabilir (Demirtaş 2008).

### **2.1.1 Konvansiyonel enerji kaynakları**

Günümüzde enerji temini büyük ölçüde halen daha petrol, doğalgaz, taş kömürü gibi fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Dünya'da enerji tüketiminin bu şekilde artarak devam etmesi halinde 2020 yılında fosil yakıt kaynaklarının yarısının tükenmiş olacağı tahmin edilmektedir (Ulu 2010). Bu yönü ile de bu kaynakların verimliliğinin artırılması veya en azından tüketiminin azaltılması önemlidir. Ayrıca petrol, kömür gibi fosil yakıtların yanması sonucunda da çevreye CO<sub>2</sub> salınımı oluşmaktadır. Uzun yıllardır yapılan ölçümler de 180-280 ppm arasında değişen CO<sub>2</sub> seviyesinin ise bu zamanda 360 ppm seviyelerine çıktığı görülmektedir (Ulu 2010).

Son yıllarda dünyada enerji tüketimini düşük karbon kaynaklarına doğru kaydırmak için yapılan çabalara rağmen, küresel birincil enerji arzında fosil yakıtların da bugünün payı

% 82'dir. Bu durum ise uluslararası enerji ajansı verilerine göre 25 yıl önce olduğu gibi aynen durumunu muhafaza etmektedir (WEO 2014).

### **2.1.2 Yenilenebilir enerji kaynakları**

Doğada sürekli olarak kendini yenileyen enerji kaynakları yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları denilince öncelikle güneş ve rüzgâr akla gelmektedir. Bunların yanında diğer yenilenebilir enerji kaynakları ise hidrolik, biyogaz, jeotermal, hidrojen ve dalga enerjileridir.

Ekonomik gelişme ile birlikte küresel ısınmanın etkilerinin azaltılarak yaşam kalitesinin gelecek nesiller açısından garanti altına alınabilmesi için enerji, çevre ve iklim dostu bir şekilde üretilmeli ve kullanılmalıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyetlerinin giderek azalması, verimliliklerinin de artmasıyla beraber gelen teknolojik yenilikler enerji üretimi ve sera gazı yayılımının azaltılmasında önemli bir faktördür (Siemens 2014).

Son birkaç yılda yenilenebilir enerji kaynakları, fark edilir bir biçimde önem kazanmış ve 2014 yılı ilk çeyrek verilerine göre sadece Almanya'da elektriğin %27'si bu şekilde elde edilmiştir.

Türkiye coğrafi konumu ve jeolojik yapısı nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin bir ülkedir. Bu kaynaklardan azami ölçüde yararlanmak hem enerji arz güvenliğine katkı sağlayacak hem de yeni istihdam alanlarının oluşumuna zemin hazırlayacaktır (ETKB Faaliyet 2013).

Devletin 2010-2014 dönemini kapsayan Strateji Planda temel hedefi yenilenebilir enerji kaynaklarını 2023 yılı itibariyle en az % 30 seviyesine çıkartmaktır. Bu hedefler ise; rüzgâr enerjisinde 10.000 MW kurulu kapasite, jeotermal enerjide 300 MW kurulu kapasite ve bunlara ek olarak 5.000 MW küçük hidroelektrik santrali kurulu kapasitesini sağlamaktır (ETKB 2010-2014 strateji planı).

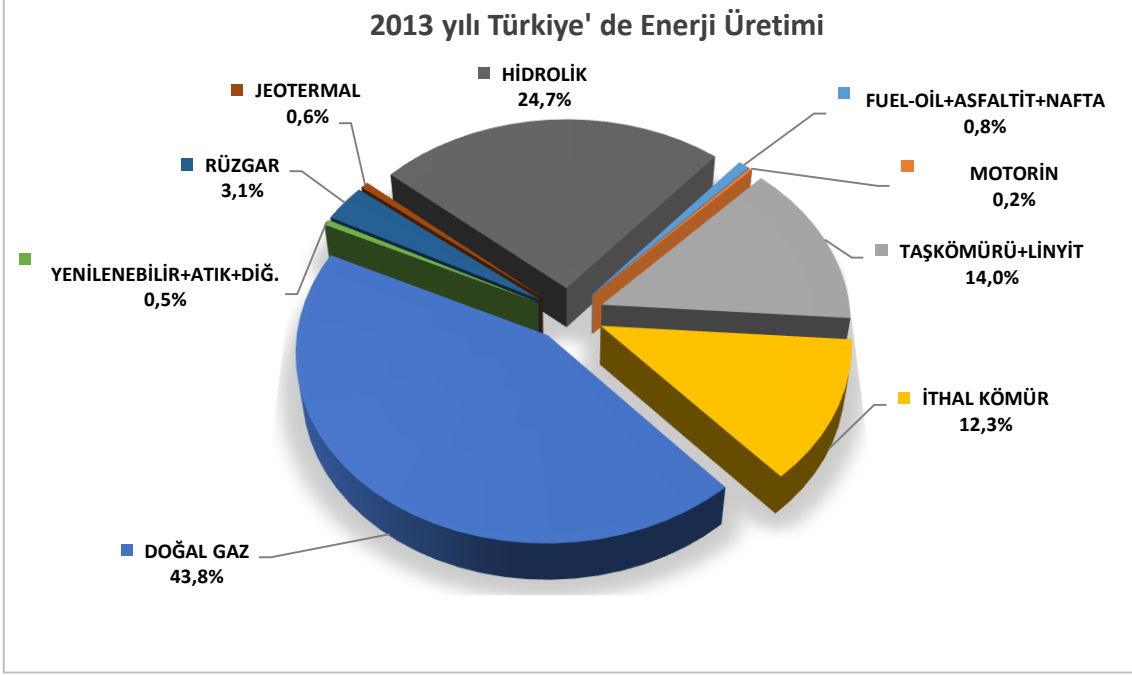
Türkiye ekonomisinin yüksek ve istikrarlı büyüyebilmesi için mümkün olan bütün yerli kaynakların enerji üretimi amacıyla değerlendirilmesi öncelikli bir husustur. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının hem birincil enerji arzı hem de elektrik enerjisi üretimi amacıyla değerlendirilmesi sürdürülebilir kalkınmanın temini açısından önem taşımaktadır (TCKB 2013).

### **2.1.3 Türkiye’de enerjinin durumu**

Ülkemizde de dünyada olduğu gibi fosil yakıtlar olan petrol, kömür, linyit ve doğalgaz gibi kaynaklar halen daha temel enerji ihtiyacını karşılamaktadırlar. Özellikle petrol ve doğalgaz gibi kaynaklar açısından fakir olan ülkemizde bu durum dış ticaret açığında önemli bir rol oynamaktadır.

2011 yılında % 45 ve 2012 yılında ise %62 olan dış ticaret açığı maalesef enerji ithalatından kaynaklanmıştır. Hızla artmakta olan enerji talebinin karşılanabilmesi için ise petrol, doğal gaz ve taşkömürü ithalatı devamlı olarak bir artış göstermektedir. Bu durum ise enerjide yüksek oranlı dışa bağımlılığın artmasına neden olmakta, enerji arz güvenliği ve cari işlemler dengesi üzerinde baskı oluşturmaktadır (TCKB 2013).

Aşağıdaki Şekil 2.4’de 2013 yılında gerçekleştirilen elektrik enerjisi üretim oranları gösterilmektedir. Buna göre 2013 yılı için toplam tüketilen enerjinin % 43,8’i doğal gazdan, %24,7’si hidroelektrikten, %14’ü taş kömürü ve linyitten, %12,3’ü ithal kömürden, %3,1’i rüzgârdan, %0,6’sı jeotermalden, %0,5’i yenilenebilir kaynaklardan, %0,8’si fueloil, asfaltit ile naftadan ve %0,2’si de motorinden elde edilmiştir (TEİAŞ 2014).



**Şekil 2.4** 2013 yılı ham enerji kaynaklarına göre elektrik enerjisi üretim oranları.

Türkiye Elektrik İletim A.Ş. tarafından 2013 yılı elektrik enerjisi üretim-tüketim programı hazırlanırken tüketimin yaklaşık % 5,5 artış ile 255 milyar kWh olacağı tahmin edilmiştir. Ancak gerçekleşen elektrik enerjisi tüketimi bir önceki yıla göre % 1,6 artış ile 246,4 milyar kWh olmuştur. Bu tüketimi karşılamak için 171,8 milyar kWh termik, 59,4 milyar kWh hidroelektrik, 7,6 milyar kWh rüzgâr ve 1,4 milyar kWh jeotermal kaynaklarından üretim yapılmıştır (TEİAŞ 2014).

Enerji alışverişine bakacak olursak İran'dan 2.405,0 milyon kWh, Gürcistan'dan 3,3 milyon kWh, Nahçıvan'dan 276,4 milyon kWh ve Hamitabat-Maritsa-3'den 4.571,2 milyon kWh, Babaeski-Neosanta'dan 173,2 milyon kWh olmak üzere toplam 7.429,4 milyon kWh elektrik enerjisi ithal edilmiştir. Buna mukabil Gürcistan'a 0,1 milyon kWh, Nahçıvan'a 0,2 milyon kWh, Irak'a 421,6 milyon kWh, Hamitabat-Maritsa-3'e 0,2 milyon kWh ve Babaeski-Neosanta'ya da 804,7 milyon kWh olmak üzere toplam 1.226,7 milyon kWh elektrik enerjisi ihraç edilmiştir ( TEİAŞ 2014).

**Çizelge 2.1** 2012-2013 yılları üretim programlanan ve gerçekleşen enerji üretimi (TEİAŞ 2014).

<i>KURULUŞLAR</i>		<i>2012 YILI ÜRETİM (GWh)</i>	<i>PROGRAMLANAN 2013 YILI ÜRETİMİ (GWh)</i>	<i>GERÇEKLEŞEN 2013 YILI ÜRETİMİ (GWh)</i>
EÜAŞ SANTRALLARI	TERMİK	32.112,4	39.175,5	28.274,4
	HİDROLİK	38.311,1	38.374,6	37.881,7
	<b>TOPLAM</b>	<b>70.423,5</b>	<b>77.550,1</b>	<b>66.156,1</b>
EÜAŞ'A BAĞLI ORT. SANT. İŞLETME HAKKI DEVİR SANTRALLERİ	TERMİK	20.151,5	18.466,2	13.961,7
	TERMİK	4.343,9	4.235,4	4.364,6
	HİDROLİK	564,1	211,7	692,8
	JEOTERMAL	115,3	0,0	103,7
	<b>TOPLAM</b>	<b>5.023,3</b>	<b>4.447,1</b>	<b>5.161,1</b>
YAP İŞLET SANTRALLARI YAP İŞLET DEVRET SANT.	TERMİK	43.083,1	48.458,7	44.243,3
	TERMİK	10.355,1	11.200,9	10.253,9
	HİDROLİK	3.610,5	3.116,7	3.181,7
	RÜZGÂR	47,9	57,6	46,0
	<b>TOPLAM</b>	<b>14.013,5</b>	<b>14.375,2</b>	<b>13.481,6</b>
SERBEST ÜRETİM ŞİRKETLERİ	TERMİK	53.231,8	79.931,3	58.723,7
	HİDROLİK	13.721,3	21.773,5	16.588,0
	RÜZGÂR	5.810,5	7.484,9	7.507,1
	JEOTERMAL	784,1	999,5	1.259,8
	<b>TOPLAM</b>	<b>73.547,6</b>	<b>110.189,2</b>	<b>84.078,6</b>
OTOPRODÜKTÖR SANT.	TERMİK	11.593,7	14.752,6	11.990,9
	HİDROLİK	1.657,9	1.120,4	1.076,2
	RÜZGÂR	2,5	2,4	4,4
	<b>TOPLAM</b>	<b>13.254,2</b>	<b>15.875,4</b>	<b>13.071,5</b>
TÜRKİYE ÜRETİMİ	TERMİK	174.871,7	216.220,6	171.812,5
	HİDROLİK	57.865,0	64.597,0	59.420,5
	RÜZGÂR	5.860,8	7.544,9	7.557,5
	JEOTERMAL	899,3	999,5	1.363,5
	<b>TOPLAM</b>	<b>239.496,8</b>	<b>289.361,9</b>	<b>240.154,0</b>
DIŞ ALIM		5.826,7	6.388,8	7.429,4
TOPLAM TÜKETİME SUNULAN		<b>245.323,5</b>	<b>295.750,7</b>	<b>247.583,4</b>
DIŞ SATIM		2.953,6	3.642,2	1.226,7
TÜRKİYE TÜKETİM TOPLAMI		<b>242.369,9</b>	<b>292.108,5</b>	<b>246.356,6</b>

Çizelge 2.1’den de görüleceği üzere Türkiye’nin toplam enerji ihtiyacını inceleyecek olursak, 2013 yılında tüketilen elektrik enerjisinin 240.154,0 GWh’ı Türkiye elektrik santrallerinden üretilerek, 7.429,4 GWh’ı ise yurt dışı alım ile karşılanmıştır. 1.226,7 GWh’lık enerji ise yurt dışına satılmıştır.

**Çizelge 2.2** 1993-2013 yılları arası elektrik enerjisi elde edilen ham enerji kaynaklarına göre üretim-tüketim değerleri ve dış alım satım oranları (TEİAŞ 2014).

Yıllar	Termik Üretim (GWh)	Hidrolik Üretim (GWh)	Jeotermal Üretim (GWh)	Rüzgâr Üretim (GWh)	Türkiye Üretimi (GWh)	Üretim Artışı (%)	Dış Alım (GWh)	Dış Satım (GWh)	Türkiye Üretimi (GWh)	Tüketim Artışı (%)	Kurulu Güç (MW)
1993	39856,6	33950,9			73807,5	9,6	212,9	588,7	73431,7	9,2	20335,1
1994	47735,9	30585,8			78321,7	6,1	31,4	570,1	77783,0	5,9	20857,3
1995	50706,4	35541,0			86247,4	10,1	0,0	695,8	85551,6	10,0	20951,8
1996	54386,4	40475,2			94861,6	10,0	270,1	343,1	94788,6	10,8	21246,9
1997	63479,7	39816,1			103295,8	8,9	2492,3	271,0	105517,1	11,3	21889,4
1998	68787,9	42229,0		5,5	111022,4	7,5	3298,5	298,2	114022,7	8,1	23351,5
1999	81741,9	34677,5		20,5	116439,9	4,9	2330,3	285,3	118484,9	3,9	26116,8
2000	94014,2	30878,5		33,4	124926,1	7,3	3791,3	437,3	128280,0	8,3	27264,1
2001	98652,5	24009,9		62,3	122724,7	-1,8	4579,4	432,8	126871,3	-1,1	28332,4
2002	95667,8	33683,6		48,1	129399,5	5,4	3588,2	435,1	132552,7	4,5	31845,8
2003	105189,6	35329,5		61,4	140580,5	8,6	1158,1	587,6	141150,9	6,5	35587,0
2004	104556,9	46083,7		57,7	150698,3	7,2	463,5	1144,3	150017,5	6,3	36824,0
2005	122336,7	39560,5		59,0	161956,2	7,5	635,9	1798,1	160794,0	7,2	38819,9
2006	131929,1	44244,2		126,5	176299,8	8,9	573,2	2235,7	174637,4	8,6	40501,8
2007	155352,2	35850,8		355,1	191558,1	8,7	864,3	2422,2	190000,3	8,8	40835,7
2008	164301,6	33269,8		846,5	198418,0	3,6	789,4	1122,2	198085,2	4,3	41817,2
2009	156923,5	35958,4	435,7	1495,4	194812,9	-1,8	812,0	1545,8	194079,1	-2,0	44761,2
2010	155827,6	51795,5	668,2	2916,4	211207,7	8,4	1143,8	1917,6	210434,0	8,4	49524,1
2011	171638,3	52338,6	694,4	4723,9	229395,1	8,6	4555,8	3644,6	230306,3	9,4	52911,1
2012	174871,7	57865,0	899,3	5860,8	239496,8	4,4	5826,7	2953,6	242369,9	5,2	57059,4
2013	171812,5	59420,5	1363,5	7557,5	240154,0	0,3	7429,4	1226,7	246356,6	1,6	64007,5

## **2.2 Hibrit Güç Enerji Sistemleri ve Bileşenleri**

Hibrit güç üretim sistemleri farklı enerji sistemlerinin bir araya gelerek oluşturduğu elektrik enerjisi üretim yöntemidir ve çoğunlukla da yenilenebilir enerji sistemlerinde kullanılırlar (Mohammed 2014). Hibrit enerji üretim sistemleri rüzgâr, hidrojen, güneş, biyogaz vb. yenilenebilir enerji kaynaklarının bir arada kullanıldığı sistemlerdir (Çetin 2010). Hibrit enerji üretim sistemlerinden rüzgâr, güneş gibi kontrolsüz kaynaklardan beslenen tüketicinin elektrik enerjisi ihtiyacının sürekli sağlanması gerekmektedir. Güneş ve rüzgâr enerjisi santralleri kontrolsüz kaynaklardır. Bu nedenle bu kaynaklardan beslenen tüketicilerde enerjide süreklilik için çeşitli önlemler alınmalıdır. Bunun için ya enerjinin depolanması ya da kaynaklardan birinin kontrollü bir güç kaynağı olması gerekmektedir (Paska 2009).

Hibrit enerji sistemleri elektrik dağıtım şebekesi ile paralel çalışabilecek şekilde tasarlanabileceği gibi tamamen şebekeden bağımsız olarak çalışacak şekilde de tasarlanabilirler. Son yıllarda bu alanda yapılan araştırmalar ve çalışmalar artmıştır. Günümüzde araştırmacılar gerekli gücü temin etmek için hibrit enerji sistemlerinin tüm yükü karşılama olasılığını araştırmaktadırlar (Ranjbar 2015). Örneğin Demirören ve arkadaşları Gökçeada'nın tüm elektrik ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması ile ilgili olarak bir çalışma yapmışlardır.

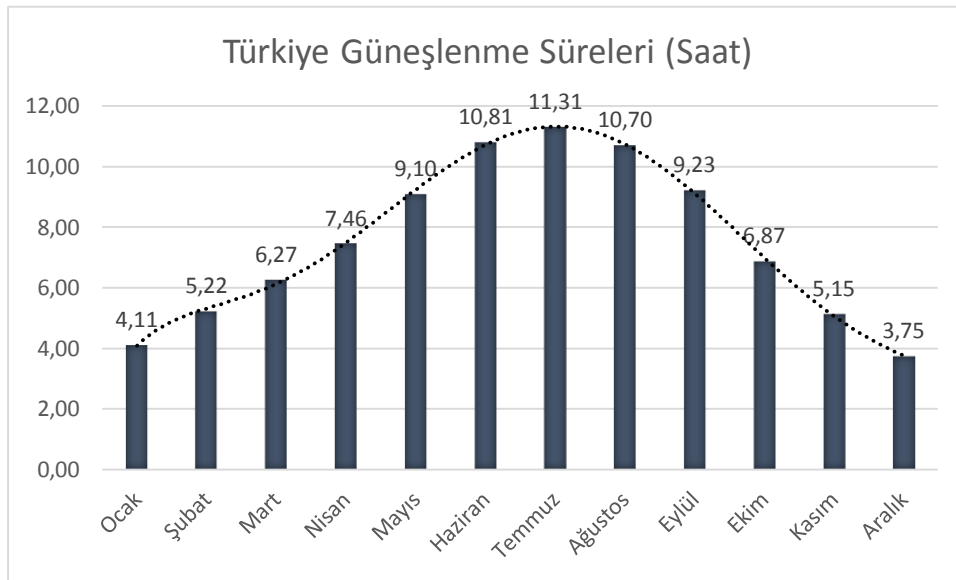
### **2.2.1 Güneş enerjisi**

Güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şekli ile ortaya çıkan ışıınım enerjisidir. Güneş ışıınının şiddeti, dünya atmosferinin dışında yaklaşık olarak 1370 W/m<sup>2</sup> değerindedir. Ancak atmosferden dolayı bu enerji dünya yüzeyinde 0-1100 W/m<sup>2</sup> değerleri arasında değişim göstermektedir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümünün tam olarak kullanılabilceği varsayılacak olursa dünyanın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazla olduğu görülür (Çakır 2010).

Güneş enerjisi ile ilgili çalışmalar son yıllarda teknolojik olarak ilerleme kaydetmiş ve maliyet bakımından düşme göstermiştir. Netice itibariyle güneş enerjisi çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir.

Ülkemizde coğrafi konumu itibariyle birçok ülkeye göre güneş enerjisi potansiyeli açısından çok iyi durumdadır. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü ülkemizin güneş enerjisi potansiyelini belirleyebilmek için Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ısınım şiddeti verilerini değerlendirmiştir. Bu yapılan çalışmayla, Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama yıllık ısınım şiddeti 1.311 kWh/m<sup>2</sup> (3,6 kWh/m<sup>2</sup>-gün) olduğu tespit edilmiştir (Dinçer 2011).

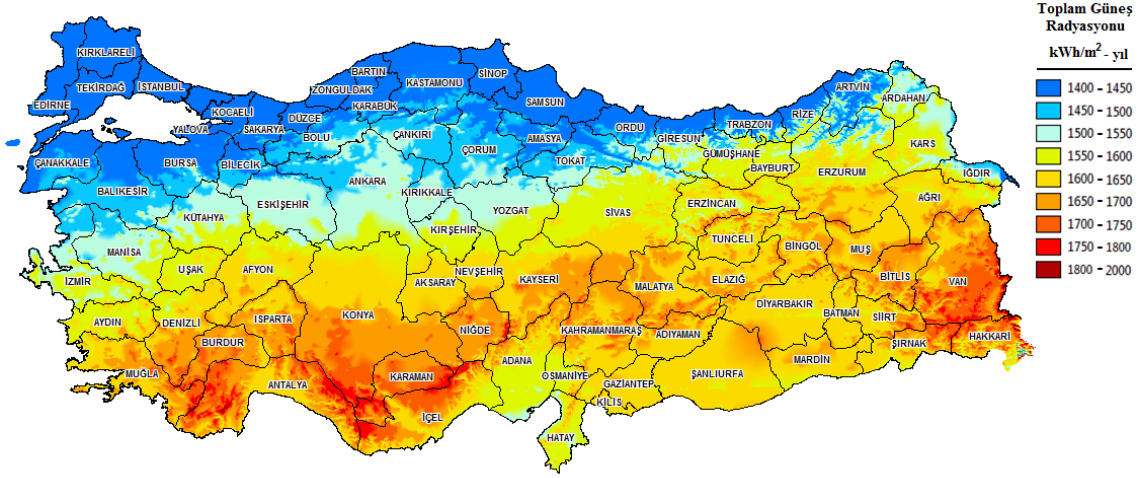
Şekil 2.5'de Türkiye'nin ay içerisindeki bir günlük toplam güneşlenme süreleri verilmiş olup, yaklaşık olarak ülkemizin 110-115 gün gibi yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahip olduğu görülmektedir (İnt.Kyn.1). Gerekli yatırımların yapılması halinde Türkiye'de yılda birim m<sup>2</sup>'sinden ortalama olarak 1.100 kWh'lik güneş enerjisi üretebilir (Demirkol ve Çunkaş 2014).



Şekil 2.5 Aylar itibariyle Türkiye'nin günlük güneşlenme süreleri (YEGM 2014).

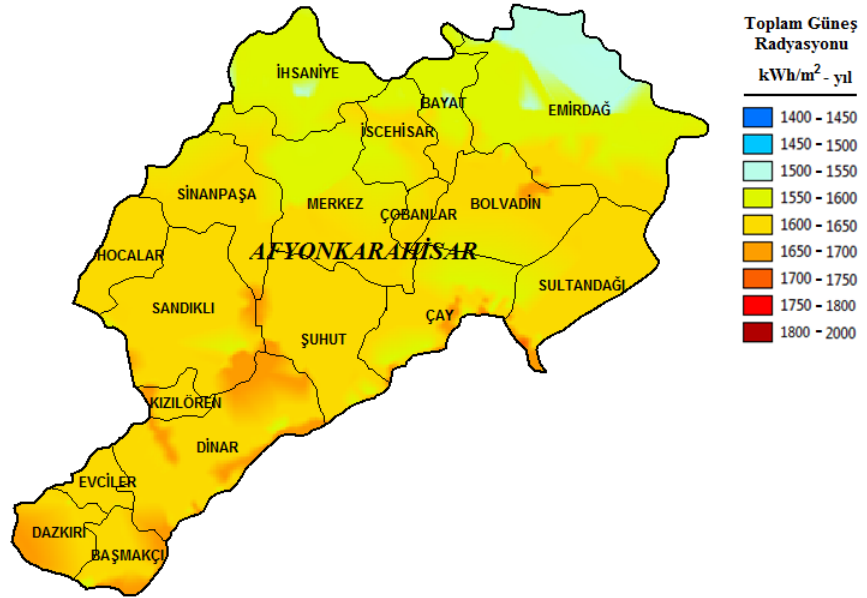


Aşağıdaki Şekil 2.6’da ise Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyel atlası görülmektedir.

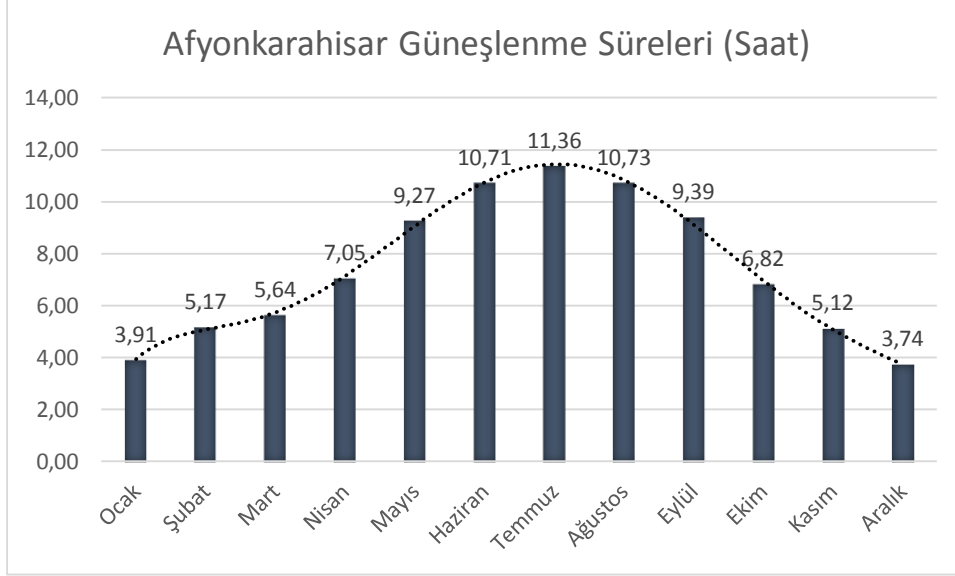


Şekil 2.6 Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası (YEGM 2014).

Bu tez çalışmasında Afyonkarahisar ilinin güneş enerjisinin potansiyelini gösteren atlas Şekil 2.7’de, aylar itibariyle güneşlenme sürelerini ise Şekil 2.8’de görülmektedir.



Şekil 2.7 Afyonkarahisar ili güneş enerjisi potansiyel atlası (YEGM 2014).



Şekil 2.8 Afyonkarahisar aylar itibariyle güneşlenme süreleri (YEGM 2014).

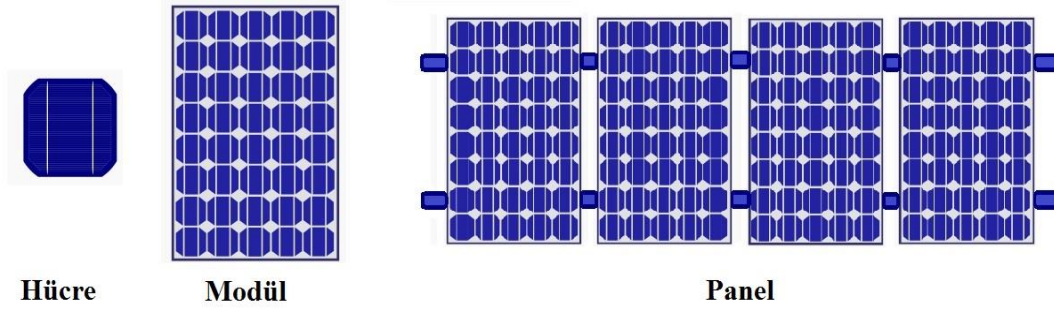
Güneş ışınlarından yararlanmak için çok çeşitli teknolojiler vardır. Güneş enerjisi teknolojileri kullanılan malzeme, yöntem ve gelinen düzey açısından çok çeşitlilik göstermekle birlikte temelde ısı ve ışık etkisinden faydalanma açısından iki ana gruba ayrılabilirler. Fotovoltaik güneş teknolojisi, yarı iletken malzemelerin güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çevirmesidir. Isıl güneş teknolojileri ise öncelikle güneş enerjisinde ısı elde edilmesini daha sonra da bunun doğrudan veya dolaylı olarak elektrik enerjisi üretimi gibi çeşitli amaçlarla kullanılmasını amaçlar.

Şimdi güneş enerjisinden doğrudan elektrik enerjisi üretmek için kullanılan fotovoltaik piller olarak adlandırılan güneş panellerini inceleyelim.

### 2.2.1.1 Fotovoltaik piller

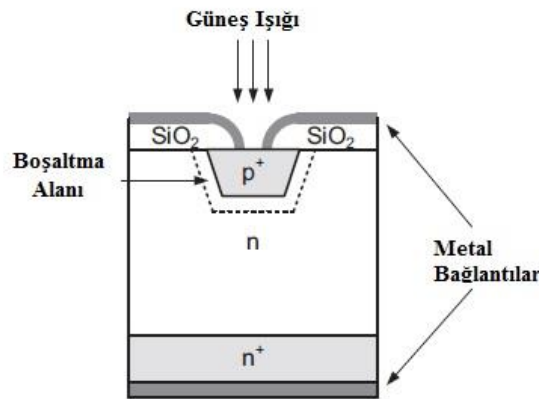
Fotovoltaik piller yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken malzemedan yapılmış ürünlerdir (Özsoy 2011). Fotovoltaik hücreler, güneş spektrumunda mevcut güneş radyasyonunu % 80'e kadar emebilirler. Bununla birlikte soğurulan enerjinin sadece belirli bir yüzdesi fotovoltaik hücre teknolojisinin verimliliğine bağlı olarak elektrik enerjisine dönüştürülebilir (Makki 2015). Bir fotovoltaik panelin yüzeyine gelen enerji panel yapısına bağlı olarak %10-%30 arasındaki bir verimle elektrik enerjisine dönüştürülebilir (Yanıktepe *et al.* 2011).

Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş hücresi birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilirler. Bu yapıya güneş hücresi modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir (Şekil 2.9). Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanabilirler. Böylece birkaç watt güçlerinden çok büyük MW güç seviyelerine kadar sistemler oluşturulabilir. Elektrik enerjisine dönüştürülemeyen yüksek sıcaklıklara neden olan ısı ise hücre yüzeyi üzerinden kaybolur. Bu durum fotovoltaik hücrelerin performansını etkileyen ciddi bir problem olarak ortaya çıkmakla birlikte hücrelerin yaşam süresini kısaltan en kritik sorunlardan biri olarak kabul edilir (Makki 2015).



Şekil 2.9 Güneş hücresi, modülü ve paneli.

Aşağıdaki Şekil 2.10'da tipik bir fotovoltaik pilin yapısı gösterilmiştir.

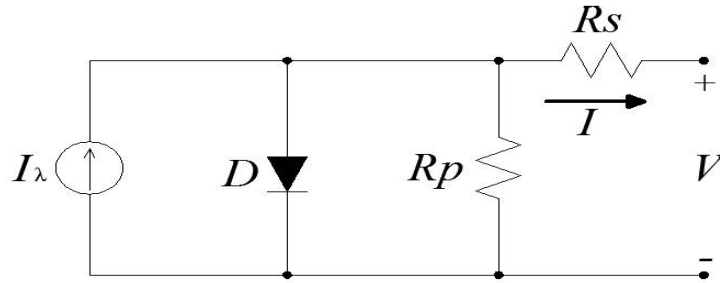


Şekil 2.10 Tipik bir güneş hücresinin görünümü.

Fotovoltaik pillerinin yapısını daha iyi anlamak ve karakteristiklerini incelemek için elektriksel özellikleri bilinen elektronik elemanlardan oluşan bir eşdeğer devreye ihtiyaç

duyulmaktadır. Fotovoltaik piller için basit ve gelişmiş olmak üzere çeşitli eşdeğer devre modellerine literatürde yer verilmektedir. Gerçekte fotovoltaik piller ideal malzemelerden elde edilmiş kayıpsız elemanlar olmayıp, yapıları itibariyle kayıplı elemanlardır. Bu nedenle, kayıplar direnç ile gösterilmektedir (Bayrak 2012).

Aşağıda Şekil 2.11’de bir fotovoltaik hücrenin elektriksel eşdeğer devresi gösterilmiştir. Görüldüğü üzere ideal model akım ürettiği için bir akım kaynağı ve p-n ekleminden oluştuğu için de bir diyot içermektedir (Fisac 2014). Eşdeğer modelden görüldüğü üzere bir fotovoltaik panel tarafından üretilen elektrik enerjisinin hesabında eşitlik (2.1) kullanılmaktadır.



**Şekil 2.11** İdeal güneş pili eşdeğer devresi.

Şekilde, akım kaynağı  $I_\lambda$  fotonlar tarafından üretilen akımı göstermektedir ve sabit ışınım ve sıcaklık altında değeri sabittir. Paralel  $R_p$  direnci sızıntı akımını, seri  $R_s$  direnci ise çıkıştaki gerilim düşümünü temsil etmektedir. Fotovoltaik dönüşümün verimliliği,  $R_s$  direncindeki küçük değişimlere duyarlıdır. Ancak  $R_p$  direncindeki değişikliklere duyarlı değildir.  $R_s$  direncinde meydana gelecek küçük bir artış, fotovoltaik modül çıkışını önemli ölçüde azaltır (Bayrak 2012).

$$I = I_\lambda - I_s \left( \exp \frac{V + R_s I}{n \cdot V_t} - 1 \right) - \frac{V + R_s I}{R_p} \quad (2.1)$$

Burada;

$$I = \text{Fotovoltaik pil çıkış akımı (A)}$$

- $I_L$  = Fotovoltaik hücre akımı (A)
- $I_D$  = Diyot ters doyma akımı (A)
- $V$  = Fotovoltaik pil çıkış gerilimi (V)
- $A$  = Diyot kalite faktörü (V)
- $R_s$  = Eşdeğer devre seri direnci (  $\Omega$  )
- $R_{SH}$  = Eşdeğer devre paralel direnci (  $\Omega$  )
- $e$  = Elektron yükü (  $1,60 \times 10^{-19} C$  )
- $k$  = Boltzmann sabiti (  $1,38 \times 10^{-23} J/^{\circ}K$  )
- $T$  = Çalışma sıcaklığı (  $^{\circ}K$  )

Fotovoltaik pilin verdiği akım, yüzeyine gelen güneş ışınım şiddetine ve yüzey sıcaklığına bağlı olarak değişir. Bir fotovoltaik pilin yüzeyine gelen güneş ışınım şiddeti arttığında, pil akımı ve gücü doğrusal olarak artar. Güneş pilinin yüzey sıcaklığı arttığında ise pil akımı az miktarda artar ve gerilim büyük ölçüde düşer.

Güneş paneli üretici firmaları ürettikleri panellere ait karakteristik bilgileri içeren  $I$ - $V$  eğrilerini, ya sabit ışınım şiddeti altında değişik sıcaklıklarda ya da sabit sıcaklıkta değişik ışınım şiddetlerini gösteren şekilde tüketiciye verirler.

### **2.2.1.2 Fotovoltaik pil çeşitleri**

Fotovoltaik piller birçok farklı hammaddeden üretilebilmektedir. Günümüzde en çok kullanılan yarı iletkenler; Amorf Silisyum, Kristal Silisyum, Kadmiyum Tellürid, Galyum Arsenit ve Bakır İndiyum Diseleneid'tir (Alaçakır 2001). Kullanılan yarı iletken malzemelerin farklı olmasının yanı sıra üretim teknikleri açısından da fotovoltaik piller çeşitlilik göstermektedir. Üretim aşamasında silisyum elementi hem teknolojik üstünlük hem de ekonomik şartlardan dolayı en çok tercih malzeme konumundadır.

Üretim teknikleri bakımından ise gerek silisyum gerekse diğer yarı iletken malzemeler ile ilgili çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Pratikte kullanılan bazı fotovoltaik pil türlerini kısaca inceleyelim.

*Kristal Silisyum Fotovoltaik Piller:* Güneş ışınlarını absorbe etme oranlarının düşük olmasına rağmen verimleri %12-%20 arasında olması üreticiler için caziptir. Üretici firmaların tercih ettiği seçenektir, pazar payının %93'nü oluştururlar, genel olarak 25 yıllık garanti ömrü sunulmaktadır, Wafer denen ince silikon dilimlerin kalınlıkları 0,17 mm'ye kadar düşürülmüştür. Monokristal (c-Si veya SIN) ve Polikristal (mc-Si) olarak ikiye ayrılabilirler (İnt.Kyn.2).

*Monokristal Silisyum Fotovoltaik Piller:* Monokristal silisyum fotovoltaik pillerinde malzemenin atomik yapısı homojendir. Monokristal fotovoltaik pillerinin üretimleri teknik açısından daha zor olduğundan ve daha çok zaman aldığından dolayı bu tip fotovoltaik pillerin fiyatları diğerlerine göre daha yüksektir. Verimleri %15-%18 arasında olmakla birlikte laboratuvar ortamında %27'lik bir verime ulaşılmıştır. Uzun süreli kullanımlar için düşünüldüğünde monokristal fotovoltaik piller dayanıklılık ve verim açısından daha iyi bir seçenek olarak gözükmektedir (Kıyançipek 2013). Maliyetini geri ödeme süresi güneşlenme sürelerine göre değişmekle birlikte ortalama 6-10 yıl arasındadır.

*Polikristal Silisyum Fotovoltaik Piller:* Polikristal fotovoltaik piller yapı olarak birçok monokristal silisyum fotovoltaik pillerin bir araya gelmesinden oluşurlar. Kristal yapıları tam olarak homojen değildirler. Monokristal yapılara göre daha kolay üretildikleri için maliyetleri de azdır. Ancak polikristal fotovoltaik pillerinin verimlilik kapasiteleri yaklaşık %14 olup monokristal fotovoltaik pillere göre daha düşük, ince film fotovoltaik pillere göre ise daha yüksektir (Sayın 2011). Verimlilik maliyet oranının monokristal fotovoltaik pillere nazaran daha avantajlı olduğu için en çok üretilen güneş pilleridir.

*İnce Film Fotovoltaik Piller:* Yarı iletken malzemelerin cam, paslanmaz çelik veya plastikten yapılmış yüzeylerine ince film tabakasının kaplanması ile elde edilen pillerdir. Kullanılan malzemenin ve işçiliğin azaltılması, teknolojinin basitleştirilerek

maliyetlerinin düşürülmesi amacıyla yapılan AR-GE çalışmaları neticesinde yarı iletken malzemenin üzerinin ince film şeklinde kaplanması yöntemi ile ortaya çıkmıştır (Oğuz 2012).

Işığın absorbe oranı yüksek olan bu hücreler, düşük verimlilikleri nedeni ile pazar payının sadece %7'ni oluştururlar. 1-4  $\mu\text{m}$  arasında oldukça ince yapıda ki bu panellerin verimlilikleri %7 ile %14 arasındadır (İnt. Kyn.2).

İnce film fotovoltaik piller içerisinde en çok bilinenleri Amorf Silisyum (a-Si), Kadmiyum Tellür (CdTe) ve Bakır İndiyum Galyum Diselenyum (CIGS)'dur.

Amorf Silisyum ince film fotovoltaik pillerin verimleri %8-%10 arasında olmakla birlikte teorik olarak amorf silisyum fotovoltaik piller %27'lik bir verime sahiptirler. Maliyetini geri ödeme süresi 1,5-3,5 yıl arasındadır. Zaman içerisinde %21'lere yakın verim kaybı oluşmaktadır. Üretim için yüksek maliyetli donanımlar gerektirmektedir fakat üretim süreci ucuz olduğu için firmalar bu hücre tipine de yönelmektedirler. Düşük enerji ihtiyacı olan yerlerde daha çok tercih edilmektedir. Kristal yapı özelliği göstermeyen bu piller günümüzde daha çok küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılmaktadırlar. İlerleyen dönemlerde amorf silisyum güneş pillerinin bir başka önemli uygulaması olarak binalara entegre yarı saydam cam yüzeyler, bina dış koruyucusu ve enerji üretici olarak kullanılacakları tahmin edilmektedir (Oğuz 2012).

Kadmiyum tellür ince film fotovoltaik pilleri Kadmiyum elementi ile Tellür elementinin bir araya gelmesiyle oluşan pillerdir. Kadmiyum Tellür'ün oda sıcaklığında yasak enerji aralığı  $E_g = 1,5 \text{ eV}$ 'dur. Bu değer güneş spektrumundan maksimum dönüşümü elde etmek için gerekli olan değere oldukça yakındır. Bu piller  $\text{cm}^2$ 'de %17'lik,  $8390 \text{ cm}^2$ 'de %11'lik bir verime ulaşılmıştır. Yüksek soğurma katsayısına sahiptirler. İnce film büyüme teknolojisinin ile üretime olanak tanınması, geniş yüzey alanlı fotovoltaik pil üretiminde CdTe birleşik yarı iletkeninin öne çıkmasını sağlamıştır. Üretim maliyetleri düşüktür. California'da elektroliz yardımı ile hidrojen üretimi için 25 kW'lık iki panel kurulmuştur. Sadece rijit cam ile kullanılabilirler (İnt.Kyn.2, İnt.Kyn.3).

Bakır İndiyum Galyum Diselenyum ince film fotovoltaiik pillerinin hammaddeleri olan yarı iletkenlerin soğurma katsayıları oldukça yüksektirler. Güneşin spektrumu ile ideal bir şekilde çalışabilecekleri biçimde üretilebilirler. CIGS pillerinin verimleri %11-%14 arasındadır. Cam veya esnek yüzey ile kullanılabilirler. Artmakta olan bir pazar payına sahiptir. Pahalı üretim süreci ile birlikte geniş alan gereksinimi bulunmaktadır.

Bu fotovoltaiik pillerin haricinde üçüncü nesil olarak adlandırılan AR-GE çalışmaları devam eden bazı teknolojilerde vardır. Bu fotovoltaiik pil teknolojilerinde henüz sonuca tam olarak ulaşılmış değildir. Ancak yüksek verimden dolayı üretime başlanması halinde enerji konusunda büyük bir adım olacaklardır. Bu teknolojiler; Supertandem Cells, teorik olarak %86,8 verime sahip olan bu hücre tipi için 1 cm<sup>2</sup>'de ulaşılmış olan değer %35,4'tür. Intermediate Band Solar Cells, teoride %63,2'lik verimleri vardır ama ulaşılmış bir değer henüz yoktur. Hot Carrier Cells, üretim sorunları çözülmemiş olan bu piller, üretilebildiği takdirde supertandem hücresine yakın bir verim elde edilecektir (İnt.Kyn.2).

### **2.2.2 Rüzgâr enerjisi**

Rüzgâr enerjisi rüzgârı oluşturan hareket halindeki havanın kinetik enerjisidir. Rüzgâr gücünden ilk yararlanma şekli olarak yelkenli gemiler ve yel değirmenleri gösterilebilir. Daha sonraları ise tahıl öğütme, su pompalama, ağaç kesme işleri için de rüzgâr gücünden yararlanılmıştır. Günümüzde daha çok elektrik enerjisi üretmek amacıyla kullanılmaktadır (Elibüyük 2014).

Rüzgâr enerjisi ile oluşan basınç ve sıcaklık farkını elektrik enerjisine dönüştüren sistemin tamamına rüzgâr türbini denir. Rüzgârın kinetik enerjisi önce rotorda mekanik enerjiye, rotor milinin devir hareketi hızlandırılarak gövdedeki jeneratöre aktarılarak da elektrik enerjisine dönüştürülür.

Rüzgâr enerjisi santralleri hammaddesi dünyanın kendi yaşam döngüsü içinde var olan rüzgârın kullanıldığı sistemlerdir. Doğal bir kaynak olması nedeniyle dışa bağımlı, doğaya ve insan sağlığına olumsuz etkileri olmayan ve kurulum alanları olarak az yer gerektiren tesislerdir. Ayrıca atmosferde bol ve serbest olarak bulunan yenilenebilir ve



temiz bir enerji kaynağı, çevre dostudur. Bununla beraber kaynağı güvenilirdir, tükenme ve zamanla fiyatının artma riski yoktur. Maliyeti günümüz güç santralleriyle rekabet edebilecek düzeye gelmiştir. Verimlilikleri açısından değerlendirecek olursak bakım ve işletme maliyetleri düşük olan bu sistemler aynı zamanda iş gücü piyasasına da istihdam katkısı sağlarlar. Teknolojik gelişmelerle birlikte amortisman süreleri de düşmüştür. Geleneksel güç santrallerinin aksine, işletmeye alınmaları kısa bir sürede gerçekleştirilebilir.

Enerji güvenliği açısından uzun dönemli yakıt fiyatı risklerini eleyen ve yakıt maliyeti gerektirmeyen bir enerji kaynağıdır. Ayrıca ekonomik, politik ve tedarik riskleri açısından diğer ülkelere bağımlılığı azaltan yerli ve her zaman kullanılabilir bir kaynaktır (Oğuz 2012). Ancak rüzgâr enerjisi uygulamalarının ilk yatırım maliyetinin yüksek, kapasite faktörlerinin düşük oluşu, gürültü kirliliği ve değişken enerji üretimi gibi dezavantajları da söz konusudur.

Dünya’da artık rüzgâr enerjisi sağlam bir konuma gelmiştir. Elektrik enerjisinin temininde ana üretim kaynaklarından biridir. En dikkat çekici husus ise dünya üzerinde hızla artan rüzgâr türbini sayılarıdır. Özellikle yeni nesil sistemlerle az maliyetli kurulumlar sağlanabilmektedir. Şu anda 90'dan fazla ülkede rüzgâr enerjisi tesisleri vardır. 2013 yılı sonunda dünyada toplam 318 GW toplam kurulu güce sahip olan rüzgâr enerjisi yaklaşık dünya enerji ihtiyacının %3’ünü sağlamaktadır (GWEC 2014).

Dünya üzerinde rüzgâr enerjisi sektörü son dört yıldır OECD ülkelerindeki düşük ve negatif büyüme ile beraber gelen ekonomik krize rağmen başarılı denilebilecek bir büyüme grafiği çizmiştir. Amerika pazarının 2014 ve 2015 yılları için gerilemesi durumu söz konusu iken Çin 2013 yılında rüzgâr enerji potansiyelinde %25 oranında bir büyüme sağlamıştır. Ayrıca Hindistan pazarının da etkileyici bir şekilde büyüme göstereceği tahmin edilmektedir (GWEC 2014).

Rüzgâr enerjisi bakımından en dikkat çekici ülkeler ise Brezilya, Meksika ve Güney Afrika'dır. 2013 yılı sonu itibariyle 3,4 GW'dan fazla bir kurulu güce sahip olan Brezilya'nın 2014 yılı Ağustos sonu itibariyle 5GW'lık bir kurulu güce yaklaştığı

görülmektedir. Aynı şekilde Meksika'nın önümüzdeki 10 yıl için her yıl 2GW'lık bir büyüme göstermesi tahmin edilmektedir. Güney Afrika'nın da büyüme eğilimine gireceği düşünülmektedir.

Avrupa'ya bakacak olursak 2013 yılı içinde Almanya (3238 MW) ve İngiltere'den (1883 MW) sonra sırasıyla Polonya (894 MW), İsveç (724 MW), Romanya (695 MW), Danimarka (657 MW), Türkiye (646 MW) ve Fransa (631 MW) rüzgâr enerjisine yatırım yapmışlardır. Bu ülkeleri ise sırasıyla İtalya (444 MW), Avusturya (308 MW) ve Hollanda (303 MW) takip etmektedir. Avrupa'da 16 ülkenin rüzgâr enerjisi kurulu güçleri 1GW'dan fazladır. Elektrik enerjisi dağıtım sektörü Avrupa'da yıldan yıla artarken 2020 yılında yaklaşık %14-%16'lık bir elektrik enerjisi talebinin rüzgâr enerjisinden karşılanacağı tahmin edilmektedir.

Şu anda ise 2013 yılı sonu itibariyle 11GW'lık bir rüzgâr enerjisi kurulmuş olup, toplam kapasite 117GW'a çıkmıştır. Bu da elektrik enerjisindeki payının yaklaşık olarak %7,8'ine tekabül etmektedir (GWR 2013, EWEA 2014).

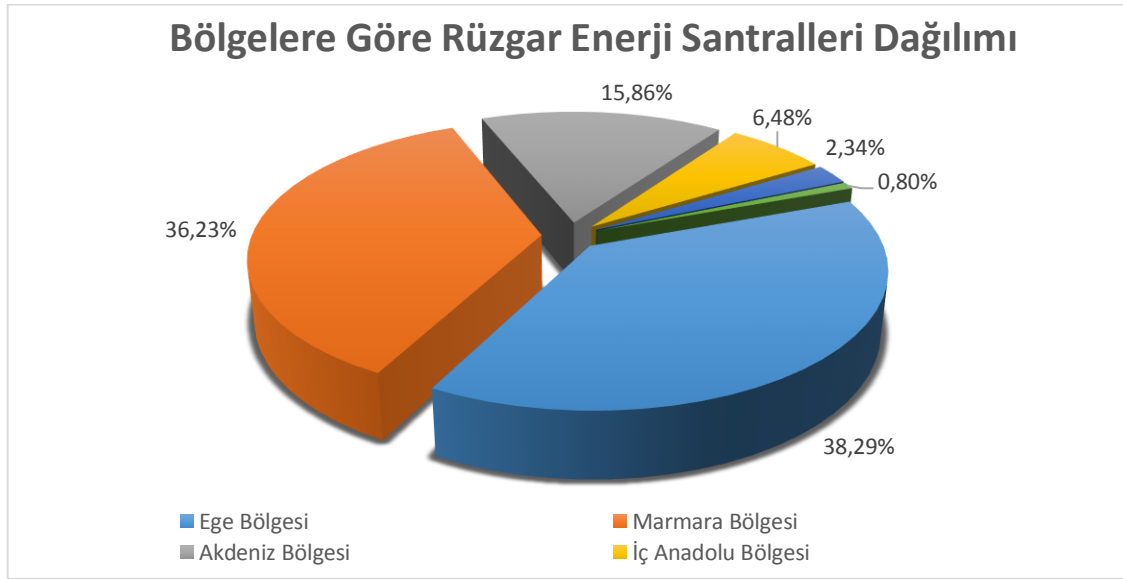
Dünya'da 70'den fazla ülkede 140.000'nin üzerinde rüzgâr türbini elektrik enerjisi üretmektedir. Avrupa, Afrika, Kuzey Asya, Latin Amerika, Avustralya ve diğer bütün ülkelerde rüzgâr türbinleri denizde, yüksek irtifalarda, karda, çöllerde ağır hava koşullarında çalışabilmektedirler. Buda bize rüzgâr enerjisinin hemen hemen her yere kurulabileceğini ve büyük ölçekli olarak tesis edilebileceğini göstermektedir. Toplam rüzgâr enerjisi potansiyeli tüm dünyanın birkaç katı elektrik enerjisi gücünü karşılamaya yeterlidir. Enerji sektörü karbondioksit salınımlarının dünya üzerinde yaklaşık olarak %40'ını oluşturmaktadır. Bu açıdan da rüzgâr enerjisi hem elektrik enerjisini üretirken hem de dramatik bir şekilde bozulan iklim değişikliğine karşı da bir güçtür. 2008 yılı verilerine göre rüzgâr enerjisi dünya üzerindeki karbondioksit salınımlarının %16 azalmasında katkı sağlamıştır. Bu oran yıldan yıla artarak devam edecektir (İnt.Kyn.4).

Türkiye rüzgâr enerji olarak en hızlı büyüyen enerji pazarlarından biri konumundadır. Özellikle küresel ekonomik krizin olumsuz etkilerini görmemiş olması da buna bir etkidir. Çok sınırlı petrol, doğal gaz gibi konvansiyonel kaynaklara sahip olan

ülkemizde giderek enerji güvenliğini artırmak için yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Bir devlet politikası haline gelen bu durum ile 2023 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynaklarından toplam elektrik enerjisi ihtiyacının %30'unun sağlanması için çalışılıyor.

Yenilenebilir Enerji Kaynakları Genel Müdürlüğü tarafından yapılan çalışmalarda, rüzgâr enerjisi açısından Bandırma, Antakya, Kumköy, Mardin, Sinop, Gökçeada, Çorlu ve Çanakkale zengin bölgeler olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, Bandırma, Bozcaada, Çeşme, Gökçeada, Çanakkale, Karadeniz Ereğlisi, Florya ve Siverek gibi yöresel rüzgâr potansiyeli belirleme çalışmaları da yapılmıştır (İnt. Kyn.5).

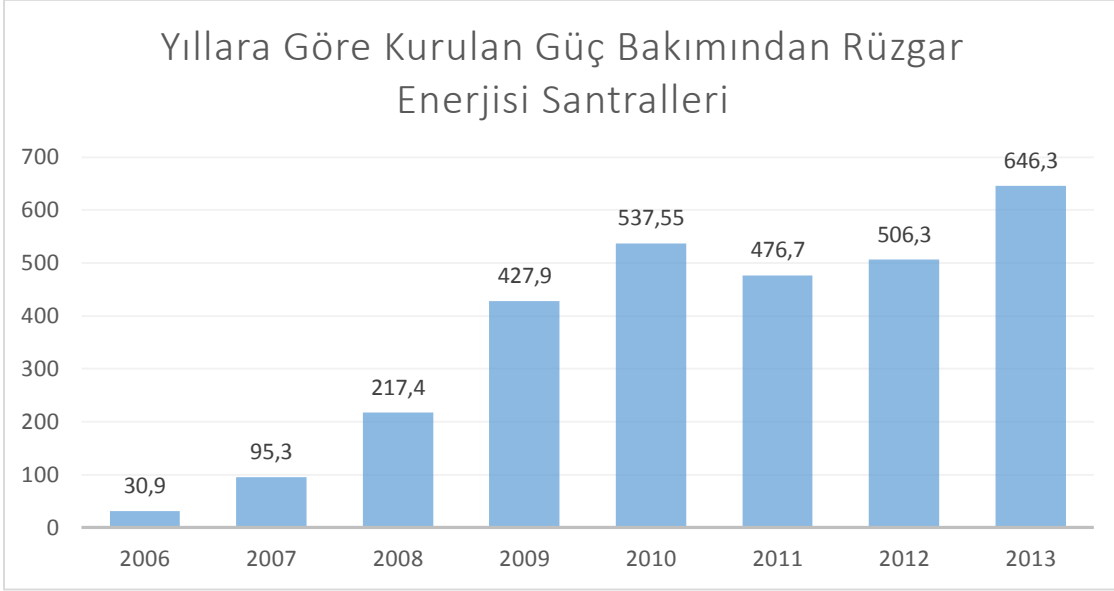
2013 yılı sonu itibariyle, Ege bölgesi 1,054 MW, Akdeniz bölgesi 435 MW ve Marmara bölgesi de 1,210 MW toplam kurulu güç ile en yüksek rüzgâr enerjisi kapasitesine sahip bölgelerimizdir. İşletmede olan kurulu rüzgâr enerji santrallerinin bölgelere göre dağılımını gösterir Şekil 2.12'de verilmiştir (TUREB 2014).



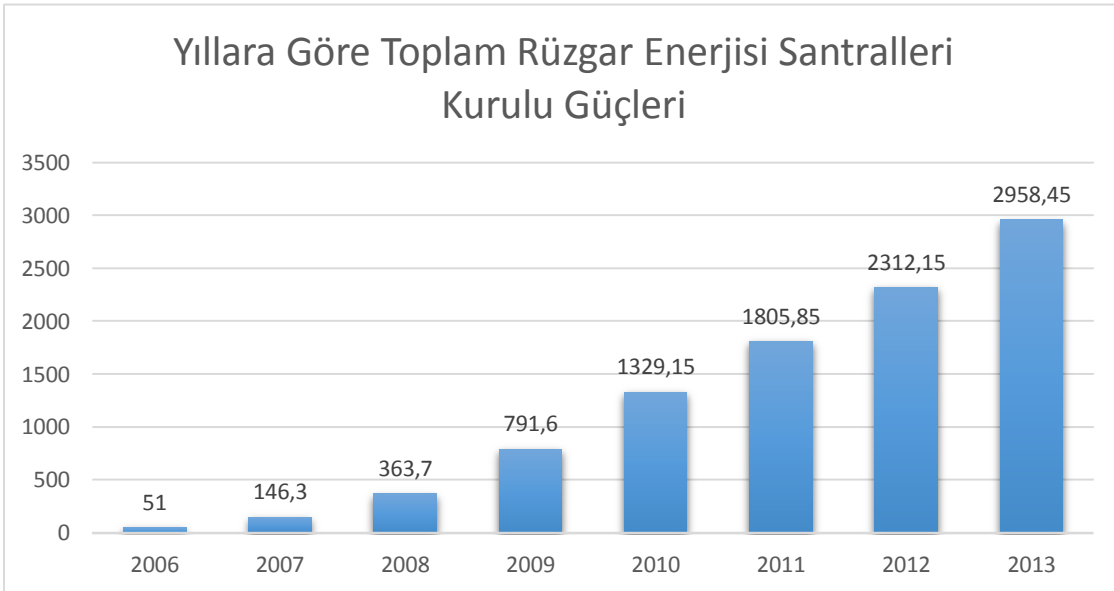
**Şekil 2.12** Kurulu rüzgâr enerji santrallerinin bölgelere göre dağılımı.

Türkiye'nin rüzgâr enerjisi sektörü özellikle son yıllarda hızla büyümüştür. Şekil 2.13'de yıllar itibariyle rüzgâr enerjisi yatırım miktarları gösterilmektedir. 2006 yılında 30 MW seviyelerinde olan kapasite, 2009 yılında sonra hızla artmış ve 2013 yılı sonu ile 646,3

MW'lık santral kurulumu seviyelerine kadar gelmiştir. Şekil 2.14'de ise Türkiye'nin yıllara göre rüzgâr enerji santralleri kurulu güçleri verilmiştir (TUREB 2014).



**Şekil 2.13** Türkiye rüzgâr enerji santrallerinin yıllara göre kurulan güç bakımından dağılımı (TUREB 2014).

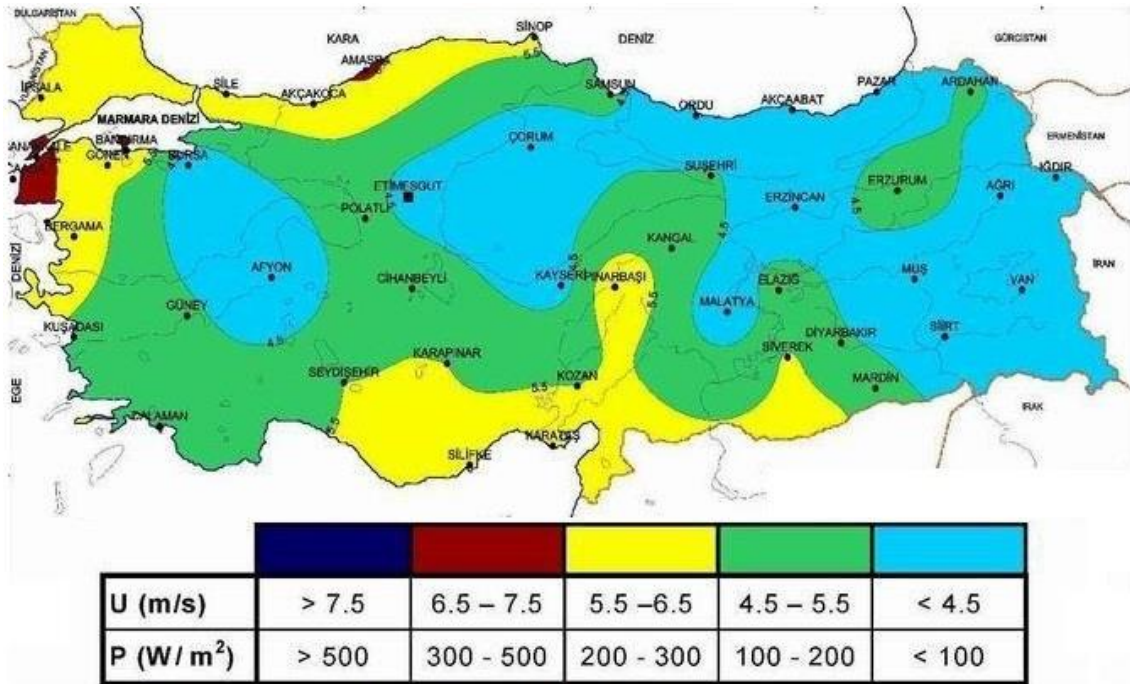


**Şekil 2.14** Türkiye'nin yıllara göre rüzgâr enerji santralleri kurulu güçleri (TUREB 2014).

Türkiye Elektrik İletim A.Ş' ne göre 2014 yılından sonra yılda 1.000 MW'lık yatırım yapılması öngörülmektedir. Şu anda ise Türkiye'de rüzgâr enerjisinin gelişiminin

önündeki en büyük engeller karmaşık prosedürler ile bürokratik yapıdaki problemlerdir (GWR 2013).

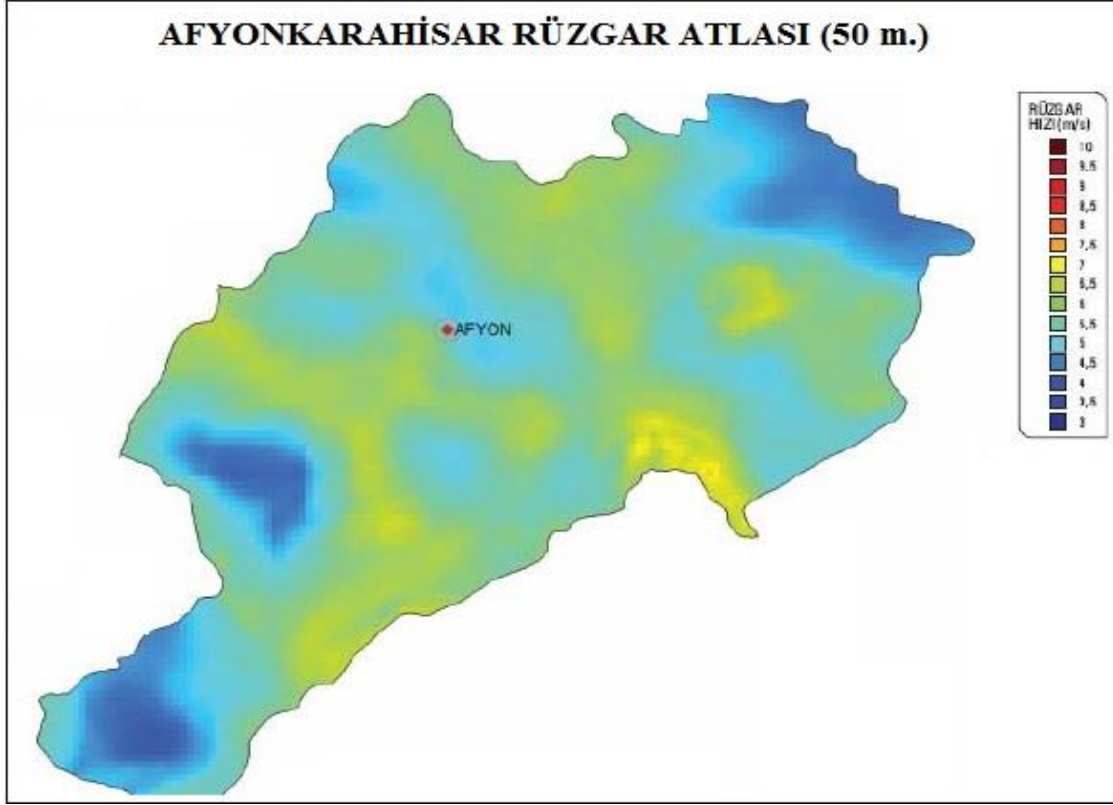
Rüzgâr enerjisi potansiyellerinin belirlenmesi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Türkiye’de rüzgâr atlası istatistiklerini elde etmek için Avrupa Rüzgâr Atlasının hazırlanmasında kullanılan Danimarka Meteoroloji Teşkilatı Riso Meteoroloji Laboratuvarı tarafından hazırlanmış ve geliştirilmiş olan WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program) paket programı kullanılmıştır. Türkiye genelinde seçilmiş istasyonlar için yapılan analizler kullanılarak elde edilen Türkiye Rüzgâr Atlası Şekil 2.15’de gösterilmiştir.



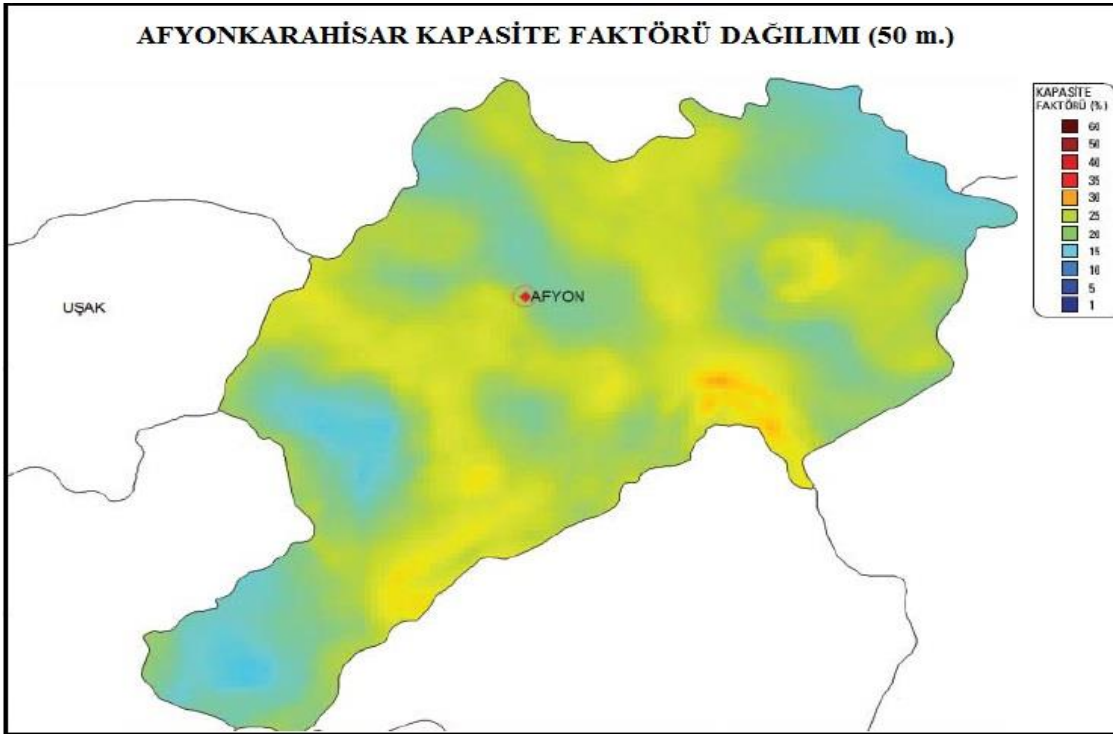
**Açık yüzeyler için 50m. yükseklikteki rüzgâr potansiyeli**

**Şekil 2.15** Türkiye rüzgâr atlası (50m. yükseklik için, MGM).

Bu tez çalışmasını yaptığımız Afyonkarahisar ilinin rüzgâr potansiyelini gösteren atlas Şekil 2.16’da gösterilmiştir. Ekonomik rüzgâr enerjisi santral yatırımları için %35 veya üzerinde kapasite faktörü gerekmektedir. Şekil 2.17’de Afyonkarahisar da 50 metre için kapasite faktörü haritası verilmiştir.



Şekil 2.16 Afyonkarahisar rüzgâr potansiyeli atlası (50 metre, YEGM 2014).



Şekil 2.17 Afyonkarahisar kapasite faktörü dağılımı (50 metre, YEGM 2014).

YEGM'nün yapmış olduğu çalışmaları neticesinde Afyonkarahisar ilinde kurulabilecek rüzgar enerjisi santralleri güç kapasitesinin gösterir Çizelge 2.3'de sunulmuştur.

**Çizelge 2.3** Afyonkarahisar ili kurulabilecek rüzgar enerjisi santralleri gösterir güç tablosu.

*Afyonkarahisar İline Kurulabilecek Rüzgâr Enerji Santralleri İçin Güç Kapasitesi*

50 m'de Rüzgâr Gücü (W/m <sup>2</sup> )	50 m'de Rüzgâr Hızı (m/s)	Toplam Alan (km <sup>2</sup> )	Toplam Kurulu Güç (MW)
300 - 400	6,8 - 8,1	125,71	628,56
400 - 500	4,5 - 8,1	44,37	221,84
500 - 600	8,1 - 8,6	1,97	9,84
600 - 800	8,6 - 9,5	0	0
> 800	> 9,5	0	0
		172,05	860,24

### 2.2.2.1 Rüzgâr türbin teknolojileri

Rüzgâr türbinleri, rüzgâr enerji santrallerinin ana yapı elemanları olmakla birlikte hareket halindeki havanın kinetik enerjisini önce mekanik enerjiye ve sonrasında da elektrik enerjisine dönüştüren makinelerdir.

Rüzgâr türbinleri dönüş eksenlerinin doğrultusuna göre yatay eksenli veya dikey eksenli olarak ikiye ayrılmaktadırlar. Bu tiplerden en fazla kullanılan rüzgâr türbinleri yatay eksenli olanlarıdır. Yatay eksenli rüzgâr türbinleri, dönme eksenleri rüzgâr yönüne paralel şekilde çalışırlar. Kanatları ise rüzgâr yönüne dik şekilde çalışır. Bu rüzgâr türbinleri bir, iki, üç veya çok kanatlı yapıda olabilmektedirler (İnt.Kyn.6). Bu türbinlerin verimi yaklaşık %45'dir. Yatay eksenli rüzgâr türbinleri genel olarak yerden 20-30m yüksekte ve çevredeki engellerden 10m yüksekte olacak şekilde yerleştirilmelidir. Rüzgâr hızının, rotor kanadı uç hızına bölünmesi ile elde edilen orana kanat uç hız oranı ( $\lambda$ ) denir.

$$\lambda = \frac{R.\omega}{V} \quad (2.2)$$

Eğer  $\lambda$  (kanat uç hız oranı);

$\lambda = 1-5$  Çok kanatlı rotor,

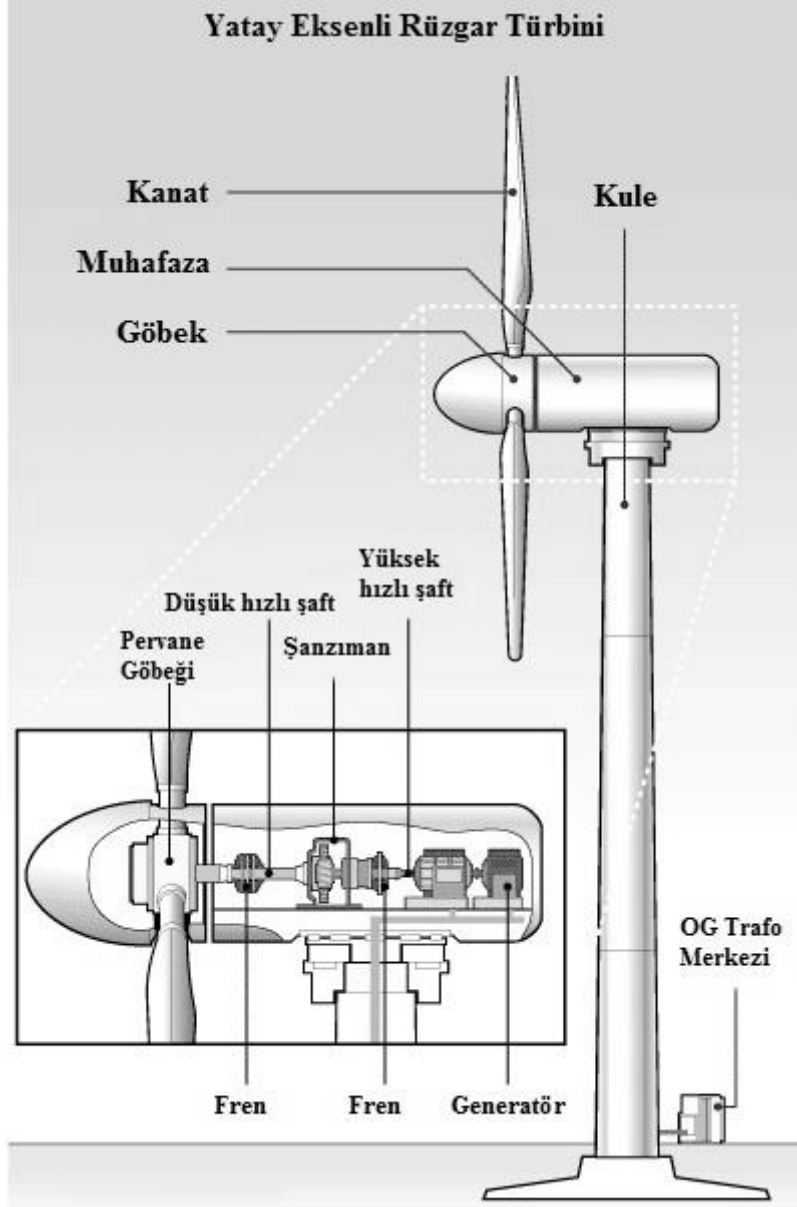
$\lambda = 6-8$  Üç kanatlı rotor,

$\lambda = 9-15$  İki kanatlı rotor,

$\lambda > 15$  Tek kanatlı rotor kullanılır.

Yatay eksenli rüzgâr türbinleri farklı sayıda rotor kanadına sahip olan ve rüzgârı önden alan veya rüzgârı arkadan alan sistemler olarak da çeşitlilik gösterirler (Nurbay 2005).



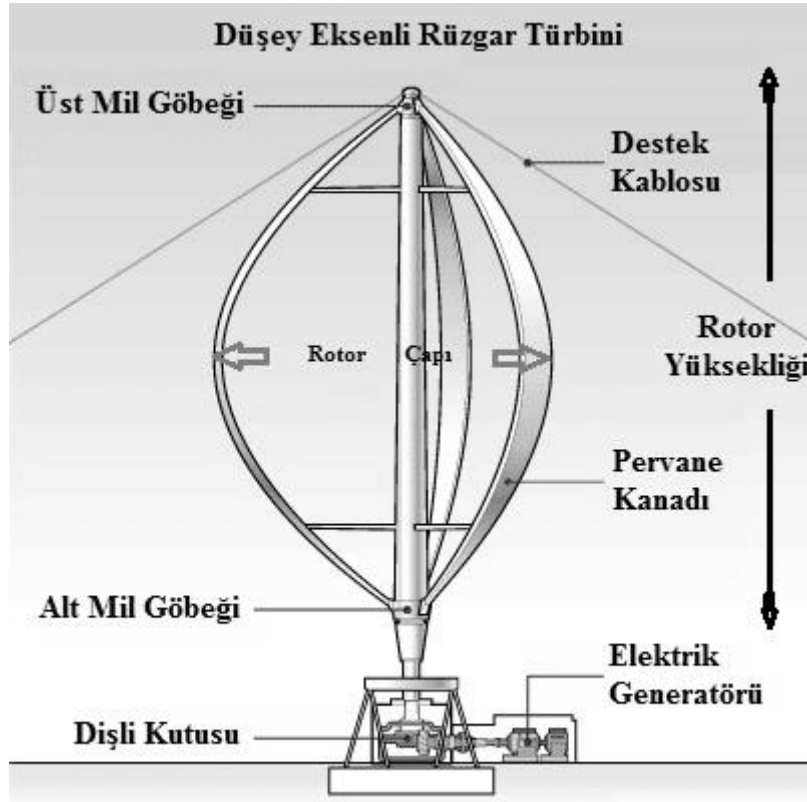


**Şekil 2.18** Yatay eksenli rüzgâr türbini yapısı.

Rüzgâr türbinlerinin eksen yapısı ve kanat sayılarına göre sınıflandırmada mekanik gövde yapısı üzerinden sınıflandırılmakla birlikte ayrıca küçük, orta ve büyük güçlü olmak üzere güç odaklı sınıflandırmaları da söz konusudur (Oğuz 2012).

Düşey eksenli rüzgâr türbinlerinin eksenleri rüzgâr yönüne dik ve düşey olup kanatları da düşey vaziyettedir. Düşey eksenli rüzgâr türbinlerinde rüzgârın esme yönü değiştiği

zaman yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde olduğu gibi herhangi bir pozisyon değiştirmesi olmaz.



şekil 2.19 Düşey eksenli rüzgâr türbin yapısı.

Elektrik üretim amaçlı şebeke bağlantılı modern rüzgâr türbinleri çoğunlukla 3 kanatlı, yatay eksenli ve önden rüzgârlı türbinlerdir. Günümüzde teknolojik gelişmelere paralel olarak 1,0-6,0 MW gücünde yatay eksenli rüzgâr türbinleri kullanılmaktadır. Bir rüzgâr türbini, çevredeki engellerin rüzgâr hızını etkilemeyecek yükseklikteki bir kule üzerine yerleştirilmiş gövde ve rotordan oluşur.

Modern rüzgâr türbinlerinin rotor göbekleri yer seviyesinden 60-100 m yükseklikte bir kule üzerinde bulunur. Bir rüzgâr türbininden elde edilecek enerji miktarı birinci dereceden türbin rotor merkez yüksekliğindeki rüzgâr hızına bağlı olmaktadır. Türbin rotor göbekleri yüksekliğinin artırılması sonucu rüzgâr hızının artacağı gerçeği dikkate alındığında rotor göbeği yüksekliğinin artırılması, mevcut rüzgâr gücünden maksimum düzeyde yararlanılmasını sağlayacaktır (İnt. Kyn.6).

Rüzgâr türbin bileşenleri, türbin tasarım tipine veya imalatçısına göre değişebilmektedir. Ancak, her türbinde özellikleri farklı da olsa aynı görevleri gerçekleştiren benzer bileşenler vardır. Bir türbinde yer alan belli başlı bileşenler; kule, gövde, kanatlar, rotor, fren düzeni, kontrol sistemi, dişli kutusu, anemometre, jeneratör, yüksek ve düşük hız şaftları, pitch kontrol, rüzgâr vanası, yaw motoru ve tahrik gurubundan oluşmaktadır (Fesli 2009). Bu bileşenlere ait temel kısa bilgiler aşağıda verilmiştir.

*Kule:* Kuleler kafes veya boru biçiminde yapılmaktadır. Kule yükseklikleri fazla olabildiğinden kafes kulelerin dışındaki konstrüksiyonlar iki yada üç parçalı olabilmektedir. Kafes kuleler görüntü kirliliği ve bakım zorluğu nedeniyle hemen hemen terk edilmiştir. Maliyeti fazla olmakla beraber günümüzde yaygın olarak açık gri renge boyanmış silindirik konik kesitli kuleler kullanılmaktadır.

*Gövde:* İletim sistemi, generatör ve yardımcı ünitelerin içinde yer aldığı yapıdır. Gürültü kirliliğini önlemek için gövdeler ses izolasyonu ile kaplanmıştır. Gövde içerisinde rüzgârın kinetik enerjisi rotor tarafından mekanik enerjiye çevrilir ve düşük devirli ana milin dönüş hareketi dişli kutusu vb. iletim sistemine aktarılarak oradan da generatöre aktarılır.

*Kanatlar:* Havanın kinetik enerjisini mekanik enerjiye aktaran ana elemanlardır. Kanatlar polyester ile kuvvetlendirilmiş fiberglass veya epoxy ile güçlendirilmiş fiber karbondan yapılmakta ve çelik omurga ile desteklenmektedirler. Tek kanatlı, çift kanatlı, üç kanatlı ve çok kanatlı olmak üzere çeşitli yapıları vardır. Üç kanatlı yeni nesil rüzgâr türbinlerinin kanat çapları 100 m değerine ulaşmıştır.

*Rotor:* Rotor düşük devirli bir ana mile bağlıdır. Rüzgârın kinetik enerjisi rotor tarafından mekanik enerjiye çevrilir ve düşük devirli ana milin dönüş hareketi gövde içerisindeki iletim sistemine (dişli kutusu vb.), oradan generatöre aktarılır.

*Frenler:* Dönmekte olan diski acil durumlarda durdurmaya yarar. Sistem mekanik, elektronik veya hidrolik olarak çalışabilir.

Kontrol Sistemi: Kontrol ünitesi rüzgârın hızındaki değişikliklere göre sistemi harekete geçiren veya durduran mekanizmadır. Rüzgâr hızının saatte 3 m/sn'lik hızlarla dönme hareketini başlatan 20 – 25 m/sn'den yüksek olduğu durumlarda ise sistemi durdurur. Yüksek hızların zarar verme riskinden dolayı kontrol ünitesi önemlidir.

Dişli Kutusu: Düşük hız milini, yüksek hız miline bağlar. Elektrik üretmek için gerekli olan dönüş hızına çıkartırlar. Dişli kutusu rüzgâr türbininin pahalı bir parçasıdır. Günümüzde vites kutusuna gerek kalmadan doğrudan sürüş özelliğine sahip, düşük rotasyonlu hızlarda elektrik üretebilen generatör teknolojileri alanında araştırmalar sürmektedir.

Anemometre: Rüzgârın hızını ve yönünü ölçmek için kullanılırlar. Rüzgârın hızı belli bir hıza eriştiğinde türbini harekete geçirmek veya durdurmak için rüzgâr türbininin elektronik kontrolcüsü anemometrenin gönderdiği elektronik sinyalleri kullanır.

Generatör: Mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren en temel rüzgâr türbini elemanlarından birisidir. Rüzgâr türbinlerinde senkron, asenkron ve doğru akım generatörleri olmak üzere üç değişik generatör kullanılmaktadır. Sincap kafesli indüksiyon generatörü, rotoru sargılı indüksiyon generatörü, sabit mıknatıslı senkron generatör ve rotoru sargılı senkron generatör olmak üzere çeşitli yapılarda imal edilirler.

Yüksek Hız Şaft: Generatörü sürer. Dişli kutusu ile generatör arasındadır.

Düşük Hız Şaft: Rüzgâr türbinini rotor hub yüksekliğinden dişli kutusuna bağlar.

Pitch Kontrol: Kanatların düşük veya yüksek hızlarda dönme hareketini kontrol eden mekanizmadır.

Rüzgâr Vanası: Rüzgâr yönünü ölçerek türbini rüzgâr yönüne çeviren mekanizmadır.

Yaw Kontrol: Yaw mekanizması, rüzgâr vanasını kullanarak rüzgâr yönünü belirleyen elektronik kontrolcü tarafından işletilir. Rüzgâr yönü değiştiği zaman rotoru rüzgâr yönüne ayarlar.

### **2.2.3 Hidrojen ve hidrojen enerjisi**

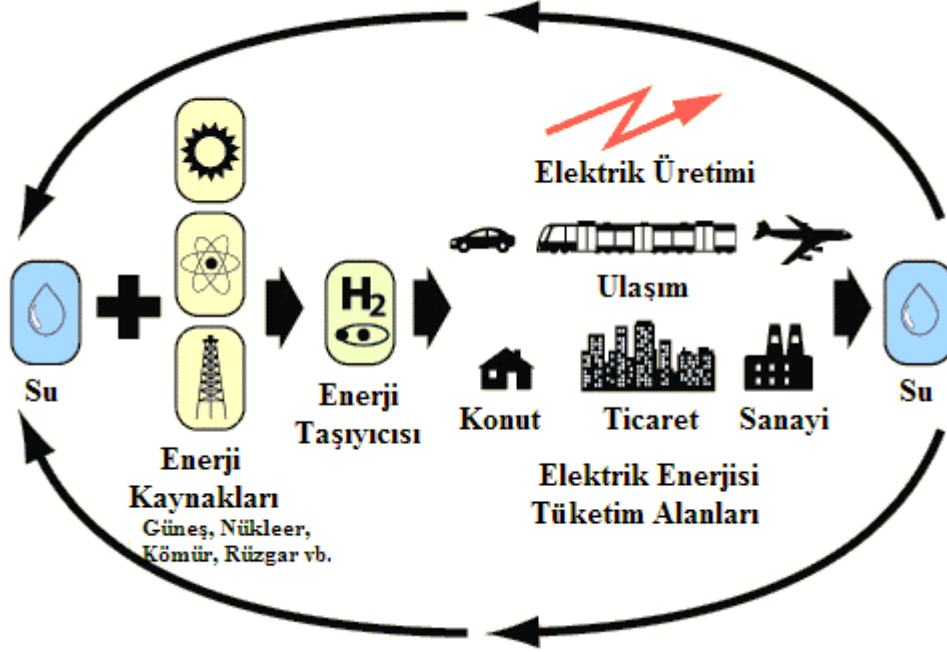
Hidrojen 1500'lü yıllarda keşfedilmiş ve 1700'lü yıllarda yanabilme özelliğinin farkına varılmıştır. Hidrojen, yeryüzünde en basit ve en çok bulunan element olmakla birlikte, renksiz, kokusuz, havadan 14.4 kez daha hafif ve tamamen zehirsiz bir gazdır. Güneş ve diğer yıldızların termonükleer tepkimeye vermiş olduğu ısının yakıtı hidrojen olup, en temel enerji kaynağıdır (Veziroğlu 2004).

Hidrojen gazı tipik olarak yaklaşık  $-253^{\circ}\text{C}$ 'de sıvılaştırılarak depolanmaktadır. Sıvı hidrojenin hacmi gaz halindeki hacminin sadece 1/700'ü kadardır. Hidrojen bilinen tüm yakıtlar içerisinde birim kütle başına en yüksek enerji kapasitesine sahiptir. Üst ısıl değeri 140.9 MJ/kg, alt ısıl değeri 120,7 MJ/kg'dır. 1 kg hidrojen 2.1 kg doğal gaz veya 2.8 kg petrolün sahip olduğu enerjiye sahip olmakla birlikte birim enerji başına hacmi de yüksektir. Hidrojen doğada serbest halde bulunmaz, bileşikler halinde bulunur. En çok bilinen bileşiği ise sudur (Yıldızbilir 2006).

Hidrojenin yakıt olarak kullanıldığı enerji sistemlerinde, ısı ve patlama enerjisi gerektiren alanlarda kullanımı temiz ve kolaydır. Hidrojenin yakılması sonucunda atmosfere atılan ürün sadece su veya su buharı olmaktadır. Hidrojen konvansiyonel petrol yakıtlarına göre ortalama 1.33 kat daha verimlidir. Hidrojenden enerji elde edilmesi esnasında su buharı dışında çevreyi kirletici veya sera etkisini artırıcı hiçbir gaz, zararlı kimyasal madde üretimi söz konusu değildir (İnt.Kyn.7).

Günümüzde halen daha hidrojenin üretimindeki maliyetlerin yüksek olması bu teknolojinin yaygınlaşması önündeki en büyük problemlerden birisidir. Ancak hidrojen üretiminde maliyet düşürücü teknolojik gelişmelere bağlı yakın zamanda alternatif bir kaynak olarak kabul görebilme ihtimali söz konusudur. Hidrojen doğal bir yakıt olmayıp, birincil enerji kaynaklarından yararlanılarak su, fosil yakıtlar, güneş, rüzgâr enerji

kaynaklarından üretilebilen bir yakıttır (Ün 2003). Hidrojen enerji sisteminin şematik gösterimi aşağıda Şekil 2.20’de gösterilmektedir.



Şekil 2.20 Hidrojen enerji sistem döngüsü.

Bununla birlikte, ihtiyaç fazlası elektrik enerjisinin depolanabilmesi hidrojen teknolojilerinde rahatlıkla yapılabilmektedir. Bu zamanda depolanabilme özelliği de ayrıca bir alternatif kaynak olarak değerlendirilebilme durumunu ortaya koymaktadır. Ancak bu tarzda depolanan enerjinin yaygın olarak kullanılabilmesi yakıt piline dayalı teknolojilerinin geliştirilmesine bağlıdır. Dünyanın giderek artan elektrik enerjisi ihtiyacını eko sisteme zarar vermeden ve sürdürülebilir olarak sağlayabilecek en ileri teknolojinin hidrojen enerji sistemi olduğu görüşü bilim adamlarınca kabul edilmektedir.

Hidrojen enerjisinin insan ve çevre sağlığına zarar verecek bir etkisi söz konusu olmayıp gelecek için umut veren bir kaynaktır. Hidrojen gazı farklı yöntemlerle kömür, doğalgaz, nükleer gibi fosil kaynaklardan elde edildiği gibi su, güneş, rüzgâr, jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak da üretilebilmektedir (Abderrezzak 2014).

Hidrojenin en önemli özelliklerinden biriside depolanabilir olmasıdır. Bilindiği gibi, günümüzde enerjiyi depolamak için çeşitli araştırmalar yapılıyor olsa da akü gruplarının

haricinde maliyeti daha uygun bir yöntem bulunmuş değildir. Bunun yanı sıra en önemli imkânlarından biriside hidrojenin lokal olarak üretiminin mümkün olmasıdır. Ayrıca kolay ve güvenli olarak her yere taşınabilen, taşınması sırasında az enerji kaybı olan, ulaşım araçlarından ısınmaya, sanayiden mutfaklarımıza kadar her alanda yararlanabileceğimiz bir enerji kaynağıdır. Hidrojen elde etmede kullanılan birçok teknik olmakla beraber en bilenen ve halen daha en çok kullanılanı suyun elektrolizi yöntemidir.

Hidrojen içten yanmalı motorlarda doğrudan kullanımının yanı sıra katalitik yüzeylerde alevsiz yanmaya da uygun bir yakıttır. Günümüzde ise dünyadaki gelişim hidrojenin yakıt olarak kullanıldığı yakıt pili teknolojisi doğrultusundadır (Devrim 2013).

Dünya üzerinde araştırmacılar hidrojenin enerji kaynağı olarak kullanımında en düşük çevresel etki ve iyi performans gösteren yakıt pilleri üzerinde yoğunlaşmışlardır. Bu bakımdan hidrojen ve yakıt pilleri birbirini tamamlayan tek bir teknolojik unsurdur. (Squadrito 2014).

Kaynak olarak hidrojeni kullanan yakıt pilleri günümüzde ev ve işyerlerinin elektrik ihtiyacını rahatlıkla karşılayabilecek teknolojilere sahiptirler. Ayrıca araba, uçak, otobüs, kamyonet gibi ulaşım araçlarında tamamlayıcı ve yardımcı güç olarak kullanılmaktadırlar (Abderrezzak 2014).

#### **2.2.4 Yakıt pilleri**

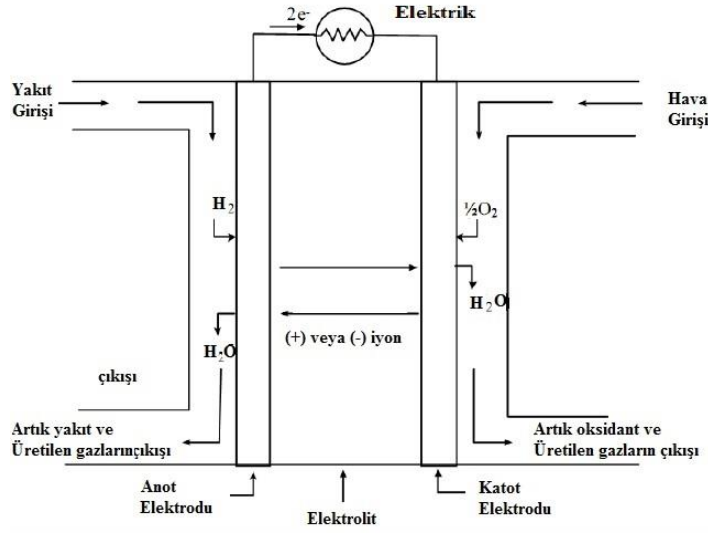
Yakıt pilleri hidrojenin yakıt olarak kullanıldığı ve kimyasal enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine çevrilebilen sonucunda elektrik, ısı ve su çıktısı veren hidrojen ile oksijenin bir araya gelerek oluşturdukları kimyasal tepkimenin meydana geldiği cihazlardır. Aküler gibi depolanmış kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çevirerek elektrik enerjisi elde etmeden ziyade hidrojenin sağlanabildiği her durumda elektrik enerjisi üreten sistemlerdir (Elmer 2015). Yakıt pilleri bilinen pillerde olduğu gibi depolanan kimyasal enerjiyi değil, çalışma anında beslenen yakıtın kimyasal enerjisini elektrik enerjisine çevirirler.

Başlangıçta uzay sistemleri için geliştirilen yakıt pilleri, temiz enerji üretimi ve yüksek verimleri ile enerji tasarrufu sağlayan bir güç kaynağı olarak keşfedilmiştir. Yakıt pilleri diğer enerji dönüşüm sistemlerine göre çok daha sessiz ve verimli çalışmaktadır. Yakıt pilleri içten yanmalı sistemlerin iki-üç katı olan termal verimlerinin yanında, düşük gürültü düzeyi, sıfır zararlı salımı, yapısında oynar parçalarının olmaması, tek parça halinde olmaları ve kullanıcı gereklerine göre tasarlanabilmesi gibi avantajları gelecek için umut verici bir kaynak olarak görünmesini sağlamaktadır (Devrim 2013). Bu sistemlerde hidrojenin yanma ürünleri yalnızca su ve su buharıdır. Sabit bina uygulamaları için cazip olan yakıt pilleri düşük emisyon, yüksek elektriksel verimlilik, sessiz çalışma ve istenildiği zaman kullanabilme özellikleri açısından da dikkati çekmektedir (Elmer 2015).

Yakıt pili sistemi yakıt pili yığını, yakıt işlemcisi, akım-gerilim kontrol sistemi ve ısı yönetimi olmak üzere temelde dört farklı bileşenden oluşur (Barbir 2005). Bir yakıt pili hücre yapısında içten dışa doğru elektrolit bir zar ve elektrolitin iki tarafında bulunan anot ve katot gaz difüzyon elektrotlarından oluşur. Bu elektrotların üzerine membran ile elektrot arasında temas yüzeyi halinde duran katalizör katmanı ve bu katalizör katmanı üzerine yapılan kimyasal destek katmanları da diğer yapı sistemleridir. (Dağhan 2010). Bununla beraber pek çok yakıt pili sistemi, nemlendirici, sıcaklık, basınç, su yönetim bileşenleri ile alt bileşenlerini de içerir. Ayrıca tüm bu bileşenlerin uyum içerisinde amaca uygun olarak çalışmasını sağlamak üzere sistemin kalbi olarak adlandırılan elektronik donanım ve yazılım da diğer bir önemli bileşendir. Şekil 2.21' de bir yakıt pilinin yapısı ve çalışması gösterilmiştir.

Burada hidrojen yakıtı anoda protonlara ayrıştığı yer olan bir kanal içinden geçer. Ayrışan protonlar katoda zarın içinden ulaşır. Bir dış devre tarafından elektriksel akım olarak toplanan elektronlar iki elektrotu birbirine bağlar. Ayrı bir kanal ağı içinden hava, bir dış devrede elektronlarla birlikte oksijenin toplandığı yer olan katoda, protonlarda zarın içine doğru akar ve böylece su oluşur.





Şekil 2.21 Yakıt pili yapısı ve çalışma şekli.

Yakıt pilleri bilgisayar, cep telefonu gibi taşınabilir haberleşme araçları için çok küçük güçlerden, konut ve araç uygulamaları için on kW güçlerine, endüstriyel uygulamalar veya otobüsler için de birkaç yüz kW güçlerinde tasarlanarak üretilebilir (Barbir 2005).

Yakıt pili bileşenlerin her birisinin verimli bir şekilde çalışır şekilde üretilmesi ve amaca uygun olarak bir araya getirilmesi farklı disiplinlerden mühendislik çalışmalarının yapılmasını gerektirir. Bu nedenle yakıt pillerinin üretimine yapılan yatırımın istihdam üzerine olumlu katkısı olacaktır.

Önümüzdeki 10-20 yıllık bir sürede yakıt pili piyasasının küresel pazarda yıllık 43 ile 139 milyar \$ büyüklüğe erişeceği öngörülmektedir. Bu büyüklüğün ABD tarafından Yakıt Pili geliştirilmesi için bugün yapılan araştırma yatırımlarının ile 2020 yılında 180.000, 2035 yılında 675.000 yeni iş imkânlarını oluşturacağı tahmin edilmektedir. Avrupa Birliği tarafından 2020 yılında birlik ülkelerinin taşınabilir elektronik donanımlar için Yakıt pili ihtiyacının senelik 250 milyon adet üzerinde olacağı belirlenmiştir. Benzer şekilde portatif jeneratörler için 100.000, sabit uygulamalar için 200.000, ulaşım sektörü içinse 1,8 Milyon adet/yıl değerleri öngörülmektedir. 2002 yılında kW başına maliyeti 275 \$ seviyelerinde olan yakıt pili teknolojisi günümüzde 49 \$ seviyelerine kadar düşürülmüş olmakla birlikte 2017 yılı için ise 30 \$ mertebelerine düşürülmesi hedeflenmektedir (DOE 2011).

Yakıt pillerinden elektrik enerjisi bir buhar kazanı veya türbin kullanılmadan, sadece kimyasal reaksiyon ile üretilir. Hidrojen ve oksijen arasındaki elektrokimyasal reaksiyon ile elde edilen yakıt pillerinin toplam verimlilikleri % 80'lere kadar ulaşabilir. Yakıt pilleri sürekli çalışan piller veya elektrokimyasal makinalar olarak da bilinir. Elektrolizin ters reaksiyonu olarak da tanımlanabilecek olan yakıt pili reaksiyonu sonrasında doğru akım formunda elektrik üretilir.

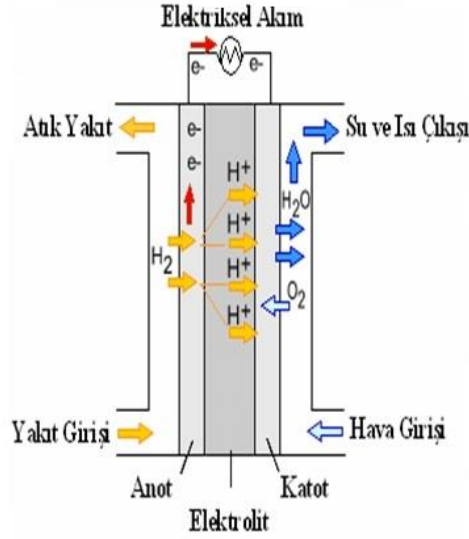
Yakıt pilleri, bünyesinde kullanılan elektrolitin cinsine göre çeşitlere ayrılmaktadır. Bunlar Fosforik asit yakıt pili, Katı oksit yakıt pili, Erimiş karbonat yakıt pili, Değişken Proton Membranlı yakıt pili, Alkali yakıt pildir. Büyük ölçekli ticarileştirilme ve gerekli ileri teknolojik gelişme açısından umut vaat yakıt pilleri polimer elektrolit ve katı oksit olması öngörülmektedir (Squadrito 2014).

#### **2.2.4.1 Değişken proton membranlı (katı polimer) yakıt pilleri**

Elektrolit olarak yapısında flor bulunduran ve sulfonik asit polimerleri gibi iyon değiştirebilen çok ince polimer membran kullanılır. 12-20 mikron seviyesinde membran kalınlıkları vardır. Zar inceldikçe verimliliği artar. Çalışma sıcaklığı genellikle 100°C altında olup tipik çalışma sıcaklığı 60-80°C dir. Yüksek güç yoğunluğuna sahip olan bu yakıt pilleri hızlı ve çabuk marş yapabilme ve değişken güç çıkışına uygun olması gibi özellikleri nedeniyle otomobil sanayi gibi yerlerde kullanılabilir (Altıntaş 2003).

Membran, anot ve katotta kimyasal reaksiyonlar için katalizörlerle irtibatlıdır. Katalizör olarak düşük sıcaklıkta çalışmalarından dolayı anot ve katotta pahalı katalizörler Pt (platin) veya Pd (paladyum) gibi metaller kullanılmaktadır. CO, katalizörü zehirleyebilir ve kalıcı bir zarar verebilir olmasından dolayı kullanılacak hidrojen CO içermemelidir. Hidrojen anot kısmına verilir ve burada katalizörün yardımıyla hidrojen iyonlarına (protonlara) ayrılır ve elektronlar serbest bırakılır. Elektronlar dış çevrim vasıtasıyla katot tarafına geçerken elektrik enerjisi olarak kullanılabilir. Daha sonra protonlar membran üzerinden katot tarafına geçerler, burada hidrojen atomları ile birleşerek su oluşur ve çevrim tamamlanır. Membranın sulandırılması gerektiğinden buharlaşma ile kaybolan suyun üretilen sudan fazla olmayacağı bir sıcaklıkta çalıştırılmalıdır. Şekil 2.22'de PEM yakıt pili yapısı gösterilmiştir (Kellegöz 2004).

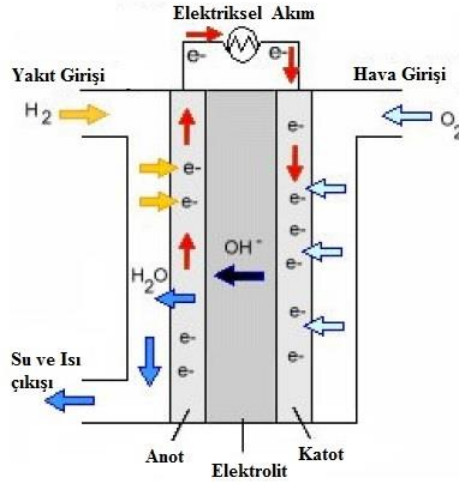
Proton değişim zarlı yakıt pillerinde verimleri %40–50 civarında olmakla birlikte dünyada 50 kW üniteler çalışmakta, 250 kW üniteler ise tasarım aşamasındadır.



Şekil 2.22 Değişken proton membranlı (katı polimer) yakıt pili.

#### 2.2.4.2 Alkali yakıt pili

Alkali yakıt pili en basit yapıya sahip en eski yakıt pilidir. Yakıt olarak hidrojen, oksitleyici olarak da oksijen veya hava kullanılmaktadır. Alkali yakıt pillerinde elektrolit olarak potasyum hidroksit (KOH) kullanılır. Elektrolit olarak %85 yoğunluğunda potasyum hidroksit (KOH) kullanılır ve çalışma sıcaklığı 250°C dir. Potasyum hidroksitin yoğunluğu %35-50 seviyelerinde kullanıldığında çalışma sıcaklığı 120°C altına düşer. Ürettikleri elektrik enerjisinin yanında kullanılabilir su da meydana getirdiklerinden uzay araçları için avantajlı özellikleri olması nedeniyle Amerika Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından kullanılmıştır. Katalizör olarak Ni (nikel), Ag (gümüş), metal oksitler veya özel bazı metaller kullanılır. Verimleri %60 - %70 civarındadır. Güç yoğunlukları genellikle 10-100 kW arasında değişmektedir. Alkali yakıt piline ait çalışma yapısı Şekil 2.23'de gösterilmiştir.

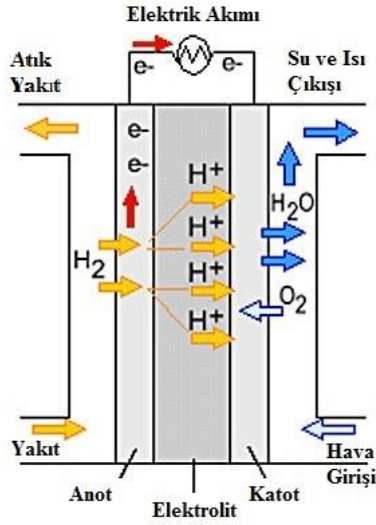


Şekil 2.23 Alkali yakıt pili.

### 2.2.4.3 Fosforik asit yakıt pili

Fosforik asit yakıt pillerinde elektrolit olarak % 100 fosforik asit kullanılır. Bu elektrolitin çalışma sıcaklığı, 150-220 °C arasındadır. Katalizör olarak anot ve katotta Pt (platinum black) veya Pd (paladyum) kullanılmaktadır. Düşük sıcaklıklarda, fosforik asit (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) iyonik iletkenliği düşer ve anottaki Pt' den dolayı gerçekleşen CO zehirlenmesi daha fazla görülür. Bu yakıt pillerinin verimi % 40 ile % 50 arasında değişmektedir. Güç yoğunluğu ise 100 mW/cm<sup>2</sup> olarak verilebilir. Fosforik asit su yönetimini kolaylaştırması ve yakıt olarak günümüzde yaygın olarak bulunan ve temiz kabul edilebilen doğalgaz, LPG gibi yakıtların kullanılması avantajlarını oluşturur. Elektrodun kararsızlığı yüzünden daha fazla CO zehirlenmesi gözlenebilmesi dezavantajlarındandır.

Bu yakıt pillerinde genellikle büyük güç üniteli (5–20 MW AC) yapılarda yakıt olarak doğalgaz kullanılır. Konutlarda, ticari alanlarda ve kamu kurumlarında elektrik ihtiyacını karşılamak için kullanılabilirler. Yaklaşık olarak 50kW-1 MW AC elde edilebilir. Buradan çıkan atık ısı da kojenerasyon sistemi gibi değerlendirilerek sıcak su elde edilmesi ve binaların ısıtılması gibi iklimlendirme amacıyla da değerlendirilebilir. Bu şekilde kullanımları toplam verimlerini de arttırmakla birlikte %80 seviyelerine çıkarılabilir.



Şekil 2.24 Fosforik asit yakıt pili.

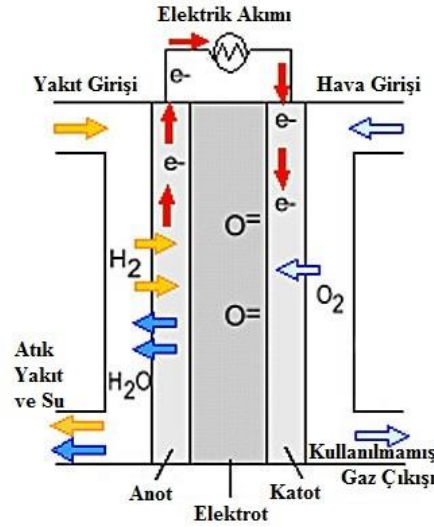
#### 2.2.4.4 Katı oksit yakıt pili

Katı oksit yakıt hücreleri elektrolit olarak katı gözeneksiz seramik kullanır. Kullanılan seramiklerden en yaygın zirkonya ile kararlı hale getirilmiş itriyum (Yttrium-stabilized zirconia/YSZ)'dur. Çalışma sıcaklığı çok yüksek olduğundan katalizörlere ihtiyaç duyulmaz. Bu nedenle bu piller diğerlerine göre daha düşük maliyetle imal edilebilmektedirler. Katı oksit yakıt pillerinin çalışma sıcaklığı 800-1000 °C arasında değişmektedir. Atık gazların yüksek sıcaklıklarda olması nedeniyle kojenerasyon sistemleri için çok uygundur. Hücrenin bu sıcaklıkta çalışmasının nedeni itriya-dengeli zirkonya seramiğin bu sıcaklıkta iyon iletkenliğinin kanıtlanmış olmasıdır. Katı oksit yakıt pilinin verimi % 50 ile % 60 arasındadır. Kojenerasyon sistemin açığa çıkan ısının kullanılmasıyla verimleri % 80'e kadar çıkabilir. Katı oksit yakıt pilleri 2kW ile 100MW arasında elektrik üretme kapasitesine sahiptir. Katı oksit yakıt pillerinde yakıt olarak sadece hidrojenin yanı sıra doğalgaz, benzin, dizel gibi yakıtlarda kullanılabilir. Yüksek enerji kapasiteleri nedeniyle gelecekte yaygın bir kullanım alanlarından birisinin de elektrik santralleri olacağı tahmin edilmektedir.

Katı oksit yakıt pilleri büyük sabit uygulamalarda kullanım imkânı bulmuştur. Bunların içinde Amerika, Japonya ve Almanya'da apartmanlar, iş yerleri gibi mekânların elektrik ihtiyacını karşılama yönünde çalışmalar yapılmıştır. Nissan X-trail FCV (Fuel Cell

Vehicle) modelinde katı oksit yakıt pillerini kullandığını açıklamıştır. 2009'da yapılan bu çalışmada, yakıt pili akü şarjı için kullanılmış ve yaklaşık olarak % 40 civarında bir verim elde edildiği bildirilmiştir.

Son yıllarda Katı oksit yakıt pillerinde genellikle çalışma sıcaklığını düşürmek için elektrolit ve elektrotların değişimi ile ilgili araştırma ve çalışmalar yapılmıştır. Bunların dışında yakıt iyileştirilmesi, konut ve mobil uygulamaları üzerine yoğunlaşmıştır. Fujita ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada segmentli katı oksit yakıt hücrelerinin konutlarda kullanılması amaçlanmıştır.

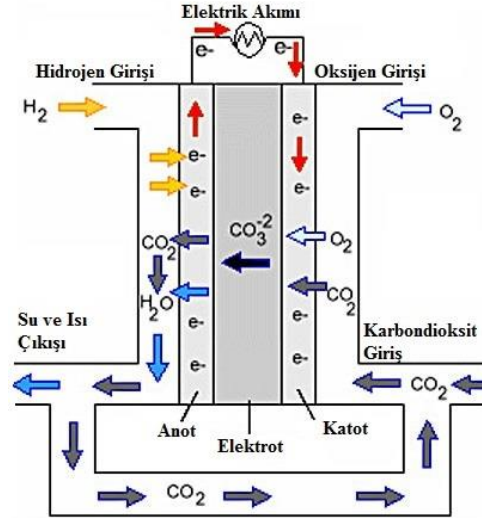


Şekil 2.25 Katı oksit yakıt pili.

#### 2.2.4.5 Erimiş karbonat yakıt pili

Erimiş karbonat yakıt pilinde lityum alüminyum oksit (LiAlO<sub>2</sub>) ve seramik kalıp içerisinde tutulan erimiş alkali karbonat tuzları elektrolit olarak kullanılmaktadır. 600-700°C arasındaki sıcaklıklarda çalışabilirler. Katalizör olarak pahalı olan değerli metallere katalizörler yerine anotta Ni (nikel) katotta ise nikel oksit kullanılmaktadır. Verimleri yaklaşık %60 civarındadır. Ancak açığa çıkan ısı kojenerasyon sisteminde değerlendirilirse verimleri %80'lere çıkabilir. Bu piller yaygın olarak bulunabilen metal levhalardan baskı tekniği ile üretilebilir. Karbondioksit doğrudan bir yakıt olarak

kullanılabilir. 2 MW iç dönüşümlü ve 250 kW dış dönüşümlü sistemlerin tesisleri California'da, 280 kW kapasiteli sistem Almanya'da ve 1 MW kapasiteli sitem 1998 yılında Japonya'da uygulanmıştır.



Şekil 2.26 Erimiş karbonat yakıt pili.

### 2.2.5 DC-DC dönüştürücüler ( Konvertörler)

Hibrit enerji güç sistemlerinden üretilecek elektrik enerjisinin, farklı gerilim değerleri vermesi durumuna karşılık, günün değişik zamanlarında üretilen elektrik enerjisini sabit bir çıkış gerilim vermesini sağlayan cihazlardır. DC-DC dönüştürücülerin genel çalışma mantığı giriş uçlarına enerji üretim kaynaklarından gelen gerilimi, değişiklik gösteren doğru akımı (DA) sabit bir doğru akıma dönüştürmektir. Hibrit güç sistemleri için en uygun verimli uygulamanın maksimum güç noktası takibi (MPPT) olduğu belirlenmiştir.

Maksimum güç noktası takibi işleminde elde edilen elektrik enerjisindeki değişimlerin sistemin çıkışında minimum seviyede hissedilmesi ve DC-DC dönüştürücü çıkış geriliminin sürekli olarak sabit tutulması amaçlanmaktadır. MPPT işlemi sırasında giriş gerilimi ve akımı değerlendirilerek, DC-DC dönüştürücü türüne bağlı olarak anahtarlama sinyalinin oranı sürekli olarak değiştirilmekte ve çıkış gerilimi sabit tutulmaktadır. Ancak bu işlemin yapılabilmesi için öncelikle kullanılacak olan elektrik üretim ünitesinin çıkış

gerilim aralıklarının bilinmesi gerekmektedir. Kullanılan DC-DC dönüştürücü çeşitleri ise yükseltici (boost), alçaltıcı (buck) ve alçaltıcı-yükseltici (buck-boost) olarak tanımlanabilir.

### **2.2.6 Eviriciler (İnvertörler)**

İnvertörler doğru akımı, alternatif akıma çevirmek için ya da tam tersi alternatif akımı doğru akıma çevirmek için kullanılan elektronik cihazlardır. Harici invertörler 12V veya 24V'luk bir enerji kaynağından aldıkları doğru akımı 220 V AC akıma çevirmek üzere kullanılırlar. Senkronize invertörler ise bir güneş paneli veya rüzgâr türbini çıkısına bağlanarak direkt şebekeye enerji aktarma özelliğine sahiptirler. İnvertörler çıkış gücüne, çıkış dalga özelliklerine ve yapı tasarımlarına göre gruplara ayrılırlar. Şu anda dünyada 100 W'tan 10 kW'a kadar farklı çıkış güçlerine sahip şebekeye entegre olan invertörler bulunmaktadır. Çıkış dalga özelliklerine göre invertörler, düzeltilmiş sinüs dalga, tam sinüs dalga ve kare dalga olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Düzeltilmiş sinüs dalga ve kare dalga invertörler daha ekonomik olmalarına rağmen flüoresan lambalarda ve yazıcılarda verim kaybına, müzik aletlerinde hışırtılı bir sese sebep olmaktadır. Buna karşılık tam sinüs invertörler elektrik şebekesi ile aynı kalitede çoğu zaman daha yüksek kalitede çıkış verebilmektedirler. Ayrıca hiçbir elektrik enerjisi ile çalışan cihazın çalışmasında da problem çıkarmamaktadırlar. Elektrik dağıtım şebekesine elektrik enerjisi aktarabilmek için tam sinüs invertör kullanılması gerekmektedir. Asenkron motorlu çalışan cihazlar ilk çalışma anlarında normal güç tüketiminin birkaç katı güç çekerler. Bu suruma karşı kullanılan invertörler kısa süreler için anlık çekim gücüne dayanabilme özelliğine sahip olmalıdır. İnvertörler ürettikleri gerilim değerini elde etme yapılarına göre transformatörlü ve transformatörsüz olmak üzere ikiye ayrılırlar. Transformatörlü invertörler de girişlerine uygulanan düşük seviyeli doğru akım gerilimi önce düzeltilmiş veya tam sinüs haline getirir ve daha sonra da elde edilen düşük değerli alternatif akım sinyali bir transformatörden geçirerek istenilen alternatif akım gerilim seviyesine ulaştırırlar. Transformatörsüz invertörler de ise giriş gerilim seviyesi çıkışta istenilen gerilime yakın olmak zorundadır. Bu tür invertörler daha hafif ve kullanışlı olmalarına rağmen, dezavantajları ise şebeke ile yalıtım sağlamazlar. Ayrıca şebekeye doğru akım bileşenini ters yönlü olarak verirler.



Kullanılan invertörün verimi de diğer bir önemli parametredir. Akü grubundan aldığı enerjinin yüzdesel olarak ne kadarını alternatif enerjiye çevirdiği verimi belirleyen en önemli bileşendir. Birçok invertör güneş panelleri, rüzgâr türbinleri, yakıt pilleri veya akülerin ortak girişlerinden sistemi besledikleri gibi şebeke üzerinden de direkt olarak akü gruplarının şarjında da kullanılabilirler. Transfer hızlarının oldukça iyi olmasından dolayı bu sistemler kesintisiz güç kaynağı (UPS) olarak da kullanılabilir. Bu uygulamalarda seçilen aküler uygun bir invertör vasıtasıyla şebekeden şarj edilirler, elektrik kesintisi başladığı zaman otomatik veya manuel olarak devreye girerek özellikle işletmelerde veya evde kullanılan elektrikli cihazların kesintiye uğramadan çalışmalarını sağlarlar (Koizumi 2006).

### **2.2.7 Aküler**

Aküler elektrik enerjisini kimyasal enerji olarak depo edebilen ve istenildiğinde bunu tekrar elektrik enerjisi olarak veren kimyasal ürünlerdir. Güneş enerjili sistemlerde en çok kurşun-asit ve Nikel kadmiyum tipindeki aküler daha çok kullanılmaktadır. Özellikle derin deşarj gibi durumlardan dolayı günümüzde kuru tip kurşun-asit sınıfına giren tam kapalı jel aküler kullanılmaktadır. Jel akülerin temel özelliği asit taşması veya sızdırması gibi durumların olmamasıdır. Gaz çıkışları yok denecek kadar azdır. Bu nedenler çok güvenilirler ve rafta bekleme ömürleri de daha uzundur. Jel akülerin temel bazı özellikleri aşağıdaki gibidir (Özsoy 2011).

Jel aküler bakım gerektirmezler. Kullanılmadan kalsalar bile kendi kendine deşarj seviyeleri çok düşüktür. Yaklaşık 2 yıl hiç kullanılmaları bile %75 civarında dolu kalırlar. Uzun süreli deşarj durumlarında çok iyi performans sağlarlar. Ayrıca yüksek sıcaklık uygulamalarına karşı dayanıklıdırlar. Düşük iç dirençten dolayı yüksek performans sağlar. Daha çok sayıda şarj ve deşarj olabildikleri için günlük çevrimsel kullanım için idealdirler. Bunun nedeni ise ızgaralarda paslanmayı önleyen ve çevrimsel ömrü uzatan kalın plakalara sahiptirler.

### **3. MATERYAL ve METOT**

Bu bölümde akü grubu destekli güneş, rüzgâr ve yakıt pilinden oluşan hibrit güç üretim sisteminde kullanılan bileşenler ile kontrol sisteminin tasarlanması, kurulumu ve enerji üretim sisteminde mikrodenetleyici tabanlı hibrit kontrol ünitesi destekli ile enerji akış kontrolü hakkında bilgiler detaylı olarak aşağıda verilmektedir.

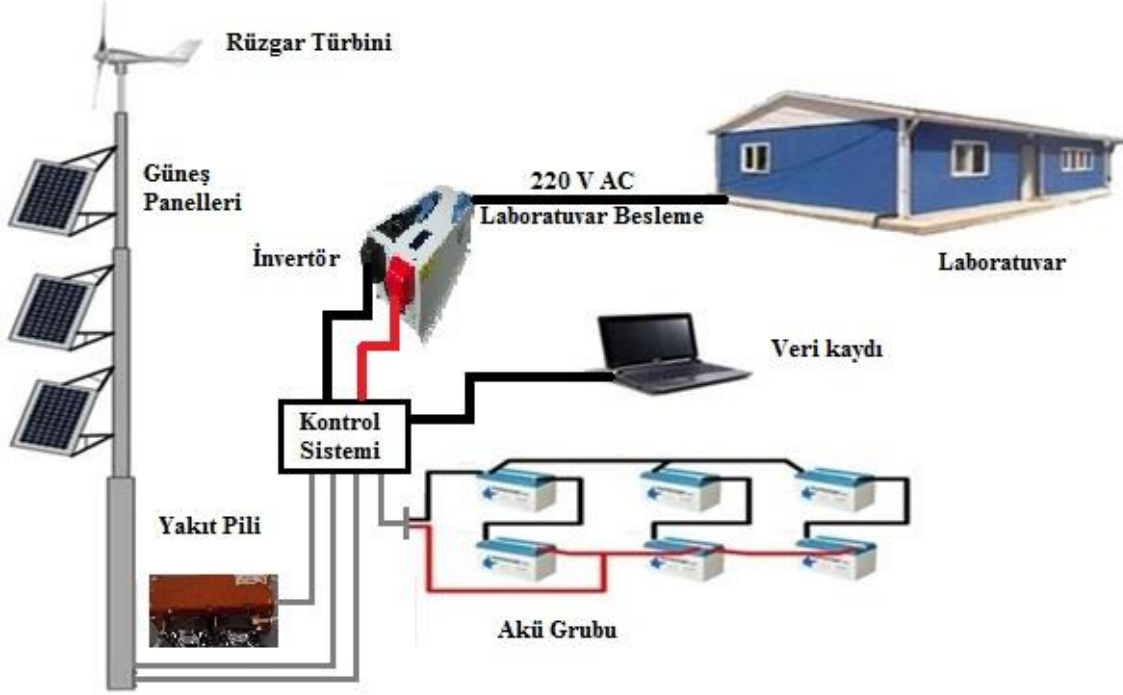
#### **3.1 Güneş, Rüzgâr, Yakıt Pili ve Akü Grubundan Oluşan Hibrit Güç Üretim Sisteminin Bileşenleri ve Özellikleri**

Güneş, rüzgar, yakıt pili ve akü grubundan oluşan hibrit güç üretim sistemi, 190W gücünde 24V'luk 3 adet monokristal güneş paneli, rüzgarın yönüne göre 360° dönebilen 600W'lık 3 fazlı sabit mıknatıslı senkron generatörlü rüzgar türbini, 500W'lık değişken proton mebranlı yakıt pili ile 6 adet 12V, 100 Ah'lık jel (elektroliti jelleştirilmiş kurşun asit) akü grubundan oluşmaktadır. Akü grupları tüketim fazlası olan elektrik enerjinin depolanması veya enerji üretiminin olmadığı zamanlarda enerjinin sürekliliğinin sağlanabilmesi için yakıt pili ile birlikte sistem de kesintisiz enerji arzını gerçekleştirmek amacıyla kullanılmaktadır.

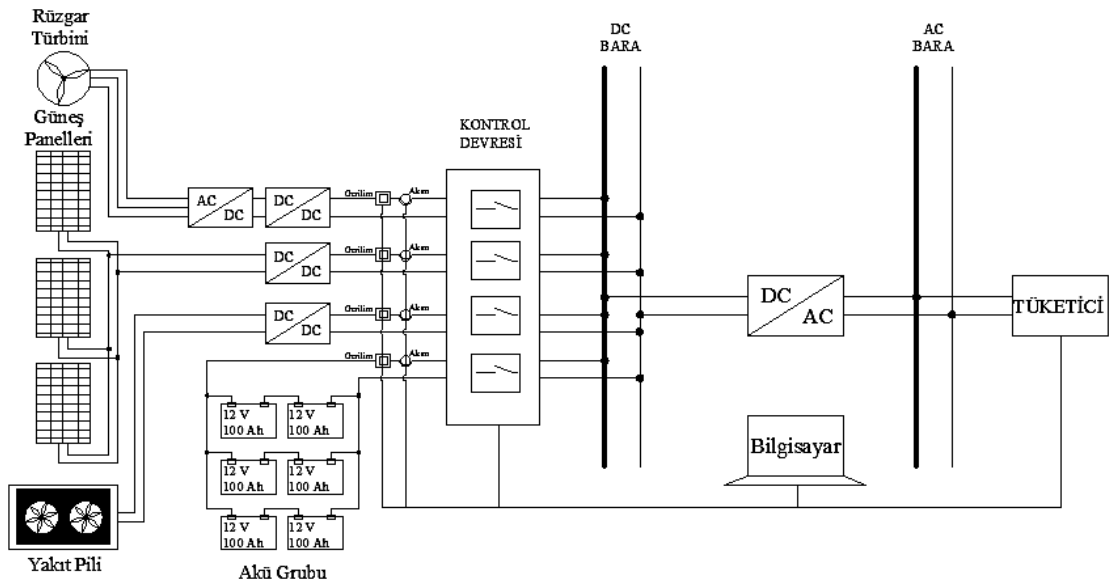
Hibrit güç üretim sisteminde üretilen elektrik enerjisi mikrodenetleyici tabanlı hibrit kontrol ünitesi ile kontrol edilmiş ve üretilen akım gerilim bilgileri bilgisayar yardımıyla belirli periyotlarda kayıt altına alınmıştır. Rüzgâr, güneş ve yakıt pilinden oluşan enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisinin çıkış gerilimlerinin dengesiz olması nedeniyle DC-DC dönüştürücü üzerinden yüklerin beslenmesi yapılmıştır. DC-DC dönüştürücülerin giriş gerilimleri 18-72 V gerilim aralığında olmakla birlikte çıkış gerilimleri sabit 24V olarak çalışmaktadırlar. Ayrıca hibrit enerji üretim sisteminde üretilen elektrik enerjisi 3 kW'lık tam sinüs DC-AC evirici (invertör) yardımı ile AC güce dönüştürülerek tüketicinin talep ettiği elektrik enerjisi sağlanmaktadır.

Diğer taraftan hibrit güç üretim sistemini oluşturan rüzgâr, güneş ve yakıt pilinden üretilen enerji, kaynaklarına göre devamlı izlenebilmektedir. Veriler 10'ar saniye aralıklarla bir yazılım programı yardımıyla Microsoft Excel dosyası olarak kaydedilmektedir. Kurulumu yapılan hibrit enerji üretim sisteminin genel bir görünümü

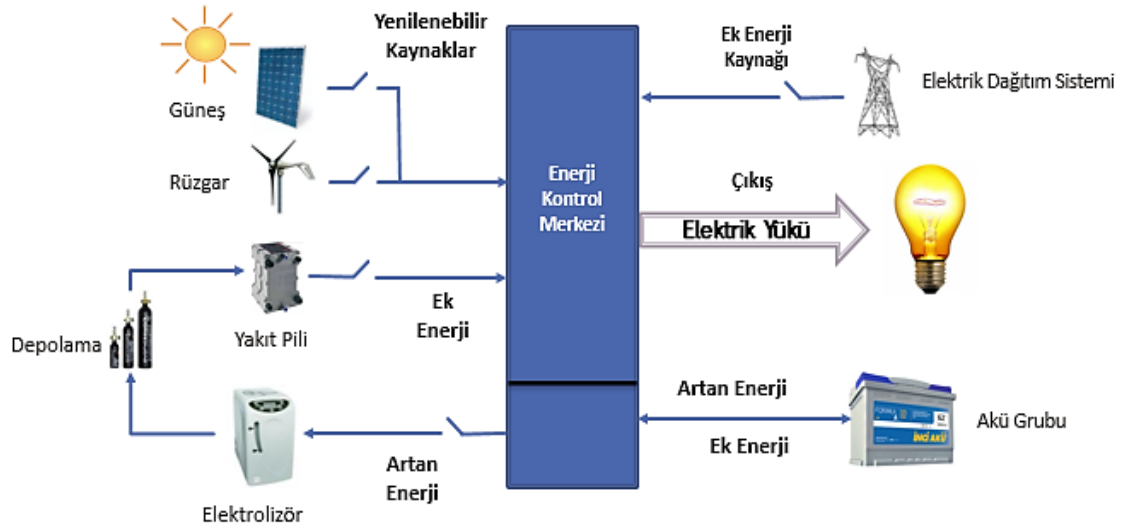
Şekil 3.1’de gösterilmektedir. Hibrit güç üretim sistemini oluşturan bileşenlerin bağlantı şeması ve çalışma modeli Şekil 3.2’de, kurulumu yapılan akü grubu destekli hibrit enerji üretim sisteminin çalışma mantığı ve enerji akış yapısı ise Şekil 3.3’de görülmektedir.



Şekil 3.1 Akü grubu destekli rüzgar, güneş ve yakıt pilinden oluşan hibrit enerji üretim sisteminin genel görünüşü.



Şekil 3.2 Hibrit güç üretim sistemini oluşturan bileşenlerin bağlantı şeması ve çalışma modeli.

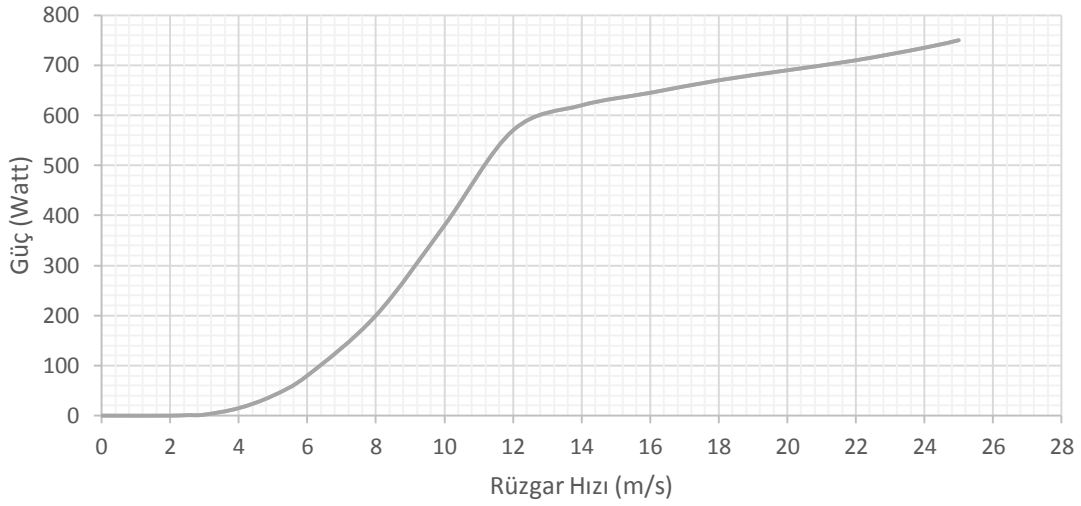


**Şekil 3.3** Akü grubu destekli rüzgar, güneş ve yakıt pilinden oluşan hibrit enerji üretim sisteminin çalışma mantığı ve enerji akış modeli.

Hibrit güç üretim sisteminde kullanılan bileşenlerin teknik özellikleri ayrı ayrı aşağıda verilmektedir.

### 3.1.1 Rüzgâr türbini

Hibrit enerji üretim sistemi temel bileşenlerinden Vind marka 600W nominal gücüne sahip rüzgar türbinin çıkışı 3 faz 24V AC'dir. Maksimum çalışma gücü 750W'dır. Rüzgâr türbininin devreye girme rüzgâr hızı 2,5m/s maksimum çalışma rüzgâr hızı ise 25 m/s'dir. Rüzgâr türbini 25 m/s hızda frenleme işlemini 1 dk. süre ile gerçekleştiren sabit mıkmatıslı bir generatöre sahiptir. Rotor kanat çapı 1,2 metre olan rüzgâr türbinin rotor hız kontrolü mekanik olarak gerçekleştirilmektedir. Bütün gövde, kuyruk, şapka vs, %13,6 magnezyum içerikli bir alüminyum alaşımdan imal edilmiş olan bu türbin korozyona karşı mukavemetli ve aynı zamanda da ağırlığı 6 kg olması nedeniyle de gayet hafiftir. Normal çalışma şartları altında yaklaşık 20 yıl ömrü olan bu türbinlerin kanatları tam enjeksiyon karbon fiber takviyeli plastik (CFRP) malzemeden imal edilerek en az titreşim imkanı olacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 3.4'de hibrit enerji üretim sisteminde kullanılan rüzgar türbinine ait rüzgar hızına bağlı olarak güç eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Vind EFS 600W rüzgar türbini hız-güç eğrisi.

### 3.1.2 Fotovoltaik panel

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminde önemli role sahip olan ışık seviyesinin enerji üretimi yapılabilecek düzeyde olması gerekmektedir. Bilindiği gibi güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminde işletme giderleri diğer sistemlere oranla yok denecek kadar azdır. Son yıllarda artan teknolojik düzeyle birlikte hem panel güçleri hem de verimliliklerinde ciddi gelişmeler kaydedilmektedir.

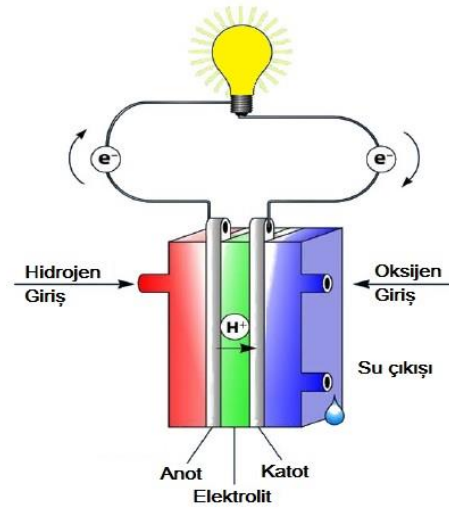
Bu çalışmada, 3 adet 190 W gücünde her biri 72 hücreden oluşan, hücre verimi %18 olan monokristal paneller kullanılmıştır. Kullanılan fotovoltaik panel Şekil 3.5’de verilmiştir. 24V DC çalışma gerilimine sahip bu panellerin maksimum çalışma gerilimi 37,08V, maksimum güç akımı 5,12A ve kesme akımı ise 5,54 amperdir.



Şekil 3.5 190W monokristal güneş paneli.

### 3.1.3 Yakıt pili

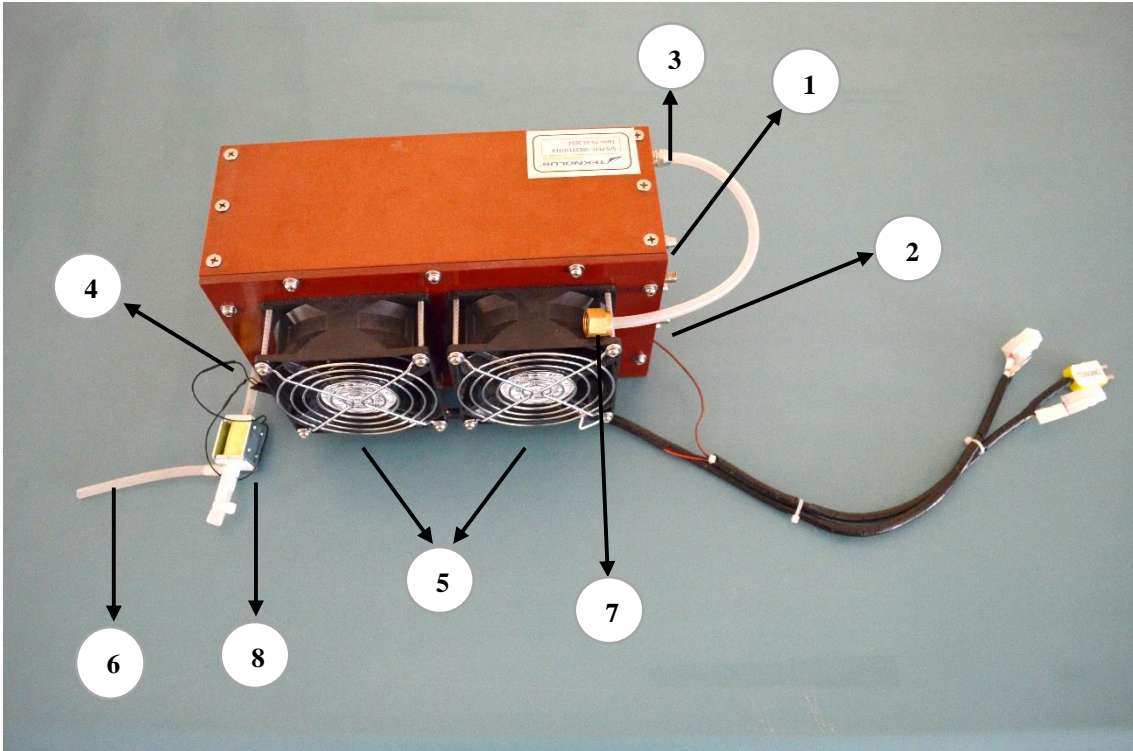
Yüksek güç yoğunluğuna sahip olmaları, hızlı-çabuk marş yapabilme ve değişken güç çıkışına uygun olmaları nedeniyle değişken proton membran yakıt pilleri ulaşım alanında ve taşınabilir sistemlerde kullanılmaktadırlar. Günümüzde de değişken proton membran yakıt pilleri otomotiv sektöründe içten yanmalı motorlara alternatif olarak son yıllarda geliştirilmekte ve hibrit teknolojiler olarak kullanılmaktadır. Polimer elektrolit membranlı (PEM), katı polimer elektrolit, ve polimer elektrolit yakıt pilleri olarak da adlandırılan bu pillerin temel yapısı Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Proton değişken membran (PEM) yakıt pili temel yapısı.

Bu çalışmada, yukarıda da ifade edildiği gibi pratik kullanım imkânlarına sahip olması, özellikle kullanılan yakıt pilinin ilk çalıştırma sırasında harici hiçbir güç kaynağına ihtiyaç duymaması nedeniyle ve dolaylı güç kayıplarının minimize edildiği değişken proton membranlı yakıt pili kullanılmıştır.

PEFC 500W yakıt pilinin çalışma gerilimi 20-36V aralığında olmakla birlikte nominal çalışma gerilimi 24V DC'dir. Nominal çalışma akımı 21A olan bu yakıt pilinin verimi yaklaşık %50'dir. Tam yükünde çalıştığı takdirde 6,3lt/dk hidrojen tüketen bu yakıt pilinin girişine 0,5-0,6 bar basıncında hidrojen girişinin verilmesi gerekmektedir. Ayrıca kullanılacak hidrojenin saflığının da en az %99,95 olması gerekmektedir. Yakıt pili yapısı itibariyle gücüne göre hafif ve güç yoğunluğu yüksek olan pil demetine sahiptir. Aynı zamanda basit, kullanışlı ve güvenilir bir tasarıma sahiptir. Bununla birlikte, ortam şartlarına göre performans kaybı minimize edilmiştir. Bu yakıt pilini çalıştırmak için harici bir tetikleme gerilimine ihtiyaç yoktur. Bu yakıt pili sisteminde yakıt hücresi demetleri, fanlar, kontrol kartı ve elektromanyetik vanalar bir bütündür.

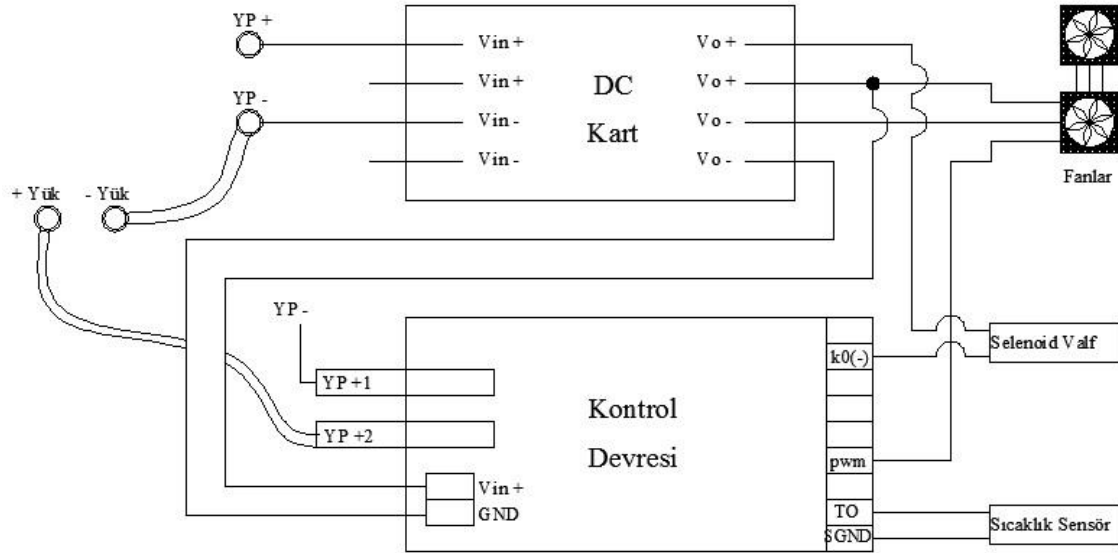


**Resim 3.1** PEFC 500W yakıt pili.

Resim 3.1’de kullanılan yakıt pilinin yapısı ve bağlantı noktaları gösterilmiştir. Bu bağlantı noktalarına bakacak olursak;

Kontrol devresine bağlantı çıkışı (Pozitif uç)

1. Yük çıkışına ve kontrol devresine bağlantı çıkışı (Negatif uç)
2. Hidrojen giriş noktası
3. Atık hidrojen çıkış noktası
4. Fanlar (Yakıt pilinin çalışması sırasında yığınlarının ısınmaması için kullanılan fanlar)
5. Selenoid valf üzerinden irtibatlı atık hidrojen çıkışı borusu
6. Hidrojen bağlantı borusu
7. Selenoid valf (Atık gazların ve reaksiyon sonrası çıkan suyun boşaltılmasını kontrol için kullanılan selenoid çıkış valfi)



Şekil 3.7 Yakıt pili kontrol devresi.

Yakıt pilinin sağlıklı çalışabilmesi için proton membran yığınlarını kontrol eden bir devreye gereksinim duyulur. Şekil 3.7’de kullanılan yakıt pilinin kontrol devresi görülmektedir. Burada DC kart, kontrol devresi ve fanlar için gerekli olan gerilimi stabil



olarak sağlamaktadır. Yakıt pili yığınlarında gerçekleşen kimyasal tepkime ile elektrotun anottan katoda doğru hidrojen iyonlarını taşımasıyla elde edilen elektrik gerilimi DC kart vasıtasıyla regüle edilir. Kontrol devresi yükün beslenmesi, sıcaklık sensörü ile fanların devreye girmesi, selenoid valf ile hidrojen gazının kontrolü ve ihtiyaç duyulması halinde multimetre vb. ekipmanlar için gerekli izleme ve kontrol ihtiyacını karşılamaktadır.

Yakıt pilini çalıştırmadan önce bazı kontrollerin ve hazırlıkların yapılması gereklidir.

1. Güç ve veri kablolarının doğru bağlandığının kontrol edilmesi gereklidir.
2. Yakıt pili katalog bilgisinde verilen ortam sıcaklığı ve nem oranlarının sağlandığı ortamlarda çalıştırılmalıdır. 15°C - 30°C ile %30 - %90 nem tavsiye edilen şartlardır.
3. Ortamda yakıt pilinin çalışmasını olumsuz etkileyebilecek Nitrik oksit, sülfür dioksit, metan, propan, kozmetik ve parfüm bileşenleri esterler gibi gazlar varsa çalıştırılmamalıdır.

Yukarıdaki kontroller yapıldıktan sonra yakıt pili güvenli bir şekilde çalıştırabilir. Öncelikle yakıt piline gaz geçişini sağlayacak olan hidrojen valf açılır. Bununla birlikte selenoid valfte hemen çalışarak yığınlar ve tüp içinde bulunan atık gazların dışarı atılmasını sağlar. Yığınların çalışma basıncı 0,5 bar sağlandıktan sonra 33-36 V aralığında bir gerilim yüksüz yakıt pilinde elde edilir. Yakıt pili çalışmasından 2 saniye sonra yüklenmeye hazır hale gelir. Bu aşamada, yakıt pili nominal gücünün %60'ından daha fazla bir yükü yüklenmemelidir. Daha sonra normal çalışma koşulları olan 24 V gerilim ve 500W'lık yükü besleyebilir konuma gelir. Yakıt pili kapatılmak istenildiğinde de önce yük düşülür ve daha sonra da hidrojen valfi kapatılır. PEFC-500 yakıt pilinin teknik özellikleri Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.1** PEFC-500 yakıt pili özellikleri.

<i>PEFC-500 Yakıt Pili Özellikleri</i>		
Performans	Gücü	500 W *
	Çalışma Gerilimi	24 V
	Akım	21 A
	Gerilim Aralığı	20-36 V
	Verim	≥ 50 %
Yakıt	Hidrojen Saflığı	≥ 99,95 %
	Çalışma Basıncı	0,5-0,6 bar
	1 dk. Hidrojen Tüketimi	6,8 l/dk.
Oksidant / Soğutma Sistemi	Soğutma Şekli	Hava
	Basınç	Ortam basıncı
Fiziksel Özellikler	Ağırlık	4,2 kg.
	Ebatlar (Boy x En x Yükseklik)	251 x 132 x 135 mm
Çalışma Sıcaklığı	Ortam Sıcaklığı	-5°C - 40°C
	Nem	%10 - %95

\* Sıcaklık 15°C - 30°C ve nem oranı %30-%90 aralığında

### 3.1.4 Hidrojen Generatörü

Hidrojen generatörü QL-300 model ve 0-310 ml/dk. arasında %99,99 saflıkta hidrojen çıkışına sahip bir generatördür. 0,02-0,4 MPa (mega pascal) çıkışı olan generatör suyun yetersiz, yüksek basınç ve suyun iletkenliğinin 1MΩ'dan daha kalitesiz olması durumunda alarm konumuna geçerek kendini koruma altına almaktadır. Resim 3.2'de hidrojen generatörü gösterilmektedir.



**Resim 3.2** Hidrojen generatörü.

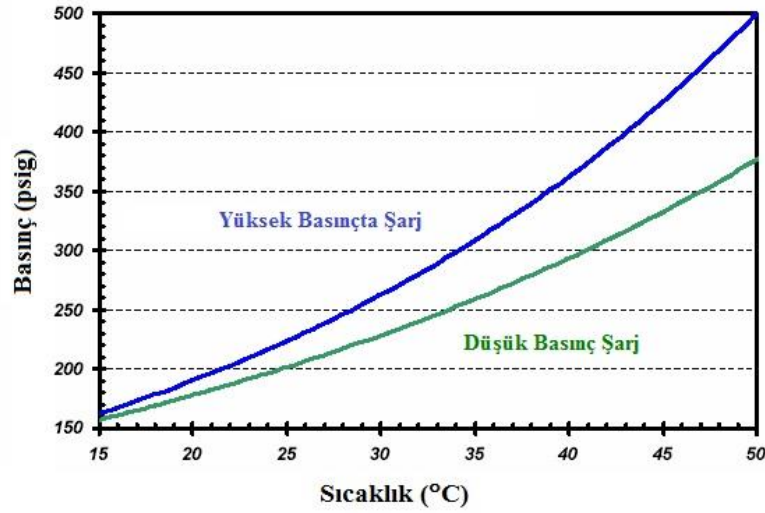
### 3.1.5 Hidrojen Tüpleri

Yakıt piline gerekli olan hidrojeni sağlamak için hidrojen çıkış hızı 5-10 lt/dk. olan bir generatör kullanmalı yada depolanmış bir hidrojeni kullanmak gereklidir. Birinci yol hem çok maliyetli hem de aşırı büyük sistemlerin kurulmasını gerektirmektedir. Bu nedenle özellikle depolama ve taşımada çok güvenli olan metal hidrür tank sistemleri en uygun çözüm olmaktadır. Metal hidrür sistemi pahalıdır ve hidrojenin doldurulması da uzun zaman alır. Hidrojen tüpe doldurulurken soğuma hidrojeni yakıt piline verirken de ısınma oluşur. Fakat tankın delinmesi ihtimalinde tüplerin ısı sistemi hemen soğutmaya geçerek hidrojen kaçağını engeller. Bu çalışmada Resim 3.3’de görülen 250 lt ve 760 lt kapasitelerine sahip hidrojen tüpleri kullanılmıştır.



**Resim 3.3** Metal hidrit tüpler (a) 250 lt (b)760 lt tüp.

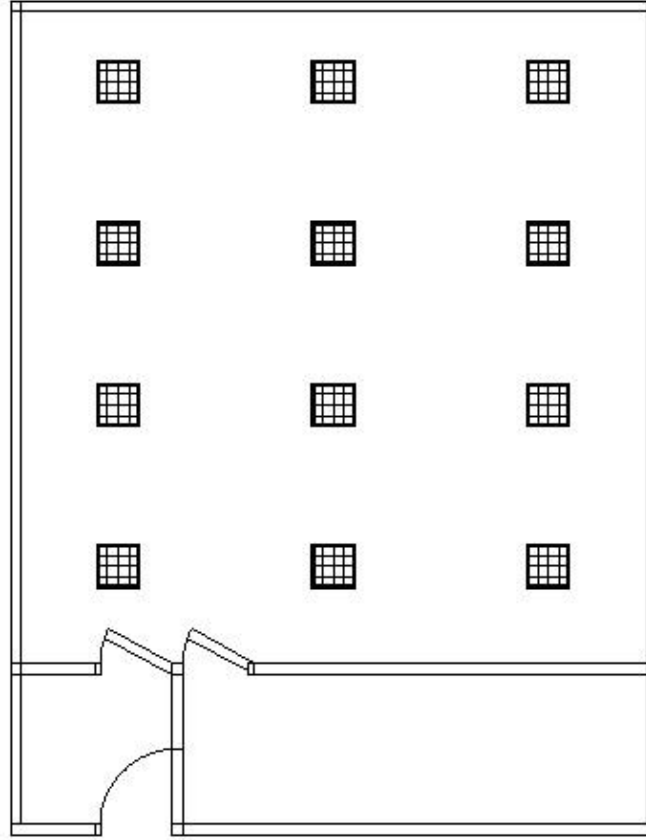
10-17 bar basınçlarında dolan hidrojen tüplerine 17 bar basınçta hidrojen gazı verilirse tüplerin tam kapasite dolumu gerçekleştirilebilmektedir. Bu tüpler daha düşük basınçlarda doldurulabilirler ancak hidrojenin sıkıştırma oranının düşük olmasından dolayı depolanan miktarda basınçla orantılı olarak tüpün dolum oranı da düşmektedir. Örneğin 250 litre kapasiteli bir tüp 10 bar basınç ile doldurulacak olursa 160 litre doldurulabilir. Basınç sıcaklık arasındaki eğri aşağıdaki Şekil 3.8’de gösterilmektedir. Bu eğrideki basınç deniz seviyesindeki basınç olarak verilmiştir.



Şekil 3.8 Basınç-Sıcaklık arasındaki karakteristik eğrisi.

### 3.1.6 Akü grubu

Hibrit güç üretim sisteminde rüzgâr, güneş ve yakıt pilinden enerji üretiminin olmadığı zamanlarda laboratuvarların aydınlatması için gerekli olan enerji elektrik dağıtım şebekesinden öncelikli olarak akülerden temin edilecektir. Akü grubunun tam olarak dolu olduğu ve her iki laboratuvardaki tüm lamba gruplarının da devrede olduğu kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır. Laboratuvarların aydınlatma sistemi aşağıdaki Şekil 3.9’da görüldüğü gibi 4x18W çift parabolik armatürlerden tesis edilmiştir. Bu çalışmada, laboratuvar aydınlatmasının günde ortalama 8 saat kullanılacağı düşünülmüştür. Ayrıca akü grubunun ve diğer enerji kaynaklarının da daha etkin kullanılması düşüncesiyle iki laboratuvarda ki 4x18W tüp flüoresan lambalar 2x9W gücündeki power LED flüoresan lambalarla değiştirilmiştir.



Şekil 3.9 Laboratuvarda armatürlerin yerleşim düzeni.

$$\text{Toplam Güç} = \text{Lamba Sayısı} \times \text{Lamba Gücü}$$

$$P_{\text{toplam}} = 48 \times 9 \text{ W} = 462 \text{ W} \quad (3.1)$$

Armatürlerin günde 8 saat çalışmaları durumunda harcayacakları toplam enerji;

$$E = \text{Güç (W)} \times \text{Zaman (h)} = 462 \times 8 = 3704 \text{ Wh} \quad (3.2)$$

Akülerin kapasiteleri (C) amper-saat cinsinden ölçülmektedir. Dolayısıyla günlük enerji tüketiminin gerilime oranı ile akü kapasitesi bulunur. Burada sistem 24V olduğu için Akü kapasitesi belirlemede de gerilim değeri olarak 24V alınacaktır.

$$\text{Akü Kapasitesi (C)} = \frac{E}{V} = 3704/24 = 154 \text{ Ah} \quad (3.3)$$

olarak hesaplanır.

Buradan elde edilen bu sonuca göre akü grubunu seçmek çok da doğru olmaz. Çünkü akünün kendisinden, eviriciden ve sistemden kaynaklanan bazı kayıplar söz konusudur. Bu kayıpların ilave edilmesi sağlıklı çalışacak bir sistem için gereklidir. Evirici ve akünün kendisinden %10, sistemden de %2'lik bir kayıp olduğu düşünülürse yeni akü kapasitesi 244 Ah olarak bulunur.

$$C_{yeni} = \frac{C_{eski}}{Akü kayıp \times Sistem kayıp} = \frac{216}{0,9 \times 0,98} = 244 Ah \quad (3.4)$$

Akü hesabı yapılırken akü kapasitesinin %85' inin kullanılacağı, %15' inin emniyet şarjı olarak tutulmasına istinaden oluşturulan sistemi kesintisiz 8 saat besleyebilmesi için gerekli akü kapasitesi 287 Ah olarak hesaplanır.

$$C_{son} = \frac{244}{0,85} = 287 Ah \quad (3.5)$$

Bu hesaplamalar neticesinde 12 V'luk 100 Ah 2 adet akü seri bağlanarak 24 V 100 Ah'lik bir akü grubu oluşturulmuştur. Oluşturulan bu 3 adet seri grup paralel bağlanarak 24 V 300 Ah' lik akü grubu elde edilmiştir. Resim 3.4'de akü grubu verilmiştir.



**Resim 3.4** 24V DC 300 Ah akü grubu.

### 3.1.7 DC-DC dönüştürücü (Konvertör)

Hibrit güç üretim sisteminde rüzgâr, güneş ve yakıt pilinden elde edilen elektrik enerjisi farklı zamanlarda farklı ve değişken gerilim değerleri vermesi durumuna karşılık, üretilen elektrik enerjisini sabit bir gerilim çıkışı ile birlikte DC-AC eviriciye vermek gerekir.

Sistemdeki gerilimlerin zaman değişikliğine göre düşük veya yüksek olmasından dolayı giriş değerleri geniş aralığa sahip olan düşürücü – yükseltici DC-DC dönüştürücüler kullanılmıştır.

960W tek çıkışlı DC-DC dönüştürücü kısa devre, aşırı yük, gerilim yükselmesi ve yüksek sıcaklık gibi durumlarda rahatlıkla çalışabilmektedirler. Hibrit güç üretim sisteminde kullanılan DC-DC dönüştürücü Resim 3.5’de gösterilmektedir.

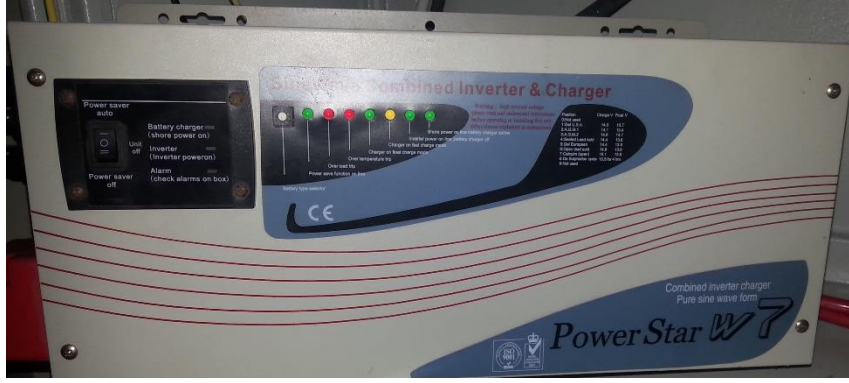


**Resim 3.5** DC-DC Dönüştürücü.

### **3.1.8 Evirici (İnvertör)**

Yapılan çalışmada, şebekeden bağımsız hibrit güç üretim sistemi tarafından üretilen DC enerjiyi AC enerjiye çevirmek için 3 kW’lık tam sinüs tipinde evirici kullanılmıştır. Resim 3.6’da görülen verimi %85 mertebesinde olan eviricinin aynı zamanda akü şarj özelliği de bulunmaktadır. Eviricinin bu özelliklerinin dışında, eviriciye rüzgâr, güneş ve yakıt pili hibrit güç üretim sistemlerinden ve akü grubundan gelen giriş gerilimi 20V’un altına düştüğü zaman evirici düşük voltaj konumuna geçerek kendini devre dışı bırakmaktadır. Bu durumda eviricinin girişine bağlanan bir adet kontaktörle akü grubu şarj konumuna alınır. Akü grubunun gerilim seviyesi 22V’un üzerine çıkana kadar laboratuvarında bulunan aydınlatma sistemi şebekeden beslenmektedir.

Akü grubunun gerilimi 22V’un üzerine çıktığında ise açık olan eviricinin kontakları otomatik kontrol devresi ile kapanarak lamba gruplarının enerji ihtiyacı hibrit güç üretim sistemi üzerinden karşılanmaktadır.



**Resim 3.6** Tam sinüs dalga 3kW, 24V DC - 220V AC evirici.

### **3.2 Hibrit Güç Üretim Sisteminde Enerjinin Etkin Kullanılması İçin Kontrol Sisteminin Tasarlanması**

Hibrit güç üretim sisteminde rüzgâr türbini, güneş panelleri ve yakıt pilinden elde edilen enerji DC-DC dönüştürücüler yardımıyla 24V'luk stabil DC gerilimli bir barada toplanacaktır. Aynı zamanda akü grubu da DC baraya bağlanacaktır. Daha sonra stabil DC gerilim kontrol ünitesi üzerinden evirici yardımıyla AC gerilime dönüştürülerek tüketicilerin işletme gerilimine uygun hazır hale getirilmiş olacaktır.

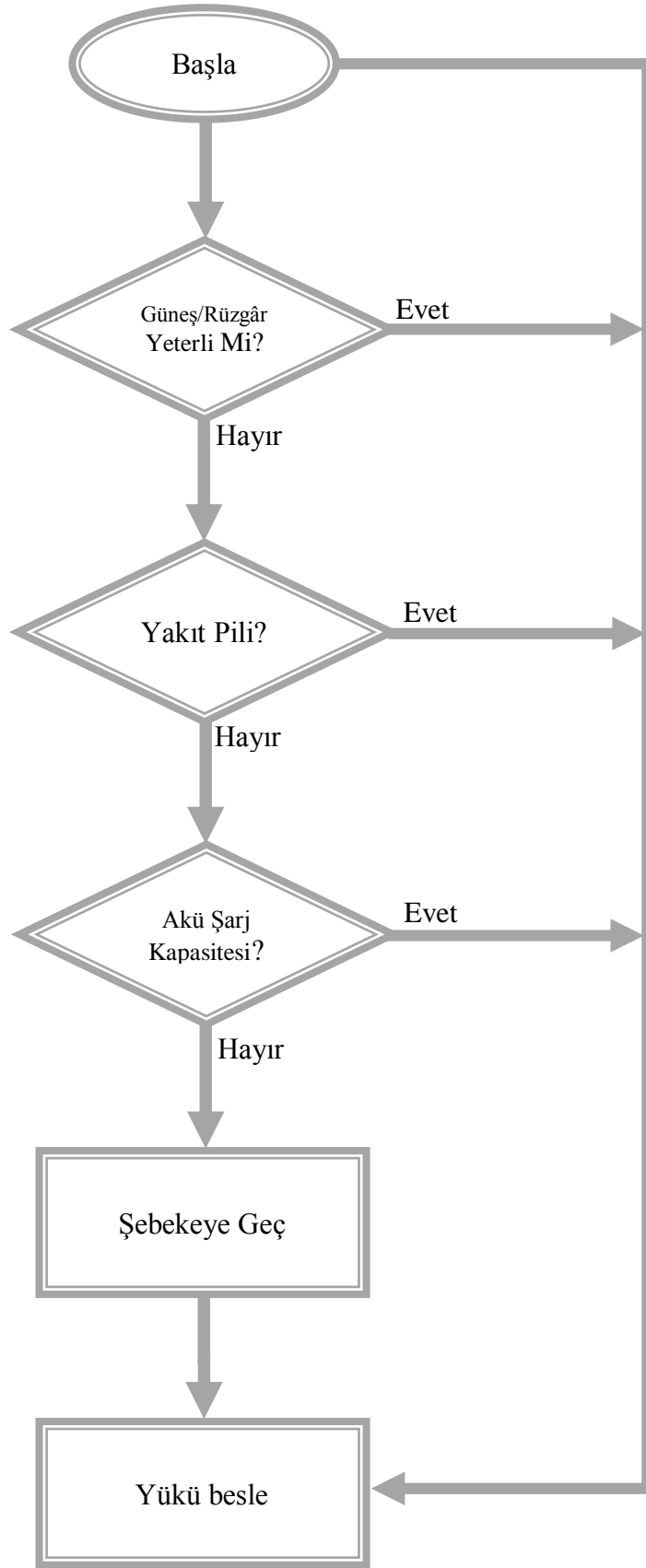
Tasarımı ve uygulaması yapılan mikrodenetleyici tabanlı enerji akış kontrol sistemi ile güneş paneli, rüzgâr türbini ve yakıt pilinden üretilen enerji verilerinin akışı düzenlenecektir. Laboratuvarın genel aydınlatması için kullanılan power LED floresan lambalar hibrit güç üretim sisteminin besleyeceği yükler olarak kabul edilmiştir. Hibrit enerji üretim sisteminde rüzgâr türbini ve güneş panelleri temel güç kaynağı olarak değerlendirilmiştir. Yükün talep ettiği enerji rüzgâr türbini ve güneş panellerinin ürettiği enerji ile karşılaştırılır. Eğer yükün talep ettiği enerji bu iki enerji kaynağından karşılanıyor ise yakıt pili ve akü grubuna ihtiyaç duyulmamaktadır.

Zamana göre yükün ihtiyaç duyduğu enerji talebine rüzgâr türbini ve güneş panellerinin ürettiği enerji cevap verememesi durumunda tasarlanan enerji akış kontrol sistemine göre yakıt pili devreye aktif olarak girecektir. Yakıt pilinin de yetersiz geldiği durumlarda akü grubu yükün talep ettiği enerjiyi sağlayacaktır.

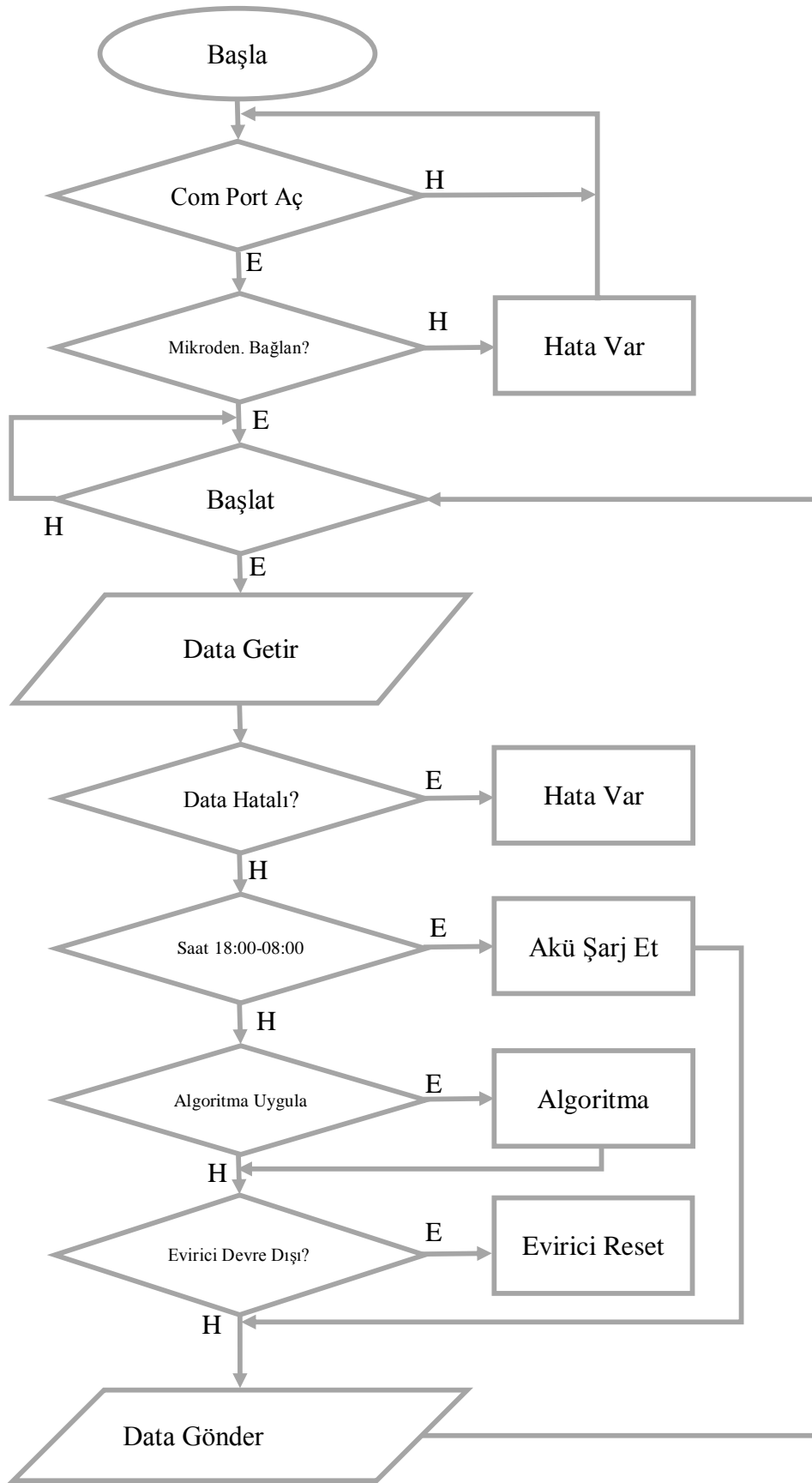


Hibrit enerji üretim sistemi bileşenlerinden rüzgâr türbini ve güneş panellerinin ürettiği enerjinin laboratuvarın aydınlatması için kullanılan floresan lambaların ihtiyaç duyduğu enerjiden fazla olması durumunda artan enerji etkin bir şekilde değerlendirilmiştir. Bu amaçla artan enerji öncelikle akü grubunun şarj oranına bakılarak (%95'in altında ise) akülerde depolanır. Şayet aküler doluluk oranına sahip ise artan enerji hidrojen generatörünü besleyerek hidrojen gazı elde edilir. Bu elde edilen hidrojen gazı da hidrojen tüpünde depolanır. Böylece artan enerji gereksiz yere kullanılmamış olur.

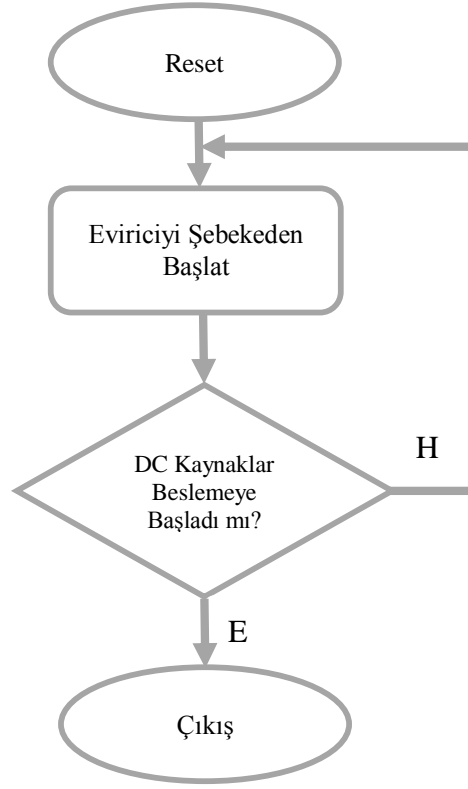
Hibrit güç üretim kaynaklarından üretilen ve talep edilen gücün büyüklüğüne göre çalışma sırası ve mantığını gösteren algoritma Şekil 3.10'da verilmiştir. Enerjinin etkin ve verimli kullanılabilmesi için gerçekleştirilen kontrol algoritması ise Şekil 3.11'de verilmiştir. Ayrıca Şekil 3.12'de de DC-AC eviricinin çalışma mantığını gösteren algoritma verilmiştir.



Şekil 3.10 Hibrit güç enerji üretim kaynakları çalışma algoritması.



Şekil 3.11 Kontrol algoritması.

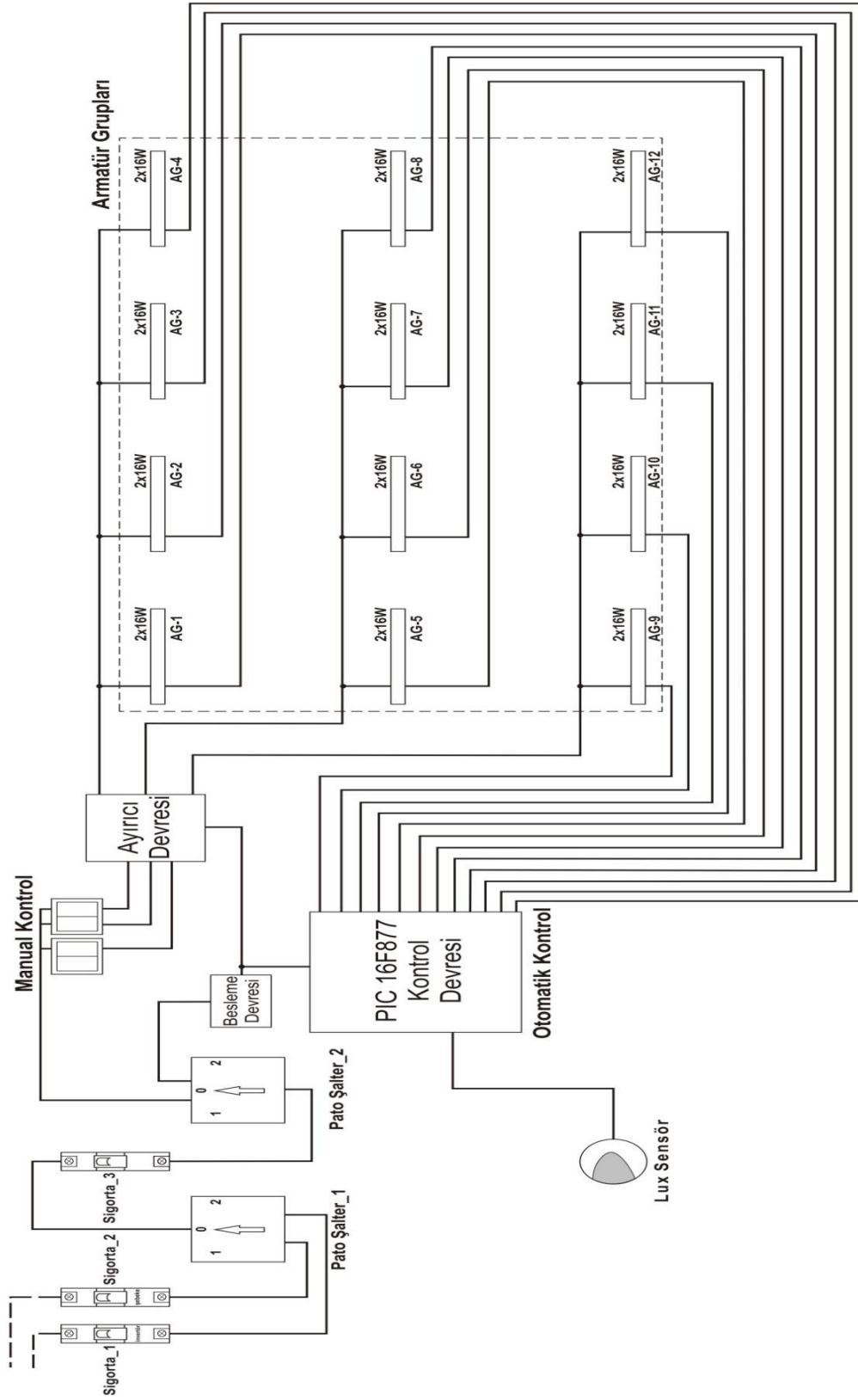


Şekil 3.12 Eviricinin çalışma algoritması.

### 3.3 Yük Kontrol Sisteminin Bağlantı Şekli ve Bileşenleri

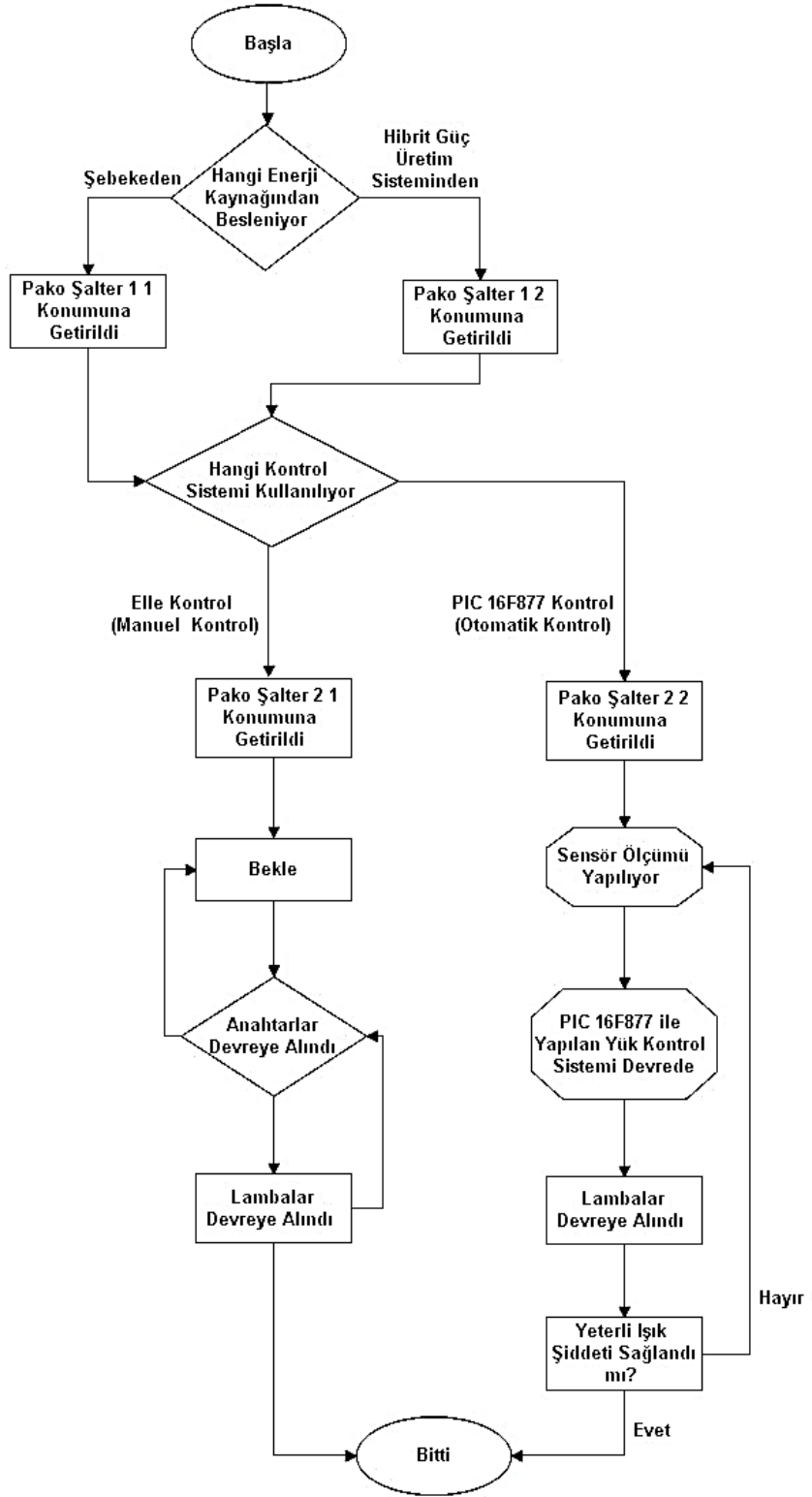
Yük kontrol sistemi ile laboratuvar içerisinde bulunan armatür gruplarının kontrolü sağlanmaktadır. Kontrol sistemi, dışarıdan gelen güneş ışığının oranına göre laboratuvarında bulunan armatürleri devreye alma veya çıkarma işlemini gerçekleştirmektedir. Burada laboratuvarın aydınlık şiddeti 300lx değerinin üstünde tutulmuştur. Böylece akü grubu destekli güneş, rüzgâr ve yakıt pilinden oluşan hibrit güç üretim sisteminin ürettiği elektrik enerjisinin daha uzun süre armatür gruplarını besleyebilmesi ve floresan lambaların ömürlerinde de ciddi bir tasarruf sağlanması planlanmaktadır. Ayrıca floresan lambaların power LED floresan lambalar ile değiştirilmesi de enerjinin etkin ve verimli kullanımı açısından önem arz etmektedir. Yük kontrol sisteminin bağlantı şeması aşağıdaki Şekil 3.13’de görülmektedir.

Yük kontrol sisteminin bağlantı şemasında görülen sigorta\_1, hibrit güç üretim sisteminden gelen hattı, sigorta\_2 ise şebekeden gelen hattı ifade etmektedir. Bu iki elektrik besleme hattından hangisinin devrede olacağı pako\_şalter\_1 ile tespit edilir. Eğer pako\_şalter\_1 1 konumuna getirilirse armatür grupları hibrit güç üretim sistemi üzerinden beslenecektir. Eğer pako\_şalter\_1, 2 konumuna getirilirse armatür grupları şebeke elektriğinden beslenecektir. Pako\_şalter\_1'den çıkan elektrik hattı sigorta\_3 üzerinden pako\_şalter\_2'ye bağlanmaktadır. İki pako şalter arasına sigorta\_3 koruma amacıyla bağlanmıştır. Yük kontrol sistemimizde bulunan Pako\_şalter\_2 ise floresan lambaların kontrol yöntemini belirlemektedir. Eğer pako\_şalter\_2 1 konumuna alınırsa armatür grupları anahtarlar yardımı ile manuel kontrol edilecektir. Yok, eğer pako\_şalter\_2 2 konumuna alınırsa armatür grupları lux sensörü üzerine düşen ışık şiddetine göre otomatik olarak kontrol edilecektir. Yük kontrol sisteminin temel çalışma mantığı bu şekildedir. Yük kontrol devresinin yapımında kullanılan, elektronik elemanlardan PIC 16F877 mikrodenetleyicinin özellikleri aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 3.13 Yük kontrol sisteminin bağlantı şeması (Oğuz 2012).

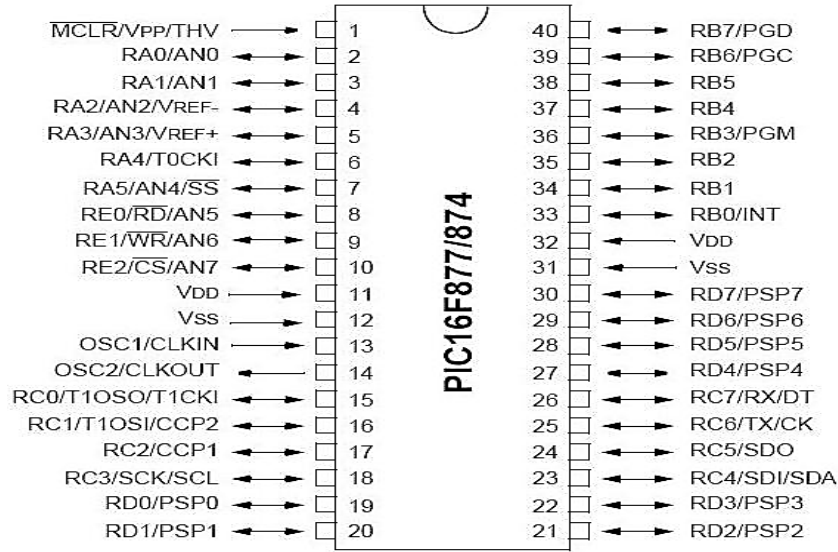
PIC 16F877 ile yapılan yük kontrol sisteminin çalışma mantığını gösteren akış diyagramı aşağıdaki Şekil 3.14’de görülmektedir.



Şekil 3.14 Yük kontrol sisteminin akış diyagramı (Oğuz 2012).

### 3.3.1 PIC 16F877 ve teknik özellikleri

Yük kontrol sisteminin tasarımında Microchip firmasının üretmiş olduğu PIC 16F877 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Bu mikrodenetleyicinin tercih edilmesinin sebepleri ise; Yeterli sayıda giriş ve çıkış ucuna sahip olması ve analog giriş uçlarına sahip olmasıdır. Aşağıdaki Şekil 3.15’de PIC 16F877 mikrodenetleyicisinin bağlantı uçları görülmektedir.



Şekil 3.15 PIC 16F877 mikrodenetleyicisinin bağlantı uçları.

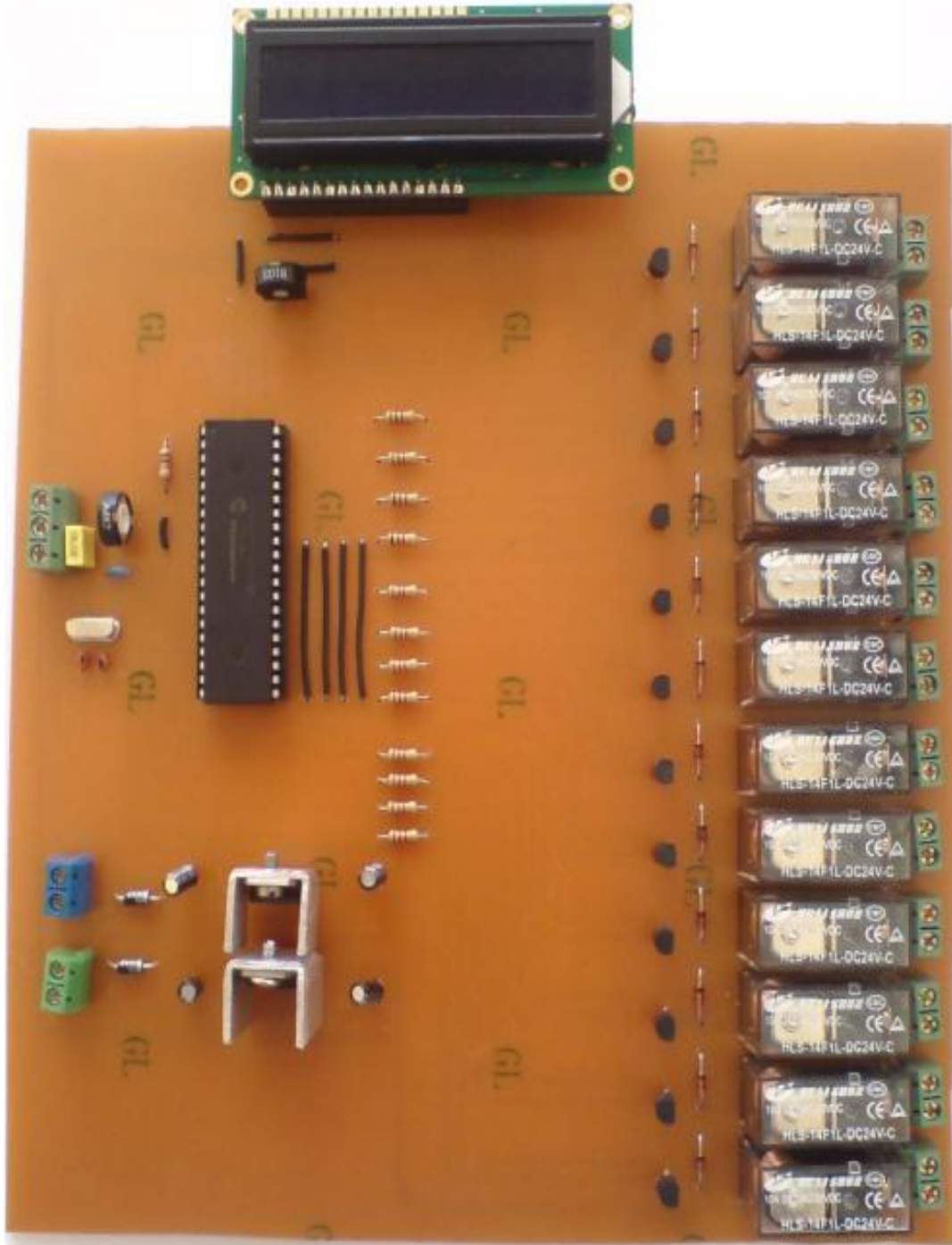
PIC 16F877 mikro denetleyicisinin bazı teknik özellikleri aşağıdaki Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 PIC 16F877’nin teknik özellikleri.

Parametre Adı	Değer
Program Hafıza Tipi	Flaş
Program Memory (KB)	14
İşlemci Hızı (MIPS)	5
RAM Bytes	368
Veri EEPROM (bayt)	256
Dijital İletişim Çevre Birimleri	1-A/E/USART, 1-MSSP
Capture // PWM Çevre Birimleri Karşılaştır	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



Yukarıdaki PIC ile yapılan yük kontrol devresinin plaket üzerine aktarılmış ve eleman montajı yapılmış hali aşağıda Resim 3.7’de görülmektedir.



**Resim 3.7** PIC ile yapılan yük kontrol devresinin eleman montajından sonraki hali (Oğuz 2012).

### 3.4 Hibrit Güç Üretim Sisteminde Üretilen ve Tüketilen Enerjinin Akış Kontrolü için Kontrol Sisteminin Kurulumu

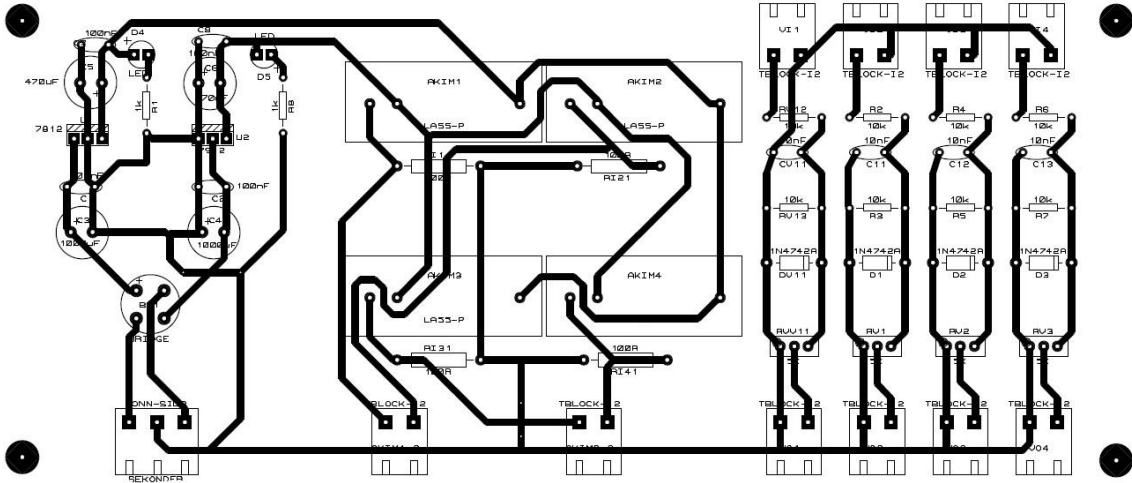
Hibrit enerji üretim sisteminin çalışma algoritması oluşturulduktan sonra sistemin kurulumuna geçilmiştir. Daha önceki çalışmada rüzgâr ve güneş enerji üretim sistemleri için kurulmuş olan harici pano ve yakıt pili sisteminin kurulacağı pano laboratuvar içine tesis edilmiştir. Rüzgâr ve güneş enerji üretim sistemine ait panoda bulunan hibrit şarj kontrol ünitesi ve diğer donanımlar sökülerek panonun içi boşaltılmıştır. Bu pano da yerleşimin nasıl yapılacağına karar verildikten sonra üst kısım kontrol devresi, orta kısım DC-DC dönüştürücüler ve alt kısım ise DC-AC evirici için ayrılmıştır. Resim 3.8’de sistemin kurulum aşamasındaki durumu gösterilmiştir. Diğer pano sadece yakıt pili, hidrojen tüpü ve hidrojen generatörü için ayrı olarak planlanmıştır.



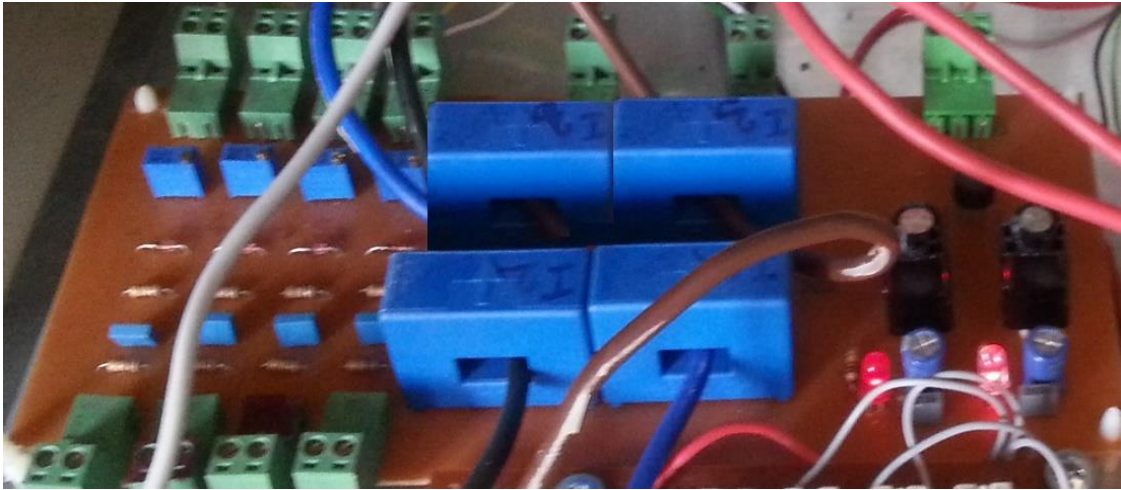
**Resim 3.8** Hibrit güç üretim ve tüketim sisteminde enerji akış kontrolü için dizayn edilen panolar.

Güneş panelleri ve rüzgâr türbini ile yakıt pilinden gelen kabloların dönüştürücülere bağlantıları pano içinde yapılmıştır. Rüzgâr, güneş ve yakıt pilinin DC-DC dönüştürücülerden çıkan artı uçları ile akünün artı ucu akünün şebekeden şarj edilmesi

durumunda ters enerji akışının önlenmesi için 50 A'lık diyot üzerinden (LA-55P) içinden geçerek DC baranın (+) kısmıyla irtibatlandırılmışlardır. Akım- gerilim okuma devresinin baskı devresi Şekil 3.16'da verilmiştir.



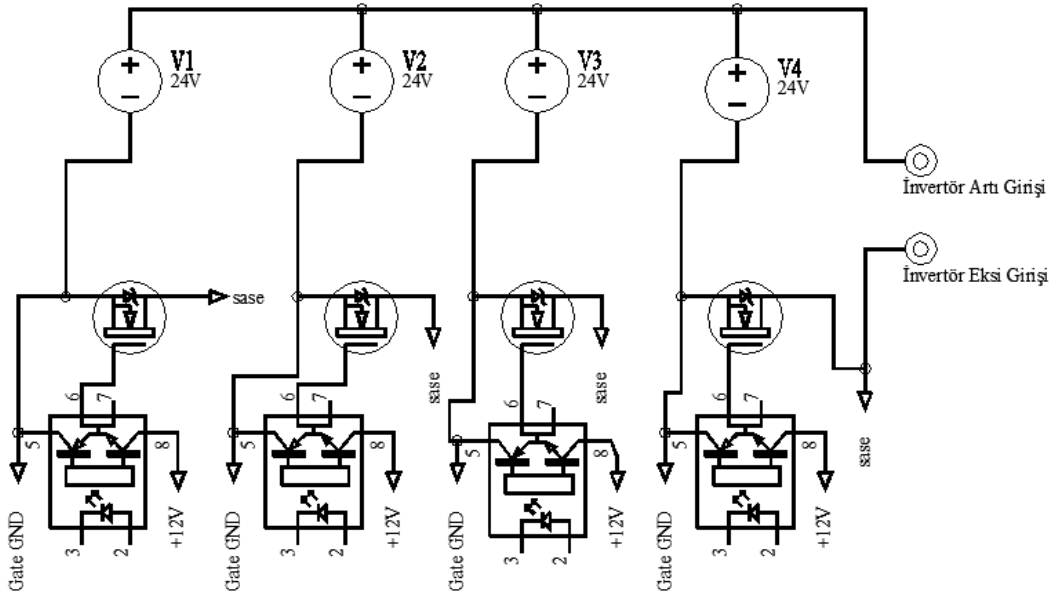
Şekil 3.16 Akım-gerilim ölçme devresinin baskı devresi.



Resim 3.9 Akım-gerilim ölçme devresinin plaket üzerine aktarılmış hali.

Resim 3.9'da görülen akım-gerilim okuma devresindeki akım okuyucular içinden geçen enerji kaynaklarının artı uçları DC barada toplanır. Buradan da eviricinin artı girişine irtibatlandırılır. Rüzgâr, güneş ve yakıt pilinin DC-DC dönüştürücünden çıkan eksi uçları ile akünün eksi ucu yük akışına göre mikrodenetleyiciden gelen komutlar sayesinde

devreye alma-çıkarma işlemini yapacak anahtarlama devresi üzerinden eviricinin (-) ucuna bağlantısı gerçekleştirilir. Şekil 3.17’de enerji kaynaklarının devreye alma ve çıkarma işlemleri için gerçekleştirilen anahtarlama devresi gösterilmiştir. V1, V2, V3 ve V4 DC-DC dönüştürücülerini temsil etmektedir. Şase yayan uçlar ise eviricinin eksi ucunda birleşmektedirler.

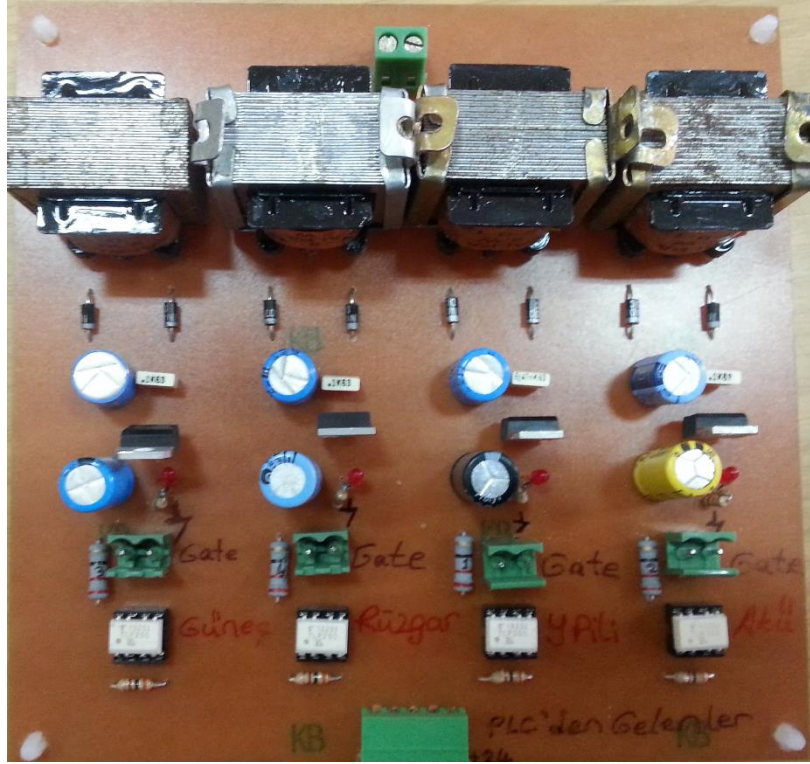


Şekil 3.17 Enerji kaynaklarının devreye alma ve çıkarma işlemleri için gerçekleştirilen anahtarlama devresi.

Yukarıda anahtarlama devresinin baskı kartı üzerine aktarılmış ve montaj edilmiş hali Resim 3.10 ve Resim 3.11’de gösterilmiştir. Bu devrede güç mosfeti olarak IRF 1405 kullanıldığı için Resim 3.10’da görüldüğü üzere büyük bir soğutucu üzerinden ayrı olarak baskı devre ile irtibatlandırılmıştır.



**Resim 3.10** Anahtarlama devresi için kullanılan güç mosfetlerinin bağlantısı.



**Resim 3.11** Enerji kaynaklarının devreye alma ve çıkarma işlemleri için gerçekleştirilen anahtarlama devresinin plaket üzerindeki görünümü.

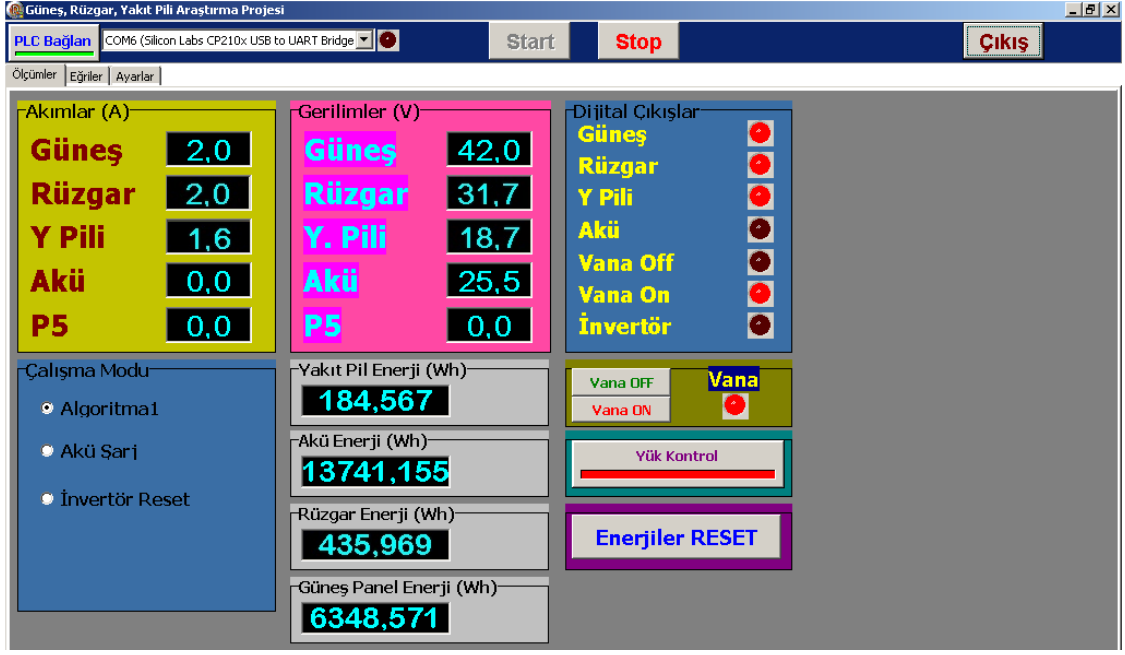
Enerji akış kontrolü için gerçekleştirilen devrelerin kendi aralarındaki bağlantıları yapıp pano montajından sonraki enerji kontrol sisteminin çalışır hale geldiği durumu Resim 3.12’de görülmektedir.



**Resim 3.12** Hibrit güç kontrol ünitesi.

### **3.5 Uzaktan Hibrit Güç Üretim Sisteminde Üretilen ve Tüketilen Enerjinin Akış Kontrol Yazılımının Arayüzü**

Hibrit güç üretim sisteminde üretilen ve tüketilen enerjinin akış kontrolü oluşturulduktan sonra belirlenen kontrol algoritması çerçevesinde programlanabilir lojik kontrolörün komut dizisi oluşturulmuştur. Sistemi izleyebilmek ve bilgisayar üzerinden kontrol edebilmek için de yazılım gerçekleştirilmiştir. Yazılım ekran görüntüsü ise Resim 3.13’de gösterilmiştir.



Resim 3.13 Hibrit güç kontrol sistemi ekran görüntüsü.

#### **4. BULGULAR**

Yapılan çalışmada, kurulumu gerçekleştirilen hibrit güç üretim sistemi için dizayn edilen kontrol sisteminde öncelikli olarak şebekeden bağımsız kesintisiz enerji arzının sağlanması üzerinde çalışılmıştır. Ancak söz konusu proje kapsamında şebeke ile entegrasyonda sağlanarak yenilenebilir enerji sistemlerinin akıllı şebeke modelleriyle birlikte enterekte sistemler üzerinde çalışılması hedeflenmiştir. Bu belirtilen durumu gerçekleştirmek için sistemde çift yönlü enerji akışı olacak şekilde tesisi yapılmıştır.

Şebekeden bağımsız güneş, rüzgâr, yakıt pili ve akü grubu destekli hibrit güç üretim sistemlerinin enerji üretim performanslarına güneş ve rüzgâr enerji üretim sisteminin temel enerji kaynakları olması yönünden bakıldığında bu sistemlerden üretilen gücün meteorolojik şartlara bağlı oldukları bilinmektedir.

Bu nedenle sistemi oluşturan elemanların çalışmasını en iyi şekilde kontrol edebilecek ve üretilen enerjinin etkin bir şekilde kullanılabilmesi için enerji yönetim stratejilerinin oluşturulması şarttır. Enerji kontrol sisteminin amacı, yüklerin enerji ihtiyacını kesintiye uğratmadan sağlamaktır. Bu işlem gerçekleşirken akü grubunun enerji verimliliğini yüksek tutmak ve yakıt pilinin devreye girip çıkma sıklığını azaltmak olacaktır. Hibrit güç üretim sisteminde yedek güç ünitesi olan yakıt pili ve akü grubu devreye ne kadar az girip çıkarsa, çalışma ömürlerinin uzayacağı da düşünülmektedir.

Hibrit enerji üretim sistemlerinde, enerji akışı yönetim stratejisini etkileyen ana faktörler; yenilenebilir enerji sistemlerinden elde edilen gücün miktarı ve akü grubunun doluluk oranıdır.

##### **4.1 Akü Grubu Destekli Hibrit Güç Üretim Sisteminin Enerji Üretim Değerleri**

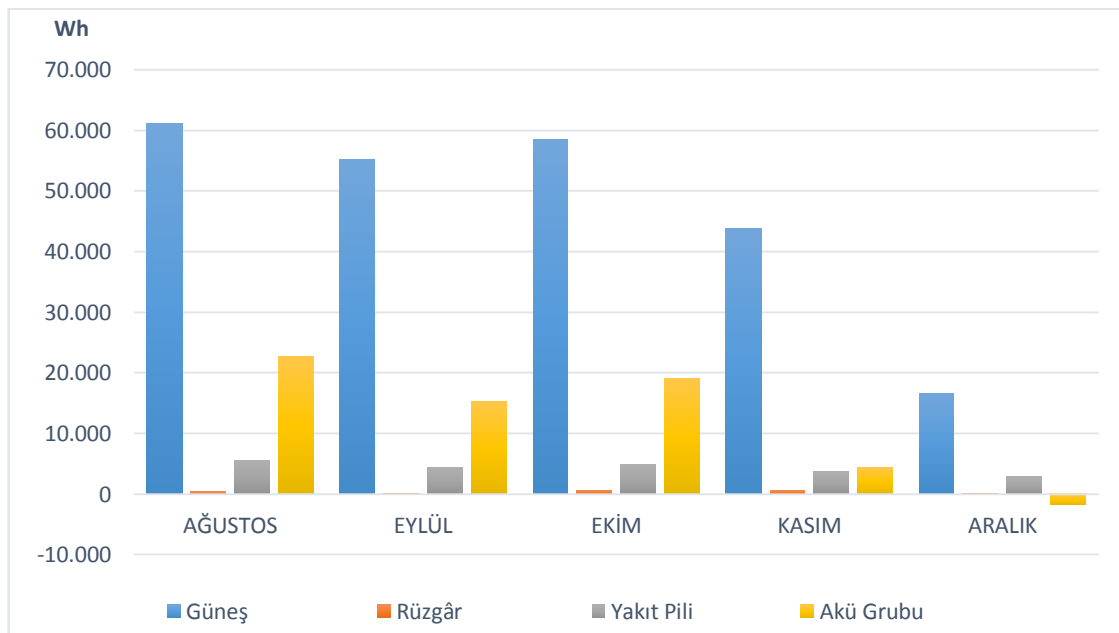
Bu çalışmada, hibrit enerji üretim sisteminin ürettiği enerji ile tüketilen enerjiye ait veriler Ağustos-Aralık ayları arasında alınmıştır. Üretim ve tüketim ünitelerine ait alınan veriler bilgisayar ortamında saat 08:00'den başlayarak her on saniyede bir saat 18:00'e kadar kayıt altına alınmıştır. Saat 18:00'den sonra da sistem akülerin şarj olması ve hidrojen generatörünün hidrojen gazı üretmesi için tasarlanmıştır.



Yapılan çalışma kapsamında her on saniyede bir veri alınması sistemin izlenebilirliği ve hassasiyeti açısından düşünülmüştür. Ancak bu durum aynı zamanda kaydedilen veri adedinin çok fazla olmasına da neden olmuş, değerlendirme sürecini zorlaştırmıştır. Bu nedenle, gün bazında verilen en düşük ve en yüksek değerler sistemin devamlı takip edilmesinin yanı sıra aylar içerisinde belli sayıda günün incelenmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Çalışma kapsamında veriler 1 Ağustos 2014-15 Aralık 2014 tarihleri arasında alınmıştır. Aylık baz da üretilen enerji verileri güneş, rüzgâr, yakıt pili ve akü grubu olmak üzere ayrı ayrı Çizelge 4.1’de gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 4.1’de üretilen enerjiler grafiksel olarak verilmiştir.

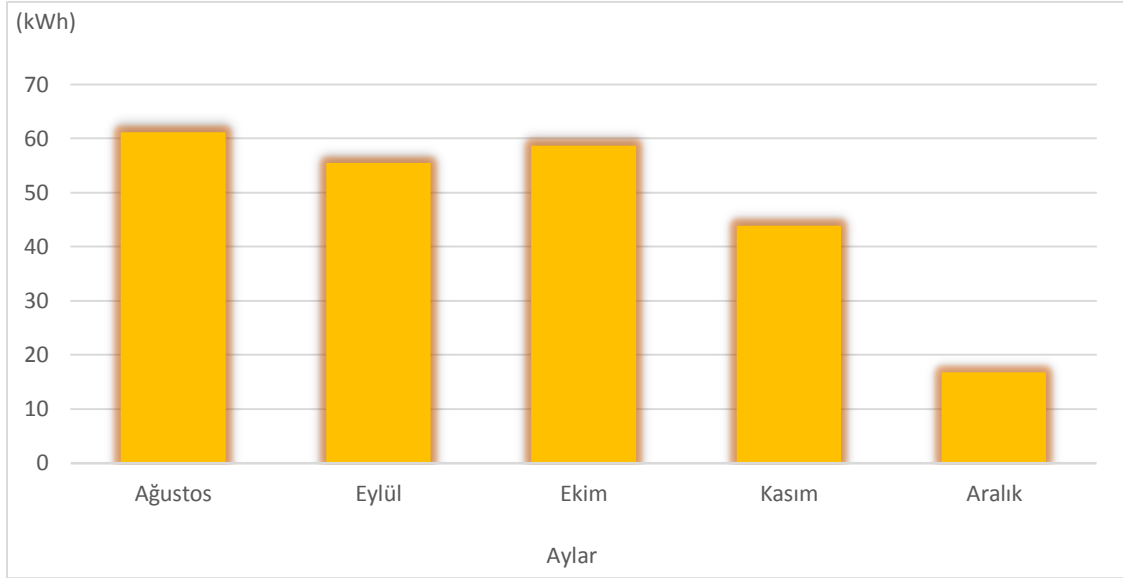
**Çizelge 4.1** Güneş, rüzgâr, yakıt pili ve akü grubunun aylara göre enerji üretim kapasitesi.

	<i>Güneş (Wh)</i>	<i>Rüzgâr (Wh)</i>	<i>Yakıt Pili (Wh)</i>	<i>Akü Grubu (Wh)</i>
AĞUSTOS	61.054,80	398,75	5.618,00	22.757,55
EYLÜL	55.300,00	155,15	4.494,40	15.282,55
EKİM	58.503,00	633,65	4.868,93	19.103,58
KASIM	43.758,50	629,3	3.745,33	4.508,13
ARALIK	16.548,63	151,90	2.996,27	1.737,21

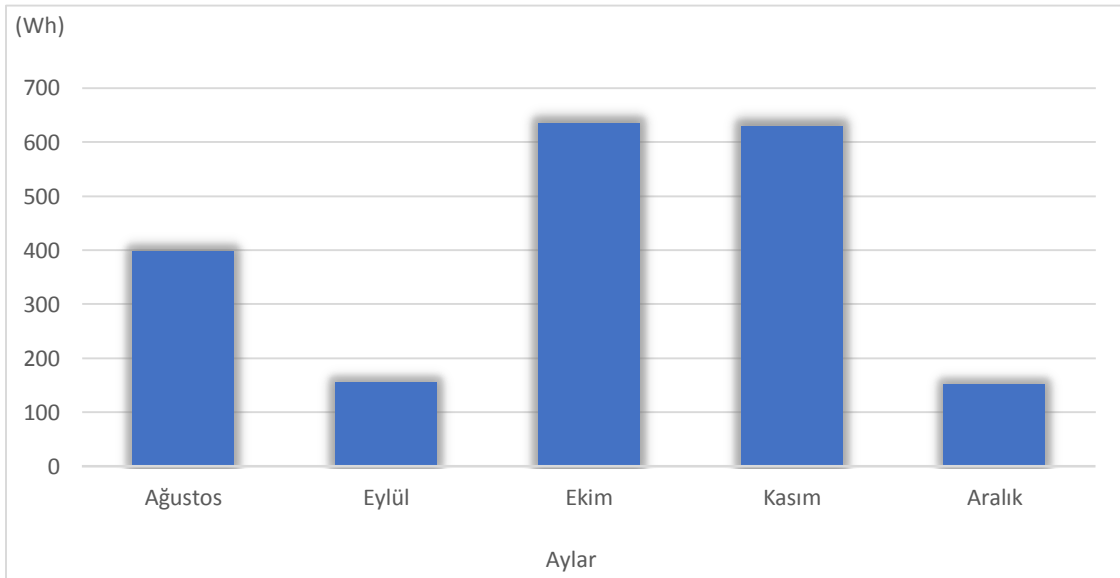


**Şekil 4.1** Aylara göre hibrit güç üretim kaynaklarının enerji üretim miktarları.

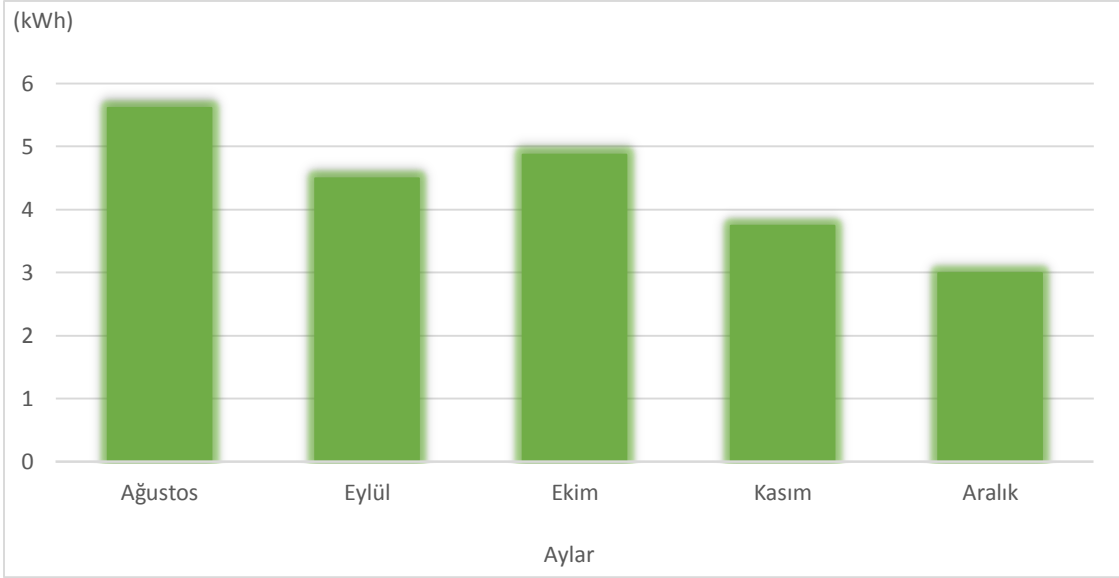
Çizelge 4.1 de görülen veriler doğrultusunda aylara göre güneş panellerinin, rüzgar türbinin, yakıt pilinin ve akü grubunun enerji üretim grafikleri sırasıyla Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de verilmiştir.



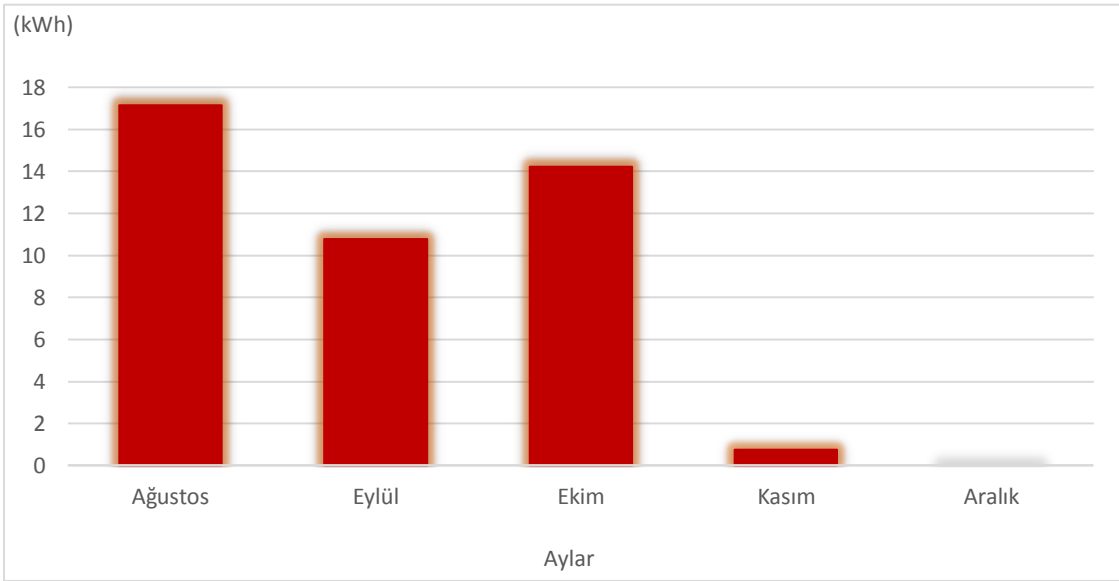
**Şekil 4.2** Güneş panellerinden elde edilen ay bazında toplam elektrik enerjisi (Aralık ayı 15 günlüktür).



**Şekil 4.3** Rüzgar türbininden elde edilen ay bazında toplam elektrik enerjisi (Aralık ayı 15 günlüktür).



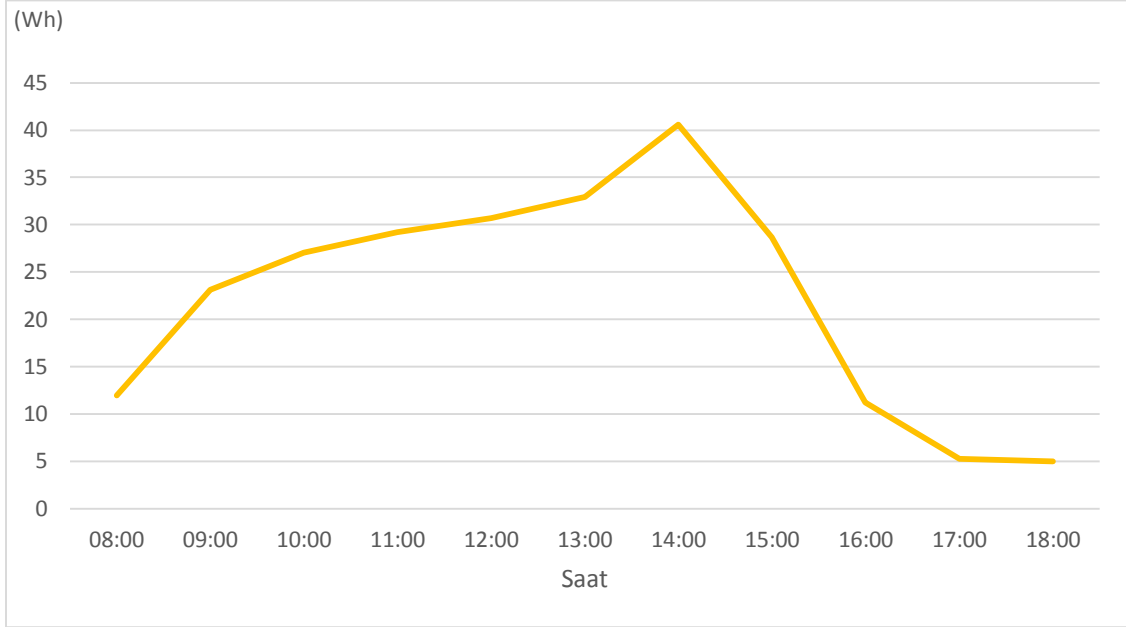
**Şekil 4.4** Yakıt pilinden elde edilen ay bazında toplam elektrik enerjisi (Aralık ayı 15 günlüktür).



**Şekil 4.5** Akü grubunda depolanan ay bazında toplam elektrik enerjisi.

Hibrit enerji üretim ve tüketim sistemi içerisinde yer alan akü grubunda Aralık ayına ait Şekil 4.5’de görüldüğü gibi her hangi bir enerji depolanması gerçekleşmemektedir. Bunun nedeni ise Aralık ayı içerisinde akü grubundan tüketicilerin talep ettiği enerjinin küçük bir kısmı karşılanmıştır. Akü grubunda akan enerjinin yönü 180° değiştiği için eksi (-) değerli görülmektedir. Bu nedenle Aralık ayına ait akü grubu için enerjinin depolanması söz konusu olmamıştır.

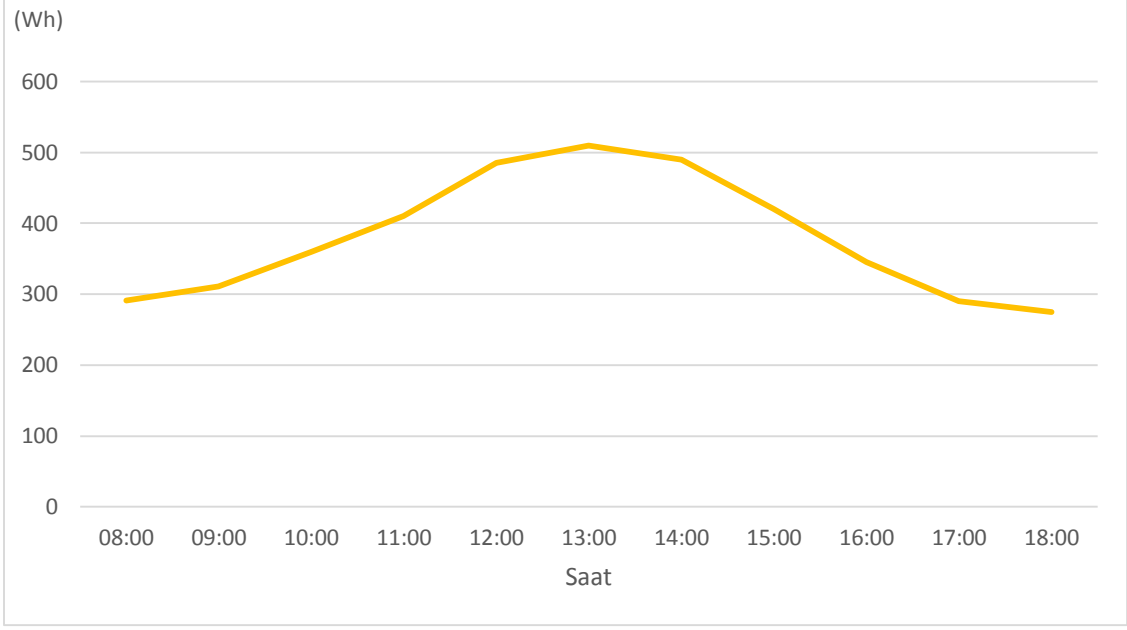
Alınan veriler içerisinde gün bazında alınan en yüksek ve en düşük güneş ile rüzgâr enerjisi üretim değerleri saatlik olarak aşağıda verilmiştir. Güneş panellerinden en az enerjinin alındığı günlerden 20 Kasım 2014 gününe ait grafik Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6 20 Kasım 2014 gününde güneş panellerinden elde edilen en düşük enerji değerleri.

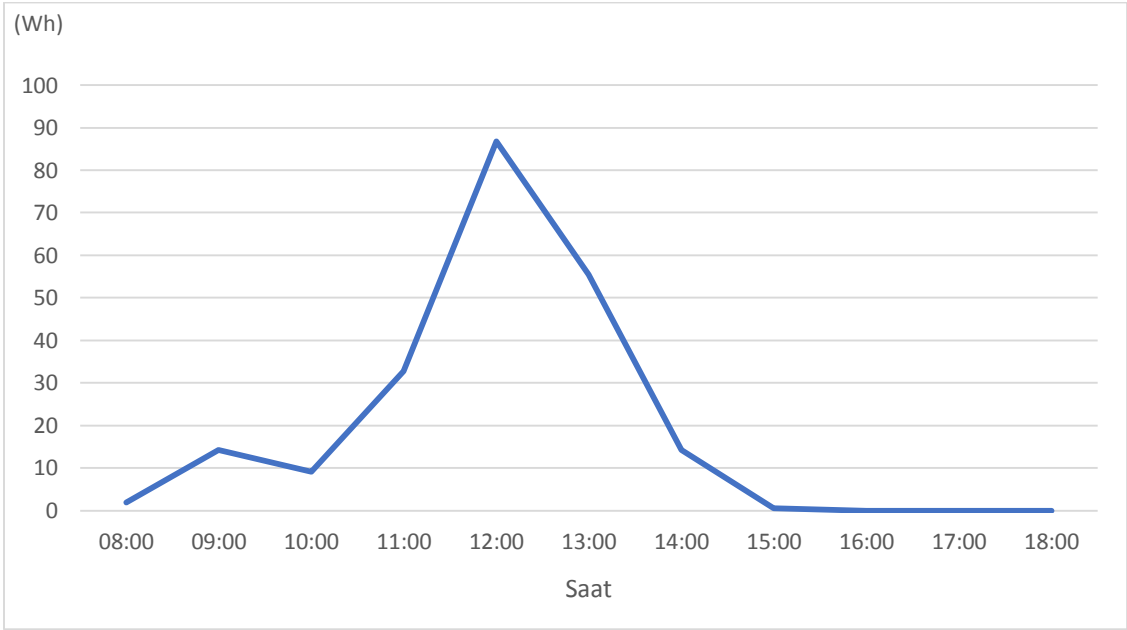
Bu çalışmada rüzgâr türbininin kurulduğu konumun ve yüksekliğinin rüzgâr alma potansiyeli açısından düşük olması alınan güç değerlerine de yansımıştır. Dolayısıyla bazı günlerde rüzgâr türbininden hiçbir enerji üretimi elde edilememiştir. Bu kapsamda günlük baz da rüzgâr türbininden alınan en düşük veriler verilmemiştir.

Güneş panellerinden elde edilen en fazla enerjinin alındığı günlere ait verilerden 19 Ağustos 2014 günü için elde edilen grafik Şekil 4.7'de görülmektedir.



**Şekil 4.7** 19 Ağustos 2014 gününde güneş panellerinden elde edilen enerji değerleri.

Aynı şekilde rüzgar türbininden elde edilen en fazla enerjinin üretildiği günlerden 20 Kasım 2014 günü için elde edilen verilerin grafiği Şekil 4.8’de görülmektedir.



**Şekil 4.8** 20 Kasım 2014 günü rüzgar türbininden elde edilen saatlik enerji değerleri.

Hibrit enerji üretim sisteminin ilk tasarlanma ve kurulum aşamasında güneş paneli ve rüzgâr türbininden yükün enerji talebine karşılık yeterli elektrik enerjisi üretilmediği veya hiç üretilmediği durumlarında tasarlanan algoritmaya göre yakıt pili devreye girerek sistemde enerji sürekliliğinin sağlanması düşünülmüştür.

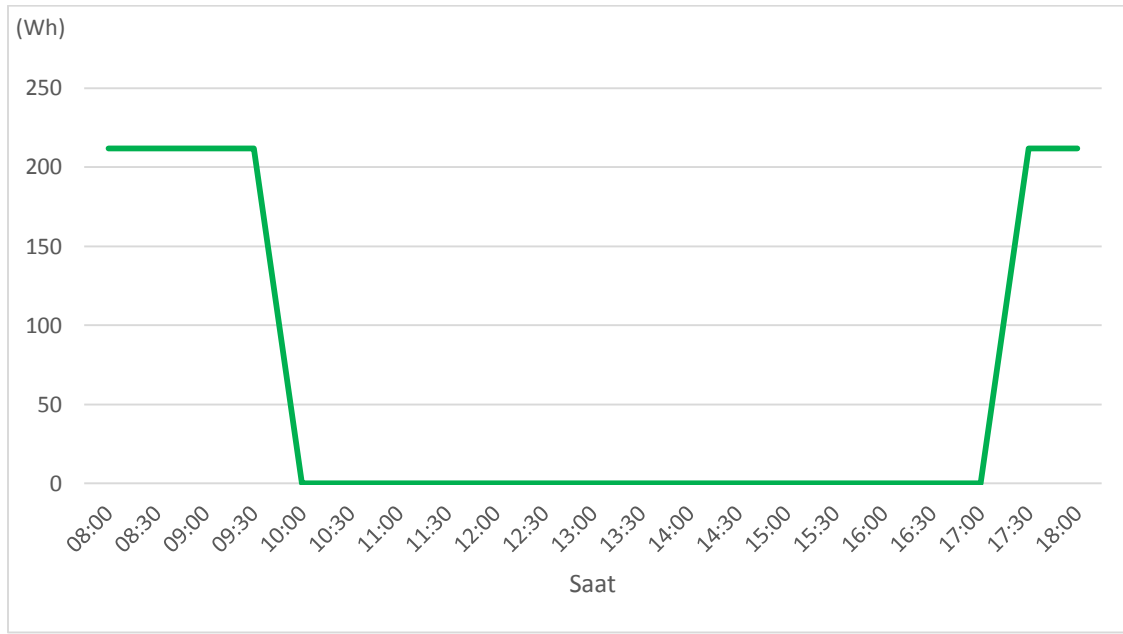
Bununla birlikte sistemin enerji akışının dinamik (üretilen ve tüketilen güce göre) tasarlanmış olması nedeniyle enerji üretim kaynaklarının hızlı bir şekilde devreye girip çıkması önem arz etmiştir. Bu nedenle kontrol ünitesindeki anahtarlama sistemlerinde, ilk başta 15ms sürede tepki verebilen 24V DC, 30 A güç röleleri kullanılmıştır. Daha sonra bu anahtarlama sistemi Şekil 3.17’de de gösterilen ve yarı iletken devre elemanları mosfetlerden oluşan 1,5µs tepkime süresine sahip anahtarlama devresi ile değiştirilerek enerjide süreklilik en uygun olacak biçimde düzenlenmiştir.

Sistemin çalışma algoritması gereği rüzgâr türbini ve güneş panelinden elektrik enerji alınamadığı durumlarda yakıt pili enerji üretim ünitesi yeterli miktarda hidrojen gazı olduğu sürece devreye girecek ve çıkacaktır. Yukarıda bahsedilen kontrol sisteminin güç kaynaklarını devreye alma ve çıkarma sürelerinin çok kısa olması yakıt pilinin çalışmasında sıkıntılara sebep olmuştur. Kontrol ünitesince yakıt piline sinyal gönderilerek çalıştırılması anında yapısı gereği daha sisteme enerjiyi besleyemeden kontrol ünitesince tekrar devreden çıkarılmıştır. Bunun ana nedeni ise rüzgâr türbini ve güneş paneli güç üretim sistemlerinin anlık ürettikleri gücün değişken olmasından kaynaklanmıştır. Elbette bu sıklıkta devreye girme ve çıkma yakıt pilinin ömrünü kısaltabileceği gibi arızalanması ihtimalini de ortaya koymuştur. Bu ihtimaller göz önünde bulundurularak yakıt pili, güneş ve rüzgâr enerjisinin hiç olmadığı zamanda devreye girecek şekilde algoritma tekrar düzenlenmiştir. Bu durumda yakıt pili devreye girdiği zaman hidrojen tüpündeki gaz bitinceye kadar sistemin enerji ihtiyacını karşılamıştır. Yakıt pilinin de bitmesi ve halen daha güneş paneli ve rüzgâr türbininden de enerji üretilmediği zamanlarda algoritma gereği akü grubu devreye girerek yükü beslemeye devam etmiştir.

Yakıt pili sisteminde kullanılan HS 760 hidrojen tüpü 10 bar basınç altında doldurulduğu takdirde yaklaşık olarak 500 litre hidrojen gazı depolayabilmektedir. Genellikle

tasarlanan kontrol algoritması gereği sabah erken saatlerde ve akşam saat 17:00'den sonra güneş ve rüzgar enerjisi yetersiz olduğundan dolayı devreye yakıt pili enerji üretim ünitesi girmiştir.

Yakıt pili enerji üretim ünitesine ait günlük baz da elde edilen verilerden 14 Eylül 2014 gününe ait elektrik enerjisi üretim grafiği Şekil 4.9'da görülmektedir.



Şekil 4.9 14 Eylül 2014 günü yakıt pilinden gün bazında saatlik enerji değerleri.

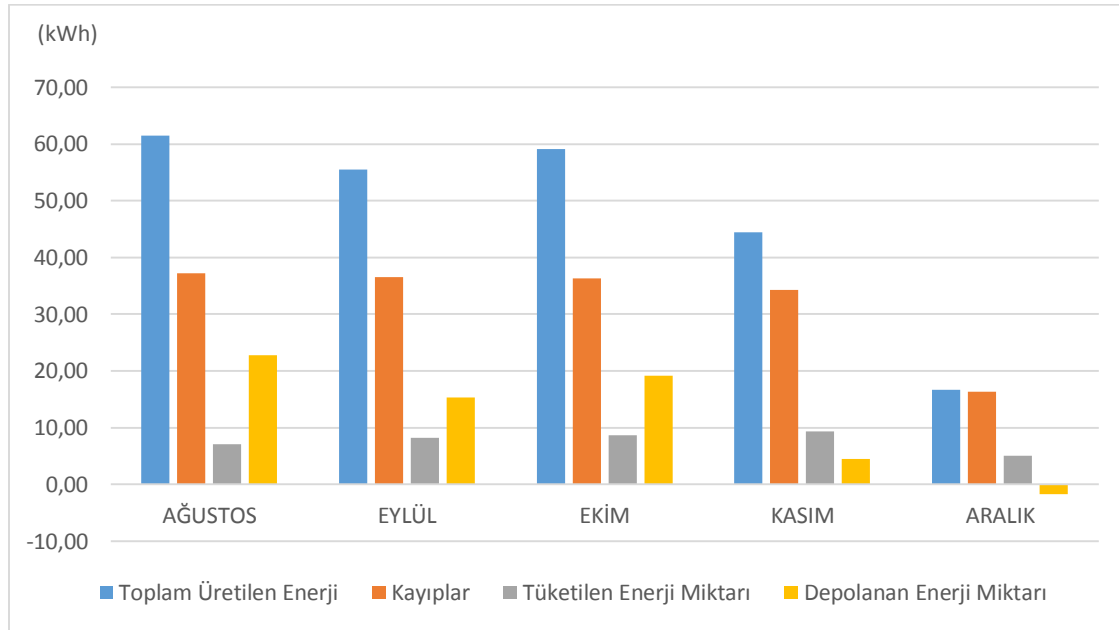
#### 4.2 Hibrit Güç Üretim Sistemi ile Enerji Tüketim Değerlerinin Karşılaştırılması

Güneş panelleri ve rüzgâr türbininin üretmiş oldukları elektrik enerjisi anlık olarak sistemi beslemekte ve yük kontrol sistemine bağlı olan armatürlerin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamaktadır. Eğer fazla enerji üretimi oluyorsa akü grupları da bir tüketici gibi fazla olan enerjiyi üzerinde depolamaktadır.

Yük kontrol sistemi ile kontrol edilen aydınlatma hattının girişine elektrik sayacı bağlanarak harcanan toplam elektrik enerjisinin tespiti yapılmıştır. Bu kapsamda toplam üretilen elektrik enerjisi, kayıplar, depolanan enerji ve armatürlerin harcadığı toplam elektrik enerjisi Çizelge 4.2'de gösterilmektedir.

**Çizelge 4.2** Hibrit güç üretim sisteminde üretilen, tüketilen, depolanan ve kayıp enerji miktarları.

	<i>Toplam Üretilen Enerji (Güneş+ Rüzgar)</i>	<i>Kayıplar</i>	<i>Tüketilen Enerji Miktarı</i>	<i>Yakıt Pili Depolanan Enerji Miktarı</i>	<i>Akü Grb. Depolanan Enerji Miktarı</i>	<i>Verim (%)</i>
AĞUSTOS	61,45	37,20	7,11	5,62	17,14	48,61
EYLÜL	55,46	36,53	8,14	4,49	10,79	42,24
EKİM	59,14	36,30	8,60	4,87	14,23	46,85
KASIM	44,39	34,28	9,35	3,75	0,76	31,22
ARALIK	16,70	16,35	5,08	3,00	-4,73	20,04



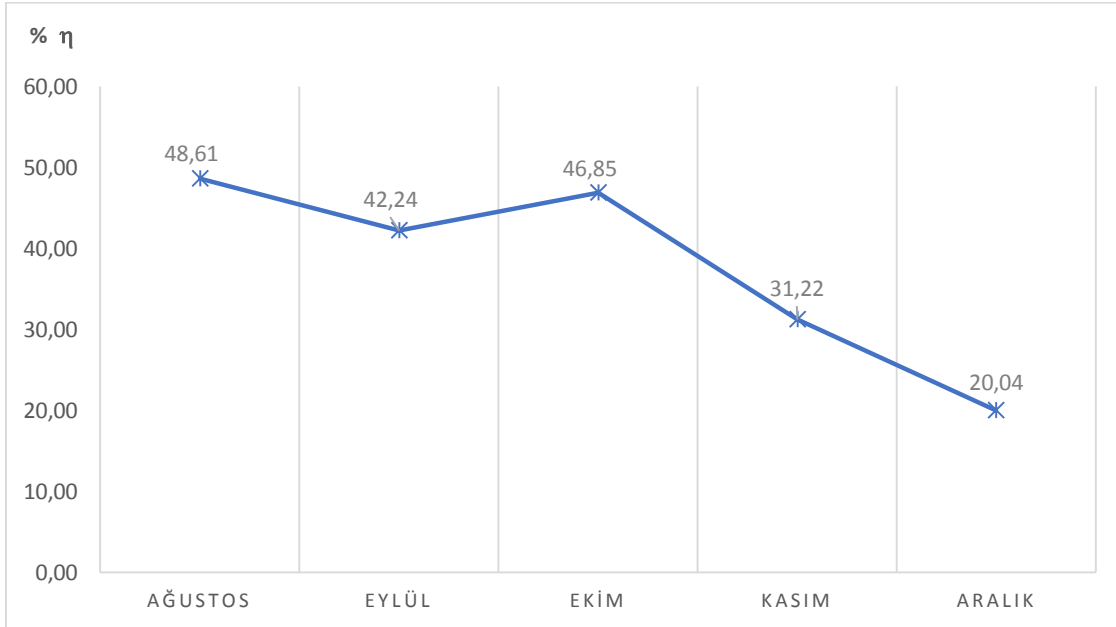
**Şekil 4.10** Hibrit güç üretim sisteminde üretilen, tüketilen, depolanan ve kayıp enerji miktarları.

Hibrit güç üretim ve dağıtım sistemi içerisinde kullanılan devre elemanlarında (DC-DC dönüştürücü, AC-DC evirici ve kontrol devre elemanları ve bağlantı iletkenleri) oluşan kayıplarda göz önüne alınarak üretilen enerjinin hangi oranda etkin bir şekilde kullanıldığı yaklaşık olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Hibrit enerji üretim sisteminde kullanılan dönüştürücülerin (DC-DC, AC-DC) katalog bilgilerindeki verim oranları ile



ortalama çalışma süreleri göz önüne alınarak yaklaşık kayıp oranları belirlenmiştir. Normal işletme şartlarında, kayıpları hesaplamak için güç dönüştürücülerin giriş ve çıkış uçlarına enerji ölçüm amaçlı kayıt altına alabilen özellikli ölçü aletlerinin kullanılması gerekmektedir. Ancak bu ölçü aletlerinin temini için gerekli olan bütçenin yetersiz olması nedeniyle kullanılan cihazların kayıpları katalog bilgilerinden yararlanarak yaklaşık olarak belirlenmiştir.

Hibrit güç üretim sisteminin üretim, tüketim, depolanan ve kayıp elektrik enerji miktarlarının aylara göre dağılımı yukarıda Çizelge 4.2’de ve Şekil 4.10’da grafiksel olarak gösterilmiştir. Üretilen elektrik enerjisinin etkin bir şekilde kayıplar çıkarıldığında kullanılma oranı aylara göre hesap edilmiştir. Bu durumda üretilen enerjiden %48,61 maksimum oranda faydalandığı ay 2014 Ağustos ayı olmuştur. Kullanılan elektrik enerjisinin 2014 Aralık ayı içerisinde etkin bir şekilde faydalanma oranı %20,04 olarak gerçekleşmiştir. Bunun nedeni ise Aralık ayında enerji üretim verilerinin 15 günlük zaman diliminde gerçekleşmesidir. Şekil 4.11’de hibrit güç üretim sisteminden etkin bir şekilde faydalanma oranı veya verimi aylara göre grafiksel olarak verilmiştir.



**Şekil 4.11** Hibrit güç üretim sisteminden üretilen enerjinin 2014 yılı aylara göre etkin kullanımına ait verim oranları.

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Şebekeden bağımsız rüzgâr ve güneş enerjisi kaynaklı hibrit güç üretim sistemlerinde enerji kaynaklarının üretim performansları büyük oranda, sistemin kurulduğu bölgenin coğrafi yapısına ve meteorolojik koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Literatür taraması neticesinde elde edilen veriler ile önümüzdeki yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarının büyük önem kazanacağını değerlendirilmektedir. Özellikle elektrik enerjisini bölgesel üret, ürettiğin yerde tüket prensibinin kabul göreceği düşünülmektedir. Dolayısıyla enterkonnekte elektrik enerjisi sistemlerin yanında lokal üreticilerin de önemli bir konuma gelmesi ve elektrik enerjisini kendi tüketimleri için üretmelerinin söz konusu olacağı öngörülmektedir. Özellikle hidrojen teknolojisinde maliyetlerin düşmesi ve uygulanabilirliğinin tüketici düzeylerine gelmesi halinde bu gibi durumlar rahatlıkla sağlanabilecektir. Hidrojen teknolojisinin yanı sıra güneş enerjisi sistemleri de burada önemli rol oynayacaktır. Ancak rüzgâr enerji sistemlerinin her durum ve koşulda uygulanabilir olmaması rüzgâr enerjisi için bunu pek mümkün kılmamaktadır. Tüm bu değerlendirmelere istinaden belki de günümüzde ekonomik krizlere ve savaşlara neden olan petrol, doğalgaz, kömür gibi fosil yakıtların gelecekte çevresel sorunları da beraberinde getireceğinden önemini yitireceği değerlendirilebilir.

Ayrıca gelişen dünya düzeninde giderek artan enerji talebine karşılık ileriye yönelik olarak uygulanabilir politikalarının geliştirilmesi, girişimciliğin artması için teşvik sistemlerinin özendirilmesi ve sanayicilerin bu alanlara daha fazla katkıda bulunması sağlanmalıdır. Enerji sektörünün tüm faaliyet alanlarında daha verimli, tasarruflu olunması yönünde bilinç düzeyinin artırılması ve çevreci üretim teknolojilerine olan ilginin artması geleceğimiz açısından önem arz etmektedir.

Yapılan çalışmada, temel enerji kaynağı olarak kullanılan güneş ve rüzgâr enerji kaynaklarının kesintili enerji kaynakları olmasından dolayı, hibrit güç üretim sisteminde toplam üretilen enerji miktarının kontrol edilebilir güç üretim kaynaklarına göre çalışma süreleri açısından daha düşük olarak gerçekleştiği bilinmektedir. Bununla birlikte güneş panelleri ve rüzgâr türbininden üretilen enerjinin yükün talep ettiği enerjiyi sürekli olarak karşılayamaması gibi bir durum da ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla kesintisiz bir enerji

arzu için yedek bir enerji kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kaynağın meteorolojik değişimlere ve coğrafi şartlara bağlı olmaksızın çalışabilme özelliğine sahip olması tercih sebebidir. Şebekeden bağımsız hibrit enerji üretim sistemleri için en uygun yedek güç sistemleri kontrol edilebilir kaynaklar olması açısından akü grubu ve/veya yakıt pili olarak değerlendirilebilir.

Ancak günümüzde hidrojen ve yakıt pili teknolojisinin yüksek maliyetli olduğu bilinmektedir. Ayrıca yakıt pillerinde kullanılan membran malzemelerin çalışma şartları ve yükün durumuna göre kullanım ömürlerinin de kısalmaya başlayacağı düşünülmektedir. Bu nedenlerden dolayı hibrit güç üretim sistemlerinde enerjinin etkin ve daha verimli kullanılabilmesi için güç yönetim stratejilerine ihtiyacı vardır.

Bu tez çalışmasında, şebekeden bağımsız hibrit güç üretim sistemi ve şebeke ile entegre çalışabilen hibrit güç üretim sistemi gibi farklı güç yönetim stratejileri üzerinde çalışılmıştır. Böylelikle enerji talep sisteminde kesintisiz enerji akışı sağlanmıştır. Bununla birlikte tasarlanan algoritma ile yakıt pilinin devreye girme şartları ve sıklığı kontrol altına alınarak en aza düşürülerek yakıt pilinin kullanım ömrünün uzatılması düşünülmüştür. Ayrıca güneş panelleri ve rüzgâr türbininden üretilen fazla elektrik enerjisinin akü grubunda depolanması ile etkin kullanımı sağlanmıştır. Buna ilave olarak eğer akü grubunun da şarj kapasite açısından dolmuş noktasına gelmesi halinde algoritma gereği yakıt pilinde kullanılmak üzere elektrolizör aracılığıyla hidrojen üretilerek tüplerde depolanması sağlanmıştır. Bu durumda kontrol sisteminde kullanılan mikrodenetleyici ile güç yönetim stratejisinde farklı algoritma uygulamaları imkânı ile elde edilmiştir. Bu sayede enerji kaynaklarının devreye alınış sıraları, alınma sıklıkları gibi değişiklikler duruma göre değerlendirilmiştir. Ayrıca kurulan hibrit güç üretim sistemine ilave edilecek güç analizörleri, başka güç kaynakları yardımıyla uzun süreli çalışma durumlarında daha detaylı ve farklı araştırmalar ile çeşitli veri analizleri yapma imkânları da olacaktır.

Daha önce yapılan proje çalışmasında laboratuvarların otomatik aydınlatması için kurulan yük kontrol sistemi içerisinde yer alan mikrodenetleyici tabanlı algoritma sayesinde üretilen enerji daha verimli ve etkin bir şekilde kullanılmıştır. Ölçümler

sonucunda, alınan verilere bakıldığında akü grubunun kapasitesi olan 24V DC, 300Ah değerinin tamamının kullanılmadığı görülmektedir. Bununla birlikte yük için gerekli olan enerji ihtiyacı için şebeke desteğine gerek kalmamıştır. Aynı zamanda akü grubunun maksimum ve minimum doluluk oranları yazılım sayesinde kontrol altında tutulmuş ve sadece program kontrol sürelerinin dışında ihtiyaç durumuna göre akü grupları şebekeden şarj edilmiştir. Yani aydınlatma sisteminde kullanılan enerjinin tamamı hibrit güç üretim sistemi tarafından karşılanabilmiştir. Yük kontrol sistemi ve kullanılan power LED floresan lambalar ile enerji tüketiminden tasarruf edilerek enerjinin etkin ve verimli kullanılması sağlanmıştır. Alınan 5 aylık veriler içerisinde enerjinin en etkin ve verimli kullanıldığı ay Ağustos olmuştur. Bu ayda verimin %48,61 olarak gerçekleştiği görülmektedir. Buda bize aslında enerjinin verimliliği ve etkin kullanımının ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

Ancak yakıt pili sistemlerinde kullanılan malzemelerin maliyetlerinin çok yüksek olması ve ülkemizde teknolojik uygulamalarının halen daha yaygınlaşmaması teknik sıkıntılar yaşanmasına sebep olmaktadır. Bu durumda proje bazlı çalışmalarda bütçe kısıtlamalarından dolayı sıkıntıların ortaya çıkması süreci zora sokmaktadır.

Elektrolizör ile üretilen hidrojenin metal hidrit tanklara dolumu sırasında sıcaklığın artmasından dolayı depolama kapasitelerinin düştüğü tespit edilmiştir. Özellikle kullanılan hidrojen generatörlerinin sistemle ve çıkış basınçlarının metal hidrit tankların dolum basınçlarıyla uyumlu olmalarının gerekliliği düşünülmektedir. Aynı zamanda metal hidrit tankın doldurulması esnasında tank yüzeyinin soğutulması ile depolama kapasitesinin arttığı ve dolum süresinin de kısaldığı görülmüştür.

Bu yapılan çalışmada, elde edilen veriler incelendiğinde yakıt pili sistemlerinin verimlerinin çok düşük olduğu görülmüştür. Özellikle sistem değişken yükte çalıştığından yakıt pilinde verim %20-%30 mertebelerinde olmakla birlikte tam yükte %40-%50 civarlarına yaklaşmıştır. Bu verimi etkileyen birçok etkenin olduğu düşünülmektedir. Özellikle hava şartları ve çalışma ortamının sıcaklığı önemli bir rol oynamaktadır.

Daha sonraki projelerde, yakıt pili sistemlerinin verimlerinin arttırılması için çeşitli araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılabilir. Bunlardan bazıları metal hidrit tankların doldurulması ve boşaltılması durumlarındaki sıcaklık ve basınç faktörlerinin irdelenmesi ile yakıt pili sistemlerinde tüm malzemelerin yerli kaynaklarca karşılanabilmesi için teknolojik imkânların araştırılması ve desteklenmesi konularıdır. Ayrıca elektrik dağıtım şebekesiyle entegre çalışan hibrit güç üretim sistemlerinde güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve diğer hibrit güç kaynağı bileşenlerinden elde edilen fazla enerjinin satılması durumunda sistemin karlılığı ve amortisman süresinin incelenmesi de çalışma yapılabilecek başka bir konu olarak değerlendirilmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

- Abderrezzak., B. Khelidj, B., & Tahar Abbes, M. (2014). Modeling charge transfer in a PEM fuel cell using solar hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy*, **39(3)**, 1593-1603.
- AEO (Africa Energy Outlook). (2013). A Focus On Energy Prospects In Sub-Saharan Africa. International Energy Agency.
- Alaçakır F. B. (2001). Didim Şebeke Bağlantılı Güneş Pili Sistemi. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Aydın.
- Altıntaş, B. ve Donatan, S. (2003). Membran Teknolojisi ve Katkılı Membranlar (2), *Kimya Teknolojileri Dergisi*, **29**
- Barbir, F. (2005). PEM fuel cells: theory and practice, Elsevier Academic Press, Amsterdam, Boston
- Bayrak, G., & Cebeci, M. (2012). 3, 6 kW Gücündeki Fotovoltaik Generatörün Matlab Simulink İle Modellenmesi". Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ.
- BP (British Petroleum Company). (2014). BP Energy Outlook 2035,
- Çakır, M. T. (2010). Türkiye'nin Rüzgar Enerji Potansiyeli ve AB Ülkeleri İçindeki Yeri. *Gazi Üniversitesi Politeknik Dergisi*, **13(4)**.
- Çetin E. (2010). Fotovoltaik-Rüzgar-Yakıt Pili Hibrit Güç Sistemi İçin Bir Mikro Doğru Akım Dağıtım Şebekesi Tasarlanması, Uygulanması ve Analizi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Dağhan İ.H. (2010). Bir Yakıt Pili-Güneş Pili Sisteminin Modellenmesi ve Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Demirkol, Z. & Çunkaş, M. (2014). Afyonkarahisar İli Yenilenebilir Enerji Potansiyeli. *Selçuk University Journal of Engineering, Science & Technology/Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **2(1)**.

- Demirtaş M. (2008). Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Kullanılarak Şebeke ile Paralel Çalışabilen Hibrid Enerji Santrali Tasarımı ve Uygulaması. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Devrim, Y., & Albostan, A. (2013). Yarının Enerjisi-Hidrojen.
- Dinçer, F. (2011). Türkiye’de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi Potansiyeli-Ekonomik Analizi ve AB Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Değerlendirme. KSU. *Journal of Engineering Sciences*, **14(1)**.
- Dursun, E., & Kilic, O. (2012). Comparative evaluation of different power management strategies of a stand-alone PV/Wind/PEMFC hybrid power system. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, **34(1)**, 81-89.
- DOE. (2011). U.S. Department of Energy. Hydrogen & Fuelcell Interagency Action Plan.
- Elibüyük, U., & Üçgül, İ., (2011). Rüzgâr Türbinleri, Çeşitleri Ve Rüzgâr Enerjisi Depolama Yöntemleri. *SDÜ Journal of YEKARUM*, **2(3)**.
- Elma, O. (2011). Yenilenebilir enerji kaynaklarından beslenen şebekeden bağımsız bir ev için talep ve kaynak dinamikleri dikkate alınarak sistem analizi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Elmer, T., Worall, M., Wu, S., & Riffat, S. B. (2015). Fuel cell technology for domestic built environment applications: State of-the-art review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **42**, 913-931.
- Eroglu, M., Dursun, E., Sevensan, S., Song, J., Yazici, S., & Kilic, O. (2011). A mobile renewable house using PV/wind/fuel cell hybrid power system. *International Journal of Hydrogen Energy*, **36(13)**, 7985-7992.
- ETKB. (2010). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2010-2014 Strateji Planı. Ankara.
- ETKB. (2013). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Faaliyet Raporu. Ankara.

- EWEA. (2013). The European Wind Energy Association. Wind In Power: 2013 European Statistics.
- Fesli, U. (2009). Mikrodenetleyici Denetimli Düşük Güçlü Yenilenebilir Enerji Üretici Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Fisac, M., Villasevil, F. X., & López, A. M. (2014). High-efficiency photovoltaic technology including thermoelectric generation. *Journal of Power Sources*, **252**, 264-269.
- Gao, W., Zheglov, V., Wang, G., & Mahajan, S. M. (2009). PV-wind-fuel cell-electrolyzer micro-grid modeling and control in Real Time Digital Simulator. In Clean Electrical Power, 2009 International Conference on (pp. 29-34). IEEE.
- GWEC. (2014). Global Wind Energy Council. Global Wind Report 2013.
- GWEC. (2014). Global Wind Energy Council. Global Wind Energy Outlook 2014.
- IEA (International Energy Agency). (2013). World Energy Outlook 2013, London.
- TCKB. (2013). Kalkınma Bakanlığı Onuncu Kalkınma Planı 2014-2018. Ankara.
- Kellegöz, M., & Özkan, İ. (2004). PEM Yakıt Hücrelerinin; Üretim Aşamaları, Performansa Etkileri ve Karşılaşılabilecek Zorluklar İle Diğer Yakıt Hücrelerine Nazaran Avantajları ve Dezavantajları. V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Bildiri Kitabı, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 809–818.
- Kıyanççek, E. (2013). Fotovoltaik Sistemlerin Boyutlandırılması için PVS2 Paket Programının Gerçekleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Koca N. (2006). Konutlarda Hibrit enerji Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.



- Koizumi H., Mizuno T., Kaito T., Noda Y., Goshima N., Kawasaki M., Nagasaka K., Kurokawa K. (2006). A Novel Microcontroller for Grid-Connected Photovoltaic Systems Industrial Electronics. IEEE Transactions on.
- Makki, A., Omer, S., & Sabir, H. (2015). Advancements in hybrid photovoltaic systems for enhanced solar cells performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **41**, 658-684.
- Mohammed, Y. S., Mustafa, M. W., & Bashir, N. (2014). Hybrid renewable energy systems for off-grid electric power: Review of substantial issues. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **35**, 527-539.
- Nasiraghdam, H., & Jadid, S. (2012). Optimal hybrid PV/WT/FC sizing and distribution system reconfiguration using multi-objective artificial bee colony (MOABC) algorithm. *Solar Energy*, **86(10)**, 3057-3071.
- Nelson, D. B., Nehrir, M. H., & Wang, C. (2006). Unit sizing and cost analysis of stand-alone hybrid wind/PV/fuel cell power generation systems. *Renewable energy*, **31(10)**, 1641-1656.
- Niknam, T., Kavousifard, A., Tabatabaei, S., & Aghaei, J. (2011). Optimal operation management of fuel cell/wind/photovoltaic power sources connected to distribution networks. *Journal of Power Sources*, **196(20)**, 8881-8896.
- Niknam, T., Golestaneh, F., & Malekpour, A. (2012). Probabilistic energy and operation management of a microgrid containing wind/photovoltaic/fuel cell generation and energy storage devices based on point estimate method and self-adaptive gravitational search algorithm. *Energy*, **43(1)**, 427-437.
- Nurbay, N. & Çınar, A. (2005). Rüzgar Türbinlerinin Çeşitleri ve Birbirleriyle Karşılaştırılması. III. Yenilenebilir Enerji. Kaynakları Sempozyumu, Mersin, 164-168.
- Oğuz, H. (2012). Hibrit Rüzgâr – Güneş Güç Üretim Ünitesinin Kurulumu ve Enerjinin Verimli Kullanılması İçin Genel Aydınlatma Sisteminin PIC 16f877 Kontrolör

İle Denetimi. Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar

Özsoy, M. F. (2011). Hibrit Rüzgâr-Güneş Enerji Üretim Sistemi İle Bir Elektrik Laboratuvarının Genel Aydınlatma Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar

Pamir, A. N. (2003). Dünyada ve Türkiye’de Enerji, Türkiye’nin Enerji Kaynakları ve Enerji Politikaları. *Metalurji Dergisi*, (134).

Paska, J., Biczal, P., & Kłos, M. (2009). Hybrid power systems—An effective way of utilising primary energy sources. *Renewable Energy*, 34(11), 2414-2421.

Ranjbar, M. R., & Kouhi, S. (2015). Sources’ Response for supplying energy of a residential load in the form of on-grid hybrid systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 64, 635-645.

Ray, P. K., Mohanty, S. R., & Kishor, N. (2011). Proportional–integral controller based small-signal analysis of hybrid distributed generation systems. *Energy Conversion and Management*, 52(4), 1943-1954.

Sayın, S., & Koç, İ. (2011). Güneş Enerjisinden Aktif Olarak Yararlanmada Kullanılan Fotovoltaik (PV) Sistemler ve Yapılarda Kullanım Biçimleri. *J. Fac. Eng. Arch. Selcuk Univ*, 26(3).

Siemens. (2014). Enerji Verimliliği ve Çevreye Duyarlılık. İklim Korumada Yenilikçilik.

Squadrito, G., Andaloro, L., Ferraro, M., Antnucci. (2014). Hydrogen Fuel cell Technology. *Advances in Hydrogen Production, Storage and Distribution. Elsevier*. 451-498.

TEİAŞ. (2014). Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Faaliyet Raporu 2013.

TUREB. (2014). Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği. Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu.

- Ulu, E. Y. (2010). Güneş-hidrojen hibrit enerji sisteminin deneysel ve teorik enerji, ekserji ve elektromanyetik analizi. Doktora Tezi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Denizli.
- Ün, Ü.T. (2003). 21. Yüzyılın Enerjisi: Hidrojen. EMO II. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı.
- Veziroğlu, T. N. (2004). (Ed: Ö. F. Noyan). Dünya Barışı İçin Türkiye Dünya Barışı İçin Hidrojen. İstanbul.
- Yanıktepe, B., Özalp, C., Savrun, M. M., Köroğlu, T., & Cebeci, Ç. (2011) Rüzgar-Güneş Hibrid Güç Sistemi Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Uygulama Örneği. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ, 89-94.
- Yıldızbilir, F. (2006). Yakıt Pili ile Elektrik Enerjisi Üretimi. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

## 6.1 İnternet Kaynakları

## Erişim Tarihi

- |  |            |
|--|------------|
| 1- <a href="http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx">http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx</a>   | 11.09.2014 |
| 2- <a href="http://www.gunessistemleri.com/guneshucreleri.php">http://www.gunessistemleri.com/guneshucreleri.php</a>   | 20.10.2014 |
| 3- <a href="http://www.robotiksystem.com/gunes_pilleri_nedir.html">http://www.robotiksystem.com/gunes_pilleri_nedir.html</a>                                       | 05.11.2014 |
| 4- <a href="http://www.gwec.net">www.gwec.net</a>  | 21.11.2014 |
| 5- <a href="http://www.mgm.gov.tr/arastirma/yenilenebilir-enerji.aspx?s=ruzgaratlası">http://www.mgm.gov.tr/arastirma/yenilenebilir-enerji.aspx?s=ruzgaratlası</a> | 20.11.2014 |
| 6- <a href="http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar-ruzgar_enerjisi.aspx">http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar-ruzgar_enerjisi.aspx</a>                   | 20.11.2014 |
| 7- <a href="http://www.eie.gov.tr/teknoloji/h_enerjisi.aspx">http://www.eie.gov.tr/teknoloji/h_enerjisi.aspx</a>   | 01.12.2014 |

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Yavuz Bahadır KOCA  
Doğum Yeri ve Tarihi : Şuhut/AFYONKARAHİSAR 1980  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim (Telefon/e-posta) : 0 506 509 47 51 / yavuz.koca@sanayi.gov.tr

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Afyon Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi (1998)  
Lisans : Dumlupınar Üniversitesi – Mühendislik Fakültesi  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği (2002)  
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi – Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik Müh-Yenilenebilir Enerji Sistemleri ABD (2015)

### Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :

Çağla Group A.Ş. - İstanbul, 2004  
Osmangazi Elektrik Dağıtım A.Ş. -  
*Afyonkarahisar İl Müdürlüğü, 2004-2012*  
Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı  
*Afyonkarahisar İl Müdürlüğü, 2012- ....*

### Yayımları (SCI ve diğer) :

Orhun, M., Koca, Y. B., Hocoğlu, F. O., & Çınar, S. M. (2012). Farklı Yüzey Açılarındaki Işınım Şiddetlerinin Afyonkarahisar Bölgesi İçin Karşılaştırılması ve Güneş Panellerinden Elde Edilebilecek En Yüksek Elektrik Enerjisi Üretimi İçin Uygun Açıların Tespiti.