



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AFYONKARAHİSAR İLİ YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI POTANSİYELİ

Ziya DEMİRKOL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı

Haziran-2013

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

AFYONKARAHİSAR İLİ YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI POTANSİYELİ

Ziya DEMİRKOL

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ

2013, 91 Sayfa

Jüri
Doç. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ
Doç. Dr. Ali Kahraman
Yrd. Doç. Dr. H. Erdinç KOÇER

Bu çalışmada Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları ele alındı ve Afyonkarahisar ili yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli incelendi. Afyonkarahisar jeotermal enerji bakımından zengin bir potansiyele sahip olduğundan belirtilen enerji kaynağı üzerinde detaylıca duruldu. Güneş enerjisi potansiyeli Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü Afyonkarahisar Meteoroloji İstasyonu Güncel verileri kullanılarak güneşlenme süresi ve güneş enerjisi potansiyeli belirlendi. Devlet Meteoroloji Müdürlüğü Afyonkarahisar ili için 10 metre yükseklikte ölçülen saatlik ortalama rüzgâr şiddeti verileri kullanılarak, Afyonkarahisar bölgesinin rüzgâr enerjisi potansiyeli sayısal verilerle ifade edildi. Rüzgâr enerjisinin değerlendirilmesinde istatistiksel yaklaşımlar olan Weibull dağılımı ve Rayleigh dağılımı fonksiyonu kullanıldı. En Yüksek Olabilirlik Yöntemi (EYO) kullanılarak Weibull ve Rayleigh dağılımları parametreleri hesaplanıp ortalama güç yoğunluğu belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Hidroelektrik Enerjisi, Jeotermal Enerji, Rüzgâr Enerjisi, Türkiye'de Yenilenebilir Enerji, Yenilenebilir enerji, Afyonkarahisar.

ABSTRACT

MS THESIS

THE POTENTIAL FOR RENEWABLE ENERGY SOURCES IN AFYONKARAHISAR

Ziya DEMİRKOL

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
ELECTRONIC AND COMPUTER SYSTEM EDUCATION DEPARMENT THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ

2013, 91 Pages

Jury
Assoc. Prof. Dr. Mehmet ÇUNKAŞ
Assoc. Prof. Dr. Ali KAHRAMAN
Assist. Prof. H. Erdinç KOÇER

In this thesis, studying on the renewable energy sources, the potential renewable energy sources in Afyonkarahisar has researched. As Afyonkarahisar has rich potential renewable energy sources it has been about mentioned significantly this subject. The potential of solar energy in the region of Afyonkarahisar, being used Turkish State Meteorological Service Afyonkarahisar Meteorological station current data, the sunshine duration and potential of solar energy have stated. By using the Turkish State Meteorological Service for Afyonkarahisar province hourly wind force data measured 10 meters in height, the potential of wind energy in the region of Afyonkarahisar will be reviewed statistically. Weibull and Rayleigh distribution functions have been used in the evaluation of wind data as statistical approach. By using the Maximum Likelihood Method, Weibull distribution and Rayleigh distribution parameters have been calculated. Related with Weibull and Rayleigh distribution parameters, average energy and wind power density have determined.

Keywords: Geothermal Energy, Hydroelectric Energy, Renewable Energy in Turkey, Renewable Energy, Solar Energy, Wind Energy, Afyonkarahisar.

ÖNSÖZ

Türkiye'nin elektrik enerjisi tüketimi 2001 yılında 126,871 GWh iken 2009 yılında 194.079 GWh olarak gerçekleşmiştir. 2011 yılında ise bu değer 230,306 GWh değerine ulaşmıştır. Bu veriler göz önünde bulundurulduğunda elektrik enerjisi tüketimi her yıl artmaktadır. Artan nüfus ve sanayileşme bu artışın devam edeceğini göstermektedir. İhtiyacın karşılanabilmesi için yeni enerji santrallerinin kurulması, mevcut santrallerin genişletilmesi veya mevcut santrallerin veriminin arttırılması için yenileme ve bakım işlerinin yapılması gerekmektedir. Kurulacak yeni santrallerin bir çok avantajından dolayı yenilenebilir enerji santralleri (rüzgâr, güneş, jeotermal, hidroelektrik, hidrojen ve biyoenerji) olarak değerlendirilmesi yararlı olacaktır. Bu bağlamda Elektrik Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi 2023 yenilenebilir enerji hedefleri arasında, rüzgâr enerjisi kurulu güç 20 000 MW, güneş enerjisi kurulu güç 3000 MW ve jeotermal enerji kurulu güç 600 MW olarak yer almaktadır. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi tüm üretimin en az %30' u ve ekonomik hidrolik enerji potansiyelinin değerlendirilmesi olarak belirlenmiştir. Bununla beraber yenilenebilir enerji mevzuatında yapılan iyileştirmeler neticesinde enerji ihtiyacının %30' unun karşılanması hedeflenen yenilenebilir enerji üretimine olumlu katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmada öncelikle genel olarak Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli ele alınmış, sonra Afyonkarahisar ili yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli değerlendirilmiştir.

Ziya DEMİRKOL
KONYA-2013

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

ŞEKİLLER ve ÇİZELGELER TABLOSU ..... **xii**

1. GİRİŞ **1**

2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE TÜRKİYE'NİN DURUMU **3**

2.1 Rüzgâr Enerjisi 6
2.1.1 Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli 10
2.2 Güneş Enerjisi 13
2.2.1 Güneş Enerjisi Uygulamaları 14
2.2.2 Fotovoltaik sistemler 15
2.2.3 Güneş Pili Çalışma İlkesi 16
2.2.4 Fotovoltaik sistemlerin yapısı 16
2.2.5 Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli 17
2.3 Jeotermal Enerji 20
2.3.1 Türkiye'de Jeotermal Enerji Potansiyeli ve Kullanım Alanları 22
2.4 Hidroelektrik Enerjisi 25
2.4.1 Türkiye'nin Su Kaynakları Potansiyeli 27
2.4.2 Türkiye'nin Hidroelektrik Enerji Potansiyeli 28
2.5 Biyokütle Enerjisi 30
2.5.1 Türkiye'nin Biyokütle Enerji Potansiyeli 32
2.6 Hidrojen Enerjisi 33
2.6.1 Türkiye'de Hidrojen Enerjisi ve Gelişimi 34

3. AFYNKARAHİSAR İLİ YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI POTANSİYELİ **36**

3.1 Coğrafi Yapı 36
3.1.1 Coğrafi Konum 36
3.1.2 İklim ve Bitki Örtüsü 36
3.1.3 Nüfus ve Yerleşim 37
3.1.4 Ekonomi 37
3.2 Güneş Enerjisi 37
3.3 Jeotermal Enerji 40
3.3.1 Ömer-Gecek-Kızık-Uyuz Jeotermal Alanı 41
3.3.2 Heybeli-Çay-Çobanlar Jeotermal Alan 42
3.3.3 Sandıklı-Hüdai Jeotermal Alan 44
3.3.4 Gazlıgöl Jeotermal Alan 45

3.4 Rüzgâr Enerjisi 46
3.4.1 Rüzgâr Enerji Potansiyelinin Belirlenmesi 48
3.4.2 Weibull Dağılım Fonksiyonu 52
3.4.2.1 Grafik Yöntemi 54
3.4.2.2 Moment Yöntemi 55
3.4.2.3 En Yüksek Olabilirlik Metodu 55
3.4.2.4 Basitleştirilmiş En Yüksek Olabilirlik Metodu 56
3.4.2.5 Enerji Eğilim Faktörü Yöntemi 57
3.4.3 Rayleigh Dağılım Fonksiyonu 57

4. ÖNERİLER 85

4.1 Sonuç 85
4.2 Öneriler 87

KAYNAKLAR 88

ÖZGEÇMİŞ 91

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

MW	:	Megawatt
kW	:	Kilowatt
Ej	:	Eksa joule
TW	:	Terawatt
GWh	:	Gigawatt saat
v	:	Rüzgâr hızı
ρ	:	Hava yoğunluğu
h_R	:	Referans alınan seviye yüksekliği
v_R	:	Referans seviyedeki rüzgâr hızı
m	:	Kütle
ρ	:	Hava yoğunluğu
A	:	Alan
V_1	:	Rüzgâr türbinine giren rüzgârın hızı
V_3	:	Rüzgâr türbininden çıkan rüzgârın hızı
V_2	:	Rüzgâr türbini içerisindeki rüzgârın hızı
P_t	:	Türbin tarafından çekilen güç
C_p	:	En fazla elde edilebilecek rüzgâr hızı
P_r	:	Rüzgâr türbinine giren rüzgârın gücü
a	:	Rüzgâr hız oranı
α	:	Helmann sabiti
P_1	:	1 h yüksekliğindeki hız
P_2	:	2 h yüksekliğindeki hız
$f(v)$	:	v hızının Weibull olasılığı
k	:	Şekil parametresi
c	:	Ölçek parametresi
$F(v)$	:	v hızının Weibull kümülatifi
m_2	:	Türbine giren havanın kütlesi
Γ	:	Gamma fonksiyonu
V_m	:	Ortalama hız
σ	:	Standart sapmanın karesi
L	:	Olabilirlik fonksiyonu

P/A	:	Weibull güç yoğunluğu
E	:	Birim zamanda üretilen enerji
$V_{max\ E}$	:	En fazla enerjiyi taşıyan hız

Kısaltmalar

AB	:	Avrupa Birliği
ABD	:	Amerika Birleşik Devleti
APK	:	Araştırma Politikaları Komisyonu
DMİ	:	Devlet Meteoroloji İşleri
DSİ	:	Devlet Su İşleri
K	:	Kuzey
KKD	:	Kuzey kuzey doğu
KD	:	Kuzey doğu
DKD	:	Doğu kuzey doğu
D	:	Doğu
DGD	:	Doğu güney doğu
GD	:	Güney doğu
GGD	:	Güney güney doğu
G	:	Güney
GGB	:	Güney güney batı
GB	:	Güney batı
BGB	:	Batı güney batı
B	:	Batı
BKB	:	Batı kuzey batı
KB	:	Kuzey batı
KKB	:	Kuzey kuzey batı
EİE	:	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
HES	:	Hidroelektrik Santral
ICHET	:	Uluslar arası Hidrojen Enerjisi Teknolojileri
MTA	:	Maden Tetkik Arama
Mtpe	:	Milyon ton petrol eşdeğeri
OECD	:	Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
PV	:	Fotovoltaik

UNİDO	:	Birleşmiş Milletler Endüstri Geliştirme Organizasyonu
AFJET	:	Afyon Jeotermal Isıtma Tesisleri
TÜBİTAK	:	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
EÜAŞ	:	Elektrik Üretim Anonim Şirketi
TV	:	Televizyon
YERT	:	Yatay Eksenli Rüzgâr Türbini
DERT	:	Dikey Eksenli Rüzgâr Türbini
MGM	:	Meteoroloji Genel Müdürlüğü

ŞEKİLLER ve ÇİZELGELER TABLOSU

Şekil 2.1 Türkiye Kurulu Güç ve Üretimini Yıllar İtibariyle Gelişimi……4
Şekil 2.2 Türkiye'nin 2011 yılı kurulu gücü……5
Şekil 2.3 Türkiye enerji talebinin yıllar itibariyle gelişimi……...6
Şekil 2.4 Rüzgâr türbinleri……7
Şekil 2.5 Rüzgâr türbinini oluşturan parçalar……8
Şekil 2.6 Türkiye rüzgâr atlası……10
Şekil 2.6 Türkiye'nin yıllara göre RES kurulu gücü……...11
Şekil 2.7 Türkiye RES haritası……13
Şekil 2.8 Fotovoltaik sistem……15
Şekil 2.9 Fotovoltaik hücrenin iç yapısı……..16
Şekil 2.10 Fotovoltaik hücrelerin birleşmesi……...17
Şekil 2.11 Türkiye'nin yıllık ısı haritası……..19
Şekil 2.12 İdeal bir jeotermal sistemin şematik görünümü……20
Şekil 2.13 Jeotermal sistemlerin oluşum mekanizması……...21
Şekil 2.14 Türkiye Jeotermal Kaynaklar Dağılımı ve Uygulama Haritası……..23
Şekil 2.15 Germencik-Ömerbeyli jeotermal enerji santrali……24
Şekil 2.16 Hidroelektrik Enerji Üretimi……..25
Şekil 2.17 Atatürk Barajı……26
Şekil 2.18 Türkiye'nin yıllar itibariyle hidroelektrik enerjisi kurulu gücü……29
Şekil 2.19 Türkiye'nin Hidroelektrik Enerjisi Potansiyel Atlası……29
Şekil 2.20 Bir ton biyokütle ile 1 ton taş kömürünün ton olarak CO2 emisyonu……...31
Şekil 2.21 Biyokütle yakıt çevrimi……...31
Şekil 2.22 Çaycuma kağıt fabrikasındaki biyokütle örnekleri……33
Şekil 2.23 Hidrojen enerji sisteminin şematik gösterimi……33
Şekil 2.24 Bozcaada'da Kurulan Hidrojen Enerji Üretim Tesisi……35

Şekil 3.1 Afyonkarahisar İli Güneş Enerjisi Haritası……..38
Şekil 3.2 Afyonkarahisar İli Güneş Termik Santrali Kurulamaz Alanlar……...38
Şekil 3.3 Afyonkarahisar aylık global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri…...39
Şekil 3.4 Afyonkarahisar jeotermal sahaları haritası……...41
Şekil 3.5 Heybeli (Kızılkilise) Jeotermal Sahası Uydu Yer Bulduru Görüntüsü……43
Şekil 3.6 Afyonkarahisar ili hakim rüzgâr yönü……..48
Şekil 3.7 Rüzgârın türbine girerken genişlemesi……49
Şekil 3.8 Afyonkarahisar merkez istasyonu 2010 yılı verileri için güç yoğunluğu……66
Şekil 3.9 Afyonkarahisar merkez istasyonu 2011 yılı verileri için güç yoğunluğu……67
Şekil 3.10 Dinar istasyonu 2010 yılı verileri için güç yoğunluğu……...68
Şekil 3.11 Dinar istasyonu 2011 yılı verileri için güç yoğunluğu……...69
Şekil 3.12 Sultandağı istasyonu 2010 yılı verileri için güç yoğunluğu……...70
Şekil 3.13 Sultandağı istasyonu 2011 yılı verileri için güç yoğunluğu……...71
Şekil 3.14 Afyonkarahisar merkez istasyonu 2010 yılı verileri için güç yoğunluğu…72
Şekil 3.15 Afyonkarahisar merkez istasyonu 2011 yılı verileri için güç yoğunluğu…73
Şekil 3.16 Dinar istasyonu 2010 yılı verileri için güç yoğunluğu……...74
Şekil 3.17 Dinar istasyonu 2011 yılı verileri için güç yoğunluğu……...75
Şekil 3.18 Sultandağı istasyonu 2010 yılı verileri için güç yoğunluğu……...76
Şekil 3.19 Sultandağı istasyonu 2011 yılı verileri için güç yoğunluğu……...77
Şekil 3.20 Afyonkarahisar merkez istasyonu 2010 yılı R^2 kriterine göre Weibull ve Rayleigh karşılaştırılması……..……..82

Şekil 3.21 Afyonkarahisar merkez istasyonu 2011 yılı R^2 kriterine göre Weibull ve Rayleigh karşılaştırılması…… ……..82
Şekil 3.22 Dinar istasyonu 2010 yılı R^2 kriterine göre Weibull ve Rayleigh karşılaştırılması……83
Şekil 3.23 Dinar istasyonu 2011 yılı R^2 kriterine göre Weibull ve Rayleigh karşılaştırılması……83
Şekil 3.24 Sultandağı istasyonu 2010 yılı R^2 kriterine göre Weibull ve Rayleigh karşılaştırılması……84
Şekil 3.25 Sultandağı istasyonu 2011 yılı R^2 kriterine göre Weibull ve Rayleigh karşılaştırılması……84

Çizelge 2.1 Türkiye kurulu güç ve üretimini yıllar itibariyle gelişimi……..4
Çizelge 2.2 Yıllar itibariyle Türkiye kurulu gücünün üretici kuruluşlara dağılımı …….5
Çizelge 2.3 Türkiye'nin bölgeleri için oluşturulan rüzgâr hızı ve enerji yoğunluğu değerleri ...……..11
Çizelge 2.4 Türkiye'de işletmede olan RES tesisleri……..12
Çizelge 2.5 Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri aylara göre dağılımı……18
Çizelge 2.6 Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı……19
Çizelge 2.7 2012 mayıs ayı itibariyle iller itibariyle jeotermal seracılık verileri……..22
Çizelge 2.8 Jeotermal enerji kaynaklarından elektrik üretimi (2010)…….....24
Çizelge 2.9 Türkiye'nin su kaynakları potansiyeli……..28
Çizelge 2.10 Türkiye hidroelektrik enerji kurulu gücün proje seviyelerine göre dağılımı……30

Çizelge 3.1 Afyonkarahisar aylık global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri...39
Çizelge 3.2 Ömer-Gecek jeotermal alanındaki kaynaklar……...42
Çizelge 3.3 Ömer-Gecek jeotermal alanında açılan kuyular……...42
Çizelge 3.4 Heybeli-Çay-Çobanlar jeotermal alandaki kaynaklar……..43
Çizelge 3.5 Heybeli-Çay-Çobanlar jeotermal alanda açılan kuyular……..44
Çizelge 3.6 Sandıklı-Hüdai jeotermal alandaki kaynaklar……..44
Çizelge 3.7 Sandıklı-Hüdai jeotermal alanda açılan kuyular……..45
Çizelge 3.8 Gazlıgöl jeotermal alandaki kaynaklar……45
Çizelge 3.9 Gazlıgöl jeotermal alanda açılan kuyular…….46
Çizelge 3.10 Afyonkarahisar merkezi uzun yıllar hakim rüzgâr yönü……47
Çizelge 3.11 Afyonkarahisar merkezi uzun yıllar (1970-2011 yılları arası) rüzgâr esme sayıları……47
Çizelge 3.12 Afyonkarahisar merkez istasyonu 2010 yılı verileri için frekans dağılımları……59
Çizelge 3.13 Afyonkarahisar merkez istasyonu 2011 yılı verileri için frekans dağılımları…….....60
Çizelge 3.14 Dinar istasyonu 2010 yılı verileri için frekans dağılımları…….61
Çizelge 3.15 Dinar istasyonu 2011 yılı verileri için frekans dağılımları…….62
Çizelge 3.16 Sultandağı istasyonu 2010 yılı verileri için frekans dağılımları…….63
Çizelge 3.17 Sultandağı istasyonu 2011 yılı verileri için frekans dağılımları…….64
Çizelge 3.18 Afyonkarahisar merkez istasyonu 2010 yılı verileri için Weibull parametre, hız ve güç tahminleri……...65

Çizelge 3.19 Afyonkarahisar merkez istasyonu 2011 yılı verileri için Weibull parametre, hız ve güç tahminleri……...66
Çizelge 3.20 Dinar istasyonu 2010 yılı verileri için Weibull parametre, hız ve güç tahminleri…….67
Çizelge 3.21 Dinar istasyonu 2011 yılı verileri için Weibull parametre, hız ve güç tahminleri…….68
Çizelge 3.22 Sultandağı istasyonu 2010 yılı verileri için Weibull parametre, hız ve güç tahminleri…….69
Çizelge 3.23 Sultandağı istasyonu 2011 yılı verileri için Weibull parametre, hız ve güç tahminleri…….70
Çizelge 3.24 Afyonkarahisar merkez istasyonu 2010 yılı verileri için Rayleigh parametre, hız ve güç tahminleri……..……...72
Çizelge 3.25 Afyonkarahisar merkez istasyonu 2011 yılı verileri için Rayleigh parametre, hız ve güç tahminleri…….73
Çizelge 3.26 Dinar istasyonu 2010 yılı verileri için Rayleigh parametre, hız ve güç tahminleri…….74
Çizelge 3.27 Dinar istasyonu 2011 yılı verileri için Rayleigh parametre, hız ve güç tahminleri…….75
Çizelge 3.28 Sultandağı istasyonu 2010 yılı verileri için Rayleigh parametre, hız ve güç tahminleri…….76
Çizelge 3.29 Sultandağı istasyonu 2011 yılı verileri için Rayleigh parametre, hız ve güç tahminleri…….77
Çizelge 3.30 Afyonkarahisar Merkez, Dinar ve Sultandağı istasyonları 2010 yılı Weibull dağılımı k ve c değerleri ile Rayleigh c değerleri karşılaştırması…….78
Çizelge 3.31 Afyonkarahisar Merkez, Dinar ve Sultandağı istasyonları 2011 yılı Weibull dağılımı k ve c değerleri ile Rayleigh c değerleri karşılaştırması…….79
Çizelge 3.32 Weibull ve Rayleigh dağılımlarıyla ölçülen olasılık dağılımlarının karşılaştırılması……81

1. GİRİŞ

18. yüzyılda başlayan sanayi devrimi nüfusun belli kentlerde artışına yol açmıştır. Zamanla bu kentler metropollere dönüşmüştür. Bu kentlerde nüfusun artması ve sanayileşmenin gelişmesi yeni bir sorunu beraberinde getirmiştir. Bu sorunların birçoğu sadece bu kentlerin değil küresel sorunlar haline gelmiştir. Sanayi atıkları, bu atıkların yol açtığı iklim değişiklikleri, asit yağmurları, su kirliliği, hava kirliliği gibi önemli sorunlar ortaya çıkmıştır. Çevrede meydana gelen saydığımız tüm olumsuzluklara, sanayide enerji kaynağı olarak hiç tükenmeyecekmiş gibi bilinçsizce ve aşırı bir şekilde kullanılan karbon kökenli fosil yakıtlar yol açmaktadır(Sarıkaya, 2010).

Bu durum günümüzde büyük yerleşim yerlerine ait bir sorun olmaktan çıkıp artık küresel bir çevre tehdidi olmuştur. Hem çevre için büyük tehdit olan hem de bilinçsiz kullanımdan dolayı kısa bir zaman içinde tükeneceği tahmin edilen karbon kökenli fosil yakıtların alternatifi mutlaka çözüm olarak bulunmalıydı. Bu amaçla çevre dostu yani çevreyi kirletmeyen ve güneş var oldukça kaynak olarak kullanabileceğimiz tükenmeyen enerji kaynakları kullanılmaya ve yaygınlaştırılmaya çalışılmaktadır. Daha temiz bir dünya için elde bulunan enerji alanındaki tüm olanakları bu enerji kaynakları yatırımında değerlendirmek çok isabetli olacaktır. Bu nedenle yeni ve yenilenebilir çevre dostu enerji kaynaklarına geçiş artık bir zorunluluk haline gelmiştir (Hocaoğlu vd., 2007).

Sürdürülebilirlik hiç kuşkusuz çağımızın en önemli kavramlarındandır. Bu kavram, toplum, ekonomi ve çevreyle ilgili bir sistemin devamına temel olan kaynağın tükenmeden, verimli bir şekilde işlevini yerine getirmesini ifade eden bir kavramdır. Yani kaynak tükenmeden ve en yüksek düzeyde verim veriyorsa beslediği sistem sürdürülebilir demektir. Fosil yakıtlar hiç tükenmeyecekmiş gibi planlama yapılmış ve bilinçsizce tüketilmişlerdir. Hem çevreyi atıklardan yaşanmaz hale getirmiş hem de üretim için gereken hammaddenin hızla tükenmesine yol açmıştır. Bu durum sürdürülebilir bir sistemin özellikleri değildir (Sarıkaya, 2010).

Enerjide sürdürülebilirlik üç temel ilkeye dayanır.

- Enerjinin etkin kullanımı ve enerji tasarrufu
- Yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması, bu alanla ilgili bilimsel ve teknolojik çalışmaların ve projelerin arttırılması, hem hava kirliliğini önleyecek hem de sürdürülebilir bir enerji politikası uygulanacaktır.

- Yenilenebilir enerji teknolojilerinin geliştirilmesi, bununla ilgili yeni stratejiler belirlenmesi, bölgelerin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelinin belirlenmesi.
- Yenilenebilir enerji (kaynakları), sürekli devam eden doğal süreçlerdeki var olan enerji akışından elde edilen enerjidir (Sarıkaya, 2010).

Yenilenebilir enerji kaynaklarını; rüzgâr, güneş, jeotermal, hidroelektrik, hidrojen ve biyoenerji olarak sayabiliriz. Yenilenebilir enerji kaynakları karbon kökenli fosil yakıtlar gibi sonlu enerji kaynakları değildir. Tükenmeyen enerji kaynakları güneş enerjisinin farklı etkileri sonucu oluşmaktadır. İnsanlık var oldukça yani güneş her sabah doğduğu sürece yenilenebilir enerji de varlığını sürdürecektir. Yani yeni enerji kaynaklarının tükenme kaygısı yoktur denilebilir. Bununla beraber çevre dostu olması ve sera etkisi oluşturmaması ülkeleri bu enerji kaynaklarının kullanımına daha da teşvik etmiştir. Tüm bu avantajlarına rağmen maliyetin yüksek olması yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı önündeki en büyük engeldir. Yatırımların yaygınlaştırılması için yapılan teşvikler, toplumun bilinçlendirilmesi alanında atılan adımlar, teknolojinin gelişmesi ve arz-talep dengelerinin değişmesiyle yüksek maliyetin düşmesi beklenmektedir (Hocaoğlu vd., 2007).

Bir bölgeye yapılacak yatırımın ekonomikliği o bölgenin enerji potansiyeli ile doğrudan ilgilidir. Temiz enerjiye olan ihtiyaç, bir gün tükenebilen enerji kaynaklarının tükeneceği ve çevreye yaptıkları olumsuz etkiler gibi başlıca nedenlerden dünyada olduğu gibi Türkiye'de de çok açıktır. Bu nedenle yenilenebilir enerji yatırımlarının arttırılması gerekmektedir. Kurulacak santraller kurulmadan önce yatırım yapılacak bölgenin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli için birçok ölçüm yapılmalı, bu ölçüm sonuçları değerlendirilmelidir. Farklı enerjilerin ölçümü için farklı yöntemler bulunmaktadır.

Bu çalışmada, Afyonkarahisar ili yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli değerlendirilecektir. Bölgenin, özellikle jeotermal ve rüzgâr enerjisi potansiyeli incelenip, Weibull ve Rayleigh dağılımları ile rüzgâr enerjisi potansiyeli, 2010 ve 2011 yılları saatlik rüzgâr hızı verileri kullanılarak aylık bazda hesaplanacaktır. Weibull ve Rayleigh dağılımları ile elde edilen veriler karşılaştırılacaktır. Bu veriler yapılacak yatırım çalışmaları açısından önemli olacaktır.

2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE TÜRKİYE'NİN DURUMU

Türkiye' nin enerji kaynakları incelendiğinde yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelinin azımsanmayacak derecede olduğu açıkça görülmektedir. Ancak temiz ve çevre dostu olan yenilenebilir enerjiden yeterince yararlandığımızı söyleyemeyiz. Özellikle güneş ve rüzgâr enerjisi potansiyeli bakımından zengin bir ülke olduğumuzdan bu enerjilerin kullanımı ülke bütçesine önemli katkılar sağlayacaktır. Türkiye'nin enerji üretimi incelendiğinde büyük bir kısmının fosil kaynaklı termik santrallerden elde edildiği görülmektedir. 2010 yılı sonu itibariyle Türkiye' nin kurulu gücü 49562 MW' tır. Bu güçle 210119,76 GWh' lik bir enerji üretilmektedir. Bu kurulu gücün dağılımına baktığımızda; bunun 264 santral ve 32317 MW kurulu güç ile %65,2'si termik santrallerinden oluşmakta, 259 santral ve 15831 MW kurulu güç ile %31,94' ü hidroelektrik santrallerinden ve 41 santral ve 1320 MW kurulu güç ile %2.84' ü rüzgâr santrallerinden ve jeotermal enerjiden elde edilmektedir. Güneş enerjisi santrali ise henüz bulunmamaktadır (Teiaş, 2012).

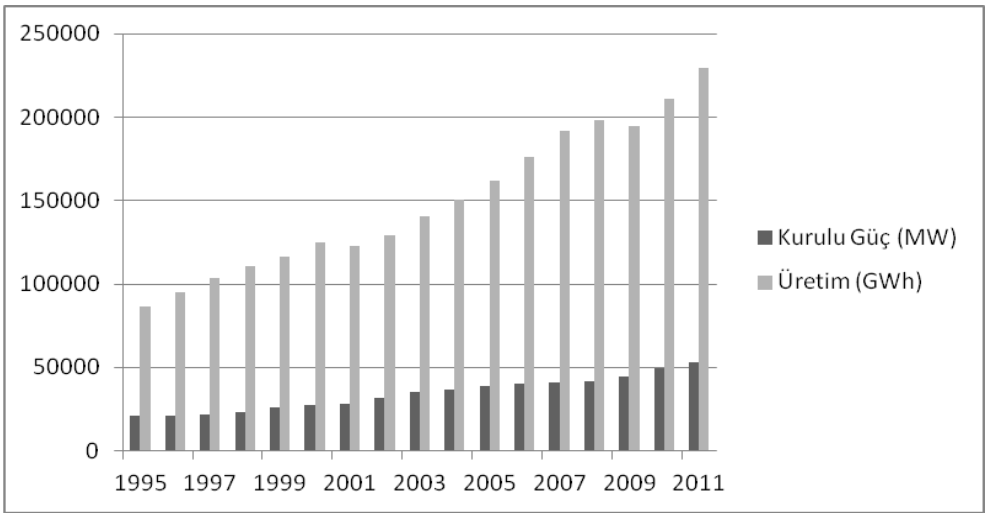
2008 yılında rüzgâr santralleri kurulu gücü 363,7 MW, 2009 yılında 761,6 MW ve 2010 yılı sonu itibariyle 1320,2 MW olarak gerçekleşmiştir. Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü APK Daire Başkanlığının Türkiye Elektrik Enerjisi 10 Yıllık Üretim Kapasitesi Projeksiyonuna göre 2012 yılı sonu itibariyle bu kurulu gücün 1965 MW ve 2020 yılında 3328 MW olması öngörülmektedir (Teiaş, 2011).

Türkiye enerji kaynağı karşılama bakımından %67 oranında dışa bağımlıdır. Elektrik üretimi için satın aldığımız doğalgaz, petrol ve kömür için ödediğimiz para ile güneş enerjisi panelleri, rüzgâr enerjisi santralleri veya hidrojen enerjisi yatırımları yapılmış olsa çok daha karlı bir sonuç elde edilebilirdi (Teiaş, 2012).

,

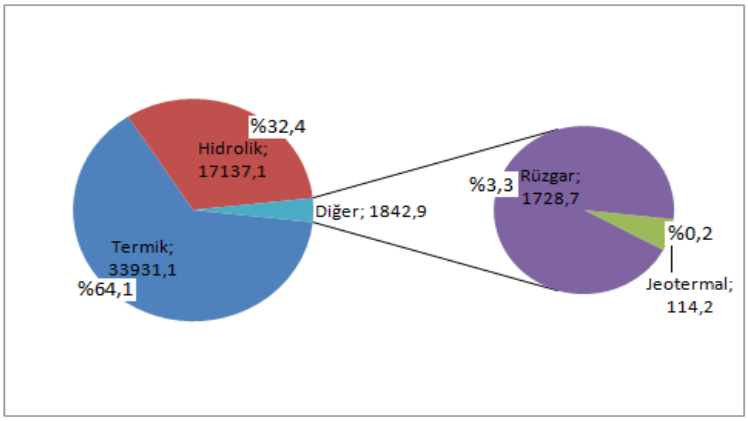
Çizelge 2.1 Türkiye Kurulu Güç ve Üretiminin Yıllar İtibariyle Gelişimi (Teiaş, 2012)

	KURULU GÜÇ (MW)					ÜRETİM (GWh)				
Yıllar	**Termik**	**Hidrolik**	**Jeo.+Rüz.**	**Toplam**	**Artış %**	**Termik**	**Hidrolik**	**Jeo.+Rüz.**	**Toplam**	**Artış %**
1995	11074.0	9862.8	17.5	**20954,3**	0.5	50620.5	35540.9	86.0	**86247.4**	10.1
1996	11297.1	9934.8	17.5	**21249,4**	1.4	54302.8	40475.2	83.7	**94861.7**	10.0
1997	11771.8	10102.6	17.5	**21891,9**	3.0	63396.9	39816.1	82.8	**103295.8**	8.9
1998	13021.3	10306.5	26.2	**23354,0**	6.7	68702.9	42229.0	90.5	**111022.4**	7.5
1999	15555.9	10537.2	26.2	**26119,3**	11.8	81661.0	34677.5	101.4	**116439.9**	4.9
2000	16052.5	11175.2	36.4	**27264,1**	4.4	93934.2	30878.5	108.9	**124921.6**	7.3
2001	16623.1	11672.9	36.4	**28332,4**	3.9	98562.8	24009.9	152.0	**122724.7**	-1.8
2002	19568.5	12240.9	36.4	**31845,8**	12.4	95563.1	33683.8	152.6	**129399.5**	5.4
2003	22974.4	12578.7	33.9	**35587,0**	11.7	105101.0	35329.5	150.0	**140580.5**	8.6
2004	24144.7	12645.4	33.9	**36824,0**	3.5	104463.7	46083.7	150.9	**150698.3**	7.2
2005	25902.3	12906.1	35.1	**38843,5**	5.5	122242.3	39560.5	153.4	**161956.2**	7.5
2006	27420.2	13062.7	81.9	**40564,8**	4.4	131835.1	44244.2	220.5	**176299.8**	8.9
2007	27271.6	13394.9	169.2	**40835,7**	0.7	155196.2	35850.8	511.1	**191558.1**	8.7
2008	27595.0	13828.7	393.5	**41817,2**	2.4	164139.3	33269.8	1008.9	**198418.0**	3.6
2009	29339.1	14553.3	868.8	**44761,2**	7.0	156923.4	35958.4	1931.1	**194812.9**	-1.8
2010	32278.5	15831.2	1414.4	**49524,1**	10.6	155827.6	51795.5	3584.6	**211207.7**	8.4
2011	33931.1	17137.1	1842.9	**52911,1**	6.8	171638.3	52338.6	5418.2	**229395.1**	8.6



Şekil 2.1 Türkiye Kurulu Güç ve Üretimini Yıllar İtibariyle Gelişimi (Teiaş, 2012)

Şekil 2.1' de Türkiye' nin 1995-2011 yılları arası kurulu gücü ve elektrik enerjisi üretimi görülmektedir.



Şekil 2.2 Türkiye'nin 2011 yılı kurulu gücü (Teiaş, 2012)

Şekil 2.2' de Türkiye' nin 2011 yılı kurulu gücü yüzdelik dilimler olarak gösterilmiştir.

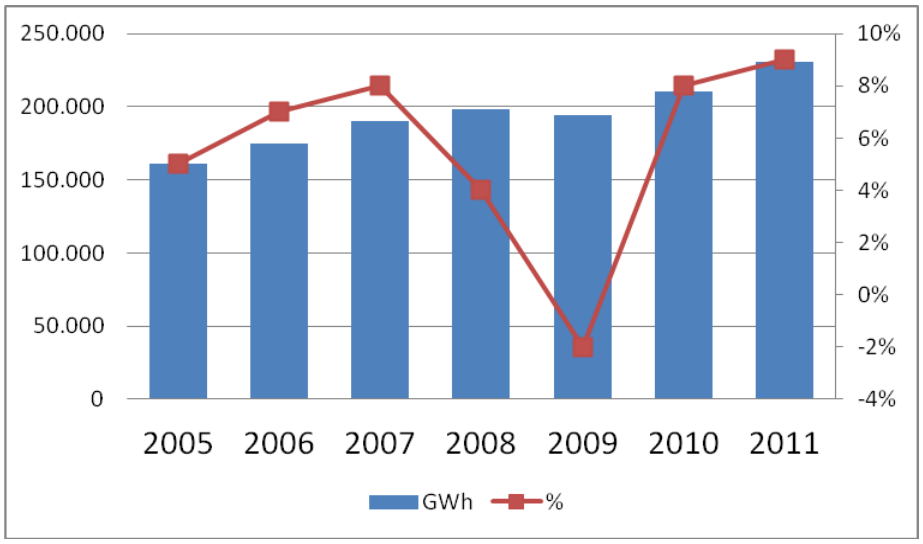
Çizelge 2.2 Yıllar İtibariyle Türkiye Kurulu gücünün üretici kuruluşlara dağılımı (Teiaş, 2012)

Birim: MW

		2006	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**
EÜAŞ	TERMİK	8.705.9	8.690.9	8.690.9	8.690.9	8.690.9	8.690.9
	HİDROLİK+JEOTERMAL+ RÜZGÂR	11.176,0	11.350.3	11.455.9	11.677.9	11.677.9	11.589.5
	TOPLAM	19.881.9	20.041.2	20.146.8	20.368.8	20.368.8	20.280.4
EÜAŞ'IN BAĞLI ORTAKLIKLARI	TERMİK	3.834.0	3.834.0	3.834.0	3.834.0	3.834.0	3.870.0
MOBİL SANTRALLAR	TERMİK	724.9	262.7	262.7	262.7	262.7	0.0
ÜRETİM ŞİRKETLERİ	TERMİK	10.321.7	10.688.8	11.208.9	13.421.0	16.273.2	18.276.9
	HİDROLİK+JEOTERMAL+ RÜZGÂR	1.374.5	1.624.3	2.181.5	3.168.7	4.992.2	6.717.4
	TOPLAM	11.696.2	12.313.1	13.390.4	16.589.7	21.265.4	24.994.3
OTOPRODÜKTÖR+ İŞLETME HAKKI DEVİR	TERMİK	3.833.7	3.795.2	3.598.5	3.130.5	3.217.7	3.093.3
	HİDROLİK+JEOTERMAL+ RÜZGÂR	594.1	589.5	584.8	575.5	575.5	673.1
	TOPLAM	4.427.8	4.384.7	4.183.3	3.706.0	3.793.2	3.766.4
TÜRKİYE TOPLAMI	TERMİK	27.420.2	27.271.6	27.595.0	29.339.1	32.278.5	33.931.1
	HİDROLİK+JEOTERMAL+ RÜZGÂR	13.144.6	13.564.1	14.222.2	15.422.1	17.245.6	18.980.0
	TOPLAM	40.564.8	40.835.7	41.817.2	44.761.2	49.524.1	52.911.1

Çizelge 2.1 incelendiğinde Türkiye kurulu gücünün termik ve hidroelektrik santrallerden oluştuğunu söyleyebiliriz. Rüzgâr ve jeotermal enerjiden elektrik üretimi ise bu kaynakların potansiyeli göz önünde bulundurulduğunda henüz istenen düzeyde değildir. Fakat rüzgâr ve jeotermal enerjiden üretilen enerjinin 2006 yılından bu yana her yıl yaklaşık olarak ikiye katlanması olumlu bir gelişme olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çizelge 2.2'de Türkiye'nin kurulu gücünün 2006-2011 yılları arası üretici kuruluşlara göre dağılımı gösterilmektedir. Kurulu gücünün büyük bir kısmını EÜAŞ ve Üretim şirketleri oluşturmaktadır.



Şekil 2.3 Türkiye enerji talebinin yıllar itibariyle gelişimi (Teiaş, 2012)

Şekil 2.3' de Türkiye' nin 2005-2011 yılları arası enerji talebi gelişimi görülmektedir.

2.1 Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr, güneşin yeryüzünün farklı yüzeylerini farklı ısıtmasıyla oluşan basınç farkının havayı harekete geçirmesiyle oluşmaktadır. Farklı yüzeylerin farklı ısınması havadaki sıcaklığın, nem oranının ve basıncın farklılaşmasına neden olmaktadır. Basınç farkı da havanın hareketine yol açmaktadır. Yani hareket eden havanın kinetik enerjisine rüzgâr diyebiliriz. Dünyamızı ısıtan güneş radyasyonunun yaklaşık olarak %2 si kadarı rüzgâr enerjisine dönüştürülür (Sarıkaya, 2010).

Rüzgâr atmosferde çokça ve serbest olarak bulunan, emisyonu olmayan, kararlı, emniyetli, doğal kaynakların tükenmesine yol açmayan, küresel ısınmayı arttırmayan, asit yağmurlarına yol açmayan, güvenilir, çevre dostu ve sürekli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır (Sarıkaya, 2010).

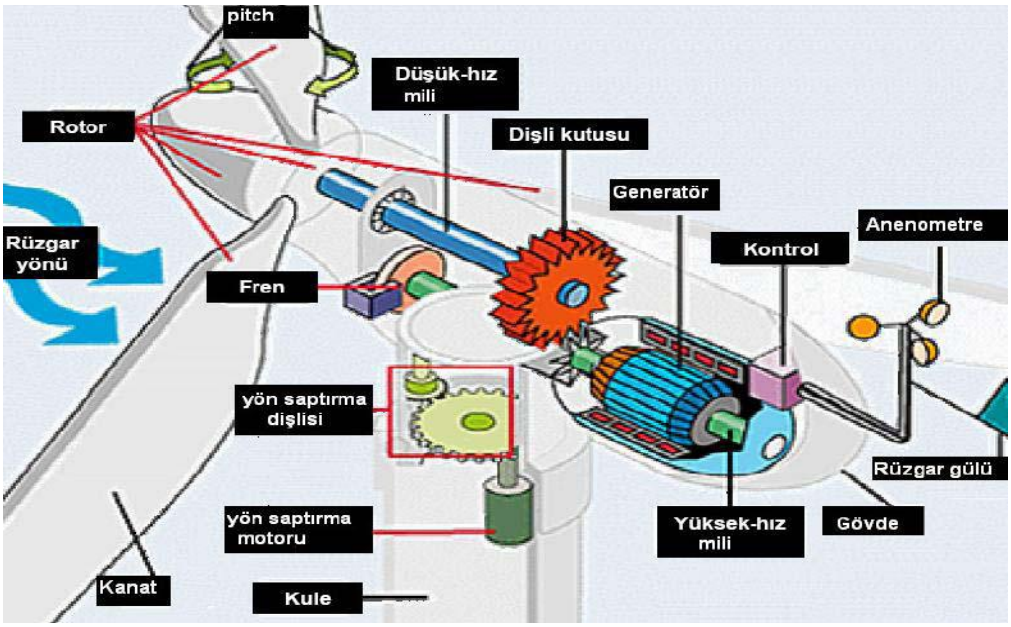
Rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretimi içinde bulunduğumuz yüzyıl başlarına dayanmaktadır. 1920 yılına kadar sadece 5 ile 25 KW' lık güçlerde üretim yapabilen türbinler kullanılmıştır. 1970'lerdeki dünya petrol kriziyle ortaya çıkan enerji sorunu sonrasında alternatif enerji kaynakları kullanımı ile ilgili araştırmalar hızla artmıştır. Özellikle güneş ve rüzgâr enerjisi ile ilgili araştırmalar hız kazanmıştır. Bu araştırmalar ve çalışmalar neticesinde 1990'lı yıllarda kullanımı en hızlı artan yenilenebilir enerji kaynağı rüzgâr enerjisi olmuştur (Eie, 2011).



Şekil 2.4 Rüzgâr türbinleri

Rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi için kanat-pervane diye adlandırılan elemanlar yardımıyla rüzgârın kinetik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren rüzgâr türbinleri kullanılmaktadır (Şekil 2.4). Güneşin yer yüzeyini farklı ısıtmasıyla oluşan rüzgâr var olduğu sürece rüzgâr gülleri vasıtasıyla enerji üretmek mümkün olacaktır. Yapılan araştırmalarda güneşin dünyamızı daha milyonlarca yıl ısıtacağı göz önünde bulundurulduğunda rüzgâr enerjisi tükenmeyen ve yenilenebilen bir enerji kaynağıdır. Üretilen elektrik enerjisi aküler vasıtasıyla depolanarak kullanıcılara ulaştırılır veya elde edilen hareket enerjisi direk jeneratör miline bağlanarak kullanılır (Apaydın vd., 2009). Rüzgâr enerjisinin mekanik enerjiye daha verimli bir şekilde dönüştürülmesi için kanatların, rüzgârla oldukça fazla etkileşimleri gerekir. Kanatların bütün kinetik enerjiyi

dönüştürmeleri mümkün değildir. Rüzgâr türbinleri için ideal olan, rüzgâr hızını 2/3 oranında dönüştürmektir. Rüzgârdan elde edilen ideal güç, rüzgârın toplam kinetik enerjisinin maksimum 0,59' u yani 16/27' sidir. Elde edilen bu katsayı betz kanunu olarak ifade edilmektedir (Eie, 2011).



Şekil 2.5 Rüzgâr türbinini oluşturan parçalar (Yılmaz, 2008)

Rüzgâr türbini, rüzgârın kinetik enerjisini önce hareket enerjisine ardından da hareket enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Rüzgâr türbinleri genel olarak kule, üreteç (jeneratör), dişli kutusu, elektrik-elektronik modül ve kanatlardan (pervane) oluşmaktadır (Şekil 2.5). Rüzgâr türbinlerinin sınıflandırılması genelde dönme eksenine göre yapılır. Dönme sınıfına göre sınıflandırılan türbinler birçok boyutta ve tipte üretilirler. Türbinler dönme eksenine göre yatay eksenli rüzgâr türbinleri (YERT) ve düşey eksenli rüzgâr türbinleri (DERT) olmak üzere iki sınıftır (Wikipedia, 2012).

Rüzgâr enerjisinden üretilecek elektrik enerjisi rüzgârın hızına bağlıdır. Rüzgârın hızı denklem (2.1)'de verildiği gibi yükseklikle, rüzgârın gücü ise denklem (2.3)'de belirtildiği gibi rüzgâr hızının küpüyle orantılı olarak artar (Eie, 2011).

$$v = v_R \cdot \left(\frac{h}{h_R} \right)^{\sigma} \tag{2.1}$$

Burada

v_R: referans seviyedeki rüzgâr hızı,

h_R : referans alınan seviye yüksekliği,

σ: yüzey pürüzlülüğüne bağlı üstel katsayıdır ve denklem (2.2) ile gösterilir.

$$\sigma : 0.351 - 0.192 \log(v_R) \tag{2.2}$$

Rüzgârdan elde edilebilecek maksimum güç denklem (2.3)'de gösterilmiştir.

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \tag{2.3}$$

ρ: Hava yoğunluğu olup 1,225 (kg/m^3) olarak alınabilir.

A: Kanatların tarama alanı (m^2)

V: Rüzgâr hızı (m)

P: Rüzgâr enerjisinin sahip olduğu gücü verir (W) (Eie, 2011).

Rüzgâr enerjisi birçok avantajından dolayı günümüzde en çok gelecek vadeden temiz enerji kaynaklarından biridir. Rüzgâr enerjisi görüntü kirliliği haricinde çevre dostu temiz bir enerjidir. Örneğin bir yılda çevreye 1200 ton karbondioksit bırakarak elde edilen elektrik enerjisi, modern 600 KW' lık bir rüzgâr türbiniyle elde edilerek çevre kirliliği büyük oranda önlenmiş olacaktır. Rüzgâr enerjisi gece gündüz fark etmeden, doğada bolca bulunan ve güneş ışımasını sürdürdüğü sürece tükenmeyecek bir enerji kaynağıdır. Türkiye gibi enerji kaynakları büyük oranda dışa bağımlı ülkelerde özellikle doğalgaz ve petrol bağımlılığını büyük ölçüde azaltacak bir kaynaktır. Kaynak olarak doğada serbest bulunan rüzgâr enerjisi kullanıldığından yakıt maliyeti yoktur (Kaymakçıoğlu ve Çirkin, 2005).

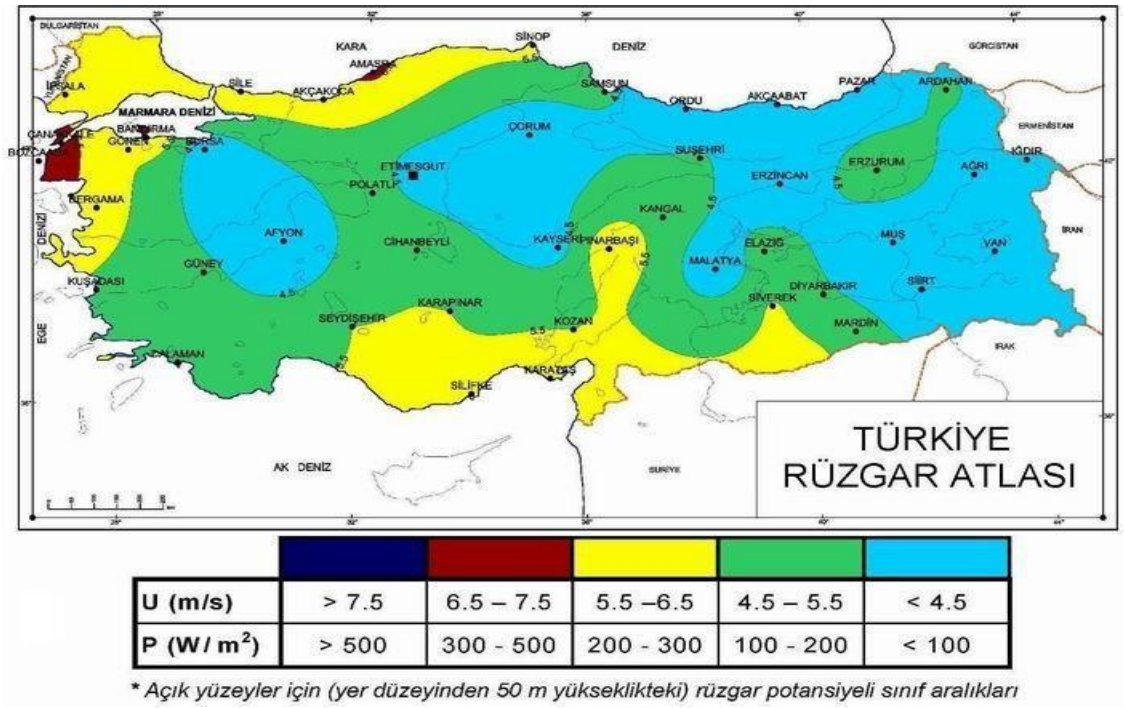
Rüzgâr türbinleri kısa sürede enerji ihtiyacını karşılamada önemli rol üstlenirler. Üç ay gibi çok kısa bir sürede kuruluşları sırasında sarf edilen enerjiyi üretebilecek potansiyele sahiptir. Rüzgâr enerjisinin bu kadar avantajına karşın bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajları görüntü kirliliği, gürültü kirliliği, bazı hayvanların ölümüne neden olma, parazit oluşturmalarından dolayı radyo ve TV alıcılarını olumsuz etkilemeleri olarak sıralayabiliriz. Santralin kurulacağı alan bu dezavantajlar göz

önünde bulundurularak düzenlenirse olumsuz etkiler en aza düşürülebilir (Kaymakçıoğlu ve Çirkin, 2005).

2.1.1 Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli

Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyeli bakımından zengin bir ülkedir. Bu potansiyel 40.000 MW ile 80.000 MW seviyesindedir. Devlet Meteoroloji İstasyonlarının 1970-1980 yılları arası rüzgâr verileri değerlendirildiğinde Türkiye' nin 10 metre yükseklikte yıllık ortalama rüzgâr hızı 2.54 m/s ve rüzgâr gücü yoğunluğu 24 w/m^2 olduğu tespit edilmiştir (Dmi, 2006).

Şekil 2.6'da verilen Türkiye rüzgâr atlası incelendiğinde en yüksek rüzgâr potansiyeline sahip bölgemiz Marmara bölgesi iken en düşük potansiyele sahip bölgemiz ise Erzurum ve Ardahan hariç Doğu Anadolu Bölgesi olarak görülmektedir.



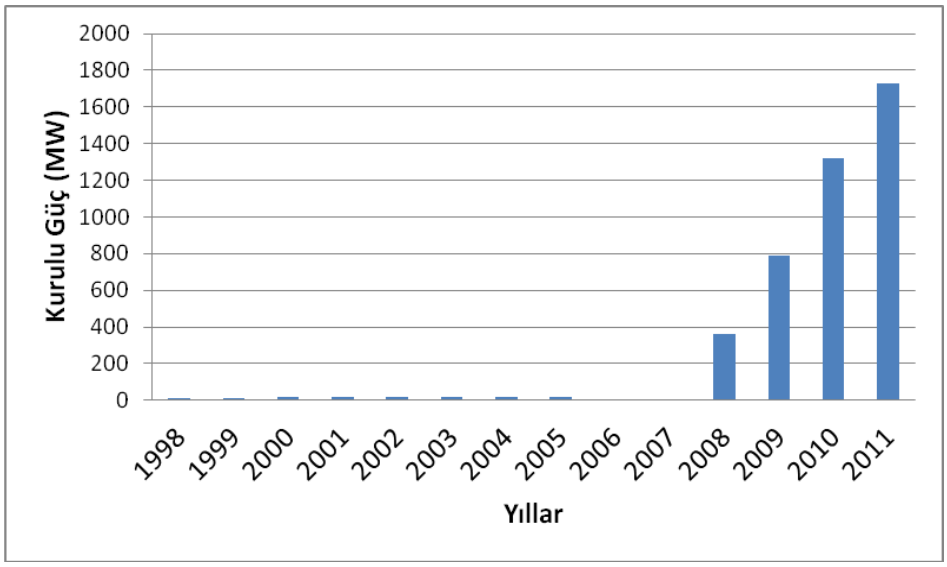
Şekil 2.6 Türkiye rüzgâr atlası (Sarıkaya, 2010)

Ülkemizde, Rüzgâr Enerjisi yatırımı ilk olarak 1998 yılında Çeşme'de gerçekleştirilmiştir (8.7 MW). 2000 yılı içinde ise sadece 10.2 MW' lık bir yatırım Bozcaada'da yapılmıştır. Türkiye' nin Bölgeleri İçin oluşturulan Rüzgâr Hızı ve Enerji Yoğunluğu Değerleri Çizelge 2.3' de gösterilmiştir (Dmi, 2006).

Çizelge 2.3 Türkiye'nin Bölgeleri İçin Oluşturulan Rüzgâr Hızı ve Enerji Yoğunluğu Değerleri (Cerit ve Yılmaz, 2005)

BÖLGE	RÜZGÂR HIZLARI (m/s)	ENERJİ YOĞUNLUĞU (w/m^2)
DOĞU ANADOLU	2.12	13.19
KARADENİZ	2.38	21.36
AKDENİZ	2.45	21.38
İÇ ANADOLU	2.46	20.14
EGE	2.65	23.47
G. DOĞU ANADOLU	2.69	29.33
MARMARA	3.29	51.91

Çizelgeye göre Türkiye'nin bölgelere göre enerji yoğunlukları incelendiğinde Marmara bölgesi 51,91 w/m^2 ve güneydoğu Anadolu bölgesi 29,33 w/m^2 enerji yoğunluğu ile diğer bölgelere göre daha zengin bir potansiyele sahiptir. En az enerji yoğunluğuna sahip bölgemiz ise Karadeniz bölgesidir.



Şekil 2.6 Türkiye'nin yıllara göre RES kurulu gücü (Teiaş, 2012)

Şekil 2.6'da Türkiye'nin 1998-2011 yılları arası rüzgâr enerjisi santrali kurulu gücünün gelişimi görülmektedir. 2008 yılına kadar yok denecek kadar az olan kurulu gücümüz 2008 yılından bu yana artarak gelişmektedir.

Türkiye' de 41 adet işletmede olan rüzgâr enerjisi santrali bulunmaktadır. Bu santraller 1478,05 MW' lık kurulu güce sahiptir. İnşa halinde ise 19 adet santral bulunmaktadır. İnşa halindeki santraller ise 749.55 MW' lık kurulu güç potansiyeline sahiptir. Bu santrallerin faaliyete geçmesiyle Türkiye toplam 60 santral ile 2227.6 MW'

lık kurulu güce sahip olacaktır. Çizelge 2.4'de Türkiye'nin işletmede olan santralleri ve kurulu güçleri verilmiştir.

Çizelge 2.4 Türkiye'de işletmede olan RES tesisleri (Eie, 2012)

SIRA NO	LİSANS NO	PROJE ADI	LİSANSINDAKİ GÜÇ (MW)
1	-	ARES - YİD	7.20
2	-	BORES - YİD	10.20
3	EÜ/312-1/434	SAYALAR RES	30.60
4	EÜ/207-4/353	BURGAZ RES	14.90
5	EÜ/325-2/457	YUNTDAĞ RES	42.50
6	EÜ/249-3/385	İNTEPE RES	30.40
7	EÜ/565-5/580	MANASTIR RES	42.40
8	EÜ/311-4/433	ŞAMLI RES	114.00
9	EÜ/325-3/458	SEBENOBA RES	60.00
10	EÜ/1332-16/969	YAPISAN / BANDIRMA RES	30.00
11	EÜ/225-4/372	KEMERBURGAZ RES	24.00
12	EÜ/250-4/389	KARAKURT RES	10.80
13	EÜ/284-7/398	ÇATALCA RES	60.00
14	EÜ/757-4/638	ÇEŞME RES	1.50
15	EO/150-25/221	HADIMKÖY RES	1.20
16	EÜ/302-1/417	TEPE RES	0.85
17	EÜ/786-2/648	MAZI-3 RES	22.50
18	EÜ/1149-7/827	SOMA / SOMA RES	140.80
19	EÜ/973-1/738	BELEN RES	30.00
20	EÜ/1632-5/1193	SARES RES	22.50
21	EÜ/1690-2/1224	SUSURLUK RES	45.00
22	EÜ/1062-6/786	AKBÜK RES	31.50
23	EÜ/1546-3/1129	BANDIRMA - 3 RES	24.00
24	EÜ/255-6/391	OSMANİYE RES	135.00
25	EÜ/1179-21/850	BOREAS - 1 ENEZ RES	15.00
26	EÜ/786-1/647	KORES KOCADAĞ RES	15.00
27	EÜ/1167-4/837	SARIKAYA RES	28.80
28	EÜ/1747-4/1257	ŞENBÜK RES	15.30
29	EÜ/1309-3/945	KUYUCAK RES	25.60
30	EÜ/1188-1/853	DATÇA RES	28.80
31	EÜ/1167-3/836	KELTEPE RES	18.90
32	EÜ/1167-1/834	ÇAMSEKİ RES	20.80
33	EÜ/1245-10/901	MERSİN RES	34.00
34	EÜ/2352-2/1572	ZİYARET RES	35.00
35	EÜ/1217-1/866	TURGUTTEPE RES	24.00

36	EÜ/1179-22/851	DÜZOVA RES	15.00
37	EÜ/1447-8/1049	BANDIRMA RES	45.00
38	EÜ/973-2/739	AYYILDIZ RES	15.00
39	EÜ/1678-4/1218	BİLGİN / SOMA RES	90.00
40	EÜ/1678-3/1217	ALİAĞA RES	90.00
41	EÜ/1501-2/1088	ÇANAKKALE RES	30.00
TOPLAM			1478.05



Şekil 2.7 Türkiye RES haritası (Eie, 2012)

Şekil 2.7'de Türkiye'nin mevcut rüzgâr enerjisi santralleri haritası görülmektedir. Santrallerin büyük bir kısmının Marmara ve Ege bölgesinde kurulduğu görülmektedir.

2.2 Güneş Enerjisi

Güneş, dünyamıza ve diğer gezegenlere enerji veren sürekli ve yenilenebilir enerji kaynağıdır. Diğer enerji kaynakları olan petrol, kömür, hidroelektrik, biyokütle ve rüzgâr güneş ışınlarının maddeler üzerindeki fiziksel etkisiyle oluşmaktadır. Doğal enerji kaynaklarının pek çoğunun oluşmasında etkili olan güneş enerjisinden, ısıtma ve elektrik elde etme gibi amaçlarla doğrudan yararlanılmaktadır. Termonükleer bir reaktör olan güneşte, her saniyede 564 milyon ton hidrojen, füzyon sonucu 560 milyon ton helyuma dönüşmektedir. Füzyon sonucunda kaybolan 4 milyon ton hidrojen kütle karşılığı 386.000.000 EJ (eksa joule) enerji olarak açığa çıkmaktadır. Açığa çıkan bu enerji 11 TW olan dünya toplam enerji talebinin 1600 katından çoktur. Güneşte füzyon sonucunda meydana gelen bu enerji oluşumu daha milyarlarca yıl kesintiye uğramadan

devam edeceğinden enerji kaynağı olarak güneş sonsuz bir enerji kaynağıdır (Çakar vd., 2009).

Güneş ışınımlarının tamamı yer yüzeyine ulaşmaz. Işınımların yaklaşık %30 kadarı atmosfer tarafından geriye yansıtılır. Yaklaşık olarak % 50'si kadarı da atmosferi geçerek dünyaya ulaşır. Dünyanın sıcaklığını yükselten ve yeryüzünde yaşamı mümkün kılan atmosferi aşarak yer yüzeyine ulaşan enerjidir. Rüzgâr oluşumuna, deniz ve okyanus dalgalanmalarına, biyokütle enerji oluşumuna bu ısınma neden olmaktadır. Yeryüzüne gelen güneş ışınımlarının %1'inden azı fotosentez yoluyla bitkiler tarafından kullanılır. Dünyaya ulaşan ve farklı olayların oluşmasına neden olan güneş ışınımının tamamı sonunda ısıya dönüşerek uzaya geri verilir (Eie, 2011).

Güneş enerjisi, hem bol, hem tükenmediğinden sürekli ve yenilenebilir hem de bedava bir enerji kaynağıdır. Bu avantajlarıyla beraber fosil kökenli petrol ve kömür gibi geleneksel enerji kaynaklarının kullanımından kaynaklanan başta çevre kirliliği gibi çevre sorunlarının çoğunun güneş enerjisinin kullanımında bulunmayışı bu enerji kaynağını çevre dostu ve temiz bir enerji kaynağı haline getirmektedir. Geleneksel enerji kaynaklarının kullanımının kaçınılmaz ürünü, çevre düşmanı olan karbondioksit (CO2) yayılımı (emisyonu) sonucunda atmosferdeki karbondioksit miktarı son yüzyıl içinde yaklaşık olarak 1,3 kat artmıştır. Fosil yakıtların kullanımı böyle devam ederse önümüzdeki 50 yıl içinde, bu miktarın bu güne oranla 1,4 kat daha artarak çevreyi çok ciddi bir şekilde tehdit olasılığı bulunmaktadır. Bilindiği gibi karbondioksitin yol açtığı sera etkisi dünya sıcaklığını arttırmaktadır. Bu sera etkisi son yüzyıl içinde ortalama dünya sıcaklığını $0.7^{o}C$ yükseltmiştir. Dünya ortalama sıcaklığının $1^{o}C$ yükselmesi, iklim kuşaklarında hissedilir değişimlere, $3^{o}C$ yükselmesi, göllerin kurumalarına ve tarımsal kuraklığa yol açabilecektir. Bu durumda insanoğlu enerji kullanımından vazgeçmeyeceğine göre, güneş gibi temiz, doğal, çevre dostu, yenilenebilir ve alternatif olabilecek enerji kaynaklarına yönelmesi gerekecektir (Varınca ve Gönüllü, 2006).

2.2.1 Güneş Enerjisi Uygulamaları

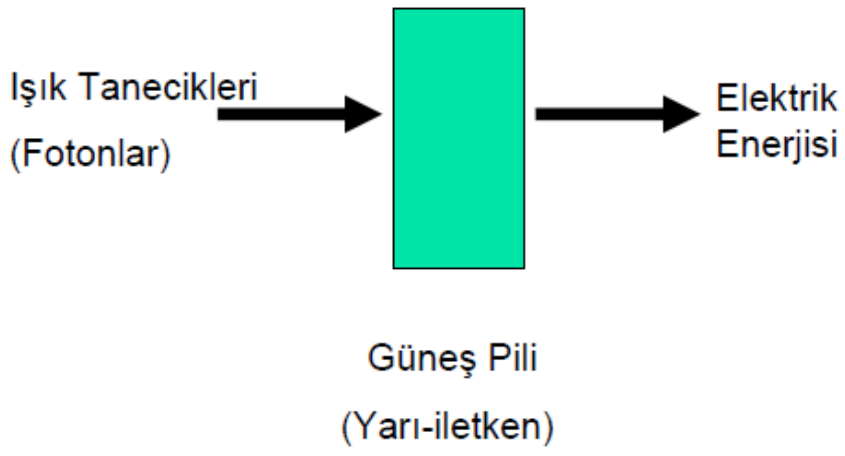
Yeryüzüne gelen güneş ışığından genel olarak ısı ve güneş enerjisi olarak yararlanılır. Isı ve elektrik enerjisi üreten güneş enerjisi sistemleri; teknoloji düzeyi, uygulama alanı, tasarım vb. bakımından çok çeşitlilik göstermektedir. Böyle olmakla beraber güneş enerjisi uygulamaları temel olarak termal sistemler ve fotovoltaik (PV) sistemler olarak iki gruba ayrılır. Fotovoltaik sistemler güneş enerjisinde elektrik

enerjisi elde etmek için kullanılan temel sistemlerdir. Güneş enerjisinden farklı enerjilerin üretimi düşünüldüğünde, termal güç sistemleri dolaylı dönüşüm, fotovoltaik dönüşüm veya güneş pilleri ise doğrudan dönüşüm olarak ifade edilebilir (Çakar vd., 2009).

Dolaylı dönüşüm, güneş enerjisinden yararlanarak termik güneş santrallerinde elde edilen buharın buhar-güç dönüşümü veya güneş enerjisinden elde edilen hidrojen ve bunun kullandığı yakıt pilidir. Termal güç santralleri, güneşi tek eksende izleyen doğrusal yoğunlaştırıcı (parabolik yansıtıcı oluk) ve çift eksende izleyici noktasal yoğunlaştırıcı (paraboloid çanak) ile bir akışkanın buharlaştırılarak mekanik enerji üretilmesi teknolojisine dayanmaktadır (Sarıkaya, 2010).

2.2.2 Fotovoltaik sistemler

Fotovoltaik sistemler, güneş pili denilen yarıiletken maddelerden oluşmaktadır. Yarı iletken madde, yüzeyine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çevirebilme özelliğine sahiptir. Güneş pilleri, birbirine seri ya da paralel bağlanabilirler. Seri veya paralel olarak birbirine bağlanan güneş pilleri bir yüzey üzerine monte edilerek kullanıma sunulurlar. Bu yüzeyler kare, dikdörtgen veya daire biçiminde oluşturulabilip alanları 100cm2 civarında, kalınlıkları ise 0.2 veya 0.4 mm civarındadır. Bu yolla elde edilen modüller güneş pili modüller ya da fotovoltaik (PV) modüller olarak adlandırılıp güneş pili sistemlerinin (fotovoltaik sistemlerin) temel elemanlarıdır. Güneş pillerinin güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirim verimleri pillerin yapılarına bağlı olarak %5 ile %20 arasında değişmektedir (Kıncay vd., 2012) .



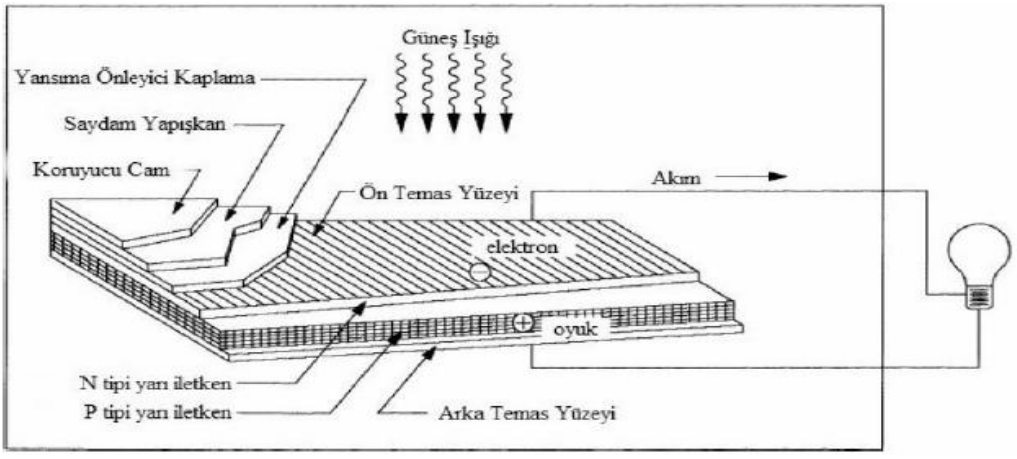
Şekil 2.8 Fotovoltaik sistem (Kıncay vd., 2012)

2.2.3 Güneş Pili Çalışma İlkesi

Güneş pili sistemleri elektrik enerjisinin gerekli olduğu hemen hemen her uygulamada rahatlıkla kullanılabilmektedir. Fotovoltaik sistemler uygulamaya bağlı olarak akümülatörler, inverterler, şarj kontrol cihazları ve birçok elektronik devre ile birlikte ihtiyaca göre kullanılabilirler. Bu sistemler, güneş olan her yerde kullanılabildiğinden yerleşim yerlerinden uzak, elektrik enerjisi iletiminin çok maliyetli olduğu ve elektrik şebekesi olmayan yerlerde kullanılabilirler. Güneş pili modüllerinin bu özelliklerinden dolayı kullanım alanı oldukça geniştir. Örneğin haberleşme sistemlerinde, sokak aydınlatmalarında, trafik sinyalizasyonunda, alarm sistemlerinde, deniz fenerlerinde, park ve bahçe aydınlatma sistemlerinde, enerji iletim maliyetinin yüksek olduğu kırsal kesimlerin elektrik gereksiniminin karşılanmasında ve tarım amaçlı sulama uygulamalarında kullanılmaktadır. Bunlara ek olarak binaların çatılarına yerleştirilen ve bina şebekesine bağlı yerel fotovoltaik modüllerin kullanımı son yıllarda hızla yaygınlaşmaktadır (Çakar vd., 2009).

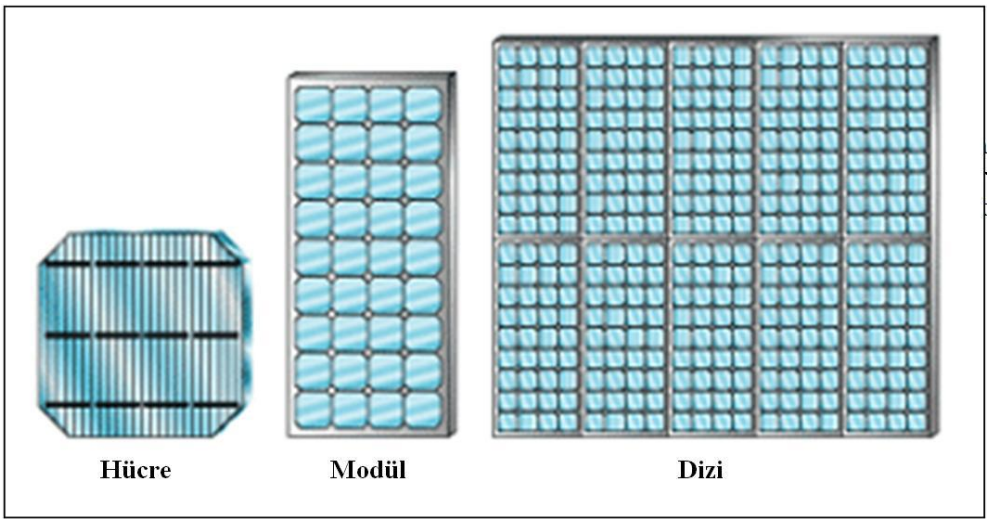
2.2.4 Fotovoltaik sistemlerin yapısı

Fotovoltaik hücre, yarıiletken malzemeden yapılıp bir PN yüzey birleşmeli (jonksiyonlu) diyot ile benzer fiziksel özelliklere sahiptir. Güneş pili hücresi yapımı için galmiyum kadmiyum tellür gibi yarı iletken maddeler en elverişli olanlarıdır. Şekil 2.9' da bir fotovoltaik hücrenin iç yapısı görülmektedir (Wikipedia, 2012).



Şekil 2.9 Fotovoltaik hücrenin iç yapısı (Sarıkaya, 2010)

P ve N tipi malzemeler bir araya getirilerek yarı iletken eklemler oluşturulur. N tipi yarı iletken malzemede elektronlar, P tipi yarı iletken malzemede ise holler çoğunluk taşıyıcılardır. P ve N yarı iletkenler eklemlenmeden önce her iki madde de nötr durumdadır. Güneşten gelen enerji, güneş pili yüzeyine çarptığında elektronlar P tabakasından N tabakasına doğru akarlar. Bu şekilde birçok hücre seri veya paralel bağlanarak istenilen akım ve gerilim değerleri elde edilir. Hücrelerin seri veya paralel bağlanmalarıyla oluşturulan yapıya fotovoltaik modül, fotovoltaik modüller de uygun bağlantılarla fotovoltaik dizi adını alırlar (Wikipedia, 2012) (şekil 2.10).



Şekil 2.10 Fotovoltaik hücrelerin birleşmesi (Sarıkaya, 2010)

2.2.5 Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Güneşten dünyaya saniyede yaklaşık olarak 170 milyon MW enerji gelmektedir. Türkiye'nin yıllık enerji üretiminin 100 milyon MW olduğu düşünülürse bir saniyede dünyaya gelen güneş enerjisi, Türkiye'nin enerji üretiminin 1.700 katıdır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1.311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Türkiye, 110 gün gibi yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir ve gerekli

yatırımların yapılması halinde Türkiye yılda birim metre karesinden ortalama olarak 1.100 kWh' lik güneş enerjisi üretebilir (Varınca ve Gönüllü, 2006). Çizelge 2.5' de Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri aylara göre dağılımı verilmiştir.

Çizelge 2.5 Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri aylara göre dağılımı (Varınca ve Gönüllü, 2006)

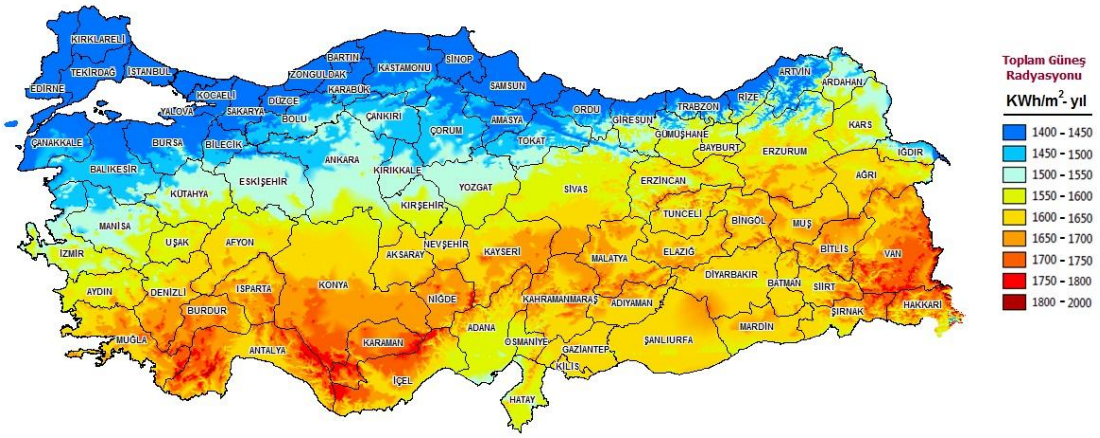
Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi		Güneşlenme Süresi
	(kcal/cm^2-ay	kWh/m^2-ay	(saat/ay
Ocak	4.45	51.75	103
Şubat	5.44	63.27	115
Mart	8.31	96.65	165
Nisan	10.51	122.23	197
Mayıs	13.23	153.86	273
Haziran	14.51	168.75	325
Temmuz	15.08	175.38	365
Ağustos	13.62	158.4	343
Eylül	10.6	123.28	103
Ekim	7.73	89.9	214
Kasım	5.23	60.82	157
Aralık	4.03	46.87	280
Toplam	112.74	1311	2640
Ortalama	308.0 cal/cm^2-gün	3.6 kWh/m^2-gün	7.2 saat/gün

Çizelge 2.5 incelendiğinde Türkiye'nin aylık toplam güneş enerjisi ve güneşlenme süresi en çok Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında gerçekleşmektedir. Türkiye'nin ortalama güneş enerjisinin 3,6 kWh/m^2-gün ve ortalama güneşlenme süresinin ise 7,2 saat/gün olduğu görülmektedir.

Çizelge 2.6 Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı (Varınca ve Gönüllü, 2006)

Bölge	Toplam ortalama güneş enerjisi kWh/m^2-yıl	En çok güneş enerjisi (Haziran) kWh/m^2	En az Güneş enerjisi (Aralık) kWh/m^2	Ortalama güneşlenme süresi saat/yıl	En çok güneşlenme süresi (Haziran) saat	En az güneşlenme süresi (Aralık) saat
Güneydoğu Anadolu	1.460	1.980	729	2.993	407	126
Akdeniz	1.390	1.869	476	2.956	360	101
Doğu Anadolu	1.365	1.863	431	2.664	371	96
İç Anadolu	1.314	1.855	412	2.628	381	98
Ege	1.304	1.723	420	2.738	373	165
Marmara	1.168	1.529	345	2.409	351	82
Karadeniz	1.120	1.315	409	1.971	273	87

Çizelge 2.6'da görüldüğü üzere Güneydoğu Anadolu bölgesi yıllık 2993 saat güneşlenme süresiyle ve toplam ortalama güneş enerjisiyle Türkiye'nin en çok güneş alan bölgesidir. Bu bölgeyi sırasıyla Akdeniz, Doğu Anadolu, İç Anadolu, Ege, Marmara ve Türkiye'nin en az güneşlenme süresine sahip Karadeniz bölgesi takip etmektedir.

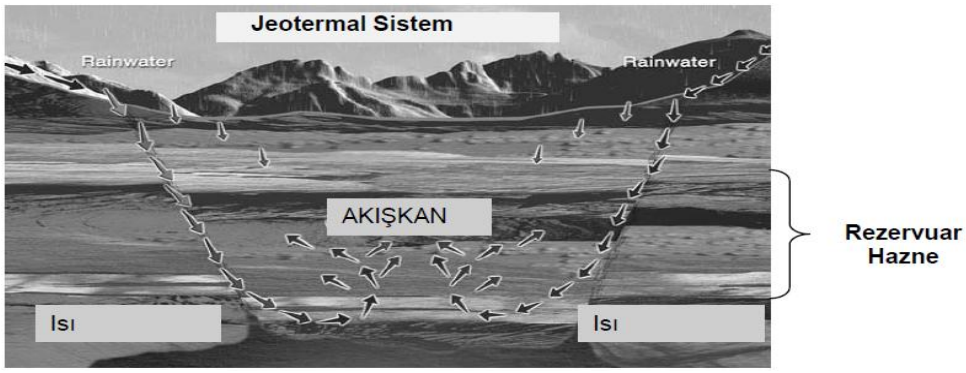


Şekil 2.11 Türkiye'nin yıllık ısı haritası (Eie, 2011)

Şekil 2.11'de Türkiye'nin yıllık ısı haritası görülmektedir. Haritaya göre Türkiye'nin güney kesimlerinin yıllık güneş radyasyonunun kuzey kesimlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

2.3 Jeotermal Enerji

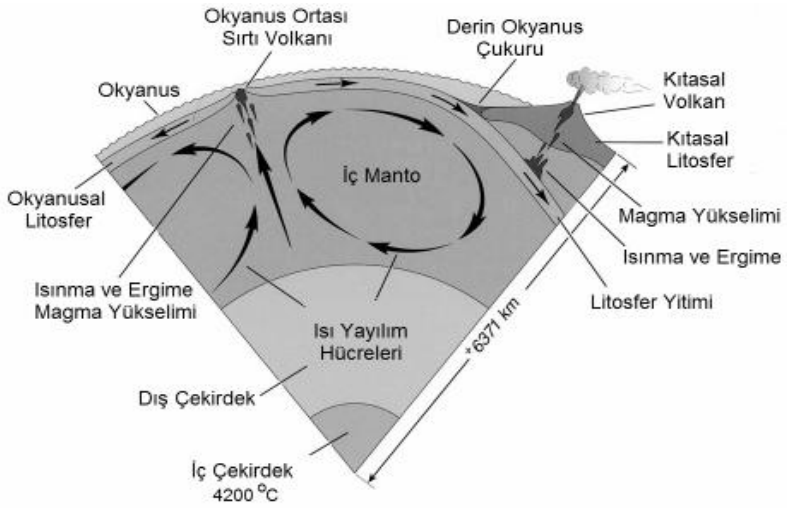
Jeotermal enerji yeryüzündeki su kanyonlarından beslenerek potansiyelini oluşturan ve yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde bulunan ısının oluşturduğu hidrotermal enerji olarak tanımlanabilir. Jeotermal enerji kaynaklarının sıcaklıkları atmosferik sıcaklığın üzerindedir. Jeotermal enerji kaynakları çevresindeki diğer sulara göre içerisinde daha fazla tuz, mineral ve gaz barındırabilen sıcak su ve buhardan oluşan hidrotermal enerji olarak tanımlanabilir. Bazı bölgelerde bulunan ve akışkan içermemesine rağmen jeotermal enerji kaynağı olarak nitelendirilen sıcak kuru kayalar da mevcuttur. Jeotermal akışkan yeryüzündeki havzalardan, kar ve yağmur sularından beslenmektedir. Yeryüzündeki havzalar, kar, yağmur ve dolu gibi yağışlar var olduğu sürece jeotermal enerji beslenecektir. Yani yeryüzündeki su kaynakları var olduğu sürece jeotermal enerji varlığını sürdürecektir. Bundan dolayı jeotermal enerji akışkan kullanımı beslenmeden fazla olmadığı sürece yenilenebilir, tükenmeyen ve temiz bir enerji kaynağıdır (Uluşahin, 2009).



Şekil 2.12 İdeal bir jeotermal sistemin şematik görünümü (İmamoğlu, 2009)

Yukarıdaki açıklamalar ışığında jeolojik dengeler jeopolitik baskılarla bozulmadığı sürece Jeotermal enerji yeni, yenilenebilir, sürdürülebilir, tükenmez, ucuz, güvenilir, çevre dostu, yerli ve yeşil bir enerji türüdür. Yer kabuğunun altında yer alan astenosfer tabakasında bulunan uranyum, toryum ve potasyum gibi radyoaktif maddelerin bozuşması sonucu oluşan ısı, jeotermal enerjinin kaynağını oluşturmaktadır. Astenosferde bu ısı odakları ve çevresinde oluşan konveksiyon akımlarının etkisiyle, yerkabuğunda çeşitli hareketler meydana gelmektedir. Bu hareketler sonucu yer kabuğu kırılmakta ve yükselen magma ile yeni kabuk oluşmaktadır. Oluşan yeni kabuğun hareketi sonunda, zayıflık zonlarında kabuk kırılmakta ve özgül ağırlığı fazla olan

kesim, diğerinin altına dalmaktadır. Dalan bölümün derinlerde erimesi ile yüzeye doğru yükselen magma zayıf kesimlerden yeryüzüne çıkarak volkanları meydana getirmektedir (Şekil 2.12 ve Şekil 2.13). Yükselen magma jeotermal enerji için mükemmel bir ısı kaynağı oluşturmaktadır (İmamoğlu, 2009).



Şekil 2.13 Jeotermal sistemlerin oluşum mekanizması (İmamoğlu, 2009)

Düşük ve orta sıcaklıklı alanlar, bugünkü teknolojik ve ekonomik koşullar altında başta ısıtma (termal) olmak üzere (sera, bina, zirai kullanımlar), endüstride (yiyecek kurutulması, kerestecilik, kağıt ve dokuma sanayisinde, dericilikte, soğutma tesislerinde), kimyasal madde üretiminde (borik asit, amonyum bikarbonat, ağır su, akışkandaki CO2 den kuru buz eldesinde) kullanılmaktadır. Ancak, orta sıcaklıklı alanlardaki akışkanlardan da elektrik üretimi için teknolojiler geliştirilmiş ve kullanıma sunulmuştur. Yüksek sıcaklıklı alanlardan elde edilen akışkan ise, elektrik üretiminin yanı sıra entegre olarak diğer alanlarda da kullanılabilmektedir. Teknolojik ilerlemeler nedeniyle yüksek sıcaklık değerine sahip olan jeotermal akışkanların sebep olduğu korozyon, hızlı tortulaşma ve kabuklaşma gibi sorunların giderilmesi mümkün hale geldikten sonra dünyada ve Türkiye'de önemli bir potansiyel kaynak değer özelliği kazanan jeotermal akışkanlardan yararlanma düzeyi ve sağlanan verim oldukça yükselmiştir (Sarıkaya, 2010).

2.3.1 Türkiye'de Jeotermal Enerji Potansiyeli ve Kullanım Alanları

Ülkemiz 31500 MWt' lık jeotermal potansiyel ile Dünyada ilk 10 Ülke arasındadır. Türkiye jeotermal kullanımında Dünya'da beşinci Avrupa'da birincidir. Kasım 2006 itibariyle Türkiye'de halen şehir, konut, termal tesis ve seracılık için 117.000 konut eşdeğeri ısıtma yapılmakta olup, kurulu güç olarak 983 MWt' a ulaşmıştır. Ayrıca Türkiye'de 195 adet kaplıcada sağlık amaçlı kullanım ile jeotermal enerjinin doğrudan kullanım kapasitesi 1385 MWt değerine ulaşmıştır. Jeotermal enerjinin sera ve konut ısıtılmasında kullanımı hızla gelişmektedir. Son yıllarda ülkemizde sağlık amaçlı kaplıca kullanımı (balneoloji) artış göstermektedir. Balneolojik amaçlı, yaklaşık 40°C sıcaklığa sahip debi potansiyelimiz 50.000 kg/s'dir. Bu debiyle günde 8 milyon kaplıca müşterisine hizmet verilebilir. Termal tesis ve sera ısıtmasına yönelik potansiyel ise 250.000 konut eşdeğeri olarak tahmin edilmektedir. Çizelge 2.7' de 2012 Mayıs ayı verilerine göre Türkiye'de jeotermal kaynaklarla ısıtılan sera varlığı gösterilmektedir. Türkiye'nin sahip olduğu jeotermal enerji potansiyeli ile 2010 yılı hedefi olan 500.000 konutun ısıtılmasına bağlı olarak doğal gaz ikamesi yılda 1 milyar m^3, 2020 yılı hedefi olan 1.250.000 konuta ulaşıldığında ise 2,5 milyar m^3 olacaktır (Köse vd., 2004).

Çizelge 2.7 2012 Mayıs Ayı İtibariyle İller İtibariyle Jeotermal Seracılık Verileri (Geka, 2012).

İLLER	Jeotermal Enerji İle Isıtılan Örtüaltı Alanı (ÖKS 2012) (da)	Jeotermal Enerji ile Isıtılan Örtüaltı Alanı İçindeki Payı (%)	Toplam Örtüaltı Alanı (2011 TÜİK) (da)	Türkiye Örtüaltı Alanı İçindeki Payı (%)
Aydın	134	4.77	10.109	1.69
İzmir	824	29.31	8.512	1.42
Manisa	602	21.42	1.135	0.19
Denizli	398	14.16	589	0.10
Kütahya	116	4.13	356	0.06
Diyarbakır	1	0.04	374	0.06
Şanlıurfa	367	13.06	243	0.04
Afyon	178	6.33	24	0.00
Yozgat	25	0.89	25	0.00
Nevşehir	61	2.17	79	0.01
Kırşehir	97	3.45	256	0.04
Diğer İller	8	0.28	577.910	96.38
TOPLAM	**2.811**	**100**	**599.612**	**100**



Şekil 2.14 Türkiye'de nanotektoniği-volkanik etkinliği ve jeotermal alanlar (Eie, 2012)

Şekil 2.14'de Türkiye'nin önemli jeotermal alanları ve sıcak su kaynakları gösteren harita verilmiştir.

Türkiye'de ilk jeotermal araştırmalar 1960'larda MTA tarafından başlatılmıştır. Bu araştırmalara göre % 95' i düşük ve orta entalpiye sahip 170 adet jeotermal saha bulunmuştur. Bu sahalardan sadece 12 tanesi bugünün teknolojik ve ekonomik imkanlarına göre elektrik enerjisi üretimine uygundur. Avrupa'nın en zengin jeotermal kaynaklara sahip ülkesi olmasına rağmen, Türkiye'de jeotermal enerjinin elektrik üretiminde kullanımı çok düşüktür. Ülkemizde mevcut kullanımla jeotermal enerji potansiyelinin ancak % 3'üne yakın bir kısmı değerlendirilebilmektedir. Önümüzdeki yıllarda ise jeotermal enerji potansiyelinin gerektiği gibi kullanılması planlanmaktadır. Günümüz teknolojisiyle kuyu sıcaklığı 80°C'nin üzerindeki alanlarda bile elektrik üretimi mümkün olmakla birlikte, sıcaklığın düşmesi ile ekonomikliği sınırlanmaktadır (Köse vd., 2004).

2011 yılında 44.418 m sondaj çalışması yapılması planlanmış 27.760,69 m sondaj çalışması gerçekleştirilmiştir. Toplam 244,2 MWt ısı enerjisi kullanılır hale getirilmiştir. MTA adına ruhsatlı Denizli, Çanakkale, Aydın, Balıkesir, İzmir, Konya, Afyon, Manisa, Eskişehir illerindeki jeotermal alanlarında sondaj ve etüt çalışmaları devam etmektedir. Ayrıca İzmir-Seferihisar-Akyar' da 1.216 metre sondaj yapılarak 141.18°C rezervuar sıcaklığında yeni bir enerji alanı tespit edilmiştir. Türkiye' de elektrik üretimine uygun potansiyel içeren 25 adet saha bulunmaktadır ve bu sahaların tamamı Batı Anadolu'da yer almaktadır. Bu sahalarda üretim yapan kurulu güç 114,2

Mwe' dir (Çizelge 2.8). Tüm bu alanların geliştirme çalışmaları tamamlandığında bu kapasitenin 720 Mwe' ye çıkması hedeflenmektedir. Bu alanlardan hali hazırda elektrik üreten, projelendirilmiş, yapım aşamasında olan yatırımların toplam lisans miktarı 366 Mwe' a ulaşmıştır (Mta, 2012). Şekil 2.15'de Germencik-Ömerbeyli jeotermal enerji santrali görülmektedir.



Şekil 2.15 Germencik-Ömerbeyli jeotermal enerji santrali (Kemik, 2009)

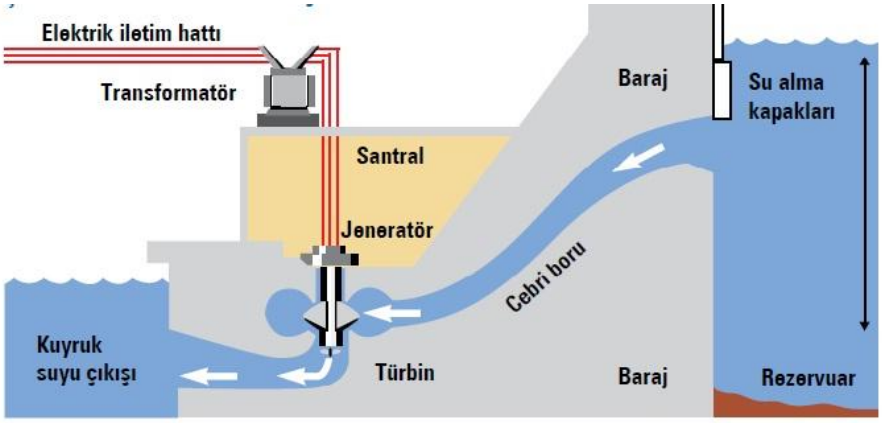
Çizelge 2.8 Jeotermal Enerji Kaynaklarından Elektrik Üretimini (2010) (Mta, 2012)

Jeotermal Saha	Kurulu Güç	Sıcaklık	İşletme Durumu	Lisans Alan Şirket
Denizli-Kızıldere	15 MWe	242°C	İşletmede	Zorlu Enerji A.Ş.
Aydın-Sultanhisar (Dora-1)	7.95 MWe	162 °C	İşletmede	Menderes Jeotermal Elektrik Üretim A.Ş.
Aydın-Sultanhisar (Dora-2)	9.5 MWe	162 °C	İnşa halinde	Menderes Jeotermal Elektrik Üretim A.Ş. tarafından lisans alınmıştır.
Aydın-Germencik	47.4 MWe	232 °C	İşletmede	Gürmat Elektrik Üretim A.Ş. tarafından lisans alınmıştır.
Çanakkale-Tuzla	7.5 MWe	174 °C	İnşa halinde	Tuzla Üretim A.Ş. tarafından lisans alınmıştır.
Denizli-Kızıldere	6.85 MWe	140 °C	İşletmede	Bereket Jeotermal Enerji Üretim A.Ş.

Zengin jeotermal potansiyelimizin tamamının harekete geçirilmesi halinde, entegre kullanımlarla birlikte; 1000 Mwe (yılda 8 milyar Kwh elektrik (3.000.000 konutun ihtiyacına denktir) (Net 800 milyon $ gelir), 500.000 konut eşdeğeri ısıtma (Yılda 1 milyar m^3 doğalgaz ithali önlenmiş olacaktır. Yılda 400 milyon $ döviz tasarruf), 30.000 dönüm sera ısıtması; 30.000 kişiye istihdam, 600 milyon ABD Doları net gelir sağlanacaktır. 400 adet termal tesis; 1.000.000 yatak kapasitesi, 250.000 kişiye istihdam, 5 Milyar ABD Doları net gelir ve yılda toplam 6.8 milyar $ net gelir sağlanacaktır (Köse vd., 2004).

2.4 Hidroelektrik Enerjisi

Suyun gücü, tarih boyunca insanoğlu için vazgeçilmez bir enerji kaynağı olarak yerini korumuştur. Su gücünden yararlanma milattan önceki çağlarda da görülmektedir. Hemen hemen bütün enerji kaynaklarının dolaylı olarak güneş enerjisinin fiziksel ve kimyasal etkisinin sonucu olarak meydana geldiği bilinmektedir. Diğer enerji kaynakları gibi hidroelektrik enerji de güneş enerjisinin sağladığı çevrim sonucunda oluşmaktadır. Hidroelektrik enerjisinin kaynağı nehirlerdeki sulardır. Güneş enerjisi ile yer yüzeyindeki su kaynakları olan göl, nehir ve denizlerdeki sular buharlaşmaktadır. Buharlaşmayla oluşan su buharı da rüzgârın yardımıyla taşınarak atmosferik şartlarda yoğunlaşarak yağmur, dolu veya kar halinde yeryüzüne yağış olarak düşmektedir. Hidroelektrik enerjinin kaynağı olan nehirlerin kaynağı da yağmur, dolu ve kar olarak yeryüzüne düşen yağışlardır. Bu döngü var oldukça hidroelektrik enerji kendini sürekli olarak yenileyen, temiz ve çevre dostu bir enerji kaynağı olarak varlığını sürdürecektir (Ültanır, 1995).



Şekil 2.16 Hidroelektrik Enerji Üretimi (Ültanır, 1995)

Hidroelektrik enerji üretimi, suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürüldüğü hidroelektrik santrallerde (HES) yapılmaktadır. Hidroelektrik santraller genel olarak ana bölüm ve suyun dışarıya akışını sağlayan bölüm olmak üzere iki bölümde ele alınır. Baraj seti akarındaki su (rezervuar), su giriş kapıları, tüneller, cebri borular, hidrolik türbinler ve jeneratörler hidroelektrik santralin ana bölümünü oluştururken, türbinden geçtikten sonra suyun dışarı aktığı kısım ise, transformatörler, su akışını ve elektrik enerjisi dağıtımını kontrol eden yardımcı donanımlardan oluşmaktadır. Hidroelektrik santrallerde suyun potansiyel ve kinetik enerjisi yani giriş gücü suyun hareketinden elde edilmektedir. Baraj seti arkasındaki potansiyel enerjiye sahih suyun, su alma kapaklarının açılmasıyla birlikte cebri boru içinden akmasıyla elde ettiği kinetik enerji ile türbini çevirir ve elektrik enerjisi için gereken hareket enerjisi üretilmiş olur (Özbay ve Gençoğlu, 2009) (Şekil 2.16).

Suyun türbinlere iletilmesini sağlayan büyük borular veya tüneller cebri borular olarak adlandırılır. Türbinler suyun kinetik enerjisini hareket enerjisine dönüştüren birimlerdir. Jeneratörler ile üretilen elektrik enerjisi, transformatörler yardımıyla yükseltilerek uzak mesafelere iletilmek üzere hazırlanır (Özbay ve Gençoğlu, 2009).

Şekil 2.17’ de gücü 2400 W, elektrik enerjisi kapasitesi 8900 GWh olan ve Türkiye’deki hidroelektrik santrallerde üretilen enerjinin %20’sini karşılayan Atatürk Barajı görülmektedir (Dsi, 2012).



Şekil 2.17 Atatürk Barajı (Dsi, 2012)

Hidroelektrik enerjinin temiz, yenilenebilir ve çevre dostu olması gibi çok önemli özellikleriyle beraber doğrudan ve dolaylı olmak üzere birçok yararları da bulunmaktadır. Barajların doğrudan faydalarını; sulamaya ihtiyaç duyulan toprakların zamanında ve yeterince sulanması, içme ve başta endüstri olmak üzere suyun diğer kullanım alanlarında su gereksiniminin kolaylıkla karşılanması, suyun kontrol altında tutulmasıyla yerleşim yerlerinin ve tarım alanlarının sel gibi doğal afetlerden korunması olarak sıralayabiliriz. Barajların dolaylı olarak sağladığı yararları ise, akıntıyı minimize ederek su üzerinde ulaşım imkanı tanıması, başta balıkçılık olmak üzere su ürünleri üretiminin artmasıyla ekonomik gelişme sağlaması, avcılığın gelişmesi, insanların rahat nefes alabilecekleri mesire yerleri sağlaması, toprak erozyonunu an aza indirip veya tamamen önleyerek toprak korunmasını sağlaması, iklimi olumlu yönde etkilemesi, iş imkanlarının gelişiminin sağlaması, su kalitesi ve kirlenmesinin kontrol edilebilmesi ve su sporlarına zemin hazırlayarak bölgenin sosyo-ekonomik gelişmesine çok önemli katkıda bulunması olarak sıralayabiliriz. Bununla beraber başta çevreye verilen zarar olmak üzere barajların birkaç tane dezavantajını da sıralamak mümkündür. Fakat proje aşamasında yapılacak gerekli çalışma ve araştırmalarla bu dezavantajları ortadan kaldırılabilir veya en aza indirilebilir (Eie, 2011).

2.4.1 Türkiye'nin Su Kaynakları Potansiyeli

Türkiye karasal iklim karakteri gösteren ülke olup yıllık ortalama yağış miktarı 643 mm' dir. Belirtilen yağış miktarı bölgelere ve mevsimlere göre 250 mm ile 3000 mm arasında değişmektedir. Bu yağış yılda ortalama 501milyar m3 suya karşılık gelmektedir. 501 milyar m3'lük suyun 274 m3'ü buharlaşmalar yoluyla atmosfere geri dönmekte, 186m3'lük kısmı akışa geçerek nehirleri beslemekte ve 41 milyar m3'lük kısmı ise yer altı sularını beslemektedir. Ayrıca yılda ortalama 7 milyar m3 su potansiyeli de komşu ülkelerden doğan akarsular ülkemizin su potansiyeline katkıda bulunmaktadır. Komşu ülkelerden gelen su ile beraber ülkemizin toplam yerüstü su potansiyeli 193 milyar m3 olmaktadır. Fakat günümüz teknik ekonomik şartlar bu su potansiyelinin 110 milyar m3'lük kısmını tüketmemize imkan tanımaktadır (Tutuş, 2005). Çizelge 2.9' da Türkiye'nin su kaynakları potansiyeli görülmektedir.

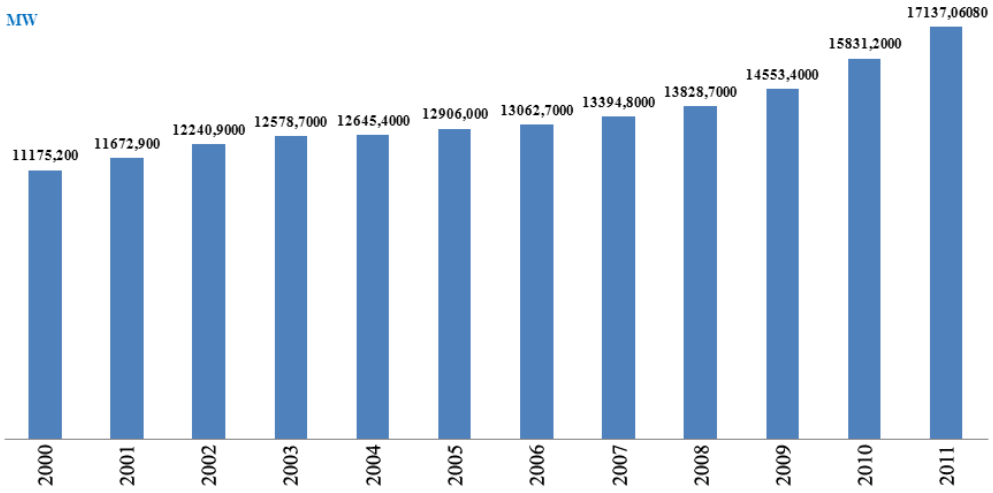
Çizelge 2.9 Türkiye'nin su kaynakları potansiyeli (Dsi, 2011)

SU KAYNAKLARI POTANSİYELİ	
Yıllık ortalama yağış	643 mm/yıl
Türkiye'nin yüzölçümü	783 577 km^2
Yıllık yağış miktarı	501 milyar m^3
Buharlaşma	274 milyar m^3
Yer altına sızma	41 milyar m^3
Yüzey Suyu	
Yıllık yüzey akışı	186 milyar m^3
Kullanılabilir yüzey suyu	98 milyar m^3
Yer Altı Suyu	
Yıllık çekilebilir su miktarı	14 milyar m^3
Toplam Kullanılabilir Su (net)	112 milyar m^3

Ülkemizde akış halinde olan suların mevsimler ve yıllar içinde büyük değişim göstermesi yani yağış rejiminin düzensiz olması, taşkınlara neden olması, suyun kontrol altına alınmasını veya gerektiğinde çeşitli amaçlara yönelik düzenli olarak kullanılabilmesi için depolama tesisleri olan barajların yani hidroelektrik santrallerin kurulması zorunlu olmuştur. Düzensiz yağış rejimine sahip ülkemizde akış halindeki sulardan olabildiğince yararlanmak için büyük barajlar tesis edilmelidir. Bu adımlar atılırken çevrenin olumsuz etkilenmesini önleyecek veya en aza indirgeyecek tedbirlerin önemle alınması gerekmektedir (Tutuş, 2005).

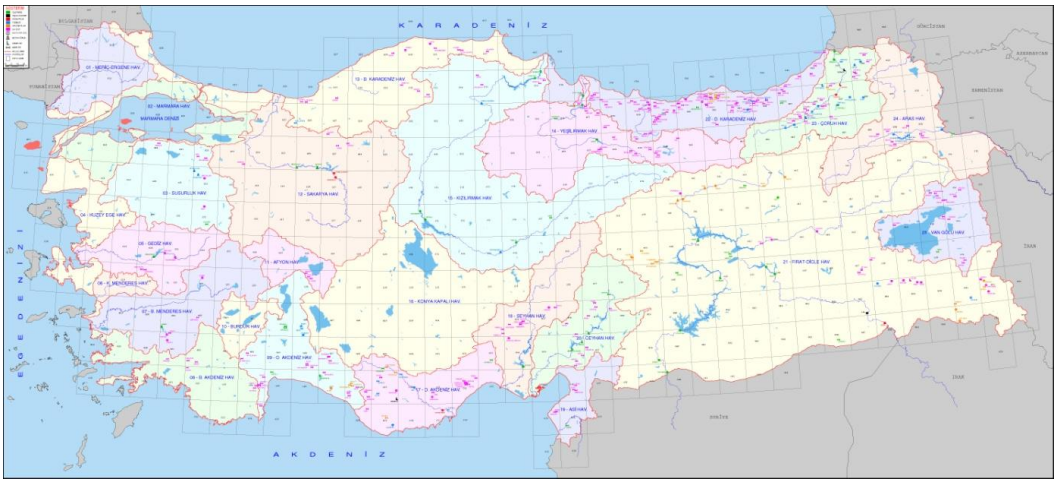
2.4.2 Türkiye'nin Hidroelektrik Enerji Potansiyeli

2011 yılı sonu itibariyle Türkiye'nin toplam kurulu gücü 52.911 MW olup, bunun 33.931 MW' ı termik, 114 MW' ı jeotermal, 1.728 MW' ı rüzgâr ve 17.137 MW'ı hidrolik santraller tarafından üretilmiştir (Eie, 2011). Şekil 2.18'de Türkiye'nin 2000-2011 yılları arası hidroelektrik enerjisi kurulu gücünün gelişimi görülmektedir.



Şekil 2.18 Türkiye'nin yıllar itibariyle hidroelektrik enerjisi kurulu gücü (Eie, 2012)

2011 yılı toplam elektrik enerjisi üretimi ise 229.395 GWh olup, bunun 171.638 GWh' i (%74.8) termik, 5.418 GWh' i (%2.3) jeotermal ve rüzgâr ve 52.338 GWh' i (%22.8) hidroelektrik santrallerden sağlanmıştır. Hidroelektrik santrallerden enerji üretimi yağış koşullarına bağlı olduğundan toplam üretim içindeki payı yıllara göre değişmekle birlikte, Türkiye'de elektrik enerjisinin yaklaşık %20-30'u su gücünden elde edilmektedir (Eie, 2011).



Şekil 2.19 Türkiye'nin Hidroelektrik Enerjisi Potansiyel Atlası (Eie, 2012)

Şekil 2.19' da Türkiye'nin hidroelektrik enerji potansiyelini gösteren atlas görülmektedir.

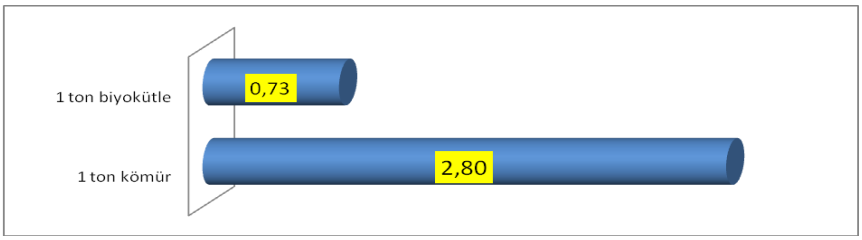
Çizelge 2.10 Türkiye hidroelektrik enerji kurulu gücün proje seviyelerine göre dağılımı (Dsi, 2012)

Potansiyel	HES Adedi	Toplam Kurulu Kapasite (MW)	Ortalama Yıllık Üretim (GWh/yıl)	Oran (%)
İşletmede	303	17372	62000	38
İnşaat Halinde	256	10590	35000	21
İnşaatına Henüz Başlanmayan	1084	19535	67000	41
Toplam	1643	47497	164000	100

Türkiye'de hidrolik kaynaklı enerji üretimiyle ilgili, ülkenin hidroelektrik potansiyelinin gelişimini sağlayacak yönde, tüm etüt ve proje hizmetlerinin sağlıklı bir şekilde yapılması için gerekli olan veri toplama faaliyetlerini yürütme, özel sektör tarafından geliştirilen baraj ve santrallere ilişkin projelerin fizibilite raporlarının ön inceleme, planlama ve lisanslama görevlerini Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) ve Devlet Su İşleri (DSİ) yerine getirmektedir (Eie, 2012). Çizelge 2.10' da Türkiye'nin proje seviyelerine göre hidroelektrik santrallerinin proje adedi, toplam kurulu gücü ve ortalama yıllık enerji üretimleri verilmiştir.

2.5 Biyokütle Enerjisi

Hızla artan dünya nüfusu ve sanayileşmeye paralel olarak artan enerji gereksiniminin çevreye zarar vermeden ve sürdürülebilir olarak sağlanabileceği önemli enerji kaynaklarından biri de biyokütle enerjisidir. Güneş varlığını devam ettirdiği sürece bitki yetiştirilmesi devam edeceğinden, biyokütle enerjisi tükenmez ve yenilenebilen bir enerji kaynağıdır. Biyokütlenin, tükenmeyen bir enerji kaynağı olması, temel kaynak olan bitkilerin her yerde yetiştirilebilmesi, özellikle kırsal bölgeler açısından sosyo-ekonomik gelişmelere ivme kazandırması nedeniyle uygun, temiz ve çevre dostu bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Bir ton taş kömüründen enerji elde edildiğinde atmosfere ortalama 2,80 ton CO2 salınmakta, buna karşın bir ton odunsu bitkiden enerji elde edildiğinde atmosfere sadece 0.73 ton CO2 salınmaktadır (Ogm, 2009) (Şekil 2.20).



Şekil 2.20 Bir ton biyokütle ile bir ton taş kömürünün ton olarak CO2 emisyonu (Ogm, 2009)

Biyokütle enerjisi birçok farklı kaynaktan elde edilebilmektedir. Bunlara örnek verecek olursak; özel olarak yetiştirilen ağaçlar, mısır, buğday, arpa, doğada bulunan yosunlar, otlar, yerleşim yerlerinden atılan her türlü sebze ve meyve atıkları ve tüm organik çöpleri, hayvan dışkıları ve sanayi atıkları olarak kısaca özetlenebilir. Bitkiler, fotosentez yoluyla güneşten aldıkları ışık enerjini kimyasal enerjiye dönüştürerek depolayan biyokütle enerji kaynağıdır. Bu dönüşüm insan yaşamı için esastır. Çünkü dönüşümle beraber bitkiler ortamdaki karbondioksiti alıp tüm canlıların solunumu için gerekli olan oksijen de atmosfere verilir. Özellikle bitkilerin selüloz şeklinde depoladıkları enerji biyokütle enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır (Topal ve Arslan, 2008). Şekil 2.21'de biyokütle yakıt çevrimi görülmektedir.



Şekil 2.21 Biyokütle yakıt çevrimi (Eie, 2012)

Biyokütle enerji kaynaklarından enerji üretirken göz önünde bulundurulması gereken en önemli özellik içindeki nem miktarıdır. Çünkü nem miktarı yanmayı yavaşlatan bir faktördür. Fakat gazlaştırma veya bazı yakıt üretme işlemlerinde biyokütlenin bir miktar nem içermesi istenir. Biyokütle temiz enerji yönüyle fosil yakıtlardan daha çok çevre dostu olduğu bilinmektedir. Fakat fosil yakıtlara kıyasla daha az enerji yoğunluğuna sahiptir. Yani aynı miktar fosil yakıttan daha fazla enerji elde edilir. Bununla beraber eğer biyokütle enerji tesisi ham maddeye uzak bir yerde

kurulmuş ise maliyeti arttıracaktır. Bunun için en doğru olanı biyokütlenin bulunduğu işletilmesi veya kısa mesafelere taşınması gerekmektedir (Ogm, 2011).

2.5.1 Türkiye'nin Biyokütle Enerji Potansiyeli

Türkiye bir tarım ülkesi olduğundan tarımsal atık ve diğer biyokütle kaynağı olan atıklar bakımından zengin bir ülkedir. Tarımsal ve hayvansal ürün atıklarından hesaplanan toplam biyokütle enerji potansiyelinde 9.5 milyon ton petrol eşdeğeriyle (Mtpe) Türkiye, OECD ülkeleri arasında baştan dördüncü sırada yer almaktadır. Türkiye'de hububat bitkilerinin toplam katı atık miktarı 39.2-52.3 milyon tondur. Toplam katı atık miktarının örneğin mısır 3.8-4.8 milyon tonu, şeker pancarı 1.3-1.5 tonu ve patates 522-617 bin tonu karşılamaktadır. Türkiye için ayrıca yağlı tohum bitkileri ve zeytincilik atıkları da önemli biyoenerji kaynaklarıdır (Topal ve Arslan, 2008).

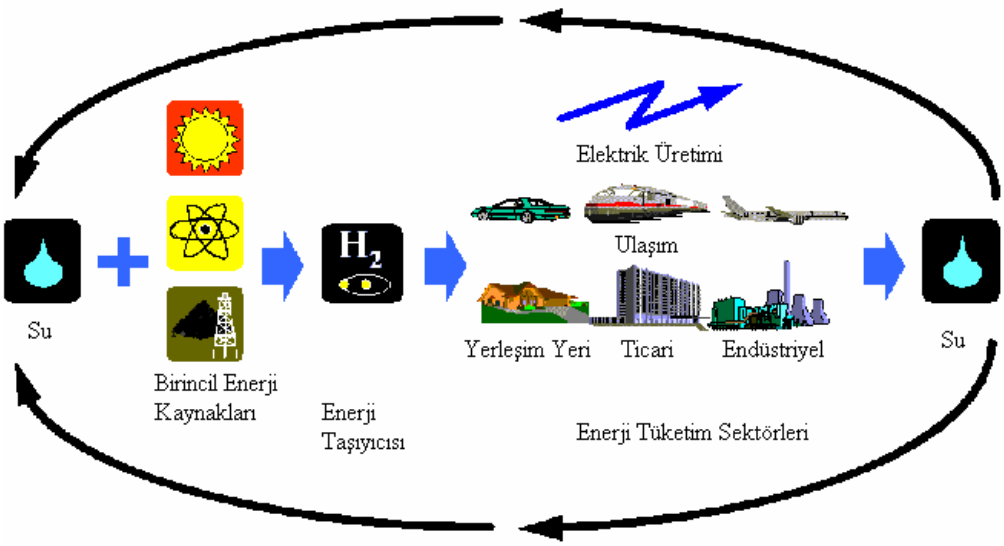
Türkiye'nin orman kaynaklı toplam atık miktarı 4.800.000 ton (1.5 MTEP) ve kurulabilecek gazlaştırma tesisi kapasitesi 600 MW' tır. Türkiye tarla ürünlerinden elde edilen 11.766.995 ton toplam kullanılabilir atık miktarı ile 228.4 PJ ısı enerjisi ve bahçe ürünlerinden elde edilen 3.569.040 ton toplam kullanılabilir atık miktarı ile 74.8 PJ ısı enerjisi potansiyeline sahiptir. Biyogaz üretim potansiyelimiz olan 1.5-2 Mtpe; 2.5-4 milyar m3; 25 milyon kWh'lık enerjinin %85'i hayvansal atık olan gübre gazı kalanı ise katı atık depolama sahası gazlarıdır. Hayvansal atık olan gübre gaz potansiyelinin %50' si koyun gübresinden, %43' ü büyük baş hayvan gübresinden ve %7' si ise kümes hayvanlarından elde edilmektedir (Topal ve Arslan, 2008).



Şekil 2.22 OYKA Çaycuma Kağıt Ambalaj Fabrikası'nın Enerji Tesisi (Ogm, 2010)

2.6 Hidrojen Enerjisi

Hidrojen evrende en basit ve en çok bulunan element olmasına rağmen ilk olarak 1500'lü yıllarda keşfedilmiştir. 1700'lü yıllarda ise yanabilme özelliği fark edilmiştir. Hidrojen renksiz, kokusuz, metalik olmayan, tatsız, oldukça yanıcı ve havadan 14.4 kez daha hafif olup tamamen zehirsiz bir gazdır. Hidrojen, güneş ve diğer yıldızların termonükleer tepkimeye vermiş olduğu ısının yakıtı olduğundan evrenin temel enerji kaynağıdır. Hidrojen gazı -252.77^{o}C'de ancak sıvı hale getirilebilir. Gaz halindeki hidrojenin hacmi sıvı hidrojen hacminin 700 katı kadardır (Eie, 2011).



Şekil 2.23 Hidrojen enerji sisteminin şematik gösterimi (İçten, 2011)

Yakıt türleri içericinde 1kg hidrojen, 2.1 kg doğalgaz veya 2.8 kg petrolün sahip olduğu enerjiye sahip olmakla bilinen yakıt türleri içerisinde birim kütle başına en yüksek enerji potansiyeline sahiptir (Üst ısıl değeri 140,9MJ/kg, alt ısıl değeri 120,7mj/kg). Yani hidrojen petrol ve diğer yakıtlara göre ortalama 1.23 kat daha verimli bir yakıttır. Doğada serbest halde bulunmayan hidrojeni, bileşikler halinde bulmak mümkündür. Bu bileşiklerden en çok bilineni sudur (H_2O) (Eie, 2011).

Atık ürün olarak doğaya sadece su veya su buharı bırakarak çevreyi kirletici etki oluşturmadan elde edilebilen hidrojen, ısı ve patlama enerjisi gerektiren her alanda, yakıt olarak enerji sistemlerinde kullanılabilir. Fosil yakıtlar gibi çevreye zarar verici ve sera etkisini arttırıcı hiçbir gaz ve zararlı madde atık olarak doğaya bırakılmaz. Çünkü hidrojen elde edilirken çevreye su dışında hiçbir atık bırakılmaz (Eie, 2011).

Hidrojen gazı birçok farklı yöntemle ayrıştırılarak elde edilebilir. Örneğin su, güneş enerjisi veya güneş enerjisi türevleri olarak kabul edilen rüzgâr, dalga ve biyokütle ile üretilebilmektedir (Eie, 2011) (Şekil 2.23). Elde edilen hidrojen uzak mesafelere boru hatları veya tankerlerle taşınabilir. Hidrojenin günümüzde elde edilebilmesi için gereken tesislerin maliyetinin yüksek olması diğer fosil kaynaklı yakıt türlerine göre daha pahalı olmasına neden olmaktadır. Fakat uzun dönemde teknoloji alanındaki olumlu gelişmelerle enerji kullanımında önemli rol üstlenebilecektir. Enerji pazarının bölgesine ve büyüklüğüne paralel olarak hidrojen gazının kilogram (kg) başına maliyeti 2.35-7$ arasındadır. Ancak bu maliyetin daha önce belirttiğimiz teknolojik ilerlemeyle birlikte yani hidrojen çağına atılacak adımlarla hızla düşüşü öngörülmektedir (Çuhadaroğlu vd., 2007).

2.6.1 Türkiye'de Hidrojen Enerjisi ve Gelişimi

Türkiye'de hidrojen enerjisi çalışmaları, ülke politikası açısından bakıldığında kalkınma planlarının yenilenebilir enerji raporlarında hidrojen teknolojisine kısaca yer verilmiş, fakat kalkınma planlarında hidrojen enerjisi yerini bulamamıştır. Diğer taraftan hidrojen enerjisi çalışmaları üniversitelerde sadece akademik çalışmalarla sınırlı kalmıştır. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi'nde hidrojen enerjisi alanında bir çalışma girişiminde bulunmuşsa da bu girişim 1996 yılında sona ermiştir. 20-22 Kasım 1996 tarihinde Viyana'da gerçekleştirilen Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Örgütü (UNIDO) toplantısında bu örgüt işbirliğinde İstanbul'da Uluslararası Hidrojen Enerji Tesisleri'nin (ICHET) kurulması kararı alınmıştır (Öztürk vd., 2005). Bu karar

doğrultusunda 21 Ekim 2003 tarihinde Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti ile Birleşmiş Milletler Sınai Örgütü (UNIDO) arasında, Uluslararası Hidrojen Enerji Tesisleri Merkezi'nin (ICHET) İstanbul'da kurulmasına ilişkin anlaşma Viyana'da imzalanmıştır. İmzalanan bu anlaşma çerçevesinde 2004 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının desteğiyle ICHET İstanbul'da kurulmuştur. Türkiye'nin ilk hidrojen üretim tesisi, birleşmiş Milletler Uluslararası Hidrojen Enerji Teknolojileri Merkezi (UNIDO-ICHET) ile Enerji Bakanlığı ortaklaşa olarak Bozcaada'da kurulmuştur (Unido-İchet, 2012) (Şekil 2.24).



Şekil 2.24 Bozcaada'da Kurulan Hidrojen Enerji Üretim Tesisi

3. AFYNKARAHİSAR İLİ YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI POTANSİYELİ

3.1 Coğrafi Yapı

3.1.1 Coğrafi Konum

Afyonkarahisar ili 37^o 45 ve 39^o 17 kuzey enlemi, 29^o 40 ve 31^o 43 doğu boylamı üzerinde yer alıp denizden yüksekliği 1034 metredir. İlin yüzölçümü 14570 km^2 olup topraklarının büyük bir bölümü Ege Bölgesinin İç Batı Bölümünde yer almaktadır. Afyonkarahisar, batıda Uşak, doğuda Konya, güneybatıda Denizli, kuzeybatıda Kütahya, güneyde Burdur, güneydoğuda Isparta ve kuzeyde Eskişehir illeri ile komşudur (Afyon-bld, 2012).

Afyonkarahisar ilinde, Başmakçı, Bayat, Bolvadin, Çay, Dazkırı, Dinar, Evciler, Emirdağ, Hocalar, İhsaniye, İscehisar, Kızılören, Sinanpaşa, Sultandağı, Şuhut ve Merkez ilçe olmak üzere toplam 16 ilçe ve bu ilçelere bağlı 460 köyden bulunmaktadır. Bölgenin yükseltileri; Ahır Dağları (1940m.), Akdağ (2449 m.), Burgazdağı (1754 m.), Emirdağları (2307 m.), Kumalar Dağları (2447 m.), Paşa ve Bey Dağları (1750 m.), Maymun Dağları (1622 m.), Bozdağ (1250 m.), Söğüt Dağları (1919 m.) ve Sultandağları (2519 m.)' dır (Afyon-bld, 2012).

3.1.2 İklim ve Bitki Örtüsü

Afyonkarahisar konum olarak Ege Bölgesinde olmasına rağmen iklim bakımından Ege Bölgesiyle pek bağdaşmaz. Yükselti ve denize olan uzaklığı nedeniyle daha çok İç Anadolu Bölgesi iklimi olan karasal iklime sahiptir. Karasal iklimin yanında dağların denize uzanışından dolayı Ege denizinden gelen akımlar az da olsa iklimi yumuşatmaktadır. İlin yıllık ortalama sıcaklığı 11.2^oC olup en soğuk ay sıcaklık ortalaması 0.3^oC ve en sıcak ay sıcaklık ortalaması 22.1^oC olarak belirlenmiştir. Sıcaklığın sıfırın altına düştüğü yani don olaylarının görüldüğü gün sayısı 94 ve yıllık ve günlük sıcaklık farkları yüksektir. İlde kış ayları soğuk ve kar yağışlı, bahar ayları ılık ve yağışlı, yaz ayları ise sıcak ve kurak geçer (Afyon-bld, 2012).

Afyonkarahisar ilinde iklime bağlı olarak görülen bitki örtüsü iç Anadolu bitki örtüsü olan bozkırdır. Dağlık bölgelerde kuru orman topluluklarına rastlanırken

düzlüklerde ise orman yok denecek kadar bozkırlar karşımıza çıkmaktadır. Bölgenin orman üst sınırı 1800-1900 metredir. Yüksek kesimlerde karaçam ve ardıç ormanları bulunmaktadır. Akarsu boylarında söğüt ve kavak ağaçlarına, durgun su kıyılarında özellikle Eber Gölü ve çevresinde ise kamışlara rastlanır (Afyon-bld, 2012).

3.1.3 Nüfus ve Yerleşim

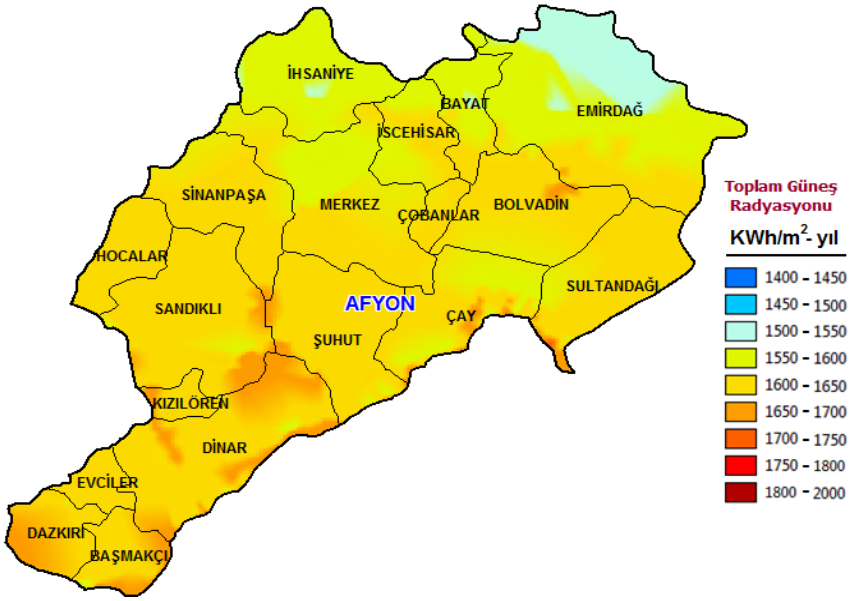
Afyonkarahisar ilinin nüfusu, 2010 yılı adrese dayalı nüfus kayıt sistemine göre 697.000 kişi olarak tespit edilmiştir. Nüfusun %41'ini 25 yaş altı ve %50' sini ise 25 – 60 yaş arası oluşturmaktadır. Afyonkarahisar, Türkiye coğrafi bölgelerinden Ege Bölgesi, Akdeniz bölgesi ve İç Anadolu Bölgesi üzerinde toprakları olan bir ilimizdir. Üç bölgeye yayılan toprakları ve yedi ilimiz ile olan sınırları Afyonkarahisar ilini kara ve demir yolları ulaşımda bir kavşak konumuna getirmiştir (Afyon-bld, 2012).

3.1.4 Ekonomi

Afyonkarahisar'da ekonomi genel olarak tarım ve hayvancılığa dayanır. Tarım genellikle bütçe tarımı olarak yaygınlaşmıştır. Besi hayvancılığı alanında iyi düzeyde olan ilde geleneksel hayvancılık yerini hızlı bir şekilde modern hayvancılığa bırakmaktadır. Büyük baş hayvancılığın yanı sıra küçükbaş hayvancılık, arıcılık ve tavukçuluk önemli geçim kaynaklarıdır. Bölgede sanayinin geliştiği pek söylenemez. 460 hektarlık organize sanayi bölgesiyle bu sanayi alanında gelişme hedeflenmektedir (Afyon-bld, 2012).

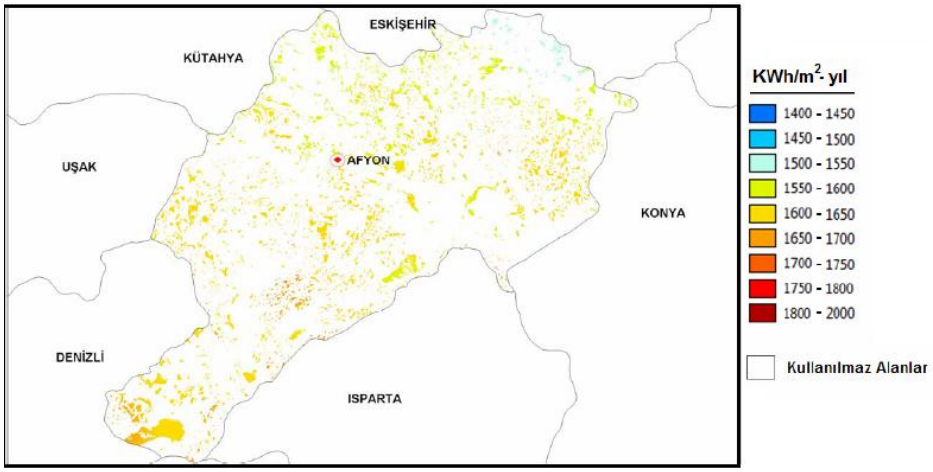
3.2 Güneş Enerjisi

Afyonkarahisar ili Ege bölgesinin iç batı kesiminde yer almaktadır. Türkiye güneş haritasına göre Ege bölgesi 1500-1750 kWh/m^2-yıl arasında güneş enerjisi radyasyonuna sahiptir. Afyonkarahisar ili ise 1550-1650 kWh/m^2-yıl güneş enerjisi radyasyonuna sahiptir. Şekil 3.1'de Afyonkarahisar iline ait güneş enerjisi haritası verilmiştir.



Şekil 3.1 Afyonkarahisar İli Güneş Enerjisi Haritası (Eie, 2012)

Elektrik işleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü verilerine göre Şekil 3.2' de Afyonkarahisar ilinde güneş termik santrali kurulamaz alanlar görülmektedir.



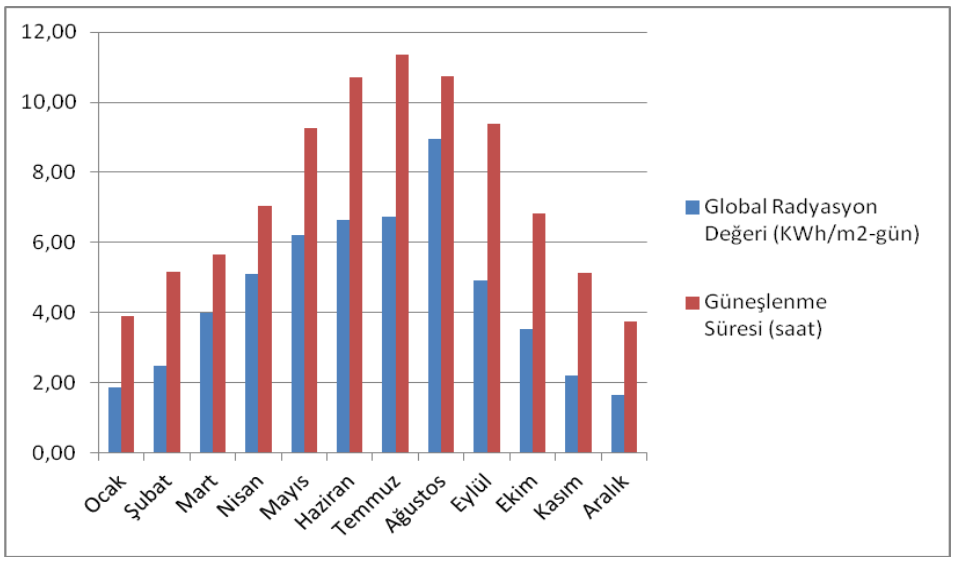
Şekil 3.2 Afyonkarahisar İli Güneş Termik Santrali Kurulamaz Alanlar (Eie, 2012)

Şekik 3.1'deki harita incelendiğinde bölgenin güney kesimleri kuzey kesimlerine göre güneş termik santrali yatırımları için daha elverişli görülmektedir. Güney kesimde bulunan ilçelerin yıllık ortalama güneşlenme süresi Türkiye ortalamasının üzerindedir.

Çizelge 3.1 Afyonkarahisar aylık global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri (Eie, 2012)

	Global Radyasyon Değeri (KWh/m2-gün	Güneşlenme Süresi (saat)
Ocak	1.85	3.91
Şubat	2.47	5.17
Mart	4.00	5.64
Nisan	5.10	7.05
Mayıs	6.21	9.27
Haziran	6.63	10.71
Temmuz	6.72	11.36
Ağustos	8.94	10.73
Eylül	4.92	9.39
Ekim	3.53	6.82
Kasım	2.19	5.12
Aralık	1.66	3.74

Çizelge 3.1 incelendiğinde Afyonkarahisar ili mayıs, haziran, temmuz, ağustos ve eylül ayları güneşlenme süreleri Türkiye ortalamasının (Türkiye yıllık ortalama güneşlenme süresi 7,2 saat/gün) üzerindedir. Kış aylarının karasal iklim özelliğinden dolayı bulutlu gün sayısı fazladır.



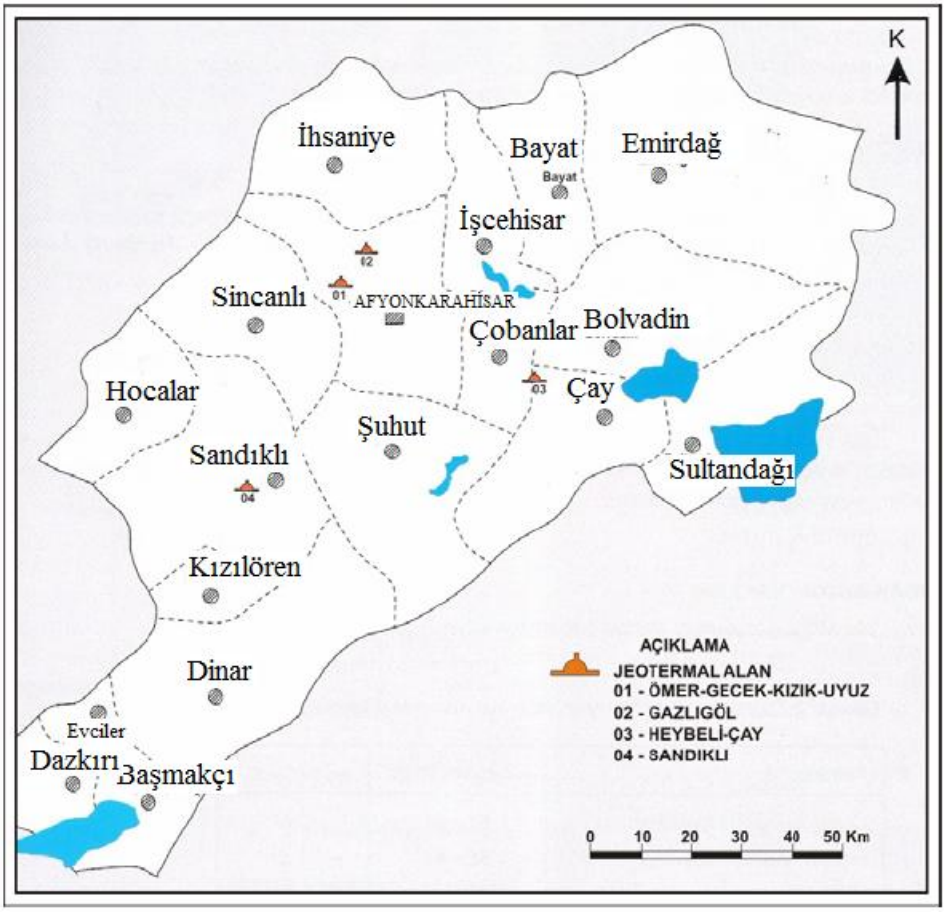
Şekil 3.3 Afyonkarahisar aylık global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri (Eie, 2012)

Çizelge 3.3' de Afyonkarahisar ilinin aylık radyasyon değerleri ve aylık güneşlenme süreleri grafiksel olarak verilmiştir. Afyonkarahisar ili güneş enerjisi bakımından oldukça zengin bir potansiyele sahip olmasına rağmen bu enerjiden yararlanma ile ilgili çalışmaların aynı zenginlikte olduğunu söylemek mümkün değildir. Yakın zamanda Afyon Kocatepe Üniversitesi bünyesinde kurulan Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Uygulama ve Araştırma Merkezi (GURAM) ile ilin güneş enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesi için gerekli araştırma projeleri ve sanayi uygulamaları üzerine çalışmalar yapmak amaçlanarak güneş enerjisinden yararlanmak için gerekli ilk adım atılmıştır.

3.3 Jeotermal Enerji

Afyonkarahisar ili jeotermal enerji potansiyeli bakımından zengin bir ildir. İl sınırları içinde il merkezinde "Ömer-Göcek", İhsaniye ilçesinde "Gazlıgöl", Sandıklı ilçesinde "Hüdai" ve Bolvadin İlçesinde "Heybeli" olmak üzere toplam dört jeotermal kaynak ile Türkiye'nin ikinci büyük jeotermal sahasıdır (Akan ve Süer, 2009) (şekil 3.4).

Bu sahaların ortalama sıcaklıkları 30^{o}C'nin üzerindedir. Bölgede Ömer- Gecek sahasında 3 adet kaynak ile 25 adet kuyu, Heybeli sahasında 4 adet kaynak ile 8 adet kuyu, Sandıklı sahasında 1 adet kaynak ile 9 adet kuyu, Gazlıgöl sahasında 4 adet kaynak ile 4 adet kuyu olup, toplamda 12 adet kaynak ile 46 adet kuyu bulunmaktadır. Bu kuyuların bölge turizmine katkıları büyüktür. Açılan kuyuların daha kontrollü ve verimli işletilmesi amacıyla Afyonkarahisar İl Özel İdaresi tarafından AFJET (Afyon Jeotermal Isıtma Tesisleri) şirketi kurulmuştur. AFJET Kentin jeotermal enerji ile ısıtılmasına yönelik açılan kuyulardan yararlanma faaliyetlerini yürütmektedir (Akan ve Süer, 2009).



Şekil 3.4 Afyonkarahisar jeotermal sahaları haritası (Gırbalar, 2009)

3.3.1 Ömer-Gecek-Kızık-Uyuz Jeotermal Alanı

Kaplıca bölgesinde üç adet jeotermal kaynak bulunmaktadır. Bu kaynakların sıcaklık ve debileri Çizelge 3.2' de gösterilmiştir. Bu kaynaklardan elde edilen sıcak su çoğunlukla kaplıca yani turizm amaçlı kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra otellerde, villalarda ve seralarda ısıtma amacıyla kullanılmaktadır. Kuyulardan elde edilen sıcak sudan Afyonkarahisar ilinin bir kısmının ısıtılması sağlanmaktadır. Bu alanda 1971 ile 1996 yılları arasında toplam 25 adet kuyu açılmıştır. Bu kuyulardan 21 tanesi artezyen, 1 tanesi gayzer ve 3 tanesi terk edilmiştir. Bu kuyulara ilişkin bilgiler Çizelge 3.3' de verilmiştir (Akan ve Süer, 2009).

Çizelge 3.2 Ömer-Gecek jeotermal alanındaki kaynaklar (Akan ve Süer, 2009)

Kaynak adı	Sıcaklık (°C)	Debi(l/s)
Ömer hamamı kaynakları	51-64	2.5
Gecek hamamı kaynakları	52-64	1.5
Kızık-Uyuz hamamı kaynakları	46-74	2.1

Çizelge 3.3 Ömer-Gecek jeotermal alanında açılan kuyular (Akan ve Süer, 2009).

Kuyu No	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (^{o}C)	Debi (I/s)	Üretim Şekli
AF-1	1971	905	98	20	A
AF-2	1975	56.8	-		T
AF-3	1974	250	97	35	A
AF-4	1990	125.7	95	80	A
AF-5	1995	207.4	95	80	A
AF-6	1996	211.4	74	15	A
AF-7	1996	210.93	6	A	A
AF-8	1996	250.91	5	A	A
AF-9	1996	320.49	0,5	17	A
AF-10	1996	320	96	100	A
AF-11	1996	184	98	-	A
AF-12	1997	60	-	-	T
AF-13	1997	560	81	4.7	A
AF-14	1996	122.2	96	70	A
AF-15	1997	170.7	84	4.5	A
AF-16	1997	218	96	40	A
AF-17	1997	260.5	96	80	A
AF-18	1997	363.6	95	40	A
AF-19	1982	305.3	81	5	G
AF-20	1982	230.3	97	100	A
AF-21	1982	212	91	45	A
AF-22	1983	227	95	50-70	A
AF-23	1983	235.8	90	50	A
R-240	1990	117	82	-	-
R-260	1971	165	92	20	A

3.3.2 Heybeli-Çay-Çobanlar Jeotermal Alan

Heybeli jeotermal alanı Afyonkarahisar-Konya karayolunun 27. km' sinde yer almaktadır. Şekil 3.5' de alana ait uydu görüntüsü görünmektedir.



Şekil 3.5 Heybeli (Kızılkilise) Jeotermal Sahası Uydu Yer Bulduru Görüntüsü (Gırbalar, 2009).

Heybeli-Çay-Çobanlar kaplıca bölgesinde üç adet jeotermal kaynak bulunmaktadır. Bu kaynakların sıcaklık ve debileri Çizelge 3.4' de gösterilmiştir.

Heybeli jeotermal alan ortalama 33.31^{o}C sıcaklık ve 0.83l/s debiye sahiptir. 1978- 2001 yılları arasında alanda yapılan etütler sonucu 8 adet kuyu açılmıştır. Bu kuyulardan elde edilen akışkan ile bölgede bulunan üç adet hamam, bir büyük havuz, bir büyük otel ve çok sayıda devre mülk kooperatif beslenerek termal turizme büyük katkı sağlamaktadır (Yılmaz, 1999).

Çizelge 3.4' de bu alanda bulunan kaynaklar ve kaynaklara ait değerler ve Çizelge 3.5' de ise alanda açılan kuyular ve kuyulara ait bilgiler verilmiştir.

Çizelge 3.4 Heybeli-Çay-Çobanlar Jeotermal alandaki kaynaklar (Akan ve Süer, 2009)

Kaynak Adı	Sıcaklık (^{o}C)	Debi (l/s)
Heybeli Kaynakları	36.5-50	0.1-3.8
Karaburun kaynağı	30	0.5
Çobanhamam kaynağı	30	0.7
Karaburun T. Kuzey koyu	30	0.2

Çizelge 3.5 Heybeli-Çay-Çobanlar jeotermal alanda açılan kuyular (Akan ve Süer, 2009)

Kuyu No	Tarih	Derinlik	Sıcaklık (^oC)	Debi (I/s)	Üretim Şekli
H-1	1978	252	56.5	64	A
H-2	1989	292	50	8	P
H-3	1999	301	41	7	P
H-4	2001	252	56	30	A
H-1/A	2001	257	56,3	73	A
AÇ-1	2000	146	51	15	A
AÇ-2	2000	263	56	50	A
K-1	1984	394	37.5	38	A

3.3.3 Sandıklı-Hüdai Jeotermal Alan

Jeotermal saha Afyonkarahisar-Antalya karayolunun 65. km' sinde, Sandıklı bölgesinde yer almaktadır. Hüdai kaplıcaları bu alanın merkezidir. Sandıklı şehir merkezine yaklaşık 5 km uzaklıktadır.

Sandıklı-Hüdai jeotermal alanda bulunan Hamamçay kaynaklarının sıcaklıkları 45-70^{o}C ve debisi 112l/s' dir. Sıcaklıkları 45-70^{o}C arasında olan Hamamçay Kaynaklarında 1994-2003 yılları arasında sıcaklıkları 40-70^{o}C ve debileri 25-105l/s arasında değişen toplam 10 adet kuyu açılmıştır (Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.7). Bununla beraber bölgede yapılan çalışmalar sonucunda 2004 yılında AFS-11, 2005 yılında AFS-12 ve AFS-13 kuyuları açılmıştır. Bu kuyulardan elde edilen akışkan termal turizm ve bölgenin konut ısıtmasında kullanılmaktadır (Karamanderesi, 2009).

Jeotermal alanın kullanım hakkı SANJET (Sandıklı Jeotermal Isıtma Sistemi) A.Ş.' ne aittir. Bölgenin kontrol yetkisi İl Özel İdaresine, denetim yetkisi ise MTA Genel Müdürlüğüne aittir (Karamanderesi, 2009).

Çizelge 3.6 Sandıklı-Hüdai Jeotermal alandaki kaynaklar (Akan ve Süer, 2009)

Kaynak Adı	Sıcaklık (^oC)	Debi (l/s)
Hamamçay kaynakları	45-70	112*

Çizelge 3.7 Sandıklı-Hüdai jeotermal alanda açılan kuyular (Akan ve Süer, 2009)

Kuyu No	Tarih	Derinlik	Sıcaklık (^oC)	Debi (I/s)	Üretim Şekli
AFS-1	1994	226	70	39	P
AFS-2	1994	139.4	69	59	P
AFS-3	2000	301	40	25	P
AFS-4	2000	75	68	60	P
AFS-5	2000	76.5	68.5	58	P
AFS-6	2000	49.15	68	60	P
AFS7/A	2003	92.1	70.1	85	P
AFS8	2003	53.8	54	40	-
AFS10	2003	54	68	105	P

3.3.4 Gazlıgöl Jeotermal Alan

Gazlıgöl termal alan Afyonkarahisar ilinin kuzeybatısında, Afyonkarahisar-Eskişehir karayolunun yaklaşık 20. km' sinde yer almaktadır. Bu alanda sıcaklıkları 38-58^oC arasında ve debileri 0.5-1.5l/s arasında değişen 4 adet kaynak ve 1974-1998 yılları arasında MTA tarafından açılmış 4 adet sıcak su sondajı bulunmaktadır. Bölgedeki kaynaklar Çizelge 3.8' de, açılan kuyular ve özellikleri ise Çizelge 3.9' da gösterilmiştir.

Çizelge 3.8 Gazlıgöl Jeotermal alandaki kaynaklar (Akan ve Süer, 2009)

Kaynak Adı	Sıcaklık (^oC)	Debi (l/s)
Kükürtlü kaynağı	54	1.5
Eski hamam	47.8	0.5
Yeni hamam	38-46	0.17-0.5
Açık hamam	58	0.5

Çizelge 3.9 Gazlıgöl jeotermal alanda açılan kuyular(Akan ve Süer, 2009)

Kuyu No	Tarih	Derinlik	Sıcaklık (oC)	Debi (I/s)	Üretim Şekli
G-1	1974	138	69	5	A
G-2	1990	300	51	1.7	A
G-3	1995	206	74	28	Üretim yok
KH-3	1998	120	66.5	7	A

MTA tarafından açılan bu kuyuların sıcaklıkları 51-74^{o}C arasında değişirken debileri 1.7-28l/s arasında değişmektedir.

3.4 Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr; hızı, yönü ve frekansı gibi özellikleriyle etkide bulunan ve bu özelliklerinden dolayı enerji üretiminde kullanılan bir iklim elemanıdır. Rüzgâr hızını etkileyen faktörleri; bölgenin coğrafi konumu, yerel yüzey yapısı ve yüksekliği olarak sayabiliriz. Kısaca rüzgâr hızı, bölgenin meteorolojik ve topografik yapısından etkilenir. Türkiye konumu itibariyle batı rüzgârları kuşağında yer almaktadır. Fakat topgrafik yapısından dolayı daha çok yerel rüzgârlar etkili olmaktadır. Basınç gradyanının yüksek olduğu yerlere, hakim rüzgâr yönüne paralel vadilerin varlığına, yüksek ova ve platolara, tepe ve dağ zirvelerine ve termal etkileşimin gerçekleştiği kıyı kesimlerine bağlı olarak kuvvetli rüzgârların oluşma ihtimali artar (Sarıkaya, 2010).

Bir bölgede kurulacak rüzgâr enerjisi santrali (RES) o bölgenin rüzgâr karakteristiğine bağlıdır. Rüzgâr karakteristiğinin belirlenmesi için rüzgârın; saatlik ortalama hızı, günlük ortalama hızı, aylık ortalama hızı ve mevsimsel ortalama hızı gibi verilere gereksinim duyulmaktadır. Bununla beraber kurulacak türbinin konumu açısından bölgenin hakim rüzgâr yönü bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bütün bu veriler ışığında standart sapma, türbülans, rüzgâr hızı, en olası hız, hızların kümülatif dağılımı gibi parametreler elde edilebilir (Sarıkaya, 2010).

Afyonkarahisar ili, konum olarak Ege Bölgesinde yer almasına rağmen iklim özellikleri bakımından İç Anadolu Bölgesi iklimi olan karasal iklim karakteristiğine sahip, 1034m rakımı olan bir ilimizdir. Meteoroloji Bölge Müdürlüğü verilerine göre uzun yıllar yapılan ölçümler sonucunda ortalama rüzgâr hızı 2.2 m/s, ortalama sıcaklık

11.2^{o}C, ortalama nem %64.87 ve Çizelge 3.10’ da görüleceği gibi hakim rüzgâr yönü kuzey-kuzey batı (KKB) olarak belirlenmiştir (MGM, 2012).

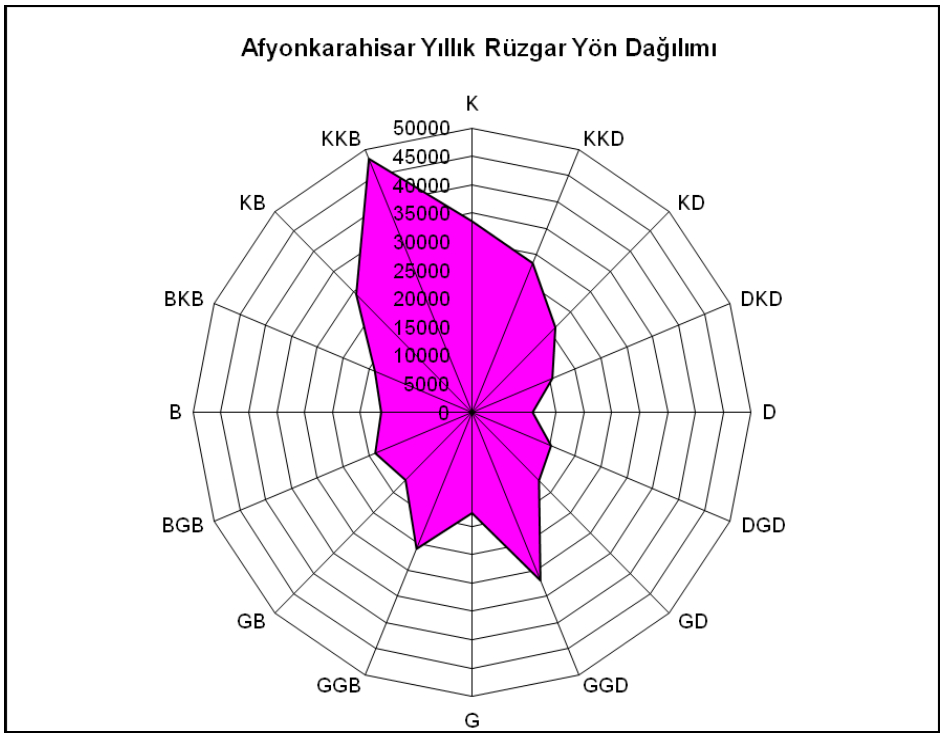
Çizelge 3.10 Afyonkarahisar merkezi uzun yıllar hakim rüzgâr yönü (MGM, 2012)

AYLAR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Hakim Rüzgâr Yönü	GGD	GGD	KKB	KKB	KKB	KKB	KKB	KKB	KKB	KKB	GGD	GGD

Çizelge 3.11 Afyonkarahisar merkezi uzun yıllar (1970-2011 yılları arası) rüzgâr esme sayıları (MGM, 2012)

RÜZGÂR YÖNLERİ	YILLIK RÜZGÂR ESME SAYILARI
K	33637
KKD	28427
KD	21142
DKD	15596
D	10870
DGD	15340
GD	16977
GGD	32043
G	17739
GGB	26011
GB	16864
BGB	18783
B	16291
BKB	18853
KB	29360
KKB	48310

Çizelge 3.11’ de görüldüğü gibi 1970-2011 yılları arasında yapılan ölçümlerde en çok rüzgâr esme sayısı KKB yönünde 48310 adet esme ile gerçekleşmiştir. Bir bölgenin hakim rüzgâr yönü uzun yıllar yapılan ölçümler sonucunda gerçekleşen rüzgâr esme adedi ile tespit edilir. Şekil 3.6’ da ise Afyonkarahisar ilinin yıllık rüzgâr yön dağılımı görülmektedir.



Şekil 3.6 Afyonkarahisar ili hakim rüzgâr yönü (MGM, 2012)

3.4.1 Rüzgâr Enerji Potansiyelinin Belirlenmesi

Rüzgâr verilerinin değerlendirilmesinde birden fazla istatistiksel yaklaşım kullanılabilir. Afyonkarahisar ili ortalama rüzgâr verilerinin değerlendirilmesinde bu yaklaşımlardan Weibull dağılımı kullanılmıştır. Weibull dağılımını belirleyen şekil ve ölçek parametreleri bir çok yöntemle hesaplanabilir. Afyonkarahisar bölgesi için yapılan Weibull dağılımı parametre hesaplamaları en yüksek olabilirlik yöntemi uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Her istasyon için toplanan saatlik ortalama rüzgâr hızı verileri en yüksek olabilirlik yöntemi kullanılarak Weibull ve Rayleigh şekil ve ölçek parametrelerine bağlı olarak standart sapma, ortalama hız, en olası hız, enerji akısına en fazla katkı yapan hız ve ortalama güç yoğunluğu hesaplanmıştır.

Hareket eden her cisim kinetik enerji taşır ve kinetik enerji denklem (3.1)'deki gibi ifade edilebilir.

$$Kinetikenerji = \frac{1}{2} mv^2 \tag{3.1}$$

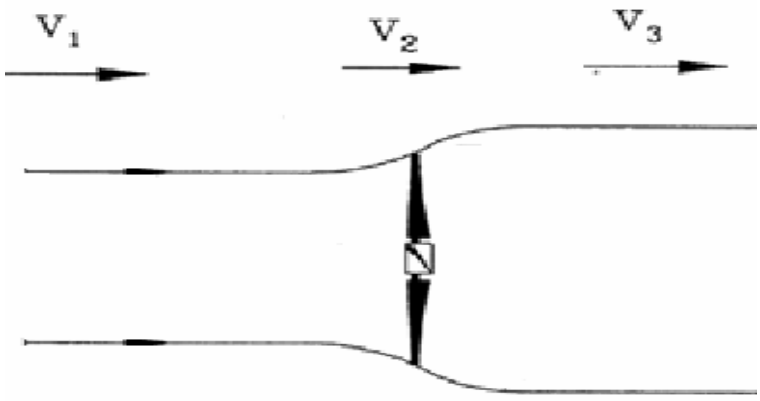
Denklem (3.1)' de m kütleyi ve v ise hareket eden cismin hızını ifade etmektedir. Rüzgâr genel ifadeyle hareket eden hava akımıdır. Dolayısıyla rüzgâr kinetik enerjiye sahiptir. Denklem (3.1)' de kütle yerine rüzgârın birim zamandaki kütlesel debisi kullanılabilir. Kütlesel debi denklem (3.2)' de gösterilmiştir (Sarıkaya, 2010).

$$m = \rho A v \tag{3.2}$$

Denklem (3.2)' de ρ hava yoğunluğunu (özgül ağırlığı), A ise kesit alanını göstermektedir. Denklem (3.2)' de ifade edilen kütlesel debi denklem (3.1)' de yerine yazılarak birim rotor alanı başına v hızındaki rüzgârda bulunan güç hesaplanabilir (Sarıkaya, 2010).

$$Rüzgar\ Gücü = \frac{1}{2}\rho A v^3 \tag{3.3}$$

Denklem (3.3)' te görüldüğü gibi hareket eden hava akımının taşıdığı kinetik enerji yani rüzgâr gücü hızın küpü ile orantılı olarak değişmektedir. Hava yoğunluğu da rüzgâr gücünü etkileyen bir diğer faktördür. V_1 hızıyla rüzgâr türbinine doğru gelen rüzgâr, türbine gelmeden hemen önce genişleyerek hızı v_2'ye düşmektedir. Türbine giren hava enerjisinin bir kısmını türbine vererek v_3 hızına düşmektedir. Şekil 3.7'de rüzgârın türbine girerken genişlemesi görülmektedir (Sarıkaya, 2010).



Şekil 3.7 Rüzgârın türbine girerken genişlemesi (Akdağ, 2008)

Rüzgâr türbini tarafından harcanan enerji, rüzgârın türbine girmeden önceki enerjisi ile türbinden çıktıktan sonraki enerjisinin farkı ile hesaplanır ve denklem (3.4) ile ifade edilebilir.

$$P = \frac{1}{2} m(V_1^2 - V_3^2) \tag{3.4}$$

Rüzgâr türbini tarafından harcanan enerjiyi meydana getiren akışkanın hızı, türbine gelen rüzgâr hızı ile türbinden çıkan rüzgâr hızının ortalaması olarak kabul edilebilir.

$$V_2 = \frac{(V_1 + V_3)}{2} \tag{3.5}$$

Buna göre akışkanın kütlesel debisi denklem (3.6) ile ifade edilebilir.

$$m = \rho A \frac{(V_1 + V_3)}{2} \tag{3.6}$$

Rotorda elde edilen güç ise denklem (3.7) ile ifade edilebilir.

$$P_t = \frac{1}{2} m(V_1^2 - V_3^2) \tag{3.7}$$

Denklem (3.6)'nın denklem (3.7)'de yerine yazılmasıyla denklem (3.8) elde edilir.

$$P_t = \frac{1}{4} \rho A \left(V_1 + V_3\right)\left(V_1^2 + V_3^2\right) \tag{3.8}$$

Rotor tarafından çekilen gücün rüzgârın türbine girmeden önceki gücüne oranı denklem (3.9) ile aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$c_p = \frac{P_t}{P_r} = \frac{\frac{1}{4} \rho A \left(V_1 + V_3\right)(V_1^2 - V_3^2)}{\frac{1}{2} \rho A V_1^3} \tag{3.9}$$

Türbine giren rüzgâr hızının türbinden çıkan rüzgâr hızına oranı denklem (3.10) ile aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\frac{V_3}{V_1} = a \tag{3.10}$$

Denklem (3.9) ve denklem(3.10) kullanılarak gerçekleştirilen işlemler sonucunda denklem (3.11) elde edilir.

$$\frac{dc_p}{da} = \frac{1}{2}(3a-1)(a+1) = 0 \tag{3.11}$$

Denklem (3.11)'in çözümü ise denklem (3.12)'deki gibi ifade edilebilir.

$$a = \frac{1}{3} \tag{3.12}$$

Denklem (3.9)' de P_1; rüzgâr türbini tarafından elde edilen enerjiyi, c_p; rüzgâr türbini tarafından kullanılan gücün rüzgâr gücüne oranını göstermektedir. Denklem (3.12)'de a; rüzgâr türbininden çıkan rüzgâr hızının türbine giren rüzgâr hızına oranı olarak ifade edilmektedir. Burada elde edilen a değeri, denklem (3.10)'da yerine yazılmasıyla c_p değerinin en büyük değeri olan yaklaşık 0.59 bulunabilir. Basınç yükseklikle orantılı olarak değiştiğinden rüzgâr hızı da yüksekliğe bağlı olarak değişmektedir. Farklı yükseklikteki rüzgâr hızları denklem (3.13) ile ifade edilebilir (Sarıkaya, 2010).

$$\left(\frac{v_2}{v_1}\right) = \left(\frac{h_2}{h_1}\right) \tag{3.13}$$

Denklem (3.13)' de v_1; ölçülen rüzgâr hızını, v_2; ölçülmek istenen rüzgâr hızını, h_1; v_1 hızının ölçüldüğü yüksekliği, h_2 ise v_2 hızının belirlendiği yüksekliği ifade etmektedir. Denklem (3.14)' de farklı yükseklikteki rüzgâr güç yoğunlukları hesaplanabilir.

$$\left(\frac{P_2}{P_1}\right)=\left(\frac{h_2}{h_1}\right)^{3a} \tag{3.14}$$

Denklem (3.14)'de *a* Helman katsayısıdır ve rüzgâr hızının ölçüldüğü yerin özelliğine bağlı olarak değişebilir. Burada p_1; h_1 yüksekliğinde hesaplanan güç yoğunluğunu, p_2 ise hesaplanmak istenen h_2 yüksekliğindeki güç yoğunluğunu ifade etmektedir (Sarıkaya, 2010).

Denklem (3.15) ile ifade edildiği gibi rüzgâr enerjisi hava yoğunluğu ile doğru orantılıdır. Hava yoğunluğu (ρ) ise yüksekliğe bağlı olarak değişen sıcaklık ve basınca bağlıdır. İdeal gaz kabulü ile hava yoğunluğu denklem (3.15) ile gösterilebilir.

$$\rho=\frac{1}{R}\frac{P}{T} \tag{3.15}$$

Burada *T* sıcaklığı, *R* kuru hava için gaz sabitini ifade etmektedir. Kuru hava için gaz sabitinin 287.05 J/kgK olduğu dikkate alınırsa hava yoğunluğu denklem (3.16) ile hesaplanabilir (Sarıkaya, 2010).

$$\rho=3.4837\frac{P}{T} \tag{3.16}$$

Yüksekliği 5000 m'den düşük olan alanlarda basıncın yükseklik ile değişimi denklem (3.17) ile bulunabilir.

$$P=101.29-\left(0.011837\right)z+(4.793\times10^{-7})z^2 \tag{3.17}$$

3.4.2 Weibull Dağılım Fonksiyonu

Rüzgâr hızı verilerinin dağılımının belirlenmesinde, istatistiksel yaklaşımlar arasında en yaygın olarak kullanılanı Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonudur. Weibull dağılımı diğer dağılımlara göre hassasiyeti yüksek (düşük hata payı) ve daha esnek bir dağılımdır. Weibull dağılımı iki parametreli bir dağılımdır. Boyutsuz şekil parametresi (*k*) rüzgârın esme sıklığını ifade eden parametredir. Bir bölgedeki rüzgâr hızı zamanla

çok dalgalanma göstermiyorsa yani yaklaşık sabit bir hızda esiyorsa (rüzgâr hızı düşük veya yüksek olabilir) şekil parametresi (*k*) büyük değer alır. Rüzgâr hızında değişimler fazla ise yani sabit bir hızda esmiyorsa şekil parametresi küçük değer alır. Diğer parametre ise rüzgâr hızıyla aynı birime sahip ölçek parametresi (*c*) olarak adlandırılır. Ölçek parametresi ortalama hıza bağlı olarak değişir. Bu değişme doğru orantılı olarak gerçekleşir. Yani ortalama hızın yüksek olması ölçek parametresinin de yüksek olduğu anlamına gelir. Başka bir deyişle *c* parametresi kümülatif rüzgâr hızı frekansını ifade etmektedir. Şekil parametresi ve ölçek parametresinin bulunuşu denklem (3.18) ve denklem (3.19)'da verilmiştir (Sarıkaya, 2010).

$$k = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} V_i^k \ln(V_i)}{\sum_{i=1}^{n} V_i^k} - \frac{\sum_{i=1}^{n} \ln(V_i)}{n} \right)^{-1} \tag{3.18}$$

Denklem (3.18)'de boyutsuz şekil parametresinin elde edilmesi gösterilmiştir.

$$c = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} V_i^k \right)^{1/k} \tag{3.19}$$

Denklem (3.19)'da ölçek parametresinin bulunuşu ifade edilmektedir. Ölçek parametresinin birimi m/sn' dir. İki parametreli Weibull dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu denklem (3.20)'de verilmiştir.

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \tag{3.20}$$

Burada *k* daha önce de ifade ettiğimiz gibi boyutsuz şekil parametresini, *c* ölçek parametresini, *f(v)* ise rüzgâr hızının (*v*) olasılık yoğunluğunu göstermektedir. Denklem (3.21)'de Weibull kümülatif (birikimli) dağılım fonksiyonu verilmiştir (Sarıkaya, 2010).

$$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \tag{3.21}$$

Weibull dağılımının kümülatif olasılık yoğunluk fonksiyonu, rüzgâr hızının, belli bir *v* hızı değerinden küçük veya eşit gerçekleşme olasılığını verir (Kurban vd., 2007).

3.4.2.1 Grafik Yöntemi

Weibull dağılımının şekil ve ölçek parametrelerinin grafiksel olarak belirlendiği bir yöntemdir. Denklem (3.22)'de Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu gösterilmiştir.

$$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \tag{3.22}$$

Denklem (3.22)'de gerekli düzenlemeler yapıldığında;

$$1 - F(v) = e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad \Longrightarrow \quad \frac{1}{1-F(v)} = e^{\left(\frac{v}{c}\right)^k} \tag{3.23}$$

Denklem (3.23) elde edilebilir. Denklem (3.23)'ün logaritması alınırsa denklem (3.24) elde edilir.

$$\ln\left[\frac{1}{1-F(v)}\right] = \left(\frac{v}{c}\right)^k \tag{3.24}$$

Denklem (3.24)'ün de logaritması alınırsa denklem (3.25) elde edilir.

$$\ln\left(\ln\left[\frac{1}{1-F(v)}\right]\right) = k\ln v - k\ln c \tag{3.25}$$

$\mathrm{Y} = \ln\left(\ln\left[\frac{1}{1-F(v)}\right]\right)$, $\ln v = X$ ve $-k\ln c = B$ olarak alınırsa;

$$Y = kX + B \tag{3.26}$$

Şeklinde doğrusal bir denklem olarak elde edilir. Denklem (3.26)'da görüldüğü gibi grafik metodunda k parametresi doğru denkleminin eğimidir. Denklem (3.26) ile verilen doğru denkleminin ordinat değerlerinin bulunması için kümülatif frekans dağılımının hesaplanması gereklidir. Birikimli frekans dağılımının hesaplanması için de frekans dağılımının hesaplanması gereklidir. Bulunan bu değerler ile gerçekleşen en küçük kareler problemi çözülerek şekil ve ölçek parametreleri bulunabilir (Sarıkaya, 2010).

3.4.2.2 Moment Yöntemi

Moment yöntemi, Weibull dağılımı parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan en eski yöntemlerdendir. Moment yöntemi dağılımın ortalaması ve standart sapması arasındaki ilişkiyi şekil parametresi için çözen bir yöntemdir. Dağılımın standart sapması, ortalaması ve şekil parametresi hesaplandıktan sonra ölçek parametresi hesaplanabilir (Sarıkaya, 2010).
Ölçek parametresi denklem (3.27)' deki gibi ifade edilebilir.

$$c = \frac{v_{ort}}{\Gamma\left(1+\frac{1}{k}\right)} \tag{3.27}$$

Burada Γ Gamma fonksiyonunu göstermektedir. Şekil parametresi (k) ise denklem (3.28) ile ifade edilebilir.

$$k = \left(\frac{\sigma}{v_{ort}}\right)^{-1.086} \tag{3.28}$$

3.4.2.3 En Yüksek Olabilirlik Metodu

En yüksek olabilirlik metodu, Weibull dağılımının şekil ve ölçek parametreleri olan k ve c değerlerini bulma metotlarından biridir. En yüksek olabilirlik metodunda n elemanlı bir küme oluşturulacak şekilde rüzgâr verileri v_1, v_2, v_3, ……., v_n olarak düzenlenmelidir. Herhangi bir verinin $v = v_i$ olma olasılığı $f(v_i;k,c)$ ile orantılıdır. Benzer bir şekilde tüm verilerin $V = v_1$.....$V = v_n$ meydana gelme olasılığı da ifade

edilebilir. Bu olaylar birbirinden bağımsız olaylardır. Bu nedenle elde edilen veriler sonucunda $L = \prod_{1}^{n} ,\ldots\ldots V = v_n$ olaylarının meydana gelme olasılığı da denklem (3.29)'da olabilirlik fonksiyonu olarak tanımlanır (Sarıkaya, 2010).

$$L = \prod_{1}^{n} f\left(v_i; k, c\right) \tag{3.29}$$

Ölçek parametresi denklem (3.30) ile gösterilir.

$$c = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(v_i\right)^k}{n} \right)^{\frac{1}{k}} \tag{3.30}$$

Şekil parametresi ise denklem (3.31) ile ifade edilebilir.

$$k = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} v_i^k \ln(v_i)}{\sum_{i=1}^{n} v_i^k} - \frac{\sum_{i=1}^{n} \ln(v_i)}{n} \right)^{-1} \tag{3.31}$$

Denklem (3.30) ve (3.31) ile hesaplanan k ve c parametrelerinin olabilirlik fonksiyonunu en büyük yapan değeri için olabilirlik fonksiyonu çözülebilir. Burada denklem (3.31)'de $v_i = 0$ için denklem çözülemez. Bundan dolayı veri grubundan 0 değerleri çıkarılmalıdır (Akdağ, 2008).

3.4.2.4 Basitleştirilmiş En Yüksek Olabilirlik Metodu

Weibull parametreleri olan k ve c değerlerinin En Yüksek Olabilirlik Metoduna (EYOM) göre hesaplanması uzun işlemler gerektirdiğinden EYOM' da çeşitli kabuller sonucunda Basitleştirilmiş En Yüksek Olabilirlik Metodu (BEYOM) elde edilmiştir. Basitleştirilmiş En Yüksek Olabilirlik Metodunun kullanılma nedeni EYOM' da

işlemlerin uzun zaman almasıdır. BEYOM' a göre şekil parametresi (k) denklem (3.32) ile ifade edilebilir (Akdağ, 2008).

$$k = \frac{\pi}{6}\left(\frac{n(n-1)}{n\left(\sum_{i=1}^{n}\ln^2 v_i\right)-\left(\sum_{i=1}^{n}v_i^k\right)}\right)^{0.5} \tag{3.32}$$

Ölçek parametresi (c) ise EYOM' da kullanılan denklem (3.30) ile gösterilebilir.

3.4.2.5 Enerji Eğilim Faktörü Yöntemi

Rüzgâr toplam enerjisinin rüzgâr ortalama hızına oranı ile elde edilen rüzgâr enerjisi enerji eğilim faktörü olarak tanımlanır. Enerji eğilim faktörü (EPF) hesaplandıktan sonra denklem (3.34) ile şekil parametresi (k) yaklaşık olarak elde edilebilir (Sarıkaya, 2010).

$$E_{PF} = \frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}V_i^3}{\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}V_i\right)^3} \tag{3.33}$$

$$k = \frac{1}{3.9557E_{PF}^{\ 0.898}} \tag{3.34}$$

Ölçek parametresi ise denklem (3.35) ile hesaplanabilir.

$$c = \left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}V_i^k\right)^{1/k} \tag{3.35}$$

3.4.3 Rayleigh Dağılım Fonksiyonu

Rüzgâr hızı verilerinin dağılımının belirlenmesinde, yaralanılan diğer bir istatistiksel yaklaşım da Rayleigh dağılımıdır. Rayleigh dağılımı, Weibull dağılımı şekil

parametresinin 2 olduğu durum olarak ifade edilebilir. Bu durumda Rayleigh yoğunluk fonksiyonu denklem (3.36) ile ifade tanımlanabilir.

$$f_R(v) = \left(\frac{2v}{c^2}\right)\exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^2\right) \tag{3.36}$$

Rayleigh kümülatif dağılım fonksiyonu

$$F_R(v) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^2\right) \tag{3.37}$$

şeklinde ifade edilebilir.

Rayleigh dağılımı için ortalama rüzgâr hızı Denklem (3.38) ve güç yoğunluğu ise Denklem (3.39) ile ifade edilebilir (Kurban vd., 2007).

$$v_m = c\sqrt{\pi/4} \tag{3.38}$$

$$P_R = \frac{3}{\pi}\rho v_m^3 \; P_R = \frac{3}{\pi}\rho v_m^3 \tag{3.39}$$

3.4.4 Rüzgâr Hızı verilerinin Weibull ve Rayleigh Dağılımlarına Göre Analizi

Weibull dağılımı parametreleri olan şekil ve ölçek parametrelerinin tahmininde kullanılan veriler Ocak-2010 ile Aralık-2011 tarihleri arasındaki iki yıllık zamanı kapsayan bir süreyle farklı istasyonlar için ölçülmüştür. Bu istasyonlar Afyonkarahisar Merkez, Dinar ve Sultandağı olup 10 metre yükseklikteki saatlik rüzgâr hızı verileri kullanılmıştır. Afyonkarahisar Merkez istasyonunda 2010 yılında 8215, 2011 yılında 8666, Dinar istasyonunda 2010 yılında 7667, 2011 yılında 8676, Sultandağı istasyonunda 2010 yılında 8399, 2011 yılında 8705 ölçüm yapılmıştır. Toplamda 50328 ölçüm yapılarak yani 50328 veri kullanılarak parametre tahminleri gerçekleştirilmiştir. Çizelgelerde öncelikle her istasyon için 2010 ve 2011 yıllarına ait aylık frekans dağılımları verilmiştir.

Çizelge 3.12 Afyonkarahisar merkez istasyonu 2010 yılı verileri için frekans dağılımları (MGM, 2012)

J	v_j	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1	0-1	189	125	175	194	211	138	75	137	193	210	274	249
2	1-2	290	220	273	303	297	224	175	290	278	317	273	255
3	2-3	124	153	150	137	138	176	148	175	151	140	81	132
4	3-4	70	76	70	51	45	63	60	55	64	52	22	68
5	4-5	40	45	41	21	19	21	12	17	17	13	14	22
6	5-6	9	23	17	3	13	6	4	6	9	1	3	2
7	6-7	10	12	9	1	4	3	0	0	0	0	2	3
8	7-8	4	7	5	0	0	0	0	0	0	0	1	1
9	8-9	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
10	9-10	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	10-11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	11-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	12-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	13-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	14-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	15-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Top.		740	665	741	711	729	632	475	681	713	734	719	739

Çizelge 3.12’de istatistiksel analizin daha kolay yapılabilmesi için Afyonkarahisar Merkez istasyonu 2010 yılı Tüm aylara ait saatlik rüzgâr hızı verileri frekans dağılımı düzenlenmiştir. Rüzgâr hızı önce 1-16 değerleri arasında sınıflara ayrılıp her bir sınıf aralığındaki frekans yani esme sayısı belirlenmiştir. Toplam 8215 adet veri kullanılmıştır. Ocak ayı için 740, şubat ayı için 665, mart ayı için 741, nisan ayı için 711, mayıs ayı için 729, haziran ayı için 632, temmuz ay için 475, ağustos ayı için 681, eylül ayı için 713, akim ayı için 734, kasım ayı için 719, aralık ayı için de 739 olmak üzere toplam 8215 adet ölçüm yapılmıştır. Aylık ölçüm sayılarının eşit olmamasının nedeni, istasyonların bakım ve onarımından dolayı anemometrenin veri

kaydetmemiş olmasıdır. Esme sayısı en fazla 1-2 rüzgâr sınıfı aralığında gerçekleşmiştir.

Çizelge 3.13 Afyonkarahisar merkez istasyonu 2011 yılı verileri için frekans dağılımları (MGM, 2012)

J	v_j	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1	0-1	256	223	222	140	201	181	145	134	212	250	255	248
2	1-2	329	306	267	272	291	311	296	282	306	315	310	294
3	2-3	124	100	145	191	158	149	195	206	135	131	104	131
4	3-4	17	32	56	77	66	58	75	83	45	32	31	39
5	4-5	2	5	21	29	13	10	23	29	18	6	8	21
6	5-6	0	0	4	5	9	5	2	5	1	5	2	2
7	6-7	0	0	1	4	3	0	1	0	1			0
8	7-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
9	8-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	9-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	10-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	11-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	12-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	13-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	14-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	15-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Top		728	666	716	728	741	714	738	740	671	734	710	737

Afyonkarahisar Merkez istasyonu 2011 yılı saatlik rüzgâr hız verilerinin Çizelge 3.13' de görüldüğü gibi aylara göre esme sayıları incelendiğinde, Ocak ayı için 728, şubat ayı için 666, mart ayı için 716, nisan ayı için 718, mayıs ayı için 741, haziran ayı için 714, temmuz ay için 738, ağustos ayı için 740, eylül ayı için 671, akim ayı için 734, kasım ayı için 710, aralık ayı için de 737 olmak üzere toplam 8666 adet ölçüm yapılmıştır. Bu istasyonda 2011 yılında da esme sayısı en fazla olduğu rüzgâr sınıfı 1-2 aralığında gerçekleşmiştir.

Çizelge 3.14 Dinar istasyonu 2010 yılı verileri için frekans dağılımları (MGM, 2012)

J	v_j	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1	0-1	165	131	177	157	286	223	155	182	153	242	195	0
2	1-2	177	147	211	216	240	218	231	238	150	202	246	0
3	2-3	137	83	121	155	112	132	169	144	107	151	112	0
4	3-4	87	89	77	92	65	80	97	93	44	74	91	0
5	4-5	65	67	56	30	25	28	59	46	18	32	48	0
6	5-6	49	68	37	16	7	20	16	23	6	27	17	0
7	6-7	33	36	25	5	2	0	5	9	0	11	8	0
8	7-8	17	19	16	2	0	1	2	2	2	1	0	0
9	8-9	6	13	13	0	0	0	1	0	0	1	0	0
10	9-10	0	10	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0
11	10-11	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	11-12	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	12-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	13-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	14-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	15-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Top		738	666	740	674	737	702	735	737	480	741	717	0

Dinar istasyonu 2010 yılı saatlik rüzgâr hız verilerinin Çizelge 3.14' de görüldüğü gibi aylara göre esme sayıları incelendiğinde, Ocak ayı için 738, şubat ayı için 666, mart ayı için 740, nisan ayı için 674, mayıs ayı için 737, haziran ayı için 702, temmuz ay için 735, ağustos ayı için 737, eylül ayı için 480, akim ayı için 741, kasım ayı için 717, aralık ayı için de 0 olmak üzere toplam 7667 adet ölçüm yapılmıştır. Aralık ayında bakım veya arızalardan dolayı herhangi bir ölçüm kaydedilememiştir. Bu istasyonda 2010 yılında esme sayısı en fazla olduğu rüzgâr sınıfı 1-2 aralığında gerçekleşmiştir.

Çizelge 3.15 Dinar istasyonu 2011 yılı verileri için frekans dağılımları (MGM, 2012)

J	v_j	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1	0-1	191	145	160	196	203	213	179	122	138	195	149	214
2	1-2	266	228	247	210	235	207	193	177	234	246	202	212
3	2-3	138	145	128	132	156	114	177	168	191	156	160	140
4	3-4	75	87	90	66	81	76	114	124	96	77	124	90
5	4-5	44	44	55	60	39	48	52	81	34	39	58	43
6	5-6	16	11	38	29	16	18	20	31	15	20	18	27
7	6-7	8	6	14	8	7	15	6	11	9	5	5	7
8	7-8	2	0	6	13	5	3	1	5	2	1	2	0
9	8-9	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
10	9-10	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
11	10-11	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
12	11-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	12-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	13-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	14-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	15-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Top		741	668	741	718	743	695	742	719	719	739	718	733

Dinar istasyonu 2011 yılı saatlik rüzgâr hız verilerinin Çizelge 3.15' de görüldüğü gibi aylara göre esme sayıları incelendiğinde, Ocak ayı için 741, şubat ayı için 668, mart ayı için 741, nisan ayı için 718, mayıs ayı için 743, haziran ayı için 695, temmuz ay için 742, ağustos ayı için 719, eylül ayı için 719, akim ayı için 739, kasım ayı için 718, aralık ayı için de 733 olmak üzere toplam 8676 adet ölçüm yapılmıştır. Bu istasyonda 2011 yılında da esme sayısı en fazla olduğu rüzgâr sınıfı 1-2 aralığında gerçekleşmiştir.

Çizelge 3.16 Sultandağı istasyonu 2010 yılı verileri için frekans dağılımları (MGM, 2012)

J	v_j	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1	0-1	119	76	105	99	113	116	91	99	54	130	144	128
2	1-2	215	147	205	218	279	226	254	283	155	263	262	237
3	2-3	147	94	139	206	191	190	229	204	124	170	129	124
4	3-4	88	77	97	99	66	88	108	97	81	81	71	84
5	4-5	55	73	53	52	39	53	31	46	31	43	48	63
6	5-6	30	58	48	24	24	19	12	8	14	28	23	31
7	6-7	26	42	38	8	17	9	5	2	7	15	19	28
8	7-8	19	37	25	2	3	5	2	2	6	2	8	15
9	8-9	9	15	12	2	2	1	0	2	5	2	6	11
10	9-10	5	13	8	2	1	0	1	0	1	4	2	5
11	10-11	5	7	3	0	0	1	0	0	0	1	0	2
12	11-12	2	3	3	0	0	0	0	0	0	1	2	1
13	12-13	1	3	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
14	13-14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	14-15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	15-16	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Top		724	645	738	712	735	708	733	743	478	740	714	729

Sultandağı istasyonu 2010 yılı saatlik rüzgâr hız verilerinin Çizelge 3.16' da görüldüğü gibi aylara göre esme sayıları incelendiğinde, Ocak ayı için 724, şubat ayı için 645, mart ayı için 738, nisan ayı için 712, mayıs ayı için 735, haziran ayı için 708, temmuz ay için 733, ağustos ayı için 743, eylül ayı için 478, akim ayı için 740, kasım ayı için 714, aralık ayı için de 729 olmak üzere toplam 8399 adet ölçüm yapılmıştır. Bu istasyonda 2010 yılında esme sayısı en fazla olduğu rüzgâr sınıfı 1-2 aralığında gerçekleşmiştir.

Çizelge 3.17 Sultandağı istasyonu 2011 yılı verileri için frekans dağılımları (MGM, 2012)

J	v_j	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1	0-1	204	175	153	125	133	105	93	101	122	173	182	173
2	1-2	279	289	286	215	228	247	264	261	293	270	284	245
3	2-3	137	99	148	178	205	218	232	196	194	163	148	130
4	3-4	71	65	59	88	109	92	98	106	73	59	64	74
5	4-5	28	29	40	67	45	29	42	49	30	33	33	56
6	5-6	10	6	17	23	8	18	10	22	5	14	4	36
7	6-7	6	1	14	10	5	5	1	4	2	18	0	10
8	7-8	4	2	4	5	3	3	1	3	0	5	0	8
9	8-9	1	2	2	1	2	1	0	1	0	1	0	4
10	9-10	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	5
11	10-11	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	2
12	11-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
13	12-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
14	13-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	14-15	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
16	15-16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Top		739	668	723	718	738	719	741	743	719	736	715	746

Sultandağı istasyonu 2011 yılı saatlik rüzgâr hız verilerinin Çizelge 3.17' de görüldüğü gibi aylara göre esme sayıları incelendiğinde, Ocak ayı için 739, şubat ayı için 668, mart ayı için 723, nisan ayı için 718, mayıs ayı için 738, haziran ayı için 719, temmuz ay için 741, ağustos ayı için 743, eylül ayı için 719, akim ayı için 736, kasım ayı için 715, aralık ayı için de 746 olmak üzere toplam 8705 adet ölçüm yapılmıştır. Bu istasyonda 2011 yılında da esme sayısı en fazla olduğu rüzgâr sınıfı 1-2 aralığında gerçekleşmiştir. Üç istasyonda da 2010 ve 2011 yıllarında esme sayısının en fazla olduğu aralık 1-2 sınıfı olarak gerçekleşmiştir.

Afyonkarahisar merkez, Dinar ve Sultandağı istasyonları saatlik rüzgâr hızı verileri kullanılarak Weibull dağılımı parametreleri (k ve c), ortalama hız (vm), standart

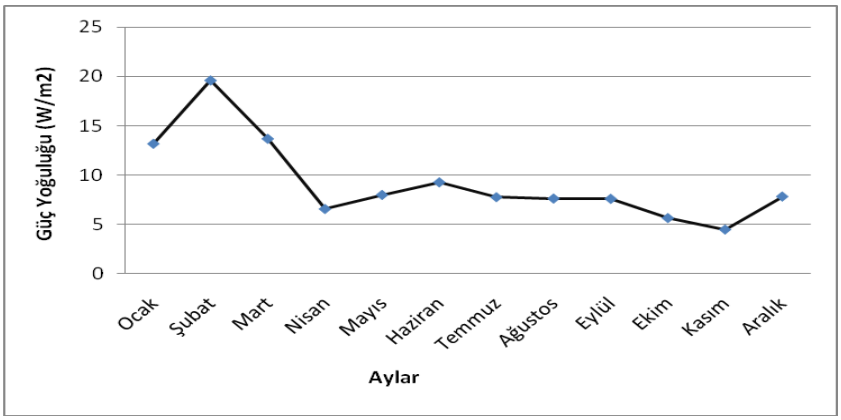
sapma (σ), rüzgâr hızı Weibull olasılığı (fw(v)), rüzgâr hızı Weibull kümülatifi (Fw(v)), rüzgâr en olası hızı ($V_{enolası}$), enerji yoğunluğuna en fazla katkı yapan hız değeri ($_{Vmax\ E}$) ve Weibull dağılımı için ortalama enerji yoğunluğu (P/A) aylık olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda Matlab kodları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Weibull dağılımı parametreleri hesaplanmasında en yüksek olabilirlik (EYO) yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada ortalama enerji yoğunluğu hesaplanırken $\rho = 1.226$ olarak alınmıştır.

Çizelge 3.18 Afyonkarahisar merkez istasyonu 2010 yılı verileri için Weibull parametre, hız ve güç tahminleri

Aylar	k	c	v_m (m/s)	σ (m/s)	fw(v)	Fw(v)	Venolası (m/s)	Vmax E (m/s)	P/A (w/m2)
Ocak	1.5451	2.2467	2.0213	1.3355	0.2727	0.5723	1.4447	3.8456	13.1833
Şubat	1.6473	2.6559	2.3753	1.4800	0.2511	0.5646	1.5064	4.3030	19.6003
Mart	1.6218	2.3371	2.0929	1.3228	0.2808	0.5656	1.2941	3.8355	13.6868
Nisan	1.8683	1.9547	1.7355	0.9647	0.3870	0.5510	1.2970	2.8857	6.5735
Mayıs	1.7287	2.0174	1.7980	1.0723	0.3472	0.5594	1.2239	3.1471	7.9993
Haziran	1.9622	2.2341	1.1094	1.0533	0.3552	0.5460	1.5538	3.1962	9.2751
Temmuz	2.9994	2.3315	2.0655	0.9526	0.3953	0.5309	1.8190	3.0608	7.7697
Ağustos	2.0532	2.1269	1.8842	0.9619	0.3896	0.5415	1.5266	2.9621	7.6319
Eylül	1.8854	2.0592	1.8277	1.0076	0.3707	0.5501	1.3790	3.0218	7.6016
Ekim	1.9211	1.8795	1.6672	0.9037	0.4136	0.5481	1.2819	2.7247	5.6551
Kasım	1.6760	1.6391	1.4640	0.8980	0.4141	0.5628	0.9536	2.6190	4.4877
Aralık	1.6441	1.9545	1.7393	1.0857	0.3423	0.5650	1.0997	3.1554	7.8351

Çizelge 3.18'de Afyonkarahisar merkez istasyonu saatlik rüzgâr verileri analizi görülmektedir. Hesaplamalar 10 metre yükseklikte yapılan saatlik öçlümlerle gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.18'de görüldüğü gibi Afyonkarahisar merkezde en yüksek ortalama hız ve enerji yoğunluğu şubat ayında gerçekleşmiştir. Fakat enerji yatırımları için bu iki veri dağılımı yeterli değil diğer verilerin dağılımını da incelemek gerekmektedir. Mevsimsel olarak incelediğimizde en yüksek ortalama hız ve enerji yoğunluğunun kış aylarında ve ilkbaharın başlarında gerçekleştiği görülmektedir.

Şekil 3.8' de Afyonkarahisar merkez istasyonu 2010 yılı için hesaplanan güç yoğunluğu değerleri gösterilmiştir.



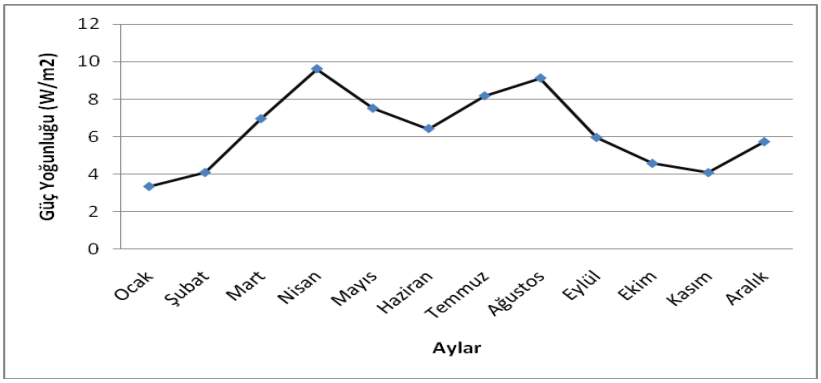
Şekil 3.8 Afyonkarahisar merkez istasyonu 2010 yılı verileri için güç yoğunluğu

Yüksekliğe bağlı olarak rüzgâr hızı ve dolayısıyla enerji yoğunluğu değişmektedir. Farklı yükseklikteki parametre değerleri hesaplama işlemi 10 metre yükseklikteki parametre değerleri revize edilerek gerçekleştirilebilir (Sarıkaya, 2010).

Çizelge 3.19 Afyonkarahisar merkez istasyonu 2011 yılı verileri için Weibull parametre, hız ve güç tahminleri

Aylar	k	c	v_m (m/s)	σ (m/s)	$f_w(v)$	$F_w(v)$	$V_{enolası}$ (m/s)	$V_{max\ E}$ (m/s)	P/A (w/m^2)
Ocak	2.0897	1.6283	1.4473	0.7247	0.5175	0.5398	1.1924	2.5454	3.3658
Şubat	1.9767	1.7071	1.5137	0.7994	0.4681	0.5452	1.1950	2.4313	4.1049
Mart	1.8013	1.9622	1.7449	1.0024	0.3719	0.5549	1.2516	2.9703	6.9614
Nisan	1.9758	2.2663	2.0089	1.0617	0.3524	0.5453	1.5858	3.2286	9.6094
Mayıs	1.8472	2.0343	1.8070	1.0148	0.3678	0.5522	1.3340	3.0264	7.5135
Haziran	1.9745	1.9826	1.7574	0.9293	0.4026	0.5453	1.3865	2.8255	6.4381
Temmuz	2.0987	2.1916	1.9481	0.9752	0.3847	0.5394	1.6159	3.0258	8.1729
Ağustos	2.1312	2.2841	2.0228	0.9987	0.3758	0.5379	1.6968	3.1159	9.1194
Eylül	1.8812	1.8973	1.6841	0.9303	0.4015	0.5503	1.2678	2.7882	5.9617
Ekim	1.8601	1.7308	1.5370	0.8577	0.4352	0.5515	1.1433	2.5627	4.5880
Kasım	1.8531	1.6641	1.4780	0.8276	0.4510	0.5519	1.0949	2.4702	4.0966
Aralık	1.7578	1.8200	1.6205	0.9518	0.3914	0.5576	1.1277	2.8040	5.7389

Çizelge 3.19’ da Afyonkarahisar merkez istasyonu 2011 yılı saatlik rüzgâr hızı verilerinin Weibull dağılımına göre analizi görülmektedir. Buna göre en yüksek enerji yoğunluğu nisan ayında en düşük enerji yoğunluğu ise ocak ayında hesaplanmıştır.



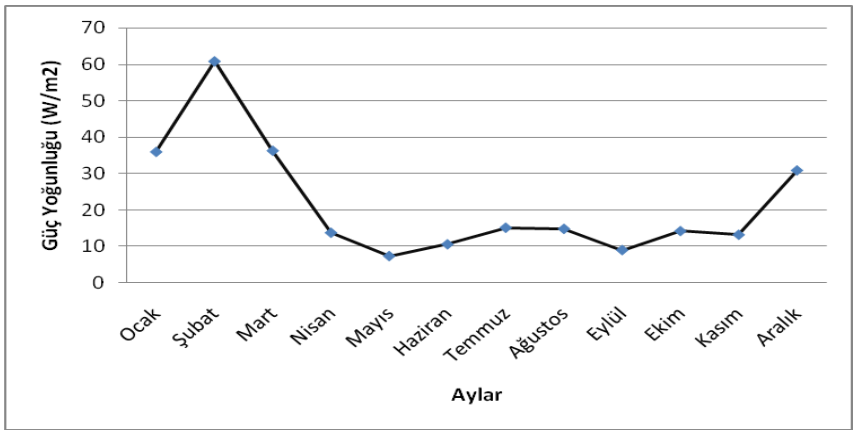
Şekil 3.9 Afyonkarahisar merkez istasyonu 2011 yılı verileri için güç yoğunluğu

Şekil 3.9' da Afyonkarahisar merkez istasyonu 2011 yılı için hesaplanan güç yoğunluğu değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.20 Dinar istasyonu 2010 yılı verileri için Weibull parametre, hız ve güç tahminleri

Aylar	k	c	v_m (m/s)	σ (m/s)	$f_w(v)$	$F_w(v)$	$V_{enolası}$ (m/s)	$V_{max\ E}$ (m/s)	P/A (w/m^2)
Ocak	1.4500	3.0202	3.6808	1.9184	0.1929	0.5808	1.3477	5.4909	36.0280
Şubat	1.4079	3.5272	3.2120	2.3125	0.1599	0.5838	1.4632	6.6087	60.9056
Mart	1.3435	2.8708	2.6348	1.916	0.1864	0.5898	1.0402	5.6588	36.3400
Nisan	1.7018	2.4021	1.6806	1.2964	0.2870	0.5611	1.4274	3.7924	13.8102
Mayıs	1.5855	1.8809	1.6878	1.0891	0.3408	0.5692	1.0034	3.1470	7.4025
Haziran	1.5417	2.0888	1.8797	1.2445	0.2980	0.5726	1.0599	3.5825	10.6354
Temmuz	1.7381	2.5051	2.2320	1.3245	0.2811	0.5581	1.5305	3.8920	15.2001
Ağustos	1.6289	2.4085	2.1560	1.3573	0.2737	0.5661	1.3428	3.9384	14.8764
Eylül	1.6635	2.0641	1.8446	1.1392	0.3264	0.5637	1.1879	3.3178	9.0637
Ekim	1.4995	2.2657	2.0455	1.3892	0.2667	0.5759	1.0886	3.9871	14.2681
Kasım	1.6311	2.3195	2.0761	1.3053	0.2846	0.5659	1.2959	3.7886	13.2591
Aralık	1.3869	2.7848	2.5419	1.8559	0.1992	0.5857	1.1093	5.3012	30.9364

Çizelge 3.20' de Dinar istasyonu 2010 yılı saatlik rüzgâr hızı verilerinin Weibull dağılımına göre analizi görülmektedir. Buna göre en yüksek enerji yoğunluğu şubat ayında en düşük enerji yoğunluğu ise mayıs ayında hesaplanmıştır.

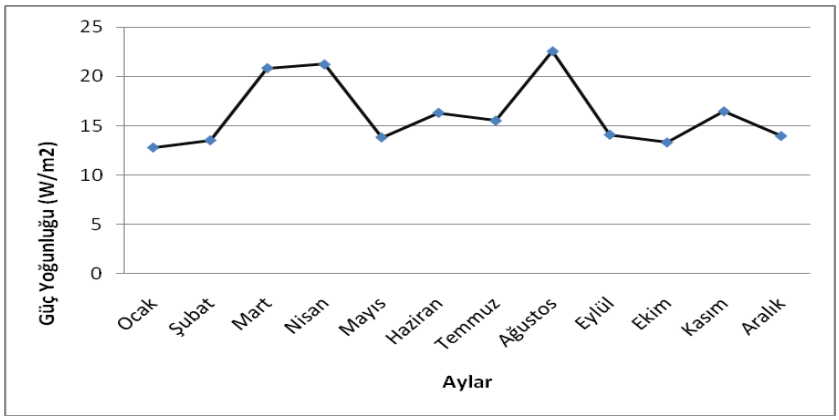


Şekil 3.10 Dinar istasyonu 2010 yılı verileri için güç yoğunluğu

Şekil 3.10' da görüleceği üzere, Dinar istasyonu 2010 verileri analiz sonuçlarına göre en yüksek güç yoğunluğu şubat ayında gerçekleşirken en düşün enerji yoğunluğu ise mayıs ayında gerçekleşmiştir. Afyonkarahisar merkez istasyonu 2010 ve 2011 güç yoğunlukları ile karşılaştırıldığında Dinar istasyonu 2010 yılı güç yoğunluklarının daha yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 3.21).

Çizelge 3.21 Dinar istasyonu 2011 yılı verileri için Weibull parametre, hız ve güç tahminleri

Aylar	k	c	v_m (m/s)	σ (m/s)	$f_w(v)$	$F_w(v)$	$V_{enolası}$ (m/s)	$V_{max\ E}$ (m/s)	P/A (w/m^2)
Ocak	1.6187	2.2835	2.0452	1.2949	0.2868	0.5668	1.2605	3.7536	12.8056
Şubat	1.7552	2.4213	2.1575	1.2822	0.2904	0.5590	1.4761	3.7664	13.5407
Mart	1.5428	2.6150	2.4237	1.5568	0.2382	0.5725	1.3287	4.4821	20.8418
Nisan	1.4446	2.5252	2.2908	1.6105	0.2298	0.5805	1.1169	4.6084	21.2137
Mayıs	1.5969	2.3257	2.0855	1.3369	0.2777	0.5684	1.2558	3.8671	13.8293
Haziran	1.4858	2.3560	2.1294	1.4585	0.2540	0.5770	1.1103	4.1824	16.3195
Temmuz	1.7482	2.5294	2.2531	1.3320	0.2796	0.5583	1.5533	3.9177	15.5215
Ağustos	1.8275	2.9210	2.5958	1.4719	0.2534	0.5533	1.8934	4.3773	22.5432
Eylül	1.8254	2.4969	2.2191	1.2596	0.2961	0.5535	1.6165	3.7449	14.1012
Ekim	1.6658	2.2887	2.0451	1.2614	0.2947	0.5635	1.3198	3.6747	13.3202
Kasım	1.8194	2.6255	2.3337	1.3286	0.2807	0.5538	1.6935	3.9467	16.4630
Aralık	1.5666	2.3089	2.0743	1.3533	0.2742	0.5707	1.2063	3.9038	13.9720



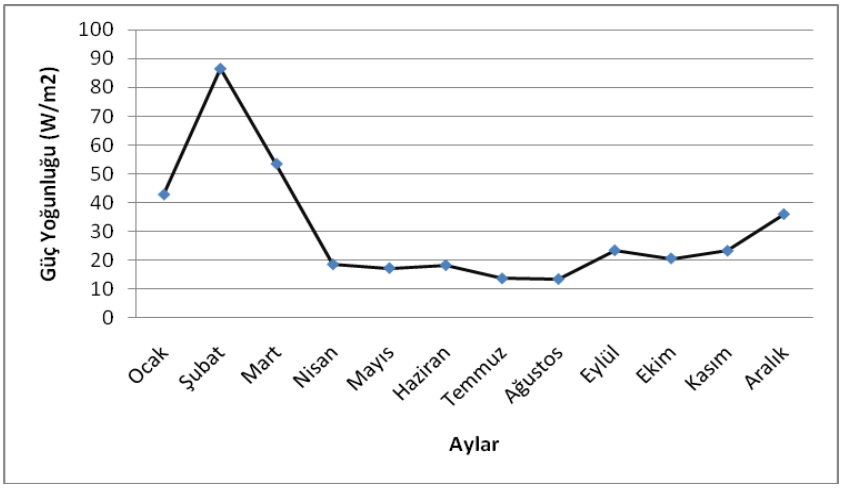
Şekil 3.11 Dinar istasyonu 2011 yılı verileri için güç yoğunluğu

Dinar istasyonu 2011 verileri analiz sonuçlarına göre en yüksek güç yoğunluğu ağustos ayında gerçekleşirken en düşün enerji yoğunluğu ise ocak ayında gerçekleşmiştir (Şekil 3.11). Dinar istasyonu 2010 ve 2011 güç yoğunlukları karşılaştırıldığında 2010 yılında gerçekleşen güç yoğunluklarının daha yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.22 Sultandağı istasyonu 2010 yılı verileri için Weibull parametre, hız ve güç tahminleri

Aylar	k	c	v_m (m/s)	σ (m/s)	$f_w(v)$	$F_w(v)$	$V_{enolası}$ (m/s)	$V_{max\ E}$ (m/s)	P/A (w/m^2)
Ocak	1.4238	3.1642	2.8765	2.0496	0.1805	0.5823	1.3508	5.8601	42.9683
Şubat	1.5080	4.1474	3.7416	2.5281	0.1466	0.5752	2.0156	7.2597	86.6115
Mart	1.4457	3.4414	3.1217	2.1929	0.1688	0.5804	1.5250	6.2753	53.6142
Nisan	1.8572	2.7644	2.4550	1.3719	0.2721	0.5516	1.8230	4.0974	18.7288
Mayıs	1.7348	2.6196	2.3343	1.3876	0.2683	0.5590	1.5965	4.0756	17.4273
Haziran	1.7557	2.6843	2.3902	1.4054	0.2650	0.5577	1.6608	4.1392	18.4425
Temmuz	2.0509	2.5925	2.2967	1.1737	0.3193	0.5416	1.8713	3.6129	13.8367
Ağustos	1.9494	2.5335	2.2465	1.2017	0.3112	0.5466	1.7516	3.6392	13.6242
Eylül	1.7558	2.9146	2.5953	1.5259	0.2441	0.5577	1.8034	4.4941	23.6063
Ekim	1.5821	2.6527	2.3809	1.5393	0.2411	0.5695	1.4100	4.4466	20.8000
Kasım	1.4838	2.6564	2.4012	1.6468	0.2249	0.5772	1.2481	4.7218	23.4511
Aralık	1.4289	2.9947	2.7210	1.9323	0.1915	0.5819	1.2901	5.5257	36.1636

Çizelge 3.22’ de Sultandağı istasyonu 2010 yılı saatlik rüzgâr hızı verilerinin Weibull dağılımına göre analizi görülmektedir. Buna göre en yüksek enerji yoğunluğu şubat ayında en düşük enerji yoğunluğu ise ağustos ayında hesaplanmıştır.



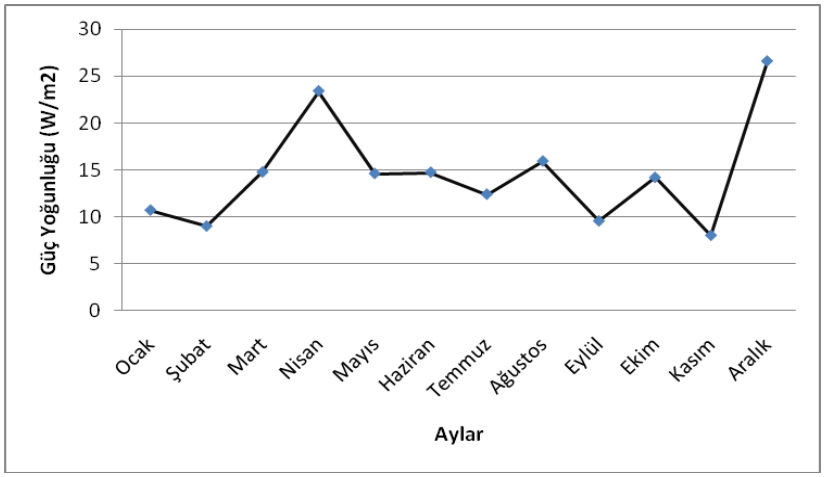
Şekil 3.12 Sultandağı istasyonu 2010 yılı verileri için güç yoğunluğu

Şekil 3.12’ de Sultandağı istasyonu 2010 yılı için hesaplanan güç yoğunluğu değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.23 Sultandağı istasyonu 2011 yılı verileri için Weibull parametre, hız ve güç tahminleri

Aylar	k	c	v_m (m/s)	σ (m/s)	$f_w(v)$	$F_w(v)$	$V_{enolası}$ (m/s)	$V_{max\ E}$ (m/s)	P/A (w/m^2)
Ocak	1.5954	2.1358	1.9154	1.2289	0.3020	0.5685	1.1515	3.5541	10.7273
Şubat	1.6663	2.0625	1.8429	1.1364	0.3272	0.5635	1.1898	3.3107	9.0196
Mart	1.5816	2.3654	2.1231	1.3730	0.2703	0.5695	1.2567	3.9659	14.7835
Nisan	1.5747	2.7502	2.4695	1.6035	0.2314	0.5700	1.4500	4.6288	23.4068
Mayıs	1.8394	2.5351	2.2522	1.2696	0.2939	0.5527	1.6549	3.7821	14.6172
Haziran	1.8711	2.5606	2.2734	1.2619	0.2959	0.5509	1.7018	3.7764	14.7502
Temmuz	2.1731	2.5466	2.5553	1.0941	0.3433	0.5360	1.9176	3.4384	12.4177
Ağustos	1.9037	2.6459	2.3477	1.2830	0.2912	0.5491	1.7889	3.8584	15.9439
Eylül	2.0402	2.2885	2.0275	1.0410	0.3599	0.5421	1.6450	3.1987	9.5679
Ekim	1.5864	2.3379	2.0978	1.3530	0.2743	0.5692	1.2484	3.9097	14.2019
Kasım	1.8149	2.0654	1.8361	1.0776	0.3560	0.5541	1.3287	3.1101	8.0401
Aralık	1.3735	2.6289	2.4035	1.7708	0.2087	0.5869	1.0186	5.0571	26.5751

Çizelge 3.23’ de Sultandağı istasyonu 2011 yılı saatlik rüzgâr hızı verilerinin Weibull dağılımına göre analizi görülmektedir. Buna göre en yüksek enerji yoğunluğu aralık ayında en düşük enerji yoğunluğu ise kasım ayında hesaplanmıştır.



Şekil 3.13 Sultandağı istasyonu 2011 yılı verileri için güç yoğunluğu

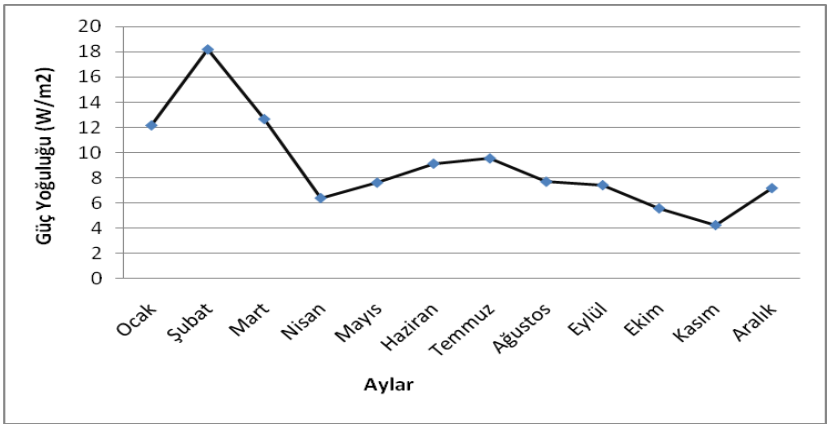
Şekil 3.13’ de Sultandağı istasyonu 2011 yılı için hesaplanan güç yoğunluğu değerleri gösterilmiştir.

Sultandağı istasyonu 2010 ve 2011 verileri karşılaştırıldığında 2010 yılı enerji yoğunluğunun daha yüksek olduğu görülmektedir. 2010 yılı Sultandağı istasyonu güç yoğunluğunun ve ortalama rüzgâr hızının Afyonkarahisar merkez ve Dinar istasyonları 2010 ve 2011yılları enerji yoğunlukları karşılaştırıldığında 2010 Sultandağı istasyonu sonuçlarının daha yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.24 Afyonkarahisar merkez istasyonu 2010 yılı verileri için Rayleigh parametre, hız ve güç tahminleri

Aylar	c	v_m (m/s)	σ (m/s)	$f_w(v)$	$F_w(v)$	$V_{enolası}$ (m/s)	$V_{max\ E}$ (m/s)	P/A (w/m^2)
Ocak	2.4634	2.1832	0.8309	0.1185	0.9519	1.7419	3.4832	12.1819
Şubat	2.8169	2.4964	0.9502	0.0533	0.9811	1.9919	3.9837	18.2144
Mart	2.4968	2.2128	0.8422	0.1106	0.9557	1.7655	3.5310	12.6841
Nisan	1.9886	1.7623	0.6708	0.2753	0.8615	1.4061	2.8123	6.4081
Mayıs	2.1076	1.8679	0.7109	0.2287	0.8915	1.4903	2.9807	7.6294
Haziran	2.2384	1.9837	0.7550	0.1828	0.9183	1.5828	3.1656	9.1391
Temmuz	2.2720	2.0135	0.7603	0.1720	0.9243	1.6065	3.2130	9.5565
Ağustos	2.1145	1.8739	0.7132	0.2261	0.8931	1.4952	2.9904	7.7043
Eylül	2.0894	1.8517	0.7048	0.2355	0.8873	1.4775	2.9549	7.4333
Ekim	1.900	1.6838	0.6409	0.3125	0.8355	1.3435	2.6870	5.5890
Kasım	1.7354	1.5380	0.5854	0.3850	0.7782	1.2271	2.4543	4.2592
Aralık	2.0670	1.8319	0.6972	0.2441	0.8819	1.4616	2.9232	7.1967

Çizelge 3.24’ de Afyonkarahisar merkez istasyonu 2010 yılı saatlik rüzgâr hızı verilerinin Rayleigh dağılımına göre analizi görülmektedir. Yapılan hesaplamaya göre en yüksek enerji yoğunluğu şubat ayında en düşük enerji yoğunluğu ise kasım ayında elde edilmiştir.



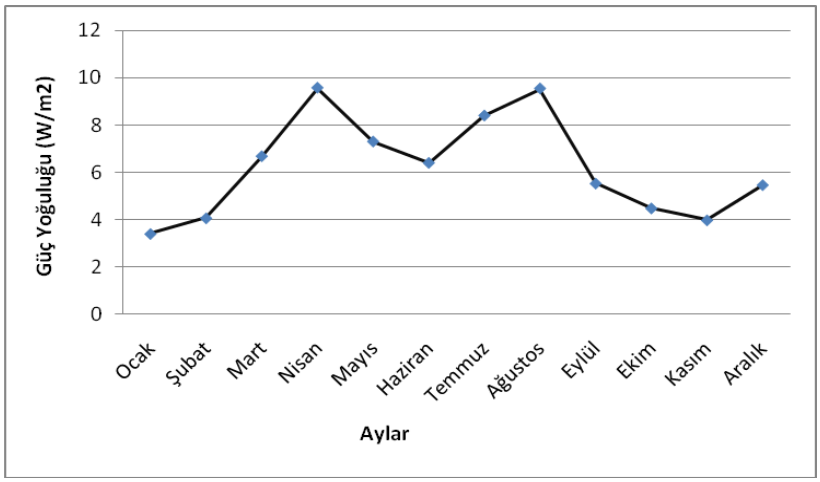
Şekil 3.14 Afyonkarahisar merkez istasyonu 2010 yılı verileri için güç yoğunluğu

Şekil 3.14’ de Afyonkarahisar merkez istasyonu 2010 yılı için Rayleigh dağılımı ile hesaplanan güç yoğunluğu değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.25 Afyonkarahisar merkez istasyonu 2011 yılı verileri için Rayleigh parametre, hız ve güç tahminleri

Aylar	c	v_m (m/s)	σ (m/s)	$f_w(v)$	$F_w(v)$	$V_{enolası}$ (m/s)	$V_{max\ E}$ (m/s)	P/A (w/m^2)
Ocak	1.6125	1.4291	0.5439	0.4394	0.7275	1.1402	2.2805	3.4169
Şubat	1.7104	1.5158	0.5769	0.3961	0.7684	1.2094	2.4189	4.0775
Mart	2.0169	1.7875	0.6803	0.2638	0.8692	1.4262	2.8524	6.6862
Nisan	2.2726	2.0140	0.7666	0.1718	0.9244	1.6070	3.2140	9.5647
Mayıs	2.0774	1.8411	0.7007	0.2401	0.8844	1.4690	2.9379	7.3041
Haziran	1.9885	1.7623	0.6707	0.2754	0.8615	1.4061	2.8122	6.4074
Temmuz	2.1762	1.9286	0.7340	0.2039	0.9063	1.5388	3.0775	8.3978
Ağustos	2.2543	1.9978	0.7604	0.1776	0.9212	1.5940	3.1881	9.5353
Eylül	1.8339	1.6785	0.6388	0.3151	0.8336	1.3392	2.6784	5.5359
Ekim	1.7666	1.5656	0.5959	0.3710	0.7900	1.2492	2.4984	4.4931
Kasım	1.6985	1.5052	0.5729	0.4014	0.7636	1.2010	2.4020	3.9928
Aralık	1.8864	1.6718	0.6363	0.3184	0.8312	1.3339	2.6678	5.4701

Çizelge 3.25' de Afyonkarahisar merkez istasyonu 2011 yılı saatlik rüzgâr hızı verilerinin Rayleigh dağılımına göre analizi görülmektedir. Yapılan hesaplamaya göre en yüksek enerji yoğunluğu ağustos ayında en düşük enerji yoğunluğu ise ocak ayında elde edilmiştir.



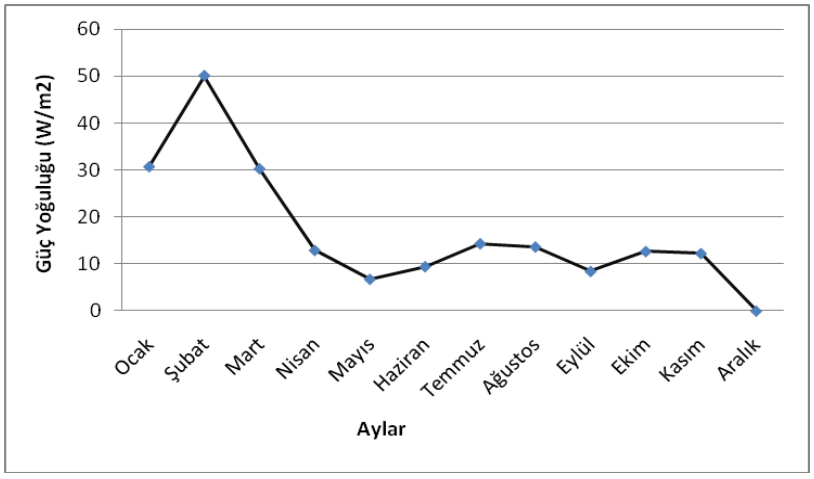
Şekil 3.15 Afyonkarahisar merkez istasyonu 2011 yılı verileri için güç yoğunluğu

Şekil 3.15’ de Afyonkarahisar merkez istasyonu 2011 yılı için Rayleigh dağılımı ile hesaplanan güç yoğunluğu değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.26 Dinar istasyonu 2010 yılı verileri için Rayleigh parametre, hız ve güç tahminleri

Aylar	c	v_m (m/s)	σ (m/s)	$f_w(v)$	$F_w(v)$	$V_{enolası}$ (m/s)	$V_{max\ E}$ (m/s)	P/A (w/m^2)
Ocak	3.3519	2.9705	1.1306	0.0122	0.9964	2.3701	4.7403	30.6872
Şubat	3.9453	3.4965	1.3308	0.0016	0.9996	2.7898	5.5795	50.0431
Mart	3.3355	2.9561	1.1251	0.0128	0.9962	2.3586	4.7172	30.2411
Nisan	2.5111	2.2254	0.8470	0.1073	0.9573	1.7756	3.5512	12.9030
Mayıs	2.0239	1.7936	0.6827	02610	0.8710	1.4311	2.8622	6.7556
Haziran	2.2633	2.0058	0.7634	0.1747	0.9228	1.6004	3.2009	9.4482
Temmuz	2.5999	2.3041	0.8769	0.0885	0.9659	1.8384	3.6768	14.3205
Ağustos	2.5567	2.2658	0.8624	0.0973	0.9619	1.8078	3.6157	13.6180
Eylül	2.1797	1.9317	0.7352	0.2026	0.9070	1.5413	3.0826	8.4392
Ekim	2.4954	2.2115	0.8417	0.1109	0.9556	1.7645	3.5291	12.6631
Kasım	2.4665	2.1858	0.8319	0.1178	0.9522	1.7440	3.4881	12.2269
Aralık								

Çizelge 3.26’ da Dinar istasyonu 2010 yılı saatlik rüzgâr hızı verilerinin Rayleigh dağılımına göre analizi görülmektedir. Yapılan hesaplamaya göre en yüksek enerji yoğunluğu şubat ayında en düşük enerji yoğunluğu ise mayıs ayında elde edilmiştir.



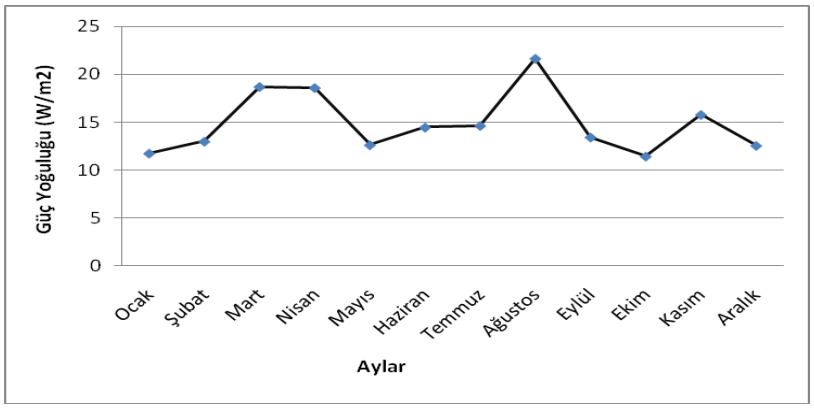
Şekil 3.16 Dinar istasyonu 2010 yılı verileri için güç yoğunluğu

Şekil 3.16’ da Dinar istasyonu 2010 yılı için Rayleigh dağılımı ile hesaplanan güç yoğunluğu değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.27 Dinar istasyonu 2011 yılı verileri için Rayleigh parametre, hız ve güç tahminleri

Aylar	c	v_m (m/s)	σ (m/s)	$f_w(v)$	$F_w(v)$	$V_{enolası}$ (m/s)	$V_{max\ E}$ (m/s)	P/A (w/m^2)
Ocak	2.4355	2.1584	0.8215	0.1255	0.9485	1.7222	3.4443	11.7723
Şubat	2.5180	2.2315	0.8493	0.1057	0.9580	1.7805	3.5610	13.0098
Mart	2.8427	2.5193	0.9589	0.0500	0.9824	2.0101	4.0202	18.7198
Nisan	2.8373	2.5145	0.9570	0.0507	0.9821	2.0063	4.0126	18.6134
Mayıs	2.4946	2.2108	0.8414	0.1111	0.9555	1.7640	3.5279	12.6507
Haziran	2.6098	2.3128	0.8803	0.0866	0.9668	1.8454	3.6908	14.4843
Temmuz	2.6201	2.3220	0.8837	0.0847	0.9677	1.8527	3.7053	14.6563
Ağustos	2.9847	2.6451	1.0067	0.0347	0.9884	2.1105	4.2210	21.6665
Eylül	2.5462	2.2565	0.8588	0.0996	0.9609	1.8004	3.6009	13.4514
Ekim	2.4136	2.1390	0.8141	0.1311	0.9457	1.7067	3.4134	11.4577
Kasım	2.6869	2.3812	0.9063	0.0727	0.9729	1.8999	3.7998	15.8066
Aralık	2.4898	2.2065	0.8398	0.1122	0.9549	1.7605	3.5211	12.5768

Çizelge 3.27’ de Dinar istasyonu 2011 yılı saatlik rüzgâr hızı verilerinin Rayleigh dağılımına göre analizi görülmektedir. Yapılan hesaplamaya göre en yüksek enerji yoğunluğu ağustos ayında en düşük enerji yoğunluğu ise ekim ayında elde edilmiştir.



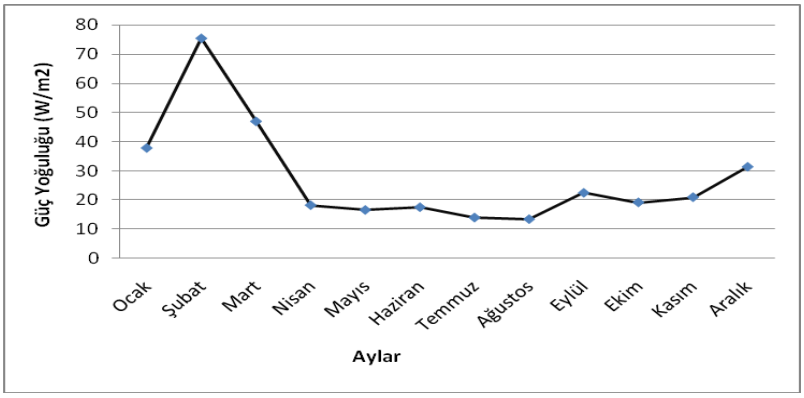
Şekil 3.17 Dinar istasyonu 2011 yılı verileri için güç yoğunluğu

Şekil 3.17’ de Dinar istasyonu 2011 yılı için Rayleigh dağılımı ile hesaplanan güç yoğunluğu değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.28 Sultandağı istasyonu 2010 yılı verileri için Rayleigh parametre, hız ve güç tahminleri

Aylar	c	v_m (m/s)	σ (m/s)	$f_w(v)$	$F_w(v)$	$V_{enolası}$ (m/s)	$V_{max\ E}$ (m/s)	P/A (w/m^2)
Ocak	3.5943	3.1853	1.2124	0.0056	0.9984	2.5415	5.0831	37.8383
Şubat	4.5245	4.0098	1.5261	0.0001	1.0000	3.1993	6.3986	75.4770
Mart	3.8629	3.4234	1.3030	0.0022	0.9994	2.7315	5.4630	46.9717
Nisan	2.8173	2.4968	0.9503	0.0532	0.9811	1.9921	3.9842	18.2217
Mayıs	2.7295	2.4190	0.9207	0.0658	0.9759	1.9301	3.8601	16.5711
Haziran	2.7802	2.4639	0.9378	0.0583	0.9790	1.9659	3.9318	17.5119
Temmuz	2.5776	2.2843	0.8694	0.0934	0.9639	1.5226	3.6452	13.9548
Ağustos	2.5440	2.2546	0.8581	0.1000	0.9607	1.7989	3.5978	13.4170
Eylül	3.0205	2.6769	1.0188	0.0315	0.9896	2.1358	4.2717	22.4569
Ekim	2.8654	2.5394	0.9665	0.0472	0.9835	2.0261	4.0522	19.1704
Kasım	2.9514	2.6156	0.9955	0.0379	0.9872	2.0870	4.1739	20.9500
Aralık	3.3775	2.9932	1.1392	0.0113	0.9967	2.3882	4.7765	31.3961

Çizelge 3.28’ de Sultandağı istasyonu 2010 yılı saatlik rüzgâr hızı verilerinin Rayleigh dağılımına göre analizi görülmektedir. Yapılan hesaplamaya göre en yüksek enerji yoğunluğu şubat ayında en düşük enerji yoğunluğu ise ağustos ayında elde edilmiştir.



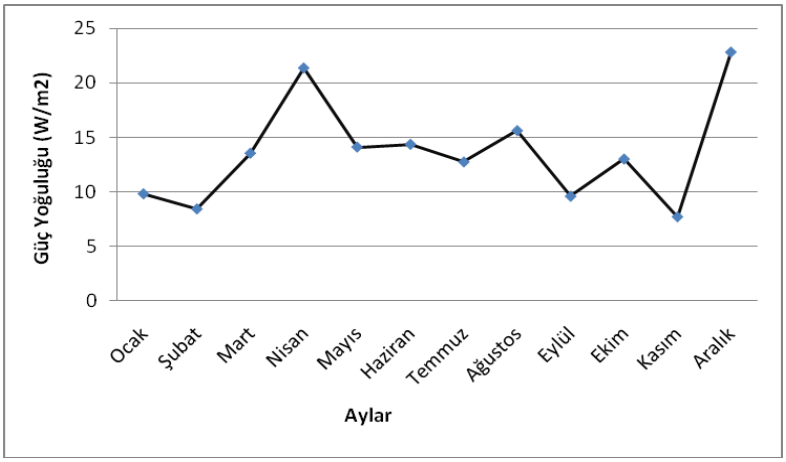
Şekil 3.18 Sultandağı istasyonu 2010 yılı verileri için güç yoğunluğu

Şekil 3.18' de Sultandağı istasyonu 2010 yılı için Rayleigh dağılımı ile hesaplanan güç yoğunluğu değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.29 Sultandağı istasyonu 2011 yılı verileri için Rayleigh parametre, hız ve güç tahminleri

Aylar	c	v_m (m/s)	σ (m/s)	$f_w(v)$	$F_w(v)$	$V_{enolası}$ (m/s)	$V_{max\ E}$ (m/s)	P/A (w/m^2)
Ocak	2.2949	2.0338	0.7741	0.1649	0.9282	1.6227	3.2454	9.8486
Şubat	2.1813	1.9332	0.7358	0.2021	0.9074	1.5424	3.0849	8.4578
Mart	2.5544	2.2638	0.8616	0.0978	0.9617	1.8062	3.6124	13.5816
Nisan	2.9730	2.6348	1.0028	0.0358	0.9880	2.1022	4.2045	21.4132
Mayıs	2.5892	2.2946	0.8734	0.0907	0.9650	1.8309	3.6617	14.1452
Haziran	2.6044	2.3081	0.8785	0.0877	0.9663	1.8416	3.6831	14.3946
Temmuz	2.5030	2.2182	0.8443	0.1091	0.9564	1.7699	3.5398	12.7788
Ağustos	2.6782	2.3735	0.9034	0.0742	0.9723	1.8937	3.7875	15.6534
Eylül	2.2774	2.0183	0.7682	0.1703	0.9252	1.6104	3.2208	9.6258
Ekim	2.5203	2.2336	0.8501	0.1052	0.9582	1.7821	3.5643	13.0454
Kasım	2.1172	1.8763	0.7141	0.2251	0.8937	1.4971	2.9942	7.7339
Aralık	3.0388	2.6931	1.0250	0.0300	0.9901	2.1488	4.2976	22.8674

Çizelge 3.29' da Sultandağı istasyonu 2011 yılı saatlik rüzgâr hızı verilerinin Rayleigh dağılımına göre analizi görülmektedir. Yapılan hesaplamaya göre en yüksek enerji yoğunluğu aralık ayında en düşük enerji yoğunluğu ise kasım ayında elde edilmiştir.



Şekil 3.19 Sultandağı istasyonu 2011 yılı verileri için güç yoğunluğu

Şekil 3.19’ da Sultandağı istasyonu 2011 yılı için Rayleigh dağılımı ile hesaplanan güç yoğunluğu değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.30 Afyonkarahisar Merkez, Dinar ve Sultandağı istasyonları 2010 yılı Weibull dağılımı k ve c değerleri ile Rayleigh c değerleri karşılaştırması

	Afyonkarahisar Merkez			Dinar			Sultandağı		
	2010			2010			2010		
	Weibull		Rayleigh	Weibull		Rayleigh	Weibull		Rayleigh
	k	*c*	*c*	*k*	*c*	*c*	*k*	*c*	*c*
Ocak	1.5451	2.2467	2.4634	1.4500	3.0202	3.3519	1.4238	3.1642	3.5943
Şubat	1.6473	2.6559	2.8169	1.4079	3.5272	3.9453	1.5080	4.1474	4.5245
Mart	1.6218	2.3371	2.4968	1.3435	2.8708	3.3355	1.4457	3.4414	3.8629
Nisan	1.8683	1.9547	1.9886	1.7018	2.4021	2.5111	1.8572	2.7644	2.8173
Mayıs	1.7287	2.0174	2.1076	1.5855	1.8809	2.0239	1.7348	2.6196	2.7295
Haziran	1.9622	2.2341	2.2384	1.5417	2.0888	2.2633	1.7557	2.6843	2.7802
Temmuz	2.9994	2.3315	2.2720	1.7381	2.5051	2.5999	2.0509	2.5925	2.5776
Ağustos	2.0532	2.1269	2.1145	1.6289	2.4085	2.5567	1.9494	2.5335	2.5440
Eylül	1.8854	2.0592	2.0894	1.6635	2.0641	2.1797	1.7558	2.9146	3.0205
Ekim	1.9211	1.8795	1.900	1.4995	2.2657	2.4954	1.5821	2.6527	2.8654
Kasım	1.6760	1.6391	1.7354	1.6311	2.3195	2.4665	1.4838	2.6564	2.9514
Aralık	1.6441	1.9545	2.0670	1.3869	2.7848		1.4289	2.9947	3.3775

Çizelge 3.30 ve Çizelge 3.31’ de Afyonkarahisar Merkez, Dinar ve Sultandağı istasyonları 2010 ve 2011 yılları Weibull dağılımı parametreleri olan *k* ve *c* değerleri ile Rayleigh *c* değerleri karşılaştırması verilmiştir.

Çizelge 3.31 Afyonkarahisar Merkez, Dinar ve Sultandağı istasyonları 2010 yılı Weibull dağılımı k ve c değerleri ile Rayleigh c değerleri karşılaştırması

	Afyonkarahisar Merkez			Dinar			Sultandağı		
	2011			2011			2011		
	Weibull		Rayleigh	Weibull		Rayleigh	Weibull		Rayleigh
	k	*c*	*c*	*k*	*c*	*c*	*k*	*c*	*c*
Ocak	2.0897	1.6283	1.6125	1.6187	2.2835	2.4355	1.5954	2.1358	2.2949
Şubat	1.9767	1.7071	1.7104	1.7552	2.4213	2.5180	1.6663	2.0625	2.1813
Mart	1.8013	1.9622	2.0169	1.5428	2.6150	2.8427	1.5816	2.3654	2.5544
Nisan	1.9758	2.2663	2.2726	1.4446	2.5252	2.8373	1.5747	2.7502	2.9730
Mayıs	1.8472	2.0343	2.0774	1.5969	2.3257	2.4946	1.8394	2.5351	2.5892
Haziran	1.9745	1.9826	1.9885	1.4858	2.3560	2.6098	1.8711	2.5606	2.6044
Temmuz	2.0987	2.1916	2.1762	1.7482	2.5294	2.6201	2.1731	2.5466	2.5030
Ağustos	2.1312	2.2841	2.2543	1.8275	2.9210	2.9847	1.9037	2.6459	2.6782
Eylül	1.8812	1.8973	1.8339	1.8254	2.4969	2.5462	2.0402	2.2885	2.2774
Ekim	1.8601	1.7308	1.7666	1.6658	2.2887	2.4136	1.5864	2.3379	2.5203
Kasım	1.8531	1.6641	1.6985	1.8194	2.6255	2.6869	1.8149	2.0654	2.1172
Aralık	1.7578	1.8200	1.8864	1.5666	2.3089	2.4898	1.3735	2.6289	3.0388

Weibull ve Rayleigh dağılımlarından hangisinin daha iyi modelleme yaptığının belirlenmesinde korelasyon katsayısı (R^2) kriteri kullanılmıştır. Bu kriter denklem 3.40 ile ifade edilmiştir (Kurban, 2007).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(y_i - z_i\right)^2 - \sum_{i=1}^{N}\left(y_i - x_i\right)^2}{\sum_{i=1}^{N}\left(y_i - z_i\right)^2} \tag{3.40}$$

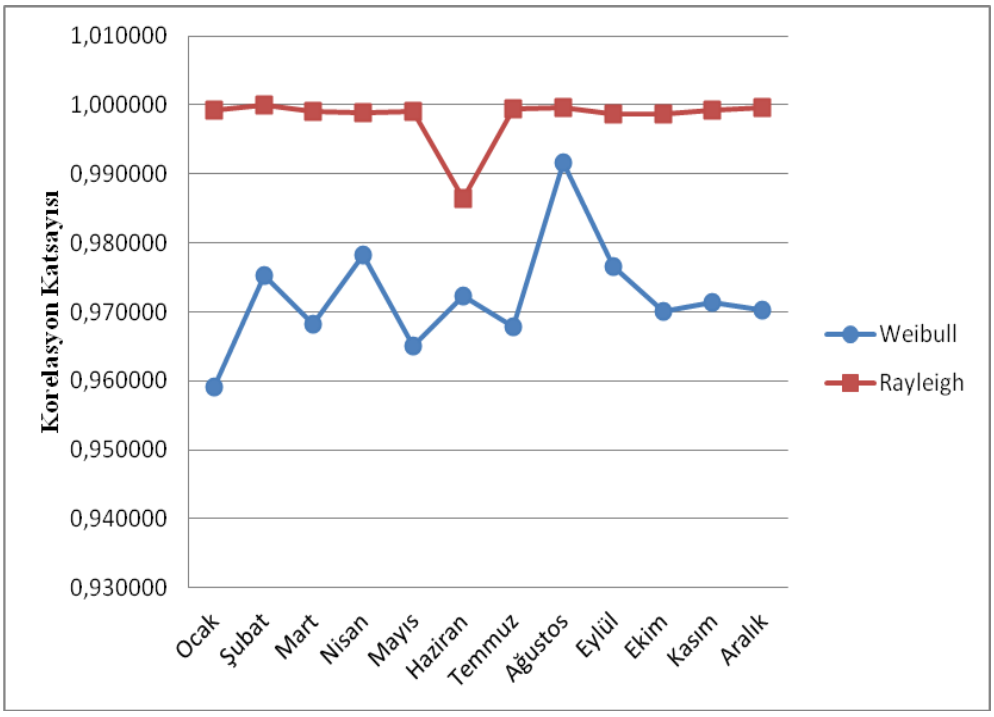
Burada y_i, *i.* rüzgâr hızı, x_i, *i.* Weibull veya Rayleigh dağılımından tahmin edilen veri, *N* toplam veri sayısı z_i, ortalama değeri ifade etmektedir. R^2, herhangi bir modelin tahmin gücünün ölçüsü olarak 0 ve 1 arasında değer alır ve 1'e yaklaşması kullanılan modelin tahmin gücünün arttığını ifade eder. Çizelge 3.19' da Afyonkarahisar merkez, Dinar ve Sultandağı istasyonları 2010 ve 2011 yılları için R^2 kriterine göre Weibull ve

Rayleigh dağılımlarının istatistiksel olarak karşılaştırılması verilmiştir. Karşılaştırmalar incelendiğinde incelenen bölgelerde Rayleigh dağılımının kullanımı daha uygun olduğu görülmektedir (Kurban, 2007).

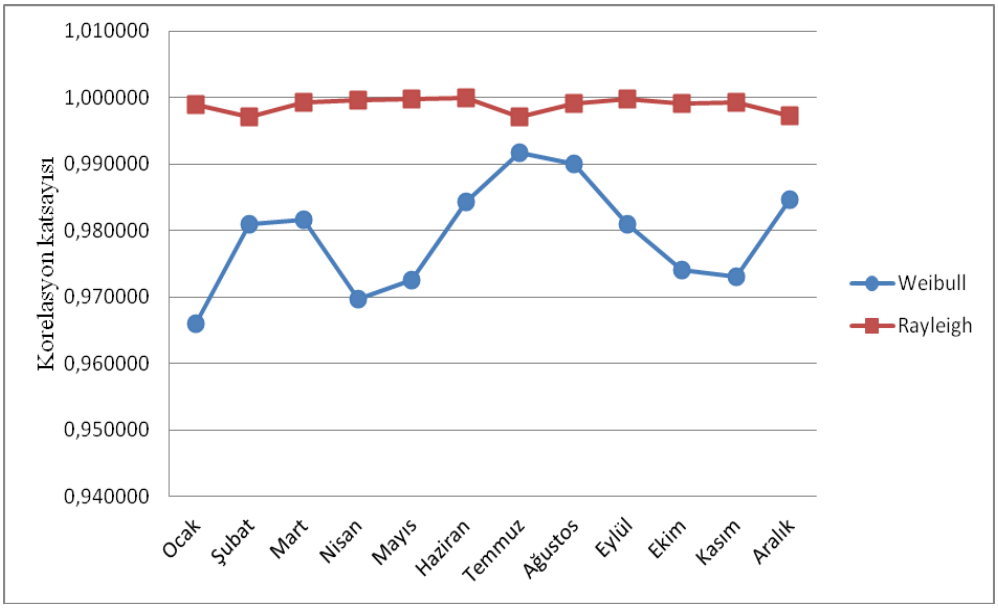
2010 yılı Afyonkarahisar merkez istasyonu (Şekil 3.20), Dinar İstasyonu (Şekil 3.22), Sultandağı istasyonu (Şekil 3.24) ve 2011 yılı Afyonkarahisar merkez istasyonu (3.21), Dinar istasyonu (Şekil 3.23) ve Sultandağı istasyonu (Şekil 3.25) için R^2 kriterine göre hesaplanan Weibull ve Rayleigh dağılımlarının istatistiksel grafikleri verilmiştir.

Çizelge 3.32 Weibull ve Rayleigh dağılımlarıyla ölçülen olasılık dağılımlarının karşılaştırılması

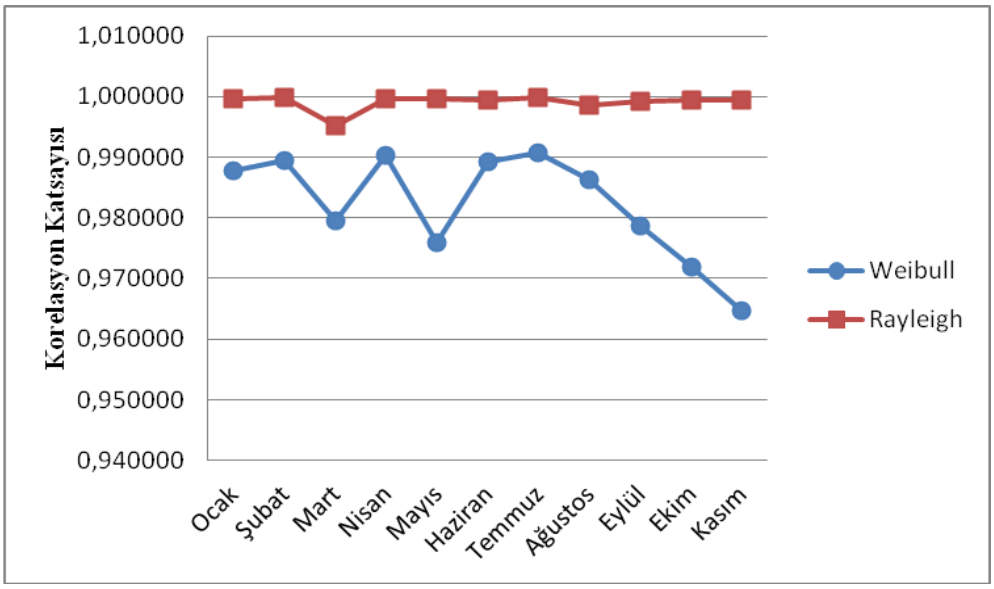
Aylar		Afyonkarahisar Merkez İstasyonu		Dinar İstasyonu		Sultandağı İstasyonu	
	Yıl	2010	2011	2010	2011	2010	2011
Ocak	Weibull	0.959150	0.965903	0.987846	0.973989	0.979434	0.986696
	Rayleigh	0.999200	0.999000	0.999700	0.994600	0.996600	0.999500
Şubat	Weibull	0.975221	0.980979	0.989445	0.982632	0.979933	0.982163
	Rayleigh	0.999900	0.997100	0.999800	0.998800	0.999900	0.998500
Mart	Weibull	0.968155	0.981614	0.979453	0.970742	0.978506	0.980803
	Rayleigh	0.999000	0.999300	0.995300	0.999700	0.998900	0.999100
Nisan	Weibull	0.978244	0.969711	0.990276	0.970249	0.987743	0.989593
	Rayleigh	0.998800	0.999600	0.999700	0.999900	0.999700	0.999500
Mayıs	Weibull	0.965064	0.972474	0.975929	0.976987	0.976001	0.991514
	Rayleigh	0.999100	0.999800	0.999600	0.997900	0.996800	0.999800
Haziran	Weibull	0.972228	0.984320	0.989293	0.960288	0.987703	0.987637
	Rayleigh	0.986400	0.999900	0.999400	0.999800	0.996400	0.999900
Temmuz	Weibull	0.967931	0.991693	0.990740	0.976561	0.995171	0.994240
	Rayleigh	0.999500	0.997100	0.999900	0.999700	0.998700	0.996900
Ağustos	Weibull	0.991579	0.990081	0.986330	0.988275	0.987275	0.986634
	Rayleigh	0.999700	0.999100	0.998600	0.999200	0.987400	0.999800
Eylül	Weibull	0.976561	0.980974	0.978766	0.980963	0.980800	0.995092
	Rayleigh	0.998700	0.999700	0.999200	0.977300	0.998600	0.997500
Ekim	Weibull	0.969980	0.974030	0.971845	0.972879	0.984272	0.985782
	Rayleigh	0.998600	0.999100	0.999400	0.999000	0.999300	0.999900
Kasım	Weibull	0.971382	0.972974	0.964693	0.977966	0.976033	0.988424
	Rayleigh	0.999200	0.999300	0.999500	0.997600	0.988800	0.999700
Aralık	Weibull	0.970196	0.984615	0.000000	0.971347	0.978765	0.987275
	Rayleigh	0.999700	0.997200	0.000000	0.999500	0.999700	0.998200



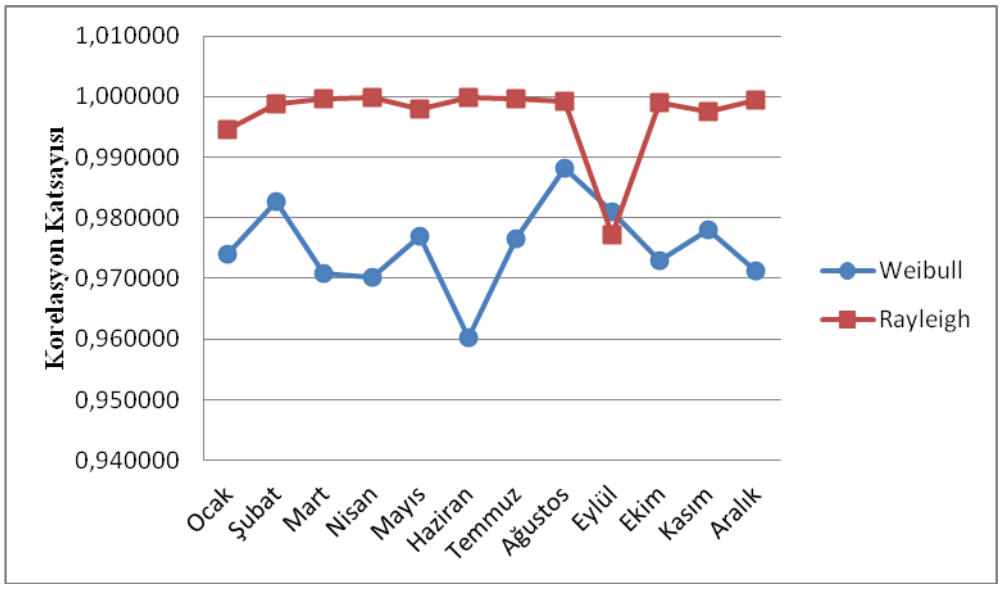
Şekil 3.20 Afyonkarahisar merkez istasyonu 2010 yılı R^2 kriterine göre Weibull ve Rayleigh karşılaştırılması



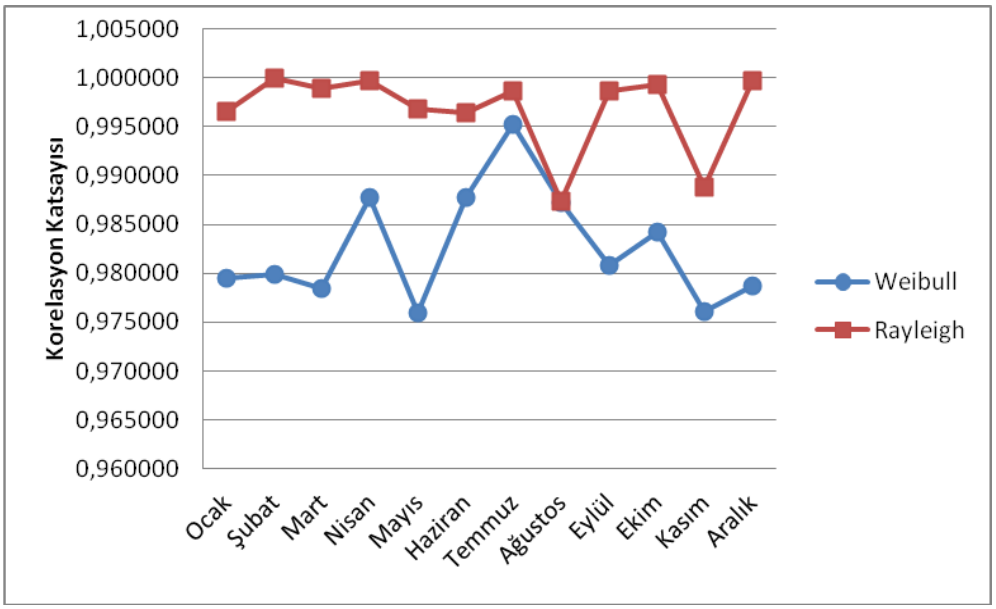
Şekil 3.21 Afyonkarahisar merkez istasyonu 2011 yılı R^2 kriterine göre Weibull ve Rayleigh karşılaştırılması



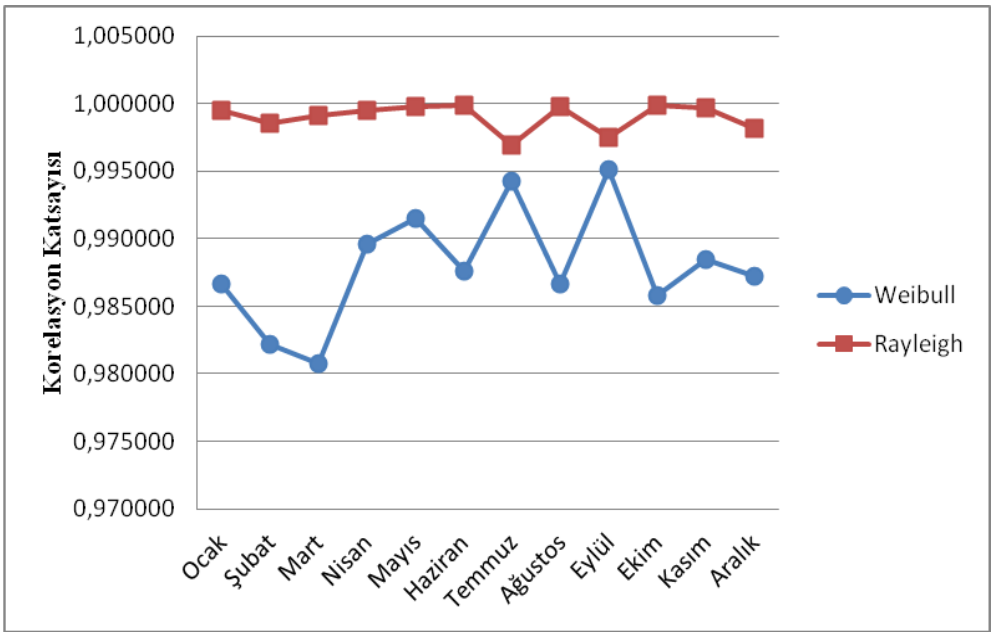
Şekil 3.22 Dinar istasyonu 2010 yılı R^2 kriterine göre Weibull ve Rayleigh karşılaştırılması



Şekil 3.23 Dinar istasyonu 2011 yılı R^2 kriterine göre Weibull ve Rayleigh karşılaştırılması



Şekil 3.24 Sultandağı istasyonu 2010 yılı R^2 kriterine göre Weibull ve Rayleigh karşılaştırılması



Şekil 3.25 Sultandağı istasyonu 2011 yılı R^2 kriterine göre Weibull ve Rayleigh karşılaştırılması

4. ÖNERİLER

4.1 Sonuç

Artan dünya nüfusu ve sanayileşme fosil kökenli enerji kaynaklarının tükenme kaygısını gün geçtikçe arttırıyor. Bununla beraber fosil kökenli enerji kaynaklarının zarar da çok açıktır. Fosil kökenli kaynakların tükenme kaygısı ve çevre tehdidi yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini arttırmış ve çevre dostu olan bu enerji kaynaklarının kullanımı hakkında yeni adımlar atılmasını kaçınılmaz kılmıştır. Bu çalışmada Afyonkarahisar ilinin yenilenebilir enerji potansiyeli incelenmiştir.

Afyonkarahisar ili jeotermal enerji bakımından zengin bir potansiyele sahiptir. Jeotermal enerji kaynağının daha çok turizm ve ısıtma amacıyla kullanıldığı görülmektedir. İl sınırları içerisinde 4 adet jeotermal saha bulunmaktadır. Bu sahalarda toplam 12 kaynak ile 46 adet kuyu bulunmaktadır. Bu kuyuların ortalama sıcaklıkları 30oC'nin üzerindedir. Daha çok kaplıca olarak kullanılan bu kaynaklar son zamanlarda Afyonkarahisar İl Özel İdaresi tarafından kurulan AFJET (Afyonkarahisar Jeotermal Isıtma Tesisleri) şirketinin çalışmalarıyla kentin ısıtılması amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. İlde jeotermal kaynaklardan elektrik enerjisi üretimi henüz gerçekleştirilememiştir. Bölgenin jeotermal enerji potansiyeli dikkate alındığında elektrik enerjisi üretimi için gerekli yatırımların yapılması gerekmektedir.

Afyonkarahisar ili güneş haritası incelendiğinde ilin güney kesimlerinin kuzey kesimlerine göre daha yüksek enerji radyasyonuna sahip olduğu görülmektedir. Afyonkarahisar toplam yıllık ortalama güneşlenme süresi 2587 saat ve günlük ortalama 7 saat ile Türkiye günlük ortalama güneşlenme süresi olan 7,2 saate çok yakın ortalama güneşlenme süresine sahiptir. Güney kesiminde bulunan ilçelerin günlük ortalama güneşlenme süreleri Türkiye ortalamasının üzerindedir. Afyonkarahisar ili yıllık ortalama güneşlenme süresi Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü İl Bazlı Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasından yararlanılarak elde edilmiştir.

Biyokütle enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimi çalışmaları 2012 yılı içerisinde üretime başlayan tesisle devam etmektedir. Bu tesis saatte 1,2 MW'lık elektrik enerjisi üretim kapasitesine sahiptir. Tesis Arel Enerji A.Ş. tarafından işletilmektedir. Arel Enerji tarafından yapılması planlanan ek tesisle üretim kapasitesinin iki katına çıkarılması hedeflenmektedir.

Bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyeli il sınırları içerisinde bulunan üç farklı istasyondan 10 metre yükseklikte ölçülen saatlik rüzgâr hızı verileri Weibull dağılımı kullanılarak incelenmiştir. Saatlik rüzgâr hızı verileri, 2010 ve 2011 yıllarını kapsayacak şekilde Afyonkarahisar merkez, Dinar ve Sultandağı istasyonları için Afyonkarahisar Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınmıştır. Verilerin analizi için iki parametreli Weibull ve Rayleigh dağılımları kullanılmıştır. En Yüksek Olabilirlik Yöntemi (EYO) kullanılarak şekil ve ölçek parametreleri elde edilmiştir. Şekil ve ölçek parametreleri kullanılarak her istasyon için 2010 ve 2011 yılları için aylık rüzgâr güç yoğunluğu hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda en yüksek güç yoğunluğu değeri Sultandağı istasyonu 2010 yılı şubat ayında elde edilmiştir. Bu değeri Dinar istasyonu 2010 yılı şubat ayı izlemektedir. İncelenen tüm istasyonların 2010 ve 2011 yılları güç yoğunluğu değerleri karşılaştırıldığında Dinar ve Sultandağı istasyonlarında daha yüksek güç yoğunluğu değerleri elde edilmiştir.

Weibull ve Rayleigh hata analizleri sonucunda rayleigh dağılımı ile yapılan hesaplamalar daha iyi sonuç vermiştir. Meteoroloji istasyonunda yapılan bakım ve onarımlardan dolayı bazı aylarda her saatte rüzgar hızı verileri tespit edilememiştir. Bundan dolayı Weibull hata analizi bazı aylarda Rayleigh dağılımından daha iyi sonuç vermiştir. Rüzgar hızı verileri ne kadar sıklıkla kaydedilirse hata miktarı bu oranda değişecektir. Çünkü şekil parametresi (k) rüzgar hızındaki dalgalanmayı ifade eder.

Dinar bölgesinde yapılan çalışmalar sonucunda 22 adet rüzgâr türbini kurulmaya karar verilmiştir. Her bir türbin 2,3 MW'lık elektrik enerjisi üretebilecek. Projenin 2013 yılında üretime geçmesi planlanıyor. Güç yoğunluğu değerleri incelendiğinde Sultandağı bölgesi de yatırım için elverişli görünmektedir. Fakat rüzgâr enerjisi yatırımları için tek şart güç yoğunluk değerleri değildir. Bölgenin arazi koşulları da göz önünde bulundurulmalıdır.

Afyonkarahisar ili yenilenebilir enerji kaynaklarının enerjiye dönüştürülmesi ile ilgili yapılan yatırımların genişletilmesi ve yeni yatırımların gerçekleştirilmesi bölge enerjisine çok katkıda bulunacaktır. Biyoenerji, rüzgâr enerjisi ve jeotermal enerji alanında yatırımlarda bulunan şirketlerin sayılarının arttırılması gerekmektedir. Bununla beraber birçok kurum ve kuruluş tarafından faaliyetleri desteklenen Afyon Kocatepe Üniversitesi Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Uygulama ve Araştırma Merkezinin (GURAM) çalışmaları büyük önem taşımaktadır.

4.2 Öneriler

Bir bölgeye rüzgar enerjisi santrali kurulabilmesi için o bölgenin rüzgar gücü yoğunluğunun 50 w/m2' nin üzerinde olması gerekir. Afyonkarahisar Merkez, Dinar ve Sultandağı istasyonları 2010 ve 2011 yılı verileri analizi sonucunda elde edilen güç değerleri incelendiğinde ölçümlerin gerçekleştirildiği alanlarda rüzgar enerjisi santrali kurulması değildir. Bununla beraber bahsedilen istasyonların bulunduğu ilçelerin farklı bölgelerinde rüzgar enerjisi santrali kurulumuna uygun yerlerin bulunması olasıdır. Bu bağlamda Dinar' da yapılan çalışmalar sonucunda 22 adet santralin kurulması uygun görülmüştür.

KAYNAKLAR

Akan, B. ve Süer, S., 2009, Afyon İlinde Yer Alan Jeotermal Sahaların İncelenmesi, *Termal ve Maden Suları Konferansı*, İstanbul, 92-99.

Akdağ, S. A., 2008, Rüzgâr Enerji Potansiyeli ve Ekonomik Analizde Weibull Dağılımının Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü Enerji Enstitüsü*, İstanbul, 39.

Apaydın, M., Üstün, A. K., Kurban, M. ve Filik, Ü. B., 2009, Rüzgâr Enerjisinde Kullanılan Jeneratörlerin Karşılaştırmalı Analizi, *V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Diyarbakır, 103.

Cerit, B. ve Yılmaz, B., 2005, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Rüzgâr Enerjisinin Elektrik Enerjisi Potansiyeli Üzerine Bir Araştırma, *EMO-lll. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Mersin, 2.

Çakar, M. C., Firik, Ü. B., ve Kurban, M., 2009, Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Ulaşım Sistemlerinde Kullanım Uygulaması, *V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Diyarbakır, 237-241.

Çuhadaroğlu, İ., Uyaroğlu, Y., Yalçın, M. A., Pehlivan, İ., ve İmal, N., 2007, Hidrojen Enerjisi ve Yakıt Hücreleri Teknolojisi, *EMO-lV. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Gaziantep, 98-100.

Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı 2011 Yılı Faaliyet Raporu, http://www.mta.gov.tr/v2.0/daire-baskanliklari/enerji/, [Ziyaret Tarihi: 10 Aralık 2012], Ankara, 39.

Gırbalar, Ö., E., 2009, Heybeli (Kızılkilise) Jeotermal Sahası Kuyuları Sıcaklık, Basınç ve Test Verileri Üzerine Bir Değerlendirme, *Termal ve Maden Suları Konferansı*, İstanbul, 184.

Hocaoğlu, F.O., Kurban, M. ve Filik, Ü. B., 2007, WAsP yazılımı ile rüzgâr potansiyeli analizi ve uygulama, *EMO-lV. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Gaziantep, 30.

http://tr.wikipedia.org/ [Ziyaret Tarihi: 15 Eylül 2012].

http://www.afyon-bld.gov.tr/tr/Default.aspx [Ziyaret Tarihi: 20 Aralık 2012].

http://www.dmi.gov.tr/2006/arastirma/arastirmaarastirma.aspx?subPg=107& Ext=htm [Ziyaret Tarihi: 31 Eylül 2011].

http://www.dsi.gov.tr/ [Ziyaret Tarihi: 1 Kasım 2012].

http://www.eie.gov.tr [Ziyaret Tarihi: 31 Eylül 2011].

http://www.eie.gov.tr [Ziyaret Tarihi: 28 Aralık 2012].

http://www.mta.gov.tr/v2.0/dairebaskanliklari/enerji/index.php?id=jeotermal_ potansiyel [Ziyaret Tarihi: 28 Aralık 2012].

http://www.ogm.gov.tr/dokumanlar/biyoenerjiraporu0209.pdf [Ziyaret Tarihi: 14 Kasım 2011].

http://www.teias.gov.tr/T%C3%BCrkiyeElektrik%C4%B0statistikleri/istatistik2011/istatistik%202011.htm [Ziyaret Tarihi: 24 Aralık 2012].

http://www.unido-ichet.org/index.php/en/about-us [Ziyaret Tarihi: 15 Kasım 2012].

http://www2.dsi.gov.tr/hizmet/topraksu.swf. [Ziyaret Tarihi: 13 Kasım 2011].

İçten, O., 2011, Sorgum Biyokütlesinden Sulu Faz Reformlama İle Hidrojen Gazı Elde Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 7.

İklim Değişikliği ve Biyoenerji Çalışma Grubu Müzakere Belgeleri:1, 2120, *Orman Biyokütlesi ve Biyoenerji Çalıştayı*, Ankara, 19.

İmamoğlu, M. Ş., 2009, Tektonik Yapısı ve Stratigrafisi Işığında Güneydoğu Anadolu Bölgesinin Jeotermal Enerji Potansiyelinin Değerlendirilmesi, *V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Diyarbakır, 161-163.

Jeotermal Enerjinin Seracılıkta Kullanımının Önündeki Engellerin Tespiti Projesi Araştırma Raporu 2012, http://www.geka.org.tr/, [Ziyaret Tarihi: 28 Aralık 2012], Ankara, 9.

Karamanderesi, İ. H., 2009, Afyonkarahisar Jeotermal Sahasının Jeolojik ve Mineralojik Evrimi, *Termal ve Maden Suları Konferansı*, İstanbul, 53.

Kaymakçıoğlu, F. ve Çirkin, T., 2005, Jeotermal Enerjinin Değerlendirilmesi ve Elektrik Üretimi, *EMO-lll. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Mersin, 1-4.

Kemik, E., 2009, Güney Ege Kalkınma Ajansı TR32 Jeotermal Kaynakları ve Jeotermal Enerji Santralleri Araştırma Raporu, http://www.geka.org.tr/, [Ziyaret Tarihi: 28 Aralık 2012], Denizli, 23.

Kıncay, O., Bekiroğlu, N., Yumutacı, Z., www.yildiz.edu.tr/~okincay/dersnotu/gunespilleri1bolum.pdf [Ziyaret Tarihi: 21 Aralık 2012], 3-4.

Köse, R., Tugcu, A., ve Yamık, A., 2004, Kütahya'da jeotermal enerji kullanımının irdelenmesi, *II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi Bildirisi Kitabı*, Kütahya, 278-283.

Kurban, M., Hocaoğlu, F. O., ve Kantar, Y. M., 2007, Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Tahmininde Kullanılan İki Farklı İstatistiksel Dağılımın Karşılaştırmalı Analizi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Denizli, 106.

MGM Afyonkarahisar 5. Bölge Müdürlüğü, Afyonkarahisar, 2012.

Orman Genel Müdürlüğü Biyoenerji Çalışma Grubu, *Orman Genel Müdürlüğü'nde Biyoenerji Konusunda Yapılan Çalışmalar*, Ankara, 2009, s.3-7.

Özbay, E. ve Gençoğlu, M. T., 2009, Hidroelektrik Santrallerin Modellenmesi, *V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Diyarbakır, 108-109.

Öztürk, N., Bilgiç, M., ve Arslan, C., 2005, Hidrojen Enerjisi ve Türkiye'deki Hidrojen Enerjisi Potansiyeli, *EMO-lll. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Mersin, 1-3.

Sarıkaya, U., 2010, Niğde ili yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli, Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, 1-52.

Topal, M. ve Arslan, E. I., 2008, Biyokütle Enerjisi ve Türkiye VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, *UTES'2008*, www.uteg.org/makaleler/turkiyede_biyokutle_biyoetanol.pdf, [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2011], İstanbul, 351.

Tutuş, A., 2005, Barajlar ve Hidroelektrik Santraller, *EMO-lll. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Mersin, 1-3.

Uluşahin, A., 2009, Enerji Gereksiniminde Bazı Gerçekler, Jeotermal Enerji ve Yasal Durum, *V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Diyarbakır, 155-158.

Ültanır, M. Ö., 1995, Hidrojen Enerjisi ve Türkiye'de Hidrojene Geçiş Sorunları, *Türkiye 6. Enerji Kongresi Teknik Oturum Bildirileri-1, Dünya Enerji Konseyi Türk Millî komitesi*, İzmir, 549-563.

Varınca, K. B., ve Gönüllü, M. T., 2006, Türkiye'de Güneş enerjisi potansiyeli ve Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yönetimi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, *I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, Eskişehir, 270-274.

Yılmaz, Ö., 1999, Afyonkarahisar' da Jeotermal Alanlar ve Kullanımı, *Jeotermal Enerji ve Afyon' da Kullanımı*, Afyonkarahisar, 308.

Yılmaz, U., 2008, Gökçeada'da Yenilenebilir Enerji Kaynaklarıyla Elektrik Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 24.

2011, Türkiye elektrik enerjisi 10 yıllık üretim kapasite projeksiyonu, *Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü APK Dairesi Başkanlığı*, Ankara, 40-50.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Ziya DEMİRKOL
Uyruğu	**:**	T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Kahta 18/07/1982
Telefon	**:**	541 569 24 48
Faks	**:**	
e-mail	**:**	ziyademirkol@gmail.com

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Söke Teknik Lisesi, Söke, Aydın	2000
Üniversite	:	Fırat Üniversitesi, Elektronik Eğitimi Merkez, Elazığ	2005
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üniversitesi, Elektronik-Bilgisayar Eğitimi,Konya	Devam ediyor
Doktora	:		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2007-2012	Rehber Dershanesi	Memur
2012	Tosya M.Y.O	Öğretim Görevlisi