



**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**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Ziya DEMİRKOL tarafından hazırlanan "Afyonkarahisar İli Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli" adlı tez çalışması 18/06/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

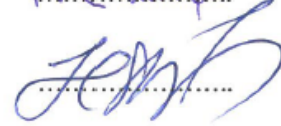
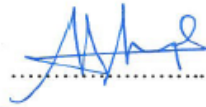
### Jüri Üyeleri

**Başkan**  
Doç Dr. Ali KAHRAMAN

**Danışman**  
Doç Dr. Mehmet ÇUNKAŞ

**Üye**  
Yrd. Doç. Dr. H. Erdinç KOÇER

### İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Aşır GENÇ  
FBE Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Ziya DEMİRKOL

Tarih:

## 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 artırılması 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

|  |            |
|--|------------|
| <b>ÖZET .....</b>  | <b>iv</b>  |
| <b>ABSTRACT.....</b>   | <b>v</b>   |
| <b>ÖNSÖZ .....</b>   | <b>vi</b>  |
| <b>İÇİNDEKİLER .....</b>   | <b>vii</b> |
| <b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>   | <b>ix</b>  |
| <b>ŞEKİLLER ve ÇİZELGELER TABLOSU.....</b>                                       | <b>xii</b> |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>  | <b>1</b>   |
| <b>2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE TÜRKİYE’NİN DURUMU....</b>              | <b>3</b>   |
| 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         |
| <b>3. AFYNKARAHİSAR İLİ YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI<br/>POTANSİYELİ.....</b> | <b>36</b>  |
| 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        |
| <b>4. ÖNERİLER .....</b>                                    | <b>85</b> |
| 4.1 Sonuç .....   | 85        |
| 4.2 Öneriler .....  | 87        |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                      | <b>88</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                       | <b>91</b> |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

|          |   |   |
|----------|---|---|
| $MW$     | : | Megawatt                                  |
| $kW$     | : | Kilowatt                                  |
| $Ej$     | : | Eksa joule                                |
| $TW$     | : | Terawatt                                  |
| $GWh$    | : | Gigawatt saat                             |
| $v$      | : | Rüzgâr hızı                               |
| $\rho$   | : | Hava yoğunluğu                            |
| $h_R$    | : | Referans alınan seviye yüksekliği         |
| $v_R$    | : | Referans seviyedeki rüzgâr hızı           |
| $m$      | : | Kütle                                     |
| $\rho$   | : | 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                          |
| $\alpha$ | : | 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             |
| $\Gamma$ | : | Gamma fonksiyonu                          |
| $V_m$    | : | Ortalama hız                              |
| $\sigma$ | : | 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 <sup>2</sup> 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                            | 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 kavramlarından biridir. 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 artırılması 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

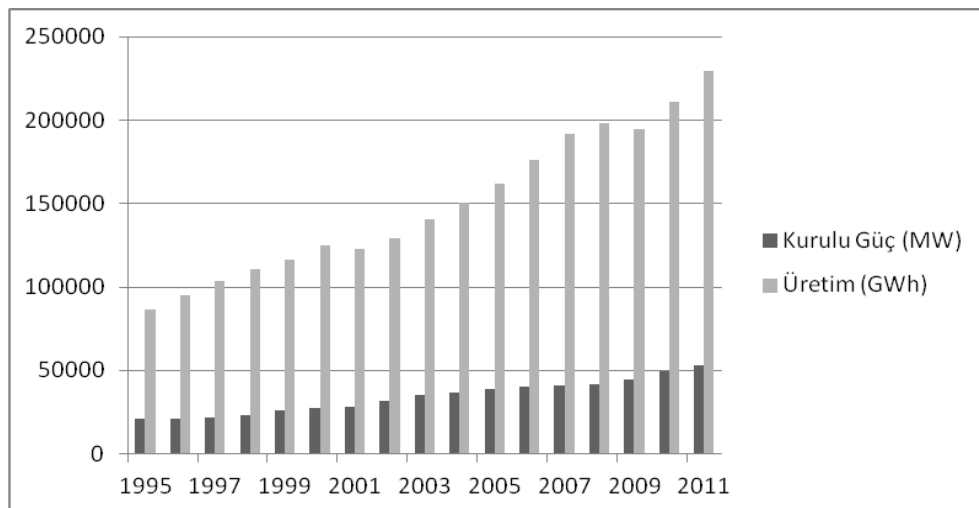
Türkiye’ nin enerji kaynakları incelendiğinde yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelinin azımsanmayacak derecede olduğu açıkça görülmektedir. Ancak temiz ve çevre dostu olan yenilenebilir enerjiden yeterince yararlandığımızı söyleyemeyiz. Özellikle güneş ve rüzgâr enerjisi potansiyeli bakımından 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).

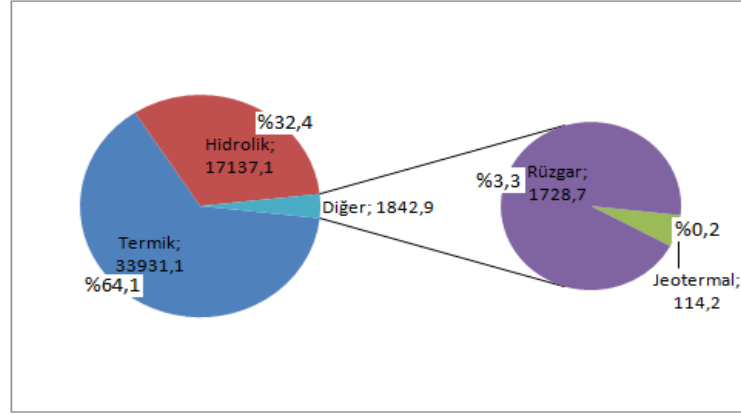
Çizelge 2.1 Türkiye Kurulu Güç ve Üretim Yıllar İtibariyle Gelişimi (Teiaş, 2012)

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

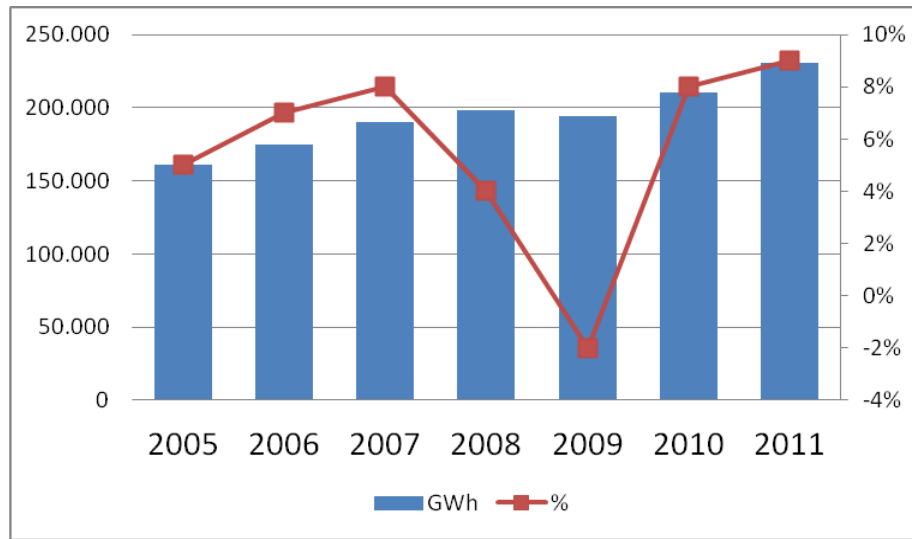
Şekil 2.2' de Türkiye' nin 2011 yılı kurulu gücü yüzdelik dilimler olarak gösterilmiştir.

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).

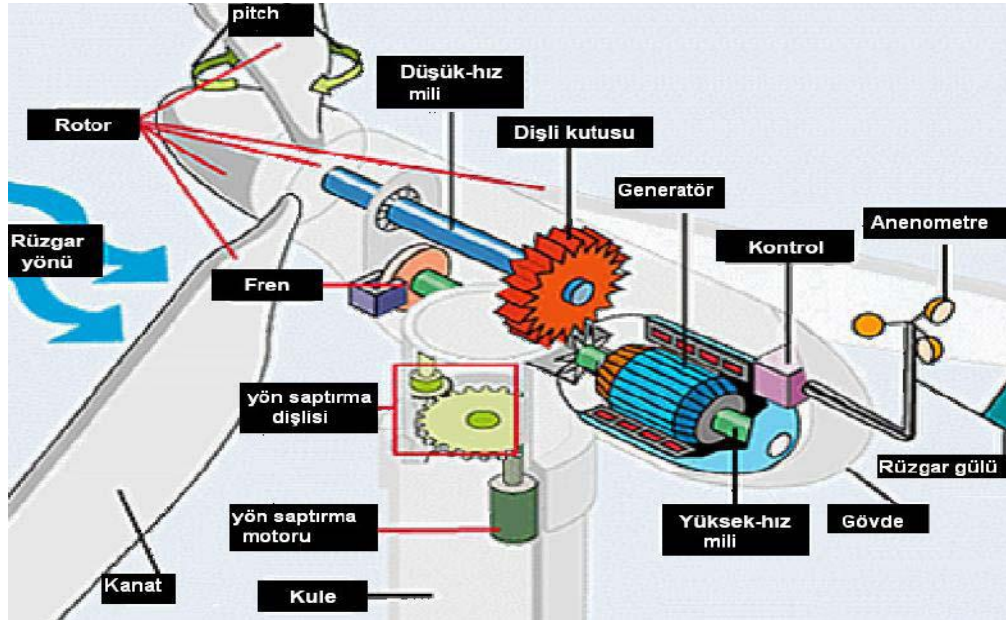
Rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretimi içinde bulunduğumuz yüzyıl başlarına dayanmaktadır. 1920 yılına kadar sadece 5 ile 25 KW'lık güçlerde üretim yapabilen türbinler kullanılmıştır. 1970'lerdeki dünya petrol kriziyle ortaya çıkan enerji sorunu sonrasında alternatif enerji kaynakları kullanımı 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 yenilenebilir 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).

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

Burada

$v_R$ : referans seviyedeki rüzgâr hızı,

$h_R$  : referans alınan seviye yüksekliği,

$\sigma$ : yüzey pürüzlülüğüne bağlı üstel katsayıdır ve denklem (2.2) ile gösterilir.

$$\sigma : 0.351 - 0.192 \log(v_R) \quad (2.2)$$

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

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

$\rho$ : Hava yoğunluğu olup  $1,225 \text{ (kg/m}^3\text{)}$  olarak alınabilir.

A: Kanatların tarama alanı ( $\text{m}^2$ )

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 ışınmasını 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).

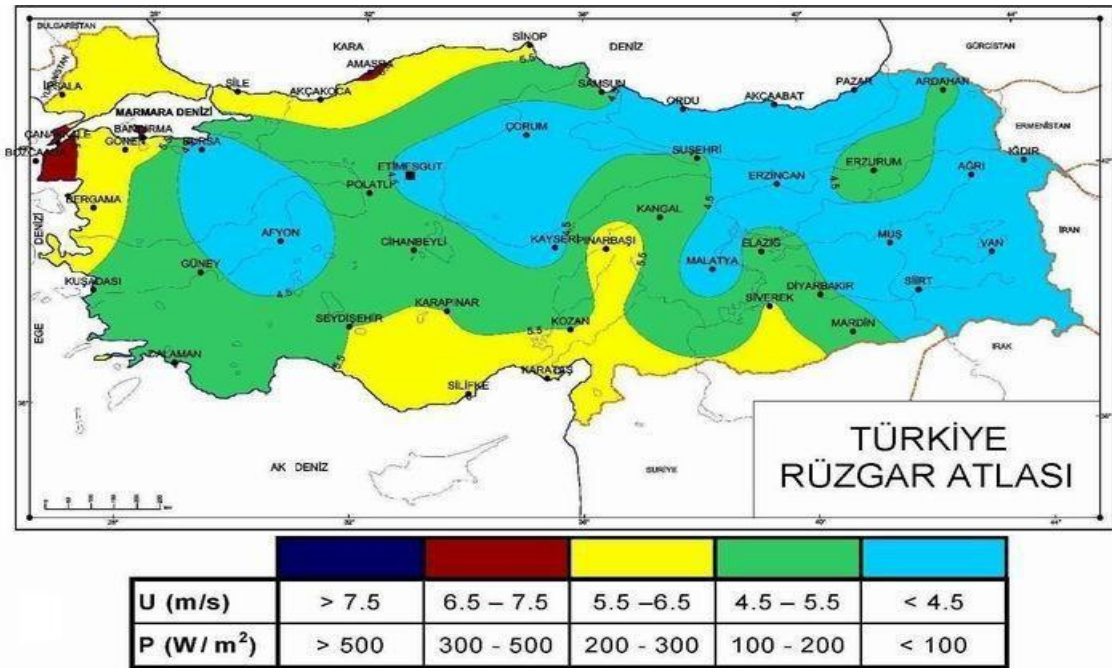
Rüzgâr türbinleri kısa sürede enerji ihtiyacını karşılamada önemli rol üstlenirler. Üç ay gibi çok kısa bir sürede kuruluşları sırasında sarf edilen enerjiyi üretebilecek potansiyele sahiptir. Rüzgâr enerjisinin bu kadar avantajına karşın bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajları görüntü 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 bulundurulurken 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  $24 \text{ w/m}^2$  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.



\* Açık yüzeyler için (yer düzeyinden 50 m yükseklikteki) rüzgâr potansiyeli sınıf aralıkları

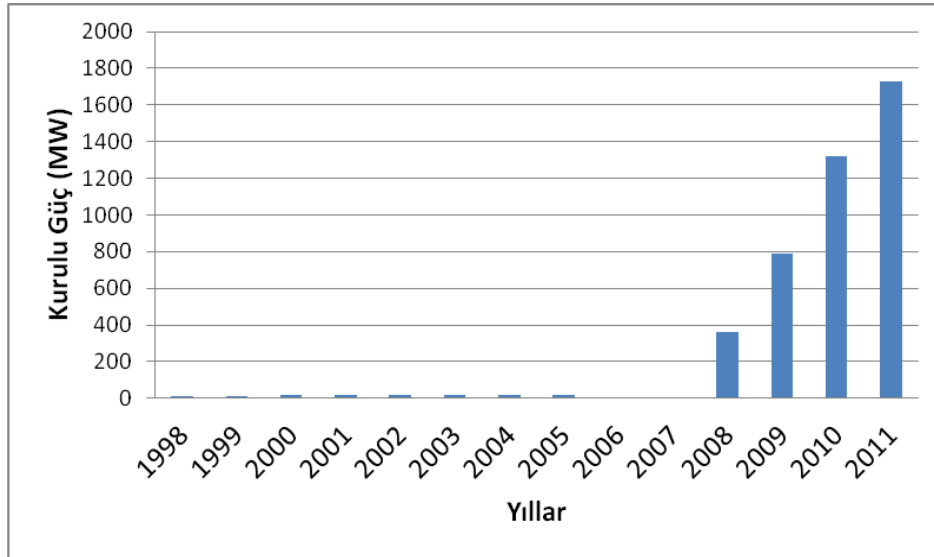
Şekil 2.6 Türkiye rüzgâr atlası (Sarıkaya, 2010)

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<br>(m/s) | ENERJİ YOĞUNLUĞU<br>(w/m <sup>2</sup> ) |
|-----------------|-------------------------|---|
| 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<sup>2</sup> ve güneydoğu Anadolu bölgesi 29,33 w/m<sup>2</sup> 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   | YUNDAĞ 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 ışınımının tamamı yer yüzeyine ulaşmaz. Işınımın 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 ışınımının %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 (CO<sub>2</sub>) 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°C yükseltmiştir. Dünya ortalama sıcaklığının 1°C yükselmesi, iklim kuşaklarında hissedilir değişimlere, 3°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**

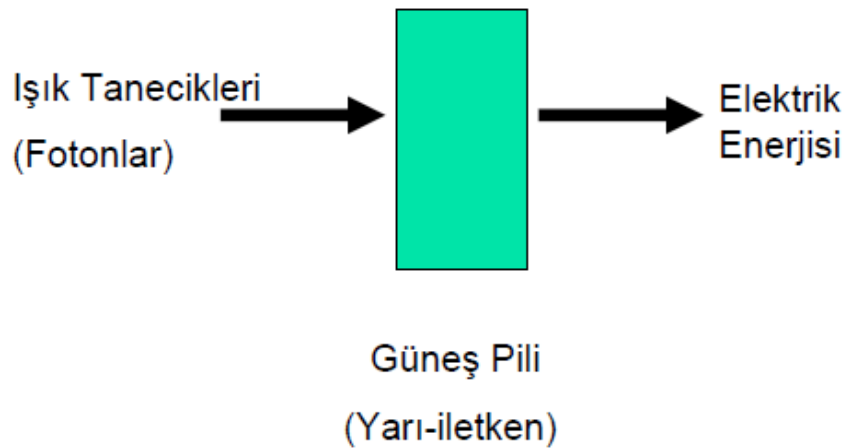
Yeryüzüne gelen güneş ışığından genel olarak ısı ve güneş enerjisi olarak yararlanılır. Isı ve elektrik enerjisi üreten güneş enerjisi sistemleri; teknoloji düzeyi, uygulama alanı, tasarım vb. bakımından çok çeşitlilik göstermektedir. Böyle olmakla beraber güneş enerjisi uygulamaları temel olarak termal 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 pildir. Termal güç santralleri, güneşi tek ekseninde izleyen doğrusal yoğunlaştırıcı (parabolik yansıtıcı oluk) ve çift ekseninde 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 oluşturulabilir alanları 100cm<sup>2</sup> 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 çevirimi verimleri pillerin yapılarına bağlı olarak %5 ile %20 arasında değişmektedir (Kıncay vd., 2012).



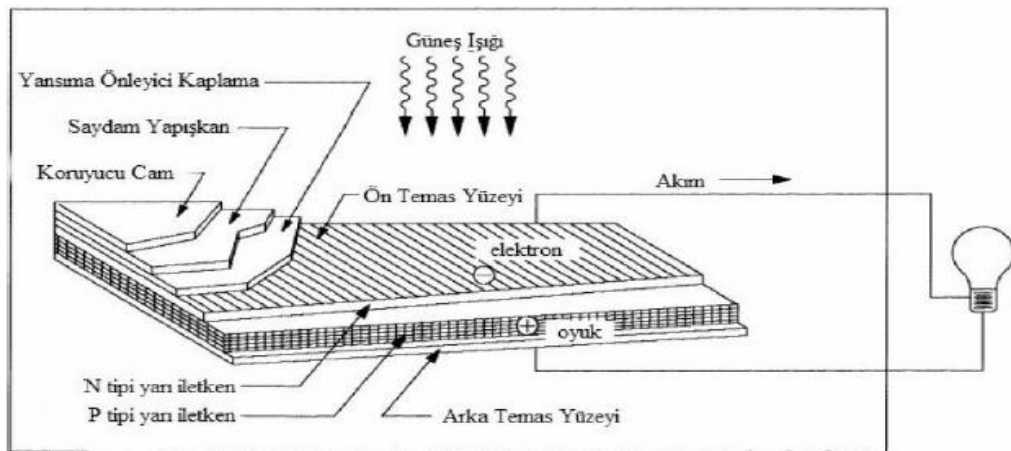
Şekil 2.8 Fotovoltaik sistem (Kıncay vd., 2012)

### 2.2.3 Güneş Pili Çalışma İlkesi

Güneş pili sistemleri elektrik enerjisinin gerekli olduğu hemen hemen her uygulamada rahatlıkla kullanılabilir. 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 kullanılabilirdiğinden 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).

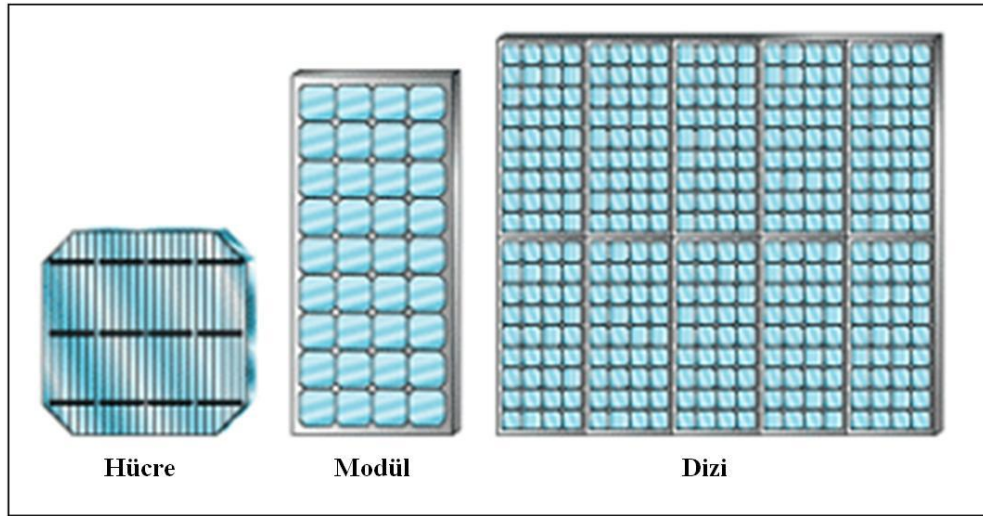
### 2.2.4 Fotovoltaik sistemlerin yapısı

Fotovoltaik hücre, yarıiletken malzemeden yapılarak 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 olanlardır. 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 taşıyıcılarıdır. 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/m<sup>2</sup>-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m<sup>2</sup>) 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)

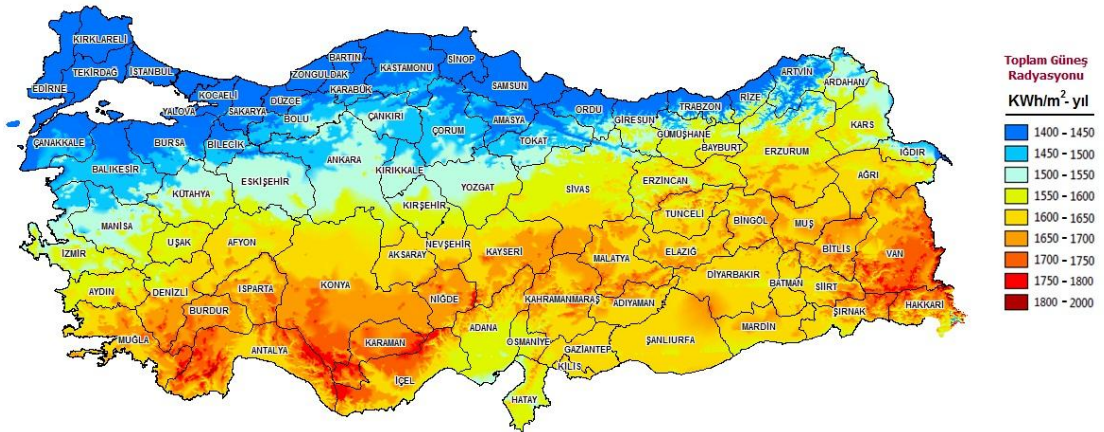
| Aylar    | Aylık Toplam Güneş Enerjisi    |                             | Güneşlenme Süresi<br>(saat/ay) |
|----------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
|          | (kcal/cm <sup>2</sup> -ay)     | kWh/m <sup>2</sup> -ay      |                                |
| 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 <sup>2</sup> -gün | 3.6 kWh/m <sup>2</sup> -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<sup>2</sup>-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 <sup>2</sup> -yıl | En çok güneş enerjisi (Haziran) kWh/m <sup>2</sup> | En az Güneş enerjisi (Aralık) kWh/m <sup>2</sup> | 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.

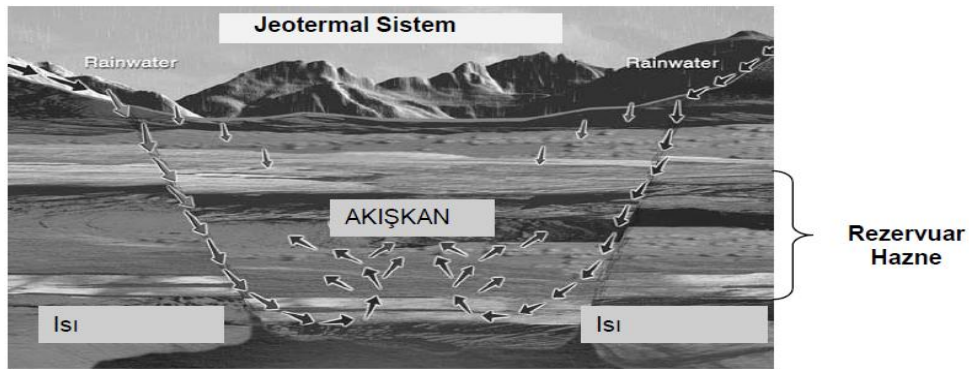


Şekil 2.11 Türkiye'nin yıllık ısı haritası (Eie, 2011)

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

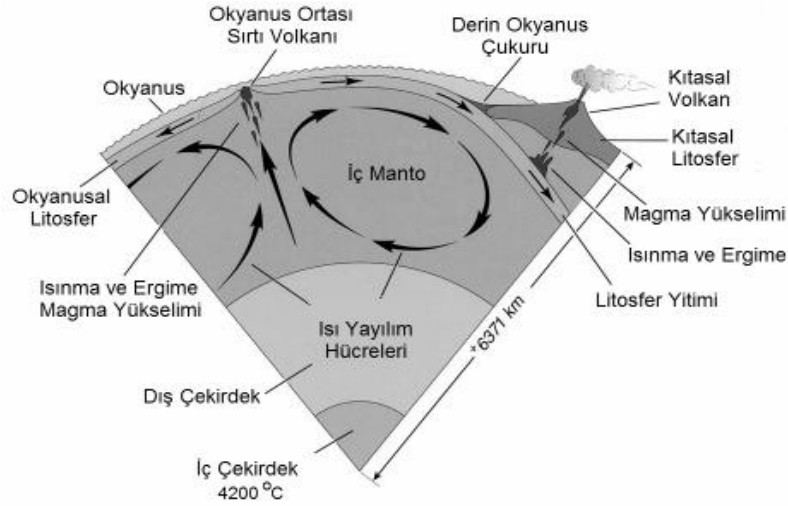
Jeotermal enerji yeryüzündeki su kanyonlarından beslenerek potansiyelini oluşturan ve yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde bulunan ısıyı oluşturduğu hidrotermal enerji olarak tanımlanabilir. Jeotermal enerji kaynaklarının sıcaklıkları atmosferik sıcaklığın üzerindedir. Jeotermal enerji kaynakları çevresindeki 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, yer kabuğunda 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 CO<sub>2</sub> 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 kullanılabilir. 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<sup>3</sup>, 2020 yılı hedefi olan 1.250.000 konuta ulaşıldığında ise 2,5 milyar m<sup>3</sup> 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                                    |
| <b>TOPLAM</b> | <b>2.811</b>   | <b>100</b>   | <b>599.612</b>                         | <b>100</b>                               |



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 kullanılabilir 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)

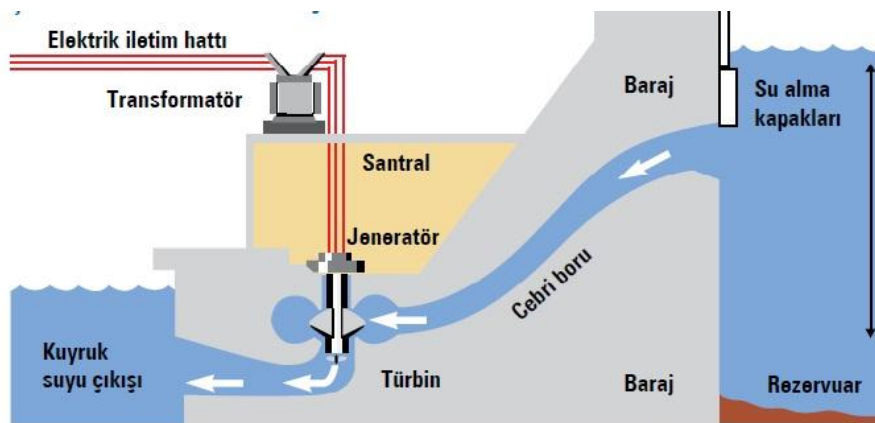
Çizelge 2.8 Jeotermal Enerji Kaynaklarından Elektrik Üretimini (2010) (Mta, 2012)

| 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<sup>3</sup> 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 sahip 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 yükseltılarak 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 tanınması, başta balıkçılık olmak üzere su ürünleri üretiminin artmasıyla ekonomik gelişme sağlanması, avcılığın gelişmesi, insanların rahat nefes alabilecekleri mesire yerleri sağlanması, toprak erozyonunu en aza indirip veya tamamen önleyerek toprak korunmasını sağlanması, iklimi olumlu yönde etkilemesi, iş imkanlarının gelişiminin sağlanması, 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 kaldırılabılır 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 501 milyar m<sup>3</sup> suya karşılık gelmektedir. 501 milyar m<sup>3</sup>'lük suyun 274 m<sup>3</sup>'ü buharlaşmalar yoluyla atmosfere geri dönmekte, 186m<sup>3</sup>'lük kısmı akışa geçerek nehirleri beslemekte ve 41 milyar m<sup>3</sup>'lük kısmı ise yer altı sularını beslemektedir. Ayrıca yılda ortalama 7 milyar m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> olmaktadır. Fakat günümüz teknik ekonomik şartlar bu su potansiyelinin 110 milyar m<sup>3</sup>'lük kısmını tüketmemize imkan tanımaktadır (Tutuş, 2005). Çizelge 2.9' da Türkiye'nin su kaynakları potansiyeli görülmektedir.

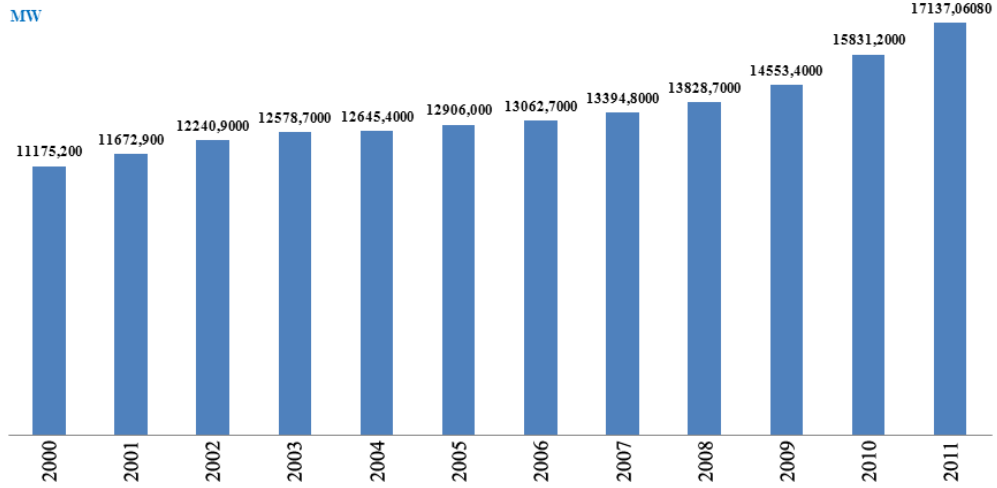
Çizelge 2.9 Türkiye'nin su kaynakları potansiyeli (Dsi, 2011)

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

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 suların olabildiğince yararlanmak için büyük barajlar tesis edilmelidir. Bu adımlar atılırken çevrenin olumsuz etkilenmesini önleyecek veya en aza indireyecek tedbirlerin önemle alınması gerekmektedir (Tutuş, 2005).

#### **2.4.2 Türkiye'nin Hidroelektrik Enerji Potansiyeli**

2011 yılı sonu itibarıyla 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.

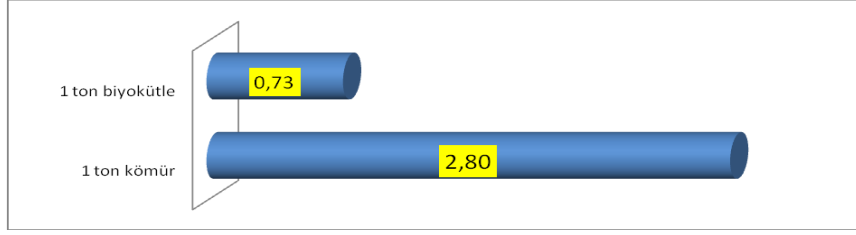
Çizelge 2.10 Türkiye hidroelektrik enerji kurulu gücün proje seviyelerine göre dağılımı (Dsi, 2012)

| 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.

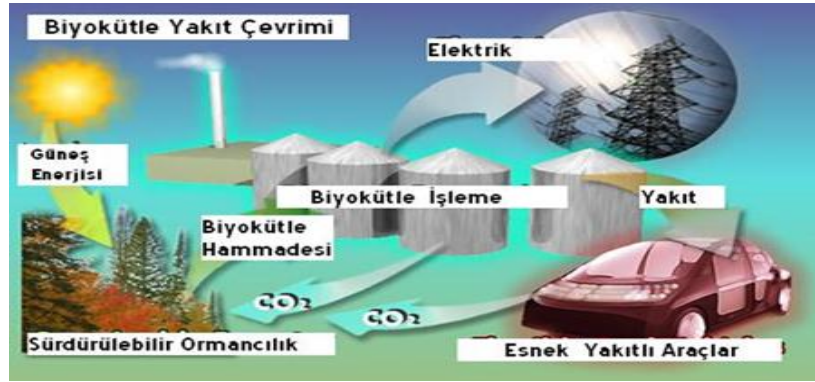
## 2.5 Biyokütle Enerjisi

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 CO<sub>2</sub> salınmakta, buna karşın bir ton odunsu bitkiden enerji elde edildiğinde atmosfere sadece 0.73 ton CO<sub>2</sub> 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).

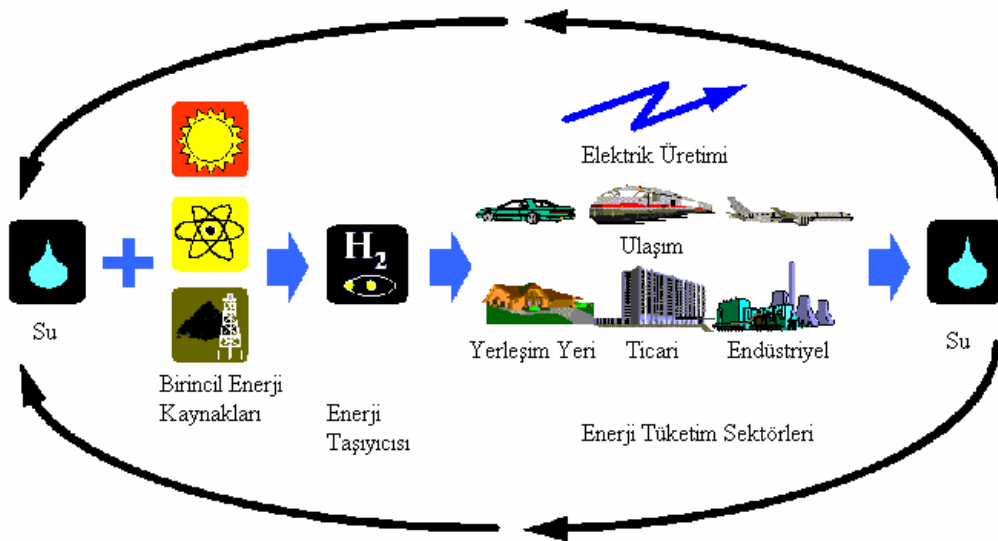
Türkiye'nin orman kaynaklı toplam atık miktarı 4.800.000 ton (1.5 MTEP) ve kurulabilecek gazlaştırma tesisi kapasitesi 600 MW' tır. Türkiye tarla ürünlerinden elde edilen 11.766.995 ton toplam kullanılabilir atık miktarı ile 228.4 PJ ısı enerjisi ve bahçe ürünlerinden elde edilen 3.569.040 ton toplam kullanılabilir atık miktarı ile 74.8 PJ ısı enerjisi potansiyeline sahiptir. Biyogaz üretim potansiyelimiz olan 1.5-2 Mtpe; 2.5-4 milyar m<sup>3</sup>; 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  $-252.77^{\circ}\text{C}$ '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 içerisinde 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<sub>2</sub>O) (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 artırıcı 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. AFYONKARAHİSAR İLİ YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI POTANSİYELİ

#### 3.1 Coğrafi Yapı

##### 3.1.1 Coğrafi Konum

Afyonkarahisar ili 37° 45 ve 39° 17 kuzey enlemi, 29° 40 ve 31° 43 doğu boylamı üzerinde yer alıp denizden yüksekliği 1034 metredir. İlin yüzölçümü 14570 km<sup>2</sup> 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°C olup en soğuk ay sıcaklık ortalaması 0.3°C ve en sıcak ay sıcaklık ortalaması 22.1°C 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**

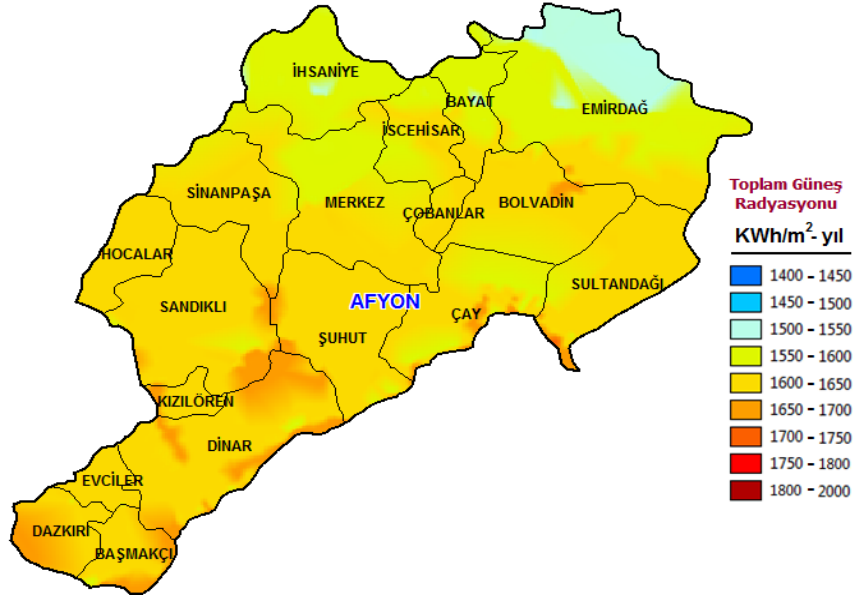
Afyonkarahisar ilinin nüfusu, 2010 yılı adrese dayalı nüfus kayıt sistemine göre 697.000 kişi olarak tespit edilmiştir. Nüfusun %41'ini 25 yaş altı ve %50' sini ise 25 – 60 yaş arası oluşturmaktadır. Afyonkarahisar, Türkiye coğrafi bölgelerinden Ege Bölgesi, Akdeniz bölgesi ve İç Anadolu Bölgesi üzerinde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

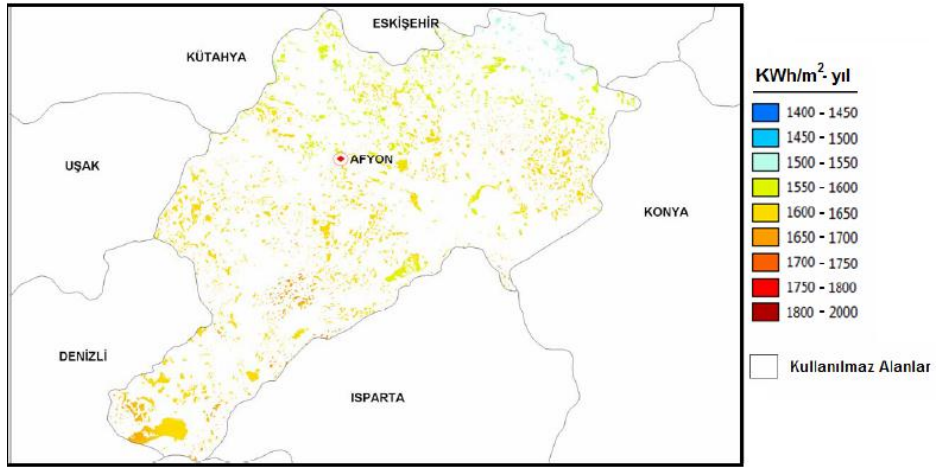
## **3.2 Güneş Enerjisi**

Afyonkarahisar ili Ege bölgesinin iç batı kesiminde yer almaktadır. Türkiye güneş haritasına göre Ege bölgesi 1500-1750 kWh/m<sup>2</sup>-yıl arasında güneş enerjisi radyasyonuna sahiptir. Afyonkarahisar ili ise 1550-1650 kWh/m<sup>2</sup>-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.



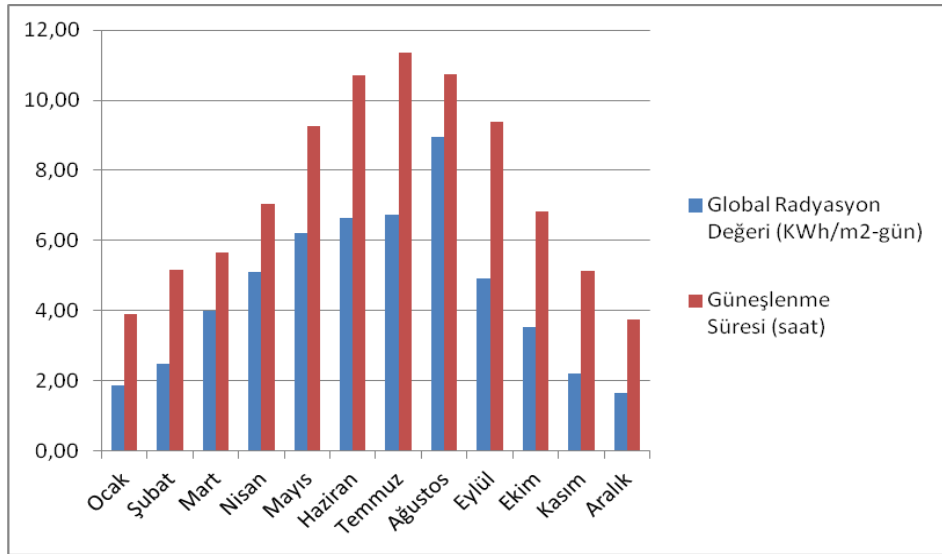
Şekil 3.2 Afyonkarahisar İli Güneş Termik Santrali Kurulamaz Alanlar (Eie, 2012)

Şekil 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/m <sup>2</sup> -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.



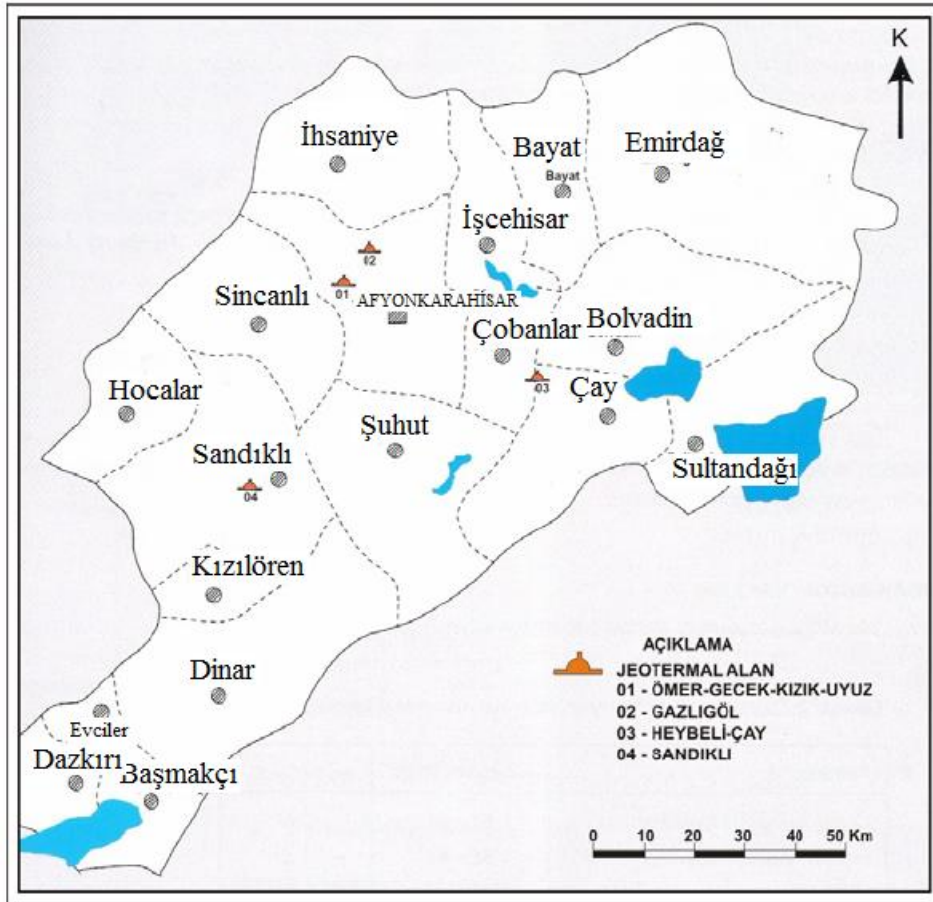
Şekil 3.3 Afyonkarahisar aylık global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri (Eie, 2012)

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 “Hüdaî” 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°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 turizmüne 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 (°C) | Debi (l/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°C sıcaklık ve 0.831/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 (°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 (°C) | Debi (l/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°C ve debisi 112l/s' dir. Sıcaklıkları 45-70°C arasında olan Hamamçay Kaynaklarında 1994-2003 yılları arasında sıcaklıkları 40-70°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 (°C) | Debi (l/s) |
|---------------------|---------------|------------|
| Hamamçay kaynakları | 45-70         | 112*       |

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

| Kuyu No | Tarih | Derinlik | Sıcaklık (°C) | Debi (l/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°C 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 (°C) | 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 (l/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°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 topografik 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°C, ortalama nem %64.87 ve Çizelge 3.10' da görüleceği gibi hakim rüzgâr yönü kuzey-kuzey batı (KKB) olarak belirlenmiştir (MGM, 2012).

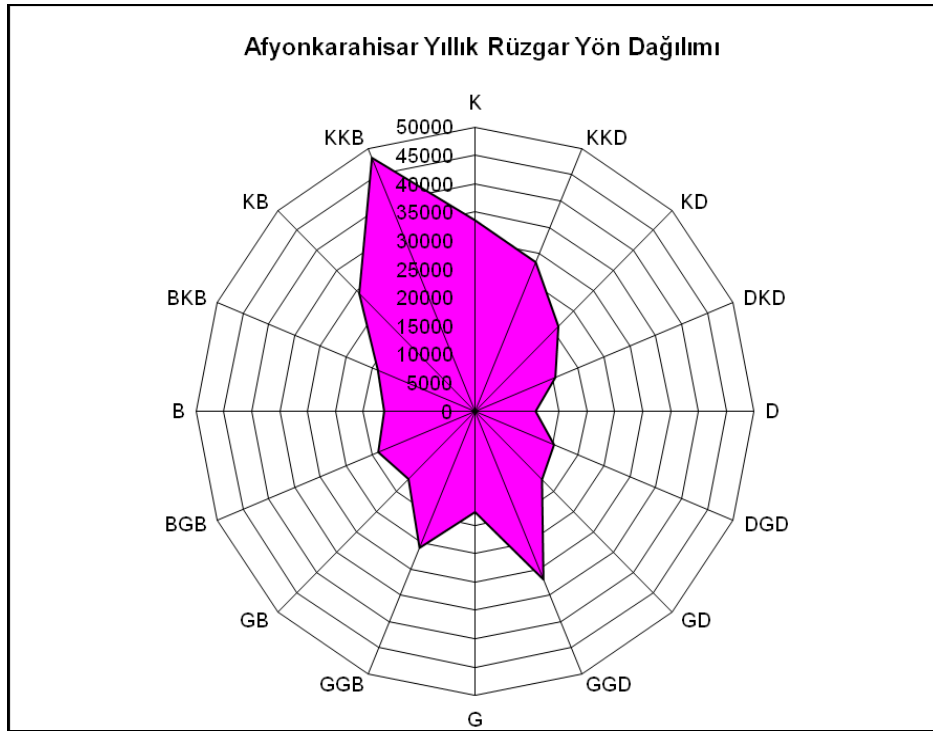
Çizelge 3.10 Afyonkarahisar merkezi uzun yıllar hakim rüzgâr yönü (MGM, 2012)

| 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 olasılırlık yöntemi uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Her istasyon için toplanan saatlik ortalama rüzgâr hızı verileri en yüksek olasılırlık 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.

$$Kinetikenerji = \frac{1}{2}mv^2 \quad (3.1)$$

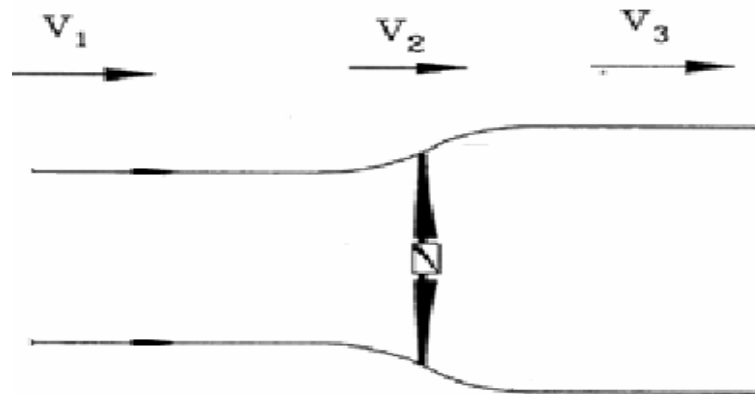
Denklem (3.1)' de  $m$  kütleyi ve  $v$  ise hareket eden cismin hızını ifade etmektedir. Rüzgâr genel ifadeyle hareket eden hava akımıdır. Dolayısıyla rüzgâr kinetik enerjiye sahiptir. Denklem (3.1)' de kütle yerine rüzgârın birim zamandaki kütleli debisi kullanılabilir. Kütleli debi denklem (3.2)'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

$$m = \rho Av \quad (3.2)$$

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

$$\text{Rüzgâr Gücü} = \frac{1}{2} \rho Av^3 \quad (3.3)$$

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.

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

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

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

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

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

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

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

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

$$P_t = \frac{1}{4} \rho A (V_1 + V_3) (V_1^2 - V_3^2) \quad (3.8)$$

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

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

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

$$\frac{V_3}{V_1} = a \quad (3.10)$$

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

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

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

$$a = \frac{1}{3} \quad (3.12)$$

Denklem (3.9)' de  $P_I$ ; 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).

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

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.

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

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 ( $\rho$ ) ise yüksekliğe bağlı olarak değişen sıcaklık ve basınca bağlıdır. İdeal gaz kabulü ile hava yoğunluğu denklem (3.15) ile gösterilebilir.

$$\rho = \frac{1}{R} \frac{P}{T} \quad (3.15)$$

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).

$$\rho = 3.4837 \frac{P}{T} \quad (3.16)$$

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

$$P = 101.29 - (0.011837)z + (4.793 \times 10^{-7})z^2 \quad (3.17)$$

### 3.4.2 Weibull Dağılım Fonksiyonu

Rüzgâr hızı verilerinin dağılımının belirlenmesinde, istatistiksel yaklaşımlar arasında en yaygın olarak kullanılan Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonudur. Weibull dağılımı diğer dağılımlara göre hassasiyeti yüksek (düşük hata payı) ve daha esnek bir dağılımdır. Weibull dağılımı iki parametrelili 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).

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

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

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

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

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

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).

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

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.

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

Denklem (3.22)'de gerekli düzenlemeler yapıldığında;

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

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

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

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

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

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

$$Y = kX + B \quad (3.26)$$

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 çözümlenerek 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.

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

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

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

### 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  $v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$  olarak düzenlenmelidir. Herhangi bir verinin  $v = v_i$  olma olasılığı  $f(v_i; k, c)$  ile orantılıdır. Benzer bir şekilde tüm verilerin  $V = v_1, \dots, V = v_n$  meydana gelme olasılığı da ifade

edilebilir. Bu olaylar birbirinden bağımsız olaylardır. Bu nedenle elde edilen veriler sonucunda  $L = \prod_1^n, \dots, V = v_n$  olaylarının meydana gelme olasılığı da denklem (3.29)'da olabilirlik fonksiyonu olarak tanımlanır (Sarıkaya, 2010).

$$L = \prod_1^n f(v_i; k, c) \quad (3.29)$$

Ölçek parametresi denklem (3.30) ile gösterilir.

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

Şekil parametresi ise denklem (3.31) ile ifade edilebilir.

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

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).

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

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).

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

$$k = \frac{1}{3.9557 E_{PF}^{0.898}} \quad (3.34)$$

Ölçek parametresi ise denklem (3.35) ile hesaplanabilir.

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

#### 3.4.3 Rayleigh Dağılım Fonksiyonu

Rüzgâr hızı verilerinin dağılımının belirlenmesinde, yararlanılan 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.

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

Rayleigh kümülatif dağılım fonksiyonu

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

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).

$$v_m = c\sqrt{\pi/4} \quad (3.38)$$

$$P_R = \frac{3}{\pi} \rho v_m^3 \quad P_R = \frac{3}{\pi} \rho v_m^3 \quad (3.39)$$

#### 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 <sub>j</sub> | 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, ekim 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. Esmeye 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 <sub>j</sub> | 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, ekim 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, ekim 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 <sub>j</sub> | 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, ekim 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 <sub>j</sub> | 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, ekim 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 <sub>j</sub> | 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, ekim 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

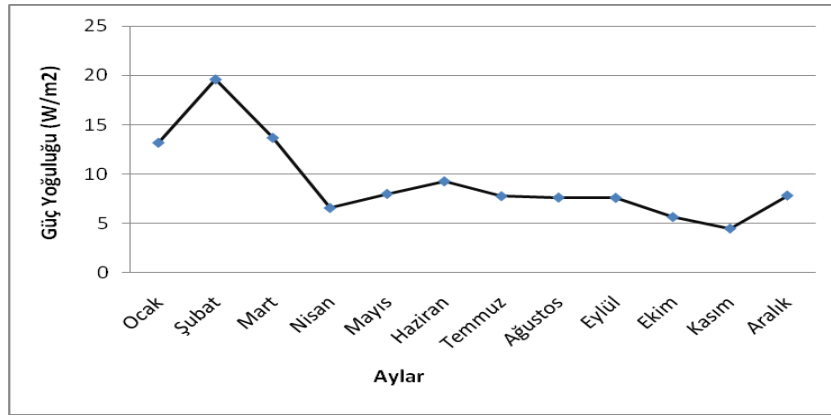
sapma ( $\sigma$ ), rüzgâr hızı Weibull olasılığı ( $f_w(v)$ ), rüzgâr hızı Weibull kümülatifi ( $F_w(v)$ ), rüzgâr en olası hızı ( $V_{enolası}$ ), enerji yoğunluğuna en fazla katkı yapan hız değeri ( $V_{max E}$ ) ve Weibull dağılımı için ortalama enerji yoğunluğu ( $P/A$ ) aylık olarak hesaplanmıştır. 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      | $v_m$<br>(m/s) | $\sigma$<br>(m/s) | $f_w(v)$ | $F_w(v)$ | $V_{enolası}$<br>(m/s) | $V_{max E}$<br>(m/s) | $P/A$<br>(w/m <sup>2</sup> ) |
|---------|--------|--------|----------------|-------------------|----------|----------|------------------------|----------------------|------------------------------|
| 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 ölçümlerle 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.



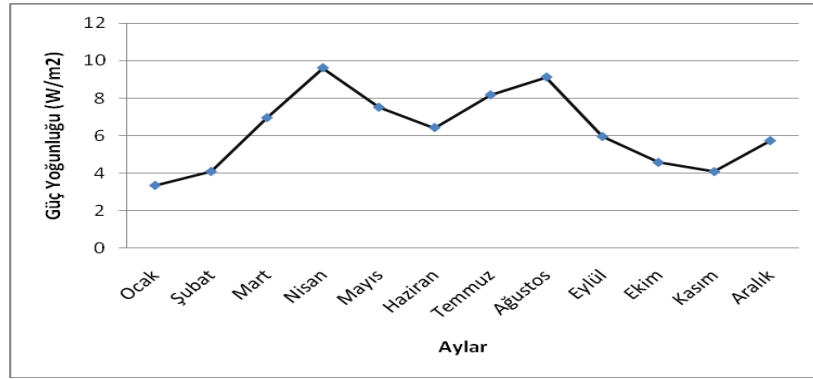
Şekil 3.8 Afyonkarahisar merkez istasyonu 2010 yılı verileri için güç yoğunluğu

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      | $v_m$<br>(m/s) | $\sigma$<br>(m/s) | $f_w(v)$ | $F_w(v)$ | $V_{enolasi}$<br>(m/s) | $V_{max E}$<br>(m/s) | P/A<br>(w/m <sup>2</sup> ) |
|---------|--------|--------|----------------|-------------------|----------|----------|------------------------|----------------------|----------------------------|
| 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.



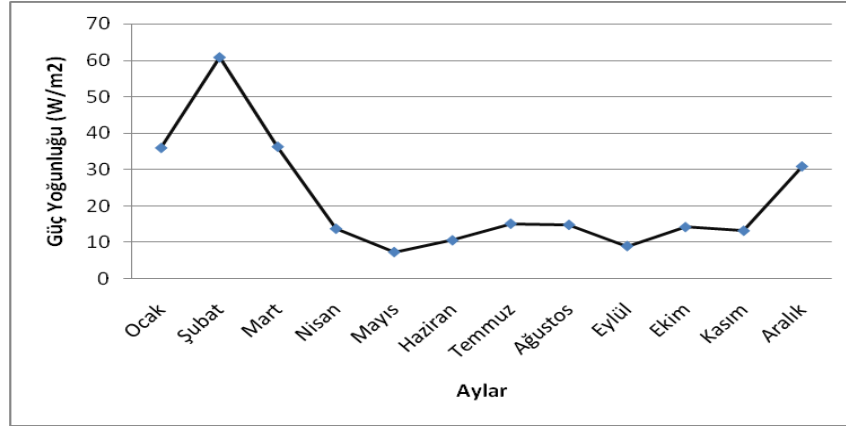
Şekil 3.9 Afyonkarahisar merkez istasyonu 2011 yılı verileri için güç yoğunluğu

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      | $v_m$<br>(m/s) | $\sigma$<br>(m/s) | $f_w(v)$ | $F_w(v)$ | $V_{enolasi}$<br>(m/s) | $V_{max E}$<br>(m/s) | P/A<br>(w/m <sup>2</sup> ) |
|---------|--------|--------|----------------|-------------------|----------|----------|------------------------|----------------------|----------------------------|
| 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.

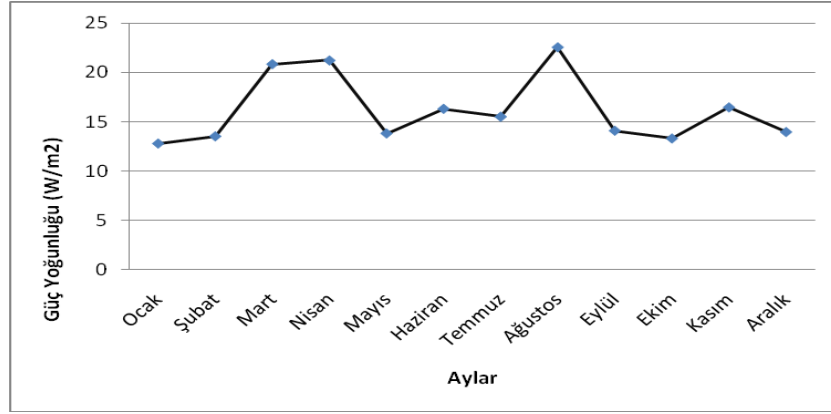


Şekil 3.10 Dinar istasyonu 2010 yılı verileri için güç yoğunluğu

Şekil 3.10' da görüleceği üzere, Dinar istasyonu 2010 verileri analiz sonuçlarına göre en yüksek güç yoğunluğu şubat ayında gerçekleşirken en düşük 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      | $V_m$<br>(m/s) | $\sigma$<br>(m/s) | $f_w(v)$ | $F_w(v)$ | $V_{enolasi}$<br>(m/s) | $V_{max E}$<br>(m/s) | P/A<br>(w/m <sup>2</sup> ) |
|---------|--------|--------|----------------|-------------------|----------|----------|------------------------|----------------------|----------------------------|
| 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                    |



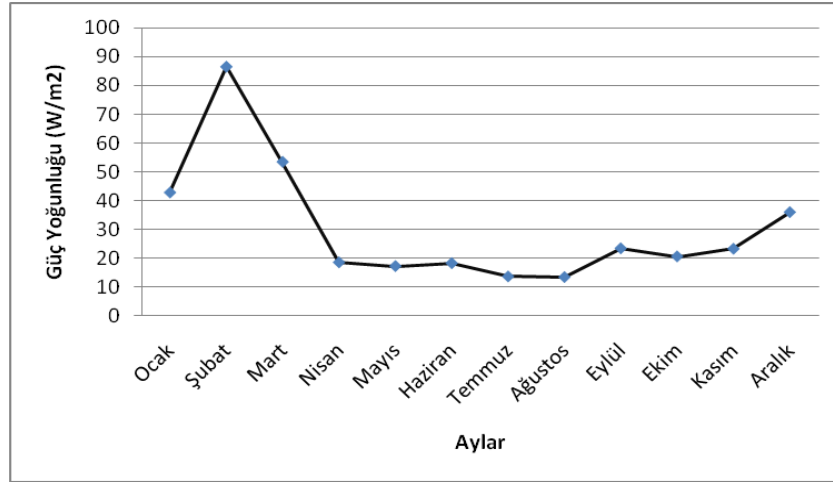
Şekil 3.11 Dinar istasyonu 2011 yılı verileri için güç yoğunluğu

Dinar istasyonu 2011 verileri analiz sonuçlarına göre en yüksek güç yoğunluğu ağustos ayında gerçekleşirken en düşük 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      | $v_m$<br>(m/s) | $\sigma$<br>(m/s) | $f_w(v)$ | $F_w(v)$ | $V_{enolası}$<br>(m/s) | $V_{maxE}$<br>(m/s) | P/A<br>(w/m <sup>2</sup> ) |
|---------|--------|--------|----------------|-------------------|----------|----------|------------------------|---------------------|----------------------------|
| 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.



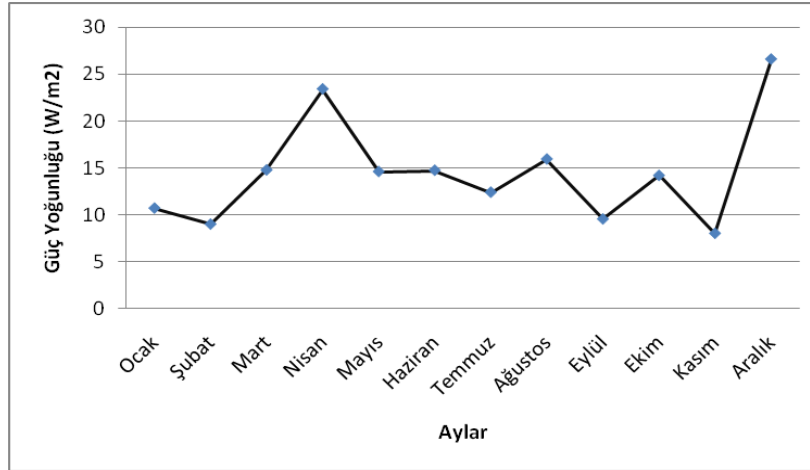
Şekil 3.12 Sultandağı istasyonu 2010 yılı verileri için güç yoğunluğu

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      | $v_m$<br>(m/s) | $\sigma$<br>(m/s) | $f_w(v)$ | $F_w(v)$ | $V_{enolası}$<br>(m/s) | $V_{maxE}$<br>(m/s) | P/A<br>(w/m²) |
|---------|--------|--------|----------------|-------------------|----------|----------|------------------------|---------------------|---------------|
| 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

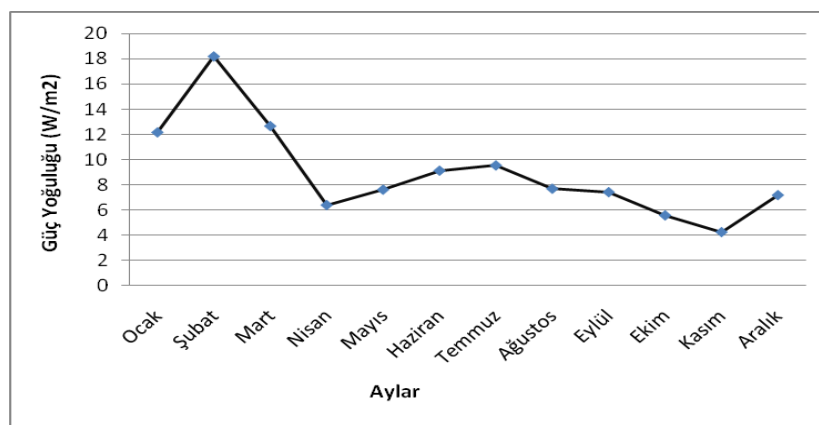
Şekil 3.13' de Sultandağı istasyonu 2011 yılı için hesaplanan güç yoğunluğu değerleri gösterilmiştir.

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 2011 yılları 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      | $V_m$<br>(m/s) | $\sigma$<br>(m/s) | $f_w(v)$ | $F_w(v)$ | $V_{enolası}$<br>(m/s) | $V_{max E}$<br>(m/s) | P/A<br>(w/m <sup>2</sup> ) |
|---------|--------|----------------|-------------------|----------|----------|------------------------|----------------------|----------------------------|
| 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 hesaplama göre en yüksek enerji yoğunluğu şubat ayında en düşük enerji yoğunluğu ise kasım ayında elde edilmiştir.



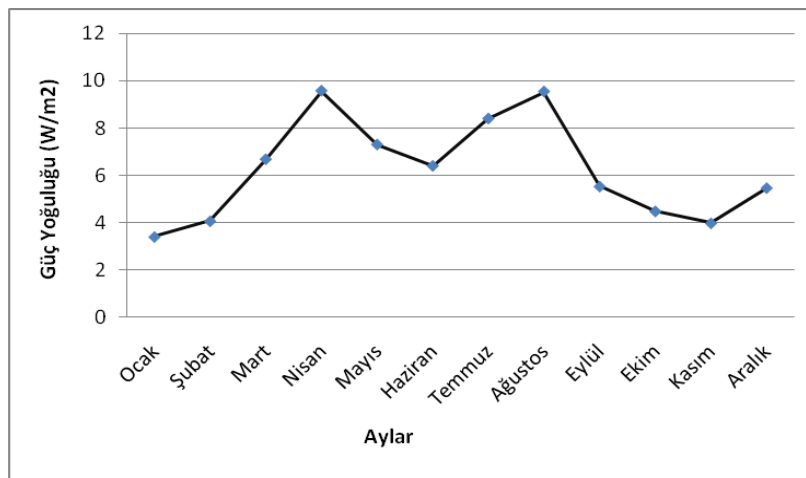
Şekil 3.14 Afyonkarahisar merkez istasyonu 2010 yılı verileri için güç yoğunluğu

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      | $v_m$<br>(m/s) | $\sigma$<br>(m/s) | $f_w(v)$ | $F_w(v)$ | $V_{enolası}$<br>(m/s) | $V_{max E}$<br>(m/s) | P/A<br>(w/m <sup>2</sup> ) |
|---------|--------|----------------|-------------------|----------|----------|------------------------|----------------------|----------------------------|
| 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 hesaplama göre en yüksek enerji yoğunluğu ağustos ayında en düşük enerji yoğunluğu ise ocak ayında elde edilmiştir.



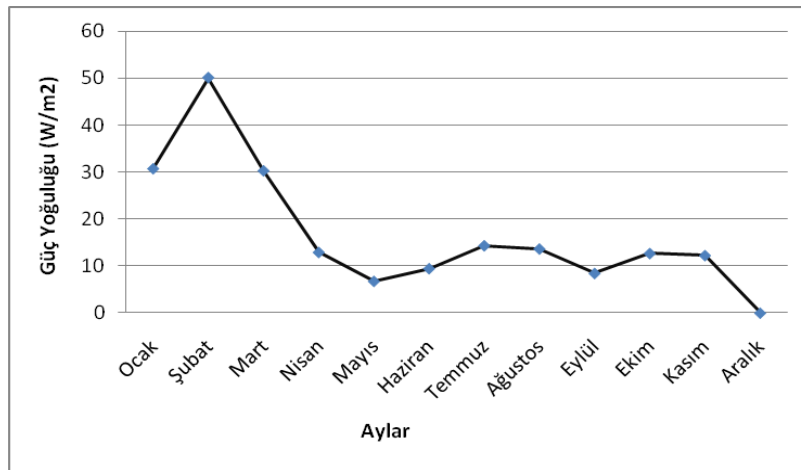
Şekil 3.15 Afyonkarahisar merkez istasyonu 2011 yılı verileri için güç yoğunluğu

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      | $v_m$<br>(m/s) | $\sigma$<br>(m/s) | $f_w(v)$ | $F_w(v)$ | $V_{enolasi}$<br>(m/s) | $V_{max E}$<br>(m/s) | P/A<br>(w/m <sup>2</sup> ) |
|---------|--------|----------------|-------------------|----------|----------|------------------------|----------------------|----------------------------|
| 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            | 0.2610   | 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 hesaplama göre en yüksek enerji yoğunluğu şubat ayında en düşük enerji yoğunluğu ise Mayıs ayında elde edilmiştir.



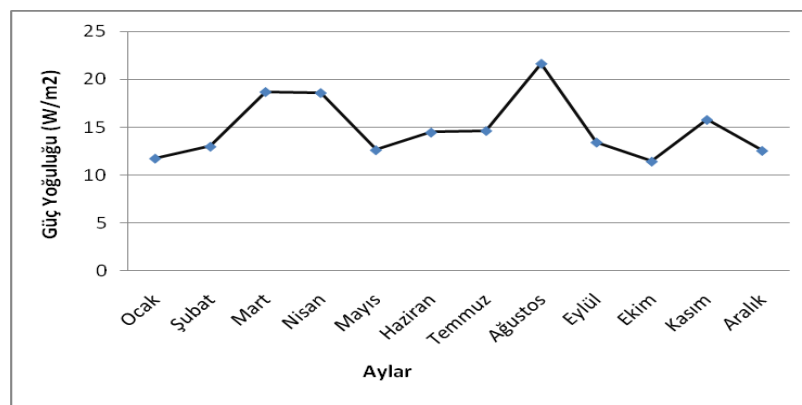
Şekil 3.16 Dinar istasyonu 2010 yılı verileri için güç yoğunluğu

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      | $V_m$<br>(m/s) | $\sigma$<br>(m/s) | $f_w(v)$ | $F_w(v)$ | $V_{enolası}$<br>(m/s) | $V_{max E}$<br>(m/s) | P/A<br>(w/m <sup>2</sup> ) |
|---------|--------|----------------|-------------------|----------|----------|------------------------|----------------------|----------------------------|
| 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 hesaplama göre en yüksek enerji yoğunluğu ağustos ayında en düşük enerji yoğunluğu ise ekim ayında elde edilmiştir.



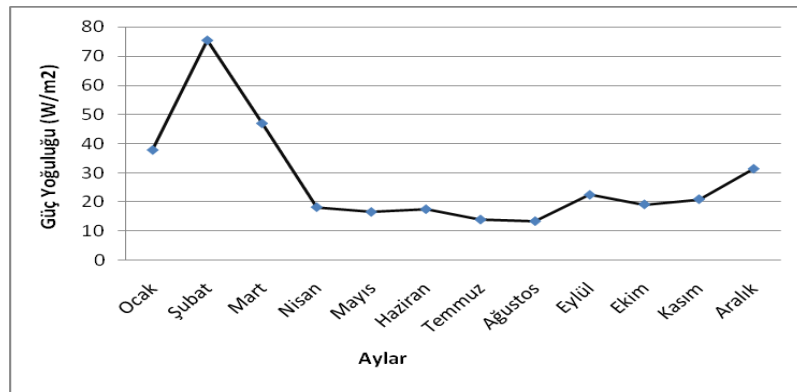
Şekil 3.17 Dinar istasyonu 2011 yılı verileri için güç yoğunluğu

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      | $V_m$<br>(m/s) | $\sigma$<br>(m/s) | $f_w(v)$ | $F_w(v)$ | $V_{enolasi}$<br>(m/s) | $V_{max E}$<br>(m/s) | P/A<br>(w/m <sup>2</sup> ) |
|---------|--------|----------------|-------------------|----------|----------|------------------------|----------------------|----------------------------|
| 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 hesaplama göre en yüksek enerji yoğunluğu şubat ayında en düşük enerji yoğunluğu ise ağustos ayında elde edilmiştir.



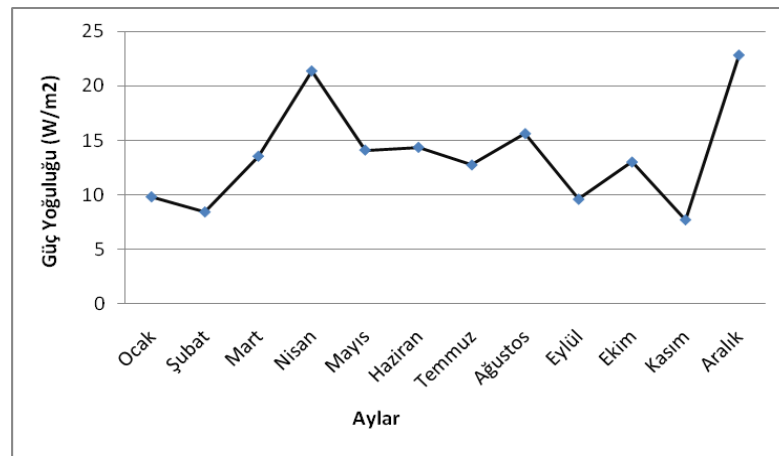
Şekil 3.18 Sultandağı istasyonu 2010 yılı verileri için güç yoğunluğu

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      | $v_m$<br>(m/s) | $\sigma$<br>(m/s) | $f_w(v)$ | $F_w(v)$ | $V_{enolasi}$<br>(m/s) | $V_{max E}$<br>(m/s) | P/A<br>(w/m <sup>2</sup> ) |
|---------|--------|----------------|-------------------|----------|----------|------------------------|----------------------|----------------------------|
| 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 hesaplama 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 yaptığını belirlemede korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) kriteri kullanılmıştır. Bu kriter denklem 3.40 ile ifade edilmiştir (Kurban, 2007).

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

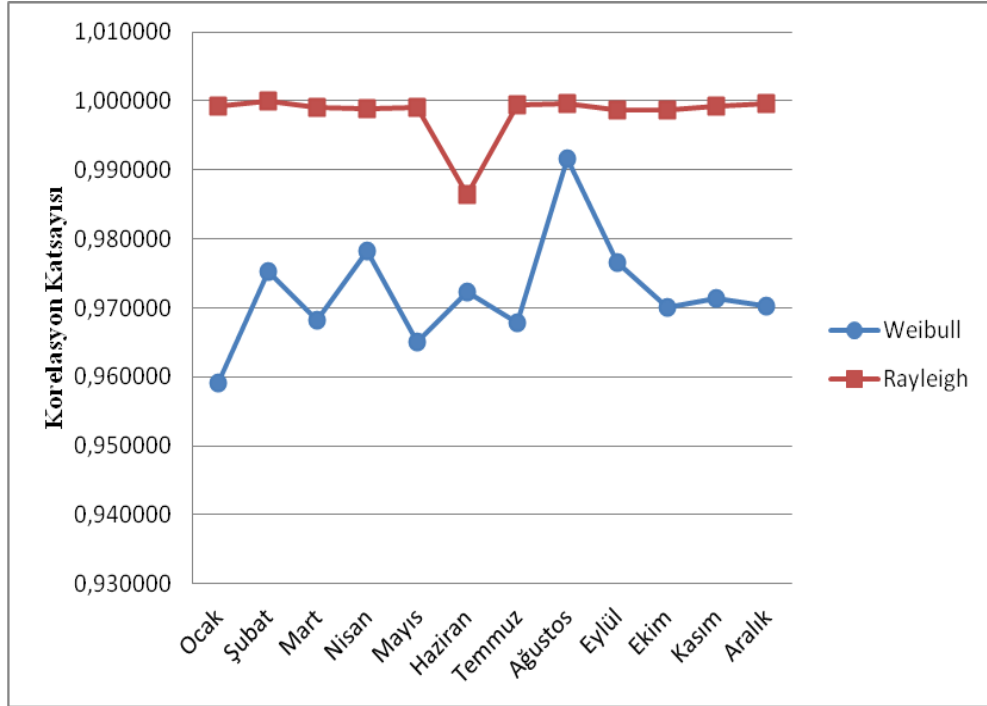
Burada  $y_i$ ,  $i$ . rüzgâr hızı,  $x_i$ ,  $i$ . Weibull veya Rayleigh dağılımından tahmin edilen veri,  $N$  toplam veri sayısı  $z_i$ , ortalama değeri ifade etmektedir.  $R^2$ , herhangi bir modelin tahmin gücünün ölçüsü olarak 0 ve 1 arasında değer alır ve 1'e yaklaşması kullanılan modelin tahmin 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 görölmektedir (Kurban, 2007).

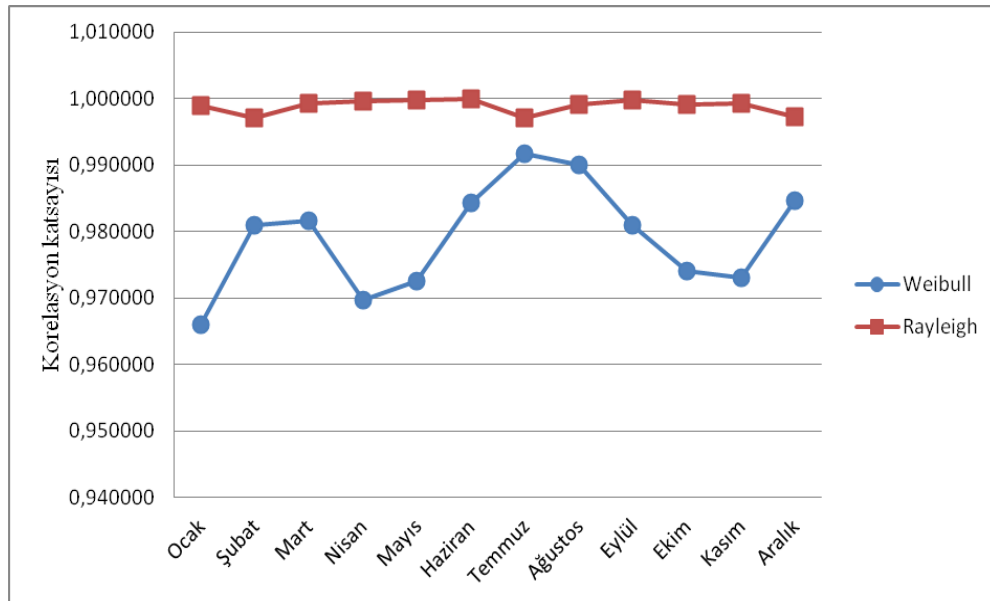
2010 yılı Afyonkarahisar merkez istasyonu (Şekil 3.20), Dinar İstasyonu (Şekil 3.22), Sultandağı istasyonu (Şekil 3.24) ve 2011 yılı Afyonkarahisar merkez istasyonu (3.21), Dinar istasyonu (Şekil 3.23) ve Sultandağı istasyonu (Şekil 3.25) için  $R^2$  kriterine göre hesaplanan Weibull ve Rayleigh dağılımlarının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

Çizelge 3.32 Weibull ve Rayleigh dağılımlarıyla ölçülen olasılık dağılımlarının karşılaştırılması

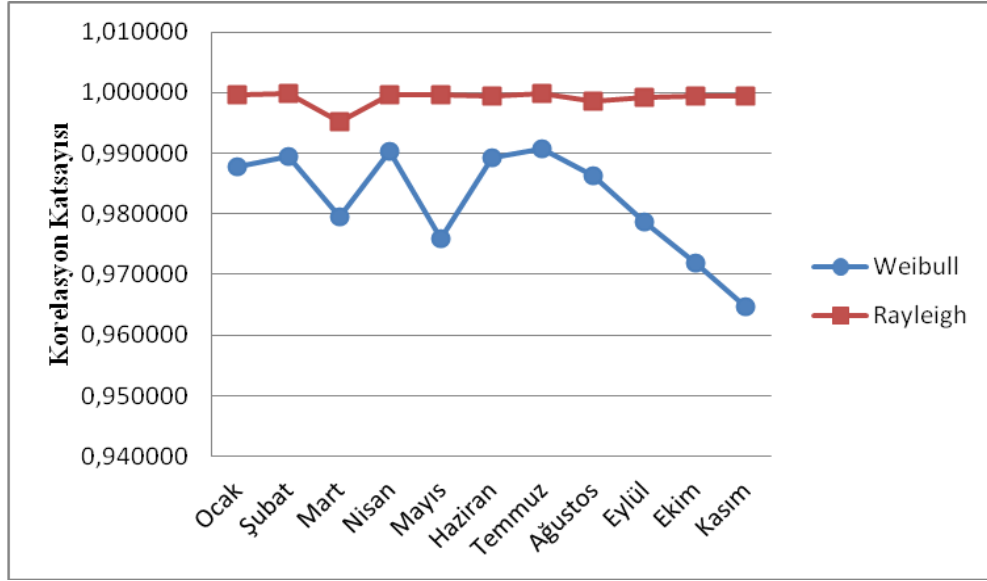
| Aylar   | Yıl      | Afyonkarahisar Merkez İstasyonu |          | Dinar İstasyonu |          | Sultandağı İstasyonu |          |
|---------|----------|---------------------------------|----------|-----------------|----------|----------------------|----------|
|         |          | 2010                            | 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 |



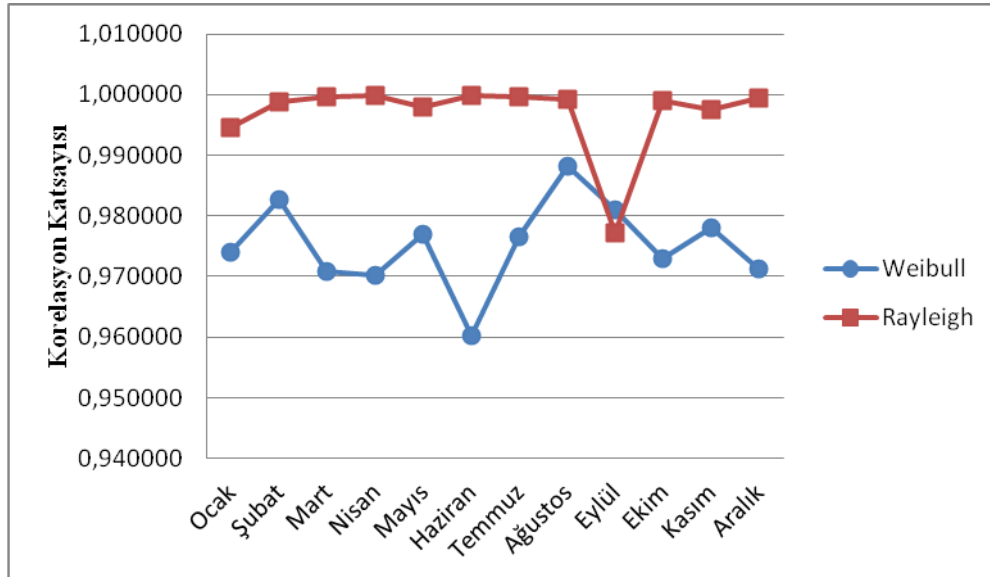
Şekil 3.20 Afyonkarahisar merkez istasyonu 2010 yılı  $R^2$  kriterine göre Weibull ve Rayleigh karşılaştırılması



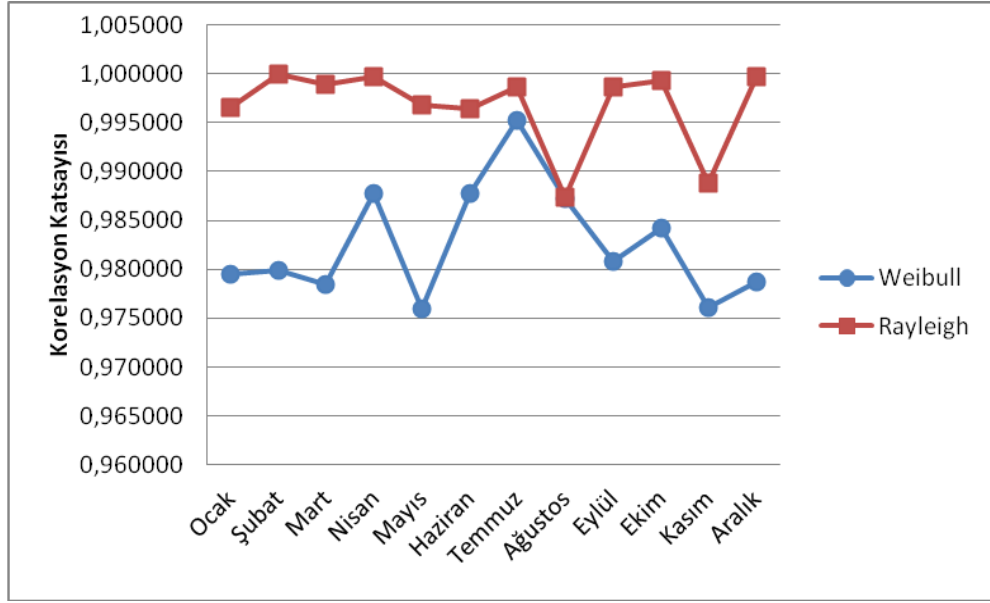
Şekil 3.21 Afyonkarahisar merkez istasyonu 2011 yılı  $R^2$  kriterine göre Weibull ve Rayleigh karşılaştırılması



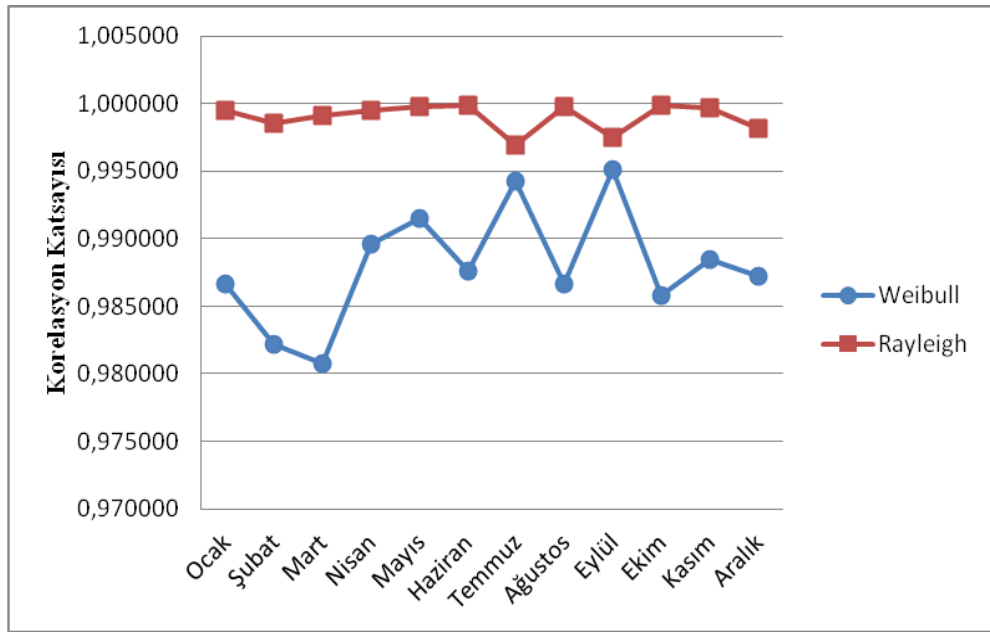
Şekil 3.22 Dinar istasyonu 2010 yılı  $R^2$  kriterine göre Weibull ve Rayleigh karşılaştırılması



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 parametrelili 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 artırılması 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/m<sup>2</sup>' 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-III. 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-IV. 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-IV. 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](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.

Karamandere, 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-III. 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](http://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., Hocoğlu, 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-III. 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\\_biyootanol.pdf](http://www.uteg.org/makaleler/turkiyede_biyokutle_biyootanol.pdf), [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2011], İstanbul, 351.
- Tutuş, A., 2005, Barajlar ve Hidroelektrik Santraller, *EMO-III. 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

| <b>Derece</b> | <b>Adı, İlçe, İl</b>  | <b>Bitirme Yılı</b> |
|---------------|---|---------------------|
| 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

| <b>Yıl</b> | <b>Kurum</b>      | <b>Görevi</b>     |
|------------|-------------------|-------------------|
| 2007-2012  | Rehber Dershanesi | Memur             |
| 2012       | Tosya M.Y.O       | Öğretim Görevlisi |