

AFYONKARAHİSAR İLİ YENİLENEBİLİR ENERJİ POTANSİYELİ

Ziya DEMİRKOL¹ Mehmet ÇUNKAŞ²

¹Kastamonu Üniversitesi, Tosya Meslek Yüksekokulu, Biyomedikal Cihaz Teknolojisi Programı, Tosya, Kastamonu, zdemirkol@kastamonu.edu.tr

²Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Konya, mcunkas@selcuk.edu.tr

(Geliş/Received: 12.04.2013; Kabul/Accepted in Revised Form: 26.02.2014)

ÖZET: Bu çalışmada, Türkiye'nin jeotermal enerji bakımından zengin bir kaynağa sahip ili olan Afyonkarahisar için yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli incelenmiştir. Güncel veriler kullanılarak güneşlenme süresi ve güneş enerjisi potansiyeli ele alınmıştır. Afyonkarahisar merkez, dinar ve Sultandağı istasyonlarının saatlik rüzgâr hızı verileri kullanılarak Weibull ve Rayleigh dağılımları hesaplanmıştır. Her istasyon için 2010 ve 2011 yıllarına ait aylık rüzgâr güç yoğunluğu belirlenmiştir. Weibull ve Rayleigh dağılımlarının performansları karşılaştırılmış ve Rayleigh dağılımın daha kararlı sonuçlar ürettiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Jeotermal Enerji, Rüzgâr Enerjisi, Yenilenebilir enerji, Afyonkarahisar

The Renewable Energy Potential for Afyonkarahisar

ABSTRACT: In this study, the potential of renewable energy resources of Afyonkarahisar is investigated. This area has got a rich potential with regard to geothermal energy. The sunshine duration and the solar energy potential are discussed using up to date data. Weibull and Rayleigh distributions were calculated by using hourly wind velocity data measured in Afyonkarahisar, Dinar and Sultandağı stations. The wind power density of the years 2010 and 2011 is determined for each station. Comparing the performance of the Weibull and Rayleigh distribution and the Rayleigh distribution has been shown to produce more stable results.

Key Words: Solar Energy, Geothermal Energy, Wind Energy, Renewable Energy, Afyonkarahisar

GİRİŞ (INTRODUCTION)

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; bununun 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 (TEİAŞ, 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. 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 (TEİAŞ, 2012).

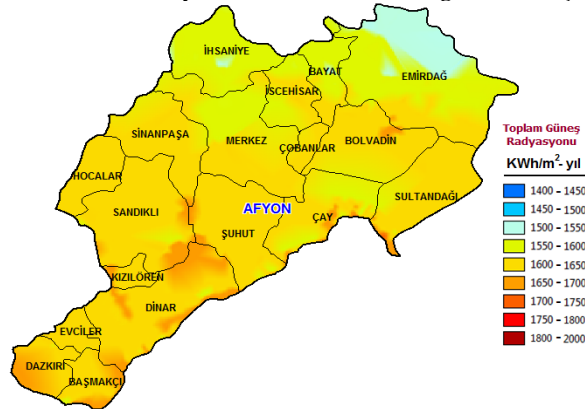
Afyonkarahisar ili 37° 45' ve 39° 17' kuzey enlemi, 29° 40' ve 31° 43' doğu boylamı üzerinde yer alıp denizden yüksekliği 1034 metredir. İlin yüzölçümü 14570 km² olup topraklarının büyük bir bölümü Ege Bölgesinin İç Batı Bölümünde yer almaktadır. Afyonkarahisar, batıda Uşak, doğuda Konya, güneybatıda Denizli, kuzeybatıda Kütahya, güneyde Burdur, güneydoğuda Isparta ve kuzeyde Eskişehir illeri ile komşudur 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 (Afyonbld, 2012).

Bu çalışmada, Afyonkarahisar ili yenilenebilir enerji kaynaklarından jeotermal enerjisi, güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi potansiyeli incelenmiştir. Bölge jeotermal enerji bakımından zengin bir potansiyele sahiptir. Güneş enerjisi potansiyeli Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü Afyonkarahisar Meteoroloji İstasyonu Güncel verileri kullanılarak güneşlenme süresi ve güneş enerjisi potansiyeli belirlenmiştir. Bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyeli il sınırları içerisinde bulunan üç farklı istasyondan 10 metre yükseklikte ölçülen saatlik rüzgâr hızı verileri Weibull ve Rayleigh dağılımları 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. Her istasyon için 2010 ve 2011 yılları için aylık rüzgâr güç yoğunluğu hesaplanmıştır. Weibull ve Rayleigh dağılımlarının performansları incelenmiştir.

GÜNEŞ ENERJİSİ (SOLAR ENERGY)

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Güneşten dünyaya saniyede yaklaşık olarak 170 milyon MW enerji gelmektedir. Türkiye'nin yıllık enerji üretiminin 100 milyon MW olduğu düşünülürse bir saniyede dünyaya gelen güneş enerjisi, Türkiye'nin enerji üretiminin 1.700 katıdır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1.311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Türkiye, 110 gün gibi yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Gerekli yatırımların yapılması halinde Türkiye yılda birim metre karesinden ortalama olarak 1.100 kWh'lik güneş enerjisi üretebilir. Bölgelerden 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. (Varınca ve Gönüllü, 2006). Türkiye güneş haritasına göre Ege bölgesi 1500-1750 kWh/m²-yıl arasında güneş enerjisi radyasyonuna sahiptir.

Ege bölgesinin iç batı kesiminde yer alan Afyonkarahisar ili ise 1550-1650 kWh/m²-yıl güneş enerjisi radyasyonuna sahiptir. Şekil 1’de Afyonkarahisar iline ait güneş enerjisi haritası verilmiştir.



Şekil 1. Afyonkarahisar İli Güneş Enerjisi Haritası (Afyonkarahisar Solar Energy Map) (Eie, 2012)

Afyonkarahisar aylık küresel radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri Çizelge-1’de verilmiştir. Çizelge 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. Afyonkarahisar ili güneş enerjisi bakımından oldukça zengin bir potansiyele sahip olmasına rağmen bu enerjiden yararlanma ile ilgili çalışmaların henüz yetersiz olduğunu söylemek gerekir.

JEOTERMAL ENERJİ (GEOTHERMAL ENERGY)

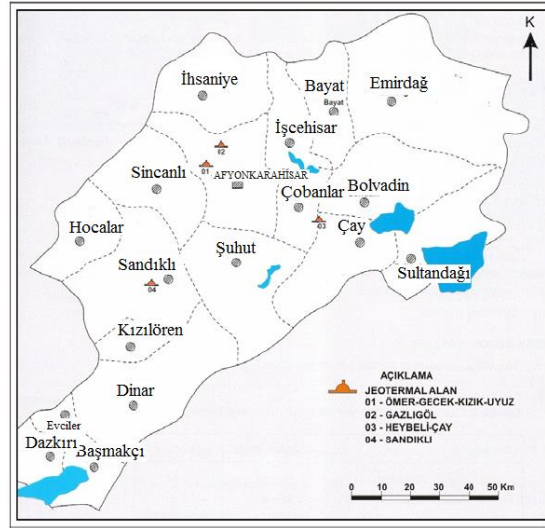
Türkiye’de ilk jeotermal araştırmalar 1960’larda MTA tarafından başlatılmıştır. Bu araştırmalara göre % 95’ i düşük ve orta entalpiye sahip 170 adet jeotermal saha bulunmuştur. Bu sahalardan sadece 12 tanesi bugünün teknolojik ve ekonomik imkânlarına göre elektrik enerjisi üretimine uygundur. Avrupa’nın 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 verimli bir şekilde kullanılması planlanmaktadır. Günümüz teknolojisiyle kuyu sıcaklığı 80°C’nin üzerindeki alanlarda bile elektrik üretimi mümkün olmakla birlikte, sıcaklığın düşmesi ile ekonomikliği sınırlanmaktadır. Ülkemiz 31500 MWt’lık jeotermal potansiyel ile Dünyada ilk 10 Ülke arasındadır. Türkiye jeotermal kullanımında Dünya’da beşinci Avrupa’da birincidir. Kasım 2006 itibarıyla 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. (Köse vd., 2004).

Çizelge 1. Afyonkarahisar Aylık Küresel Radyasyon Değerleri ve Güneşlenme Süreleri (Global Radiation Values and Sunshine Duration for Afyonkarahisar) (Eie, 2012)

	Global Radyasyon Değeri (KWh/m ² -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

Afyonkarahisar ili jeotermal enerji potansiyeli bakımından, “Ömer-Göcek”, İhsaniye ilçesinde “Gazlıgöl”, Sandıklı ilçesinde “Hüdei” ve Bolvadin İlçesinde “Heybeli” olmak üzere toplam dört jeotermal kaynak ile Türkiye'nin ikinci büyük jeotermal sahasıdır (Şekil 2). Bu sahaların ortalama sıcaklıkları 30 °C'nin üzerindedir.



Şekil 2. Afyonkarahisar Jeotermal Sahaları Haritası (Geothermal Fields Map Afyonkarahisar) (Gırbalar, 2009)

Çizelge 2. Afyonkarahisar İli Jeotermal Alanlar (Geothermal Fields for Afyonkarahisar)

Jeotermal Alan	Kuyu Adedi	Kaynak Adedi
Ömer-Gecek-Kızık-Uyuz Jeotermal Alanı	25	3
Heybeli-Çay-Çobanlar Jeotermal Alanı	8	4
Sandıklı-Hüdei Jeotermal Alanı	10	1
Gazlıgöl Jeotermal Alanı	4	4
Toplam	47	12

Çizelge-2 de görüldüğü gibi, 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 10 adet kuyu, Gazlıgöl sahasında 4 adet kaynak ile 4 adet kuyu olup, toplamda 12 adet kaynak ile 47 adet kuyu bulunmaktadır. Bu kuyuların bölge turizmine katkıları büyüktür. 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. 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).

RÜZGAR ENERJİSİ (WIND ENERGY)

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 itibarıyla 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. Bir bölgede kurulacak rüzgâr enerjisi santrali (RES) 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'dir. Çizelge 3' de görüleceği gibi hakim rüzgâr yönü kuzey-kuzey batı (KKB) olarak belirlenmiştir (MGM, 2012). Çizelge 4'te 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' de ise Afyonkarahisar ilinin yıllık rüzgâr yön dağılımı görülmektedir.

Çizelge 3. Afyonkarahisar Merkezi Uzun Yıllar Hakim Rüzgâr Yönü (Effective Wind Directions for Afyonkarahisar) (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 4. Afyonkarahisar Merkezi 1970-2011 yılları Rüzgâr Esme Sayıları (The Number of Wind Blow for the Years 1970-2011 for Afyonkarahisar) (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

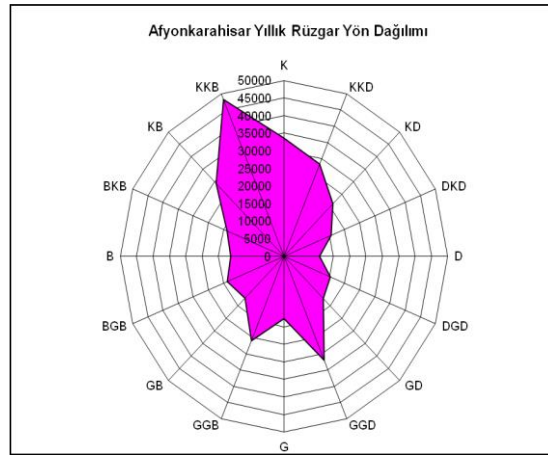
Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi (Determination of Potential for Wind Energy)

Rüzgâr verilerinin değerlendirilmesinde birden fazla istatistiksel yaklaşım kullanılabilir. Afyonkarahisar ili ortalama rüzgâr verilerinin değerlendirilmesinde bu yaklaşımlardan Weibull ve Rayleigh dağılımları kullanılmıştır. Dağılımları belirleyen şekil ve ölçek parametreleri birçok yöntemle hesaplanabilir. Afyonkarahisar bölgesi için yapılan Weibull dağılımı parametre hesaplamaları en yüksek olasılık yöntemi uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Her istasyon için toplanan saatlik ortalama rüzgâr hızı verileri 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.

Denklem (1)' de 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. Şekil-4 de görüldüğü gibi V1 hızıyla rüzgâr türbinine doğru gelen rüzgâr, türbine gelmeden hemen önce genişleyerek hızı V2'ye düşmektedir. Türbine giren hava enerjisinin bir kısmını türbine vererek V3 hızına düşmektedir. (Sarıkaya, 2010).

$$\text{Rüzgâr Gücü} = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

(1)

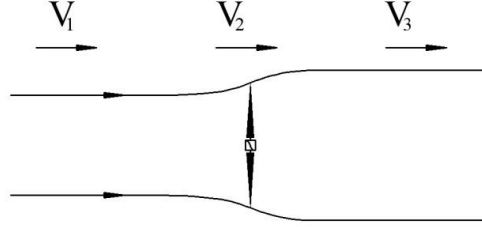


Şekil 3. Afyonkarahisar İli Hakim Rüzgâr Yönü (The Effective Wind Direction For Afyonkarahisar Center) (MGM, 2012)

Weibull Dağılımı (Weibull Distribution)

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 parametrelidir. Denklem (3) deki, 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. Denklem (2)'deki 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. (Sarıkaya, 2010).



Şekil 4. Rüzgârın türbine girerken genişlemesi (The Expansion of Wind in Turbine)(Akdağ, 2008)
Ölçek parametresi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$c = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (v_i)^k}{n} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (2)$$

Şekil parametresi aşağıda verilmiştir.

$$k = \left(\frac{\sum_{i=1}^n v_i^k \ln(v_i)}{\sum_{i=1}^n v_i^k} - \frac{\sum_{i=1}^n \ln(v_i)}{n} \right)^{-1} \quad (3)$$

En yüksek olabilirlik metodu, Weibull dağılımının şekil ve ölçek parametreleri olan k ve c değerlerini bulma metodlarından 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 $L = \prod_{i=1}^n f(v_i; k, c)$ olaylarının meydana gelme olasılığı da denklem (4)'de olabilirlik fonksiyonu olarak tanımlanır (Sarıkaya, 2010).

$$L = \prod_{i=1}^n f(v_i; k, c) \quad (4)$$

Denklem (2) ve (3) ile hesaplanan k ve c parametrelerinin olabilirlik fonksiyonunu en büyük yapan değeri için çözümlenmelidir. Burada denklem (3)'de $v_i = 0$ için denklem çözülemez. Bundan dolayı veri grubundan 0 değerleri çıkarılmalıdır (Akdağ, 2008).

Rayleigh Dağılımı (Rayleigh Distribution)

Rüzgâr hızı verilerinin dağılımının belirlenmesinde, yaralanılan diğer bir istatistiksel yaklaşım da Rayleigh dağılımıdır. Rayleigh dağılımı, Weibull dağılımı şekil parametresinin sabit olarak "2" alındığı durumu ifade etmektedir. Bu durumda Rayleigh yoğunluk fonksiyonu denklem (5) ile ifade tanımlanabilir.

$$f_R(v) = \left(\frac{2v}{c^2} \right) \exp \left(- \left(\frac{v}{c} \right)^2 \right) \quad (5)$$

Rayleigh kümülatif dağılım fonksiyonu

$$F_R(v) = 1 - \exp \left(- \left(\frac{v}{c} \right)^2 \right) \quad (6)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Rayleigh dağılımı için ortalama rüzgâr hızı ve güç yoğunluğu sırasıyla aşağıda verilmiştir. (Kurban vd., 2007).

$$v_m = c\sqrt{\pi/4} \quad (7)$$

$$P_R = \frac{3}{\pi} \rho v_m^3 \quad P_R = \frac{3}{\pi} \rho v_m^3 \quad (8)$$

Rüzgâr Hızı verilerinin Weibull ve Rayleigh Dağılımlarına Göre Analizi (Wind Velocity Data Analyze According to Weibull and Rayleigh Distribution)

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.

Afyonkarahisar merkez, Dinar ve Sultandağı istasyonlarının 2010 ve 2011 yılı şubat, mayıs, ağustos ve kasım ayları için sırasıyla Çizelge 5 ve Çizelge 6'da Weibull güç yoğunluğu ve parametre hesapları verilmiştir. Aynı merkezler için aynı yıl ve aylara ait Rayleigh güç yoğunluğu ve parametre hesapları sırasıyla Çizelge 7 ve Çizelge 8'de verilmiştir. Bütün hesaplamalar saatlik rüzgar verileri kullanılarak yapılmıştır. Rayleigh dağılımında k parametresi 2 olarak kabul edildiğinden çizelgelerde k değeri belirtilmemiştir. Parametre olarak, ortalama hız (v_m), standart sapma (σ), rüzgâr hızı Weibull ve Rayleigh olasılığı ($f_w(v)$), rüzgâr hızı Weibull ve Rayleigh kümülatifi ($F_w(v)$), rüzgâr en olası hızı ($V_{enolası}$), enerji yoğunluğuna en fazla katkı yapan hız değeri ($V_{max E}$) ve Weibull ve Rayleigh dağılımı için ortalama enerji yoğunluğu (P/A) hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar 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 5. Weibull Dağılımına göre Afyonkarahisar Merkez, Dinar ve Sultandağı istasyonları 2010 yılı hız ve güç tahminleri (Velocity and Power Prediction of Afyonkarahisar Center, Dinar and Sultandağı Stations for the Years 2010 according to Weibull Distribution)

İstasyon Adı	Aylar	k	c	v_m (m/s)	σ (m/s)	$f_w(v)$	$F_w(v)$	$V_{enolası}$ (m/s)	$V_{max E}$ (m/s)	P/A (w/m ²)
Afyonkarahisar Merkez 2010	Şubat	1.6473	2.6559	2.3753	1.4800	0.2511	0.5646	1.5064	4.3030	19.6003
	Mayıs	1.7287	2.0174	1.7980	1.0723	0.3472	0.5594	1.2239	3.1471	7.9993
	Ağustos	2.0532	2.1269	1.8842	0.9619	0.3896	0.5415	1.5266	2.9621	7.6319
	Kasım	1.6760	1.6391	1.4640	0.8980	0.4141	0.5628	0.9536	2.6190	4.4877
Dinar 2010	Şubat	1.4079	3.5272	3.2120	2.3125	0.1599	0.5838	1.4632	6.6087	60.9056
	Mayıs	1.5855	1.8809	1.6878	1.0891	0.3408	0.5692	1.0034	3.1470	7.4025
	Ağustos	1.6289	2.4085	2.1560	1.3573	0.2737	0.5661	1.3428	3.9384	14.8764
	Kasım	1.6311	2.3195	2.0761	1.3053	0.2846	0.5659	1.2959	3.7886	13.2591
Sultandağı 2010	Şubat	1.5080	4.1474	3.7416	2.5281	0.1466	0.5752	2.0156	7.2597	86.6115
	Mayıs	1.7348	2.6196	2.3343	1.3876	0.2683	0.5590	1.5965	4.0756	17.4273
	Ağustos	1.9494	2.5335	2.2465	1.2017	0.3112	0.5466	1.7516	3.6392	13.6242
	Kasım	1.4838	2.6564	2.4012	1.6468	0.2249	0.5772	1.2481	4.7218	23.4511

Çizelge 5,6,7 ve 8 incelendiğinde tüm istasyonlarda 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. 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.

Çizelge 6. Weibull Dağılımına göre Afyonkarahisar Merkez, Dinar ve Sultandağı istasyonları 2011 yılı hız ve güç tahminleri (Velocity and Power Prediction of Afyonkarahisar, Dinar and Sultandağı Stations for the Years 2011 according to Weibull Distribution)

İstasyon Adı	Aylar	k	c	v_m (m/s)	σ (m/s)	$f_w(v)$	$F_w(v)$	$V_{enolasi}$ (m/s)	$V_{max E}$ (m/s)	P/A (w/m ²)
Afyonkarahisar Merkez 2011	Şubat	1.9767	1.7071	1.5137	0.7994	0.4681	0.5452	1.1950	2.4313	4.1049
	Mayıs	1.8472	2.0343	1.8070	1.0148	0.3678	0.5522	1.3340	3.0264	7.5135
	Ağustos	2.1312	2.2841	2.0228	0.9987	0.3758	0.5379	1.6968	3.1159	9.1194
	Kasım	1.8531	1.6641	1.4780	0.8276	0.4510	0.5519	1.0949	2.4702	4.0966
Dinar 2011	Şubat	1.7552	2.4213	2.1575	1.2822	0.2904	0.5590	1.4761	3.7664	13.5407
	Mayıs	1.5969	2.3257	2.0855	1.3369	0.2777	0.5684	1.2558	3.8671	13.8293
	Ağustos	1.8275	2.9210	2.5958	1.4719	0.2534	0.5533	1.8934	4.3773	22.5432
	Kasım	1.8194	2.6255	2.3337	1.3286	0.2807	0.5538	1.6935	3.9467	16.4630
Sultandağı 2011	Şubat	1.6663	2.0625	1.8429	1.1364	0.3272	0.5635	1.1898	3.3107	9.0196
	Mayıs	1.8394	2.5351	2.2522	1.2696	0.2939	0.5527	1.6549	3.7821	14.6172
	Ağustos	1.9037	2.6459	2.3477	1.2830	0.2912	0.5491	1.7889	3.8584	15.9439
	Kasım	1.8149	2.0654	1.8361	1.0776	0.3560	0.5541	1.3287	3.1101	8.0401

Çizelge 7. Rayleigh Dağılımına Göre Afyonkarahisar Merkez, Dinar ve Sultandağı istasyonları 2010 yılı hız ve güç tahminleri (Velocity and Power Prediction of Afyonkarahisar, Dinar and Sultandağı Stations for the Years 2010 according to Rayleigh Distribution)

İstasyon Adı	Aylar	c	v_m (m/s)	σ (m/s)	$f_w(v)$	$F_w(v)$	$V_{enolasi}$ (m/s)	$V_{max E}$ (m/s)	P/A (w/m ²)
Afyonkarahisar Merkez 2010	Şubat	2.8169	2.4964	0.9502	0.0533	0.9811	1.9919	3.9837	18.2144
	Mayıs	2.1076	1.8679	0.7109	0.2287	0.8915	1.4903	2.9807	7.6294
	Ağustos	2.1145	1.8739	0.7132	0.2261	0.8931	1.4952	2.9904	7.7043
	Kasım	1.7354	1.5380	0.5854	0.3850	0.7782	1.2271	2.4543	4.2592
Dinar 2010	Şubat	3.9453	3.4965	1.3308	0.0016	0.9996	2.7898	5.5795	50.0431
	Mayıs	2.0239	1.7936	0.6827	0.2610	0.8710	1.4311	2.8622	6.7556
	Ağustos	2.5567	2.2658	0.8624	0.0973	0.9619	1.8078	3.6157	13.6180
	Kasım	2.4665	2.1858	0.8319	0.1178	0.9522	1.7440	3.4881	12.2269
Sultandağı 2010	Şubat	4.5245	4.0098	1.5261	0.0001	1.0000	3.1993	6.3986	75.4770
	Mayıs	2.7295	2.4190	0.9207	0.0658	0.9759	1.9301	3.8601	16.5711

	Ağustos	2.5440	2.2546	0.8581	0.1000	0.9607	1.7989	3.5978	13.4170
	Kasım	2.9514	2.6156	0.9955	0.0379	0.9872	2.0870	4.1739	20.9500

Çizelge 8. Rayleigh Dağılımına Göre Afyonkarahisar Merkez, Dinar ve Sultandağı istasyonları 2011 yılı hız ve güç tahminleri (Velocity and Power Prediction of Afyonkarahisar, Dinar and Sultandağı Stations for the Years 2011 according to Rayleigh Distribution)

İstasyon Adı	Aylar	c	V_m (m/s)	σ (m/s)	$f_w(v)$	$F_w(v)$	$V_{enolasi}$ (m/s)	$V_{max E}$ (m/s)	P/A (w/m ²)
Afyonkarahisar Merkez 2011	Şubat	1.7104	1.5158	0.5769	0.3961	0.7684	1.2094	2.4189	4.0775
	Mayıs	2.0774	1.8411	0.7007	0.2401	0.8844	1.4690	2.9379	7.3041
	Ağustos	2.2543	1.9978	0.7604	0.1776	0.9212	1.5940	3.1881	9.5353
	Kasım	1.6985	1.5052	0.5729	0.4014	0.7636	1.2010	2.4020	3.9928
Dinar 2011	Şubat	2.5180	2.2315	0.8493	0.1057	0.9580	1.7805	3.5610	13.0098
	Mayıs	2.4946	2.2108	0.8414	0.1111	0.9555	1.7640	3.5279	12.6507
	Ağustos	2.9847	2.6451	1.0067	0.0347	0.9884	2.1105	4.2210	21.6665
	Kasım	2.6869	2.3812	0.9063	0.0727	0.9729	1.8999	3.7998	15.8066
Sultandağı 2011	Şubat	2.1813	1.9332	0.7358	0.2021	0.9074	1.5424	3.0849	8.4578
	Mayıs	2.5892	2.2946	0.8734	0.0907	0.9650	1.8309	3.6617	14.1452
	Ağustos	2.6782	2.3735	0.9034	0.0742	0.9723	1.8937	3.7875	15.6534
	Kasım	2.1172	1.8763	0.7141	0.2251	0.8937	1.4971	2.9942	7.7339

Çizelge 9. Belirtme katsayısına göre Weibull ve Rayleigh dağılımlarının karşılaştırılması (The Comparison of Weibull and Rayleigh Distributions According to Determination Coefficient)

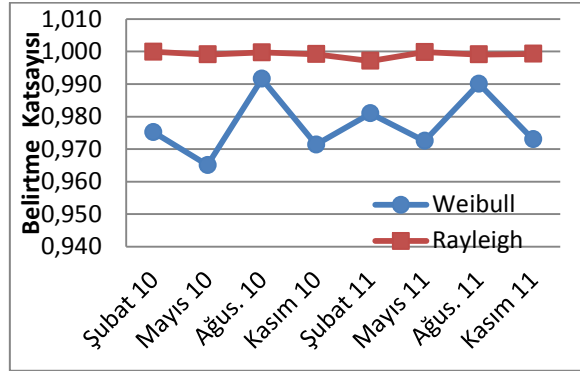
Aylar		Afyonkarahisar Merkez İstasyonu		Dinar İstasyonu		Sultandağı İstasyonu	
		2010	2011	2010	2011	2010	2011
Şubat	Weibull	0.975221	0.980979	0.989445	0.982632	0.979933	0.982163
	Rayleigh	0.999900	0.997100	0.999800	0.998800	0.999900	0.998500
Mayıs	Weibull	0.965064	0.972474	0.975929	0.976987	0.976001	0.991514
	Rayleigh	0.999100	0.999800	0.999600	0.997900	0.996800	0.999800
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
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

Bir bölgeye rüzgar enerjisi santrali kurulabilmesi için o bölgenin rüzgar gücü yoğunluğunun 50 w/m²' nin üzerinde olması gerekir. Afyonkarahisar Merkez, Dinar ve Sultandağı istasyonları 2010 ve 2011 yılı verileri analizi sonucunda elde edilen güç değerleri incelendiğinde ölçümlerin gerçekleştirilen alanlarda rüzgar enerjisi santrali kurulması uygun değildir (Demirkol, 2013).

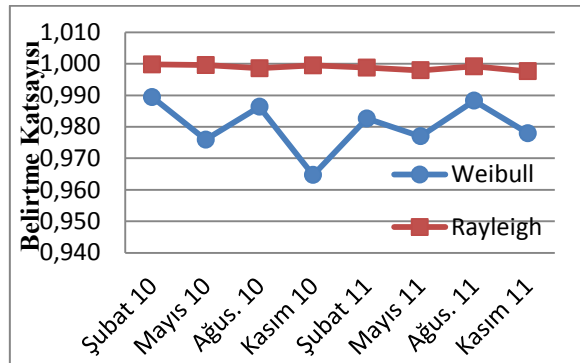
Weibull ve Rayleigh dağılımlarından hangisinin daha iyi modelleme yaptığının belirlenmesinde korelasyon katsayısının karesi olan belirtme katsayısı (R²) kullanılmıştır. Bu kriter denklem (9) ile ifade edilmiştir (Kurban, 2007).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - z_i)^2 - \sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - z_i)^2} \quad (9)$$

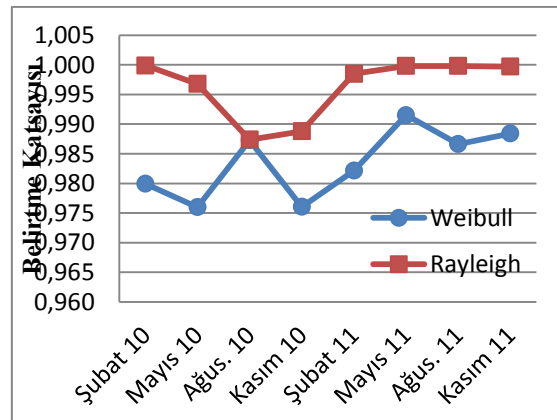
Burada y_i , i . rüzgâr hızı, x_i , i . Weibull veya Rayleigh dağılımından tahmin edilen veri, N toplam veri sayısı z_i , ortalama değeri ifade etmektedir. R^2 , herhangi bir modelin tahmin gücünün ölçüsü olarak 0 ve 1 arasında değer alır ve 1'e yaklaşması kullanılan modelin tahmin gücünün arttığını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



Şekil 5. Afyonkarahisar merkez istasyonu 2010-2011 göre Weibull ve Rayleigh karşılaştırılması (The Comprasion of Weibull and Rayleigh For Afyonkarahisar Station in 2010-2011)



Şekil 6. Dinar merkez istasyonu 2010-2011 yıllarına göre Weibull ve Rayleigh karşılaştırılması (The Comprasion of Weibull and Rayleigh For Dinar Station in 2010-2011)



Şekil 7. Sultandağı istasyonu 2010-2011 yıllarına göre Weibull ve Rayleigh karşılaştırılması (The Comprasion of Weibull and Rayleigh For Sultandağı Station in 2010-2011)

Çizelge 9 ve Şekil 5,6,7' de Afyonkarahisar merkez, Dinar ve Sultandağı istasyonları 2010 ve 2011 yılları için R2 kriterine göre Weibull ve Rayleigh dağılımlarının istatistiksel olarak karşılaştırılması verilmiştir. Şekillerdeki karşılaştırmalar incelendiğinde incelenen bölgelerde Weibull dağılımı değişken sonuçlar üretirken Rayleigh dağılımı daha kararlı sonuçlar ürettiği genel olarak görülmektedir. Buna göre Rayleigh dağılımının kullanımı daha uygun olduğu söylenebilir.

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada Afyonkarahisar ili yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli incelenmiştir. Bölge jeotermal enerji bakımından zengin bir potansiyele sahiptir. Afyonkarahisar ili güneşlenme süreleri Türkiye ortalamasının üzerindedir. Güneş enerjisi bakımından oldukça zengin bir potansiyele sahip olmasına rağmen bu enerjiden yararlanma ile ilgili çalışmaların henüz yetersiz olduğu görülmektedir. Bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyeli Weibull ve Rayleigh dağılımları kullanılarak incelenmiştir. Ayrıca Weibull ve Rayleigh dağılımları karşılaştırılmış ve Rayleigh dağılımının daha kararlı sonuçlar ürettiği görülmüştür.

Bir bölgeye rüzgar enerjisi santrali kurulabilmesi için o bölgenin rüzgar gücü yoğunluğunun 50 w/m²' nin üzerinde olması gerekir. Afyonkarahisar Merkez, Dinar ve Sultandağı istasyonlarının 2010 ve 2011 yılı verilerine ait Weibull ve Rayleigh analizinden elde edilen güç değerleri incelendiğinde söz konusu alanlarda rüzgâr enerjisi santrali kurulması uygun değildir.

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 bölgede birçok kurum ve kuruluş tarafından faaliyetleri desteklenen Afyon Kocatepe Üniversitesi Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Uygulama ve Araştırma Merkezinin (GURAM) çalışmaları büyük önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- 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.
- Afyonbld, 2012. <http://www.afyon-bld.gov.tr/tr/Default.aspx> [Ziyaret Tarihi: 20 Aralık 2012].
- Demirkol Z. 2013, Afyonkarahisar ili Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniv. Fen Bil. Enst.
- Eie,2012. <http://www.eie.gov.tr> [Ziyaret Tarihi: 28 Aralık 2012].
- Gırbalar, Ö., E., 2009, Heybeli (Kızılkilise) Jeotermal Sahası Kuyuları Sıcaklık, Basınç ve Test Verileri Üzerine Bir Değerlendirme, Termal ve Maden Suları Konferansı, İstanbul, 184.
- Köse, R., Tuğcu, 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,2012. Meteoroloji Afyonkarahisar 5. Bölge Müdürlüğü, Afyonkarahisar, 2012.
- Sarıkaya, U., 2010, Niğde ili yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 1-52.
- Teias,2012.<http://www.teias.gov.tr/T%C3%BCrkiyeElektrik%C4%B0statistikleri/istatistik2011/istatistik%202011.htm> [Ziyaret Tarihi: 24 Ara. 2012].
- 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.