



**T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cenk ÖZTÜRK

**OSMANİYE İLİ SINIRLARI İÇERİSİNDEKİ
BİR BÖLGENİN RÜZGÂR ENERJİSİ
POTANSİYELİNİN ANALİZ EDİLMESİ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

OSMANİYE-2017

**T.C.
OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**OSMANIYE İLİ SINIRLARI İÇERİSİNDEKİ BİR
BÖLGENİN RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN
ANALİZ EDİLMESİ**

Cenk ÖZTÜRK

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**OSMANIYE
EKİM-2017**

TEZ ONAYI

OSMANİYE İLİ SINIRLARI İÇERİSİNDEKİ BİR BÖLGENİN RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN ANALİZ EDİLMESİ VE EKONOMİK ANALİZİ

Cenk ÖZTÜRK tarafından Yrd. Doç. Dr. Bülent YANIKTEPE danışmanlığında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği** Ana Bilim Dalı'nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği/çokluğu ile **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Bülent YANIKTEPE
Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, OKÜ

Üye: Doç. Dr. Mehmet BİLGİLİ
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, ÇÜ

Üye: Yrd. Doç. Dr. Halil EROL
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, OKÜ

Yukarıdaki jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve /..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Coşkun ÖZALP
Enstitü Müdürü, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Bu Çalışma O.K.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.

BAP Proje No: OKÜBAP-2014-PT3-040

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Cenk ÖZTÜRK



ÖZET

OSMANİYE İLİ SINIRLARI İÇERİSİNDEKİ BİR BÖLGENİN RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN ANALİZ EDİLMESİ

Cenk ÖZTÜRK

Yüksek Lisans, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Bülent YANIKTEPE

Ekim 2017, 53 sayfa

Türkiye enerji ihtiyacının büyük bir bölümünü ithalat yolu ile sağlayan bir ülkedir. Türkiye’de enerji bağımlılığı ve fosil yakıtların kullanım dezavantajları nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları önem kazanmaktadır. Özellikle rüzgar enerjisi gibi yüksek miktarda yenilenebilir enerji potansiyellerine sahip olunmasından dolayı yatırım ve araştırmaların sayısı giderek artmaktadır.

Bu çalışmada rüzgar hızının dağılımının bir sonucu olarak rüzgar enerjisi potansiyeli Akdeniz’in doğusunda bulunan Osmaniye ilinde bir bölgede incelenmiştir. Bu tür rüzgar enerjisi çalışmaları için çoğunlukla kullanılan Weibull ve Rayleigh dağıtım yöntemleri incelenmiştir. Bunun sonucunda bölgenin ilgili yatırımlar için uygun olup olmadığı konusunda fikir veren yaklaşık rüzgar enerjisi potansiyeli elde edilmiştir. Rüzgar verileri, Ocak 2015-Aralık 2015 tarihleri arasında bir yıllık zaman periyodunda rüzgar hızı, rüzgar yönü ve akış süresi olmak üzere 80 m yüksekliğe sahip olan Rüzgar ölçüm direğinden alınmıştır. Weibull parametrelerini belirlemek için grafik metodu kullanılmıştır. $k=1.95$ ve $c=7.41$ (m/s) bulunmuştur. Ortalama rüzgar hızı 7.6 m/s ve ortalama rüzgar enerjisi potansiyeli 444.85 (W/m²) olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar Enerjisi, Weibull Dağılımı, Rayleigh Dağılımı, Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

ABSTRACT

AN ANALYSIS OF WIND ENERGY POTENTIAL IN A REGION IN THE LIMITS OF OSMANIYE

Cenk ÖZTÜRK

M.Sc., Department of Mechanical Engineering
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Bülent YANIKTEPE

October 2017, 53 pages

Turkey is a country that provides a large part of its energy needs through imports. Renewable energy sources become important because of the energy dependency in Turkey and the disadvantages of using fossil fuels. The increment of investments and number of researches is increasing gradually, especially because of the high potential for renewable energies such as wind energy.

In this study, wind energy potential as a consequence of the distribution of wind speed was studied in a region in the Osmaniye province, east of the Mediterranean Sea. Weibull and Rayleigh distribution methods which mostly used for this type of wind energy studies are investigated. This has resulted in a potential for wind energy which gives an idea of whether the area is suitable for the respective investments. The wind data is taken from the Wind measurement tower, which has a height of 80 m, including wind speed, wind direction and flow time in one year time period between January 2015 and December 2015. The graphical method is used to determine Weibull parameters. Hence $k=1.95$ and $c=7.41$ (m/s), averaged wind speed 7.6 (m/s) and averaged wind potential energy 444.85 (W/m^2) are found.

Key Words: Wind Energy, Weibull Distribution, Rayleigh Distribution, Wind Energy Potential



Çok kıymetli aileme...

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez konumun belirlenerek tez çalışmamın yürütölmesini üstlenen, çalışmalarım süresince değerli bilgi ve tecrübeleriyle katkılarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Bülent YANIKTEPE'ye teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince göstermiş olduğu yardım ve desteklerden dolayı Sayın Arş. Gör. İlyas ALADAĞ'a teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince sabır ve desteklerinden dolayı değerli eşime ve değerli kızıma teşekkür ederim.

Eđitim hayatım ve tez çalışmam süresince desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli annem ve babama teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam süresince göstermiş olduğu yardım ve desteklerden dolayı özel sektördeki üst yöneticim Sayın İsmail Yasin ERKAN'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
TEZ BİLDİRİMİ	
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İTHAF SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	10
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	32
3.1. Bölgenin Konumu ve Bazı Bilgileri.....	32
3.2. Rüzgâr Verileri.....	32
3.3. Weibull Dağılımı	34
3.4. Rayleigh Dağılımı.....	37
3.5. Rüzgar Enerjisi Hesaplamaları	38
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	40
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	46
KAYNAKLAR.....	48
ÖZGEÇMİŞ.....	53

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Türbin sınıfları [1]	3
Çizelge 2.1. Jubail şehri yıllık ortalama rüzgar hızı tablosu	16
Çizelge 2.2. Jubail şehri Weibull parametreleri tablosu	17
Çizelge 2.3. Türbin teknik özellikleri tablosu	17
Çizelge 2.4. Rüzgar türbinleri teknik özellik karşılaştırma tablosu.....	23
Çizelge 2.5. Rüzgar türbinleri ekonomik analiz karşılaştırma tablosu	23
Çizelge 2.6. Hesaplanan “k” ve “c” parametreleri tablosu	26
Çizelge 2.7. Ölçüm noktalarının özellikleri tablosu	28
Çizelge 2.8. Sonuçların karşılaştırma tablosu	29
Çizelge 3.1. Ölçüm direği üzerinde bulunan sensörler	33
Çizelge 4.1. Bölgenin Weibull dağılım fonksiyonu parametreleri.....	41
Çizelge 4.3. Bölgenin ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi .	44

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. 2016 Yılı Sonu İtibariyle Türkiye'deki Enerji Üretim Santrallerinin Yüzdelerik Dağılımı	4
Şekil 1.2. Yeni Politikalar Senaryosu Dikkate Alındığında Dünya Elektrik Üretiminde Enerji Kaynaklarının Payları (2000-2040)	5
Şekil 1.3. Türkiye'deki işletmede olan RES'ler için yıllara göre kümülatif güç dağılımı	5
Şekil 1.4. İşletmedeki RES'lerin yatırımcılara göre kurulu güç dağılımı	6
Şekil 1.5. İşletmedeki RES'lerin yatırımcılara göre yüzde dağılımı.....	6
Şekil 1.6. İşletmelerdeki RES'lerin türbin markalarına göre kurulu güç dağılımı	7
Şekil 1.7. İşletmelerdeki RES'lerin türbin markalarına göre yüzde dağılımı.....	7
Şekil 1.8. Türkiye geneli 50 metre yükseklikteki ortalama yıllık rüzgar hızları dağılımları	8
Şekil 1.9. İşletmede olan RES'lerin bölgelere göre yüzde dağılımı	8
Şekil 1.10. İşletmede olan RES'lerin bölgelere göre kurulu güç dağılımı	9
Şekil 2.1. Türbinlerin yıllık çıkış güçleri grafiği.....	17
Şekil 2.2. Çalışmanın yapıldığı bölge	19
Şekil 2.3. BRNER bölgesinde rüzgar ölçümü yapılan bölgeler	21
Şekil 2.4. Alaçatı rüzgar gülü grafiği.....	27
Şekil 3.1. Araştırması yapılan bölgenin konumu	32
Şekil 3.2. Rüzgar verileri ölçüm direği.....	33
Şekil 3.3. Rüzgar sensörlerinin ölçüm direğine yerleştirilmesi.....	34
Şekil 3.4. Mart ayına ait rüzgar hız verisinin lineer regreasyonu.....	37
Şekil 4.1. 2015 yılı aylara göre ortalama rüzgar hızı değerleri	40
Şekil 4.2. Standart sapma değerinin aylık değişimi.....	41
Şekil 4.3 Rüzgar hızı gerçek olasılık yoğunluk fonksiyonu ve kümülatif olasılık dağılımı	43
Şekil 4.4 Bölgeye ait rüzgar hızı frekans dağılımı	43
Şekil 4.5. Rüzgar yönü frekansı dağılımı.....	45

SİMGELER VE KISALTMALAR

RES	Rüzgar Enerjisi Santrali	
IEC	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu	
BM	Birleşmiş Milletler	
EIEI	Elektrik İşleri Etüt İdaresi	
k	Şekil parametresi	
WASP	Rüzgar atlası analiz ve uygulama programı	
R ²	Varyans analizi	
X ²	Ki-kare testi	
RMSE	Ortalama karesel hatanın karekökü	
MMK	Malezya Meteoroloji Kurumu	
LSRM	En Küçük Kareler Regresyon Yöntemi	
MBE	Ortalama Sapma	
MAE	Ortalama Mutlak Sapma	
GM	Grafik Yöntemi	
EMJ	Justus'un Ampirik Yöntemi	
EML	Lysen'in Ampirik Yöntemi	
EPF	Enerji Model Faktörü Yöntemi	
ML	Maksimum Olasılık Yöntemi	
MML	Modifiye Edilmiş Maksimum Olasılık Yöntemi	
PSO	Parçacık Sürüsü Optimizasyonu Yöntemi	
PD	Güç Yoğunluğu Yöntemi	
MoM	Moment metodu	
L-MoM	L- moment metodu	
AMLH	Alternatif maksimum olasılık yöntemi	
c	Ölçek parametresi	(m/s)
V	Rüzgar hızı	(m/s)
σ	Standart sapma	(m/s)
V _m	Ortalama rüzgar hızı	(m/s)
P	Güç	(W)

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji dünya ölçeğinde ekonomik bir güç haline gelerek ülkelerin gelişmişlik düzeylerinin artmasında önemli bir parametre olmuştur. Geçtiğimiz yüzyılda büyük bir öneme sahip olan fosil yakıtlar, kaynakların azalmasıyla birlikte ülkelerin enerji maliyetlerini yeniden gözden geçirerek farklı arayışlar içerisine girmelerine neden olmuştur. Bu arayışlar ülkeleri, enerji politikalarında yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının ortaya çıkarılması çalışmalarına ve pazar paylarının artırılıp geliştirilmesi için yeni yöntemler oluşturmalarına itmiştir. Bu kapsamda yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr başta olmak üzere güneş ve jeotermal kaynaklar alternatif enerji kaynakları olarak ön plana çıkmıştır. Son on yılda yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının önemi gün geçtikçe artmaktadır. Hem enerji talebinin hızlı bir şekilde artması hem de fosil yakıtların dezavantajları nedeniyle çoğu ülkeler yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının farklı kullanımlarını artırmayı amaçlamaktadır. Farklı teşvik mekanizmalarının yöntemlerinin uygulanmasına paralel olarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının büyüyen oranlarında dikkate değer bir artış kaydettiği görülmektedir. Dünyada ve ülkemizde rüzgâr enerjisine olan ilgi son hızla artmıştır. Kırsal ve dağlık bölgelerin ekonomiye kazandırılması, çevreye herhangi bir kirli atık oluşturmaması ve ülkelerin yerli kaynaklarından istifade etme oranında artış sağlaması bakımından gelişmekte olan ülkelere bu kaynakların kullanımı enerji konusunda bir çıkış olmuştur.

En basit haliyle rüzgâr enerjisi sistemi, rüzgârın sahip olduğu potansiyel enerjiyi önce mekanik olarak kinetik enerjiye, daha sonra sisteme bağlı olan alternatör ile elektrik enerjisine dönüştürmek olarak ifade edilmektedir. Alternatif enerjinin diğer biçimleri gibi rüzgâr enerjisi, doğrudan ve şebekeye bağlı modellerinin yanı sıra tek başına ve ulusal şebekeden uzak kalan bölgelerdeki uygulamalarda enerji talebini karşılamakta kullanılmaktadır. Rüzgâr enerjisi genel mantık itibariyle atmosferik sınır tabaka yasası ile ilgilidir. Bu konu başlı başına bir bilim dalı olarak değerlendirilmelidir. Türbin kurulumu yapılması düşünülen ilgili alanın coğrafi özellikleri, rüzgâr potansiyeli, türbinlerin kurulabileceği bölgeler, geçmiş dönemlere ait uzun vadeli rüzgâr verileri, kullanılacak türbin teknik özellikleri gibi birçok konu

üzerinde yapılan hassas çalışmalar neticesinde ortaya çıkarılan projeler ile yatırıma dönüştürülebilmektedir.

Rüzgâr hızı, rüzgâr enerjisinin potansiyelinin belirlenmesinde en önemli parametrelerden birisidir. Bu nedenle, rüzgâr hızı değerlerinin olasılık dağılımının doğru bir şekilde belirlenmesi, bir bölge üzerindeki rüzgar hızı enerji potansiyelinin tahmin edilmesinde önemli referanstır.

Yapılacak yatırımın geri dönüşünün kısa zamanda olması ve rüzgârın verimli kullanılabilmesi tamamen yatırım öncesi yapılan saha ve ofis çalışmaları ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Rüzgâr santralleri kurulum maliyetleri yüksek yatırımlar olduğundan enerji potansiyeli değerlendirilmeden yapılacak yatırımlar hatalı sonuçlar doğurabilmektedir. Bu nedenle tesisin kurulabilmesi için planlanan bölgede ön çalışmalar yapılması gerekmektedir. Gelişen teknolojiyle birlikte günümüzde rüzgârın günün hangi saatlerinde, yılın hangi mevsimde ne sıklıkta estiği gibi bilgileri sağlıklı olarak elde edebilmek mümkündür. Bir bölgeye Rüzgâr Enerji Santrali (RES) kurulumu yapılmadan önce ilk yapılması gereken çalışma ilgili lokasyonda uygun bir alana rüzgar ölçüm direği kurulumu yapılmasıdır. Bu direk üzerinde belirli yüksekliklerde konumlu bulunan rüzgar, yön ve sıcaklık sensörleri ile takip edilen orta vadeli verilerin işlenmesi ve analiz edilmesi santral kurulumunun verimliliği ve fizibilitesini ortaya çıkarmakta kullanılan önemli unsurlardır. Bu nedenle ölçümlerde devamlılık ve doğruluk sağlanması gerekmektedir. Yatırım öncesi yapılan bu ölçümler neticesinde rüzgârın karakteristiği hakkında bilgiye ulaşılmış olmakta ve böylelikle bölge ihtiyaçlarını karşılayacak RES kurulumuna uygun türbin tasarım seçimi ve üretimden sağlanacak kâr marjı tahmini oluşturulabilmektedir.

Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC), rüzgâr türbinleri için elektrikli ve elektronik ekipmanlar dâhil olmak üzere sektörel standartları oluşturmuştur. Türbin sınıflarının belirlenmesinde ortalama rüzgar hızı, 50 yıllık ani rüzgar akışı ve türbülans olmak üzere üç parametre kullanılmaktadır. IEC tarafından rüzgâr sınıfları 4 gruba ayrılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonrası belirlenen sınıfa uygun türbin kullanılması gerekmektedir [1].

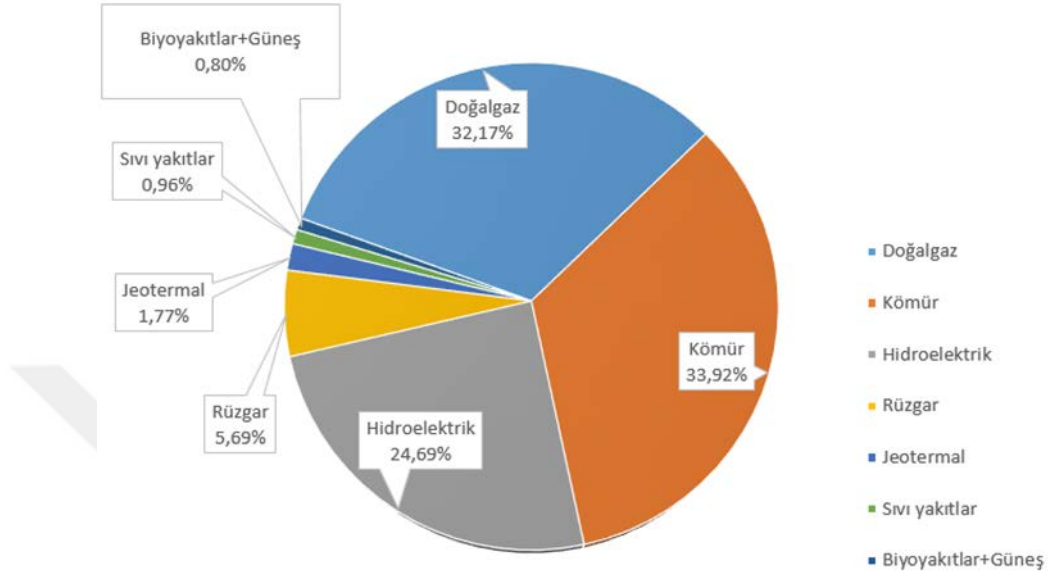
Çizelge 1.1. Türbin sınıfları [1]

	Class I	Class II	Class III	Class IV
Referans Rüzgar Hızı	50 m/s	42,5 m/s	37,5 m/s	30 m/s
Yıllık Ortalama Rüzgar Hızı (Maksimum)	10 m/s	8,5 m/s	7,5 m/s	6 m/s
50 Yıl İçerisinde Görülen En Yüksek Rüzgar Hızı	70 m/s	59,5 m/s	52,5 m/s	42 m/s
1 Yıl İçerisinde Görülen En Yüksek Rüzgar Hızı	52,5 m/s	44,6 m/s	39,4 m/s	31,5 m/s

Birleşmiş Milletler'in (BM), Paris'de 12 Aralık 2015'de gerçekleştirmiş olduğu İklim Değişikliği Toplantısı'nın son oturumunda 195 ülkenin bir sonuç belgesi üzerinde anlaştığı açıklanmış, buna göre 2030 yılına kadar dünya sıcaklık artışının 2 santigrat dereceyi aşmamasını sağlayarak, eğer mümkün olursa 1,5 santigrat derece ile sınırlı tutulması şeklinde karara varılmıştır. Türkiye'nin BM'lere sunduğu Niyet Edilen Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkı Belgesi'nde öngördüğü plan ve politikalar arasında rüzgâr enerjisinden elde edilen elektrik üretiminin 2030 yılına kadar 16 GW kapasiteye ulaşması hedef olarak taahhüt edilmiştir [2].

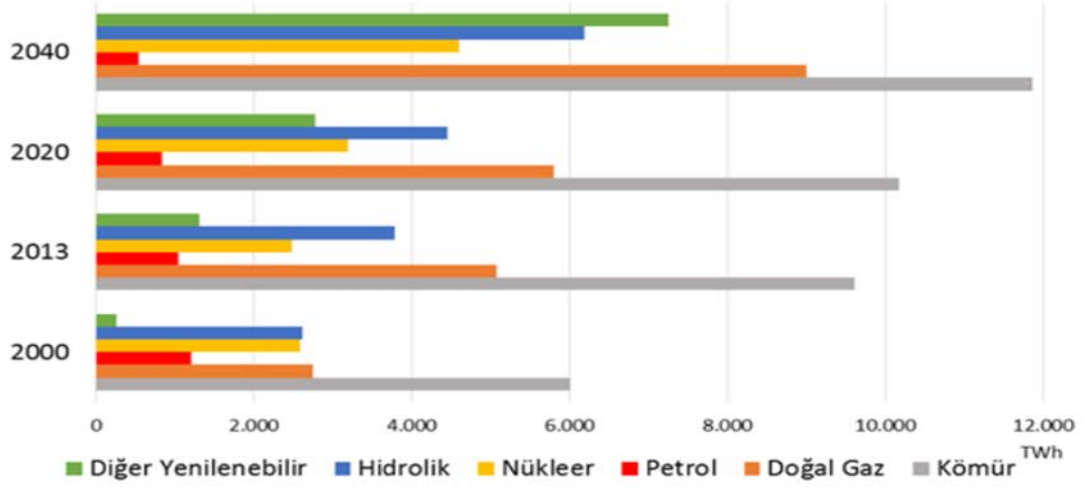
Rüzgâr enerjisi ile ilgili bu hedefler, plan ve politikalar neticesinde sektör yatırımcıları proje araştırma ve geliştirme çalışmalarına ağırlık vermişlerdir. Ülkemizde sektörün devlet tarafından desteklenmesi ve verilen önemin artması sonucu son on yıl içerisinde hızlı bir atılım süreci gerçekleşmiştir. Türkiye'de elektrik enerjisinin tüketimi, sanayinin gelişimi ve nüfusun hızla büyümesinden dolayı çok hızlı bir şekilde artmaktadır. Türkiye'de kömür, doğal gaz, petrol gibi geniş bir enerji kaynağı var olmasına rağmen sınırlı bir enerji kaynağı olmalarından dolayı dışa bağımlı bir ülke konumundadır. Bu nedenle, Türkiye alternatif enerji kaynaklarına yönelmiş ve bu kaynakların araştırmasına başlamıştır. Böylece öncelikle rüzgâr enerjisinin araştırılması, yüksek oranda potansiyel taşıyan Türkiye'de hızlı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Türkiye 2016 yılında elektrik üretiminin, %32,1'ini doğal gazdan, %33,9'unu kömürden, %24,7'sini hidrolikten, %5,7'sini rüzgârdan, %1,8'ini jeotermalden ve %1,8'ini diğer kaynaklardan elde etmiştir [3].



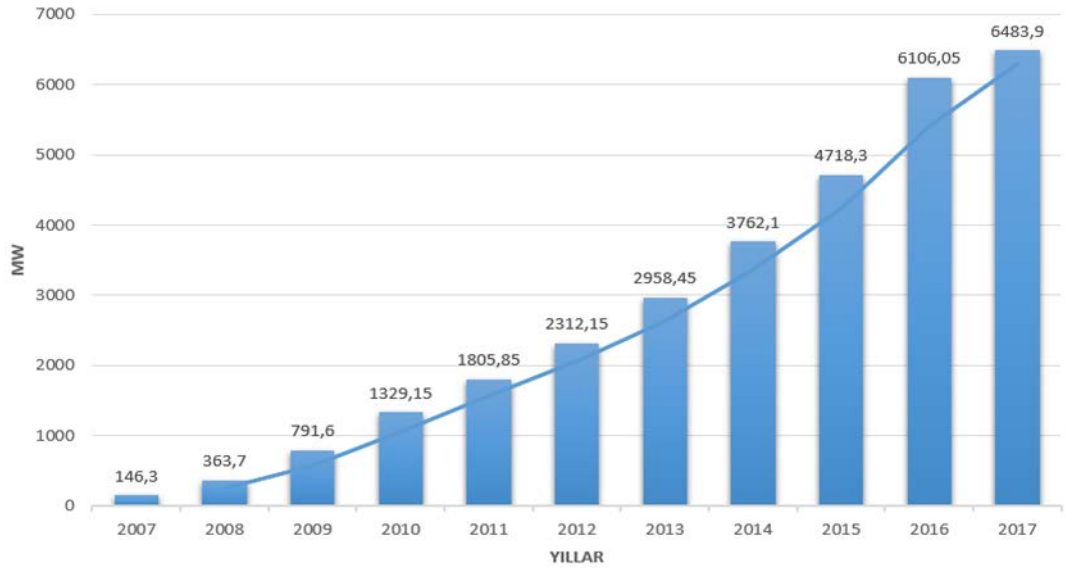
Şekil 1.1. 2016 Yılı Sonu İtibariyle Türkiye'deki Enerji Üretim Santrallerinin Yüzelik Dağılımı

Uluslararası Enerji Ajansı tarafından hazırlanan 2016 yılı Dünya Enerji Görünümü raporunda, geçmiş veriler ile gelecek öngörüler yapıldığında yenilenebilir kaynaklara olan ivmenin artacağı düşünülmektedir. Günümüzde dünya enerji üretiminde öncelikli kaynaklar petrol, doğal gaz ve kömür gibi yenilenemeyen enerji kaynaklarıdır. Özellikle doğal gazın çevreyi daha az kirletmesinden ötürü enerji üretimindeki payı gün geçtikçe artmaktadır. Yukarıdaki grafikte görüldüğü üzere, dünyanın en çok kullanılan enerji kaynağı petroldür. İkinci sırada kullanımı gittikçe azalan maden kömürü ve üçüncü sırada üretim ve tüketimi hızla artan doğal gaz bulunmaktadır. Her dönem belirli bir enerji kaynağı önem kazanmıştır. Kömürün yerini zamanla petrol almış ve sonraki yıllarda doğal gaz önem kazanmıştır. Önümüzdeki yıllarda ise alternatif enerji kaynakları değer kazanacaktır. Günümüzde dünya üzerinde kullanılmakta olan alternatif enerji kaynakları ve kullanım oranları şöyledir [4].



Şekil 1.2. Yeni Politikalar Senaryosu Dikkate Alındığında Dünya Elektrik Üretiminde Enerji Kaynaklarının Payları (2000-2040)

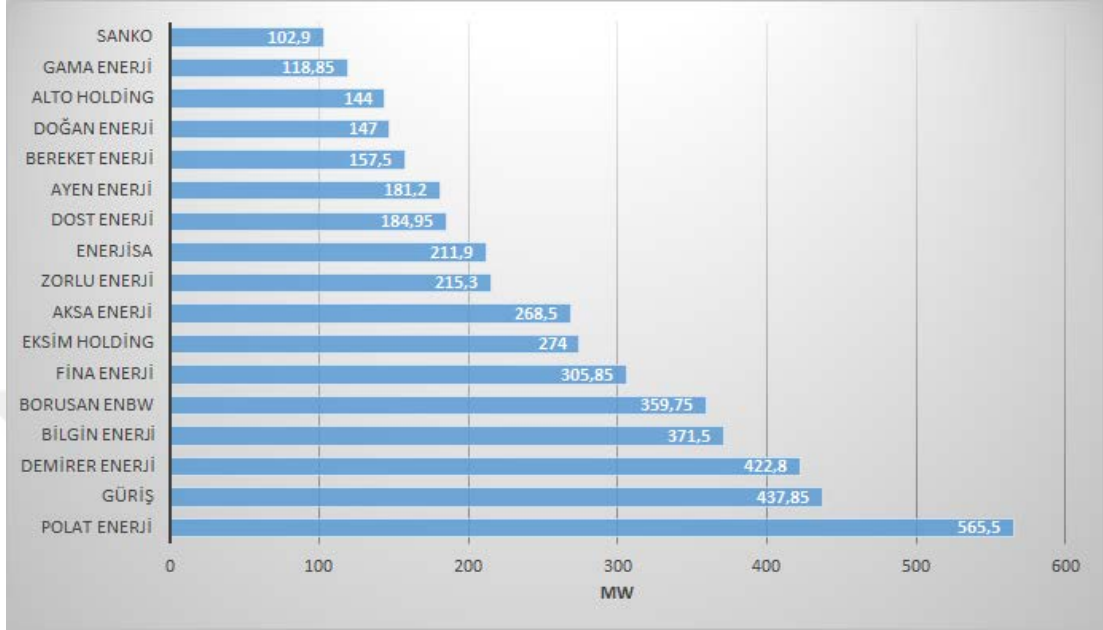
Ülkemizde yatırımı tamamlanmış ve aktif işletme döneminde olan Rüzgar Enerji Santralleri (RES)'nin Temmuz 2017 mevcut değerler itibariyle son durumları aşağıdaki şekildedir [5].



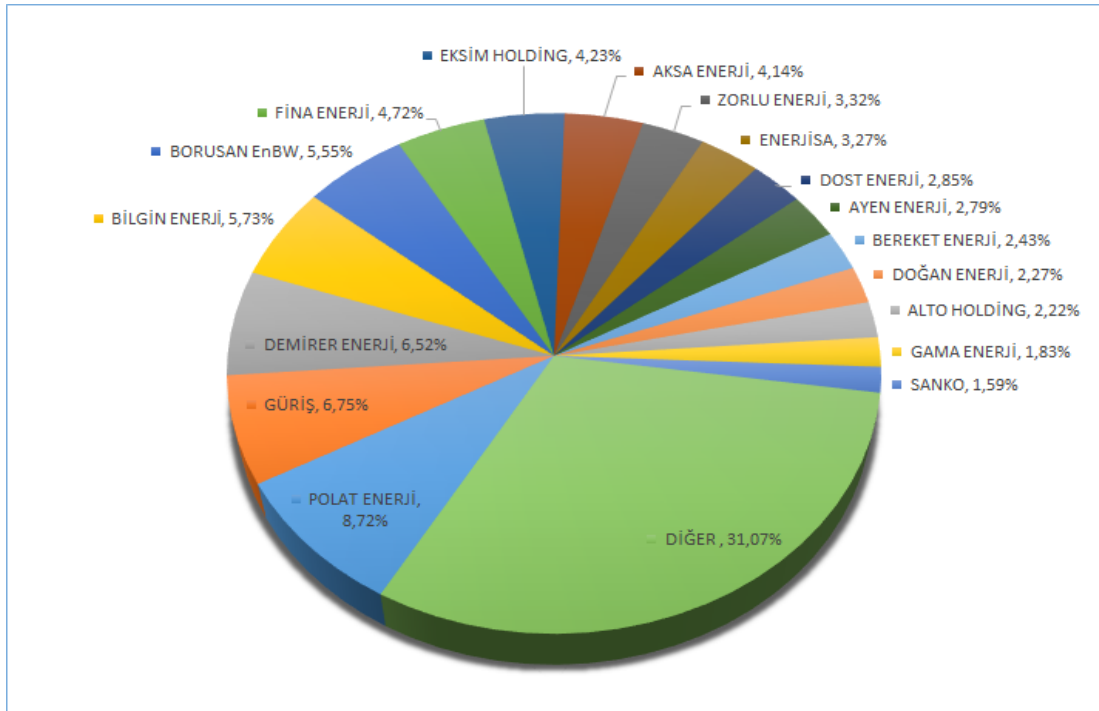
Şekil 1.3. Türkiye'deki işletmede olan RES'ler için yıllara göre kümülatif güç dağılımı

2007 yılında toplam kurulu gücü 146,3 MW olan RES'ler 2017 yılının ortası itibariyle 6483,9 MW kurulu güce ulaşmıştır. Kurulu gücün % 68,93'lük kısmını 17

adet yatırımcı firma, geriye kalan % 31,07'lik kısım ise sektörde düşük yoğunluklu yatırıma sahip firmalar tarafından oluşmaktadır. Türkiye’de kurulu bulunan güce göre yatırımcıların dağılımları şu şekildedir;

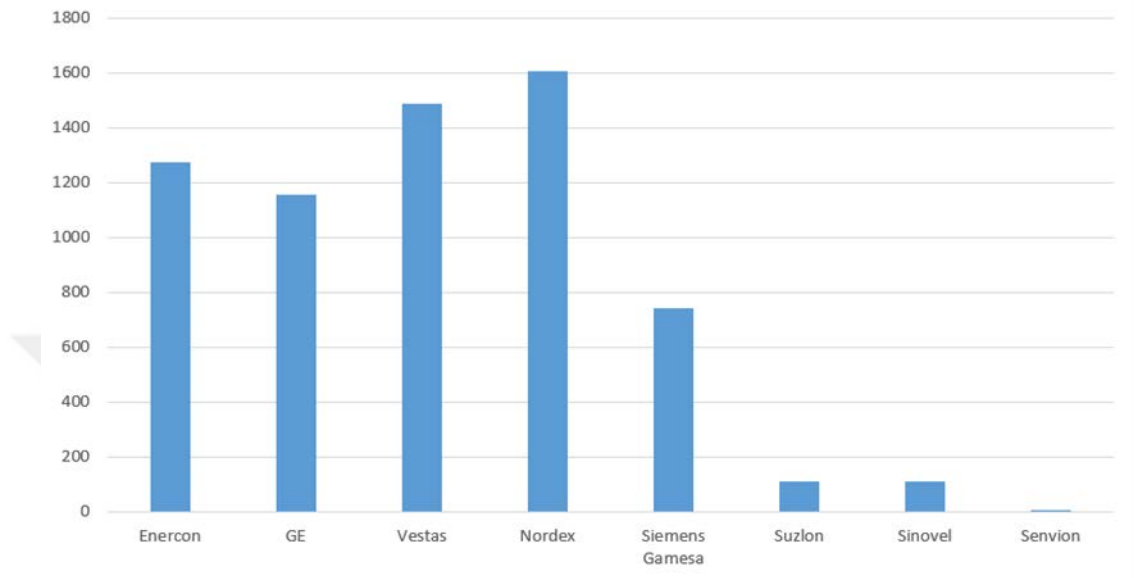


Şekil 1.4. İşletmedeki RES'lerin yatırımcılara göre kurulu güç dağılımı

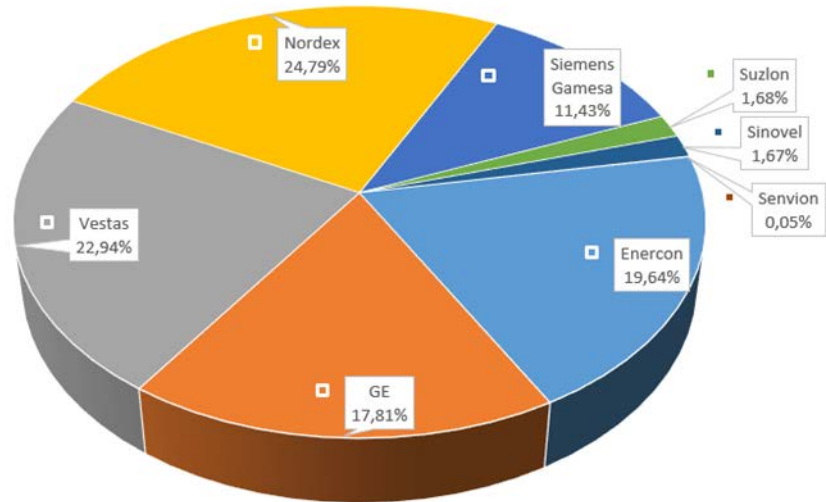


Şekil 1.5. İşletmedeki RES'lerin yatırımcılara göre yüzde dağılımı

Rüzgar sektöründe çeşitli üretim kapasitesine sahip türbin imalatçıları bulunmakta ve bu imalatçılardan global ölçekte pazar hakimiyetine sahip olan firmalar Türkiye pazarında da yer edinmişlerdir. Türkiye’de kurulu bulunan türbinlerin imalatçılarına göre dağılımları şu şekildedir;

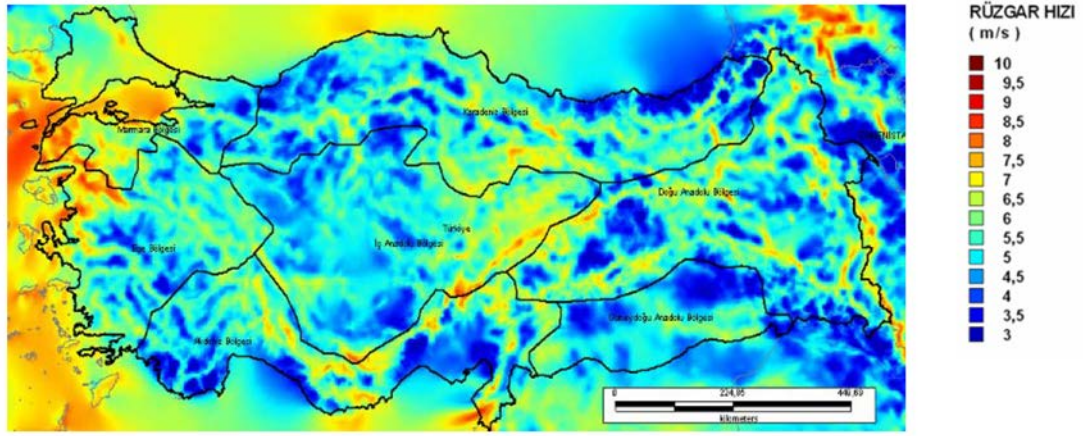


Şekil 1.6. İşletmelerdeki RES'lerin türbin markalarına göre kurulu güç dağılımı



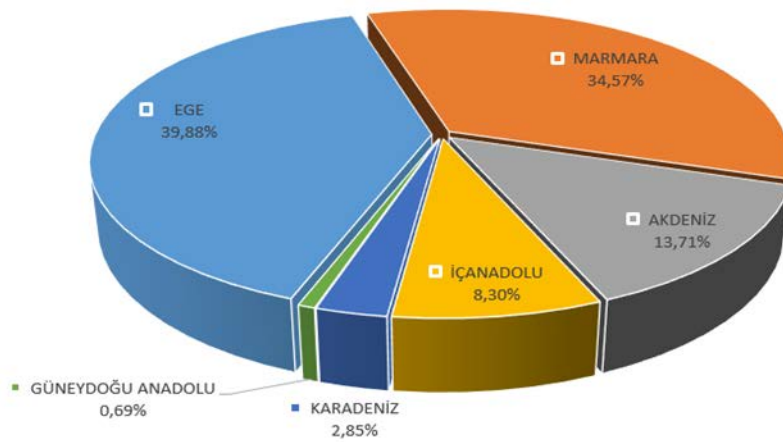
Şekil 1.7. İşletmelerdeki RES'lerin türbin markalarına göre yüzde dağılımı

Türkiye’de işletme sürecinde olan kurulu güç bölgesel olarak farklı alanlarda yer almaktadır. Türkiye’nin rüzgar atlası ortalama 50 metre yükseklikteki veriler baz alınarak şu şekilde ortaya konulmuştur [6].

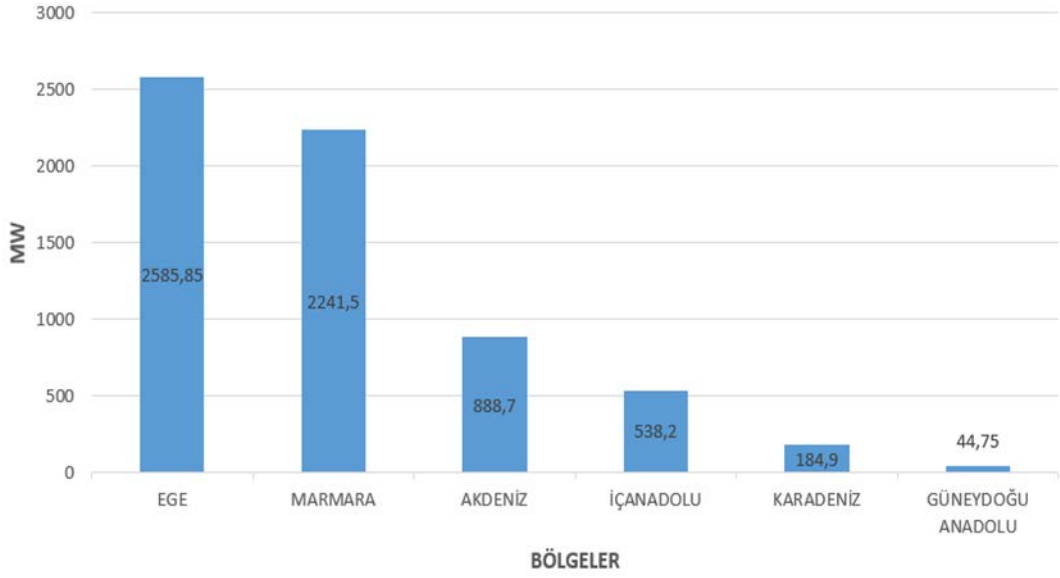


Şekil 1.8. Türkiye geneli 50 metre yükseklikteki ortalama yıllık rüzgar hızları dağılımları

Ekonomik olması açısından potansiyeli yüksek olan bölgelerde kurulu güç yoğunluğunun diğer bölgelere göre daha fazla olduğu görülmektedir, bu durumun sebebi yatırımın daha erken dönüş sağlayacağı yüksek rüzgarlı bölgelerin yatırımda öncelikli noktalar olmasından kaynaklanmaktadır. Bölgelere göre kurulu güç dağılımında Ege bölgesi % 39,88 oran ile yatırımcıların öncelikli bölgesi olmuştur.



Şekil 1.9. İşletmede olan RES'lerin bölgelere göre yüzde dağılımı



Şekil 1.10. İşletmede olan RES'lerin bölgelere göre kurulu güç dağılımı

Bu çalışmada, rüzgâr hızının dağılımı sonucu rüzgar enerjisi potansiyeli, Akdeniz'in doğusunda bulunan Osmaniye'nin kentsel bölgesinde incelenmiştir. Bu tür rüzgâr enerjisi çalışmaları için daha çok kullanılan Weibull ve Rayleigh dağılım fonksiyonu yöntemleri incelenmiştir. Bu yöntemler kullanılarak sonuçta bölgenin ilgili yatırımlar için uygun olup olmadığı hakkında fikir vermesi açısından yaklaşık olarak rüzgâr enerjisi potansiyeli elde edilmektedir. Bu amaçla, rüzgâr hızı, yön, sıcaklık, nem, basınç ve akış süresi gibi meteorolojik veriler meteorolojik ölçüm istasyonundan alınmıştır. Weibull parametrelerini belirlemek için, grafiksel yöntem kullanıldığından ölçek parametresinin (c) yıllık değeri 5.36 ile 10.74 m/s arasında iken şekil parametresinin (k) yıllık değeri 1.63 ve 2.95 arasında bulunmuştur. Ortalama rüzgar hızı ve ortalama rüzgar enerjisi sırasıyla 7.6 m/s ve 444.85 W/m² olarak elde edilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Seçilen saha için rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesi, hız, yön, süreklilik ve kullanılabilirlik gibi rüzgar özelliklerinin ayrıntılı bilgisini araştırarak yapılmaktadır [7]. Son yıllarda Weibull ve Rayleigh gibi farklı matematiksel yöntemlere dayalı rüzgar özelliklerinin araştırılması ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Bazı yazarlar, bir bölgedeki rüzgar enerjisi potansiyelini değerlendirmek için Rüzgar Atlası Analiz ve Uygulama Programı'nı (WASP) kullanmaktadır. Bu program ile rüzgâr karakteristikleri analizi, elde edilen bölgenin rüzgâr verilerine göre yıllık, mevsimsel ve aylık gibi belirli bir süre boyunca yapılabilmektedir.

Rüzgar karakteristikleri ve rüzgar enerjisi potansiyeli ile ilgili birçok çalışma tüm dünyada birçok ülkede yapılmıştır. Youm ve ark. [8], bölgedeki beş farklı yerde iki yıl boyunca rüzgar verilerini toplayarak Senegal'in kuzey sahili boyunca rüzgar enerjisi potansiyelini araştırmışlardır. Keyhani ve ark. [9] İran'ın başkenti Tahran'da rüzgar enerjisi potansiyelini bulmak için on bir yıllık rüzgar hızı ölçümlerinin istatistiksel verilerini kullanarak bir araştırma yapmışlardır. Tchinda ve Kaptoum [10], Adamaoua ve Kuzey Kamerun eyaletlerinde rüzgar enerjisi potansiyelini incelemişlerdir. Lima ve Filho [11], Brezilya'nın en kuzeyindeki Pernambuco eyaletindeki Triunfo şehrinde rüzgar enerjisi potansiyelini araştırmışlardır. Albuhaire [12], güneybatı Yemen'de bulunan Taiz Şehrindeki saatlik seri rüzgar hızı verilerinde ölçülen rüzgar hızı verilerini bir yıl analiz etmiştir. Belirlenen bölgede meydana gelen rüzgâr enerjisi potansiyeli, Weibull ve Rayleigh modelleri temel alınarak incelenmiştir. Çalışmalarında incelenen bölgenin rüzgâr enerjisi için bir yatırım olabileceği sonucuna varılmıştır.

Mostafaeipour ve ark. [13], Keman eyaletindeki Şahrabak kentinin statüsünü ve rüzgar enerjisi potansiyelini araştırmıştır. 1997'den 2005'e kadar üç saat aralıklı uzun süreli rüzgar hızı verileri, rüzgar enerjisi üretim potansiyelini belirlemek için kullanılmıştır. Rüzgar türbini tesisatının teknik ve ekonomik fizibilitesi çalışmada verilmiştir. Mirhosseini ve ark. [14] 2003-2007 yılları arasında İran'da Semnan eyaleti için 10 m, 30 m ve 40 m yüksekliklerde 3 saatlik ölçülen rüzgâr hızı verilerini analiz etmişlerdir. İldeki 5 şehirde - Biarjmand, Damghan, Garmsar, Semnan ve

Shahrood'da rüzgâr enerjisi üretiminin potansiyeli araştırılmıştır. Dahmouni ve ark. [15] Tunus'ta Borj-Cedria bölgesinin rüzgar enerjisi potansiyelini ve elektrik kapasitesini değerlendirmişlerdir. Mevsimsel ortalama rüzgar hızı, rüzgar hızı dağılımı ve rüzgar gücü yoğunluğu, 2008 ve 2009 yıllarında 30, 20 ve 10 m yükseklikte toplanan rüzgar hızı verileri kullanılarak iki meteoroloji istasyonu kullanılarak tahmin edilmiştir. Fyrippis ve ark. [16] tarafından Yunanistan'ın Naxos Adası'nın kuzeydoğu kesimindeki Koronos köyünün rüzgâr enerjisi potansiyeli araştırılmıştır. Bu çalışmada gösterilen sonuçlara göre, seçilen saha, bölgede kaydedilen yıllık rüzgar hızının 7.4 m / s olduğu ve karşılık gelen yıllık ortalama güç yoğunluğunun 420 olduğu tahmin edildiği için, uluslararası rüzgar sınıflandırma sisteminin 7. Sınıfı'na girmektedir. Li ve Li [17] beş yıllık dönem için (1999-2003) yıllık, mevsimsel, aylık ve gündüz rüzgâr potansiyelini ve Kanada'nın Waterloo bölgesinin özelliklerini analiz etmişlerdir.

Carla ve arkadaşları [18] rüzgar enerjisinin verimliliğinin tahmini için Weibull parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan nümerik metodun değerlendirilmesi için yeni bir yaklaşım ortaya koymuşlardır. Yapılan bu çalışmayla belirli bir alanın rüzgar enerjisinin verimli kullanılabilmesi için fizibilitesinin doğru hesaplanması gerektiği neticesine varılmıştır. Özellikle kurulu gücü yüksek endüstriyel rüzgar tarlalarının, kurulum önceki bilgileri teknik fizibilite sürecinde karar vermek için önemli bir kriterdir. Ceara Federal Üniversitesi'nde yapılan bu çalışmada Weibull dağılımının şekil parametresi 'k' ve ölçekleme parametresi 'c' yi tahmin etmek için 7 matematiksel metodun istatistiksel analizi gerçekleştirilmiştir. Ceara eyaleti sınırları içerisinde yer alan iki sahil kesimi olan Icapui ve Camocim şehirlerinde rüzgar hızı ve rüzgar gücü verileri toplanmış ve bu veriler Brezilya'nın kuzeydoğu bölgesinde kullanılmıştır. Bu araştırmanın geliştirilmesinde kullanılan metotlar: grafik metodu, maksimum olasılık metodu, düzenlenmiş maksimum olasılık metodu, deneysel metod, moment metodu, enerji modeli faktörü ve eşdeğer enerji metotlarıdır. Verimlilik analizinin ve doğruluğun karşılaştırması Varyans Analizi (R^2), Ki-Kare Testi (X^2) ve Ortalama Karesel Hatanın Karekökü (RMSE) istatistiksel metodların uygulanmasını içermektedir. Yapılan bu çalışmada bir parametre olarak kullanılan güç Weibull dağılımını analiz ederek değerlendirildiğinde literatürde tartışılardan biraz farklı bir durumdur. Bu metotlar göstermiştir ki karşılaştırma faktörü olarak

kullanılan iyi ölçülmüş rüzgar hızı güce göre sıralama yapıldığında pozisyon değiştirebilmektedir. Önemle vurgulamak gerekir ki “k” ve “c” değerleri doğrudan rüzgâr enerjisi değerlerinden hesaplanmakta, rüzgâr hızını ve rüzgar enerjisini öngörmek için değerlerin yeterliliği istatistiksel olarak test edilmiştir. Bu sonuçlar şekil ve ölçüm parametreleri için üretilen değerlerin rüzgâr hızı ve rüzgar gücü tarafından oluşturulan veri tabanının, yani bir diğer ifadeyle grafiksel yöntemin farklı durum değerlendirmesi sağladığını göstermiştir. Rüzgâr gücü verileri ise istatistiksel testlere katıldığında doğru sonuçlar vermiştir.

Aly ve arkadaşları [19] Süveyş Körfezi, Zafarana bölgesindeki rüzgâr hızı verimliliğini, Weibull dağılım parametrelerini tahmin etmek ve kullanılan farklı yöntemlerin değerlendirilmesi için bir çalışma yapmışlardır. Weibull dağılım parametrelerini bulmak ve en uygun yöntemi tespit etmek için 1 yıl içerisinde minimum ardışık 2 güne ait 10’ ar dakikalık aralarla alınan verilerden oluşturulan aylık ortalama veriler doğrultusunda 1 gün yaz sezonuna ve 1 günde kış sezonuna ait veriler incelenerek bir çalışma ortaya konulmuştur. Literatürde rüzgar hızı dağılımını bulmak için en sık kullanılan yöntemler Weibull ve Weibull’ın alt kümesi olan Rayleigh dağılım fonksiyonlarıdır. Bunun nedeni parametrelerinin kolay tahmin edilebilir olmasıdır. Rayleigh yalnızca bir parametreye sahipken Weibull iki parametre dağılıma sahiptir. Yapılan farklı çalışmalarda diğer iki dağılım fonksiyonu olan Gamma ve Karekök normal dağılımları Weibull dağılımı ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta her üç modelinde rüzgar hızının gözlemlenen değerleri iyi sonuçlar vermiş, fakat Weibull dağılımının sadeliği sebebiyle seçildiği belirtilmiştir. Yapılan bu çalışmada değerlendirmeye tabi tutulan yöntemler ortalama rüzgar hızı yöntemi, maksimum olasılık, değiştirilmiş maksimum olasılık, grafik ve güç yoğunluğu yöntemleridir. Bu yöntemlerin sonuçları verilen değerlerle karşılaştırılarak doğrulukları Ortalama Karesel Hatanın Karekökü’ne (RMSE) dayalı olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlardan bölge için kullanılacak uygun tahmin yöntemlerinin ortalama rüzgar hızı ve maksimum olasılık yöntemleri olması gerektiği tavsiye edilmiştir.

Rahim ve arkadaşları [20] Weibull dağılımı fonksiyonu kullanılarak Malezya, Kudat ve Labuan’da rüzgâr enerjisi potansiyelini analiz etmek için bir çalışma

gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada 2006-2008 yılları arasında Kudat ve Labuan'da uygulanmak üzere iki parametrelili Weibull dağılımı kullanılarak rüzgâr enerjisi potansiyeli incelenmiştir. Rüzgâr hız verileri Petaling Jaya'da bulunan Malezya Meteoroloji (MMK) Kurumundan alınmıştır. MMK bu verileri Malezya'daki farklı istasyonlardan toplamıştır. Seçilen istasyonlarda 10 mt yükseklikteki boru tipi çelik direklere takılan cup anemometre ve yön sensörleri kullanılarak, sıcaklık ile nem değerleri ölçülmüştür. Uygulamada "WRPLOT" yazılımı rüzgârın yönünü ve rüzgâr hız yönünün sonuçlarını tespit edebilmek amacıyla kullanılmıştır. Analiz prosedüründe kullanılan rüzgâr hızı dağılım parametreleri; Weibull dağılım fonksiyonu, rüzgâr hızı yoğunluğu, rüzgâr hızının taşıdığı maksimum enerji, rüzgâr güç yoğunluğu ve rüzgâr enerji yoğunluğundan oluşmaktadır. Sırasıyla Kudat ve Labuan'daki aylık ve yıllık en yüksek rüzgâr hızları 4,76 m/s ve 3,39 m/s olarak ölçülmüştür. Yıllık en yüksek Weibull şekil parametresi (k) ve ölçeklendirme parametresi (c) 1,86 m/s ve 3,81 m/s' dir. 2008 yılı için maksimum rüzgâr gücü yoğunluğu Kudat'ta 67,40 W/m², rüzgâr enerjisi güç yoğunluğu ise 590,40 kWh/m²/yıl olarak gözlenmiştir. 2007 yılında muhtemel en yüksek rüzgâr hızı ve rüzgâr hızının taşıdığı maksimum enerjinin 2,44 m/s ile Labuan'da ve 6,02 m/s ile Kudat'ta olduğu tahmin edilmiştir. Weibull frekans dağılımı ile maksimum sapma arasında gözlenen fark yaklaşık % 5 olarak gerçekleşmiştir. Böylelikle yapılan tüm bu çalışmalar neticesinde bölgelerin geniş ölçekli rüzgâr türbinleri kurulumu için verimli olmayacağı anlaşılmış olup, bununla birlikte küçük ölçekli yani belirli özel alanlara 100 mt. yüksekliğinde rüzgâr türbini kurulumu ile efektif enerji üretiminin mümkün olduğu görülmüştür.

Safari ve Gasore [21] tarafından Rwanda'daki rüzgâr kaynaklarının potansiyelini değerlendirmek ve rüzgâr gücünü kullananlar için veri tabanı oluşturmak amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Çalışma ulusal meteoroloji bölümü tarafından 1974 ve 1993 yılları arasında Rwanda'daki 5 ana meteoroloji istasyonundan kayıt altına alınan rüzgâr hızı ve rüzgâr yönünün günlük her saat başı yapılan ölçümleri temel alınarak yapılmıştır. Veri analizi ve grafik çizimlerinde MATLAB ve WRPLOT programları kullanılmıştır. Weibull ve Rayleigh dağılımları kullanılarak yerden 10 m. yükseklikte her ay için her saat başı olmak üzere ölçülen rüzgâr hızının karakteristiği ve rüzgâr gücünün potansiyelinin ortalama verileri değerlendirilmiştir. Ortaya çıkartılan sonuç

ile Rwanda'nın farklı bölgelerindeki rüzgâr potansiyelin dağılımının küresel resmi ortaya konulmuştur.

Werapun ve arkadaşları [22] Tayland, Phangan adasının Ocak 2012 ile Aralık 2014 tarihleri aralığındaki rüzgâr verileri ile Weibull parametrelerinin tahmini için beş yöntemin karşılaştırmalı incelemesini yapmışlardır. Rüzgâr hızının zaman dağılımını tespit etmek için yaygın olarak Weibull dağılımı kullanılmıştır. Şekil için 'k' ve ölçü için 'c' parametre formları belirlenmiş olup, Weibull parametrelerinin hesaplanmasında ampirik metod, enerji modeli faktörü, maksimum olasılık metodu, değiştirilmiş maksimum olasılık ve grafiksel güç yoğunluğu yöntemleri karşılaştırılmıştır. R^2 , RMSE, rüzgâr güç yoğunluğu yüzde hatası ve Kolmogorov-Smirnov testi kullanılarak uyumun kalitesi sayısallaştırılmıştır. Elde edilen verilerle, enerji modeli faktör yöntemi rüzgâr enerjisi yoğunluğunun yüzde hatası açısından en iyi performansı göstermiş ve en yüksek R^2 'ye sahip olmuştur. Bu çalışmada, grafiksel metodun diğer metotlar arasındaki en kötü performansı gösterdiği ortaya konulmuştur.

Dabbaghiyan ve arkadaşları [23] tarafından yapılan çalışmada ise İran'a bağlı Bushehr bölgesi sınırları içerisinde bulunan Saluyeh, Bordkhun, Delvar ve Haft-Chah isimli dört farklı bölgedeki rüzgâr enerji potansiyeli araştırılmıştır. Yapılan çalışmada kullanılan rüzgâr verileri 2011 yılına ait 10 m, 30 m ve 40 m yüksekliklerden ölçülen verilerden oluşmaktadır. Bölgelerin rüzgâr güç yoğunluğu ve enerjisini hesaplamak için Weibull olasılık dağılım fonksiyonu kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda Weibull dağılımının deneysel verilere uyum sağladığı ve kabul edilebilir aralıkta olduğu görülmüştür. Rüzgar verilerinin istatistiksel analizleri için aylık ve gün içi ortalama rüzgar hızı kümülatif eğrilerinin tahminleri ve rüzgar gülü diagramlarının oluşturulmasını içeren bir çalışma ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre Bordkhun'un rüzgâr enerjisi potansiyelini kullanmanın diğer 3 lokasyondan daha iyi olduğu görülmüştür. Bu lokasyonun yıllık ortalama rüzgâr enerjisi yoğunluğu 40 m yükseklikte yaklaşık olarak 256 W/m^2 olarak gözlenmiştir. Her bir lokasyon için en iyi rüzgâr türbinini hesaplaması açısından enerji analizleri kullanılmıştır. 1 kW ile 100 kW üretim kapasitesi aralıklarında 12 tane rüzgar türbini incelenmiş ve seçilen türbinlerin yıllık kapasite faktörü ile yıllık enerji çıkışları

hesaplanmıştır. Rüzgâr türbinleri sonuçlarının karşılaştırılması neticesinde Proven 15 isimli rüzgâr türbin modelinin en yüksek kapasite faktörüne sahip olduğu ve tüm lokasyonlar için ekonomik açıdan en iyi seçim olduğu ortaya konulmuştur. Rotor uzunluğu ve hesaplanan üretim miktarı çok daha fazla olan türbinler yatırım maliyetleri de göz önüne alındığında ekonomik olmamışlardır.

Safari [24] Ruanda'da rüzgâr hızı ve rüzgar enerjisi dağılımlarının modellenmesi üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, Ruanda'daki Gisenyi, Butare, Kigali ve Kamembe bölgelerinde meteoroloji istasyonları tarafından kayıt altına alınan veriler doğrultusunda bölgelerin rüzgâr enerjisi potansiyeli Weibull, Rayleigh, Lognormal, Normal ve Gamma gibi 5 olasılık yoğunluk dağılım fonksiyonlarının parametreleri ile hesaplanmıştır (Aylık, saatlik ortalama rüzgâr hızı $V \geq 2$ m/s). En uygun olasılık yoğunluk dağılım fonksiyonlarını tespit etmek amacıyla ampirik dağılımlar için grafiksel karşılaştırmalar yapılmıştır. Buna ek olarak her dağılım için RMSE ve MBE hesaplanmış ve hataların büyüklükleri karşılaştırılmıştır. Teorik dağılımların kalıntıları grafiksel olarak görsel şekilde analiz edilmiştir. Sonuç olarak her istasyon bölgesinde ölçülmüş rüzgâr hızı verilerinin amprik dağılımının en uyumlu 3 dağılım seçimi için uyumluluk testi yapılmıştır.

Keyhani ve arkadaşları [25] İran'a bağlı Firouzkooch bölgesinde Weibull ve Rayleigh dağılımları kullanarak rüzgâr hızı ve güç yoğunluğu analizi yapmışlardır. Yapılan çalışmada Firouzkooch bölgesinin rüzgâr hızını analiz etmek amaçlanmıştır. Rüzgâr enerjisi üretim potansiyelini hesaplamak için 10 yıl boyunca ölçülen rüzgâr hızı verileri analiz edilmiştir. Rüzgâr hızının analizinde en iyi yöntemi bulmak adına Weibull ve Rayleigh dağılımları uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Weibull ve Rayleigh dağılımları gerçekleşen rüzgâr hızı değerleriyle, (R^2) 0.97'nin saptama değerinin aynı katsayısıyla neredeyse aynı olacak şekilde uyumludur. Rüzgâr gücünün ortalama ve kök ortalama hızının küpü yaklaşımına dayanan ortalama değerleri sırasıyla yıllık 203 ve 248 W/m² olarak hesaplanmıştır. Bu çalışma sonucunda Firouzkooch bölgesinin rüzgâr türbin kurulumu için uygun olduğu görülmüş ve rüzgâr gülü diyagramı, hâkim rüzgâr yönünün kuzeyden saat yönünde 180° ve 270° arasında olduğu tespit edilmiştir.

Baseer ve arkadaşları [26] Weibull parametrelerini kullanılarak Jubail şehrindeki yedi farklı bölgeden temin edilen veriler ile rüzgâr güç karakteristiğini incelemiştir. Bu bölgelerden altı tanesinin analizi için zeminden 10 metre yükseklikteki beş yıllık rüzgâr verisi, yedinci bölgenin analizi için ise yine zeminden 10 m yükseklikteki üç yıllık rüzgâr verisi kullanılmıştır. Yıllık en yüksek ortalama rüzgâr hızı 4.53 m/s olarak doğuda yer alan sanayi bölgesinde (Çizelge 2.1), en düşük ortalama rüzgar hızı 2.52 m/s olarak Pearl sahilinde ölçülmüş ve gözlenen standart sapmalar sırasıyla 2.52 m/s ile 1.1 m/s olarak gözlenmiştir. Ölçüm yapılan noktalara ait ölçülmüş ortalama ve maksimum rüzgâr hızları ile standart sapmaları hesaplanmıştır.

Çizelge 2.1. Jubail şehri yıllık ortalama rüzgar hızı tablosu

İstasyon	Yıllık ortalama rüzgar hızı, m/s		
	Ortalama	Maksimum	Standart sapma
Sanayi bölgesi (Merkez)	3,27	11,9	1,985
Al-Bahar	3,74	2,4	2,193
Pearl sahili	2,26	8,7	1,109
Naval	3,78	13,8	2,220
Sanayi bölgesi 2 (Güney)	4,31	27,0	2,983
Al-Reggah	2,91	13,6	1,511
Sanayi bölgesi (Doğu)	4,53	19,3	2,520

Weibull parametrelerinin hesaplanmasında maksimum olasılık, en küçük kareler regresyon yöntemi (LSRM) ve WASP algoritması kullanılmıştır. En muhtemel maksimum enerji taşıyan rüzgâr hızı her üç yöntemle hesaplanmıştır. Korelasyon katsayısı (R^2), RMSE, ortalama sapma (MBE) ve ortalama mutlak sapma (MAE) tüm metodlar ile hesaplanmış, maksimum olasılık yönteminin az bir farkla WASP algoritmasından daha iyi sonuç verdiği, LSRM yönteminin ise diğer ikisine göre biraz daha geride kaldığı sonucu görülmüştür. Tüm sahalar için 2008 ile 2012 yılları arasında hesaplanan yıllık Weibull parametreleri hesaplanmıştır (Çizelge 2.2).

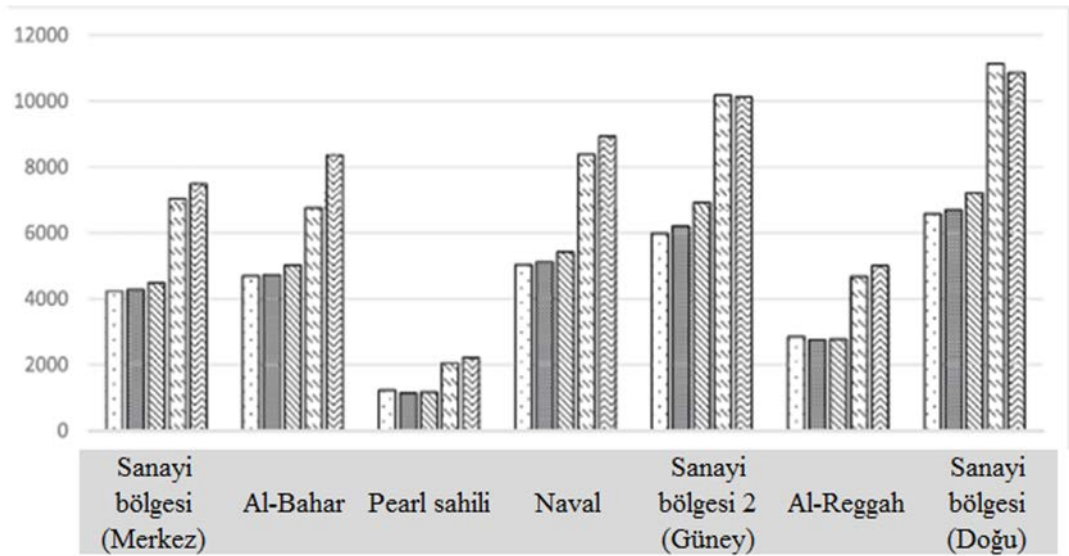
Çizelge 2.2. Jubail şehri Weibull parametreleri tablosu

Yıl	Sanayi bölgesi (Merkez)		Al-Bahar		Pearl sahili		Naval		Sanayi bölgesi 2 (Güney)		Al-Reggah		Sanayi bölgesi (Doğu)	
	k	c	k	c	k	c	k	c	k	c	k	c	k	c
2008	1,714	3,971	1,603	4,777	2,128	2,667	-	-	1,989	5,48	1,941	3,363	2,434	4,757
2009	1,700	3,658	1,899	4,301	2,109	2,548	-	-	1,875	5,251	1,992	3,318	2,318	4,45
2010	1,701	3,611	1,913	4,163	2,111	2,443	1,811	4,151	1,66	4,338	1,996	3,141	2,457	4,671
2011	1,743	3,88	1,927	3,641	2,178	2,578	1,834	4,429	1,194	3,849	2,104	3,343	2,32	4,563
2012	1,724	3,675	1,987	4,229	2,057	2,467	1,763	4,212	1,096	4,685	2,025	3,261	1,876	5,098

Yapılan çalışma neticesinde 1.8 MW'tan, 3.3 MW kapasiteye kadar göz önüne alındığında sanayi bölgesinin rüzgar santrali kurulumu için uygun bir alan olduğu gözlenmiştir. Farklı güçlerde olan 5 türbin aşağıda Çizelge 2.3'te verildiği şekli ile incelenmiştir;

Çizelge 2.3. Türbin teknik özellikleri tablosu

Rüzgar türbini	Devreye girme hızı (m/s)	Devre dışı kalma hızı (m/s)	Anma Gücü (kW)	Anma rüzgar hızı (m/s)	Hub yüksekliği (m)	Rotor uzunluğu (m)
WT 1	4	20	1800	12	80	100
WT 2	3	25	2000	11,5	80	110
WT 3	4	23	2600	15	75	100
WT 4	3	22,5	3000	12	119	126
WT 5	3	25	3300	12	117	126



Şekil 2.1. Türbinlerin yıllık çıkış güçleri grafiği

Sonuç olarak, Şekil 2.1’de görüldüğü üzere bölgede 3MW kapasiteye sahip türbinin yıllık çıkış gücünün 11.136 MWh ve kapasite faktörünün de % 41,3 olduğu görülmüştür.

Wais [27] rüzgâr enerjisinin analizinde 2 ve 3 parametrelili Weibull dağılımının kullanımı hakkında bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada mevcut rüzgâr enerjisi tekniklerini 2 ve 3 parametrelili Weibull dağılımlarını kullanarak tanımlamış ve karşılaştırmıştır. 2 parametrelili Weibull dağılımı rüzgâr enerjisi sektöründe en çok kullanılan ve tanınan dağılım olarak bilinmektedir. Düşük rüzgâr hızı için bazı durumlarda Weibull parametreleri en iyi uygunluğu vermeyebilir. Teoride 3 parametrelili Weibull parametresinin boş rüzgâr frekans miktarını hesaba alarak daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Bu çalışmada rüzgâr enerjisi üç farklı türbin lokasyonunda hesaplanmıştır. Sonuçlar yüksek olasılıklı boş rüzgârlarda 3 parametrelili Weibull parametresinin 2 parametrelili Weibull parametresinden daha iyi olduğunu ve rüzgâr enerjisi tahminlerinde alternatif tahmin tekniği olduğunu göstermiştir.

Mohammadi ve arkadaşları [28] rüzgâr güç yoğunluğunu hesaplamak için Weibull dağılımının tahmin yöntemlerinin farklı parametre metotları ile belirlenmesini incelemişlerdir. Bu çalışmada, rüzgâr güç yoğunluğunu hesaplamak amacıyla Weibull dağılım fonksiyonları “k” ve “c” parametrelerinin belirlenmesi için altı farklı sayısal yöntemin etkinliği incelenmiştir. Seçilen yöntemler grafik yöntemi (GM), Justus’un ampirik yöntemi (EMJ), Lysen’in ampirik yöntemi (EML), Enerji model faktörü yöntemi (EPF), Maksimum olasılık yöntemi (ML) ve modifiye edilmiş maksimum olasılık yöntemi (MML)’dir. Bu çalışma ile Kanada’nın Alberta eyaletindeki dört farklı bölgenin rüzgâr enerjisi yoğunluğunu hesaplamak için en uygun yöntem tanımlanmaya çalışılmıştır.



Şekil 2.2. Çalışmanın yapıldığı bölge

Tam bir analiz sağlamak için, değerlendirmeler hem günlük hem de aylık ölçeklerde yapılmıştır. “k” ve “c” parametrelerini belirlemek için farklı parametre tahmin yöntemleri kullanıldığında, hesaplanan rüzgâr gücü yoğunluk değerlerinin hassaslığının değiştiği görülmüştür. GM yöntemi tüm istasyonlar için zayıf bir kabiliyet gösterirken, EMJ, EML, EPF ve ML yöntemleri çok olumlu bir verimlilik sunmaktadır. Grande Prairie ve Edmonton için EPF en uygun sonucu verirken, Lethbridge ve Waterton Park Gate için EMJ ile en uygun sonuç elde edilmiştir. Buna göre rüzgâr karakteristiklerindeki farklılar nedeniyle her istasyon için en etkili yöntemin aynı olmadığı sonucuna varılmıştır.

Rocha ve arkadaşları [29], Brezilya'nın kuzeydoğu bölgesindeki Ceara Eyaleti'nde bulunan Camocim ve Paracuru şehirlerinde, Ceara Eyaleti Alt Yapı Dairesi tarafından yapılan Ağustos 2004'ten Nisan 2006'ya kadar olan dönem içerisindeki toplanan rüzgâr hızı verilerini baz alarak, Weibull dağılımı parametrelerin belirlenmesinde etkinliğin değerlendirilmesi için yedi sayısal yöntemin analizi ve karşılaştırılması ele alınmıştır. İyi bilinmeyen yöntemlerden biri olan, eşdeğer enerji yöntemi olarak isimlendirilen yöntemin performansı diğerleriyle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmayla, önerilen yöntemleri karşılaştırmak için RMSE (ortalama karekök hata), Chi-kare testleri, varyans analizi yöntemleri kullanılarak mevcut veriler için

Weibull dağılım parametrelerinin belirlenmesinde hangisinin etkili olduğunu belirlemek amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda herbir metodla elde edilen ortalama rüzgar hızı değerleri, standart sapma değerleri ve ölçülen veriler arasındaki karşılaştırmalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre;

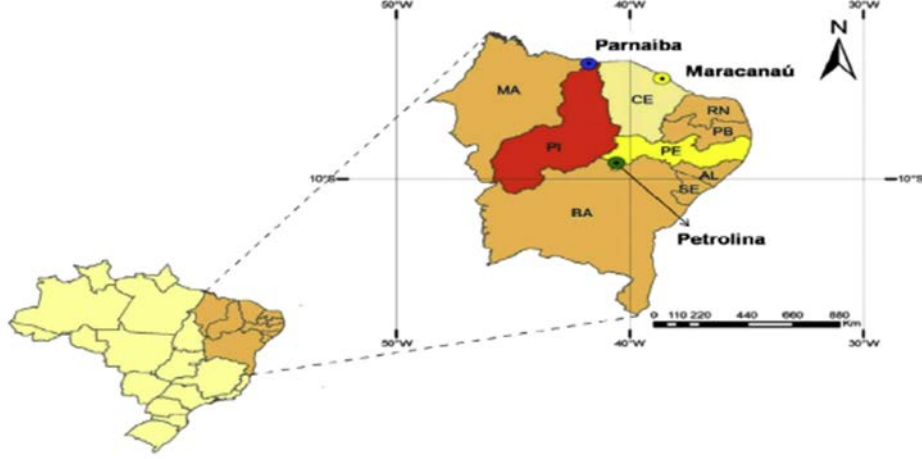
i. Eşdeğer enerji yöntemi, Camocim ve Paracuru şehirlerinde toplanan verilere dayanarak, Ceara kıyı bölgesinin Weibull dağılım eğrilerine uyacak “k” ve “c” parametrelerini belirlemek için etkili bir yöntemdir ve istatistiksel testler kullanılarak analiz edilmiştir.

ii. Hem grafik, hem de ortalama ve standart sapmanın değerlendirilmesinde grafik yöntemi ve enerji model faktörü yöntemi mevcut veriler ışığında Ceara kıyı bölgesinin Weibull dağılım eğrilerini oluşturmak için en etkili yöntemler olduğu sonucuna varılmıştır.

iii. “k” ve “c” parametrelerinin belirlenmesinde matematiksel yinelemeleri kullanan sayısal yöntemler, Weibull dağılım eğrilerinin oluşturulmasında daha küçük hatalar vermektedir. Bu nedenle Weibull dağılımının daha doğru sonuçların elde edilebilmesi için daha büyük hassasiyet gerektiren durumlarda kullanılması önerilmiştir.

Carneiro ve arkadaşları [30] Brezilya'nın kuzeydoğu bölgesinde, Weibull parametrelerinin tahmini için parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) yönteminin kullanılması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Yapılan araştırmada Brezilya Kuzeydoğu Bölgesindeki (BRNER, Şekil 2.3) rüzgar kaynakları için Weibull parametrelerini tahmin etmek ve PSO yönteminin uygulanması rapor edilmiştir. Güncel araştırmalar için bölgede farklı yerlerde kurulmuş olan 80 metre yüksekliğindeki üç adet direkt rüzgâr hız verileri toplanmıştır. Maracanaú bölgesi için 2012 Şubat ile 2013 Ocak dönemi arası, Parnaíba bölgesi için 2012 Ağustos ile 2013 Temmuz dönemi arası ve Petrolina bölgesi için 2012 Mayıs ile 2013 Mart dönemi arasındaki rüzgâr verileri kullanılmıştır. PSO performansı ile karşılaştırmak amacıyla, Weibull dağılım parametrelerini hesaplamak için beş sayısal yöntem uygulanmış, analiz edilen tüm kısımlar için en iyi performans % 99'dan yüksek bir

korelasyon ve sıfıra yakın bir hata ile PSO yöntemi tarafından sağlanmıştır. Çalışma sonucunda PSO'nun, BRNER'de bulunan özel rüzgâr koşullarının karakterizasyonu için uygun bir teknik olduğu görülmüştür.



Şekil 2.3. BRNER bölgesinde rüzgâr ölçümü yapılan bölgeler

Chang [31] rüzgâr enerji uygulamaları için Weibull parametreleri hesaplamalarında altı sayısal metodun performansının kıyaslanmasını yapmıştır. Bu çalışmada moment, ampirik, grafiksel, maksimum olasılık, modifiye edilmiş maksimum olasılık ve enerji eğilim faktörü yöntemleri incelenmiştir. Bunların performansı parametre hatası, ortalama karesel hatanın karekökü, rüzgâr enerjisi hatası, Monte Carlo simülasyonu ve Kolmogorov-Smirnov testi gibi kriterlere göre gerçek rüzgâr hızı ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar rastgele değişkenlerin benzetim testinde, grafik yönteminin Weibull parametreleri tahmininde performansının en kötü olduğunu ve bunların veri numarasının daha küçük olduğunda ise, ampirik ve enerji eğilim faktörü yöntemlerini izlediğini ortaya koymuştur. Veri numarası arttıkça altı yöntemin tamamı için performansın arttığı, bu durumda grafik yöntem, ampirik ve enerji eğilim faktörü yöntemlerinden dahi daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Maksimum olasılık, modifiye edilmiş maksimum olasılık ve moment yöntemleri, benzetim testleri boyunca nispeten daha mükemmel yeterlilik ortaya koymuştur. Gerçek verilerin analizinde, rüzgâr hızı dağılımı Weibull fonksiyonu ile iyi uyum içerisindeyse altı yöntemde uygulanabilir sonucu ortaya çıkmıştır, fakat eğer uyum söz konusu değilse en iyi performans sıralamasına göre iki kez kontrole

dayandırılarak, potansiyel enerji ve kümülatif dağılım fonksiyonuna bağlı maksimum olasılık yöntemi, modifiye edilmiş maksimum olasılık ve moment yöntemleri uygulanabilir.

Khahro ve arkadaşları [32] Pakistan için prospektif rüzgâr enerjisi üretiminin değerlendirilmesi ve Weibull parametre tahmin yöntemleri üzerine bir araştırma yapmışlardır. Çalışmada Pakistan'ın içinde bulunduğu şiddetli enerji ihtiyacı sıkıntısının hafifletilmesine katkı sağlamak amacıyla ülkenin güneyinde bulunan bölgelerinden birinin rüzgâr potansiyelinin araştırılması amaçlanmıştır. Daha önce yapılan başka çalışmalarda bu tür detaylı analizler ülkenin herhangi bir bölgesi için yapılmamıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda rüzgâr hızının yoğunlukları ve rüzgâr hızının frekans dağılımlarıyla birlikte ticari rüzgâr türbinleriyle üretilmesi beklenen tahmini rüzgâr enerjisi hesaplanmıştır. 2003 Ocak döneminden 2007 Aralık dönemine kadar geçen süreye ait 30 metre yükseklikteki rüzgar verileri baz alınmıştır. Her yıl için ortalama rüzgâr hızı 5 m/s'den yüksek ölçülmüştür. Gharo bölgesi için en muhtemel rüzgâr hızının 9.356 m/s olduğu, maksimum enerji taşıyan rüzgâr hızının ise 11.43 m/s olduğu tespit edilmiştir. Standart sapmanın en yüksek olduğu değer 3.561 m/s, en düşük değeri ise 1.587 m/s olarak hesaplanmıştır. Weibull şekil ve ölçek parametreleri sırasıyla 1.291 - 4.569 ve 2.377 m/s ile 9.727 m/s arasında değişmektedir. Rüzgâr enerjisi ve enerji yoğunlukları sırasıyla 260 W/m² ve 2300 kW/m²'den fazladır. Ayrıca bu çalışmada rüzgâr verisi üzerinden hesaplanan Weibull ve Rayleigh fonksiyonları kullanılarak rüzgâr enerji yoğunluklarının karşılaştırılması da yapılmıştır.

Gharo'da toplanan rüzgar verilerinden farklı imalatçıların rüzgar türbinlerinin enerji üretimleri için bir değerlendirme Çizelge 2.4'te gösterilmiştir. Çizelge 2.5'te en verimli ve ekonomik türbin modelinin GE45.7 olduğu tespit edilmiş ve bu rüzgar türbininin en yüksek rüzgarlı yılda, yıllık 0.56 kapasite faktörü ile 11.220 GWh enerji üretileceği hesaplanmıştır. Elektrik üretimi için yapılan ekonomik analizde GE45.7 rüzgâr türbini, kWh enerji başına 0,0255 US \$ tahmini maliyet söz konusudur. Çalışmaya konu olan bölgenin rüzgâr verilerinin teknik ve ekonomik analizi neticesinde rüzgâr enerjisi üretim projelerinin geliştirilmesi için uygun bir bölge olduğu anlaşılmıştır.

Çizelge 2.4. Rüzgar türbinleri teknik özellik karşılaştırma tablosu

Türbin modeli	Anma Gücü (kW)	$A_r (m^2)$	Devreye girme hızı (m/s)	Anma rüzgar hızı (m/s)	Devre dışı kalma hızı (m/s)
Bonus 2300/82.4	2300	5330	3	15	25
Bonus 2300/62	1300	3018	3	14	25
Bonus 1 MW/54	1000	2300	3	15	25
Bonus 600/44	600	1520	3	13	25
Bonus 300/33	300	876	3	14	25
Vestas V8	2000	5024	4	15	25
Vestas V63	1500	3116	4,5	16	25
Vestas V42	600	1385	4	17	25
GE45.7	2300	6936	3	14	25
GE/1.5 SL	1500	4654	4	14	20
GE 600a	600	1662	3	14	20
De Wind D8	2000	5027	3	13,5	25
De Wind D7	1500	3846	3	12	25
De Wind D6	1250	3019	2,8	12,5	25
De Wind 48	600	1808	3	11,5	22
Enercon E-82/2000	2000	5281	2,5	13	28
Enercon E-58/1000	1000	2641	2,5	12	28
Enercon E-40/600	600	1520	2,5	12	28
Nordex N-80/2500	2500	5024	4	14	25
Nordex N-70/1500	1500	3847	3	13	25
Nordex N-54/1000	1000	2289	4	14	25
Nordex N-43/600	600	1452	3	13,5	25

Çizelge 2.5. Rüzgar türbinleri ekonomik analiz karşılaştırma tablosu

Türbin modeli	Hub yüksekliği (m)	$P_p (kW)$	$E_p (MWh)$	c_f	E_h	Maliyet / kWh (\$)
Bonus 2300/82.4	80, 90, 100	1058,41	9271,65	0,46	4031,15	\$0,0308
Bonus 2300/62	50, 60, 68, 80	511,5	4480,72	0,39	3446,71	\$0,0360
Bonus 1 MW/54	50, 60	353,3	3094,93	0,35	3094,93	\$0,0401
Bonus 600/44	40, 45, 50, 60	182,22	1596,25	0,3	2660,42	\$0,0467
Bonus 300/33	30	87,97	770,61	0,29	2568,69	\$0,0483
Vestas V8	60, 67, 78, 100	927,77	8127,29	0,46	4063,64	\$0,0306
Vestas V63	58, 60	478,65	4192,96	0,32	2795,31	\$0,0444
Vestas V42	35, 40, 50, 55	166,04	1454,48	0,28	2424,13	\$0,0512
GE45.7	80, 95	1280,86	11220,32	0,56	4878,4	\$0,0255
GE/1.5 SL	65, 80	788,77	6909,63	0,53	4606,42	\$0,0270
GE 600a	5	228,65	2003,01	0,38	3338,35	\$0,0372
De Wind D8	80	928,33	8132,14	0,46	4066,07	\$0,0305
De Wind D7	70	651,83	5710,02	0,43	3806,68	\$0,0326
De Wind D6	65, 70	511,67	4482,2	0,41	3585,76	\$0,0346
De Wind 48	40, 45, 60, 70	216,75	1898,7	0,36	3164,5	\$0,0392
Enercon E-82/2000	75, 85, 98, 108	975,23	8543,04	0,49	4271,52	\$0,0291
Enercon E-58/1000	70,5, 89	487,71	4272,33	0,49	4272,33	\$0,0291
Enercon E-40/600	46, 50, 58, 65	233,32	2043,89	0,39	3406,49	\$0,0365
Nordex N-80/2500	60, 70, 80	927,77	8127,29	0,37	3250,92	\$0,0382
Nordex N-70/1500	70	652	5711,5	0,43	3807,67	\$0,0326
Nordex N-54/1000	60	351,61	3080,13	0,35	3080,13	\$0,0403
Nordex N-43/600	40	174,07	1524,84	0,29	2541,4	\$0,0489

Literatürde, rüzgâr enerjisi uygulamaları için son derece uygun bölgeler üzerine yoğunlaşıl原因 Türkiye'nin rüzgâr özellikleriyle ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Örneğin; Çelik [32], bir yıl ölçülmüş saatlik zaman serisi rüzgâr hızı verilerine dayanarak Türkiye'nin güney bölgesi rüzgâr enerjisi potansiyelini analiz etmiştir. Şahin ve Bilgili [33], güneydeki Belen-Hatay ilinde gelecekteki rüzgâr enerjisi projeleri için rüzgâr özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmalarında, arazinin ortalama rüzgar hızı ve güç potansiyeli, zemin seviyesinin 10 m yüksekliğinde 7.0 m/s ve 378 W/m² olarak bulunmuştur. Gökçek ve ark. [7] Marmara bölgesinde Weibull ve Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonlarını hesaplayarak Kırklareli ilinin rüzgâr enerjisi potansiyeli çalışmasını sunmuştur. Çalışmalarında, 2004 yılı için Weibull şekil parametresi “k” ve ölçek parametresi “c”, 1.75 ve 5.25 m/s olarak bulunmuştur. Bulgulara göre, araştırılan bölgenin sonuçlara göre oldukça rüzgâr enerjisi potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir.

Kose [34], Kütahya'daki rüzgâr enerjisi potansiyelini, Dumlupınar Üniversitesi Kampüsü'nde kurulan bir rüzgâr gözlem istasyonundan rüzgâr verilerine göre araştırmalarını yapmışlardır. Bu araştırmada, rüzgâr enerjisinden elektriğin üretilip üretilmeyeceğini belirlemek için kurulan ölçümlerden çıkan değerler araştırılmıştır. 20 aylık bir süre için ölçülen ortalama rüzgâr hızı 30 m yükseklik için 4.62 m/s ve enerji yoğunluğu 36.62 W/m² idi. Yer in rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi için uygun olmadığı ve ölçümlerin teknolojik gelişmelere ve türbinlerin maliyetindeki azalmaya uygun olarak uzun vadede değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Karlı ve Göksu [35], Türkiye'nin güneyindeki (Osmaniye'ye en yakın - 67 km uzaklıktaki) Nurdağı-Gaziantep'in rüzgar enerjisi potansiyelini değerlendirmiş ve 10 m yüksekliğinde 7,3 m/s rüzgar hızını yer seviyesinin üstünde belirlemiştir. Alan için rüzgarın en yüksek hız değerinin 23.3 m/s olduğu ve ortalama güç yoğunluğunun ise 222 W/m² olduğu tespit edilmiştir. Çelik [36], Weibull ve Rayleigh modellerine dayanılarak Çanakkale ve Bozcaada bölgelerinin rüzgar enerjisi potansiyelini araştırmışlardır. 10 m yükseklikte saatlik zaman serisi rüzgar hızı verileri analiz edilmiş ve sonuçlar bu çalışmada değerlendirilmiştir. Ucar ve Balo [37] tarafından 2000-2006 döneminde Türkiye'de altı meteoroloji istasyonundan toplanan rüzgar hızı verileri kullanılarak rüzgar özellikleri analiz edilmiştir. Altı yer in (Erzurum, Elazığ, Bingöl, Kars, Manisa ve Niğde) 10 m

yüksekliğinde yıllık ortalama rüzgar hızı verileri sırasıyla 8.7, 8.5, 5.9, 6.9, 7.4 ve 8.0 m / s olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada dört farklı türbin için yıllık enerji çıkışı ve kapasite faktörü hesaplanmış ve teknik olarak analiz edilmiştir. Celal Bayar Üniversitesi Muradiye Kampüsünde rüzgar enerjisi potansiyelini bulmak için rüzgar hızı ölçümlerinin istatistiksel verileri kullanarak Özgener [38] tarafından bir çalışma yapılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, ortalama rüzgar hızının bu lokasyonda rüzgar enerjisinden ekonomik elektrik üretimi sağlamadığı sonucuna varılmıştır.

Arslan ve arkadaşları [39] tarafından yapılan çalışmada rüzgâr enerjisi potansiyeli için Weibull parametrelerini belirlemek amacıyla sayısal yöntemlerin karşılaştırması yapılmıştır. Bu çalışmada genellemenin dışına çıkmaya çalışılarak rüzgâr enerjisi ile ilgili önceki literatürlerde yaygın olarak kullanılmamış olan L-moment metodu (L-MoM) rüzgâr hız parametrelerinin tahminlenmesi için Weibull parametreleriyle ilişkilendirilerek, Moment metodu (MoM) ve Maksimum Olasılık metodu (ML) ile karşılaştırılmıştır. MoM, L-MoM ve ML parametre hesaplama metotları gerçek bir veri değerinin analizinde kullanılan metotlardır. Rüzgâr güç yoğunluğu yaklaşık parametre değerlerinin yardımıyla hesaplanmaktadır. Dağılımın sağa yatık veya simetrik olduğu gösterilmiş olup ve diğer metotlarla karşılaştırınca $n \geq 100$ ise, şekil (k) parametrelerinin hesaplanmasında ML metodun tercih edilmesi gerektiği gösterilmiştir. Bu çalışma sonucunda küçük örneklem büyüklüğündeki araştırmalar için L-MoM metodu kullanımının yararlı olabileceği ortaya konulmuştur.

Bilir ve arkadaşları [40] Ankara ili Gölbaşı ilçesine bağlı İncek mahallesi bölgesinde küçük çaplı rüzgâr türbinlerinin ortaya koyacağı performans ve ilgili bölgenin rüzgâr enerji potansiyeli üzerinde bir araştırma yapmışlardır. Bu çalışmada Atılım Üniversitesi kampüs alanındaki rüzgâr enerjisini hesaplamak için bir yıllık rüzgâr verileri Weibull parametreleri kullanılarak analiz edilmiştir. Kampüs alanında kurulu olan bir ölçüm istasyonunun 20. ve 30. metrelerindeki ölçüm cihazları ile rüzgâr verileri ölçülmüştür. Bir yıl boyunca 1'er dakikalık ortalama değerler kayıt altına alınmıştır. Farklı yükseklikler için saatlik ortalama rüzgâr hız değerleri, ölçülen değerler kullanılarak türetilmiştir. Weibull parametreleri, saatlik ortalama rüzgar verilerinden yararlanılarak grafik metodu, maksimum olasılık metodu, ampirik metod, güç yoğunluğu metodu ve moment metodu kullanılarak hesaplanmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda Weibull dağılım fonksiyonlarının RMSE'inin gerçek rüzgâr verisine uyduğu ve en iyi yöntemlerin ampirik metot ile güç yoğunluğu metodu olduğu saptanmıştır. Ayrıca güç ve enerji yoğunluk değerleri her bir mevsim ve ay için ayrı ayrı hesaplanmıştır. En yüksek güç yoğunluğu 98W/m^2 olarak Mart ayında elde edilmiştir. Sonuç olarak, sonbahar sezonu en düşük rüzgâr enerjisi yoğunluğuna sahip iken en yüksek rüzgâr enerjisi yoğunluğu kış sezonunda gerçekleşmiştir. Bu veriler ışığında büyük ölçekli rüzgâr türbini kullanımının bu bölge için iyi bir seçenek olmadığı görülerek üç farklı küçük ölçekli rüzgâr türbini yorumlama çalışması gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak türbinlerden iki tanesi çalıştırılarak Türkiye'deki bir evin yıllık ortalama enerji ihtiyacının üretilebilmesinin mümkün olduğu görülmüştür.

Bilir ve arkadaşları [41] bir önceki çalışmada kullandıkları veriler ile başka bir çalışma daha yapmışlardır. Bu çalışmada mevsimlik ve yıllık rüzgâr hız dağılımları ile rüzgâr güç yoğunluk analizleri hesaplanmıştır. Yıllık ortalama saatlik rüzgâr hız değerleri 20 metre yükseklik için 2.9859 m/s ve 30 metre yükseklik için 3.3216 m/s olarak ölçülmüştür. Rüzgâr hızı ölçümü için Weibull dağılımının yıllık ve mevsimlik olmak üzere şekil (k) ve ölçek (c) parametreleri her bir yükseklik için 5 farklı yöntem kullanılarak hesaplanmıştır. Buna ek olarak 50 metre yükseklik için Weibull parametreleri matematiksel metot ile hesaplanmıştır. Her bir yükseklik için beş farklı metot kullanılarak türetilen Weibull dağılım fonksiyonlarından RMSE'i elde edilmiştir. Her bir metot için "k" ve "c" değerleri tablosu hesaplanmıştır;

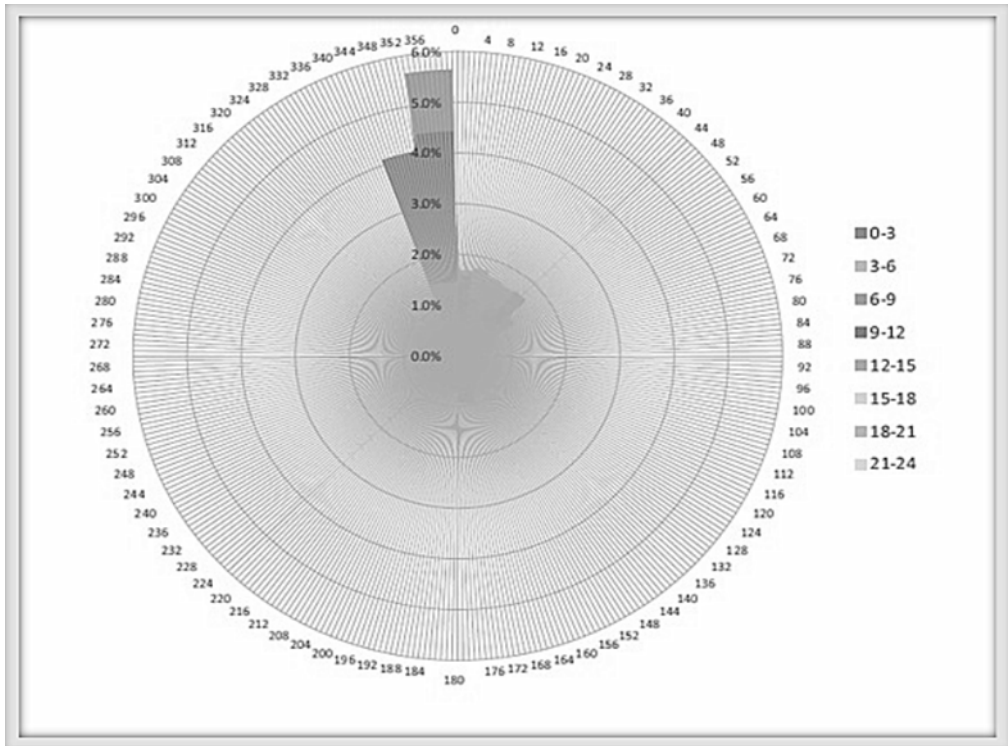
Çizelge 2.6. Hesaplanan "k" ve "c" parametreleri tablosu

Yükseklik	20 metre		30 metre		50 metre	
	k	c (m/s)	k	c (m/s)	k	c (m/s)
Weibull parametreleri						
Grafik Metodu	1,3877	3,253	1,4255	3,6666	1,5002	4,2369
Maksimum olasılık metodu	1,3452	3,2298	1,4635	3,6488	1,5401	4,2174
Ampirik metod	1,4743	3,3004	1,5464	3,6923	1,6274	4,2652
Güç yoğunluğu metodu	1,4685	3,2986	1,5211	3,6853	1,6008	4,2575
Moment metodu	1,4525	3,2939	1,5233	3,6862	1,6031	4,2585

Her bir durum için bölgenin yıllık ve mevsimlik rüzgâr güç yoğunluk değerleri en uygun Weibull parametreleri kullanılarak hesaplanmıştır. En yüksek rüzgâr güç

yoğunluğunun kış mevsiminde, en düşük güç yoğunluğunun ise sonbaharda olduğu görülmüştür. Yıllık rüzgâr güç yoğunlukları 20 m, 30 m ve 50 m yükseklikler için sırasıyla 39.955 W/m², 51.282 W/m² ve 72.615 W/m² olarak hesaplanmıştır. Ayrıca bölge için yoğun rüzgâr yönünün güneydoğu olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak bölge için büyük çaplı rüzgâr türbinlerinin ekonomik olmayacağı, küçük çaplı rüzgâr türbinlerinin kullanımının uygun olabileceği öngörülmüştür.

Ozay ve Çelikaş [42] iki parametrelili Weibull istatistiksel dağılımını kullanarak İzmir iline bağlı Çeşme ilçesindeki Alaçatı bölgesinin rüzgâr karakteristiği analizini yapmışlardır. Yoğunluk fonksiyonunda kullanılan veriler Alaçatı'daki bir rüzgâr ölçüm istasyonundan sağlanmıştır. Çalışma beş buçuk yıllık süreyi içeren 30, 50 ve 70 metre yüksekliklere ait veriler doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada bölgenin rüzgâr hızı frekansının dağılımı, hâkim rüzgâr yönü, ortalama rüzgâr hızı, şekil ve ölçeklendirme parametreleri hesaplanmıştır. Ortalama rüzgâr hızı veri kümesinin tamamı için 8.11 m/s, “k” ve “c” parametreleri ise 2.05 ve 9.16 olarak gözlenmiştir. Ayrıca rüzgâr yönü analizi ile birlikte bölge için bir rüzgâr gülü grafiği de çalışmaya ek olarak sunulmuştur.



Şekil 2.4. Alaçatı rüzgar gülü grafiği

Akdağ ve Dinler [43] rüzgâr hızı dağılım parametresi tahmini için yeni bir enerji model faktörü yöntemi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmadan evvel yapılmış geçmiş dönem çalışmalarında genel olarak rüzgâr hızının varyasyonunu modellemek için Weibull dağılımı yaygın olarak kullanılmış ve literatürde önerilen bir metot olarak yer edinmiştir. Veri kümesi modelleme hatalarını en aza indirmek için en uygun dağılım parametresinin tahmin yönteminin seçimi önemlidir. Bu bağlamda, bu çalışma ile ilk kez Weibull parametrelerini tahmin etmek için standart yöntemlere göre daha yeni bir yöntem ortaya konulmuştur. Bu yeni yöntem güç yoğunluğu yöntemi (PD) olarak adlandırılmıştır. “PD” yöntemi literatürde en sık kullanılan grafik, maksimum olasılık ve moment yöntemlerinin baştan gözden geçirilmesi ve bunların kıyaslanması sonucunda ortaya çıkarılmıştır. Bu yöntemlerin elverişliliği farklı coğrafik bölgeler için uygunluk testlerinin farklı sonuçlarına dayandırılması ile değerlendirilmiştir. Bu çalışma için Maden, Gökçedağ, Çanakkale ve Bozcaada bölgelerinde kurulu devlete ait meteoroloji istasyonlarından alınan veriler kullanılmıştır. Ölçüm noktalarının koordinatları, ortalama rüzgar hızları, güç yoğunlukları ve ölçüm yapılan yılların görüleceği tablo Çizelge 2.7’de verilmiştir.

Çizelge 2.7. Ölçüm noktalarının özellikleri tablosu

İstasyon	Boylam	Enlem	Ortalama hız (m/sn)	Güç yoğunluğu (W/m ²)	Rüzgar data yılları	Rüzgar data sayısı
Maden	29°25'	39°30'	5,04422	199,632	1997-2006	87144
Gökçeda	40°11'	25°54'	3,77985	101,53	1997-2006	87384
Çanakkale	40°08'	26°24'	3,59473	75,6431	1997-2000	35054
Bozcaada	40°58'	34°02'	5,9532	299,558	2002-2003	17520

Verilerin analiz edilmesinden sonra ortaya konulan çalışma sonucu aşağıda Çizelge 2.8’de verilen değerler elde edilmiştir;

Çizelge 2.8. Sonuçların karşılaştırma tablosu

Bölge	Parametreler	Grafik Metod	MLH Metod	Moment Metod	Enerji Model Faktörü Sayısal Sonuçları	PD Metod
Maden	k (-)	1.59536	1.57016	1.58143	1.57289	1.5722
	c (m/s)	5.45798	5.63616	5.6199	5.61691	5.61666
	R^2	0.98512	0.9862	0.98581	0.98625	0.98628
	RMSE	0.00567	0.00546	0.00554	0.00545	0.00545
Gökçeada	k (-)	1.39653	1.27034	1.36157	1.38776	1.39165
	c (m/s)	3.84854	4.0657	4.1282	4.14139	4.14325
	R^2	0.84609	0.90361	0.87524	0.8652	0.86365
	RMSE	0.02287	0.0181	0.02059	0.0214	0.02153
Çanakkale	k (-)	1.46907	1.57803	1.56044	1.52294	1.52203
	c (m/s)	4.00644	4.01898	3.99964	3.98911	3.98884
	R^2	0.92183	0.92013	0.92155	0.92299	0.923
	RMSE	0.01885	0.01906	0.01889	0.01871	0.01871
Bozcaada	k (-)	1.69875	1.68755	1.70331	1.68471	1.68672
	c (m/s)	6.5515	6.6759	6.67304	6.66795	6.66851
	R^2	0.98795	0.98972	0.98874	0.98984	0.989741
	RMSE	0.0046	0.00425	0.00445	0.00422	0.00424

Yapılan çalışma sonucunda, PD yönteminin Weibull parametrelerini tahmin etmek için yeterli bir yöntem olduğu ve diğer yöntemlerden daha iyi uygunluğa sahip olabildiği izlenmiştir. Yeni PD yönteminin bazı üstünlükleri; basit formülasyona sahip olması, gruplandırma gerektirmemesi ve doğrusal en küçük kareler regresyonu veya iterasyon prosedürünü çözmemesidir. Eğer güç yoğunluğu ve ortalama rüzgâr hızı mevcutsa, Weibull parametrelerini tahmin etmek çok kolaydır. Bu çalışmayla, önerilen yeni yöntemin Weibull dağılım parametrelerini belirlemek için yeterli olduğu ortaya konulmuştur.

Akdağ ve Güler [44] tarafından rüzgâr hızı dağılım parametresi tahmini için PD yöntemi kullanılması analiz edilmiştir. Bu çalışma ile PD yönteminin doğruluğu farklı veri setleri kullanılarak teyit edilmeye çalışılmıştır. Grafik yöntemi (GM), maksimum olasılık yöntemi (ML), alternatif maksimum olasılık yöntemi (AMLH), modifiye edilmiş maksimum olasılık yöntemi (MML), moment yöntemi (MM), justus moment yöntemi (JMM), WASP yöntemi ve güç yoğunluğu (PD) yöntemleri en yaygın kullanılan yöntemlerdir. Bu yöntemlerin her birinin kendine göre avantajları ve dezavantajları vardır. GM, JMM ve ML yöntemlerinin performansı Akdağ ve Güler tarafından iki iyi uyum testi dikkate alınarak karşılaştırılmıştır. Literatürde, bu yöntemler, veri setinin modellenmesindeki etkinliği, doğruluğu ve kabiliyetini araştırmak için birkaç kez karşılaştırılmıştır.

Çalışma sonucunda yöntemlerin hiçbiri tüm vakalar için en iyi sonucu vermemiştir. Weibull dağılım parametrelerini tahmin etmek için evrensel olarak kabul edilen en iyi tek bir yöntemin olmadığı sonucuna varılabilir. Dolayısıyla, bu çalışma bize konunun hala araştırmaya açık olduğunu göstermiştir.

Şahin ve Bilgili [33] Hatay ili, Belen ilçesindeki rüzgâr karakteristiği ve enerji potansiyelinin analizi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmayla bölgede gelecekte yapılması muhtemel olan RES projeleri için ön fikir oluşturulmak istenmiş ve WASP uygulaması kullanılarak Belen'in rüzgâr karakteristiği incelenmiştir. 2004-2005 yılları arasında Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EIEİ) tarafından toplanmış olan veriler temel alınarak bölgelerin rüzgâr davranışları, devamlılık, ulaşılabilirlik ve olasılık gibi temel özellikleri incelenmiştir. Yapılan çalışmayla baskın rüzgâr yönü, muhtemel dağılımlar, Weibull parametreleri, ortalama rüzgâr hızları ve güç potansiyelleri ayrı ayrı rüzgâr yönlerine, yıllara, mevsimlere, aylara ve saatlere göre analiz edilmiştir. Ortaya konulan bu çalışma sonucunda bölgenin zeminden 10 metre yükseklikteki ortalama rüzgâr hızının 7 m/s ve güç potansiyelinin ise 378 W/m² olduğu görülmüştür. Elde edilen değerler bölgenin rüzgâr enerjisi yatırımları açısından çok cazip bir bölge olduğunu göstermiştir.

Çelik [32] Türkiye'nin güney bölgesinde yer alan İskenderun ilçesinin rüzgar güç yoğunluğunu Weibull ve Rayleigh parametrelerine dayanarak analiz etmiştir. Bu çalışma öncesinde yapılmış olan araştırmalar doğrultusunda oluşturulmuş rüzgâr haritasında, Akdeniz'e kıyısı olan İskenderun şehrinin Türkiye'nin en yüksek rüzgâr enerjisi potansiyeline sahip bölgelerden birisi olduğu gösterilmiştir. Çalışma ile bölge hakkında daha fazla bilgi sağlanması amaçlanmıştır. Bölgenin rüzgâr enerji potansiyelinin tespiti için bir yıllık rüzgâr hızı verileri saatlik ölçümlere dayalı olarak analiz edilmiş ve daha sonra bu veriler kullanılarak rüzgâr enerji potansiyeli Weibull ve Rayleigh modelleri ile araştırılmıştır. Yapılan bu çalışma neticesinde İskenderun bölgesinin Türkiye için potansiyeli en yüksek rüzgâr enerji üretimine aday yerlerden birisi olarak gösterilmesine rağmen, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün İskenderun'da 2 metre rakımda bulunan istasyonundan alınan veriler doğrultusunda bahse konu olan bölgenin aylık ve yıllık ortalama rüzgâr hızı ve güç yoğunluğunun düşük olduğu görülmüştür. Aylık olasılık yoğunluk dağılımlarının incelenmesinde Weibull modeli

Rayleigh modeline göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu durum aylık korelasyon katsayı değerlerinden görülmüştür. Weibull modeli Rayleigh modeline göre 12 aylık zaman zarfında daha iyi güç yoğunluğu tahminleri sağlamıştır.

Usta [45] rüzgâr enerjisi uygulamaları için Weibull parametrelerine dair yenilikçi bir hesaplama yöntemi geliştirilmesi üzerine odaklanmıştır. Yapılan bu çalışmada yenilikçi bir metot olan güç yoğunluğu yöntemi üzerinde ağırlıklı anlar metodu (PWMBP), rüzgâr enerjisi uygulamalarında Weibull parametreleri için değerlendirilebilecek bir yöntem olarak geliştirilmiştir. PWMBP'nin önerilen özellikleri ile diğer bilinen yöntemler karşılaştırılmıştır. Özellikle bu yöntem analitik form olarak ifade edilmekte, kapsamlı sayısal hesaplamalar ve yinelenen prosedürlere gerek duymamaktadır. Dahası PWMBP'nin performansı ile bilinen 6 farklı metot; maksimum olasılık, modifiye edilmiş maksimum olasılık, grafik metodu, güç yoğunluğu ve olasılık ağırlıklı güç yöntemlerinin gerçek rüzgâr verileri ile farklı zaman periyotlarında ve uygun bölgelerde enerji performansları incelenip karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar PWMBP'nin Weibull dağılımında diğer tahminlerine göre daha kesin ve etkili olduğunu göstermiştir. Bu çalışma sonucunda PWMBP yönteminin, rüzgâr enerjisi uygulamaları Weibull tahminlerinde geliştirilebilir bir yöntem olarak kullanılabilmesi görülmüştür. Ayrıca diğer metotlara göre üstünlükleri de şu şekilde özetlenmiştir;

i. Analitik biçimde ifade edilen basit bir formülasyona sahip olması.

ii. Kapsamlı sayısal hesaplamalar veya iterasyon prosedürleri içermemesi.

iii. Ölçülmüş rüzgâr hızı ile Weibull parametrelerinin tahminlerinin elde edilmesinde kolay ve pratik olması.

iv. Güç eğrisi kullanarak güç yoğunluğu ve enerji çıktısı tahmini için daha uygun olması.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Bölgenin Konumu ve Bazı Bilgileri

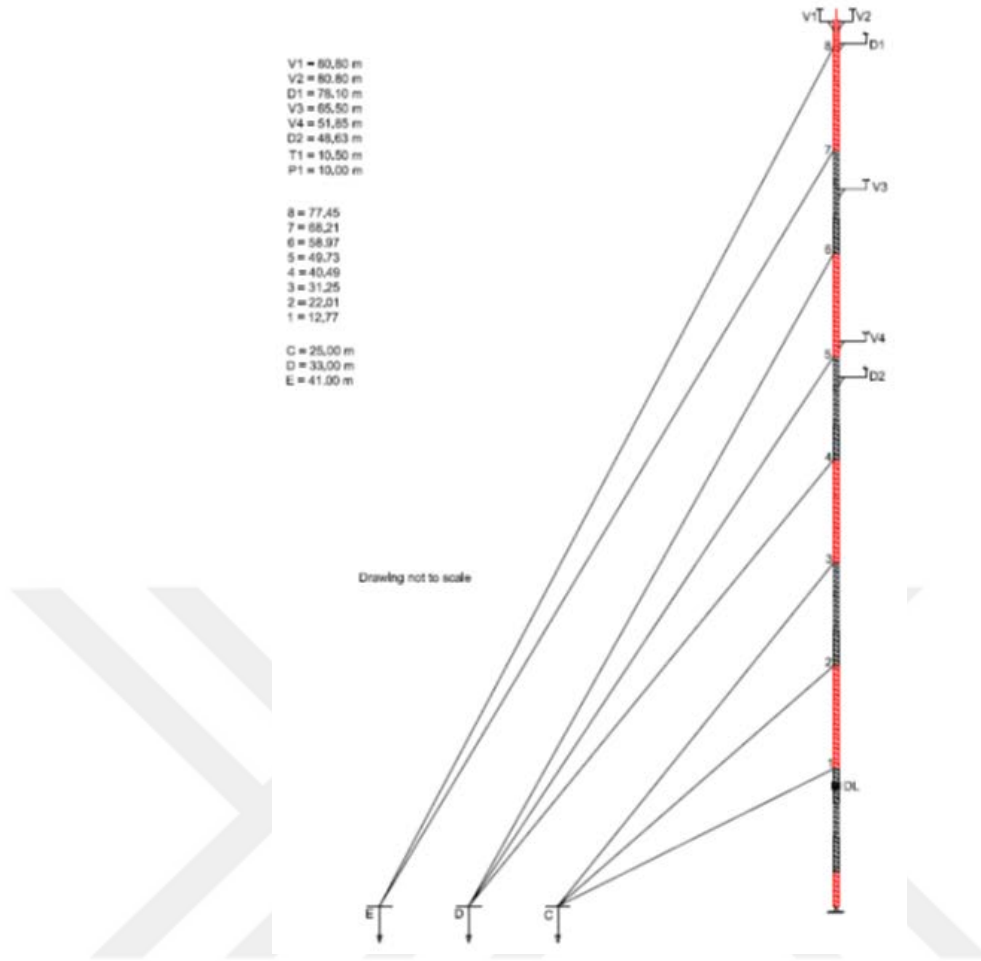
Rüzgar potansiyeli hesaplamaları için belirlenmiş olan Osmaniye ili, Doğu Akdeniz bölgesinde, doğudan Gaziantep, batıdan Adana, güneyden Hatay ve kuzeyden Kahramanmaraş ile sınırlanmıştır. Kuzey Yarımküredeki koordinatlar kuzey enlem 37.05 ve doğu boylam 36.14'tür. Osmaniye'nin yüksekliği 120 m, denize uzaklığı 20 km'dir. Osmaniye ilinin konumu Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Araştırması yapılan bölgenin konumu

3.2. Rüzgâr Verileri

Bu çalışmada, Ocak 2015 - Aralık 2015 tarihleri arasında bölgede kurulu meteorolojik istasyondan rüzgar hızı ve yön verileri alınmıştır. Veri olarak istasyondan ayrıca sıcaklık, nem, basınç gibi verilerde alınabilmektedir. Meteorolojik istasyona ait görünüm Şekil 3.2' de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere hız, sıcaklık ve nem sensörlerine ait bilgiler Tablo 3.1'de verilmektedir. Rüzgâr hızını ölçmek için rüzgâr anemometresi kullanılmış ve 80 metre yükseklikte ölçümler alınmıştır. Rüzgar ölçüm direği ve rüzgar sensörlerinin ölçüm direğine montajı şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Rüzgar verileri ölçüm direği

Çizelge 3.1. Ölçüm direği üzerinde bulunan sensörler

V1	Anemometre (Hız Sensörü)
V2	Anemometre (Hız Sensörü)
V3	Anemometre (Hız Sensörü)
V4	Anemometre (Hız Sensörü)
D1	Yön Sensörü
D2	Yön Sensörü
T1	Sıcaklık Sensörü
P2	Basınç Sensörü



Şekil 3.3. Rüzgâr sensörlerinin ölçüm direğine yerleştirilmesi

3.3. Weibull Dağılımı

Aylık ortalama rüzgâr hızı değerleri ve standart sapmalar, ölçülen veriler kullanarak Denklem 3.1 ve Denklem 3.2’den hesaplanmıştır.

$$v_m = \frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N v_i \right] \quad (3.1)$$

$$\sigma = \left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (v_i - v_m)^2 \right]^{1/2} \quad (3.2)$$

Burada, v , rüzgâr hızı, v_m ortalama rüzgâr hızı (m/s), N , dikkate alınan zaman periyodundaki saat sayısı ve σ standart sapmayı (m/s) göstermektedir.

Verilen rüzgâr hızlarının meydana geldiği ay veya yıllık saat sayısını, yani rüzgâr hızlarının frekans dağılımını bilmek önemlidir. Genel olarak, daha önce ölçülen rüzgâr verisi herhangi bir alanın rüzgâr enerjisi potansiyelinin tahmini için kullanılır. Her şeyden önce, her yerde, saatlik rüzgâr hızları ve rüzgâr yönleri ilk gözlemlenir ve izlenir. Bu sonuçlar frekans ve olasılık modellemesi için kullanılır. Zaman serisi

formatındaki rüzgâr hızı verileri genellikle istatistiksel analiz için daha uygun olduğundan frekans dağılım biçiminde düzenlenir. Dolayısıyla, mevcut zaman serisi verileri frekans dağılım biçimine çevrilmiştir. Rüzgâr hızı olasılık dağılımları ve bunları matematiksel olarak temsil eden fonksiyonlar rüzgâr enerjisi ile ilgili literatürde kullanılan temel araçlardır [32]. Yüzde frekans dağılımı rüzgâr hızına karşılık çizildiğinde, frekans dağılımı bir eğri olarak ortaya çıkar. Bu eğrinin tepesi en sık rüzgâr hızıdır. Bu frekans dağılımı rüzgâr türbini için en uygun alanı belirlemek için de kullanılmaktadır [46].

Belli bir konum için rüzgâr hızı farklı olasılık yoğunluk fonksiyonları ile karakterize edilebilmektedir. Belli bir zaman periyodunda belirli bir konumda ölçülen rüzgâr hızı olasılık dağılımının uyumu için sık kullanılan fonksiyonlardan ikisi Weibull ve Rayleigh dağılımlarıdır [19,22,25]. Weibull dağılımı olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f_w(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{v}{c} \right)^k \right] \quad (3.3)$$

Burada, $f_w(v)$, v (m/s) rüzgâr hızına sahip olasılık yoğunluk fonksiyonunu, k boyutsuz şekil parametresini ve c hız birimi m/s değeri olarak Weibull ölçeği parametresidir. Weibull ölçek faktörü c , Weibull şekil faktörü k ve ortalama rüzgar hızı v_m arasındaki ilişki aşağıdaki formülle [47] ifade edilmektedir:

$$v_m = c \Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right) \quad (3.4)$$

Gama fonksiyonu Γ , aşağıda verilen matematiksel ifade ile hesaplanmaktadır [47].

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} \xi^{x-1} \exp(-\xi) d\xi \quad \text{ve} \quad \Gamma(1+x) = x\Gamma(x)$$

Ayrıca Weibull dağılımının kümülatif olasılık fonksiyonu $F_w(v)$ matematiksel olarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır [8];

$$F_w(v) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (3.5)$$

Denklem 3.3 ve Denklem 3.5'ten görüleceği üzere, Weibull dağılımı iki parametrelili bir dağılımdır. Elde edilen verilerden Weibull dağılımının şekil ve ölçek parametrelerini, k ve c , hesaplamak için yapılan bu çalışmada aşağıdaki yöntemler kullanılmıştır [37,41]:

Denklem 3.6 şu şekilde yazılabilir:

$$\ln\left[-\ln(1 - F_w(v))\right] = k \ln v - k \ln c \quad (3.6)$$

Burada $x = \ln v$, $y = \ln\left[-\ln(1 - F_w(v))\right]$, $A = k$ ve $B = -k \ln(c)$ olduğunda lineer bir denklem elde edilmektedir. Sonra Denklem 3.6'dan $y = Ax + B$ elde edilir. Aynı zamanda, $c = \exp(-B / A)$ eşitliği $B = -k \ln(c)$ eşitliğinden hesaplanır. A ve B 'yi hesaplamak için en küçük kareler yöntemi uygulanır.

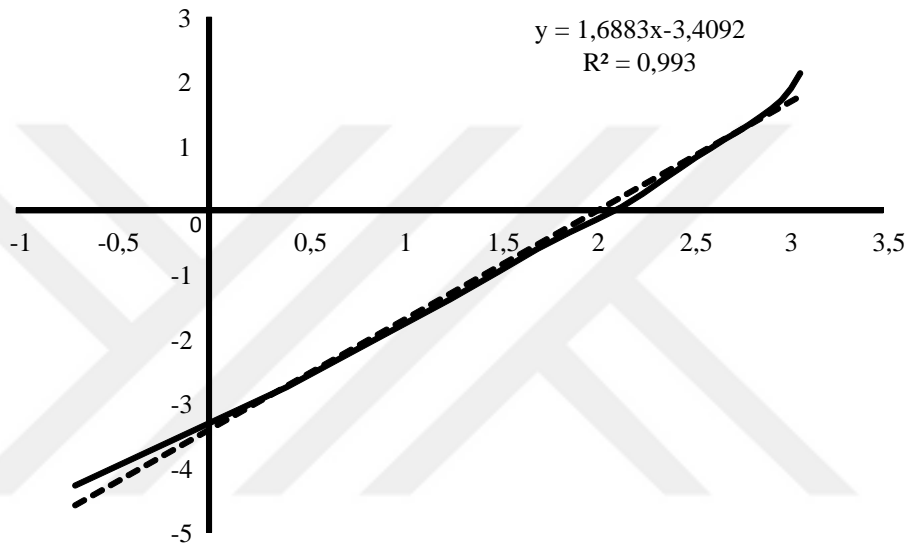
$$A = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}, \quad B = \bar{y} - A\bar{x} \quad (3.7)$$

Burada, \bar{x} (x değerlerinin ortalama değeri) ve \bar{y} (y değerlerinin ortalama değeri) ortalama değerleri Denklem 3.8 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N f_i x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N f_i y_i \quad (3.8)$$

$\ln v$ 'nin $\ln[-\ln(1-F_w(v))]$ 'ye göre çizilmesi düz bir çizgi oluşturmaktadır. Çizginin eğimi k olup ve $-k \ln(c)$ y eksenini kesim noktasını göstermektedir.

Yıl içerisinde bir ay boyunca elde edilen grafik (Mart 2015) Şekil 3.4'te verilmektedir. Weibull dağılımının Denklem 3.5'teki, k ve c parametreleri Osmaniye bölgesinin rüzgâr hızı verileri kullanılarak sırasıyla 1.68 ve 7.53 m/s olarak tahmin edilebilir.



Şekil 3.4. Mart ayına ait rüzgâr hız verisinin lineer regresyonu

3.4. Rayleigh Dağılımı

Rüzgâr hızı potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan bir başka dağılım fonksiyonu Rayleigh dağılımıdır. Rayleigh dağılımı, çoğu durumda rüzgâr hızı frekans dağılımlarını temsil ettiği bilinen Weibull modelinin özel bir örneğidir. Rayleigh dağılımında, şekil faktörü k 'nin "2" değerine sahip olduğu kabul edilmektedir [47].

Böylece, Rayleigh modelinin olasılık yoğunluğu ve kümülatif dağılım fonksiyonları sırasıyla Denklem 3.9 ve Denklem 3.10'daki gibi olmaktadır.

$$f_R(v) = \frac{\pi v}{2 v_m^2} \exp \left[- \left(\frac{\pi}{4} \right) \left(\frac{v}{v_m} \right)^2 \right] \quad (3.9)$$

$$F_R(v) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{\pi}{4} \right) \left(\frac{v}{v_m} \right)^2 \right] \quad (3.10)$$

Burada $f_R(v)$ Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonu ve $F_R(v)$ Rayleigh kümülatif dağılım fonksiyonunu göstermektedir.

3.5. Rüzgar Enerjisi Hesaplamaları

V hızına sahip bir rüzgârın süpürme alanı A boyunca oluşturduğu rüzgâr gücünün, hızın küpü ile artış gösterdiği bilinmektedir [47-49].

$$P(v) = \frac{1}{2} \rho A (v^3)_m \quad (3.11)$$

Standart hava yoğunluğu 1 atmosfer basınç altında ve 15 °C sıcaklığında kuru havada $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$ olarak alınmaktadır. Akpınar [50] bir bölgenin birim alan başına aylık veya yıllık rüzgâr enerjisi yoğunluğunu Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonuna P_w dayanarak hesapmış ve aşağıda bu olasılık yoğunluk fonksiyonu verilmiştir;

$$P_w = \frac{1}{2} \rho c^3 \left(1 + \frac{3}{k} \right) \quad (3.12)$$

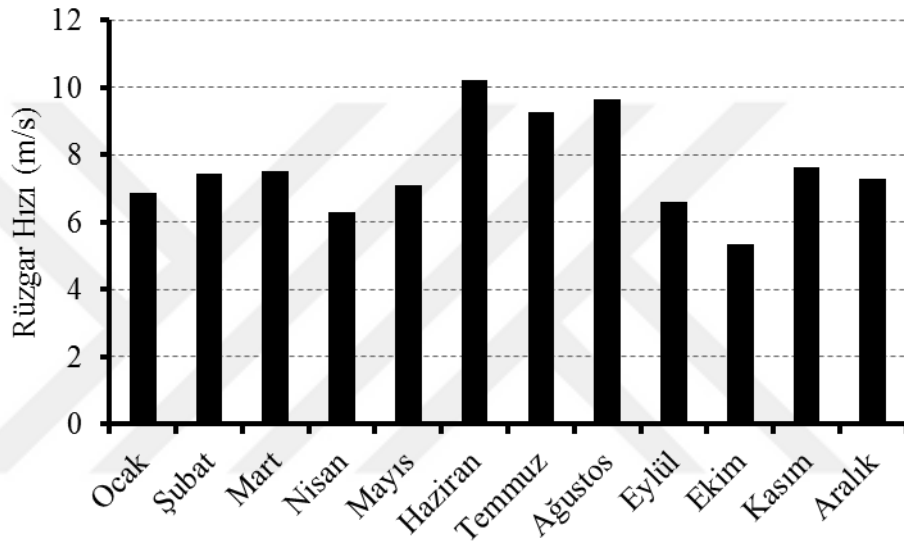
Rayleigh yoğunluk fonksiyonu için güç yoğunluğu denklemi ise aşağıdaki gibi ifade edilmiştir [50,51];

$$P_R = \frac{3}{\pi} \rho A V_m^3 \quad (3.13)$$



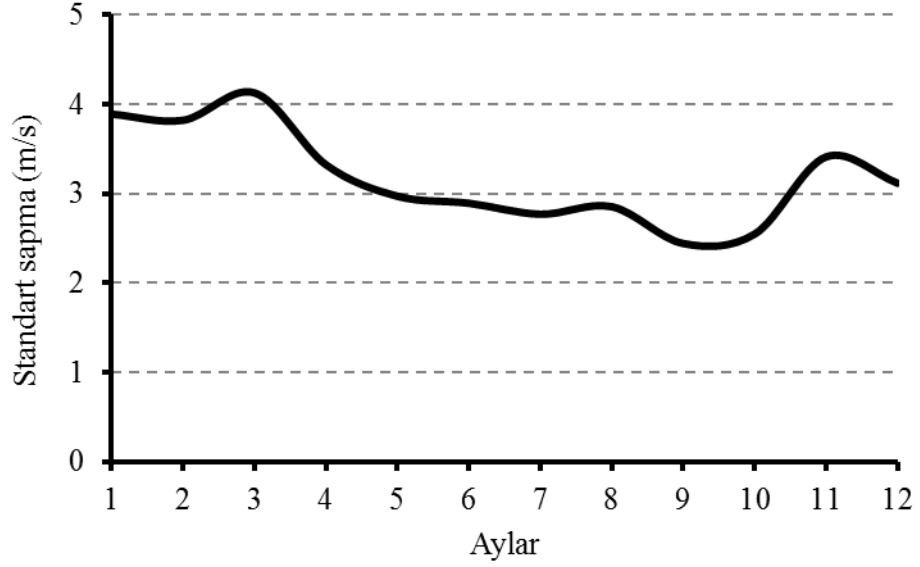
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmanın gerçekleştirildiği bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyelini değerlendirmek için Ocak 2015- Aralık 2015 tarihleri arasında Rüzgâr verileri ölçüm direğinden alınan 10 dakikalık rüzgâr hızı verileri kullanılmıştır. Rüzgâr verileri ölçüm direği tarafından üzerine kurulu anemometre aracılığı ile 80 m. yükseklikte rüzgâr hızı ölçümü gerçekleştirilmiştir. Ölçüm yapılan bölgenin 1 yıl içerisinde aylık ortalama rüzgar hızı değişimleri Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. 2015 yılı aylara göre ortalama rüzgar hızı değerleri

Rüzgâr hızı, Ekim ayında en düşük değere sahip olmakla birlikte en yüksek değere ise Haziran ayında çıkmaktadır. En düşük ve en yüksek değer sırasıyla 5.36 m/s ve 10.21 m/s’dir. Yıllık rüzgar hızı ortalama değeri 7.6 m/s olarak ölçülmüştür. Rüzgâr hızı yılın 4 ayı ortalama değerinin üzerinde değer almaktadır. Haziran, Temmuz, Ağustos aylarında rüzgâr hızı potansiyeli en yüksek seviyelere ulaşmaktadır. En düşük Eylül ve Ekim aylarında seyretmekte diğer aylarda ise neredeyse ortalama değeri yakalamaktadır. Standart sapma değeri dağılımın düzenliliğini göstermektedir. Şekil 4.2’ de standart sapma değerlerin aylık olarak grafiği verilmiştir.



Şekil 4.2. Standart sapma değerinin aylık değişimi

Aylık ortalama rüzgâr hızı ve standart sapma değerleri, ölçülen rüzgâr hızı verileri kullanılarak Denklem 3.1 ve Denklem 3.2'den hesaplanmaktadır. Weibull fonksiyonunun şekil parametresi k ve ölçek parametresi c değerleri de Denklem 3.4 ve Denklem 3.5 vasıtasıyla hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1. Bölgenin Weibull dağılım fonksiyonu parametreleri

	v_m (m/s)	σ (m/s)	k	c (m/s)
Ocak	6,85	3,89	1,63	6,72
Şubat	7,43	3,82	1,68	7,30
Mart	7,52	4,13	1,69	7,53
Nisan	6,31	3,32	1,74	6,26
Mayıs	7,09	2,97	2,09	6,78
Haziran	10,21	2,89	2,74	10,74
Temmuz	9,26	2,77	2,75	9,42
Ağustos	9,67	2,85	2,95	9,47
Eylül	6,58	2,44	2,40	6,48
Ekim	5,36	2,55	1,82	5,36
Kasım	7,64	3,41	2,08	7,65
Aralık	7,27	3,11	2,12	7,41

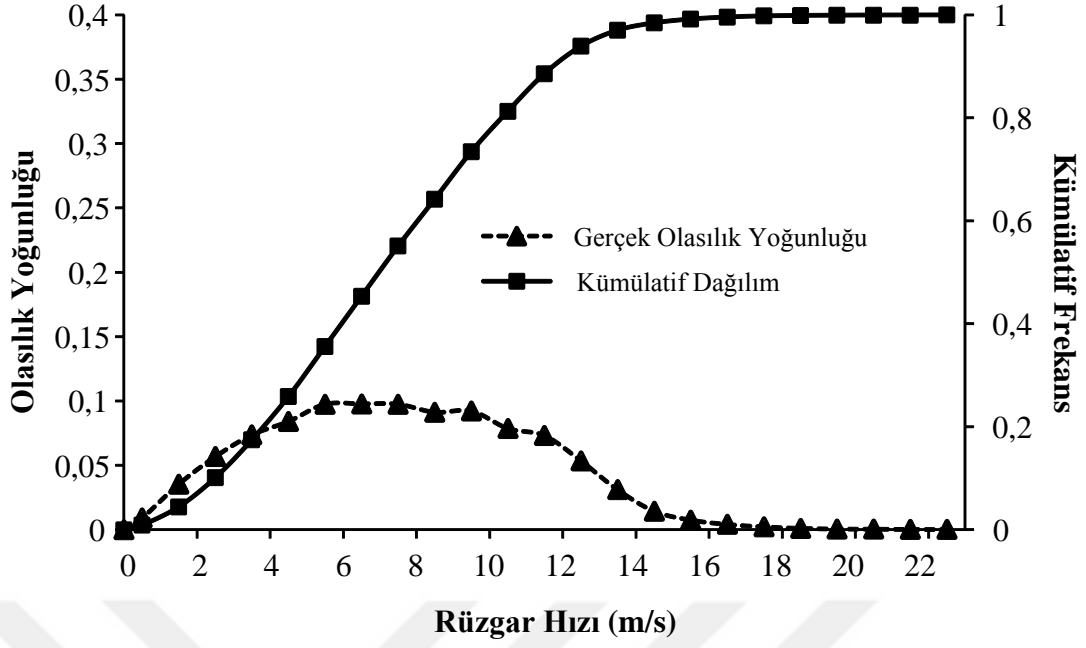
Aylık olarak hesaplanan parametrelerin tümü Çizelge 4.1’de verilmektedir. Çizelge 4.1’den de görüldüğü üzere Weibull parametrelerinden, ölçek faktörü c 5.36 ile 10.74 m/s arasında değişmekte iken, şekil faktörü k ise 1.63 ile 2.95 değerleri arasında değişmektedir.

Frekans dağılım biçimi istatistiksel analiz için daha uygun olduğundan, zaman serisi formatında ölçülen rüzgâr hızı verileri frekans dağılım biçiminde düzenlenmektedir. Bu verilere bir örnek Temmuz ayı için Çizelge 4.2’de verilmiştir. Çizelge 4.2’nin dördüncü kolonu, rüzgâr hızının çeşitli aralıklarla yoğunlaştığı frekansı göstermektedir. Çizelgeden de görüldüğü gibi rüzgâr hızının frekans olarak en yoğun olduğu değerler 8-11 m/s aralıklarıdır.

Çizelge 4.2. Rüzgâr hızı verilerinin belirli aralıklardaki frekans ve olasılık dağılımı

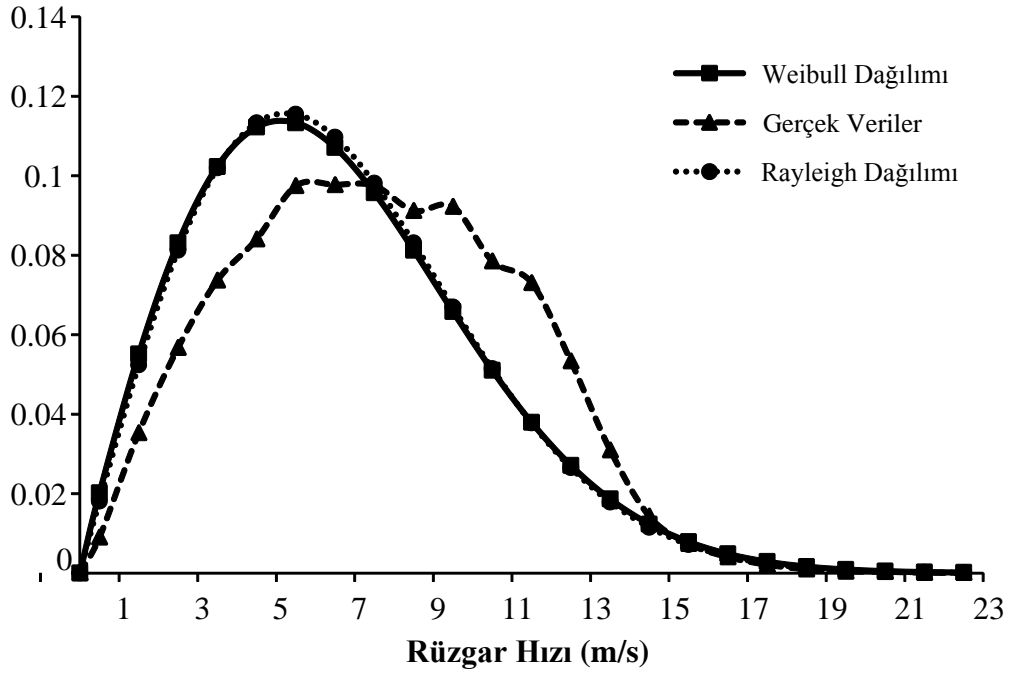
i	v_i (m/s)	v_{mi} (m/s)	f_i	$p(v_i)$	$P(v_i)$
1	0-1	0,5	2	0,000448	0,000448
2	1-2	1,5	46	0,010305	0,010753
3	2-3	2,5	78	0,017473	0,028226
4	3-4	3,5	70	0,015681	0,043907
5	4-5	4,5	134	0,030018	0,073925
6	5-6	5,5	253	0,056676	0,130600
7	6-7	6,5	335	0,075045	0,205645
8	7-8	7,5	370	0,082885	0,288530
9	8-9	8,5	658	0,147401	0,435932
10	9-10	9,5	612	0,137097	0,573029
11	10-11	10,5	638	0,142921	0,715950
12	11-12	11,5	529	0,118504	0,834453
13	12-13	12,5	410	0,091846	0,926299
14	13-14	13,5	247	0,055332	0,981631
15	14-15	14,5	61	0,013665	0,995296
16	15-16	15,5	20	0,004480	0,999776
17	16-17	16,5	1	0,000224	1

Çalışmanın yapıldığı bölgenin 1 yıllık periyotta ölçülen 10 dakikalık zaman serilerinden elde edilen gerçek olasılık yoğunluk fonksiyonu ve kümülatif olasılık dağılımları Şekil 4.3’de gösterilmektedir.



Şekil 4.3 Rüzgar hızı gerçek olasılık yoğunluk fonksiyonu ve kümülatif olasılık dağılımı

Şekil 4.3' te gerçek olasılık yoğunluğu değeri en yüksek 0,1 değerine çıkarken kümülatif olasılık dağılımı değerinin en yüksek değeri 0,4' e kadar yükselmektedir. Ayrıca olasılık yoğunluğu eğrisine bakılacak olursa rüzgâr hızı yoğunluk değerlerinin sürekli bir yapıda olduğu görülmektedir.



Şekil 4.4 Bölgeye ait rüzgar hızı frekans dağılımı

Rüzgâr hızı frekans dağılımları, Weibull ve Rayleigh olasılık fonksiyonları kullanılarak tahmin edilmiş ve ölçülen olasılık dağılım fonksiyonundan tahmin edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4.4'teki grafiğe bakılacak olursa Weibull dağılımı ve Rayleigh dağılımının birbirlerine oldukça yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Ancak Weibull dağılımının az da olsa Rayleigh dağılımına göre gerçek verilere daha yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Weibull fonksiyonunun k ve c değerleri, 1 yıl boyunca analiz edilen bölge için sırasıyla 1.9503 ve 7.4137 m/s olarak hesaplanmıştır. Yine Şekil 4.4'ten görüleceği üzere, bölgenin Weibull dağılımı değeri en yüksek yaklaşık 0.12 olarak tahmin edilmiştir.

Çizelge 4.3 gerçek veriler ile Weibull ve Rayleigh dağılımına göre hesaplanan güç yoğunluğu değerlerinin aylık bazda değerlerini göstermektedir.

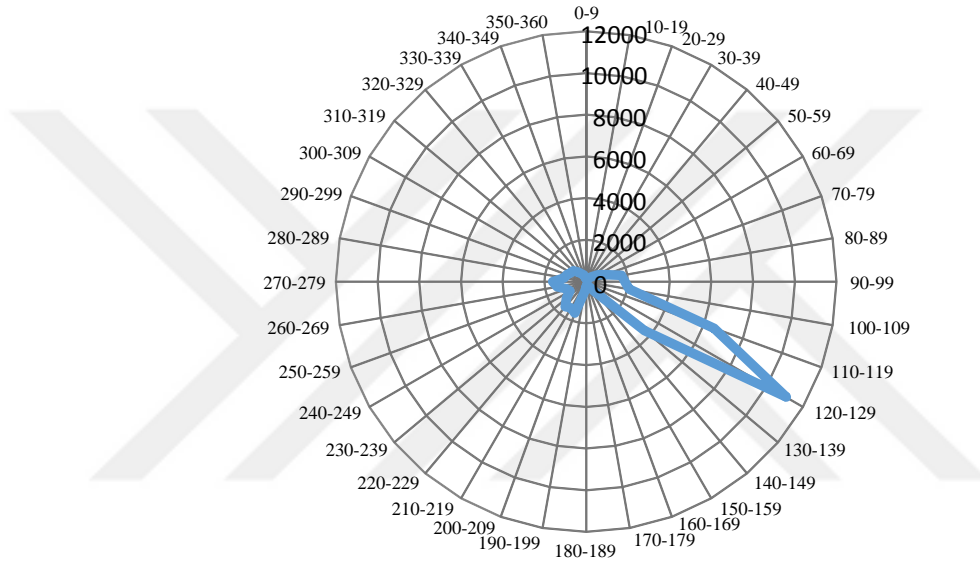
Çizelge 4.3. Bölgenin ortalama güç yoğunluklarının (W/m^2) aylık olarak değişimi

	Gerçek Veriler	Weibull	Rayleigh
Ocak	412,87	321,62	375,78
Şubat	460,57	395,77	478,87
Mart	521,76	430,58	498,31
Nisan	291,74	236,37	293,41
Mayıs	332,13	242,53	416,84
Haziran	802,51	792,08	1243,50
Temmuz	609,98	533,69	927,41
Ağustos	687,86	523,80	1056,12
Eylül	245,61	188,55	334,01
Ekim	165,06	140,18	179,87
Kasım	441,81	350,43	522,59
Aralık	367,78	312,98	449,88
Ortalama	444,85	340,94	513,26

Çizelge 4.3'te aylık bazda verilen birim metrekare başına düşen güç yoğunluğu değerlerine bakılacak olursa Weibull dağılımı değerlerinin genel olarak gerçek

verilere daha yakın sonuçlarda olduğu görülmektedir. Rayleigh dağılımı sonuçlarının ise düşük rüzgâr hızlarında yani düşük güç yoğunluğu değerlerinde gerçek veri sonuçları ile uyumluyken yüksek güç yoğunluğu değerlerinde ise uyumsuz olduğu görülmektedir.

Bir rüzgar enerjisi kurulum alanında rüzgar türbinlerinin en uygun konumunu elde etmek için rüzgar yönü en önemli parametrelerden biridir. Rüzgar yönü frekansına karşı rüzgar yönü Şekil 4.5'te gösterilmektedir.



Şekil 4.5. Rüzgar yönü frekansı dağılımı

Şekil 4.5' e bakılacak olursa rüzgar yönü ağırlıklı olarak 120-129° aralığında olmaktadır. Dolayısıyla rüzgar yönünün ağırlıklı olarak güneydoğu kısmında yoğunlaştığı görülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada Osmaniye ili sınırları içerisinde bulunan bir bölgenin Ocak 2015-Aralık 2015 tarihleri arasında 80 m yükseklikteki 10 dakika aralıklarla ölçülmüş rüzgar hızı ve rüzgar yönü değerleri kullanılarak bölgenin rüzgar enerjisi potansiyeli belirlenmeye çalışılmıştır. Rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemek için faydalanılan yöntemler Weibull ve Rayleigh dağılımlarıdır. Yapılan analiz ve değerlendirmeler sonrasında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

Çalışmanın gerçekleştirildiği bölgenin 80 m yükseklikteki yıllık olarak ortalama rüzgar hızı değeri 7.6 m/s bulunmuştur. Rüzgâr hızı değerlerine aylık olarak bakılacak olursa en yüksek rüzgâr hızına sahip ay 10.21 m/s ile Haziran iken en düşük rüzgar hızına sahip ay ise 5.36 m/s ile Ekim ayıdır. Yine bölgenin 1 yıllık periyotta mevsimsel olarak rüzgâr hızı potansiyeli incelenecek olursa en yüksek potansiyel yaz mevsiminde iken en düşük potansiyelin Sonbahar mevsiminde olduğu görülmektedir.

1 yıllık analiz sonucunda çalışmanın gerçekleştirildiği bölgenin ortalama rüzgar enerjisi potansiyeli 444.85 W/m² olarak bulunmuştur. En yüksek güç 802.51 W/m² ile Haziran ayına ait iken en düşük güç potansiyeli 165 W/m² ile Ekim ayına aittir. Rüzgâr enerjisi potansiyeline bakıldığında en verimli mevsimin yaz olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bölgeye kurulacak olan rüzgâr santrallerinin en verimli olduğu dönem yaz mevsimi olacaktır. En az potansiyele sahip olan Sonbahar mevsiminde ise santralde üretim en alt seviyede olacağından dolayı türbinlerin periyodik bakımları gerçekleştirilebilir.

Bölgenin analizi sonrasında Weibull şekil (k) ve ölçek (c) parametreleri sırasıyla 1.95 ve 7.41 m/s olarak bulunmuştur.

Rüzgâr yönü frekans dağılımına göre en yüksek ağırlığın Güneydoğu yönüne ait olduğu görülmektedir. Eğer rüzgar türbinleri bu bölgeye yerleştirilecek olursa rüzgarı doğrudan yakalayarak daha optimum bir çıkış elde etmek için rüzgar türbininin başı bu yöne paralel olmalıdır.

Bu sonuçlar doğrultusunda Osmaniye ilinde analizi gerçekleştirilen bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyelinin yüksek olduğu ve enerji üretme kabiliyetinin iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Bölgeye kurulacak rüzgâr enerji santralleri ile doğrudan enerji arzına yönelik faydalar sağlanılabilir. Elde edilen sonuçlar daha uzun süreli analizler ve daha detaylı inceleme yöntemleri ile yorumlanabilir. Dolayısıyla bölgeye rüzgâr enerjisi santrallerinin kurulumunda daha faydalı yorumlar elde edilebilir.



KAYNAKLAR

- [1] International Electrotechnical Commission Erişim adresi: http://www.iec.ch/renewables/wind_power.htm, Erişim tarihi: 05.07.2017.
- [2] Damar, N., B., Paris iklim değişikliği antlaşması COP 21 ve Türkiye, EMO, 456, Mart 2016.
- [3] “T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı” Erişim adresi: <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik> Erişim tarihi: 10.08.2017.
- [4] “Energy Informative (EI)” Erişim adresi: <http://energyinformative.org/> Erişim tarihi: 10.08.2017.
- [5] Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu Erişim adresi: <http://www.tureb.com.tr/bilgi-bankasi/turkiye-res-durumu>, Erişim Tarihi: 02.07.2017.
- [6] Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli, Erişim adresi: https://www.mgm.gov.tr/FILES/haberler/2010/rets/seminer/2_Mustafa_CALI_SKAN_RITM.pdf, Erişim Tarihi: 01.06.2017.
- [7] Gokcek, M., Bayulken, A., Bekdemir, S., Investigation of wind characteristics and wind energy potential in Kırklareli, Turkey, Renewable Energy, 32, 1739–1752, 2007.
- [8] Youm, I., Sarr, J., Sall, M., Ndiaye, A., Kane, MM., Analysis of wind data and wind energy potential along the northern coast of Senegal, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 8, 95–108, 2005.
- [9] Keyhani, A., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Khanali, M., Abbaszadeh, R., An assessment of wind energy potential as a power generation source in the capital of Iran, Tehran, Energy, 35, 188–201, 2010.
- [10] Tchinda, R., Kaptoum, E., Wind energy in Adamaoua and North Cameroon provinces, Energy Conversion and Management, 44, 845–857, 2003.
- [11] Lima, L.de.A., Filho, C.R.B., Wind energy assessment and wind farm simulation in Triunfo-Pernambuco, Brazil, Renewable Energy, 35, 2705–13, 2010.
- [12] Albuhaire, M.H., Assessment and analysis of wind power density in Taiz-republic of Yemen, Assiut University Bulletin for Environmental Researches, 9(2), 2006.

- [13] Mostafaeipour, A., Sedaghat, A., Dehghan-Niri, A.A., Kalantar, V., Wind energy easibility study for city of Shahrabak in Iran, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 2545–56, 2011.
- [14] Mirhosseini, M., Sharifi, F., Sedaghat, A., Assessing the wind energy potential locations in province of Semnan in Iran, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 449–59, 2011.
- [15] Dahmouni, A.W., Salah, B.M., Askri, F., Kerkeni, C., Nasrallah, B.S., Assessment of wind energy potential and optimal electricity generation in Borj-Cedria, Tunisia, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 815–20, 2011.
- [16] Ioannis, F., Axaopoulos, P.J., Gregoris, P., Wind energy potential assessment in Naxos Island, Greece, *Applied Energy*, 87, 577–86, 2010.
- [17] Meishen, Li, Xianguo, Li., Investigation of wind characteristics and assessment of wind energy potential for Waterloo region, Canada, *Energy Conversion and Management*, 46, 3014–33, 2005.
- [18] Carla, F.A., Hely, F.M.N., Paulo, A.C.R., da Silva, M. E. V., An efficiency comparison of numerical methods for determining Weibull parameters for wind energy applications: A new approach applied to the northeast region of Brazil, *Energy Conversion and Management*, 86, 801–808, 2014.
- [19] Saleh, H., El-Azm Aly, A.A., Abdel-Hady, S., Assessment of different methods used to estimate Weibull distribution parameters for wind speed in Zafarana wind farm, Suez Gulf, Egypt, *Energy*, 44, 710-719, 2012.
- [20] Islam, M.R., Saidur, R., Rahim, N.A., Assessment of wind energy potentiality at Kudat and Labuan, Malaysia using Weibull distribution function, *Energy*, 36, 985-992, 2011.
- [21] Safari, B., Gasore, J., A statistical investigation of wind characteristics and wind energy potential based on the Weibull and Rayleigh models in Rwanda, *Renewable Energy*, 35, 2874-2880, 2010.
- [22] Werapun, W., Tirawanichakul Y., Waewsak J., Comparative Study of Five Methods to Estimate Weibull Parameters for Wind Speed on Phangan Island, Thailand, *Energy Procedia*, 79, 976 – 981, 2015.

- [23] Dabbaghiyan, A., Fazelpour, F., Abnavi, M.D., Rosen, M.A., Evaluation of wind energy potential in province of Bushehr, Iran, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 455–466, 2016.
- [24] Safari, B., Modeling wind speed and wind power distributions in Rwanda, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 925–935, 2011.
- [25] Pishgar-Komleh, S.H., Keyhani, A., Sefeedpari, P., Wind speed and power density analysis based on Weibull and Rayleigh distributions (A case study: Firouzkooh county of Iran), *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 313–322, 2015.
- [26] Baseer, M.A., Meyer, J.P., Rehman, S., Alam, Md.M., Wind power characteristics of seven data collection sites in Jubail, Saudi Arabia using Weibull parameters, *Renewable Energy*, 102, 35-49, 2017.
- [27] Wais, P., Two and three-parameter Weibull distribution in available wind power analysis, *Renewable Energy*, 103, 15-29, 2017.
- [28] Mohammadi, K., Alavi, O., Mostafaeipour, A., Goudarzi, N., Jalilvand, M., Assessing different parameters estimation methods of Weibull distribution to compute wind power density, *Energy Conversion and Management*, 108, 322–335, 2016.
- [29] Rocha, P.A.C., de Sousa, R.C., de Andrade, C.F., da Silva M.E.V., Comparison of seven numerical methods for determining Weibull parameters for wind energy generation in the northeast region of Brazil, *Applied Energy*, 89, 395–400, 2012.
- [30] Carneiro, T.C., Melo, S.P., Carvalho, P.C.M., Braga, A.P.S., Particle Swarm Optimization method for estimation of Weibull parameters: A case study for the Brazilian northeast region. *Renewable Energy*, 86, 751-759,(2016).
- [31] Chang, T.P., Performance comparison of six numerical methods in estimating Weibull parameters for wind energy application, *Applied Energy*, 88, 272–282, 2011.
- [32] Celik A.N., A Statistical analysis of wind power density based on the Weibull and Rayleigh models at the southern region of Turkey, *Renewable Energy*, 29, 593–604, 2003.
- [33] Sahin, B., Bilgili, M., Wind characteristics and energy potential in Belen-Hatay, Turkey, *International Journal of Green Energy*, 6, 157–72, 2009.

- [34] Kose R., An evaluation of wind energy potential as a power generation source in Kütahya, Turkey, *Energy conversion and Management*, 45, 1631–41, 2004.
- [35] Karsli, V.M., Geçit, C., An investigation on wind power potential of Nurdağı-Gaziantep, Turkey, *Renewable Energy*, 28, 823–30, 2003.
- [36] Celik, A.N., Review of Turkey's current energy status: A case study for wind energy potential of Canakkale province, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 2743–2749, 2011.
- [37] Ucar, A., Balo, F., Evaluation of wind energy potential and electricity generation at six locations in Turkey, *Applied Energy*, 86, 1864–1872, 2009.
- [38] Ozgener, L., Investigation of wind energy potential of Muradiye in Manisa, Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 3232–3236, 2010.
- [39] Arslan, T., Bulut, Y., M., Yavuz, A.A., Comparative study of numerical methods for determining Weibull parameters for wind energy potential, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 820–825, 2014.
- [40] Bilir, L., Imir, M., Devrim, Y., Albostan, A., An investigation on wind energy potential and small scale wind turbine performance at Incek region, Ankara, Turkey, *Energy Conversion and Management*, 103, 910–923, 2015.
- [41] Bilir, L., Imir, M., Devrim, Y., Albostan, A., Seasonal and yearly wind speed distribution and wind power density analysis based on Weibull distribution function, *International journal of hydrogen energy*, 40, 15301-15310, 2015.
- [42] Ozay, C., Celiktas, M.S., Statistical analysis of wind speed using two-parameter Weibull distribution in Alaçatı region, *Energy Conversion and Management*, 121, 49–54, 2016.
- [43] Akdag, S.A., Dinler, A., A new method to estimate Weibull parameters for wind energy applications, *Energy Conversion and Management*, 50, 1761–1766, 2009.
- [44] Akdag, S.A., Güler, Ö., A novel energy pattern factor method for wind speed distribution parameter estimation, *Energy Conversion and Management*, 106, 1124–1133, 2015.
- [45] Usta, I., An innovative estimation method regarding Weibull parameters for wind energy applications, *Energy*, 106, 301-314, 2016.

- [46] Shata, A., Theoretical investigation and mathematical modeling of a wind energy system case study for Mediterranean and Red Sea, Technical University of Berlin, M.Sc. Thesis, 2008.
- [47] Mohammadi, K., Mostafaeipour, A., Using different methods for comprehensive study of wind turbine utilization in Zarrineh, Iran, *Energy Conversion and Management*, 65, 463-470, 2013.
- [48] Lashin, A., Shata, A., An analysis of wind power potential in Port Said, Egypt, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 6660-6667, 2012.
- [49] Eskin, N., Artar, H., Tolun, S., Wind energy potential of Gokceada Island in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 839-851, 2008.
- [50] Akpınar, E.K., Akpınar, S., An Assessment of Wind Turbine Characteristics and Wind Energy Characteristics for Electricity Production, *Energy Sources Part A*, 28, 941-53, 2006.
- [51] Arslan, O., Technoeconomic analysis of electricity generation from wind energy in Kutahya, Turkey, *Energy*, 35, 120–131, 2010.

ÖZGEÇMİŞ

1. **Adı Soyadı** : Cenk ÖZTÜRK
2. **Doğum Tarihi** : 24.12.1983
3. **Ünvanı** :Elektrik-Elektronik Mühendisi
4. **Öğrenim Durumu** : Lisans

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Bitirme Yılı
Lisans	Elektrik-Elektronik Müh.	Kırıkkale Üniversitesi	2007
Yüksek Lisans	İşletme Yönetimi Yüksek Lisansı	Bahçeşehir Üniversitesi	2012
Yüksek Lisans	Makine Müh.	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	-

5. Akademik Ünvanlar:

Görevi	Bölümü	Kurumu	Yıl

6. İş Tecrübesi:

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Rüzgar Santralleri Grup Müdürü	İltek Enerji	2017-devam
RES İşletme Müdürü	İltek Enerji	2012-2017
Elektrik Bakım Şefi	Alkim Alkali Kimya AŞ	2011-2012
Elektrik Bakım Şefi	Çelebi Bandırma Limanı	2008-2011