

İLKER MERT



**İSKENDERUN TEKNİK**  
ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DOKTORA  
TEZİ**

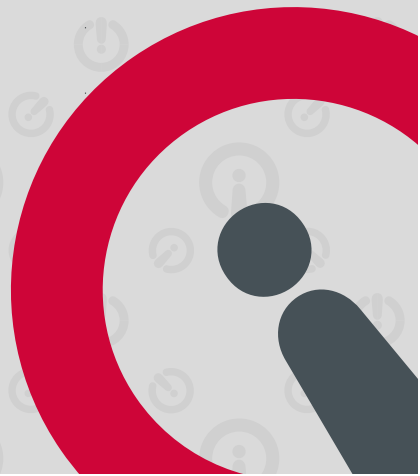
**HATAY BÖLGESİ RÜZGAR ENERJİSİ  
POTANSİYELİNİN OLASILIK  
DAĞILIMLARI VE YAPAY SİNİR  
AĞLARI İLE MODELLENMESİ**

**İLKER MERT**

HAZİRAN 2018

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2018





**HATAY BÖLGESİ RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN OLASILIK  
DAĞILIMLARI VE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MODELLENMESİ**

**İlker MERT**

**DOKTORA TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2018**

İlker MERT tarafından hazırlanan HATAY BÖLGESİ RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN OLASILIK DAĞILIMLARI VE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MODELLENMESİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / ~~OY ÇOKLUĞU~~ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Doç. Dr. CUMA KARAKUŞ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum.~~



**Başkan:** Prof. Dr. Hüseyin AKILLI

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Çukurova Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum.~~



**Üye:** Prof.Dr. MEHMET BİLGİLİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Çukurova Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum.~~



**Üye:** Doç. Dr. FATİH ÜNEŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum.~~



**Üye:** Dr. Öğr. Üyesi SEMİR GÖKPINAR

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum.~~



Tez Savunma Tarihi: 13/06/2018

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Doç. Dr. Tolga DEPCI

Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü V.




## ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.



İmza

İlker MERT

13/ 06/ 2018

HATAY BÖLGESİ RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN OLASILIK DAĞILIMLARI  
VE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MODELLENMESİ  
(Doktora Tezi)

İlker MERT

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2018

ÖZET

Enerji ihtiyacını büyük oranda ithalat yolu ile karşılayan Türkiye, döviz kurlarında meydana gelen dalgalanmalar, küresel siyasi ve mali krizler nedeniyle ekonomik gelişimini devam ettirebilmek için enerji kaynaklarını çeşitlendirmek zorundadır. 2023 vizyonu çerçevesinde ekonomik hedeflerini üst düzeyde tutan Türkiye, enerjide dışa bağımlılığını azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi için destekleyici önlemler almaktadır. Özellikle rüzgar enerjisi kullanımı ve üretimi gerek maddi olarak gerekse kanun ve yönetmelikler çerçevesinde yoğun bir biçimde desteklenmektedir.

Rüzgar hızı verisinin olasılık dağılımının kusursuz olarak belirlenmesi bir bölgenin sahip olduğu rüzgar hızı ve rüzgar enerjisi potansiyelinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi açısından en önemli adımdır.

Bu çalışmada kıyasal Akdeniz şehri Hatay'da bulunan Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait meteoroloji istasyonundan tedarik edilen 10 m yükseklikte ölçülen günlük, aylık ve yıllık ortalama rüzgar hızları kullanılarak rüzgar karakteristikleri ve potansiyeli analiz edilmiştir. İstatistiksel analizlerde yaygın olarak kullanılan Weibull ve bölgede daha önce denenmemiş olan Burr ve genelleştirilmiş Gamma dağılım fonksiyonları da mevcut veriye uygulanmıştır. Antakya bölgesinin rüzgar hızı dağılım eğrileri, ortalama rüzgar hızları ve rüzgar gücü değerleri Weibull, Burr (4P) ve Gen. Gamma dağılımı kullanılarak elde edilmiştir.

Weibull, Burr (4P) ve Gen. Gamma dağılım parametreleri için parametre kestirim tekniği olarak, Maksimum Olabilirlik Metodu (MOM) kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, Kolmogorov-Smirnov (D) ve Chi-Square ( $\chi^2$ ) uyum iyiliği testleri ile Belirleme Katsayısı ( $R^2$ ) ve Ortalama Hata Kareleri Toplamının Karekökü (RMSE) hata analizleri ile değerlendirilmiştir. Sonuç olarak araştırılan bölgenin rüzgar gücü yoğunluğunun düşük olduğu bulunmuştur.

Diğer yandan değişken hava koşulları nedeniyle rüzgar enerjisi potansiyelini tahmin etmek önemli bir problemdir. Yapay Sinir Ağları rüzgar hızı, hava sıcaklığı ve nemlilik gibi temel hava parametrelerine dayalı olarak rüzgar gücü üretim sistemlerinde anlık veya kısa dönemli modellemelerde kullanılmaktadır. Bu çalışmada saatlik temel hava verileri (THV) ve bunlara ait alt istatistiksel veriler (AİV), rüzgar türbini güç üretimini tahmin etmek için kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan hava verileri rüzgar hızı ve yönü, hava sıcaklığı ve basıncından oluşmaktadır. Bu parametrelerin alt istatistiksel verileri ise hava parametrelerinin maksimum, minimum, ortalama, standart sapma, çarpıklık ve basıklık değerlerinden oluşmaktadır. Bu çalışmanın amacı özelinde THV'ye bağlı olarak bir rüzgar türbini

tarafından günlük toplam güç üretimi ( $P_{top}$ ), maksimum ( $P_{mak}$ ) ve minimum ( $P_{min}$ ) güç üretimi ile AİV arasındaki ilişkiyi temsil eden model geliştirmektir. Tahmin modellerinde,  $P_{top}$ ,  $P_{mak}$  ve  $P_{min}$  değerleri ayrı ayrı bağımlı değişkenler olarak simüle edilirken, AİV' sini oluşturan parametreler ise bağımsız değişkenler olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada uygulanan adimsal regresyon, bağımlı değişkenler üzerinde etkin olan bağımsız değişkenleri belirlemek ve etkin olmayan değişkenleri ise modelleme sürecinde elimine etmek için kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda tespit edilen etkin parametreler ve güç üretimi değerleri yapay sinir ağı modellerini eğitime ve test aşamasında kullanılmıştır. Hata değerlendirme testleri sonucunda adimsal regresyon tabanlı yapay sinir ağı modeli lineer yaklaşımdan daha başarılı sonuçlar bulmuştur.

Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynakları arasında kullanımı giderek artan rüzgâr enerjisi birçok ülkede ve ülkemizde yerli üretim, alım garantisi, vergi muafiyeti gibi yöntemlerle teşvik edilmektedir. Zira hammadde ihtiyacının olmaması, temiz bir enerji kaynağı olması ve dışa bağımlılığı azaltması gibi nedenler, rüzgâr enerjisine yatırımı cazip kılmaktadır. Rüzgâr enerjisi yatırım fizibilite çalışması iki aşamalı bir çalışmadır. Beklenen finansal getirileri tanımlamak için enerji üretim tahmini ilk aşamadır. İkinci aşamada ise yatırım, işletme ve bakım maliyetleri ile birim enerji maliyeti tahmin edilir.

Bu çalışmada son olarak bir rüzgâr çiftliği yatırım projesi başlangıcında örnek bir rüzgâr türbini için değişken yatırım kredi faiz koşullarını içeren senaryolar kullanılarak ekonomik değerlendirme yapmak amaçlanmıştır. Ayrıca rüzgâr enerjisi yatırım kararını etkileyen farklı faiz oranlarının birim enerji üretim maliyetleri üzerindeki etkisi belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Rüzgâr enerjisi, Burr dağılımı, genelleştirilmiş gamma dağılımı, Weibull dağılımı, yapay sinir ağı, birim enerji maliyeti, Kolmogorov-Smirnov testi, Chi-Square testi

Sayfa Adedi : 175

Danışman : Doç. Dr. Cuma KARAKUŞ

MODELING WIND ENERGY POTENTIAL OF HATAY REGION USING  
PROBABILITY DISTRIBUTIONS AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS  
(Ph. D. Thesis)

İlker MERT

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY  
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

June 2018

ABSTRACT

Due to fluctuations in foreign exchange rates and global political-financial crisis, Turkey which provides demand of energy mostly by importation, has to diversify energy sources in order to carry on its economic development. According to framework of the 2023 vision, Turkey which keeps high the economic targets, has been taking supportive measures to evaluate the renewable energy resources for reducing energy import dependence. Especially, the use of wind energy and production are supported intensively as financially by laws and regulations.

A precise determination of probability distribution for wind speed data is the most important step in statistically evaluating wind speed and wind energy potential of a region. In this study, wind characteristic and wind energy potential of the Hatay that is located in the Mediterranean coastal city of Turkey, are analyzed using the daily, monthly and annual average wind speed data recorded at meteorological station belong to Turkish State Meteorological Service measured at 10 m. Burr, Generalized. Gamma distributions which are previously untested in the area and Weibull distribution widely used in statistical analyses were applied to wind speed data sets for Antakya. Wind speed distribution curves, mean wind speed and the wind power density values of Antakya are obtained by using the Weibull, Burr (4P) and Gen. Gamma probability density functions. Kolmogorov-Smirnov ( $D$ ), Chi-Square ( $\chi^2$ ), the Coefficient of Determination and Root Mean Square Error Analysis are used to evaluate their goodness-of-fit of the distributions. As a result, it is found that the investigated location has a low wind power density.

On the other hand, due to fluctuating weather conditions, estimating wind energy potential is still a significant problem. Artificial Neural Networks (ANNs) have been commonly used in Short-term and Just-In-Time modeling of wind power generation systems based on main weather parameters such as wind speed, temperature, humidity, etc. Two different data sets called hourly main weather data (MWD) and daily sub data (DSD) were used to estimate a wind turbine power generation in this study. MWD are based on historically observed wind speed, wind direction, air temperature and pressure parameters. Besides, DSD created with statistical terms of MWD consists of maximum, minimum, mean, standard deviation, skewness, and kurtosis values. Another purpose of this study in particular is to develop a multi-linear model representing the relationship among the DSD with the calculated minimum ( $P_{\min}$ ) and maximum ( $P_{\max}$ ) power generation values as well as the total power generation ( $P_{\text{sum}}$ ) produced in a day by a wind turbine based on the MWD. While simulation values of the turbine,  $P_{\min}$ ,  $P_{\max}$ , and  $P_{\text{sum}}$  were used as the separately dependent parameters,

DSD was determined as independent parameters in estimation models. Stepwise regression was used to determine efficient independent parameters on dependent parameters and to removal the inefficient parameters in the exploratory phase of study. These efficient parameters and simulated power generation values were used for training and testing the developed ANN models. Accuracy test results show that interoperability framework models based on Stepwise regression and the neural network models are more accurate and reliable than a linear approach.

In recent years, wind energy growing its use among resources of renewable energy, is encouraged by methods such as domestic production, purchase guarantee, tax exemptions in many countries. Reasons which do not require raw material, be a clean energy resource and reduce dependence on foreign, make it attractive to invest in wind energy. Wind energy investment feasibility study is a two-stage operation. An energy production estimation to define expected financial returns is the first stage. Costs of investment, operation and maintenance with unit energy cost are estimated in the second stage. As the last step of this study, an economical assessment was aimed using scenarios include variable investment credit interest rates, for a sample turbine at the beginning of the wind farm investment project. Moreover, according to variable interest rates that also affect the wind energy investment decision, unit energy generation costs were determined.

Key Words : Wind energy, Burr distribution, generalized gamma distribution, Weibull distribution, artificial neural network, unit energy cost, Kolmogorov-Smirnov test, Chi-Square test

Page Number : 175

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Cuma KARAKUŞ



## TEŞEKKÜR

Doktora çalışmam boyunca ve tezin hazırlanması aşamasında; bilimsel ve manevi desteğini esirgemeyen, görüşlerini aktararak beni yönlendiren ve hoşgörüsünü hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanı hocam, Sayın Doç. Dr. Cuma KARAKUŞ'a minnettarlığımı ve şükranlarımı sunarım.

Tez izleme komitesindeki bilimsel katkılarıyla tezin ilerleyişine yön veren ve de haklarını ödeyemeyeceğime inandığım değerli hocalarım; Sayın Doç. Dr. Fatih ÜNEŞ ve Dr. Öğr. Üyesi Semir GÖKPINAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Akademik hayatım boyunca yardımlarını esirgemeyen kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Ertuğrul BALTACIOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Lisansüstü çalışmalara başlamama vesile olan Sayın Dr. Öğr. Üyesi Abdullah KEÇECİLER'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım esnasında arkadaşlıklarını ve desteklerini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Turan ARAT, Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Kaan BALTACIOĞLU, Arş. Gör. Bahattin TANÇ, Arş. Gör. Hasan Hüseyin BİLGİÇ' e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmaları sırasında tüm bölüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Makine Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü müdürlüğü ve değerli personeline, destek veren ve isimlerini burada zikredemediğim ama yardımlarını esirgememiş herkese içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmada desteklerini esirgemeyen Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğüne teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemde büyük emekleri olan annem ve rahmetli babama şükranlarımı sunarım. Akademik çalışmalarım boyunca her an yanımda olan, sevgisini, ilgisini ve zamanını hiçbir zaman esirgemeyen, emeklerinin karşılığını asla ödeyemeyeceğim sevgili eşim Songül'e, varlığıyla bana güç veren, yaşama bağlayan biricik kızım Begüm'e ve biricik oğlum Ali'ye sevgilerimi sunarım.

Yapılan bu Doktora çalışmasının, daha sonra yapılacak olan çalışmalara ufuk açıcı, yol gösterici ve iyi bir referans olması dileğiyle, tüm emeği geçenlere teşekkürlerimi sunuyorum.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiv
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xviii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Enerji .....	2
1.1.1. Genel bakış.....	2
1.1.2. Dünya’da rüzgar enerjisi .....	5
1.1.3. Avrupa’da rüzgar enerjisi.....	7
1.1.4. Türkiye’de rüzgar enerjisi .....	7
1.1.5. Kyoto protokolü ve dünya iklim zirvesi.....	13
1.2. Önceki çalışmalar .....	14
1.2.1. Türkiye’deki çalışmalar .....	14
1.2.2. Dünyadaki çalışmalar .....	22
1.3. Çalışmanın amacı .....	28
1.4. Çalışmanın getirdiği yenilikler.....	28
<b>2. MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>30</b>
2.1. Materyal .....	30
2.1.1. Çalışma alanı ve verisi .....	30

	<b>Sayfa</b>
2.1.2. Rüzgar türbini.....	35
2.1.3. Enercon E-33 rüzgar türbini.....	36
2.1.4. Aventa AV-7 rüzgar türbini .....	38
2.2. Yöntem.....	39
2.2.1. Rüzgar enerjisi ile ilgili temel kavramlar.....	39
2.2.2. Rüzgar hızının değişimi .....	46
2.2.3. Rüzgar istatistiği.....	49
2.2.4. Olasılık dağılımları.....	51
2.2.5. Dört parametrelili Burr dağılımı.....	53
2.2.6. MOM ile Burr parametrelerinin tahmini.....	54
2.2.7. Üç parametrelili Genelleştirilmiş Gamma Dağılımı.....	58
2.2.8. MOM ile Gen. Gamma parametrelerinin tahmini.....	60
2.2.9. İki parametrelili Weibull dağılımı.....	62
2.2.10. MOM ile Weibull parametrelerinin tahmini .....	67
3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....	69
3.1. Burr, Gen. Gamma ve Weibull dağılımları kullanılarak rüzgar hızı verisinin istatistiksel analizi.....	69
3.1.1. Giriş.....	69
3.1.2. Çalışmanın temelleri .....	70
3.1.3. Modelleme.....	71
3.1.4. Uyum iyiliği testi ve hata analizi .....	73
3.1.5. Kapasite Faktörü .....	75
3.1.6. Rüzgar hızı verileri.....	76
3.1.7. Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull dağılımları ile modelleme .....	79
3.1.8. Rüzgar gücü değerlendirmesi.....	91

	<b>Sayfa</b>
3.1.9. Sonuçlar.....	95
3.2. Yapay Sinir Ağı kullanılarak rüzgar türbini güç üretiminin tahmini .....	97
3.2.1. Giriş.....	97
3.2.2. Veri.....	100
3.2.3. Çoklu Lineer Regresyon modeli .....	101
3.2.4. Yapay Sinir Ağları (YSA).....	103
3.2.5. Bulgular.....	107
3.2.6. Çoklu Lineer Regresyon modeli süreci.....	108
3.2.7. Yapay Sinir Ağları süreci.....	112
3.2.8. Sonuçlar.....	127
3.3. Ekonomik Analiz.....	129
3.3.1. Giriş.....	129
3.3.2. Çalışmanın temelleri .....	130
3.3.3. Rüzgar hızı modelleme ve kapasite faktörü .....	130
3.3.4. Çalışmanın ekonomik temelleri .....	131
3.3.5. Ekonomik analize dair kabuller .....	134
3.3.6. Bulgular.....	138
3.3.7. Sonuçlar.....	147
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	149
KAYNAKLAR .....	152
ÖZGEÇMİŞ .....	173

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 1.1. Ülkelerin rüzgâr kurulu güç kapasitesindeki değişimi .....	6
Çizelge 1.2. Türkiye elektrik enerjisi kuruluş ve yakıt cinslerine göre kurulu güç .....	9
Çizelge 2.1. Enercon E33 için teknik bilgiler .....	36
Çizelge 2.2. Aventa AV-7 için teknik bilgiler .....	38
Çizelge 2.3. Hellman katsayısı.....	47
Çizelge 2.4. Pürüzlülük uzunluğu ve yüzeylere göre pürüzlülük sınıfları .....	48
Çizelge 2.5. Kentsel $z_o$ pürüzlülük uzunlukları.....	49
Çizelge 3.1. Yıllık rüzgar hızı hakkında istatistiki bilgiler .....	77
Çizelge 3.2. Yıl ve mevsim bazında rüzgar yönü sıklığı.....	79
Çizelge 3.3. Ay, mevsim ve yıl bazında dağılımlara ait parametreler .....	80
Çizelge 3.4. Dağılımların ay, mevsim ve yıl bazında uyum değerleri .....	91
Çizelge 3.5. Gözlenen ve tahmin edilen ortalama rüzgar hızı ve güç yoğunluğu değerleri.....	92
Çizelge 3.6. Dağılımlar tarafından tahmin edilen güç yoğunluğu değerleri .....	93
Çizelge 3.7. Rüzgar enerjisi yoğunluğu için uluslararası ticari sınıflandırılma sistemi .....	94
Çizelge 3.8. Meteorolojik verilere bağlı olarak hesaplanan ÇLRM ve YSA giriş verileri.....	100
Çizelge 3.9. $P_{min}$ verisi için ÇLRM işlemi adımları .....	109
Çizelge 3.10. $P_{mak}$ verisi için ÇLRM işlemi adımları.....	110
Çizelge 3.11. $P_{top}$ verisi için ÇLRM işlemi adımları.....	111
Çizelge 3.12. $P_{top}$ , $P_{mak}$ ve $P_{min}$ için girdi parametreleri ve YSA yapıları.....	113
Çizelge 3.13. $P_{min}$ için uygulanan modeller ve performansları.....	113
Çizelge 3.14. $P_{mak}$ için uygulanan modeller ve performansları .....	117

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.15. $P_{top}$ için uygulanan modeller ve performansları .....	120
Çizelge 3.16. $P_{min}$ için elde edilen en iyi YSA modelinde gizli tabaka ile çıkış arasında oluşan ağırlıklar ve çıkış eşitliği .....	124
Çizelge 3.17. $P_{mak}$ için elde edilen en iyi YSA modelinde gizli tabaka ile çıkış arasında oluşan ağırlıklar ve çıkış eşitliği .....	125
Çizelge 3.18. $P_{top}$ için elde edilen en iyi YSA modelinde gizli tabaka ile çıkış arasında oluşan ağırlıklar ve çıkış eşitliği .....	126
Çizelge 3.19. RES ekonomik analizi için temel girdiler .....	135
Çizelge 3.20. Planlama ve proje geliştirme masrafları.....	136
Çizelge 3.21. RES inşaat masrafları .....	136
Çizelge 3.22. Elektrik ve mekanik teçhizat ve montaj masrafları .....	137
Çizelge 3.23. Yatırım kredisi faiz oranı % 3 olması durumunda taksitlendirme yılları gelir-gider durumu (€) .....	140
Çizelge 3.24. Yatırım kredisi faiz oranı değişimine karşılık BEM değişimi.....	141
Çizelge 3.25. Yaz dönemi kapasite faktörü ile yatırım kredisi faiz oranı % 3 olması durumunda taksitlendirme yılları gelir-gider durumu (€).....	144
Çizelge 3.26. Yaz dönemi kapasite faktörü ile yatırım kredisi faiz oranı değişimine karşılık BEM değişim (€).....	145
Çizelge 3.27. Yatırımın geri dönüş süresi .....	147

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Türkiye’de rüzgar enerjisi kurulu kapasite gelişimi artış oranları.....	11
Şekil 1.2. Yıllık bazda kurulu kapasite artış miktarları .....	12
Şekil 1.3. İşletmede olan RES’lerin kurulu güç bakımından bölgesel dağılımı .....	12
Şekil 1.4. 2017 Yılında inşa edilen rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç bakımından illere göre dağılımı .....	13
Şekil 2.1. Enercon E33 rüzgar türbini.....	37
Şekil 2.2. Enercon E33 rüzgar türbini güç eğrisi .....	37
Şekil 2.3. Aventa AV-7 rüzgar türbini güç eğrisi .....	38
Şekil 2.4. Aventa AV-7 rüzgar türbini.....	39
Şekil 2.5. İdeal bir rüzgar tribününde hız değişimi.....	41
Şekil 2.6. Performans katsayısı $C_p$ ’ nin $b$ ’ye göre değişimi .....	43
Şekil 2.7. Belirli $\beta$ değerleri için $C_p$ ve $\lambda$ arasındaki ilişki.....	45
Şekil 2.8. Rüzgar türbini elektrik üretim sistemi .....	45
Şekil 2.9. $\mu$ , Mod ve Medyan değerlerine bağlı olarak dağılım şekilleri.....	50
Şekil 2.10. Rüzgâr hızına ilişkin olasılık yoğunluğu fonksiyonu .....	52
Şekil 2.11. İki farklı parametre setine sahip Burr (4P) dağılımı OYF grafiği .....	53
Şekil 2.12. Sağa çarpık Burr (4P) dağılımı temsili grafiği .....	57
Şekil 2.13. $\beta=7,11$ ve $\lambda=0,9$ için sağa çarpık Gen. Gamma dağılımı grafiği.....	59
Şekil 2.14. $c_w=4$ ve $k_w=2$ için sağa çarpık Weibull dağılımı grafiği.....	63
Şekil 2.15. Olasılık dağılımları ailesi.....	64
Şekil 3.1. Yıllık Rüzgar hızı hakkında istatistiki bilgiler.....	77
Şekil 3.2. Hatay meteorolojik gözlem istasyonuna ait rüzgar gülü grafiği.....	78
Şekil 3.3. Kış mevsimi için Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull OYF eğrileri (10 m) .....	81

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.4. Kış mevsimi için Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull OYF eğrileri (50 m) .....	82
Şekil 3.5. İlkbahar mevsimi için Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull OYF eğrileri (10 m) .....	83
Şekil 3.6. İlkbahar mevsimi için Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull OYF eğrileri (50 m) .....	83
Şekil 3.7. Yaz mevsimi için Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull OYF eğrileri (10 m) .....	84
Şekil 3.8. Yaz mevsimi için Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull OYF eğrileri (50 m) .....	85
Şekil 3.9. Sonbahar mevsimi için Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull OYF eğrileri (10 m) .....	85
Şekil 3.10. Sonbahar mevsimi için Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull OYF eğrileri (50 m) .....	86
Şekil 3.11. Yıllık rüzgar verisi için Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull OYF eğrileri (10 m) .....	87
Şekil 3.12. Yıllık rüzgar verisi için Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull OYF eğrileri (50 m) .....	88
Şekil 3.13. Yıllık rüzgar verisi için Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull OYF P-P eğrileri .....	88
Şekil 3.14. Dağılımlar için ay ve mevsim bazında $\sigma$ nın değişimi.....	90
Şekil 3.15. Mevsim ve yıl bazında güç üretimi ve kapasite faktörü .....	95
Şekil 3.16. Temel YSA hücresi.....	104
Şekil 3.17. Logsig, Tansig ve Purelin TF .....	105
Şekil 3.18. Yapay sinir ağı yapısı .....	105
Şekil 3.19. $P_{min}$ için ÇLRM tahmin performansları a) Günlük, b) Test verisinin tamamı.....	115
Şekil 3.20. $P_{min}$ için YSA tahmin performansları a) Günlük, b) Test verisinin tamamı.....	116
Şekil 3.21. $P_{mak}$ için ÇLRM tahmin performansları a) Günlük, b) Test verisinin tamamı.....	118



<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.22. $P_{mak}$ için YSA tahmin performansları a) Günlük, b) Test verisinin tamamı.....	119
Şekil 3.23. $P_{top}$ için ÇLRM tahmin performansları a) Günlük, b) Test verisinin tamamı.....	122
Şekil 3.24. $P_{top}$ için YSA tahmin performansları a) Günlük, b) Test verisinin tamamı.....	123
Şekil 3.25. Santral projesi yapılması durumunda BEM değerleri .....	142
Şekil 3.26. Santral projesi yapılması durumunda BEM değerleri .....	146



**HARİTALARIN LİSTESİ**

<b>Harita</b>	<b>Sayfa</b>
Harita 2.1. Türkiye geneli 50 metre yükseklikteki ortalama yıllık rüzgar hızları dağılımı .....	31
Harita 2.2. Türkiye geneli 50 metre yükseklikteki ortalama güç yoğunluğu dağılımı ...	31
Harita 2.3. Türkiye geneli 50 metre yükseklikteki ortalama kapasite faktörü dağılımı .....	32
Harita 2.4. Hatay Bölgesine ait harita.....	33
Harita 2.5. Hatay ili a) Rüzgâr hız dağılım haritası b) Rüzgâr güç yoğunluğu haritası c) Kapasite faktör haritası d) Pürüzlülük haritası .....	34

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklamalar</b>
$\dot{m}$	Kütleli Debi (kg/s)
$\sigma_B^2$	Burr (4P) Dağılımı için Rassal Değişkenin Varyansı
$\gamma_{B1}$	Burr (4P) Dağılımı için Rassal Değişkenin Çarpıklığı
$\gamma_{B2}$	Burr (4P) Dağılımı için Rassal Değişkenin Basıklığı
$\sigma_G^2$	Gen. Gamma Dağ. için Rassal Değişkenin Varyansı
$\gamma_{G1}$	Gen. Gamma Dağ. için Rassal Değişkenin Çarpıklığı
$\gamma_{G2}$	Gen. Gamma Dağ. için Rassal Değişkenin Basıklığı
$\sigma_W^2$	Weibull Dağılımı için Rassal Değişkenin Varyansı
$\gamma_{W1}$	Weibull Dağılımı için Rassal Değişkenin Çarpıklığı
$\gamma_{W2}$	Weibull Dağılımı için Rassal Değişkenin Basıklığı
$\sigma$	Standart Sapma
$\sigma^2$	Varyans
$A_f$	Bileşik Faiz Oranı Hesabında Faize Tabi Ana Para (€)
$b$	Eksenel akış indüksiyon faktörü
$B_t$	Bileşik Faiz Oranı Hesabında t Yıl Sonraki Borcu (€)
$C_{(0)}$	Giderin İşletme Başlangıç Yılındaki Değerini (€)
$C_{es(t)}$	Bir Giderin T Yıl Sonra Gelecekteki Değeri (€)
$C_f$	Kapasite Faktörü (%)
$C_p$	Performans Katsayısı
$c_w$	Weibull Dağılımı için Ölçek Parametresi
$D$	Kolmogorov-Smirnov Testi
$D_{mak}$	24 Saatlik Rüzgar Yönü için Maks Değer (° Derece)
$D_{min}$	24 Saatlik Rüzgar Yönü için Min Değer (° Derece)
$D_{\gamma1}$	24 Saatlik Rüzgar Yönü için Çarpıklık Değeri (°)
$D_{\gamma2}$	24 Saatlik Rüzgar Yönü için Basıklık Değeri (°)
$D_{\mu}$	24 Saatlik Rüzgar Yönü için Ortalama Değeri (°)

$D_{\sigma}$	24 Saatlik Rüzgar Yönü için Standart Sapma (°)
$E_B$	Burr (4P) Dağılımı için Moment Çıkaran Fonksiyon
$E_{GGD}$	Gen. Gamma Dağılımı için Moment Çıkaran Fonk.
$E_k$	Kinetik Enerji (Joule)
$e_o$	Eskalasyon Oranı (%)
$E_s$	İşletme Giderlerini (€)
$E_w$	Weibull Dağılımı için Moment Çıkaran Fonksiyon
$E_y$	Enerji Yoğunluğu (Ws/m <sup>2</sup> Yıl)
$f_o$	Bileşik Faiz Oranı Hesabında Faiz Oranı (%)
$f_t$	Yıllık Esmeye Süresi (s/Yıl)
$h$	Yükseklik (m)
$k_B$	Burr (4P) Dağ. Birinci Boyutsuz Şekil Parametresi
$K_i$	İşletme Yılındaki Kar (€)
$k_w$	Weibull Dağılımı için Boyutsuz Şekil Parametresi
$LB$	Burr (4P) Dağılımı için Log-Olabilirlik Fonksiyonu
$LG$	Gen. Gamma Dağılımı Log-Olabilirlik Fonksiyonu
$LW$	Weibull Dağılımı için Log-Olabilirlik Fonksiyonu
$p$	Hava Basıncı (Pascal, N/m <sup>2</sup> )
$P_{ER}$	$V_R$ Hızında Elde Edilebilecek Maksimum Güç (W)
$P_{mak}$	Türbininin Gün İçindeki Min. Anlık Güç Üretimi (W)
$p_{mak}$	24 Saatlik Hava Basıncı Maksimum Değeri (mbar)
$P_{min}$	Türbininin Gün İçinde Maks. Anlık Güç Üretimi(W)
$p_{min}$	24 Saatlik Hava Basıncı Minimum Değeri (mbar)
$P_{top}$	Türbininin Gün içi Toplam Güç Üretimi (W)
$p_{\gamma 1}$	24 Saatlik Hava Basıncı Çarpıklık Değeri (mbar)
$p_{\gamma 2}$	24 Saatlik Hava Basıncı Basıklık Değeri (mbar)
$p_{\mu}$	24 Saatlik Hava Basıncı Ortalama Değeri (mbar)
$p_{\sigma}$	24 Saatlik Hava Basıncı St. Sapma Değeri (mbar)
$R$	Kuru Hava İçin Spesifik Gaz Sabiti (287,053 J/kgK)
$R^2$	Belirleme Katsayısı
$r_o$	İskonto Oranını (%)
$t$	Bileşik Faiz Oranı Hesabında Yılı
$T$	Hava Sıcaklığı (Kelvin, K)
$T_{mak}$	24 Saatlik Hava Sıcaklığı Maksimum Değeri (° C)

$T_{\min}$	24 Saatlik Hava Sıcaklığı Minimum Değeri (° C)
$T_Y$	Yıllık Sabit Taksit Tutarı (€)
$T_{\gamma 1}$	24 Saatlik Hava Sıcaklığı Çarpıklık Değeri (° C)
$T_{\gamma 2}$	24 Saatlik Hava Sıcaklığı Basıklık Değeri (° C)
$T_{\mu}$	24 Saatlik Hava Sıcaklığı Ortalama Değeri (° C)
$T_{\sigma}$	24 Saatlik Hava Sıcaklığı St. Sapma Değeri (° C)
$\ddot{U}_{nn}$	Nakil Hattı Kaybı Sonrası Net Enerji Üretim (kWs/Yıl)
$V$	Rüzgar Hızı (m/s)
$V_{BMD}$	Burr (4P) Dağılımı için Rassal Değişkenin Modu
$V_{BMDY}$	Burr (4P) Dağılımı için Rassal Değişkenin Medyanı
$V_{GMD}$	Gen. Gamma Dağılımı için Rassal Değişkenin Modu
$V_{GMDY}$	Gen. Gamma Dağılımı Rassal Değişkenin Medyanı
$V_{\max}$	24 Saatlik Rüzgar Hızı Verisi için Maksimum Değeri
$V_{\min}$	24 Saatlik Rüzgar Hızı Verisi için Minimum Değeri
$V_R$	Bir Türbinin En Verimli Şekilde Çalışabileceği Maksimum Rüzgar Hızı
$V_{WMD}$	Weibull Dağılımı için Rassal Değişkenin Modu
$V_{WMDY}$	Weibull Dağılımı için Rassal Değişkenin Medyanı
$V_{\gamma 1}$	24 Saatlik Rüzgar Hızı Çarpıklık Değeri (m/s)
$V_{\gamma 2}$	24 Saatlik Rüzgar Hızı Basıklık Değeri (m/s)
$V_{\mu}$	24 Saatlik Rüzgar Hızı Ortalama Değeri (m/s)
$V_{\sigma}$	24 Saatlik Rüzgar Hızı Standart Sapma Değeri (m/s)
$z_0$	Pürüzlülük Yüksekliği (m)
$\alpha$	Hellman Katsayısı
$\alpha_B$	Burr (4P) Dağılımı İkinci Boyutsuz Şekil Parametresi
$\beta$	Türbin Kanat Açısı
$\beta_B$	Burr (4P) Dağılımı için Ölçek Parametresi
$\beta_G$	Gen. Gamma Dağılımı Birinci Boyutsuz Şekil Parametresi
$\gamma_1$	Çarpıklık Katsayısı
$\gamma_2$	Basıklık Katsayısı
$\gamma_B$	Burr (4P) Dağılımı için Yer Parametresi
$\eta_e$	Elektriksel İletim Verimliliği

$\eta_g$	Jeneratör Verimliliği
$\eta_m$	Transmisyon Verimlilik Katsayısı
$\eta_t$	Toplam Verim
$\theta_G$	Gen. Gamma Dağılımı için Ölçek Parametresi
$\lambda$	Kanat Uç-Hız Oranı
$\lambda_G$	Gen. Gamma Dağılımı için İkinci Boyutsuz Şekil Parametresi
$\mu$	Herhangi Bir Değişken için İstatistiki Ortalama
$\mu_B$	Burr (4P) Dağılımı için Rassal Değişkenin Ortalama Değeri
$\mu_G$	Gen. Gamma Dağılımı için Rassal Değişkenin Ortalama Değeri
$\mu_v$	Rüzgar Hızı için İstatistiki Ortalama (m/s)
$\mu_w$	Weibull Dağılımı için Rassal Değişkenin Ortalama Değeri
$\chi^2$	Chi-Square Testi değeri

### Kısaltmalar

### Açıklamalar

<b>AİV</b>	Temel Hava Verilerin için Alt İstatistiki Veriler
<b>ARIMA</b>	Birleştirilmiş Ototregresif Hareketli Ortalama
<b>ARMA</b>	Ototregresif Hareketli Ortalama
<b>BEM</b>	Euro (€) Para Birimi Cinsinden Birim Üretim (kW <sub>s</sub> ) Başına Enerji Maliyetini
<b>BP</b>	British Petrol
<b>BURR (4P)</b>	Dört Parametrelili Burr Dağılımı
<b>COP 21</b>	Birleşmiş Milletler 21. Dünya İklim Zirvesi
<b>ÇLRM</b>	Çoklu Lineer Regresyon modeli
<b>EİE</b>	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
<b>EWEA</b>	Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği (The European Wind Energy Association)
<b>FED</b>	Amerika Merkez Bankası (Federal Reserve Banks)
<b>GEN. GAMMA</b>	Genelleştirilmiş Gamma Dağılımı

<b>GWEC</b>	Küresel Rüzgar Enerjisi Konseyi (Global Wind Energy Council)
<b>IEA</b>	Uluslararası Enerji Ajansı
<b>LSM</b>	En Küçük Kareler Yöntemi
<b>MOM</b>	Maksimum Olabilirlik Metodu
<b>Mtep</b>	Milyon ton eşdeğeri petrol
<b>MWs</b>	Megawatt-saat
<b>NCAR</b>	Ulusal Atmosfer Araştırma Merkezi
<b>NE</b>	Kuzey-Doğu
<b>NNE</b>	Kuzey-Kuzey/doğu
<b>NPV</b>	Net bugünkü değer (Net Present Value)
<b>OPEC</b>	Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü (Organization of Petroleum Exporting Countries)
<b>OYF</b>	Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu
<b>PRESS</b>	Tahmin Edilen Artık Hata Kareler Toplamı (Predicted Residual Sum of Squares)
<b>REN21</b>	Renewable Energy Policy Network
<b>REPA</b>	Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası
<b>RES</b>	Rüzgar Enerjisi Santrali
<b>RETScreen</b>	Clean Energy Management Software
<b>RMSE</b>	Ortalama Hata Kareleri Toplamının Karekökü
<b>SSW</b>	Güney-Güney/batı
<b>TCETKB</b>	T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
<b>THV</b>	Temel Hava Verileri
<b>TÜİK</b>	Türkiye İstatistik Kurumu
<b>TÜREB</b>	Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği
<b>TWs</b>	Terawatt-saat
<b>UEA</b>	Uluslararası Enerji Ajansı
<b>WAsP</b>	Wind Atlas Analysis and Application Programı
<b>WRF</b>	Hava Araştırma ve Tahmin (Weather Research and Forecast)
<b>WWEA</b>	Dünya Rüzgar Enerjisi Birliği (World Wind Energy Association)

**YEGM**

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı

Yenilenebilir Enerji Genel M¼d¼rl¼đ¼

**YE¼**

Yıllık Enerji Üretim Miktarı

**YSA**

Yapay Sinir Ağı





## 1.GİRİŞ

Şehirleşme ve sanayileşme çabaları yanında hızla artan dünya nüfusunun teknolojik araç ve gereçlerin gölgesi altında yaşam sürmesi, kişi başına enerji tüketimini artırmıştır. Bu durum enerjiye olan ilgiyi artırdığı için olgu olarak enerji, evdeki elektronik araçlardan sokak aydınlatmalarına, atölyelerden fabrikalara kadar hatta demiryolu taşımacılığı ve elektrikle çalışan otomobillere kadar birçok alanda ülke ekonomisinin kalkınmasının ve hayat standartlarındaki iyileşmenin en önemli göstergesi haline gelmiştir. Sosyo-ekonomik bir problem olan sürdürülebilir kalkınma ise günümüz dünyasının karşı karşıya kaldığı sorunların başında gelmektedir. Doğal kaynakları yok etmeden sürdürülebilir ve büyüme merkezli bir kalkınma için en önemli göstergeler enerji tüketimi ve daha da önemlisi enerji üretimidir. Yani enerji sürdürülebilir kalkınmanın anahtarıdır (Miremadi, Saboohi ve Jacobsson, 2018).

Enerjinin bir terim olarak tanımını yapmak ise güçtür. Bir düşünceye göre enerji, değişikliklere yol açan etken olarak tanımlanmaktadır (Çengel ve Boles, 1996). Bir başka düşünceye göre de bir sistemin, kendisi dışında etkinlik üretme yeteneği enerji olarak tanımlanmaktadır (Karakoç ve diğerleri, 2012). İşin bir başka boyutu da mevcut bir formdan diğerine dönüştürülebilir enerji olup etkileyen kuvvet anlamına gelen ve Yunanca da “energia” sözcüğüdür (Şen, 2003).

Enerjinin değişik yöntemlerle elde edilmesi ve farklı alanlarda kullanılması, enerji çeşitliliğini artırmıştır (Dupont, Koppelaar ve Jeanmart, 2018). Bu bağlamda, enerjide dışa bağımlılığın ülke güvenliğine olan stratejik etkileri ve dışa bağımlılığın azaltılması, ülke ekonomisi açısından cari açığı azaltıcı ve rekabetçi enerji üretim maliyeti, enerjinin yüksek verimle üretilmesi ve bilinçli tüketilmesi gibi konularda araştırmalar, sayısal ve deneysel çalışmalarla yoğun bir şekilde sürmektedir (Boran, 2018).

Günümüzde dünya enerji üretiminde öncelikli kaynaklar fosil yakıtlar olarak da bilinen petrol, doğalgaz ve kömür gibi yenilenemeyen enerji kaynaklarıdır. Bununla birlikte dünyada fosil enerji kaynaklarının azalması ve bunların, canlı yaşamını tehdit eden iklim değişikliklerine ve çevre tahribatlarına yol açması, birincil enerji üretiminde en büyük paya sahip petrol, kömür ve doğalgaz gibi kaynakların yerine yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarını öncelikli gündem haline getirmektedir. Bu manada ülkeler, bir taraftan fosil kaynakların kullanım maliyetlerini artırıcı enerji ve çevre vergilerini artırırken, diğer taraftan yatırım teşviklerini, Ar-Ge ve finansman destekleriyle yenilenebilir enerji yatırımlarını

teşvik etmektedirler (Çelikkaya, 2017). Zira gelişen teknoloji ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarından verimli, düşük maliyetli ve sürekli üretim yapmak mümkündür.

Genel olarak güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, biokütle enerjisi, hidrojen enerjisi ve hidrolik enerji, jeotermal enerji, dalga enerjisinden oluşan su gücü enerjileri ile füzyon enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları olarak değerlendirilebilir. Ancak en hızlı büyüme kaydeden ve ülkelere sürdürülebilir kalkınmayı sağlamada yardımcı olan popüler yenilenebilir enerji kaynakları, güneş ve rüzgar enerjisidir.

Ülkemiz rüzgar, jeotermal ve güneş enerjisi açısından önemli kaynaklara sahiptir. Bu kaynakların geliştirilmesi, gerek iklim değişikliğiyle mücadele, gerekse enerjide ithalatın ve fosil yakıt bağımlılığının aşılması açılarından hayati öneme sahiptir. Türkiye'nin gelişmesini sürdürebilmesi, tamamlayabilmesi ve gelişmiş ülkeler seviyesine yükselebilmesi için enerji üretim ve tüketiminin, yıllık olarak kişi başına en az bugünkü düzeyin iki veya üç katı seviyelerine çıkarılması gerektiği ve fosil kökenli enerji kaynaklarının en fazla bir asırlık ömürleri kaldığı düşünüldüğünde, başta rüzgar enerjisi olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi zorunluluk haline gelmektedir (Sesto ve Casale, 1998; Acaroğlu, 2013; Moriarty ve Honnery, 2016).

Tükettiği kadar enerji üretemeyen, toplam enerji talebinin yaklaşık dörtte üçünü dışalım yoluyla karşılamak durumundan kurtulmak isteyen ülkemiz, son yıllarda giderek artan bir irade sergileyerek ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılamak üzere aralarında Hatay'ında bulunduğu bir çok ilde rüzgar enerjisinden yararlanma fikrini desteklemektedir. Bu çalışmada; Hatay ili merkez bölgesinde yer alan Meteoroloji Genel Müdürlüğüne bir meteoroloji istasyonu tarafından Ocak 2002- Aralık 2012 tarihleri arasında kaydedilen rüzgar hızı, yönü, hava sıcaklığı ve basıncı verileri kullanılarak Hatay merkez bölgesinde rüzgar enerjisinin elektrik üretimine uygulanabilirliği değerlendirilmiştir.

## **1.1. Enerji**

### **1.1.1. Genel bakış**

Enerji kaynakları genel olarak kullanılışlarına ve dönüştürülebilirliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Kullanılışları itibari ile enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olmak üzere iki kategoride incelenirken; dönüştürülebilirliklerine göre enerji kaynakları birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak iki kategoride incelenmektedir. (Koç ve Şenel, 2013).

Yenilenemez (Tükenir, konvansiyonel) enerji kaynakları arasında öncelikli konuma sahip olan petrol ve doğal gaz, organik madde içeren yapıların yüksek basınç altında derinlerde birikmesi ve sıkışması sonucunda artan sıcaklığın etkisiyle meydana gelen fosil bazlı enerji kaynakları olarak tanımlanabilir (Kavak, 2013; Yağlı ve diğerleri, 2016a, 2016b).

Gelecek senaryoları konusunda ciddi çalışmalar yapan Uluslararası Enerji Ajansı (UEA)'nın 2012 yılında ortaya koyduğu bir rapora göre küresel beklenti önümüzdeki 20-30 yıllık dönemde fosil yakıtların enerji arzındaki önemini koruyacağı değerlendirilmiştir (IEA, 2012). Ancak uluslararası alanda, petrol rekabeti tüm hızıyla devam ederken 2015 yılı sonunda yayınlanan enerji istatistikleri ile ilgili raporlarda açıkça görüldüğü gibi küresel siyasi, ekonomik ve jeostratejik dengelerin yeniden tanımlanması ile birlikte petrol, doğalgaz, kömür gibi konvansiyonel yakıtlara dayalı enerji kaynağı tercihlerinin farklılaşması ve hatta değişmesine neden olabilecek çok önemli gelişmeler yaşanmaktadır (BP, 2015; OPEC, 2015).

Özellikle 2015 yılı sonunda yayınlanan British Petrol (BP) Dünya Enerji İstatistikleri raporuna göre, temel enerji kaynaklarındaki tüketim, ciddi ölçüde ivme kaybederek 2014'te sadece % 0,9'luk büyüme ile son otuz yılın en düşük büyüme oranı kayıtlara geçmiştir. Bu bağlamda, Asya ekonomilerinde yaşanan daralma, Amerika, Rusya, Suudi Arabistan ve İran gibi ülkelerin gelecekteki siyasi beklentilerine bağlı olarak yaşanan petrol stok miktarı ve fiyat dalgalanmaları, belki de 1973 yılında vuku bulan Arap-İsrail Savaşının etkisiyle ortaya çıkan, ilk petrol krizinden sonraki en önemli gelişmeler olarak değerlendirilmektedir.

2015 yılı Aralık ayında Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü (Organization of Petroleum Exporting Countries– OPEC) tarafından yayınlanan rapora göre, aynı yılın kasım ayında stoklama depolarını tamamen doldurabilecek seviyede petrol üretimi yapıldığı tahmin edilmektedir. Hatta günlük 3 milyon varilden fazla petrolün satılmadan beklemesi nedeniyle arz fazlasının oluşması söz konusudur. Bu durumun sonucu olarak petrol fiyatlarının hızla düşerek varil başına 30-75 \$ seviyeleri arasında dalgalanması ekonomileri büyük ölçüde petrol satışlarından elde edilen gelirlere bağlı olan ülkeleri olumsuz etkileyeceği öngörülmektedir (OPEC, 2015).

Tüketimde halen dünyanın en büyük büyüme pazarı olmayı sürdürmesine rağmen Çin'deki büyümenin yavaşlaması, ülkenin petrole olan ihtiyacının azalması ve ülke ekonomisinin enerji yoğun sektörlerden uzaklaşarak yeniden dengeye oturması ile birlikte hem petrol hem de doğal gaz piyasalarında fiyat kırılmalarına neden olması, İran'a yönelik yaptırımların azaltılması ile birlikte günlük 3 milyon varil İran petrolünün piyasaya dâhil olması ve de Amerika Merkez Bankası (Federal Reserve Banks - FED)'nin faiz artırma programının

yürürlüğe girmesi küresel bazda enerji maliyetlerinde yaşanan hareketliliğin temel nedenleri olarak görülebilir (Eximbank, 2014).

Hidrokarbon kaynağı olmakla birlikte oluşum, bulunuş ve üretimlerindeki farklılıklar nedeniyle konvansiyonel olmayan sığ biyojenik gaz (shallow biogenic gas), kömür gazı (coalbed methane), gaz hidratlar (gas hydrates), üretilmesi güç petrol ve gaz (tight oil and gas), Bitümlü şeyl (oil shale) ve kaya gazı (shale gas) gibi konvansiyonel olmayan kaynaklarla enerji arzı zenginleştirme çalışmaları ise tüm dünyada sürmektedir (Yalçın, 2012). Ancak yaşanan tüm siyasi ve ekonomik gelişmeler kısa vadede enerji maliyetlerini düşürse de orta ve uzun vadede petrol ve doğal gaz gibi hidrokarbon bazlı kaynakların, tüketimdeki düşüşe rağmen beklenenden daha kısa sürede tükenmesi, üretiminde yaşanan zorluklarla birlikte konvansiyonel olmayan kaynakların ise daha sınırlı miktarda bulunması, gerçek enerji kaynağı çözümünün daha farklı kaynaklarla zenginleştirilmesi gerektiği gerçeğini ortaya koymaktadır (Sahin, 2004). Üstelik son on yılda dünyanın enerji ihtiyacının yılda ortalama % 1,6 artışla, 2030 yılında, günümüzdekine oranla % 50 daha fazla olacağı öngörülmektedir. Söz konusu artışın % 70'ini ise ekonomik büyümenin ve nüfus artışının daha hızlı olduğu gelişmekte olan ülkelere kaynaklanacağı düşünülmektedir (Yılmaz, 2011).

Diğer yandan alternatif bir enerji olarak görülen enerji verimliliğinin tersi olarak düşünülebilecek olan enerji israfının azaltılmaması durumunda birçok dünya ülkesinde hatta Türkiye'de bile bir enerji darboğazına girebileceği endişesi uyanmaktadır (Bilgen ve Sarıkaya, 2018).

Yukarıda ifade edilmeye çalışılan gelişmeler ve gelecekle ilgili kaygılar, yeni ve alternatif enerji arayışlarını hızlandırmıştır. Söz konusu arayışların ve bu konudaki çalışmaların odaklandığı en önemli alan yenilenebilir enerji kaynaklarıdır (Kum, 2009).

Yenilenebilir enerji; enerji kaynağından alınan enerjiye eşit oranda veya kaynağın tükenme hızından daha çabuk bir şekilde kendini yenileyebilen enerji kaynağı olarak tanımlanabilir. Enerjinin üretimi ve dönüştürülmesi sırasında karşılaşılan çevresel sorunlara sebep olmaması nedeniyle kullanımı gittikçe popüler hale gelen yenilenebilir enerji kaynakları, enerji profili olarak son yılların en önemli üç sektörüne gelen rüzgâr enerjisi, tarımsal ürünlerden elde edilen biyoyakıt ile güneş enerjisi çevresinde şekillenmektedir (Kenisarin ve diğerleri, 2006).

Türkiye ise sahip olduğu yenilenebilir enerji kaynakları açısından oldukça şanslı olmasına rağmen ülkenin tüm enerjisini karşılayacak kadar yenilenebilir kaynağı bulunmadığı bilinmektedir. Bununla beraber yenilenebilir enerji kaynaklarına beklenenin çok üzerinde

yatırımcı ilgisi olması sayesinde gerek karbon emisyonlarının azaltılması gerekse dışa bağımlılığın azaltılması konusunda ülkemiz açısından önemli gelişmeler yaşanmaktadır. Mevcut petrol rezervlerindeki yetersizlikler nedeniyle Türkiye’de enerji ithalatına olan bağımlılığı azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı teşvik edilmektedir (Guler, 2009).

Türkiye hem arz güvenliği ve kaynak çeşitliliğinin sağlanması, hem de uluslararası düzeyde iklim değişikliği ve emisyon azaltımı açısından 2023 vizyonu çerçevesinde öngörülen hedefleri gerçekleştirebilmek için rüzgar enerjisine verdiği önemi hızla artırmaktadır. Bu çalışmada ise Hatay ilinin rüzgar enerjisi bakımından enerji hareketliliği irdelenirken bölgesel bazda rüzgar enerjisi potansiyeli hakkında değerlendirmeler yapılmaktadır.

### **1.1.2. Dünya’da rüzgar enerjisi**

En genel anlamda yüksek basınçtan alçak basınca doğru olan hava hareketi olarak ifade edilebilen, yenilenebilir özelliğe sahip olması, taşıma sorunu bulunmaması, atmosferde serbest ve bol bir şekilde bulunabilmesi gibi avantajlara sahip olan rüzgâr, rüzgâr türbinleri kullanılarak çevre kirliliği oluşturmadan kolaylıkla elektrik enerjisi üretmek için kullanılabilir (Çolak ve Demirtaş, 2008; İlkılıç ve Aydın, 2015).

Rüzgâr türbini teknolojisinde meydana gelen gelişmeler bugün rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretim maliyetini düşürerek rüzgâr enerjisini fosil yakıt rezervleriyle rekabet edebilir bir duruma getirmiştir. Bu sebeple, dünya genelinde, aralarında Türkiye’nin de bulunduğu birçok gelişmiş ve gelişmekte olan ülke, rüzgâr gücünden elektrik enerjisi üretme çalışmalarını sürdürülebilir kalkınma ve enerji politikaları kapsamında her aşamada desteklemektedir (Aydın, 2013).

Küresel enerji açısından önemli bir gösterge sayılan BP istatistikleri raporuna göre, yenilenebilir enerji kaynaklarının küresel enerji üretimindeki pay artışı 2014’te de devam ederken toplam küresel enerji tüketimi içerisindeki payı on yıl önceki % 0,9 seviyesinden, 2015 yılı Temmuz ayı itibari ile % 3 oranına ulaşmıştır. Elektrik üretimine kaynaklık eden yenilenebilir enerji kullanımı % 12 oranında artarken küresel enerji üretiminde % 6 seviyesine ulaşmıştır (BP, 2015). Bununla birlikte dünyanın enerjisinin % 1’ini tüketen ve 2017 yılı BP dünya enerji istatistikleri raporuna göre küresel yenilenebilir enerjiden elektrik üretiminde % 1,2’lik orana sahip olan Türkiye, 2016 yılı sonu itibari ile 5,2 Mtep enerji üretimi sağlamıştır (BP, 2017).

2015 yılı için Renewable Energy Policy Network (REN21) tarafından yayınlanan Yenilenebilir Enerji Global Durum Raporu'na göre son yıllarda dünya çapında karbondioksit emisyonu oranını artırmaksızın enerji üretiminde en fazla gelişme kaydedilen iki alan rüzgâr ve güneş enerjisi olmuştur (REN21, 2015).

Ülkelerin rüzgâr kurulu güç kapasitesindeki değişim; Çizelge 1.1'de verilmektedir.

Çizelge 1.1. Ülkelerin Rüzgâr Kurulu Güç Kapasitesindeki Değişimi (WWEA, 2017)

2017 Yılı Sıralama	Ülkeler	2017 Kapasite (MW)	2017 Eklenen kapasite (MW)	2016 Kapasite (MW)	2015 Kapasite (MW)	2014 Kapasite (MW)	2013 Kapasite (MW)
1	Çin	187730	19000	168730	148000	114763	91413
2	ABD	88927	6894	82033	73867	65754	61108
3	Almanya	56164	6145	50019	45192	40468	34658
4	Hindistan	32879	4600	28279	24759	22465	20150
5	İspanya	23026	6	23020	22987	22987	22959
6	İngiltere	17852	3340	14512	13614	12440	10531
7	Fransa	13760	1695	12065	10293	9296	8254
8	Brezilya	12763	1963	10800	8715	5962	3399
9	Kanada	12239	341	11898	11205	9694	7698
10	İtalya	9700	443	9257	8958	8663	8551
<b>11</b>	<b>Türkiye</b>	<b>6981</b>	<b>900</b>	<b>6081</b>	<b>4718</b>	<b>3763</b>	<b>2958</b>
12	İsveç	6721	228	6493	6029	5425	4470
13	Polonya	6534	752	5782	5100	3834	3390
14	Danimarka	5320	93	5227	5064	4883	4772
15	Portekiz	5316	0	5316	5050	4953	4724
16	Avustralya	4879	553	4326	4186	3806	3049
17	Diğer Ülkeler	48500	5600	42822	37522	32219	26493
	Toplam	539291	52553	486660	435259	371375	318577

Çizelge 1.1 incelendiğinde Dünya Rüzgar Enerjisi Birliği (World Wind Energy Association - WWEA) tarafından yayınlanan istatistiklere göre küresel kurulu güç bakımından rüzgar enerjisi sektörü 2017 yılı içerisinde 52,6 GW kapasite artışı ile 539 GW seviyesine ulaşarak % 10,8 oranında bir büyüme sergilemiştir. Yine 2017 yılı başında güneş enerjisi kaynaklı kapasite ise bir önceki yıla göre % 23,9 oranında artış göstererek 295,664 GW kurulu güce

ulaşırken biyoenerji kapasitesi 109,731 GW seviyesine ulaşarak % 7,85 oranında artış göstermiştir(IRENA, 2017).

### **1.1.3. Avrupa’da rüzgar enerjisi**

Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği (The European Wind Energy Association / Wind EUROPA - EWEA) tarafından yayınlanan 2017 yılı sonu istatistikleri raporuna göre, birlik içerisinde 22,3 milyar Euro olduğu tahmin edilen yatırım bedeli karşılığında bir önceki yıla göre % 25 artışa tekabül eden 15,638 GW kapasite artışı sağlanmış olup ( karada 12,484 GW ve denizde 3,154 GW olmak üzere ) toplam 168,729 GW kurulu rüzgar gücü kapasite değerine ulaşılmıştır. Öte yandan Avrupa birliği kurulu kapasite içerisinde rüzgar enerjisi % 18 oranı; 2017 yılında devreye alınan yenilenebilir enerji kaynakları arasında eklenen yeni kapasitenin % 65,3’ünü oluşturan payı ile en yüksek kapasite artışını sağlayarak enerji kaynakları arasında kapasite artışı bakımından 15,638 GW ile birinci sıradaki yerini korumuştur. 2017 yılı sonu itibari ile eklenen yeni kapasite gücünün %85’i tamamen yeni yenilenebilir enerjiye dayalı kurulum olarak gerçekleşmiştir. Bu oranın içerisindeki rüzgar enerjisine dayalı kurulumun % 80’i ise Almanya, İngiltere ve Fransa’da gerçekleşmiştir. Bununla beraber kurulan yeni kapasite ile birlikte 2017 yılında 336 TWs elektrik üretimi sayesinde Avrupa Birliği’nin elektrik tüketiminin % 11,6’sı rüzgar enerjisinden karşılanmıştır. Aynı raporda genel kurulu güç artışının % 55,2’lik kısmının rüzgar gücü kaynaklı olması ve yenilenebilir enerji kaynakları bazında 2017 yılı içerisinde yeni kapasite artışının 23,9 GW değerine ulaşması dikkat çekicidir. Almanya rüzgar enerjisine dayalı 56,1 GW kurulu güç kapasitesiyle birlik içerisinde birinci sırada yer alırken 23,2 GW kapasite değeriyle İspanya ikinci konumdadır (EWEA, 2017).

### **1.1.4. Türkiye’de rüzgar enerjisi**

Uluslararası Enerji Ajansı (UEA) verilerine göre birincil enerji kaynağı olan doğal gaz ve petrol talebindeki OECD-dışı ülkelerin payı 2012 yılında % 60 iken, 2020 yılında % 63’e ulaşması ve bu artışın devam ederek 2040 yılında % 70 olması beklenmektedir. Üstelik uluslararası Enerji Ajansı’nca (UEA), gelecek projeksiyonu oluşturmak adına dünya birincil enerji talebinin belirlenmesi ile ilgili olarak üzerinde çalışılan Yeni Politikalar Senaryosuna göre 2012-2040 yılları arasında, petrol talebi % 14, kömür talebi % 15 artarken, doğal gaz talebi önemli bir artış göstererek % 55 oranında artmaktadır (BOTAŞ, 2014).

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, Türkiye 2018 yılında toplam 233 milyar 799 milyon 619 bin dolarlık ithalat gerçekleştirirken, bunun 32 milyar 204 milyon 851 bin dolarlık bölümünü enerji ithalatı olarak özetlenen, mineral yakıtlar, mineral yağlar ve bunların damıtılmasında elde edilen ürünler, bitümlü maddeler, mineral mumlar oluşturmuştur (TÜİK, 2018).

Türkiye elektrik enerjisi kuruluş ve yakıt cinslerine göre kurulu gücü Çizelge 1.2’de verilmektedir. Çizelge incelendiğinde 2016 yıl sonu itibari ile 5738,4 MW seviyesinde olan rüzgar enerjisine dayalı kurulu güç kapasitesi 2017 sonu itibari ile 6981 MW seviyesine ulaşmıştır. Ayrıca güneş, hidrolik jeotermal gibi kaynakları da dikkate alındığında yıllık enerji ihtiyacının % 45,5’ ünü yenilenebilir kaynaklardan karşılayan ve toplam kurulu gücü 85200 MW düzeyinde olan Türkiye, 2017 yılında 27 milyon 766 bin 549 ton ham petrol ithal etmiştir (TEİAŞ, 2018; TÜİK, 2018)

Enerji ithalatı için ülke bütçesinden 2017 yılı için 27,17 milyar \$ pay ayıran Türkiye, 2023’te kurulu gücünü 100 GW seviyesine çıkarmayı ve kurulu gücünün % 30’luk kısmını ise yenilenebilir enerji kaynaklarından özellikle başta rüzgar olmak üzere güneş, jeotermal enerji gibi kaynaklardan karşılamayı hedeflemektedir.



Çizelge 1.2. Türkiye elektrik enerjisi kuruluş ve yakıt cinslerine göre kurulu güç (TEİAŞ, 2018)

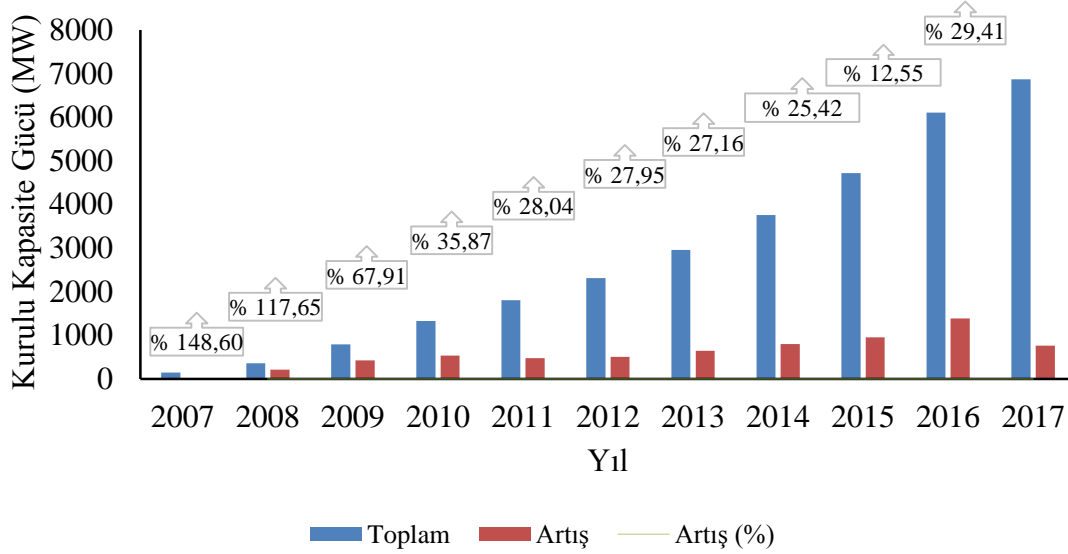
Yakıt Cinsleri	2016 Yılı Sonu			2017 Sonu İtibariyle		
	Kurulu Güç (MW)	Katkı (%)	Santral Sayısı (Adet)	Kurulu Güç (MW)	Katkı (%)	Santral Sayısı (Adet)
Fuel-Oil + Asfaltit + Nafta + Motorin	368,7	0,5	14	303,6	0,4	12
Yerli Kömür(Taş Kömürü + Linyit + Asfaltit)	9842,4	12,5	29	9872,6	11,6	30
İthal Kömür	7473,9	9,5	10	8793,9	10,3	11
Doğalgaz + Lng	22156,1	28,2	240	23063,7	27,1	243
Yenilen.+Atık+ Atıkısı + Pirolitik Yağ	467,4	0,6	82	575,1	0,7	98
Çok Yakıtlılar Katı+Sıvı	667,1	0,8	23	682,9	0,8	22
Çok Yakıtlılar Sıvı+D.Gaz	3354	4,3	46	3433,6	4,0	47
Jeotermal	820,9	1,0	31	1063,7	1,2	40
Hidrolik Barajlı (HES)	19558,6	24,9	116	19776	23,2	117
Hidrolik Akarsu (HES)	7119,6	9,1	478	7489,7	8,8	501
Rüzgar	5738,4	7,3	148	6981	7,6	161
Güneş	12,9	0,0	2	17,9	0,0	3
Termik (Lisanssız)	82,1	0,1	33	201,1	0,2	67
Rüzgar (Lisanssız)	12,9	0,0	23	34,0	0,0	10
Hidrolik (Lisanssız)	2,9	0,0	3	7,4	0,0	10
Güneş (Lisanssız)	819,6	1,0	1043	3402,8	4,0	3,613
Toplam	78497,4	100,0	2321	85200,0	100,0	5021

Konvansiyonel kaynaklarla üretilen enerji, küresel ve yerel düzeyde zararlı çevresel etkilere ve küresel ısınmaya neden olmaktadır. Bu durum sürekliliği olan temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarını, elektrik üretimi ve tüketimi açısından ayrıcalıklı konuma getirmektedir. Yeşil enerji olarak da adlandırılan yenilenebilir enerji kaynaklarını desteklemeye başlayan ülkelerden biri de Türkiye'dir (İlkılıç, 2011). Enerji talebini dış kaynaklarla gidermek yerine iç kaynaklarla karşılayabilen bir ülke olmak durumuna gelmek isteyen Türkiye, son yıllarda giderek artan bir irade sergileyerek ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılamak üzere aralarında Hatay'ında bulunduğu bir çok ilde rüzgar enerjisinden yararlanmak fikrini desteklemektedir. 2015 yılı itibari ile rüzgar enerjisi kurulu güç içerisindeki payı yaklaşık % 6,2 olan Türkiye elektrik üretiminin birincil enerji kaynakları arasında 6. sırada yer almaktadır.

Teknik kapasite olarak Türkiye'de ki aktif rüzgar santralleri ile yılda 140 milyar kWh elektrik üretmek mümkün görünmekle birlikte bu rüzgar santrallerinin oluşturduğu kurulu güç, teknik kapasitenin yalnızca % 7,6'sına karşılık gelmektedir. 2014 yılı sonu itibari ile rüzgar enerjisine dayalı olarak elektrik miktarı 2013'e göre % 11 oranında artarak 8,36 milyar kWh olarak kayıtlara geçerken bu üretim teknik potansiyelin ancak % 6'sını oluşturmaktadır.

2013 yılında dönemselsel olarak 3,5 milyon haneye kadar elektriğin rüzgar enerjisi ile karşılanabildiği bir başka deyişle 2013 yılında İstanbul büyüklüğündeki bir şehrin elektriği rüzgardan karşılamak mümkün iken, 2014 yılı sonunda hem İstanbul hem de İzmir büyüklüğündeki bir şehri besleyebilecek potansiyele ulaşılmıştır. 2015 yılı temmuz ayı itibari ile Gaziantep şehri hane sayısı kadar daha talebin rüzgar enerjisi ile karşılanabileceği hesaplanmıştır (TÜREB, 2015a).

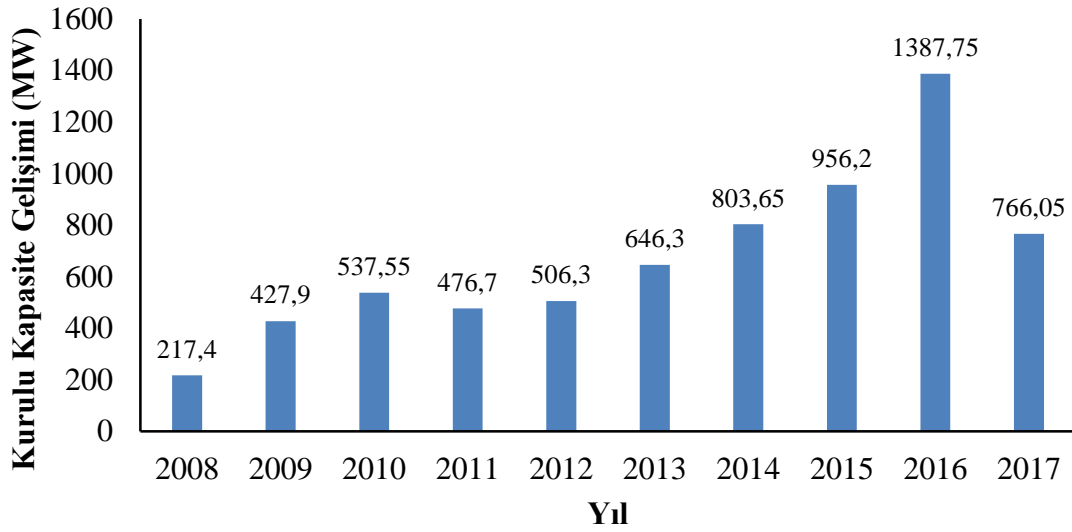
Rüzgar enerjisi konusunda Türkiye'deki en güçlü sivil toplum kuruluşu ve aynı zamanda EWEA ve GWEC resmi olarak üyesi olan Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TÜREB) tarafından yayınlanan 2018 yılı Ocak dönemi raporunda sunulan veriler ışığında ülkemizdeki toplam rüzgar kurulu gücü, 2014'de 3762,10 MW iken, 2015 yılı sonunda 4718,30 MW'a, 2016 yılı sonu rakamlarına göre 1387,75 MW'lık bir artışla 6106,05 MW, 2017 yılı sonunda ise toplam kurulu güç 6981MW değerine ulaşmıştır. Türkiye'de rüzgar enerjisi kurulu kapasite gelişimi Şekil 1.1 ve 1.2'de görülmektedir (TÜREB, 2015b; TÜREB, 2018).



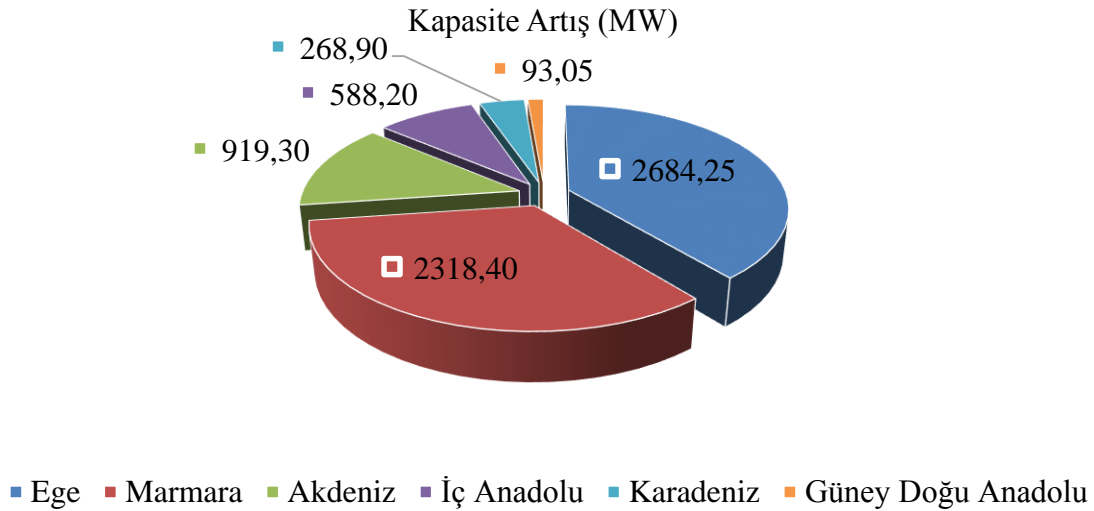
Şekil 1.1. Türkiye’de rüzgar enerjisi kurulu kapasite gelişimi artış oranları (TÜREB, 2018)

Yine aynı rapora göre 2017 yılında devreye alınan 766,05 MW kapasitenin önemli bölümü Konya, Aydın, Tekirdağ, Kahramanmaraş, Çanakkale, İzmir, Afyon ve Balıkesir illerinde ilk kez üretime başlayan santraller tarafından sağlanmıştır. Türkiye genelinde yıllık kurulu kapasite artış miktarları ise aşağıdaki şekilde verilmektedir.

Şekil 1.3’de görüldüğü gibi TÜREB verilerine göre işletmede olan rüzgâr enerji santrallerinin (RES) kurulu güç bakımından dağılımına göre Ege Bölgesi toplamda 2684,25 MW kurulu gücü ile Türkiye’deki en büyük rüzgar enerjisi üretim merkezi durumuna gelmiştir. Türkiye genelindeki yeni rüzgar enerjisi yatırımlarının 2318,40 MW’lık kısmı Marmara’da yer alırken, 919,30 MW kapasite ise Akdeniz Bölgesi’nde bulunmaktadır. İşletmedeki rüzgar enerjisi santrallerinin kurulu güç bakımından bölgelere göre dağılımı ise % 39,06’sı Ege’de, % 33,74’ü Marmara ve % 13,38’i ise Akdeniz bölgesi şeklinde gerçekleşirken İç Anadolu bölgesinde 588,20 MW ile % 8,56 değerine ulaşılmıştır (TÜREB, 2017; TÜREB, 2018).



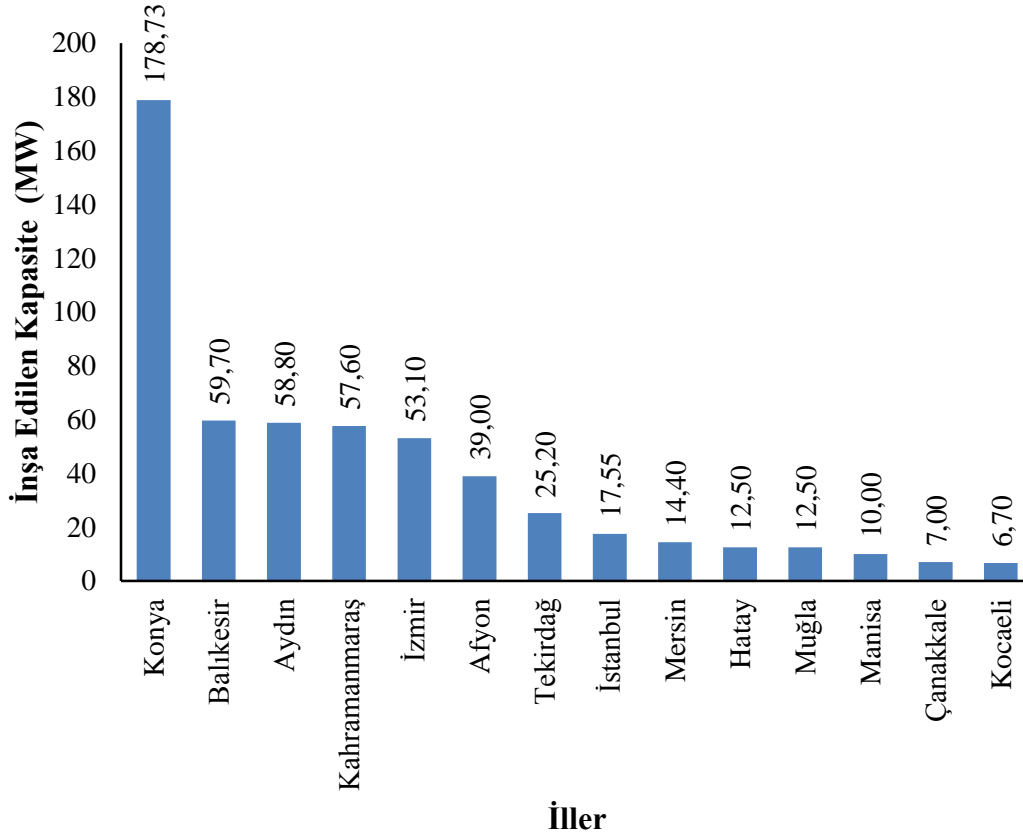
Şekil 1.2. Yıllık bazda kurulu kapasite artış miktarları (TÜREB, 2018)



Şekil 1.3. İşletmede olan RES'lerin kurulu güç bakımından bölgesel dağılımı

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) tarafından yayınlanan Hatay İli Rüzgâr Kaynak Bilgileri isimli rapora göre, Türkiye’de iller bazında kurulabilecek RES’lerin toplam alanı 22834,85 km<sup>2</sup>, toplam kurulu gücü ise 114174,08 MW’tır. Üstelik Hatay ili, sınırları içerisinde yer alan Belen, Şenbük, Şenköy, Karaköse, Çakırköy, Sebenoba, Koyunoğlu Mızraklı, Hıdırbey gibi rüzgar enerjisi potansiyeli yönünden zengin bölgelerle birlikte 682,8 km<sup>2</sup> toplam alana ve 3414 MW toplam kurulu güç kapasitesine ulaşabileceği öngörülmektedir (YEGM, 2013). Ancak İskenderun ve Antakya bölgesi ve çevresinde barındırmış olduğu organize sanayi bölgeleri nedeniyle

elektrik ihtiyacı artma eğiliminde olan Hatay, işletmede olan rüzgar enerjisi santrallerinin illere göre dağılımında % 7,73 paya ve toplamda 364,5 MW kurulu güç kapasitesine sahiptir. Ayrıca 2017 yılında inşa halinde olan rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç bakımından illere göre dağılımı Şekil 1.4’de görülmektedir



Şekil 1.4. 2017 Yılında inşa edilen rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç bakımından illere göre dağılımı (TÜREB, 2018)

### 1.1.5. Kyoto protokolü ve dünya iklim zirvesi

Türkiye 2009 yılında kendine özgü koşullara sahip Ek I ülkesi olarak bağlayıcı azaltım yükümlülüğü altına girmeden 5386 Sayılı Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine Yönelik Kyoto Protokolüne taraf olarak küresel iklim değişikliği yönetim rejimine katılmıştır. Türkiye her ne kadar Çerçeve Sözleşme’de Ek I ülkesi olsa da, hükümet küresel iklim değişikliği yönetimi rejiminde ulusal politika olarak Ek Dışı gelişmekte olan ülkeler gibi iklim değişikliği azaltım ve uyum eylemleri için gelişmiş ülkelerden yapılacak

çalışmaları cesaretlendirmek adına teknolojik ve mali destek sağlamak istemektedir (Demirci, 2015).

Bugün sadece 38 ülke Kyoto'ya yönelik hedef belirlemiş durumda ve bu rakam dünyadaki toplam emisyonun sadece % 12'si. Avrupa Komisyonu tarafından açıklanan resmi belgelerde de Kyoto'nun uluslararası boyutta iklim değişikliği ile mücadele konusunda yeterli olmadığı düşünülmektedir (Kıvılcım, 2016).

2020 sonrası küresel iklim değişikliği yönetim rejimine dahil olmak isteyen aralarında Türkiye'nin de bulunduğu 195 ülkenin tamamının sera gazı emisyonlarını azaltmak ve iklim değişikliğinin etkilerine uyum sağlamak yönünde somut tedbirler almayı, bu çerçevede birbirlerine finansman ve teknoloji desteği sağlamayı ve en önemlisi bu yönde atacıkları bütün adımları raporlamayı kabul ettiği, anlaşma metnin uzun vadeli bir ekonomik dönüşüme yönelik bir irade ortaya koyduğu Birleşmiş Milletler 21. Dünya İklim Zirvesi (COP 21) 2015 yılı sonlarında gerçekleştirildi. Zirveden çıkan nihai kararlara göre iklim değişikliğinin nedeni olarak görülen küresel sıcaklık artışını sanayi devrimi öncesine kıyasla 1,5 – 2 °C ile sınırlanması hedefleniyor (COP21, 2015; İnternet, 2015).

Zirveye katılan ülkeler sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik somut hedefler içeren ulusal katkılarını, beş yılda bir yenilenecek biçimde açıklayacaklar. Bununla birlikte, iklim değişikliğine yol açan küresel ısınmada tarihsel sorumluluğu bulunan, aynı zamanda ekonomik gücü yüksek olan gelişmiş ülkelerin emisyonlarını mutlak olarak azaltmayı hedefleyerek bu sürece liderlik etmesi beklenmektedir (Sabuncu, 2015).

## **1.2. Önceki Çalışmalar**

### **1.2.1 Türkiye'deki çalışmalar**

Bu bölümde çalışma alanının Hatay bölgesi olması nedeniyle Hatay bölgesi ile ilgili çalışmalardan başlayarak Türkiye genelinde yapılan diğer çalışmalara doğru tarihsel sıralama yöntemi tercih edilmiştir.

Çelik (2003) tarafından Türkiye'nin güneyinde İskenderun bölgesinde, Weibull ve Rayleigh modellerini esas alarak rüzgar gücü yoğunluğunun istatistiksel analizi yapılmıştır. Bu amaçla 1996 yılında 10 m yükseklikte ölçülen bir yıllık rüzgar verileri kullanılmıştır. Ortalama rüzgar hızı, Weibull ve Rayleigh parametreleri, rüzgar hızı sıklık dağılımları ve rüzgar hızı yoğunluk değerleri belirlenmiştir. Sonuç olarak Weibull modelinin Rayleigh modelinden daha başarılı modelleme değerleri ürettiği tespit edilmiştir.

Bilgili, Şahin ve Kahraman (2004) Antakya ve İskenderun bölgelerinin rüzgar enerji potansiyelini araştırmışlar 50 m yükseklik için Antakya'da 7,5 m/s ortalama rüzgar hızlarına İskenderun'da ise 5-7 m/s hızlarına ulaşıldığını çalışma alanlarında yer yer 300-700 W/m<sup>2</sup> güç yoğunluğu değerlerinin görülebileceğini bildirmişlerdir.

Şahin, Bilgili ve Akıllı (2005), doğu Akdeniz bölgesinin rüzgar enerji profilini araştırmışlar; 25 m yükseklik için İskenderun, Antakya ve Samandağ bölgelerinin bazı noktalarında 500 W/m<sup>2</sup> güç yoğunluğu değerlerine ulaşabileceğini öngörmüşlerdir.

Çelik (2007) İskenderun bölgesinin rüzgar enerjisi potansiyel analizi yapmış ve bu analiz için bir yıl boyunca saatlik olarak ölçülmüş rüzgar verileri yardımıyla Weibull ve Rayleigh dağılım fonksiyonlarını kullanmıştır. Bu çalışmada ortalama rüzgar hızlarının Haziran ayı için 3,38 m/s ve Temmuz ayı için 3,35 m/s olduğunu ayrıca kullanılan verilerin frekans eğrilerinin modellenmesinde Weibull dağılım fonksiyonunun Rayleigh dağılım fonksiyonundan daha iyi sonuçlar verdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Şahin ve Bilgili (2009) Belen bölgesini araştırmışlar 10 m yükseklikte ortalama 7 m/s rüzgar hızı ve 378 W/m<sup>2</sup> güç yoğunluğu değerlerinin yakalanabileceğini ifade etmişlerdir. Üstelik Belen rüzgar profilinin % 70'lik bölümünün 5 m/s ve üzeri rüzgar hızlarının oluşturduğunu bu sayede yılın büyük bir bölümünde 200 W/m<sup>2</sup> güç yoğunluğu değerlerinin kolaylıkla elde edilebileceğini bildirmişlerdir.

Doğan ve diğerleri (2012) Hatay'da 1 - 5 ve 10 MW'lık RES kurulduğunda kümülatif nakit akışının artı değere geçme süresi sırasıyla 12,5-10-9,5 yıl ve 20 yılın sonunda eldeki paranın sırasıyla 4.390.956-33.463.167-70.371.451 \$ olacağını hesaplamışlardır. Anaparanın bankada değerlendirilmesi durumunda herhangi bir risk taşımadan 20 yıl sonunda eldeki net paranın sırasıyla 6.247.375,05-28.519.284,15-56.607.651,45 \$ olacağını ancak 1 MW'tan daha büyük kapasiteli RES yatırımının getirisinin bankaya yatırılan anaparadan daha fazla olacağını öngörmüşlerdir. Ayrıca bölgede yapılacak her bir MW'lık RES yatırımının yıllık net 1,415 ton CO<sub>2</sub> gazı salınımını önleyeceğini ve 3,291 ton eş değer ham petrolün tasarruf edilebileceğini saptamışlardır.

Mert, Karakuş ve Tanç (2013a) Hatay meteoroloji istasyonunun bulunduğu bölge baz alındığında elde edilen rüzgar güç yoğunluğu değerlerine bağlı olarak ulusal elektrik şebekesine direk olarak destek verilmesinin mümkün olmadığını bildirmişlerdir. Ancak istasyonun amik ovası sınır hattında bulunması ve ovanın tarım açısından verimli olması nedeniyle özellikle yaz aylarında kullanımı artan sulama amaçlı pompaların elektrik ihtiyacının giderilebileceğini ifade etmişlerdir.

Mert ve diğeri (2013b) Weibull dağılımı kullanılarak İskenderun bölgesinde 2002-2010 yıllarını kapsayan rüzgar hızı ve yönü bilgilerine bağlı olarak rüzgar karakteristiklerinin değişimi incelemiş, enerji yoğunluğu, kapasite faktörü ve yıllık güç üretim hesaplamalarını yapmışlardır. Aventa AV-7 rüzgar türbini kullanılması durumunda en yüksek güç üretiminin 14,618 MW olarak 50 m yükseklikte ve yaz mevsiminde, yıl bazında ise güç üretiminin 11273 MW olacağını öngörmüşlerdir.

Mert ve diğeri (2014) Hatay Meteoroloji İstasyon Müdürlüğü tarafından 2002 ile 2009 yılları arasında günlük olarak ölçülen rüzgar hızı verilerine dayanarak, Antakya bölgesindeki rüzgar enerjisi potansiyelini istatistiksel olarak analiz etmişlerdir. Bölgenin rüzgar enerji potansiyeli araştırmasında rüzgar hızı modellemesinde popüler olan Weibull ve bölgede daha önce denenmemiş olan Log-normal dağılım fonksiyonlarını kullanmışlardır. Ortalama hız, enerji ve güç yoğunluğu tahmininde kullanılan Weibull ve Log-normal dağılım parametreleri için parametre kestirim tekniği olarak, Maksimum Olabilirlik metodu (MOM) ve En Küçük Kareler Yöntemi (LSM) kullanmışlardır. Kullanılan her iki yöntemde elde edilen sonuçlar, Belirleme Katsayısı ( $R^2$ ) ve Ortalama Hata Kareleri Toplamının Karekökü (RMSE) hata analizleri ile değerlendirmişler sonuç olarak Weibull dağılımının rüzgar sıklığı eğrisi modellemesinde daha başarılı olduğunu bildirmişlerdir.

Mert ve Karakuş (2014) Burr dağılımı kullanarak Hatay bölgesinde 2008-2009 yıllarını kapsayan rüzgar hızı ve yönü bilgilerine bağlı olarak rüzgar karakteristiklerinin değişimi incelemişler ve Burr dağılımının modelleme konusundan başarılı olduğunu ifade etmişlerdir.

Tanç ve diğeri (2014) Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP) programı yardımıyla Hatay Havaalanı bölgesinde rüzgâr potansiyelinin belirlenmesi üzerine yaptıkları bir araştırmada rüzgar türbini yerleştirilecek alana ait 10 m anemometre verilerine göre ortalama yıllık rüzgar değeri 4,307 m/s olarak ölçülürken WAsP programı tarafından bu değer % 4,07 hata ile 4,49 m/s olarak tahmin edilmiştir. Bölgede yüksek rüzgar hızlarının en fazla yaz aylarında gerçekleştiği ve hakim rüzgar yönünün Güney-Batı olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan rüzgar türbininin bulunduğu alanda ortalama güç yoğunluğu 319 W/m<sup>2</sup> ve üretilebilecek yıllık ortalama elektrik enerjisi üretimi 1.316 GWs/Yıl olarak hesaplanmıştır.

Mert ve Karakuş (2015a) Antakya/Hatay meteoroloji istasyonunda 10 m yükseklikte ölçülen saatlik ortalama rüzgar hızı ve yönü verileri kullanılarak, Antakya bölgesi rüzgar enerjisi potansiyelini istatistiksel yaklaşım olarak Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull OYF'lerini model alarak araştırmışlardır. Kullanılan OYF'ler için fonksiyon parametreleri MOM kullanılarak belirlenmiştir. Sonuçları değerlendirmek için Kolmogorov-Smirnov (D) ve Chi-



Square ( $\chi^2$ ) uyum iyiliği testleri ile Belirleme Katsayısı ( $R^2$ ) ve Ortalama Hata Kareleri Toplamının Karekökü (RMSE) hata analizleri kullanılmıştır. Böylece, modelleme konusunda en başarılı dağılım tespit edilirken yanı sıra kullanılan OYF'lerin karakteristik parametrelerine bağlı olarak rüzgar hızı, rüzgar güç yoğunluğu, yıllık elektrik üretimi ve kapasite faktörü değerleri tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ise aylık, mevsimsel ve yıllık olarak hesaplanmıştır. Sonuç itibari ile Burr dağılımının korelasyonu yüksek modelleme yeteneği sergilediğini ifade etmişlerdir.

Antakya bölgesindeki rüzgar gücü yoğunluğu ve rüzgar hızı dağılımı parametrelerinin istatistiksel analizi Mert ve Karakuş (2015b) tarafından 2006-2009 yılları arasında ölçülen rüzgar hızı verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada modelleme için Gamma ve Log-normal dağılımları kullanılmış olup modelleme işleminin başarısını değerlendirmek için Anderson-Darling testini, *RMSE* ve  $R^2$  değerlerini kullanmışlardır. Rüzgar hızını modelleme konusunda Antakya için Gamma dağılımının sırasıyla 6,684 (*A-D*), 0,0376 (*RMSE*) ve 0,9968 ( $R^2$ ) değerleri ile daha başarılı olduğunu değerlendirmişlerdir.

Mert ve diğerleri (2016) Antakya bölgesinde kaydedilen rüzgar hızı, rüzgar yönü, sıcaklık ve basınç bilgilerini kullanarak Aventa AV-7 model bir rüzgar türbini tarafından üretilebilecek rüzgar gücünü günlük minimum, maksimum ve toplam değerleri şeklinde hesaplamışlardır. Çalışma esnasında kullanılan temel hava verileri sayılabilecek rüzgar hızı ve yönü, hava sıcaklığı ve basıncı parametrelerinden elde edilen, günlük bazda maksimum, minimum, ortalama, standart sapma, çarpıklık ve basıklık değerlerinden istatistiki bir veri seti oluşturmuşlardır. Bu istatistiki verileri regresyon yöntemi ile etkin veriler kalacak şekilde elimine etmişler ve buna karşılık türbinden elde edilen güç değerlerini yapay sinir ağı modelleri ile tahmin etmeye çalışmışlardır. Sonuç olarak lineer regresyon tabanlı yapay sinir ağı modelinin tahmin aşamasında başarılı olduğunu ortaya koymuşlardır.

İncecik ve Erdoğmuş (1995) Weibull dağılım modelini uygulayarak Türkiye'nin batı kıyısındaki sekiz istasyonun (Ayvalık, Bodrum, Bozcaada, Çanakkale, Dikili, Edremit, Gökçeada ve Bozcaada) rüzgar gücü potansiyelini incelemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda bu sekiz istasyon arasında rüzgar enerjisi potansiyeli en iyi olan yer Bozcaada olarak belirlenmiştir.

Tolun ve diğerleri (1995) WAsP programını kullanarak Ege Denizinin kuzeyindeki Gökçeada'nın rüzgar enerjisi potansiyelini araştırmışlardır. Bu bölgedeki Çınaraltı istasyonuna ait ortalama rüzgar hızı ve enerji potansiyeli sırasıyla 5,9 m/s ve 342 W/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır.

Aybek (2000) Kahramanmaraş'ta rüzgar enerjisi potansiyelini değerlendirmişler ve bölgede rüzgar enerjisinden, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında ekonomik olarak yararlanılabileceğini ancak diğer aylarda yeterli rüzgar enerjisi potansiyeli bulunmadığını ifade etmişlerdir.

Türkiye'nin Ege Bölgesindeki Akhisar'ın rüzgar enerjisi potansiyeli Durak ve Şen (2002) tarafından analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda bu bölgenin ortalama rüzgar hızı ve enerji potansiyeli sırasıyla 5,8 m/s ve 308 W/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır.

Gökçek ve diğerleri (2007a) ve Gökçek ve ark. (2007b) Marmara bölgesinde bulunan Kırklareli Şehri için bir rüzgar enerji potansiyel değerlendirmesi ve enerji maliyet analizi yapmışlardır. Çalışmalarında Kırklareli'nin yeterli rüzgar potansiyeline sahip olduğu ve seçmiş oldukları 2300 kW güce sahip rüzgar türbininin yıllık olarak iyi miktarda enerji üretebileceği ve 700 \$/kW spesifik maliyet için kW birim elektrik enerji maliyetinin 5,54 cent-\$ olacağı hesaplanmıştır.

Ulgen ve Hepbaslı (2002) İzmir bölgesi rüzgar hızı profilini modellemek için Rayleigh ve Weibull Dağılımlarını kullanmışlardır. Bu amaçla; İzmir-Bornova bölgesinde iki parametrelili Weibull fonksiyonunu yardımıyla 1995-1999 yılları arasında 5 yıllık bir zaman periyodu için, rüzgar hızı sıklık dağılımı modelinin Weibull ve Rayleigh parametrelerini bulmuşlar ve ortalama rüzgar hızı olasılıklarını belirlemişlerdir. Yapılan analizde; Weibull dağılımının Rayleigh dağılımına göre daha uygun sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Karslı ve Geçit (2003) tarafından Türkiye'nin doğu Akdeniz bölgesindeki Nurdağı/Gaziantep'in rüzgar enerjisi potansiyeli incelenmiştir. Çalışma sonucunda bu bölgenin yer seviyesinden 10 m yükseklikteki ortalama rüzgar enerjisi potansiyeli 222 W/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır.

Özerdem ve Türkeli (2003) İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü kampus alanında rüzgar karakteristiğini incelemişlerdir. Bu amaç ile; Temmuz 2000 ile Aralık 2001 arasında 16 aylık bir periyotta 10 m ve 30 m yükseklikte ölçtükleri rüzgar hız verilerini kullanmışlardır. Analizde; aylık ve yıllık ortalama rüzgar hızını, rüzgar yönü, rüzgar türbülans değerini, Weibull parametrelerini; WAsP ve WindPRO yazılımlarını kullanarak hesaplamışlardır. Bölgede yıllık ortalama rüzgar hızı 8,14 m/s (30 m'de) olarak hesaplanmıştır. Bölgenin hakim rüzgar yönü % 74,9 ile kuzey olduğu bulunmuştur. Ayrıca Weibull modelinin Rayleigh modelinden daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Akpınar ve Akpınar (2004) Elazığ ilinin Maden kısmındaki rüzgar enerjisi potansiyelini Weibull ve Rayleigh dağılımı modellerini kullanarak incelemişlerdir. Çalışma sonucunda,

bu bölgedeki ortalama rüzgar hızı ve enerji potansiyeli sırasıyla 5,63 m/s ve 244 W/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır.

Akkaya (2007) Balıkesir, Çanakkale ve Manisa'da üç adet sahaya ait rüzgar verilerini RETScreen programı ile incelemiştir. Buna göre, incelenen sahalarda Suzlon Energy firmasına ait 1 MW rüzgar türbini ile Çanakkale'de yıllık 76.573 MW, Balıkesir'de 60.883 MW ile ve Manisa'da 52.683 MW enerji üretimi yapılabileceği sonucuna varılmıştır.

Aydın (2008) tarafından Kütahya bölgesi için yapılan çalışmada ölçüm neticeleri sonucunda hakim rüzgâr yönü Batı-Kuzey/batı (WNW) olarak bulunmuş olup 21 m yükseklikte yapılan rüzgâr ölçümleri neticesinde, ortalama rüzgâr hızı 5,12 m/s olarak hesaplanmıştır.

Ertek (2008) İstanbul kent sınırları içerisindeki 5000000 metrekarelik potansiyel alandan 13.140.000 MW/Yıl düzeyinde bir potansiyel elde edilebileceğini değerlendirmiştir.

Genç ve Gökçek (2009) ve Gökçek ve Genç (2009) İç Anadolu bölgesi için rüzgar potansiyeli ve bu bölgede kurulacak olan rüzgar enerji dönüşüm sistemleri için elektrik üretimi ve maliyetleri üzerine çalışmalar yapmışlardır. Çalışmalarda seçilen bölgeler içerisinde Pınarbaşı yöresinin göze çarpan şekilde rüzgar enerji kullanımı için yeterli miktarda rüzgar potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. Buna ek olarak 150 kW kapasiteye sahip olan rüzgar türbini sisteminin maksimum enerji çıkışının 30 m yükseklikte 121 MWs/Yıl olacağını ve maliyetinin 0.29 \$/kWs olacağı hesaplanmıştır.

Karakaya (2009) Eskişehir bölgesi rüzgar enerjisi potansiyelini incelemiş ve ortalama rüzgar hızının 3-4 m/s aralığında olması sebebiyle kapasite faktörleri % 20'nin çok altında olacağını öngörmüştür. Bundan dolayı Eskişehir ilindeki rüzgar hızının büyük ölçekli rüzgar türbinlerini çalıştırıp onlardan elektrik üretimi sağlayamayacağını değerlendirmiştir.

Uçar ve Balo (2009) Weibull ve Rayleigh dağılım fonksiyonlarını kullanarak Uludağ bölgesinin rüzgar potansiyeli değerlendirmesini yaparak maliyet analizlerini çıkartmışlardır. Çalışmada bölgenin 7,08 m/s ortalama rüzgar hızı sahip olduğu hesaplanmış ve birim enerji maliyetinin 0,255 ile 0,306 \$/kWh arasında değiştiği gözlenmiştir.

Akdağ ve Güler (2010) tarafından Türkiye'nin 14 farklı noktasında rüzgar enerjisi araştırması yapmışlar kapasite faktörünün % 19,7 – % 56,8 arasında ve enerji maliyetinin 1,73 -4,99 cent-\$/kWs arasında değiştiğini bulmuşlardır.

Bilgili ve diğerleri (2010a), Bilgili ve ark. (2010b) ve Bilgili ve ark. (2016), tarafından Türkiye'nin güney, güneybatı ve batı kıyısında bulunan Akhisar, Bababurnu, Belen, Datça, Foça, Gelendost, Gelibolu, Gökçeada ve Söke bölgelerindeki rüzgar enerjisi potansiyelinin istatistiksel olarak analizi, Weibull ve Rayleigh dağılım fonksiyonlarının yanında WASP (Wind Atlas Analysis and Application Program) paket programı kullanılarak incelenmiştir.

Weibull modeli ve WAsP programı ile elde edilen değerler, Rayleigh modeli ile elde edilen değerlere göre tüm istasyonlar için daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu çalışmada en yüksek rüzgar gücü potansiyelinin sırasıyla; 526 W/m<sup>2</sup> ile Gökçeada'da, 410 W/m<sup>2</sup> ile Gelibolu'da, 387 W/m<sup>2</sup> ile Belen'de olduğu görülmüştür.

Talayoğlu (2010) tarafından WAsP programı kullanılarak Denizli ilinin Tavas ilçesine ait rüzgar enerjisi potansiyelini Weibull dağılımına göre değerlendirilmiş olup bölge şartlarında ölçek parametresini 3,3 m/s, şekil parametresini ise 1,44 olarak tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında ortalama rüzgar hızı 2,95 m/s, ortalama güç yoğunluğu ise 45 W/m<sup>2</sup> olarak bulunmuştur.

Toğrul ve Ertekin, (2011) Türkiye'nin 119 farklı noktasında, 30 yıllık veriler ile aylık, sezonluk ve yıllık bazda Weibull ve Rayleigh dağılımlarını kullanarak rüzgar enerjisi potansiyelini araştırmışlardır.

Uçar ve Balo (2011) Ankara ve Polatlı bölge istasyonlarından elde ettikleri veriler ışığında 3 MW gücünde bir rüzgar türbininin yıl boyunca 5,9 ve 1,8 MW arasında üretim değerleri sergilediğini bulmuşlardır.

Tutunchian (2012) Ankara, İncek bölgesi için Ulusal Atmosfer Araştırma Merkezi (NCAR)'nden 10 m yükseklikte alınan rüzgar verilerini incelemiş bölgenin ortalama rüzgar hızınının 3,7 m/s ve hakim rüzgar yönünü Kuzey-Kuzeydoğu (NNE) olarak tespit etmiştir. Çalışmaya göre KOLIBRI -11 marka ve model numaralı rüzgar türbinin bölge şartlarında % 17,2 kapasite faktörü ve 18,5 MW ortalama yıllık üretim değeri ile çalışabileceğini değerlendirilmiştir.

Yıldırım ve diğerleri (2012) Niğde ilinde Weibull dağılım parametrelerine bağlı olarak rüzgar hızı ve rüzgar güç yoğunluğu hesaplamışlardır. Elde edilen değerler aylık, mevsimsel ve yıllık olarak irdelendiğinde Niğde ilinin rüzgar enerjisi potansiyelinin yılın yarısından fazla bir süre yüksek değerlerde olduğu tespit edilmiştir ve bölgedeki rüzgar enerjisi potansiyelinin ekonomik açıdan değerlendirilebileceği kanısına varılmıştır.

Bilgili ve Şahin, (2013) Gökçeada, Foça, Gelibolu ve Bababurnu bölgelerinde yapay sinir ağları yöntemleri ile günlük, haftalık ve aylık rüzgar hızını tahmin etmişlerdir.

Behçet ve diğerleri (2014) tarafından Malatya ilinin rüzgâr verileri incelendiğinde potansiyelin varlığı ve özellikle de Arapgir ilçesinde uygun yatırım bölgelerinin olduğu görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen araştırma sonuçlarına göre Malatya'nın Arapgir ilçesi hem doğu Anadolu bölgesinin hem de ilin en zengin rüzgâr enerjisi potansiyeline sahiptir.

Demirkol ve Çunkaş (2014) tarafından Afyonkarahisar merkez, Dinar ve Sultandağı istasyonlarının saatlik rüzgâr hızı verileri Weibull ve Rayleigh dağılımları kullanılarak

modellenmiş olup 2010 ve 2011 yıllarına ait aylık rüzgâr güç yoğunluğu değerleri belirlenmiştir. Sonuç olarak Weibull ve Rayleigh dağılımlarının performansları karşılaştırıldığında ve Rayleigh dağılımının daha kararlı sonuçlar ürettiği görülmüştür.

Terzi (2014) tarafından Tokat il genelinde rüzgar yönü Kuzey (N) olarak belirlenmiş olup Tokat ili ve ilçelerinde rüzgar potansiyelinin umut verici olduğu değerlendirilmiştir.

Sarıcı (2015) Sakarya bölgesini incelemiş, yıllık ortalama rüzgar hızını Araç'da 1,6 m/s, Eflani'de 0,5 m/s, Kastamonu'da 1,3 m/s, Ilgaz'da 1,9 m/s olduğunu ve genel itibari ile düşük hızlı rüzgarların hakim olduğunu tespit etmiştir.

Akdağ ve Güler (2015) rüzgar hızı dağılımı modellemesinde sıklıkla kullanılan Weibull OYF parametrelerini hesaplamak için Türkiye'de bulunan Ankara, Ayvalık, Belen, Datça, Gebze, Gökçeada, Karaman, Kırklareli, Kocadağ, Konya, Raman ve Sinop bölgelerinde 1997-2011 yılları arasında ölçülen rüzgar hızı verilerini kullanmışlardır. Çalışmada Weibull OYF'nin parametrelerini hesaplamak için Maksimum Olabilirlik Metodu (MOM), Modifiye Edilmiş Maksimum Olabilirlik Metodu (MMOM), Alternatif Maksimum Olabilirlik Metodu (AMOM), Grafiksel Metodu (GM), Moment Metodu (MM), Justus Moment Metodu (JMM), Wasp Metodu (WM), Enerji Desen Faktörü Metodu (NEPFM) ve Güç Yoğunluğu Metodu (PDM) yöntemlerini uygulamışlardır. Sonuçlar ise standart sapma, belirleme katsayısı ( $R^2$ ), hataların ortalama kare kökü (RMSE) ve göreceli hata (Re) ile kıyaslanmıştır. Araştırmacılar Weibull OYF'nin parametrelerini hesaplamak için önerilen NEPFM'nun diğer metotlardan daha başarılı olduğunu değerlendirmişlerdir.

Özay ve Çeliktas (2016) İzmir'in Çeşme ilçesinde bulunan Alaçatı yöresinin rüzgar hızı ölçümlerini analiz etmek ve rüzgar enerjisi potansiyelini belirlemek için Weibull OYF kullanmışlardır. Enerji yoğunluk fonksiyonunda kullanılan veriler Alaçatı'daki bir rüzgar ölçüm istasyonunda 10 dakikalık aralıklarla 30, 50 ve 70 m olmak üzere üç farklı yükseklikte kaydedilmiş olup, bu çalışmanın sonucunda rüzgar hızı frekans dağılımı, rüzgar yönü eğilimleri, ortalama rüzgar hızı ve ayrıca Weibull şekil ve ölçek (k ve c) parametreleri bölge için hesaplanmıştır. Veri setinin tamamı için ortalama rüzgar hızı 8,11 m/s olarak bulunmuştur. Bu çalışmada k ve c parametreleri göreceli olarak 2,05 ve 9,16 m/s olarak hesaplanırken hakim rüzgar hızı ve yönünün 6 m/s – 12 m/s ve 340° – 360° arasında olduğu daha düşük rüzgar hızlarının ise 3 m/s – 6 m/s arasında 10° – 29° arasında meydana geldiği ortaya konulmuştur.

Akgül ve diğerleri (2016) Bursa ve Sakarya bölgelerinde 2009 yılı rüzgar hızı verilerini baz alınarak Inverse Weibull (IW) OYF rüzgar hızını modellemek için kullanmışlardır. Bu çalışmada IW dağılımının parametreleri modifiye edilmiş Maksimum Olabilirlik Metodu

(MMOM), Maksimum Olabilirlik Metodu (MOM) ve En Küçük Kareler Metodu (LSM) yöntemleri ile belirlenmiştir. Kullanılan yöntemlerin performansları Monte-Carlo simülasyonu ile değerlendirilirken Weibull ve IW dağılımlarının mevsimsel rüzgar hızı veri setlerini modellemek için kullanılması durumunda MOM ve MMML tahminlerine dayalı IW OYF'nin Weibull OYF'den daha iyi modelleme sağladığı değerlendirilmiştir.

Solyali ve diğerleri (2016) Kuzey Kıbrıs'ta Selvilitepe bölgesi için 2007 ve 2014 yılları arasındaki 10 dakikalık aralıklarla toplanan rüzgar hızı verileri ile rüzgar enerjisi potansiyelini araştırmışlardır. Çalışmada verilerin istatistiksel analizi için MOM, LSM ve WASP olarak adlandırılan 3 farklı yöntem ile olasılık dağılım fonksiyonu olarak Weibull OYF uygulanmıştır. Analizler sonucunda 30 – 50 – 90 m yükseklikte güç yoğunluğunun sırasıyla  $207 \text{ W/m}^2$  –  $221 \text{ W/m}^2$  –  $329 \text{ W/m}^2$  olduğu hesaplanmıştır.

Kaplan ve Temiz (2017) 2013 ve 2014 yılları arasında 10 dk. periyotlarla Ankara'da gözlemlenen ve kaydedilen rüzgar hızı verileri kullanılarak rüzgar enerjisi potansiyelini Weibull ve Gaussian olasılık dağılım fonksiyonlarına (WG) dayalı yeni bir model kullanarak araştırmışlardır. Rüzgar enerjisine dayalı elektrik üretim sisteminin verimliliğini ve performansı analizinde gerekli olan rüzgar hızı tahmini için önerilen, yeni WG modeli Weibull modeli karşılaştırılmış kısa vadeli tahminler açısından yeni WG modelin daha başarılı olduğunu değerlendirmişlerdir.

Akdağ ve Güler (2018) rüzgar hızı modellemesinde sıklıkla kullanılan Weibull dağılım parametrelerini tahmin etmek için Justus ampirik metodu (EMJ), Maksimum Olabilirlik Metodu (MOM), yeni enerji desen faktörü metodu (EPFM), ve alternatif moment metodu (AMM) 'nu kullanmışlardır. Araştırmada 750 kW ve 1600 kW rüzgar türbinlerinin ürettiği güç dikkate alındığında parametre kestirim tekniği olarak AMM 'nin daha az hata değerlerine sahip olduğunu, güç yoğunluğu tahmininde de daha başarılı olduğunu değerlendirmişlerdir.

### 1.2.2. Dünyadaki çalışmalar

Belabes, Youcefi, Guerri, Djamaï ve Kaabeche (2015) Cezayir'in kuzeyindeki altı bölgede kullanılan rüzgar türbinlerinin elektrik üretimi için teknik ve ekonomik bir değerlendirme yapmışlardır. 10 yıl boyunca kaydedilen rüzgar verilerine göre altı istasyonun (Oran, Setif, Skikda, Tlemcen, Tiaret ve Miliana) yıllık ortalama rüzgar hızı sırasıyla 10 m yükseklikte 4,20 – 3,46 – 3,18 – 2,64 – 5,07 ve 2,91 m/s olarak değişirken tüm sahalarda 10 metrelik

verilerin ekstrapolasyon ile farklı yüksekliklerde (30 – 50 –70 m) tüm aylar için Weibull parametreleri (k ve c) ve güç kanunu katsayısı (pc) elde edildi. Yanı sıra WAsP programı kullanılarak AN 300 kW/33, AN Bonus 1.0 MW/54 ve Vestas V80/2 MW olmak üzere üç farklı rüzgâr türbininde kapasite ve yıllık güç üretimleri hesaplanarak sonuçlar net şimdiki değer metodu (NB) ile ekonomik değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Analizlere göre Weibull şekil parametresi (k)'nin ortalama aylık değerinin Tlemcen sahasında 1,02, Oran sahasında 2,06, Tlemcen sahasında ölçek (c) parametresinin aylık değeri 2,2 m/s, Tiaret mevkiinde 9,2 m/s arasında olduğu ayrıca, seçilen sahalardaki üç türbinin kapasite faktörleri % 5,40 ile % 33,16 arasında değiştiği, Tiaret'te ortalama kW's asgari maliyetinin Vestas V80/2 MW ile 0,0342 ABD \$/kW, Tlemcen'de ise AN Bonus 1.0 MW/54 ile en yüksek ortalama maliyet 0,2105 ABD \$/kW olduğu hesaplanmıştır. Bununla birlikte her lokasyonda ki en yüksek maliyet AN Bonus 1.0 MW/54 türbini ile elde edilmiş olup Tiaret ve Oran da ise rüzgar türbini modellerinden herhangi biri için üretim daha ekonomik olduğu görülmüştür.

Kidmo, Danwe, Doka ve Djongyang (2015) Kamerun'da Garoua Uluslararası Havaalanı'nda toplanan saatlik ortalama rüzgar hızı verileri ile rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerinin çıkışlarını tahmin etmek için Weibull OYF kullanmışlardır. Çalışmada Weibull OYF'nin parametrelerini hesaplamak için Ampirik Metot (EM), Enerji Desen Faktör Metodu (EPFM), Grafik Metot (GM), Maksimum Olabilirlik Metodu (MOM), Moment Metodu (MM) ve Modifiye En Çok Olabilirlik Metodu (MMOM) olmak üzere altı sayısal yöntem kullanılmış olup sonuçlar Ki-kare testi ( $\chi^2$ ), korelasyon katsayısı (R), hataların ortalama kare kökü (RMSE) ve Kolmogorov-Smirnov testi (KS) ile kıyaslanmıştır. Araştırmacılar Weibull OYF'nin parametrelerini hesaplamak için Ampirik Metot (EM), Maksimum Olabilirlik Metodu (MOM) ve Moment Metodu (MM)'nü önermişler ve sonuç olarak Garoua'da rüzgar enerjisi potansiyelinin tarımsal sulama gibi küçük uygulamalar için daha uygun olduğunu değerlendirmişlerdir.

Petković 2015 rüzgar hızı dağılımı tahmininde sıklıkla kullanılan Weibull OYF'nin parametrelerini hesaplamak için Maksimum Olabilirlik yöntemi (MOM), modifiye edilmiş Maksimum Olabilirlik Metodu (MMOM), Grafikselsel Metot (GM) ve Adaptif Neuro-Fuzy metotlarını kullanmış ve sonuçları ise Pearson katsayısı (r), belirleme katsayısı ( $R^2$ ) ve hataların ortalama kare kökü (RMSE) ile kıyaslamıştır. Çalışma sonucunda araştırmacı Adaptif Neuro-Fuzy metodunun daha başarılı sonuçlar ürettiğini ifade etmiştir.

Shu, Li ve Chan (2015) Hong Kong'daki farklı arazi koşullarına sahip beş meteoroloji istasyonunda kaydedilen 6 yıllık rüzgar verilerine dayanarak, Weibull dağılım modeli yardımıyla rüzgar karakteristikleri ve rüzgar enerjisi potansiyelinin istatistiksel analizini

yapmışlardır. Ortalama rüzgar hızının ve Weibull parametrelerinin varyasyonlarını, farklı zaman dilimlerinde uygulamışlar çalışma boyunca yıllık Weibull ölçeği parametresinin 2,85 – 10.19 m/s arasında değiştiği ve yıllık şekil parametresi aralığının ise 1,65 – 1,99 arasında değiştiğini hesaplamışlardır. Araştırmada en yüksek Weibull ölçeği parametresinin bir tepede olduğu gözlenirken, en düşük değerlerin bir kentsel alanda olduğunu, ayrıca tepeler ve adaların kentsel alanlardan daha fazla rüzgar enerjisi yoğunluğu profiline sahip olduğunu bu manada Hong Kong'daki rüzgar enerjisi üretimi için tepelerin ve adaların en umut verici yerler olduğunu değerlendirmişlerdir.

Asumadu ve Owusu (2016) Gana'daki 11 lokasyonda farklı ekonomik senaryolar üzerinden uygulanmak istenen bir rüzgar çiftliği projesinin potansiyel ve ekonomik fizibilitesini yapmışlardır. Çalışmalar esnasında Meteonorm 7 ve RETScreen Clean Energy Proje Analizi modelleme yazılımlarını ve net şimdiki değer maliyet hesaplama yöntemini uygulamışlardır. Bu çalışma sonucunda VESTAS V90 rüzgar türbini ile bir proje gerçekleştirilmesi durumunda Takoradi, Adafoah, Cape coast, Mankoadze ve Warebeba bölgeleri için enerji üretim maliyetlerinin 92,78 \$/MWs, 81,3 \$/MWs, 81,67 \$/MWs, 81,41 \$/MWs ve 81,41 \$/MWs seviyelerinde olabileceği ortaya konulmuştur.

Dabbaghiyan, Fazelpour, Abnavi ve Rosen (2016) İran da bulunan Buşehr Eyaleti merkezli Asaluyeh, Bordkhun, Delvar ve Haft-Chah bölgelerini içine alan 4 farklı noktada rüzgar enerjisi potansiyelini araştırmak üzere 10 – 30 – 40 m yükseklikte ölçülen rüzgar hızı ölçümlerini kullanmışlar ve 20 farklı rüzgar türbini modeli üzerinden değerlendirmeler yapmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre bahsi geçen bölgelerde 40 m yükseklikte 256 W/m<sup>2</sup> ortalama rüzgar gücü yoğunluğuna ulaşılabildiğini ortaya koymuşlardır.

Gallagher, Tiron, Whelan, Gleeson, Dias ve McGrath (2016) İrlanda'nın kıyıya yakın bölgelerinde Atlantik okyanusu, Kelt ve İrlanda denizi kıyılarını da dahil ederek rüzgar ve dalga enerjisi potansiyelini kullanılabilirlik ve erişilebilirlik açısından 14 yıllık veriler ışığında Mezo-skala Harmoni modeli ile değerlendirmişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre Donegal körfezi ve Malin Head kıyılarında yıllık ortalama 30 – 40 kW/m dalga enerjisi ve 600 – 800 W/m<sup>2</sup> 'ye yakın kıyı rüzgar enerjisi potansiyeline ulaşılabildiğini ortaya koymuşlardır.

Gani Mohammadi, Shamshirband, Altameem, Petković ve Ch (2016) Weibull OYF'nin şekil (k) ve ölçek (c) parametrelerinin tahmininde ateşböceği algoritması (FFA) ile destek vektör makinesi (SVM) kullanan hibrit model yaklaşımını incelemişlerdir. Çalışmalarında aylık değerlendirmelerin günlük değerlendirmelerden daha başarılı olduğunu fakat rüzgar hızındaki dalgalanmanın artması durumunda tahminlerdeki hata oranının arttığını da ifade



etmişlerdir. Bununla birlikte rüzgar enerjisi santrali tasarımında ve rüzgar enerjisi tahmininde SVM – FFA kullanımını önermişlerdir.

Goh ve diğerleri (2016) Malezya'da bulunan Kudat bölgesinde 2002 – 2009 yılları arasında ölçülen rüzgar hızı verilerini kullanarak 2010 yılındaki rüzgar hızlarını tahmin etmek için Weibull OYF, Mycielski – 3 algoritması ve K – means clustering metodunu kullanmışlardır. Tahmin edilen değerler, en muhtemel rüzgar hızını elde etmek için Weibull OYF kullanılarak analiz edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre araştırmacılar K – means clustering metodunun Weibull OYF ve Mycielski algoritması ile karşılaştırıldığında tahminlerde daha başarılı olduğu bununla beraber Kudat'taki en muhtemel rüzgar hızı dağılımının rüzgar türbinlerini çalıştırmak için yeterli olduğunu değerlendirmişlerdir.

Mohammadi ve diğerleri (2016) Kanada'nın Alberta eyaletinde Edmonton Kent Merkezi Awos, Grande Prairie A, Lethbridge A ve Waterton Park Gate bölgelerinde bulunan dört farklı istasyonda rüzgar enerjisi yoğunluğunu hesaplamalarında kullanılan Weibull dağılım fonksiyonunun şekil (k) ve ölçek (c) parametrelerini belirlemek için kullanılan altı sayısal yöntemin etkinliği değerlendirilmiştir. Bu çalışma için seçilen yöntemler, Grafiksel Metot (GM), Justus'un ampirik metodu (EMJ), Lysen ampirik metodu (EML), enerji desen faktör metodu (EPF), maksimum olabilirlik metodu (MOM) ve modifiye maksimum olabilirlik metodu (MMOM) olurken bunlar içerisinde EMJ, EML, EPF ve MOM 'un metodlarının parametre hesaplamalarında daha doğru sonuçlar üretebildiği ortaya konulmuştur.

Saleh, Moustafa Abo-Al-Ez ve Abdullah (2016) Alaska enerji merkezinden elde ettikleri veriler baz alınarak rüzgar enerjisi santrali tarafından yapılacak üretimi tahmin etmek için kablosuz ağlar ile data aktarımı ve hibrit Neuro-fuzzy model ile tahmin sistemi geliştirmişlerdir. Kablosuz ağ yardımı ile aktarılan rüzgar çıkış gücü, hava sıcaklığı, rüzgar hızı, hava yoğunluğu ve hava basıncı parametreleri ile eğittikleri modelin % 5,86 hata ile başarılı sonuçlar üretebildiğini ve veri sayısı arttıkça tahminde doğruluk oranının arttığını değerlendirmişlerdir.

Santamaría-Bonfil, Reyes-Ballesteros ve Gershenson (2016) La Ventosa, Oaxaca, Mexico da bulunan Mexican Wind Energy Technology Center (CERTe)'den elde ettikleri veriler ile Support Vector Regresyon tabanlı tahminci model geliştirmişler. Eğitim aşamasında genetik algoritma kullanılan modelin 1 – 24 saatlik kısa dönemli rüzgar hızı tahmininde hata oranının % 2 – 14 arasında değiştiğini ifade etmişlerdir.

Allouhi ve diğerleri (2017) Fas Krallığı'ndaki Al Hoceima, Tetouane, Assila, Essouira, Laayoune ve Dakhla'da olmak üzere altı farklı kıyı bölgesinde rüzgar enerjisi potansiyeli, 2011 ve 2015 yılları arasında, 50 ve 70 m yükseklikte beş yıllık bir süre için ölçülen rüzgar

hızı verileri kullanılarak Weibull, Rayleigh, 3 parametrelili Burr, Lognormal, Gamma, Truncated Normal, Log – logistic, Inverse Gaussian, Weibull – Weibull, Gamma – Weibull, Truncated normal-Weibull distribution ve Truncated normal – Truncated normal OYF'leri model olarak araştırmışlardır. Dağılım parametreleri Maksimum Olabilirlik Metodu (MOM), Modifiye edilmiş Maksimum Olabilirlik Metodu (MMOM), Grafikselleştirilmiş Metot (GM), enerji desen faktörü metodu (NEPFM), eşdeğer enerji metodu (EEM), güç yoğunluğu metoduna dayalı olasılık ağırlıklı momentler metodu (PWMPDM) ve WAsP metodu (WM) ile hesaplanmış olup 225 – 900 kW arasında çeşitli büyüklükteki rüzgar türbinleri için yıllık enerji çıktıları ve kapasite faktörleri dikkate alındığında Dakhla ve Laayoune bölgelerinin yüksek enerji potansiyeline sahip olduğu değerlendirilmiştir.

Katinas, Marčiukaitis, Gecevičius, ve Markevičius (2017) Litvanyada bulunan 22 farklı noktadan elde edilen 2014 rüzgar hızı verilerini kullanarak rüzgar enerjisi yoğunluğunu tahmin etmek için Weibull OYF uygulamışlardır. Çalışmada Weibull OYF'nin parametrelerini hesaplamak için Maksimum Olabilirlik Metodu (MOM), modifiye edilmiş Maksimum Olabilirlik Metodu (MMOM), Güç yoğunluğu metodu (PDM), Ampirik güç yoğunluğu metodu (PDMemp), Grafikselleştirilmiş Metot (GM), Ortalama rüzgar hızı ve standart sapma metodu (MSSDM), Ampirik ortalama rüzgar hızı ve standart sapma metodu (MSSDMemp) ve Niteliksel metot (QM-Rayleigh) yöntemlerini uygulamışlardır. Sonuçlar Ki-kare testi ( $\chi^2$ ), Belirleme Katsayısı ( $R^2$ ), Ortalama Hata Kareleri Toplamının Karekökü (RMSE) ve göreceli hata (Re) ile kıyaslanmıştır. Araştırmacılar Weibull OYF'nin parametrelerini hesaplamak için Ampirik ortalama rüzgar hızı ve Standart sapma metodu (MSSDMemp) ve Maksimum Olabilirlik Metodu (MOM)'nu önermişler ve sonuç olarak Litvanya'da Nida ve Klaipeda bölgelerinin daha yüksek değerler üretebildiğini Aukuva, Silutė, Telsiai, Raseiniai ve diğer yerlerde ise 10 m yükseklikte 4 m/s rüzgar hızına yakın değerler ölçülmesi bakımından rüzgar enerjisi potansiyelinin yüksek olduğunu değerlendirmişlerdir.

Shoaib, Siddiqui, Amir ve Rehman (2017) Pakistan'da bulunan Baburband bölgesi için 2008 ve 2011 yılları arasındaki 10 – 30 – 60 – 80 ve 81,5 m yükseklikte 10 dk. aralıklarla toplanan rüzgar hızı verileri ile rüzgar enerjisi potansiyelini araştırmışlardır. Çalışmada Weibull OYF'nin parametrelerini hesaplamak için MOM, Moment Metodu (MM), NEPFM ve Güç yoğunluğu metodu (PDM) yöntemlerini uygulamışlardır. Çalışma sonucunda MOM ve PDM metotlarının daha başarılı sonuçlar ürettiğini ifade etmişler ve analizler sonucunda 30 – 81,5 m yükseklikte güç yoğunluğunun sırasıyla 138,45 W/m<sup>2</sup> ile 309,10 W/m<sup>2</sup> aralığında

değiştirdiğini hesaplamışlardır. Bununla birlikte Baburband bölgesinde rüzgar enerjisi potansiyelinin yüksek olduğunu değerlendirmişlerdir.

Wais (2017) Polonya'nın kuzey doğu, güneydoğu ve kuzeybatı kesimlerinde bulunan 3 farklı bölgenin 1971–2000 yılları arasındaki ölçülen rüzgar hızı verilerini iki parametrelili Weibull ve üç parametrelili Weibull dağılımları ile incelemiştir. Araştırma sonucunda Weibull OYF'deki üçüncü parametrenin rüzgar türbini tesisi için saha seçiminde yardımcı olabileceğini ancak yüksek rüzgar hızı değerleri için iki parametrelili Weibull modelinin daha başarılı sonuçlar üretebildiğini değerlendirmiştir.

Ahmed (2018) Mısır'da bulunan Süveyş Körfezi ve Akabe Körfezi boyunca yer alan ve Kızıldeniz'in kuzey sahilinde seçilen yerler için 10 – 50 m yüksekliklerde kaydedilen rüzgar hızı verileri kullanılarak rüzgar enerjisi potansiyelini Weibull OYF'yi model olarak araştırmıştır. Ras, Seder ve Nabq bölgelerinde 314 ile 249kW/m<sup>2</sup> arasında değişen rüzgar enerjisi yoğunluğu değerlerine ulaşılabilirdiği ve 580 MW kapasiteli bir rüzgar enerjisi santrali ile yıllık 2335 GW üretim değerinin kWs başına üretim maliyeti 1,84 – 4,22 ABD Doları ile yakalanabileceğini değerlendirmiştir.

Soulouknga ve diğerleri (2018) 10 m yükseklikte on sekiz yıl (1960 – 1978) boyunca toplanan aylık rüzgar hızı verileri kullanılarak Çad'ın Saharan bölgesinde ki Faya-Largeau'nun rüzgar hızını, rüzgar gücü yoğunluğunu ve Faya-Largeau'nun enerji potansiyelini Weibull OYF kullanarak analiz etmişlerdir. Çalışmalar sonucunda Weibull parametreleri k ve c'nin yıllık değerleri sırasıyla 3,75 ve 3,60 m/s iken, yıllık ortalama güç yoğunluğu 343,31 W/m<sup>2</sup> olduğu; kapasite faktörü dikkate alındığında 1 MW/54 Bonus modeli rüzgar türbinin Faya-Largeau sitesi için uygun olduğunu değerlendirmişlerdir.

### 1.3. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın temel amacı Hatay Meteoroloji İstasyon Müdürlüğü tarafından günlük olarak ölçülen rüzgar hızı ve yönü, hava sıcaklığı ve basıncı gibi temel meteorolojik verilere dayanarak, Hatay bölgesindeki rüzgar enerjisi potansiyelini istatistiksel olarak analiz etmek ve bölgeye ait rüzgar hızı frekans eğrisini olasılık yoğunluk fonksiyonları ile modellemektir. Çalışmanın devamında, elde edilen modeller tarafından tahmin edilen rüzgar hızı değerleri referans alınarak seçilen rüzgar türbini tarafından üretilebilecek enerjiyi yapay sinir ağları yöntemi ile tahmin edilmiştir. Elde edilen veriler ışığında belirli ekonomik senaryolar dahilinde birim enerji maliyetini finansal yöntemler ile tahmin etmek sunulan çalışmanın nihai hedefidir.

### 1.4. Çalışmanın Getirdiği Yenilikler

Bu çalışmada, Hatay bölgesindeki rüzgar gücü yoğunluğu ve rüzgar hızı dağılımı parametrelerinin istatistiksel analizi ve 2002-2009 yılları arasında ölçülen rüzgar hızı verilerinin frekans eğrilerinin modellenmesi dört parametrelili Burr dağılımı, Gen. Gamma ve Weibull dağılımları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Burr (4p) ve Gen. Gamma, Weibull dağılım parametreleri için parametre kestirim tekniği olarak, MOM kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, Kolmogorov-Smirnov ( $D$ ) ve Chi-Square ( $\chi^2$ ) uyum iyiliği testleri ile Belirleme Katsayısı ( $R^2$ ) ve Ortalama Hata Kareleri Toplamının Karekökü (RMSE) hata analizleri ile değerlendirilmiştir. Ayrıca, Enercon E33 ve Aventa AV-7 rüzgar türbinleri üzerinden olası yıllık elektrik üretimi ve kapasite faktörü değerleri tahmin edilmiştir. Bunlara ilaveten yapay sinir ağları (YSA) ile günlük minimum, maksimum ve toplam elektrik üretimi değerleri tahmin edilmiştir. Bu çalışmanın sonunda bölgede yapılabilecek bir yatırım için birim enerji maliyetleri belirlenmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında literatüre kazandırılan yenilikler veya spesifik değerlendirmeleri maddeler halinde sıralamak gerekirse:

- Dört parametrelili Burr dağılımı Hatay bölgesinde ilk kez rüzgar hızı sıklık dağılımı modellemesinde kullanılırken Türkiye genelinde ilk defa rüzgar türbini güç üretim değerlerinin tahmininde tahminci model olarak kullanılması,
- Genelleştirilmiş Gamma dağılımı Türkiye genelinde ilk defa rüzgar hızı sıklık dağılımı modellemesinde kullanılması,

- Kolmogorov-Smirnov ( $D$ ) ve Chi-Square ( $\chi^2$ ) uyum iyiliği testleri ile Belirleme Katsayısı ( $R^2$ ) ve Ortalama Hata Kareleri Toplamının Karekökü (RMSE) hata analizlerinin tamamı Hatay bölgesinde ilk kez rüzgar hızı sıklık dağılımı modellemesinde değerlendirme kriteri olarak kullanılması,
- Bir rüzgar türbini tarafından günlük minimum, maksimum ve toplam elektrik üretimi gibi değerlerin Hatay bölgesinde ilk kez tahmin edilmesi,
- Adımsal Regresyon yöntemi ile Çoklu Lineer Regresyon modeli (ÇLRM) Hatay bölgesinde rüzgar türbini güç üretim değerleri tahmininde ilk kez kullanılması,
- ÇLRM modelinin geliştirilmesi aşamasında veri seçimi yapılırken rüzgar hızı, hava sıcaklığı ya da basıncı gibi temel parametreler kullanmak yerine ilk kez bunlara ait alt istatistikî veriler (AİV) olan günlük maksimum, minimum, ortalama, standart sapma, çarpıklık ve basıklık değerlerinin kullanılması,
- Tahmin çalışmalarında kullanılan YSA modellerinin AİV verisi ve ÇLRM süreci ile desteklenmesi fikri Hatay bölgesinde ve Türkiye genelinde ilk kez kullanılması,
- Rüzgar enerjisi santrali yatırımları açısından önemli olan yatırım kredisi faiz oranlarında meydana gelen değişimin referans alınan rüzgar türbinleri üzerinden birim enerji maliyeti üzerinde etkisinin incelenmesi;

olarak sıralanabilir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. Çalışma Alanı ve Verisi

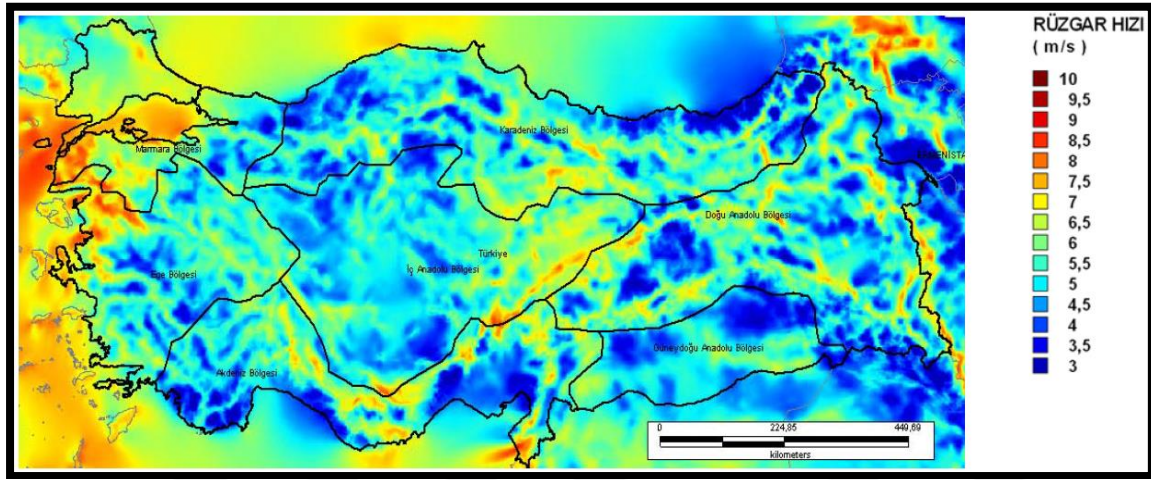
Rüzgar enerjisi potansiyeli araştırmaları yerel, bölgesel veya küresel düzeyde rüzgar hızı, basıncı, hava sıcaklığı ve basıncı gibi meteorolojik parametrelerin ölçümlerine dayalı olarak yapılır (MALKOÇ. 2008).

Genel olarak potansiyel tahminleri aşağıda belirtilen beş kategoriden birine girmektedir.

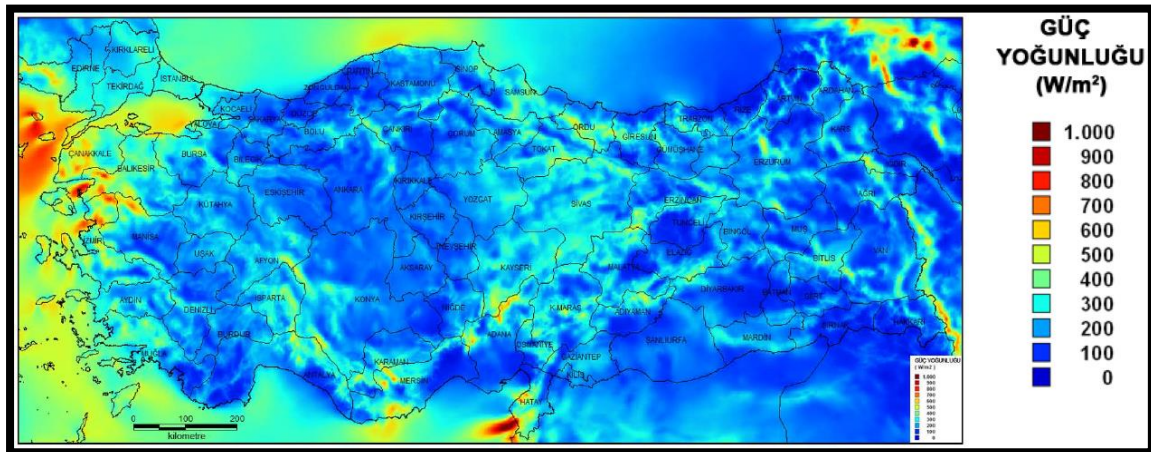
- Meteorolojik Potansiyel: Mümkün olan rüzgar kaynağına eşdeğer bir potansiyeldir.
- Saha Potansiyeli: Meteorolojik potansiyele dayanılarak ortaya konulan bir değerlendirmedir. Güç üretimi için coğrafik olarak mevcut olabilecek sahalarla sınırlandırılır.
- Teknik Potansiyel: Mevcut teknolojiyi de dikkate alarak saha potansiyelinden hesaplanan değerlerdir.
- Ekonomik Potansiyel: Ekonomik olarak gerçekleştirilebilecek teknik potansiyel olarak tanımlanır.
- Uygulanabilir Potansiyel: Bu potansiyel, belirli bir zaman diliminde devreye alınabilecek olan rüzgar enerjisi potansiyelini değerlendirmek için teşvik ve kısıtları da hesaba katarak elde edilir.

2007 yılında dönemin Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından yayınlanan Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA) ile verilen 50 m yükseklikteki rüzgar hızı ve güç yoğunluğu haritaları Harita 2.1 ve Harita 2.2 ile gösterilmiştir. REPA için kullanılan yöntem, küresel atmosferik sirkülasyon modeli, orta ölçekli sayısal hava analiz modeli ve mikro-ölçekli rüzgar akış modeli kullanılarak rüzgar kaynak bilgilerinin üretilmesi olarak tanımlanmıştır (REPA, 2007). REPA için rüzgar gücü hesaplamaları Weather Research and Forecast (WRF) isimli bir tür meteoroloji tahmin modeli ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, Türkiye'nin 224 farklı noktasında bulunan meteoroloji istasyonlarından bir yıl boyunca yer seviyesinden 10 m yükseklikte toplanmış olan rüzgar hız ölçümü verileri esas alınarak hazırlanmıştır. Mevcut rüzgar verisi, rüzgar türbinlerinin yerden yükseklikleri göz önüne alınarak güç kanunu profili ile 50m yüksekliğe uyarlanmıştır (Süzek, 2007).

Harita 2.1’de verilen 50 m göbek yüksekliğindeki rüzgar hızları incelendiğinde, Çanakkale ve Balıkesir illeri rüzgar hızı bakımından en güçlü yerler durumundadır. Genel olarak baktığımızda ise pek çok bölgede ekonomik RES yatırımı için gerekli olan 7 m/s veya üzerinde rüzgar hızı değerlerine ulaşıldığı görülmektedir. Haritada Ege ve Marmara sahillerinin, İç Anadolu ve Doğu Anadolu’da yüksek yerlerin ve Akdeniz bölgesinde bazı yerlerin yüksek rüzgar hızlarına sahip oldukları görülmektedir. Bu duruma paralel olarak Harita 2.2’de aynı bölgelerde güç yoğunluğu değerleri de oldukça dikkat çekicidir.



Harita 2.1 Türkiye geneli 50 m yükseklikteki ortalama yıllık rüzgar hızları dağılımı (REPA, 2007)

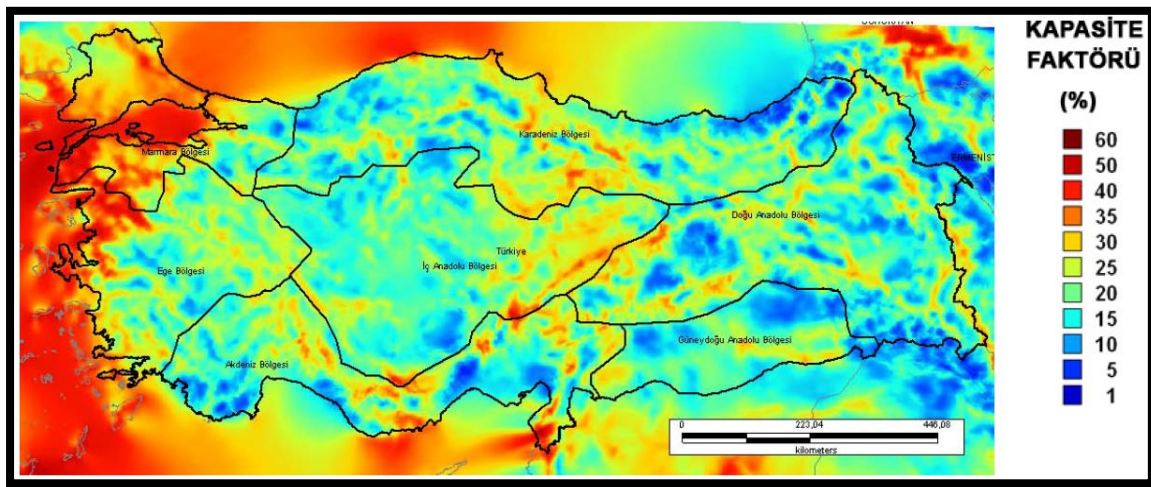


Harita 2.2. Türkiye geneli 50 m yükseklikteki ortalama güç yoğunluğu dağılımı

Türkiye geneli 50 m yükseklikteki ortalama kapasite faktörü dağılımları Harita 2.3’de görülmektedir. Harita 2.3 incelendiğinde 1 MW gücündeki referans rüzgar türbine ait teknik değerler kullanılarak hesaplanan kapasite faktörü oranlarına göre özellikle Ege, Akdeniz ve

Marmara sahil kısımlarında ciddi değerlere ulaşıldığı ve hatta ekonomik RES yatırımı için öngörülen % 35 veya üzerinde kapasite faktörü değerlerinin yakalandığı görülmektedir.

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü verilerine göre, Türkiye’de illere göre kurulabilecek RES’lerin toplam alanı 2283485 km<sup>2</sup>, toplam kurulu güç ise 114174,08 MW’tır. Akdeniz bölgesinde yer alan Hatay bölgesi bu grupta 682,8 km<sup>2</sup> toplam alana ve 3414 MW toplam kurulu güç kapasitesiyle 12. sırada yer almaktadır (Özşahin ve Kaymaz, 2013).



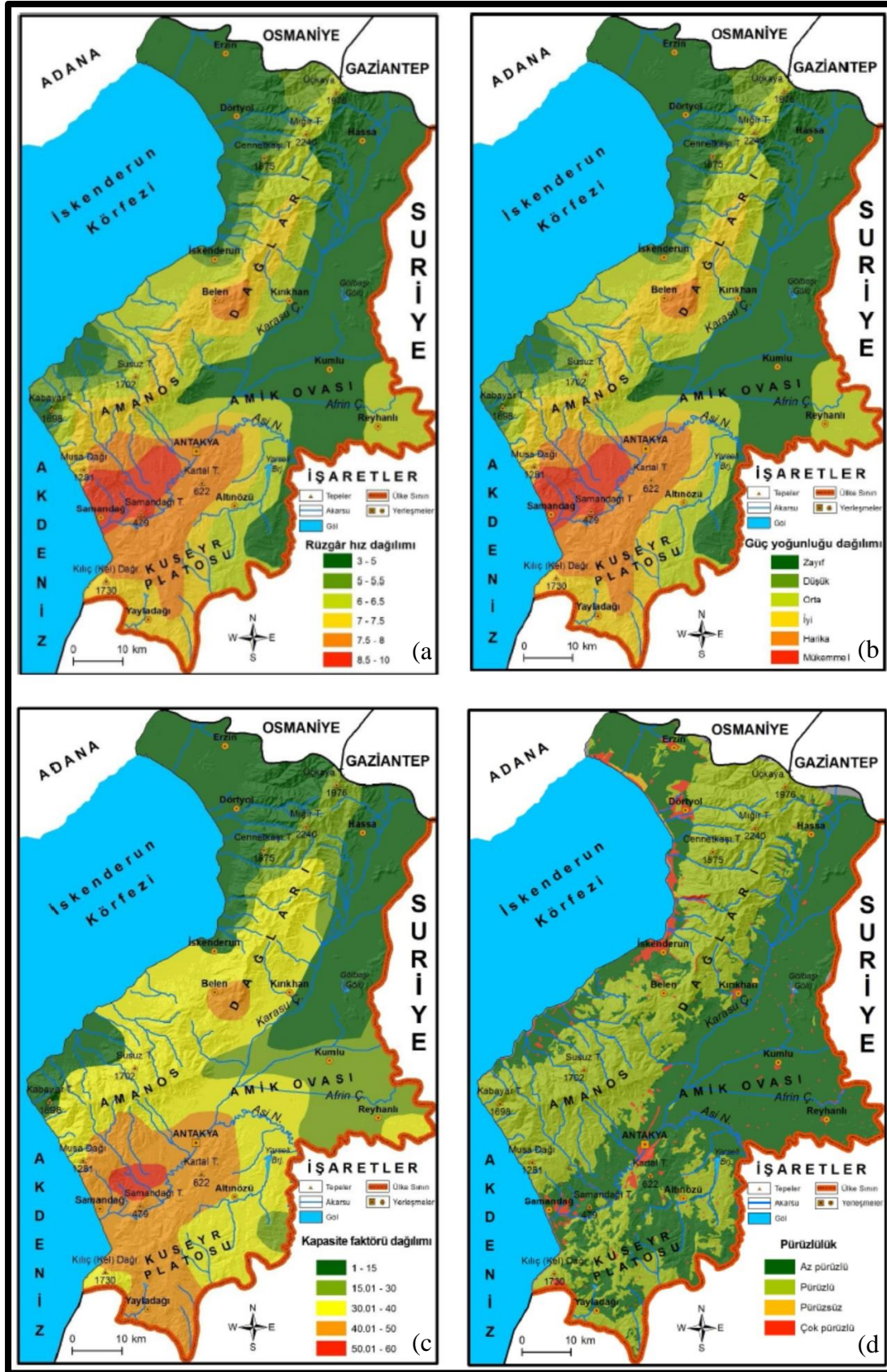
Harita 2.3. Türkiye geneli 50 m yükseklikteki ortalama kapasite faktörü dağılımı

Hatay Bölgesinin haritası Harita 2.4’de görülmektedir. Haritadan da görüldüğü gibi, Akdeniz Bölgesi’nin güneyinde yer alan Hatay ili rüzgar potansiyeli ve coğrafi uygunluğu nedeniyle özellikle güney batı sahil ve Belen bölgelerinde yüksek oranda RES yatırımları bulunmaktadır. Hatay ili Türkiye’nin en güneyinde ve Akdeniz Bölgesi’nin doğusunda bulunur. Yüzölçümü 5559 km<sup>2</sup> olup batıdan Akdeniz, güney ve doğudan Suriye, kuzeybatıdan Adana, kuzeyden Osmaniye ve kuzeydoğudan da Gaziantep ile çevrilidir. Coğrafi koordinat sistemine göre 35° 49' 31" - 37° 00' 28" K enlemleri ile 35° 44' 03" - 36° 43' 08" D boylamları arasındadır.





Harita 2.4. Bölgenin haritası (Maphill, 2011)



Harita 2.5. Hatay ili a) Rüzgâr hız dağılım haritası b) Rüzgâr güç yoğunluğu haritası c) Kapasite faktör haritası d) Pürüzlülük haritası (Özşahin ve Kaymaz, 2013).

Harita 2.5’de Hatay ili rüzgâr hız dağılımı, rüzgâr güç yoğunluğu haritası, kapasite faktörü ve pürüzlülük haritası görülmektedir. Harita 2.5’de görüldüğü gibi Belen ve Antakya’dan başlayıp Samandağ bölgesine uzanan geniş bir bölge oldukça yüksek rüzgar potansiyeli ve kapasite faktörü değerlerine sahiptir.

Bu çalışmada Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nün Hatay meteoroloji istasyonu tarafından 2002-2012 yılları arasında ölçülen meteorolojik veriler kullanılmıştır. Ölçümler yerden 10 m yükseklikte bulunan bir anemograf cihazı ile amik ovası sınır çizgisinde (80 m rakım) bir sinoptik istasyonda yapılmış olup kaydedilen rüzgar hızı (m/s) ve yönü ( $^{\circ}$  derece) verileri saatlik ortalama değerler olarak analiz edilmiştir. Ayrıca atmosfer basıncı (mbar) ve sıcaklığı değerleri ( $^{\circ}$ C) ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçüm verileri aylık, günlük ortalama veriler şeklinde kaydedilmiştir. Elde edilen veriler ise Hatay bölgesi için teknik ve ekonomik rüzgar potansiyeli değerlendirmeleri için kullanılmıştır.

### **2.1.2. Rüzgar Türbini**

Artan küresel nüfus ile birlikte fosil yakıtların hızla tükenmesi ve enerji maliyetlerinin artması, araştırmacıları rüzgar, güneş, jeotermal ve biyoenerji gibi temiz ve çevreyi kirletmeyen enerji kaynaklarını araştırmaya ve keşfedilen yeni kaynakların etkinliklerinin artırılması için yeni çalışmalar yapmaya zorlamaktadır. Bu kaynaklar arasında rüzgâr enerjisi; temiz, verimli ve ekonomik enerji desteği verirken iklim değişikliği ile mücadele için büyük bir potansiyele sahip en popüler doğal kaynaklardan bir tanesidir.

Rüzgar enerjisinin insanlık tarafından kullanımı tarihin çok eski dönemlerine dayanmakla birlikte çok uzun bir süre rüzgar enerjisinden; yelkenli gemilerin hareket ettirilmesinde, yel değirmenlerinde tahılları öğütmede ve tarımsal amaçlı su pompalama gibi mekanik enerjiye gerek duyulan alanlarda faydalanıldı. Günümüzde ise rüzgar modern türbinler yardımı ile mekanik uygulamalar yanında şebeke bağlantılı ve şebeke bağlantısız sistemler için elektriksel uygulamalarda kullanılmaktadır.

Tahrik edilen kısmı ile dönme hareketi yapan ve bir akışkanda bulunan enerjiyi milinde mekanik enerjiye dönüştüren makineler türbin olarak adlandırılmaktadır (Şipar, 2011). Rüzgâr türbinlerinde ise gelen rüzgâr gücü kanatlar tarafından yakalanıp hareket enerjisine çevrilir ve daha sonra hareket enerjisi jeneratör yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülür.

Rüzgar türbinleri genellikle rotor ekseninin yeryüzüne göre konumu veya başka bir ifadeyle dönme eksenine göre yatay, dikey ve eğik eksenli rüzgar türbinler olmak üzere üç temel grupta incelenir (Emeksiz, 2014).

Yatay eksenli rüzgar türbinlerinde, dönme eksenleri rüzgar yönüne paralel ve kanatlar rüzgar yönüne diktir. Bu türbinlerde rotor kanatlarının sayısı azaldıkça rotor daha hızlı dönmektedir. Bu türbinlerin verimi yaklaşık % 45'dir. Kanat uç hız oranı,  $\lambda$  değerine bağlı olarak rotordaki kanat sayısı değişir. Rüzgar hızının, rotor kanadı uç hızına bölünmesi ile elde edilen kanat uç hız oranı,  $\lambda=6-8$  ise türbinde üç kanatlı rotor kullanılır (Karadağ, 2009).

### 2.1.3. Enercon E-33 rüzgar türbini

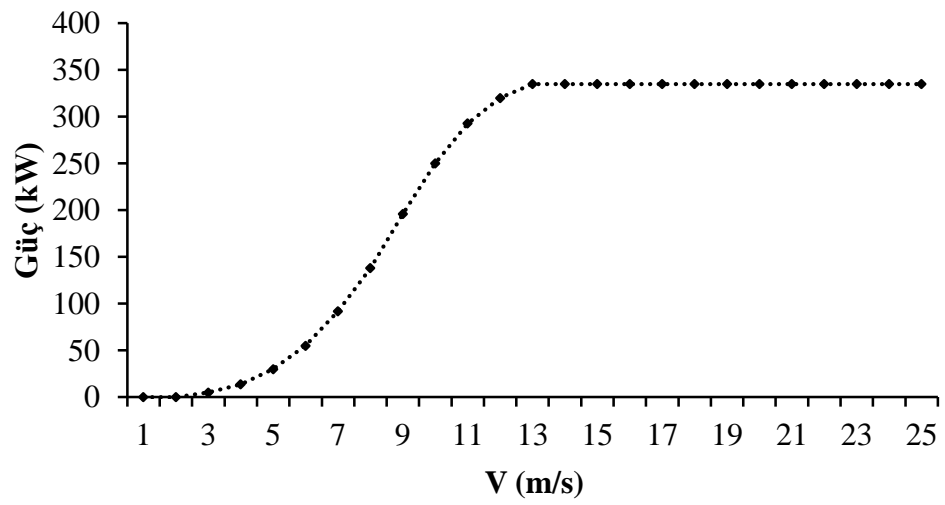
Bu çalışmada, bölgenin rüzgar potansiyelinin daha net olarak anlaşılabilmesi için rüzgar hızı profili modellenmesi yapıldıktan sonra model bazında tahmin edilen rüzgar hızlarına dayalı olarak Şekil 2.1'de görülen Enercon E33 rüzgar türbininin performansı araştırılmıştır. Çizelge 2.1. ve Şekil 2.2'de Enercon E33 rüzgar türbini hakkında teknik bilgiler ve güç eğrisi grafiği verilmektedir (Enercon, 2013).

Çizelge 2.1. Enercon E33 için teknik bilgiler eğrisi (Enercon, 2013)

Üretici	ENERCON
Model	E-33
Nominal Güç	330 kW
Rotor Çapı	33,4 m
Başlangıç rüzgar hızı (cut-in)	2,5 m/s
Nominal rüzgar hızı (rated)	12 m/s
Çıkış rüzgar hızı (cut-out)	28–34 m/s
Türbin kanatlarının süpürdüğü alan	876 m <sup>2</sup>
Hub yüksekliği	44 - 50 m
Kanat sayısı	3 adet



Şekil 2.1. Enercon E33 rüzgar türbini eğrisi (Enercon, 2013)



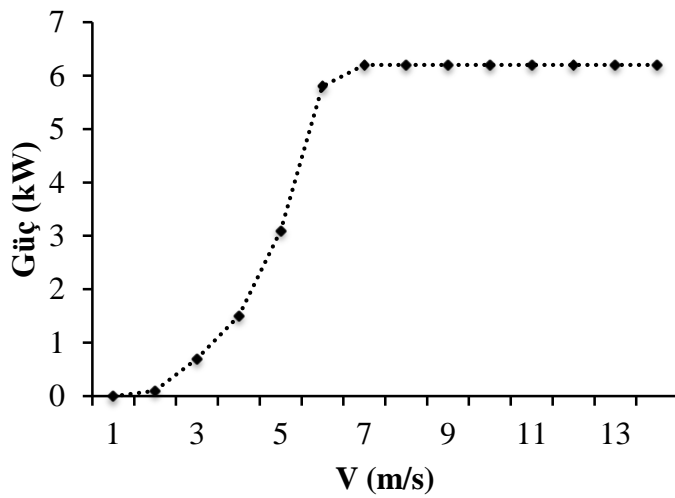
Şekil 2.2. Enercon E33 rüzgar türbini güç eğrisi (Enercon, 2013)

### 2.1.4. Aventa AV-7 rüzgar türbini

Aventa AV-7 rüzgar türbini hakkında teknik bilgiler Çizelge 2.2’de, güç eğrisi grafiği ve rüzgar türbini Şekil 2.3 ve Şekil 2.4’de verilmektedir (Aventa, 2012). Bu çalışmada bölgenin rüzgar potansiyelinin tahmin edilebilmesi için rüzgar hızı profili modellemesi yapıldıktan sonra model bazında tahmin edilen rüzgar hızlarına dayalı olarak Şekil 2.4’de görülen Aventa AV-7 rüzgar türbininin performansı araştırılmıştır.

Çizelge 2.2. Aventa AV-7 için teknik bilgiler (Aventa, 2012)

Üretici	Aventa
Model	AV-7
Nominal Güç	6,5 kW
Rotor Çapı	12,9 m
Başlangıç rüzgar hızı (cut-in)	2 m/s
Nominal rüzgar hızı (rated)	6 m/s
Çıkış rüzgar hızı (cut-out)	14 m/s
Türbin kanatlarının süpürdüğü alan	129 m <sup>2</sup>
Hub yüksekliği	18 m
Kanat sayısı	3 adet



Şekil 2.3. Aventa AV-7 rüzgar türbini güç eğrisi (Aventa, 2012)



Şekil 2.4. Aventa AV-7 rüzgar türbini (Aventa, 2012)

## 2.2. Yöntem

### 2.2.1. Rüzgar enerjisi ile ilgili temel kavramlar

Rüzgar, hareket eden ve yer değiştiren hava kütlelerini ifade eder (Pamuk ve Aslan, 2014). Taşıdığı enerjisi elde etmek için yapılan hesaplamalar hareket halindeki cisimlerin sahip olduğu enerji, kinetik enerjisi ifade eden eşitliğe dayanmaktadır.  $V$  hızı (m/s) ile hareket eden  $m$  kütleli bir cismin sahip olduğu kinetik enerji,  $E_k$  (joule) Eş. 2.1 ile ifade edilir.

$$E_k = \frac{1}{2}mV^2 \quad (2.1)$$

Burada rüzgar kütlesi birim zamandaki hareket eden kütle, yani kütleli debi olarak alınması durumunda kütleli debiyi elde etmek için kullanılan eşitlik;

$$\dot{m} = \rho AV \quad (2.2)$$

den hareketle; Eş. 2.1'deki  $m$  yerine birim zamandaki kütleli debi (kg/s),  $\dot{m}$  yazılması durumunda  $V$  hızında hareket eden bir rüzgarın sahip olduğu kinetik enerji  $t$  zaman periyodu için;

$$E_k = \frac{1}{2}\dot{m}V^2 \quad (2.3)$$

eşitliği ile ifade edilebilir. Rüzgarın  $t$  zamanda taşıdığı güç,  $P$  (W) ise;

$$P = \frac{1}{2}\rho AV^3 t \quad (2.4)$$

ile verilebilir. Burada  $A$  rotor süpürme alanı ( $m^2$ ) olup  $t=1$  için Eş. 2.4 rüzgarın birim zamanda taşıdığı gücü (W) vermektedir. Birim alana düşen gücü yani güç yoğunluğu ( $W/m^2$ ) ise Eş. 2.5'de verilmektedir.

$$P_y = \frac{P}{A} = \frac{1}{2}\rho V^3 \quad (2.5)$$

Eş. 2.5'de görülen  $\rho$  ise hava yoğunluğu ( $kg/m^3$ ) olup Eş. 2.6 ile hesaplanabilir.

$$\rho = \frac{p}{R \times T} \quad (2.6)$$

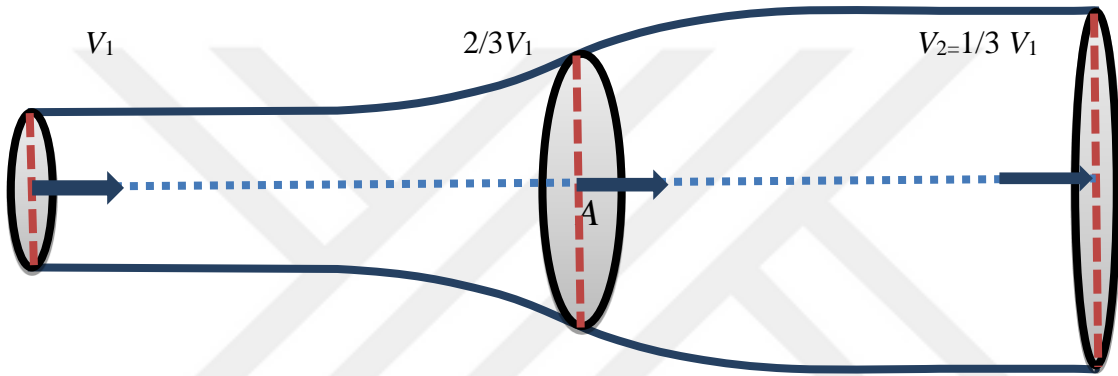
Eş. 2.5'de hava basıncı [Pascal,  $N/m^2$ ]  $p$  ile temsil edilirken  $R$  kuru hava için spesifik gaz sabitini ( $287,053 J/kgK$ ) ve  $T$  ise hava sıcaklığını (Kelvin,  $K$ ) simgelemektedir.



Enerji yoğunluğu,  $E_y$  ( $\frac{WS}{m^2Yu}$ ) ise Eş. 2.7 ile tanımlanabilir.

$$E_y = \frac{1}{2} \rho V^3 f_i \quad (2.7)$$

Burada  $f_i$  yıllık esme süresini ( $S/Yıl$ ) göstermektedir. Eş. 2.7'de görüldüğü gibi rüzgar enerjisinin rüzgar hızının küpüyle doğru orantılı olması nedeniyle rüzgar hızında küçük bir artış gerçekleşmesi durumunda üretilen güç oldukça artmaktadır. İdeal bir rüzgar tribününde hız değişimi ise Şekil 2.5'de görülmektedir.



Şekil 2.5. İdeal bir rüzgar türbininde hız değişimi (Carriveau, 2011)

Rotor içerisinde geçen rüzgar hızının sabit olduğu kabulü ile mekanik enerji, gelen rüzgarın  $V_1$  gelmesine rağmen yavaşlayarak türbini  $V_2$  hızı ile terk etmesi sonucunda elde edilir. Rüzgar hızı değişken olmasına rağmen rüzgar türbininde girişteki kütle akışı ile kanatlar arasında ve çıkıştaki kütle akışı, akış hacminin her yerinde daima sabittir (İlkılıç, 2003).

Euler teoremine göre rüzgarın rotor yüzeylerine uyguladığı kuvvet,  $F$ ;

$$F = \rho AV(V_1 - V_2) \quad (2.8)$$

olup rotor tarafından absorbe edilen güç;

$$P = FV = \rho AV^2(V_1 - V_2) \quad (2.9)$$

ile verilir. Güç, gelen rüzgarın pervaneden geçmesiyle taşıdığı kinetik enerjideki değişimin geçen zaman oranı olarak Eş. 2.10 ile verilebilir.

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2}mV_1^2 - \frac{1}{2}mV_2^2}{\Delta t} = \frac{1}{2}\dot{m}(V_1^2 - V_2^2) = \frac{1}{2}\rho AV(V_1^2 - V_2^2) \quad (2.10)$$

olup Eş. 2.9 ile Eş. 2.10 birbirine eşitlenirse

$$V = \frac{(V_1 + V_2)}{2} \quad (2.11)$$

elde edilir. Yani rotordaki  $V$  hızı rotora giren ve çıkan rüzgar hızlarının ortalamasıdır. Bu noktada rotoru terk eden rüzgar hızı  $V_2$ 'nin rotora gelen rüzgar hızı olan  $V_1$ 'e oranı aksenal akış indüksiyon faktörü ( $b$ ) olarak adlandırılmaktadır (Pamuk, 2013).

$$b = \frac{V_2}{V_1} \quad (2.12)$$

Rotor tarafından çekilen  $P$  gücü ile;

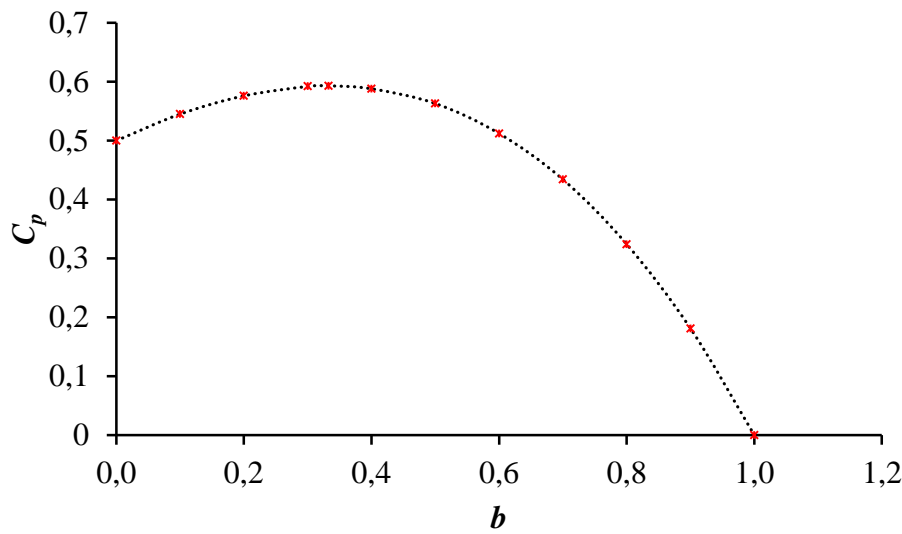
$$P = \frac{1}{4}\rho A(V_1^2 - V_2^2)(V_1 + V_2) = \frac{1}{4}\rho A(V_1^3)(1 - b^2)(1 + b) \quad (2.13)$$

$$P^o = \frac{1}{2}\rho AV_1^3 \quad (2.14)$$

rotora gelen rüzgarın akışını bozarak yavaşlamasına sebep olacak herhangi bir etkiyle karşılaşmadığı varsayımıyla çekilecek güç ( $P^o$ ) oranlanırsa Eş. 2.15 ile verilen performans katsayısı,  $C_p$  elde edilir.

$$C_p = \frac{P}{P^o} = \frac{1}{2}(1 - b^2)(1 + b) \quad (2.15)$$

Güç faktörü, güç katsayısı, rotor etkinliği gibi başka isimlerle de anılan  $C_p$ 'nin maksimum değerini hesaplamak için yukarıda ifadenin  $b$ 'ye göre türevi alınır ve sıfıra eşitlenirse elde edilecek birinci derece denklemin kökleri  $1/3$  ve  $-1$  olarak çıkar. Bu durumda rüzgar negatif değere ulaşamayacağı için maksimum  $C_p$  için  $b=1/3$  olarak kabul edilir. Bu değer Eş. 2.15'te yerine yazıldığında  $C_p$ 'nin maksimum  $0,5926$  değerini aldığı görülür. Bu değer Betz Limiti olarak adlandırılır ve yatay eksenli rüzgar türbinlerinin ulaşabileceği maksimum değeri gösterir. Performans katsayısı  $C_p$ 'nin  $b$ 'ye göre değişimi Şekil 2.6'da görülmektedir.



Şekil 2.6. Performans katsayısı  $C_p$ 'nin  $b$ 'ye göre değişimi (Ragheb ve Ragheb, 2011)

Teoride  $C_p$  için bu değer ifade edilse de aktarma organlarındaki mekaniksel ve elektriksel kayıplar, hava direnci, türbin etrafında oluşan türbülanslar nedeniyle türbinler bu değer altında çalışırlar (Yağcı,2013).

Performans katsayısının da hesaba katılmasıyla bir türbinden elde edilecek güç formülü Eş. 2.16 ile verilebilir.

$$P = C_p \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (2.16)$$

Farklı bir açıdan bakmak gerekirse; belirli bir alan içerisinde akan havanın (rüzgarın) kinetik enerjisinden üç kanatlı rüzgar türbini aracılığıyla dönen mile aktarılacak gücün Eş. 2.17'de verilmektedir.

$$P_e = \frac{1}{2} C_p(\lambda, \beta) \rho \pi R^2 V^3 \quad (2.17)$$

burada,  $\beta$  türbin kanat açısı, ve  $\lambda$  ise kanat uç-hız oranı olarak adlandırılmaktadır. Eş. 2.17'de görüldüğü gibi  $C_p$ , aynı zamanda türbinin dönme hızı ve türbin kanatlarının adım açısı ile temsil edilmektedir. Noktasal hız (kanat uç-hız) oranı,  $\lambda$  şu şekilde ifade edilir.

$$\lambda = \frac{\omega R}{V} \quad (2.18)$$

eşitliğinde  $R$  (m) rotor yarıçapını  $\omega$ (rad/s) kanat ucu açısal hızını göstermektedir.

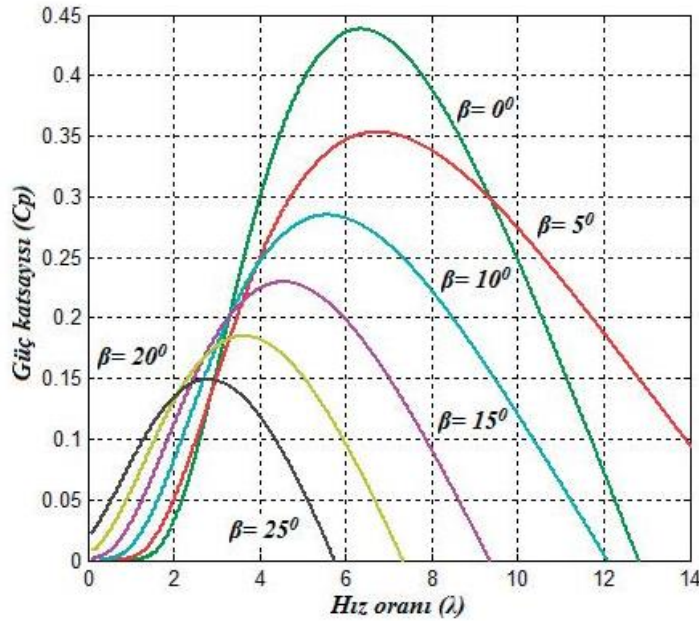
$C_p$ ,  $\lambda$  ile değişir.  $C_p$  ile  $\lambda$  arasındaki doğrusal olmayan ilişki herhangi bir türbin için deneysel olarak belirlenebilir.  $C_p$  katsayısını bütün hızlarda maksimumda tutabilmek için rotor açısal hızının  $C_p$ 'yi maksimumda tutacak  $\lambda$  değerine uygun ayarlanması gerekir. Bu durum sabit hızlı rüzgâr türbinlerinde rotor hız kanat eğim açısıyla, değişken hızlı rüzgâr türbinlerinde ise hem kanat eğim açısıyla hem de jeneratör tarafındaki inverter ile gerçekleştirilir.  $C_p$  için kesin bir bağıntı olmaması nedeniyle, benzetim uygulamalarında  $C_p$  katsayılarına birer polinom fonksiyonuyla yaklaşılabilir.

Akyazı ve Akpınar (2014) tarafından gerçekleştirilen üç kanatlı bir türbin tasarımı için geliştirilen  $\beta$  türbin kanat açısı ve  $\lambda$  ise kanat uç-hız oranının bir fonksiyonu olan  $C_p$  arasındaki ilişki Eş. 2.19 - 2.21'de görülmektedir. Benzer şekilde Errami ve diğerleri (2013) tarafından geliştirilen  $\beta$  türbin kanat açısı ve  $\lambda$  kanat uç-hız oranının bir fonksiyonu olan  $C_p$  arasındaki ilişki Eş. 2.20 ve 2.21'de verilmektedir. Belirli  $\beta$  değerleri için  $C_p$  ve  $\lambda$  arasındaki ilişki Eş. 2.19 ve 2.21 yardımıyla Şekil 2.7'de ki gibi verilebilir.

$$C_p(\lambda, \beta) = 0,22 \left( \frac{116}{\lambda_i} - 0,4\beta - 5 \right) e^{-\frac{12,5}{\lambda_i}} \quad (2.19)$$

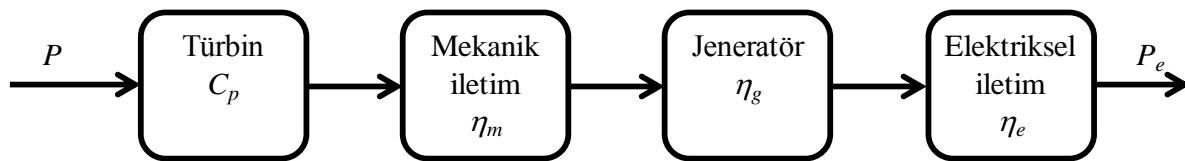
$$C_p(\lambda, \beta) = \frac{1}{2} \left( \frac{116}{\lambda_i} - 0,4\beta - 5 \right) e^{-\frac{21}{\lambda_i}} \quad (2.20)$$

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0,08\beta} - \frac{0,035}{1 + \beta^3} \quad (2.21)$$



Şekil 2.7. Belirli  $\beta$  değerleri için  $C_p$  ve  $\lambda$  arasındaki ilişki (Akyazı ve Akpınar, 2014)

Rüzgârdaki enerjinin ne kadarı yakalanabileceği ve elektriğe dönüştürülebileceği ile ilgili bir hesaplama yapmak söz konusu olduğu zaman rotor, dişli, jeneratör, elektriksel dönüştürücüler, kule ve kontrol sisteminin karakteristik büyüklükleri, bölgenin topolojisi, yüzey pürüzlülüğü, rüzgar hızı, rüzgar potansiyeli, atmosferik şartlar gibi birçok faktörün dikkate alınması gerekmektedir (Emeksiz, 2014). Temel bir rüzgar türbini sisteminin Şekil 2.8'de verildiği gibi oluştuğu kabul edilebilir.



Şekil 2.8. Rüzgar türbini elektrik üretim sistemi

Bu durumda  $V$  rüzgar hızında elde edilebilecek elektriksel güç;

$$P_e = C_p \eta_m \eta_g \eta_e P \quad (2.22)$$

ile verilebilir. Burada  $\eta_m$  transmisyon verimlilik katsayısını,  $\eta_g$  jeneratör verimliliğini ve  $\eta_e$  elektriksel iletim verimliliğini ifade etmektedir.

$\eta_t$  toplam verim olarak alınır;

$$\eta_t = C_p \eta_m \eta_g \eta_e \quad (2.23)$$

eşitliği yazılabilir. Bir türbin için Jeneratör çıkış gücü veya elektriksel güç, en genel halde;

$$P_e = \eta_t P \quad (2.24)$$

eşitliği ile ifade edilebilir.

Görüldüğü üzere bu kadar değişkeni hesaplamalara dahil etmek yerine kabuller ile tahminlerde bulunmak güç tahmini sürecini kısaltacaktır. Bu nedenle yıllık enerji miktarının hesaplanmasında genellikle rüzgâr türbinine ilişkin ortalama verim değerleri kullanılır. Ortalama rüzgâr türbini verimleri aşağıdaki gibi tahmin edilebilir:

- Rüzgâr türbinine ilişkin en yüksek verim: Betz limiti olarak % 59,3 ~ % 60 olarak hesaplanır.
- Optimum şartlarda modern rüzgâr türbinleri bu verimin ancak 3/4'ünü enerjiye çevirir. Jeneratör ve dişli kutusu ise bu enerjinin yaklaşık 2/3'ünü elektrik enerjisine çevirir.

Bu durumda  $\eta_t$ ;

$$\eta_t = C_p \eta_m \eta_g \eta_e = \frac{60}{100} \times \frac{3}{4} \times \frac{2}{3} = \%30 \quad (2.25)$$

olarak alınabilir (Tanrıöven, 2014).

### 2.2.2. Rüzgar hızının değişimi

Atmosferin alt katmanlarından itibaren yer yüzeyine yaklaştıkça fiziki engellere, arazinin topografik yapısına ve atmosferik şartlara bağlı olarak rüzgar hızı ve yönü değişir. Rüzgar hızı yüksekliğe bağlı olarak değişim göstermekle birlikte ve söz konusu değişim aşağıdaki eşitliğe uygun olarak gerçekleşir.

$$V_2 = V_1 \left( \frac{h_2}{h_1} \right)^\alpha \quad (2.26)$$

Burada  $V_1$ ,  $h_1$  (m) yüksekliğinde;  $V_2$ ,  $h_2$  (m) yüksekliğinde ölçülen rüzgar hızı olup  $\alpha$  ise Hellman katsayısı olarak isimlendirilir (Yağcı, 2013).

Hellman katsayısı yüzeyin özelliği ve atmosferik durumdan etkilenmektedir. Yüzeylerin genel özelliklerine göre Hellman katsayısı,  $\alpha$  değerleri Çizelge 2.3’de verilmektedir. Bu yöntemi uygulayabilmek için en az iki farklı yükseklik için rüzgar hızı verilerinin olması gerekir. Farklı yüksekliklere göre elde edilen rüzgar hızı verisinin Eş. 2.26’da yerine konulmasıyla  $\alpha$  hesaplanır. Çizelge 2.4’de pürüzlülük uzunluğu ve yüzeylere göre pürüzlülük sınıfları verilmektedir. Eş. 2.27 ile Çizelge 2.4’de verilen pürüzlülük uzunluğu değeri farklı bir yükseklik için yeni rüzgar hızı değerini tahmin etmede kullanılır. Diğer yönüyle tek rüzgar hızı olması durumunda  $\alpha$  değerinin tahmin edilmesi gerekir ki, Çizelge 2.3 dikkate alındığında hata oranının yüksek olması mümkündür. En az üç verinin bilinmesi halinde Eş. 2.26 ile elde edilen tahmini rüzgar hızları ve ölçülen hızlar karşılaştırılabilir.

Çizelge 2.3. Hellman katsayısı (Yağcı, 2013)

Yüzey Cinsi	Hellman katsayısı, $\alpha$
Göl, okyanus veya düz ve sert yüzey	0,10
Çimenlik alan	0,15
Uzun mahsuller, çit veya çalılıklar	0,20
Sık ağaçların olduğu ormanlık arazi	0,25
Az sayıda ağaç ve çalılık barındıran küçük şehirler	0,30
Yüksek binaların bulunduğu kentsel alanlar	0,40

Çizelge 2.4. Pürüzlülük uzunluğu ve yüzeylere göre pürüzlülük sınıfları (Elkinton ve diğerleri, 2006).

Pürüzlülük Uzunluğu, $z_0$ (m)	Yüzey yapısı karakteristikleri	Pürüzlülük sınıfı
0,50	Büyük şehirlerin varoşları, taşra kentleri	3
0,30	Siper kuşakları, orman, küçük binalı şehir	
0,20	Birçok ağaç veya çalılar, tek ya da iki katlı seyrek binalar	2
0,10	Kapalı görünümlü çiftlik arazisi, seyrek ağaçlık	
0,05	Açık görünümlü çiftlik arazisi, seyrek ağaçlık	1
0,03	Çok seyrek bina ve ağaçlı çiftlik arazisi	
0,02	Havaalanları	
0,01	Havaalanı pistleri	
0,007	Biçilmiş çim	0
0,005	Pürüzsüz çıplak toprak	
0,001	Pürüzsüz kar yüzeyleri	
0,0003	Pürüzsüz kum yüzeyleri	
0,0001	Su yüzeyleri (Göl,deniz,okyanus)	

Bilinen belirli bir yükseklik ve hız verisine dayanarak başka bir yükseklik için rüzgar hızını tahmin etmek için kullanılan bir başka yöntem ise logaritmik güç kanunudur. Bir bölgenin rüzgar profilini ve potansiyelini belirlemede bölgenin çevre şartları, orografik ve coğrafi yapısı çok büyük önem taşır (Ashrafi ve diğerleri, 2018). Bu yöntemde bölgenin yüzey pürüzlülük yüksekliği kavramı kullanılır. Çizelge 2.4'de yüzey pürüzlülük yüksekliği,  $z_0$  teorik olarak rüzgar hızının sıfır olduğu yükseklik olarak tanımlanabilir.

Sadece bir yükseklikte yapılan rüzgar hızı ölçümleri rüzgâr hızının logaritmik bir kanunla değiştiği kabulü ile de Hatay meteoroloji istasyonunda 10 m'de ölçülen veriler Logaritmik kanun olarak adlandırılan Eş. 2.27 kullanılarak 30 m ve 50 m Hub (Rotor öbeği) yüksekliğindeki değerlere uyarlanmıştır (Simiu, 1973).

$$V_2 = V_1 \left[ \ln \left( \frac{h_2}{z_0} \right) \div \ln \left( \frac{h_1}{z_0} \right) \right] \quad (2.27)$$



İngiltere'de kentsel rüzgar kaynağı değerlendirmesi amacıyla yapılmış bir çalışmada ise baz alınan pürüzlülük uzunluğu  $z_o$  (m) değerleri Çizelge 2.5'de görülmektedir.

Çizelge 2.5. Kentsel  $z_o$  pürüzlülük uzunlukları (Syngellakis ve Traylor, 2007)

Pürüzlülük yüksekliği (m)	Yüzey yapısı karakteristikleri
0,0002	Su yüzeyi
0,0024	Pürüzsüz bir yüzeye, tamamen açık arazi, havaalanlarında beton pist, biçilen ot, v.b.
0,03	Çiti olan ya da olmayan, dağınık, bina bulunmayan açık tarım alanları, sadece yumuşak yuvarlak tepeler.
0,055	8 m boyunda çitleri barındıran tarım arazisi iki bina arası 1250 m'ye kadar
0,1	8 m boyunda çitleri barındıran tarım arazisi. (iki bina arası 500 m'ye kadar)
0,2	Çok sayıda ev, çalılar ve bitkiler, ya da 8 m boyunda çitleri bulunabilen ev ile tarım arazisi. (iki bina arası 250 m'ye kadar)
0,4	Köyler, kasabalar, birçok çitlerle çevrili ev bulunan tarımsal araziler, orman ve çok kaba ve düzensiz arazi
0,8	Yüksek binalara sahip büyük şehirler
1,6	Yüksek binaları ve gökdelenleri bulunan çok büyük şehirler

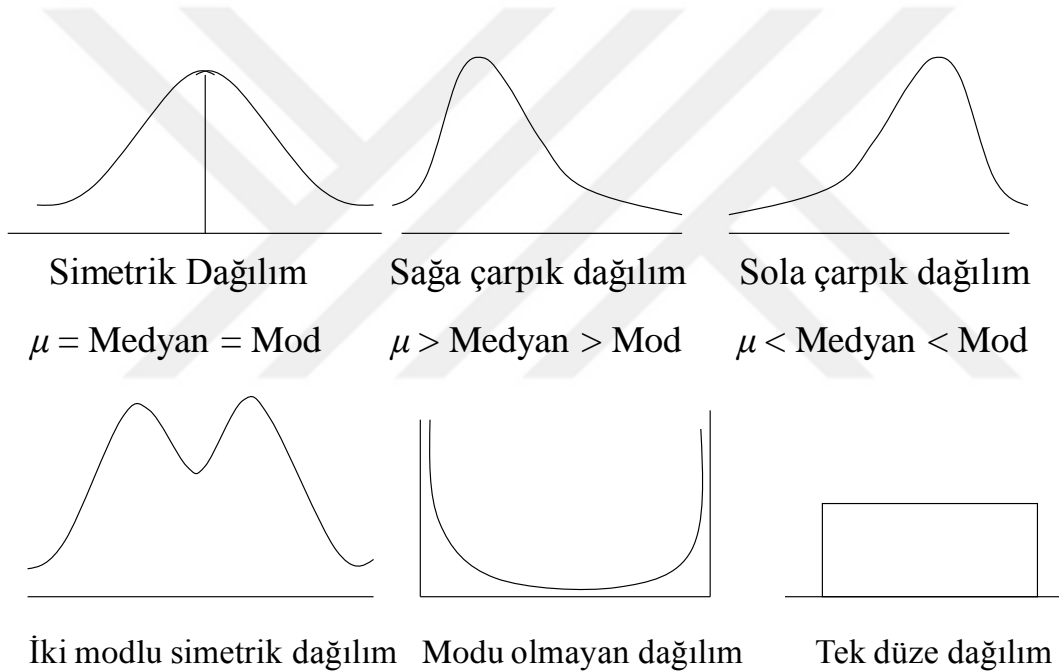
### 2.2.3. Rüzgar istatistiği

Aritmetik ortalama istatistikte ve günlük hayatta çok kullanılan ve bilinen bir merkezi eğilim ölçüsüdür. Bir seri verinin aritmetik ortalaması ve sadece ortalaması denildiği zaman gözlemlerin merkezi yerinde bulunan değer anlaşılmaktadır (Çakıcı ve diğ., 2000, s.31). Bu değeri elde etmek için gözlem değerleri toplanarak gözlem sayısına bölünür. Rüzgar hızı için ortalama,  $\mu_v$ ;

$$\mu_V = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i \quad (2.28)$$

ile verilir.

Sınıflandırılmamış verilerde en sık tekrar eden değer tepe değeri Mod olarak adlandırılır. Seriyi ortalayıcı değer ortanca (Medyan) hesaplanırken, veriler öncelikle küçükten büyüğe doğru sıralanırlar. Gözlem sayısı,  $n$  çift ise  $(n/2)$ 'nci değer ile  $(n/2) + 1$ 'nci değerlerin ortalaması,  $n$  tek ise  $(n+1)/2$ 'nci değer ortancadır.  $\mu$ , Mod ve Medyan değerleri birbirine eşit ise sıklık dağılımı simetriktir.  $\mu < \text{Medyan} < \text{Mod}$  ise dağılım sola çarpıktır. Şekil 2.9'da  $\mu$ , Mod ve Medyan değerlerine bağlı olarak dağılım şekilleri görülmektedir.



Şekil 2.9.  $\mu$ , Mod ve Medyan değerlerine bağlı olarak dağılım şekilleri

Bir veri dağılımındaki değişimin önemli bir ölçüsü varyanstır. Varyansın karekökü alınarak standart sapma elde edilir. Standart sapma  $\sigma$  ise varyans,  $\sigma^2$  aşağıda verilen eşitlik ile bulunabilir.

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \mu_V)^2}{n} \quad (2.29)$$

Dağılımın ortalamaya göre biçimine ilişkin bazı bilgileri çarpıklık ve basıklık katsayıları ile öğrenilebilir.  $\mu$ , Mod ve Medyana bakarak çarpıklığın olup olmadığı, eğer varsa yönü hakkında yorumlar yapılabilir. Ancak çarpıklığın büyüklüğü ya da çarpıklık katsayısı  $\gamma_1$  aşağıda verilen eşitlik ile elde edilebilir (İnternet, 2012; Çelebi, 2007).

$$\gamma_1 = \frac{\sum_{i=0}^n (V_i - \mu)}{n\sigma^3} \quad (2.30)$$

Basıklık Katsayısı  $\gamma_2$  ise aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir.

$$\gamma_2 = \frac{\sum_{i=0}^n (V_i - \mu)^4}{n\sigma^4} - 3 \quad (2.31)$$

Bu bir ölçü olarak kullanılırsa basıklık fazlalığı olarak düşünülebilir. Eşitliğin son terimi olan “eksi 3” çok kere basıklık belirleme formülüne yapılan bir ayarlama olarak açıklanır. Bu ayarlama sayesinde, normal eğrisinin basıklık ölçüsü değeri sıfır olur (İnternet, 2009).

#### 2.2.4. Olasılık dağılımları

Olasılık dağılımları, matematiksel işlemlerde ve özellikle olasılık teorisinde sıkça kullanılmaktadır (Kasap ve Civelek, 2002).

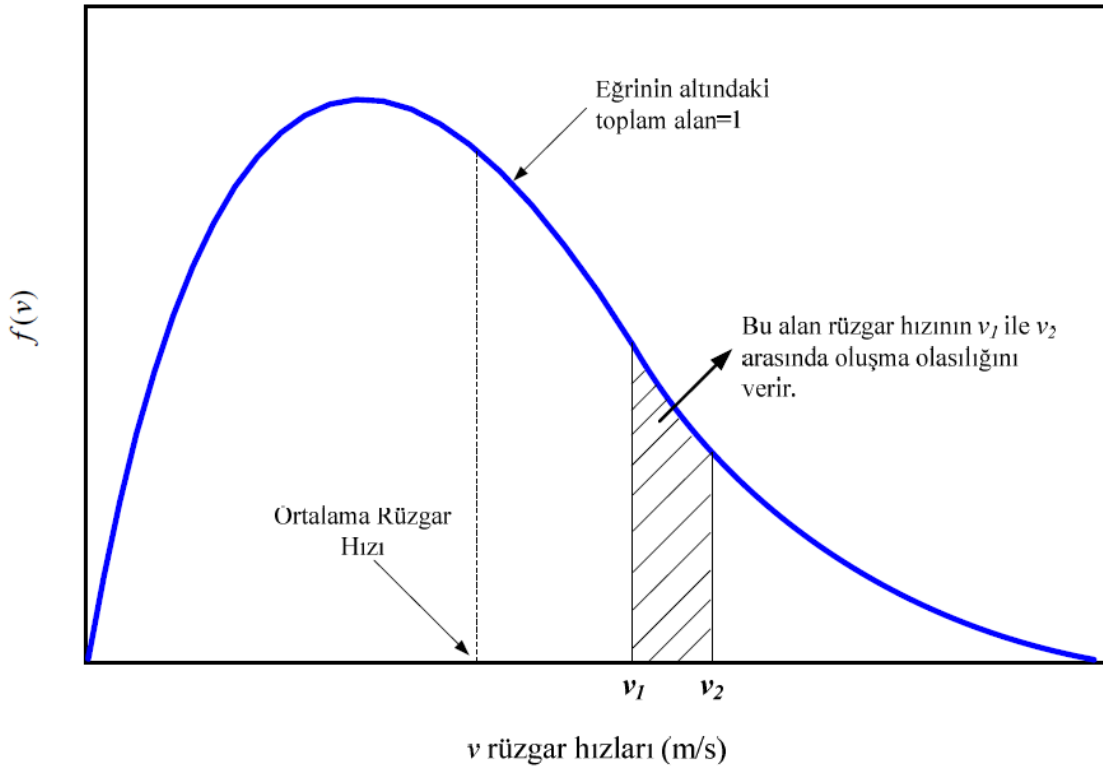
Olasılık dağılımı en genel manada bir rassal olayın ortaya çıkabilmesi için değerleri ve olasılıkları tanımlarken, olasılık teorisinde bir rastlantı değişkeninin herhangi bir değeri almasını ve değerlerin verilen düzeye ait olma olasılığını belirleyen fonksiyonu ifade etmektedir. Bir sürekli olasılık dağılımı ise değerleri sürekli olan bir açıklıkta tanımlar ve tek bir değer için olasılık sıfıra eşittir (Sındırgı, 2015).

Olasılık Teorisi uygulamalarında olasılık fonksiyonu veya olasılık yoğunluk fonksiyonunun bulunması, yapılacak araştırmaların en önemli aşamasını oluşturmaktadır. Bu manada, uygulamada kolaylık sağladığı için olasılık dağılımından ziyade olasılık yoğunluk fonksiyonu (OYF) daha yaygın kullanılmaktadır (Görmüş, 2013).

Rüzgâr hızı gibi sürekli ve rassal bir  $x$  değişkeninin belli bir aralıkta olma olasılığı OYF ile hesaplanabilir. Şekil 2.10'da rüzgâr hızına ilişkin olasılık yoğunluğu fonksiyonunun temsili şekli görülmektedir. Rassal değişkeninin olasılığının süreklilik arz etmesi durumunda değişkene ait Şekil 2.10'da temsili olarak gösterilen OYF aşağıdaki verilen özellikleri taşımaktadır:

- OYF  $f(x)$  ile gösterilir.
- $V$ 'nin bütün değerleri için  $f(V) \geq 0$  (eğri yatay eksenini kesmez)'dir.
- OYF eğrisi altında kalan alan 1'e eşittir. ( $\int_{-\infty}^{\infty} f(V)dV = 1$ )
- $x$  rassal değişkeninin  $a$  ve  $b$  değerleri arasında bir değer olma olasılığı, OYF eğrisi altında bu iki değer arasında kalan alana eşittir.

Rüzgâr hızına ilişkin olasılık yoğunluğu fonksiyonu Şekil 2.10'da görülmektedir.



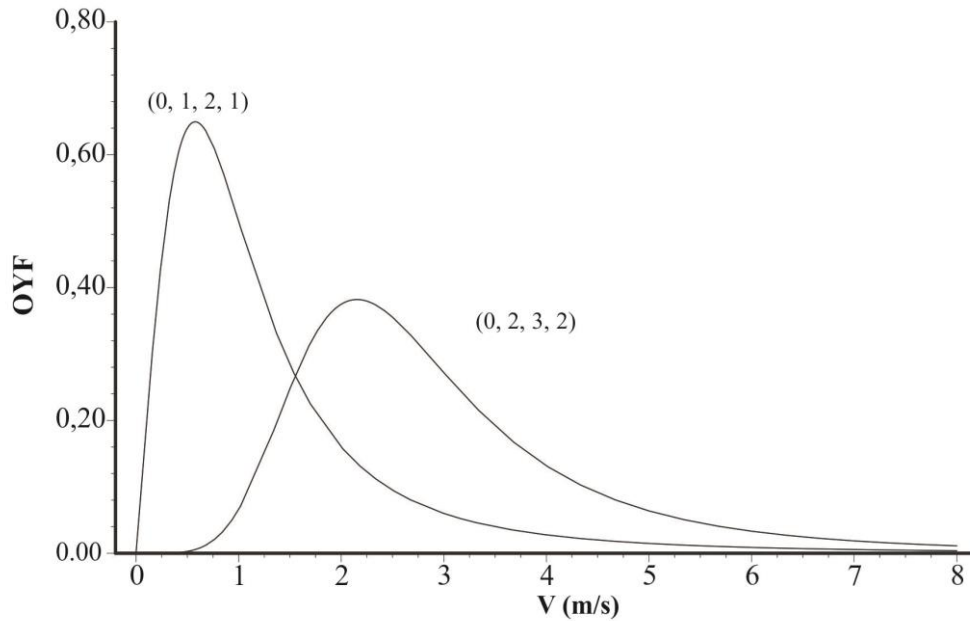
Şekil 2.10. Rüzgâr hızına ilişkin olasılık yoğunluğu fonksiyonu (Tanrıöven, 2014).

### 2.2.5. Dört parametrelı Burr Dağılımı

İlk kez Burr (1942) tarafından önerilen Burr olasılık dağılımları ailesi, risk analizi, güvenilirlik analizi, süreç yeterlilik analizi ve yaşam analizi gibi rassal değişkene sahip stokastik olayları modellemede başarı ile kullanılmaktadır (Burr, 1942; Rodriguez, 1977).

Genel olarak on iki farklı fonksiyon tipine sahip Burr dağılımı ailesinde iki parametrelı Burr III OYF, Normal, Lognormal, Weibull, Gamma gibi birçok popüler dağılıma oldukça uygun bir yaklaşım gösterir. Bununla beraber Tadikamalla (1980) tarafından önerilen dört parametrelı Burr III (Burr (4P) dağılımı ise esnek yapısıyla farklı şekillere sahip daha geniş dağılımları da kapsayacak yapıya sahiptir.

Şekil 2.11’da verilen şekilde iki farklı parametre setine sahip Burr (4P) dağılımı OYF grafiği görölmektedir.



Şekil 2.11. İki farklı parametre setine sahip Burr (4P) dağılımı OYF grafiği

Değişkenin rassal ve pozitif tanımlı olduğu veri guruplarının modellenmesinde başarı ile kullanılan Burr dağılımı, rüzgar hızı modellemesi için Lo Brano ve diğerleri (2011) tarafından da kullanılmış ve model olarak önerilmiştir. Bu çalışma kapsamında değişken olarak rassal ve pozitif olması nedeniyle rüzgar hızı sıklık dağılımının belirlenmesinde Burr

(4P) olasılık dağılım fonksiyonu model olarak kullanılmıştır. Burr (4P) olasılık yoğunluk fonksiyonunun genel formu Eş. 2.32’de verilmektedir (Zoraghi ve diğerleri, 2012).

$$f(V) = \frac{\alpha_B k_B}{\beta_B} \left( \frac{V - \gamma_B}{\beta_B} \right)^{-\alpha_B - 1} \left( 1 + \left( \frac{V - \gamma_B}{\beta_B} \right)^{-\alpha_B} \right)^{-k_B - 1} ; k_B > 0, \alpha_B \leq 100; \beta_B > 0; V > \gamma_B, \quad (2.32)$$

Burada  $V$  rüzgar hızı (m/s),  $k_B$  ve  $\alpha_B$  sırasıyla boyutsuz şekil parametresi,  $\gamma_B$ , yer parametresi ve  $\beta_B$  ise ölçek (m/s) parametreleri olarak isimlendirilmektedir. Dağılımın kümülatif dağılım fonksiyonu ise Eş. 2.33’de verilmektedir.

$$F(V) = 1 - \left( 1 + \left( \frac{V - \gamma_B}{\beta_B} \right)^{-\alpha_B} \right)^{-k_B} \quad (2.33)$$

### 2.2.6. MOM ile Burr parametrelerinin tahmini

Olasılık dağılımlarının sahip olduğu parametreleri kestirmek için maksimum olabilirlik tahmini, Bayesci tahmin ve moment metodu gibi yöntemler kullanılmaktadır (Danish ve Aslam, 2014).

Bu çalışmada ise Burr dağılımının parametrelerini tespit etmek için bilgisayarların gelişmesiyle birlikte dağılım modellerinde bilinmeyen parametreleri tahmin etmek için yaygın olarak kullanılmaya başlanan, genel regülerlik (tersinirlik) koşulları altında tutarlı ve asimptotik olarak normal dağılıma özelliği gösteren Maksimum Olabilirlik Metodu (MOM) kullanılmıştır (Açıkgöz, 2007).

Burr (4P) dağılımına sahip bir kitleden alınmış örneklem için olabilirlik ve Log-olabilirlik fonksiyonları Eş. 2.34 ve Eş. 2.35 ile verilmektedir.

$$f(V_1, V_2, \dots, V_N; k_B, \alpha_B, \beta_B, \gamma_B) = \prod_{i=1}^n \left[ \frac{\alpha_B k_B}{\beta_B} \left( \frac{V_i - \gamma_B}{\beta_B} \right)^{-\alpha_B - 1} \left( 1 + \left( \frac{V_i - \gamma_B}{\beta_B} \right)^{-\alpha_B} \right)^{-k_B - 1} \right] \quad (2.34)$$

$$\ln(L(V_1, V_2, \dots, V_N; k_B, \alpha_B, \beta_B, \gamma_B)) = L_B(n) = n \ln \left( \frac{\alpha_B k_B}{\beta_B} \right) + \sum_{i=1}^n \left[ (-k - 1) \ln \left( 1 + \left( \frac{V_i - \gamma_B}{\beta_B} \right)^{-\alpha_B} \right) + (-\alpha_B - 1) \ln \left( \frac{V_i - \gamma_B}{\beta_B} \right) \right] \quad (2.35)$$

Log-olabilirlik fonksiyonunun  $k_B, \alpha_B, \beta_B$  ve  $\gamma_B$  parametreleri için ayrı ayrı türevinin alınması durumunda ortaya çıkacak olan maksimum olabilirlik parametre tahminci denklem takımı Eş. 2.35'in analitik olarak çözümü bulunmamaktadır. Bu nedenle dört farklı parametreye bağlı olarak ortaya çıkan ve Eş. 2.36 ile verilen denklem takımının birlikte çözümü için iteratif çözüm olarak Newton-Raphson yöntemi kullanılabilir (Akdoğan, 2011; Belaghi ve diğerleri, 2015).

$$\begin{aligned} \frac{\partial(L_B(n))}{\partial k_B} = 0; \frac{\partial(L_B(n))}{\partial \alpha_B} = 0 \\ \frac{\partial(L_B(n))}{\partial \beta_B} = 0; \frac{\partial(L_B(n))}{\partial \gamma_B} = 0 \end{aligned} \quad (2.36)$$

Burr (4P) dağılımı için  $r$ 'nci momenti ya da diğer bir deyişle Moment Çıkaran Fonksiyon ( $E_B$ ) aşağıda verilmektedir.

$$E_B(V^r) = \int_0^{\infty} V^r \frac{\alpha_B k_B}{\beta_B} \left( \frac{V - \gamma_B}{\beta_B} \right)^{-\alpha_B - 1} \left( 1 + \left( \frac{V - \gamma_B}{\beta_B} \right)^{-\alpha_B} \right)^{-k_B - 1} ; r = 1, 2, \dots, i \quad (2.37)$$

Dağılımın birinci momenti, yukarıda verilen  $E_B$ 'de  $r$  yerine 1 yazılması sonucu elde edilir. Bu durumda birinci moment aşağıda verilen eşitlikte görüldüğü gibi dağılımın ortalama değerini ya da bu çalışma kapsamında kullanılan veri itibariyle m/s cinsinden ortalama hızı ( $\mu_B$ ) ifade etmektedir.

$$\mu_B = \gamma_B + \frac{\beta_B \left[ \Gamma\left(1 - \frac{1}{\alpha_B}\right) \Gamma\left(\frac{1}{\alpha_B} + k_B\right) \right]}{\Gamma(k)} \quad (2.38)$$

burada,  $\Gamma(\dots)$  ise Gamma fonksiyonunu ifade eder. Gamma fonksiyonu Eş. 3.39'da verilen genelleştirilmiş integral yardımıyla hesaplanabilir (Şahin, 2011).

$$\Gamma(n) = \int_0^{\infty} e^{-x} x^{n-1} dx \quad (2.39)$$

ikinci, üçüncü ve dördüncü derece  $E_B$  ise sırasıyla Eş. 2.40 - 2.42'de görüldüğü gibi dağılımın varyansını ( $\sigma_B^2$ ), çarpıklığını ( $\gamma_{B1}$ ) ve basıklığını ( $\gamma_{B2}$ ) ifade etmektedir.

$$\sigma_B^2 = \frac{k\beta^2}{\Gamma^2(k)} \quad (2.40)$$

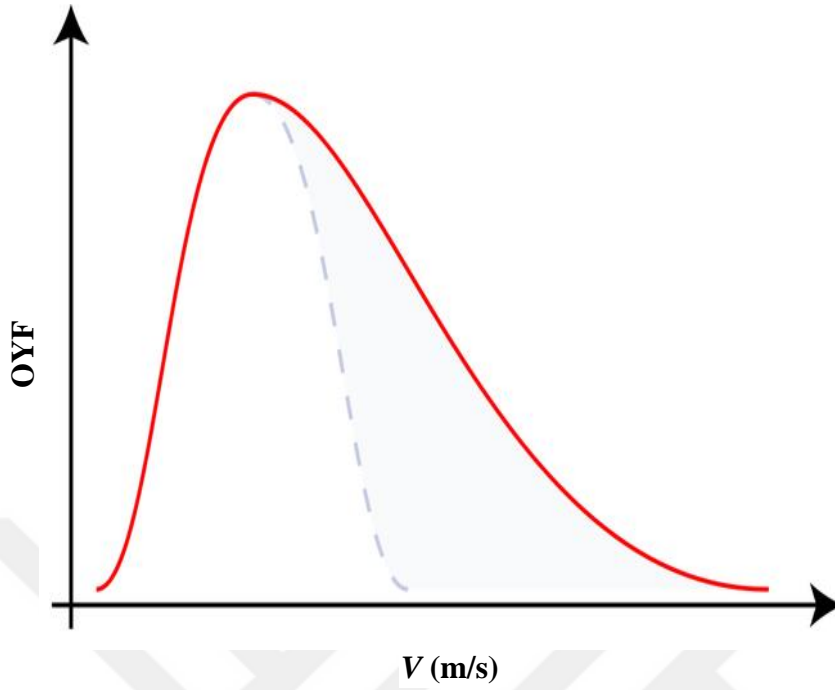
$$\gamma_{B1} = \frac{\Gamma^3(k)}{\sqrt{K^3}} \times \left[ \frac{2\Gamma^3\left(1-\frac{1}{\alpha}\right)\Gamma^3\left(\frac{1}{\alpha}+k\right)}{\Gamma^3(k)} - \frac{3\Gamma\left(1-\frac{2}{\alpha}\right)\Gamma\left(1-\frac{1}{\alpha}\right)\Gamma\left(\frac{1}{\alpha}+k\right)\Gamma\left(\frac{2}{\alpha}+k\right)}{\Gamma^2(k)} + \frac{\Gamma\left(1-\frac{3}{\alpha}\right)\Gamma\left(\frac{3}{\alpha}+k\right)}{\Gamma(k)} \right] \quad (2.41)$$

$$\gamma_{B2} = -3 + \frac{\Gamma^4(k)}{K^2} \times \left[ \frac{-3\Gamma^4\left(1-\frac{1}{\alpha}\right)\Gamma^4\left(\frac{1}{\alpha}+k\right)}{\Gamma^4(k)} + \frac{6\Gamma\left(1-\frac{2}{\alpha}\right)\Gamma^2\left(1-\frac{1}{\alpha}\right)\Gamma^2\left(k+\frac{1}{\alpha}\right)\Gamma\left(k+\frac{2}{\alpha}\right)}{\Gamma^3(k)} \right] - \frac{\Gamma^4(k)}{K^2} \left[ \frac{4\Gamma\left(1-\frac{3}{\alpha}\right)\Gamma\left(1-\frac{1}{\alpha}\right)\Gamma\left(k+\frac{1}{\alpha}\right)\Gamma\left(k+\frac{3}{\alpha}\right)}{\Gamma^2(k)} - \frac{\Gamma\left(1-\frac{4}{\alpha}\right)\Gamma\left(\frac{4}{\alpha}+k\right)}{\Gamma(k)} \right] \quad (2.42)$$

Diğer yandan bir dağılımın mod'u ve medyanı ise dağılım için oluşturulan frekans sıklığı grafiğinin şekli hakkında bilgi vermektedir. Örneğin simetrik bir dağılım için dağılımın modu ( $V_{BMD}$ ), Medyanı ( $V_{BMDY}$ ) ve ortalaması ( $\mu_B$ ) biri birine eşittir ve herhangi bir yöne doğru çarpıklıktan bahsedilemez.

Aşağıda verilen şekilde ise  $\mu_B > V_{BMDY} > V_{BMD}$  olması durumunda sağa çarpık olan dağılım grafiği Şekil 2.12'de görülmektedir.





Şekil 2.12. Sağa çarpık Burr (4P) dağılımı temsili grafiği

Burr (4P) dağılımı için  $V_{BMD}$  ve  $V_{BMDY}$  ile ilgili eşitlikler ise aşağıda verilmektedir.

$$V_{BMD} = \gamma_B + \beta_B \alpha_B \sqrt{\frac{\alpha_B k_B - 1}{\alpha_B + 1}} ; \alpha_B k_B > 1 \quad (2.43)$$

$$V_{BMDY} = \gamma_B + \beta_B \left( \sqrt[k_B]{2} - 1 \right)^{-1} \alpha_B \quad (2.44)$$

### 2.2.7. Üç parametrelili Genelleştirilmiş Gamma dağılımı

Üstel, Chi-square, Weibull, gamma gibi bilinen dağılımların özel durumlarını ve özellikle Gamma ve Weibull dağılımlarının kapsayıcı özelliklerini birleştirmek amacıyla tanımlanan Genelleştirilmiş Gamma dağılımı oldukça kullanışlı ve esnek bir dağılımdır (Yılmaz, 2011). Amoroso, (1924) tarafından maliyet dağılımı analizi için tanımladığı fonksiyon ile Genelleştirilmiş Gamma dağılımına atfen bir yaklaşımda bulunmuştur. Ancak Genelleştirilmiş Gamma dağılımı (Gen. Gamma) ilk olarak Stacy, (1962) tarafından bugünkü bilinen formuna kavuşmuştur. Coulson ve diğerleri (1998) tarafından haberleşme sistemlerinde sönümlenme koşullarının matematiksel dağılım fonksiyonları ile karakterize edilmesi için Gen. Gamma model olarak kullanılmıştır.

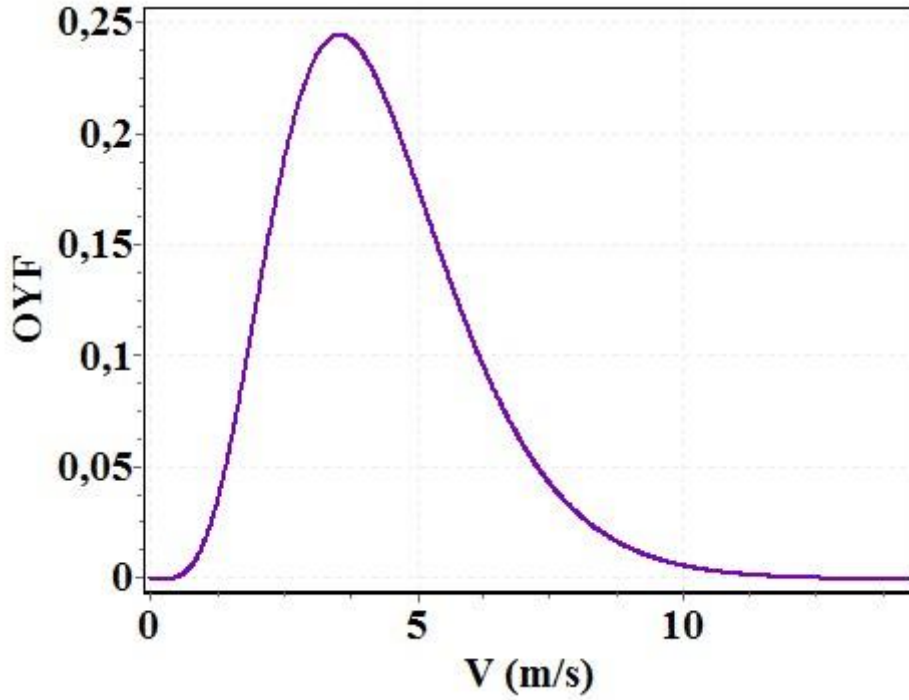
Kiss ve Jánosi (2008) Avrupa rüzgar hızı verilerini içeren ERA-40 veri bankasına Gen. Gamma uygulamışlar ve verilerin modellenmesinde başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. Yine Morgan ve diğerleri (1998) tarafından da kullanılan Gen. Gamma modeli ile açık deniz rüzgar hızı modellenmesi başarılı olmuştur.

Yukarıda bahsi geçen araştırmacıların yapmış olduğu çalışmalardan elde edilen olumlu sonuçlar nedeniyle bu çalışma kapsamında rüzgar hızı modellenmesi için ikinci dağılım modeli olarak Gen. Gamma tercih edilmiştir.

Genelleştirilmiş Gamma dağılımı üç parametrelili bir olasılık yoğunluk fonksiyonuna sahiptir. Rüzgar hızı bir rassal değişken olmak üzere bütün  $V$  değerlerinin dağılımı  $\theta$ ,  $\beta$  ve  $\lambda$  parametrelili Gen. Gamma'ya uyuyorsa, olasılık fonksiyonu şu şekilde ifade edilir:

$$f(V) = \frac{\lambda_G}{\theta_G \Gamma(\beta_G)} \left( \frac{V}{\theta_G} \right)^{\lambda_G \beta_G - 1} e^{-\left( \frac{V}{\theta_G} \right)^{\lambda_G}} ; V > 0, \theta_G > 0, \beta_G > 0, \lambda_G > 0 \quad (2.45)$$

Burada sırasıyla  $\theta_G$ , ölçek parametresini (m/s) gösterirken  $\beta_G$  ve  $\lambda_G$  ise şekil parametrelerini ifade etmektedir. Şekil 2.13'de  $\beta=7,11$  ve  $\lambda=0,9$  için sağa çarpık Gen. Gamma dağılımı grafiği görülmektedir.



Şekil 2.13.  $\beta=7,11$  ve  $\lambda=0,9$  için sağa çarpık Gen. Gamma dağılımı grafiği

Gen. Gamma dağılımının belirli parametre değerleri için farklı dağılım ailelerine dönüşümü söz konusudur. Örneğin Gen. Gamma parametreleri olan  $\beta_G=1$  ve  $\lambda_G=1$  olması durumunda üstel dağılım modeli elde edilir.  $\lambda_G=1$  olması durumunda ise Gamma ve  $\beta_G=1$  olması durumunda ise Weibull dağılımı modelleri elde edilir. Diğer yandan  $\theta_G=2$ ,  $\beta_G=n/2$ ,  $\lambda_G=1$  ise Gen. Gamma, Chi-square dağılımı modeline dönüşür. Gen. Gamma birikimli (kümülatif) olasılık yoğunluk fonksiyonu ise aşağıda verilmektedir.

$$F(V; \theta_G, \beta_G, \lambda_G) = \frac{\Gamma_Z(\beta_G)}{\Gamma(\beta_G)} \quad (2.46)$$

Burada;

$$Z = \left( \frac{V}{\theta_G} \right)^{\lambda_G} \quad (2.47)$$

$$\Gamma_Z(\beta) = \int_0^Z t^{\beta-1} e^{-t} dt \quad (2.48)$$

ile verilmektedir.

Öte yandan Gen. Gamma'nın  $r$ 'nci momenti ise;

$$E_{GGD}(V^r) = \theta^r \Gamma^{-1}(\beta) \Gamma(\beta + r / \lambda) \quad (2.49)$$

ile verilir. Rassal değişken  $x$ 'in dağılımı Gen. Gamma şekline sahip ise  $x^{\lambda_G}$  iki parametrelili gamma  $(\theta_G^{\lambda_G}, \beta_G)$  dağılımı şeklinde dağılır. Bu özellik Gen. Gamma parametrelerinin tahmini sürecinde başlangıç kabulü olarak kullanılır. Gen. Gamma; Weibull, üstel ve gamma dağılımlarına göre daha genel bir modeldir. Üstelik Hager ve Bain'e (1970) göre 200 ve üzeri örnek sayısına sahip modelleme problemlerinde Weibull dağılımından daha iyi sonuçlar ürettiğini ifade etmiştir.

### 2.2.8. MOM ile GEN. Gamma parametrelerinin tahmini

Stacey ve mihran, (1965), Parr ve Webster, (1965) ve Prentice (1974) tarafından MOM ile Gen. Gamma parametrelerini tahmin etmek çalışmaları yapılmıştır. Bu bağlamda  $n$  tane bağımsız rüzgar hızı gözlemi için Likelihood fonksiyonu aşağıdaki gibi verilebilir.

$$f(V_1, V_2, \dots, V_n; \theta_G, \beta_G, \lambda_G) = \prod_{i=1}^n \{ \theta_G \Gamma(\beta_G) \}^{-1} \lambda_G (\theta_G^{-1} V_i)^{\lambda_G \beta_G - 1} \exp \left\{ - (\theta_G^{-1} V_i)^{\lambda_G} \right\} \quad (2.50)$$

Buradan log-likelihood fonksiyonu ise;

$$L_G(n) = \ln f(V_1, V_2, \dots, V_n; \theta_G, \beta_G, \lambda_G) \quad (2.51)$$

$$L_G(n) = n \ln(\lambda_G) - n \lambda_G \beta_G \ln(\theta_G) - n \ln[\Gamma(\beta_G)] + (\lambda_G \beta_G - 1) \sum_{i=1}^n \ln(V_i) - \frac{1}{\theta_G^{\lambda_G}} \sum_{i=1}^n V_i^{\lambda_G} \quad (2.52)$$

olarak bulunur. Eş. 2.52'de  $L_G(n)$  için sırasıyla  $\theta_G, \beta_G$  ve  $\lambda_G$ 'e göre birinci dereceden türevi alınırsa MOM parametre tahminci eşitlik takımı elde edilir. Elde edilen eşitlikler ise çözüm için sıfıra eşitlenir.

$$\begin{aligned}
-n\beta_G + \sum_{i=1}^n \left( \frac{V_i}{\theta_G} \right)^{\lambda_G} &= 0 \\
-n\psi(\beta_G) + \lambda_G \sum_{i=1}^n \ln \left( \frac{V_i}{\theta_G} \right) &= 0 \\
\frac{n}{\beta_G} + \beta_G \sum_{i=1}^n \ln \left( \frac{V_i}{\theta_G} \right) - \sum_{i=1}^n \left( \frac{V_i}{\theta_G} \right)^{\lambda} \ln \left( \frac{V_i}{\theta_G} \right) &= 0
\end{aligned} \tag{2.53}$$

Burada  $\psi(\dots)$  Digamma fonksiyonu olup Eş. 3.54'de verilmektedir.

$$\psi(\beta_G) = d [\ln \Gamma(\beta_G)] / d\beta_G \tag{2.54}$$

Ancak  $\theta_G, \beta_G$  ve  $\lambda_G$  parametrelerini bulmak için yukarıdaki üçlü eşitlik takımı aynı anda çözümlenmelidir. Bununla beraber  $\theta_G, \beta_G$  ve  $\lambda_G$  için kapalı formda bir çözüm bulunmadığı için aynı anda çözümü sağlayacak iteratif çözüm tekniğine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktada Hager ve Bain (1970) Newton-Raphson metodunun yeterli bir çözüm tekniği olmadığını ifade etmiştir. Diğer yandan Gen. Gamma parametrelerini tahmin etmek için dağılımın ilk dört momentine ihtiyaç vardır (Khodabin, 2010).

Gen. Gamma için ilk dört moment aşağıda verilmektedir.

$$\mu_G = \theta \frac{\Gamma(\beta_G + \lambda_G^{-1})}{\Gamma(\beta_G)} \tag{2.55}$$

$$\sigma_G^2 = \theta^2 \left[ \frac{\Gamma\left(\beta_G + \frac{2}{\lambda_G}\right)}{\Gamma(\beta_G)} - \left[ \frac{\Gamma\left(\beta_G + \frac{1}{\lambda_G}\right)}{\Gamma(\beta_G)} \right]^2 \right] \tag{2.56}$$

$$\gamma_{G1} = \theta^3 \left[ \frac{\Gamma\left(\beta_G + \frac{3}{\lambda_G}\right)}{\Gamma(\beta_G)} - \frac{3\Gamma\left(\beta_G + \frac{1}{\lambda_G}\right)\Gamma\left(\beta_G + \frac{2}{\lambda_G}\right)}{\Gamma^2(\beta_G)} + \frac{2\Gamma^3\left(\beta_G + \frac{1}{\lambda_G}\right)}{\Gamma^3(\beta_G)} \right] \tag{2.57}$$

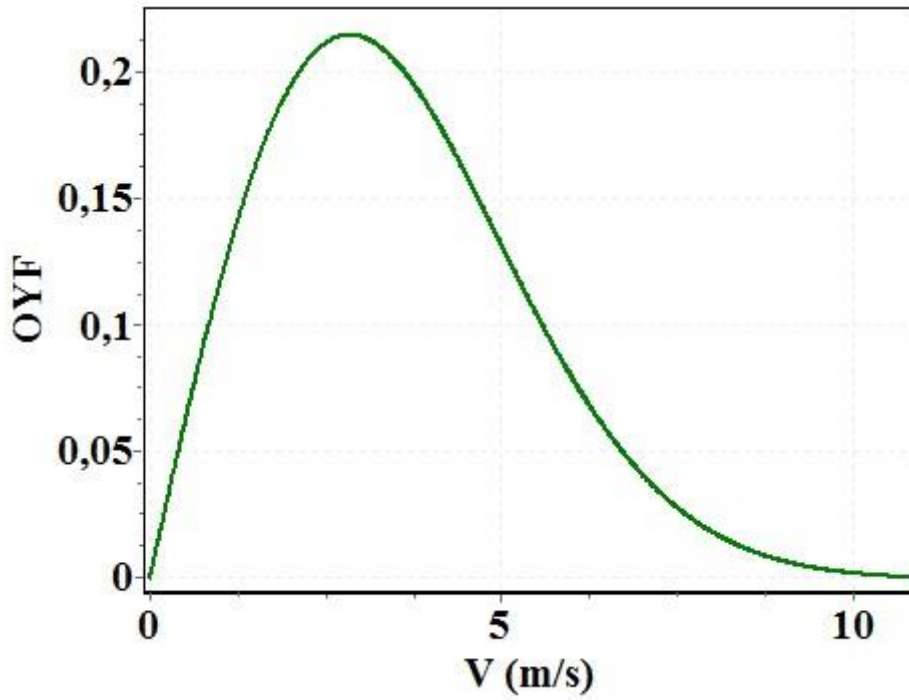
$$\gamma_{G2} = \theta_G^4 \left[ \frac{\Gamma\left(\beta_G + \frac{4}{\lambda_G}\right)}{\Gamma(\beta_G)} - \frac{4\Gamma\left(\beta_G + \frac{1}{\lambda_G}\right)\Gamma\left(\beta_G + \frac{3}{\lambda_G}\right)}{\Gamma^2(\beta)} \right] - \left[ \frac{6\Gamma^2\left(\beta_G + \frac{1}{\lambda_G}\right)\Gamma\left(\beta_G + \frac{2}{\lambda_G}\right)}{\Gamma^3(\beta_G)} - \frac{3\Gamma^4\left(\beta_G + \frac{1}{\lambda_G}\right)}{\Gamma^4(\beta_G)} \right] \quad (2.58)$$

Burada dörtlü moment eşitlik takımını çözmek için  $\lambda_G$ 'ya tahmini değerinin içerisinde olduğu varsayılan bir sayı dizisinden başlangıç değeri atanır ve iteratif çözüm sürecine geçilir. Bu noktada ikinci moment eşitliği üzerinden  $\lambda_G$ 'ya bağlı  $(\beta_G)_{\lambda_G}$  parametre değerlerini hesaplayabilmek için iki parametrelili Gamma dağılımı şeklinde log-likelihood fonksiyonunu en büyük yapan çözüm aranır. Nihayetinde ise elde edilen iki parametre değeri ile diğer moment eşitlikleri üzerinden, iteratif çözüm süreci olarak modifiye Newton metodu ile devam ettirilerek hem momentler hem de parametreler hesaplanır (Atluri ve ark, 2009).

### 2.2.9. İki parametrelili Weibull dağılımı

Weibull dağılımı; parametrelerinin aldığı değerlere bağlı olarak, sağa veya sola çarpık ya da simetrik bir dağılım olabilmesi sayesinde kalite kontrol çalışmaları, rüzgar hızları ve depremler gibi çok farklı özelliklere sahip veri dağılımlarının modellenmesinde başarıyla kullanılmaktadır. Weibull Dağılım fonksiyonu rüzgarın şiddetinin frekans dağılımının elde edilmesinde de birçok çalışmanın modeli olmuştur (Özgür, 2006; Gökçek ve diğerleri, 2007; Uçar ve Balo, 2009; Ali ve diğerleri, 2018).

Bu çalışma kapsamında Burr (4P) ve Gen. Gamma'ndan sonra rüzgarın hangi hızla ve ne kadar sıklıkla estiğini modellemek için tercih edilen bir diğer dağılım da Weibull Dağılımıdır.  $c_w=4$  ve  $k_w=2$  için sağa çarpık Weibull dağılımı grafiği Şekil 2.14'de görülmektedir.



Şekil 2.14.  $c_w=4$  ve  $k_w=2$  için sağa çarpık Weibull dağılımı grafiği

Weibull için yoğunluk fonksiyonu, aşağıda verilen şekilde görüldüğü gibi iki parametrelili Burr (B2), Fisk, log-normal (L) dağılımları gibi McDonald (1984) tarafından tanımlanan ikinci tip genelleştirilmiş Beta dağılımı (GB2)'nin belli değerlere sahip ( $c, k, q \rightarrow \infty, p = 1$ ) parametrelere bağlı olarak ortaya çıkan özel bir durumdur. Olasılık dağılımları ailesi Şekil 2.15'de verilmektedir. Şekil 2.15'de görülen ve yukarıda anılan dağılımların orijini gösteren dağılım ağacı ile ilgili daha fazla bilgi için McDonald (1995) incelenebilir.

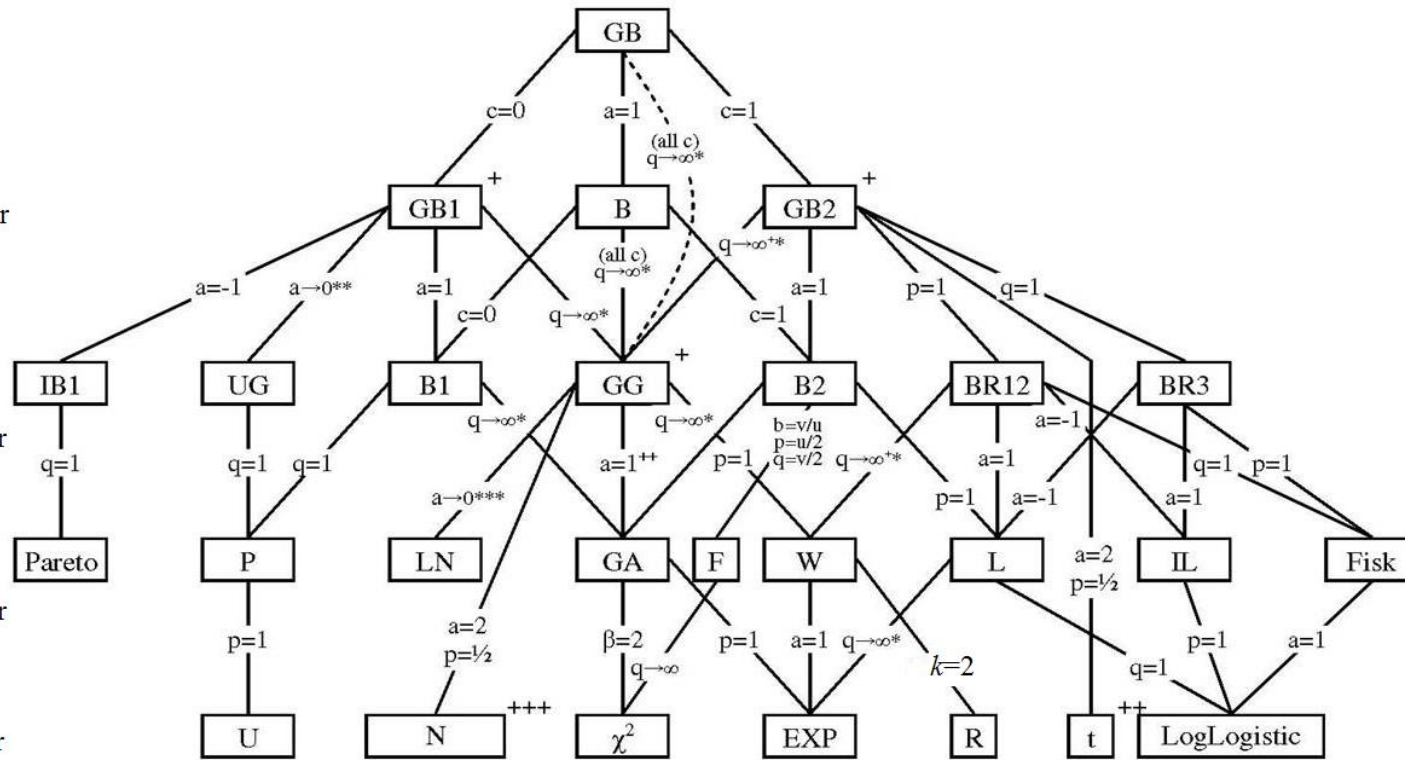
5 Parametrelili Dağılım

4 Parametrelili Dağılımlar

3 Parametrelili Dağılımlar

2 Parametrelili Dağılımlar

1 Parametrelili Dağılımlar



Şekil 2.15. Olasılık dağılımları ailesi (McDonald, 1995)



Beş parametrelili beta (GB), üstel genelleştirilmiş bir beta (EGB), birinci tür (B1) ve ikinci tür (B2) beta, ikinci tür genelleştirilmiş bir beta (GB2), birinci tür genelleştirilmiş beta (GB1), İkinci tür üstel genelleştirilmiş beta (EGB2), genelleştirilmiş gama (GG), GB1'in özel durumları olan güç (P) ve üniform (U) dağılımları, birinci tür ters beta (IB1), genelleştirilmiş F (F), Burr türleri 3 ve 12 (BR3 ve BR12), lognormal (LN), Weibull (W), gamma (GA), Lomax (L), F istatistiği (F), Fisk veya Rayleigh (R), chi-square ( $\chi^2$ ), yarı normal ( $\frac{1}{2}N(O, \sigma_2)$ ), yarı Öğrenci t ( $(\frac{1}{2}t)$ ), üstel (EXP), log-logistic ve beta (B) dağılımlarının olasılık dağılımları ailesindeki durumları Şekil 2.20'de görülmektedir.

Demirkol ve Çunkaş (2014) tarafından Afyonkarahisar bölgesi rüzgar hızı verilerinin dağılımının belirlenmesinde kullanılan ve istatistiksel yaklaşımlar arasında oldukça popüler olan Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonunun diğer dağılımlara göre hassasiyetinin yüksek (düşük hata payı) ve daha esnek yapıya sahip olduğu ifade edilmiştir.

Weibull dağılımı,  $f(V)$  olasılık yoğunluk fonksiyonu ve  $F(V)$  birikimli dağılım fonksiyonu şekil ve ölçek parametreleri ile iki parametrelili olarak karakterize edilir (Al-Fawzan, 2000).

$$f(V) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right]; 0 < V < \infty \quad (2.59)$$

Burada,  $c_w$  ölçek parametresini,  $k_w$  şekil parametresini ve  $V$  ise m/s cinsinden rüzgar hızını ifade etmektedir. Weibull Kümülatif dağılım fonksiyonu ise Eş. 2.60'de verilmektedir (Garcia ve diğerleri, 1998).

$$F(V) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{V}{c_w}\right)^{k_w}\right] \quad (2.60)$$

Weibull dağılımı için  $r$ 'nci momentini veren fonksiyon,  $E_w$ , Eş. 2.61'de verilmektedir.

$$E_w(V^r) = c^n \Gamma\left(1 + \frac{r}{k}\right) \quad (2.61)$$

Eş. 2.61'den hareketle Weibull dağılımı tarafından tahmin edilen ortalama rüzgar hızı ( $\mu_w$ ) ve varyans ( $\sigma_w^2$ ) ise;

$$\mu_w = c_w \Gamma\left(1 + \frac{1}{k_w}\right) \quad (2.62)$$

$$\sigma_w^2 = c_w^2 \left[ \Gamma\left(\frac{k_w + 2}{k_w}\right) - \mu_w^2 \right] \quad (2.63)$$

ile verilebilir.

Eş. 2.59'de  $k_w$  aynı kalırken,  $c_w$  parametresi artarsa, dağılımın basıklığı artar, dolayısıyla dağılımın yüksekliği azalır. Ölçek parametresi azalırsa, dağılım sivri uçlu olur ve yüksekliği artar. Bu bağlamda dağılımın şekli konusunda fikir veren çarpıklık ( $\gamma_{w1}$ ) ve basıklık ( $\gamma_{w2}$ ) değerleri Eş. 2.64 ve 2.65 ile hesaplanabilir (Zeytinoğlu, 2009; Chu, 2009).

$$\gamma_{w1} = \frac{2\Gamma^3\left(\frac{k_w + 1}{k_w}\right) - 3\Gamma\left(\frac{k_w + 1}{k_w}\right)\Gamma\left(\frac{k_w + 2}{k_w}\right) + \Gamma\left(\frac{k_w + 3}{k_w}\right)}{\sqrt{\left[\Gamma\left(\frac{k_w + 2}{k_w}\right) - \Gamma^2\left(\frac{k_w + 1}{k_w}\right)\right]^3}} \quad (2.64)$$

$$\gamma_{w2} = \frac{c_w^4 \Gamma\left(1 + \frac{4}{k_w}\right) - 4\gamma_{w1} \sigma_w^3 \mu_w - 6\sigma_w^2 \mu_w^2 - \mu_w^4}{\sigma_w^4} \quad (2.65)$$

Dağılımın şekli konusunda etkili diğer faktörler mod ( $V_{WMD}$ ) ve medyan ( $V_{WMDY}$ ) olup Eş. 2.66 ve 2.67'de verilmektedir.

$$V_{WMD} = c_w \left(\frac{k_w - 1}{k_w}\right)^{\frac{1}{k_w}}; k_w > 1 \quad (2.66)$$

$$V_{WMDY} = c_w \Gamma\left(1 + \frac{1}{k_w}\right) \quad (2.67)$$

Rüzgar hızının profili hakkında fikir veren bir diğer faktör ise m/s cinsinden standart sapması ( $\sigma$ ) olup Weibull dağılımı tarafından modellenen rüzgar hızının standart sapması ile olan ilişkisi Eş. 2.68'de görülmektedir.

$$\frac{\sigma}{V} = \frac{\sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{k_w}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k_w}\right)}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k_w}\right)} \quad (2.68)$$

### 2.2.10. MOM ile Weibull parametrelerinin tahmini

İki parametrelili Weibull dağılımı için olabilirlik fonksiyonu Eş. 2.69'da verilmektedir (Yılmaz ve Erişoğlu, 2003; Mohammadi ve diğerleri, 2016).

$$f(V_1, V_2, \dots, V_n; c_w, k_w) = \prod_{i=1}^n \left( \frac{k_w}{c_w} \right) \left( \frac{V_i}{c_w} \right)^{k_w-1} \exp\left(-c_w^{-k_w} V_i^{k_w}\right) \quad (2.69)$$

Olabilirlik fonksiyonunun doğal logaritması alınır, Log-olabilirlik fonksiyonu:

$$\ln L(c_w, k_w) = \sum_{i=1}^n \ln k_w - k_w \ln c_w + (k_w + 1) \sum_{i=1}^n \ln x_i - c_w^{-k_w} \sum_{i=1}^n V_i^{k_w} \quad (2.70)$$

$$L_w(n) = n \ln k_w - n k_w \ln c_w + (k_w + 1) \sum_{i=1}^n \ln x_i - c_w^{-k_w} \sum_{i=1}^n V_i^{k_w} \quad (2.71)$$

olarak elde edilir (Yılmaz ve Erişoğlu, 2003; Usta, 2015).

MOM ile parametre tahmin etmenin temeli, olabilirlik fonksiyonunu en büyükleme esasına dayanır. Bunun için olabilirlik fonksiyonunun her bir parametreye göre ayrı ayrı türevleri alınarak sıfıra eşitlenir.

$$\frac{\partial \ln L_w(n)}{\partial k_w} = \frac{n}{k_w} - n \ln c_w + \sum_{i=1}^n \ln V_i - c_w^{-k_w} \sum_{i=1}^n V_i^{k_w} \ln V_i + c_w^{-k_w} \ln c_w \sum_{i=1}^n \ln V_i^{k_w} = 0 \quad (2.72)$$

$$\frac{\partial \ln L_w(n)}{\partial c_w} = -nk_w c_w^{-1} + k_w c_w^{-(k_w+1)} \sum_{i=1}^n V_i^{k_w} = 0 \quad (2.73)$$

Eş. 2.72 ve 2.73 ile ifade edilen eşitliklerde  $c$  elenirse Eş. 2.74 elde edilir.

$$\frac{\sum_{i=1}^n V_i^{k_w} \ln V_i}{\sum_{i=1}^n V_i^{k_w}} - \frac{1}{k_w} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln V_i = 0 \quad (2.74)$$

Eş. 2.74'ün çözümünde ise Newton-Raphson metodu kullanılır. Eş. 2.75 ile ifade edilen eşitliğin çözümünden elde edilen  $k_w$  Eş. 2.73 ile gösterilen eşitlikte yerine yazılırsa  $c_w$  parametresi elde edilir.

$$c_w = \left( \frac{\sum_{i=1}^n V_i^{k_w}}{n} \right)^{\frac{1}{k_w}} \quad (2.75)$$

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

#### 3.1. Weibull, Burr ve Gen. Gamma Dağılımları Kullanılarak Rüzgar Hızı Verisinin İstatistiksel Analizi

##### 3.1.1. Giriş

Ülkelerin ekonomik, siyasi ve sosyal gelişimini etkileyen ana unsurlardan birisi haline gelen enerji, tüketiminde meydana gelen artış ve bu artışta beklenen devamlılık nedeniyle her ülkenin ucuz ve kesintisiz bir biçimde ulaşma isteğine neden olmaktadır.

Günümüzde rüzgar, güneş, jeotermal, biyokütle, biyogaz gelgit gibi doğal kaynaklar yenilenebilir enerji kaynağı olarak sayılmaktadır. Ancak bu kaynakları tamamı tek bir coğrafi bölgede bulunmamaktadır. Türkiye uygun coğrafik yapısı nedeniyle rüzgar enerjisinden yararlanabilen şanslı ülkelerden biridir. Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TÜREB) tarafından yayınlanan 2017 yıl sonu verilerine göre, rüzgar enerjisi bakımından cazibe merkezi haline gelen Hatay ili 364,5 MW kurulu güç kapasitesine sahip olup ön lisans izni alan yeni projelerle (30 MW) birlikte bölgenin 2018 yılında toplam 394,5 MW kurulu güç potansiyeline ulaşması beklenmektedir (TÜREB, 2018). Hatay ili, sınırları içerisinde yer alan Belen, Şenbük, Şenköy, Karaköse, Çakırköy, Şebenoba, Koyunoğlu Mızraklı, Hıdırbey gibi rüzgar potansiyeli yönünden zengin bölgelere sahiptir. Ancak Hatay bölgesinin barındırmış olduğu organize sanayi bölgesi nedeniyle elektrik ihtiyacı artma eğilimindedir. Bu durumla orantılı olarak daha fazla elektrik üretimi yapılmalıdır. Ayrıca, enerji kaynakları ve üretim yöntemleri de çeşitlendirilmelidir. Türkiye’de birçok bölgede rüzgar enerjisi potansiyeli araştırması gerçekleştirilmiştir.

Dündar (1997), Bandırma, Bodrum, Bozcaada ve Çeşme Bölgelerini Weibull dağılımı ve WASP programını; Çelik (2003), İskenderun bölgesini Weibull dağılımını; Bilgili ve diğerleri (2004), Antakya ve İskenderun bölgelerini Weibull dağılımı, Özgür (2006) Kütahya’yı Weibull, Lognormal ve Gamma dağılımlarını; Eskin ve diğerleri (2008), Gökçeada’yı Weibull dağılımını; Şahin ve Bilgili (2009), Belen bölgesini Weibull dağılımı ve WASP programını kullanarak araştırmışlardır. Ancak, literatürde sıkça kullanılan Weibull dağılımı yüksek rüzgar profiline sahip bölgelerde başarılı olurken Gamma ve Log-normal gibi dağılımlar ise düşük rüzgar hızı profiline modellemede daha başarılı olmaktadır (Olaofe ve Folly, 2012; Sarkar ve diğerleri, 2011; Yong ve diğerleri, 2012). Bununla beraber

yukarıda anılan tüm çalışmalarda, mevsimsel ve aylık ortalama değerler üzerinden yapılan çalışmalar da gerek Weibull gerekse Gamma ve Log-normal dağılımları, rüzgar hızı profili modellenmesi için yapılan uyum iyiliği testlerinde daha az başarılı olmaktadır (Mert ve Karakuş, 2015).

Rüzgar enerjisi fizibilite çalışmalarında uygun dağılımlar kullanılarak rüzgar profilinin gerçeğe yakın modellenmesi ve rüzgar gücü yoğunluğunun hesaplanması büyük önem arz etmektedir. Daha önceki çalışmalarında Weibull ve Log-normal dağılımlarını kullanarak bölgenin güç yoğunluğunu hesaplayan Mert ve ark. (2014) Log-normal dağılımının Weibull dağılımı ile yakın sonuçlar üretebildiğini ortaya koymuştur.

Bu çalışmada da bölgenin düşük rüzgar hızı profiline sahip olması nedeniyle Weibull dağılımına alternatif olarak ortaya çıkan ve bölgede daha önce denenmemiş olan Gen. Gamma ve Burr (4P) dağılımları rüzgar hızı modellenmesi için tercih edilmiştir. Bununla beraber, bu çalışmanın temel amacı da Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull dağılımlarını kullanarak mevcut veriler ışığında Antakya bölgesinin rüzgar profilini istatistiksel olarak değerlendirmek ve kullanılan dağılımların parametrelerine bağlı olarak elde edilebilecek rüzgar hızı ve gücü yoğunluğunu yanı sıra Enercon E33 rüzgar türbini üzerinden olası yıllık elektrik üretimi ve kapasite faktörü tahmini yapmaktır.

### 3.1.2. Çalışmanın temelleri

Bu çalışmada, Antakya/Hatay meteoroloji istasyonunda yerden 10 m yükseklikte ölçülen saatlik ortalama rüzgar hızı ve yönü verileri kullanılarak, Antakya bölgesi rüzgar enerjisi potansiyeli istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Rüzgar verilerinin değerlendirilmesinde istatistiksel yaklaşım olarak Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull dağılım fonksiyonları kullanılmıştır. Kullanılan dağılımlar için fonksiyon parametreleri MOM kullanılarak belirlenmiştir. Kolmogorov-Smirnov ( $D$ ) ve Chi-Square ( $\chi^2$ ) uyum iyiliği testleri ile Belirleme Katsayısı ( $R^2$ ) ve Ortalama Hata Kareleri Toplamının Karekökü (RMSE) hata analizleri kullanılmıştır. Böylece, modelleme konusunda en başarılı dağılım tespit edilmiştir. Ayrıca, kullanılan dağılımların karakteristik parametrelerine bağlı olarak rüzgar hızı, rüzgar güç yoğunluğu, yıllık elektrik üretimi ve kapasite faktörü değerleri tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ise aylık, mevsimsel ve yıllık olarak hesaplanmıştır. Böylece Antakya verileri ışığında Hatay bölgesinin rüzgar enerji potansiyelinin belirlenmesi için belirleyici ve bilgilendirici bir çalışma yapılmıştır.

### 3.1.3. Modelleme

Rüzgar, atmosferin ısınması ve soğumasından bağılı olarak sıcaklık ve basınç farkından meydana gelen kararlı, güvenilir ve sürekli bir kinetik enerji kaynağı olan doğal bir olaydır (Kurban ve diğerleri, 2007). Rüzgar enerjisinden faydalanmak için, öncelikle rüzgar güç potansiyelinin tahmin edilmesi aşağıda Eş. 2.4'den faydalanılarak gerçekleştirilir. Burada,  $\rho$  hava yoğunluğu olup bölge şartlarında genel olarak  $1,2 \text{ kg/m}^3$  olarak alınmıştır.  $V$  ortalama rüzgar hızını temsil etmektedir.

Rüzgar hızı verisini değerlendirme işlemine, belli bir yükseklikten kaydedilen rüzgar hızı verilerinin olasılık dağılımlarının elde edilmesi ile başlanılır (Kantar ve diğerleri, 2018). Bu olasılık dağılımları sayesinde bölgenin rüzgar hızı davranışının istikrarlı olup olmadığı araştırılır.

Gözlem istasyonlarında belirli bir yükseklikte ölçülen rüzgar hızı verilerinin frekans dağılımları elde edilerek hangi rüzgar hızı değerlerinin daha sık gözlemlendiği belirlenebilir. Zaman serisi olarak sıralanan rüzgar hızı verileri genellikle modellenebilmesi daha kolay olan frekans dağılımı formatına çevrilir. Rüzgar hızı frekans dağılımının belirlenmesinde kullanılan birçok istatistiksel model vardır (Mert ve diğerleri, 2013).

Bu çalışmada elde edilen rüzgar hızı sıklık dağılımını tahmin edilebilir duruma getirmek için Weibull ve Gen. Gamma dağılımları ile düşük potansiyele sahip bölgelerde, rüzgar hızının dağılımının belirlenmesinde başarı ile kullanılan Burr (4P) dağılımı tercih edilmiştir (Mert ve Karakuş, 2014).

İlk kez Burr tarafından önerilen ve Burr XI ( $\lambda, \beta$ ) ile karakterize edilen iki parametreye sahip; rastgele süreçlerin karakterizasyonu ve modellenmesinde olumlu sonuçlar elde edilen iki parametrelili Burr dağılımı son yıllarda araştırmacılar tarafından ilgi görmektedir.

Zimmer ve diğerleri (1998) Burr dağılımını güvenilirlik analizinde kullanmışlar ve rassal değişkenler ile yapılan çalışmalarda nispeten olumlu sonuçlara ulaşmışlardır. Klinik denemeler, aktüerya bilimi, elektronik- haberleşme sinyalleri konusunda ve çok az sayıda rüzgar hızı modellemesi gibi birçok çalışmada Burr dağılımı kullanılmıştır (Burr, 1942; Klugman, 1986; Wingo, 1993; Zimmer ve diğerleri, 1998; Çoşkun ve Kaya, 2005; Abbas ve diğerleri, 2012; Masseran ve diğerleri, 2012).

Durmaz ve Yıldırım (2014) Atatürk havalimanı rüzgâr verilerine bağılı aktif pist seçim modeli çalışmasında rüzgar hızı ve yönü modellemesi için Burr (4P) dağılımı, Gen. Gamma ve Weibull dağılımlarının da aralarında bulunduğu 55 farklı dağılımı değerlendirmişlerdir. Nihayetinde ise uyum iyiliği Kolmogorov-Simironov test istatistik değerine karşılık gelen

kritik sınır p-değeri 0,03343 ile rüzgar hızı sıklık dağılımına en iyi Burr dağılımının uyduğu sonucuna varmışlardır.

Usta ve Kantar (2012) rüzgar hızı verisine Weibull, Rayleigh ve üç parametrelili Burr XII dağılımını uygulamışlar ve rüzgar hızı profili modellemesinde Burr XII dağılımının başarılı bir model olduğunu bildirmişlerdir.

Bu çalışma kapsamında ise Burr dağılımları arasında esnekliği ile bilinen Burr (4P) dağılımı kullanılmıştır. Burr dağılımı için  $f(V)$  - Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (Probability Density Function - PDF) ve modelleme sırasında ortalama hızı hesaplamak için Eş. 2.32 ve Eş. 2.38 kullanılmaktadır.

Eğer  $n$  rassal olarak değişen rüzgar hızı gözlem değerlerini temsil eden tamsayı cinsinden bir değer ise, Gamma dağılımı  $n$  tane üstel dağılım gösteren rassal değişkenlerin toplamını temsil etmektedir (Choi ve Wette, 1969). Diğer yandan coğrafi konum ve iklim rejimine bağlı olarak değişkenlik gösteren rüzgar hızı verisinin her zaman tam sayı olamayacağı açıktır. Bu bağlamda, Gen. Gamma dağılımı Kiss (2009) tarafından Avrupa kıtası kara ve açık deniz rüzgar hızlarının modellemesi konusunda kullanılmış olup Weibull ve Rayleigh dağılımlarına nazaran çok daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu nedenle farklı bilim dallarına uygulanabilmesinin önünü açan esnek yapısı sayesinde rassal olarak değişen rüzgar hızı verilerine de uygulanabilen Gen. Gamma dağılımı bu çalışma kapsamında tercih edilen ikinci model olup dağılıma ilişkin olasılık yoğunluk, kümülatif dağılım fonksiyonu ve diğer eşitlikler Eş. 2.45-2.58 ile verilmektedir.

Bir bölgenin rüzgar potansiyelini belirlemek için genellikle rüzgar hızı zaman serisi veya frekans dağılımı modelleri kullanılır. Literatürde en sık kullanılan dağılımlardan birisi olan iki parametrelili Weibull dağılımı oldukça esnek ve basit olmasının yanında gerçek verilere uyum sağlayabilmesi sayesinde popüler olmuştur. Üstelik Weibull dağılımı rüzgar hızı verilerinin modellenmesinde ve rüzgar enerjisi analizlerinde genel olarak kabul görmektedir (Gülersoy ve Çetin, 2010; Karadeniz ve Eker, 2015).

Weibull dağılıma ilişkin olasılık yoğunluk fonksiyonu ve diğer eşitlikler (OYF) ise Eş. 2.59-2.75 ile verilmektedir. Bununla beraber hem Hennessey (1977), hem de Aidan ve Ododo (2010) tarafından yapılan çalışmalarda düşük rüzgar hızı gözlenen bölgelerde Weibull dağılımının modelleme konusunda başarılı sonuçlar üretmediği ifade edilmiştir. Bu nedenle üç farklı dağılım çalışma kapsamında denenmiştir.



### 3.1.4. Uyum İyiliği Testi ve Hata Analizi

Bu çalışmada, Burr (4P) dağılımı, Gen. Gamma ve Weibull dağılımlarının rüzgar hızı sıklık dağılım eğrilerini ne kadar iyi modelleyebildiğini sınamak için, diğer mana da örneklem rüzgar verisinin, kesin olarak belirlenmiş bir olasılık dağılımı gösteren bir ana rüzgar hızı verisine ait kütleyi temsil edip etmediğinin belirlemek için Kolmogorov-Smirnov ( $D$ ) ve Chi-Square ( $\chi^2$ ) ile test sonuçlarını daha seçici hale getirmek için regresyona dayalı Belirleme Katsayısı ( $R^2$ ) uyum iyiliği testleri ve Ortalama Hata Kareleri Toplamının Karekökü (RMSE) hata analizi yöntemi kullanılmıştır (Yıldırım ve diğerleri, 2012).

$\chi^2$  testi genellikle iki veya daha çok grup arasında fark olup olmadığı testinde, iki değişken arasında bağ olup olmadığının testinde, gruplar arası homojenlik testinde ve örneklemde elde edilen dağılımın istenen bir teorik dağılıma uyup uymadığının testinde kullanılır. Histogram ya da doğru grafiğinin teorik dağılım ile kıyaslanması üzerine kurulu olan  $\chi^2$  testinin kullanımı oldukça yaygındır (Yılmaz, 2011).  $\chi^2$  testi veri analizinde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Çünkü uygulanması kolaydır üstelik kesikli ve sürekli durumların her ikisi için de kullanılabilir. Bu çalışmada ise  $\chi^2$  testi rüzgar hızı sıklık dağılımı eğrisine uygunluk testinde yani gözlenen rüzgar hızı değişkenin beklenen dağılıma uygunluğunu belirlemek için her üç dağılıma da uygulanmıştır (Güngör ve Bulut, 2008).

Testin performansının ölçülebilmesi için; ana kütleden alınan ve rasgele  $X$  değişkeni ile gösterilen, gözlemlenmiş bir örnekleme,  $k$ 'ya ( $k \geq 5$ ) bölünebilmelidir (Modarres ve diğerleri, 1999). Daha sonra varsayılan (hipotezlenen) dağılım modeli, rastgele  $X$  değişkenin her  $i$  ( $i=1,2,\dots, k$ ) aralığına düşebilecek  $p_i$  olasılıklarının hesaplanmasında kullanılır.  $p_i$ 'nin örnekleme boyutu ile çarpılmasıyla her aralık için beklenen frekans elde edilir.

Beklenen frekans  $e$  ile gösterilirse,  $e_i = n \cdot p_i$  olur. Eğer örnekleminin her aralığı için gözlemlenen frekans  $o_i$  ile ifade edilirse,  $e_i$  ile  $o_i$  arasındaki fark, uygunluğun (güvenirliliğin) yeterliliği olarak nitelendirilebilir (Kum, 2015).

$\chi^2$  testi aşağıdaki biçimde tanımlanmaktadır.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^K \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i} \quad (3.1)$$

Eş. 3.1 sonucunda eğer uyum iyi ise  $\chi^2$  test istatistiğinin küçük olması beklenir. Eğer tek bir örneklem verisi varsa burada verilerin belli bir dağılıma uyup uymadığı test edilirken, iki

örneklem verisi söz konusuysa bu iki örneklemin aynı dağılımdan gelip gelmediğini test etmek için kullanılan  $D$  testi, bu çalışmada,  $\chi^2$  testinde olduğu gibi belli bir önem derecesinde (0,05) örnek rüzgar hızı değerlerinin dağılımının test öncesi saptanan belirli bir dağılıma uyup uymadığını belirleyebilmek için kullanılmıştır (Yılmaz ve Yılmaz, 2005). Diğer bir ifade ile çalışma kapsamında ikinci uyum iyiliği testi olarak kullanılan  $D$ , rüzgar hızı gözlem verilerinin herhangi bir şekilde olasılık dağılımı gösteren örneklem verilerinin, dağılım parametreleri tam olarak bilinen tam tanımlanmış bir teorik ana kitle olasılık dağılımına yani Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull dağılımlarına uyum gösterip göstermediğini sınamak için kullanılmaktadır. Bu amaçla bahsi geçen dağılımlardan herhangi biri için “*ilgili dağılıma uymaktadır*” şeklinde ileri sürülen hipotezde test, dağılımla örnek birikimli dağılım fonksiyonunun karşılaştırılması ile yapılır.

Eş. 3.2 ile verilen  $D$  testinde Gözlenen ve beklenen değerlerin kümülatif nispi frekansları arasındaki mutlak farkın en büyüğü elde edilir. Bu durumda  $D > KD$  ise yani mutlak farkın en büyüğü kritik değerden büyük ise gözlenen frekansların ( $F_o$ ) beklenen frekanslara ( $F_e$ ) uygun olmadığına  $\alpha$  önem seviyesinde karar verilir. Burada kritik değer ( $KD$ ),  $\alpha$  önem seviyesi,  $r$  örneklem büyüklüğü ve  $m$ , tahmin edilen parametre sayısı ise  $sd = r-1-m$ , serbestlik derecesine göre hazırlanmış  $D$ , kritik değerler tablosundan bulunur (Bircan ve diğerleri, 2003).

$$D = \max |F_o - F_e| \quad (3.2)$$

Ayrıca bu çalışmada  $D$  ve  $\chi^2$  testlerinin haricinde, kullanılan dağılımların uyum başarılarını kıyaslayabilmek için üç farklı kriter ile analiz edilmiştir. Bunlardan birincisi temeli tahmin ile gözlem arasındaki regresyona dayanan  $R^2$  belirleme katsayısı olup Eş. 3.3’de verilmiştir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (V_i - h_i)^2}{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V}_i)^2} \quad (3.3)$$

İkinci kriter ise Eş. 3.4’de verilen Hata Kareleri Toplamının Karekökü (RMSE) olup;

$$RMSE = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (V_i - h_i)^2}{n} \right)^{1/2} \quad (3.4)$$

ile verilmektedir. Burada,  $n$  gözlem sayısını,  $V$ , gerçek rüzgar hızı değerlerini,  $h$ , kullanılan dağılımlar tarafından tahmin edilen hız değerlerini temsil etmektedir. Nihayetinde ise  $R^2$  değeri en büyük ve RMSE değeri en küçük olan dağılım fonksiyonu en başarılı dağılım fonksiyonu olarak kabul edilmekte olup bu kriterlere göre son değerlendirme yapılmaktadır (Akdağ ve ark., 2007).

Son kriter ise göreceli hata yüzdesi olup aşağıdaki eşitlik ile ifade edilmektedir.

$$Hata(\%) = \left( \frac{P_T - P_G}{P_G} \right) 100\% \quad (3.5)$$

Burada tahmin edilen güç,  $P_T$  (kW) ve gözlenen güç (kW) ise  $P_O$  olarak ifade edilmektedir.

### 3.1.5. Kapasite faktörü

Bir bölgenin rüzgar enerjisi potansiyelini belirlemede en önemli parametrelerden biri olan kapasite faktörü, bir rüzgar enerjisi santralının ürettiği enerjinin nominal güçte üretmesi gereken enerjiye oranı olarak tanımlanmaktadır (Yalçın, 2010; Chang ve diğerleri, 2014).

Bu noktada *Micrositting* (Mikro-konuşlandırma) için türbin seçimi çalışmaları sırasında, kullanılan bütün türbinlere ait kapasite faktörü değerleri Eş. 3.6 ile belirlenebilir.

$$C_f = \frac{E_T}{T \cdot P_R} \times 100 \quad (3.6)$$

Eşitlikte  $C_f$  kapasite faktörünü (%),  $E_T$  (olası) üretilen toplam enerjiyi (kW),  $P_R$  üretici tarafından belirlenen değerlere bağlı olarak türbinin nominal güçte enerji üretim miktarını (kW),  $T$  ise zamanı (saat- s) ifade etmektedir.

Yıllık enerji üretim miktarı,  $YE\ddot{U}$  (MWs) ise;

$$YE\ddot{U}=E_T T \quad (3.7)$$

şeklinde ifade edilir (Arslan, 2010). Yıl bazında üretim hesabı yapılırken  $T=8760$  s olarak kabul edilmiştir.

### 3.1.6. Rüzgar hızı verileri

Bu çalışmada, meteoroloji istasyonu tarafından kayıt altına rüzgar hızı verileri Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull dağılımları kullanılarak modellenmiş olup elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Antakya meteoroloji istasyonu tarafından kaydedilen ortalama yıllık rüzgar hızı değerlerine ait istatistiki alt veriler Çizelge 3.1'de verilmiştir. Bu çizelgeye göre 2009 yılı 2,39 m/s ile en düşük, 2006 yılı ise 2,70 m/s ortalama rüzgar hızı ( $V$ ) ile en yüksek rüzgar hızına sahip yıllar olarak tespit edilmiştir. Yıllık bazda ortalama rüzgar hızı değerleri bir birine yakın değerler gibi gözükse de eldeki verinin tamamı dikkate alındığında bölgenin ortalama saatlik rüzgar hızı 2,59 m/s olduğu aynı çizelgede görülmektedir. Bununla beraber kayda geçen en yüksek rüzgar hızı ise 25,5 m/s olarak 2006 yılında gerçekleşmiştir.

Rüzgar hızı verilerinin ortalama değer etrafındaki yayılımın ölçüsü olması nedeniyle önemli bir parametre olan standart sapma ( $\sigma$ ) ise test periyodunda 1,52 – 1,71 m/s değerleri arasında değişirken ortalama ise 1,62 m/s değerine ulaşmıştır.

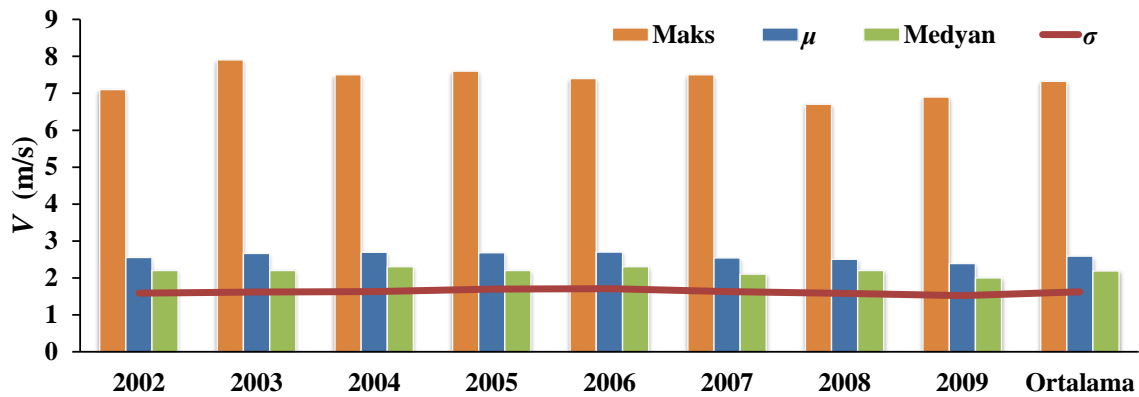
Gözlenen rüzgar hızı ile ortalama rüzgar hızı arasındaki sapmanın bir ölçüsü olan varyans ( $\sigma^2$ ) ise 2,31 – 2,92 m/s değerleri arasında değişirken ortalama ise 2,63 m/s değerine ulaşmış olup 2002 yılı sapmanın en az olduğu yıl olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.1. Yıllık Rüzgar hızı hakkında istatistiki bilgiler.

Yıl	V	$\sigma$	$\sigma^2$	Min	Maks	$\gamma_1$	$\gamma_2$
2002	2,55	1,59	2,52	0,00	7,10	0,51	-0,86
2003	2,66	1,62	2,62	0,10	7,90	0,43	-0,98
2004	2,69	1,63	2,65	0,00	7,50	0,43	-0,92
2005	2,68	1,70	2,89	0,00	7,60	0,45	-1,00
2006	2,70	1,71	2,92	0,00	7,40	0,40	-1,07
2007	2,54	1,63	2,65	0,00	7,50	0,53	-0,82
2008	2,51	1,58	2,51	0,00	6,70	0,42	-0,99
2009	2,39	1,52	2,31	0,00	6,90	0,47	-0,88
Ortalama (m/s)	2,59	1,62	2,63	0,01	7,33	0,46	-0,94

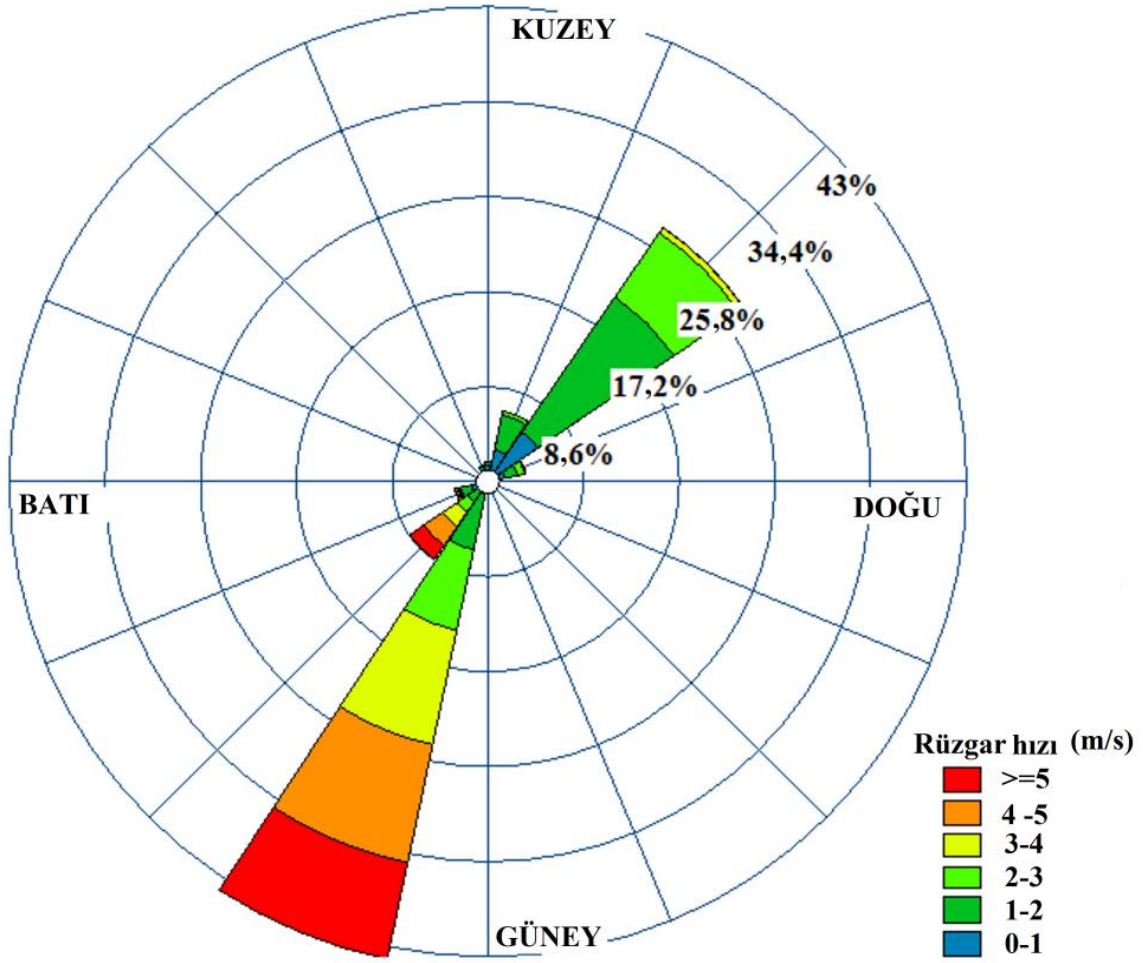
Bölgenin en yüksek ortalama rüzgar hızı ise 7,90 m/s ile 2003 yılı için hesaplanmıştır. Çarpıklık ( $\gamma_1$ ) ve basıklık ( $\gamma_2$ ) verileri dikkate alındığında test periyodu boyunca sırasıyla ortalama 0,46 ve -0,94 değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 3.1’de verilen değerler ile birlikte rüzgar hızı medyan değerleri Şekil 3.1’de verilmektedir.



Şekil 3.1. Yıllık Rüzgar hızı hakkında istatistiki bilgiler.

Diğer yandan Antakya meteoroloji gözlem istasyonuna ait rüzgar gülü grafiği Şekil 3.2’de verilmiş olup WRPLOTView 7.0 programı ile elde edilmiştir, Şekilde de görüldüğü gibi bölgede egemen olan rüzgar yönleri % 44,1 ile Güney/Güney-batı (SSW) ve % 27,8 ile Kuzey-Doğu (NE)’dur.



Şekil 3.2. Hatay meteorolojik gözlem istasyonuna ait rüzgar gülü grafiği

Rüzgar gülüne ait verilerin tamamı; yön değişimleri ve sıklıkları ise Çizelge 3.2'de verilmektedir.

Çizelge 3.2. Yıl ve mevsim bazında rüzgar yönü sıklığı

Yönler	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Yıl
N	74	36	3	43	156
NNE	307	120	10	135	572
NE	1306	550	14	571	2435
ENE	126	112	6	65	309
E	11	9	2	7	29
ESE	5	2	1	7	15
SE	3	3	2	2	10
SSE	9	1	0	4	14
S	10	26	16	14	66
SSW	132	952	1899	871	3854
SW	41	218	224	261	744
WSW	52	89	15	114	270
W	9	20	4	46	79
WNW	7	11	2	13	33
NW	11	15	4	3	33
NNW	57	44	6	28	133
Toplam	2160	2208	2208	2184	8752

### 3.1.7. Burr (4P) , Gen. Gamma ve Weibull dağılımları ile modelleme

Test periyodunun ay, mevsim ve yıl bazında incelendiğinde elde edilen Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull dağılımlarının karakteristik değerleri Çizelge 3.3’de görülmektedir. Burr (4P) dağılımı dört parametreye sahip olduğu görülmekle birlikte fonksiyonun betimleyici parametreleri olan  $k_B$  ve  $\alpha_B$  en yüksek değerlerine aylar bazında Temmuz ayında 707,6 ve 717,75 ile ulaşırken, mevsimsel olarak 7,43 ve 1,83 ile en düşük değerlerine kış mevsiminde ulaşmıştır. Yıl bazında  $k_B$  için 1141,10 ile en yüksek ve  $\alpha_B$ ’nin 1,51 gibi düşük bir değere ulaşmaktadır. Bu noktada  $k_B$ ’deki bu değişim yıl bazında verilerin daha geniş bir ölçekte yayılmış olmaları ile alakalıdır.

Çizelge 3.3. Ay, Mevsim ve yıl bazında dağılımlara ait parametreler

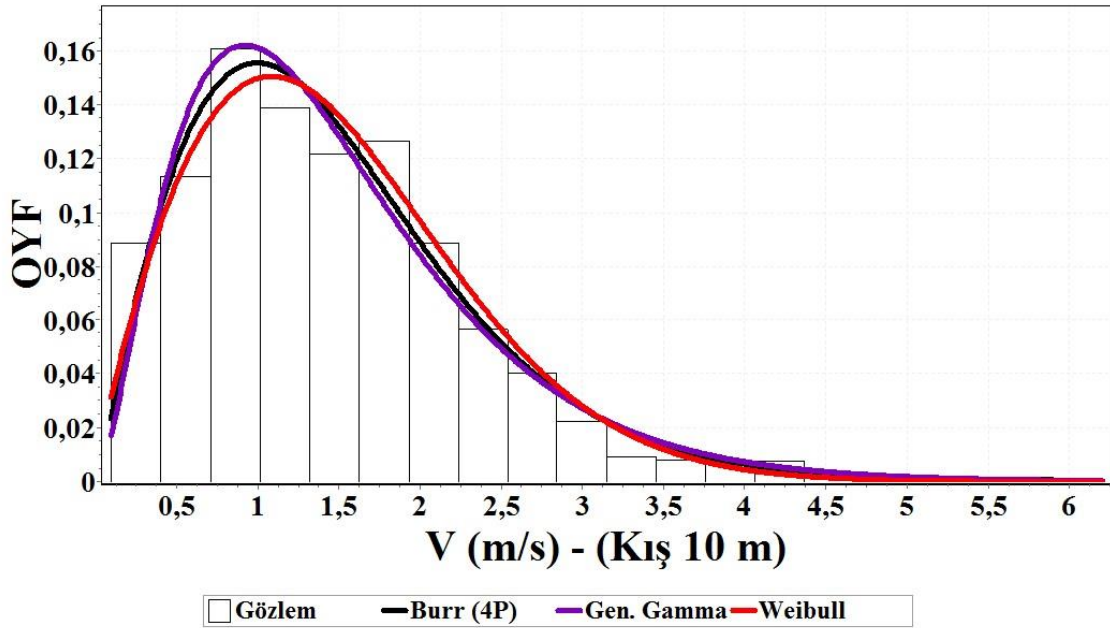
Dönem/ Metod	Burr (4P)				Gen. Gamma			Weibull	
	$k_B$	$\alpha_B$	$\beta_B$	$\gamma_B$	$\lambda_G$	$\beta_G$	$\theta_G$	$k_w$	$c_w$
Ocak	5,80	1,82	17,38	0,09	0,98	3,30	0,45	2,05	1,70
Şubat	524,96	1,83	47,87	0,05	0,96	3,17	0,43	1,90	1,62
Mart	173,82	1,75	39,31	0,05	0,97	2,92	0,63	1,86	2,13
Nisan	414,02	1,61	94,71	0,09	0,99	2,61	0,80	1,83	2,34
Mayıs	567,75	1,94	88,63	-0,06	0,92	3,02	0,87	1,73	3,32
Haziran	253,56	5,95	19,34	-3,12	0,91	6,57	0,50	2,37	4,56
Temmuz	707,67	17,75	30,84	-16,36	0,90	7,12	0,49	2,46	4,97
Ağustos	68,77	8,19	12,04	-2,38	0,96	17,55	0,22	4,52	4,83
Eylül	344,70	3,33	27,62	-1,13	0,91	3,98	0,67	1,89	3,61
Ekim	537,33	1,72	78,92	0,05	0,96	2,80	2,80	1,77	2,09
Kasım	24,78	1,36	16,64	0,08	1,01	1,90	0,82	1,55	1,69
Aralık	259,30	1,86	28,14	0,00	0,94	3,01	0,39	1,77	1,42
Kış	7,43	1,83	4,55	0,04	0,99	2,73	0,53	1,85	1,66
İlkbahar	510,41	1,64	113,15	0,08	0,97	2,62	0,85	1,77	2,59
Yaz	510,41	9,24	19,45	-5,98	0,92	8,13	0,42	1,85	1,66
Sonbahar	894,82	1,49	221,27	0,06	0,95	2,27	0,91	1,57	2,42
Yıl	1141,10	1,51	293,76	0,07	0,95	2,28	1,04	1,58	2,81

Ay, Mevsim ve yıl bazında dağılımlara ait parametreler Çizelge 3.3’de verilmektedir. Çizelgede görüldüğü gibi Gen. Gamma dağılımının fonksiyon eğrisine şekil veren  $\lambda_G$ ,  $\beta_G$  ve  $\theta_G$  parametreleri ise yıl bazında 0,95, 2,28 ve 1,04 değerlerine ulaşmıştır. Öte yandan  $\beta_G$  parametresinin diğer parametrelere göre daha değişken bir davranış içerisinde bulunması rüzgar hızı sıklığına ait eğrinin yaz aylarına doğru çarpıklığının sola kaymasından etkilenmesi ile açıklanabilir. Bu bağlamda Weibull dağılımının benzer şekilde en çok etkilenen parametresi olan  $c_w$ , çarpıklığın sola ve sağa kaymasına  $k_w$  parametresine nazaran daha çabuk tepki vermektedir. Temmuz ayında 4,97 ve yıl bazında 2,81 değerlerine ulaşan  $c$  parametresinin değeri yıl bazında 2,81 olarak hesaplanmıştır. Bununla beraber  $k_w$ ’nin değişimi 1,42 ile 4,97 arasında kalmaktadır.

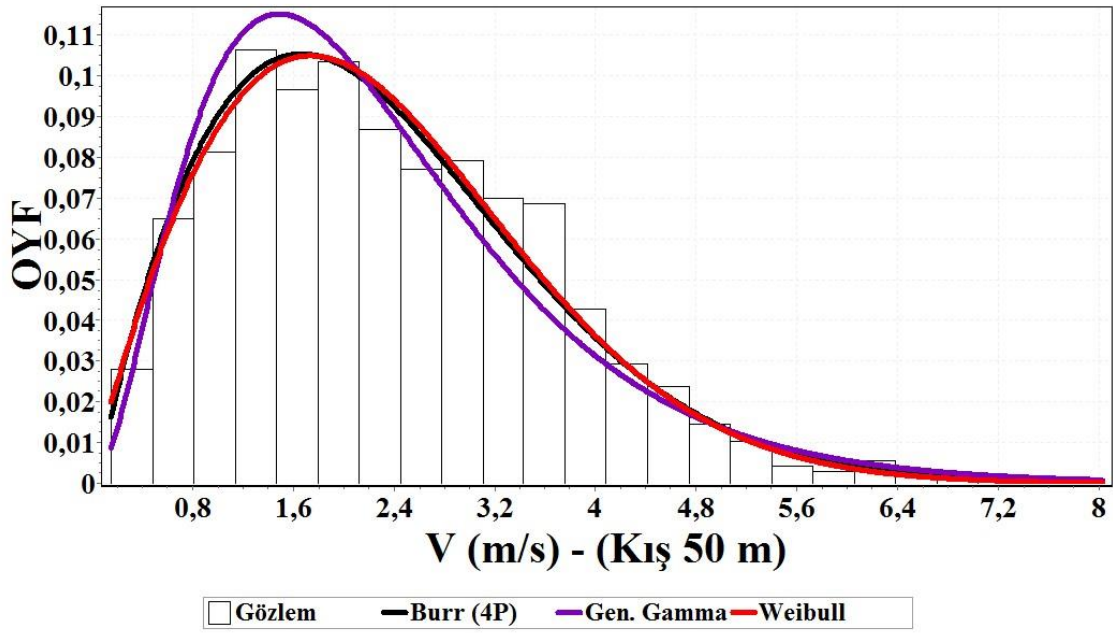


Şekil 3.3-3.12’de hem mevsimsel bazda hem de yıllık bazda ölçülen rüzgar hızlarının histogram biçiminde düzenlenmiş sıklık grafikleri verilmiş olup Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull dağılımlarının, histogramların orta noktalarının birleştirilmesi ile oluşacak eğriye olan uyumlarını gösteren model eğrileri gösterilmiştir.

Gözönüne alınan bölgenin kış mevsiminde 10 m yükseklikte ölçülen rüzgar hızları sıklıkları Şekil 3.3’de verilmekte olup rüzgar profilinin sağa çarpık kompozisyon çizdiği, basırlığının artması ile normal dağılımdan uzaklaştığı ve Burr (4P) dağılım eğrisi ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. Gözönüne alınan bölgenin kış mevsiminde 50 m yükseklikte ölçülen rüzgar hızları sıklıkları Şekil 3.4’de verilmektedir. Şekil incelendiğinde rüzgar profilinin daha az sağa çarpık kompozisyon çizdiği, basırlığının nispeten artması ile normal dağılımdan uzaklaştığı ve Burr (4P) dağılım eğrisi ile benzerlik gösterdiği görülmektedir.



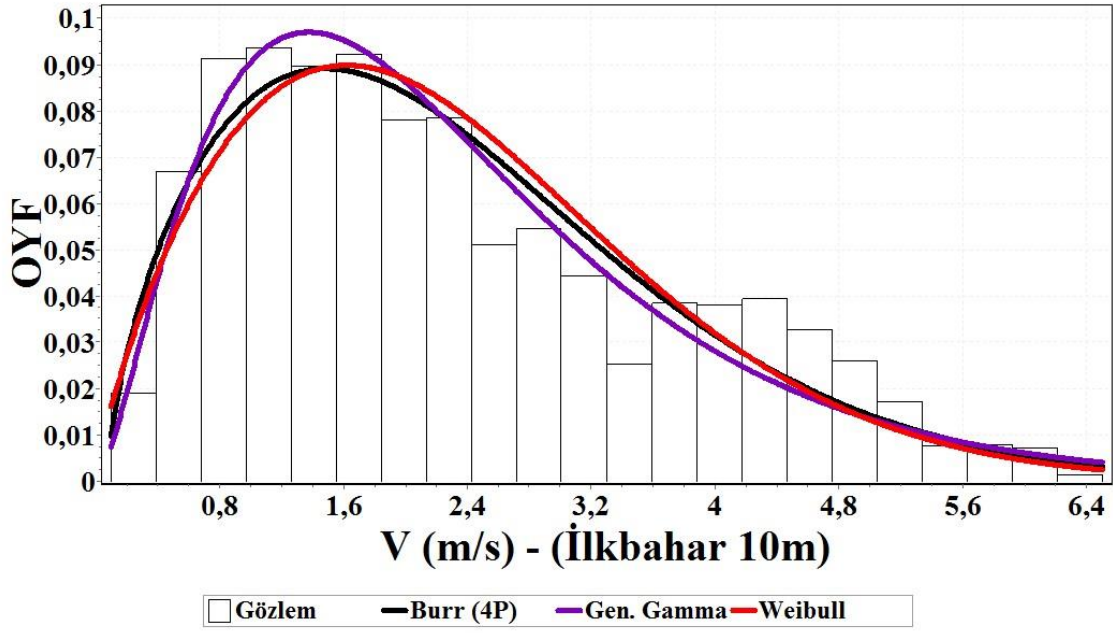
Şekil 3.3. Kış mevsimi için Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull OYF eğrileri (10 m)



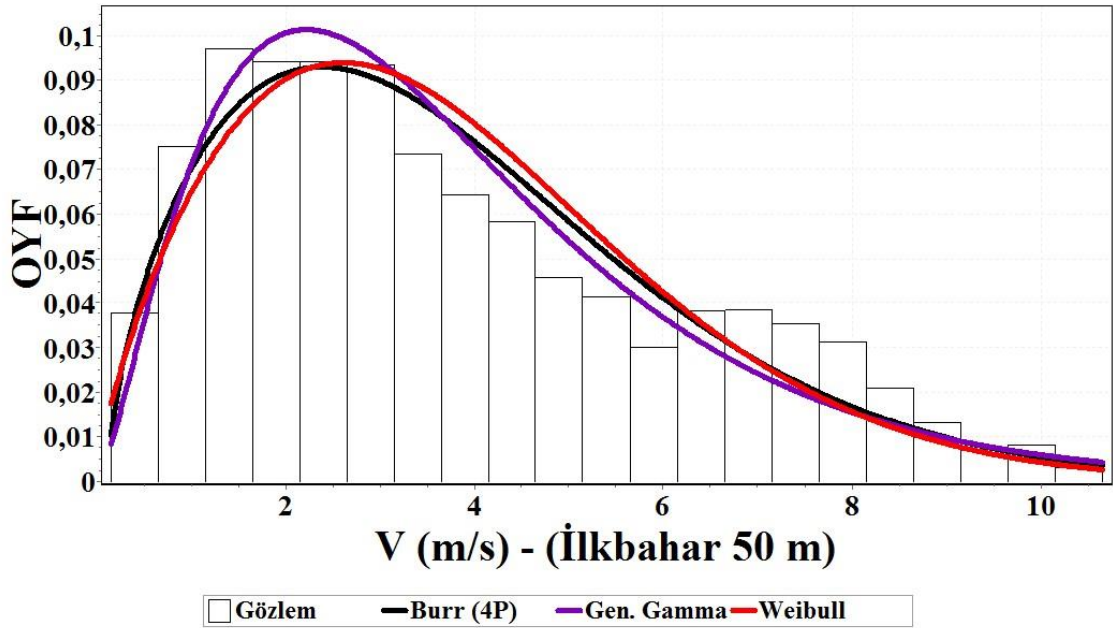
Şekil 3.4. Kış mevsimi için Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull OYF eğrileri (50 m)

Gözönüne alınan bölgenin ilkbahar mevsiminde 10 m yükseklikte ölçülen rüzgar hızları sıklıkları Şekil 3.5’de verilmiştir. Şekil incelendiğinde rüzgar profilinin kış mevsimine nazaran daha az sağa çarpık kompozisyon çizdiği, rüzgar hızı verilerinin artış göstermesine bağlı olarak basırlığının azalması ile normal dağılımdan uzaklaştığı ve Burr (4P) dağılım eğrisi ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. Ancak rüzgar hızı verisinin yayılımının artması Burr (4P) dağılımının eğri uydurma yeteneğini baskıladığı görülmektedir.

İlkbahar mevsimi için Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull OYF eğrileri (50 m) Şekil 3.6’da verilmektedir Şekil incelendiğinde rüzgar hızı verisinin yayılımının artması ve rüzgar hızlarının artış eğilimi göstermesine bağlı olarak özellikle yüksek rüzgar hızı verisi üzerinde Burr (4P) dağılımının eğri uydurma yeteneğinin kısmen azaldığı görülmektedir.



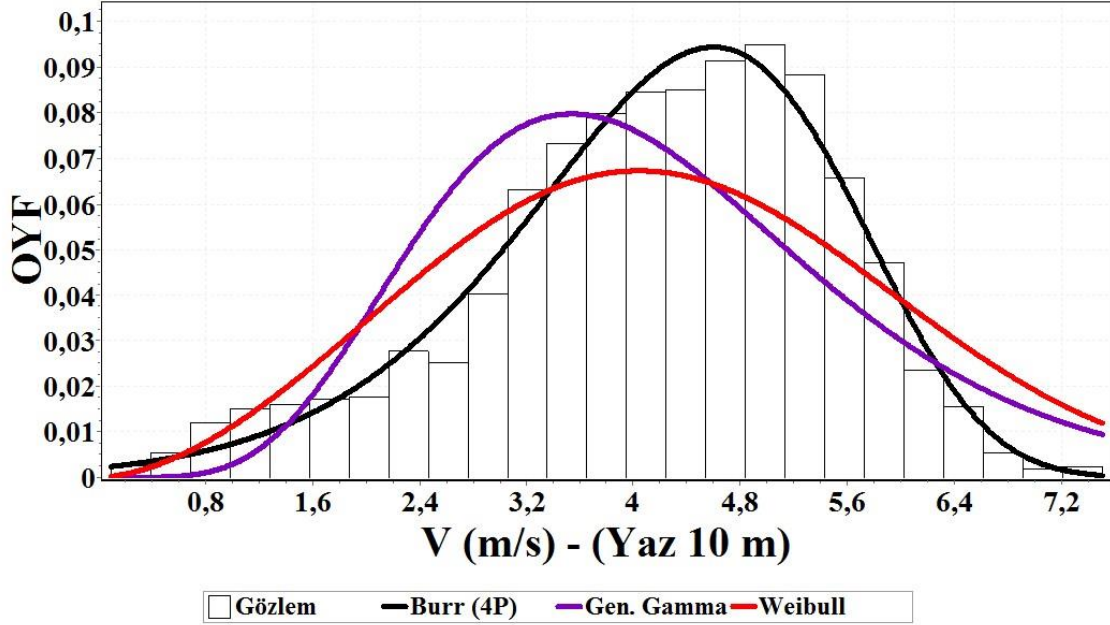
Şekil 3.5. İlkbahar mevsimi için Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull OYF eğrileri (10 m)



Şekil 3.6. İlkbahar mevsimi için Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull OYF eğrileri (50 m)

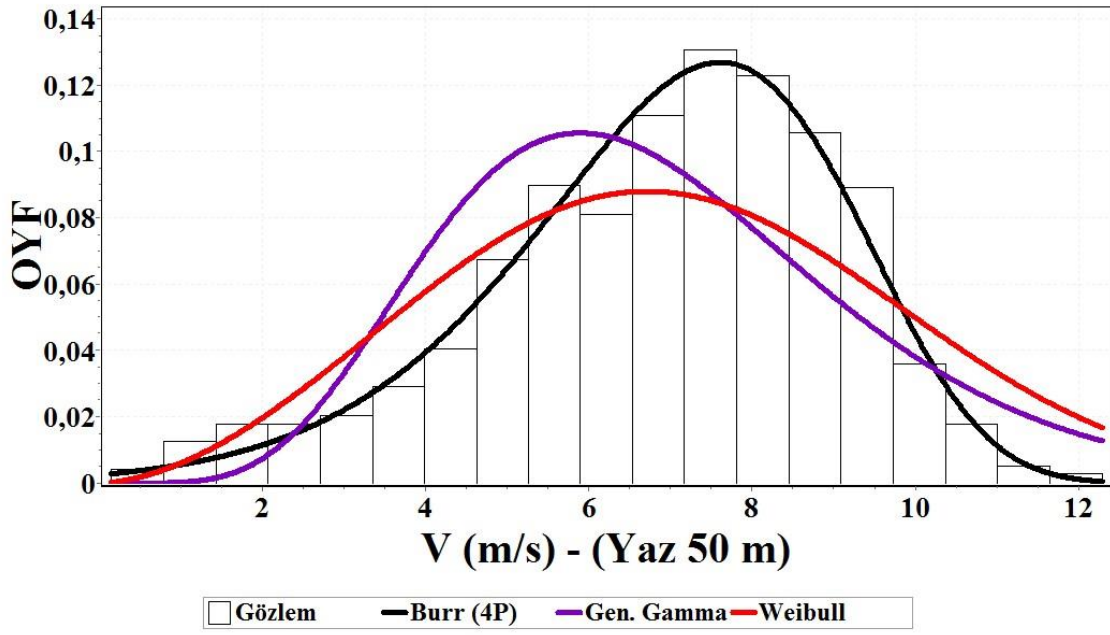
Yaz mevsimi için Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull OYF eğrileri (10 m) Şekil 3.7'de verilmektedir. Şekil incelendiğinde rüzgar profilinin kış ve ilkbahar mevsimlerine göre bariz sayılabilecek oranda sola çarpık kompozisyon çizdiği, rüzgar hızı verilerinin artış göstermesi, bunun neticesinde daha düzenli bir artış olmasına bağlı olarak basırlığının artması ile normal dağılımdan uzaklaştığı ve Burr (4P) dağılım eğrisi ile benzerlik gösterdiği

görülmektedir. Ancak rüzgar hızı verisinin yayılımının artması Gen. Gamma ve Weibull dağılımlarının eğri uydurma yeteneklerini açık bir şekilde baskıladığı görülmektedir.

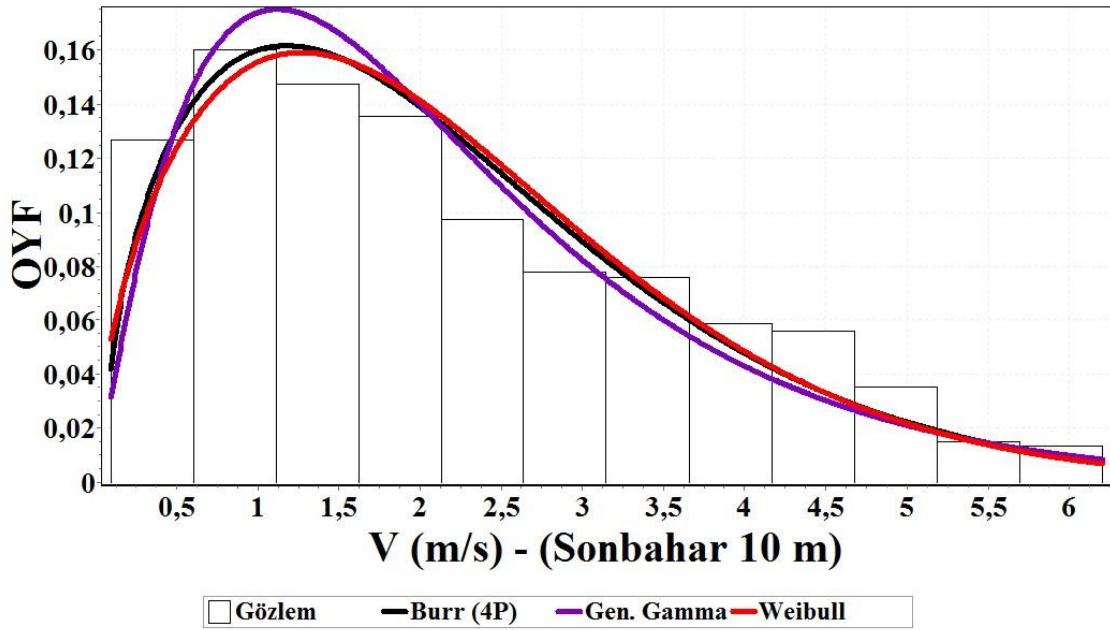


Şekil 3.7. Yaz mevsimi için Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull OYF eğrileri (10 m)

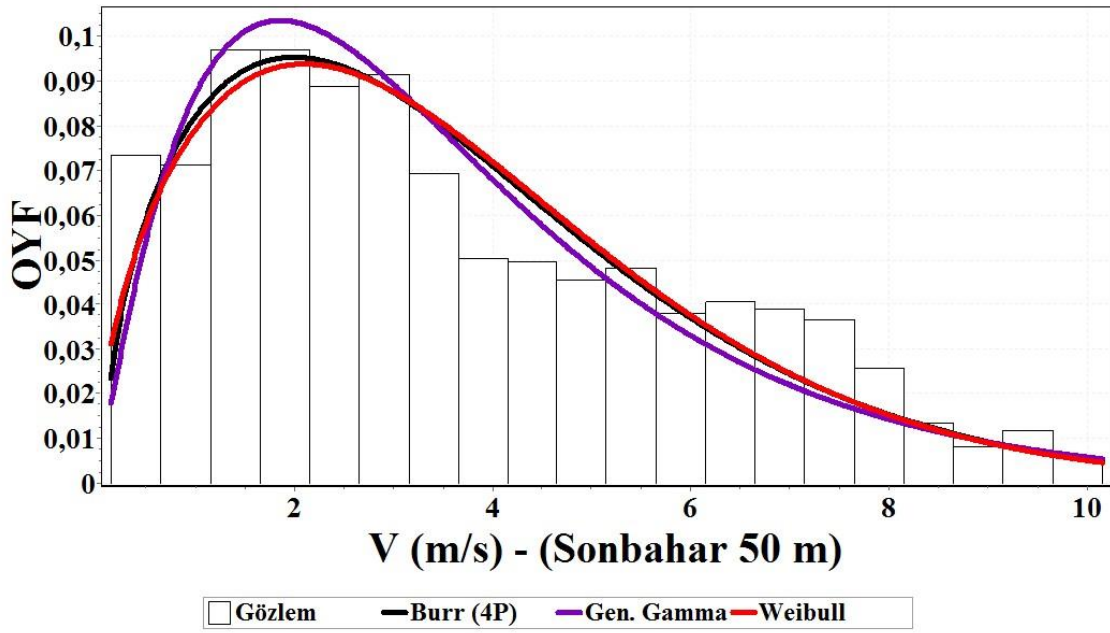
Bölgenin yaz mevsiminde 50 m yükseklikte ölçülen rüzgar hızları sıklıkları Şekil 3.8'de verilmekte olup rüzgar profilinin bariz bir şekilde sola çarpık kompozisyon çizdiği, rüzgar hızı verilerinin artış göstermesi ve fakat yayılımın 8 m/s etrafında yoğunlaşması ile basıklığının daha da artması ile normal dağılımdan uzaklaştığı ve Burr (4P) dağılım eğrisi ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. Ancak rüzgar hızı verisinin yayılımının artması ile Gen. Gamma ve Weibull dağılımlarının eğri uydurma yeteneklerinin azalması devam etmektedir.



Şekil 3.8. Yaz mevsimi için Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull OYF eğrileri (50 m)



Şekil 3.9. Sonbahar mevsimi için Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull OYF eğrileri (10 m)

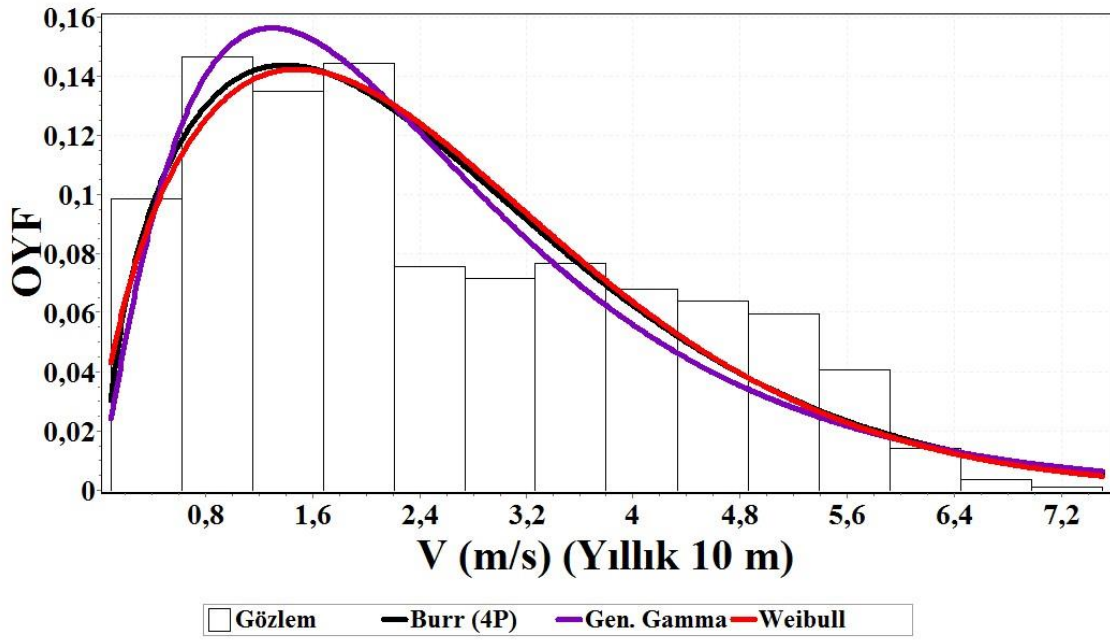


Şekil 3.10. Sonbahar mevsimi için Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull OYF eğrileri (50 m)

Bölgenin Sonbahar mevsiminde 10 m yükseklikte ölçülen rüzgar hızları sıklıkları Şekil 3.9'da verilmekte olup rüzgar profilinin Kış mevsiminde izlenen tabloya benzer şekilde sağa çarpık kompozisyon çizdiği, basıklığının artması ile normal dağılımdan uzaklaştığı ve Burr (4P) dağılım eğrisi ile benzerlik gösterdiği görülmektedir.

Bölgenin Sonbahar mevsiminde 50 m yükseklikte ölçülen rüzgar hızları sıklıkları Şekil 3.10'da verilmekte olup rüzgar profilinin daha az sağa çarpık kompozisyon çizdiği, basıklığının nispeten azalması ile normal dağılımdan uzaklaştığı ve Burr (4P) dağılım eğrisi ile benzerlik gösterdiği görülmektedir.

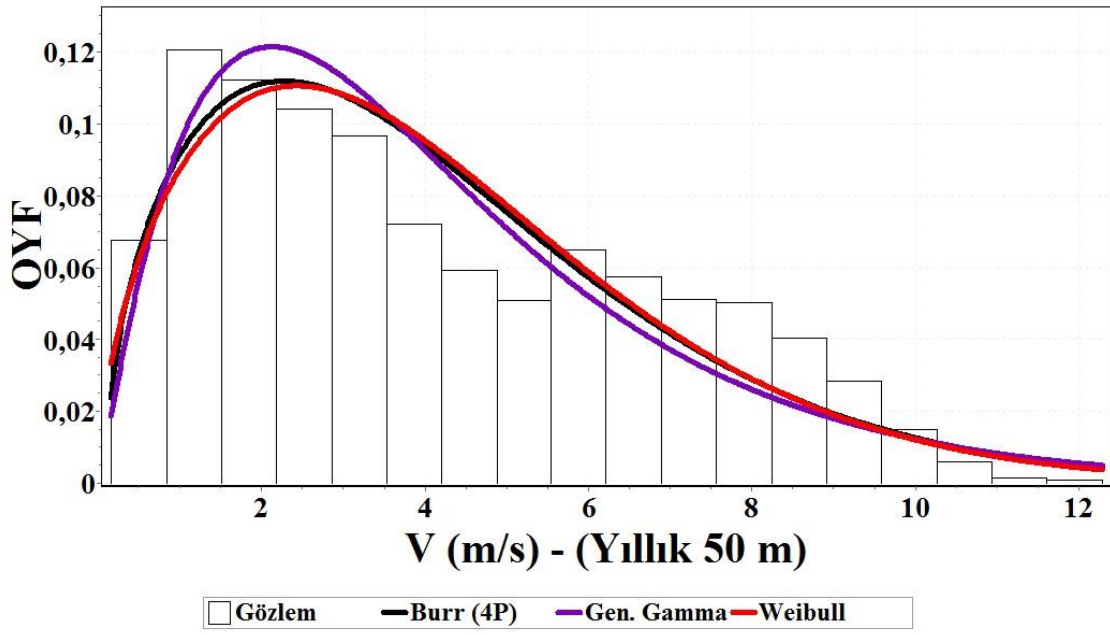
Şekil 3.9 ve 3.10'da rüzgar hızı verisinin Yaz mevsiminden çıkışa bağlı olarak sınırlı artış ve kısıtlı yayılım genişlemesi göstermesi yanı sıra rüzgar hızlarının artış eğilimi göstermesine bağlı olarak özellikle yüksek rüzgar hızı verisi üzerinde Burr (4P) dağılımının eğri uydurma yeteneğinin kısmen azaldığı görülmektedir. Diğer yandan her üç dağılım için benzer sonuçlar ortaya çıktığı görülmektedir.



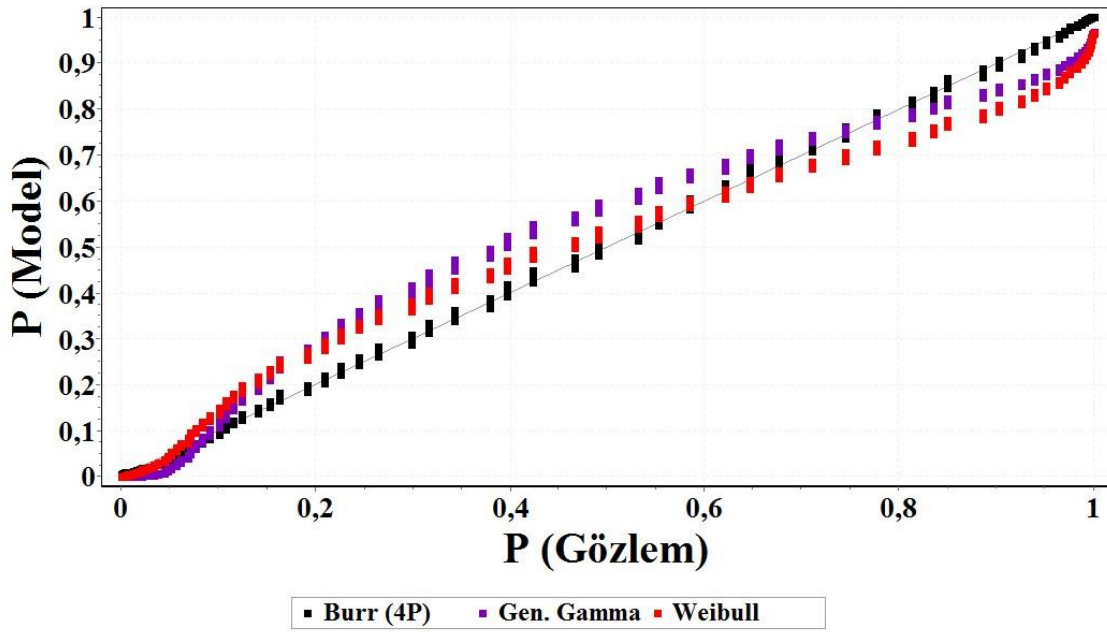
Şekil 3.11. Yıllık rüzgar verisi için Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull OYF eğrileri (10 m)

Bölgenin yıl genelinde 10 m yükseklikte ölçülen rüzgar hızları sıklıkları Şekil 3.11'de verilmektedir. Şekil incelendiğinde rüzgar profilinin Kış mevsimde izlenen tabloya benzer şekilde sağa çarpık kompozisyon çizdiği, basıklığının artması ile normal dağılımdan uzaklaştığı ve Burr (4P) dağılım eğrisi ile benzerlik gösterdiği görülmektedir.

bölgenin yıl genelinde 50 m yükseklikte ölçülen rüzgar hızları sıklıkları Şekil 3.12'de verilmektedir. Şekil incelendiğinde rüzgar profilinin daha az sağa çarpık kompozisyon çizdiği, basıklığının nispeten azalması ile normal dağılımdan uzaklaştığı ve Burr (4P) dağılım eğrisi ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. Yıllık bazda Gen. Gamma dağılımının Weibull ve Burr (4P) dağılımları kadar başarılı olamadığı ayrıca görülmektedir.



Şekil 3.12. Yıllık rüzgar verisi için Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull OYF eğrileri (50 m)



Şekil 3.13. Yıllık rüzgar verisi için Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull OYF P-P eğrileri



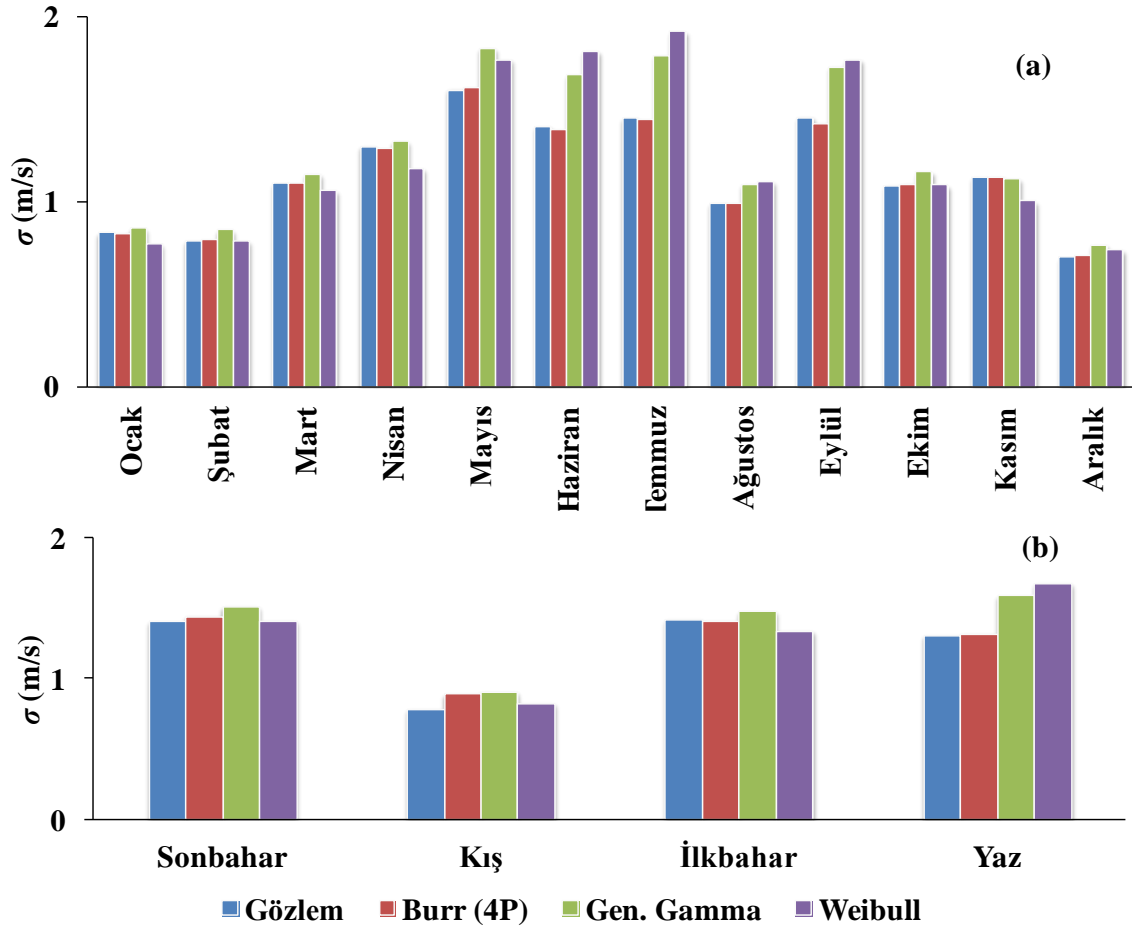
Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull modellerinin olasılık yoğunluk fonksiyonlarının gözlem sıklığı eğrisini tahmin yeteneğini görmek için başvurulan bir diğer yöntem ise her bir dağılım için olasılık-olasılık (P-P) grafiğini incelemektir.

Gözlem değerlerinin olasılığına karşılık model bazında olasılık değerlerinin aynı saçılım grafiği üzerinde gösterilmesine dayalı olarak oluşturulan P-P grafiği Şekil 3.13'de görülmektedir. Şekilden anlaşılacağı üzere olasılık değerleri gözlem değerlerinin sıklığının arttığı noktalarda saçılım ekseninden uzaklaşmaktadırlar. Bu manada 0,2 - 0,6 olasılık değerleri arasında Burr dağılımı için daha az olmakla birlikte her üç eğride bombe yapmaktadır. Bu durum sıklığın artışı ile açıklanabilir. Ancak grafik geneli incelendiğinde hemen hemen tüm olasılık değerleri için korelasyonun yani saçılım eksenine yakınlık ölçüsünde Burr (4P) modelinin olasılıkları tahmin etme yeteneği Gen. Gamma ve Weibull modellerine göre daha yüksektir.

Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull modellerinin hem aylık hem de mevsimler bazında  $\sigma$  değişimleri Şekil 3.14'de görülmektedir. Sapmanın en yüksek ve en düşük olduğu aylar Temmuz ve Aralık ayları olup Mayıs ve Eylül ayları Burr (4P) dağılım modeli için en başarılı dönemler olmuştur. Diğer yandan kış döneminde 0,83 m/s sapma ile Weibull en başarılı model olurken rüzgar artışının en yüksek olduğu yaz mevsimi için Burr (4P), 1,31 m/s ile en başarılı model olmuştur. Ancak genel manada gözlemin sapma değerlerine en yakın sapma değerlerini Burr (4P) dağılımı yakalamaktadır.

Çalışma kapsamında kullanılan Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull dağılımları tarafından rüzgar hızı frekans sıklığı eğrisini tahmin etme ve yakın eğri modelleme sonuçlarını daha net olarak görebilmek için  $D$  ve  $\chi^2$  uyum iyiliği testleri uygulanmıştır. Her iki uyum iyiliği testi içinde uyum istatistiği (Uİ) değerleri ve dağılımların birbirlerine başarı sıraları Çizelge 3.4'de sunulmuştur. Çizelgeden de görüldüğü gibi hem  $D$  hem de  $\chi^2$  Uİ değerlerine göre Burr (4P) dağılımı gerçek veriyi modelleme konusunda daha başarılı sonuçlar üretmiştir. Çizelgeye göre aylar bazında sekiz kez  $D$  ve altı kez  $\chi^2$  en iyi Uİ değerini elde eden Burr (4P) dağılımı, mevsimler bazında dört kez  $D$  ve üç kez  $\chi^2$  en iyi Uİ değerini elde etmekte ve yıl bazında da benzer başarı sırasını yakalamaktadır. Bunu yanı sıra periyot boyunca Gen. Gamma ve Weibull dağılımları birbirine yakın değerler göstermektedir.

Dağılımların modelleme performanslarını değerlendirmek üzere gözlem ve tahmin arasındaki korelasyona bakılmış, sıralamanın netleşmesi  $R^2$  değerleri ile sağlanmıştır. Bu durumda Burr (4P) dağılımı 0,999660  $R^2$  değeri ile birinci, Gen. Gamma ve Weibull ise 0,999644 ve 0,999105  $R^2$  değerleri ile ikinci ve üçüncü olmuşlardır. Hata analizinde ise Burr (4P) dağılımı 0,02087  $RMSE$  değeri ile yine birinci sırada olduğu görülmektedir.



Şekil 3.14. Dağılımlar için ay ve mevsim bazında  $\sigma$ 'nın değişimi

Çizelge 3.4. Dağılımların ay, mevsim ve yıl bazında uyum değerleri

Uİ Test	Burr (4P)		Gen, Gamma		Weibull	
	<i>D</i>	$\chi^2$	<i>D</i>	$\chi^2$	<i>D</i>	$\chi^2$
	Uİ - Sıra	Uİ - Sıra	Uİ - Sıra	Uİ - Sıra	Uİ - Sıra	Uİ - Sıra
Ocak	0,05307 - 1	58,012 - 3	0,05450 - 2	31,358 - 2	0,06804 - 3	28,542 - 1
Şubat	0,05787 - 2	32,985 - 2	0,08246 - 3	62,180 - 3	0,05741 - 1	32,445 - 1
Mart	0,03457 - 1	27,726 - 2	0,04449 - 3	35,124 - 3	0,04151 - 2	18,665 - 1
Nisan	0,04697 - 2	20,897 - 1	0,04486 - 1	21,965 - 2	0,06327 - 3	56,990 - 3
Mayıs	0,09331 - 2	49,839 - 1	0,11223 - 3	78,759 - 3	0,08528 - 1	57,473 - 2
Haziran	0,04887 - 1	17,687 - 1	0,12076 - 3	138,17 - 3	0,11040 - 2	137,75 - 2
Temmuz	0,04669 - 1	14,438 - 1	0,15418 - 3	215,01 - 3	0,13195 - 2	204,35 - 2
Ağustos	0,05288 - 1	52,837 - 2	0,10172 - 3	61,975 - 3	0,06008 - 2	44,683 - 1
Eylül	0,06236 - 1	45,863 - 1	0,12146 - 3	106,67 - 3	0,07685 - 2	85,443 - 2
Ekim	0,04532 - 1	44,136 - 2	0,05931 - 3	40,118 - 1	0,04583 - 2	54,460 - 3
Kasım	0,04528 - 2	19,942 - 1	0,03913 - 1	26,833 - 2	0,04754 - 3	46,605 - 3
Aralık	0,04771 - 1	44,229 - 2	0,08203 - 3	134,60 - 3	0,05907 - 2	43,637 - 1
Kış	0,04111 - 1	44,347 - 1	0,05046 - 3	147,85 - 3	0,04505 - 2	44,985 - 2
İlkbahar	0,04428 - 1	45,411 - 1	0,04632 - 2	48,439 - 2	0,05466 - 3	98,811 - 3
Yaz	0,03084 - 1	34,051 - 1	0,12672 - 3	546,19 - 3	0,10961 - 2	402,35 - 2
Sonbahar	0,04100 - 1	65,919 - 1	0,05017 - 3	68,270 - 2	0,04313 - 2	84,304 - 3
Yıllık	0,06197 - 1	621,960 - 2	0,07228 - 3	697,53 - 3	0,06576 - 2	587,39 - 1
<i>R</i> <sup>2</sup>	0,999660 - 1		0,999644 - 2		0,999105 - 3	
<i>RMSE</i>	0,02087 - 1		0,0213655 - 2		0,033887 - 3	

### 3.1.8. Rüzgar gücü değerlendirmesi

Meteoroloji istasyonu tarafından ölçülen rüzgar hızları ve bu hızlara karşılık gelen güç yoğunluğu değerleri Çizelge 3.5’de verilmektedir. Ay ve mevsim bazında ortalama rüzgar hızları ve güç yoğunluğu değerleri 4,39 (m/s) – 48,41 (Ws) ile en yüksek Ağustos ayında ve 4,22 (m/s) – 43,26 (W/m<sup>2</sup>) ile değerleri ile en yüksek yaz mevsiminde gerçekleşmektedir. Yıl bazında ise ortalama rüzgar hızları ve güç yoğunluğu değerleri 2,54 (m/s) – 9,74 (W/m<sup>2</sup>) olarak gerçekleşmektedir.

Meteorolojik ölçümler genellikle toprak seviyesinden 10 m yükseklikte yapılmaktadır. Ancak rüzgar potansiyeli değerlendirmelerinde rüzgar hızları genellikle topraktan 50 m yüksekliğe uyarlanmaktadır. Bu bağlamda Çizelge 3.5’de görüldüğü gibi Mart, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında Burr (4P) dağılımı tarafından tahmin edilen rüzgar hızı değerlerinin gözlem değerlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Mevsim bazında ise ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde birebir tahminler gerçekleşmesi, bu durumun yıl bazında da aynı şekilde

gerçekleşmesi ve hatta % 0,46 gibi en düşük göreceli hata oranı ile Burr (4P) dağılımının diğer dağılımlara nazaran daha başarılı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu manada Gen. Gamma ve Weibull dağılımları sırasıyla % 0,62 ve % 1,17 göreceli hata değerleri ile Burr (4P) dağılımını takip etmektedirler.

Çizelge 3.5. Gözlenen ve tahmin edilen ortalama rüzgar hızı ve güç yoğunluğu değerleri

Dönem	Gözlenen ortalama hız (m/s) ve güç yoğunluğu (W/m <sup>2</sup> ) 10 m		Tahmini ort hız (m/s) 50 m			
	$V_G$	$P_G$	$V_G$	$V_B$	$V_{GG}$	$V_W$
Ocak	1,52	2,18	2,49	2,50	2,49	2,47
Şubat	1,44	1,84	2,36	2,37	2,36	2,36
Mart	1,91	4,19	3,12	3,12	3,11	3,10
Nisan	2,11	5,60	3,45	3,46	3,45	3,40
Mayıs	2,94	14,98	4,81	4,82	4,79	4,85
Haziran	3,95	35,69	6,46	6,47	6,44	6,62
Temmuz	4,31	46,11	7,06	7,07	7,04	7,22
Ağustos	4,39	48,41	7,19	7,20	7,19	7,22
Eylül	3,13	17,81	5,13	5,16	5,11	5,24
Ekim	1,87	3,84	3,06	3,06	3,04	3,05
Kasım	1,55	2,26	2,54	2,54	2,54	2,49
Aralık	1,26	1,23	2,06	2,06	2,05	2,07
Kış	1,41	1,71	2,30	2,42	2,42	2,41
İlkbahar	2,32	7,47	3,80	3,80	3,80	3,77
Yaz	4,22	43,26	6,91	6,84	6,82	6,95
Sonbahar	2,18	6,13	3,57	3,57	3,55	3,55
Yıl	2,54	9,74	4,16	4,16	4,14	4,13
Göreceli Hata (%)				0,46	0,62	1,17

50 m yükseklik için için uyarlanan rüzgar verisine dayalı olarak hesaplanan birim alan güç yoğunluğu değerleri (W/m<sup>2</sup>) ve Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull modelleri tarafından tahmin edilen yoğunluğu değerleri (W/m<sup>2</sup>) Çizelge 3.6'da verilmektedir. Özellikle mevsim bazında Burr (4P) dağılımının daha başarılı olduğu ve Gen. Gamma ve Weibull tarafından yapılan tahminlerin ise Burr (4P) tarafından yapılan tahminlere oldukça yakın olduğu görülmektedir.

Yıl bazında Burr (4P), ( $P_{Burr}$ ), Gen. Gamma ( $P_{GGamma}$ ) ve Weibull ( $P_{Wei}$ ) dağılımları tarafından tahmin edilen güç yoğunluğu değerleri; 42,97; 42,21 ve 41,99 W/m<sup>2</sup> ile değeri 42,75 W/m<sup>2</sup> olan gözlem güç yoğunluğu, ( $P_G$ )'nin bir birine yakın olması dikkat çekicidir.

Çizelge 3.6. Dağılımlar tarafından tahmin edilen güç yoğunluğu değerleri

Dönem	Tahmini Güç Yoğunluğu değerleri (W/m <sup>2</sup> ) 50 m			
	$P_G$	$P_{Burr}$	$P_{GGamma}$	$P_{Wei}$
Ocak	9,56	9,59	9,53	9,30
Şubat	8,10	8,11	8,02	8,03
Mart	18,40	18,41	18,26	18,08
Nisan	24,59	24,70	24,58	23,53
Mayıs	65,75	65,89	64,74	67,13
Haziran	156,62	157,47	155,18	168,19
Temmuz	202,35	203,15	200,70	216,30
Ağustos	212,46	212,92	212,06	214,61
Eylül	78,15	79,19	76,96	83,25
Ekim	16,86	16,91	16,68	16,75
Kasım	9,92	9,90	9,97	9,35
Aralık	5,38	5,38	5,30	5,47
Kış	7,52	8,77	8,74	8,58
İlkbahar	32,77	32,85	32,70	31,97
Yaz	189,84	184,22	182,48	193,39
Sonbahar	26,91	26,83	26,55	26,54
Yıllık	42,75	42,97	42,21	41,99

Battelle-Pacific Northwest Laboratuvarı (PNL) tarafından geliştirilen rüzgar enerjisi güç yoğunluğu sınıflandırma sistemi Çizelge 3.7’de görülmektedir (Li ve Li, 2005). Bu çizelgede en düşüğü “1” olmak üzere 1’den 7’ye kadar sınıflama ve 10 m ölçüm yüksekliğinden 50 m’ye uyarlama yapılmıştır. Çizelge de Sınıf 1 ve Sınıf 2, uygun değil ve/veya zayıf şeklinde nitelendirilmektedir. Referans olması açısından 750 kW kapasiteye sahip türbinler için genellikle Sınıf 3 yeterli görülmektedir.

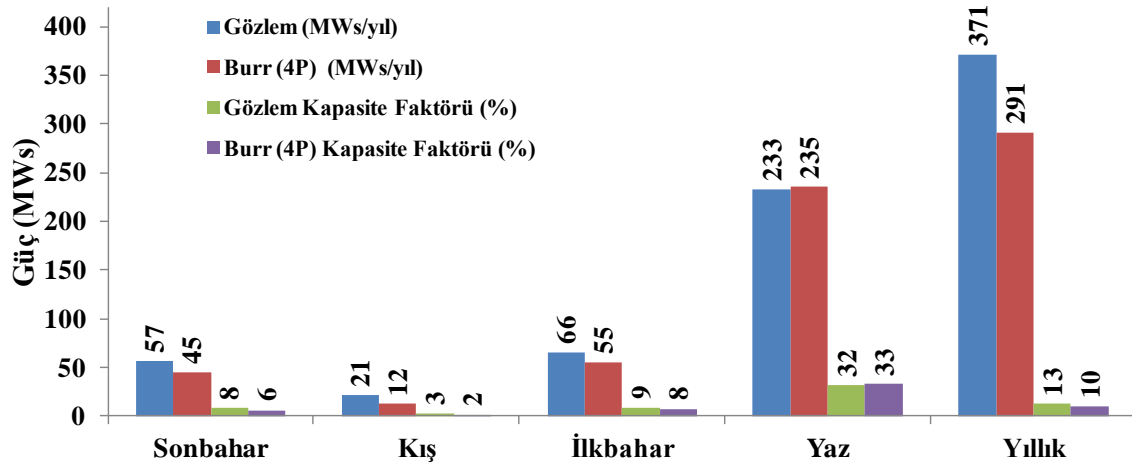
Çizelge 3.7. Rüzgar enerjisi yoğunluğu için Uluslararası Ticari Sınıflandırılma Sistemi

Rüzgar Gücü Sınıfı	Rüzgar gücü yoğunluğu ( $W/m^2$ ) ve hızı (m/s) 10 m	Rüzgar gücü yoğunluğu ( $W/m^2$ ) ve hızı (m/s) 50 m
1	$\leq 100$ ; $\leq 4,4$	$\leq 200$ ; $\leq 5,6$
2	$\leq 150$ ; $\leq 5,1$	$\leq 300$ ; $\leq 6,4$
3	$\leq 200$ ; $\leq 5,6$	$\leq 400$ ; $\leq 7,0$
4	$\leq 250$ ; $\leq 6,0$	$\leq 500$ ; $\leq 7,5$
5	$\leq 300$ ; $\leq 6,4$	$\leq 600$ ; $\leq 8,0$
6	$\leq 400$ ; $\leq 7,0$	$\leq 800$ ; $\leq 8,8$
7	$\leq 1000$ ; $\leq 9,4$	$\leq 2000$ ; $\leq 11,9$

50 m yüksekliğe uyarlanmış rüzgar hızı değerlerine bağlı olarak yaz ayları ve yaz mevsimi dışında aylık ve yıllık ortalama güç yoğunluğu değerleri  $100 W/m^2$ 'den küçük olması nedeniyle rüzgar gücü sınıflanmasında bölge güç yoğunluğu potansiyeli, rüzgar gücü sınıflanmasında en düşük potansiyeli gösteren Sınıf 1 grubuna girmektedir. Dolayısı ile bu bölgenin rüzgar gücü yoğunluğunun düşük kalması, rüzgar enerjisi sistemleri tarafından elde edilebilecek elektrik miktarının düşük olacağına ve şebekeye doğrudan destek verebilmesinin mümkün görünmediğine işaret etmektedir (Mert ve diğerleri, 2013). Ancak şebeke erişimi bulunmayan bölgelerde Sınıf 1 grubuna giren düşük güç yoğunluğu gerektiren uygulamalarda mevcut potansiyelin kullanılabilmesi değerlendirilmektedir.

Yapılan modelleme çalışmaları esnasında en başarılı model olan Burr (4P) dağılımına ve Enercon E33 rüzgar türbininin teknik değerlerine bağlı olarak mevsimler ve yıl bazında güç üretimi ve kapasite faktörü tahminleri Şekil 3.15'de gösterilmektedir.

Mevsimler bazında Burr dağılımı tarafından yapılan güç üretimi tahmini 235 MWs ile Yaz mevsimi en başarılı, 12 MWs ile en az başarılı dönem Kış mevsimi olmuştur. Ancak kapasite faktörleri dikkate alındığında yine en başarılı dönem % 33 ile Yaz mevsimidir. Yıl bazında 291 MWs güç üretimi ve % 10 kapasite faktörü ile gerçek değerler yaklaşık % 80 oranında tahmin edilebilmektedir.



Şekil 3.15 Mevsim ve yıl bazında güç üretimi ve kapasite faktörü

### 3.1.9. Sonuçlar

Bu çalışmada, Hatay bölgesindeki rüzgar gücü yoğunluğu ve rüzgar hızı dağılımı parametrelerinin istatistiksel analizi ve 2002-2009 yılları arasında ölçülen rüzgar hızı verilerinin sıklık eğrilerinin modellenmesi Burr (4P), Gen. Gamma ve Weibull dağılımları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Weibull, Burr (4p) ve Gen. Gamma dağılım parametreleri için parametre kestirim tekniği olarak, MOM kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, Kolmogorov-Smirnov ( $D$ ) ve Chi-Square ( $\chi^2$ ) uyum iyiliği testleri ile Belirleme Katsayısı ( $R^2$ ) ve Ortalama Hata Kareleri Toplamının Karekökü (RMSE) hata analizleri ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar kısaca özetlemek gerekirse;

- En yüksek ve en düşük ortalama hız değerleri 4,39 - 1,26 m/s (10 m) ve 7,19 - 2,06 m/s (50 m) olarak hesaplanmıştır.
- Yıllık ortalama hız verisi için tahmini  $\sigma$  değerleri Burr dağılımında ortalama 1,15 m/s; Weibull ve Gen Gamma dağılımında ise sırasıyla 1,25 - 1,28 m/s olarak hesaplanmıştır.
- Hakim rüzgar yönleri ise Kuzey-Doğu (NE-45°) ve Güney-Güney/batı (SSW-202°) olarak gerçekleşmiştir.
- Bölgede hakim olan ve enerji yoğun rüzgar yönü toplam yön verisinin % 44,1'ini SSW oluşturmaktadır.
- Düşük  $\sigma$  değerleri ve rüzgar hızı sıklık eğrilerini iyi derecede modelleyebilmesi ile Burr dağılımı kesinlikle güç üretimi tahmininde dikkate alınması gereken bir

modeldir. Bununla beraber Weibull ve Gen. Gamma dağılımları da bölge rüzgar hızı modellemesinde Burr dağılımından sonra dikkate alınabilecek modeller olmuştur.

- En yüksek ortalama güç yoğunluğu  $212,46 \text{ W/m}^2$  değeri ile Ağustos ayında; en düşük ortalama güç yoğunluğu  $5,38 \text{ W/m}^2$  değeri ile Aralık ayında elde edilmektedir.
- Burr dağılımı ile Enercon E33 rüzgar türbini tarafından üretilebilecek tahmini güç, yıl bazında 291 MWs olup ortalama kapasite faktörü % 10 ile sınırlı kalmıştır. Ancak Yaz aylarında bölgenin rüzgar potansiyelinin zenginleşmesi ile 235 MWs üretim ve % 33 kapasite oranı yakalanabilmektedir.

Sonuç itibarıyla, Antakya bölgesinde yaz ayları hariç olmak üzere aylık ve yıllık ortalama güç yoğunluğu olarak  $100 \text{ W/m}^2$ 'den küçük değerler elde edildiği için düşük güç yoğunluğuna bağlı olarak rüzgar enerjisi sistemleri tarafından şebekeye doğrudan destek verilebilmesinin mümkün görünmediği, mevcut potansiyelin daha çok şebeke erişimi bulunmayan ve/veya kırsal alanlarda düşük güç yoğunluğu gerektiren uygulamalarda kullanılabileceği değerlendirilmektedir. Ancak yaz ayları bölge tarımsal arazileri ve çiftçileri bakımından oldukça önemlidir. Bu bağlamda mevcut potansiyelin bölgeye oldukça yakın olan Amik ovasında faaliyet gösteren çiftçiler açısından tarımsal sulama amacıyla pompaların çalıştırılması ve aydınlatma gibi uygulamalarda oldukça faydalı olacağı düşünülmektedir.



## 3.2. Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Rüzgar Türbini Güç Üretiminin Tahmini

### 3.2.1. Giriş

Bir ülkenin ekonomik ve sosyal bakımdan kalkınmasında birer gösterge niteliğinde olan; sanayi tarafından harcanan ve kişi başına tüketilen enerjinin yerinde, zamanında ve güvenilir bir şekilde karşılanması büyük önem arz etmektedir. Dünya nüfusunun artması ile enerjiye olan ihtiyaç artarken teknolojinin ve sanayinin gelişimi bu ihtiyacın karşılanmasını zorunlu hale getirmektedir.

Yeryüzündeki fosil yakıtların ömrünün kısıtlı olması, gerekli enerjinin üretimi için yenilenebilir enerji kaynaklarından da yararlanılarak alternatif enerji üretim yöntemlerini zorunlu hale getirmiştir. Güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretimindeki temel problem üretilecek enerji miktarının önceden bilinmemesidir. Zira rüzgar santral işletmecilerinin gün öncesi piyasasına bildirilmesi gereken günlük enerji üretim miktarını önceden tahmin etmesi gerekmektedir. Bu sebeple bir rüzgar türbini tarafından üretilebilecek enerjinin tahmin edilmesi oldukça önemlidir.

Gün geçtikçe yapılan yeni ve alternatif enerji kaynaklarına yönelik yatırımlar, kalkınma ajansları ve devletler tarafından geliştirilen teşvik sistemleri, beklenen ilgiyi üzerine çekemeyen alternatif enerji kaynakları kullanımının yaygınlaşması konusunda ümitleri artırmaktadır.

En önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olan rüzgâr enerjisi, değişken dünya atmosferik koşulları nedeniyle süreklilik ve yenilenebilirlik özelliğini maruz kaldığı coğrafi özelliklerden etkilense de devam ettirebilmektedir (Köse ve Özgören, 2005). Bu nedenle Türkiye de dahil olmak üzere bir çok Avrupa ülkesinde yatırım potansiyeli giderek artan rüzgar enerjisi, son derece ekonomik olmasının yanı sıra, doğaya en az zararlı enerji türlerinden biri olarak dikkat çekmektedir.

Nükleer enerji ve fosil yakıtlardan bağımsız kalmak isteyen ülkeler, yenilenebilir enerjinin en ekonomik ve elde edilmesi en kolay türü olan rüzgar enerjisine hızlı bir şekilde geçiş yapmaktadırlar. Rüzgarın kinetik enerjisi, türbinlerin pervaneleri tarafından mekanik enerjiye dönüştürülürken elde edilen elektrik, endüstriyel kullanımın yanı sıra tarım alanlarında su pompalamadan evleri aydınlatmaya kadar birçok alanda kullanılabilir. Türkiye'nin kullanılabilir rüzgâr enerjisi potansiyeli bugün 48 GW olarak kabul edilmektedir (TCETKB, 2013). T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (TCETKB) tarafından açıklanan Türkiye Yenilenebilir Enerji Ulusal Eylem Planı kapsamında 2023

yılında hedeflenen rüzgar enerjisinden faydalanabilecek kısmı ise toplam potansiyelin % 41'ine denk gelen 20 GW düzeyinde olması hedeflenmektedir.

Rüzgâr türbinlerinde, elektrik enerjisi en önemli parametredir. Bu durum konuya ilgi duyan yatırımcılar ve hâlihazırda faaliyet gösteren rüzgâr santralleri açısından rüzgâr enerjisi tahmin modelleri üzerine tutarlılığı yüksek yöntemleri de içeren yeni araştırmaları gerekli kılmıştır.

Rüzgâr enerjisi tahmin modelleri olarak Dalgacık analizi (Yanning ve diğerleri, 2005), otoregresif hareketli ortalama (ARMA) (Torres ve diğerleri, 2005), birleştirilmiş otoregresif hareketli ortalama (ARIMA) (Ling ve Xu, 2011), Regresyon analizi (Akpınar ve diğerleri, 2005), bulanık mantık (Lapedes ve Farber, 1987) ve Mycielski algoritması (Hocaoğlu ve diğerleri, 2009), gibi yöntemlere literatürde sıkça rastlanılmaktadır. Bununla beraber rüzgar enerjisi potansiyeli belirleme çalışmalarında genellikle popüler sayılabilecek Weibull ve Rayleigh gibi olasılık dağılım modelleme yöntemleri kullanılsa da yapay sinir ağlarına dayanan yöntemlerde tercih edilmektedir (Atik ve diğerleri, 2007; Mert ve Karakuş, 2014).

Rüzgar hızı ve rüzgar gücü tahmini ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda çoklu regresyon, en küçük kareler yöntemi gibi doğrusal yöntemler kullanıldığı gibi yapay sinir ağı, bulanık mantık gibi doğrusal olmayan yapay zeka teknikleri ve benzeri modeller de kullanılmaktadır (Barbounis ve Theocharis, 2007; Bulut ve Açıkcalp, 2013; Ramasamy ve diğerleri, 2015).

Damousis ve diğerleri (2004) ise elektrik üretimi için gerekli olan rüzgar hızı tahmininde bulanık mantık modeli oluşturmuşlar ve eğitimde genetik algoritma tabanlı öğrenme şeması kullanılmışlardır. Sonuçta oluşturulan ağın tahminlerinin gerçek verilere oldukça yaklaştığını gözlemlemişlerdir.

Jursa ve Rohrig (2008) yapay sinir ağı modeli ve en yakın komşu arama modeli ile kısa süreli rüzgar gücü tahmininde bulunmuşlardır. Çalışmaları sonucunda parçacık sürü optimizasyonu ile oluşturulmuş model güç tahmininde en iyi sonucu vermiştir.

Kolsan ve diğerleri (2012) ise Ondokuz Mayıs Üniversitesi Dedebuzağı tepesine ait bir yıllık rüzgar verileri dikkate alınarak, unscented rüzgar gücü tahmin edilmeye çalışılmıştır. Unscented dönüşüm tekniğinden elde edilen sonuçlar, sıklık analizinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada benzer diğer araştırmalar oldukça sınırlıdır. Bu bağlamda yakın örnek olarak Mabel ve Fernandez (2008), Nisan 2002 Mart ile 2005 arasını kapsayan üç yıllık veriye bağlı olarak rüzgar türbinlerinin değişken enerji üretimlerini tahmin etmek için YSA tabanlı bir

model geliştirmişlerdir. Çalışmaları kapsamında rüzgar hızı, bağıl nem, türbin saatlik üretimlerinden oluşan üç girdi değişkenine karşılık rüzgar türbinlerinin değişken üretim değerlerinin çıktı olarak kullanıldığı bir YSA modeli tercih etmişlerdir. Sonuç olarak tercih edilen girdi parametrelerinin YSA çıktı değişkeni olan güç üretim değerlerini tahmin etmede başarılı olduğunu ve önerilen YSA modelinin yüksek doğruluk oranına sahip olduğunu belirlemişlerdir.

Kusiak ve Zhang (2010), çok katmanlı YSA modeli ile kısa dönemli rüzgar gücünü üretimi tahmin etmeye çalışmışlardır. Bir dakikalık aralıklar ile kaydedilen rotor hızı, jeneratör torku, bıçak eğim açısı, rüzgar hızı ve yönü verileri kullanarak geliştirilen YSA modelinin % 90 hassaslık derecesinde başarılı tahminler yapabildiğini ifade etmişlerdir.

Bilgili ve Şahin (2010), Lineer Regresyon, Nonlineer Regresyon ve Yapay Sinir Ağları yöntemleri ile rüzgar hızını başarılı bir şekilde tahmin etmişlerdir.

Ancak bahsi geçen çalışmalarda genellikle temel hava parametreleri kullanılmaktadır. Ancak farklı bir bakış açısı sunabilmek için hava parametrelerini betimleyen ve bu parametreler hakkında değerli bilgiler sunan alt istatistiki veriler (AİV) girdi olarak çoklu lineer regresyon modeli (ÇLRM) sürecine tabi tutulmuştur. Bu çalışmada ise nihai amaç Hatay iline ait meteorolojik veriler kullanılarak İleri beslemeli geri yayılımlı bir Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı (YSA) ile bir rüzgar türbini tarafından üretilen gücü tahmin eden çok değişkenli bir YSA modeli geliştirmektir. Bu amaçla temel hava verileri (THV) ve bunlara ait AİV'e dayanan iki farklı veri seti kullanılmıştır.

İlk veri seti THV temel hava verileri sayılan rüzgar hızı ve yönü, hava sıcaklığı ve basıncından oluşmaktadır. Yanı sıra AİV ise rüzgar hızı ve yönü, hava sıcaklığı ve basıncı parametrelerinden elde edilen günlük bazda maksimum, minimum, ortalama, standart sapma, çarpıklık ve basıklık değerlerinden oluşmaktadır.

Çalışma kapsamında öncelikle THV'ye bağılı olarak bir rüzgar türbini tarafından günlük toplam ( $P_{top}$ ), maksimum ( $P_{mak}$ ) ve minimum ( $P_{min}$ ) güç üretimi değerleri ile AİV arasındaki ilişkiyi temsil eden çoklu lineer modeller geliştirilmiştir. Adımsal regresyon yöntemi bu konuda tercih edilen yöntem olmuştur.  $P_{top}$ ,  $P_{mak}$  ve  $P_{min}$  değerleri bağımlı değişken, AİV ise bağımsız değişkenler olmak üzere üç farklı model adımsal regresyon yöntemi ile belirlenmiştir.

Adımsal regresyon yöntemi süreçte aktif olmayan parametreleri elimine etmek için kullanılmıştır. Sonraki adımda ise elde edilen etkin parametrelerinin girdi ve güç üretimi değerlerinin ise çıktı değerleri olduğu yapay sinir ağı (YSA) modellerini eğitmek ve test etmek için kullanılmıştır. Oluşturulan YSA modelleri Bayesian regularization (trainbr),

Levenberg-Marquardt (trainlm) ve Resilient BP (trainrp) algoritmaları ile eğitilmiştir. YSA'yı test etmek için kullanılan veriler aynı zamanda ÇLRM'ne uygulanarak, model performansları Belirlilik Katsayısı ( $R^2$ ), Tahmin Edilen Artık Hata Kareler Toplamı (Predicted Residual Sum of Squares - PRESS), Ortalama Hata Kareleri Toplamının Karekökü (RMSE) ve Ortalama Mutlak Hata (OMH) gibi kriterlere göre değerlendirilmiştir. Sonuç olarak uygulanan modeller ve değerlendirme kriterlerine göre çoklu lineer regresyon tabanlı yapay sinir ağı modellerindeki tahmin sonuçlarının lineer modellere kıyasla rüzgar türbini üretim değerlerine oldukça yakın olduğu belirlenmiştir.

### 3.2.2. Veri

Bu çalışmada, Hatay meteoroloji istasyonunda 10 m yükseklikte 2002–2012 yılları arasında ölçülen saatlik ortalama rüzgar hızı - yönü, atmosfer basıncı ve sıcaklığı gibi temel meteorolojik veriler incelenmiş ve verilerin tam olarak ölçüldüğü 2010 yılı baz alınmıştır. Ancak oluşturulan ÇLRM ve YSA modelinin giriş verisi olarak sadece Eş. 2.28 - 2.31 ile THV'ye ait maksimum, minimum ve ilk dört moment: ortalama, varyans (Standart Sapma için), Skewness (çarpıklık) ve Kurtosis (basıklık); 24 saatlik veriye dayalı olarak bazı istatistiksel değerler belirlenmiştir. Böylece toplamda; Çizelge 3.8'de verilen AİV'yi oluşturan her bir istatistiksel parametre için 365 adet veri seti oluşturulmuştur.

Çizelge 3.8. Meteorolojik verilere bağlı olarak hesaplanan ÇLRM ve YSA giriş verileri

Parametre		Maksimum (mak)	Minimum (min)	Ortalama ( $\mu$ )	Standard Sapma ( $\sigma$ )	Skewness ( $\gamma_1$ )	Kurtosis ( $\gamma_2$ )
Rüzgar hızı ( $V$ )	m/s	$V_{\text{mak}}$	$V_{\text{min}}$	$V_{\mu}$	$V_{\sigma}$	$V_{\gamma_1}$	$V_{\gamma_2}$
Rüzgar yönü ( $D$ )	derece	$D_{\text{mak}}$	$D_{\text{min}}$	$D_{\mu}$	$D_{\sigma}$	$D_{\gamma_1}$	$D_{\gamma_2}$
Atmosfer basıncı ( $p$ )	mbar	$p_{\text{mak}}$	$p_{\text{min}}$	$p_{\mu}$	$p_{\sigma}$	$p_{\gamma_1}$	$p_{\gamma_2}$
Atmosfer sıcaklığı ( $T$ )	$^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{mak}}$	$T_{\text{min}}$	$T_{\mu}$	$T_{\sigma}$	$T_{\gamma_1}$	$T_{\gamma_2}$

Öte yandan ÇLRM ve YSA'nın çıkış verisi olarak kullanılmak üzere aşağıda verilen eşitliklere bağlı olarak Aventa AV-7 model bir rüzgar türbinin üretebileceği  $P_{\text{top}}$ ,  $P_{\text{mak}}$  ve  $P_{\text{min}}$  değerlerinin her biri için 365 adet veri seti oluşturulmuştur. Rüzgar enerjisi ( $P_k$ ) temel olarak Eş. 2.4 ile ifade edilebilir. Bununla beraber bir rüzgar türbinin pratikte üretebileceği güç ( $P_E$ ) ise Eş. 2.17 ile ifade edilmektedir.

Eş. 2.17 ile verilen  $C_p$  rüzgar hızına karşılık rotor bıçak tip hızı ( $\lambda$ ) ve pitch açısına ( $\beta$ ) bağlı olarak türbinin performans katsayısı olarak ifade edilebilir (Freris ve Infield, 2008). Ancak bununla beraber sadece  $C_p$  kullanmak yerine mekanik transmisyon verimlilik katsayısı ( $\eta_m$ ), jeneratör verimliliğini ( $\eta_g$ ) ve elektriksel iletim verimliliğini de ( $\eta_e$ ) içine alan genel bir verimlilik ifadesi ( $\eta_t$ ) kullanılması yerinde olacaktır. Bu çalışmada  $C_p$  0,5 olarak  $\eta_m, \eta_g$  ve  $\eta_e$  maksimum güç çıkışını elde etmek adına 1 olarak kabul edilmiştir (Jamieson, 2011).

Yukarıda verilen eşitlik ve kavramlar ışığında bir türbinin en verimli şekilde çalışabileceği maksimum rüzgar hızı  $V_R$  hızındaki elde edilebilecek maksimum güç ( $P_{ER}$ ) Eş. 3.8'de verildiği şekilde ifade edilebilir.

$$P_{ER} = \frac{\eta_t \rho A V_R^3}{2} \quad (3.8)$$

### 3.2.3. Çoklu Linear Regresyon Modeli (ÇLRM)

Tanımlanan herhangi bir problem için en uygun modelin bulunabilmesi, olabildiğince çok sayıda modelin kurularak denenmesi ile mümkün olabilmektedir. Bu nedenle veri hazırlama ve model kurma aşamaları, en iyi olduğu düşünülen modele varılıncaya kadar yinelenir. Bu modellere sınıflama, regresyon, kümeleme, birliktelik kuralları (Association Rules) ve Ardışık Zamanlı Örüntüleme gibi modeller örnek verilebilir. Ancak bununla beraber literatürde de sıkça rastlanılan etkin, basit ve en çok bilinen nedensel model doğrusal regresyondur.

Çoklu lineer regresyon metodu (ÇLRM) ise birden fazla değişken ve bunlar arasındaki bağıntıların irdelenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Üzerinde durulan değişkenlerden bağımlı değişken  $y$ , bağımsız değişken  $x$  ise,  $y=f(x)$  şeklindeki fonksiyona regresyon denir. Ancak bu çalışmada Çizelge 3.8'de verilen  $V_{mak}, V_{min}, V_{\mu}, V_{\sigma}, V_{\gamma_1}, V_{\gamma_2}, D_{mak}, D_{min}, D_{\mu}, D_{\sigma}, D_{\gamma_1}, D_{\gamma_2}, p_{mak}, p_{min}, p_{\mu}, p_{\sigma}, p_{\gamma_1}, p_{\gamma_2}, T_{mak}, T_{min}, T_{\mu}, T_{\sigma}, T_{\gamma_1}, T_{\gamma_2}, V_{min}, p_{\gamma_1}, D_{mak}$  ve  $D_{min}$  gibi 24 adet giriş verisi arasında  $P_{top}, P_{mak}$  ve  $P_{min}$  çıkış verisi üzerinde etkili olan parametreleri tespit etmek amacıyla Eş. 3.9'da verilen Çoklu lineer regresyon modeli (ÇLRM) tercih edilmiştir.

$$Y = B_0 + B_1 X_{i1} + B_2 X_{i2} + \dots + B_j X_{ij} + \varepsilon_i \quad i=1,2,\dots,n \quad (3.9)$$

Burada  $Y$  bağımlı değişkini,  $X$  bağımsız değişkeni,  $B_0$  doğrunun y-eksenini kestiği yeri,  $B_1$  doğrunun eğimi veya regresyon katsayısını,  $B_j$   $j$ 'nci açıklayıcı parametreyi ifade ederken  $\varepsilon$  ise şansa bağlı hata değerini ifade etmektedir.  $\varepsilon$ ' nun ortalaması sıfır olup standart sapması normal dağılıma sahiptir. Modeldeki bağımlı değişken ile bu değişkeni açıklayan bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi gösteren  $B$  katsayılarının test edilmesi ise istatistiksel anlamlılık kriteri  $p_{ia}$  değerinin 0,05'den küçük olmak durumu kontrolü ve  $T$ -testi ile yapılır (Kaya ve diğerleri, 2010). Burada  $B_0, \dots, B_j$  değerleri veri setinin tamamı kullanılarak hesaplanan teorik değerlerdir. Ancak yine de dikkate alınmayan bağımsız değişkenler olabileceğinden, verilerin rassal (şansa bağlı) değişimlerini gösteren hata değeri  $\varepsilon$  modelde yerini almıştır.

Bağımsız değişken  $X$ 'in regresyon modeli ile bağımlı değişken  $Y$ 'yi ne kadar açıklayabildiğini görmek için bir ölçüt olan karar katsayısı olarak Belirleme Katsayısı ( $R^2$ ) kullanılır. Ancak regresyon modeli oluşturulma aşamasında Eş. 3.10 - 3.12 ile verilen Maksimum Düzeltmiş Belirlilik Katsayısı (Adj.  $R^2$ ), minimum Mallows- $C_p$ , modellerde yer almayan gözlemlerin gerçek ve ayrı ayrı modellerden elde edilen teorik değerleri arasındaki farkların kareleri toplamı olan  $PRESS$  değerleri araştırılmıştır (Mallows, 1973; Eriksson ve diğerleri, 2001).

$$C_p = \left( \frac{SS_{res}}{MS_{res}} \right) - N + 2p \quad (3.10)$$

$$Adj.R^2 = 1 - (1 - R^2) \left( \frac{N - 1}{N - k_s} \right) \quad (3.11)$$

$$PRESS = \sum_{i=1}^N (Y_i - Y_{obs})^2 \quad (3.12)$$

Burada  $SS_{res}$  kullanılan parametreler için artık kareler toplamını.  $MS_{res}$  parametrelerin tamamına ait artık ortalama kare hatasını,  $Y_i, Y_{obs}$ ,  $p$  ve  $N$  sırasıyla tahmini değerleri, gözlem değerlerini, serbest değişken sayısı ve gözlem sayısını ifade etmekte iken  $k_s$  sabit terimle birlikte modeldeki katsayı sayısını gösterir.

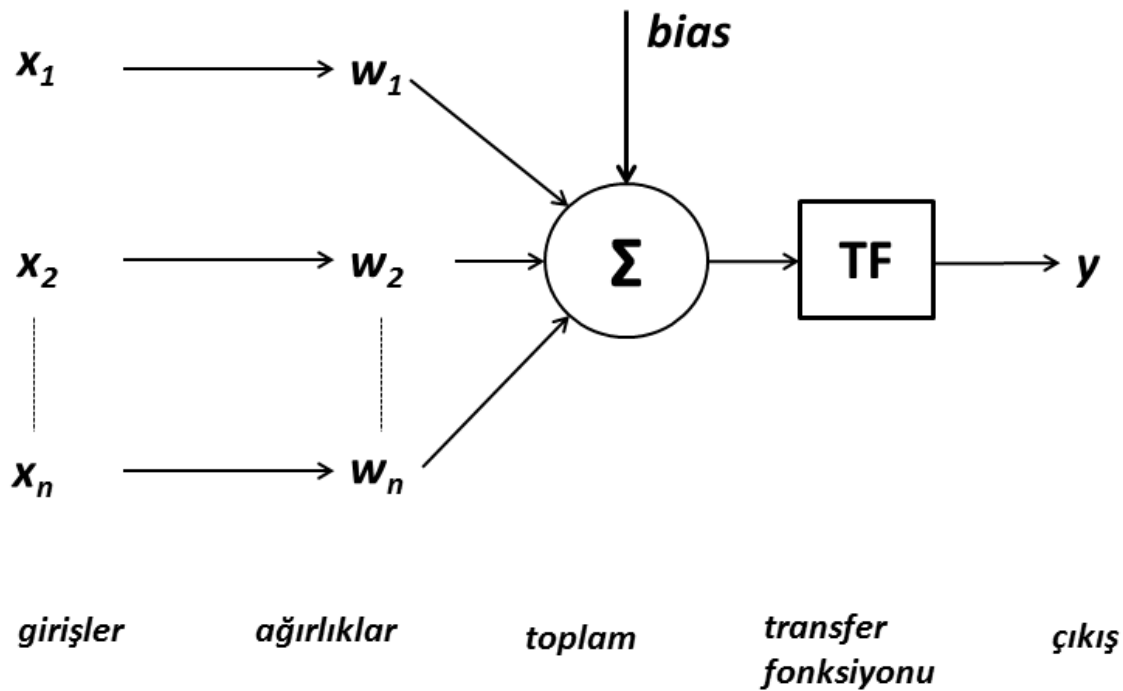
Belirleme katsayısına göre daha etkili sonuçlar ortaya koymaları nedeniyle Adj.  $R^2$  ve *PRESS* hem regresyon hem de YSA aşamasında kullanılmıştır. Bunla beraber Eş. 3.4 ve Eş. 3.13 ile verilen RMSE ve Ortalama Mutlak Hata (OMH) değerleri nihai değerlendirmeleri elde etmek için hata analizleri sırasında ikincil model performans kriterleri olarak hesaplanmıştır.

$$OMH = \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N |Y_i - Y_{obs}| \right) \quad (3.13)$$

### 3.2.4. Yapay Sinir Ağları (YSA)

YSA biyolojik sinir sistemi ve sinir hücresinden ilham alınarak geliştirilmiş olup insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik gerçekleştirmek gayesi ile geliştirilen bilgi işlem teknolojisidir (Öztemel, 2003).

YSA'da tıpkı insan beyninin özelliklerinde olduğu gibi öğrenme, hatırlama, yeni bilgiler oluşturabilme, genelleme yapabilme ve karar verme gibi karar verme mekanizmaları bulunur (Üneş, 2008, 2010a, 2010b; Demirci ve diğerleri, 2015a, 2015b, 2016; Üneş ve Varçin, 2015, 2017). Temel YSA hücresinde girişler ( $x_n$ ), ağırlıklar ( $w_n$ ), toplama fonksiyonu ( $\Sigma$ ), aktivasyon fonksiyonu (TF), eşik değeri (bias), aktivasyon fonksiyonu ( $f$ ) ve Eş. 3.14 ile ifade edilen çıkış birimi ( $\zeta$ ) bulunur. Temel YSA hücresi ise Şekil 3.16'da görülmektedir.



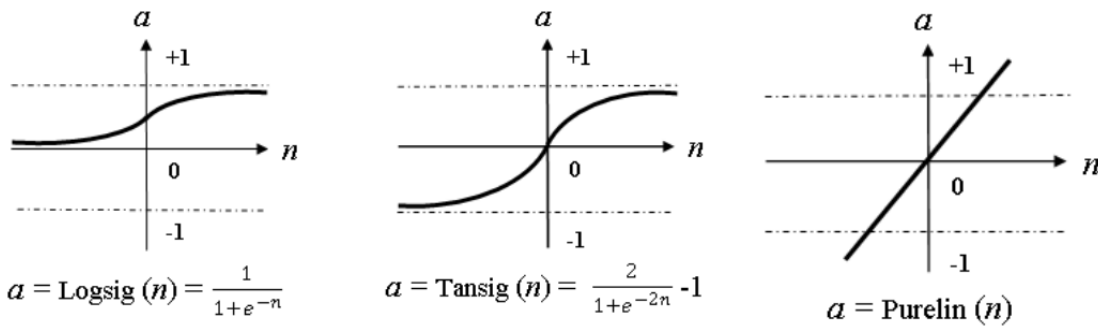
Şekil 3.16. Temel YSA hücresi

YSA’da hücreye uygulanan girdiler, ağırlıkların etkisinde nörona bağlanır. Ağırlıkların girişlerle çarpılarak, eşik değerinin toplanması sonucu toplam girdi hesaplanır. Aktivasyon fonksiyonunda toplam girdi işlenerek hücre çıkışı Eş. 3.14 ile hesaplanır.

$$Ç = f \left[ \sum_{i=1}^n w_n x_n + b \right] \quad (3.14)$$

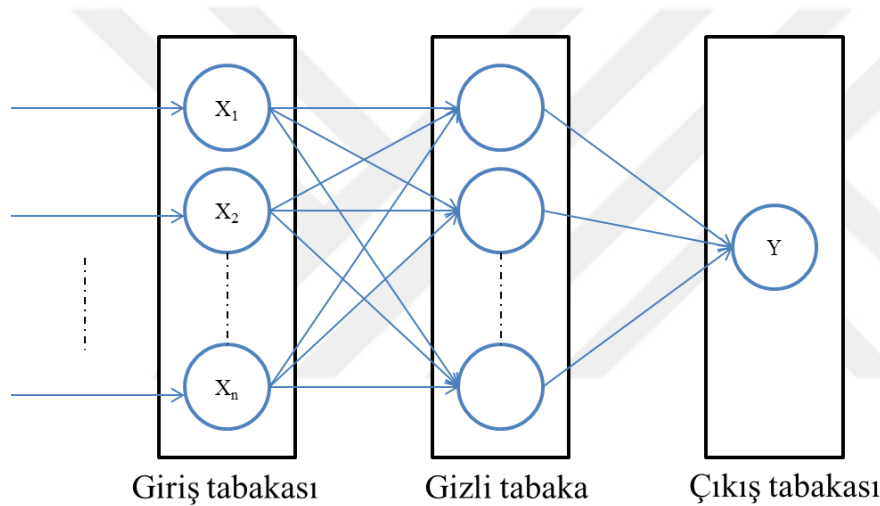
YSA hücrelerinde matematiksel olarak modellenmiş bir yapay sinir hücresinin çıktısının büyüklüğünü sınırlandıran fonksiyon olarak adlandırılan Logistic Sigmoid (logsig), tanjant hiperbolik (Tansig), Lineer Fonksiyon (purelin) ve radyal tabanlı fonksiyon (RBF) gibi birçok TF kullanılmaktadır (Mandic ve Chambers, 2001). Bahsi geçen bazı TF’ler Şekil 3.17’de görülmektedir. Bu fonksiyonlar doğrusal ya da doğrusal olmayan matematiksel yapılar da olabilir. Ancak bu çalışmada aktivasyon fonksiyonu olarak doğrusal ve doğrusal olmayan davranışlar arasında denge sağlayabilen ve sürekli artan bir fonksiyon olarak tanımlanabilecek olan ve Eş. 3.15’de verilen Logsig ile çıkış fonksiyonu olarak purelin kullanılmıştır.





Şekil 3.17. Logsig, Tansig ve Purelin TF

$$F = \frac{1}{1+e^{-n}} \quad (3.15)$$



Şekil 3.18. Yapay sinir ağı yapısı

Çalışma kapsamında tercih edilen YSA ağ yapısı temsili olarak Şekil 3.18'de görüldüğü gibi giriş katmanı, tek gizli katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. YSA giriş katmanında girdi olarak kullanılan veriler gizli katmana transfer edilir (Üneş ve diğerleri, 2015, 2017; Üneş ve Demirci 2015). Gizli katmandan gelen veriler işlem dizisinden geçirilerek çıkış katmanına aktarılır. Çıkış katmanında, gizli katmandan gelen veriler son ağırlıkların da uygulanması ile son kez işlenerek ağın çıkışı oluşturulur. Bu noktada ağırlıkların öğrenmenin temelini oluşturduğu kolaylıkla söylenebilir. Ancak geri beslemeli ağ yapısında beklenen hata hedefine ulaşamadığı durumlarda ağırlıklarını ( $w_0$ ,  $w_1$  gibi) hedefe yaklaştıracak şekilde değiştirilir. Sistem hedefe en yakın değere ulaştığında ağırlıkların değişimi durur. Böylece ağın eğitimi tamamlanır (Taşar ve diğerleri, 2017; Üneş ve Ağiralioglu, 2017)

Genel manada geri yayımlı YSA eğitim süreci yukarıda ifade edildiği gibi yapılır ancak özelde bazı farklılıklar bulunur. Bu çalışmada kullanılan YSA modelleri Levenberg-

Marquardt (trainlm), Bayesian regularization (trainbr) ve Resilient BP (trainrp) algoritmaları ile eğitilmiştir.

Trainlm öğrenme algoritmasında her bir iterasyon adımında hata yüzeyine parabolik yaklaşımla yaklaşılar ve parabolün minimumu o adım için çözümü oluşturur.  $E(x)$  fonksiyonuna sahip olduğumuzu ve  $\underline{x}$  parametresine göre minimize etmek istediğimizi farz edelim. Hagan ve diğerleri (1996) tarafından ifade edildiği gibi Newton metoduna göre şöyle olacaktır:

$$\Delta \underline{x} = -[\nabla^2 E(\underline{x})]^{-1} \nabla E(\underline{x}) \quad (3.16)$$

Burada  $\nabla^2 E(\underline{x})$  ifadesi Hessian matrisidir ve  $\nabla E(\underline{x})$  ise eğimdir. Hessian matrisi aşağıdaki şekilde yaklaşık olarak ifade edilebilir:

$$H = J^T(\underline{x}) J(\underline{x}) \quad (3.17)$$

$J$  burada Jakoben matrisini temsil etmekte ve hata fonksiyonun birinci türevini içermektedir.  $E(\underline{x})$ 'in karelerin toplamı fonksiyonu olduğunu düşünelim.

$$E(\underline{x}) = \sum_{i=1}^N e_i^2(\underline{x}) \quad (3.18)$$

Levenberg-Marquardt modifikasyonu ile Gauss-Newton metodu:

$$\Delta \underline{x} = [J^T(\underline{x})J(\underline{x}) + \mu I]^{-1} J^T(\underline{x})e(\underline{x}) \quad (3.19)$$

olur.

Momentum Parametresi,  $\mu_{LM}$  her bir adımda  $E(\underline{x})$  artışı sonucunda bir  $\beta$  faktörü ile çarpılır, her bir adım  $E(\underline{x})$  azalışında,  $\mu_{LM}$  parametresi  $\beta$ 'ya bölünür.  $\mu_{LM}$  büyük ise algoritma  $1/\mu_{LM}$  kadar adım düşümü olur, en küçük  $\mu_{LM}$  parametresi için algoritma Gauss-Newton olur. Sonuç olarak Levenberg-Marquardt algoritması optimum çözüme çabuk ulaşmasına rağmen büyük veri grupları için çok fazla hafıza kapasitesi gerektirmektedir (Mert, 2012; Bolakar, 2014)

Trainbr, trainlm eğitim algoritmasından türetilmiş olup trainlm optimizasyonuna göre ağırlık ve bias değerlerini günceller. Karesel hata ve ağırlıkların kombinasyonunu minimize eder ve ağı üretmek için doğru kombinasyonu belirler. Mackay 1992, tarafından daha iyi genelleştirme yeteneğine sahip bir ağ oluşturmak için regülasyonla ağ parametrelerinin boyutunu sınırlayan yöntem önermiştir. Regülasyon teknikleri ağırlık değerlerinin daha küçük değerlerde kalması için ağı zorlar. Bu ağın cevabının daha yumuşak olmasına, ağın ezberleme (overfitting) olasılığının azalmasına ve gürültüyü yakalamasına neden olur (Aşkın, 2011). Trainbr yaklaşımında ağda bulunan ağırlıklar ve bias değerleri farklı dağılımlı değişkenler gibi düşünülür. Düzenleştirme parametreleri bu dağılımların bileşiminin değeri bilinmeyen varyansı ile ilişkilendirilerek tahmin edilir. Bu amaçla istatistiksel yöntemler kullanılır.

Trainrp esnek ve hatalarını çok çabuk telafi edebilen bir geriye yayılım algoritmasıdır. (Küçükönder, 2011). Çok katmanlı ağların gizli katmanlarında genellikle sigmoid transfer fonksiyonları (STF) tercih edilir. STF'ler eğimleri çok büyük giriş değerleri için sıfıra yakınsayacak şekilde karakterize edilirler. Bu ise bias ve ağırlık değerleri henüz optimum değerlere erişmemişken çok katmanlı YSA'da STF kullanılmasından dolayı gradiyent değerinin çok yavaş değişebilmesi olasılığına karşılık, yüksek gradiyent azaltma ile öğrenmede problemlere neden olur. Bu noktada Trainrp öğrenme algoritmasının amacı ise kısmi türevlerin olumsuz etkilerinin öğrenme sürecinde elimine edilmesidir. Ağırlıkların güncelleştirilme yönü için sadece türevlerin değerlerinden ziyade işaretleri kullanılır (Kaya, 2006). AİV ve THV tabanlı ÇLRM süreci sonunda süreçte etkin olmayan parametrelerin elimine edilmesi ile birlikte türbin tarafından üretilen güç değerleri olan  $P_{top}$ ,  $P_{mak}$  ve  $P_{min}$  için üç ayrı tek gizli katmanlı YSA modeli oluşturulmuştur. Bu ağlara her bir güç değeri üzerinde etkin olan parametreler girdi olarak sunulmuştur. Modeller trainlm, trainrp ve trainbr ile eğitilmiş olup sonuçlar ÇLRM ile karşılaştırılarak performans değerlendirmesi yapılmıştır.

### 3.2.5. Bulgular

Bir rüzgar enerjisi yatırımının uygun olup olmadığını belirleyen faktörlerden biri bölgenin kapasite faktörü oranıdır. Ancak rüzgar hızı bu konuda belirleyici bir değer gibi gözükse de kurulacak olan türbin sisteminin rüzgar hızı karşısındaki davranışı da bir o kadar önemlidir. Türbinin maruz kaldığı rüzgar hızı karşısında sergilemiş olduğu davranışlar  $P_{top}$ ,  $P_{mak}$  ve  $P_{min}$  değerleri ile değerlendirilebilir ve yatırım için uygun olup olmadığına karar verilebilir.

Çalışma bölgesinden elde edilen THV'ye dayalı türbin üretim değerlerini tahmin etmek için Bölüm (2)'de verilen Aventa AV-7 model türbinin teknik verilerinden faydalanılmış olup simüle edilen  $P_{top}$ ,  $P_{mak}$  ve  $P_{min}$  değerlerini etkileyen parametreleri AİV'den seçebilmek için ÇLRM süreci işletilmiştir. Süreç sonunda etkin olduğu belirlenen parametreler YSA sürecinde kullanılmış olup bu bölümde sonuçlar değerlendirilmiştir.

### 3.2.6. Çoklu lineer regresyon modeli (ÇLRM) süreci

Bu çalışmada, meteoroloji istasyonunda saatlik ortalama rüzgar hızı - yönü, hava basıncı ve sıcaklığı gibi temel meteorolojik veriler istatistik yazılımları kullanılarak işlenmiştir. Ancak ÇLRM sürecinde giriş verisi olarak Çizelge 3.8'de verilen bu verilere ait Maksimum, minimum ve ilk dört moment:  $\mu$ ,  $\sigma^2$  ( $\sigma$  için), Skewness, ve Kurtosis (24 saatlik veriye dayalı) parametreleri hesaplanmıştır.

ÇLRM süreci  $P_{top}$ ,  $P_{mak}$  ve  $P_{min}$  için ayrı ayrı adımsal regresyon yolu ile gerçekleştirilmiştir. Adımsal regresyon AİV'de yer alan parametrelerin tamamının katılımı ve  $T$  testi ile  $p$  ( $< 0,05$ ) değerlerine göre eliminasyon işleminden sonra nihai regresyon eşitliği (en iyi model) ile sonlandırılmaktadır. İşlemin kaç adım süreceğini  $T$  testi ile  $P$  ( $< 0,05$ ) değerleri belirlemektedir. Bunlarla beraber en iyi model en yüksek Adj.  $R^2$  ve en düşük Mallows  $C_p$ ,  $PRESS$  değerleri ile oluşturulmaktadır.

ÇLRM sürecinin adımsal regresyon yolu ile  $P_{min}$  için elde edilen sonuçları Çizelge 3.9'da sunulmaktadır. Çizelgeye göre  $P_{min}$  için etkin olan parametreler  $V_{min}$ ,  $p_{\gamma_1}$ ,  $D_{mak}$  ve  $D_{min}$  olarak belirlenmiştir. Bu parametreler içerisinde  $V_{min}$ ,  $P_{min}$  ile pozitif ve en yüksek ilişkiye sahip olan parametre olarak ortaya çıkmaktadır. En yüksek T- değerinin  $P_{min}$  ve  $V_{min}$ , arasında olduğu görülürken bunu  $P < 0.05$  durumu ile  $D_{min}$ ,  $(-0,00127)$ ;  $p_{\gamma_1}$ ,  $(-2,21)$  ve  $D_{mak}$ ,  $(5,24)$  izlemektedirler.  $P_{min}$  için en iyi model  $R^2=0,7467$ ,  $PRESS= 9,35511$  ve Mallows  $C_p = 1,5$  değerleri ile altıncı adımda elde edilmiştir.

Çizelge 3.9.  $P_{\min}$  verisi için ÇLRM işlemi adımları

Parametre	$P_{\min}$		
Adım	... 4	5	6
<i>Sabit</i>	-0,2054	-0,2287	-0,2264
$V_{\min}$	0,292	0,2944	0,2941
<i>T-Değeri</i>	27,29	27,39	27,37
<i>P-Değeri</i>	0,00	0,00	0,00
$D_{\sigma}$	0,00156	0,00065	-
<i>T-Değeri</i>	5,03	1,09	-
<i>P-Değeri</i>	0,00	0,28	-
$D_{\min}$	-0,00078	-0,00107	-0,00127
<i>T-Değeri</i>	-4,56	-4,55	-8,67
<i>P-Değeri</i>	0,00	0,00	0,00
$p_{\gamma}$	-0,037	-0,036	-0,036
<i>T-Değeri</i>	-2,25	-2,22	-2,21
<i>P-Değeri</i>	0,03	0,03	0,03
$D_{\max}$		0,00037	0,00056
<i>T-Değeri</i>		1,79	5,24
<i>P-Değeri</i>		0,07	0,00
<i>Adj. R<sup>2</sup></i>	74,53	74,69	0,7467
<i>Mallows C<sub>p</sub></i>	3,5	2,3	1,5
<i>PRESS</i>	9,40321	9,33333	9,35511

ÇLRM sürecinin adımsal regresyon yolu ile  $P_{\max}$  için elde edilen sonuçları Çizelge 3.10'da sunulmaktadır.

Çizelge 3.10.  $P_{\text{mak}}$  verisi için ÇLRM işlemi adımları

Parameter	$P_{\text{mak}}$		
	... 4	5	6
<i>Sabit</i>	-3,057	-3,102	-3,113
$V_{\text{mak}}$	1,447	1,453	1,065
<i>T-Değeri</i>	30,53	31,13	8,27
<i>P-Değeri</i>	0,00	0,00	0,00
$V_{\sigma}$	-0,85	-0,86	-0,3
<i>T-Değeri</i>	-6,54	-6,73	-1,38
<i>P-Değeri</i>	0,00	0,00	0,04
$D_{\sigma}$	0,0059	0,0059	0,0074
<i>T-Değeri</i>	5,12	5,15	6,06
<i>P-Değeri</i>	0,00	0,00	0,00
$D_{\mu}$	-0,00355	-0,00339	-0,00386
<i>T-Değeri</i>	-4,1	-3,98	-4,52
<i>P-Değeri</i>	0,00	0,00	0,00
$p_{\gamma_1}$		0,225	0,239
<i>T-Değeri</i>		3,56	3,83
<i>P-Değeri</i>		0,00	0,00
$V_{\mu}$			0,44
<i>T-Değeri</i>			3,23
<i>P-Değeri</i>			0,00
<i>Adj. R<sup>2</sup></i>	88,76	89,11	0,8939
<i>Mallows C<sub>p</sub></i>	35,7	24,4	15,7
<i>PRESS</i>	145,098	141,015	137,885

Çizelge 3.10'a göre  $P_{\text{mak}}$  için etkin olan parametreler  $V_{\text{mak}}$ ,  $V_{\sigma}$ ,  $D_{\sigma}$ ,  $D_{\mu}$ ,  $p_{\gamma_1}$  ve  $V_{\mu}$  olarak belirlenmiştir. Bu parametreler içerisinde  $V_{\text{mak}}$ ,  $P_{\text{mak}}$  ile pozitif ve en yüksek ilişkiye sahip olan parametre olarak ortaya çıkmaktadır. En yüksek  $T$  değerinin  $P_{\text{mak}}$  ve  $V_{\text{mak}}$ , arasında olduğu görülürken bunu  $P < 0.05$  durumu ile  $D_{\mu}$  (-4,52)  $V_{\sigma}$  (-1,38)  $V_{\mu}$ , (3,23) ve  $D_{\sigma}$  (6,06)  $p_{\gamma_1}$  (3,83) izlemektedirler.  $P_{\text{mak}}$  için en iyi model  $\text{Adj. } R^2=0,8939$ ,  $\text{PRESS}= 137,885$  ve  $\text{Mallows } C_p = 15,7$  değerleri ile altıncı adımda elde edilmiştir.

ÇLRM sürecinin adımsal regresyon yolu ile  $P_{\text{top}}$  için elde edilen sonuçları ise Çizelge 3.11'de sunulmaktadır.

Çizelge 3.11.  $P_{top}$  verisi için ÇLRM işlemi adımları

Parameter	$P_{top}$		
	,,, 7	8	9
<i>Sabit</i>	-31,97	-31,73	-31,4
$V_{\mu}$	22,15	27,76	28,52
<i>T-Değeri</i>	26,86	13,09	13,32
<i>P-Değeri</i>	0,00	0,00	0,00
$D_{\sigma}$	0,128	0,126	0,125
<i>T-Değeri</i>	10,4	10,39	10,29
<i>P-Değeri</i>	0,00	0,00	0,00
$D_{\mu}$	-0,0568	-0,0613	-0,0541
<i>T-Değeri</i>	-6,97	-7,46	-6,08
<i>P-Değeri</i>	0,00	0,00	0,00
$V_{\gamma_1}$	3,81	6,22	6,38
<i>T-Değeri</i>	5,01	5,51	5,65
<i>P-Değeri</i>	0,00	0,00	0,00
$T_{\sigma}$	0,87	0,95	1,06
<i>T-Değeri</i>	2,86	3,11	3,46
<i>P-Değeri</i>	0,00	0,00	0,00
$V_{\gamma_2}$	0,85	1,46	1,49
<i>T-Değeri</i>	2,62	3,79	3,88
<i>P-Değeri</i>	0,01	0,00	0,00
$V_{mak}$	-1,84	-7,24	-7,54
<i>T-Değeri</i>	-2,55	-3,59	-3,75
<i>P-Değeri</i>	0,01	0,00	0,00
$V_{\sigma}$		9,4	9,7
<i>T-Değeri</i>		2,87	2,96
<i>P-Değeri</i>		0,00	0,00
$T_{min}$			-0,161
<i>T-Değeri</i>			-2,08
<i>P-Değeri</i>			0,04
<i>Adj. R<sup>2</sup></i>	92,41	92,56	0,9263
<i>Mallows C<sub>p</sub></i>	16,8	10,6	8,3
<i>PRESS</i>	13725,8	13272,8	13161,9

Çizelge 3.11'e göre  $P_{top}$  için etkin olan parametreler  $V_{\mu}$ ,  $D_{\sigma}$ ,  $D_{\mu}$ ,  $V_{\gamma_1}$ ,  $T_{\sigma}$ ,  $V_{\gamma_2}$ ,  $V_{mak}$ ,  $V_{\sigma}$  ve  $T_{min}$  olarak belirlenmiştir. Bu parametreler içerisinde  $V_{min}$   $V_{\mu}$  ile pozitif ve en yüksek ilişkiye sahip olan parametre olarak ortaya çıkmaktadır. En yüksek  $T$  - değerinin  $P_{top}$  ve  $V_{min}$ , arasında olduğu görülürken bunu  $P < 0.05$  olmak üzere  $D_{\sigma}$ , (10,29);  $D_{\mu}$ , (-6,08);  $V_{\gamma_1}$ , (5,65);

$T_\sigma$ , (3,46);  $V_{\gamma_2}$  (3,88);  $V_{\text{mak}}$  (-3,75);  $V_\sigma$  (2,96) ve  $T_{\text{min}}$  (-2,08) izlemektedirler.  $P_{\text{sum}}$  için en iyi model Adj.  $R^2=0,9263$ , PRESS= 13161,9 ve Mallows  $C_p = 8,3$  değerleri ile dokuzuncu adımda elde edilmiştir.

Çizelge 3.9:3.11'e göre ÇLRM süreci sonunda  $P_{\text{top}}$ ,  $P_{\text{mak}}$  ve  $P_{\text{min}}$  için oluşturulan en iyi lineer modeller Eş. 3.20 - 3.22'de görülmektedir.

$$P_{\text{min}} = 0,2941 V_{\text{min}} - 0,036 p_{\gamma_1} + 0,00056 D_{\text{mak}} - 0,00127 D_{\text{min}} - 0,2264 \quad (3.20)$$

$$P_{\text{mak}} = 1,065 V_{\text{mak}} + 0,44 V_\mu - 0,30 V_\sigma + 0,239 p_{\gamma_1} - 0,00386 D_\mu + 0,0074 D_\sigma - 3,113 \quad (3.21)$$

$$P_{\text{top}} = -7,54 V_{\text{mak}} + 28,52 V_\mu + 9,7 V_\sigma + 6,38 V_\sigma + 1,49 V_{\gamma_2} - 0,161 T_{\text{min}} + 1,06 T_\sigma - 0,0541 D_\mu + 0,125 D_\sigma - 31,40 \quad (3.22)$$

### 3.2.7. Yapay Sinir Ağları süreci

YSA sürecinde modellerin tamamı, bir gizli tabakaya sahip ileri beslemeli geri yayımlı Çok Katmanlı olarak MATLAB® bilgisayar yazılımı ortamında geliştirilmiştir.

Gizli katmandaki nöron sayısı hata oranlarına bağlı olarak 2'den 12'ye kadar üç farklı eğitim algoritması için deneme yanılma yöntemi ile belirlenmiştir. Trainlm, trainbr ve trainrp YSA modellerinde eğitim algoritmaları olarak kullanılmıştır. AİV içerisinde etkin olan parametrelerin rastgele seçilen günlük değerlerin % 70'ini oluşturan 255 veri YSA modellerini eğitmek için kullanılmıştır. Kalan 110 adet veri (% 30'luk kısım) YSA modellerini test etmek için kullanılmıştır.

Gizli katmanda aktivasyon fonksiyonu olarak Logsig kullanılmış olup iterasyon sayısı, öğrenme ve momentum oranı 1000, 1,50 ve 0,99 olarak seçilmiştir. YSA modellerinin ezberleme ihtimallerine karşılık ağ hata hedefi  $1 \times 10^{-10}$  olarak seçilerek hedefe ulaşılması durumunda eğitim durdurulmuştur.

$P_{\text{top}}$ ,  $P_{\text{mak}}$  ve  $P_{\text{min}}$  için elde edilen ÇLRM ve YSA yapıları Çizelge 3.12'de görülmektedir.



Çizelge 3.12.  $P_{top}$ ,  $P_{mak}$  ve  $P_{min}$  için girdi parametreleri ve YSA yapıları

Model	Girdi kombinasyonu	Kullanılan öğretim algoritmaları	YSA yapı varyasyonları
$P_{min}$	$V_{min}$ , $p_{\gamma_1}$ , $D_{mak}$ ve $D_{min}$	trainlm- trainbr- trainrp	ANN 4-(2-12)-1
$P_{mak}$	$V_{mak}$ , $V_{\mu}$ , $V_{\sigma}$ , $p_{\gamma_1}$ , $D_{\mu}$ ve $D_{\sigma}$	trainlm- trainbr- trainrp	ANN 6-(2-12)-1
$P_{top}$	$V_{mak}$ , $V_{\mu}$ , $V_{\sigma}$ , $V_{\gamma_1}$ , $V_{\gamma_2}$ , $T_{min}$ , $T_{\sigma}$ , $D_{\mu}$ ve $D_{\sigma}$	trainlm- trainbr- trainrp	ANN 9-(2-12)-1

ÇLRM süreci ile belirlenen etkin parametreler YSA girdi değerleri olarak kullanılmış olup oluşturulan üç farklı model ile  $P_{top}$ ,  $P_{mak}$  ve  $P_{min}$  tahmin edilmeye çalışılmıştır. Böylece hem ÇLRM'nin tahmin edebilme gücü YSA ile güçlendirilerek ortaya ÇLRM - YSA işbirliği çerçeve modeli konulmuş hem de YSA modelleri daha az veri kullanarak tahmin sürecinin kısaltılması söz konusu olmuştur.

Çizelge 3.13'de hem ÇLRM sürecinde belirlenen etkin parametrelerin girdi olarak kullanıldığı YSA modellerine uygulanan eğitim algoritmalarının hem de yalnızca ÇLRM tarafından gerçekleştirilen  $P_{min}$  tahminlerine ait performans göstergeleri olan uyum ve hata değerleri görülmektedir.

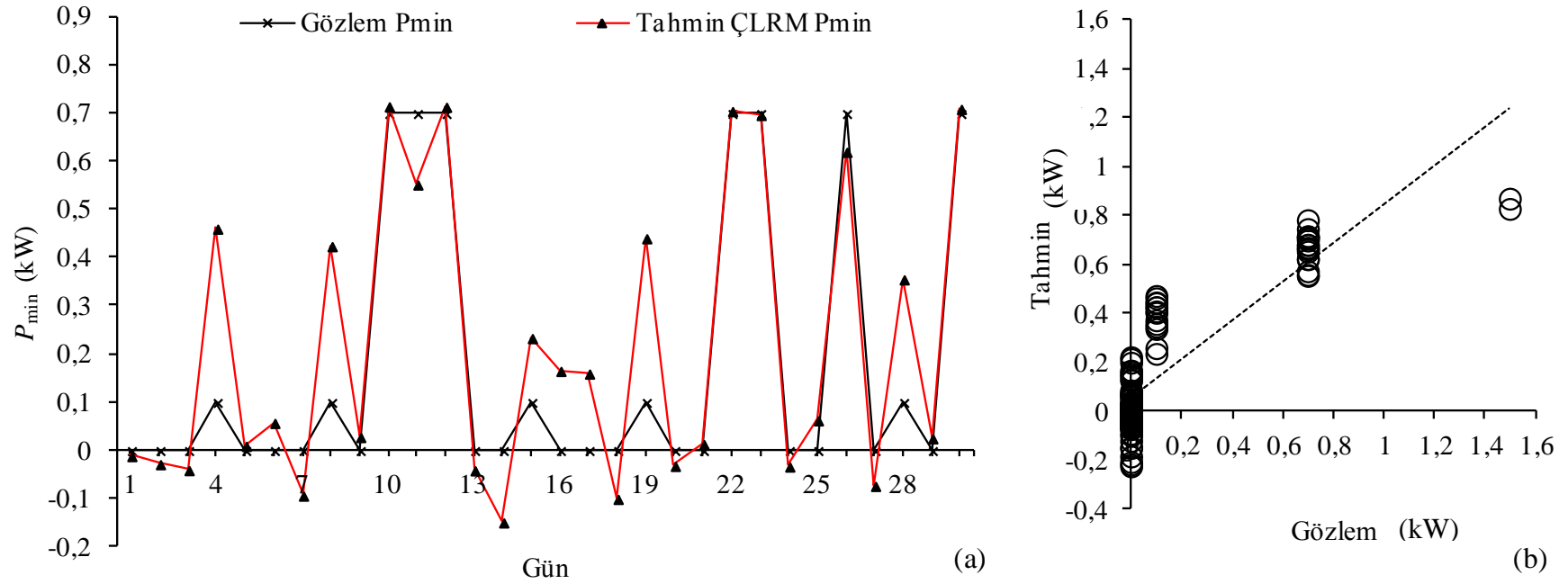
Çizelge 3.13.  $P_{min}$  için uygulanan modeller ve performansları

Türbin gücü	Öğrenme algoritması / Bağımsız parametreler	Model	Eğitim verisi	Test verisi			
			Adj. $R^2$	Adj. $R^2$	PRESS	RMSE	MAE
$P_{min}$	trainlm	ANN 4-8-1	1,0000	0,9705	0,3353	0,0541	0,0062
$P_{min}$	trainbr	ANN 4-8-1	0,8976	0,8696	1,5328	0,1140	0,0695
$P_{min}$	trainrp	ANN 4-8-1	0,9336	0,9074	1,1121	0,0959	0,0612
$P_{min}$	$V_{min}$ , $p_{\gamma_1}$ , $D_{mak}$ ve $D_{min}$	ÇLRM 4-1	0,7517	0,7464	2,9139	0,1590	0,1039

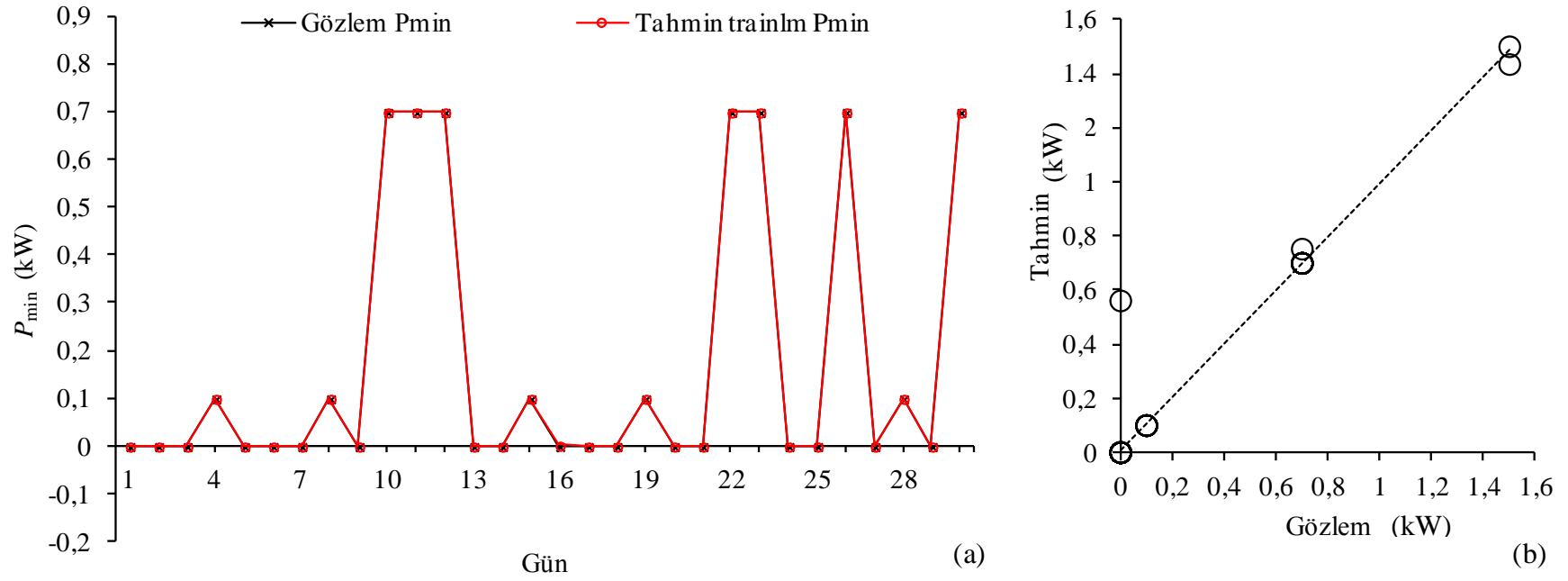
Çizelge 3.13’de  $MAE$  ve  $R^2$  değerlerine göre trainlm ile eğitilen YSA’nın eğitim safhasında girdiler ( $V_{min}$ ,  $p_{\gamma}$ ,  $D_{mak}$  ve  $D_{min}$ ) ile hedeflenen  $P_{min}$  arasında güçlü bir ilişki ve yüksek uyum görülmektedir. Test safhasında en düşük RMSE ve MAE değerleri yine trainlm ile elde edilmiştir. Trainlm için test aşamasında en yüksek  $R^2$  ve  $PRESS$  değerleri 0,9705 ve 0,3353 olarak elde edilirken en düşük RMSE ve MAE değerleri 0,0541 ve 0,0062 olarak hesaplanmıştır.

Girdiler ( $V_{min}$ ,  $p_{\gamma}$ ,  $D_{mak}$  ve  $D_{min}$ ) ve hedeflenen  $P_{min}$  arasında ilişki, ÇLRM sürecinde  $P_{min}$  değerlerinin ve tahmin hatalarının belirli değerle yığılmasına bağlı olarak en düşük  $R^2$  ve en yüksek  $MAE$  değerleri ile YSA modellerine göre daha zayıf uyum göstermektedir. Çizelgede görüldüğü gibi ÇLRM aşamasında tahmin hatası,  $MAE$  0,10393 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 3.19 ve 3.20’de  $P_{min}$  için YSA ve ÇLRM modellerinin tahminleri hem günlük hem de test periyodunun tamamı için görülmektedir. Şekillerde görüldüğü gibi YSA, ÇLRM modeline göre daha tutarlı ve korelasyonu daha yüksek tahminler yapmaktadır.



Şekil 3.19.  $P_{\min}$  için ÇLRM tahmin performansları a) Günlük, b) Test verisinin tamamı



Şekil 3.20.  $P_{min}$  için YSA tahmin performansları a) Günlük, b) Test verisinin tamamı

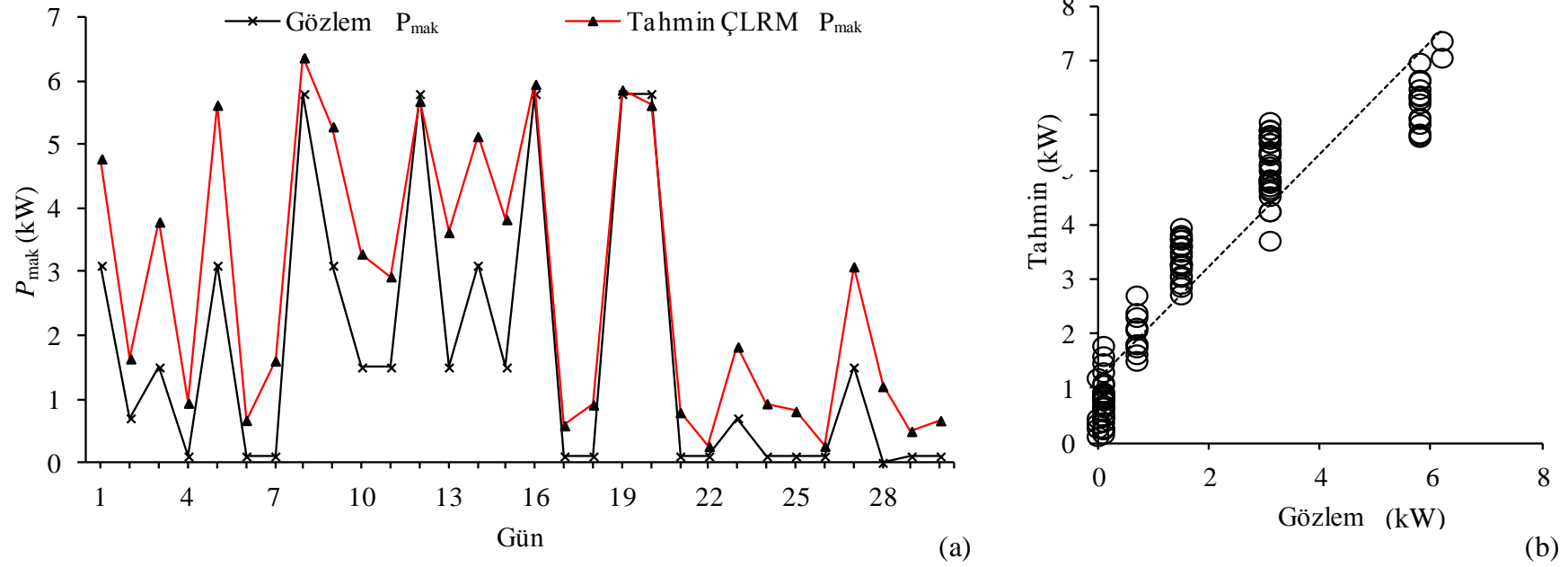
Çizelge 3.14’de hem ÇLRM sürecinde belirlenen etkin parametrelerin girdi olarak kullanıldığı YSA modellerine uygulanan eğitim algoritmalarının hem de yalnızca ÇLRM tarafından gerçekleştirilen  $P_{\text{mak}}$  tahminlerine ait performans göstergeleri olan uyum ve hata değerleri görülmektedir.

Çizelge 3.14.  $P_{\text{mak}}$  için uygulanan modeller ve performansları

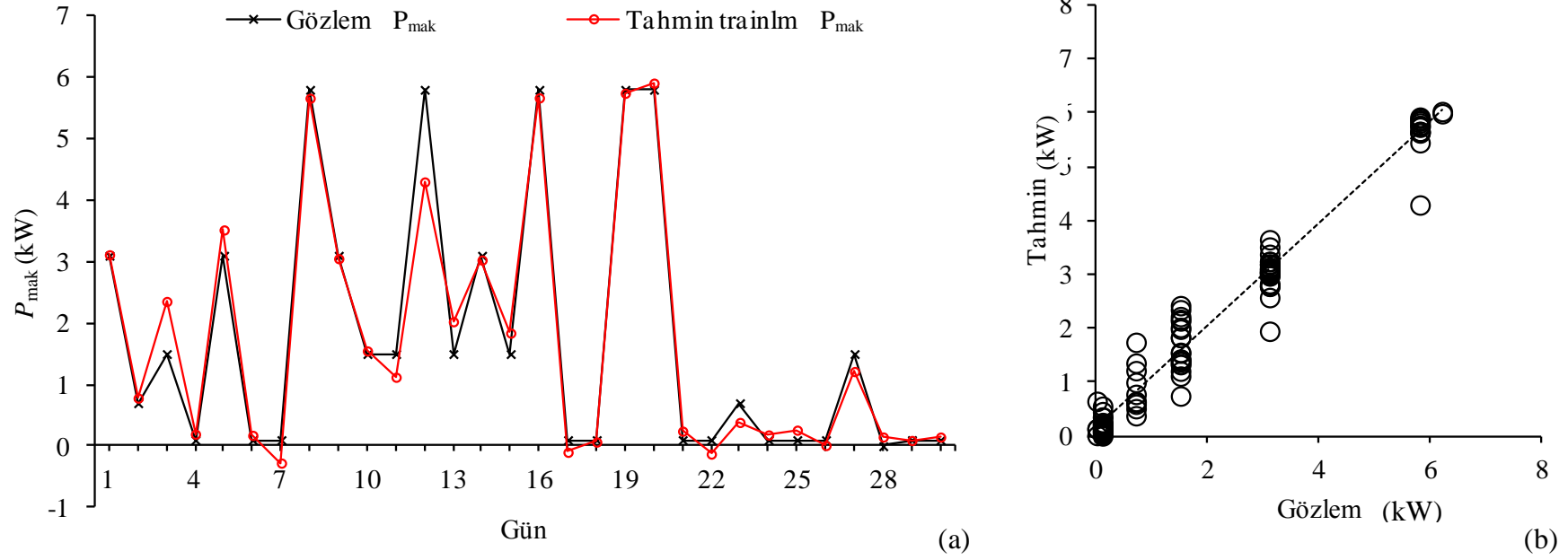
Türbin gücü	Öğrenme algoritması / Bağımsız parametreler	Model	Eğitim verisi		Test verisi		
			Adj. $R^2$	Adj. $R^2$	PRESS	RMSE	MAE
$P_{\text{mak}}$	trainlm	ANN 6-11-1	0,9909	0,9696	13,3641	0,3470	0,2242
$P_{\text{mak}}$	trainbr	ANN 6-8-1	0,9532	0,9221	34,1906	0,5500	0,3927
$P_{\text{mak}}$	trainrp	ANN 6-11-1	0,9605	0,9107	39,2344	0,5890	0,4385
$P_{\text{mak}}$	$V_{\text{mak}}, V_{\mu}, V_{\sigma}, p_{\gamma_1}, D_{\mu}$ ve $D_{\sigma}$	ÇLRM 6-1	0,8748	0,8650	59,0781	0,7240	1,2740

Adj.  $R^2$  değerine göre trainlm ile eğitilen YSA’nın eğitim safhasında girdiler ( $V_{\text{mak}}, V_{\mu}, V_{\sigma}, p_{\gamma_1}, D_{\mu}$  ve  $D_{\sigma}$ ) ile hedeflenen  $P_{\text{mak}}$  arasında güçlü bir ilişki ve yüksek uyum Çizelge 3.14’de görülmektedir. Test safhasında en düşük RMSE ve MAE değerleri yine trainlm ile elde edilmiştir. Trainlm için test aşamasında en yüksek Adj.  $R^2$  ve PRESS değerleri 0,9696 ve 13,3641 olarak elde edilirken en düşük RMSE ve MAE değerleri 0,3470 ve 0,2242 olarak hesaplanmıştır. Girdiler ( $V_{\text{mak}}, V_{\mu}, V_{\sigma}, p_{\gamma_1}, D_{\mu}$  ve  $D_{\sigma}$ ) ve hedeflenen  $P_{\text{mak}}$  arasında ilişki, ÇLRM sürecinde  $P_{\text{mak}}$  değerlerinin ve tahmin hatalarının belirli değerle yığılması ile birlikte yayılımın artmasına bağlı olarak en düşük Adj.  $R^2$  ve en yüksek MAE değerleri ile YSA modellerine göre daha zayıf uyum göstermektedir.

Çizelgede görüldüğü gibi ÇLRM aşamasında tahmin hatası, MAE 1,2740 olarak hesaplanmıştır. Ancak ÇLRM’nin  $P_{\text{mak}}$  performansı  $P_{\text{min}}$ ’e göre yükseldiği görülmektedir. Bu durum  $P_{\text{mak}}$  değerlerinin türbin güç eğrisinde yer alan yüksek değerler etrafında kümelenmesi ile açıklanabilir. Böylece  $P_{\text{mak}}$  ve  $V_{\text{mak}}, V_{\mu}, V_{\sigma}, p_{\gamma_1}, D_{\mu}$  ve  $D_{\sigma}$  arasında daha güçlü bir lineer ilişki olduğu görülmektedir.



Şekil 3.21.  $P_{mak}$  için ÇLRM tahmin performansları a) Günlük, b) Test verisinin tamamı



Şekil 3.22.  $P_{mak}$  için YSA tahmin performansları a) Günlük, b) Test verisinin tamamı

Şekil 3.21 - 3.22’de  $P_{\text{mak}}$  için YSA ve ÇLRM modellerinin tahminleri hem günlük hem de test periyodunun tamamı için görülmektedir. Şekillerde görüldüğü gibi YSA, ÇLRM modeline göre daha tutarlı ve korelasyonu daha yüksek tahminler yapmaktadır.

Çizelge 3.15’de hem ÇLRM sürecinde belirlenen etkin parametrelerin girdi olarak kullanıldığı YSA modellerine uygulanan eğitim algoritmalarının hem de yalnızca ÇLRM tarafından gerçekleştirilen  $P_{\text{top}}$  tahminlerine ait performans göstergeleri olan uyum ve hata değerleri görülmektedir.

Çizelge 3.15.  $P_{\text{top}}$  için uygulanan modeller ve performansları

Türbin gücü	Öğrenme algoritması / Bağımsız parametreler	Model	Eğitim verisi		Test verisi		
			Adj. $R^2$	Adj. $R^2$	<i>PRESS</i>	<i>RMSE</i>	<i>MAE</i>
$P_{\text{top}}$	trainlm	ANN 9-8-1	0,9976	0,9954	266,3580	1,5200	1,06908
$P_{\text{top}}$	trainbr	ANN 9-11-1	0,9974	0,9744	1454,4700	3,6000	1,23082
$P_{\text{top}}$	trainrp	ANN 9-8-1	0,9948	0,9841	925,0570	2,8300	1,76940
$P_{\text{top}}$	$V_{\text{mak}}, V_{\mu}, V_{\sigma}, V_{\gamma_1}, V_{\gamma_2}, T_{\text{min}}, T_{\sigma}, D_{\mu}$ ve $D_{\sigma}$	ÇLRM 9-1	0,9267	0,9285	4124,5300	6,0100	4,5293

Adj.  $R^2$  değerine göre trainlm ile eğitilen YSA’nın eğitim safhasında girdiler ( $V_{\text{mak}}, V_{\mu}, V_{\sigma}, V_{\gamma_1}, V_{\gamma_2}, T_{\text{min}}, T_{\sigma}, D_{\mu}$  ve  $D_{\sigma}$ ) ile hedeflenen  $P_{\text{top}}$  arasında güçlü bir ilişki ve yüksek uyum olduğu Çizelge 3.15’de görülmektedir. Test safhasında en düşük *RMSE* ve *MAE* değerleri yine trainlm ile elde edilmiştir. Trainlm için test aşamasında en yüksek Adj.  $R^2$  ve *PRESS* değerleri 0,9954 ve 266,3580 olarak elde edilirken en düşük *RMSE* ve *MAE* değerleri 1,5200 ve 1,06908 olarak hesaplanmıştır.

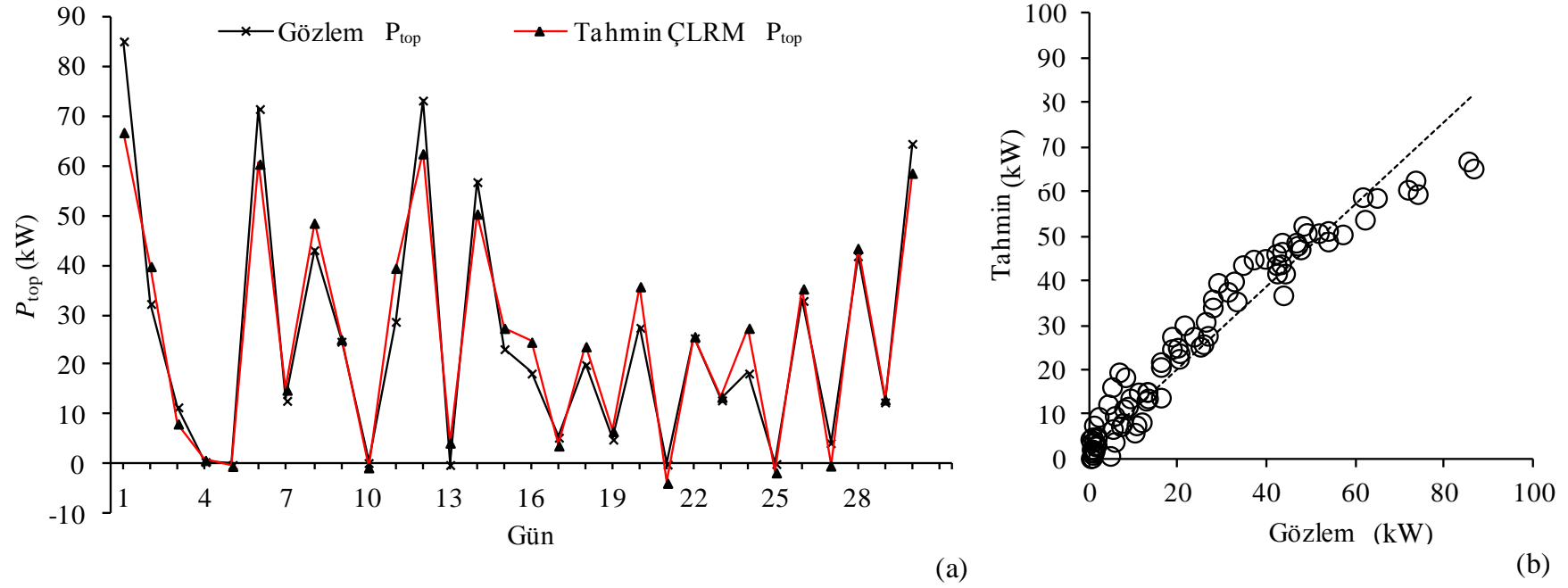
Girdiler ( $V_{\text{mak}}, V_{\mu}, V_{\sigma}, V_{\gamma_1}, V_{\gamma_2}, T_{\text{min}}, T_{\sigma}, D_{\mu}$  ve  $D_{\sigma}$ ) ve hedeflenen  $P_{\text{top}}$  arasında ilişki, ÇLRM sürecinde  $P_{\text{top}}$  değerlerinin ve tahmin hatalarının belirli değerle yığılmaması aksine yayılımın artmasına bağlı olarak nispeten düşük  $R^2$  ve yüksek *MAE* değerleri ile YSA modellerine göre daha zayıf uyum göstermektedir. Çizelgede görüldüğü gibi ÇLRM aşamasında tahmin hatası, *MAE* 4,5293 olarak hesaplanmıştır. Ancak ÇLRM’nin  $P_{\text{top}}$  performansı  $P_{\text{Min}}$  ve  $P_{\text{Mak}}$ ’a göre yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum  $P_{\text{top}}$  değerlerinin türbin güç eğrisinden çıkarak çok daha yüksek değerlere yayılması ile açıklanabilir. Böylece



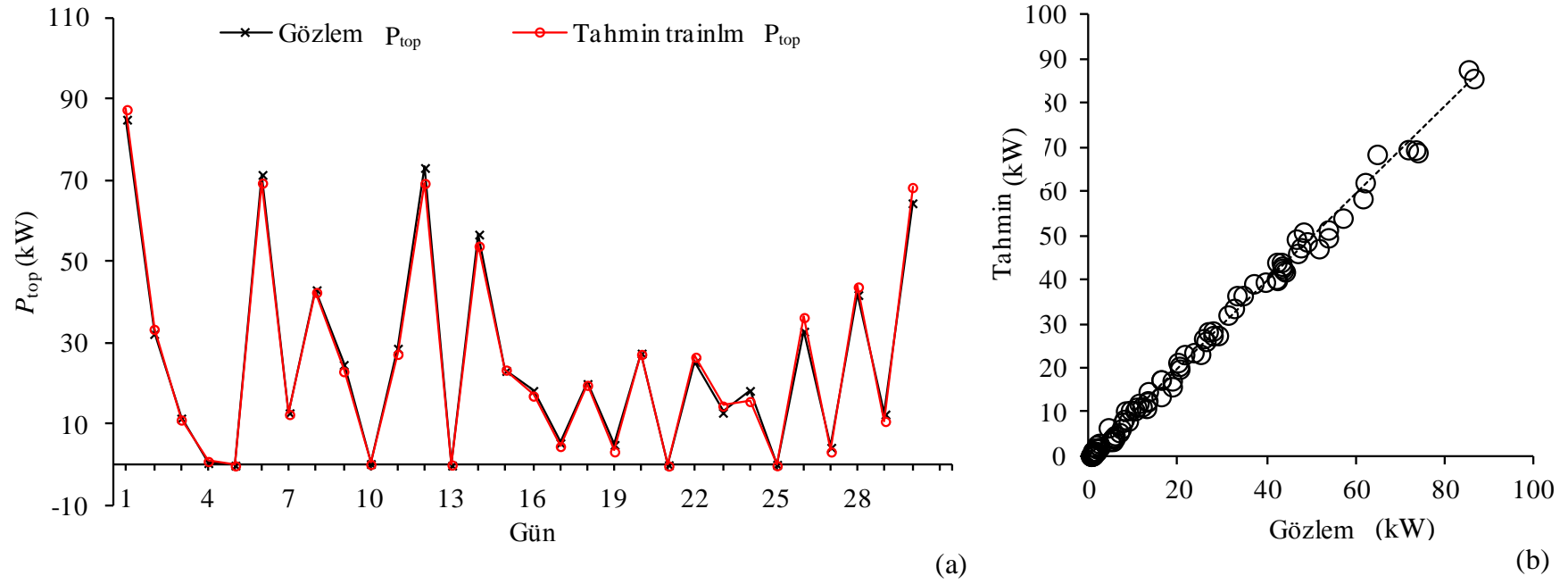
$P_{top}$  ile  $V_{mak}$ ,  $V_{\mu}$ ,  $V_{\sigma}$ ,  $V_{\gamma_1}, V_{\gamma_2}$ ,  $T_{min}$ ,  $T_{\sigma}$ ,  $D_{\mu}$  ve  $D_{\sigma}$  arasında daha güçlü bir lineer ilişki olduğu görülmektedir.

Şekil 3.23 - 3.24'de  $P_{top}$  için YSA ve ÇLRM modellerinin tahminleri hem günlük hem de test periyodunun tamamı için görülmektedir. Şekillerde görüldüğü gibi YSA, ÇLRM modeline göre daha tutarlı ve korelasyonu daha yüksek tahminler yapmaktadır.

Diğer yandan  $P_{top}$ ,  $P_{mak}$  ve  $P_{min}$  için trainlm ile oluşturulan YSA modellerinde giriş tabakası ile gizli tabaka arasında ayarlanan ağırlıkların çıkışa yansıyan eşitlikleri ise Çizelge 3.16 - 3.18'de verilmektedir.



Şekil 3.23.  $P_{top}$  için ÇLRM tahmin performansları a) Günlük, b) Test verisinin tamamı



Şekil 3.24.  $P_{top}$  için YSA tahmin performansları a) Günlük, b) Test verisinin tamamı

Çizelge 3.16.  $P_{\min}$  için elde edilen en iyi YSA modelinde gizli tabaka ile çıkış arasında oluşan ağırlıklar ve çıkış eşitliği

Girdiler	$x_i = w_{1i}(V_{\min}) + w_{2i}(p_{\gamma 1}) + w_{3i}(D_{\max}) + w_{4i}(D_{\min}) + w_{5i}$				
Sigmoid aktivasyon fonksiyonu	$Y_i = 1/(1 + e^{-x_i})$				
Ağırlıklar (i)	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$
1	0,6081	1,9021	-0,0802	-2,5395	-0,9693
2	33,5042	0,0012	0,0595	-0,4813	-47,9619
3	34,7387	0,0012	0,0595	-0,4926	-50,4836
4	-187,2837	-0,5367	0,0111	1,5681	232,2412
5	4,5357	-7,2039	0,6363	-0,5589	6,4148
6	-0,0029	0,0001	0	0	-4,6596
7	-153,0194	0,1235	0,0419	0,0405	281,4347
8	0,3394	1,2456	0,0972	0,6729	1,0568
YSA Çıkışı	$P_{\min} =$	$-0,0396Y_1 - 6,5412Y_2 + 7,3412Y_3$ $-0,6Y_4 - 0,0817 + 0,3881Y_6 - 0,1Y_7$ $+ 0,1387Y_8 + 0,6394$			

Çizelge 3.17.  $P_{\max}$  için elde edilen en iyi YSA modelinde gizli tabaka ile çıkış arasında oluşan ağırlıklar ve çıkış eşitliği

Girdiler	$x_i = w_{1i}(V_{\max}) + w_{2i}(V_{\mu}) + w_{3i}(V_{\sigma}) + w_{4i}(p_{\gamma_i}) + w_{5i}(D_{\mu}) + w_{6i}(D_{\sigma}) + w_{7i}$						
Sigmoid aktivasyon fonksiyonu	$Y_i = 1/(1 + e^{-x_i})$						
Ağırlıklar ( $i$ )	$w_1$	$w_2$	$w_3$	$w_4$	$w_5$	$w_6$	$w_7$
1	-22,7094	3,2115	32,1769	-5,5209	-0,0732	-0,0234	24,0976
2	-0,2228	0,9796	0,5594	0,0830	0,0746	-0,1892	2,4065
3	1,4530	-2,8519	-2,9517	-0,5656	-0,1181	0,2813	-2,0997
4	53,9691	-62,0048	40,1406	-20,1732	-0,1680	-7,2305	34,9674
5	-0,6743	0,5489	1,6753	-0,2258	0,0535	-0,1637	4,4995
6	-2,7329	-1,8151	-3,6297	-0,6860	0,0963	0,0295	7,2447
7	-63,3453	2,897	10,2849	-7,8128	0,8084	0,0810	190,6603
8	-8,3339	-5,1809	-1,3976	7,3992	-1,9268	3,5090	3,0503
9	-0,9952	-0,8591	-0,5774	1,2027	-0,7967	0,3267	2,4601
10	0,9909	0,1991	0,4459	0,0717	-0,0099	-0,0113	-3,7271
11	59,2324	-13,0988	-81,3914	-49,7634	-0,8396	0,5020	-17,1274
YSA Çıkışı	$P_{\max} =$	$5,9044Y_1 + 20,2455Y_2 + 9,8423Y_3 - 0,3726Y_4 - 9,0689Y_5 + 1,1002Y_6 - 2,572Y_7 + 1,4069Y_8 + 0,9534Y_9 + 5,5031Y_{10} - 0,2058Y_{11} - 9,7484$					

Çizelge 3.18.  $P_{top}$  için elde edilen en iyi YSA modelinde gizli tabaka ile çıkış arasında oluşan ağırlıklar ve çıkış eşitliği

Girdiler	$x_i = w_{1i}(V_{mak}) + w_{2i}(V_{\mu}) + w_{3i}(V_{\sigma}) + w_{4i}(V_{\gamma_1}) + w_{5i}(V_{\gamma_2}) + w_{6i}(T_{min}) + w_{7i}(T_{\sigma}) + w_{8i}(D_{\mu}) + w_{9i}(D_{\sigma}) + w_{10i}$									
Sigmoid aktivasyon fonksiyonu	$Y_i = 1/(1 + e^{-x_i})$									
Ağırlıklar (i)	$w_1$	$w_2$	$w_3$	$w_4$	$w_5$	$w_6$	$w_7$	$w_8$	$w_9$	$w_{10}$
1	-8,6240	-15,4896	4,3518	-2,1347	-4,8733	-0,0159	-8,1489	-1,0907	0,6938	-10,6603
2	-4,6918	-0,8954	-3,1802	4,7437	2,4360	3,0309	-10,0564	-0,3522	6,2279	-8,0904
3	-0,1151	2,3971	0,3827	-0,1368	-0,0268	0,0286	-0,1154	-0,0208	0,0245	-9,3089
4	0,0121	-2,6317	-1,1153	0,2198	0,0887	0,0534	-0,3274	-0,0173	0,0111	15,1411
5	-5,2768	5,8756	-4,7022	13,9974	8,6229	-4,4217	3,7078	0,4663	-0,5600	0,8540
6	-2,5188	-1,4916	0,6774	1,1151	-1,7526	-6,4923	0,1726	-0,1466	-0,0527	-1,8427
7	0,0472	1,4598	1,3091	0,2813	0,0702	0,0079	0,0109	0,0013	0,0031	-6,5506
8	1,7630	3,4891	-1,9172	-0,297	2,7420	-3,9621	-2,5275	-0,4913	-0,0152	6,4494
YSA Çıkışı	$P_{top} = -0,0397Y_1 - 1,0685Y_2 + 87,6262Y_3 - 22,3786Y_4 - 0,1002Y_5 - 14,8525Y_6 + 28,4842Y_7 + 0,2978Y_8 + 22,5897$									

### 3.2.8. Sonuçlar

Bu alışmada Hatay meteoroloji istasyonunda ölçülen saatlik ortalama değerler olarak kaydedilen rüzgar hızı - yönü, hava basıncı ve sıcaklığı gibi THV'leri istatistik yazılımları kullanılarak işlenmiş olup bu verilerin alt kırılımı hükmündeki maksimum, minimum ve ilk dört moment:  $\mu$ ,  $\sigma^2$  ( $\sigma$  için),  $\gamma_1$  ve  $\gamma_2$  (24 saatlik veriye dayalı) parametreleri hesaplanmıştır. Elde edilen yeni parametreler ışığında literatürde sıklıkla kullanılan ve yukarıda bahsedilen rüzgar hızı-yönü, hava basıncı ve sıcaklığı gibi temel parametreler yerine bu verilere ait alt parametreler AİV, ÇLRM sürecinden geçirilmiş olup  $P_{top}$ ,  $P_{mak}$  ve  $P_{min}$  için oluşturulan her bir lineer model üzerinde etkisiz olan alt parametreler elenmiştir.  $P_{top}$ ,  $P_{mak}$  ve  $P_{min}$  üzerinde etkili olan alt parametreler sonraki adım olarak YSA girişlerine uygulanmıştır. ÇLRM süreci sonunda etkin olan parametrelerin girdi,  $P_{top}$ ,  $P_{mak}$  ve  $P_{min}$ 'in hedef olarak kullanıldığı üç adet YSA modeli geliştirilmiştir.

Bu alışma sonucunda elde edilen genel sonuçlar aşağıdaki şekilde verilebilir.

- YSA rüzgar hızı - yönü, hava basıncı ve sıcaklığı gibi değişken hava koşullarına kolayca adapte olabilmektedir.
- ÇLRM süreci  $P_{min}$  için başta ortaya konulan çok sayıda alt parametreden etkisiz olanları kolayca elimine (24'ten 4'e) etmiş olup YSA sürecine olumlu katkıda bulunmuştur.
- ÇLRM süreci  $P_{mak}$  için başta ortaya konulan çok sayıda alt parametreden etkisiz olanları kolayca elimine (24'ten 6'ya) etmiş olup YSA sürecine olumlu katkıda bulunmuştur.
- ÇLRM süreci  $P_{top}$  için başta ortaya konulan çok sayıda alt parametrelerden etkisiz olanları kolayca elimine (24'ten 9'a) etmiş olup YSA sürecine olumlu katkıda bulunmuştur.
- ÇLRM süreci sonrasında  $P_{min}$  ile  $V_{min}$ ,  $p_{\gamma_1}$ ,  $D_{mak}$  ve  $D_{min}$  parametreleri diğer parametrelere nazaran daha etkin olduğu ortaya çıkmıştır. Özellikle  $V_{min}$  ve  $p_{\gamma_1}$  parametreleri bu dört parametre içerisinde etkinliği en yüksek değerler olarak tespit edilmiştir.
- ÇLRM süreci sonrasında  $P_{mak}$  ile  $V_{mak}$ ,  $V_{\mu}$ ,  $V_{\sigma}$ ,  $p_{\gamma_1}$ ,  $D_{\mu}$  ve  $D_{\sigma}$  parametreleri diğer parametrelere nazaran daha etkin olduğu ortaya çıkmıştır. Özellikle  $V_{mak}$  ve  $V_{\mu}$  parametreleri bu altı parametre içerisinde etkinliği en yüksek değerler olarak tespit edilmiştir.

- ÇLRM süreci sonrasında  $P_{top}$  ile  $V_{mak}$ ,  $V_{\mu}$ ,  $V_{\sigma}$ ,  $V_{\gamma_1}$ ,  $V_{\gamma_2}$ ,  $T_{min}$ ,  $T_{\sigma}$ ,  $D_{\mu}$  ve  $D_{\sigma}$  parametreleri diğer parametrelere nazaran daha etkin olduğu ortaya çıkmıştır. Özellikle  $V_{mak}$  ve  $V_{\mu}$  parametreleri bu dokuz parametre içerisinde etkinliği en yüksekdeğerler olarak tespit edilmiştir.
- Gerçekleştirilen ÇLRM süreci sonrası girişlerine  $V_{min}$ ,  $p_{\gamma_1}$ ,  $D_{mak}$  ve  $D_{min}$  parametreleri uygulanması sonucunda trainlm algoritması ile eğitilmiş olan gizli katmanında sekiz nörona sahip YSA modeli, 0,9705 Adj.  $R^2$  değeri ile yüksek korelasyonlu  $P_{min}$  değerleri tahmini yapabilmektedir.
- Gerçekleştirilen ÇLRM süreci sonrası girişlerine  $V_{mak}$ ,  $V_{\mu}$ ,  $V_{\sigma}$ ,  $p_{\gamma_1}$ ,  $D_{\mu}$  ve  $D_{\sigma}$  parametreleri uygulanması sonucunda trainlm algoritması ile eğitilmiş olan gizli katmanında 11 nörona sahip YSA modeli, 0,9696 Adj.  $R^2$  değeri ile yüksek korelasyonlu  $P_{mak}$  değerleri tahmini yapabilmektedir.
- Gerçekleştirilen ÇLRM süreci sonrası girişlerine  $V_{mak}$ ,  $V_{\mu}$ ,  $V_{\sigma}$ ,  $V_{\gamma_1}$ ,  $V_{\gamma_2}$ ,  $T_{min}$ ,  $T_{\sigma}$ ,  $D_{\mu}$  ve  $D_{\sigma}$  parametreleri uygulanması sonucunda trainlm algoritması ile eğitilmiş olan gizli katmanında sekiz nörona sahip YSA modeli, 0,9954 Adj.  $R^2$  değeri ile yüksek korelasyonlu  $P_{top}$  değerleri tahmini yapabilmektedir.

Sonuç olarak ÇLRM ve YSA metotlarının birlikte kullanıldığı bir işbirliği modeli  $P_{top}$ ,  $P_{mak}$  ve  $P_{min}$  değerlerinin başarı ile tahmin edilmesini sağlamaktadır.



### 3.3. Ekonomik Analiz

#### 3.3.1. Giriş

Rüzgar enerjisi yatırımları sermaye yoğun yatırımlar olmaları nedeniyle kesin yatırım kararı alınmadan önce henüz kuruluş aşamasında yapılması gereken fizibilite (yapılabilirlik) çalışmaları temel olarak iki aşamada değerlendirilir. Yatırımın teknik olarak analiz edildiği teknik analiz, birinci aşama olarak ve yatırımın ekonomik olarak uygulama kararının verildiği finansal analiz ise ikinci aşama olarak gerçekleştirilir.

Rüzgarın hızı, yönü, esme saat sayısı ve net enerji üretimi vb. verilerin değerlendirildiği teknik analiz aşamasından sonra projenin finansal analizleri yapılır. Özellikle rüzgar enerjisi yatırımlarının uzun vadeli taahhütlerin altına imza atılmasını gerektirebileceği göz önüne alındığında yatırımdan geri dönüş söz konusu değildir. Bu nedenle yatırımın ekonomik faydasının diğer bir deyişle karlılığının piyasa getirisi ortalamaların altında olup olmadığı iyi analiz edilmelidir. Son olarak sürdürülebilirlik, makroekonomik riskler, gelecekte yapılması muhtemel değişiklikler, pazarın yaşam eğrisi ve projelerin yatırım üzerindeki etkileri gibi parametreler dikkate alınarak yatırımın uygulama kararı verilir.

İşletme ve yakıt maliyeti oldukça düşük olan rüzgar enerjisi santrallerinin günümüzdeki türbin üretim teknolojileri ile ilk yatırım kW başına bedelleri hala yüksektir. Bununla beraber rüzgar enerjisi santrallerinin fizibilite çalışmalarının finansal analiz kısmı genellikle yatırım öncesi birim enerji üretim maliyeti tahmini üzerine odaklanmaktadır. Birim enerji maliyeti hesaplamalarında ise santral kapasitesi, yük faktörü, santral ekonomik ömrü, inşaat süresi, inşaat süresi boyunca yapılan harcama dağılımı, birim güç başına yatırım bedeli (€/kW), faiz, eskalasyon (fiyat farkı) ve iskonto oranı gibi değerler temel parametreler olarak değerlendirilmektedir (Gökçınar ve Uyumaz, 2008; Jo ve diğerleri, 2018).

Bu çalışmada ise Hatay ili için yapılan kapasite faktörü analizi ile ilgili bir çalışmada, Dört Parametrelili Burr Dağılımı, Burr (4P) yardımıyla tahmin edilen ortalama hız değerleri dikkate alınmış olup bazı kabullere dayalı olarak yatırım için banka kredisi kullanımı durumunda değişken kredi faiz oranlarının birim enerji maliyetleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak kullanılan kredinin faizindeki küçük artışların bile birim enerji maliyetleri üzerindeki önemli oranda etkisi olduğu ortaya konulmuştur.

### 3.3.2. Çalışmanın Temelleri

#### 3.3.3. Rüzgar Hızı Modelleme ve Kapasite Faktörü

Sadece bir yükseklikte yapılan rüzgar hızı ölçümleri rüzgâr hızının logaritmik bir kanunla değiştiği kabulü ile de Antakya meteoroloji istasyonunda 10 m’de ölçülen veriler Logaritmik kanun olarak adlandırılan Eş. 2.27 kullanılarak 50 m Hub (Rotor öbeği) yüksekliğindeki değerlere uyarlanmıştır.

Zaman serisi olarak kaydedilen rüzgar hızı verileri genellikle modellenebilmesi daha kolay olan sıklık dağılımı biçimine dönüştürülür. Bu çalışmada, risk analizi, güvenilirlik analizi, süreç yeterlilik analizi ve yaşam analizi gibi rassal değişkenin pozitif tanımlı olduğu veri guruplarının modellenmesinde kullanılan Burr (4P) olasılık dağılım fonksiyonu, rüzgar hızı sıklık dağılımının belirlenmesinde model olarak kullanılmıştır. Burr (4P) olasılık yoğunluk fonksiyonunun genel formu, Eş. 2.32’de verilmektedir (Lindsay ve diğerleri, 1996). Burada  $V$  rüzgar hızı (m/s),  $k_B$  ve  $\alpha_B$  sırasıyla boyutsuz şekil parametresi,  $\gamma_B$ , yer parametresi ve  $\beta_B$  ise ölçek (m/s) parametreleri olarak isimlendirilmektedir. Dağılımın kümülatif dağılım fonksiyonu,  $F(V)$  ve ortalama hız ( $V_{Burr}$ ) ise Eş. 2.33 ve 2.38 ile verilen eşitlikler ile elde edilmiştir.

Bir bölgenin rüzgar enerjisi potansiyelini belirlemede en önemli göstergelerden biri olan kapasite faktörü, bir rüzgar enerjisi santralının ürettiği enerjinin nominal güçte üretmesi gereken enerjiye oranı olarak tanımlanmaktadır (Yalçın, 2010). Bu noktada *Micrositting* (Mikro-konuşlandırma) için türbin seçimi çalışmaları sırasında kullanılan ve bütün türbinlere uygulanabilen kapasite faktörü değerleri Eş. 3.6 ile belirlenebilir.

Bir bölgenin sadece rüzgar profilinin modellenmesi, fizibilite çalışmaları açısından yeterli değildir. Bu nedenle kullanılacak olan rüzgar türbininin ne kadar verimle çalışabileceği de ayrıca belirlenmelidir. Bu çalışmada bölgenin rüzgar potansiyelinin daha net olarak anlaşılabilmesi için Şekil 2.3’de görülen, 7 m/s rüzgar hızında 330 kW üretim kapasitesine ve 33,4 m rotor çapına sahip Enercon E33 türbini kullanılmıştır. Türbinin teknik verilerine göre Kısım 3.1’de sunulan “Weibull, Burr ve Gen. Gamma Dağılımları kullanılarak Rüzgar Hızı Verisinin İstatistiksel Analizi” bahsinde elde edilen kapasite faktörü ve üretim değerleri bu çalışmanın temel verisi olarak kullanılmıştır.

### 3.3.4. Çalışmanın ekonomik temelleri

Enerjinin üretilip satılmasının diğer herhangi bir ticaretten bir farkı bulunmamakla birlikte rüzgârdan elektrik enerjisi üretiminin ekonomik olabilmesinin temel şartı rekabetçi ve öngörülebilir enerji maliyetine sahip olmaktır. Bu yapıda maliyet; Yatırım maliyetleri, işletme maliyetleri ve finansman maliyetleri olmak üzere üç temel sac ayağına oturmaktadır. Ancak bir Rüzgar enerji santralinde (RES) elektrik enerjisi üretim maliyetini belirleyen etkenler arasında ilk yatırım giderleri ve birim enerji maliyeti ekonomik verimlilik ve yatırımcılar açısından kritik önem taşımaktadır (Kim ve diğerleri, 2017). Bu çalışmada ise Hatay ili için yapılan kapasite faktörü analizi ile ilgili Kısım 3.1’de hesaplanan değerler dikkate alınmış olup bazı kabullere dayalı olarak yatırım giderleri arasında önemli bir faktör olan, yatırımcı tarafından kullanılacak yatırım kredisine ait faiz oranının değişkenliğinin birim enerji maliyeti üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Ülkemizde faaliyette olan türbinlerin büyük çoğunluğu banka kredisi kullanılarak yabancı üreticilerden ithalat yolu ile tedarik edilmektedir (Hatipoğlu, 2010). Rüzgar enerjisi santrali yatırım maliyetinde türbin maliyeti toplam maliyetin % 70 - % 80’ini oluştururken rüzgar türbini satın alma maliyeti, ülkelere göre değişiklik göstermekte olup, genellikle 900 €/kW ile 1150 €/kW arasındadır. İnşaat ve elektrik ekipmanlarının maliyeti ise %18 - % 22’si gibi bir değerle türbin maliyetinden sonraki en büyük gideri oluşturmaktadır. Diğer yandan üretilen her bir kW enerji başına %10 - % 15 oranında üretim esnasındaki maliyetlerden işletme ve bakım giderleri bir başka gider kalemini oluşturmaktadır Bu noktada % 40 - % 60 arasında işletme giderleri sahip fosil yakıtlara dayalı konvansiyonel enerji sistemlerine kıyasla rüzgar türbinlerinin oldukça avantajlı konumda olduğu gözlenmektedir (GEKA, 2012).

Bir RES projesinin asıl geliri, rüzgar yardımıyla üretilen elektrik enerjisi satışından elde edilmektedir. Ancak enerji üretimi bakımından emisyon üst sınırı ve ticareti, ekonomi bazlı bir faaliyetin ekolojik olarak sürdürülebilir olduğu bir düzeyde kısıtlanarak çevresel tahribatın temel nedenini giderme potansiyeline sahip olup emisyonların üst ve alt sınırları dâhilinde ticaret yapabilme olanağını gösterir. Dünya Bankasının Kyoto Protokolü tarafından oluşturulan piyasa temelli bir uygulama olan *Temiz Kalkınma Mekanizması* benzeri bir mekanizma ile birlikte Prototip Karbon Fonu’nu oluşturması, işin ticari yönüne

önemli bakış açısı getirmiştir. Yani Karbon emisyonundaki azaltım bir sübvansiyon, piyasa ve politika mekanizması olarak kullanılabilir (Çiçek ve Çiçek, 2012).

Hali hazırda Kyoto Protokolünü imzalamamış ülkelerde bir karbon sertifikası piyasası zemin olarak oluşmuştur. Üretilen birim enerji başına karbondioksit düşümü miktarı hesaplanarak, bu miktarlar yetkili bağımsız kuruluşlar tarafından sertifikalandırılmakta ve bu sertifikalar sahipleri olan firmalardan başka firmalara satılabilmektedir. Bununla beraber Türkiye’de de Karbon Piyasalarına ilişkin çalışmalar çeşitli kurumların strateji ve eylem planlarında yerini almıştır (Oral, 2010).

Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planında yer alan: 2015 yılına kadar Türkiye’de karbon piyasasının kurulmasına yönelik çalışmaların yapılması hedefi ve İstanbul Uluslararası Finans Merkez Stratejisi ve Eylem Planı Enerji Verimliliği Stratejisi Belgesinde bulunan 2012-2015 yılları arasında Karbon Piyasası Oluşturulması hedefi, Türkiye’de faaliyet gösteren işletmeler açısından yeni bir gelir kaynağı oluşturma potansiyeli taşımakta olup karbon sertifikası çalışma kapsamında gelir kalemi olarak dikkate alınmıştır (ÇŞB, 2012). Bu çalışma kapsamında yapılan ekonomik analizde yöntem olarak; RES projesi yatırım maliyeti belirlenerek, proje yatırım yılları dışında proje ekonomik ömrü olan 25 yıllık dönemi de kapsayan gelir - gider tablosu oluşturulmuştur. Sonrasında ise birim enerji üretim maliyeti hesaplanmıştır.

Günümüzde birçok banka tarafından uygulanan yenilenebilir enerji kredileri ve benzeri destek programlarından faydalanılarak santral yatırım bedelinin tamamının banka kredisi ile karşılandığı düşünülmüştür.

Herhangi bir yıl için toplam kredi borcu bileşik faiz oranı aşağıda verilen eşitlik ile hesaplanabilir.

$$B_t = A_f (1 + f_0)^t \quad (3.23)$$

Eş. 3.23’de  $B_t$ ,  $t$  yıl sonraki borcu;  $A_f$ , faize tabi ana parayı;  $f_0$ , faiz oranını ve  $t$ , yılı ifade etmektedir. Kredi borcu santralinin faaliyete geçmesi ve üretimini paraya dönüştürebileceği; santralin öngörülen ömrü olan 25 yıllık dönem içerisinde her yıl bir taksit ödenmek üzere

toplam 25 taksit ile borcun tamamen ödeneceği kabul edilmektedir. Bununla beraber yıl başına ödenecek kredi taksit tutarı aynı zamanda yıllık sabit amortisman bedeli, aşağıda verilen Eş. 3.24 ile hesaplanabilir.

$$T_Y = B_T \left[ \frac{f_0 (1 + f_0)^t}{(1 + f_0)^t - 1} \right] \quad (3.24)$$

Burada;  $T_Y$ , yıllık sabit taksit tutarı;  $B_T$ , taksitlendirmeye tabi toplam kredi borcu;  $t$ , yıl olarak geri ödeme süresini göstermektedir.

Bu projede; bakım ve personel giderlerine; yıllık % 1 oranında eskalasyon oranı uygulanmıştır. Herhangi bir gider için eskalasyon yükünün uygulanması aşağıda verilen eşitlik ile hesaplanabilir.

$$C_{es(t)} = C_{(0)} (1 + e_0)^t \quad (3.25)$$

Eş. 3.25'de  $C_{es(t)}$  herhangi bir giderin  $t$  yıl sonra gelecekteki değerini,  $C_{(0)}$ , giderin işletme başlangıç yılındaki değerini ve  $e_0$  ise eskalasyon oranını ifade etmektedir.

Enerji muhasebesinde en önemli kavramlardan biri de, birim üretim başına enerji maliyeti olup işletme giderlerinin üretilen enerjiye oranı olarak ifade edilmekle birlikte aşağıda verilen eşitlik ile hesaplanabilir.

$$BEM = E_s \div \ddot{U}_{nn} \quad (3.26)$$

Eş. 3.26'da BEM, Euro (€) para birimi cinsinden birim üretim (kW's) başına enerji maliyetini gösterirken  $E_s$  ve  $\ddot{U}_{nn}$  ise sırasıyla işletme giderlerini (€) ve nakil hattı kaybı sonrası net enerji üretimi (kW's/yıl)'ni ifade etmektedir.

Rüzgâr enerjisi santrallerine yatırım yapmak isteyen girişimcilerin başlangıçta harcadığı yatırım miktarının ne kadar kar getirdiğinin bilmesi, yatırımı akla yatkın hale getirilmesini daha da kolaylaştıracaktır. Yıllar içerisinde elde edilen kârın net bugünkü değerinin

hesaplanması gerekmektedir (Heydt, 2017; Agaton, ve Karl, 2018). Bu amaç ile net karın bugünkü değeri aşağıda verilen eşitlik ile hesaplanabilir.

$$NPV = \sum_{i=0}^t K_i (1 + r_0)^{-t} \quad (3.27)$$

Eş. 3.27’de;  $NPV$ , net karın bugünkü değerini  $K_i$ , işletme yılındaki karı ve  $r_0$  ise iskonto oranını ifade etmektedir.

### 3.3.5. Ekonomik analize dair kabuller

Türkiye’de faaliyet gösteren rüzgar santrali işletmecileri, rüzgar türbinlerini genellikle Avrupa’dan ithalat yolu ile Avrupa resmi ortak para birimi olan € üzerinden satın almaktadırlar. Bu nedenle ekonomik analiz kapsamında yapılan tüm maddi hesaplamalar da € para birimi ile yapılmıştır. Günümüzde üretilen türbinlerin ekonomik ömürleri, yapım teknolojisine bağlı olarak 20 - 25 yıl arasında değiştiği için bu çalışmadaki RES projesinin ekonomik ömrü 25 yıl olarak öngörülmüştür. Bununla beraber rüzgar türbin maliyeti de 900 €/kW olarak kabul edilmiştir (DEKTMKD, 2007).

Ülkemizde kurulu bulunan rüzgar santrallerinin büyük bir kısmının rutin bakımları kendi personeli tarafından yapılmaktadır. Bununla beraber ağır bakım ve tamirat gerektiren durumlarda türbin tedarikçisi firmalar çözümler üretebilmektedirler. Ancak bu çalışmada ortalama olarak kW’s elektrik üretimi başına bakım bedeli yaklaşık olarak 0,0065 €/kW’s olarak kabul edilmiştir. Santralden üretilecek olan enerjinin CO<sub>2</sub> eşdeğeri ise 0,665 tCO<sub>2</sub>/MWh olarak kabul edilmiştir (ÇOBÇYGM, 2008). Karbon sertifikası satış bedeli ise 5,24 €/tCO<sub>2</sub> olarak alınmıştır (İnternet, 2016). Ayrıca enerjinin üretildiği noktadaki trafo ve şalt kayıpları ve nakil hattı ile iletilmesi sonucu oluşan kayıpların toplamı % 1 olarak belirlenmiştir. RES yatırımı için mali desteğin iki yıl geri ödemesiz, işletmeye geçeceği yıldan itibaren 25 yıl içerisinde eşit yıllık taksitler halinde ödemeli olarak % 100 banka kredisi ile sağlanması düşünülmüştür. Proje için yatırım süresi 2 yıl olarak Türkiye Kalkınma Bankası destekli, € para birimi cinsinden alınacak kredi için uygulanacak faiz oranının % 0,001 – % 3,5 arasında değiştiği kabul edilmiştir (TKB, 2016). Ekonomik analiz için yapılmış olan kabuller ve proje ile ilgili temel girdiler Çizelge 3.19’da verilmiştir.

Çizelge 3.19. RES ekonomik analizi için temel girdiler

Parametre	Birimi	Değeri
Proje kurulu gücü	MW	1,98
Türbin sayısı	Adet	6
Türbin gücü	kW	330
RES projesi brüt enerji üretimi (yıllık )	kWs	1746000
RES projesi net enerji üretimi (yıllık )	kWs	1606320
Rüzgar çiftliğinin kapasite faktörü (ort.)	%	10,00
Nakil hattı kaybı sonrası net enerji üretimi (yıllık )	kWs/Yıl	1590257
Karbon düşümü miktarı	Tco <sub>2</sub>	1068,2
Türbin, kablo, belirsizlikler v. b. kayıpların toplam oranı	%	8,00
Türbinler arası orta gerilim kabloları, santral trafosu ve enerji nakil hattından dolayı oluşacak tahmini kayıpların toplamı	%	1,00
Rüzgar çiftliğinin inşaat süresi	Ay	24
Rüzgar çiftliğinin işletme süresi	Yıl	25
Proje yatırım bedelinin banka kredisi ile karşılama oranı	%	100
Banka kredisi faiz oranı	%	0,001 – 3,5
bakım ve personel giderleri için eskalasyon oranı	%	1
Iskonto oranı	%	5
Kredi ödemesi yapılmayan süre	Yıl	2
Banka kredisi geri ödeme taksit sayısı	Adet	25
Amortisman süresi	Yıl	25
Vergi oranı	%	20
Rüzgar türbini maliyeti	(€/MW)	900000
Bakım giderleri	(€/KWs)	0,0065
Personel giderleri	€/Yıl	41000
Enerji satış fiyatı	(€/KWs)	0,073
Üretilen enerjinin co <sub>2</sub> emisyonu düşüm katsayısı	-	0,665
Karbon sertifikası satış bedeli	€/T CO <sub>2</sub>	5,24

Bu çalışmada proje yatırım maliyeti üç ana kısımda incelenmiştir. Bu kısımlar Çizelge 3.19 - 3.22 ile verilen planlama ve proje geliştirme masrafları, RES inşaat masrafları ile elektrik ve mekanik teçhizat ve montaj masrafları olarak sıralanabilir

Çizelge 3.20’de verilen planlama ve proje geliştirme masrafları yatırım öncesi ve başlangıcı döneminde yapılan proje etüt, mühendislik ve teknik danışmanlık hizmetleri, proje yönetimi giderleri, teknik rapor hazırlama giderleri, sigorta ve varsa kamulaştırma giderleri gibi maliyetleri içermektedir.

Çizelge 3.20. Planlama ve proje geliştirme masrafları

Harcama kalemleri	Birim bedeli (€)	Miktar Adet	Toplam bedel (€)	Yatırımdaki Payı (%)
Etüt ve proje maliyetleri	15840	1	15840	0,68
Danışmanlık ve kontrolörlük hizmetleri	23760	1	23760	1,025
Kamulaştırma	yok	yok	0	0
Sigorta	29040	1	29040	1,24
Diğer masraflar	1980	1	1980	0,08
		Toplam	70620	3,02

Çizelge 3.21. RES inşaat masrafları

Harcama kalemleri	Birim bedeli (€)	Miktar Adet	Toplam bedel (€)	Yatırımdaki Payı (%)
RT'ler arasındaki servis yolları maliyeti	1980	6	11880	0,51
RT temelleri maliyeti	7260	6	43560	1,87
Kablo ve kanal masrafları	3300	5	16500	0,71
Şalt sahası inşaatı	3300	1	3300	0,14
Diğer masraflar	2970	1	2970	0,13
		Toplam	78210	3,35



Çizelge 3.22. Elektrik ve mekanik teçhizat ve montaj masrafları

Harcama kalemleri	Birim bedeli (€)	Miktar Adet	Toplam bedel (€)	Yatırımdaki Payı (%)
RT maliyeti (MW Başına)	900000	1,98	1782000	76,33
Yedek parça ve ekipmanlar	35	1	660	0,03
Trafo ve şalt merkezi	14000	1	264000	11,31
Yüksek ve orta gerilim kabloları	280	1	5280	0,23
Vinç ve nakliye bedeli	350	6	39600	1,70
Enerji nakil hattı maliyeti	700	7	92400	3,96
Diğer masraflar	105	1	1980	0,08
		Toplam	2185920	93,63
	Genel Toplam		2334750	100

Ulaşım yolunun onarımı, türbinlerin kurulacağı yere taşınması için türbinler arasındaki servis yolları maliyeti, türbinlerin dikileceği temellere ait yapım maliyetleri, kablo ve kanal maliyeti, şalt sahası yapımı gibi harcamaları içeren inşaat masrafları ise Çizelge 3.21’de verilmiştir. Ayrıca elektrik ve mekanik teçhizat ve montaj masrafları da Çizelge 3.22’de görülmektedir.

Rüzgar türbinlerinin işletmeye alınması ve üretim faaliyetine geçmesi ile birlikte santralin aktif olduğu her ay boyunca bir mühendis bir teknisyen ve iki güvenlik görevlisi olmak üzere 4 personele aylık toplam 3750 € ücret ödenmesi planlanmıştır. Çizelge 3.22’de görüldüğü gibi santralin kurulum bedeli 2334750 € olup birim kW başına kurulu güç maliyeti 1180 € olarak hesaplanmıştır. Santralin kurulum çalışmalarının yapılacağı ilk iki yıl kredi ödemesi yapılmayacaktır. Proje için yapılan nakit akışı ile ilgili hesaplamalar 2 + 25 yıl üzerinden yapılmıştır. Santralin işletmeye geçip enerji üretimine başlaması ile birlikte 25 yıl boyunca taksitler halinde kredi ödemesinin yapılacağı; ayrıca santral gelirlerinin enerji satış geliri ile karbon sertifikası gelirlerinden oluşacağı varsayılmıştır. Santral kurulum çalışmaları santral ömrüne göre kısa sayılabilecek 2 yıl gibi bir sürede tamamlanacağı düşünüldüğünden bu periyotta yapılan kurulum harcamalarına eskalasyon yükü uygulanmamıştır.

Santral yatırım bedelinin tamamının yani 2334750 € tutarında banka kredisi ile karşılandığı düşünülmüştür. Birinci yatırım yılı için, planlama ve proje geliştirme masrafları olarak

70620 € kullanılacak olup ikinci yatırım yılı için ise santral inşaat masrafları ile elektrik, mekanik makine teçhizat ve montaj masrafları için 2264130 €'luk kısmı kullanılacaktır.

### 3.3.6. Bulgular

Bu çalışmada öncelikle Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün Hatay meteoroloji istasyonu tarafından ölçülen rüzgar veriler kullanılarak bölgenin rüzgar potansiyeli incelenmiştir.

Bölgenin en yüksek ortalama rüzgar hızı değerleri 10 m yükseklikte yapılan ölçümlere göre 4,39 m/s değeri ile Ağustos ayında meydana gelirken en düşük değer 1,26 m/s ile Aralık ayında gerçekleşmiştir. Diğer yandan bölgenin rüzgar hızı açısından enerji taşıyan hakim yönlerinin 202° - 204° olduğu, sıcaklığın 11,03°C ile 29,93°C değerleri arasında değiştiği ve basıncın yaz aylarında daha düşük olduğu gözlenmiştir. Eş. 6 ile hesaplanan hava yoğunluğu değerlerine bağlı olarak Eş. 5 ile verilen rüzgar güç yoğunluğu değerleri ise yaz aylarında rüzgar hızının değişimiyle birlikte Ağustos ayında ortalama en yüksek 48,41 (W/m<sup>2</sup>) değerine ulaşmaktadır. En düşük değer ise 1,23 (W/m<sup>2</sup>) olarak Aralık ayında meydana gelmiştir. 10 m yükseklikte ölçülen verilerin Eş. 3.27 ile 50 m yükseklik için interpolate edilmesi sonucu elde edilen en yüksek rüzgar hızı ve rüzgar gücü yoğunluğu değerleri 7,19 (m/s) ve 212,46 (W/m<sup>2</sup>) ile Ağustos ayında meydana gelmiştir. Yıllık bazda ise ortalama rüzgar hızı ve rüzgar gücü yoğunluğu değerleri 4,16 (m/s) ve 42,75 (W/m<sup>2</sup>) olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte standart sapma yani, SS değerleri 1,59 (m/s) ile 1,71 (m/s) arasında değişmektedir.

Güç değerlerinin daha anlamlı olması için 50 m yüksekliğe interpolate edilmiş rüzgar hızı değerleri Burr dağılımı ile modellenmiştir. Dağılım fonksiyonun  $k$  parametresi aylar bazında 5,80 ile 707,67 değerleri arasında değişirken  $\beta$  parametresi 1,36 ile 2,89 değerleri arasında değişmektedir.

Burr dağılımı tarafından modellenen rüzgar profilini değerlendirmek için Eş. 3.6 ile hesaplanan kapasite faktörü değerleri Enercon E-33 rüzgar türbini için yıllık ortalama % 10,00 değerine ulaşmaktadır. Enercon için yıllık bazda toplam güç üretim miktarının 291 MW değerine ulaştığı hesaplanmıştır.

Bu çalışmada ayrıca RES kurmak isteyen yatırımcılar açısından önemli olan banka kredisi faiz oranı değişiminin birim enerji maliyetine olan etkisi incelenmiştir. Bunun için, Çizelge 3.19'da verilen ve RES'nin ekonomik analizi için kullanılan temel girdi değerler aynı kalmak şartı ile kullanılan banka kredisi faiz oranı değiştirilmek suretiyle, RES projesi

yatırım maliyeti ve işletme yılları gelir-gider durumu hesaplanarak birim enerji üretim maliyeti hesaplanmıştır.

Çizelge 3.23'de Yatırım Kredisi Faiz Oranı % 3 olması durumunda taksitlendirme yılları gelir-gider durumu görülmektedir. Çizelgeye göre birinci yatırım yılı sonundaki toplam kredi borcu  $B_1 = 72738,6$  € ikinci yatırım yılı sonundaki toplam kredi borcu ise,  $B_2 = 2406975$  € olarak hesaplanmıştır. RES'nin işletmeye girmesiyle beraber oluşan kredi borcunun eşit taksitler halinde 25 işletme yılı sonunda sıfırlanacak şekilde yıllık sabit kredi ödemesi olarak yapılması planlanmıştır. Yıllık sabit kredi taksit miktarı aynı zamanda yıllık sabit amortisman bedeli, Eş. 3.24 yardımı ile hesaplandığında santral projesinin yıllık sabit kredi taksiti miktarı 138227,43 €/yıl olarak ortaya çıkmaktadır.

Santralin yıllık toplam enerji üretim miktarı 1746000 kW's olarak hesaplanmıştır. Finans bağlamında değerlendirme yapıldığında santral için toplam yatırım maliyeti 2334750 €, MW kurulu güç başına yatırım maliyeti 1179166,667 € olarak hesaplanmıştır Kayıplar sonrası yıllık net elektrik enerjisi üretimi 1590257 kW's olarak hesaplanırken buradan elde edilen gelirin 117802 € değerine ulaştığı Çizelge 3.23'de görülmektedir.

Çizelge 3.23.Yatırım Kredisi Faiz Oranı % 3 olması durumunda taksitlendirme yılları gelir-gider durumu (€)

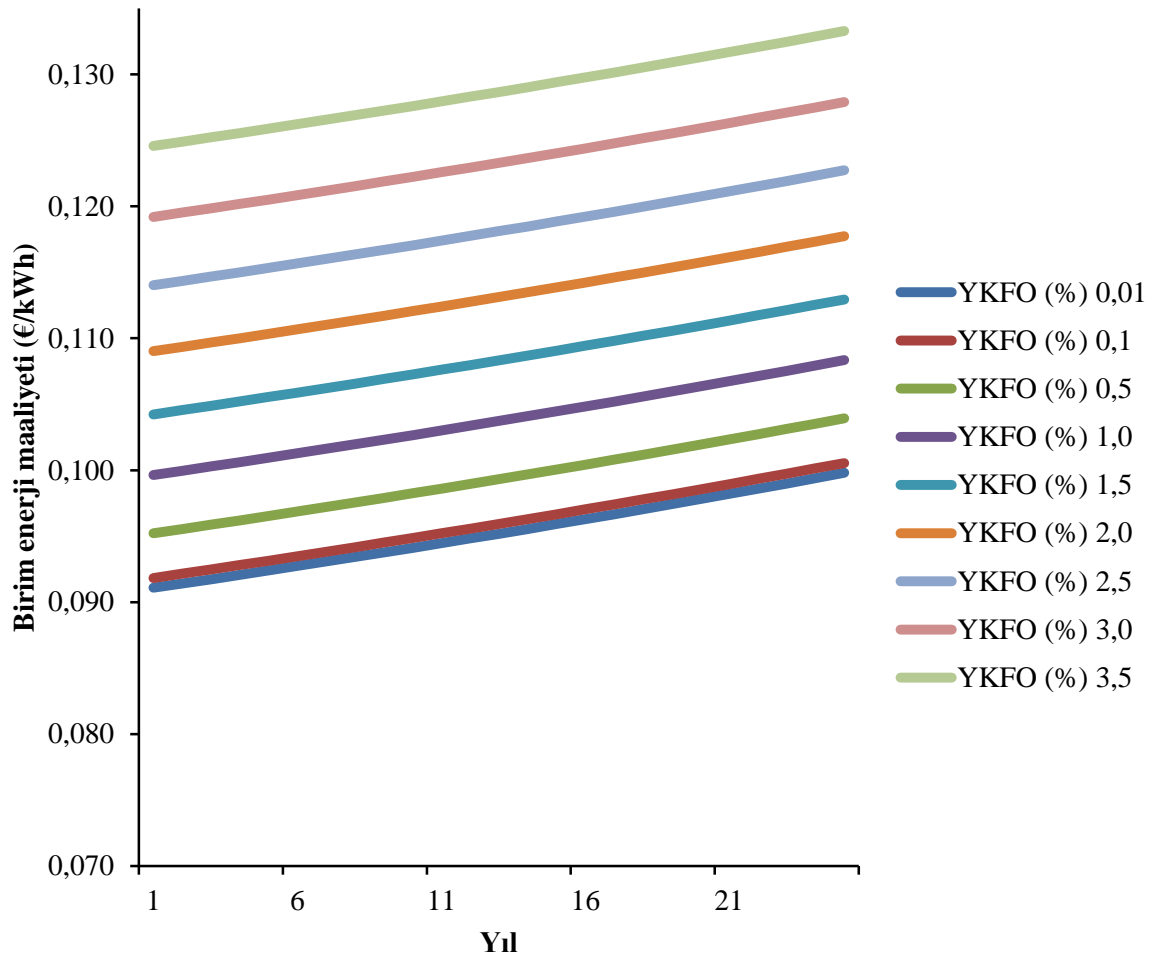
Giderler (€)	Birinci Yatırım Yılı Sonundaki Toplam Kredi Borcu	İkinci Yatırım Yılı Sonundaki Toplam Kredi Borcu	İşletmede Olunan Yıllar						
			1	2	3	4	...	24	25
Enerji satış gelirleri	0	0	111317,98	111317,98	111317,98	111317,98		111317,98	111317,98
Karbon sertifikası gelirleri	0	0	6483,99	6483,99	6483,99	6483,99		6483,99	6483,99
Bakım giderleri	0	0	10336,67	10440,04	10544,44	10649,88		12994,88	13124,83
Personel giderleri	0	0	41000,00	41410,00	41824,10	42242,34		51543,68	52059,12
Kredi ödemesi	0	0	138227,43	138227,43	138227,43	138227,43		138227,43	138227,43
Banka Borç	72738,6	2406975	2340956,47	2272957,73	2202919,03	2130779,17		134201,39	0,00
Gelir toplamı	0	0	117801,97	117801,97	117801,97	117801,97		117801,97	117801,97
Gider toplamı	0	0	189564,10	190077,47	190595,97	191119,65		202765,99	203411,38
Kar	0	0	-71762,13	-72275,50	-72794,00	-73317,68		-84964,03	-85609,41
Vergi	0	0	-12917,18	-13009,59	-13102,92	-13197,18		-15293,52	-15409,69
Net kar	0	0	-58844,95	-59265,91	-59691,08	-60120,50		-69670,50	-70199,72
BEM	0	0	0,1192	0,1195	0,1199	0,1202		0,1275	0,1279

Yatırım Kredisi Faiz Oranı değişimine karşılık BEM değişimi değerleri Çizelge 3.24’de verilmiştir. Faiz oranındaki % 0,5’lik artışın, yıllık birim enerji üretim maliyetini yaklaşık % 3,26 – % 4,43 değerinde artırdığı görülmektedir. Faiz oranının % 2 olması durumunda, yıllık birim enerji üretim maliyetinin 0,0109 €/kWs ile 0,118 €/kWs arasında değiştiği, faiz oranının % 3 olması durumunda ise, yıllık birim enerji üretim maliyetinin 0,119 €/kWs ile 0,128 €/kWs arasında değiştiği belirlenmiştir.

Çizelge 3.24.Yatırım Kredisi Faiz Oranı değişimine karşılık BEM değişimi

		Yatırım Kredisi Faiz Oranı (YKFO) (%)								
BEM (€ kWs)	Yıl	0,01	0,1	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
	1	0,091	0,092	0,095	0,100	0,104	0,109	0,114	0,119	0,125
	2	0,091	0,092	0,096	0,100	0,105	0,109	0,114	0,120	0,125
	3	0,092	0,092	0,096	0,100	0,105	0,110	0,115	0,120	0,125
	4	0,092	0,093	0,096	0,101	0,105	0,110	0,115	0,120	0,126
	5	0,092	0,093	0,097	0,101	0,106	0,110	0,115	0,121	0,126
	6	0,093	0,093	0,097	0,101	0,106	0,111	0,116	0,121	0,126
	7	0,093	0,094	0,097	0,102	0,106	0,111	0,116	0,121	0,127
	8	0,093	0,094	0,098	0,102	0,107	0,111	0,116	0,122	0,127
	9	0,094	0,095	0,098	0,102	0,107	0,112	0,117	0,122	0,127
	10	0,094	0,095	0,098	0,103	0,107	0,112	0,117	0,122	0,128
	11	0,094	0,095	0,099	0,103	0,108	0,112	0,117	0,123	0,128
	12	0,095	0,096	0,099	0,103	0,108	0,113	0,118	0,123	0,128
	13	0,095	0,096	0,099	0,104	0,108	0,113	0,118	0,123	0,129
	14	0,096	0,096	0,100	0,104	0,109	0,113	0,118	0,124	0,129
	15	0,096	0,097	0,100	0,104	0,109	0,114	0,119	0,124	0,129
	16	0,096	0,097	0,100	0,105	0,109	0,114	0,119	0,124	0,130
	17	0,097	0,097	0,101	0,105	0,110	0,115	0,120	0,125	0,130
	18	0,097	0,098	0,101	0,106	0,110	0,115	0,120	0,125	0,131
	19	0,097	0,098	0,102	0,106	0,111	0,115	0,120	0,126	0,131
	20	0,098	0,099	0,102	0,106	0,111	0,116	0,121	0,126	0,131
	21	0,098	0,099	0,102	0,107	0,111	0,116	0,121	0,126	0,132
	22	0,099	0,099	0,103	0,107	0,112	0,117	0,122	0,127	0,132
	23	0,099	0,100	0,103	0,108	0,112	0,117	0,122	0,127	0,132
	24	0,099	0,100	0,104	0,108	0,113	0,117	0,122	0,128	0,133
	25	0,100	0,101	0,104	0,108	0,113	0,118	0,123	0,128	0,133

Santral projesi yapılması durumunda BEM değerlerinin grafiksel olarak değişimi ise Şekil 3.25’de görülmektedir.



Şekil 3.25: Santral projesi yapılması durumunda BEM değerleri

Yapılan teknik ve ekonomik değerlendirmeler ışığında RES'nin kurulacağı alanda düşük sayılabilecek kapasite değerlerine ulaşılmış olup yukarıda bahsi geçen kabullere bağlı olarak uygulanacak bir yatırım senaryonun maddi anlamda yatırımcısını umutlandırarak geri dönüş süresine ulaşamadığı görülmüştür. Kullanılacak krediye ait faiz oranı sıfıra indirilse bile hesaplanan 0,091 €/kWs BEM değerinin santral için öngörülen 25 yıllık işletme süresi içerisinde daha düşük seviyelere gerilemediği görülmüştür. Bununla beraber sıfır faizli durumda santral yatırımının geri dönüş süresinin RES için işletme süresi olan 25 yıl altında gerçekleşmesinin de olası olmadığı düşünülmektedir. Bu değerlendirmeler neticesinde; enerji satış fiyatının 0,135 €/kWs ve üzerinde olması durumunda, yatırımın daha ekonomik olacağı değerlendirilmektedir.

Yaz dönemi kapasite faktörü ile Yatırım Kredisi Faiz Oranı % 3 olması durumunda taksitlendirme yılları Çizelge 3.25'de görülmektedir. Gelir - gider durumu (€) RES için yaz

döneminde hesaplanan % 33 kapasite faktörü oranı ile daha ekonomik BEM değerlerine ulaşıldığı Çizelge 3.26'da görülmektedir. RES'in Yaz aylarında elde ettiği kapasite değerinin yıllık üretime uyarlanması durumunda 5136912 kW<sub>s</sub> net üretim değerine ulaşabileceği hesaplanmaktadır. Yeni kapasite oranı ve üretim değeri ışığında % 3 yatırım kredisi faiz oranı ile elde edilen yeni BEM değerleri ve gelir - gider tablosu Çizelge 3.25'de görülmektedir.



Çizelge 3.25.Yaz dönemi kapasite faktörü ile Yatırım Kredisi Faiz Oranı % 3 olması durumunda taksitlendirme yılları gelir-gider durumu (€)

Giderler (€)	Birinci Yatırım Yılı Sonundaki Toplam Kredi Borcu	İkinci Yatırım Yılı Sonundaki Toplam Kredi Borcu	İşletmede Olunan Yıllar						
			1	2	3	4	...	24	25
Enerji satış gelirleri	0	0	359583,84	359583,84	359583,84	359583,84		359583,84	359583,84
Karbon sertifikası gelirleri	0	0	20944,85	20944,85	20944,85	20944,85		20944,85	20944,85
Bakım giderleri	0	0	33389,93	33723,83	34061,07	34401,68		41976,58	42396,35
Personel giderleri	0	0	41000,00	41410,00	41824,10	42242,34		51543,68	52059,12
Kredi ödemesi	0	0	138227,43	138227,43	138227,43	138227,43		138227,43	138227,43
Banka Borç	72738,6	2406975	2340956,47	2272957,73	2202919,03	2130779,17		134201,39	0,00
Gelir toplamı	0	0	380528,69	380528,69	380528,69	380528,69		380528,69	380528,69
Gider toplamı	0	0	212617,36	213361,26	214112,60	214871,45		231747,70	232682,90
Kar	0	0	167911,33	167167,43	166416,09	165657,24		148780,99	147845,79
Vergi	0	0	30224,04	30090,14	29954,90	29818,30		26780,58	26612,24
Net kar	0	0	137687,29	137077,30	136461,20	135838,94		122000,42	121233,55
BEM	0	0	0,0414	0,0415	0,0417	0,0418		0,0451	0,0453
NPV			132391,6	126735,7	121313,5	116115,7		47594,98	45476,74

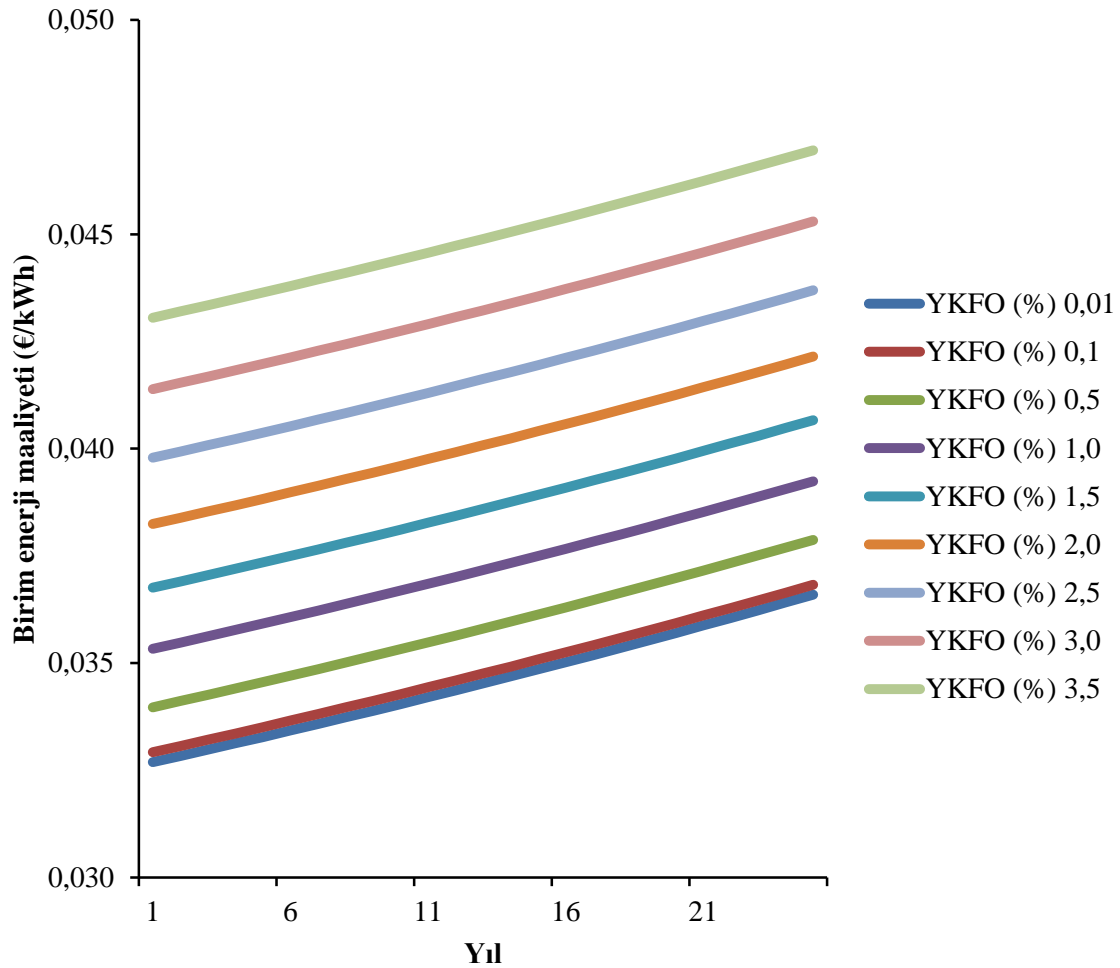


% 33 kapasite değerine ulaşılmasıyla birlikte kullanılacak olan yatırım kredisi faiz oranı değişimine karşılık BEM değişimi Çizelge 3.26’da verilmektedir. Faiz oranındaki % 0,5’lik artışın, yıllık BEM değerini yaklaşık % 3,48 – % 3,88 oranında artırdığı görülmektedir. Faiz oranının % 2 olması durumunda, yıllık BEM değerinin 0,038 ile 0,042 €/kWs arasında değiştiği, faiz oranının % 3 olması durumunda ise, yıllık BEM’nin 0,41 ile 0,045 €/kWs arasında değiştiği belirlenmiştir. Çizelge 3.26’da görüldüğü gibi faiz oranının % 3,5 olması ise BEM değerlerinin 0,043 ile 0,047 €/kWs arasında değişimine neden olmaktadır.

Çizelge 3.26. Yaz dönemi kapasite faktörü ile Yatırım Kredisi Faiz Oranı değişimine karşılık BEM değişimi

		Yatırım Kredisi Faiz Oranı (YKFO) (%)								
BEM (€ kWs)	Yıl	0,01	0,1	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
	1	0,033	0,033	0,034	0,035	0,037	0,038	0,040	0,041	0,043
	2	0,033	0,033	0,034	0,035	0,037	0,038	0,040	0,042	0,043
	3	0,033	0,033	0,034	0,036	0,037	0,039	0,040	0,042	0,043
	4	0,033	0,033	0,034	0,036	0,037	0,039	0,040	0,042	0,043
	5	0,033	0,034	0,035	0,036	0,037	0,039	0,040	0,042	0,044
	6	0,033	0,034	0,035	0,036	0,037	0,039	0,041	0,042	0,044
	7	0,034	0,034	0,035	0,036	0,038	0,039	0,041	0,042	0,044
	8	0,034	0,034	0,035	0,036	0,038	0,039	0,041	0,042	0,044
	9	0,034	0,034	0,035	0,037	0,038	0,039	0,041	0,043	0,044
	10	0,034	0,034	0,035	0,037	0,038	0,040	0,041	0,043	0,044
	11	0,034	0,034	0,035	0,037	0,038	0,040	0,041	0,043	0,045
	12	0,034	0,035	0,036	0,037	0,038	0,040	0,041	0,043	0,045
	13	0,035	0,035	0,036	0,037	0,039	0,040	0,042	0,043	0,045
	14	0,035	0,035	0,036	0,037	0,039	0,040	0,042	0,043	0,045
	15	0,035	0,035	0,036	0,037	0,039	0,040	0,042	0,044	0,045
	16	0,035	0,035	0,036	0,038	0,039	0,041	0,042	0,044	0,045
	17	0,035	0,035	0,036	0,038	0,039	0,041	0,042	0,044	0,046
	18	0,035	0,036	0,037	0,038	0,039	0,041	0,042	0,044	0,046
	19	0,036	0,036	0,037	0,038	0,040	0,041	0,043	0,044	0,046
	20	0,036	0,036	0,037	0,038	0,040	0,041	0,043	0,044	0,046
	21	0,036	0,036	0,037	0,039	0,040	0,041	0,043	0,045	0,046
	22	0,036	0,036	0,037	0,039	0,040	0,042	0,043	0,045	0,046
	23	0,036	0,036	0,038	0,039	0,040	0,042	0,043	0,045	0,047
	24	0,036	0,037	0,038	0,039	0,040	0,042	0,044	0,045	0,047
	25	0,037	0,037	0,038	0,039	0,041	0,042	0,044	0,045	0,047

Santral projesi yapılması durumunda BEM değerlerinin grafiksel olarak değişimi ise Şekil 3.26'da görülmektedir.



Şekil 3.26. Yaz dönemi kapasite faktörü ile Santral projesi yapılması durumunda BEM değerleri

Çizelge 3.25'de verilen, işletme yıllarındaki karların Eş. 3.27'de yerine konularak gerekli hesaplamalar yapılması durumunda RES yatırımı için; net karın bugünkü değeri NPV 1939278,311 € olarak bulunmaktadır.

Çizelge 3.27'de görüldüğü gibi işletme maliyetinin bugünkü değeri, 2419024,46 € olarak belirlenmiştir. Yöntem; her yıl, yatırım maliyetinin bugünkü değeri ile işletmeden elde edilen gelirin bugünkü değerinin farkının alınması esasına dayanmaktadır. Burada farkın negatif değere düştüğü yıl, yatırımın geri dönüş süresini göstermektedir. Çizelge 3.27'de

görüldüğü gibi RES'in % 33 kapasite oranı ile sürekli çalışması durumunda yatırımın geri dönüş süresi; 7 yıl 2 ay olarak gerçekleşmektedir.

Çizelge 3.27.Yatırımın geri dönüş süresi

İşletme Yılı	Yatırım Maliyetinin Bugünkü Değeri	İşletme Gelirinin Bugünkü Değeri	Yatırım Maliyeti İle İşletme Geliri Farkı
0	2419024,46	0	2419024,46
1	2419024,46	380528,69	2038495,77
2	2038495,77	365892,97	1672602,80
3	1672602,80	351820,17	1320782,63
4	1320782,63	338288,62	982494,01
5	982494,01	325277,52	657216,49
6	657216,49	312766,85	344449,65
7	344449,65	300737,35	43712,29
8	43712,29	289170,53	-245458,24
9	-245458,24	278048,59	-523506,82

### 3.3.7. Sonuçlar

Hatay ilinin merkezi durumundaki Antakya bölgesinde yer alan RES lokasyonu için kapasite faktörü değerlerine bağlı olarak enerji üretim potansiyeli, belirli kabuller ışığında, % 100 banka kredisi destekli kredi kullanımında faiz oranının değişmesine bağlı olarak BEM değerleri ve yatırım geri ödeme süresinin belirlenmesi amacıyla hazırlanan bu çalışmanın sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

- 50 m yükseklik için elde edilen en yüksek rüzgar hızı ve rüzgar gücü yoğunluğu değerleri 7,19 (m/s) ve 212,46 (W/m<sup>2</sup>) ile Ağustos ayında meydana gelmiştir. Yıllık bazda ise ortalama rüzgar hızı ve rüzgar gücü yoğunluğu değerleri 4,16 (m/s) ve 42,75 (W/m<sup>2</sup>) olarak hesaplanmıştır.
- 50 m yüksekliğe interpolate edilmiş rüzgar hızı değerleri Burr dağılımı ile modellenmiştir. Dağılım fonksiyonun  $k$  parametresi 5,80 ile 707,67 değerleri arasında değişirken  $\beta$  parametresi 1,36 ile 2,89 değerleri arasında değişmektedir.
- Burr dağılımı tarafından modellenen rüzgar profili ile elde edilen kapasite faktörü değerleri Enercon E-33 rüzgar türbini için yıllık ortalama % 10 değerine

ulaşmaktadır. Bu durumda Enercon için yıl bazında toplam güç üretim miktarı ise 291 MW değerine ulaşmaktadır.

- Santralin yıllık toplam enerji üretim miktarı % 10 kapasite oranı ile 1746000 MWh olarak hesaplanmıştır. Finans bağlamında değerlendirme yapıldığında santral için toplam yatırım maliyeti 2334750 €, MW kurulu güç başına yatırım maliyeti 1179166,667 € olarak hesaplanmıştır
- Kredi faiz oranındaki % 0,5'lik artış yıllık BEM'ni yaklaşık % 3,26 – 4,43 değerinde artırmaktadır. Faiz oranının % 3 olması durumunda ise yıllık BEM 0,119 ile 0,128€/kWs arasında değişmektedir.
- % 10 kapasite faktörü oranı ile santral yatırımının geri dönüş süresi RES için kabul edilen işletme süresi olan 25 yılı aşacağı hesaplanmıştır.
- RES için yaz döneminde hesaplanan % 33 kapasite faktörü oranının yıllık üretime uyarlanması durumunda ise 5136912kWs net üretim değerine ulaşabileceği hesaplanmıştır. Bu durumda kullanılacak kredi faiz oranının % 3 olması şartıyla yıllık BEM'nin 0,41 ile 0,045 €/kWs arasında değiştiği görülmüştür. Bu durumda yatırımın geri dönüş süresi; 7 yıl 2 ay olarak gerçekleşmektedir.

Bu sonuçlarla santral için seçilen lokasyon dikkate alındığında elde edilen rüzgar güç yoğunluğu değerlerine bağlı olarak % 100 banka kredisi destekli 1,98 MW gücünde bir RES inşasının ekonomik olarak gerçekleştirilmesi ve işletilmesi mümkün görünmemektedir.

#### 4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Sosyal ve ekonomik kalkınmanın temel taşlarından biri enerji üretimidir. Mevcut enerji üretim teknikleri ve tüketim alışkanlıkları ise bölgesel ve küresel ölçekte kirlenmeye yol açmaktadır. Ülkeler kirlenmeyi azaltmak için yeni enerji üretim teknolojileri, insan kaynağının verimli kullanımı ve toplumsal bilinçlenme gibi konularda destekleyici önlemler almaktadırlar. Ancak mevcut fosil yakıtların doğası gereği kirliliği engellemek mümkün değildir. Bu nedenle artan enerji taleplerine karşılık yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan, çevreye karşı duyarlı ve sürekliliğe sahip enerji sistemlerine daha fazla yatırım yapılmalıdır.

Türkiye dünyada elverişli coğrafik yapısı nedeniyle rüzgar enerjisinden yararlanabilen şanslı ülkelerden biridir. Türkiye'nin güneyinde yer alan Hatay ili de rüzgar potansiyeli yönünden zengin alanlara sahiptir. Bununla beraber rüzgar enerjisi fizibilite çalışmalarında uygun dağılımlar kullanılarak rüzgar profilinin gerçeğe yakın modellenmesi ve rüzgar gücü yoğunluğunun hesaplanması büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada da Weibull dağılımı ve alternatif olarak bölgede daha önce denenmemiş olan Gen. Gamma ve Burr (4P) dağılımları rüzgar hızı profili modellemesi için tercih edilmiştir. Bu çalışmanın öncelikli amacı Weibull, Gen. Gamma ve Burr (4P) dağılımlarını kullanarak mevcut veriler ışığında Hatay bölgesinin rüzgar profilini istatistiksel olarak değerlendirmek, kullanılan dağılımların parametrelerine bağlı olarak elde edilebilecek rüzgar hızı ve gücü yoğunluğunu yanı sıra bir rüzgar türbini üzerinden olası yıllık elektrik üretimi ve kapasite faktörü tahmini yapmaktır. Sonrasında ise çoklu lineer regresyon tabanlı yapay sinir ağı modelleri ile rüzgar türbini üretim değerleri ve olası bir RES yatırımı için birim enerji maliyetleri tahmin etmektir.

Çalışma kapsamında elde edilen genel sonuçlar aşağıda sunulmaktadır.

- En yüksek ve en düşük ortalama hız değerleri 4,39 m/s (10 m) ve 7,19 (50 m) olarak hesaplanmıştır.
- Yıllık ortalama hız verisi için tahmini  $\sigma$  değerleri Burr dağılımında ortalama 1,15 m/s; Weibull ve Gen Gamma dağılımında ise sırasıyla 1,25 - 1,28 m/s olarak

hesaplanmıştır.

- Hakim rüzgar yönleri ise Kuzey-doğu (NE-45°) ve Güney-Güney/batı (SSW-202°) olarak gerçekleşmiştir.
- Bölgede hakim olan ve enerji yoğun rüzgar yönü toplam yön verisinin % 44,1'ini Güney-Güney/batı (SSW) oluşturmaktadır.
- Düşük  $\sigma$  değerleri ve rüzgar hızı sıklık eğrilerini iyi derecede modelleyebilmesi ile Burr dağılımı kesinlikle güç üretimi tahmininde dikkate alınması gereken bir modeldir
- En yüksek ortalama güç yoğunluğu 212,46 W/m<sup>2</sup> değeri ile Ağustos ayında elde edilmektedir.
- Burr dağılımı ile Enercon E33 rüzgar türbini tarafından üretilebilecek tahmini güç, yıl bazında 291 MWs olup ortalama kapasite faktörü % 10 ile sınırlı kalmıştır. Ancak Yaz aylarında bölgenin rüzgar potansiyelinin zenginleşmesi ile 235 MWs üretim ve % 33 kapasite oranı yakalanabilmektedir.
- ÇLRM süreci sonrası girişlerine  $V_{min}$ ,  $p_{\gamma_1}$ ,  $D_{mak}$  ve  $D_{min}$  parametreleri uygulanması sonucunda trainlm algoritması ile eğitilmiş olan YSA modeli yüksek korelasyonlu  $P_{min}$  değerleri tahmini yapabilmektedir.
- Girişlerine  $V_{mak}$ ,  $V_{\mu}$ ,  $V_{\sigma}$ ,  $p_{\gamma_1}$ ,  $D_{\mu}$  ve  $D_{\sigma}$  parametreleri uygulanması sonucunda trainlm algoritması ile eğitilmiş olan YSA modeli yüksek korelasyonlu  $P_{mak}$  değerleri tahmini yapabilmektedir.
- Girişlerine  $V_{mak}$ ,  $V_{\mu}$ ,  $V_{\sigma}$ ,  $V_{\gamma_1}$ ,  $V_{\gamma_2}$ ,  $T_{min}$ ,  $T_{\sigma}$ ,  $D_{\mu}$  ve  $D_{\sigma}$  parametreleri uygulanması sonucunda trainlm algoritması ile eğitilmiş olan YSA modeli ile yüksek korelasyonlu  $P_{top}$  değerleri tahmini yapabilmektedir.
- Altı adet türbinden oluşan bir RES'in yıllık toplam enerji üretim miktarı % 10 kapasite oranı ile 1746000 MWh olarak hesaplanmıştır. Finans bağlamında değerlendirme yapıldığında santral için toplam yatırım maliyeti 2334750 €, MW kurulu güç başına yatırım maliyeti 1179166,667 € olarak hesaplanmıştır.
- Altı adet türbinden oluşan bir RES yatırımı için kredi faiz oranındaki % 0,5'lik artış, yıllık BEM'i yaklaşık % 3,26 – 4,43 değerinde artırmaktadır. Faiz oranının % 3 olması durumunda ise yıllık BEM 0,119 ile 0,128 €/kWs arasında değişmektedir. Üstelik % 10 kapasite faktörü oranı ile santral yatırımının geri dönüş süresi RES için kabul edilen işletme süresi olan 25 yılı aşacağı hesaplanmıştır.

Sonuç itibariyle, Hatay bölgesinde Yaz ayları hariç olmak üzere aylık ve yıllık ortalama güç yoğunluğu olarak  $100 \text{ W/m}^2$ 'den küçük değerler elde edildiği için düşük güç yoğunluğuna bağlı olarak rüzgar enerjisi sistemleri tarafından şebekeye doğrudan destek verilebilmesinin mümkün görünmediği, mevcut potansiyelin daha çok şebeke erişimi bulunmayan ve/veya kırsal alanlarda, düşük güç yoğunluğu gerektiren uygulamalarda kullanılabileceği değerlendirilmektedir. Ancak Yaz ayları bölge tarımsal arazileri ve çiftçileri bakımından oldukça önemlidir. Bu bağlamda mevcut potansiyelin bölgeye oldukça yakın olan Amik ovasında faaliyet gösteren çiftçiler açısından tarımsal sulama amacıyla pompaların çalıştırılması ve aydınlatma gibi uygulamalarda oldukça faydalı olacağı düşünülmektedir. Bununla beraber Hatay bölgesi için rüzgar enerjisi potansiyeli araştırmasında dağlık bölgelerin ve kıyı bölgelerin incelenmesi; teknolojik gelişmeler ve maliyetlerdeki düşümlere paralel olarak daha yüksek kapasite sahip rüzgar türbinlerinin kullanılması bölgenin gelişimi ve RES yatırımlarını çekmesi bakımından önemli adımlar olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Abbas, K., Alamgir, K.S., Ali, A., Khan, D.M. and Khalil, U. (2012). Statistical analysis of wind speed data in Pakistan. *World Applied Sciences Journal*, 18(11),1533-1539.
- Acaroğlu M. (2013). *Alternatif Enerji Kaynakları ders notları*. Selçuk Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi, Konya.
- Açıkgöz, İ. (2007). Sonlu karma dağılımlarda parametre tahmini, Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Agaton, C.B. and Karl, H. (2018). A real options approach to renewable electricity generation in the Philippines. *Energy, Sustainability and Society*, 8(1): 1.
- Ahmed, A.S. (2018). Wind resource assessment and economics of electric generation at four locations in Sinai Peninsula, Egypt. *Journal of Cleaner Production*, 183, 1170-1183.
- Aidan. J. and Ododo, J.C. (2010). Wind speed distributions and power densities of some cities in Northern Nigeria. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 5(6), 420-426.
- Akça, M. (2013). *Kesikli Olasılık Dağılımları*. URL:<http://mustafaakca.com/kesikli-olasilik-dagilimlari>. Son Erişim Tarihi: 08.06.2016
- Akdağ, S.A., Dinler, A. ve Menteş Ş.S. (2007). Rüzgar karakteristiğinin analizi. *IV. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, 1, 23-29.
- Akdağ, S.A. and Güler, Ö. (2010). Evaluation of wind energy investment interest and electricity generation cost analysis for Turkey. *Applied Energy*, 87(8), 2574-2580.
- Akdoğan, Y. (2011). İlerleyen tür grup sansürleme ve optimal deney tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Akdağ, S.A. and Güler, Ö., (2015). A novel energy pattern factor method for wind speed distribution parameter estimation. *Energy Conversion and Management*, 106, 1124-1133.
- Akdağ, S.A. and Güler, Ö. 2018. Alternative Moment Method for wind energy potential and turbine energy output estimation. *Renewable Energy*, 120, 69-77.
- Akgül, F.G., Şenoğlu, B. and Arslan, T. (2016). An alternative distribution to Weibull for modeling the wind speed data: Inverse Weibull distribution. *Energy Conversion and Management*, 114, 234-240.
- Akkaya, S. (2007). Yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye açısından önemi ve bir rüzgar enerjisi uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.



- Akpınar, E.K. and Akpınar, S. (2004). Determination of the wind energy potential for Maden-Elazığ, Turkey. *Energy Conversion and Management*, 45, 2901-2914.
- Akpınar, Kavak, E., Biçer, Y. ve Erdoğan, B. (2005). Doğu Anadolu Bölgesindeki bazı illerin hava şartları ve rüzgâr gücünün modellenmesi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 89, 58-64.
- Akyazi, Ö. ve Akpınar, A.S. (2014). Rüzgâr türbinleri ve aerodinamik karakteristikleri. *Otomasyon*, 6, 188-194.
- Al-Fawzan, M.A. (2000). Methods for estimating the parameters of the Weibull distribution. *King Abdulaziz City for Science and Technology, Saudi Arabia*, p.1-11.
- Ali, S., Lee, S. M. and Jang, C.M. (2018). Statistical Analysis of Wind Characteristics Using Weibull and Rayleigh Distributions in Deokjeok-do Island–Incheon, South Korea. *Renewable Energy*, 123, 652-663.
- Allouhi, A., Zamzoum, O., Islam, M.R., Saidur, R., Kousksou, T., Jamil, A. and Derouich, A. 2017. Evaluation of wind energy potential in Morocco's coastal regions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 311-324.
- Altuner, S. (2009). Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Ölçümü. Yüksek Lisans Tezi, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sivas.
- Amoroso, L. (1924). Ricerche intorno alla curva dei redditi. *Annali di Matematica Pura ed Applicata*, 2(4-21),123-157.
- Arslan, O. (2010). Technoeconomic analysis of electricity generation from wind energy in Kutahya, Turkey. *Energy*, 35(1), 120-131.
- Ashrafi, Z.N., Ghasemian, M., Shahrestani, M.I., Khodabandeh, E. and Sedaghat, A. (2018). Evaluation of hydrogen production from harvesting wind energy at high altitudes in Iran by three extrapolating Weibull methods. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(6): 3110-3132.
- Asumadu-Sarkodie, S. and Owusu, P.A. (2016). The potential and economic viability of wind farms in Ghana. *Energy sources, Part A: Recovery, utilization and environmental effects*, 38(5), 695-701.
- Aşkın, D., İskender, İ. ve Mamızadeh, A. (2011). Farklı yapay sinir ağları yöntemlerini kullanarak kuru tip transformatör sargısının termal analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(4), 905-913.
- Atik, K., Deniz, E. ve Yıldız, E. (2007). Meteorolojik verilerin yapay sinir ağları ile modellenmesi. *KSU Journal of Science and Engineering*, 10(1), 148-152.
- Atluri, S.N., Liu, C.S. and Kuo, C.L. (2009). A modified Newton method for solving non-linear algebraic equations. *Journal of Marine Science and Technology*, 17(3), 238-247.

Aventa Wind Turbine AV-7. URL:<http://www.avena.ch/leichtwindanlage-av-7.html> Son Erişim Tarihi: 08.06.2016

Aybek, A., Arslan, S., Yıldız, E. ve Atik, K. (2000). Kahramanmaraş'ta rüzgar enerjisi potansiyeli ve yörede kurulan bir rüzgar türbininden elde edilen mekanik enerji ve ısı enerjisinin karşılaştırılması. *KSÜ Fen Ve Mühendislik Dergisi*, 3(2), 95-107.

Aydın, İ. (2008). Küçük güçlü bir otonom rüzgâr enerjisi çevrim sistemi ile elektrik eldesi. Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya.

Aydın, İ. (2013). Balıkesir'de rüzgâr enerjisi - Wind energy in Balıkesir. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 18(29), 29-50.

Barbounis, T.G. and Theocharis, J.B. (2007). A locally recurrent fuzzy neural network with application to the wind speed prediction using spatial correlation. *Neurocomputing*, 70(7), 1525-1542.

Behçet, R., Gül, H., Oral, H. and Oral, F. (2014). Rüzgâr enerjisi potansiyeli bakımından Malatya ilinin Doğu Anadolu bölgesindeki yeri. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(1), 65-73.

Belabes, B., Youcefi, A., Guerri, O., Djamai, M. and Kaabeche, A. (2015). Evaluation of wind energy potential and estimation of cost using wind energy turbines for electricity generation in north of Algeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 1245-1255.

Belaghi, R. A., Arashi, M. and Tabatabaey, S.M.M. (2015). On the construction of preliminary test estimator based on record values for the Burr XII model. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 44(1), 1-23.

Bilgen, S. and Sarıkaya, İ. (2018). Energy conservation policy and environment for a clean and sustainable energy future. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy*, 13:3, 183-189.

Bilgiç, H. H., Mert, İ. ve Karakuş, C. (2016). Çoklu Lineer Regresyon Tabanlı Yapay Sinir Ağı Yöntemi kullanılarak Rüzgar hızı Tahmini. *International Conference On Natural Science and Engineering (Icnase'16, Kilis)*, 1, 2909-2917.

Bilgili, M., Şahin, B. and Kahraman, A. (2004). Wind energy potential in Antakya and İskenderun regions, Turkey. *Renewable Energy*, 29(10), 1733-1745.

Bilgili, M., Şahin, B. and Şimşek, E. (2010). Türkiye'nin güney, güneybatı ve batı bölgelerindeki rüzgar enerjisi potansiyeli. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi/Journal of Thermal Science & Technology*, 30(1), 1-12.

Bilgili, M., Şahin, B. (2010). Statistical Analysis of Wind Energy Density in the Western Region of Turkey. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 32(13), 1224-1235.

- Bilgili, M., Hassanzadeh, Rahim. and Sahin B. (2016). Investigation of wind power density at different heights in the Gelibolu peninsula of Turkey. *Energy Sources Part A Recovery Utilization and Environmental Effects*, 38(4), 512-518.
- Bircan, H., Karagöz, Y. ve Kasapoğlu, Y. (2003). Ki-Kare ve Kolmogorov smirnov uygunluk testlerinin simulasyon ile elde edilen veriler üzerinde karşılaştırılması. *C.Ü. İktisadi Ve İdari Bilimler Dergisi*, 4(1), 69-80.
- Boran, F.B. (2018). A new approach for evaluation of renewable energy resources: A case of Turkey. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy*, 13(3), 196-204.
- BOTAŞ. (2014). *Sektör raporu*. <http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSektör+Raporu%2F2014+Yılı+Sektör+Raporu.pdf> . Son Erişim Tarihi: 01.06.2016
- Bolakar, H. (2014). Yapay sinir ağları ile trafik kazalarının modellenmesi: Erzurum ili örneği. Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum.
- British Petrol. (2015). *BP Statistical Review of World Energy 2015*. URL:<https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2015/bp-statistical-review-of-world-energy-2015-full-report.pdf>. Son Erişim Tarihi: 08.06.2016
- British Petrol. (2017). *BP Statistical Review of World Energy 2017*. URL:<https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf>. Son Erişim Tarihi: 08.03.2018
- Bulut, Y.M. ve Açıkcalp, E. (2013). Rüzgar enerjisi potansiyelinin hesaplanmasında parametre tahmin yöntemlerinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 1(2), 49-54.
- Burr, I.W. (1942). Cumulative frequency function. *The Annals of Mathematical Statistics*, 13, 215-232.
- Carriveau, R. (2011). Fundamental and advanced topics in wind power. URL:<http://www.intechopen.com/books/how-to-link/fundamental-and-advanced-topics-in-wind-power>. Son Erişim Tarihi: 08.06.2016
- Celik, A.N. (2003). 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.
- Celik, A.N. (2007). A techno-economic analysis of wind energy in southern Turkey. *Internationa Journal of Green Energy*, 4, 233-247.
- Chang, T.P., Liu, F.J., Ko, H.H., Cheng, S.P., Sun, L.C. and Kuo, S.C. (2014). Comparative analysis on power curve models of wind turbine generator in estimating capacity factor. *Energy*, 73: 88-95.

- Choi, S.C. and Wette, R. (1969). Maximum likelihood estimation of the parameters of the gamma distribution and their bias. *Technometrics*, 11(4), 683-69.
- Chu, P.C. (2009). Statistical characteristics of the global surface current speeds obtained from satellite altimetry and scatterometer data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2(1), 27-32.
- COP21 Paris Agreement. (2015). Article 2, *United Nations framework convention on climate change, 21st meeting of the conference of parties*, FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1.
- Coulson, A.J. Williamson, A.G. and Vaughan, .G. (1998). Improved fading distribution for mobile radio. *IEE Proceedings - Communications*, 145(3), 197-202.
- Çakıcı, M., Oğuzhan, A. ve Özdil, T. (2000). Temel İstatistik I, *Özal Matbaası*, İstanbul.
- Çakır, Zeytinoğlu, F. (2009). Weibull dağılımının ölçek ve biçim parametreleri için istatistiksel tahmin yöntemlerinin karşılaştırılması. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(15), 73-87.
- Çelebi, H. (2007). *Mühendisler için istatistik yöntemler ve uygulamalar ders notları*. URL:<http://www.madenuzmani.com/pdf/muhendisler-icin-istatistik-2007.pdf>. Son Erişim Tarihi: 08.06.2016
- Çelik, A.N. (2003). İskenderun bölgesine ait rüzgar hızı ve güç yoğunluğunun çeşitli modeller kullanarak istatistiksel olarak analizi. *II. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*.
- Çelikkaya, A. (2017). Yenilenebilir Enerjinin Teşvikine Yönelik Uluslararası Kamu Politikaları Üzerine Bir İnceleme. *Maliye Dergisi*, 172, 52-84.
- Çengel, Y.A. ve Boles, M.A. (1996). Mühendislik yaklaşımıyla termodinamik. *McGraw-Hil-Literatür ortak yayını*, İstanbul.
- Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü (ÇOBÇYGM). (2008). Kyoto Protokolü esneklik mekanizmaları ve diğer uluslararası emisyon ticareti sistemleri özel ihtisas komisyonu raporu. URL:[Http://iklim.cob.gov.tr/iklim/Files/eKutuphane/KP\\_OIK\\_FinalRapor-28%2012%202008.pdf](Http://iklim.cob.gov.tr/iklim/Files/eKutuphane/KP_OIK_FinalRapor-28%2012%202008.pdf). Son Erişim Tarihi: 30.01.2016
- Çiçek, H.G. ve Çiçek, S. (2012). Karbon vergisi ile karbon ticareti izinlerinin karşılaştırılması. *İ.Ü. Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi*, 47, 95-119.
- Çolak, İ. ve Demirtaş, M. (2008). Rüzgâr enerjisinden elektrik üretiminin Türkiye'deki gelişimi. *Türk Bilim Araştırma Vakfı (TÜBAV) Bilim Dergisi*, 1(2), 55-62.
- Dabbaghiyan, A., Fazelpour, F., Abnavi, M.D. and Rosen, M.A. (2016). Evaluation of wind energy potential in province of Bushehr, Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 455-466.

- Damousis, I.G., Alexiadis, M.C., Theocharis, J.B. and Dokopoulos, P.S. (2004). A fuzzy model for wind speed prediction and power generation in wind parks using spatial correlation. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 19(2), 352-361.
- Danish, M.Y. and Aslam, M. (2014). Bayesian analysis of randomly censored Burr type XII distribution under different loss functions. *Electronic Journal of Applied Statistical Analysis*, 7(2):326-342.
- Demirci, M. (2015). Kentsel iklim değişikliği yönetişimi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 46, 75-100.
- Demirci, M., Üneş, F. and Aköz, M. S. (2015). Prediction of cross-shore sandbar volumes using neural network approach. *Journal of Marine Science and Technology*, 20(1), 171-179.
- Demirci, M., Üneş, F. and Saydemir, S. (2015). Suspended sediment estimation using an artificial intelligence approach. In *Sediment Matters*, Springer, Cham. pp. 83-95.
- Demirci, M., Üneş, F. and Aköz, M. S. (2016). Determination of nearshore sandbar crest depth using neural network approach. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)*, 12(3), 2456-1908.
- Demirkol, Z. ve Çunkaş, M. (2014). Afyonkarahisar ili yenilenebilir enerji potansiyeli. *S.Ü. Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2(1), 45-56.
- Durak, M. ve şen, Z. (2002). Wind power potential in Turkey and Akhisar case study. *Renewable Energy*, 25, 463-472.
- Dupont, E., Koppelaar, R. and Jeanmart, H. (2018). Global available wind energy with physical and energy return on investment constraints. *Applied Energy*, 209, 322-338.
- Durmaz, K.İ. and Yıldırım, U.Z. (2014). Atatürk havalimanı rüzgâr verilerine bağlı aktif pist seçim modeli. *Journal of Aeronautics and Space Technologies (Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi)*, 1(7), 1-7.
- Dündar, C. (1997). Bandırma, Bodrum, Bozcaada ve Çeşme bölgeleri için rüzgar enerjisi potansiyellerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Hacette Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Derneği (DEKTMKD) (2007). Hidrolik ve yenilenebilir enerji çalışma grubu rüzgar enerjisi alt çalışma grubu raporu 2007. URL:[Http://www.Dektmk.Org.Tr/Upresimler/2007calismagrubu/Ruzgar Enerjisi Raporu 304.Pdf](http://www.Dektmk.Org.Tr/Upresimler/2007calismagrubu/Ruzgar_Enerjisi_Raporu_304.Pdf). Son Erişim Tarihi: 30.01.2016
- Eker, B. ve Vardar, A., (2003). Rüzgar türbinlerinde uygun kanat tipinin seçilmesi. *3 E Dergisi*, 105.
- Elkinton M.R., Rogers A.L. and McGowan J.G. (2006). An investigation of wind shear models and experimental data trends for different terrains. *Wind Engineering*, 30(4), 341-350.

- Emeksiz, C. (2014). Şekil hafızalı alışımlar kullanarak sonlu elemanlar yöntemi ile değişken devirli rüzgar türbini modellenmesi. Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- ENERCON Wind Turbine E-33 / 330 kW. URL:<http://www.enercon.de>. Son Erişim Tarihi: 08.06.2016
- Eriksson L., Johansson E., Kettaneh-Wold, N. And Wold S., (2001). Multi-and mega variate data analysis: Part 1 principles and applications, 2th edn. *Umetrics*, Sweden, p.60.
- Errami, Y., Maaroufi, M. and Ouassaid, M., (2013). A MPPT vector control of electric network connected wind energy conversion system employing PM synchronous generator. *Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*, pp. 228-233.
- Ertek, M. (2008). İstanbul'da rüzgar santrallerinin uygulanabilirliği ve ekonomikliği. Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Eskin, N. Artar, H. ve Tolun, S., (2008). Wind energy potential of Gökçeada island in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 839-851.
- Eximbank. (2014). Faaliyet raporu. URL:[http://www.eximbank.gov.tr/dosyalar/kurumsal/FaaliyetRaporlari/Eximbank\\_FaaliyetRaporu\\_2014.pdf](http://www.eximbank.gov.tr/dosyalar/kurumsal/FaaliyetRaporlari/Eximbank_FaaliyetRaporu_2014.pdf). Son Erişim Tarihi: 08.06.2016
- Freris, L. and Infield D. (2008). Renewable energy in power systems. *John Wiley&Sons*, Great Brittainy.
- Gallagher, S., Tiron, R., Whelan, E., Gleeson, E., Dias, F. and McGrath, R. (2016). The nearshore wind and wave energy potential of Ireland: a high resolution assessment of availability and accessibility. *Renewable Energy*, 88, 494-516.
- Gani, A., Mohammadi, K., Shamshirband, S., Altameem, T.A., Petković, D. and Ch, S. 2016. A combined method to estimate wind speed distribution based on integrating the support vector machine with firefly algorithm. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 35(3), 867-875.
- Garcia, A., Torres, J.L., Prieto, E. and De Francisco, A. (1998). Fitting wind speed distributions: a case study. *Solar Energy*, 62(2), 139-144.
- GE 2.5 xl Technical Description Document. <http://www.gewind.com>. Son Erişim Tarihi: 08.06.2016
- Genc, M.S. and Gokcek, M. (2009). Evaluation of wind characteristics and energy potential in Kayseri, Turkey. *Journal of Energy Engineering-ASCE*, 135: 33-43.
- Global Wind Energy Council (GWEC). (2014). Global wind statistics 2014. URL:[http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2015/02/GWEC\\_Global\\_WindStats2014\\_FINAL\\_10.2.2015.pdf](http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2015/02/GWEC_Global_WindStats2014_FINAL_10.2.2015.pdf). Son Erişim Tarihi: 08.06.2016

- Goh, H.H., Lee, S.W., Chua, Q.S., Goh, K.C. and Teo, K.T.K. 2016. Wind energy assessment considering wind speed correlation in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1389-1400.
- Gokcek, M., Bayulken, A. and Bekdemir, S. (2007). Investigation of wind characteristics and wind energy potential in Kirklareli, Turkey. *Renewable Energy*, 32, 1739- 1752.
- Gokcek, M., Erdem, H.H. and Bayulken, A. (2007). A techno-economical evaluation for installation of suitable wind energy plants in Western Marmara, Turkey. *Energy Exploration & Exploitation*, 25 (6), 407-428.
- Gokcek, M. and Genc, M.S. (2009). Evaluation of electricity generation and energy cost of wind energy conversion systems (WECSs) in central Turkey. *Applied Energy*, 86, 2731-2739.
- Gökçınar, R.E. ve Uyumaz, A. (2008). Rüzgar enerjisi maliyetleri ve teşvikler. *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu/UTES'2008*, 1, 699-706, İstanbul.
- Görmüş, Ş. (2011). *İstatistik ders notları: sürekli rassal değişkenler*. URL:[Http://Content.Lms.Sabis.Sakarya.Edu.Tr/Uploads/68624/27379/7\\_Hafta.Doc\\_x](http://Content.Lms.Sabis.Sakarya.Edu.Tr/Uploads/68624/27379/7_Hafta.Doc_x). Son Erişim Tarihi: 08.06.2016
- Guler, O. (2009). Wind energy status in electrical energy production of Turkey. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 13, 473–478.
- Gülersoy, T. ve Çetin, N.S. (2010). Menemen bölgesinde rüzgar türbinleri için Rayleigh ve Weibull dağılımlarının kullanılması. *Gazi Üniversitesi Politeknik Dergisi*, 13(3), 209-213.
- Güngör, M. ve Bulut, Y. (2008). Ki-kare testi üzerine. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 7(1), 84-89.
- Hagan, T. M., Demuth, B. and Beale, H. (1996). Neural network design. *University of Colorado Bookstore*, USA.
- Hager, H.W. and Bain, L.J. (1970). Inferential procedures for the generalized gamma distribution. *Journal of the American Statistical Association*, 65(332):1601-1609.
- Hatipoğlu, A. (2010). Rüzgar santrallerinde rüzgar karakteristiği ve saha topografisine göre türbin seçimi ve yerleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Helterbrand, J.D. (1992). Maximum Likelihood estimation of dietary intake distributions. Working Paper, 92-WP 98, Iowa State University.
- Hennessy, J.P. (1977). Some aspects of wind power statistics. *Journal of Applied Meteorology*, 16, 119-128.

- Heydt, G.T. (2017). The probabilistic evaluation of net present value of electric power distribution systems based on the Kaldor-Hicks compensation principle. *IEEE Transactions on Power Systems*, 99.
- Hocaoğlu, O. F., Fidan, M. and Gerek, N.Ö. (2009). “Mycielski approach for wind speed prediction. *Energy Conversion and Management*, 50, 1436-1443.
- IEA (International Energy Agency). (2012). World energy outlook 2012, p.49, 51
- Togrul I.T. and Ertekin C. (2011). A Statistical Investigation on the Wind Energy Potential of Turkey's Geographical Regions. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 33(15), 1399-1421.
- İlkılıç, C. (2003). Rüzgar enerjisi ve kullanımı. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 4, 44-48.
- İlkılıç, C. (2010). Wind energy and assessment of wind energy potential in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(2), 1165–1173.
- İlkılıç, C. and Aydın, H. (2015). Wind power potential and usage in the coastal regions of Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 78-86.
- İncecik, S. and Erdoğan F. (1995). An investigation of the wind power potential on the Western Coast of Anatolia. *Renewable Energy*, 6, 863-865.
- İnternet: (2009). *Basıklık*. URL:<https://tr.wikipedia.org/wiki/Basıklık> Son Erişim Tarihi: 08.06.2016
- İnternet: (2012). *İstatistik Ders Notu* [http://kulamyo.cbu.edu.tr/db\\_images/site\\_212/file/İSTATİSTİK\\_DERS\\_NOTU.pdf](http://kulamyo.cbu.edu.tr/db_images/site_212/file/İSTATİSTİK_DERS_NOTU.pdf). Son Erişim Tarihi: 08.06.2016
- İnternet: (2015). Sadece 38 Ülke Kyoto'ya bağlı iken Paris'te tüm ezberler bozulacak mı? URL:<http://www.iklimpostasi.org/2015/11/30/sadece-38-ulke-kyotoya-bagli-iken-pariste-tum-ezberler-bozulacak-mi>. Son Erişim Tarihi: 08.06.2016
- İnternet: (2016). URL:<Http://www.investing.com/commodities/carbon-emissions>. Son Erişim Tarihi: 30.01.2016
- Jamieson, P. (2011). Innovation in wind turbine design. *John Wiley&Sons*, Great Brittainy.
- Jo, J.H., Aldeman, M., Lee, H.S. and Ahn, Y.H., (2018). Parametric analysis for cost-optimal renewable energy integration into residential buildings: Techno-economic model. *Renewable Energy*, 125, 907-914.
- Jursa, R. and Rohrig, K., (2008). Short-term wind power forecasting using evolutionary algorithms for the automated specification of artificial intelligence models. *International Journal of Forecasting*, 24(4), 694-709.



- Kantar, Y.M. and Usta, I. (2012). Analysis of the Burr type XII distribution for estimation of wind speed distributions. *4th International Science, Social Science, Engineering and Energy Conference*.
- Kantar, Y.M., Usta, I., Arik, I. and Yenilmez, I. (2018). Wind speed analysis using the Extended Generalized Lindley Distribution. *Renewable Energy*, 118:1024-1030.
- Kaplan, O. and Temiz, M. 2017. A novel method based on Weibull distribution for short-term wind speed prediction. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(28), 17793-17800.
- Katinas, V., Marčiukaitis, M., Gecevičius, G. and Markevičius, A. 2017. Statistical analysis of wind characteristics based on Weibull methods for estimation of power generation in Lithuania. *Renewable Energy*, 113, 190-201.
- Karadağ, H.İ. (2009). Yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgar enerjisinin önemi ve rüzgar türbini tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Karadeniz, A. ve Eker, M.K., (2015). Balıkesir-Balya meteoroloji istasyonu verileri kullanılarak weibull fonksiyonu parametrelerinin 6 farklı metodla belirlenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi*, 17(3), 163-175.
- Karakaya, S. (2009). Eskişehir – Kütahya – Bilecik illerinde rüzgâr potansiyellerinin analizi, Lisansüstü Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.
- Karakoç H. Karakoç, N., Erbay B. ve Aras, H., (2012). Enerji analizi. *T.C. Anadolu Üniversitesi Yayını* No: 2486 (Y. Ergün, M. Tanışlı, Editör)
- Karsli, V.M. and Geçit, C. (2003). An investigation on wind power potential of Nurdağı-Gaziantep, Turkey. *Renewable Energy*, 28, 823-830.
- Kasap, Z. ve Civelek, Ş. (2002). Tek parametrelili üstel aileden türetilen olasılık dağılımlarının düzenlilik (regülerite) şartlarının incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 2(12), 88-98.
- Kavak, K. (2013). *Dünyadaki enerji oyununu değiştiren yeni faktör: konvansiyonel olmayan petrol ve doğal gaz*. TASAV Türk Akademisi Siyasi Sosyal Stratejik Araştırmalar Vakfı Yayınları 1, 1-15. URL:[http://tasav.org/usr\\_img/yayinlar/makaleler/makale\\_14\\_ena\\_1\\_kayagazi\\_kavak\\_son.pdf](http://tasav.org/usr_img/yayinlar/makaleler/makale_14_ena_1_kayagazi_kavak_son.pdf). Son Erişim Tarihi: 08.06.2016
- Kavsaoğlu, M.Ş. (2008). *Rüzgar Enerjisi ve Sistemleri Ders notları*, İ.T.Ü. Uçak Uzay Fakültesi, İstanbul.
- Kaya, E., Akıllı, M., ve Sezek, F. (2010). Lise öğrencilerinin çevreye karşı tutumlarının cinsiyet açısından incelenmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 18, 43-54.

- Kaya, S. (2006). Kuplajlı iletim hatlarının yapay sinir ağı ile modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri.
- Kenisarın, M., Karslı, V.M. and Caglar, M. (2006). Wind power engineering in the world and perspectives of its development in Turkey. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 10, 341–369.
- Khodabin, M. and Ahmadabadi, A. (2010). Some properties of generalized gamma distribution. *Mathematical Sciences*, 4(1), 9-28.
- Kıvılcım, İ. (2016). İKV COP21 Paris iklim değişikliği toplantısında. İktisadi Kalkınma Vakfı. URL:<http://www.ikv.org.tr/> Son Erişim Tarihi: 08.06.2016
- Kidmo, D.K., Danwe, R., Doka, S.Y. and Djongyang, N. (2015). Statistical analysis of wind speed distribution based on six Weibull Methods for wind power evaluation in Garoua, Cameroon. *Revue des Energies Renouvelables*, 18(1), 105-125.
- Kim, K., Park, H. and Kim, H., (2017). Real options analysis for renewable energy investment decisions in developing countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 918-926.
- Kiss, P. and Jánosi, I.M. (2008). Comprehensive empirical analysis of ERA-40 surface wind speed distribution over Europe. *Energy Conversion and Management*, 49(8), 2142-2151.
- Kiss, P. (2009). Analysis of the European wind power climatology and the possible cosmic radiation forcing on global lightning activity. Doctor of Philosophy in Physics, *Department of physics of complex systems*, Eötvös Lorand University.
- Klugman, S.A. (1986). Loss distributions. *Proceedings of Symposia in Applied Mathematics: Actuarial Mathematics*, 35, 31-55.
- Koç, E. ve Şenel, M.C. (2013). Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu–genel değerlendirme. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 54(639), 32-44.
- Kolsan, O., Ozgonenel, O., Ozdemir, M. and Karaca, S. (2012). A new wind power measurement algorithm: a sample calculation for OMU-Dedebuzagihill. *20th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 1:1-4.
- Köse, F. ve Özgören, M. (2005). Rüzgar enerjisi potansiyeli ölçümü ve rüzgar türbini seçimi. *Mühendis ve Makina*, 46(551), 20-30.
- Kum, H. (2009). Yenilenebilir enerji kaynakları: dünya piyasalarındaki son gelişmeler ve politikalar. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 33, 207-223.
- Kum, S. (2015). Petrol Tankerlerinde Risk Değerlendirmesi. Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

- Kurban, M., Kantar, Y.M. and Hocoğlu F.O. (2007). Weibull dağılımı kullanılarak rüzgar hız ve güç yoğunluklarının istatistiksel analizi. *Afyon Kocatepe University Journal of Science*, 7(2), 205-218.
- Kusiak, A. and Zhang, Z. (2010). Short-horizon prediction of wind power: A data-driven approach. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 25(4), 1112-1122.
- Kuş, C. and Kaya, M.F. (2005). İlk bozulma sansürlü örnekleme planına dayalı Burr XII dağılımının parametrelerinin tahmini ve beklenen test süresi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(1),115-130.
- Küçükönder, H. (2011). Yapay sinir ağları ve tarımda bir uygulama. Doktora Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş.
- Lapedes, A. and Farber, R., (1987). Nonlinear signal processing using neural networks: forecast and system modeling. Technical report LAUR872662, Los Alamos National Lab.
- Li, M. and Li, X. (2005). Investigation of wind characteristics and assessment of wind energy potential for Waterloo region, Canada. *Energy Conversion and Management*, 46(18), 3014-3033.
- Lindsay, S.R., Wood, G.R. and Woollons, R.C. (1996). Modelling the diameter distribution of forest stands using the Burr distribution. *Journal of Applied Statistics*, 23(6), 609-620.
- Ling, C. and Xu, L. (2011). Comparison between ARIMA and ANN models used in short-term wind speed forecasting. *Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, 1:6253-6257, Asia-Pacific.
- Mabel, M.C. and Fernandez, E. (2008). Analysis of wind power generation and prediction using ANN: a case study. *Renewable Energy*, 33(5), 986-992.
- Mackay, D.J.C., (1992) Bayesian Interpolation. *Neural Computation*, 4(3), 415-447.
- Malkoç, Y. (2008). Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli ve enerji profilimizdeki yeri. URL:<http://www.solar-academy.com/menus/Turkish-Wind-Data.023202.pdf>. Son Erişim Tarihi: 08.06.2016
- Mallows, C.L. (1973). Some Comments on Cp. *Technometrics*, 2(1), 87-94.
- Mandic, D.P. (2001). Recurrent neural network for prediction, learning algorithms, architectures and stability. *John Wiley*, Chichester.
- Masseran, N., Razali, A.M., Ibrahim, K., Zin, W.Z.W., Ibrahim, W. and Zaharim, A. (2012). On spatial analysis of wind energy potential in Malaysia. *WSEAS Transactions on Mathematics*, 11(6), 467-477.
- McDonald, J. B. and Xu, Y.J. (1995). A generalization of the beta distribution with applications. *Journal of Econometrics*, 66(1), 133-152.

- Mert, İ. (2012). Isı taşınım problemlerinde geometrinin etkisi ve yapay zeka uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, *Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay.
- Mert, İ., Karakuş, C. ve Tanç, B. (2013). Hatay ili kıyısal rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesi ve araziye uygun rüzgar türbini seçimi. *9. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, 1, 699-708.
- Mert, İ., Karakuş, C. ve Tanç, B. (2013). Kapasite faktörü analizi kullanılarak rüzgar türbini seçimi. *TMMOB 9. Enerji Sempozyumu*, 1, 251-260.
- Mert, İ. ve Karakuş, C. (2014). Burr dağılımı kullanılarak rüzgar enerjisi potansiyeli tahmini. *The 2nd International Symposium on Environment and Morality*, 1, 1091-1098.
- Mert, İ., Karakuş, C. ve Peker, F. (2014). Antakya bölgesi rüzgar karakteristiğinin incelenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 5(1), 13-22.
- Mert, İ. ve Karakuş, C. (2015). A statistical analysis of wind speed data using Burr, generalized gamma and Weibull distributions in Antakya, Turkey. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 23(6), 1571-1586.
- Mert, İ. ve Karakuş, C. (2015). Antakya bölgesinde rüzgâr gücü yoğunluğu ve rüzgâr hızı dağılımı parametrelerinin istatistiksel analizi. *Gazi Üniversitesi Politeknik Dergisi*, 18(1), 35-42.
- Mert, İ. ve Karakuş, C. (2016). Rüzgâr Enerjisi Yatırım Kredisi Faiz Oranlarının Birim Enerji Maliyeti Üzerindeki Etkisi. *International Conference on Natural Science and Engineering (Icnase'16, Kilis)*, 1, 3070-3084.
- Mert, İ., Karakuş, C. ve Üneş, F. (2016). Estimating the energy production of the wind turbine using artificial neural network. *Neural Computing and Applications*, 27(5), 1231-1244.
- Michalak, M. and Zimny, J. (2011). Wind energy development in the world, Europe and Poland from 1995 to 2009; current status and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(5), 2330-2341.
- Miremadi, I. Saboohi, Y. and Jacobsson, S. (2018). Assessing the performance of energy innovation systems: Towards an established set of indicators. *Energy Research & Social Science*, 40, 159-176.
- Modarres, M., Kaminsky, M. and Krivtsov, V., (1999). Reliability Engineering and Risk Analysis. *Marcel Dekker Press*, New York.
- Mohammadi, K., Alavi, O., Mostafaeipour, A., Goudarzi, N. and Jalilvand M. (2016). Assessing different parameters estimation methods of Weibull distribution to compute wind power density. *Energy Conversation and Management*, 108, 322-335.
- Morgan, E.C., Lackner, M., Vogel, R.M. and Baise, L.G. (2011). Probability distributions for offshore wind speeds. *Energy Conversion and Management*, 52(1), 15-26.

- Moriarty, P. and Honnery, D. (2016). Can renewable energy power the future? *Energy Policy*, 93, 3-7.
- Olaofe, Z.O. and Folly, K.A. (2012). Statistical analysis of wind resources at Darling for energy production. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 2(2), 250-261.
- Oral, F. (2010). Sakarya-Esentepe yöresi rüzgar enerjisi potansiyelinin yeni bir yaklaşımla belirlenmesi. Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.
- Organization of Petroleum Exporting Countries (OPEC). (2015). Bulletin Nov 2015. URL:[http://www.opec.org/opec\\_web/static\\_files\\_project/media/downloads/publications/OB112015.pdf](http://www.opec.org/opec_web/static_files_project/media/downloads/publications/OB112015.pdf). Son Erişim Tarihi: 08.06.2016
- Organization of Petroleum Exporting Countries (OPEC). (2015). Monthly Oil Market Report (MOMR) December 2015 URL:[http://www.opec.org/opec\\_web/en/publications/338.htm](http://www.opec.org/opec_web/en/publications/338.htm). Son Erişim Tarihi: 08.06.2016
- Ozay, C. and Celiktas, M.S. (2016). Statistical analysis of wind speed using two-parameter Weibull distribution in Alaçatı region. *Energy Conversion and Management*, 121, 49-54.
- Ozerdem, B. and Turkeli, M. (2003). An investigation of wind characteristics on the campus of İzmir Institute of Technology, Turkey. *Renewable Energy*, 28(7), 1013-1027.
- Özer, Z. ve Yılmaz, S.A. (2007). Rüzgar Enerjisi ile Tahrik Edilen Bilezikli Asenkron Jeneratörün Yapay Sinir Ağı ile Denetlenmesi. *Teknolojik Araştırmalar*, 7(1), 15-24.
- Özgür, M.A. (2006). Kütahya rüzgar karakteristiğinin istatistiksel analizi ve elektrik üretimine uygulanabilirliği. Doktora Tezi, *Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.
- Özşahin, E. ve Kaymaz, Ç.K. (2013). Rüzgâr enerji santrallerinin (Res) kuruluş yeri seçiminin cbs ile analizi: Hatay örneği. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 6(2), 1-18.
- Öztemel, E. (2003). Yapay sinir ağları. *Papatya Yayıncılık*, Ankara.
- Petković, D. (2015). Adaptive neuro-fuzzy approach for estimation of wind speed distribution. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 73, 389-392.
- Pamuk, O. ve Aslan, Z. (2014). Rüzgar enerji potansiyelinin uydu ve yüzey verilerine dayalı olarak belirlenmesi ve analizi. *Journal of Aeronautics and Space Technologies (Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi)*, 1(7), 1-9.
- Pamuk, O. (2013). *Rüzgar enerji potansiyelinin yüzey ve uydu verilerine dayalı olarak belirlenmesi ve analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Hava Harp Okulu Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü, Bursa.

- Parr, V.B. and Webster, J.T. (1965). A method for discriminating between failure density functions used in reliability predictions. *Technometrics*, 7, 1-10.
- Prentice, R.L. (1974). A log gamma model and its maximum likelihood estimation. *Biometrika*, 61, 539-544.
- Ragheb, M. and Ragheb A.M. (2011). *Fundamental and advanced topics in wind power chapter 2: wind turbines theory - the betz equation and optimal rotor tip speed ratio*. URL:<http://www.intechopen.com/books/fundamental-and-advanced-topics-in-wind-power/wind-turbines-theory-the-betz-equation-and-optimal-rotor-tip-speed-ratio>. Son Erişim Tarihi: 08.06.2016
- Ramasamy, P., Chandel, S.S. and Yadav, A.K. (2015). Wind speed prediction in the mountainous region of India using an artificial neural network model. *Renewable Energy*, 80, 338-347.
- Renewables Energy Policy Network for the 21st Century (REN21), (2015). Renewables 2015 global status report URL:<http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report>. Son Erişim Tarihi: 08.06.2016
- Rodriguez, N. (1977). A guide to the Burr type XII distributions. *Biometrika*, 64, 129-134.
- Sabuncu, T.B. (2016). COP 21: Paris Anlaşması - Sonuçlar ve beklentiler. Buğday Ekolojik Yaşamı Destekleme Derneği. URL:[http://www.bugday.org/portal/haber\\_detay.php?hid=7882](http://www.bugday.org/portal/haber_detay.php?hid=7882). Son Erişim Tarihi: 08.06.2016
- Sahin, A.D. (2004). Progress and recent trends in wind energy. *Progress in Energy and Combustion Science*, 30, 501-543.
- Sahin, B., Bilgili, M. and Akilli, H. (2005). The wind power potential of the eastern Mediterranean region of Turkey. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 93(2), 171-183.
- Sahin, B. and Bilgili, M. (2009). Wind characteristics and energy potential in Belen-Hatay, Turkey. *International Journal of Green Energy*, 6(2), 157-172.
- Sahin, B. and Bilgili, M. (2010). Comparative analysis of regression and artificial neural network models for wind speed prediction. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 109(1), 61-72.
- Sahin, B. and Bilgili, M. (2013). Wind Speed Prediction of Target Station from Reference Stations Data. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 35(5), 455-46.
- Santamaría-Bonfil, G., Reyes-Ballesteros, A. and Gershenson, C. 2016. Wind speed forecasting for wind farms: A method based on support vector regression. *Renewable Energy*, 85, 790-809.

- Saleh, A.E., Moustafa, M.S., Abo-Al-Ez, K.M. and Abdullah, A.A. 2016. A hybrid neuro-fuzzy power prediction system for wind energy generation. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 74, 384-395.
- Saray, U., Lüy, M. ve Çam, E. (2011). Amasya ili için yapay sinir ağlarıyla rüzgâr hızı tahmini. *Elektrik Elektronik Mühendisliği Günleri (EEMG)*, 1:20-23.
- Sarıcı, G. (2015). Araç ilçesinin fiziki coğrafya özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Sakarya.
- Sarkar, A., Singh, S. and Mitra, D. (2011). Wind climate modeling using Weibull and extreme value distribution. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 3(5), 100-106.
- Sesto, E. and Casale C. (1998). Exploitation of wind as an energy source to meet the world's electricity demand. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamic*, 76(74), 375-387.
- Shoaib, M., Siddiqui, I., Amir, Y.M. and Rehman, S.U. (2017). Evaluation of wind power potential in Baburband (Pakistan) using Weibull distribution function. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 1343-1351.
- Shu, Z.R., Li, Q.S. and Chan, P.W. (2015). Statistical analysis of wind characteristics and wind energy potential in Hong Kong. *Energy Conversion and Management*, 101, 644-657.
- Sındırgı, P. (2012). *Jeofizikte olasılık ve istatistik dersi notları*. URL:<http://kisi.deu.edu.tr/userweb/petek.sindirgi/olas%C4%B1%C4%B1k%20ist%20ders%20notlar%C4%B1.doc>. Son Erişim Tarihi: 08.06.2016
- Simiu, E. (1973). Logarithmic profiles and design wind speeds. *Journal of the Engineering Mechanics Division*, 99(5), 1073-1083.
- Solyali, D., Altunç, M., Tolun, S. and Aslan, Z. (2016). Wind resource assessment of Northern Cyprus. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 180-187.
- Soulouknga, M.H., Doka, S.Y., Revanna, N., Djongyang, N. and Kofane, T.C. (2018). Analysis of wind speed data and wind energy potential in Faya-Largeau, Chad, using Weibull distribution. *Renewable Energy*, 121, 1-8.
- Stacy, E.W. and Mihram, G.A. (1965). Parameter estimation for a generalized gamma distribution. *Technometrics*, 7, 349-358.
- Süzek, F. (2007). Türkiye rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Syngellakis, K. and Traylor, H. (2007). Urban wind resource assessment in the UK: An introduction to wind resource assessment in the urban environment. URL:[http://www.urbanwind.net/pdf/Reports\\_ResourceAssesmentReportfinal.pdf](http://www.urbanwind.net/pdf/Reports_ResourceAssesmentReportfinal.pdf). Son Erişim Tarihi: 08.06.2016

- Şahin, R. (2011). Çok Değişkenli Hipergeometrik Fonksiyonlar. Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Şen, Ç. (2003). Gökçeada'nın elektrik enerjisi ihtiyacının rüzgar enerjisi ile karşılanması. Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- Şipar, E. (2011). Rüzgar enerjisi türbin sistemleri için gerçek zamanlı dinamik analiz simülatörü gerçekleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- T.C. ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI (ÇŞB). (2012). Türkiye'de karbon piyasası. URL:[http://www.eie.gov.tr/iklim\\_deg/document/karbon\\_piyasasi.pdf](http://www.eie.gov.tr/iklim_deg/document/karbon_piyasasi.pdf). Son Erişim Tarihi: 30.01.2016
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). (2013). Nükleer güç santralleri ve Türkiye. *Nükleer Enerji Proje Uygulama Daire Başkanlığı Yayınları*, -Vol. 2.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). (2018). URL:<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Petrol>. Son Erişim Tarihi: 08.03.2018
- T.C. GÜNEY EGE KALKINMA AJANSI (Geka). (2012). Enerji sektörü raporu 2012 URL:[http://geka.gov.tr/Dosyalar/o\\_19v5e2r6ssd9c17ug6pi11lr8.pdf](http://geka.gov.tr/Dosyalar/o_19v5e2r6ssd9c17ug6pi11lr8.pdf). Son Erişim Tarihi: 30.01.2016
- Tadikamalla, P.R. (1980). A look at the Burr and related distributions. *International Statistical Review*. 48, 337–344.
- Talayoğlu, S. (2010). Denizli ilinin Tavas ilçesine ait rüzgar enerjisi potansiyelinin hesaplanması ve ekonomik analiz. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü*, İstanbul.
- Tanç, B., Mert, İ., Arat, H.T. Karakuş, C. and Baltacıoğlu, E. (2014). Estimation of wind energy potential using WASP in HATAY airport region. *International Journal of Research in Earth & Environmental Sciences*, 2(2), 1-9.
- Tanrıöven, M. (2014). *Rüzgar ve güneş enerjili güç sistemleri- Ders Notları: Ders3*. URL:<http://www.yildiz.edu.tr/~tanriov/RG3.pdf>. Son Erişim Tarihi: 08.06.2016
- Taşar, B., Kaya, Y. Z., Varçin, H., Üneş, F. and Demirci, M. (2017). Forecasting of suspended sediment in rivers using artificial neural networks approach. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 4(12), 079-084.
- TEİAŞ. (2016). Türkiye Elektrik İstatistikleri. URL:<http://www.teias.gov.tr/yukdagitim/kuruluguc.xls>. Son Erişim Tarihi: 01.06.2016
- Terzi, İ. (2014). Tokat ili rüzgar enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tokat.
- Tevfik, B. Çolakoğlu, D.A. ve Kıncay O., (2012). RETScreen analiz programı ile Hatay'da rüzgar enerjisi santrali fizibilite analizi. *Tesisat Mühendisliği*, 131, 22-27.



- The European Wind Energy Association / Wind EUROPA (EWEA). (2017). Wind in Power: 2017 European Statistics. URL:<https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/WindEurope-Annual-Statistics-2017.pdf>. Son Erişim Tarihi: 08.03.2018
- The International Renewable Energy Agency (IRENA). (2017). Irena Renewable Capacity Statistics 2017. URL:[http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA\\_RE\\_Capacity\\_Statistics\\_2017.pdf](http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2017.pdf) Son Erişim Tarihi: 08.03.2018
- Tolun, S., Menteş, S., Aslan, Z. and Yükselen, M.A. (1995). The wind energy potential of Gökçeada in the Northern Aegean Sea. *Renewable Energy*, 6, 679-685.
- Torres, J.L., Garcia, A., Blasa, M. and De, Francisco, AD. (2005). Forecast of hourly average wind speed with ARMA models in Navarre (Spain). *Solar Energy*, 79(1), 65-77.
- TÜİK. [www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab\\_id=623](http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=623). Son Erişim Tarihi: 08.03.2018
- Tutunchian, S. (2012). Yapılarda rüzgar enerji sistemlerinin kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ). (2018). Türkiye Elektrik İstatistikleri - 2018. URL:<https://www.teias.gov.tr/sites/default/files/2018-01/Kguc2017.pdf>. Son Erişim Tarihi: 08.03.2018
- Türkiye Kalkınma Bankası A.Ş. (TKB). (2016). URL:<http://www.kalkinma.com.tr>. Son Erişim Tarihi: 30.01.2016
- Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TÜREB). (2015). Basın bildirisi: Rüzgar enerjisinde kurulu güç artıyor (13.07.2015). URL:<http://www.tureb.com.tr/tr/tureb-basin-bildirisi/544-tureb-13072015-basin-bildirisi>. Son Erişim Tarihi: 08.06.2016
- Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TÜREB). (2015). Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu - Temmuz 2015. URL:[http://www.tureb.com.tr/files/tureb\\_sayfa/duyurular/6.1istatistik\\_raporu\\_temmuz\\_2015\\_low.pdf](http://www.tureb.com.tr/files/tureb_sayfa/duyurular/6.1istatistik_raporu_temmuz_2015_low.pdf). Son Erişim Tarihi: 08.06.2016
- Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TÜREB). (2017). Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu - Ocak 2017. URL:[http://www.tureb.com.tr/files/tureb\\_sayfa/duyurular/2017\\_duyurular/subat/turkiye\\_ruzgar\\_enerjisi\\_istatistik\\_raporu\\_ocak\\_2017.pdf](http://www.tureb.com.tr/files/tureb_sayfa/duyurular/2017_duyurular/subat/turkiye_ruzgar_enerjisi_istatistik_raporu_ocak_2017.pdf). Son Erişim Tarihi: 08.06.2016
- Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TÜREB). (2018). Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu - Ocak 2018. [http://www.tureb.com.tr/files/tureb\\_sayfa/duyurular/2018/03/turkiye\\_ruzgar\\_enerjisi\\_istatistik\\_raporu\\_ocak\\_2018.pdf](http://www.tureb.com.tr/files/tureb_sayfa/duyurular/2018/03/turkiye_ruzgar_enerjisi_istatistik_raporu_ocak_2018.pdf). Son Erişim Tarihi: 08.03.2018
- Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası. <http://repa.eie.gov.tr>. Son Erişim Tarihi: 08.06.2016

- Türkyılmaz, O. (2015). Ocak 2015 itibarıyla Türkiye'nin enerji görünümü raporu. TMMOB Makina Mühendisleri Odası Bülten 200, 1-20. [http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/a5a69d7ec06d9cd\\_ek.pdf?dergi=1522](http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/a5a69d7ec06d9cd_ek.pdf?dergi=1522). Son Erişim Tarihi: 08.06.2016
- Ucar, A. and Balo, F. (2009). Investigation of wind characteristics and assessment of wind-generation potentiality in Uludağ-Bursa, Turkey. *Applied Energy*, 86, 333-339.
- Ucar, A. and Balo, F. (2009). Investigation of wind energy potential in Kartalkaya-Bolu, Turkey. *International Journal of Green Energy*, 6(4), 401-412.
- Ucar, A. and Balo, F. (2011). An Investigation of Wind Turbine Characteristics and the Wind Potential Assessment of Ankara, Turkey. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 33(13), 1291-1303.
- Ulgen, K. and Hepbasli, A. (2002). Determination of Weibull parameters for wind energy analysis of Izmir, Turkey. *International Journal of Energy Research*, 26(6), 495-506.
- Usta, İ. (2015). An innovative estimation method regarding Weibull parameters for wind energy applications. *Energy*, 106, 301-314.
- Üneş, F. (2008). Investigation of density flow in dam reservoirs using a three-dimensional mathematical model including Coriolis Effect. *Computers and Fluids*, 37(9), 1170-1192.
- Üneş, F. (2010a). Dam reservoir level modeling by neural network approach: a case study. *Neural Network World*, 20(4), 461.
- Üneş, F. (2010b). Prediction of density flow plunging depth in dam reservoirs: an artificial neural network approach. *Clean-Soil, Air, Water*, 38(3), 296-308.
- Üneş, F., Demirci, M. and Kisi, Ö. (2015). Prediction of Millers Ferry Dam reservoir level in USA using artificial neural network. *Periodica Polytechnica. Civil Engineering*, 59(3), 309.
- Üneş, F. and Varçin, H. (2015). Investigation of seasonal thermal flow in a real dam reservoir using 3-d numerical modeling. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 63(1), 38-46.
- Üneş, F. and Demirci, M. (2015). Generalized Regression Neural Networks For Reservoir Level Modeling. *International Journal of Advanced Computational Engineering and Networking*, 3, 81-84.
- Üneş, F., Gumuscan, F. G. and Demirci, M. (2017). Prediction of dam reservoir volume fluctuations using adaptive neuro fuzzy approach. *European Journal of Engineering and Natural Sciences (EJENS)*, 2(1), 144-148.
- Üneş, F. and Ağiralioğlu, N. (2017). Numerical investigation of temporal variation of density flow and parameters. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 10(1), 81-94.

- Üneş, F. and Varçin, H. (2017). 3-D Real dam reservoir model for seasonal thermal density flow. *Environmental Engineering and Management Journal (EEMJ)*, 16(9), 2009-2024.
- Wingo, D.R. (1993). Maximum likelihood methods for fitting the Burr Type XII distribution to multiply (progressively) censored life test data. *Metrika*, 40(1), 203-210.
- World Wind Energy Association (WWEA). (2017). WWEA Press Releases Statistics: Wind Power Capacity reaches 539 GW, 52,6 GW added in 2017. URL:<http://www.wwindea.org/2017-statistics>. Son Erişim Tarihi: 08.03.2018
- Yağcı, E. (2013). Rüzgar hızı yükseltmelerinde kullanılan farklı yöntemlerin karşılaştırılması ve hata analizleri. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü*, İstanbul.
- Yağlı, H., Koç, Y., Koç, A., Görgülü, A. and Tandiroğlu, A. (2016). Parametric optimization and exergetic analysis comparison of subcritical and supercritical organic Rankine cycle (ORC) for biogas fuelled combined heat and power (CHP) engine exhaust gas waste heat. *Energy*, 111, 923-932.
- Yagli, H., Koc, A., Karakus, C. and Koc, Y. (2016). Comparison of toluene and cyclohexane as a working fluid of an organic Rankine cycle used for reheat furnace waste heat recovery. *International Journal of Exergy*, 19(3), 420-438.
- Yalçın, N. (2012). Kaya gazı (ShaleGas). *Doğal Gaz Dergisi*, 75,67.
- Yalçın, Y. (2010). İstanbul Terkos Bölgesi'nde kurulması planlanan bir rüzgar enerjisi santrali için enerji üretim potansiyeli, kurulum maliyeti ve geri ödeme süresinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü*, İstanbul.
- Yanning, Z., Longyun, K., Shiqiong, Z. And Binggang, C. (2008). Wind speed predicted by wavelet analysis in input prediction control of wind turbine. *Intelligent control and automation ,WCICA 2008: 7th World Congress*, 1:7732-7735, China.
- Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. (2013). Hatay ili rüzgâr kaynak bilgileri. URL:<http://www.eie.gov.tr/YEKrepa/HATAY-REPA.pdf>. Son Erişim Tarihi: 28.06.2013
- Yıldırım, U., Gazibey, Y. ve Güngör, A. (2012). Niğde ili rüzgar enerjisi potansiyeli. *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(2): 37-47.
- Yılmaz, A. (2011). Türkiye'de sektörel enerji tüketimini etkileyen faktörler ve alternatif enerji politikaları. Doktora Tezi, *Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Aydın.
- Yılmaz, H. (2011). Çarpık dağılımlarda parametre tahmin yöntemlerinin karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.

- Yılmaz, V. ve Erişoğlu, M. (2003). İstatistiksel parametre kestirim tekniklerinin weibull dağılımının parametrelerinin hesaplanmasında kullanımı ve deprem verilerinin weibull dağılımına uygulanması. *İstatistik Araştırma Dergisi*, 2(2), 203-217.
- Yılmaz, Y. ve Yılmaz, Y., (2005). Parametrik olmayan testlerin pazarlama alanındaki araştırmalarda kullanımı: 1995-2002 arası yazın taraması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7(3), 177-199.
- Yong, H.O.U., Yidong, P.E.N.G., Johnson, A.L. and Jing, S.H.I. (2012). Empirical analysis of wind power potential at multiple heights for North Dakota wind observation sites. *Energy Science & Technology*, 4(1), 1-9.
- Zimmer, W.J., Keats, J.B. and Wang, F.K. (1998). The Burr XII distribution in reliability analysis. *Journal of Quality Technology*, 30(4), 386-394.
- Zoraghi, N., Abbasi, B., Niaki, S.T.A. and Abdi, M. (2012). Estimating the four parameters of the Burr III distribution using a hybrid method of variable neighborhood search and iterated local search algorithms. *Applied Mathematics and Computation*, 218(19), 9664-9675.
- Wais, P. (2017). Two and three-parameter Weibull distribution in available wind power analysis. *Renewable energy*, 103, 15-29.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Mert, İlker  
 Uyruğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 15.06.1975, Hatay  
 Medeni hali : Evli  
 Telefon : 0 (326) 613 56 00  
 Faks : 0 (326) 613 56 13  
 e-mail : ilkermert@dr.com



### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Doktora	İskenderun Teknik Üniversitesi / Makina Mühendisliği	2018
Yüksek lisans	Mustafa Kemal Üniversitesi / Makina Mühendisliği	2012
Lisans	Erciyes Üniversitesi / Elektronik Mühendisliği	2002
Lise	Mersin Tevfik Sırrı Gür Lisesi	1992

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2018-.....	OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ	Öğretim Görevlisi
2009-2017	İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ	Öğretim Görevlisi
2008-2009	GMH MEDIZINTECHNIK GMBH	Mühendis
2007-2008	GENPA	Mühendis

### Yabancı Dil

İngilizce, Almanca

### Yayınlar

Mert, İ., Karakuş, C. and Üneş, F. (2016). Estimating the energy production of the wind turbine using artificial neural network. *Neural Computing and Applications*, 27(5), 1231–1244.

Bilgiç, H. H., Mert, İ. ve Karakuş, C. (2016). Çoklu lineer regresyon tabanlı yapay sinir ağı yöntemi kullanılarak rüzgar hızı tahmini. *International Conference on Natural Science and Engineering (Icnase'16, Kilis)*, 1, 2909-2917.

- Mert, İ. ve Karakuş, C. (2016). Rüzgâr enerjisi yatırım kredisi faiz oranlarının birim enerji maliyeti üzerindeki etkisi. *International Conference on Natural Science and Engineering (Icnase'16, Kilis)*, 1, 3070-3084.
- Mert, İ. ve Karakuş, C. (2015). A statistical analysis of wind speed data using Burr, generalized gamma and Weibull distributions in Antakya, Turkey. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 23(6), 1571-1586.
- Mert, İ. ve Karakuş, C. (2015). Antakya bölgesinde rüzgar gücü yoğunluğu ve rüzgar hızı dağılımı parametrelerinin istatistiksel analizi. *Gazi Üniversitesi Politeknik Dergisi*, 18(1), 35-42.
- Tanç, B., Mert, İ., Arat, H.T. Karakuş, C. ve Baltacıoğlu, E. (2014). Estimation of wind energy potential using WASP in HATAY airport region. *International Journal of Research in Earth & Environmental Sciences*, 2(2), 1-9.
- Mert, İ. ve Karakuş, C. (2014). Burr dağılımı kullanılarak rüzgar enerjisi potansiyeli tahmini. *The 2nd International Symposium on Environment and Morality*, 1, 1091-1098.
- Mert, İ., Karakuş, C. ve Peker, F. (2014). Antakya bölgesi rüzgar karakteristiğinin incelenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 5(1), 13-22.
- Mert, İ., Karakuş, C. ve Tanç, B. (2013). Hatay ili kıyusal rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesi ve araziye uygun rüzgar türbini seçimi. *9. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, 1, 699-708.
- Kunt, O., Karakuş, C., Mert, İ. ve Tanç, B. (2013). 2.5 MW Kapasiteli bir rüzgar türbinin mekanik montaj aşamaları; *9. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, 1, 730-741
- Mert, İ., Karakuş, C. ve Tanç, B. (2013). Kapasite faktörü analizi kullanılarak rüzgar türbini seçimi. *TMMOB 9. Enerji Sempozyumu*, 1, 251-260.

## Hobiler

Sinema izlemek, müzik dinlemek, kitap okumak

## DİZİN

### A

Aventa AV-7·16, 38  
Atmosfer basıncı 35, 100

### B

Basıklık· 17, 51, 77  
Belirleme Katsayısı · 24, 29, 73  
BEM·133, 140  
Bileşik Faiz Oranı Hesabında  
Faiz Oranı· 176  
Betz limiti 43,46, 167  
Burr OYF 53

### C

Chi-Square Testi· 28,57  
COP21 14, 156

### Ç

Çarpıklık· 17, 51, 66  
Çoklu Lineer Regresyon modeli·  
29, 101

### D

Dört parametrelili Burr dağılımı·  
28, 53, 129  
Dizin · 175

### E

Elektriksel İletim Verimliliği ·  
45, 101  
Enercon E-33· 28, 36  
Enerji Yoğunluğu· 16, 40  
Eksenel akış indüksiyon faktörü ·  
42

### G

Giriş 1, 69, 97

### H

Hellman Katsayısı· 47  
Jeneratör Verimliliği· 45, 102

### K

Kanat Uç-Hız Oranı· 44  
Kapasite Faktörü· 75  
Kinetik Enerji· 39  
Kolmogorov-Smirnov Testi· 28,  
70  
Kütlesel Debi· 40

### L

Log-Olabilirlik Fonksiyonu· 54,  
67  
Logsig· 104, 112

### M

Maksimum Olabilirlik Metodu·  
54, 60, 67  
Maksimum Rüzgar Hızı· 101  
Moment Çıkaran Fonksiyon ·55

### Ö

Özet · iv  
Özgeçmiş ·173

### P

Performans Katsayısı· 42, 101  
PRESS· 100  
Purelin TF· 104  
Pürüzlülük Yüksekliği· 48

### R

Rotor · 36, 40

### S

Spesifik Gaz Sabiti· 40  
Standart Sapma· 17, 26  
Simgeler ve kısaltmalar · xviii  
Sonuç ve öneriler · 150

### T

Tansig· 104  
Teşekkür · viii  
Toplam Verim· 45  
Türbin Kanat Açısı· 44

Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği  
10, 69

### Ü

Üç parametrelili Genelleştirilmiş  
Gamma dağılımı· 57

### W

Weibull dağılımı· 62

### Y

Yapay Sinir Ağı· 97,  
Yıllık Enerji Üretim Miktarı 76



**TEKNOVERSİTE**





teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

**İSTE**

