

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

Ayşe Nilgün KAYADELEN

**TÜRKİYE RÜZGÂR ENERJİ POTANSİYELİNİN
BELİRLENMESİ VE NORMAL OLMAYAN KARMA
DAĞILIMLAR**

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA-2020

ÖZ

DOKTORA TEZİ

TÜRKİYE RÜZGAR ENERJİ POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ VE NORMAL OLMAYAN KARMA DAĞILIMLAR

Ayşe Nilgün KAYADELEN

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Doç. Dr. Figen ANTMEN

Yıl: 2020, Sayfa: 183

Jüri : Doç. Dr. Figen ANTMEN

: Prof. Dr. Ali KOKANGÜL

: Prof. Dr. Hamza EROL

: Prof. Dr. Güzin YÜKSEL

: Dr. Öğr. Üyesi Esra KARAKAŞ

Enerjiye insanlığın var olduğu günden bu yana ihtiyaç duyulmaktadır. Gelişmekte olan teknoloji sayesinde de insan yaşamının hemen hemen bütün alanlarında enerji kaynaklarından faydalanılmaktadır. Bu kaynakların kesintiye uğraması da temel ihtiyaçlarımızı karşılamada durma noktasına getirebilecektir. Fosil yakıtların hızla tükenmeye başlaması yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi gün geçtikte arttırmaktadır. Rüzgâr enerjisi de bu kaynakların başında gelmektedir. Çalışmada geçmiş yıllara ait meteorolojik veriler kullanılarak Türkiye'nin rüzgâr enerji potansiyelinin bir projeksiyonu ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, Büyük Veri Analitiği, Karma Weibull Dağılım modelleme kullanılmıştır. 2012-2016 yılı ortalama rüzgâr hızı verileri için en yüksek enerji öngörü değeri 93,372,799.30 MWh olarak hesaplanmıştır. Çalışmanın son bölümünde, rüzgâr verileri için büyük veri madenciliği analizi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr Enerji Potansiyeli, Büyük Veri Analitiği, Karma Weibull Dağılımı, Ortalama Güç Yoğunluğu, Büyük Veri Madenciliği

ABSTRACT

PhD THESIS

DETERMINATION OF TURKEY’S WIND ENERGY POTENTIAL AND NONNORMAL MIXTURE DISTRIBUTION

Ayşe Nilgün KAYADELEN

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Figen ANTMEN
Year: 2020, Page: 183
Jury : Assoc. Prof. Dr. Figen ANTMEN
: Prof. Dr. Ali KOKANGÜL
: Prof. Dr. Hamza EROL
: Prof. Dr. Güzin YÜKSEL
: Asst. Prof. Dr. Esra KARAKAŞ

Energy has been needed since the day that humans have existed on Earth. By means of the developing technology, energy sources are used in almost all areas of human life. Interruption of these resources may also bring us to a halt in meeting our basic needs. Cutting of these resources may also bring us to a halt in supplying our basic needs. Starting to depletion of fossil fuels rapidly increases the interest in renewable energy sources day by day. Wind energy is one of the resources. In this study, the projection of Turkey’s wind energy potential that has been tried to expose by using meteorological data of the previous years. Big Data Analytics and Mixture Weibull Distribution modeling have been used for this purpose. In the conclusion, data mining has been made for validation of the being wind energy potential. The highest energy predictive value for the 2012-2016 average wind speed data was calculated as 93,372,799.30 MWh. In the last part of the study, big data mining analysis is performed for wind data.

Anahtar Kelimeler: Wind Energy Potential, Big Data Analytics, Mixture Weibull Distribution, Average Power Density, Data Mining

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Sosyokültürel alanlardaki gelişim dünyada enerjiye olan talebin artmasına neden olmaktadır. Enerji, insan yaşamının her alanında kullanılan oldukça önemli bir kaynaktır. Bugün kullanmakta olduğumuz enerji büyük oranda fosil yakıtlı kaynaklardan elde edilmektedir. Fosil yakıtlı kaynaklar, çevre üzerindeki olumsuz etkileri yanı sıra artan enerji tüketimi ile ters orantılı olarak hızla azalmaktadır. Bu nedenle dünya, yeni ve tükenmeyen enerji kaynaklarına ihtiyaç duymaktadır. Bu enerji kaynakları sürekli devam eden doğal süreçlerde oluşan enerji akışından elde edilmekte olup tükenmeyen kaynaklar olması nedeni ile yenilenebilir enerji kaynakları olarak adlandırılmaktadırlar. Bu kaynakların başında, rüzgâr, güneş, jeotermal, hidroelektrik, hidrojen ve biyoenerji gelmektedir. Önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı olan rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretim oranı ülkemizde de dünyada olduğu gibi her geçen yıl artış göstermektedir. Bu durum, ülkemizin rüzgâr enerji potansiyeline sahip olduğunun bir göstergesi olarak kabul edilebilir.

Rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi için rüzgâr türbinleri kullanılmaktadır. Bu türbinler karada olduğu denizde de kurulabilmektedir. Bir alanda birden fazla rüzgâr türbini kullanılarak rüzgâr çiftlikleri kurulmaktadır. Rüzgâr çiftliklerinden rüzgâr enerjisi üretilen yerler Rüzgâr Enerji Santrali (RES) olarak adlandırılmaktadır. Rüzgâr gücünden elektrik enerjisi üretmek için RES'lerin kurulacağı yerin, diğer şartlarının (arazi pürüzlülüğü, topoğrafya ve yükseklik, arazi eğimi, göller, nehirler, yerleşim alanları, trafo merkezleri, deprem fay hatları, ormanlar, kuş göç yolları, vb.) yanı sıra en başta rüzgâr enerji potansiyelinin belirlenmesi gereklidir. Yatay ya da yataya yakın yönde yer değiştiren bir hava kütleinin hareketi rüzgâr, bu kütleinin iş yapabilme yeteneği de rüzgâr enerjisi potansiyeli olarak tanımlanmaktadır. Bir yerin rüzgâr enerji potansiyeline sahip olduğunu belirlemek için en az bir yıllık veriye (rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, basınç,

sıcaklık, rakım) ihtiyaç vardır. Rüzgâr kaynak potansiyelleri beş kategoride değerlendirilmektedir:

- Meteorolojik Potansiyel: Mümkün olan rüzgâr 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 rüzgâr enerjisi potansiyelini değerlendirmek için teşvik ve kısıtlamalar da hesaba katılarak elde edilir.

Bu çalışmada, geçmiş yıllara ait (2012 – 2016) meteorolojik verilerle (rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, basınç, sıcaklık) gelecek yıllar için Türkiye’de bulunan 7 Coğrafik Bölge’nin rüzgâr enerji potansiyelinin bir projeksiyonu ortaya konulmuştur. Bu amacı gerçekleştirmede Büyük Veri Analitiği ve Karma Dağılım Modellemekten yararlanılmıştır. Son olarak mevcut veriler için Büyük Veri Madenciliği Analizi yapılmıştır.

Çalışmada, veriler için iki parametrelili Weibull Dağılım uygun dağılım olarak belirlenmiştir. İki parametrelili Weibull dağılım pure yani tek bir dağılımdır. Çalışmada kullanılan veriler için tek bir dağılımın parametre sayısını arttırmak yerine daha ergonomik (dinamik) model oluşturmak için karma dağılım modelleri kullanılmıştır. Bu noktadan hareketle, önceki yıllara ait 5 yıllık rüzgâr hızı yoğunluğu ile gelecek yılların rüzgâr hızı yoğunlukları için bir projeksiyon

amaçlanmıştır. Ayrıca karma dağılım modelleme ile Türkiye genelinde rüzgâr hızından elektrik enerjisi üretimi potansiyeli için 5 yıllık rüzgâr hızı verilerinin karması ile yoğunluklar ve ağırlıklar belirlenmiştir.

Rüzgâr enerjisinden elektrik üretiminde önemli bir nicelik olan ortalama güç yoğunluğu değerleri hesaplanmıştır. 5 yıllık geçmiş yıllara ait veriler kullanılarak hesaplanan sonuçlara göre; en büyük yıllık ortalama hız ve ortalama güç yoğunluğu değerine sahip olan bölge Marmara Bölgesi'dir. Doğu Anadolu Bölgesi, en düşük yıllık ortalama hız ve ortalama güç yoğunluğu değerlerine sahip olan bölgedir.

Weibull dağılımı ile tahmin edilen değerlere göre; en büyük yıllık ortalama rüzgâr hızı ve en büyük yıllık ortalama rüzgâr güç yoğunluğu değerine sahip olan bölge Marmara Bölgesi'dir. En düşük yıllık ortalama hız değerine sahip olan bölge Doğu Anadolu Bölgesi iken Weibull dağılımı ile tahmin edilen en düşük yıllık ortalama güç yoğunluğu değerine sahip olan bölge Akdeniz Bölgesi'dir.

Karma Weibull dağılımı ile tahmin edilen değerlere göre, en büyük ortalama hız değerine sahip olan bölge Marmara Bölgesi'dir. En büyük yıllık ortalama güç yoğunluğu değeri Güneydoğu Anadolu Bölgesi için hesaplanmıştır. Karma Weibull Dağılım Modeli ile hesaplanan yıllık ortalama güç yoğunlukları Weibull dağılımı ile tahmin edilen değerlere oranla daha büyük değerler elde edilmiştir. Güç yoğunluğu değerlerinin büyük olması rüzgâr enerji potansiyeli tahmin edilen bölgenin rüzgâr gücünden elektrik enerjisi üretme olasılığını güçlendirmektedir. Karma Weibull Dağılım Modeli ile en az yıllık ortalama hız değerine sahip olan bölge Doğu Anadolu Bölgesi'dir. Yıllık ortalama güç yoğunluğu değerinin en düşük olduğu bölge ise Ege Bölgesi olarak tahmin edilmiştir.

Türkiye'nin rüzgâr gücünden elektrik enerjisi üretim öngörü değerleri Weibull ve Karma Weibull ve gerçek değerler için hesaplanmış; ülkemizin rüzgâr enerji potansiyelinin büyüklüğü ortaya konulmuştur.



TEŞEKKÜR

Öncelikle, tez çalışmam boyunca göstermiş olduğu her türlü destek ve yardımlarından dolayı değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Figen ANTMEN'e minnet ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez çalışmam boyunca çalışmamla ilgili bilgi ve yönlendirmelerinden dolayı hocam Sayın Prof. Dr. Hamza Erol'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez savunma jürimde yer alan değerli hocalarım, Prof. Dr. Ali KOKANGÜL, Prof. Dr. Hamza EROL, Prof. Dr. Güzin YÜKSEL ve Dr. Öğr. Üyesi Esra KARAKAŞ'a değerli katkı, öneri ve yorumları için en içten teşekkürlerimi sunuyorum.

Çok değerli Öğr. Gör. Demet TOPAKTAŞ, sevgili arkadaşlarım Pırıl TEKİN, Şeyma YÜKSEL, Olcay KALAN ve Melek IŞIK'a destekleri için yürekten teşekkür ediyorum.

Özellikle tez çalışmam sırasında kaybettiğim ve hayatım boyunca her konuda daima benim en büyük destekçim olan biricik anneciğim merhum Gülören KAYADELEN'i rahmet ve minnetle anıyorum. Tez çalışmam boyunca sürekli manevi destek olan sevgili babam Necmettin KAYADELEN'e, kardeşim Celal Levent KAYADELEN'e ve minik yürekleri ile bana manevi güç veren yeğenlerim M. Asım ve Elif'e sevgi ve şükranlarımı sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR.....	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ	XII
ŞEKİLLER DİZİNİ	XVI
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XVIII
1. GİRİŞ	1
1.2. Çalışmanın Amacı.....	2
1.3. Çalışmanın Kapsamı	3
1.4. Çalışmanın Katkısı ve Önemi	4
1.5. Çalışmanın Adımları ve Organizasyonu	5
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	7
2.1. Elektrik Üretiminde Enerji Çeşitliliği	7
2.1.1. Rüzgâr Gücünden Elektrik Çevrim Santrallerinde Elektrik Üretimi ...	9
2.2. Büyük Veri.....	9
2.2.1. Büyük Veri Analitiği	9
2.2.2. Büyük Veri Karmaşıklığı.....	13
2.2.3. Rüzgâr Gücü Enerji Potansiyeli için Veri Analizi	13
2.3. Veri Modelleme	16
2.3.1. Regresyon Modelleri.....	16
2.3.2. Karma Dağılım Modelleme.....	18
2.4. Büyük Veri Madenciliği.....	20
2.4.1. Büyük Veri Madenciliği ile Veri Modelleme	21
2.5. Rüzgâr Enerjisi ile ilgili Yapılmış Tez Çalışmaları	23

3. MATERYAL VE METOT	25
3.1. Materyal	25
3.2. Metot	25
3.2.1. Büyük Veri Analitiği	25
3.2.1.1. Büyük Veri Karmaşıklığı	26
3.2.2. Büyük Veri Madenciliği	27
3.2.2.1. Kümeleme Analizi	27
3.2.2.1.(1). Post-Ad-Hoc Testi	28
3.2.2.1.(2). EM Kümeleme Algoritması	29
3.2.2.2. Sınıflandırma Analizi	30
3.2.2.2.(1). Random Tree Sınıflandırma Algoritması	30
3.2.2.3. Doğrusal Regresyon Analizi	32
3.2.3. Weibull Dağılımı	33
3.2.3.1. Maksimum Olabilirlik Tahmini	34
3.2.4. Karma Dağılım Modelleme	37
3.2.4.1. Weibull Karma Dağılım Modelleri	39
3.2.5. SWOT Analizi	39
3.2.6. Elektrik Enerji Üretimi	40
3.2.6.1. Rüzgâr Gücünden Elektrik Üretimi	43
3.2.7. Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA)	51
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	55
4.1. Türkiye Geneli 5 Yıllık Rüzgâr Verileri	55
4.2. Büyük Veri Analitiği	59
4.3. Weibull Dağılımı	61
4.3.1. Yıllar için İki-Parametrelili Weibull Dağılımı Olasılık Yoğunluk Fonksiyon Grafikleri	61
4.4. Karma Weibull Dağılım Modelleri	67
4.4.1. Yıllara göre Karma Weibull Dağılım Modeli	67

4.4.2. Bölgelere göre Karma Weibull Dağılım Modeli	70
4.4.3. Bölgelerde Yer Alan İllere göre Karma Weibull Dağılım Modelleri	73
4.4.3.1. Akdeniz Bölgesi için Karma Weibull Dağılım Modeli	73
4.4.3.2. Doğu Anadolu Bölgesi için Karma Weibull Dağılım Modeli	75
4.4.3.3. Ege Bölgesi için Karma Weibull Dağılım Modeli.....	76
4.4.3.4. Güneydoğu Anadolu Bölgesi için Karma Weibull Dağılım Modeli.....	78
4.4.3.5. İç Anadolu Bölgesi için Karma Weibull Dağılım Modeli	80
4.4.3.6. Karadeniz Bölgesi için Karma Weibull Dağılım Modeli	82
4.4.3.7. Marmara Bölgesi için Karma Weibull Dağılım Modeli	84
4.5. Rüzgâr Gücünden Elektrik Enerjisi için SWOT Analizi	86
4.6. Türkiye’de Rüzgâr Enerji Gücü Durumu ve Rüzgâr Enerji Gücüyle Elektrik Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi	89
4.6.1. Ortalama Güç Yoğunluğu	92
4.6.1.1. Rüzgâr Hızı Ortalamaları ve Ortalama Güç Yoğunlukları Bağlı Hata Analizi.....	97
4.6.2. Türkiye Rüzgâr Gücünden Elektrik Enerjisi Üretim Öngörüsü.....	105
4.6.3. Bölgelere göre Aylık Rüzgâr Değerleri	106
4.6.4. Bölgelere Göre Kurulabilecek Rüzgâr Enerjisi Santrali Güç Kapasiteleri	112
4.7. Büyük Veri Madenciliği Analizi.....	116
4.7.1. Bölge Bazında Büyük Veri Madenciliği.....	117
4.7.1.1. Bölge Bazında Kümeleme Analizi.....	117
4.7.1.2. Bölge Bazında Sınıflandırma Analizi	121
4.7.2. Yıl Bazında Büyük Veri Madenciliği	122
4.7.2.1. Yıl Bazında Kümeleme Analizi	122
4.7.2.2. Yıl Bazında Sınıflandırma Analizi.....	125
4.7.3. Ay Bazında Büyük Veri Madenciliği	126

4.7.3.1. Ay Bazında Kümeleme Analizi	126
4.7.3.2. Ay Bazında Sınıflandırma Analizi	128
4.7.4. Şehir Bazında Büyük Veri Madenciliği.....	130
4.7.4.1. Şehir Bazında Kümeleme Analizi	130
4.7.4.2. Şehir Bazında Sınıflandırma Analizi	133
4.7.5. Regresyon Analizleri.....	133
4.7.5.1. Yıl Bazında Rüzgâr Hızlarına göre Doğrusal Regresyon Analizi	133
4.7.5.2. Bölge Bazında Rüzgâr Hızlarına göre Doğrusal Regresyon Analizi	134
4.7.5.3. Ay Bazında Rüzgâr Hızlarına göre Doğrusal Regresyon Analizi	135
4.7.5.4. Şehir Bazında Rüzgâr Hızlarına göre Doğrusal Regresyon Analizi	136
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	139
5.1. Sonuçlar	140
5.2. Öneriler	144
KAYNAKLAR	147
ÖZGEÇMİŞ	155
EKLER.....	157

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 2.1. Rüzgâr Enerjisi ile ilgili Tez Çalışmaları	23
Çizelge 3.1. RES Kurulum Maliyeti	48
Çizelge 4.1. Rüzgâr Yön ve Yön Kodları	56
Çizelge 4.2. Yıllara göre Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı Kümelenmesi.....	59
Çizelge 4.3. Aylara göre Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı Kümelenmesi.....	60
Çizelge 4.4. Bölgelere göre Rüzgâr Hızı Kümelenmesi	60
Çizelge 4.5. Rüzgâr Yönlerine göre Rüzgâr Hızı Kümelenmesi	61
Çizelge 4.6. 2012-2016 Yılları için İki Parametrelili Weibull Dağılım Parametrelerinin Tahmini	68
Çizelge 4.7. Bölgeler için İki Parametrelili Weibull Dağılım Parametrelerinin Tahmini.....	71
Çizelge 4.8. Akdeniz Bölgesi'nde Yer Alan İller için İki Parametrelili Weibull Dağılım Parametrelerinin Tahmini	73
Çizelge 4.9. Doğu Anadolu Bölgesi'nde Yer Alan İller için İki Parametrelili Weibull Dağılım Parametrelerinin Tahmini	75
Çizelge 4.10. Ege Bölgesi'nde Yer Alan İller için İki Parametrelili Weibull Dağılım Parametrelerinin Tahmini	77
Çizelge 4.11. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Yer Alan İller için İki Parametrelili Weibull Dağılım Parametrelerinin Tahmini	79
Çizelge 4.12. İç Anadolu Bölgesi'nde Yer Alan İller için İki Parametrelili Weibull Dağılım Parametrelerinin Tahmini	81
Çizelge 4.13. Karadeniz Bölgesi'nde Yer Alan İller için İki Parametrelili Weibull Dağılım Parametrelerinin Tahmini	83
Çizelge 4.14. Marmara Bölgesi'nde Yer Alan İller için İki Parametrelili Weibull Dağılım Parametrelerinin Tahmini	85
Çizelge 4.15. Rüzgâr Enerjisi için SWOT Analizi (Güçlü ve Zayıf Yönler).....	88

Çizelge 4.16. Rüzgâr Enerjisi için SWOT Analizi (Fırsatlar ve Tehditler)	89
Çizelge 4.17. Kaynaklara göre Türkiye'nin Kurulu Gücü.....	91
Çizelge 4.18. Bölgelere göre Ortalama Rüzgâr Gücü Yoğunluğu ve Ortalama Rüzgar Hızları.....	92
Çizelge 4.19. Bölgelere göre Rüzgâr Enerji Potansiyeli.....	93
Çizelge 4.20. Weibull Dağılımı ile Bölgelere göre Rüzgâr Enerji Potansiyeli Tahmini.....	95
Çizelge 4.21. Karma Weibull Dağılımı ile Bölgelere göre Rüzgâr Enerji Potansiyeli Tahmini	96
Çizelge 4.22. 2012 Yılı Bölgelere göre Rüzgar Hızı Bağlı Hataları.....	98
Çizelge 4.23. 2013 Yılı Bölgelere göre Rüzgar Hızı Bağlı Hataları.....	99
Çizelge 4.24. 2014 Yılı Bölgelere göre Rüzgar Hızı Bağlı Hataları.....	107
Çizelge 4.25. 2015 Yılı Bölgelere göre Rüzgar Hızı Bağlı Hataları.....	107
Çizelge 4.26. 2016 Yılı Bölgelere göre Rüzgar Hızı Bağlı Hataları.....	107
Çizelge 4.27. 2012 Yılı Bölgelere göre Güç Yoğunluğu Bağlı Hataları.....	107
Çizelge 4.28. 2013 Yılı Bölgelere göre Güç Yoğunluğu Bağlı Hataları.....	107
Çizelge 4.29. 2014 Yılı Bölgelere göre Güç Yoğunluğu Bağlı Hataları.....	107
Çizelge 4.30. 2015 Yılı Bölgelere göre Güç Yoğunluğu Bağlı Hataları.....	107
Çizelge 4.31. 2016 Yılı Bölgelere göre Güç Yoğunluğu Bağlı Hataları.....	107
Çizelge 4.32. 5 Yıllık (2012-2016) Enerji Potansiyeli Öngörü Değerleri	107
Çizelge 4.33. Marmara Bölgesi için 5 Yıllık Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı	107
Çizelge 4.34. Ege Bölgesi için 5 Yıllık Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı	108
Çizelge 4.35. Akdeniz Bölgesi için 5 Yıllık Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı	108
Çizelge 4.36. İç Anadolu Bölgesi için 5 Yıllık Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı.....	109
Çizelge 4.37. Karadeniz Bölgesi için 5 Yıllık Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı	110
Çizelge 4.38. Doğu Anadolu Bölgesi için 5 Yıllık Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı	110
Çizelge 4.39. Güneydoğu Anadolu Bölgesi için 5 Yıllık Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı	112

Çizelge 4.40. Türkiye'nin Rüzgâr Enerji Potansiyeli	113
Çizelge 4.41. Bölgelere göre Türkiye'nin Rüzgâr Enerji Teknik Potansiyeli	113
Çizelge 4.42. Bölge Bazında Kümeleme Analizi Sonuçları	113
Çizelge 4.43. Bölge Bazında Kümelenmiş Gözlemler.....	113
Çizelge 4.44. Bölge Bazında Sınıflandırma Analizi Test İstatistikleri	113
Çizelge 4.45. Bölge Bazında Sınıflara göre Ayrıntılı Doğruluk Oranları.....	113
Çizelge 4.46. Bölge Bazında Karışıklık Matrisi	113
Çizelge 4.47. Yıl Bazında Kümeleme Analizi Sonuçları.....	113
Çizelge 4.48. Yıl Bazında Kümelenmiş Gözlemler	113
Çizelge 4.49. Yıl Bazında Sınıflandırma Analizi Test İstatistikleri.....	113
Çizelge 4.50. Yıl Bazında Sınıflara göre Ayrıntılı Doğruluk Oranları	113
Çizelge 4.51. Yıl Bazında Karışıklık Matrisi.....	113
Çizelge 4.52. Ay Bazında Kümeleme Analizi Sonuçları	113
Çizelge 4.53. Ay Bazında Kümelenmiş Gözlemler	113
Çizelge 4.54. Yıl Bazında Sınıflandırma Analizi Test İstatistikleri.....	113
Çizelge 4.55. Ay Bazında Sınıflara göre Ayrıntılı Doğruluk Oranları	113
Çizelge 4.56. Ay Bazında Karışıklık Matrisi	113
Çizelge 4.57. Şehir Bazında Kümeleme Analizi Sonuçları	113
Çizelge 4.58. Şehir Bazında Kümelenmiş Gözlemler.....	113
Çizelge 4.59. Şehir Bazında Sınıflandırma Analizi Test İstatistikleri	113
Çizelge 4.60. Yıl Bazlı Rüzgar Hızları Doğrusal Regresyon Analizi Test İstatistikleri	113
Çizelge 4.61. Bölge Bazlı Rüzgar Hızları Doğrusal Regresyon Analizi Test İstatistikleri	113
Çizelge 4.62. Ay Bazlı Rüzgar Hızları Doğrusal Regresyon Analizi Test İstatistikleri	113
Çizelge 4.63. Şehir Bazlı Rüzgar Hızları Doğrusal Regresyon Analizi Test İstatistikleri	113

Çizelge 4.64. Bölge Bazlı Rüzgar Hızları Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi	
Test İstatistikleri	113



ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 3.1. 2019 Yılı Eylül Ayı Sonu İtibarıyla Ülkemizin Kaynaklara göre Kurulu Güç Dağılımı	42
Şekil 3.2. Bir Rüzgâr Türbinin Ana Unsurları.....	45
Şekil 3.3. Rüzgâr Elektrik Çevriminin Basit Bileşenleri	46
Şekil 3.4. Sabit Mıknatıslı Alternatör Kullanılan Rüzgâr – Elektrik Çevrim Sistemi	47
Şekil 3.5. Bölgelere göre Kurulu Güç Kapasitesi.....	50
Şekil 3.6. İşletmedeki RES'lerin Bölgelere göre Dağılımı	51
Şekil 3.7. Türkiye Rüzgâr Atlası	53
Şekil 4.1. Rüzgar Yönlerine göre Oluşturulan Rüzgar Gücü Grafiği	53
Şekil 4.2. Aylara göre Ortalama Rüzgar Hızı Histogram Grafiği	53
Şekil 4.3. Bölgelere göre Ortalama Rüzgar Hızı Histogram Grafiği	53
Şekil 4.4. 2012 Yılı Ortalama Rüzgâr Hızı Verileri için Oyf Grafiği.....	62
Şekil 4.5. 2013 Yılı Ortalama Rüzgâr Hızı Verileri için Oyf Grafiği.....	62
Şekil 4.6. 2014 Yılı Ortalama Rüzgâr Hızı Verileri için Oyf Grafiği.....	62
Şekil 4.7. 2015 Yılı Ortalama Rüzgâr Hızı Verileri için Oyf Grafiği.....	62
Şekil 4.8. 2016 Yılı Ortalama Rüzgâr Hızı Verileri için Oyf Grafiği.....	62
Şekil 4.9. Akdeniz Bölgesi Ortalama Rüzgâr Hızı Verileri için Oyf Grafiği	64
Şekil 4.10. Doğu Anadolu Bölgesi Ortalama Rüzgâr Hızı Verileri için Oyf Grafiği	65
Şekil 4.11. Ege Bölgesi Ortalama Rüzgâr Hızı Verileri için Oyf Grafiği.....	65
Şekil 4.12. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Ortalama Rüzgâr Hızı Verileri için Oyf Grafiği	66
Şekil 4.13. İç Anadolu Bölgesi Ortalama Rüzgâr Hızı Veriler için Oyf Grafiği	66
Şekil 4.14. Karadeniz Bölgesi Ortalama Rüzgâr Hızı Veriler için Oyf Grafiği.....	66
Şekil 4.15. Marmara Bölgesi Ortalama Rüzgâr Hızı Verileri için Oyf Grafiği	67

Şekil 4.16. 2012 - 2016 Yılları Türkiye Geneli Rüzgâr Hızı	
Verilerinin Karma Dağılım Grafiği	70
Şekil 4.17. Türkiye’deki 7 Coğrafi Bölge için Rüzgar Hızı Verilerinin	
Karma Dağılım Grafiği.....	70
Şekil 4.18. Akdeniz Bölgesi İlleri için Karma Dağılım Grafiği	74
Şekil 4.19. Doğu Anadolu Bölgesi İlleri için Karma Dağılım Grafiği	76
Şekil 4.20. Ege Bölgesi İlleri için Karma Dağılım Grafiği.....	78
Şekil 4.21. Güneydoğu Anadolu Bölgesi İlleri için Karma Dağılım Grafiği.....	80
Şekil 4.22. İç Anadolu Bölgesi İlleri için Karma Dağılım Grafiği	82
Şekil 4.23. Karadeniz Bölgesi İlleri için Karma Dağılım Grafiği.....	84
Şekil 4.24. Marmara Bölgesi İlleri için Karma Dağılım Grafiği	86
Şekil 4.25. Kaynaklara göre Türkiye'nin Kurulu Gücü	91
Şekil 4.26. Bölgelere göre Kurulu Rüzgâr Gücü	94
Şekil 4.27. WEKA Giriş Ekran Görüntüsü.....	116
Şekil 4.28. WEKA Veri Bilgileri Görünümü.....	117
Şekil 4.29. Bölge Bazında Açıklayıcı Grafik Görünümü	118
Şekil 4.30. Bölge Bazında Rüzgâr Hızı için Açıklayıcı Grafik Görünümü	119
Şekil 4.31. Yıl Bazında Verinin Açıklayıcı Grafik Görünümü.....	123
Şekil 4.32. Yıl Bazında Rüzgâr Hızı için Açıklayıcı Grafik Görünümü.....	123
Şekil 4.33. Ay Bazında Verinin Açıklayıcı Grafik Görünümü	126
Şekil 4.34. Ay Bazında Rüzgâr Hızı için Açıklayıcı Grafik Görünümü.....	127
Şekil 4.35. Şehir Bazında Verinin Açıklayıcı Grafik Görünümü	130
Şekil 4.36. Şehir Bazında Rüzgâr Hızı için Açıklayıcı Grafik Görünümü	131
Şekil 4.37. Bölge Bazında Rüzgâr Hızları için Karar Ağacı.....	137

SİMGELER VE KISALTMALAR

RES	: Rüzgâr Enerji Santrali
MLE	: Maximum Likelihood Estimation
SWOT	: Strength, Weakness, Opportunity, Threat
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
REPA	: Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası
WRF	: Weather Research and Forecast
EM	: Expectation Maximization
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri
OYF	: Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu



1. GİRİŞ

Ekonomik, sosyal ve kültürel gelişmeyle birlikte dünyada enerjiye olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Enerji; konut, sanayi, ulaşım ve tarım gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılan vazgeçilmez bir kaynaktır (Mahmut Can Şenel ve Erdem Koç, 2013). Enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olarak ikiye ayrılmaktadır.

Yenilenemez enerji kaynaklarından olan, enerji üretiminde yaygın olarak kullanılan fosil yakıt rezervleri (kömür, petrol ve doğalgaz) üzerinde yapılan bir araştırma sonucuna göre, dünyadaki enerji tüketim hızı fosil yakıtların oluşum hızının 300 bin katına eşit olduğunu göstermektedir. Başka bir ifadeyle, bir günde yaklaşık bin yıllık fosil yakıt oluşumu tüketilmektedir. Bu durum, fosil yakıt rezervlerinin giderek tükeneceğinin bir göstergesi olup, enerji ihtiyacı duyan ülkeleri de yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmektedir (Anıl Güneyli, 2019).

Rüzgâr, güneş, jeotermal, biokütle ve dalga yenilebilir enerji kaynaklarındandır. Bu enerji kaynakları arasında rüzgâr en yaygın olan ve teknolojisi en hızlı gelişen yenilenebilir enerji kaynağıdır. Rüzgâr enerjisinin elektriğe dönüştürülmesi için rüzgâr türbinleri kullanılmaktadır. Rüzgâr türbinleri, rüzgâr enerji santrallerinin ana yapı elemanı olup hareket halindeki havanın kinetik enerjisini öncelikle mekanik enerjiye ve sonrasında elektrik enerjisine dönüştüren makinelerdir (<https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar>). Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar enerjisi kullanımı giderek artmaktadır (Çakır M. T.,2010).

2018 yılında elektrik üretimimizin % 6,6'sı rüzgârdan elde edilmiştir. 2019 yılı ilk yarısı itibarıyla ülkemiz kurulu gücü 90.421 MW'a ulaşmıştır. 2019 yılı ilk yarısı sonunda kurulu gücümüzün % 8,0'ı rüzgâr kaynaklıdır (<https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>).

Ülkemiz rüzgâr gücü enerji potansiyeli bakımından oldukça zengindir. Rüzgâr gücünden faydalanmak için bu gücün enerjiye dönüştürülmesi gereklidir. Rüzgâr enerjisini elektrik enerjisine dönüştürebilmek için rüzgâr türbinleri kullanılmaktadır (Keleş D. ve ark, 2013).

1.1. Problemin Tanımı

Rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi için rüzgâr türbinlerine ihtiyaç vardır. Rüzgâr türbin yerleşimi ve rüzgâr enerji potansiyelinin belirlenebilmesi için uzun süreli, güvenilir verilere ihtiyaç vardır. Elde edilen verilerin sınıflandırılması, kümelenmesi dolayısıyla doğru şekilde etiketlenmesi için veri analitiğine ihtiyaç vardır. Veri modelleme bu aşamadan sonra gerçekleştirilebilen bir adımdır. Oluşturulan modellerle rüzgâr yoğunluğunun uygun olduğu yerlerin belirlenerek Türkiye geneli için rüzgâr enerji potansiyelinin ortaya konulmasıdır.

1.2. Çalışmanın Amacı

Çalışmanın amacı, geçmiş yıllara ait 5 yıllık (2012-2016) rüzgâr verileri (rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, sıcaklık, basınç) kullanılarak gelecek yıllar için Türkiye'nin rüzgâr gücünden elektrik enerji üretimi potansiyeli için bir projeksiyon ortaya koymaktır. Bu amaçla,

- Türkiye geneli için rüzgâr verileri ilk adımda coğrafik bölgeler bazında ve bölgelerin alt katmanında şehirler bazında büyük veri analitiği ile kümeleme analizi yapılması,
- Veriler için uygun dağılımların belirlenmesi,
- Coğrafik bölgeleri oluşturan şehirler için karma dağılımı modelleri oluşturulması,
- Türkiye geneli için rüzgâr enerji potansiyellerinin belirlenmesi,
- Tüm verilerin veri madenciliği ile analiz edilerek ilişkilendirilmesidir.

1.3. Çalışmanın Kapsamı

Yüksek hacimli verilerden (büyük veri) değer elde etmek için, istatistik bilimi, modern hesaplama yöntemleri, bilgisayar bilimi, yapay zekâ teknikleri, makina öğrenme algoritmaları ve matematik gibi yaklaşımlardan faydalanılmaktadır. Farklı bilim dalları ile desteklenen büyük veri analitiği ile kurumların daha etkin kararlar almaları desteklenmektedir. Büyük veri analitiği büyük verilerin içerisindeki gizemleri keşfetmek, verileri anlamak, doğru işlemek, analiz etmek veya büyük verilerden değer elde etmektir (Ş. Sağıroğlu, 2016). Çalışma kapsamında 5 yıllık (2012-2016) rüzgâr verileri, veriler içindeki yeni yapıların ve onu ortaya çıkaran kullanıcılarla ilgili yeni görüşler ortaya koyabilen ve görülemeyen ilişkilerin keşfedilmesi amacıyla Büyük Veri Analitiği ve Büyük Veri Madenciliği ile incelenmiştir. Veri Madenciliğinde kullanılan modellerden regresyon modelleme ile rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, basınç, sıcaklık gibi meteorolojik veriler arasındaki ilişki ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

Rüzgâr enerjisinden elektrik üretiminde, rüzgâr türbini parametrelerinin yanında, türbin kurulum alanındaki rüzgâr hızını temsil eden olasılık dağılımı da önemli rol oynamaktadır (Kaplan, Y. A. ,2016). Rüzgâr enerji potansiyelini belirlemek için ilgili bölgenin rüzgâr hızına uygun olasılık dağılımlarının belirlenmesi ilk önemli adımdır. Çalışma kapsamında rüzgâr enerji potansiyelinin belirlenmesinde önemli bir nicelik olan güç yoğunluğu değerleri veriler ile uyumlu iki-parametrelili Weibull dağılımı ile hesaplanmıştır.

Normal dağılım göstermeyen heterojen yapıdaki tek değişkenli veya çok değişkenli veri kümeleri için karma dağılım modelleri oldukça uygun ve güçlü bir istatistiksel modelleme aracıdır. Çalışma kapsamında veriler için dağılımlarda parametre sayısını arttırmak yerine daha ergonomik (dinamik) model oluşturmak için karma dağılım modeli kullanılmıştır. Bu kapsamda veriler için bir pure dağılım olan iki-parametrelili Weibull dağılımı kullanılmıştır. Türkiye'nin rüzgâr enerji

potansiyelinin araştırılmasında kullanılan güç yoğunluğu değerleri karma weibull dağılım modelleri için de hesaplanmıştır.

Çalışmanın kapsamında genel ifade ile geçmiş 5 yıla ait (2012-2016) rüzgâr verileri ile gelecek yıllar için Türkiye'nin rüzgâr enerjisi potansiyelinin bir projeksiyonu ortaya konulmuştur.

1.4. Çalışmanın Katkısı ve Önemi

Çalışma, rüzgâr verilerinin farklı analizlerle incelendiği adımları içeren, 2006 yılında hazır hale getirilmiş olan REPA yani 'Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası' çalışmalarına katkı sağlaması hedeflemiş, Türkiye'nin rüzgâr enerjisinin elektrik üretimine uygulanabilirliği incelendiği kapsamlı bir çalışmadır.

Çalışmanın katkıları;

- Çalışmada meteorolojiden temin edilen geçmiş yıllara ait rüzgâr verileri ile gelecek yıllar için rüzgâr enerji potansiyelinin projeksiyonu için Türkiye'deki 7 coğrafik bölgeyi ve içerisinde yer alan şehirleri de içine alan geniş kapsamlı bir rüzgâr enerji potansiyeli değerlendirmesi yapmaktır.
- Önceden tanımlı ve etiketli rüzgâr verileri arasındaki görünmeyen ilişkileri sınıflandırma ve kümeleme analizleri kullanarak ortaya çıkarmaktır.
- Çalışmada verilerle uyumlu olduğu belirlenen iki-parametrelili Weibull dağılımının yanı sıra karma Weibull dağılım modelleri kullanarak karma dağılım modellerinin enerji potansiyel belirlemedeki gücünü ortaya çıkarmaktır.
- Veri Madenciliği modellerinden regresyon analizi ile rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, basınç, sıcaklık gibi meteorolojik veriler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmaktır.

1.5. Çalışmanın Adımları ve Organizasyonu

Çalışmanın adımları ve organizasyonu şu şekildedir;

- Giriş bölümünden sonra gelen ikinci bölümde, çalışma kapsamındaki konularla ilgili önceki çalışmalara yer verilmiştir.
- Üçüncü yani Materyal ve Metot bölümünde, çalışmada kullanılan veriler ile analiz ve modellemelerde kullanılan yöntem ve teknikler anlatılmıştır.
- Dördüncü bölümde çalışmada yapılan tüm uygulamalar ve sonuçları anlatılmıştır.
- Son bölüm olan Sonuçlar ve Öneriler bölümünde çalışmanın sonuçları ve gelecek çalışmalar için öneriler yer almıştır.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Çalışma konusu ile ilgili yapılan önceki çalışmalar ilgili konu başlıkları altında incelenmiştir.

2.1. Elektrik Üretiminde Enerji Çeşitliliği Türkiye elektrik enerjisi tüketimi 2018 yılında bir önceki yıla göre %2,2 artarak 303,3 milyar kWh, elektrik üretimi ise bir önceki yıla göre %2,2 oranında artarak 303,9 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. 2018 yılında elektrik üretimimizin, %37,3'ü kömürden, %29,8'i doğal gazdan, %19,8'i hidrolik enerjiden, %6,6'sı rüzgârdan, %2,6'sı güneşten, %2,5'i jeotermal enerjiden, ve %1,4'ü diğer kaynaklardan elde edilmiştir. 2019 yılı ilk yarısı itibarıyla ülkemiz kurulu gücü 90.421 MW'a ulaşmıştır. 2019 yılı ilk yarısı itibarıyla kurulu gücümüzün kaynaklara göre dağılımı; yüzde 31,4'ü hidrolik enerji, yüzde 29,0'sı doğal gaz, yüzde 22,4'ü kömür, yüzde 8,0'ı rüzgâr, yüzde 6,0'ı güneş, yüzde 1,5'i jeotermal ve yüzde 1,7'si ise diğer kaynaklar şeklindedir. Ayrıca Ülkemizde elektrik enerjisi üretim santrali sayısı, 2019 yılı ilk yarısı itibarıyla 7.957'ye (Lisanssız santraller dahil) yükselmiştir. Mevcut santrallerin 664 adedi hidroelektrik, 67 adedi kömür, 257 adedi rüzgâr, 48 adedi jeotermal, 327 adedi doğal gaz, 6.349 adedi güneş, 245 adedi ise diğer kaynaklı santrallerdir (<https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>).

Dünya genelinde elektrik üretiminin %87'si fosil kaynaklıdır. Nükleer enerji kaynağı %5 iken, yenilenebilir enerji kaynağı %8'dir. Yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretimde hidrolik enerji %75,7, rüzgâr enerjisi %12,4, biokütle enerji %7,8, güneş enerjisi %2,7 ve jeotermal enerji ise %1,4'dür (www.tureb.com.tr/files/turek/2014/sunumlar/mustafacaliskan.pdf).

Enerji talebi nüfus artışına bağlı olarak hızla artmaktadır. Fosil yakıtların azalması ile güneş, rüzgâr ve güneş-hidrojen gibi konvansiyonel ve yenilenebilir alternatif enerji kaynaklarına yönelmeye başlanmıştır (Hepbaşlı A. ,Özgener Ö., 2004).

Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarına göre, en çok biokütle enerjisi ve hidrolik enerji kullanılmaktadır. Jeotermal enerji ise sınırlı kullanımı ile üçüncü sırada yer almaktadır. Ülkemizde güneş enerjisi kullanımı yaygınlığı düşük düzeyde iken, rüzgâr enerjisi kullanımı giderek artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları, Türkiye’de hem enerji probleminin çözümüne hem de yaşanabilir temiz bir çevreye sahip olunmasına katkı sağlamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının sektörlere göre ekonomik uygulanabilirliği yanı sıra uygulama yöntemleri bölgesel koşullara göre değişim göstermektedir. Sektörlerde etkin olarak kullanılabilecek yenilenebilir enerji kaynakları; güneş enerjisi, jeotermal enerji, biokütle enerjisi ve rüzgâr enerjisidir (Çakır M. T.,2010).

Her geçen gün artan enerji ihtiyacı büyük oranda fosil kökenli kaynaklardan elde edilmesi sera gazlarının atmosfere yayılarak iklim değişikliğine neden olması, yanı sıra fosil kaynakların mevcut rezerv kısıtı, doğayı kirletmeleri alternatif enerji kaynaklarına yönelmeye neden olmuştur. Böylece birçok ülke rüzgâr, jeotermal, biokütle ve deniz akıntıları gibi yeşil enerji olarak da adlandırılan yeni enerji kaynakları arayışındadır. Tüketilen enerjinin üretilmediği, toplam enerji talebinin yaklaşık dörtte üçü dışarıdan karşılanan Ülkemizde de son yıllarda rüzgâr enerjisi üretimi desteklenmektedir (Mert İ. ve ark, 2014).

Enerji ihtiyacı günbegün artmaktadır. Artan ancak yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanabilmektedir. Bu enerji kaynaklarının başında gelen rüzgâr enerjisi sıfır emisyon salınımıyla sürdürülebilir temiz enerji kaynaklarının başında gelmektedir (Azad A. K. ve ark, 2015).

Kömür, petrol ve doğalgaz gibi hidrokarbon kökenli yakıtlar bakımından ülkemizdeki rezervlerin yetersiz olması karşısında artan enerji talebine karşı enerji arzının maliyeti önem kazanmaktadır. Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı enerji üretiminde en büyük paya sahip olan alt sektör hidroelektrik olup, hidroelektrik dışında yenilenebilir enerji kaynakları arasında en büyük paya sahip olan rüzgâr enerjisidir ve rüzgâr enerjisinin yıllar içindeki payının artmaya devam etmesi öngörülmektedir (Köse B. ve ark, 2015).

2.1.1. Rüzgâr Gücünden Elektrik Çevrim Santrallerinde Elektrik Üretimi

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri de atmosferde serbest olarak dolaşan ve çevre kirliliği meydana getirmeyen rüzgâr enerjisidir (Kurban M. ve ark, 2007).

Rüzgâr türbinleri, rüzgâr enerji santrallerinin ana yapı elemanı olup hareket halindeki havanın kinetik enerjisini öncelikle mekanik enerjiye ve sonrasında elektrik enerjisine dönüştüren makinelerdir (<https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>).

Rüzgâr enerjisi, sonsuz yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Rüzgâr enerjisi ve rüzgâr enerji sistemlerinin gelişiminin incelendiği çalışmada, rüzgâr enerjisinin özellikleri, rotor yarıçapı, rüzgâr hızı ve rüzgâr gücü yoğunluğu ile beraber bir matematik işlem kullanılarak güç formülü bulunmuştur. Elde edilen güç formülü ile rotor çapı ve yörenin rüzgâr hızına göre elde edilebilecek maksimum güç hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçlarına göre, Ülkemizde Bandırma, Antalya, Kumköy, Sinop, Mardin, Gökçeada, Çorlu ve Çanakkale'nin yıllık ortalama rüzgâr gücü yoğunluğu ile rüzgâr enerji sistemleri için uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır (İlkılıç C. ,2003).

Ülkemiz rüzgâr enerjisi potansiyeli açısından oldukça zengin ve bu potansiyeli elektrik enerjisine dönüştürme teknolojisi açısından da oldukça yeterli bir seviyededir. Rüzgâr enerjisini elektrik enerjisine dönüştürebilmek için rüzgâr türbinleri kullanılmaktadır. Çalışmada, bir rüzgâr türbini için gerekli hesaplamalar, modelleme ve imalat aşamaları adım adım gerçekleştirilmiştir (Keleş D. ve ark, 2013).

2.2. Büyük Veri

2.2.1. Büyük Veri Analitiği

Veri analitiği literatürde daha çok 'büyük veri analitiği' olarak geçmektedir. Büyük veri, depolama, analiz ve ileri süreç ya da sonuçları

görselleştirme güçlükleri ile büyük, daha zengin ve karmaşık bir yapıya sahip bir terimdir. Büyük Veri Analitiği ise, gizli yapıları ve gizli korelasyonları ortaya çıkarmak için büyük miktardaki veriyi araştırma sürecidir. Büyük veri günümüzde, bilgi teknolojileri dünyasının büyük ilgisini çekmektedir. İnternet ve dijital ekonominin hızlı yükselişi veri depolama ve analizine olan talepte üstel büyüme ve bu artan hacimdeki bilginin analizi korunmasında bilgi teknolojisi bölümünün karşı karşıya kaldığı çok büyük mücadeleyi arttırmıştır. Büyük veri analitiği bu büyük hacimli bilgiden değeri çıkarma yoludur ve yeni pazar fırsatları ve müşteri tutmayı en yükseğe çıkarmaya yönlendirir. Bu çalışma, öncelikli olarak gelecekteki hacimleri tahmin etmeye ve daha iyi stratejik karar vermek için bir yol gösterebilecek büyük veri analitiği ile birlikte çalışacak çeşitli teknolojilere odaklanmaktadır. Bunun dışında çalışma, uyum, kullanım ve büyük veri analitiğinin Hadoop ve MapReduce gibi geniş veri setleri için veri algoritmaları kümesini kullanarak kendi rekabet avantajını arttırmak için işin girişim değerini incelemektedir (Zakir J. ve ark, 2015).

Yemen rüzgâr ve güneş enerjisi gibi çok iyi yenilenebilir enerji potansiyeline sahiptir. Rüzgâr enerjisi atmosferin en alt tabakasını kirleten fosil yakıtlara kıyasla alternatif temiz bir enerji kaynağıdır. Bu çalışmada, Güney Batı Yemende bulunan bir şehrin rüzgâr hızı verilerini analiz etmede istatistiksel yöntemler kullanılmıştır. Rüzgâr hızı, rüzgâr çevrim sistemlerinin tasarımı ve çalışmasında çok önemli bir parametredir. 1999'dan 2002'ye dört yıllık dönemdeki rüzgâr hızı verileri kullanılmıştır. Bu mevcut çalışmada, konumun rüzgâr enerjisi potansiyeli dört yıl boyunca ölçülen rüzgâr hızı verilerine dayalı olarak istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Olasılık dağılımları rüzgâr hızı verilerinden çıkarılmıştır ve onların dağılımlarına ait parametreleri tanımlanmıştır. İki olasılık yoğunluk fonksiyonu yıllık bazda ölçülen olasılık dağılımlarına uydurulmuştur. Konumun rüzgâr enerji potansiyeli Weibull ve Rayleigh modellerine dayalı olarak çalışılmıştır (Al Buhairi M. H.,2006).

Büyük veri uygulamaları analiz edilmeye ve mümkün olduğunca doğru uygulanmaya ihtiyaç duymaktadır. Bu çalışma, büyük veri içeriği, kapsamı, örnekleri, yöntemleri, avantajları ve zorluklarını ortaya koymaktadır (Sağıroğlu S. ve Sinanç D., 2013).

Rüzgâr enerji uygulamaları için veri analitiği yöntemlerinin ele alındığı çalışmada, rüzgâr uygulamaları ile ilgili nonparametrik veri analitiği yöntemleri ortaya koymuştur. Yöntemlerden biri yarı parametrik ve parametrik olmayan yaklaşımlardır. Çalışmanın sonucu, bu bahsi geçen veri analitiği yöntemlerinin rüzgâr endüstrisi için uygun olduğunu göstermiştir (Ding Y., 2015).

Büyük veri analitiği, çok büyük hacimli veriler ya da büyük verinin analiz yöntemini ifade etmektedir. Büyük veri çok geniş çeşitli kaynaklardan toplanmaktadır. Büyük veri analitiğinin en temel amacı, yeni yapıların ve onu ortaya çıkaran kullanıcılarla ilgili yeni görüşler ortaya koyabilen ve görülemeyen ilişkilerin keşfedilmesidir. Büyük veri madenciliği ve büyük veri analizi için profesyonel olan ve olmayan birçok mevcut araçlar vardır. Bu çalışmada da farklı büyük veri analitiği yöntem ve araçları ele alınmıştır (Hemlata and Preeti Gulia, 2016).

Şimdi, büyük veri çağındayız ve büyük veriyi işleyebilecek ve inceleyebilecek araçlar için artan bir talep mevcuttur. Büyük veri analitiği veri madenciliği araçları tarafından kullanılabilen karmaşık verilerden değerli bilgiyi çıkarmayla ilgilenir. Bu çalışma, gelişen veri akışları gibi büyük hacimli verileri işleyebilen mevcut araçları araştırmaktadır. Büyük veriyi işleyebilen ve de özetleyebilen veri madenciliği araçları ve algoritmaları ve bu araçlardan biri yaygın algoritmaları kullanan geniş veri setlerinin madenciliği için kullanılmaktadır (Hashmi A.S. ve Ahmad T. , 2016).

Son zamanlarda, büyük veri çok kullanılan bir kelime olmuştur. Bu durum araştırmacıları mevcut veri madenciliği tekniklerini genişletmek için yeni analitik tekniklerin geliştirilmesine yönlendirmektedir. Büyük veri analitiği teknikleri birçok alanda kullanılmaktadır. Çalışmada, yenilenebilir enerji çalışmaları alanında

uygulanan veri analitiği yaklaşımları incelenmiştir. Yenilenebilir enerji verileri özellikle rüzgâr enerjisine büyük veri analitiğinin uygulaması ile ilgili sınırlı çalışma bulunduğu görülmüş, bu nedenle rüzgâr enerjisi için daha fazla çalışma yapılması önerilmiştir (Fawzy D. ve ark, 2016).

Bu çalışmada, Statistica programı kullanılarak yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına yer verilmiştir. Analizin amacı atmosferik şartların rüzgâr çiftliklerinde üretilen güç üzerindeki etkilerini göstermektir. Çalışmada bu etkinin derecesi de belirlenmiştir. Analiz Polonya’da bulunan gerçek bir rüzgâr çiftliğinden alınan verilere dayalı olarak yapılmıştır. İstatistiksel analiz sonuçları, türbinin güç üretimini etkileyen ana hava şartının rüzgâr hızı olduğunu göstermiştir. Sıcaklık, hava basıncı ya da rüzgâr yönü analiz edilen diğer parametrelerin güç üretimi üzerinde fazla etkisi olmadığı sonucuna ulaşılmıştır (Latka M., Novak M., 2017).

Büyük veri ve analitiği birçok uygulamada karşılaşılan karmaşık bir yeniliktir. Rüzgâr enerji sistemlerindeki belirsizlik ve karmaşıklık göz önüne alındığında bu teknikleri kullanmak önemli ölçüde performans artırıcı ve rüzgâr enerji sistem maliyetlerini azaltıcı etki gösterecektir. Büyük veri analitiği teknikleri rüzgar tarlalarının (rüzgar enerjisinden elektrik üretim sistemi) performansını arttırmada ve maliyetlerini azaltmada oldukça önemli bir etkiye sahiptir (Bouqata B.,2017).

Yenilenebilir enerji verileri büyük veri analizinin yardımıyla doğru bir şekilde değerlendirilebilen sistem performansını geliştirmekte kullanılmaktadır. Akıllı veri tekniği ve yenilenebilir enerji gücündeki verilerin veri algoritması kullanılarak yapılan büyük veri analizi güç üretiminde oldukça faydalıdır. Çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarını yönetmede ve onlardan faydalanma ve güç üretim tesisini birleştirme için yeni bir veri toplama tekniği önerilmiştir (Priya S., 2017).

2.2.2. Büyük Veri Karmaşıklığı

Büyük veri karmaşıklığı ile ilgili bir çalışmada, büyük verideki tüm küme ve grupların hiyerarşik yapısına dayanan büyük veri karmaşıklığının derecesini belirlemek için yeni bir yöntem önerilmiştir. Büyük veri karmaşıklığının derecesini belirlemek için önerilen yeni yöntem hiyerarşik grup ve kümelerin ağaç yapısını kullanmaktadır. Grup ve kümelerin katman ve düzeyleri büyük verinin ağaç yapısını kullanarak belirlenmektedir. Gruplandırma düzeyi ağaç yapısındaki yaprakların en son seviyesi olarak tanımlanmaktadır. Kümeleme düzeyi ağaç yapısındaki yaprakların ilk seviyesi olarak tanımlanmaktadır. Büyük veri karmaşıklığı derecesi gruplama seviyesi ve kümeleme seviyesi arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır. Özetle bu çalışma, büyük veri karmaşıklığının derecesini belirlemek, büyük veri karmaşıklığının katmanlarını ve düzeylerini bulmak ve büyük veri karmaşıklığını görselleştirmek için yeni bir yöntem tanımlamaktadır (Erol H., Erol R. 2018).

2.2.3. Rüzgâr Gücü Enerji Potansiyeli için Veri Analizi

Rüzgâr gücü yoğunluğunun Weibull ve Rayleigh modellerine dayalı istatistiksel analizi ile ilgili çalışmada Türkiye'nin Akdeniz kıyısında bulunan İskenderun'un rüzgâr enerji potansiyeli ele alınmıştır. Bölgenin rüzgâr enerji potansiyeli için saatlik rüzgâr hızı verilerini içeren bir yıllık veri istatistiksel olarak analiz edilmiştir (Çelik A. N. , 2003).

Türkiye'nin doğusunda bulunan bir yer olan Elazığ ili Maden ilçesi için yapılan rüzgâr enerji potansiyeli belirlenmesi üzerine yapılan çalışmada, uzun dönem ortalama rüzgâr hızı verileri kullanılmıştır. Potansiyel belirlemede Weibull yoğunluk fonksiyonu kullanılmıştır. Sonuçlar, Elazığ-Maden'in rüzgar enerji potansiyeline sahip bir bölge olduğunu göstermiştir (Akpınar E. K., Akpınar S., 2004).

Rüzgâr enerji dönüşüm sistemlerinin tasarımı ve çalışmasında rüzgâr hızı en önemli parametredir. Çalışmada, Ülkemizin doğu bölgesindeki Elazığ-Keban'a

ait rüzgâr hızı verilerini analiz etmek için istatistiksel yöntemler kullanılmıştır. Saatlik ölçülen rüzgâr hızı verileri 1998-2002 yılları arasında 5 yıllık süre içinde Keban-Elazığ Devlet Meteoroloji istasyonundan toplanmıştır. Verilerden olasılık yoğunluk dağılımları elde edilmiş ve dağılım parametreleri tanımlanmıştır. Yerleşim yerinin rüzgâr gücü enerjisi potansiyeli için Weibull ve Rayleigh modelleri çalışılmış, Weibull dağılımı Rayleigh dağılımından daha uyumlu bulunmuştur (Kavak Akpınar, E. Akpınar, 2005).

Senegal gelişmekte olan ülkelerden biridir ve sürekli kendi tabii kaynaklarının tükenmesiyle ithal fosil yakıtlara bağımlılığıyla dengelenebilmektedir. Rüzgâr enerjisi çeşitli tüketiciler için kullanılabilen çevre dostu ve yenilenebilirdir. Rüzgâr enerjisi yönetiminin tam bilgisi herhangi bir rüzgâr enerji projesinin etkili planlanması ve hayata geçirilmesi için ön koşuldur. Bununla birlikte güvenilir ve doğru Senegal rüzgâr atlasının eksikliği nedeni ile Senegal'deki rüzgâr enerjisi üzerine ileri çalışmalar yapılması gereklidir. Çalışmanın asıl amacı Senegal'in Atlantik Okyanus'u boyunca kuzey kıyılarının rüzgâr enerjisi potansiyeli üzerine bir araştırma gerçekleştirmek ve sunmaktır. Bundan başka, bu çalışmada Senegal'in kuzey sahili boyunca rüzgâr enerji potansiyelini ortaya çıkarmak için Senegal'in bu bölgesindeki beş farklı yerde iki yıllık dönem boyunca rüzgâr verisi toplanmıştır. Veriler iki parametrelili Weibull olasılık dağılım fonksiyonu kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışma, Senegal'in gelecekteki rüzgâr atlasını ortaya çıkarmadaki boşluğa köprü kurmak için girişim ortaya koymuştur (Youm I. ve ark, 2005).

Çalışmada, iki parametrelili Weibull dağılımı kullanılarak rüzgâr enerjisi potansiyeli belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada 2005 yılına ait 4 aylık periyota ait rüzgâr hızı verileri kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda Eskişehir bölgesinin rüzgâr enerji potansiyelinin belirlenmesi için bir ön çalışma ortaya çıkarılmıştır (Kurban M. ve ark, 2007).

Türkiye'de bulunan 6 meteoroloji istasyonundan 2000-2006 yılları arasında alınan rüzgâr hızı verileri kullanılarak yapılan çalışmada söz konusu

istasyonlar için analizler yapılmıştır. Bu amaçla her bir istasyon için rüzgâr hızı dağılımı (Weibull) belirlenmiş ve dağılım parametreleri hesaplanmıştır. Araştırma çalışması ile Türkiye’deki altı yerin rüzgâr enerji potansiyeli araştırılmıştır. Bu yerlerinde 4 farklı türbin için yıllık enerji üretimi ve kapasite faktörü de hesaplanmıştır (Uçar A., Balo F., 2009).

Rüzgâr enerjisi ile elde edilen elektrik enerjisi potansiyellerinin tahmin edildiği bir çalışmada Türkiye’nin 4 iline (Mardin, Bilecik, Nevşehir, Niğde) ait rüzgâr hızı verileri kullanılarak istatistiksel analiz yapılmıştır. Bu amaçla, rüzgâr hız verilerine dayanarak uygun istatistiksel dağılım belirlenmiş ve rüzgâr hızlarını temsil eden dağılım yardımıyla seçilen yerlerdeki rüzgâr enerji potansiyelinin tahmini yapılmıştır (Yılmaz V. ve ark, 2013).

Çalışmada, Bangladeş’teki Hatiya Adası’nın rüzgâr enerji dönüşüm özelliklerinin ortaya çıkarılması için Weibull dağılımı kullanılarak rüzgâr hızı verileri için istatistiksel analiz yapılmıştır. Weibull dağılımının iki parametresi hesaplanmıştır. Analiz sonucuna göre, Hatiya Adası’nın aylık ortalama rüzgâr hızı nispeten yüksek hızlı (2.62’den 14.01 ms⁻¹e) bulunmuştur. Rüzgâr özelliklerinin analizi boyunca dağılım eğrisi Weibull Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu eğrisine uyduğunu göstermiştir. Hatiya’da bir yıl için toplam zamanın % 58’inden fazlasında rüzgar hızı 6.0 m/sn’in üzerinde olmuştur (Azada A. K ve ark, 2014).

Rüzgâr enerjisinden elektrik üretiminde, rüzgâr türbini parametrelerinin yanında, türbin kurulum alanındaki rüzgâr hızını temsil eden olasılık dağılımı da önemli rol oynamaktadır. Çalışmada, 2013 yılına ait rüzgâr hızı kullanılarak, Osmaniye’ deki rüzgâr enerjisi potansiyelinin istatistiksel analizi yapılmıştır. Potansiyel belirlemek için yapılan bu ön çalışmada Weibull ve Rayleigh dağılımları kullanılmıştır. Araştırmaya göre, Osmaniye’nin rüzgâr enerjisi potansiyelinin istatistiksel olarak elektrik enerjisi üretimi bakımından uygun olduğu görülmüştür (Kaplan, Y.A. ,2016).

Rüzgâr enerji potansiyeli değerlendirmesi için rüzgâr hızı verilerine uygun olasılık dağılımı bulunmalıdır. Bu çalışma kapsamında, Hindistan’ın çeşitli

yerlerinden alınan rüzgâr hızı verileri ilk olarak km/h cinsinden tamsayıya dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm sonrasında rüzgâr hızı verileri doğru bir şekilde Weibull dağılıma uydurulamamıştır ve bu noktada uygun grup seçiminin önemi ortaya çıkmaktadır. Uygun grup genişliği olmadan tahmin edilen kritik rüzgâr hızı alanı ile birlikte rüzgâr enerji potansiyelinde beklenen saat sayısının yanlış tahminini ortaya koyabilecek Weibull parametreleri yanı olacaktır. Uygun grup genişliği 4 km/h olarak alındıktan sonra elde edilen rüzgâr hızı verilerinin dağılımları için Weibull modeli uygun bulunmuştur. Çalışmada, Weibull modeli, Gamma ve Ters Weibull dağılımları gibi diğer modellerle de karşılaştırılmıştır (Sarkar A. ve ark, 2017).

2.3. Veri Modelleme

2.3.1. Regresyon Modelleri

Regresyon, bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasındaki ilişkiyi en iyi tanımlayan fonksiyonu elde etmek için uygulanan istatistiksel bir modeldir. Verinin özelliklerine göre doğrusal regresyon, çoklu doğrusal regresyon, lojistik regresyon gibi farklı regresyon modelleri mevcuttur. Bir bağımlı değişken ile tek bir bağımsız değişken arasındaki fonksiyonel ilişkinin belirlenmesinde doğrusal regresyon; tek bir bağımlı değişken ile birden fazla bağımsız değişken arasındaki fonksiyonel ilişkinin belirlenmesinde ise çoklu doğrusal regresyon kullanılır. Doğrusal regresyon ve çoklu doğrusal regresyon modellerinde bağımlı değişken süreklidir. Bağımlı değişkenin kategorik olması durumunda lojistik regresyon kullanılır (Kudyba S. ve Hoptroff, R, 2001).

Çalışmada, Doğu Anadolu bölgesinde bulunan Erzincan, Kars, Van illerindeki sıcaklık, nem, rüzgâr hızı, basınç gibi hava şartları ve rüzgâr gücü 10 yıllık bir periyotta (1994-2003) incelenmiş hava şartlarının modellenmesi için doğrusal regresyon analizi, yıllık ortalama rüzgâr gücü üzerinde sıcaklık, rölatif nem ve basıncın etkisinin modellenmesi için non-doğrusal regresyon yöntemi kullanılmıştır. İstatistiksel analiz sonuçlarına göre elde edilen modellerin sıcaklık,

rölatif nem, rüzgâr hızı, basınç gibi hava özelliklerini ve rüzgâr gücünü açıklamada yeterli olduğu görülmüştür. Geliştirilen bu modellerle, bu iller için gelecek yıllardaki hava şartlarının ve rüzgâr gücü tahmini değerlerinin bulunabileceği ve hava şartlarının çevre ve enerji üzerindeki etkilerinin açıklanabileceği sonucuna ulaşılmıştır (Kavak Akpınar, 2005).

Bu çalışmada, Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında İki Eylül Kampüsünde kurulu bulunan hibrit (güneş-rüzgâr) enerji üretim modelinde rüzgâr hızı, güneş ışıma şiddeti, izlenen saat verilerine dayalı olarak sistemin enerji üretip üretmeyeceği, Perseptron ve lojistik regresyon modelleri kullanılarak araştırılmıştır. Analizler sonucuna göre logit ve probit regresyon modellerinin, tüm veriler kullanıldığında enerji üretim durumunu yaklaşık %87 doğruluk derecesinde tahmin ettiği, test verisi kullanıldığında ise %88 oranında doğru sınıflandırma yaptığı görülmüştür (Kurban M. ve ark, 2007).

Meteoroloji uzmanlarının fırtına için değerlendirdiği iki faktör basınç ve rüzgâr hızıdır. Bu çalışma regresyon analizi ve non-reponse analizi, basınç, rüzgâr hızı ve sıcaklık arasındaki ilişki hakkında faydalı bilgi elde etmek için uygulanmıştır. Çalışmada non-response analizinin ilişkiyi tespit etmede regresyon analizine bir alternatif olabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bulgulara göre, mevsime bağlı olarak basınç, rüzgâr hızı ve sıcaklıkla ilişkili; sıcaklık, rüzgâr hızı ve basınçla ilgili ve rüzgâr hızı hem basınç hem de sıcaklıkla ilgilidir (R. D. Wooten, 2011).

Rüzgâr hızı, rüzgâr enerji dönüşüm sistemleri için en önemli parametredir. Bu çalışmanın amacı, rüzgâr gücü tesisi için rüzgâr gücü potansiyelini değerlendirmektir. İrlanda'daki Malin Head, Dublin Havaalanı, Belmullet ve Mullingar'ın rüzgâr enerjisi ve özellikleri toplanan yedi yıllık veriler kullanılarak çalışma yapılmıştır. Rüzgâr hızı iki parametrelili Weibull Dağılımının doğrusal regresyon modeli yaklaşımı kullanılarak analiz edilmiştir. İrlanda'daki aylık ortalama rüzgâr hızı verileri iki-parametrelili Weibull dağılımına uydurulmuştur.

Doğrusal regresyon modeli, veri setindeki veri noktasının yerini bulmayı kolaylaştırmaktadır (Jamdade S. G., Jamdade P. G. , 2012).

Rüzgâr hızından enerji üretilebilmesi için basınç ve sıcaklık verilerinin hızlı bir şekilde tahmin edilmesi önemlidir. Bu tahminler için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Çalışmada yer alan tasarım modeli için Uyarlanır Sinir Bulanık Sistemi (ANFIS) ve doğrusal çoklu regresyon analizi yöntemi kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda iki yöntemin farklı parametreler için başarılı sonuçlar ortaya çıkarılmıştır. Buna göre; doğrusal çoklu regresyon analizi yönteminin basınç tahmininde daha başarılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Minaz M. R. , 2013).

Elektrik üretimi tahmininde meteorolojik parametrelerin tahmin edilmesi oldukça önemli girdilerdir. Bu çalışmada, Hatay bölgesinde ölçülen basınç ve sıcaklık verilerine dayalı olarak oluşturulan istatistik veriler ile günlük maksimum, minimum ve ortalama rüzgâr hızı verileri çalışmada yer alan tasarım modeli için kullanılan Yapay Sinir Ağı (YSA) ve doğrusal çoklu regresyon analizi yöntemi kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Çoklu doğrusal regresyon modeli ile tahminde kullanılan bağımsız değişkenlerden tahmini etkileyen değişkenler elde edilerek sonuçlar tahmin edilmiştir (Bilgiç H. H. , 2016).

2.3.2. Karma Dağılım Modelleme

İncelenen karakteristiklerine göre, normal dağılıma sahip olmayan heterojen yapıdaki tek değişkenli veya çok değişkenli veri kümeleri için karma dağılım modelleri oldukça uygun ve güçlü bir istatistiksel modelleme aracıdır.

Karma dağılım modeliyle ilgili ilk çalışma Pearson (1894) tarafından gerçekleştirilmiştir. Pearson (1894) çalışmasında aynı coğrafik alanda yaşayan farklı yengeç türlerini modellemek için iki tek değişkenli normal dağılımın karmasını kullanmıştır. İki tek değişkenli normal dağılımın karmasındaki parametreleri, momentler yöntemini kullanarak tahmin etmiştir. Pearson (1894) tarafından yapılan bu çalışma ayrıca karma dağılımların genetik çalışmalarda kullanıldığı ilk çalışma olarak da kabul edilmektedir (Servi T., 2009).

Sonlu karma dağılım modellerinin zooloji, tıp, botanik, su ürünleri, ziraat, ekonomi, psikoloji, meteoroloji gibi çok değişik uygulama alanları vardır

Tez çalışmasının da uygulama alanı olduğu meteoroloji alanındaki karma dağılım modellemeyeyle ilgili bir çalışmada, rüzgâr hızı özelliklerinin daha doğru tahmini için rüzgâr hızı verileri ile uyumlu olasılık yoğunluk fonksiyonunun uygunluğu incelenmiştir. Analizde iki parametrelili Weibull rüzgâr hızı dağılımı (W-pdf) ve iki bileşenli karma Weibull dağılımı (WW-pdf) kullanılmıştır. İki-bileşenli karma Weibull dağılımının daha uygun olduğu sonucu çıkarılmıştır (Akdağ S.A. , 2010).

İki bileşenli karma Weibull dağılım modeline bir ya da iki konum parametresi eklenerek iki gelişmiş karma Weibull dağılım modeli önerildiği bu çalışmada, gelişmiş olan modellerden biri iki-parametrelili Weibull ve üç-parametrelili Weibull dağılım modelidir. Diğer gelişmiş model ise, iki bileşenli karma üç parametrelili Weibull dağılım modelidir. Önerilen iki gelişmiş modelin parametreleri Maximum Likelihood yöntemi ile tahmin edilmiştir. Deneyisel sonuçlar rüzgar hızı verilerinin analizinde önerilen karma Weibull modellerinin mevcut modellerden daha esnek olduğunu göstermiştir (Qin X., Zhang J-S., Yan X-D., 2012).

Rüzgâr enerji potansiyelinin değerlendirildiği bir çalışmada, Türkiye'nin batı bölgesinde bulunan üç istasyondaki potansiyeli değerlendirilmek için Weibull-Weibull, Gamma-Gamma karma dağılım modelleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, heterojen rüzgâr verileri için Weibull-Weibull ve Gamma-Gamma iki bileşenli karma dağılımlarının güç yoğunluğu tahmininde iki ya da üç parametrelili Weibull dağılımından daha iyi sonucuna ulaşılmıştır (Erişoğlu M. ve ark, 2013).

Rüzgâr hızı verileri genellikle bimodal dağılım eğilimindedirler. Klasik bir bileşenli olasılık yoğunluk fonksiyonları uygun değildir. Karma dağılımlar, rüzgâr hızı verilerini modellemede uygun bir alternatif sunmaktadır. Homojen karma dağılımlar rüzgâr enerjisi değerlendirmede heterojen karma modellere kıyasla daha az kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Kanada'nın kuzeyindeki rüzgâr hızı

verilerini modellemede homojen ve heterojen karma dağılımların potansiyelini araştırmaktır. Çalışmada toplamda 10 iki bileşenli karma dağılımlar arasında Gamma, Weibull, Gumbel ve Truncated Normal Dağılım değerlendirilmiştir. Karma dağılımların parametrelerinin tahmini En Küçük Kareler ve Maximum Likelihood yöntemleri ile yapılmıştır. Bu tahmin yöntemleriyle ilgili amaç fonksiyonlarının optimizasyonu karma dağılımlara daha çok uyarlanmış olan Genetik Algoritma ile uygulanmıştır. Çalışmanın uygulaması, büyük rüzgâr enerji üretim potansiyeline sahip Kanada'nın Quebec eyaleti kuzey bölgesinde yapılmış ve tek bileşenli dağılımlar model seçim kriterine dayalı olarak seçilmiş olan karma dağılımlarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, karma dağılımların klasik tek bileşenli dağılımlardan daha iyi uyum sağladığını göstermiştir (Ouarda T. B.M.J, Charron C., 2018).

2.4. Büyük Veri Madenciliği

Farklı yüksekliklerde rüzgâr hızının ölçümü zaman kaybettirici ve pahalı bir süreçtir. Bu nedenle, rüzgâr hızını tahmin etmede bu tekniklerin başarısı rüzgâr tarlası yatırımı için hızlı ve güvenilir karar vermede oldukça önemlidir. Bu çalışmada iki farklı yükseklikte rüzgâr enerjisi için potansiyele sahip olan Kütahya'nın yıllık rüzgâr hızı değerleri 10m ve 30 m iki ayrı yükseklik için 7 ayrı makine öğrenme yöntemiyle tahmin edilmiştir. Analiz sonuçları arasında karşılaştırma yapılmıştır. Sonuçlar, farklı yüksekliklerde rüzgâr hızı tahmini için Destek Vektör Makinası'nın (SVM-Support Vector Machine) başarılı bir teknik olduğunu göstermiştir (Türkan Y. S. ve ark, 2016).

Tam kısa vadeli uzun vadeli rüzgâr güç tahmini güvenlik ve elektrik şebekesinin sürdürülebilirliği için önemlidir. Bu çalışmada tek bir türbin için rüzgâr gücü tahmininin istatistiksel makine öğrenme teknikleri üzerine odaklanılmıştır. Çalışmadaki en önemli sonuç, tahminlerin en yüksek doğrulukla başarılmasıdır. Sonuç olarak, tahmin doğrusal regresyon, destek vektör regresyon gibi regresyon problemi olarak formüle edilmiştir. Tek bir türbin tahminleri analiz

edildiğinde Makine Öğrenme yaklaşımı kısa vadeli rüzgâr gücü tahmininde uygun sonuçlar ortaya koymuştur (Khondaker M. E. A. ve ark, 2018).

2.4.1. Büyük Veri Madenciliği ile Veri Modelleme

Hava durumu veri madenciliği çok büyük miktardaki meteorolojik veriler içindeki gizli yapıları bulmakla alakalı bir alandır. Böylece meteorolojik verilerden alınmış olan bilgi kullanışlı bilgiye dönüştürülebilir. Bu çalışmada meteorolojik veri madenciliği kullanılarak rüzgâr hızı hareketleri analiz edilmiştir. Veriler Gazze'deki meteoroloji istasyonundan elde edilen 2004 yılı ile Kasım 2006 yılı arasında kaydedilmiş olan günlük verilerdir. Veriler ön işleme tabi tutulduktan sonra veri madenciliği tekniklerinden ilişkilendirme kuralları, sınıflandırma, kümeleme ve uç değer analizleri uygulanmıştır. Bu uygulanan dört teknikten hava durumu verilerine en uygun olanı sınıflandırma tekniği, özellikle sinir ağlarıdır (El-Halees A.M., 2011).

Veri madenciliği ve uygulamaları son zamanlarda daha fazla ilgi görmektedir. Veri madenciliği alanında birçok yaklaşımlar, yöntemler ve algoritmalar geliştirilmiştir. Veri madenciliği teknikleri tanımlama ve ayrıştırma, sınıflandırma, kümeleme analizi, ilişkilendirme analizi, uç değer analizi ve gelişim analizi olarak sınıflandırılmıştır. Bu çalışmada, rüzgâr gücü tahmin teknikleri özellikleri ve farklı durumlardaki etkili sonuçları açısından incelenmiştir. Bunun yanı sıra literatüre dayalı bu çalışmanın asıl avantajı çok kısa vadeli, kısa vadeli, orta vadeli, uzun vadeli olarak belirlenmiş farklı zaman dilimleri için rüzgâr gücü tahminlerinde daha iyi performans gösterecek modellerdir. Adaptif Sinir Ağına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemi çok kısa vadeli rüzgâr gücü tahmininde, Yapay Sinir Ağı Modelleri kısa vadeli rüzgâr gücü tahmininde, çok katmanlı algılayıcılar orta vade ve uzun vadeli rüzgâr gücü tahminlerinde uygun ve etkili modeller olarak değerlendirilmiştir (Çolak İ. ve ark, 2012).

Rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından güç üretim tahmin probleminin araştırıldığı bu çalışmada, veri madenciliği yaklaşımı uygulamasına

yer verilmiştir. Çalışmada bu amaçla, önerilen rüzgâr hızı tahmin modeli kullanılmıştır. Model ANN MLP kullanılarak uygulanmıştır. Uygulamada İtalya'nın güneyinde bulunan rüzgâr tarlasından alınan gerçek veriler kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, normal olmayan hava koşulları da dâhil çok küçük hatalarla iyi bir rüzgâr tahmin performansı göstermiştir (Finamore A. R. ve ark, 2015).

Gerçek zamanlı rüzgâr hızı tahmini tarım, havacılık ve turizm gibi alanlarda oldukça önemlidir. İklim verileri hızlı bir şekilde arttığı için bu verileri elle analiz etmek zordur. Bu nedenle gözetimli ya da gözetimsiz öğrenme teknikleri gibi makine öğrenme çok miktardaki veriyi işleme ve değerli bilgiyi keşfetmek için kullanılmaktadır. Veri madenciliğinde tahmin edici modelleme iklim parametrelerini tahmin etmek için gereklidir. Çalışmada, J48, KNN, Sinir Ağları, SVM ve Doğrusal Regresyon gibi veri madenciliği tekniklerinden yararlanmak için bir öneride bulunulmuştur. Öneriye göre iklim veri seti girdi olarak alınarak alıştırma aşaması tamamlanmış ve veri madenciliği algoritmaları kullanılarak değişik modeller oluşturulmuştur. Son olarak, bağımlı değişkenle araştırma değişkeni arasındaki ilişkiyi modelleyen doğrusal regresyon kullanılarak sonlandırılmıştır. Öneri rüzgâr hızı tahmini ve tahmin hata oranını bulma ile sonuçlanmaktadır. Prototip uygulama Weka'da oluşturulmuştur. Sonuçta, iklim parametrelerinin tahmini ile ilgili tahmin edici modelin uygun olduğu ortaya çıkarılmıştır (Rasool S. N., Koca A., Qader K. H., 2017).

Aniden değişen hava şartları nedeni ile hava durumu tahmini Hindistan'daki çiftçiler için çok önemlidir. Çalışmada bu noktadan hareket edilerek hava durumunu tahmin etmek için sınıflandırma, kümeleme, karar ağacı ve de sinir ağları gibi veri madenciliği teknikleri kullanılması amaçlanmıştır. Hava durumu ile ilgili bilgi meteorolojik veri olarak da adlandırılmaktadır. Bu çalışmada, yağış, rüzgâr hızı, sıcaklık ve soğuk en yaygın olarak kullanılan hava durumu parametreleridir (Kalaiyarasi P.ve Kalaiselvi A., 2018).

2.5. Rüzgâr Enerjisi ile ilgili Yapılmış Tez Çalışmaları

Çizelge 2.1. Rüzgâr Enerjisi ile ilgili Tez Çalışmaları

Tez Türü	Konusu	Amaç
Y. Lisans / 2008	Rüzgâr enerjisi potansiyeli ve ekonomik analizinde <u>Weibull</u> Dağılımının kullanımı.	Çanakkale bölgesindeki rüzgâr enerjisi potansiyelinin saatlik ortalama rüzgâr şiddeti verileri kullanılarak <u>Weibull</u> Dağılımı ve Gerçek Zaman Serisi ile analiz yapılmıştır.
Doktora / 2006	Kütahya rüzgâr karakteristiğinin istatistiksel analiz ve elektrik üretimine uygulanabilirliği.	Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Merkez Kampüs alanı içerisinde bulunan bölgeye rüzgâr ölçüm istasyonu yerleştirilmiş ve buradan alınan veriler çeşitli istatistiksel yöntemlerle değerlendirilmiştir. Hesaplamalar ALWIN programı ile yapılmıştır.
Y. Lisans / 2007	Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesi.	Türkiye genelindeki 451 adet istasyondan 224 tanesinden alınan bir yıllık rüzgâr verileri kullanılarak istasyon bazlı bölgesel potansiyel değerlendirmeleri yapılmıştır.
Y. Lisans / 2010	Niğde ili yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli	Niğde ili için yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli değerlendirilmiştir. Rüzgâr enerjisi için bir yıllık veriler kullanılmıştır. <u>Weibull</u> dağılım parametreleri için iki yöntem karşılaştırılmıştır.
Y. Lisans / 2013	Afyonkarahisar ili yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli	Afyonkarahisar ili yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli incelenmiştir. Rüzgâr enerjisinin değerlendirilmesinde istatistiksel yaklaşımlar olan <u>Weibull</u> ve <u>Rayleigh</u> dağılımı parametreleri hesaplanıp ortalama güç yoğunluğu belirlenmiştir.
Y. Lisans / 2015	Muğla Bölgesi'nin rüzgâr potansiyelinin belirlenmesi ve rüzgâr enerjisi analizinin yapılması	Muğla Bölgesi'nin rüzgâr karakteristikleri ve rüzgâr enerjisi potansiyeli incelenmiştir. 2010 ve 2013 yıllarını kapsayan 10 m yükseklikten elde edilen rüzgâr verileri bölgedeki 4 farklı istasyon için alınmış ve bu veriler <u>Weibull</u> dağılım metodu ve <u>WAsP</u> rüzgâr analiz programı kullanılarak incelenmiştir. Değerlendirmeler sonucunda ilçelere uygun türbin seçimi yapılmıştır.
Y. Lisans / 2018	Türkiye'de rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmaların incelenmesi	Türkiye'nin rüzgâr enerjisi potansiyeli hakkında literatür çalışması yapılmıştır. Mersin ilinin Anamur ilçesi için 2016-2017 rüzgâr hızı verileri kullanılarak <u>Weibull</u> dağılımı ile rüzgâr enerjisi potansiyeli hesaplanmıştır.
Doktora / 2018	Rüzgâr enerjisi potansiyel analizinde karışım dağılımları temelli tekniklerin kullanılması	Rüzgâr şiddeti verilerinin modellenmesinde ve bir rüzgâr türbinin enerji üretiminin belirlenmesinde karışım dağılımlarının kullanılabilirliğinin ve başarısı analiz edilmiştir. Enerji analizleri <u>WAsP</u> yazılımı ile yapılmıştır.
Y. Lisans / 2019	Kırklareli Üniversitesi kayalı kampüsünün rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesi	Bölge verileri için uygun dağılım belirlenmiş, parametreleri hesaplanmış, bu sonuçlara göre aylık ortalama hız ve ortalama güç yoğunluğu değerleri hesaplanmıştır. Bölge için en uygun modele Karar verilmiş, seçilen rüzgâr türbini ile incelenen 8 aylık sürecin sonunda yaklaşık olarak 1,290 <u>MWh</u> elektrik enerjisi üretilebileceği hesaplanmıştır.



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

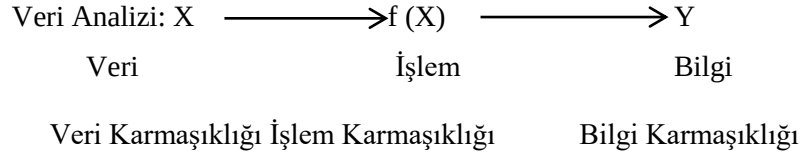
Çalışmanın verileri, aylık ortalama rüzgâr hızı verileri 2012-2016 yılları arasında 5 yıllık süre içinde Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Bu rüzgâr verileri, ortalama rüzgâr hızı, aylık hâkim rüzgâr yönleri, ortalama basınç ve ortalama sıcaklık değerlerinden oluşmaktadır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü 15 Bölge Müdürlüğü'nden oluşmaktadır. Bu bölge müdürlüklerine bağlı toplam 432 adet meteoroloji istasyonu mevcut olup çalışmada kullanılan veriler 418 meteoroloji istasyonundan alınmıştır. Bölgelere göre kullanılan verilerin ait olduğu istasyon sayıları sırasıyla; Akdeniz Bölgesi, 57, Doğu Anadolu Bölgesi, 60, Ege Bölgesi, 67, Güneydoğu Anadolu Bölgesi, 31, İç Anadolu Bölgesi, 82, Karadeniz Bölgesi, 64, Marmara Bölgesi 57'dir. Bu istasyonlardan temin edilen gözlem sayıları sırasıyla, 2012 yılı için 4824 gözlem, 2013 yılı için 4404 gözlem, 2014 yılı için 4584 gözlem, 2015 yılı için 4752 gözlem, 2016 yılı için 4824 gözlem olmak üzere toplam 22.788'dir.

3.2. Metot

3.2.1. Büyük Veri Analitiği

Büyük Veri "çoğunluğu yapılandırılmamış olan ve sonu gelmez bir şekilde birikmeye devam eden, geleneksel ilişki bazlı veri tabanı teknikleri yardımıyla çözülemeyecek kadar yapısalıktan uzak, çok çok büyük, çok ham ve üstel bir şekilde büyümekte olan veri setleri şeklinde tanımlanmaktadır. 2000'li yıllara kadar büyük veri: hacim anlamında büyük miktardaki verinin saklanması ve analiz edilmesi olarak tanımlanırken, 2000'li yıllardan sonra büyük veri hacim, hız ve veri çeşitliliği olarak üç bileşen ile karakterize edilmeye başlanmıştır. Büyük Verilerin üç temel özelliği vardır: verilerin kendisi, verilerin analizi ve analiz sonuçlarının sunumu (Durakşahin, 2017). Verilerin analizi, büyük veri analitiğinin

temelini oluşturmaktadır. Veri analizinin girdisi verinin kendisi, çıktısı da analiz sonuçları, yani, bilgidir.



Veri Analizinin işleyişi yukarıda yer alan diyagramda özetlenmiştir. Veri karmaşıklığı, verinin ilişkilendirilmesi; işlem karmaşıklığı, verinin şekillendirilmesi; bilgi karmaşıklığı, veriye anlam kazandırılmasıdır. Büyük Veri Analitiğinin girdisi veri, çıktısı da verinin bilgiye dönüştürülmesidir.

3.2.1.1. Büyük Veri Karmaşıklığı

Veri karmaşıklığı, verinin ilişkilendirilmesidir. İlişkilendirilen verilerin büyük veri olması durumunda büyük veri karmaşıklığı ortaya çıkmaktadır. Büyük veri karmaşıklığı verinin kendisi ve veride kullanılan hiyerarşi olarak değerlendirilebilir. Büyük veri karmaşıklığının hiyerarşik yapısı hiyerarşinin boyutu ve verideki iç içe geçmiş yapıları yansıtır. Büyük veri karmaşıklığı kolaylıkla anlaşılmayan oldukça karmaşık bilgi kümelerini içerir. Büyük veri karmaşıklığının derecesi sıklıkla içerdiği yapılandırılmamış veri tipi ve miktarı ile ilgilidir. Büyük veri karmaşıklığı, büyük verideki karşılıklı bağlantı derecesini ve yapıların karşılıklı birbirleriyle bağını ölçmektedir. Büyük veri karmaşıklığı, toplam veriye dayalı geleneksel hesaplama modelleri ile kıyaslandığında algısı, temsili, anlayışı ve hesaplaması daha zor hale gelir ve hesaplama karmaşıklığında keskin artışlarla sonuçlanır (Erol, 2018).

3.2.2. Büyük Veri Madenciliği

Veri madenciliği, büyük ölçekli veri yığınları içerisinde doğru ve nitelikli bilginin ortaya çıkarılmasıdır. Veri madenciliğinde gelecek ile ilgili tahminlerde bulunabilmek adına büyük veri yığınları arasındaki ilişkiler, kurallar, düzen ve düzensizlikler matematik ve istatistiksel yöntemler kullanılarak keşfedilmektedir. Karmaşık, çok net olmayan veriler anlamlı bilgilere dönüştürülmektedir. Büyük veri hacimleri ve çeşitliliği içinden anlamlı bilgiye ulaşma ihtiyacı veri madenciliğini oldukça önemli hale getirmektedir. Büyük hacimde veri olan her yerde veri madenciliği kullanılabilir. Veri madenciliğinin amacı, düşük düzeyde bilgi sağlayan veriden, yüksek düzeyde kıymetli bilgiyi açığa çıkarmaktır. Sınıflandırma ve tahmin, kümeleme analizi veri madenciliği yöntemleri arasındadır. Sınıflandırma ve Regresyon analizi veri madenciliğinde tahmin edici modellerdendir.

3.2.2.1. Kümeleme Analizi

Kümeleme, verileri küme içi benzerlik fazla, kümeler arası benzerlik az olacak şekilde gruplara ayırma işlemidir. Basit bir ifade ile benzer özellik gösteren veri elemanlarının kendi aralarında gruplara ayrılmasıdır. Kümeleme analizinin amacı, gruplanmamış verileri benzerliklerine göre sınıflandırmak ve araştırmacıya özet bilgiler elde etmede yardımcı olmaktır (Akın, 2008). Verilerin modellenmesinde kümeleme analizinin çok önemli bir yeri vardır. Verilerin kendi aralarındaki benzerlikleri göz önüne alınarak gruplandırma yapılır. Burada benzerlikten kast edilen veriler arasındaki mesafe, uzaklıktır (Babaoğlu, 2015). Kümeleme analizi, tahmin edici modellerin aksine analiz edilen verilerin özelliklerini incelemek için kullanılan tanımlayıcı modellerdendir (Gökalp, 2014). Veri madenciliği amaçlarından olan kümeleme, istatistiksel veri analizi, nesneleri tanıma gibi birçok alanda çoğunlukla tercih edilmektedir. Kümeleme algoritmaları veri madenciliği alanında, veri tabanlarındaki verilerin gruplar veya kümeler

altında toplanarak, benzer özelliklere sahip olan nesnelerin bir araya gelmesini sağlaması açısından oldukça büyük bir öneme sahiptir.

3.2.2.1.(1). Post-Ad-Hoc Testi

Test yönlü Anova testi ile gruplardan en az bir tanesinin farklı olduğu belirlendikten sonra hangi grubun diğerinden farklı olduğunu belirlemek için tamamlayıcı hesaplamaların kullanılması gereklidir. Bu tekniklere post-ad hoc teknikleri adı verilir. Çok sayıda post-ad hoc testi vardır. Bu testlerden hangisinin kullanılacağına varyansların eşit olup olmamasına göre karar verilir. Student – Newman Keuls, Tukey HSD, Duncan ve Scheffe varyansların eşit olması durumunda seçilebilecek post-ad hoc test istatistikleridir.

Student – Newman Keuls ve Duncan yöntemleri sıralı testleri içermektedir. Grup ortalamalarını en düşükten en yükseğe sıraladıktan sonra, iki en uç ortalama bunlar daha büyük bir ortalama kümesinden alınan uç değerler olduğundan düzeltilmiş bir kritik değer kullanarak belirgin bir fark için test edilir. Bu ortalamaların önemli ölçüde farklı olmadığı bulunursa test durur. Farklılarsa, test, sıradaki en uç kümeyle devam eder.

Çoklu aralık testlerinden olan SNK (Student – Newman Keuls), gruplar için homojen alt setler oluşturan ve örneklem sayısının harmonik ortalamasını ele alan bir post-ad hoc istatistiğidir (Ferguson, 1981). SNK’da gruplardaki örneklem sayılarının eşit olmaması durumunda I. tip hata garanti altına alınamamaktadır.

Tukey HSD (Honestly Significant Difference) testi yanlış pozitif oranını denetlemektedir. Örneğin 0,05 düzeyinde test yapılıyorsa, bu, tüm çift olarak karşılaştırmaları yaparken bir veya daha fazla yanlış pozitif elde etme olasılığının 0,05 olduğu anlamına gelmektedir. Tukey HSD testi için gruplardaki örneklem sayılarının eşit olması gerekmektedir.

Scheffe testi de hata oranını denetlemektedir. Test, yalnızca çift olarak karşılaştırmalar için değil, aynı zamanda belirlenen her türlü olası karşılaştırmalar

için de düzeltme yapmaktadır. Scheffe testi, gruplar arasında mümkün olan bütün doğrusal kombinasyonların karşılaştırması için geliştirilmiş olup; bu test genel olarak, en esnek ve karşılaştırılacak grup sayılarının çok olması durumunda α hata payını kontrol altında tutabilen (conservative) ve gruplardaki gözlem sayılarının eşit olması varsayımını dikkate almayan bir post-ad hoc türüdür (Scheffe, 1959).

Duncan, SNK'ya benzeyen ancak kendine has özel bir tablo kullanan çoklu aralık testidir. Duncan'ın SNK'ya göre daha tutarlı sonuçlar ürettiği kabul edilmektedir (Duncan, 1955). Duncan testinin SNK'dan daha tutarlı sonuçlar üretmesi, Duncan testinin belirlemiş olduğu anlamlılık düzeyine (α) bağlıdır. Çünkü; SNK'daki α değeri 0,05 ya da 0,01 iken ($k=2, 3, \dots, k$ için), bu durum Duncan'da anlamlılık düzeyi (α), " $1-(1-\alpha)^{k-1}$ " olarak hesaplanmaktadır. Yani, SNK karşılaştırılacak grup sayısını dikkate almadan, anlamlılık düzeyini, standart olarak ya 0,05 ya da 0,01 olarak ele almaktadır. Ancak, Duncan, sahip olduğu matematiksel model sayesinde, grup sayısını dikkate alarak bir α değeri üretmektedir. Burada, grup sayısına bağlı olarak α değeri 0,02, 0,03 gibi değerler alabilmektedir. Bu da, bir anlamda Duncan'ın dinamik bir α değeri ekseninde daha gerçek değerler üretebileceğinin bir göstergesi olarak kabul edilebilir (Duncan, 1957).

3.2.2.1.(2). EM Kümeleme Algoritması

EM algoritması genellikle veri madenciliğindeki kümeleme analizi kavramı altında incelenen model tabanlı kümeleme algoritmalarındandır. EM algoritması, olasılığa dayalı model oluşturmakta, küme sayısını ve her kümenin farklı olasılık dağılımlarını yöneten parametreleri tahmine dayalı şekilde belirlemektedir. EM algoritması temelde Beklenti (expectation) ve Maksimizasyon (maximization) olmak üzere iki adımdan oluşan tekrarlı (iteratif) bir algoritmadır. İlk beklenti adımında sözde rastgele sayıları, sonraki beklenti adımlarında da gözlenen verileri kullanılarak, parametre değerleri tahmin edilir ve beklenen

logaritmik olasılık fonksiyonu oluşturulur. Maksimizasyon adımında, ortalama ve varyans kullanılarak beklenti adımında oluşturulan fonksiyonun parametrelerinin maksimizasyonu yapılır. Bulunan beklenen fonksiyon ile önceki parametrelerin fonksiyonları karşılaştırılır. Eğer; fark var ise, hesaplanan parametre ile önceki parametreler yer değiştirilerek yeniden hesaplanır. Fark yoksa algoritma sonlandırılır (Yiğidim, 2012).

3.2.2.2. Sınıflandırma Analizi

Sınıflandırma, veri kümesi (data set) üzerinde tanımlı olan çeşitli sınıflar arasında verinin dağıtılmasıdır. Sınıflandırma algoritmaları, verilen eğitim kümesinden bu dağılım şeklini öğrenerek ve daha sonra sınıfının belirli olmadığı test verileri geldiğinde doğru şekilde sınıflandırmaya çalışmaktadır. Sınıflandırma, tahmin edici bir yöntemdir.

Veri kümesi üzerinde verilen bu sınıfları belirten değerlere etiket (label) ismi verilir ve gerek eğitim, gerekse test sırasında verinin sınıfının belirlenmesi için kullanılmaktadır. Sınıflandırma amacı ile çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir.

3.2.2.2.(1). Random Tree Sınıflandırma Algoritması

Random tree, stokastik süreçle oluşan bir karar ağacıdır. Standart bir karar ağacında her bir düğüm, tüm özellikler arasında en iyi bölme (split) kullanılan bölmedir. Bir random tree’de her bir düğüm, o düğümde rastgele seçilen özelliklerin alt kümesi arasında en iyisi kullanılarak bölünmektedir. Rastgele Ağaç algoritmasının, sınıflandırma için sınıf olasılıklarını tahmin etme seçeneği bulunmaktadır. Bu algoritma hem sınıflandırma hem de regresyon problemlerinde kullanılır (Kiranmai ve Laxmi,2018).

Sınıflandırma analizi test istatistikleri; Kappa istatistiği, Ortalama Mutlak Hata, Ortalama mutlak hata, Kök ortalama kare hatası, Bağlı mutlak hata ve Kök bağlı kare hatası değerleri hesaplanmaktadır.

Kappa İstatistiği: İki veya daha fazla gözlemci arasındaki uyumun güvenilirliğini ölçen bir istatistik değeridir. Uyumun değerlendirildiği değişken kategorik (nominal) değişken olduğu için uygulanan istatistik parametrik olmayan istatistik türüdür. Kappa testi, gözlemciler arasındaki uyumun şans eseri olabileceğini de dikkate aldığı için, iki gözlemci arasındaki yüzde orantı olarak bulunan uyumdan daha güçlü bir sonuç verdiği kabul edilir.

Bağıl Mutlak Hata (RAE): Ortalama mutlak hata değerinde hesaplanan fark değerlerinin, gerçek değerlerle, gerçek değerlerin ortalamaları arasındaki farkın toplamına bölünmesi ile hesaplanan hata değeridir.

Kök Bağıl Kare Hatası (RRSE): Bağıl mutlak hata değerinde hesaplanan fark değerlerinin karelerinin toplamlarının birbirlerine bölünerek kareköklerinin alınması ile hesaplanan hata değeridir.

Sınıflandırma algoritmalarında sınıflara göre ayrıntılı doğruluk oranları; TP Rate, FP Rate, Precision, Recall, F-Measure, MCC, ROC Area, PRC Area değerleri ile performans değerlendirmesi yapılmaktadır.

TP (True Positive) Rate: Sınıflandırma analizinin ne kadar gerçek pozitif değeri doğru tahmin ettiğinin bir ölçüsüdür.

FP (False Positive) Rate: Gerçek değeri 0 olmasına karşın 1 olarak tahmin edilenlerin oranıdır.

Precision: Hassasiyet değerleri

Recall: Gerçek olumlu oran

F-Measure: Gerçek olumlu oranın (recall) ve hassasiyetin ağırlıklı ortalamasıdır.

MCC: Matthews korelasyon katsayısı (MCC) veya phi katsayısı, makine öğreniminde ikili (iki sınıflı) sınıflandırmaların kalitesinin bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Korelasyon katsayısına benzer şekilde MCC değerlerinin aralığı

(-1) ile (+1) arasındadır. (+1) puanlı bir model mükemmel bir modeldir ve (-1) kötü bir modeldir.

ROC Area: ROC eğrisi altında kalan alandır. ROC eğrisi, sınıflandırıcının tüm olası değerler üzerinde performansını özetlemek için kullanılan bir grafikdir. Bir parametrenin iki sınıf arasında ne kadar iyi ayırt edilebileceğinin bir ölçüsüdür.

PRC Area: ROC eğrisinin altında kalan alandır. Roc eğrisine bakılarak model performansı hakkında genel bir değerlendirme yapılabilir. Model performans ölçütlerindendir.

Sınıflandırma algoritmalarında kullanılan ölçüm araçlarından biri de Karışıklık Matrisi (Confusion Matrix)'dir.

Karışıklık Matrisi: Gerçek değerlerin bilinmekte olduğu bir dizi test verisi üzerinde, bir sınıflandırma modelinin performansını tanımlamak için sıklıkla kullanılan bir tablodur. Ölçümün doğruluğu hakkında anlaşılması kolay bilgiler sağladığı için özellikle sınıflandırma algoritmalarında kullanılmaktadır.

3.2.2.3. Doğrusal Regresyon Analizi

İki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiye denir. Bu ilişkinin düzeyini, kapsamını ölçme işine de regresyon analizi denir. Parametreler arasındaki ilişkiyi fonksiyon olarak elde etmek gerekir. Parametreler birbirinden bağımlı veya bağımsız olabilir. Doğrusal regresyonun amacı parametreler arasındaki ilişkinin fonksiyonunu elde etmektir. En basit makine öğrenme modelidir. Regresyon analizi değişkenler arasındaki neden-sonuç ilişkisinin bulunmasını sağlayan bir analiz yöntemidir. Doğrusal regresyon formülü (3.1)'de gösterilmiştir.

Doğrusal regresyon modeli,

$$y = b_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_kx_k \quad (3.1)$$

şeklinde. Formülde; y : bağımlı değişken, b_0 : regresyon sabiti, a_k : ağırlık katsayısı, x_k : bağımsız değişken'dir.

3.2.3. Weibull Dağılımı

Uygulamada bir bölgenin rüzgâr enerjisini belirlemek için değişik yöntemler mevcuttur. Belirli bir bölgenin potansiyelini belirlemek için, eğer mümkünse rüzgâr hızı dağılımı ölçümü veya frekans dağılımı kullanılır. Değilse, rüzgâr hız dağılımı diğer analitik dağılım fonksiyonları ile gösterilebilir. Bu fonksiyonlardan birisi de, Weibull dağılım fonksiyonudur. Bu dağılım oldukça esnek ve basit olmasının yanı sıra gerçek verilerle uyum sağlamaktadır. Bir diğer ifadeyle, Weibull dağılımı rüzgâr hızı verilerine uygun olduğundan, rüzgâr enerjisi analizlerinde genel olarak kabul görmektedir (Kaplan, 2016). Rüzgâr enerjisi potansiyelin hesaplanmasında şekil parametresine göre esneklik sağladığı için en sıklıkla tercih edilmektedir. Dağılım, 1930'lu yıllarda İsveçli fizikçi Waloddi Weibull tarafından bulunmuştur. İki parametrelili Weibull dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu (3.2)

$$f(x; \alpha, \beta) = \left(\frac{\beta}{\alpha}\right) \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left\{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta}\right\}, x>0, \alpha>0, \beta>0 \quad (3.2)$$

Burada $f(x; \alpha, \beta)$ olasılık yoğunluk fonksiyonu α ve β sırasıyla dağılımın ölçek ve şekil parametreleridir.

Ortalama rüzgâr hızı ve enerji potansiyelinin belirlenmesi için öncelikle Weibull parametreleri α ve β 'nin bulunması gereklidir. Bu parametrelerin bulunması için çeşitli parametre tahmin yöntemleri vardır. Bunlardan en çok kullanılan ve en iyi tahmin sonucunu veren yöntem Maksimum Olabilirlik (Maximum Likelihood Estimation – MLE) Tahmini'dir.

3.2.3.1. Maksimum Olabilirlik Tahmini

En çok olabilirlik yöntemi, ilk kez Edgeworth tarafından 1908 yılında kullanılmıştır. Daha sonra, Fisher'in 1921 yılında, genel formülü bulmasıyla en çok olabilirlik yöntemi, daha da önem kazanmıştır. Bu formül, en çok olabilirlik yöntemi ile bulunan tahmin edicinin varyansı için genel formüldür.

En Çok Olabilirlik Tahmin Edicisinin Bazı Özellikleri:

1. En çok olabilirlik tahmini, her zaman türev almak suretiyle elde edilmeyebilir,
2. Bir parametre için birden fazla en çok olabilirlik tahmini olabilir,
3. En çok olabilirlik tahmini, yansız olabilir ya da olmayabilir,
4. Genellikle yeterli istatistiğin bir fonksiyonudur.

MLE, bir modelin parametrelerini tahmin etme yöntemidir. Bu tahmin yöntemi en yaygın kullanılanlardan biridir. MLE yöntemi olabilirlik fonksiyonunu maksimize eden model parametre değerlerinin kümesini seçer. MLE birleşik bir yaklaşım ortaya koyar.

Gözlenmiş serinin gerçekleşmesi durumunda olabilirliği en yüksek seri değerleri elde edilmiş olur. Gözlenmiş her bir değer olasılık yoğunluk fonksiyonu yazılır ve hepsi birbiri ile çarpılırsa bu işlemin sonucu bu serinin olabilme ihtimalini verir. Serinin olabilirlik fonksiyonunu maksimum yapan parametre değerleri bu dağılımda örnek seriye en uygun parametreler olacaktır. Olabilirlik fonksiyonunun maksimumları ile logaritması alınmış olabilirlik fonksiyonun maksimumları aynı değerlerden meydana gelmektedir. O halde; çarpımın türevini almak yerine aşağıda verilen toplamlar fonksiyonu olan Log(o.y.f.)'un türevini almak daha uygun olur.

$$\text{Log (o.y.f.)} = \sum_{i=1}^N f(x_i, a, b, c, \dots) \quad (3.3)$$

Eşitliğin her bir parametreye göre türevi alınır ve sıfıra eşitlenir. Yani parametre adedi kadar denklem elde edilmiş olur. Sistemdeki denklemlerin hepsini sıfır yapan parametre değerleri maksimum olabilirlik yöntemine göre tahminler olur.

Tutarlı tahmin ediciler grubunda etkin bir tahmin edici varsa, MLE onu oluşturur. Belli düzenleyici koşullar altında, MLE asimptotik olarak normal dağılım olabilir (bu esas itibarıyla Merkezi Limit Teoreminin bir uygulamasından gelmektedir). MLE sapmalı olabilir. Genellikle hesaplanması zordur. İlgili dağılım ile ilgili yanlış varsayımlara karşı çok hassas olabilir.

3.2.3.1.(1). İki Parametrelili Weibull Maksimum Olabilirlik Tahmini

$x_1, x_2, \dots, x_n$ veri kümesini iki parametrelili Weibull (α, β) ile modelleyelim (Açıkgöz, 2007).

Olabilirlik fonksiyonu;

$$L(\alpha, \beta) = \prod_{i=1}^n f(x_i; \alpha, \beta) \quad (3.4)$$

$$L(\alpha, \beta) = \prod_{i=1}^n \left(\frac{\beta}{\alpha}\right) \left(\frac{x_i}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x_i}{\alpha}\right)^\beta} \quad (3.5)$$

$$L(\alpha, \beta) = \left(\frac{\beta}{\alpha}\right)^n \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{n(\beta-1)} \left[\prod_{i=1}^n x_i^{\beta-1}\right] e^{-\sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{\alpha}\right)^\beta} \quad (3.6)$$

Amacımız $L(\alpha, \beta)$ 'yı maksimum yapan α ve β değerlerini bulmaktır. Bunlar α ve β 'nın maksimum olabilirlik tahmin edicilerini verecektir.

$\hat{\alpha}_{ML}$ ve $\hat{\beta}_{ML}$, elde edilen örneklemin en yüksek olabilirlik elde edilmesini temin edecek parametre değerleridir.

Matematiksel olarak L fonksiyonu ile $\ln L$ fonksiyonu aynı noktada maksimize edilir. Dolayısıyla işlem kolaylığı açısından çoğu zaman $\ln L$ (log-olabilirlik denir) ile çalışılır.

$$\ln L(\alpha, \beta) = \ln(\alpha, \beta) = n \ln \left(\frac{\beta}{\alpha} \right) + n(\beta - 1) \ln \left(\frac{1}{\alpha} \right) + (\beta - 1) \sum_{i=1}^n \ln x_i - \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{\alpha} \right)^\beta \quad (3.7)$$

$$\frac{\partial l}{\partial \alpha} = n \left(\frac{-1}{\alpha} \right) + n(\beta - 1)(-1) \frac{1}{\alpha} - \sum_{i=1}^n x_i^\beta (-\beta) \alpha^{-\beta-1} = 0 \quad (3.8)$$

$$\frac{\partial l}{\partial \beta} = n \left(\frac{1}{\beta} \right) + n \ln \left(\frac{1}{\alpha} \right) + \sum_{i=1}^n \ln x_i - \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{\alpha} \right)^\beta \ln \left(\frac{x_i}{\alpha} \right) = 0 \quad (3.9)$$

$\frac{\partial l}{\partial \alpha} = 0$ ve $\frac{\partial l}{\partial \beta} = 0$ olabilirlik kestirim denklemleridir. Ve eş zamanlı çözümlenmelidir.

$$\frac{\partial l}{\partial \alpha} = 0 \text{ ise; } -n - n(\beta - 1) + \beta \sum_{i=1}^n x_i^\beta \frac{1}{\alpha^\beta} = 0$$

$$\beta \frac{1}{\alpha^\beta} \sum_{i=1}^n x_i^\beta = n + n(\beta - 1)$$

$$\frac{1}{\alpha^\beta} = \frac{n + n(\beta - 1)}{\beta \sum_{i=1}^n x_i^\beta}$$

$$\alpha^\beta = \frac{\beta \sum_{i=1}^n x_i^\beta}{n\beta}$$

$$\widehat{\alpha}_{ML} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n x_i^{\widehat{\beta}_{ML}}}{n} \right]^{1/\widehat{\beta}_{ML}} \quad (3.10)$$

$\frac{\partial l}{\partial \beta} = 0$ denklem çözümü açık değildir. Dolayısıyla nümerik yöntemler Newton – Raphson vb.) kullanılmalıdır.

Maksimum Olabilirlik Tahmin Adımları:

1. $\hat{\beta}_{ML}^{(0)}$ Başlangıç değeri seç.
2. $\hat{\alpha}_{ML}$ 'de yerine koy ve $\hat{\alpha}_{ML}^{(1)}$ 'yi hesapla.
3. $\frac{\partial l}{\partial \beta} = 0$ denklemde $\hat{\alpha}_{ML}^{(1)}$ 'yi yerine koy ve tek boyutlu optimizasyon problemini β için çöz ve $\hat{\beta}_{ML}^{(1)}$ 'yi bul.
4. Döngüyü devam ettir.

Başlangıç Değer Seçimi:

1. Verinin histogramını çizdir.
2. Histogram üzerinde $(\alpha^\alpha, \beta^\alpha)$ olasılık yoğunluk fonksiyon grafiklerini sırasıyla çizdir.
3. 2. Adımı, grafik, histogram üzerini örtene kadar tekrarla.
4. Ondan sonra, $\hat{\beta}^{(0)}$, başlangıç değeri olarak alabilirsin.

3.2.4. Karma Dağılım Modelleme

Birçok istatistiksel modelde gözlem değerlerinin tek bir dağılımdan geldiği varsayılır. Aslında mevcut veri seti tek bir dağılım yerine farklı dağılımlara sahip kaynaktan gelmiş olabilir. Bu durumda veri seti tek bir (single) dağılım modeli yerine karma dağılım modeli kullanılarak temsil edilmelidir. Birden fazla dağılımın bir araya gelerek oluşturduğu karma dağılımlar verilerin değişim gösterdiği ve bir kaynaktan gelmediği durumları analiz etmede çok başarılıdırlar. Karma dağılım modelleri literatürde çoğunlukla ‘sonlu karma dağılım modelleri’ olarak adlandırılmaktadır. Sonlu karma dağılım modelleri heterojen verileri modellemede

kullanılmaktadır. O nedenle karma dağılımının varlığından söz edebilmek için öncelikle verilerin heterojen veri olduğu belirlenmelidir. Karma dağılım modelleri bileşenlerden oluşmaktadır. Tüm bunlardan yola çıkarak kısaca, iki ya da daha fazla bileşenden oluşan, örnek alınan verilerin içerdiği daha fazla özelliğe uyabilen dağılımlar, karma dağılımlar olarak adlandırılır. Pratikte karma dağılım modelleri geniş uygulama alanlarına sahiptir.

Karma dağılım modelleri birçok alanda rastgele durumlar içeren doğal olayların farklı özellikleri hakkında toplanan ölçüm değerlerine istatistiksel olarak model oluşturmada matematiksel bir yaklaşım sağlamaktadırlar. Bu nedenlerden dolayı karma dağılım modellerinin hem teorik hem de uygulamalı birçok çalışma alanında önemi günden güne artmaktadır. Karma dağılım modelleri; biyoloji, genetik, tıp, psikiyatri, astronomi, ekonomi, mühendislik ve pazarlama alanlarında başarıyla uygulanmaktadır.

Karma dağılımların genel gösterimi;

$$f(y) = \sum_{i=1}^g \pi_i f_i(y; \theta_i) \quad (3.11)$$

$$\sum_{i=1}^g \pi_i = 1 \quad (3.12)$$

Şeklinde dir. Burada; f_i karma modeli oluşturan bileşenlerin yoğunluk fonksiyonları, π_i karma oranı ya da katsayısıdır. π_i karma oranının toplamı 1'den büyük olamaz. Burada g ise bileşen sayısını ifade etmektedir.

Buna göre sonlu karma dağılımlarda 3 tip parametre bulunmaktadır. Birincisi bileşen sayısını belirleyen parametredir. İkincisi, bileşenlerin karma dağılımda katkılarını yansıtan karma oranlarıdır. Üçüncü tip parametreler bileşen dağılımlarının kendi parametreleridir. Bu üç tip parametreden bileşen sayısını gösteren parametresi genellikle bilinmektedir ve bununla ilgili istatistiksel sonuç çıkarımda bulunulmamaktadır. Bazı durumlarda bileşen sayısı ile birlikte karma

oranları da bilinmektedir. Bu durumda istatistiksel sonuç çıkarım bileşen dağılımların parametreleri üzerinde yapılmaktadır.

Karma dağılım modellerinde modelin derecesi ya da bileşen sayısı g belirlendikten sonra her bir bileşene ait parametrelerin tahminini yapmak gerekir. Bu parametreler her bir bileşen için karma oranlarını ve her bir bileşen olasılık yoğunluk fonksiyonundaki parametrelerin tahminlerini içermektedir.

3.2.4.1. Weibull Karma Dağılım Modelleri

Bir boyutlu k bileşenli Weibull karma dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu:

$$f_i(x; \beta_i, \pi_i) = \sum_{i=1}^k \frac{\pi_i x^{\pi_i-1}}{\beta_i^{\pi_i}} \exp\left\{-\left(\frac{x}{\beta_i}\right)^{\pi_i}\right\} \quad x>0, \beta_i>0, \pi_i>0 \quad (3.13)$$

şeklindedir (Açıkgöz, 2007).

3.2.5. SWOT Analizi

SWOT analizi, karar ortamını iç ve dış faktörleri göz önünde bulundurarak analiz edebilen ve yaygın olarak kullanılan bir karar analizi yöntemidir. SWOT analizi; incelenen kuruluşun, tekniğin, sürecin veya durumun güçlü ve zayıf yönlerini belirlemekte ve dış çevreden kaynaklanan fırsat ve tehditleri saptamakta kullanılan bir tekniktir. SWOT, Strength (güç), Weakness (zayıflık), Opportunity (fırsat) ve Threat (tehdit) İngilizce kelimelerinin baş harflerinden oluşturulmuş bir kısaltmadır. SWOT analizinin elemanlarından olan güçlü yönler; organizasyonları diğerlerinden ayıran, avantaj sağlayan özelliklerdir. Zayıf yönler; organizasyonların rakiplerine göre daha az verimli olduğu yönleri ve faaliyetleri vurgulamaktadır. Fırsatlar; çevrenin organizasyonlara sunduğu ve amaçlarını başarıyla gerçekleştirebilmesi için gerekli elverişli herhangi bir durumu; tehditler ise organizasyonların amaçlarını gerçekleştirmesini zorlaştıran veya imkânsız hale

getiren durumları ifade etmektedir. SWOT analizi, sistem anlayışı bakış açısıyla, güçlü, zayıf, fırsat ve tehdit yönleriyle bütünsel bir değerlendirme sağlamaktadır (Demirtaş, 2013).

3.2.6. Elektrik Enerji Üretimi

Doğada hiçbir enerji yoktan var olmaz, var olan enerji de yok olamaz. Ancak bu enerjiler birbirine dönüştürülür. Buna enerjinin korunumu kanunu denir. Birbirine dönüştürülen bu enerjiler özellikle elektrik enerjisine dönüştürülür. Elektrik enerjisi üretmek için çeşitli enerji kaynakları kullanılmaktadır. Termik kaynaklar, hidrolik kaynaklar, nükleer kaynaklar, rüzgâr, güneş, jeotermal gibi diğer kaynaklar elektrik enerjisine dönüştürülebilen enerji kaynaklarıdır (Elektrik-Elektronik Teknolojisi, Enerji Üretimi, 2011).

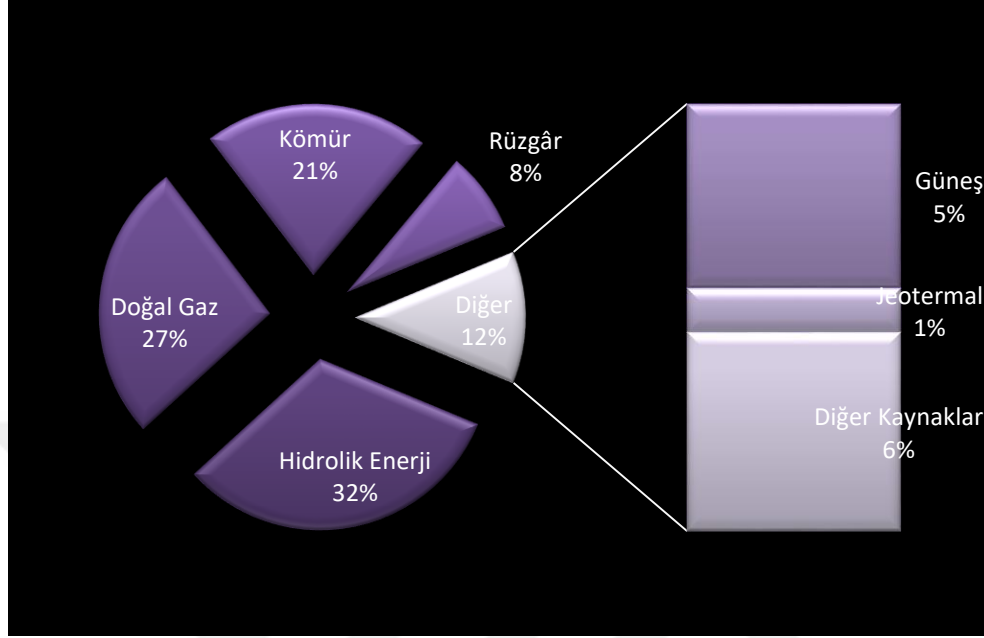
Elektrik üretimi, elektrik ve diğer kaynaklardan birincil enerji üretme sürecidir. Elektrik enerjisi üretiminin temel ilkeleri aynı zamanda İngiliz bilim adamı olan Michael Faraday tarafından 1830'ların başında keşfedildi. Michael Faraday tarafından bulunan bu yöntem hala günümüzde kullanılmaktadır: Elektrik, bakır ve benzeri iletken olan sarılı telin manyetik alan içinde hareket ettirilmesi ile üretilmektedir. Bu yapısal sistem elektrik dinamosu (jeneratör) olarak adlandırılan makinadır. Elektrik dinamosunun çalışma mantığı ise bir mıknatıs kümesi içinde dönen sarılı iletken tellerin (bobin) bulunduğu ve bu tellerin mıknatıs içinde dönmesiyle elektrik akımı üretmektedir. Maalesef elektrik üretimi için elektrik dinamolarını döndürmeye yarayacak büyük güç santrallerine ihtiyaç vardır. Çoğu güç santralleri, dinamoyu döndürmek için ısı üretiminde bulunmaktadır. Fosil yakıtlı santraller ısı üretimi için doğal gaz, kömür ve petrol yakmaktadır (TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Enerji İstatistikleri, 2019).

Rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, jeotermal enerji, biokütle enerjisi, hidrojen enerjisi, dalga enerjisi, gelgit enerjisi gibi enerji çeşitleri yenilenebilir enerji olarak adlandırılmaktadır. Buradan hareketle, yenilenebilir enerji kısaca, enerji üretimi

için doğal süreçlerden yararlanılan, kullanılan kaynakların tükenme hızından çok daha hızlı bir sürede kendini yenileyebilen enerjidir. (<https://www.enerjiportali.com/yenilenebilir-enerji-kaynaklari-nelerdir>).

Elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların oranı her geçen gün artmaktadır. Bu kaynakların AB ülkelerinde kullanımına baktığımızda önemli artışlar dikkat çekmektedir. Eurelectric tarafından yayınlanan verilere göre 2015 yılında AB’de elektriğin %29’u yenilenebilir enerji kaynaklarından %56’sı ise düşük karbon kaynaklarından üretilmiştir. Dünya elektrik üretimi için en yaygın olarak kullanılan kaynak kömürdür. Kömürden sonra gelen elektrik enerji üretim kaynağı yenilenebilir enerjidir. Amerika Birleşik Devletleri, Çin, Hindistan ve Almanya’da kömür, Rusya’da doğal gaz, Fransa’da nükleer enerji ve Kanada’da yenilenebilir enerji, elektrik enerjisi üretiminde en fazla paya sahip olan kaynaklardır (Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü, 2017).

Bir elektrik santralinin karşılayabileceği, bir elektrik şebekesinin taşıyabileceği, bir tesisatın kaldırabileceği maksimum kapasiteye kurulu güç denir. Kurulu güç aynı zamanda bağlantı gücü olarak da adlandırılır. Elektrik santrallerinden, evimize gelen şebekeye kadar her birimin kurulu gücü vardır ve bu değer elektriğin sürekliliğinin sağlanması için önemlidir (TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Enerji İstatistikleri, 2019).



Şekil 3.1. 2019 Yılı Eylül Ayı Sonu İtibarıyla Ülkemizin Kaynaklara göre Kurulu Güç Dağılımı

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre, 2019 yılı Eylül ayı sonu itibarıyla ülkemiz kurulu gücü 90.720 MW'a ulaşmıştır. 2019 yılı Eylül ayı sonu itibarıyla kurulu gücümüzün kaynaklara göre dağılımı; yüzde 31,4'ü hidrolik enerji, yüzde 28,6'sı doğal gaz, yüzde 22,4'ü kömür, yüzde 8,1'i rüzgâr, yüzde 6,2'si güneş, yüzde 1,6'sı jeotermal ve yüzde 1,7'si ise diğer kaynaklar şeklindedir (Şekil 4.1.). Ayrıca Ülkemizde elektrik enerjisi üretim santrali sayısı, 2019 yılı Eylül ayı sonu itibarıyla 8.069'a (Lisanssız santraller dahil) yükselmiştir. Mevcut santrallerin 669 adedi hidroelektrik, 68 adedi kömür, 262 adedi rüzgâr, 52 adedi jeotermal, 330 adedi doğal gaz, 6.435 adedi güneş, 253 adedi ise diğer kaynaklı santrallerdir. (www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik).

3.2.6.1. Rüzgâr Gücünden Elektrik Üretimi

Rüzgâr güneş kaynaklı radyasyonun yer yüzeyini farklı ısıtmasından kaynaklanır. Yer yüzeyinin farklı ısınması, havanın sıcaklığının, neminin ve basıncının farklı olmasına, bu farklı basınç da havanın hareketine neden olmaktadır (www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik). Rüzgâr enerjisinin kaynağı da güneş enerjisidir. Güneş enerjisinin dünyaya gelen % 1 – % 2 gibi küçük bir kısmı rüzgâr enerjisine dönüşmektedir. Rüzgâr enerjisinin en çok kullanıldığı alanlardan biri de elektrik enerjisi üretimi alanıdır. Bu enerji dönüşümü için rüzgâr türbinleri kullanılmaktadır (www.mesuttaskin.com/ruzgar-enerjisinden-elektrik-uretimi-289). Rüzgârın özellikleri, yerel coğrafi farklılıklar ve yeryüzünün homojen olmayan ısınmasına bağlı olarak, zamansal ve yöresel değişiklik gösterir. Rüzgâr hız ve yön olmak üzere iki parametre ile ifade edilir. Rüzgâr hızı yükseklikle artar ve teorik gücü de hızının küpü ile orantılı olarak değişir. Rüzgâr enerjisi kaynaklı elektrik üretim uygulamalarının ilk yatırım maliyetinin yüksek, kapasite faktörlerinin düşük oluşu ve değişken enerji üretimi gibi dezavantajları yanında üstünlükleri genel olarak şöyle sıralanabilir;

- Yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağıdır, çevre dostudur.
- Tükenme ve zamanla fiyatının artma riski yoktur.
- Maliyeti günümüz güç santralleriyle rekabet edebilecek düzeye gelmiştir.
- Bakım ve işletme maliyetleri düşüktür.
- Teknolojisinin tesisi ve işletilmesi göreceli olarak basittir.
- İşletmeye alınması kısa bir sürede gerçekleşebilir (<https://www.enerji.gov.tr/tr-tr/sayfalar/ruzgar>).

Rüzgâr enerjisinin en çok kullanıldığı alanlardan biri de elektrik enerjisi üretimi alanıdır. Bu enerji dönüşümü için rüzgâr türbinleri kullanılmaktadır (<http://www.mesuttaskin.com/ruzgar-enerjisinden-elektrik-uretimi-289>).

Rüzgâr türbinleri, rüzgâr enerji santrallerinin ana yapı elemanı olup hareket halindeki havanın kinetik enerjisini öncelikle mekanik enerjiye ve sonrasında elektrik enerjisine dönüştüren makinelerdir.

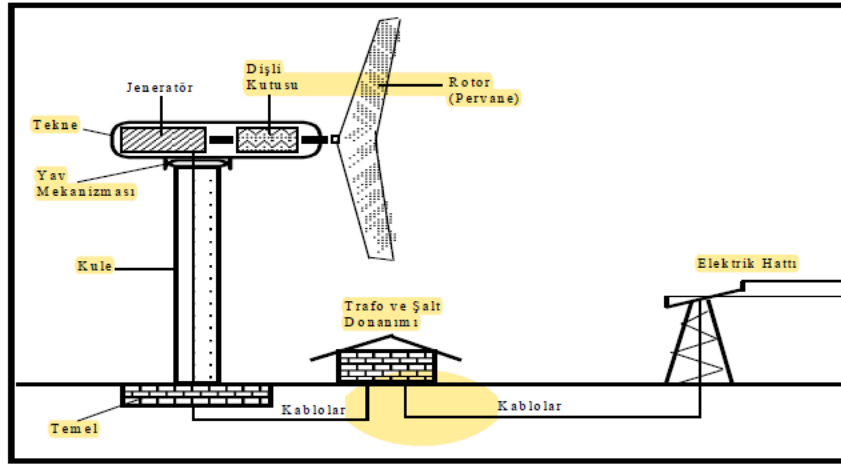
(www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar-ruzgar_enerjisi).

Rüzgârın kinetik enerjisinden, rüzgâr türbinleri aracılığıyla elektrik enerjisi elde etmek için, rüzgârın hızı, esme sıklığı (frekansı) ve yönü gibi bazı coğrafi özelliklerin mevcut olması gerekmektedir. Rüzgâr şartları elverişli olmayan bölgelerde, hızı 3 m/sn yani 8-10 km/h dolayında olan, hafif rüzgârlardan bile enerji üretilebilmesine rağmen, yapılan çalışmalar, hızı 5-6 m/sn yani 18-19 km/h olan rüzgârların, elektrik üretimi için ekonomik olabilmenin alt sınırını oluşturduğunu göstermiştir (Haylı, 2001).

Rüzgâr türbinleri dönüş eksenlerinin doğrultusuna göre yatay eksenli veya dikey eksenli olarak imal edilirler. Bu tiplerden en fazla kullanılanı yatay eksenli rüzgâr türbinleridir. Rüzgâr türbinleri, elektrik enerjisi üretimine ancak belirli bir rüzgâr hızında başlayabilmektedir. Bir rüzgâr türbini cut-in ve cut-out rüzgâr hızları arasında enerji üretimini gerçekleştirir. Modern rüzgâr türbinlerinin cut-in hızları 2-4 m/s, nominal hızları 10-15 m/s ve cut out hızları ise 25-35 m/s arasındadır. Her bir rüzgâr türbini için belirlenmiş bir rüzgâr hızında, sistemden elde edilen güç en büyük değere ulaşır. Bu en büyük güce nominal güç ve bu rüzgâr hızına nominal hız adı verilmektedir. Sistemin hasar görmemesi için belirli bir rüzgâr hızından sonra rüzgâr türbinlerinin stop konumuna geçmesi otomatik olarak sağlanır. Bu maksimum hıza sistemin cut-out hızı adı verilmektedir. Gürültü kirliliğini önlemek için gövde ses izolasyonludur. Kuleler kafes veya boru biçiminde yapılmaktadır. Kule yükseklikleri fazla olabildiğinden kafes kulelerin dışındaki konstrüksiyonlar iki ya da üç parçalı olabilmektedir.

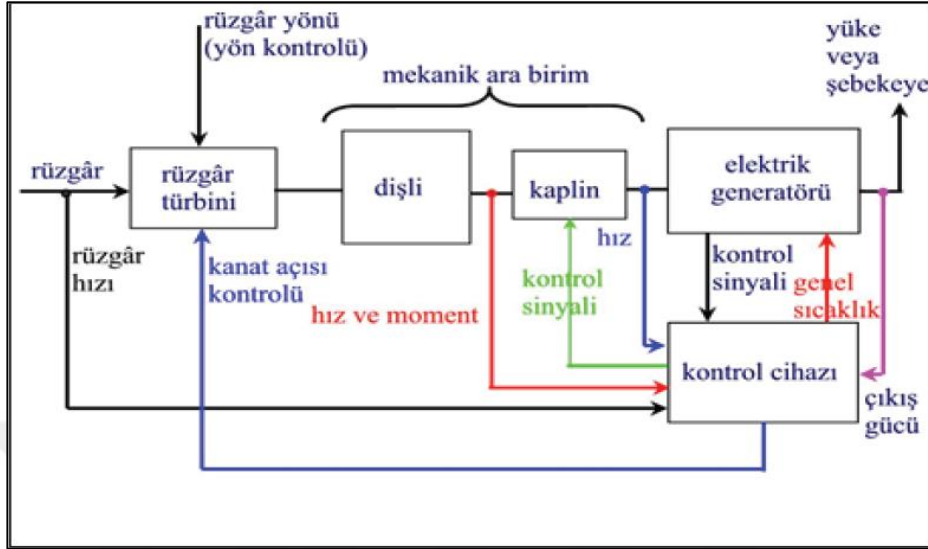
3.2.6.1.(1). Rüzgâr Gücünden Elektrik Üretimi için Çevrim Santralleri

Rüzgâr gücünü dönüştürerek, elektrik enerjisi üreten tesis ve donanımlara ise "Rüzgâr Türbini" (aerogeneratör) denmektedir. Rüzgâr türbinlerinin çalışma prensipleri, rüzgâr değirmenlerine benzemekte, fakat çok daha teknik detaylar içermektedir (Şekil 3.2.).



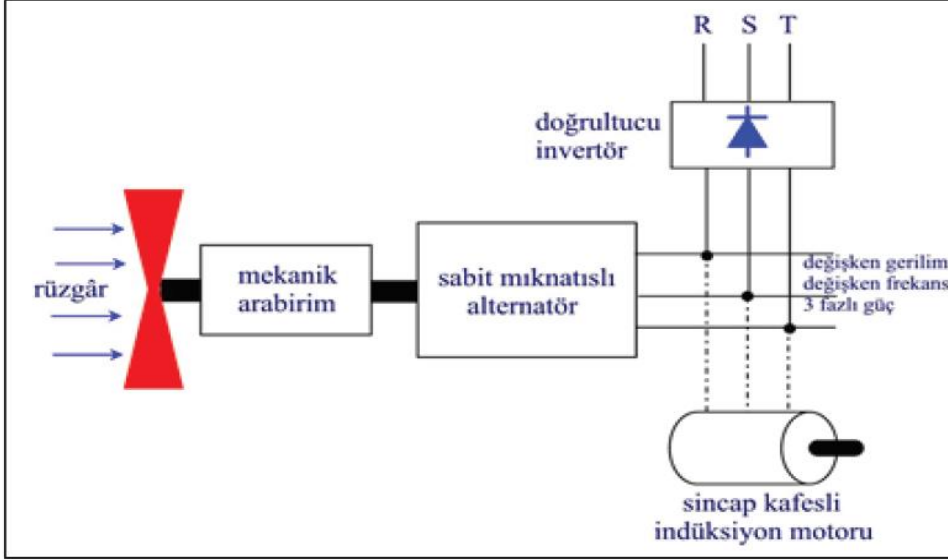
Şekil 3.2. Bir Rüzgâr Türbinin Ana Unsurları (Haylı, 2001)

Rüzgâr türbinleri veya birçok türbini bulunan rüzgâr santralleri, uygun şartlar sunması kaydıyla, kara içleri, deniz kıyıları ve deniz üzerinde (açıklarında) kurulmaktadır (Haylı, 2001).



Şekil 3.3. Rüzgâr Elektrik Çevriminin Basit Bileşenleri
(<http://bizdosyalar.nevsehir.edu.tr/091383a80545e2a7ea4dbe79f93f919f/enerji-kaynaklari.pdf>)

Hareketli havadan mekanik enerji şeklinde elde edilen enerji, uygun bir kaplin ve dişli kutusu içeren mekanik aktarıcı yoluyla elektrik jeneratörüne aktarılır. Jeneratörden elektrik çıkışı, uygulamaya göre bir yüke ya da güç şebekesine bağlanır. Rüzgâr enerjisi ile çalışan elektrik üretme sistemlerinde kullanılan kontrol cihazları, bir ya da daha fazla noktada rüzgârın hızını ve yönünü algılar. Türbin milinin hızını, döndürme momentini, kanat açısını ve yön kontrolünü yapar. Rüzgâr enerjisi girişi ile elektrik enerjisi çıkışını eşlemek amacıyla alternatör çıkışı için uygun sinyalleri üretir. Ayrıca kuvvetli rüzgâr sonucunda oluşan ağır koşullardan, elektriksel arızalardan, jeneratörün aşırı yüklenmesi gibi durumlardan sistemi korur. Rüzgâr-elektrik dönüşüm sistemlerinin en basiti sabit mıknatıslı alternatör kullanılan sistemdir. Bu sistemin çalışma prensibi Şekil 4.3. 'deki gibidir (<http://bizdosyalar.nevsehir.edu.tr/091383a80545e2a7ea4dbe79f93f919f/enerji-kaynaklari.pdf>).



Şekil 3.4. Sabit Mıknatıslı Alternatör Kullanılan Rüzgâr – Elektrik Çevrim Sistemi
<http://bizdosyalar.nevsehir.edu.tr/091383a80545e2a7ea4dbe79f93f919f/enerji-kaynaklari.pdf>

Türbinler, temel, kule, kafa (nacelle) ve pervane'den (rotor) oluşur. Temel, türbini yıkılmaktan korur. Kule, pervaneyi ve kafayı yukarıda tutar. Kafa (nacelle), ana mil (main axle), vites kutusu (gearbox), jeneratör (generator), transformatör (transformer) ve kontrol sistemi gibi birincil geniş ekipmanları ihtiva eder. Pervane kanatlardan ve dönüşlerinde onları pozisyonlarında tutan göbekten (hub) oluşur. En çok rağbet gören ticari rüzgâr türbinleri 3 kanatlı olanlardır ([http://www.artienerji.com.tr/docs/Ruzgar Enerjisi icin SSS.pdf](http://www.artienerji.com.tr/docs/Ruzgar_Enerjisi_icin_SSS.pdf)).

3.2.6.1.(2). Rüzgâr Gücünden Elektrik Üretimi için Çevrim Santrallerinin Üretim Miktarı

Rüzgâr türbin fiyatları jeneratör gücü ile değişmektedir. Jeneratör gücünün değişimi ile rotor çapı ve kule yüksekliği de değişmektedir. Kulenin boyunun 1m artması maliyeti 1500 USD arttırmaktadır. Büyük rotor çapına sahip küçük rüzgâr türbini (bütün maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda), küçük rotor çapına

sahip büyük rüzgâr türbinine göre daha pahalıdır. 150kW gücünde ki rüzgâr türbini ile 600kW gücündeki rüzgâr türbinini maliyet olarak karşılaştırıldığında, gücün 4 kat artmasına karşın fiyatı yaklaşık 2 kat artmaktadır. 1000kW gücünde jeneratöre sahip bir türbinin kule uzunluğu 60-80m arasında ve rotor çapı 54m civarındadır. 10000kW gücünde bir rüzgâr santrali için kurulum maliyeti ortalama olarak $10000 \times 1000 = 10.000.000$ USD' dir.

Tek türbin veya az sayıda türbinlerden oluşan rüzgâr santrallerin maliyeti, çok sayıda türbinden oluşan santrallere göre daha fazladır. Rüzgâr türbini kurulum maliyeti yaklaşık 1500 USD'dir.

Modern rüzgâr türbinleri 20 yıllık ömür ve 120.000 saat işletme süresi esasına göre tasarlanırlar. Türbinin gerçek ömrü, türbinin kalitesine ve bölgenin hava şartlarına bağlıdır. Türbinin yıllık bakım masrafı sabittir ve 0.001 USD/kWh civarındadır.

Rüzgâr türbininden elde edilecek enerji rüzgâr hızına bağlı olarak değişim göstermekle birlikte kule yüksekliğinde 6.75m/s hızla rüzgâr eserse türbinden yılda 1.5GWh enerji elde edilebilir.

Gelibolu RES örnek bir maliyet ve üretim analizi ele alınmış, sonuçlarına aşağıda yer verilmiştir. RES için Kurulum Maliyeti:

Çizelge 3.1. RES Kurulum Maliyeti (Ağçay, 2007)

Harcama Başlıkları	Miktar(\$)
Fizibilite	245.200
Hazırlık	835.500
Mühendislik	610.500
Türbinler	40.000.000
Yedek Parçalar	1.200.000
Taşıma	1.650.000
Santral Dengelemesi	5.868.000
TOPLAM	54.914.522

Bu analizden sonra;

- ✓ Enerji üretim birim maliyeti: 0.0738 \$/kWh
- ✓ Yıllık enerji üretimi: 117406 MWh

Santral kurulduktan sonra;

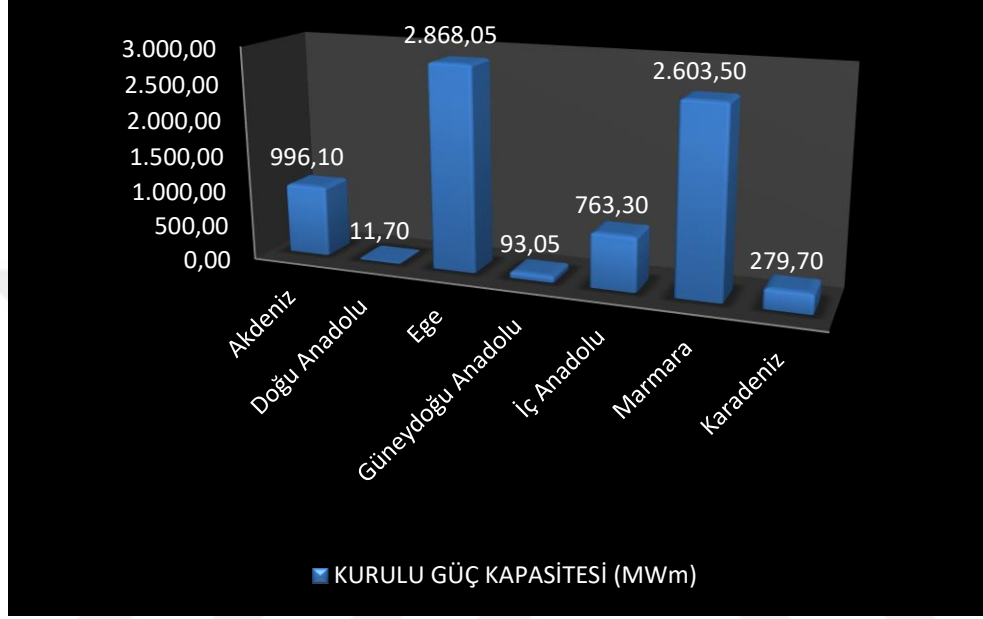
- ✓ Üretilcek Elektrik Enerjisi: 158200.000 kWh/Yıl (0.1582 milyar kWh)
- ✓ Üretilen Enerjinin Birim Fiyatı: 7.38 Cent(\$)/kWh
- ✓ Santralin 25 yıllık ömrü sonunda 3.955 milyar kWh elektrik enerjisi üretilmiş olacaktır (Ağçay, 2007).

3.2.6.1.(3). Türkiye’de Rüzgâr Gücünden Elektrik Üretim Potansiyeli

Türkiye’de rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi ile ilgili çalışmalar 1980’li yılların ortalarında Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından yapılmış ve bu çalışmalar fizibilite düzeyinde kalmıştır. 1992 yılında Rüzgâr Enerji Birliği’nin kurulması ile birlikte rüzgâr enerjisi alanındaki çalışmalar yeniden başlamış ve ülkemizde, ilk rüzgâr enerjisi santrali 1,5 MW kapasite ile 1998 yılında İzmir’in Çeşme ilçesinde kurulmuştur. Bu rüzgar santralinin toplam gücü 7.2 MW’dır (Şan, 2018). 1998 yılından 2005 yılına kadar rüzgâr enerjisi santrali alanında ciddi gelişmeler yaşanmamıştır. Ancak 10 Mayıs 2005 tarihinde yürürlüğe giren 5346 no’lu yenilenebilir Enerji Kanunu ve gelişen teknoloji ile birlikte rüzgâr enerjisi alanında ciddi ilerlemeler kaydedilmiştir (<http://ekolojist.net/ruzgar-enerjisi-ve-Turkiye>).

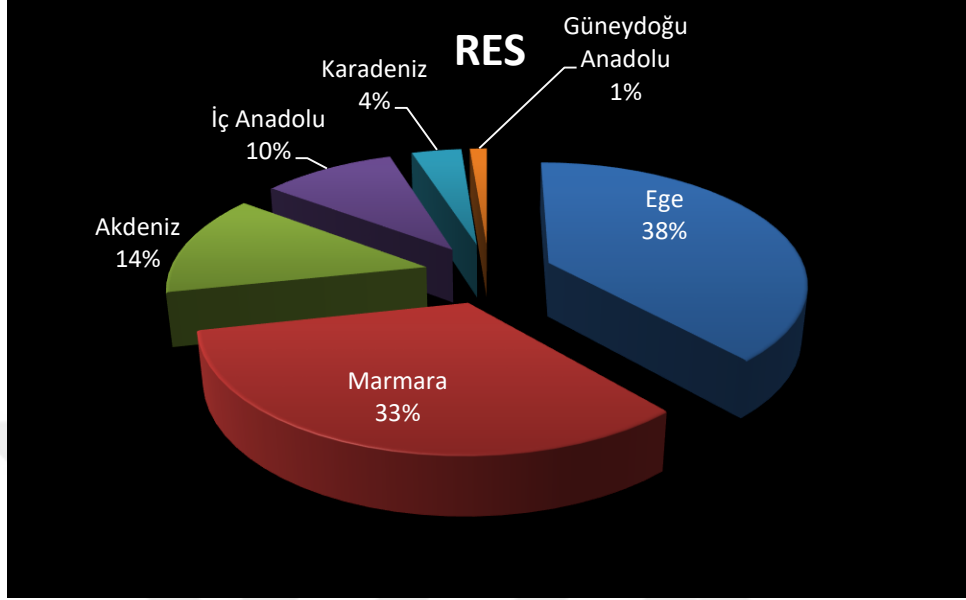
TÜREB’in 2019 yılı temmuz ayında yayımladığı Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu’na göre; 1998 yılında 8,7 MW olan kurulu gücümüz Temmuz 2019 yılı başında 7.615 MW seviyelerine ulaşmıştır (Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu, 2019). Bölgelere göre kurulu güç kapasiteleri sırasıyla; Ege,

Marmara, Akdeniz, İç Anadolu, Karadeniz, Güneydoğu Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgesi'dir (Şekil 3.5.).



Şekil 3.5. Bölgelere göre Kurulu Güç Kapasitesi

Türkiye'deki rüzgâr enerjisi santrallerinin bölgesel dağılımı sırasıyla; Ege, Marmara, Akdeniz, İç Anadolu, Karadeniz ve Güneydoğu Anadolu'dur (Şekil 3.6.). Verimliliği düşük olduğundan Doğu Anadolu Bölgesinde rüzgâr enerjisi santrali bulunmamaktadır (<http://ekolojist.net/ruzgar-enerjisi-ve-Turkiye>).



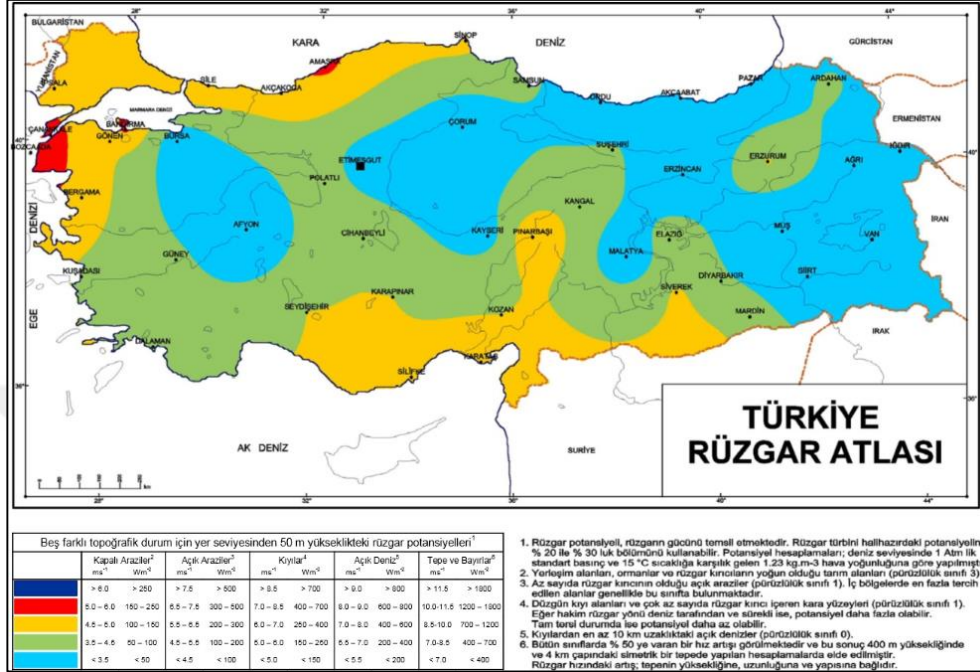
Şekil 3.6. İşletmedeki RES'lerin Bölgelere göre Dağılımı

İl bazında bakacak olursak İzmir en çok rüzgâr enerjisi santralının bulunduğu şehrimiz. İzmir'i, Balıkesir, Manisa, Hatay ve Çanakkale takip ediyor. Toplamda 29 ilde işletme halinde RES (rüzgâr enerjisi santrali) bulunmaktadır. Temmuz 2019 yılı itibari ile işletmede 183, inşa halinde ise 17 rüzgâr enerjisi santrali yer almaktadır. Kurulu türbin sayısı 3155'tir (Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu Temmuz 2019) (Ek).

3.2.7. Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA)

Orta-ölçekli sayısal hava tahmin modeli ve mikro-ölçekli rüzgâr akış modeli kullanılarak üretilen rüzgâr kaynak bilgilerinin verildiği Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA) hazırlanmıştır. Küresel atmosferik sirkülasyon modeli, orta ölçekli sayısal hava analiz modeli ve mikro-ölçekli rüzgâr akış modeli kullanılarak rüzgâr kaynak bilgilerinin üretilmesi REPA için kullanılan yöntemler bütünüdür. REPA için rüzgâr gücü hesaplamaları Amerika Birleşik Devletleri federal kurumları ve üniversitelerinin ortak çalışmalarıyla ortaya çıkarılan Weather

Research and Forecast (WRF) meteoroloji tahmin modeli ile yapılmıştır. REPA, Türkiye rüzgâr kaynaklarının karakteristiklerini ve dağılımını belirlemek amacıyla üretilmiştir. Bu atlasta verilen detaylı rüzgâr kaynağı haritaları ve diğer bilgiler rüzgâr enerjisinden elektrik üretimine aday bölgelerin belirlenmesinde kullanılabilecek bir alt yapı sağlamaktadır. Ancak, kullanılan verilerin kaynağı, sayısı ve kaç yıllık veri kullanılarak hesaplandığı bilgisine yer verilmemiştir. Türkiye’de rüzgâr enerjisi potansiyeli ile ilgili gerçekleştirilen çalışmalar gerek göz önüne alınan istasyon sayılarının azlığı gerekse veri alınan istasyonların dağılık yapısı nedeni ile bilhassa Doğu Anadolu, Doğu Karadeniz ve Batı Trakya Bölgeleri için yaklaşık ortalama hız değerleri vermekte, rüzgâr enerjisinden faydalanma bakımından ihtiyaç olunan istatistiksel parametreler ile ilgili hiçbir bilgiye yer vermemektedir. REPA’nın geliştirilmesinde kullanılan ticari paket programların kendi içinde saklı olan kabuller ve kullanılan formüller nedeni ile elde edilen sonuçlar üzerinde kullanıcılara detaylı inceleme ve geliştirme imkânı tanınmamıştır (Süzek, 2007). Türkiye’nin rüzgâr enerjisi potansiyeli, 50 m yükseklikte 7 m/sn’den büyük ortalama rüzgâr hızları dikkate alındığında 48.000 MW olarak belirlenmiştir (TÜBA - Rüzgâr Enerjisi Teknolojileri Raporu, 2019). Mevcut kurulu güç bu potansiyelin henüz % 14’üne denk gelmektedir. Bu potansiyele karşılık gelen toplam alan Türkiye yüz ölçümünün %1,30’una denk gelmektedir. 2018 yılında rüzgâr enerjisinden 19,882 milyar kWh elektrik üretilmiştir. 2018 yılında işletmede olan rüzgâr enerji santrallerinin toplam kurulu gücü ise 7.005 MW’tır (www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar).

Şekil 3.7. Türkiye Rüzgâr Atlası(<https://www.mgm.gov.tr/genel/ruzgar-atlasi.aspx>)

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı bünyesinde bulunan EİE (Elektrik İşleri Etüt İdaresi) rüzgâr enerjisi çalışmalarına 1981’de başlamış ve Şube Müdürlüğü 1989’da kurulmuştur. 1984’de Türkiye’nin rüzgâr enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesi ve belirlenmesi amacıyla, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü ölçümlerinden yararlanılmıştır. Bu amaçla; Bölgelere göre rüzgâr güç yoğunluğu verileri toplanmıştır. 1990 yılında EİE, Türkiye’nin rüzgâr potansiyelinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi amacı ile “Rüzgâr Enerjisi Gözlem İstasyonu” projesini başlatmış ve 11 adet rüzgâr gözlem istasyonu kurulmuştur. Bu istasyonlarda potansiyel bölgelerdeki rüzgâr yönleri ve hızları ölçülmektedir. Daha sonraki yıllarda Türkiye Rüzgâr Atlası Projesi kapsamında gözlem istasyonlarının sayısı artırılmış ve Türkiye Rüzgâr Atlası (Şekil 3.7.) ortaya çıkarılmıştır (Avcioğlu, 2017).

Türkiye rüzgâr atlasındaki bölgeler renklere göre aşağıda açıklanmıştır:

Koyu Mavi Bölge: Türkiye’de açık alanlardaki rüzgâr hızı ortalaması 7.5 m/s’den büyük olan bölgeleri göstermektedir. Bu bölgeler Türkiye’de çok az olduğundan haritada bu ölçekte görülmemekte, il bazında olan Repa haritalarında bazı şehirlerde görülmektedir.

Kırmızı Bölge: Bu bölge açık alanlardaki 50 m yükseklikteki rüzgar hızı ortalaması 6.5-7.5 m/s olan bölgeleri göstermektedir. Bunlar rüzgâr enerjisi potansiyeli yüksek olan bölgelerdir. Örneğin Bandırma, Gökçeada, Bozcaada, Çanakkale, Amasra bu bölgede yer almaktadır.

Sarı Bölge: Bu bölge rüzgar hızı ortalaması açık alanlarda 5.5-6.5 m/s olan yerleri göstermektedir. Sarı bölgeden ülkemizde birçok yer bulunmaktadır. Örneğin, Antakya, Bergama, Şile, Sinop, Edirne, Mersin bu bölgededir.

Yeşil Bölge: Bu bölge rüzgar hızı ortalaması 50 m yükseklikte 4.5-5.5 m/s olan alanları göstermektedir. Türkiye’de yaygın bir dağılıma sahip olan bu bölge birçok şehri kapsamaktadır.

Açık Mavi Bölge: Bu bölge rüzgar hızı ortalaması 4.5 m/s’den küçük olan alanları göstermektedir. Bu bölge de Doğu Anadolu, Doğu Karadeniz ve İç Anadolu’nun bazı kesimlerini kapsamaktadır. Bu bölge rüzgâr türbini kurmak açısından verimsiz bölge olarak sayılmaktadır (Avcıoğlu, 2017).

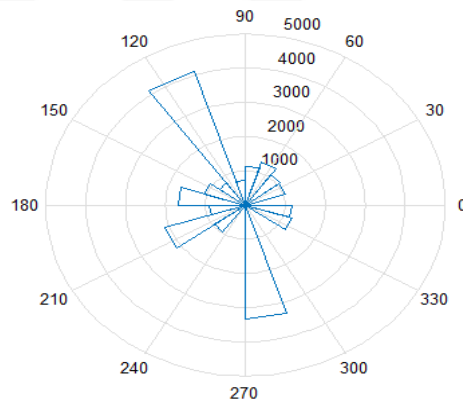
4. BULGULAR VE TARTIŞMA**4.1. Türkiye Geneli 5 Yıllık Rüzgâr Verileri**

Türkiye geneli için 5 yıllık (2012 – 2016) rüzgâr verileri; yıl, ay, bölge, şehir, istasyon, sıcaklık, basınç, rakım, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü değişkenlerinden oluşmaktadır. 2012 yılı için 4824 gözlem, 2013 yılı için 4404 gözlem, 2014 yılı için 4584 gözlem, 2015 yılı için 4752 gözlem, 2016 yılı için 4824 gözlem olmak üzere 5 yıllık süre için toplamda 22.788 gözlem değeri bulunmaktadır.

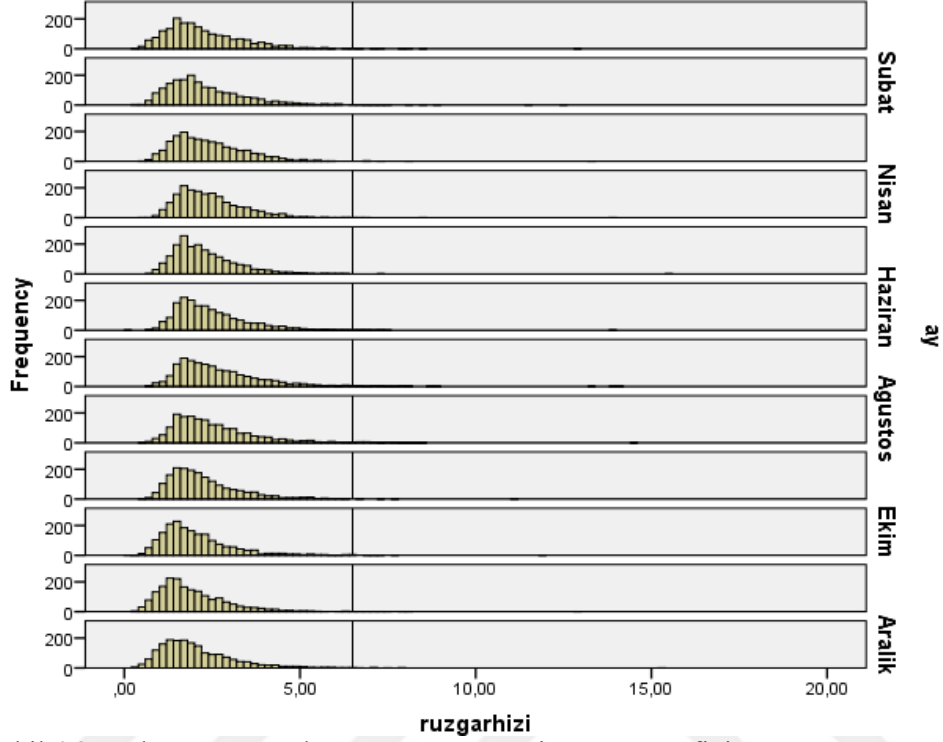
17 ara ve ana rüzgâr yönü vardır. Rüzgâr yönü ve yön kodları Çizelge 10'da gösterilmiştir. Rüzgâr yönlerine göre oluşturulan 'rüzgârgülü grafiği, Şekil 30'da gösterilmiştir. 2012-2016 yılları Türkiye geneli rüzgâr yönü verilerine göre oluşturulan rüzgârgülü grafiği hâkim rüzgâr yönünün 4058 frekansla 'Kuzey yönü'nde olduğunu göstermektedir. Rüzgârgülü rüzgâr yönlü, türbin yerleşiminde son derece önemlidir. Eğer türbinleri belirli yönde yerleştirmek gerekiyorsa, diğer yönlerdeki engeller çok önemli değildir. Çünkü bu yönlerden herhangi bir rüzgâr gücü gelmez.

Çizelge 4.1. Rüzgâr Yön ve Yön Kodları

Rüzgar Yönü	Rüzgar Yön Kodu
C	0
E	1
N	2
W	3
S	4
NE	5
NW	6
SW	7
SE	8
ENE	9
NNE	10
NNW	11
WNW	12
WSW	13
SSW	14
SSE	15
ESE	16

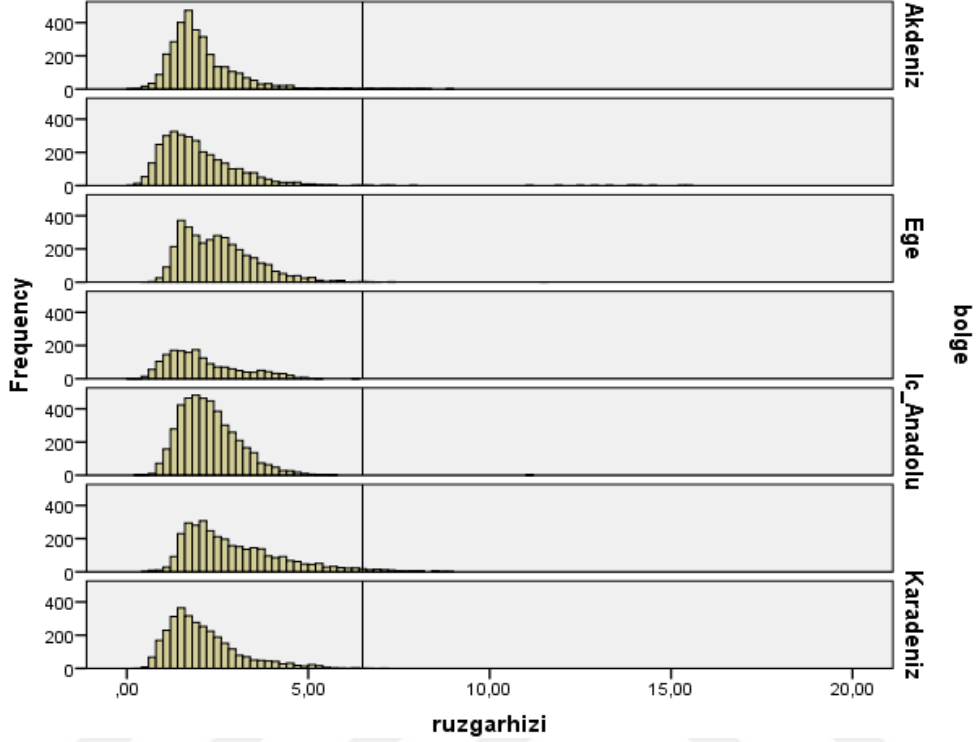


Şekil 4.1. Rüzgâr Yönlerine göre Oluşturulan Rüzgâr Gülü Grafiği



Şekil 4.2. Aylara göre Ortalama Rüzgâr Hızı Histogram Grafiği

5 yılın aylarına göre ortalama rüzgâr hızı miktarlarının histogram grafiği (Şekil 4.2.) SPSS 21.0 programı kullanılarak oluşturulmuştur. Rüzgâr hızları Türkiye'nin her yerinde mevsimlere göre değişim göstermektedir. Aylara göre oluşturulan histogram grafiklerinde bu farklılıklar görülebilmektedir.



Şekil 4.3. Bölgelere göre Ortalama Rüzgâr Hızı Histogram Grafiği

Türkiye’de bulunan 7 bölgeye göre aylık ortalama rüzgâr hızı miktarlarının histogram grafiği (Şekil 4.3.) oluşturulmuştur. Rüzgâr hızları kıyı ya da iç kesimlere göre değişim göstermektedir. Kıyı bölgelerinde rüzgâr gündüz denizden karaya doğru eserken gece tam tersi yönde yani karadan denize doğru esmektedir. Gece boyu rüzgârın yönü terstir bunun sebebi karanın denizden daha çabuk soğumasının yukarıdaki havayı etkilemesidir. Denize doğru esen serin hava deniz yüzeyinden yükselen ılık hava ile yer değiştirmektedir. Ülkemizin üç yanı denizlerle çevrilidir. Bu nedenle Türkiye önemli enerji kaynağı ve enerji güç potansiyeline sahiptir.

4.2. Büyük Veri Analitiği

Büyük hacimli verilerden değer elde etmek için, istatistik, matematik ve bilgisayar bilgisi, yapay zekâ yöntemleri gibi yaklaşımlar arasında entegrasyon sağlayarak etkin kararlar alınmasında yardımcı olan süreçtir. Büyük Veri Analitiğinde kullanılan tekniklerden biri olana Kümeleme Analizi, büyük veri gruplarını araştırmak ve anlamak için sıklıkla kullanılan genel bir araçtır (Bahadır, 2010). Kümeleme analizinin amacı, gruplanmamış verileri benzerliklerine göre sınıflandırmak ve araştırmacıya özet bilgiler elde etmede yardımcı olmaktır (Akın, 2008).

Kümeleme analizi Post-Ad Hoc testi ile SPSS 21.0 programı kullanılarak uygulanmıştır. Yıllara göre aylık ortalama rüzgâr hızlarının Post-Ad Hoc testi ile kümelenmesinde, benzer özelliklere sahip olan yıllar aynı kümelerde toplanmıştır. Test sonucuna göre, 2012, 2103, 2104 ve 2015 yılları aynı kümede, 2016 yılı farklı bir kümede olmak üzere iki ayrı kümede toplanmıştır (Çizelge 4.2.).

Çizelge 4.2. Yıllara göre Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı Kümelenmesi

Küme 1	Küme 2
2012	
2013	
2014	
2015	
	2016

Post-Ad Hoc test sonucuna göre, 5 yıllık süre için aylara göre ortalama rüzgâr hızları 6 küme (Çizelge 4.3.) oluşturmuştur. Buna göre; Kasım, Ağustos ve Temmuz ayları ayrı birer kümede; Ekim ve Aralık ayları aynı kümede; Ocak, Eylül, Mayıs, Şubat ayları aynı kümede; Mart, Nisan ve Haziran ayları aynı kümede toplanmıştır.

Çizelge 4.3. Aylara göre Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı Kümelenmesi

Kümelenme	Ay Adı	Ay Adı	Ay Adı	Ay Adı
K1	Kasım			
K2	Ekim	Aralık		
K3	Ocak	Eylül	Mayıs	Şubat
K4	Mart	Nisan	Haziran	
K5	Ağustos			
K6	Temmuz			

Bölgelere göre ortalama rüzgâr hızları için yapılan Post-Ad Hoc test sonucuna göre, 5 küme oluşmuştur (Çizelge 4.4.). Ortaya çıkan oluşumlarda bazı kümelenmeler ara kesitli ve bazı kümelenmeler ara kesitsiz durumdadırlar. Doğu Anadolu, Akdeniz bir kümede; Akdeniz, Güneydoğu Anadolu, Karadeniz bir kümede; İç Anadolu, Ege ve Marmara bölgeleri ayrı ayrı kümelerde toplanmıştır. Rüzgâr potansiyeli açısından benzer özellikteki bölgeler aynı kümelerde toplanmıştır. Aynı rüzgâr enerji potansiyeline sahip, ekonomik faydaları benzer olan bölgeler aynı kümelerde toplanmışlardır.

Çizelge 4.4. Bölgelere göre Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı Kümelenmesi

Kümelenme	Bölge Adı	Bölge Adı	Bölge Adı
Kümelenme 1	Doğu Anadolu	Akdeniz	
Kümelenme 2	Akdeniz	Güneydoğu Anadolu	Karadeniz
Kümelenme 3	İç Anadolu		
Kümelenme 4	Ege		
Kümelenme 5	Marmara		

17 hâkim rüzgâr yönüne göre ortalama rüzgâr hızları, Post-Ad Hoc test sonucuna göre 6 küme (Çizelge 4.5.) toplanmıştır. Buna göre, rüzgâr yönlerinin

kümelenmesi; {WSW, WNW, N, NNW, SSW, NW, ENE, SW, SE, C}, {NW, ENE, SW, SE, C}, {ENE, SW, SE, C, ESE, W, E, SSE}, {C, ESE, W, E, SSE, NE} {ESE, W, E, SSE, NE, S}, {SSE, NE, S, NNE} şeklindedir.

Çizelge 4.5. Rüzgâr Yönlerine göre Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı Kümelenmesi

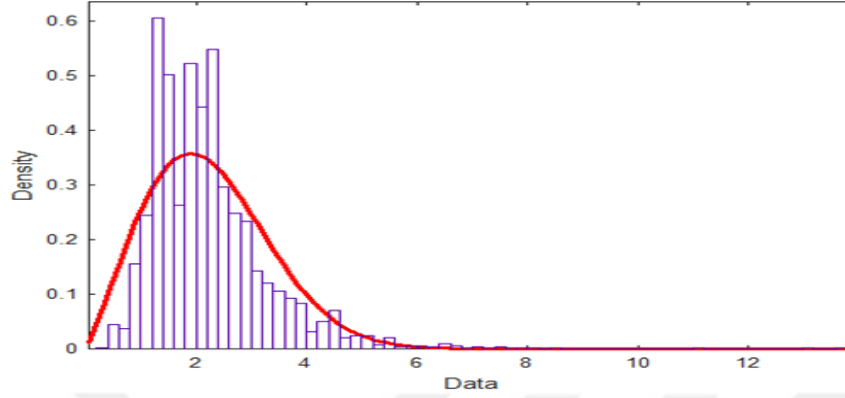
Kümelenme	Yön	Yön	Yön	Yön	Yön	Yön	Yön	Yön	Yön	Yön
K1	WSW	WNW	N	NNW	SSW	NW	ENE	SW	SE	C
K2	NW	ENE	SW	SE	C	ESE				
K3	ENE	SW	SE	C	ESE	W	E	SSW		
K4	C	ESE	W	E	SSE	NE				
K5	ESE	WNW	E	SSE	NE	S				
K6	SSE	NE	S	NNE						

4.3. Weibull Dağılımı

2012-2016 yıllarına ait 5 yıllık ortalama rüzgâr hızı verileri iki-parametrelili Weibull dağılımı ile uyumlu olduğu Matlab R2015a kullanılarak belirlenmiştir. İki-parametrelili Weibull dağılımının parametreleri hesaplanmış ve olasılık yoğunluk fonksiyon grafikleri oluşturulmuştur.

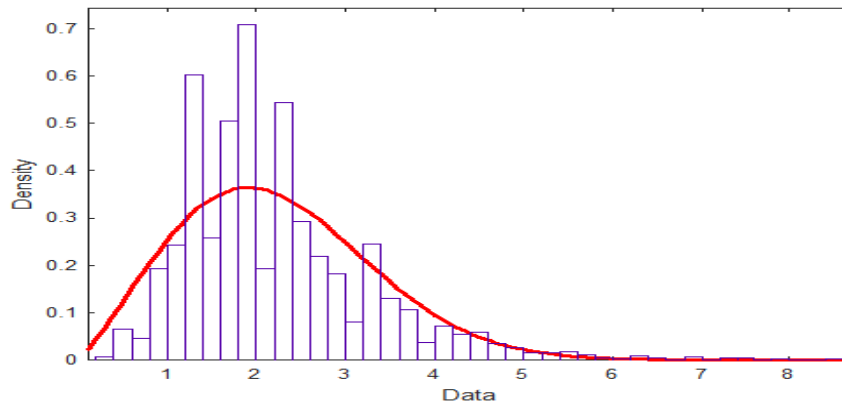
4.3.1. Yıllar için İki-Parametrelili Weibull Dağılımı Olasılık Yoğunluk Fonksiyon Grafikleri

Yıllar (2012-2016) için iki-parametrelili Weibull dağılımı olasılık yoğunluk fonksiyon (oyf) grafikleri oluşturulmuştur. 2012 yılı ortalama rüzgar hızı verileri için oyf grafiği Şekil 4.4.'te gösterilmiştir.



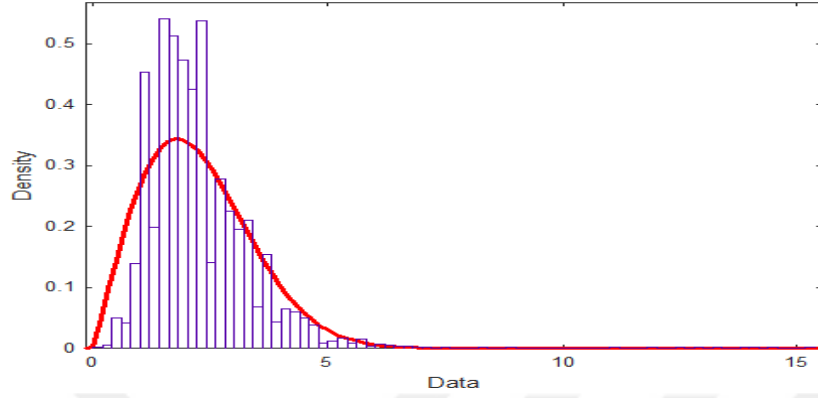
Şekil 4.4. 2012 Yılı Ortalama Rüzgâr Hızı Verileri için Oyf Grafiği

2013 yılı ortalama rüzgar hızı verileri için oyf grafiği Şekil 4.5.'te gösterilmiştir.



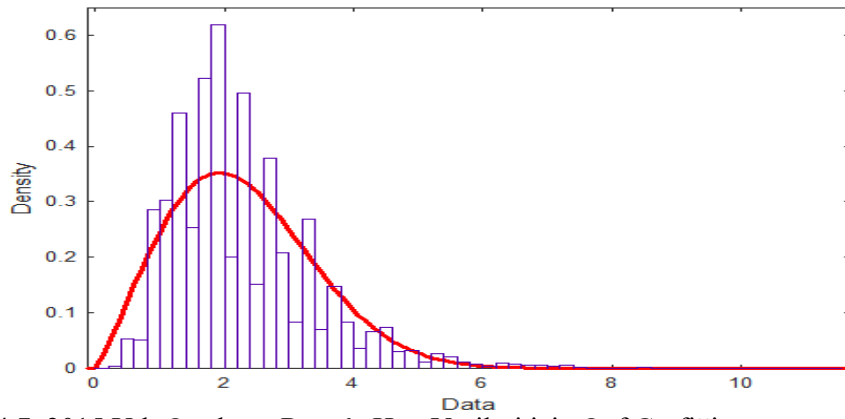
Şekil 4.5. 2013 Yılı Ortalama Rüzgâr Verileri için Oyf Grafiği

2014 yılı ortalama rüzgar hızı verileri için oyf grafiği Şekil 4.6.'da gösterilmiştir.



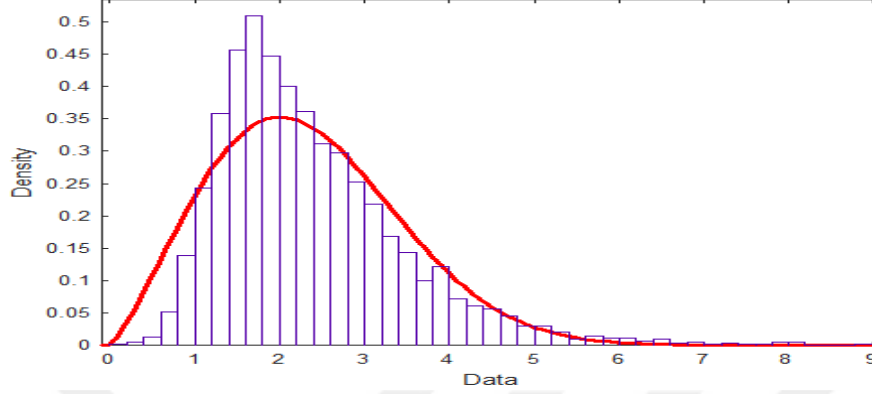
Şekil 4.6. 2014 Yılı Ortalama Rüzgâr Hızı Verileri için Oyf Grafiği

2015 yılı ortalama rüzgar hızı verileri için oyf grafiği Şekil 4.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. 2015 Yılı Ortalama Rüzgâr Hızı Verileri için Oyf Grafiği

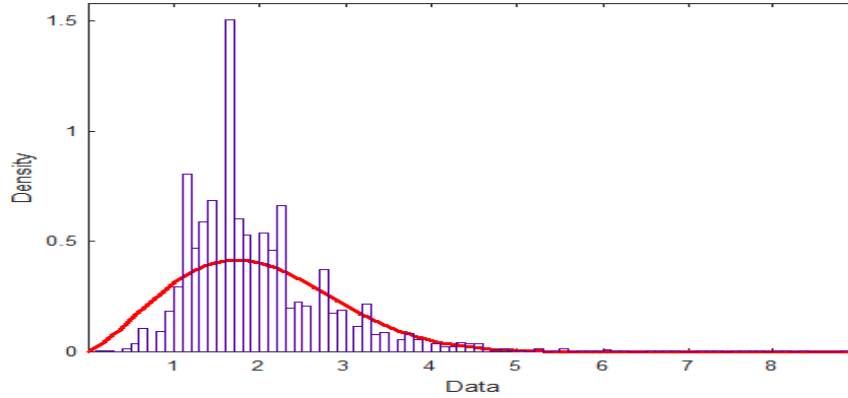
2016 yılı ortalama rüzgar hızı verileri için oyf grafiği Şekil 4.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. 2016 Yılı Ortalama Rüzgâr Hızı Verileri için Oyf Grafiği

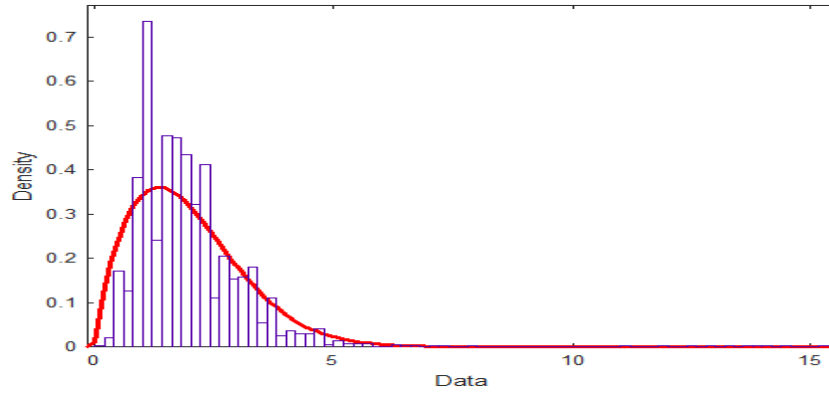
4.3.2. Bölgeler için İki-Parametrelili Weibull Dağılımı Olasılık Yoğunluk Fonksiyon Grafikleri

Türkiye’de bulunan 7 coğrafik bölge için iki-parametrelili Weibull dağılımı olasılık yoğunluk fonksiyon (oyf) grafikleri oluşturulmuştur. Akdeniz Bölgesi ortalama rüzgar hızı verileri için oyf grafiği Şekil 4.9.’de gösterilmiştir.



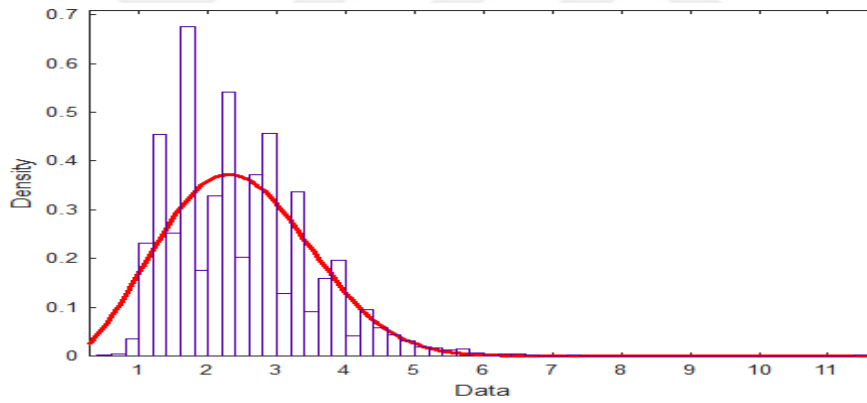
Şekil 4.9. Akdeniz Bölgesi Ortalama Rüzgâr Hızı Verileri için Oyf Grafiği

Doğu Anadolu Bölgesi ortalama rüzgâr hızı verileri için oyf grafiği oluşturulmuş ve Şekil 4.10.’da gösterilmiştir.



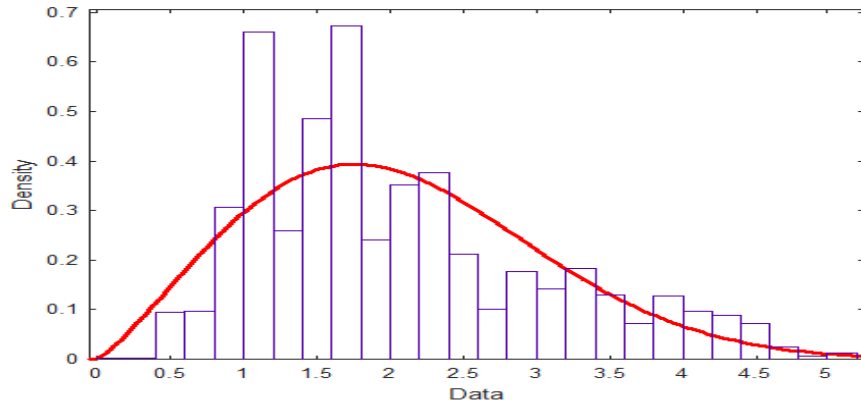
Şekil 4.10. Doğu Anadolu Bölgesi Ortalama Rüzgâr Hızı Verileri için Oyf Grafiği

Ege Bölgesi ortalama rüzgâr hızı verileri için oyf grafiği oluşturulmuş ve Şekil 4.11.'de gösterilmiştir.



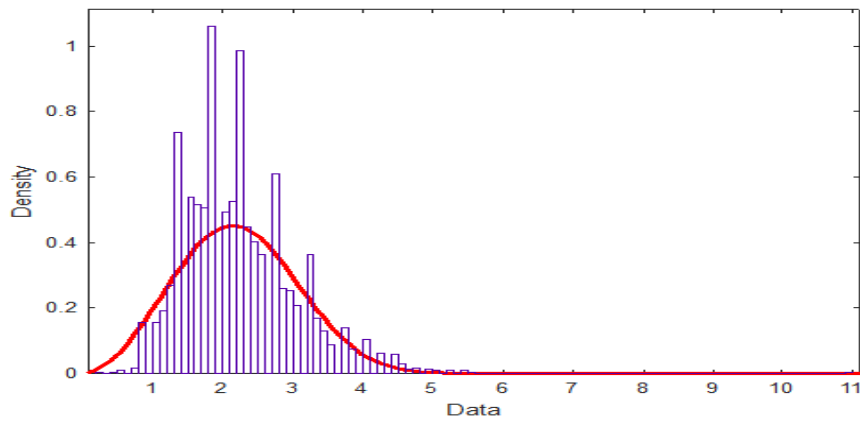
Şekil 4.11. Ege Bölgesi Ortalama Rüzgâr Hızı Verileri için Oyf Grafiği

Güneydoğu Anadolu Bölgesi ortalama rüzgâr hızı verileri için oyf grafiği oluşturulmuş ve Şekil 4.12.'de gösterilmiştir.



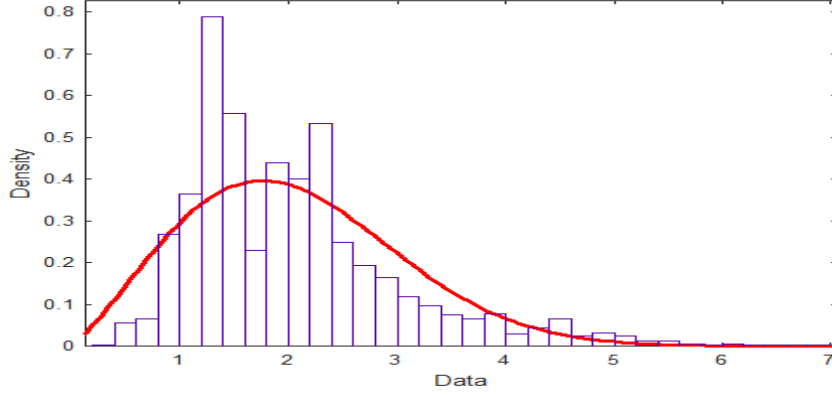
Şekil 4.12. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Ortalama Rüzgâr Hızı Verileri için Oyf Grafiği

İç Anadolu Bölgesi ortalama rüzgâr hızı verileri için oyf grafiği oluşturulmuş ve Şekil 4.13.'te gösterilmiştir.



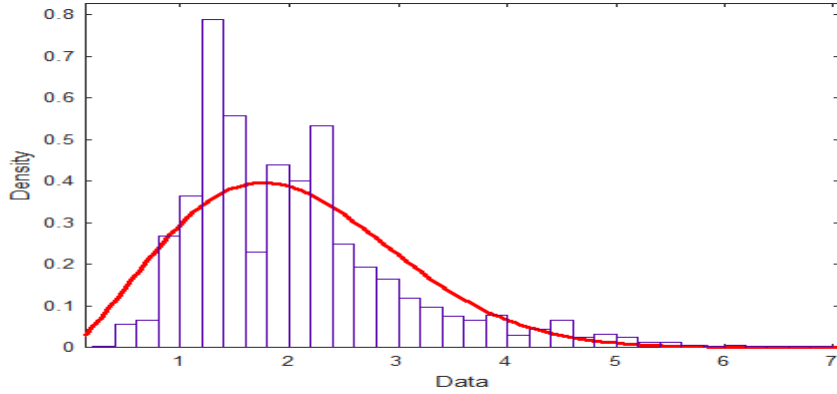
Şekil 4.13. İç Anadolu Bölgesi Ortalama Rüzgâr Hızı Verileri için Oyf Grafiği

Karadeniz Bölgesi ortalama rüzgâr hızı verileri için oyf grafiği oluşturulmuş ve Şekil 4.14.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Karadeniz Bölgesi Ortalama Rüzgâr Hızı Verileri için Oyf Grafiği

Marmara Bölgesi ortalama rüzgâr hızı verileri için oyf grafiği oluşturulmuş ve Şekil 4.15.'te gösterilmiştir



Şekil 4.15. Marmara Bölgesi Ortalama Rüzgâr Hızı Verileri için Oyf Grafiği

4.4. Karma Weibull Dağılım Modelleri

4.4.1. Yıllara göre Karma Weibull Dağılım Modeli

2012-2016 yılları 5 yıllık ortalama rüzgâr hızı verisi için iki-parametrelili Weibull dağılımı parametre değerleri hesaplanmış ve Çizelge 4.6.'da gösterilmiştir. Çalışmada kullanılan karma dağılımlar bileşenleri aynı tip pure dağılımların

karmalarıdır. Pure dağılımların parametresi rastgele değişken gibi alınıp karıştırılan Fparametre üzerinden işlem yapılır. Yıllara göre Karma Weibull Dağılım Modeli için her yıla ait iki-parametrelili Weibull dağılımı (pure dağılım) karma dağılım bileşeni olarak alınmıştır.

Çizelge 4.6. 2012-2016 Yılları için İki Parametrelili Weibull Dağılım Parametrelerinin Tahmini

Yıllar	Loglikelihood Değeri	A	B	Örneklem Büyüklüğü	Karma Oranı
2012 o.y.f.	-5992,60	2,5314	2,1653	4.224	0,18536072
2013 o.y.f.	-6225,89	2,5169	2,1986	4.404	0,19325961
2014 o.y.f.	-6653,22	2,5120	2,0179	4.584	0,2011585
2015 o.y.f.	-6885,04	2,5741	2,1607	4.752	0,20853081
2016 o.y.f.	-6960,16	2,6257	2,2338	4.824	0,21169036
Toplam Örneklem Büyüklüğü				22.788	1

Yıllar için oluşturulan Karma dağılım modeli oluşturularak genel olasılık modeli elde etmek amaçlanmaktadır. 2012-2016 yılları Türkiye geneli rüzgâr hızı verileri için iki parametrelili pure Weibull dağılımlarının beş bileşenli bir karma modeli oluşturulmuştur.

İki parametrelili Weibull Dağılımı'nın olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{x}{\theta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x}{\theta} \right)^{\beta}} \quad x \geq 0 \quad (4.1)$$

Şeklindedir.

X rasgele değişkeni bir karma dağılım modeline sahip olsun. X rasgele değişkenin olasılık yoğunluk fonksiyonu

$$f(x) = \sum_{i=1}^n w_i f_i(x) \quad (4.2)$$

$w_1, w_2, \dots, w_i$ karma dağılım modelindeki karma oranlarını ifade etmektedir.

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (4.3)$$

'dir.

Yıllar için oluşturulan Karma Weibull Dağılım Modeli olasılık yoğunluk fonksiyonu 'f';

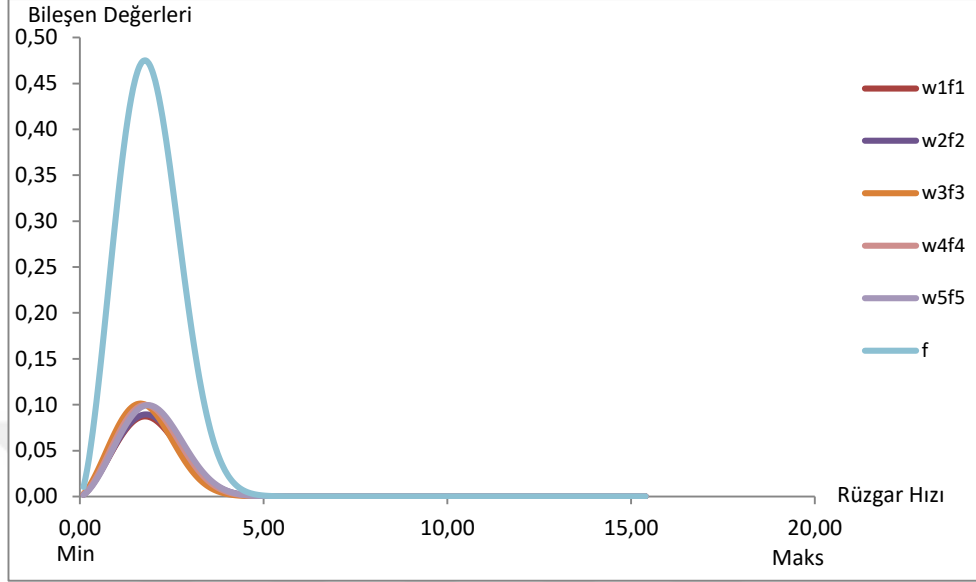
$$f = w_1.f_1 + w_2.f_2 + w_3.f_3 + w_4.f_4 + w_5.f_5 \quad (4.4)$$

şeklinde.

Burada, w_i ile ifade edilen karma oranı tahmin değerleridir.

Karma oranları (ağırlıklar) toplamı 1 olmalıdır. Yıllar için iki parametereli Weibull dağılım parametrelerinin tahmin tablosunda görüldüğü gibi parametre tahmin değerleri toplamı 1 olarak hesaplanmıştır. f_i ile gösterilen değer her bir yıl için grafikleri oluşturulan yıllara ait Weibull dağılımı için olasılık yoğunluk fonksiyonlarıdır.

Karma dağılım modeli ile yıllara göre ortalama rüzgâr hızı verilerinin elektrik enerjisi üretme potansiyelindeki yoğunlukları ve ağırlıkları ortaya konmaktadır. Yıllara göre ortalama rüzgâr hızı verilerinin ağırlık (karma oranı) sonucuna göre 0,212 değerine sahip olan 2016 yılı potansiyel üzerinde en büyük ağırlığa sahip olan yıldır.



Şekil 4.16. 2012 - 2016 Yılları Türkiye Geneli Rüzgâr Hızı Verilerinin Karma Dağılım Grafiği

2012 - 2016 yılları Türkiye geneli rüzgâr hızı verilerinin karma dağılım grafiği Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi karma model yoğunluk fonksiyonu bileşenlerine asimptot'tur. Buna göre, her bir yıl için oluşturulan dağılım grafikleri ayrı birer tepe oluşturmamış karma dağılım grafiği içerisinde gizlenmiş şekilde iç içe bir grafik görüntüsü sergilemiştir.

4.4.2. Bölgelere göre Karma Weibull Dağılım Modeli

Türkiye'de bulunan 7 coğrafi bölge ortalama rüzgâr hızı verisi için iki-parametrelili Weibull dağılımı parametre değerleri hesaplanmış ve Çizelge 4.7.'de yer verilmiştir.

Çizelge 4.7. Bölgeler için İki Parametrelili Weibull Dağılım Parametrelerinin Tahmini

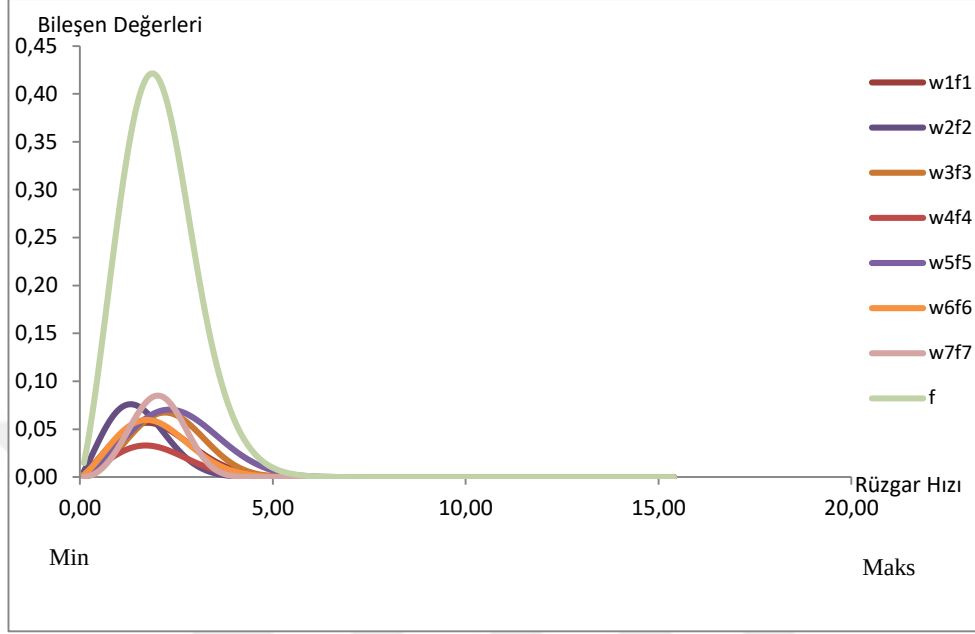
Bölgeler	Likelihood Değeri	A	B	Örneklem Büyüklüğü	Karma Oranı
Akdeniz o.y.f.	-3945,91	2,2459	2,2655	3.144	0,13796735
Doğu Anadolu o.y.f.	-4594,37	2,1894	1,7347	3.288	0,14428647
Ege o.y.f.	-5003,02	2,7890	2,5883	3.600	0,15797788
Güneydoğu Anadolu o.y.f.	-2321,99	2,3198	2,1897	1.644	0,07214323
İç Anadolu o.y.f.	-5432,86	2,4930	2,8518	4.548	0,19957873
Karadeniz o.y.f.	-4193,70	2,3183	2,2073	3.156	0,13849394
Marmara o.y.f.	-5685,40	3,3077	2,2513	3.408	0,1495524
Toplam Örneklem Büyüklüğü				22.788	1

Türkiye’de 7 coğrafik bölge bulunduğu için her bir bölge bir bileşen olarak alınarak 7 bileşenli Weibull karma dağılım modeli oluşturulmuştur. Buna göre oluşturulan karma modelin f fonksiyonu;

$$f=w_1.f_1+w_2.f_2+w_3.f_3+w_4.f_4+w_5.f_5+w_6.f_6+w_7.f_7 \quad (4.5)$$

Şeklindedir.

Bölgeler için karma dağılım modeli grafiği oluşturulmuş ve Şekil 4.17’de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Türkiye'deki 7 Coğrafi Bölge için Rüzgâr Hızı Verilerinin Karma Dağılım Grafiği

Beş yıllık aylık ortalama rüzgâr hızı verilerine göre bölgeler için oluşturulan karma dağılım grafiğine göre her bir bölge için oluşturulan dağılım grafikleri ayrı birer tepe oluşturmamış iç içe geçmiş bir karma dağılım grafiği ortaya çıkmıştır. Bölgeler için ağırlık sonucuna Türkiye’de yer alan 7 coğrafi bölge içerisinde ağırlığı en yüksek bölge İç Anadolu Bölgesi’dir. Yani 2012 – 2016 yılı rüzgâr hızı verilerine göre Türkiye’de rüzgâr gücünden elektrik enerjisi üretimi potansiyeli açısından en yoğun bölge İç Anadolu Bölgesi olarak tespit edilmiştir. Bu bölgede uygun yerlere rüzgâr çevrim santrali kurulmasının oldukça uygun bir yatırım olacağı öngörülebilir. Ağırlığı en yüksek ikinci bölge Ege Bölgesi’dir ki hali hazırda Türkiye’de Kurulu rüzgâr çevrim santrallerinin çoğunluğu bu bölgemizde yer almaktadır. Ülkemizdeki ilk rüzgâr çevrim santrali 1998 yılında bu bölgemizde yer alan Çeşme ilçemizde kurulmuştur. Sonuçlar, bu bölgemizdeki potansiyelin tespitinin doğruluğunu bir göstergesi olabilir.

4.4.3. Bölgelerde Yer Alan İllere göre Karma Weibull Dağılım Modelleri**4.4.3.1. Akdeniz Bölgesi için Karma Weibull Dağılım Modeli**

Bölgeler için 7 bileşenli karma model oluşturulduktan sonra her bir bölgede yer alan iller için bölgedeki il sayısı kadar bileşenden oluşan karma modeller oluşturulmuştur. Buna göre, ilk olarak Akdeniz Bölgesi'nde bulunan iller için karma dağılım modeli kurulmuştur. Bölgeler karmasında ağırlık açısından 6. sırada yer alan Akdeniz Bölgesi'nde 8 il bulunmaktadır. Akdeniz Bölgesi ortalama rüzgâr hızı verisi için iki-parametrelili Weibull dağılımı parametre değerleri hesaplanmış ve Çizelge 4.8.'de yer verilmiştir. Bu iller içinde ağırlık hesaplamaları sonucuna göre Antalya ili en yüksek ağırlığa sahip olan il olarak bulunmuştur. Antalya'nın ağırlık değeri 0,2672 olarak hesaplanmıştır. Buna göre, Akdeniz Bölgesi içinde Antalya'nın rüzgâr yoğunluğunun en yüksek olduğu il konumunda olduğu sonucuna ulaşılabilir. Akdeniz Bölgesinde bulunan iller için 8 bileşenli Karma Weibull Dağılım Modeli kurulmuştur.

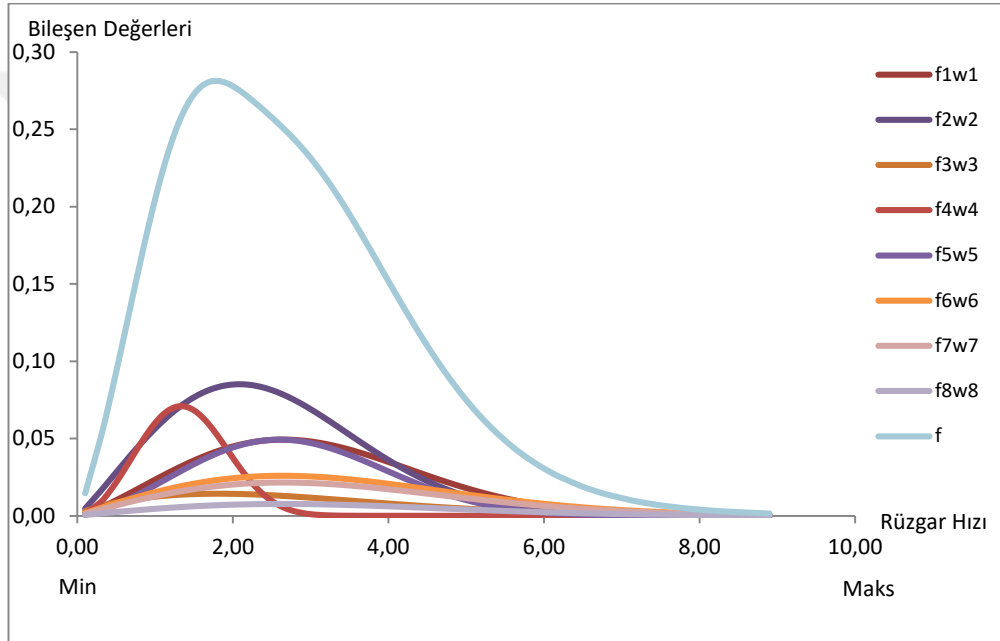
Çizelge 4.8. Akdeniz Bölgesi'nde Yer Alan İller için İki Parametrelili Weibull Dağılım Parametrelerinin Tahmini

İller	Likelihood Değeri	A	B	Örneklem Büyüklüğü	Karma Oranı
Adana o.y.f.	-549,02	2,2770	3,4152	564	0,1794
Antalya o.y.f.	-872,31	2,1287	2,8072	840	0,2672
Burdur o.y.f.	-124,32	1,6758	3,0998	180	0,0573
Hatay o.y.f.	-556,82	2,8207	1,5591	312	0,0992
Isparta o.y.f.	-535,38	2,5363	3,1657	480	0,1527
Mersin o.y.f.	-273,03	1,9790	3,7677	360	0,1145
K. Maraş o.y.f.	-405,22	2,0379	1,7782	300	0,0954
Osmaniye o.y.f.	-90,04	1,8116	3,0808	108	0,0344
Toplam Örneklem Büyüklüğü				3.144	1

Akdeniz Bölgesi'nde bulunan iller için 8 bileşenli Karma Weibull Dağılım Modeli'ne ait f fonksiyonu;

$$f = w_1.f_1 + w_2.f_2 + w_3.f_3 + w_4.f_4 + w_5.f_5 + w_6.f_6 + w_7.f_7 + w_8.f_8 \quad (4.6)$$

Şeklindedir.



Şekil 4.18. Akdeniz Bölgesi illeri için Karma Dağılım Grafiği

Akdeniz Bölgesi için karma dağılım modeli grafiği oluşturulmuş ve Şekil 4.18'de gösterilmiştir. Akdeniz bölgesi illeri için oluşturulan karma dağılım grafiğine göre her bir il için oluşturulan dağılım grafikleri ayrı birer tepe oluşturmamış karma dağılım grafiği ile iç içe geçmiş bir dağılım grafiği gözlenmiştir.

4.4.3.2. Doğu Anadolu Bölgesi için Karma Weibull Dağılım Modeli

Bölgeler karmasında ağırlık açısından 4. sırada yer alan Doğu Anadolu Bölgesi'nde 14 il bulunmaktadır. Bölge için oluşturulan karma model için gerekli parametre değerleri hesaplanmış ve Çizelge 4.9.'da gösterilmiştir. Doğu Anadolu Bölgesi illeri arasında en yüksek ağırlık değeri Elazığ için 0,1606 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuca göre, rüzgâr yoğunluğu en fazla olan il, Elazığ'dır. Doğu Anadolu Bölgesi illeri için 14 bileşenli Karma Weibull Dağılım Modeli oluşturulmuştur.

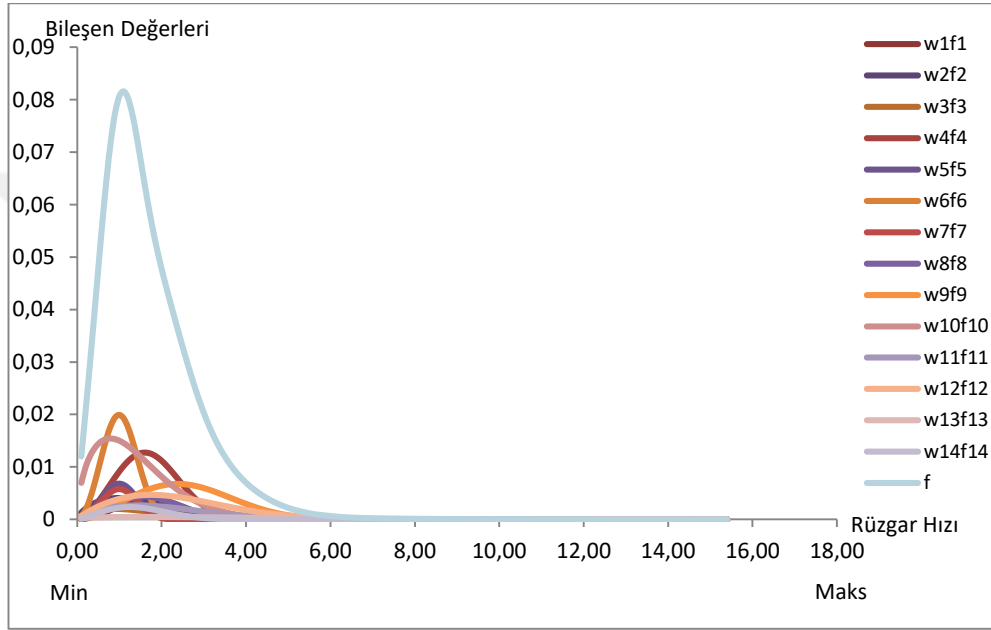
Çizelge 4.9. Doğu Anadolu Bölgesi'nde Yer Alan İller için İki Parametrelili Weibull Dağılım Parametrelerinin Tahmini

İller	Likelihood Değeri	A	B	Örneklem Büyüklüğü	Karma Oranı
Ağrı o.y.f.	-270,72	2,7825	2,0201	168	0,0511
Bingöl o.y.f.	-241,78	1,6663	1,6997	204	0,0620
Bitlis o.y.f.	-35,49	1,6132	4,8127	96	0,0292
Elazığ o.y.f.	-821,92	2,6377	1,9216	528	0,1606
Erzincan o.y.f.	-309,38	2,9037	1,1497	156	0,0474
Erzurum o.y.f.	-503,46	2,0128	2,4462	456	0,1387
Hakkâri o.y.f.	-135,93	1,8768	2,3665	132	0,0401
Kars o.y.f.	-277,86	2,4834	1,9443	192	0,0584
Malatya o.y.f.	-542,46	2,5027	2,9187	444	0,1350
Muş o.y.f.	-269,92	1,5488	1,5396	228	0,0693
Tunceli o.y.f.	-183,18	1,7498	2,3385	180	0,0547
Van o.y.f.	-339,52	1,8443	2,6742	348	0,1058
Ardahan o.y.f.	-15,50	1,3451	4,2443	60	0,0182
Iğdır o.y.f.	-144,04	2,1953	1,6486	96	0,0292
Toplam Örneklem Büyüklüğü				3.288	1

Doğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan iller için oluşturulan 14 bileşenli Karma Weibull Dağılım Modeli f fonksiyonu;

$$f = w_1.f_1 + w_2.f_2 + w_3.f_3 + w_4.f_4 + w_5.f_5 + w_6.f_6 + w_7.f_7 + w_8.f_8 + w_9.f_9 + w_{10}.f_{10} + w_{11}.f_{11} + w_{12}.f_{12} + w_{13}.f_{13} + w_{14}.f_{14} \quad (4.7)$$

Şeklindedir.



Şekil 4.19. Doğu Anadolu Bölgesi illeri için Karma Dağılım Grafiği

Doğu Anadolu Bölgesi için karma dağılım modeli grafiği oluşturulmuş ve Şekil 4.19'da gösterilmiştir. Doğu Anadolu bölgesi illeri için oluşturulan karma dağılım grafiğine göre her bir il için oluşturulan dağılım grafikleri ayrı birer tepe oluşturmamış karma dağılım grafiği ile iç içe geçmiş bir dağılım grafiği oluşturmuştur.

4.4.3.3. Ege Bölgesi için Karma Weibull Dağılım Modeli

Bölgeler karmasında ağırlık açısından 3. sırada yer alan Ege Bölgesi'nde 8 il bulunmaktadır. Ege Bölgesi için parametre değerleri hesaplanmış ve Çizelge

4.10.'da gösterilmiştir. Bu iller içinde en yüksek ağırlığa sahip olan İzmir'dir ve ağırlık değeri 0,2433'tür. Bu iller için 8 bileşenli Karma Weibull Dağılım Modeli oluşturulmuştur.

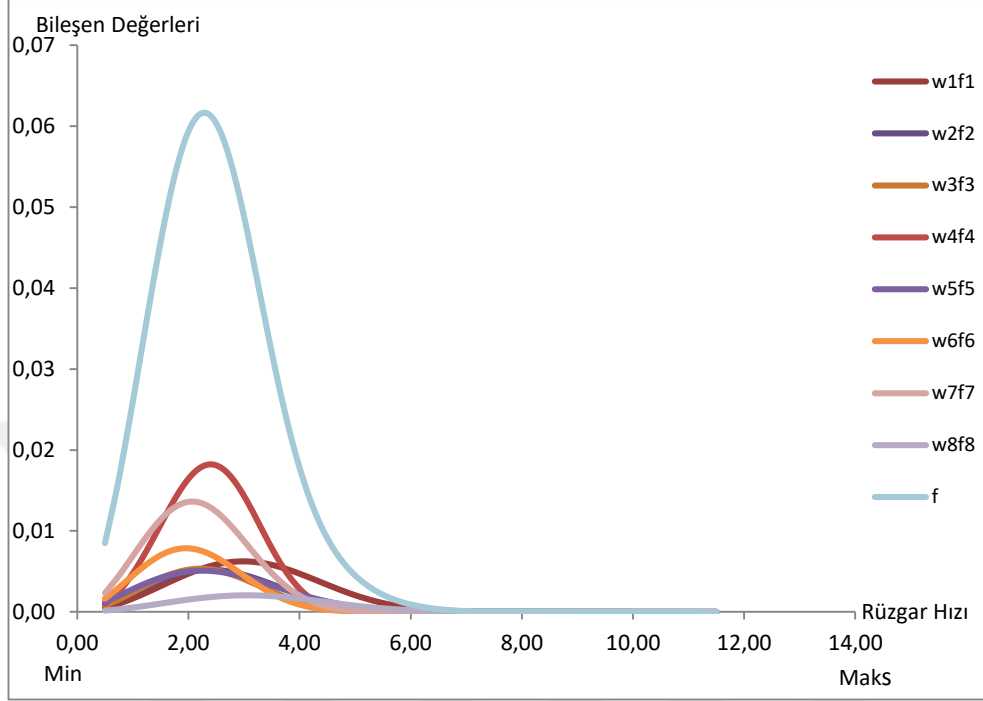
Çizelge 4.10. Ege Bölgesi'nde Yer Alan İller için İki Parametrelili Weibull Dağılım Parametrelerinin Tahmini

İller	Likelihood Değeri	A	B	Örneklem Büyüklüğü	Karma Oranı
Afyon o.y.f.	-511,91	2,7652	3,5128	456	0,1267
Aydın o.y.f.	-412,74	2,5506	2,8939	336	0,0933
Denizli o.y.f.	-408,42	2,6881	2,6387	300	0,0833
İzmir o.y.f.	-1335,33	3,2797	2,6834	876	0,2433
Kütahya o.y.f.	-388,02	2,3293	2,8622	348	0,0967
Manisa o.y.f.	-555,90	2,5875	2,3622	408	0,1133
Muğla o.y.f.	-1011,32	2,6717	2,4669	720	0,2000
Uşak o.y.f.	-174,61	2,7391	3,5994	156	0,0433
Toplam Örneklem Büyüklüğü				3.600	1

Ege Bölgesi'nde bulunan 8 il için oluşturulan bileşenli Karma Weibull Dağılım Modeli için f fonksiyonu;

$$f=w_1.f_1 + w_2.f_2+w_3.f_3+w_4.f_4+w_5.f_5+w_6.f_6+w_7.f_7+w_8.f_8 \quad (4.8)$$

Şeklindedir.



Şekil 4.20. Ege Bölgesi illeri için Karma Dağılım Grafiği

Ege Bölgesi için karma dağılım modeli grafiği oluşturulmuş ve Şekil 4.20'de gösterilmiştir. Ege Bölgesi illeri için oluşturulan karma dağılım grafiğine göre oluşturulan dağılım grafikleri de Akdeniz ve Doğu Anadolu bölgesi dağılım grafiklerinde olduğu gibi ayrı birer tepe oluşturmamış karma dağılım grafiği içerisinde gizlenmiş şekilde görülmektedir.

4.4.3.4. Güneydoğu Anadolu Bölgesi için Karma Weibull Dağılım Modeli

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde 8 il bulunmaktadır. Bölge için parametre değerleri hesaplanmış ve bu değerlere Çizelge 4.11.'de yer verilmiştir. Ağırlık sonuçlarına göre bölgede en yüksek ağırlığa sahip il Şanlıurfa'dır ve ağırlık değeri 0,2628'dir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi için 8 bileşenli Karma Weibull Dağılım Modeli oluşturulmuştur.

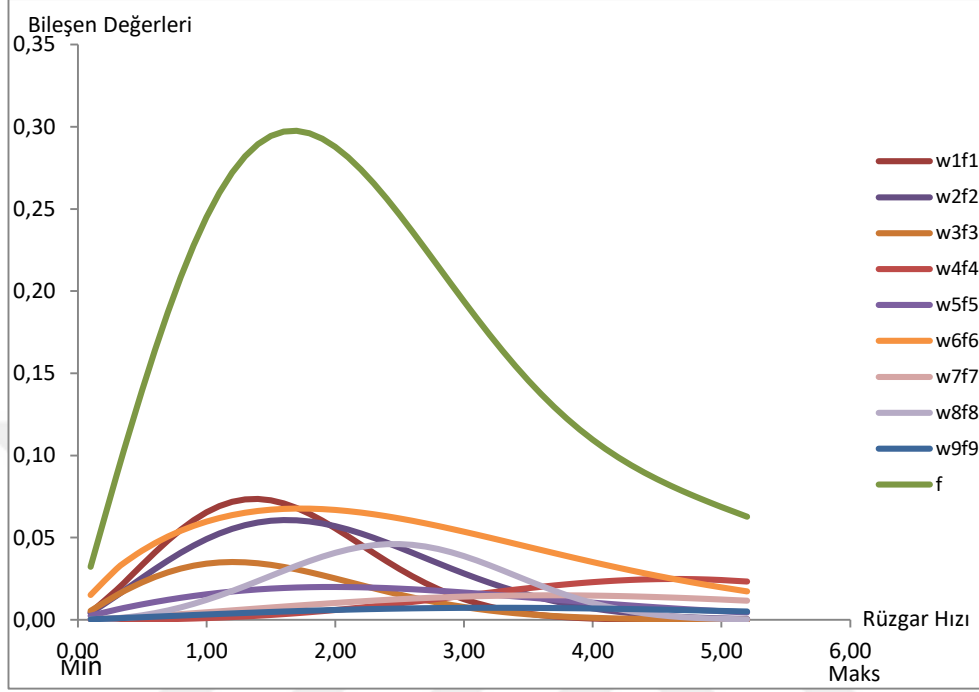
Çizelge 4.11. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Yer Alan İller için İki Parametrelili Weibull Dağılım Parametrelerinin Tahmini

İller	Likelihood Değeri	A	B	Örneklem Büyüklüğü	Karma Oranı
Adıyaman o.y.f.	-338,88	2,2784	1,7718	228	0,1387
Diyarbakır o.y.f.	-307,24	2,1533	2,1697	240	0,1460
Gaziantep o.y.f.	-161,16	1,9460	1,7481	120	0,0730
Mardin o.y.f.	-171,09	3,4843	5,1118	156	0,0949
Siirt o.y.f.	-91,279	1,6637	3,0039	120	0,0730
Şanlıurfa o.y.f.	-380,27	1,8596	2,9908	432	0,2628
Batman o.y.f.	-90,84	2,3343	4,6692	120	0,0730
Şırnak o.y.f.	-327,01	3,2094	2,7650	168	0,1022
Kilis o.y.f.	-40,48	2,1101	4,3951	60	0,0365
Toplam Örneklem Büyüklüğü				1.644	1

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan 9 il için oluşturulan bileşenli karma Weibull dağılımı modeli için f fonksiyonu;

$$f = w_1.f_1 + w_2.f_2 + w_3.f_3 + w_4.f_4 + w_5.f_5 + w_6.f_6 + w_7.f_7 + w_8.f_8 + w_9.f_9 \quad (4.9)$$

Şeklindedir.



Şekil 4.21. Güneydoğu Anadolu Bölgesi illeri için Karma Dağılım Grafiği

Güneydoğu Anadolu Bölgesi için karma dağılım modeli grafiği oluşturulmuş ve Şekil 4.21'de gösterilmiştir. Bölge illeri için oluşturulan karma dağılım grafiğine göre bu bölgedeki her bir il için oluşturulan dağılım grafikleri de Akdeniz, Doğu Anadolu ve Ege bölgesi illeri için oluşturulan dağılım grafiklerinde olduğu gibi ayrı birer tepe oluşturmamış karma dağılım grafiği içerisinde gizlenmiş şekilde görülmektedir.

4.4.3.5. İç Anadolu Bölgesi için Karma Weibull Dağılım Modeli

İç Anadolu Bölgesi'nde 14 il bulunmaktadır. Bölge için hesaplanan parametre değerleri Çizelge 4.12.'de gösterilmiştir. İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan iller için 14 bileşenli Karma Weibull Dağılım Modeli oluşturulmuştur. Bölge'nin ağırlığı en yüksek ili Ankara'dır ve ağırlık değeri 0,2005'tir.

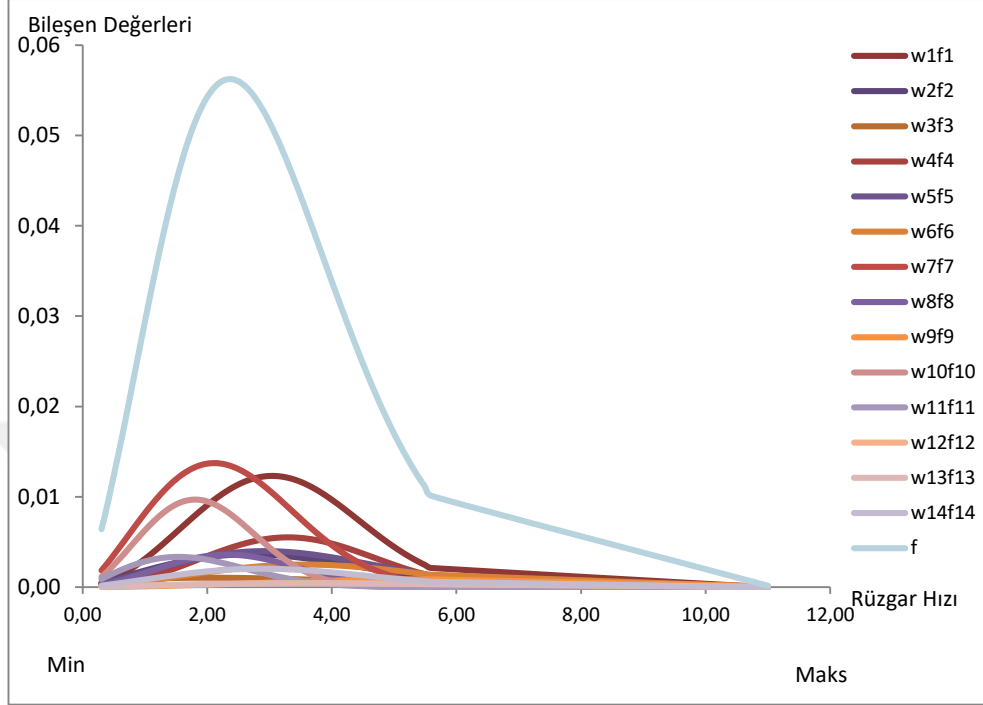
Çizelge 4.12. İç Anadolu Bölgesi'nde Yer Alan İller için İki Parametrelili Weibull Dağılım Parametrelerinin Tahmini

İller	Likelihood Değeri	A	B	Örneklem Büyüklüğü	Karma Oranı
Ankara o.y.f.	-1030,81	2,7735	3,5740	912	0,2005
Çankırı o.y.f.	-283,11	2,1741	3,5654	324	0,0712
Çorum o.y.f.	-60,71	1,5709	3,7877	120	0,0264
Eskişehir o.y.f.	-473,83	2,9668	3,7855	408	0,0810
Kayseri o.y.f.	-333,10	2,3015	3,7426	360	0,0792
Kırşehir o.y.f.	-198,50	2,5383	4,3342	240	0,0528
Konya o.y.f.	-1041,92	2,3115	2,6965	888	0,1953
Nevşehir o.y.f.	-275,23	2,6365	2,7760	216	0,0475
Niğde o.y.f.	-65,57	2,7048	6,5913	120	0,0264
Sivas o.y.f.	-679,84	2,5159	2,2064	480	0,1055
Yozgat o.y.f.	-217,01	2,1012	2,0881	180	0,0396
Aksaray o.y.f.	-32,18	2,0985	5,0852	60	0,0132
Karaman o.y.f.	-30,16	1,9806	5,2920	60	0,0132
Kırıkkale o.y.f.	-162,91	2,3155	3,6677	180	0,0396
Toplam Örneklem Büyüklüğü				4.548	1

İç Anadolu bölgesi'nde bulunan 14 il için oluşturulan bileşenli Karma Weibull Dağılım Modeli için f fonksiyonu;

$$f = w_1.f_1 + w_2.f_2 + w_3.f_3 + w_4.f_4 + w_5.f_5 + w_6.f_6 + w_7.f_7 + w_8.f_8 + w_9.f_9 + w_{10}.f_{10} + w_{11}.f_{11} + w_{12}.f_{12} + w_{13}.f_{13} + w_{14}.f_{14} \quad (4.10)$$

Şeklindedir.



Şekil 4.22. İç Anadolu Bölgesi illeri için Karma Dağılım Grafiği

İç Anadolu Bölgesi için karma dağılım modeli grafiği oluşturulmuş ve Şekil 4.22’de gösterilmiştir. İç Anadolu bölgesi illeri için oluşturulan karma dağılım grafiğine göre bu bölgedeki her bir il için oluşturulan dağılım grafikleri de Akdeniz, Doğu Anadolu, Ege bölgesi ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yer alan iller için oluşturulan dağılım grafiklerinde olduğu gibi ayrı birer tepe oluşturmamış karma dağılım grafiği içerisinde gizlenmiş şekilde görülmektedir.

4.4.3.6. Karadeniz Bölgesi için Karma Weibull Dağılım Modeli

Karadeniz Bölgesi’nde 17 il bulunmaktadır. Bölge için parametre değerleri hesaplanmış ve Çizelge 4.13.’de gösterilmiştir. Karadeniz Bölgesi’nin ağırlığı en yüksek ili Kastamonu’dur ve ağırlık değeri 0,1255’tir. Karadeniz bölgesi illeri için 17 bileşenli Karma Weibull Dağılım Modeli oluşturulmuştur.

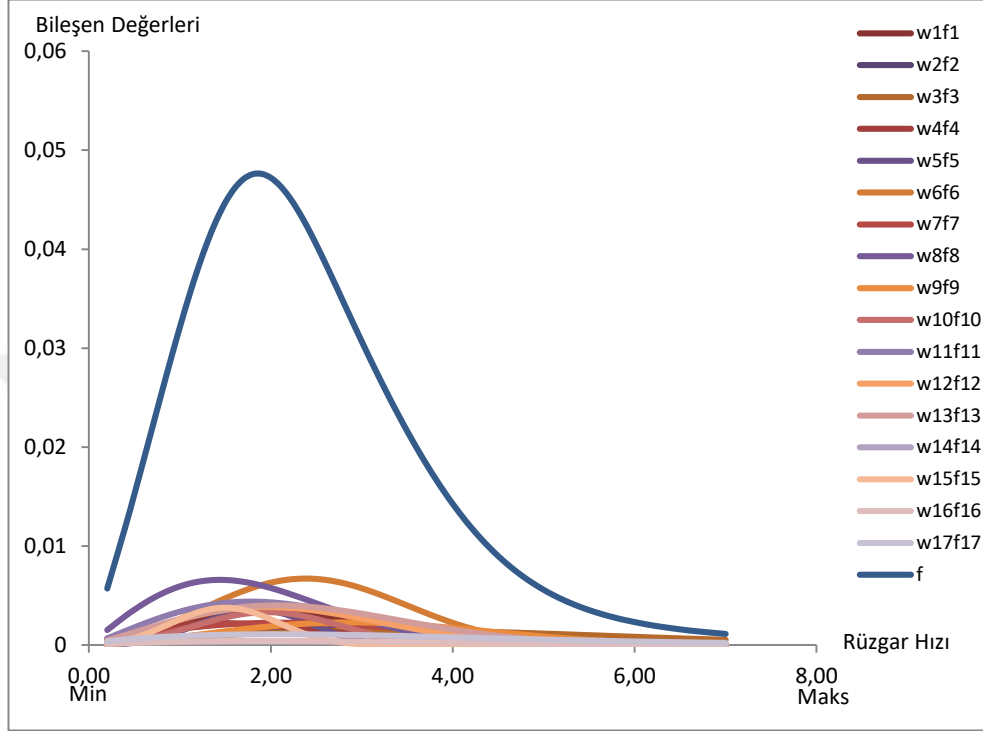
Çizelge 4.13. Karadeniz Bölgesi'nde Yer Alan İller için İki Parametrelili Weibull Dağılım Parametrelerinin Tahmini

İller	Likelihood Değeri	A	B	Örneklem Büyüklüğü	Karma Oranı
Amasya o.y.f.	-247,55	2,2685	2,4799	204	0,0646
Artvin o.y.f.	-119,59	2,2999	3,1768	120	0,0380
Bolu o.y.f.	-109,16	2,0062	4,6171	180	0,0570
Giresun o.y.f.	-141,53	1,8539	2,1453	132	0,0418
Gümüşhane o.y.f.	-223,93	3,5675	2,0193	120	0,0380
Kastamonu o.y.f.	-515,19	2,7424	2,8110	396	0,1255
Ordu o.y.f.	-165,08	1,9114	3,1256	192	0,0608
Rize o.y.f.	-451,40	1,9869	2,0471	360	0,1141
Samsun o.y.f.	-187,98	2,5129	3,5174	180	0,0570
Sinop o.y.f.	-233,25	3,0230	2,2413	144	0,0456
Tokat o.y.f.	-328,57	2,0864	2,4294	276	0,0875
Trabzon o.y.f.	-291,72	2,2438	2,5446	240	0,0761
Zonguldak o.y.f.	-290,57	2,1638	2,7499	276	0,0875
Bayburt o.y.f.	-1,21	1,3549	5,7411	60	0,0190
Bartın o.y.f.	-221,58	3,1132	1,6987	120	0,0380
Karabük o.y.f.	-28,05	1,7548	3,1482	36	0,0114
Düzce o.y.f.	-73,44	1,6348	3,6959	120	0,0380
Toplam Örneklem Büyüklüğü				3.156	1

İç Anadolu Bölgesi'nde bulunan iller için oluşturulan 14 bileşenli Karma Weibull Dağılım Modeli için f fonksiyonu;

$$f=w_1.f_1+w_2.f_2+w_3.f_3+w_4.f_4+w_5.f_5+w_6.f_6+w_7.f_7+w_8.f_8+w_9.f_9+w_{10}.f_{10}+w_{11}.f_{11}+w_{12}.f_{12}+w_{13}.f_{13}+w_{14}.f_{14}+w_{15}.f_{15}+w_{16}.f_{16}+w_{17}.f_{17} \quad (4.11)$$

Şeklindedir.



Şekil 4.23. Karadeniz Bölgesi illeri için Karma Dağılım Grafiği

Karadeniz Bölgesi için karma dağılım modeli grafiği oluşturulmuş ve Şekil 4.23'te gösterilmiştir. Karadeniz bölgesi illeri için oluşturulan karma dağılım grafiğine göre bu bölgedeki her bir il için oluşturulan dağılım grafikleri de Akdeniz, Doğu Anadolu, Ege bölgesi, Güneydoğu Anadolu ve İç Anadolu bölgelerinde olduğu gibi ayrı birer tepe oluşturmamış karma dağılım grafiği içerisinde gizlenmiş şekilde görülmektedir.

4.4.3.7. Marmara Bölgesi için Karma Weibull Dağılım Modeli

Marmara Bölgesi'nde 11 il bulunmaktadır. Bölge için parametre değerleri hesaplanmış ve Çizelge 4.14.'te gösterilmiştir. Marmara Bölgesi'nin ağırlığı en

yüksek ili Balıkesir'dir ve ağırlık değeri 0,1937'dir. Marmara bölgesi illeri için 11 bileşenli Karma Weibull Dağılım Modeli oluşturulmuştur.

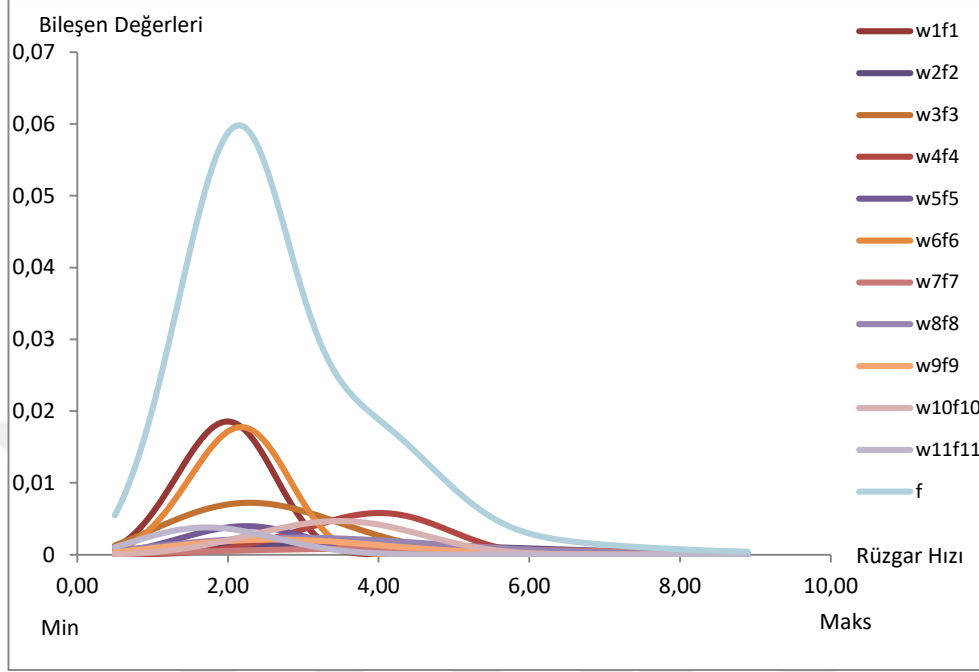
Çizelge 4.14. Marmara Bölgesi'nde Yer Alan İller için İki Parametrelili Weibull Dağılım Parametrelerinin Tahmini

İller	Likelihood Değeri	A	B	Örneklem Büyüklüğü	Karma Oranı
Balıkesir o.y.f.	-1184,43	3,6409	2,1788	660	0,1937
Bilecik o.y.f.	-105,60	2,1069	4,7491	180	0,0528
Bursa o.y.f.	-557,97	2,5172	2,8042	456	0,1338
Çanakkale o.y.f.	-475,77	4,7274	4,2172	312	0,0916
Edirne o.y.f.	-279,35	3,2423	2,5089	180	0,0528
İstanbul o.y.f.	-1157,42	3,8548	2,3526	648	0,1901
Kırklareli o.y.f.	-59,37	2,1985	5,5280	120	0,0352
Kocaeli o.y.f.	-180,05	2,1628	3,8407	228	0,0669
Sakarya o.y.f.	-167,39	2,4400	3,2464	156	0,0458
Tekirdağ o.y.f.	-382,89	3,6646	3,7981	288	0,0845
Yalova o.y.f.	-260,53	2,5048	2,1088	180	0,0528
Toplam Örneklem Büyüklüğü				3.408	1

İç Anadolu Bölgesi'nde bulunan iller için oluşturulan 11 bileşenli Karma Weibull Dağılım Modeli için f fonksiyonu;

$$f=w_1.f_1+w_2.f_2+w_3.f_3+w_4.f_4+w_5.f_5+w_6.f_6+w_7.f_7+w_8.f_8+w_9.f_9+w_{10}.f_{10}+w_{11}.f_{11} \quad (4.12)$$

Şeklindedir.



Şekil 4.24. Marmara Bölgesi illeri için Karma Dağılım Grafiği

Marmara Bölgesi için karma dağılım modeli grafiği oluşturulmuş ve Şekil 4.24'te gösterilmiştir. Bölgede yer alan iller için oluşturulan karma dağılım grafiğine göre her bir il için oluşturulan dağılım grafikleri de diğer altı bölgede yer alan iller için oluşturulan dağılım grafiklerinde olduğu gibi ayrı birer tepe oluşturmamış, karma dağılım grafiği içerisinde gizlenmiş şekilde görülmektedir.

4.5. Rüzgâr Gücünden Elektrik Enerjisi için SWOT Analizi

Rüzgâr enerjisinden faydalanmanın hem çevresel hem de kaynak varlığı açısından önemini vurgulamak açısından rüzgâr enerjisi için SWOT analizi yapılmış, güçlü ve zayıf yönleri Çizelge 4.15'te, fırsatlar ve tehditlere Çizelge 4.16'da yer verilmiştir.

Rüzgâr, güneş kaynaklı radyasyonun yer yüzeyini farklı ısıtmasından kaynaklanır. Yer yüzeyinin farklı ısınması, havanın sıcaklığının, neminin ve

basıncının farklı olmasına, bu farklı basınç da havanın hareketine neden olur. Dünyaya ulaşan güneş enerjisinin yaklaşık %2'si kadarı rüzgâr enerjisine dönüşür. Rüzgârın özellikleri, yerel coğrafi farklılıklar ve yeryüzünün homojen olmayan ısınmasına bağlı olarak, zamansal ve yöresel değişiklik gösterir. Rüzgâr hız ve yön olmak üzere iki parametre ile ifade edilir. Rüzgâr hızı yükseklikle artar ve teorik gücü de hızının küpü ile orantılı olarak değişir. Rüzgâr gücünden faydalanmak için bu gücün enerjiye dönüştürülmesi gereklidir. Rüzgâr enerjisini elektrik enerjisine dönüştürebilmek için rüzgâr türbinleri kullanılmaktadır (Keleş D. ve ark, 2013). Rüzgâr türbinleri, rüzgâr enerji santrallerinin ana yapı elemanı olup hareket halindeki havanın kinetik enerjisini öncelikle mekanik enerjiye ve sonrasında elektrik enerjisine dönüştüren makinelerdir. Rüzgâr türbinleri dönüş eksenlerinin doğrultusuna göre yatay eksenli veya dikey eksenli olarak imal edilirler. Bu tiplerden en fazla kullanılanı yatay eksenli rüzgâr türbinleridir (<https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar>).

Çizelge 4.15. Rüzgâr Enerjisi için SWOT Analizi (Güçlü ve Zayıf Yönler)

S (Güçlü Yönler)	W (Zayıf Yönler)
1. Temiz ve emisyonuz (CO₂, CO, NO_x) bir enerji kaynağı olduğu için sera gazları oluşturmaz ve küresel ısınmaya katkı yapmaz. Asit yağmurlarına, doğal bitki örtüsü ve insan sağlığına olumsuz bir etkisi bulunmaz. 2. Dışa bağımlı olmayan bir kaynaktır. 3. Çevreye zararlı emisyonları (V(CO₂, CO, NO_x) çıkarmaz, küresel ısınmaya, asit yağmurlarına, doğal bitki örtüsü ve insan sağlığına olumsuz bir etkisi bulunmaz. 4. İspatlanmış bir emniyet kaydına sahiptir. 5. Rüzgârın enerji içeriği rüzgâr hızının küpü ile değışir. Rüzgârın hızı iki katına çıktığında enerji 8 katına çıkmaktadır. 6. Dışa bağımlı olmayan, doğal bir kaynaktır. Dolayısıyla çevresel koşullar uygun olduğunda sürekli enerji oluşturan bir kaynaktır. 7. 3 ay gibi kısa sürede devreye alınıp kullanılabilmekte ve kısa sürede sökülebilmektedir. 8. Rüzgâr türbinleri için yakıt maliyeti yoktur ve işletme masrafları çok azdır.	1. Rüzgâr enerjisinin en zayıf yönü değışkenliğidir. Bu nedenle rüzgâr kesilmesi veya azalması ile enerji kaybı oluşur. 2. Gürültüye neden olur. 3. Görsel ve estetik kirlilik yaratabilir. 4. Büyük dönel bir makine olması nedeni ile kuş ölümlerine sebep olabilir. 5. Türbinler elektromanyetik dalgayı etkileyebildiği için 2-3 km'lik alan içerisinde radyo ve TV alıcılarında parazitlere neden olur. 6. Türbin maliyetleri yüksek olabilmektedir. Ancak gittikçe azalan bir maliyet durumu söz konusudur.

Çizelge 4.16. Rüzgâr Enerjisi için SWOT Analizi (Fırsatlar ve Tehditler)

O (Fırsatlar)	T (Tehditler)
1.Rüzgâr enerjisi sektörü küresel piyasada diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre çok daha hızlı büyüme kaydetmektedir. 2000 yılında 17000 MW olan dünya toplam kapasitesi 25 kattan daha fazla artarak 2015 yılında bu rakam 430.000 MW'a çıkmıştır. 2.Endüstrinin başarısı büyük şirketleri ve diğer enerji sektörlerinden yatırımcıları kendine çekmektedir. 3.Teknolojik gelişimi hızlıdır. 4.Döviz getirisi olan bir kaynaktır. 5.İstihdam yaratabilme özelliğine sahiptir. 6. Fiyat artma riski yoktur. 7.Toplumsal maliyetler göz önüne alındığında devletin sağlaması gereken sürekli bir mali desteğe ihtiyaç yoktur.	1.Gerekli kredi ve teknolojiyi ülke dışından edinmeyi gerektirebilir. 2.Rüzgâr hızı ölçümlerinde yapılabilecek hatalar rüzgâr enerjisi potansiyelinin kullanılabilirliğini etkileyebilir.

SWOT analizi sonucuna göre; rüzgâr enerjisinin güçlü yönleri, zayıf yönlerinden; fırsatları, tehditlerinden üstündür. SWOT analizi ile neden rüzgâr enerjisinden faydalanılması gerektiği açıkça göz önüne serilmektedir.

4.6. Türkiye’de Rüzgâr Enerji Gücü Durumu ve Rüzgâr Enerji Gücüyle Elektrik Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi

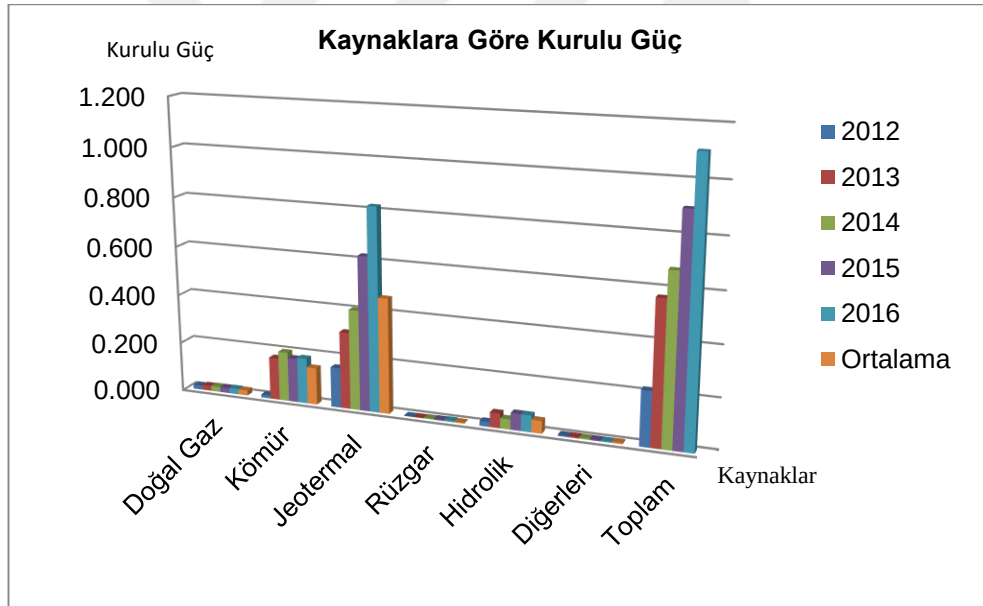
Enerji kaynaklarına sürekli ihtiyaç duyulmaktadır. Son derece kritik öneme sahip olan bu kaynakların kesintiye uğraması durumunda ulaşım, ısınma, beslenme

gibi temel ihtiyaçların temin edilmesi durma noktasına gelebilir. Dünya genelindeki hızlı nüfus artışı enerjiye olan ihtiyacın da aynı oranda artışına neden olmaktadır. Öte yandan bilinen geleneksel enerji kaynaklarının mevcut potansiyeli de gün geçtikçe tükenmeye başlamaktadır. Günümüzde artık petrol ve türevi fosil yakıtların kalan ömür süreleri telaffuz edilmektedir. Fosil yakıtların kullanımı sonucu ortaya çıkan olumsuz çevresel faktörler ile birlikte bu yakıtların tükenmekte oldukları göz önünde bulundurulduğunda yeni ve temiz enerji kaynaklarına yönelmek kaçınılmaz olmuştur. Bu yeni temiz enerji kaynaklarının yenilenebilir olması kaynağın devamlılığı açısından son derece önem arz etmektedir. Güneş, rüzgâr, biokütle yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelmektedir. Bu kaynakların potansiyeli, dünyanın enerji talebinin büyük bir kısmını karşılayabilecek kapasiteye sahiptir. Literatürde yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyelinin değerlendirilmesi konusunda birçok çalışmaya yer verilmiş ve verilmeye devam etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelen bu çalışmanın da temelini oluşturan rüzgâr enerjisi potansiyelini ortaya çıkarmaya yönelik birçok çalışma mevcuttur.

SWOT analizi ile değerlendirildiğinde ve güçlü yönleri zayıf yönlerinden, fırsatları tehditlerinden üstün olan rüzgâr gücü enerji potansiyeli bakımından ülkemiz oldukça zengindir. Kaynaklara göre elektrik üretiminde kurulu güç dağılımına göre, 2016 yılı sonu itibarı ile kurulu gücümüzün % 5,8'i rüzgâr kaynaklıdır (Çizelge 4.17.). Bu rakam 2019 yılı ilk yarısı itibarı ile % 8'e ulaşmıştır. Kaynaklara göre Türkiye'nin Kurulu Güç grafiğine Şekil 4.25'te yer verilmiştir.

Çizelge 4.17. Kaynaklara göre Türkiye'nin Kurulu Gücü

Kaynaklar	Kurulu Güç (MW)					
	2012	2013	2014	2015	2016	Ortalama
Doğal Gaz	17.164	20.255	21.476	21.261	22.217	20.475
Kömür	12.530	171.812	200.417	179.366	184.889	149.803
Jeotermal	162.200	310.8	404.9	623.9	820.9	464.540
Rüzgâr	2.261	2.76	3.63	4.503	5.751	3.781
Hidrolik	19.620	59.42	40.645	67.146	67.268	50.820
Diğerleri	5.335	5.83	5.555	5.159	4.878	5.351
Toplam	219.110	570.877	676.623	901.335	1105.9	



Şekil 4.25. Kaynaklara göre Türkiye'nin Kurulu Gücü

4.6.1. Ortalama Güç Yoğunluğu

Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE), rüzgâr enerjisi alanında Ar-Ge projelerini sürdürmek amacıyla, 1983 yılında bir çalışma başlatmıştır. Bunun için ilk adım olan potansiyel belirleme çalışmalarında, DMİ Genel Müdürlüğü'ne ait istasyonların 1970-1980 yılları arasındaki aylık rüzgâr hız ve yönüne ait 10 yıllık veriler değerlendirilerek Çizelge 4.18'de görülen Türkiye'de bulunan coğrafik bölgelerin ortalama rüzgâr gücü yoğunlukları ve rüzgâr hızları hesaplanmıştır. Buna göre, güç yoğunluğunun en yüksek olduğu bölge, 51.91 W/m² ile Marmara, en düşük olduğu bölge ise 13,19 W/m² ile Doğu Anadolu bölgesidir.

Çizelge 4.18. Bölgelere göre Ortalama Rüzgâr Gücü Yoğunluğu ve Ortalama Rüzgâr Hızları (Çakmakçı,2019)

Bölge	Ortalama Rüzgâr Güç Yoğunluğu (W/m ²)	Ortalama Rüzgâr Hızı (m/sn)
Marmara Bölgesi	51.91	3.29
Ege Bölgesi	23.47	2.65
Akdeniz Bölgesi	21.36	2.45
İç Anadolu Bölgesi	20.14	2.46
Karadeniz Bölgesi	21.31	2.38
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	29.33	2.69
Doğu Anadolu Bölgesi	13.19	2.12
Ortalama	25.82	2.58

Bir bölgede rüzgâr gücünden elektrik enerjisi elde etme potansiyelinin belirlenmesinde faydalanılan önemli niceliklerden birisi olan ortalama güç

yoğunluğudur. Rüzgâr enerjisi potansiyelini belirlemek için gereken verilerin en temel olanı rüzgâr hızıdır. Çalışmada, Türkiye’de bulunan 7 coğrafi bölge için Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden alınan 2012 ile 2016 yıllarına ait gerçek rüzgâr hızı verileri ile her bir yıl için ortalama rüzgâr hızı ($\bar{V}$) ve ortalama güç yoğunluğu ($\overline{WPD}$) değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.19.).

$$\overline{WPD} = 0.5 * \rho * A * \bar{V}^3 \quad (4.13)$$

$$\bar{V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i \quad (4.14)$$

$$\rho = \frac{P}{R * T} \quad (4.15)$$

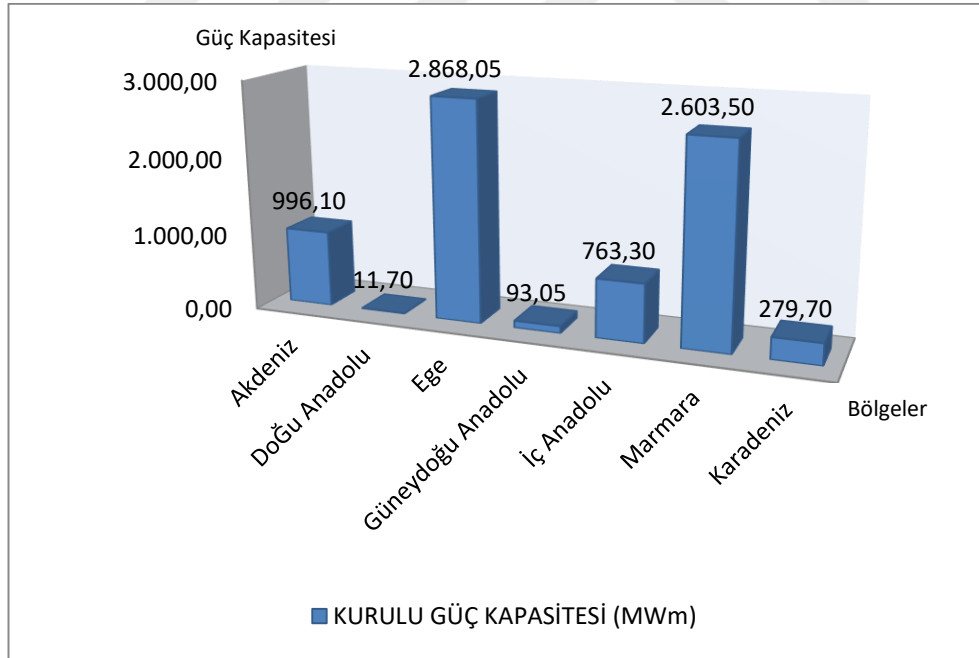
Çizelge 4.19. Bölgelere göre Rüzgâr Enerji Potansiyeli

Bölge	2012		2013		2014		2015		2016		Ortalama	
	$\bar{V}$ (m/sn)	$\overline{WPD}$ (W/m ²)	$\bar{V}$ (m/sn)	$\overline{WPD}$ (W/m ²)	$\bar{V}$ (m/sn)	$\overline{WPD}$ (W/m ²)	$\bar{V}$ (m/sn)	$\overline{WPD}$ (W/m ²)	$\bar{V}$ (m/sn)	$\overline{WPD}$ (W/m ²)	$\bar{V}$ (m/sn)	$\overline{WPD}$ (W/m ²)
Marmara	2.91	14.90	2.75	12.50	2.76	12.58	3.10	18.00	3.06	17.33	2.92	15.06
Ege	2.41	8.24	2.46	8.69	2.41	8.18	2.53	9.51	2.54	9.55	2.47	8.83
Akdeniz	1.98	4.49	1.99	4.55	1.95	4.30	2.00	4.66	2.02	4.80	1.99	4.56
İç Anadolu	2.23	6.08	2.23	6.09	2.19	5.70	2.23	6.05	2.26	6.30	2.23	6.05
Karadeniz	2.06	5.14	2.13	5.61	1.99	4.60	1.94	4.23	2.12	5.52	2.05	5.02
Doğu Anadolu	1.87	3.46	1.82	3.20	2.09	4.83	1.90	3.64	2.01	4.28	1.94	3.88
Güneydoğu Anadolu	2.02	4.63	2.02	4.59	2.02	4.64	2.05	4.81	2.12	5.35	2.05	4.80

Gerçek verilerle hesaplanan ortalama hız ve ortalama güç yoğunluğu değerlerine göre; en büyük ortalama hız değeri 2.92 m/s ve en büyük ortalama güç yoğunluğu değeri 15.06 W/m² ile Marmara Bölgesi’ne aittir. Bu bölgeyi 2.47 m/s ortalama hız ve 8.83 W/m² ortalama güç yoğunluğu değeri ile Ege bölgesi takip etmektedir. Marmara Bölgesi ortalama hızının 3.10 m/s ile en yüksek olduğu yıl 2015 yılıdır. Ege Bölgesi ortalama hızının 2.54 m/s ile 2016 yılında en yüksek rüzgâr hızı değerine ulaştığı gözlenmektedir. Bu iki bölge mevcut durumda RES

(Rüzgâr Elektrik Santrali)’lerin en yoğun bulunduğu bölgelerdir. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü’nün 2006 yılında hazırladığı REPA (Rüzgâr Enerji Potansiyeli Atlası)’ya göre Türkiye’nin tüm bölgeleri rüzgâr enerji potansiyeline sahip olmasına rağmen yatırımcıların tercihleri ya da farklı nedenlerden RES’ler ağırlıklı bu bölgelerde kurulmuştur.

En düşük ortalama rüzgâr hız 1.94 m/s ve en düşük ortalama rüzgâr güç yoğunluğuna 3.88 W/m² sahip bölge Doğu Anadolu Bölgesi’dir. Bu bölge RES yoğunluğun en az olduğu bölgedir. 2019 yılı itibarı ile Türkiye’nin rüzgâr enerji santrali kurulu gücü 183 RES (Rüzgâr Elektrik Santrali) ile 7.615 MW’a ulaşmıştır. RES’lerin yoğunlukta olduğu bölgeler 2.868 MW ile Ege Bölgesi ve 2.603 MW ile Marmara Bölgesi’dir (Şekil 4.26.). Doğu Anadolu Bölgesi, 11.70 MW Kurulu gücü ve en düşük ortalama hız ve ortalama güç yoğunluğu değerlerine sahiptir.



Şekil 4.26. Bölgelere göre Kurulu Rüzgâr Gücü

Daha sonra Weibull Dağılımı ile ortalama rüzgâr hızı ($\bar{V}$) ve ortalama rüzgâr güç yoğunlukları ($\overline{WPD}$) tahmin edilmiştir (Çizelge 4.20.).

$$\overline{WPD} = 0.5 * \rho * c^3 * \Gamma\left(\frac{k+3}{k}\right) \quad (4.16)$$

$$\bar{V} = c * \Gamma\left(\frac{k+1}{k}\right) \quad (4.17)$$

Çizelge 4.20. Weibull Dağılımı ile Bölgelere göre Rüzgâr Enerji Potansiyeli Tahmini

Bölge	2012		2013		2014		2015		2016		Ortalama	
	$\bar{V}$ (m/sn)	$\overline{WPD}$ (W/m ²)	$\bar{V}$ (m/sn)	$\overline{WPD}$ (W/m ²)	$\bar{V}$ (m/sn)	$\overline{WPD}$ (W/m ²)	$\bar{V}$ (m/sn)	$\overline{WPD}$ (W/m ²)	$\bar{V}$ (m/sn)	$\overline{WPD}$ (W/m ²)	$\bar{V}$ (m/sn)	$\overline{WPD}$ (W/m ²)
Marmara	2.93	26.28	2.76	22.87	2.76	21.18	3.11	30.63	3.08	30.98	2.93	26.39
Ege	2.42	13.21	2.46	14.30	2.41	13.81	2.53	15.98	2.54	15.14	2.47	14.49
Akdeniz	1.98	9.29	1.99	8.12	1.95	7.76	2.00	8.58	2.02	8.71	1.99	8.49
İç Anadolu	2.22	10.10	2.23	9.75	2.18	8.91	2.23	9.91	2.26	9.82	2.22	9.70
Karadeniz	2.07	9.78	2.14	10.72	2.00	8.15	1.94	7.94	2.12	9.76	2.05	9.27
Doğu Anadolu	1.88	8.64	1.83	7.37	2.12	16.98	1.91	7.72	2.01	9.13	1.95	9.97
Güneydoğu Anadolu	2.02	8.16	2.03	9.05	2.03	9.23	2.06	9.94	2.13	10.62	2.06	9.40

Marmara Bölgesi, Weibull dağılımı ile tahmin edilen bölgelere göre, ortalama rüzgâr hızı ve ortalama rüzgâr güç yoğunluğu değerleri arasında; en büyük ortalama rüzgâr hızı değeri 2.93 m/s ve en büyük ortalama rüzgâr güç yoğunluğu değeri 26.39 W/m²'ne sahiptir. Bu bölgeyi 2.47 m/s ortalama hız ve 14.49 W/m² ortalama güç yoğunluğu değeri ile Ege bölgesi takip etmektedir. Marmara Bölgesi ortalama hızının 3.11 m/s ile en yüksek olduğu yıl 2015, Ege Bölgesi ortalama hızının 2.54 m/s ile en yüksek olduğu yıl 2016 yılı'dır. Ayrıca, Weibull dağılımı ile hesaplanan ortalama hız değerleri gerçek veriler ile hesaplanan değerlere oldukça yakın tahmin edilmiştir. Weibull Dağılımı ile tahmin edilen en düşük ortalama hız değerine 1.94 m/s sahip bölge Doğu Anadolu Bölgesi'dir.

Tahmin edilen en düşük ortalama güç yoğunluğu değeri 8.94 W/m² Akdeniz Bölgesi için hesaplanmıştır.

Karma Weibull Dağılım modeli her bir bölge için oluşturulmuştur. Karma model için ($\overline{WPD}$) (Liu ve ark, 2014) ve ($\bar{V}$) hesaplanmıştır (Çizelge 4.21.).

$$\overline{WPD} = 0.5 * \rho * (\sum_{i=1}^n w_i * c_i^3 * \Gamma(\frac{k_i+3}{k_i})) \quad (4.18)$$

$$\bar{V} = \sum_{i=1}^n w_i * c_i^3 * \Gamma(\frac{k_i+1}{k_i}) \quad (4.19)$$

Çizelge 4.21. Karma Weibull Dağılımı ile Bölgelere göre Rüzgâr Enerji Potansiyeli Tahmini

Bölge	2012		2013		2014		2015		2016		Ortalama	
	$\bar{V}$ (m/sn)	$\overline{WPD}$ (W/m ²)	$\bar{V}$ (m/sn)	$\overline{WPD}$ (W/m ²)	$\bar{V}$ (m/sn)	$\overline{WPD}$ (W/m ²)	$\bar{V}$ (m/sn)	$\overline{WPD}$ (W/m ²)	$\bar{V}$ (m/sn)	$\overline{WPD}$ (W/m ²)	$\bar{V}$ (m/sn)	$\overline{WPD}$ (W/m ²)
Marmara	2.98	31.90	2.66	24.39	3.06	44.09	2.77	22.75	3.35	57.27	2.96	36.08
Ege	2.95	25.39	2.51	16.13	2.66	18.54	2.37	12.74	2.66	18.13	2.63	18.19
Akdeniz	2.65	30.91	2.66	26.51	2.79	29.29	2.53	21.18	2.65	25.31	2.66	26.64
İç Anadolu	3.07	39.29	2.96	30.94	3.30	47.97	2.93	29.73	3.23	41.75	3.10	37.94
Karadeniz	2.64	37.77	2.57	33.34	2.75	35.44	2.59	44.60	2.72	37.19	2.65	37.67
Doğu Anadolu	2.07	36.52	2.00	21.87	2.22	24.50	2.31	19.16	2.23	18.54	2.17	24.12
Güneydoğu Anadolu	3.37	75.14	2.65	28.95	2.64	25.13	2.62	25.70	2.93	51.52	2.84	41.29

Modelde her bir bölgede bulunan şehirler karma modelin bileşenlerini oluşturmaktadır. Buna göre; Marmara Bölgesi için 11 bileşenli, Ege Bölgesi için 8 bileşenli, Akdeniz Bölgesi için 8 bileşenli, İç Anadolu Bölgesi için 14 bileşenli, Karadeniz Bölgesi için 16 bileşenli, Doğu Anadolu Bölgesi için 14 bileşenli, Güneydoğu Anadolu Bölgesi için 9 bileşenli Weibull Karma Modeli oluşturulmuştur. Karma Weibull dağılımı ile tahmin edilen bölgelere göre en büyük ortalama hız değeri 2.96 m/s ile Marmara Bölgesi'dir. En büyük ortalama güç yoğunluğu değeri 41.29 W/m² ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi'dir. EİE

tarafından 10 yıllık veriler kullanılarak hesaplanan ortalama güç yoğunlukları değerine göre de Güneydoğu Anadolu Bölgesi güç yoğunluğu değeri Marmara Bölgesi güç yoğunluğu değerinden sonra ikinci en büyük değer olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, Karma Weibull Dağılım modeli ile tahmin edilen ortalama güç yoğunlukları, Weibull dağılımı ile tahmin edilen değerlere oranla oldukça büyük değerler olarak ortaya çıkmıştır. Güç yoğunluğu değerlerinin büyük olması rüzgâr enerji potansiyeli tahmin edilen bölgenin rüzgâr gücünden elektrik enerjisi üretme olasılığını güçlendirmektedir. Her iki değerlendirme sonucuna göre, Güneydoğu Bölgesi de rüzgâr gücünden elektrik enerjisi üretme potansiyeli olan bölgelerimizin başında gelmektedir. Karma Weibull dağılım modeli tahmin sonucuna göre ortalama hız değerinin en az olduğu bölge 2.17 m/s ile Doğu Anadolu Bölgesi'dir. Ortalama güç yoğunluğu değerinin en düşük olduğu bölge ise 18.19 W/m² ile Ege Bölgesi olarak tahmin edilmiştir.

4.6.1.1. Rüzgâr Hızı Ortalamaları ve Ortalama Güç Yoğunlukları Bağlı Hata Analizi

Gerçek değerlerle hesaplanan, Weibull ve Karma Dağılım kullanılarak tahmin edilen ortalama hız ve ortalama güç yoğunluğu değerleri bağlı hata hesaplamaları ile değerlendirilmiştir. Ortalama güç yoğunluğu değerlerinde, gerçek değerler ortalama güç değerlerine göre daha iyi sonuç veren kök ortalama küp (root mean cube) rüzgâr hızı ve bu ortalama hız değerinin kullanıldığı güç yoğunluğu değerleri bağlı hata hesaplamalarında kullanılmıştır. Rüzgâr hızının kök ortalama küpü (root mean cube) V_{rmc} , 4.20'de gösterilmiştir. Burada, V_i aylık ortalama rüzgâr hızını ifade etmektedir.

$$V_{rmc} = \sqrt[3]{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i^3} \quad (4.20)$$

Gerçek veriler için hesaplanan ortalama rüzgâr hızı ve rüzgâr hızının kök ortalama küp değerleri ile Weibull ve Karma Weibull dağılımları ile tahmin edilen ortalama hız değerlerinin arasındaki bağıl hata 4.21'deki formül ile hesaplanmıştır. Burada, V'_m , Weibull ve Karma Weibull ile hesaplanan ortalama hız değerlerini, V_m , gerçek ortalama hız ve RMC hız değerlerini ifade etmektedir.

$$\text{hata}_{vm} = \frac{V'_m - V_m}{V_m} \times 100 \quad (4.21)$$

2012 yılı için bölgelere göre hesaplanmış rüzgâr hızı bağıl hata sonuçlarına Çizelge 4.22.'de yer verilmiştir.

Çizelge 4.22. 2012 Yılı Bölgelere göre Rüzgâr Hızı Bağıl Hataları

Bölgeler	2012						
	$\bar{V}_g$	$\bar{V}_{rmc}$	$\bar{V}_{weibull}$	$\bar{V}_{karma}$	Hata ₁	Hata ₂	Hata ₃
Marmara	2.82	3.45	2.93	2.98	3.71	15.29	13.73
Ege	2.41	2.79	2.42	2.95	0.18	13.48	5.50
Akdeniz	1.98	2.37	1.98	2.65	0.00	16.47	11.79
İç Anadolu	2.24	2.58	2.22	3.07	1.14	14.21	18.90
Karadeniz	2.06	2.56	2.07	2.64	0.44	19.18	3.13
Doğu Anadolu	1.87	2.71	1.88	2.07	0.53	30.62	23.61
Güneydoğu Anadolu	2.02	2.38	2.02	3.37	0.26	14.91	41.50

Yıllara göre bölgeler için rüzgâr hızı bağıl hata analizinde Hata₁, Weibull dağılımı ile tahmin edilen ortalama hız değeri ile gerçek veriden hesaplanan ortalama hız arasındaki bağıl hatayı göstermektedir. Hata₂, RMC hızı ile Weibull dağılımı ile tahmin edilen ortalama hız değeri arasındaki bağıl hatayı göstermektedir. Hata₃, RMC hızı ile karma Weibull dağılımı ile tahmin edilen ortalama hız değeri arasındaki bağıl hatayı göstermektedir. 2012 yılı için Hata₁ değeri incelendiğinde Weibull dağılımı ortalama hız tahmin değerlerinin gerçek

ortalama hız değerlerine oldukça yakın olduğu ve bağıl hata değerlerinin de oldukça küçük değerler olduğu görülmektedir. $Hata_2$ ve $Hata_3$ değerleri incelendiğinde RMC ortalama hızı değerlerinin Karma Weibull ile tahmin edilen ortalama hız değerlerine daha yakın olduğu ve bağıl hatanın Weibull ile tahmin edilen ortalama hız değerlerine göre genelde daha düşük olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.23. 2013 Yılı Bölgelere göre Rüzgâr Hızı Bağıl Hataları

Bölgeler	2013						
	$\bar{V}_g$	$\bar{V}_{rmc}$	$\bar{V}_{weibull}$	$\bar{V}_{karma}$	Hata ₁	Hata ₂	Hata ₃
Marmara	2.75	3.40	2.76	2.66	0.42	18.81	21.77
Ege	2.46	2.87	2.46	2.51	0.22	14.11	12.42
Akdeniz	1.99	2.41	1.99	2.66	0.05	17.61	10.25
İç Anadolu	2.23	2.52	2.23	2.96	0.01	11.41	17.62
Karadeniz	2.13	2.64	2.14	2.57	0.45	19.05	2.54
Doğu Anadolu	1.82	2.35	1.83	2.00	0.42	22.22	14.78
Güneydoğu Anadolu	2.02	2.48	2.03	2.65	0.43	18.18	7.14

2013 yılı için bölgelere göre hesaplanmış rüzgâr hızı bağıl hata sonuçlarına Çizelge 4.23.'te yer verilmiştir. 2013 yılı bölgelere göre rüzgâr hızları için hesaplanan bağıl hata sonuçları 2012 yılı bağıl hata sonuçları ile benzer özelliktedir.

Çizelge 4.24. 2014 Yılı Bölgelere göre Rüzgâr Hızı Bağlı Hataları

Bölgeler	2014						
	$\bar{V}_g$	$\bar{V}_{rmc}$	$\bar{V}_{weibull}$	$\bar{V}_{karma}$	Hata ₁	Hata ₂	Hata ₃
Marmara	2.75	3.40	2.76	2.66	0.42	15.88	21.77
Ege	2.46	2.87	2.46	2.51	0.22	12.18	12.42
Akdeniz	1.99	2.41	1.99	2.66	0.05	18.86	10.25
İç Anadolu	2.23	2.52	2.23	2.96	0.01	10.48	17.62
Karadeniz	2.13	2.64	2.14	2.57	0.45	16.36	2.54
Doğu Anadolu	1.82	2.35	1.83	2.00	0.42	10.36	14.78
Güneydoğu Anadolu	2.02	2.48	2.03	2.65	0.43	18.39	7.14

2014 yılı için bölgelere göre hesaplanmış rüzgâr hızı bağlı hata sonuçlarına Çizelge 4.24.'te gösterilmiştir. 2014 yılı bölgelere göre rüzgâr hızları için hesaplanan bağlı hata sonuçlarının 2012 ve 2013 yılları ile benzer özellikte olduğu gözlenmektedir.

Çizelge 4.25. 2015 Yılı Bölgelere göre Rüzgâr Hızı Bağlı Hataları

Bölgeler	2015						
	$\bar{V}_g$	$\bar{V}_{rmc}$	$\bar{V}_{weibull}$	$\bar{V}_{karma}$	Hata ₁	Hata ₂	Hata ₃
Marmara	3.10	3.71	3.11	2.77	0.42	16.16	21.77
Ege	2.53	3.00	2.53	2.37	0.22	15.51	12.42
Akdeniz	2.00	2.47	2.00	2.53	0.05	18.99	10.25
İç Anadolu	2.23	2.53	2.23	2.93	0.01	12.08	17.62
Karadeniz	1.94	2.39	1.94	2.59	0.45	18.56	2.54
Doğu Anadolu	1.90	2.36	1.91	2.31	0.42	19.19	14.78
Güneydoğu Anadolu	2.05	2.51	2.06	2.62	0.43	18.12	7.14

2015 yılı için bölgelere göre hesaplanmış rüzgâr hızı bağlı hata sonuçlarına Çizelge 4.25.'te gösterilmiştir. 2015 yılı bölgelere göre rüzgâr hızları için hesaplanan bağlı hata sonuçları 2012, 2013 ve 2014 yılları ile benzer özelliktedir.

Çizelge 4.26. 2016 Yılı Bölgelere göre Rüzgâr Hızı Bağlı Hataları

Bölgeler	2016						
	$\bar{V}_g$	$\bar{V}_{rmc}$	$\bar{V}_{weibull}$	$\bar{V}_{karma}$	Hata ₁	Hata ₂	Hata ₃
Marmara	3.06	3.74	3.08	3.35	0.49	17.75	10.55
Ege	2.54	2.92	2.54	2.66	0.14	12.97	9.04
Akdeniz	2.02	2.48	2.02	2.65	0.21	18.29	7.12
İç Anadolu	2.24	2.49	2.26	3.23	0.89	9.44	29.61
Karadeniz	2.12	2.54	2.12	2.72	0.28	16.49	6.96
Doğu Anadolu	2.01	2.49	2.01	2.23	0.37	19.03	10.25
Güneydoğu Anadolu	2.12	2.60	2.13	2.93	0.51	17.87	12.60

2016 yılı için bölgelere göre hesaplanmış rüzgâr hızı bağlı hata sonuçlarına Çizelge 4.26.'da gösterilmiştir. 2016 yılı bölgelere göre rüzgâr hızları için hesaplanan bağlı hata sonuçları 2012, 2013, 2014 ve 2015 yılları ile benzer özelliktedir.

Güç yoğunluğu değerleri bağlı hata 4.23'deki formül hesaplanmıştır. Gerçek veriler için hesaplanan ortalama rüzgâr hızı ve rüzgâr hızının kök ortalama küp değerleri ile Weibull ve Karma Weibull dağılımları ile tahmin edilen ortalama hız değerlerinin arasındaki bağlı hata 4.22'deki formül ile hesaplanmıştır.

$$\text{hata}_{\overline{WPD}_m} = \frac{\overline{WPD}'_m - \overline{WPD}_m}{\overline{WPD}_m} \times 100 \quad (4.22)$$

Yıllara göre bölgeler için güç yoğunluğu bağlı hata analizinde; RMC güç yoğunluğu değerlerinin, Weibull güç yoğunluğu açısından değerlendirildiğinde gerçek değerlerin ortalaması ile hesaplanan güç değerlerine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. 2012 yılı bölgeler için gerçek değerler, RMC ve Weibull güç yoğunluğu değerleri için hazırlanan bağlı hata değerlerine Çizelge 4.27'de yer verilmiştir.

Çizelge 4.27. 2012 Yılı Bölgelere göre Güç Yoğunluğu Bağlı Hataları

Bölgeler	2012				
	$\overline{WPD}_{gercek}$	$\overline{WPD}_{rmc}$	$\overline{WPD}_{weibull}$	Hata ₁	Hata ₂
Marmara	14.90	24.78	25.82	73.27	4.17
Ege	8.24	12.78	12.64	53.47	1.13
Akdeniz	4.49	7.70	9.29	106.90	20.60
İç Anadolu	4.63	9.46	9.05	95.59	4.36
Karadeniz	5.14	9.86	9.37	82.25	5.05
Doğu Anadolu	3.46	10.55	8.46	144.51	19.82
Güneydoğu Anadolu	4.63	7.57	7.49	61.86	1.05

Hata₁, Weibull dağılımı ile hesaplanan güç yoğunluğu değerleri ile gerçek değerlerden hesaplanan güç yoğunluğu değerleri arasındaki bağıl hatayı göstermektedir. Hata₂, rmc güç yoğunluğu değerleri ile Weibull dağılımı güç yoğunluğu değerleri arasındaki bağıl hatayı göstermektedir. Çizelge 4.27. incelendiğinde Hata₂ değerlerinin Hata₁ değerlerinden oldukça küçük olduğu görülmektedir. Bu durum rmc güç yoğunluğu değerlerinin gerçek değerler güç yoğunluğuna kıyasla daha iyi sonuç verdiğinin bir göstergesidir.

2013 yılı bölgeler için hazırlanan güç yoğunluğu değerleri bağıl hata değerleri Çizelge 4.28’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.28. 2013 Yılı Bölgelere göre Güç Yoğunluğu Bağlı Hataları

Bölgeler	2013				
	$\overline{WPD}_{gercek}$	$\overline{WPD}_{rmc}$	$\overline{WPD}_{weibull}$	Hata ₁	Hata ₂
Marmara	12.50	23.65	22.48	79.77	4.99
Ege	8.69	13.81	13.65	56.97	1.17
Akdeniz	4.55	8.13	7.68	68.56	5.58
İç Anadolu	6.09	8.76	8.73	43.39	0.27
Karadeniz	5.61	10.72	10.23	82.29	4.61
Doğu Anadolu	3.20	6.88	6.38	99.55	7.27
Güneydoğu Anadolu	4.59	8.49	8.26	79.84	2.74

2013 yılı için hazırlanan güç yoğunluğu bağıl hata sonuçları incelendiğinde 2012 güç yoğunluğu bağıl hata sonuçlarına benzer özellikler gösterdiği; rmc güç yoğunluğu değerlerinin gerçek değerlerle hesaplanan güç yoğunluklarına göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. 2012 yılı İç Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgesi Hata₂ bağıl hata değerleri yaklaşık % 20 bulunmuştur. 2013 yılında Hata₂ değerleri tamamı % 10'un altındadır.

2014 yılı bölgeler için hazırlanan güç yoğunluğu değerleri bağıl hata değerleri Çizelge 4.29'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.29. 2014 Yılı Bölgelere göre Güç Yoğunluğu Bağıl Hataları

Bölgeler	2014				
	WPD _{gerçek}	WPD _{rmc}	WPD _{weibull}	Hata ₁	Hata ₂
Marmara	12.58	21.34	20.80	65.32	2.53
Ege	8.18	12.10	13.13	60.48	8.46
Akdeniz	4.30	8.02	7.34	70.71	8.46
İç Anadolu	5.70	7.95	7.95	39.40	0.02
Karadeniz	4.60	7.94	7.73	68.01	2.62
Doğu Anadolu	4.83	7.36	14.64	203.50	99.04
Güneydoğu Anadolu	4.64	8.66	8.43	81.55	2.67

2014 yılı güç yoğunluğu bağıl hata sonuçları da 2012 ve 2013 yılı sonuçları ile benzer özellikte olup Doğu Anadolu Bölgesi Hata₂, bağıl hata sonucu 2012 ve 2013 yıllarından farklı olarak % 100'e yakın olarak bulunmuştur.

2015 yılı bölgeler için hazırlanan güç yoğunluğu değerleri bağıl hata değerleri Çizelge 4.30'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.30. 2015 Yılı Bölgelere göre Güç Yoğunluğu Bağlı Hataları

Bölgeler	2015				
	$\overline{WPD}_{gercek}$	$\overline{WPD}_{rmc}$	$\overline{WPD}_{weibull}$	Hata ₁	Hata ₂
Marmara	18.00	30.89	30.20	67.81	2.23
Ege	9.51	15.75	15.26	60.53	3.14
Akdeniz	4.66	8.81	8.15	74.69	7.50
İç Anadolu	6.05	8.92	8.88	46.82	0.40
Karadeniz	4.23	7.92	7.56	78.68	4.49
Doğu Anadolu	3.64	6.98	6.68	83.31	4.28
Güneydoğu Anadolu	4.81	8.87	9.08	88.87	2.42

2015 yılı güç yoğunluğu bağlı hata sonuçları 2013 yılı sonuçları ile benzer özelliktedir. Hata₂ bağlı hata değerleri % 10'dan küçüktür.

2016 yılı bölgeler için hazırlanan güç yoğunluğu değerleri bağlı hata değerleri Çizelge 4.31'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.31. 2016 Yılı Bölgelere göre Güç Yoğunluğu Bağlı Hataları

Bölgeler	2016				
	$\overline{WPD}_{gercek}$	$\overline{WPD}_{rmc}$	$\overline{WPD}_{weibull}$	Hata ₁	Hata ₂
Marmara	17.33	31.61	30.48	75.85	3.57
Ege	14.42	14.55	14.42	0.00	0.90
Akdeniz	4.80	8.82	8.24	71.71	6.52
İç Anadolu	5.35	8.48	8.80	64.27	3.71
Karadeniz	5.52	9.57	9.28	68.15	3.05
Doğu Anadolu	4.28	8.16	7.89	84.20	3.27
Güneydoğu Anadolu	5.35	9.82	9.69	81.05	1.23

2016 yılı güç yoğunluğu bağlı hata sonuçları 2013 ve 2015 yılları ile benzer özelliktedir. 2016 yılı Hata₂ değerleri de % 10'un altında bulunmuştur.

4.6.2. Türkiye Rüzgâr Gücünden Elektrik Enerjisi Üretim Öngörüsü

Birim alan için gerçek veri değerleri hesaplanan ve Weibull ve Karma Weibull dağılımları ile tahmin edilen güç yoğunluğu değerleri ile 1 MW gücünde 54 m rotor çapında bir türbin temel alınarak yıllık ortaya çıkabilecek enerji öngörü değerleri hesaplanmıştır. Böylece, Türkiye rüzgâr gücünden elektrik enerjisi 5 yıllık üretim kapasite projeksiyonu yapılmıştır. Enerji değerleri 4.23'teki formüle göre hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar yapılırken bazı kabuller kullanılmıştır. Buna göre 10 hektar yani 100.000 m² arazi için bir rüzgâr türbini (teknik standart) yerleştirileceği düşünülmüştür. REPA çalışması sonucunda teknik potansiyelin yanı sıra Türkiye geneli için toplam rüzgârlı alan olarak hesaplanmıştır. Bu alan hesaplanırken yerleşim alanları, göller, nehirler, sulak alanlar, kara, demir ve havayolları, limanlar, trafo merkezleri, enerji nakil hatları, enerji santralleri, deprem fay hatları, Arazi kullanım ormanlar, çevre koruma alanları, kuş göç yolları gibi RES yapılamayacak alanlar belirlenmiş ve hesaplama dahil edilmemişlerdir. Bu Türkiye'nin yüzölçümünün yaklaşık olarak % 1,30'una denktir. Bu alan belirlenirken Buradan hareketle 7 bölge için mevcut olan rüzgârlı alan kullanılarak her 100.000 m² 'ye 1 MW gücündeki türbinden kaç adet yerleştirilebileceği tespit edilmiş ve hesaplamada kullanılmıştır. Türbin sistemlerinde sistem ne kadar ideal olursa olsun rüzgârdan elde edilecek enerjinin belirli bir limiti vardır. Betz Limiti olarak da adlandırılan kapasite faktörü maksimum % 59 olabilmektedir. REPA oluşturulurken ekonomik RES yatırımı için % 35 ve üzeri kapasite faktörü gerektiği kabulü ile hareket edildiği için enerji hesaplamasında güç katsayısı Cp 0,35 olarak alınmıştır.

$$\text{Enerji} = C_p * \overline{WPD} * \left(\frac{\pi}{4} * r^2\right) * 8760 \text{ h/yr} * \frac{1 \text{ kw}}{1000 \text{ MW}} \quad (4.23)$$

5 yıl için (2012-2016) ayrı ayrı hesaplanmış olan gerçek veriler, Weibull ve Karma Weibull enerji değerlerine Çizelge 4.32’de yer verilmiştir. Buna göre 2016 yılına ait enerji değerleri Weibull ve Karma Weibull için en yüksek iken gerçek verilerde 2015 yılına ait enerji değeri en yüksek olarak hesaplanmıştır. 2015 ve 2016 yılları elektrik üretimleri sırasıyla 261,7 milyon MWh ve 274,7 milyon MWh olarak gerçekleşmiştir. Enerji Bakanlığı’nın güncel verilerine göre 2018 yılı elektrik üretimi 304,8 milyon MWh olarak gerçekleşmiştir. Öngörülen enerji değerleri güncel değerlerin de üzerinde bir değerdir ve bu durum ülkemizin rüzgâr enerji potansiyelinin büyüklüğünün bir göstergesi sayılabilir.

Çizelge 4.32. 5 Yıllık (2012-2016) Enerji Potansiyeli Öngörü Değerleri

Yıl	Gerçek Veriler Enerji (MWh)	Weibull Enerji (MWh)	Karma Weibull Enerji (MWh)
2012	75,531,491.52	127,469,936.82	398,739,530.87
2013	72,813,780.47	124,571,729.80	271,813,457.57
2014	72,144,216.19	128,768,394.60	335,918,168.70
2015	91,173,267.62	138,098,675.19	258,626,895.90
2016	93,372,799.30	142,918,852.36	349,101,219.78

Bir RES’in ekonomik ömrü en fazla 25 yıldır. Ortalama olarak ekonomik ömrünün yarısı kadar sürede geri dönüşüm sağlanır. Bu sayede ve SWOT Analizi’nde ortaya konulduğu gibi türbin maliyetlerinin de gittikçe azalmasıyla birlikte yatırımcıya büyük kar sağlarken ülkenin elektrik enerjisi ihtiyacının büyük çoğunluğunu karşılamış olur.

4.6.3. Bölgelere göre Aylık Rüzgâr Değerleri

Çalışmada kullanılan gerçek rüzgâr verileri Türkiye’de 7 coğrafik bölge içerisinde bulunan 418 istasyondan alınmıştır. Rüzgâr hızı verileri 5 yıllık (2012-2016) ortalama rüzgâr hızı değerlerini ifade etmektedir. Büyük veri analitiği ile

ortalama rüzgâr hızı değerlerinin her bölgedeki şehir için aylık değişimleri incelenmiştir.

7 coğrafik bölgede yapılan 5 yıllık zaman periyodu için rüzgâr hızı aylık değişimleri tablolarında, her yıla ait 12 ay ortalamaları ve şehirlerin yüzölçümleri yer almaktadır. Çanakkale, Marmara Bölgesi'nde 4.32 m/s ortalama rüzgâr hızı ile 5 yıllık zaman periyodunda için rüzgâr hızı aylık değişimlerine göre en büyük ortalama sahip şehirdir. Bu bölgede en düşük ortalama rüzgâr hızı 1.94 m/s ile Bilecik'te ölçülmüştür. (Çizelge 4.33.).

Çizelge 4.33. Marmara Bölgesi için 5 Yıllık Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı

Şehir	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Yüzölçümü (m ²)	Ortalama Rüzgar Hızı (m/sn)
Balıkesir	3.09	3.25	2.90	2.87	2.77	3.23	4.13	4.10	3.17	3.14	2.92	2.91	14,583	3.21
Bilecik	2.21	2.20	1.83	2.06	1.90	1.90	2.14	2.01	1.80	1.60	1.81	1.86	4,179	1.94
Bursa	2.40	2.41	2.07	2.19	2.13	2.28	2.58	2.51	2.10	2.01	2.07	2.19	10,813	2.25
Çanakkale	4.45	4.77	4.06	3.87	3.75	3.92	4.59	4.85	4.12	4.52	4.36	4.48	9,817	4.31
Edirne	2.87	3.26	2.71	2.89	2.71	2.66	2.70	2.98	2.80	2.93	2.96	2.95	6,145	2.87
İstanbul	3.56	3.58	3.11	3.06	3.01	3.23	3.67	3.88	3.43	3.46	3.35	3.53	5,461	3.41
Kırklareli	2.10	2.42	2.07	2.09	1.98	2.00	2.01	2.08	1.94	1.88	1.91	1.99	6,459	2.04
Kocaeli	1.98	2.02	1.88	2.02	1.97	2.16	2.24	2.18	1.93	1.82	1.69	1.76	3,397	1.97
Sakarya	2.20	2.28	2.00	2.09	2.04	2.28	2.52	2.58	2.28	2.12	1.82	2.01	4,824	2.19
Tekirdağ	3.30	3.77	3.13	3.05	3.02	3.19	3.53	3.80	3.29	3.31	3.25	3.25	6,190	3.33
Yalova	2.49	2.43	2.09	2.07	2.07	2.19	2.33	2.31	2.06	2.18	2.01	2.17	798	2.20
Ortalama (m/sn)	2.79	2.94	2.53	2.57	2.49	2.64	2.95	3.03	2.63	2.63	2.56	2.65		

Rüzgâr enerji potansiyeli en yüksek, yüzölçümü 9.817 km² olan Çanakkale'de hâlihazırda 12 adet RES mevcuttur. Çanakkale'nin Kurulu güç miktarı, 444.8 MW'dır. Çanakkale, Marmara Bölgesi şehirleri içinde yüzölçümü büyüklüğü açısından Balıkesir ve Bursa'dan sonra üçüncü sıradadır. Yüzölçümü büyük olan yerler, mühendislik ve teknik özelliklere (özellikle rüzgâr kapasitesi) göre rüzgâr enerji sahası ve türbinlerin yer seçimi değerlendirmelerinde avantajlı hale gelmektedir. Bir başka deyişle yüzölçümü, kurulacak RES'ler açısından önemlidir.

Ege Bölgesi'nde ortalama aylık değişimlerine göre en büyük rüzgâr hızı ortalaması 2.90 m/s ile İzmir'e aittir. Bölgede en düşük ortalama rüzgâr hızı 2.08 m/s ile Kütahya'da ölçülmüştür. (Çizelge 4.34.). Ege Bölgesi RES Kurulu gücünün en yüksek olduğu bölgedir. Bu bölgede kurulu RES gücü 2.868,05 MW'tır.

Çizelge 4.34. Ege Bölgesi için 5 Yıllık Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı

Şehir	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Yüzölçümü (m ²)	Ortalama Rüzgâr Hızı (m/sn)
Afyon	2.65	2.82	2.73	2.83	2.49	2.47	2.68	2.47	2.25	2.14	2.19	2.23	14,016	2.49
Aydın	2.29	2.26	2.07	2.20	2.16	2.42	2.75	2.53	2.26	2.09	2.00	2.19	8,116	2.27
Denizli	2.28	2.50	2.34	2.51	2.26	2.53	2.84	2.72	2.33	2.11	1.98	2.16	12,134	2.38
İzmir	3.04	2.99	2.80	2.93	2.84	2.96	3.46	3.22	2.77	2.62	2.61	2.61	11,891	2.90
Kütahya	2.16	2.21	2.09	2.25	2.02	2.05	2.46	2.29	1.96	1.81	1.82	1.82	11,634	2.08
Manisa	2.23	2.49	2.22	2.32	2.25	2.51	3.03	2.72	2.24	1.95	1.81	1.84	13,339	2.30
Muğla	2.51	2.61	2.45	2.43	2.22	2.47	2.46	2.40	2.37	2.12	2.08	2.20	12,654	2.36
Uşak	2.31	2.51	2.44	2.48	2.37	2.65	2.98	2.79	2.38	2.33	2.10	2.26	5,555	2.47
Ortalama (m/sn)	2.43	2.55	2.39	2.49	2.33	2.51	2.83	2.64	2.32	2.15	2.07	2.16		

Akdeniz Bölgesi'nde ortalama aylık değişimlerine göre en büyük rüzgâr hızı ortalaması 2,52 m/s ile Hatay'a aittir (Çizelge 4.35.). Bölge için hesaplanan en düşük ortalama rüzgâr hızı 1,51 m/s ile Burdur'a aittir. Bu bölgede kurulu RES gücü 996,10 MW'tır. Akdeniz Bölgesi RES Kurulu gücü oranı sıralamasında Ege ve Marmara'dan sonra 3. sıradadır.

Çizelge 4.35. Akdeniz Bölgesi için 5 Yıllık Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı

Şehir	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Yüzölçümü (m ²)	Ortalama Rüzgâr Hızı (m/sn)
Adana	2.09	2.05	2.32	1.97	1.95	2.14	2.28	2.12	1.97	1.80	1.76	2.08	13,844	2.04
Antalya	2.11	2.05	1.98	1.96	1.87	1.92	1.92	1.88	1.85	1.73	1.64	1.87	20,177	1.90
Burdur	1.57	1.75	1.81	1.91	1.60	1.51	1.45	1.40	1.35	1.27	1.25	1.27	7,175	1.51
Hatay	2.07	1.94	2.38	2.34	2.77	3.42	3.85	3.55	2.70	1.72	1.61	1.88	5,524	2.52
Isparta	2.30	2.42	2.38	2.58	2.25	2.32	2.48	2.39	2.17	2.03	1.94	2.05	8,946	2.28
Mersin	1.76	1.76	1.97	1.77	1.75	1.86	2.00	1.93	1.80	1.56	1.51	1.77	16,010	1.79
KMaraş	1.26	1.41	2.07	2.00	2.06	2.48	2.64	2.31	1.90	1.27	1.03	1.17	14,520	1.80
Osmaniye	1.47	1.59	1.81	1.62	1.64	1.90	1.96	1.77	1.58	1.21	1.23	1.60	3,320	1.62
Ortalama (m/sn)	1.83	1.87	2.09	2.02	1.99	2.19	2.32	2.17	1.92	1.57	1.50	1.71		

İç Anadolu Bölgesi'nin ortalama aylık değişimlerine göre en büyük rüzgâr hızı ortalaması 2.68 m/s ile Eskişehir'e aittir (Çizelge 4.36.). Bölge için hesaplanan en düşük ortalama rüzgâr hızı 1.42 m/s ile Çorum'dadır. Bu bölgede kurulu RES gücü 763,30 MW'tır.

Çizelge 4.36. İç Anadolu Bölgesi için 5 Yıllık Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı

Şehir	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Yüzölçümü (m ²)	Ortalama Rüzgâr Hızı (m/sn)
Ankara	2.36	2.52	2.54	2.75	2.54	2.74	3.09	2.93	2.40	2.11	1.96	2.06	25,632	2.50
Çankırı	1.70	1.93	2.01	2.27	2.01	2.10	2.29	2.27	1.95	1.74	1.61	1.64	7,542	1.96
Çorum	1.19	1.23	1.32	1.57	1.50	1.68	1.92	1.85	1.49	1.19	0.99	1.12	12,428	1.42
Eskişehir	2.76	2.93	2.93	2.93	2.61	2.78	3.00	2.83	2.54	2.27	2.23	2.34	13,960	2.68
Kayseri	1.93	2.05	2.54	2.52	2.19	2.19	2.36	2.17	1.95	1.64	1.55	1.83	16,970	2.08
Kırşehir	2.34	2.46	2.34	2.57	2.25	2.45	2.77	2.64	2.13	2.05	1.95	2.02	6,584	2.33
Konya	2.16	2.16	2.34	2.39	2.09	2.15	2.30	2.17	1.89	1.68	1.60	1.71	40,838	2.05
Nevşehir	2.30	2.36	2.72	2.64	2.40	2.51	2.82	2.56	2.06	1.92	1.84	1.97	5,485	2.34
Niğde	2.81	2.80	3.03	2.82	2.47	2.46	2.60	2.50	2.25	2.11	2.19	2.34	7,234	2.53
Sivas	2.16	2.21	2.63	2.60	2.20	2.35	2.68	2.48	2.04	1.77	1.77	1.65	28,164	2.21
Yozgat	1.53	1.61	1.97	1.97	1.75	2.11	2.58	2.45	2.45	1.49	1.33	1.28	13,690	1.88
Aksaray	1.72	1.94	2.18	2.22	1.86	2.16	2.60	2.30	1.74	1.56	1.48	1.46	7,659	1.94
Karaman	2.02	1.82	2.30	2.28	2.04	1.90	2.06	1.86	1.72	1.30	1.16	1.38	8,678	1.82
Kırıkkale	1.80	2.05	2.01	2.21	2.05	2.40	2.83	2.65	2.05	1.75	1.64	1.71	4,791	2.09
Ortalama (m/sn)	2.06	2.15	2.35	2.41	2.14	2.28	2.56	2.40	2.05	1.75	1.66	1.75		

Karadeniz Bölgesi'nde ortalama aylık değişimlerine göre en büyük rüzgâr hızı ortalaması 3.15 m/s ile Gümüşhane'ye aittir (Çizelge 4.37.). En düşük ortalama rüzgâr hızı 1.25 m/s ile Bayburt'tadır. Bu bölgede kurulu RES gücü 279,70MW'tır.

Çizelge 4.37. Karadeniz Bölgesi için 5 Yıllık Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı

Şehir	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Yüzölçümü (m ²)	Ortalama Rüzgâr Hızı (m/sn)
Amasya	1.44	1.74	1.98	2.14	2.04	2.38	2.84	2.94	2.33	1.76	1.21	1.31	5,628	2.01
Artvin	2.52	2.23	2.21	1.90	1.69	1.97	2.08	2.13	1.97	1.70	2.12	2.31	7,393	2.07
Bolu	1.69	1.81	1.79	2.02	1.93	1.99	2.15	2.12	1.85	1.59	1.51	1.53	8,313	1.83
Giresun	1.74	1.71	1.96	1.93	1.65	1.67	1.63	1.62	1.48	1.35	1.45	1.51	7,025	1.64
Gümüşhane	3.08	3.05	3.19	3.04	2.80	3.41	4.22	4.14	3.06	2.60	2.56	2.65	6,668	3.15
Kastamonu	2.52	2.44	2.44	2.65	2.29	2.47	2.60	2.57	2.39	2.23	2.28	2.40	13,064	2.44
Ordu	1.78	1.64	1.78	1.67	1.49	1.65	1.84	1.82	1.83	1.64	1.61	1.76	5,861	1.71
Rize	1.80	1.87	1.96	2.10	1.84	1.69	1.55	1.53	1.60	1.56	1.82	1.70	3,835	1.75
Samsun	2.97	2.63	2.37	2.14	1.89	2.04	2.24	2.23	1.99	1.81	2.12	2.70	9,725	2.26
Tokat	1.68	1.90	2.17	2.08	1.83	1.95	2.21	2.21	1.89	1.51	1.30	1.40	10,042	1.84
Trabzon	2.09	2.05	2.17	2.08	1.78	1.91	1.86	1.84	2.22	1.85	1.95	2.05	4,628	1.99
Zonguldak	1.98	2.01	1.95	2.14	1.94	1.99	2.04	2.00	1.90	1.70	1.67	1.83	3,342	1.93
Bayburt	1.14	1.16	1.54	1.58	1.28	1.46	1.44	1.38	1.16	0.98	0.92	1.00	3,746	1.25
Bartın	3.14	2.94	2.83	2.72	2.74	2.49	2.73	2.66	2.75	2.78	2.64	2.61	2,330	2.75
Karabük	1.13	1.50	1.60	1.87	1.63	1.80	2.10	2.00	1.73	1.37	1.13	0.97	4,142	1.57
Düzce	1.48	1.47	1.29	1.52	1.44	1.48	1.66	1.65	1.52	1.42	1.32	1.39	2,492	1.47
Ortalama (m/sn)	2.01	2.01	2.08	2.10	1.89	2.02	2.20	2.18	1.98	1.74	1.72	1.82		

Doğu Anadolu Bölgesi'nde ortalama aylık değişimlerine göre en büyük rüzgâr hızı ortalaması 2.46 m/s ile Ağrı'ya aittir (Çizelge 4.38.). En düşük ortalama rüzgâr hızı 1.23 m/s ile Ardahan'a aittir. Doğu Anadolu Bölgesi RES Kurulu gücünün en düşük olduğu bölgedir. Bu bölgede kurulu RES gücü 11,70 MW'tır.

Çizelge 4.38. Doğu Anadolu Bölgesi için 5 Yıllık Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı

Şehir	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Yüzölçümü (m ²)	Ortalama Rüzgâr Hızı (m/sn)
Ağrı	1.77	1.67	2.44	2.92	2.97	2.98	3.11	3.04	2.66	2.29	2.09	1.59	11,099	2.46
Bingöl	1.11	1.29	1.74	1.72	1.61	1.75	1.74	1.54	1.51	1.31	1.16	1.19	8,004	1.47
Bitlis	1.55	1.40	1.69	1.64	1.54	1.43	1.43	1.34	1.44	1.26	1.51	1.48	8,294	1.47
Elazığ	2.10	2.15	2.59	2.39	2.30	2.67	3.18	2.49	2.38	1.89	1.81	2.04	9,383	2.33
Erzincan	2.38	2.38	3.32	3.28	3.13	3.08	3.20	2.95	2.32	2.14	2.13	2.43	11,815	2.73
Erzurum	1.43	1.44	2.02	2.10	1.84	1.98	2.37	2.18	1.88	1.51	1.34	1.29	25,006	1.78
Hakkari	0.99	1.05	1.60	2.03	2.09	2.09	2.08	1.80	2.32	1.51	1.47	1.01	7,095	1.67
Kars	1.72	1.58	2.73	2.79	2.34	2.40	3.27	2.38	2.08	1.81	1.67	1.68	10,193	2.20
Malatya	1.77	1.87	2.63	2.48	2.45	2.74	2.91	2.52	2.31	1.83	1.60	1.72	12,259	2.24
Muş	0.99	0.99	1.55	1.82	1.66	1.60	1.63	1.58	1.50	1.21	1.09	0.93	8,650	1.38
Tunceli	1.15	1.40	1.69	1.75	1.57	1.94	1.87	1.74	1.57	1.40	1.23	1.17	7,582	1.54
Van	1.34	1.37	1.88	2.04	1.94	1.80	1.79	1.72	2.48	1.61	1.39	1.24	20,921	1.72
Ardahan	0.96	0.94	1.44	1.62	1.42	1.52	1.50	1.24	1.20	1.02	0.88	0.96	4,934	1.23
İğdır	1.56	1.70	2.60	2.55	2.26	2.41	2.49	2.08	2.09	1.33	1.03	1.31	3,664	1.95
Ortalama (m/sn)	1.49	1.52	2.14	2.22	2.08	2.17	2.32	2.04	1.98	1.58	1.46	1.43		

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin ortalama aylık değişimlerine göre en büyük rüzgâr hızı ortalaması 2.83 m/s ile Şırnak'a, en düşük rüzgâr hızı ortalaması ise 1.49 m/s ile Siirt'e aittir (Çizelge 4.39.). Güneydoğu Anadolu Bölgesi RES Kurulu gücünün en düşük olduğu bölgedir. Bu bölgede kurulu RES gücü 93,05 MW'tır.

Çizelge 4.39. Güneydoğu Anadolu Bölgesi için 5 Yıllık Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı

Şehir	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Yüzölçümü (m ²)	Ortalama Rüzgâr Hızı (m/sn)
Adıyaman	1.76	1.86	2.30	1.99	2.08	2.68	2.65	2.19	2.00	1.80	1.44	1.74	7,337	2.04
Diyarbakır	1.59	1.80	2.03	1.85	1.91	2.35	2.56	1.98	2.09	1.62	1.38	1.63	15,168	1.90
Gaziantep	1.46	1.51	1.91	1.77	1.95	2.47	2.39	1.99	1.82	1.65	1.18	1.37	6,803	1.79
Mardin	3.34	3.35	3.41	3.12	3.22	3.55	3.40	3.02	2.95	2.94	2.78	3.30	8,870	3.20
Silirt	1.13	1.32	1.57	1.57	1.66	2.06	1.89	1.70	1.60	1.34	0.93	1.06	5,717	1.49
Şanlıurfa	1.42	1.51	1.64	1.77	1.74	1.93	2.24	2.11	1.81	1.60	1.34	1.08	19,242	1.68
Batman	2.08	2.21	2.49	2.33	2.39	2.57	2.37	2.19	2.07	1.76	1.48	1.67	4,477	2.13
Şırnak	2.76	2.79	2.93	3.04	3.21	3.10	2.99	2.89	2.70	2.78	2.33	2.50	7,078	2.83
Kilis	1.70	1.74	1.96	1.86	2.08	2.56	2.60	2.38	1.88	1.36	1.34	1.68	1,412	1.93
Ortalama (m/sn)	1.92	2.01	2.25	2.14	2.25	2.58	2.57	2.27	2.10	1.87	1.58	1.78		

4.6.4. Bölgelere Göre Kurulabilecek Rüzgâr Enerjisi Santrali Güç Kapasiteleri

Türkiye Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından 2006 yılında gerçekleştirilen geniş kapsamlı bir çalışmayla, öncelikle rüzgâr enerji santrali kurulamayacak alanlar (trafo merkezleri ve enerji nakil hatları, arazi eğimi % 20’den büyük alanlar, rakımı 1500 mt’den büyük bölgeler, yerleşim alanları, milli parklar, özel çevre koruma alanları, tabiat parkları, tabiat koruma alanları, yasaklı orman alanları, sulak alanlar-nehirler) tespit edilmiştir. Rüzgâr hızının 7 m/s ve üzeri olduğu ve yüksekliğin 50 mt olduğu alanlara ait haritalar ayrı ayrı çıkarılıp daha sonra üst üste getirilerek santral kurulabilecek her bir nokta belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen bu noktalara her 1 km²’lik alana 5 MW gücünde santral kurulabilir kabulü ile kurulabilecek güç miktarı hesaplanmıştır. Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyeli ’ne göre toplam kapasite 47.849,44 MW olup karasal kapasite, 37.836 MW, deniz üstü kapasite ise, 10.013 MW’tır (Çizelge 4.40.). (<https://www.tureb.com.tr/files/turek/2014/sunumlar/mustafacaliskan.pdf>)

Çizelge 4.40. Türkiye'nin Rüzgâr Enerji Potansiyeli

Rüzgâr Sınıfı	Rüzgâr Gücü (W/m ²)	Yıllık Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s)	Toplam Kapasite (MW)
4	400-500	7,0 - 7,5	29.259,36
5	500-600	7,5 - 8,0	12.994,32
6	600-800	8,0 - 9,0	5.399,92
7	> 800	> 9,0	195,84
			47.849,44
TOPLAM KAPASİTE			Karasal:37.836
			Deniz Üstü: 10.013
Rüzgâr Sınıfı	Rüzgâr Gücü (W/m ²)	Yıllık Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s)	Toplam Kapasite (MW)
4	400-500	7,0 - 7,5	29.259,36

Türkiye'nin toplam rüzgâr gücünden elektrik enerjisi üretme potansiyeli ile beraber 7 coğrafik bölge ve bölgelerde bulunan şehirler için ayrı ayrı güç kapasiteleri de hesaplanmıştır. Bu amaçla rüzgâr hızı sınıflandırması yapılmıştır. Buna göre rüzgâr sınıfları; 6,8 – 7,5 m/s rüzgâr hızları için 3, 7,5 – 8,1 m/s rüzgâr hızları için 4, 8,1 – 8,6 m/s rüzgâr hızları için 5, 8,6 – 9,5 m/s rüzgâr hızları için 6 ve 9,5 m/s üzeri rüzgâr hızı için 7 olarak belirlenmiştir. Marmara Bölgesi'nde 11 şehir bulunmaktadır (Ek 2). Bölgenin toplam teknik potansiyeli 47,237.04 MW'tır. REPA incelendiğinde; Marmara bölgesinin Ege Bölgesinden sonra, ikinci en yüksek teknik potansiyele sahip bölge olduğu görülmektedir. Marmara Bölgesindeki en yüksek potansiyeli olan şehir 13.827,36 MW ile Balıkesir'dir. Balıkesir'de hali hazırda 24 adet RES bulunmaktadır. Balıkesir'in Kurulu güç kapasitesi 1.135 MW'tır. Bölgede en düşük potansiyeli olan şehir 2.00 MW ile Sakarya'dır.

Ege Bölgesi'nde 8 şehir vardır (Ek 3). REPA incelendiğinde en yüksek teknik potansiyele sahip olan bölgedir. Ege Bölgesi'nin toplam teknik potansiyeli 26.149,60 MW'tır. İzmir, 11.854,32 MW bölgenin en yüksek teknik potansiyele sahip şehridir. İzmir'de mevcut 43 adet RES bulunmaktadır. İzmir'in Kurulu güç kapasitesi 1.462,2 MW'tır. Bölgenin en düşük teknik potansiyele sahip şehri 9,28 MW ile Uşak'tır. Bölgelere göre Türkiye Rüzgâr Enerji Teknik Potansiyeli Çizelge 4.41'de yer almaktadır.

Çizelge 4.41. Bölgelere göre Türkiye Rüzgâr Enerji Gücü Teknik Potansiyeli

Bölge	Alan km ²	Teknik Kapasite (MW)
Marmara	9,399.26	47,237.04
Akdeniz	2,657.21	13,286.08
Doğu Anadolu	596.81	2,983.92
Ege	5,229.93	26,149.60
Güneydoğu Anadolu	624.96	3,124.72
İç Anadolu	1596.18	7980.88
Karadeniz	2,829.30	14,146.48
Toplam	22,933.65	114,908.72

Akdeniz Bölgesi'nde 8 şehir bulunmaktadır (Ek 4). REPA incelendiğinde Doğu Akdeniz Bölgesinin yüksek potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Akdeniz Bölgesi'nin toplam teknik potansiyeli 13.286,08 MW'tır. Bölgenin en yüksek teknik potansiyele sahip olan şehri 3.531,2 WM ile Mersin'dir. Mersin'de hali hazırda 7 adet RES bulunmaktadır. Mersin'in mevcut kurulu güç kapasitesi 218,70 MW'tır. Bölgede en düşük potansiyeli olan şehir 58.16 MW ile Burdur'dur. İç Anadolu Bölgesi'nde 14 şehir vardır (Ek 5). Bölgenin toplam teknik potansiyeli 7.980,88 MW'tır. İç Anadolu Bölgesinde Kurulu 17 adet RES mevcuttur ve bölgenin kurulu güç kapasitesi 763,3 MW'tır. En yüksek teknik potansiyele sahip şehir 1.885,28 WM ile Kayseri'dir. Kayseri'de 6 adet RES mevcuttur ve RES'lerin

Kurulu güç kapasitesi 275,5 MW'tır. Bölgede Ankara, Kırşehir, Aksaray ve Kırıkkale şehirlerinin teknik potansiyel güç kapasiteleri 0 MW'tır.

Karadeniz Bölgesi'nde 16 şehir vardır (Ek 6). Bölgenin toplam teknik potansiyeli 14.146,48MW'tır. Karadeniz Bölgesinde Kurulu 6 adet RES mevcuttur ve bölgenin kurulu güç kapasitesi 279,7 MW'tır. 5.222,48 WM ile en yüksek teknik potansiyele sahip şehir Samsun olmasına rağmen bu şehirde kurulu RES bulunmamaktadır. Bölgede kurulu RES gücü 3 adet Tokat'ta, 3 adet Amasya'dadır. Bölgede Zonguldak, Bayburt ve Düzce şehirlerinin teknik potansiyel güç kapasiteleri 0 MW'tır.

Türkiye'de Doğu Anadolu ve Güney Doğu Anadolu Bölgeleri kırsal kesimleri büyük olan alanlardır ve bu bölgelere rüzgâr enerji sistemlerinin kurulması ekonomik yararlar sağlayacaktır. Doğu Anadolu Bölgesi'nde 14 şehir bulunmaktadır (Ek 7). Doğu Anadolu Bölgesi'nin toplam teknik potansiyeli 2.983,92 MW'dır. Bölgenin en yüksek teknik potansiyele sahip şehri 1.395,04 WM ile Malatya'dır. Malatya'da 1 adet RES mevcuttur ve kurulu güç kapasitesi 11,7 MW'tır. Bölgede en düşük teknik potansiyeli olan şehir 0 MW ile Muş'tur.

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde 9 şehir vardır (Ek 8). Bölgenin toplam teknik potansiyeli 3.124,72 MW'tır. Bölgenin en yüksek teknik potansiyele sahip şehri 1.196,88 WM ile Adıyaman'dır. Adıyaman'da 1 adet RES bulunmaktadır ve Kurulu güç kapasitesi 27,5 MW'tır. Bölgede Şırnak ve Kilis şehirleri 0 MW güç kapasitesi ile en düşük potansiyeli olan şehirlerdir.

4.7. Büyük Veri Madenciliği Analizi

Veri Madenciliği, büyük ölçekli veri yığınları içerisinde doğru ve nitelikli bilginin ortaya çıkarılmasıdır. Gelecek ile ilgili tahminlerde bulunmak için büyük veri yığınları arasındaki ilişkiler, kurallar, düzen ve düzensizlikler matematik ve istatistiksel yöntemler kullanılarak keşfedilir. Böylece, karmaşık, çok net olmayan veriler anlamlı bilgilere dönüştürülür.

Veri madenciliği analizleri Weka yazılımı ile yapılmıştır. WEKA, Yeni Zelanda'nın Waikato Üniversitesi tarafından JAVA ile geliştirilmiş, açık kaynak olarak dağıtılan ve "Waikato Environment for Knowledge Analysis" kelimelerinin baş harflerinden oluşan bir veri madenciliği programıdır. Dosya uzantısı olarak, .arff (Attribute Relationship File Format) formatı kullanılmaktadır. Weka kütüphanesi veri setleri dışında bir veri seti ile kullanılacaksa veri dosyası, .arff dosya formatına çevrilmelidir.



Şekil 4.27. WEKA Giriş Ekran Görüntüsü

Bu çalışmada 2012-2016 yılları arasında Türkiye genelinde alınan rüzgâr hızı verilerinin arff (attribute related file format) formatındaki veri dosyasında,

@attribute yıl numeric

@attribute ay numeric

@attribute bolge numeric

@attribute sehir numeric
 @attribute istasyon numeric
 @attribute ruzgarYonu numeric
 @attribute ruzgarHizi numeric
 @attribute sicaklik numeric
 @attribute basinc numeric
 @attribute rakim numeric
 @attribute class {...}

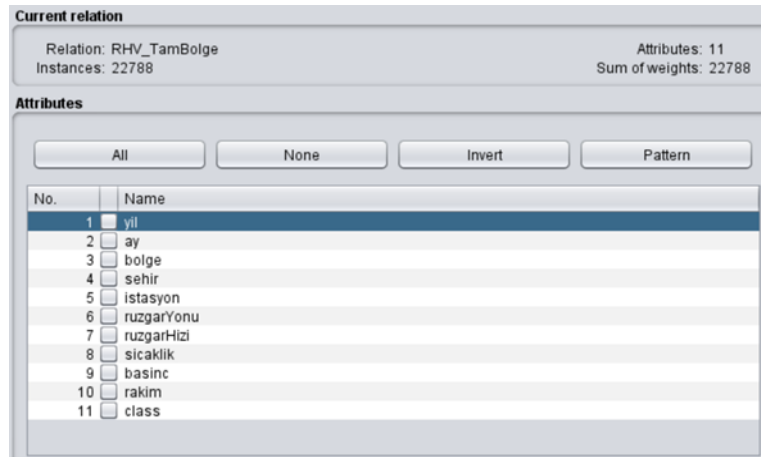
olmak üzere 11 değişken (sütun) ve 22788 durum (satır) vardır.

Büyük veri madenciliği analizi ile bölgeler, yıl, ay ve şehir bazında kümeleme, sınıflandırma analizi ve ortalama rüzgâr hızı için regresyon analizi yapılmıştır.

4.7.1. Bölge Bazında Büyük Veri Madenciliği

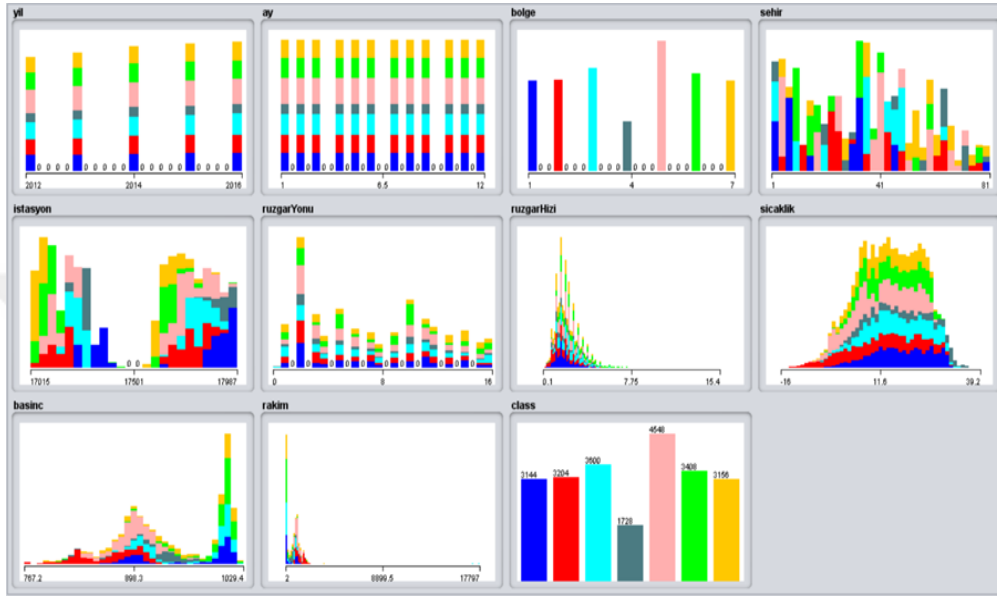
4.7.1.1. Bölge Bazında Kümeleme Analizi

Bölge bazında yapılan kümeleme analizi EM algoritması ile yapılmıştır. Bölge bazında veri bilgileri görünümü Şekil 4.28’de gösterilmiştir.



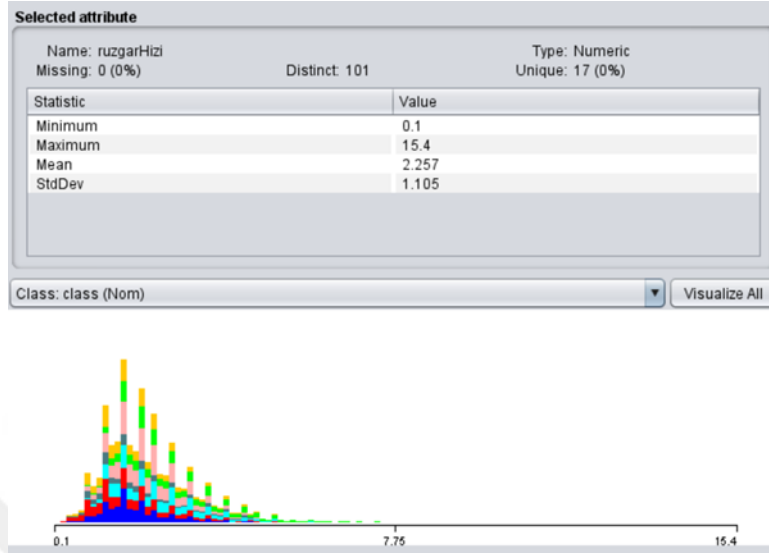
Şekil 4.28. WEKA Veri Bilgileri Görünümü

Bölge bazında verilerin açıklayıcı grafik görünümü Şekil 4.29'da gösterilmiştir.



Şekil 4.29. Bölge Bazında Verinin Açıklayıcı Grafik Görünümü

Bölge bazında rüzgâr hızı değerleri için verinin açıklayıcı grafik görünümü Şekil 4.30.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.30. Bölge Bazında Rüzgâr Hızı için Verinin Açıklayıcı Grafik Görünümü

Bölge bazında rüzgâr hızı değerleri için kümeleme analizi sonuçlarına Çizelge 4.42’de yer verilmiştir. Kümeleme analizi sonucunda bölgeler 7 küme oluşturmuştur. 7 küme için değişkenlerin ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4.42. Bölge Bazında Kümeleme Analizi Sonuçları

	Küme						
Özellik	0	1	2	3	4	5	6
	(0.14)	(0.15)	(0.14)	(0.14)	(0.14)	(0.16)	(0.13)
Rüzgar Hızı							
Ortalama	2.1496	2.9371	2.0458	1.9472	1.9878	2.4693	2.1912
Standart Sapma	0.8566	1.3811	0.9842	1.2416	0.9054	1.0067	0.8705
Sıcaklık							
Ortalama	13.2966	15.0803	12.8612	10.8857	17.1309	16.2695	12.6851
Standart Sapma	9.3622	7.2255	7.4491	10.3354	8.0256	8.0186	9.1076
Basınç							
Ortalama	905.1287	998.7009	957.537	865.1139	965.6693	969.742	903.1597
Standart Sapma	31.7031	27.3395	61.4447	38.1791	54.181	47.8344	31.2716
Rakım							
Ortalama	969.8444	152.3582	538.4349	1360.413	426.3573	796.8877	994.8538
Standart Sapma	297.7389	238.8712	636.9345	381.3943	486.639	2602.9002	290.0862

Bölge bazında kümelenmiş gözlemler ve kümelerdeki gözlem sayı ve yüzdeleri Çizelge 4.43'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.43. Bölge Bazında Kümelenmiş Gözlemler

Kümelenmiş Gözlemler		
0	3629	(%16)
1	3354	(%15)
2	3156	(%14)
3	3204	(%14)
4	3144	(%14)
5	3600	(%16)
6	2701	(%12)

Bölge bazında kümeleme analizinde Log likelihood değeri:-34.9042 olarak bulunmuştur. Log likelihood değeri kümeleme analizinin doğruluğunun bir ölçüsüdür.

4.7.1.2. Bölge Bazında Sınıflandırma Analizi

Bölge bazında rüzgâr hızı değerleri için verinin sınıflandırma analizi Random Tree algoritması ile yapılmıştır. Bölge bazında sınıflandırma analizi test istatistikleri Çizelge 4.44'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.44. Bölge Bazında Sınıflandırma Analizi Test İstatistikleri

Özet		
Doğru Sınıflandırılan Gözlemler	9108	99.92%
Kappa istatistiği	0.9991	
Ortalama mutlak hata	0.0002	
Kök ortalama kare hatası	0.0148	
Bağıl mutlak hata	0.0904%	
Kök bağıl kare hatası	4.25%	
Toplam Gözlem Sayısı	9115	

Kappa istatistiği 1'e oldukça yakın bir değerdir. Bu sonuç sınıflandırma analizinin başarılı olduğunu göstermektedir. Doğru kümeleme oranı da % 99.92 ile oldukça başarılıdır.

Sınıflandırma analizi sonuçlarından 'Sınıflara göre Ayrıntılı Doğruluk Oranları'na Çizelge 4.44'te yer verilmiştir. Burada her sınıfa ait F-measure, TP Rate(Gerçek Pozitif Değeri), FP Rate(Gerçek Negatif Değeri) ROC, Recall gibi değerler bulunmaktadır.

Çizelge 4.45. Bölge Bazında Sınıflara göre Ayrıntılı Doğruluk Oranları

Sınıflara göre Ayrıntılı Doğruluk Oranları									
	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Sınıf
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	2
	1,000	0,000	0,999	1,000	0,999	0,999	1,000	0,999	3
	0,991	0,000	1,000	0,991	0,996	0,995	0,996	0,992	4
	0,999	0,001	0,998	0,999	0,999	0,998	0,999	0,997	5
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	6
	1,000	0,000	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	7
Ağırlıklı Ortalama	0,999	0,000	0,999	0,999	0,999	0,999	1,000	0,999	

Sınıflandırma analizinin performansını tanımlamada kullanılan Karışıklık Matrisi Çizelge 4.46’da yer almaktadır.

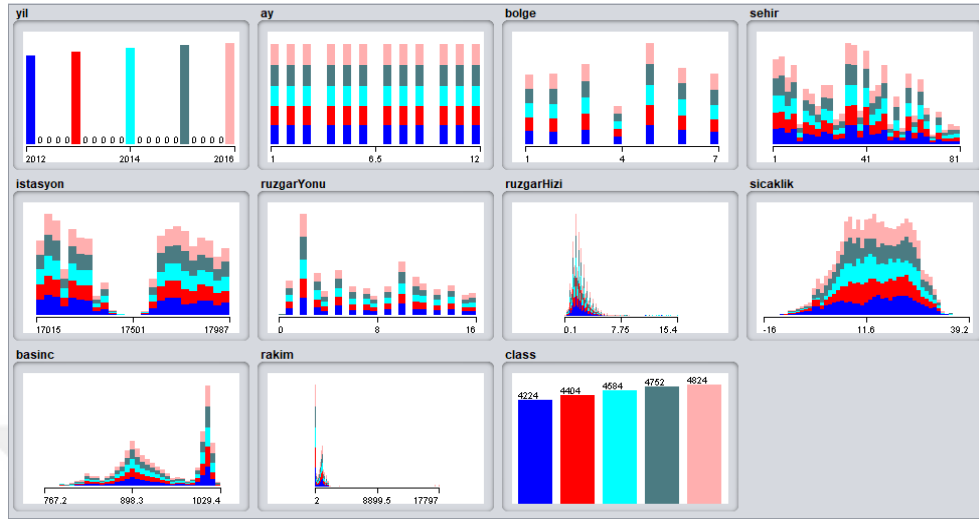
Çizelge 4.46. Bölge Bazında Karışıklık Matrisi

Karışıklık Matrisi							
a	b	c	d	e	f	g	<-- sınıflandırma
1294	0	0	0	0	0	0	a=1
0	1238	0	0	0	0	0	b=2
0	0	1414	0	0	0	0	c=3
0	0	2	671	4	0	0	d=4
0	0	0	0	1826	0	1	e=5
0	0	0	0	0	1347	0	f=6
0	0	0	0	0	0	1318	g=7

4.7.2. Yıl Bazında Büyük Veri Madenciliği

4.7.2.1. Yıl Bazında Kümeleme Analizi

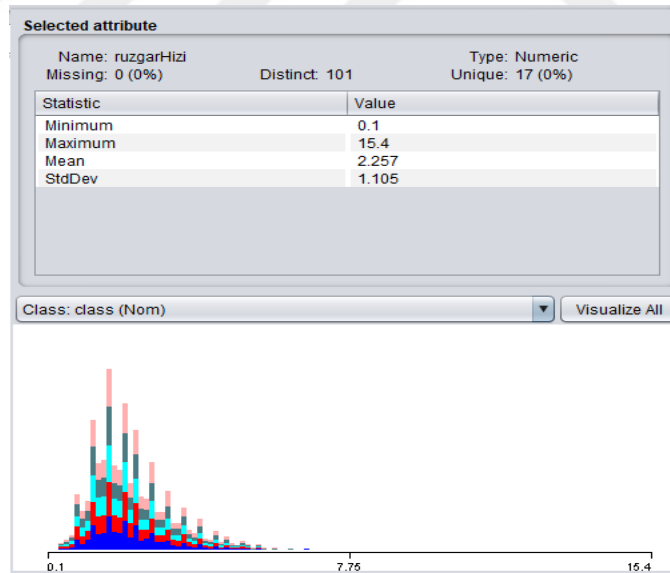
Yıl bazında yapılan kümeleme analizi EM algoritması ile yapılmıştır. Yıl bazında verilerin açıklayıcı grafik görünümü Şekil 4.31’de gösterilmiştir.



Şekil 4.31. Yıl Bazında Verinin Açıklayıcı Grafik Görünümü

Yıl bazında rüzgâr hızı değerleri için verinin açıklayıcı grafik görünümü

Şekil 4.32.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.32. Yıl Bazında Rüzgâr Hızı için Verinin Açıklayıcı Grafik Görünümü

Bölgeler bazında rüzgâr hızı değerleri için kümeleme analizi sonuçlarına Çizelge 4.47’de yer verilmiştir. Kümeleme analizi sonucunda yıllar 7 küme oluşturmuştur. 7 küme için değişkenler için ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4.47. Yıl Bazında Kümeleme Analizi Sonuçları

	Küme						
Özellik	0	1	2	3	4	5	6
	(0.08)	(0.2)	(0.19)	(0.12)	(0.2)	(0.21)	(0.01)
Rüzgar Hızı							
Ortalama	2.5937	2.3272	2.238	1.9807	2.225	2.2727	2.1042
Standart Sapma	1.2628	1.1041	1.0801	0.8339	1.1558	1.1142	0.7937
Sıcaklık							
Ortalama	15.6308	14.0977	13.925	12.8329	14.6424	13.8868	12.0188
Standart Sapma	7.4369	8.8419	9.584	9.0464	7.9913	8.8739	10.0751
Basınç							
Ortalama	981.0207	939.6183	939.3851	910.8839	938.7289	939.8608	906.8222
Standart Sapma	41.9953	60.9502	61.0746	55.9679	61.8309	61.9568	84.5948
Rakım							
Ortalama	292.0672	676.6308	665.3133	929.8342	684.3572	681.2228	10102.4015
Standart Sapma	364.135	555.6667	554.1912	517.9841	576.1519	571.1773	7638.0467

Yıl bazında kümelenmiş gözlemler ve kümelerdeki gözlem sayısı ve yüzdeleri Çizelge 4.48’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.48. Yıl Bazında Kümelenmiş Gözlemler

Kümelenmiş Gözlemler		
0	68	(% 0)
1	4740	(% 21)
2	4224	(% 19)
3	4336	(% 19)
4	4584	(% 20)
5	4752	(% 21)
6	84	(% 0)

Bölgeler bazında kümeleme analizinde Log likelihood değeri: -34.69152 olarak bulunmuştur.

4.7.2.2. Yıl Bazında Sınıflandırma Analizi

Yıl bazında rüzgâr hızı değerleri için verinin sınıflandırma analizi de Random Tree algoritması ile yapılmıştır. Yıl bazında sınıflandırma analizi test istatistikleri Çizelge 4.49’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.49. Yıl Bazında Sınıflandırma Analizi Test İstatistikleri

Özet		
Doğru Sınıflandırılan Gözlemler	22788	% 100
Kappa istatistiği	1	
Ortalama mutlak hata	0	
Kök ortalama kare hatası	0	
Bağıl mutlak hata	% 0	
Kök bağıl kare hatası	% 0	
Toplam Gözlem Sayısı	22788	

Kappa istatistiği 1’dir, bu sonuca göre sınıflandırma analizi % 100 başarılıdır. Doğru sınıflandırma oranı bu sonucu desteklemektedir. Sınıflara göre ayrıntılı doğruluk oranları Çizelge 4.50’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.50. Yıl Bazında Sınıflara göre Ayrıntılı Doğruluk Oranları

Sınıflara göre Ayrıntılı Doğruluk Oranları									
	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Sınıf
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	2012
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	2013
	1,000	0,000	0,999	1,000	0,999	0,999	1,000	0,999	2014
	1,000	0,000	1,000	0,991	0,996	0,995	0,996	0,992	2015
	1,000	0,001	0,998	0,999	0,999	0,998	0,999	0,997	2016
Ağırlıklı Ortalama	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Yıl Bazında Karışıklık Matrisi Çizelge 4.51’de gösterilmiştir.

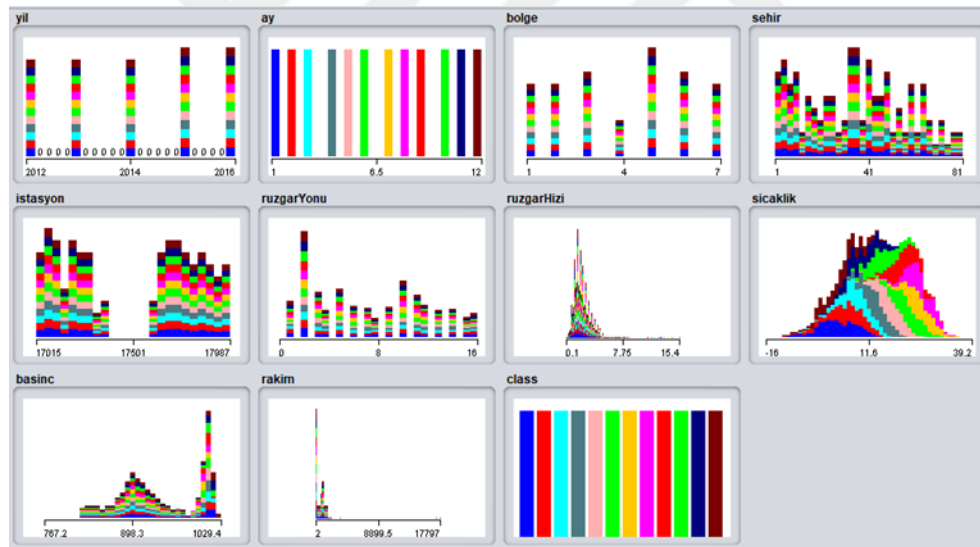
Çizelge 4.51. Yıl Bazında Karışıklık Matrisi

Karışıklık Matrisi					
a	b	c	d	e	<-- sınıflandırma
4224	0	0	0	0	a=2012
0	4404	0	0	0	b=2013
0	0	4584	0	0	c=2014
0	0	0	4752	0	d=2015
0	0	0	0	4824	e=2016

4.7.3. Ay Bazında Büyük Veri Madenciliği

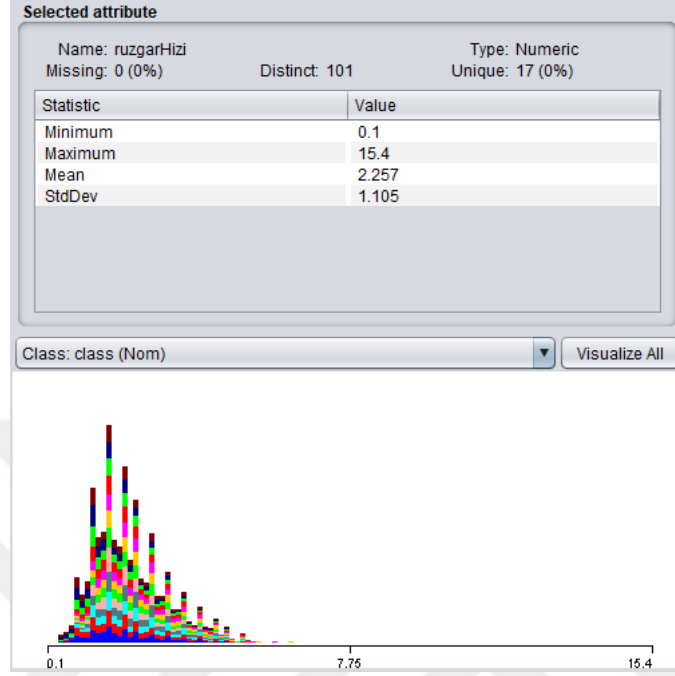
4.7.3.1. Ay Bazında Kümeleme Analizi

Ay bazında yapılan kümeleme analizi EM algoritması ile yapılmıştır. Ay bazında verilerin açıklayıcı grafik görünümü Şekil 4.33'te gösterilmiştir.



Şekil 4.33. Ay Bazında Verinin Açıklayıcı Grafik Görünümü

Ay bazında rüzgâr hızı değerleri için verinin açıklayıcı grafik görünümü Şekil 4.34.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.34. Ay Bazında Rüzgâr Hızı için Verinin Açıklayıcı Grafik Görünümü

Aylar bazında rüzgâr hızı değerleri için kümeleme analizi sonuçlarına Çizelge 4.52’de yer verilmiştir. Kümeleme analizi sonucunda aylar için oluşturulan kümelerdeki değişkenler için ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4.52. Ay Bazında Kümeleme Analizi Sonuçları

	Küme																		
Özellik	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13					
	(0.08)	(0.06)	(0.07)	(0.12)	(0.07)	(0.04)	(0.05)	(0.08)	(0.08)	(0.04)	(0.06)	(0.08)	(0.08)	(0.08)					
Rüzgar Hızı																			
Ortalama	2.2035	2.3926	1.7412	1.8874	2.0653	2.3398	2.6787	2.3981	2.6579	2.0875	2.3152	2.22	2.4978	2.3426					
Standart Sapma	0.9972	1.3816	0.7327	0.9614	1.0034	0.8151	1.3381	1.0069	1.3585	0.7927	1.2423	0.8702	1.2192	1.0069					
Sıcaklık																			
Ortalama	20.9995	12.0406	11.6879	7.5675	2.6729	10.0786	11.4563	21.7598	24.9648	12.0127	3.7659	17.3143	25.3075	8.0551					
Standart Sapma	3.7551	5.6231	7.566	5.6842	5.3011	4.2369	3.983	3.6465	3.7643	5.0264	5.1424	3.2236	3.6018	4.1912					
Basınç																			
Ortalama	938.3926	970.0742	926.6893	937.5619	930.196	933.9899	959.9384	936.4499	934.9501	940.6076	935.9738	937.0793	935.9829	938.6945					
Standart Sapma	60.5663	53.0688	63.5576	61.4171	60.9281	58.643	55.866	60.8448	60.39	67.1846	64.4973	60.9038	60.1909	62.6954					
Rakım																			
Ortalama	682.2522	431.3921	1355.128	729.4007	763.7242	720.1277	486.0427	693.4185	684.4343	667.9296	1192.718	683.0324	682.1643	682.7943					
Standart Sapma	573.0048	468.1231	2959.636	567.5538	547.7834	544.2741	494.3515	713.7156	594.2756	613.4118	2770.128	573.4352	573.1473	572.5181					

Yıl bazında kümelenmiş gözlemler ve kümelerdeki gözlem sayı ve yüzdeleri Çizelge 4.52’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.53. Ay Bazında Kümelenmiş Gözlemler

Kümelenmiş Gözlemler		
0	1887	(% 8)
1	1312	(% 6)
2	1011	(% 4)
3	3422	(% 15)
4	1780	(% 8)
5	800	(% 4)
6	1132	(% 5)
7	1889	(% 8)
8	1889	(% 8)
9	902	(% 4)
10	1099	(% 5)
11	1888	(% 8)
12	1886	(% 8)
13	1891	(% 8)

Bölgeler bazında kümeleme analiz sonucunda Log likelihood değeri: - 38.22082 olarak bulunmuştur.

4.7.3.2. Ay Bazında Sınıflandırma Analizi

Ay bazında sınıflandırma analizinde Random Tree algoritması kullanılmıştır. Ay bazında sınıflandırma analizi test istatistikleri Çizelge 4.54’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.54. Ay Bazında Sınıflandırma Analizi Test İstatistikleri

Özet		
Doğru Sınıflandırılan Gözlemler	22788	% 100
Kappa istatistiği	1	
Ortalama mutlak hata	0	
Kök ortalama kare hatası	0	
Bağıl mutlak hata	% 0	
Kök bağıl kare hatası	% 0	
Toplam Gözlem Sayısı	22788	

Kappa istatistiği 1'dir, bu sonuca göre sınıflandırma analizi % 100 başarılıdır. Doğru sınıflandırma oranı bu sonucu desteklenmektedir. Sınıflara göre ayrıntılı doğruluk oranları Çizelge 4.54'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.55. Ay Bazında Sınıflara göre Ayrıntılı Doğruluk Oranları

Sınıflara göre Ayrıntılı Doğruluk Oranları									
	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Sınıf
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	2
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	3
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	4
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	5
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	6
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	7
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	8
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	9
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	10
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	11
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	12
Ağırlıklı Ortalama	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Ay Bazında Karışıklık Matrisi Çizelge 4.56'da gösterilmiştir.

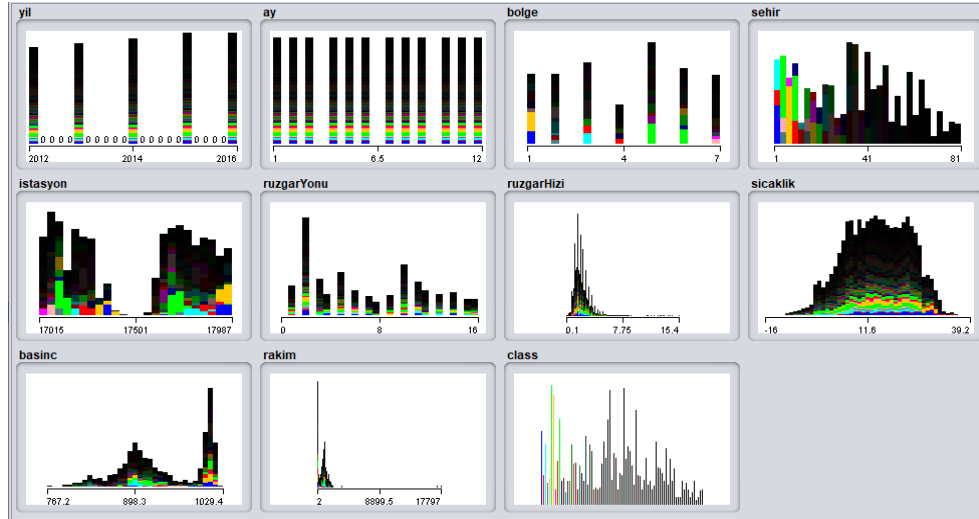
Çizelge 4.56. Ay Bazında Karışıklık Matrisi

Karışıklık Matrisi												
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	<-- sınıflandırma
1899	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	a=1
0	1899	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	b=2
0	0	1899	0	0	0	0	0	0	0	0	0	c=3
0	0	0	1899	0	0	0	0	0	0	0	0	d=4
0	0	0	0	1899	0	0	0	0	0	0	0	e=5
0	0	0	0	0	1899	0	0	0	0	0	0	f=6
0	0	0	0	0	0	1899	0	0	0	0	0	g=7
0	0	0	0	0	0	0	1899	0	0	0	0	h=8
0	0	0	0	0	0	0	0	1899	0	0	0	i=9
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1899	0	0	j=10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1899	0	k=11
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1899	l=12

4.7.4. Şehir Bazında Büyük Veri Madenciliği

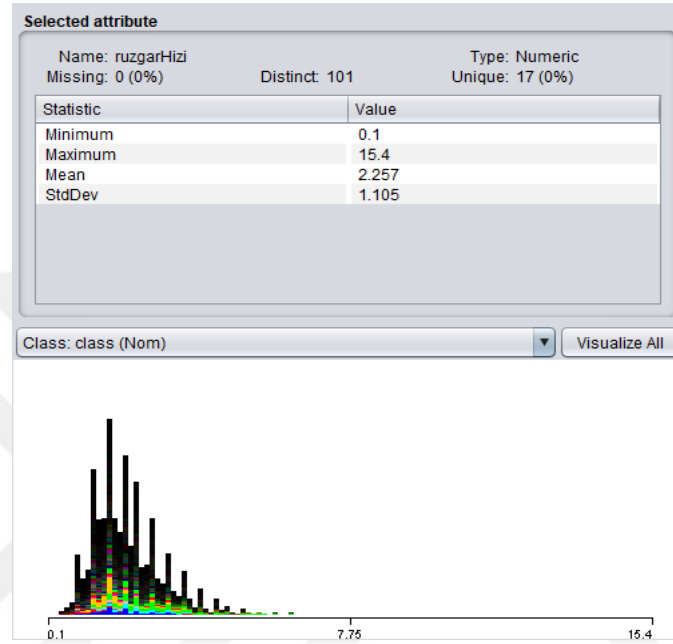
4.7.4.1. Şehir Bazında Kümeleme Analizi

Şehir bazında yapılan kümeleme analizi EM algoritması ile yapılmıştır. Şehir bazında verilerin açıklayıcı grafik görünümü Şekil 4.41’de gösterilmiştir.



Şekil 4.35. Şehir Bazında Verinin Açıklayıcı Grafik Görünümü

Şehir bazında rüzgâr hızı değerleri için verinin açıklayıcı grafik görünümü Şekil 4.35.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.36. Şehir Bazında Rüzgâr Hızı için Verinin Açıklayıcı Grafik Görünümü

Şehir bazında rüzgâr hızı değerleri için kümeleme analizi sonuçlarına Çizelge 4.57'de yer verilmiştir. Kümeleme analizi sonucunda şehirler 11 kümede toplanmıştır.

4.57. Şehir Bazında Kümeleme Analizi Sonuçları

	Küme											
Özellik	0 (0.13)	1 (0.05)	2 (0.02)	3 (0.17)	4 (0.01)	5 (0.15)	6 (0.1)	7 (0.13)	8 (0.07)	9 (0.06)	10 (0.1)	
Rüzgar Hızı												
Ortalama	2.0841	1.9664	2.5774	2.331	1.9711	1.9325	3.1825	2.0872	2.1907	2.2444	2.2892	
Standart Sapma	0.7386	0.712	2.1902	1.0694	0.552	0.8509	1.4265	1.012	0.9896	1.2022	0.8552	
Sıcaklık												
Ortalama	12.8995	11.4361	18.1369	18.9783	16.4818	11.6242	15.6307	11.7481	15.0011	12.4359	12.782	
Standart Sapma	9.2002	7.2883	8.7814	7.004	8.0909	9.2591	7.0787	9.6388	6.8477	7.7306	9.0315	
Basınç												
Ortalama	897.009	932.477	948.52	1008.53	932.476	882.948	1007.85	884.533	1004.11	943.202	914.788	
Standart Sapma	38.5405	64.3423	26.5632	6.5941	59.8759	32.3485	9.3985	35.2914	18.9361	56.9163	18.9113	
Rakım												
Ortalama	1045.77	798.298	1663.22	48.4843	3357.38	1194.67	73.2032	1169.38	102.291	648.251	887.236	
Standart Sapma	367.111	772.166	4075.1	50.3096	6144.33	325.795	85.7599	341.512	158.428	524.804	169.547	

Şehir bazında kümelenmiş gözlemler ve kümelerdeki gözlem sayı ve yüzdeleri Çizelge 4.58’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.58. Şehir Bazında Kümelenmiş Gözlemler

Kümelenmiş Gözlemler		
0	2770	(% 12)
1	1146	(% 5)
2	566	(% 2)
3	3874	(% 17)
4	246	(% 1)
5	3621	(% 16)
6	2381	(% 10)
7	3163	(% 14)
8	1689	(% 7)
9	1154	(% 5)
10	2178	(% 10)

Şehirler bazında kümeleme analizi sonucunda Log-likelihood değeri: - 39.65608 olarak bulunmuştur.

4.7.4.2. Şehir Bazında Sınıflandırma Analizi

Şehir bazında sınıflandırma analizinde Random Tree algoritması kullanılmıştır. Şehir bazında sınıflandırma analizi test istatistikleri Çizelge 4.59’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.59. Şehir Bazında Sınıflandırma Analizi Test İstatistikleri

Özet		
Doğru Sınıflandırılan Gözlemler	22788	% 100
Kappa istatistiği	1	
Ortalama mutlak hata	0	
Kök ortalama kare hatası	0	
Bağıl mutlak hata	% 0	
Kök bağıl kare hatası	% 0	
Toplam Gözlem Sayısı	22788	

Kappa istatistiği 1’dir, bu sonuca göre sınıflandırma analizi % 100 başarılıdır. Doğru sınıflandırma oranı bu sonucu desteklenmektedir. Sınıflara göre ayrıntılı doğruluk oranları EK 9’da yer almıştır.

4.7.5. Regresyon Analizleri

Yıl, bölge, ay ve şehir bazında ortalama rüzgâr hızı için regresyon analizleri yapılmış ve sonuçları sunulmuştur.

4.7.5.1. Yıl Bazında Rüzgâr Hızlarına göre Doğrusal Regresyon Analizi

Yıl bazında rüzgâr hızları için oluşturulan doğrusal regresyon modeli:

$$\begin{aligned} \text{Rüzgâr Hızı} = & 0.0211 * \text{yıl} + (-0.0391) * \text{ay} + 0.0618 * \text{bölge} + (-0.0063) * \text{şehir} \\ & + (-0.0005) * \text{istasyon} + (-0.0027) * \text{rüzgâr yönü} + 0.0208 * \text{sıcaklık} + 0.0008 * \\ & \text{basınç} + (-0.0328) * \text{class}=(2014,2012,2015,2016) + 0.054 * \text{class}=(2012,2015,2016) \\ & + (-32.7735) \end{aligned}$$

Modelde, özelliklerin (attribute) rüzgâr hızı üzerindeki etki değerleri (+) ve (-) yönlüdür. Buna göre, yıl, bölge, sıcaklık ve basınç, rüzgâr hızında artan yönde etkili iken; ay, şehir ve istasyonlar azalan yönde etkilidir. Rakım özelliğinin bu doğrusal regresyon modelinde rüzgâr hızı üzerindeki etkisi olmadığı görülmektedir. Doğrusal regresyon analizinde regresyon modeli yanı sıra sınıflandırma da yapılmaktadır. Yıl bazında rüzgâr hızı regresyon analizi sınıflandırma sonucunda 3 sınıf oluşmuştur.

Doğrusal Regresyon Analizi test istatistiklerine Çizelge 4.60.'ta yer verilmiştir.

Çizelge 4.60. Yıl Bazlı Rüzgâr Hızları Doğrusal Regresyon Test İstatistikleri

Korelasyon Katsayısı	0.3005
Ortalama mutlak hata	0.7832
Kök ortalama kare hatası	1.0534
Bağıl mutlak hata	%95.3974
Kök bağıl kare hatası	%95.3766
Toplam Gözlem Sayısı	22788

4.7.5.2. Bölge Bazında Rüzgâr Hızlarına göre Doğrusal Regresyon Analizi

Bölge bazında rüzgâr hızları için oluşturulan doğrusal regresyon modeli:

$$\begin{aligned} \text{Rüzgâr Hızı} = & 0.026 * \text{yıl} + (-0.0389) * \text{ay} + 0.01 * \text{bölge} + (-0.0039) * \text{şehir} + \\ & (-0.0005) * \text{istasyon} + 0.0215 * \text{sıcaklık} + (-0.001) * \text{basınç} + (-0) * \text{rakım} + 0.0328 \\ & * \text{class} = (4,7,5,3,6) + 0.0813 * \text{class} = (7,5,3,6) + 0.1629 * \text{class} = (5,3,6) + 0.1932 * \\ & \text{class} = (3,6) + 0.4172 * \text{class} = 6 + (-41.5021) \end{aligned}$$

Modele göre, yıl, bölge, sıcaklık, rüzgâr hızında artan yönde etkili iken; ay, bölge, şehir, istasyonlar ve basınç azalan yönde etkilidir. Rüzgâr yönü özelliğinin bu doğrusal regresyon modelinde rüzgâr hızı üzerindeki etkisi olmadığı görülmektedir.

Bölge bazlı doğrusal regresyon analizi test istatistiklerine Çizelge 4.61'de yer verilmiştir.

Çizelge 4.61. Bölge Bazlı Rüzgâr Hızları Doğrusal Regresyon Test İstatistikleri

Korelasyon Katsayısı	0.3735
Ortalama mutlak hata	0.7597
Kök ortalama kare hatası	1.0246
Bağıl mutlak hata	%92.5368
Kök bağıl kare hatası	%92.764
Toplam Gözlem Sayısı	22788

4.7.5.3. Ay Bazında Rüzgâr Hızlarına göre Doğrusal Regresyon Analizi

Ay bazında rüzgâr hızları için oluşturulan doğrusal regresyon modeli:

$$\begin{aligned} \text{Rüzgâr Hızı} = & 0.0236 * \text{yıl} + (-0.0371) * \text{ay} + 0.064 * \text{bölge} + (-0.0063) * \text{şehir} + \\ & (-0.0005) * \text{istasyon} + (-0.0028) * \text{rüzgar yönü} + 0.0243 * \text{sıcaklık} + 0.0007 * \\ & \text{basınç} + (-0.0752) * \text{class1} + (-0.3767) * \text{class2} + (-0.2074) * \text{class3} + (-0.1178) * \text{class4} + \\ & (-0.0384) * \text{class5} + 0.2125 * \text{class6} + 0.0514 * \text{class7} + (-0.0568) * \text{class8} + (-0.1062) \\ & * \text{class9} + 0.0819 * \text{class10} + 0.1092 * \text{class11} + (-37.839) \end{aligned}$$

Modele göre, yıl, sıcaklık, bölge ve basınç rüzgâr hızında artan yönde etkili iken; ay, şehir, istasyonlar ve rüzgâr yönü azalan yönde etkilidir. Rakım özelliğinin bu doğrusal regresyon modelinde rüzgâr hızı üzerindeki etkisi olmadığı görülmektedir. Bölge bazında rüzgâr hızı regresyon analizi sınıflandırma sonucunda 5 sınıf oluşmuştur.

Bölge bazlı doğrusal regresyon analizi test istatistiklerine Çizelge 4.62’de yer verilmiştir.

Çizelge 4.62. Ay Bazlı Rüzgâr Hızları Doğrusal Regresyon Test İstatistikleri

Korelasyon Katsayısı	0.3735
Ortalama mutlak hata	0.7597
Kök ortalama kare hatası	1.0246
Bağıl mutlak hata	%92.5368
Kök bağıl kare hatası	%92.764
Toplam Gözlem Sayısı	22788

4.7.5.4. Şehir Bazında Rüzgâr Hızlarına göre Doğrusal Regresyon Analizi

Bölge bazında rüzgâr hızları için oluşturulan doğrusal regresyon modeli:

$$\begin{aligned} \text{Rüzgâr Hızı} = & 0.0244 * \text{yıl} + (-0.0374) * \text{ay} + (-0.0508) * \text{bölge} + (0.0025) * \text{şehir} \\ & + (-0.0005) * \text{istasyon} + 0.0201 * \text{sıcaklık} + (-0.0036) * \text{basınç} + 0.4449 \\ & * \text{class1} + 0.5218 * \text{class2} + (-0.3069) * \text{class3} + 0.152 * \text{class4} + (-0.1281) * \text{class5} + \\ & 0.3152 * \text{class6} + (-0.3859) * \text{class7} + 0.5575 * \text{class8} + (-0.3789) * \text{class9} + 0.6995 \\ & * \text{class10} + (-0.5181) * \text{class11} + 0.4519 * \text{class12} + (-0.4684) * \text{class13} + 0.3265 \\ & * \text{class14} + (-0.2817) * \text{class15} + 0.3635 * \text{class16} + (-0.1773) * \text{class17} + 0.2538 \\ & * \text{class18} + (-0.1288) * \text{class19} + (-0.2379) * \text{class20} + 0.4345 * \text{class21} + (-0.4138) \\ & * \text{class22} + 0.477 * \text{class23} + (-0.5584) * \text{class24} + 0.4419 * \text{class25} + 0.1228 \\ & * \text{class26} + (-0.1206) * \text{class26} + 0.2598 * \text{class27} + (-0.0787) * \text{class28} + (-0.1847) \\ & * \text{class29} + 0.2011 * \text{class30} + (-0.2167) * \text{class31} + (-0.0759) * \text{class32} + 0.5208 \\ & * \text{class33} + (-0.1046) * \text{class34} + (-0.5733) * \text{class35} + 0.2644 * \text{class36} + 0.4665 \\ & * \text{class37} + (-0.375) * \text{class37} + 0.1988 * \text{class38} + (-0.1095) * \text{class39} + 0.1771 * \\ & \text{class40} + 0.27 * \text{class41} + (-0.5936) * \text{class42} + 0.138 * \text{class43} + 0.2884 * \\ & \text{class44} + 0.0661 * \text{class45} + (-0.1845) * \text{class46} + 0.4754 * \text{class47} + (-0.1977) * \\ & \text{class48} + (-0.2606) * \text{class49} + 0.6042 * \text{class50} + (-0.3106) * \text{class51} + 0.5342 * \\ & \text{class52} + (-0.171) * \text{class53} + 0.4421 * \text{class54} + 0.116 * \text{class55} + 0.9699 * \\ & \text{class56} + (-36.8136) \end{aligned}$$

Modele göre, yıl, sıcaklık ve şehir rüzgâr hızında artan yönde etkili iken; ay, bölge, istasyonlar ve basınç azalan yönde etkilidir. Rüzgâr yönü ve rakım özelliklerinin bu doğrusal regresyon modelinde rüzgâr hızı üzerindeki etkisi olmadığı görülmektedir. Şehir bazında rüzgâr hızı regresyon analizi sınıflandırma sonucunda 56 sınıf oluşmuştur.

Şehir bazlı doğrusal regresyon analizi test istatistiklerine Çizelge 4.63'te yer verilmiştir.

Çizelge 4.63. Şehir Bazlı Rüzgâr Hızları Doğrusal Regresyon Test İstatistikleri

Korelasyon Katsayısı	0.5271
Ortalama mutlak hata	0.6887
Kök ortalama kare hatası	0.9386
Bağıl mutlak hata	%83.8952
Kök bağıl kare hatası	%84.9799
Toplam Gözlem Sayısı	22788

Yıl, bölge, ay ve şehir bazlı doğrusal regresyon test istatistiklerinde hata oranlarının yüksek değerler çıkması nedeniyle regresyon modelinin başarısı düşüktür. Regresyon modelinde daha iyi başarı elde edilmek istendiği durumda regresyon modeli oluşturulan sistemin tamamı için bir doğrusal regresyon formülü yerine karar ağacı içinde gruplara bölünerek her bir grup için ayrı ayrı doğrusal regresyon modeli oluşturulur. Oluşturulan her bir doğrusal regresyon modelinin başarısı toplam başarıyı daha yukarı taşıyabilecektir. Bölge bazında rüzgâr hızları için oluşturulan karar ağacı Şekil 37'de gösterilmiştir.



Şekil 4.37. Bölge Bazında Rüzgâr Hızları için Karar Ağacı

Karar ağacında da görülen alt gruplar için oluşturulan regresyon modeli doğrusal olmayan regresyon modelidir. Doğrusal olmayan regresyon modeli için

MP5 algoritması kullanılmıştır. Bölge bazlı rüzgâr hızları için oluşturulan doğrusal olmayan regresyon modeli sonucu ortaya çıkan test istatistiklerine Çizelge 4.64'te yer verilmiştir. Bu sonuçlar bölge bazı için yapılan doğrusal regresyon test sonuçları ile karşılaştırıldığında hata değerlerinin düştüğü model başarısının arttığı gözlenmektedir.

Çizelge 4.64. Bölge Bazlı Rüzgâr Hızları Doğrusal Olmayan Regresyon Test İstatistikleri

Korelasyon Katsayısı	0.923
Ortalama mutlak hata	0.2999
Kök ortalama kare hatası	0.4471
Bağıl mutlak hata	%36.5277
Kök bağıl kare hatası	%40.4821
Toplam Gözlem Sayısı	22788

Diğer taraftan hata değerleri doğrusal regresyon değerlerine göre daha düşük değerler olmasına rağmen mühendislik açıdan bu değerler kabul edilmez olarak görülürse karar ağaçlarında budama (pruning) yapmak gerekebilir. Budama ile sınıflandırmaya katkısı olmayan bölümler karar ağacından çıkarılır. Böylece karar ağacı hem sade hem de daha anlaşılabilir hale getirilmiş olur.

Regresyon analizi ile sınıflandırmanın yanı sıra tahmin (estimation) da yapılabilmektedir. Regresyon analizi ile tahmin de gözlem değerleri girdi olarak kullanılmaktadır. Böylece sonraki dönemlere ait değerler tahmin edilebilmektedir. Rüzgâr hızları için regresyon analizi ile tahminlemede gelecek yıllar için rüzgâr hız değerleri tahmin edilebilir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yaşamın her alanında ihtiyaç duyulan enerji, tüketimi artmaya devam eden bir süreçtir. Bu nedenle yenilenebilir enerji gibi yeni ve sürekli enerji kaynaklarına olan ihtiyaç aynı oranda artış göstermektedir. Bu kaynakların en önemlilerinden biri de rüzgâr enerjisidir. Rüzgâr, bitmeyen bir enerji kaynağıdır ve potansiyelinin ortaya çıkarılarak kullanılmayı beklemektedir. Rüzgâr enerjisinin elektriğe dönüştürülmesinde kullanılan baş aktörler RES'ler yani rüzgâr enerji santralleridir. Yenilenebilir kaynaklardan enerji üreten girişimleri destekleyen ve teşvik eden mevcut politikalara dayanarak rüzgâr enerji santrallerinin yapımında önemli bir artış vardır. Türbin tasarımında devam eden yenilikler, türbin verimliliğini artırmaya ve rüzgâr türbininin çalıştığı rüzgâr hızı aralığını genişletmeye yardımcı olmaktadır. Bu sayede daha zayıf rüzgâr kaynaklarına sahip alanlarda çalışan türbinler için rüzgârdan yakalanan enerji maksimuma çıkarılabilecektir (Wais, 2017). Rüzgâr enerjisi potansiyelini değerlendirmenin en iyi yolu meteorolojik değerlendirmeler yapmaktır. Bunun yanı sıra, rüzgâr enerjisi potansiyeli istatistiksel analizler kullanılarak belirlenebilmektedir. Rüzgâr hızı değişimi bir olasılık dağılım fonksiyonu ile tanımlanmaktadır. Günümüzde rüzgâr enerjisi elektrik üretimi potansiyeli belirlenmesinde çoğunlukla iki parametrelili Weibull dağılımı kullanılmaktadır. Rüzgâr dağılımına uyumunun literatürde de yer alan birçok çalışma ile tecrübe edilmesi parametrelerinin kolay belirlenmesi, parametre sayısının az olması nedeni ile bu dağılım kullanılmaktadır. İki parametrelili Weibull dağılımı rüzgâr enerjisini tahmin etmede yaygın kullanılan matematiksel bir modeldir. Dağılım ayrıca rüzgâr enerjisi potansiyel hesaplamasında kullanılan bilgisayar programlarında (WAsP, WindPRO, WindFarmer, Windographer, Homer, RETScreen, WindSim, vb.) kullanılmaktadır. Çalışmada iki parametrelili Weibull dağılımı kullanılmasına rağmen önce veriler için uygun olabilecek tüm dağılımların uyumları Matlab programında test edilmiştir. Çalışmada rüzgâr

dağılımının farklı bir dağılım ile modellenmesi için karma dağılım modeli kullanılmıştır. Böylece dağılımlarda parametre sayısını arttırmak yerine, daha dinamik, daha ergonomik model oluşturmak için karma dağılım modeli kullanılmıştır. Çalışmada, hem iki parametrelili Weibull Dağılımı hem de karma Weibull dağılımlarının parametreleri Matlab ve R programı kullanılarak belirlenmiştir. Parametre belirleme yöntemi olarak MLE (Maximum Likelihood Estimation) kullanılmıştır. Çalışma için hız, yön, basınç ve sıcaklık değerleri olmak üzere 5 yıllık (2012-2016) rüzgâr verileri kullanılmıştır.

5.1. Sonuçlar

Çalışmanın temel amacı, geçmiş yıllara ait rüzgâr verileri kullanılarak gelecek yıllarda rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin geleceğinin projeksiyonunu ortaya koymaktır. Ayrıca 2006 yılında hazır hale getirilmiş olan REPA yani ‘Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası’ çalışmalarına katkı sağlaması hedeflenmiş, Türkiye’nin rüzgâr enerjisinin elektrik üretimine uygulanabilirliği incelenmiştir.

Tez Çalışmasının ilk uygulama adımında; 2012 ile 2016 yıllarını kapsayan dönem için 5 yıllık Türkiye geneli yıl, ay, bölge, şehir, istasyon, sıcaklık, basınç, rakım, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü değişkenlerinden oluşan veriler için ‘büyük rüzgâr verisi analitiği’ ile kümeleme analizi uygulanmıştır. Kümeleme analizi için SPSS 22.0 programı kullanılmıştır. Benzer özelliklere sahip olan yıllara göre aylık ortalama rüzgâr hızları Post-Ad Hoc test sonuçlarına göre, 2012, 2013, 2014 ve 2015 yılları aynı ve 2016 yılı farklı bir kümede olmak üzere iki ayrı kümede toplanmıştır. Post-Ad Hoc test sonucuna göre aylara göre ortalama rüzgâr hızları; Kasım, Ağustos ve Temmuz ayları ayrı birer küme, Ekim ve Aralık ayları bir küme, Ocak, Eylül, Mayıs, Şubat ayları bir küme ve Mart, Nisan ve Haziran ayları bir küme olmak 6 kümede toplanmıştır. Post-Ad Hoc test sonucuna göre bölgelere göre rüzgâr hızları; Doğu Anadolu, Akdeniz bir küme, Akdeniz, Güneydoğu

Anadolu, Karadeniz bir küme, İç Anadolu, Ege ve Marmara bölgeleri ayrı ayrı kümelerde olmak 5 kümede toplanmıştır. Ortaya çıkan oluşumlarda bazı kümelenmeler ara kesitli ve bazı kümelenmeler ara kesitsiz durumdadırlar. Akdeniz bölgesi ara kesitli kümelenme oluşumundan dolayı iki ayrı kümede de yer almıştır. Post-Ad Hoc test sonucuna göre 17 hâkim rüzgâr yönü; {WSW, WNW, N, NNW, SSW, NW, ENE, SW, SE, C}, {NW, ENE, SW, SE, C}, {ENE, SW, SE, C, ESE, W, E, SSE}, {C, ESE, W, E, SSE, NE} {ESE, W, E, SSE, NE, S} ve {SSE, NE, S, NNE} olmak üzere 6 kümede toplanmıştır.

Uygulamanın ikinci adımında 2012-2016 yılları için ortalama rüzgâr hızı verileri iki parametrelili Weibull dağılımına uyumlu bulunması nedeni ile iki parametrelili Weibull dağılımı olasılık yoğunluk fonksiyon grafikleri oluşturulmuş dağılım parametreleri belirlenmiştir. Bu parametrelerden biri de ağırlık (karma oranı) parametresidir. Buna göre, 5 yıllık rüzgâr hızı verilerinin yıllar için ayrıca karma dağılım kullanılarak Türkiye genelinde rüzgâr hızından elektrik enerjisi üretimi potansiyeli için 5 yıllık rüzgâr hızı verilerinin karması ile yoğunluklar ve ağırlıklar belirlenmiştir. 5 yıllık rüzgâr hızı verilerinin ağırlık sonucuna göre 2016 yılı 0,212 değeri ile en büyük ağırlığa sahip yıl olarak belirlenmiştir. Yıllar için 5 bileşenli karma Weibull dağılım modeli oluşturulmuştur. Modelin grafiğinde, karma model yoğunluk fonksiyonunun bileşenlerine asimptot olduğu görülmektedir. Yani, her bir yıl için oluşturulan dağılım grafikleri karma dağılım grafiği içerisinde gizlenmiş şekilde iç içe bir grafik görüntüsü sergilemiştir.

Bölgeler için 7 bileşenli karma dağılım modeli oluşturulmuştur. Bölgeler için hesaplanan ağırlık sonuçlarına göre ağırlığı en yüksek olan bölge ‘İç Anadolu Bölgesi’ olmuştur. Bölgeler için oluşturulan karma dağılım grafiğinde de iç içe geçmiş bir karma yapı gözlenmiştir.

Her bölgede bulunan iller için oluşturulan karma dağılım modelinde bölgedeki il sayısı kadar bileşenden oluşan karma modeller oluşturulmuştur. Buna göre; bölgeler karmasında ağırlık açısından 6. sırada yer alan Akdeniz Bölgesinde

8 il bulunmaktadır. Dolayısıyla bu bölge için 8 bileşenli Karma Weibull Dağılım Modeli oluşturulmuştur. Akdeniz Bölgesinde, Antalya ili ağırlığı en yüksek olan olarak belirlenmiştir. Bölge illeri için oluşturulan karma dağılım grafiğine göre iller için oluşturulan dağılım grafikleri ayrı birer tepe oluşturmamış karma dağılım grafiği ile iç içe geçmiş bir dağılım grafiği göstermiştir.

Her bir il için oluşturulan dağılım Bölgeler karmasında ağırlık açısından 4. sırada yer alan Doğu Anadolu Bölgesi'nde 14 il bulunmaktadır. Buna göre Elazığ ili Doğu Anadolu Bölgemizde yer alan iller içerisinde rüzgâr yoğunluğu en fazla olan ildir. Bu iller için 14 bileşenli Karma Weibull Dağılım Modeli oluşturulmuştur.

Bölgeler karmasında ağırlık açısından 3. sırada yer alan Ege Bölgesi'nde 8 il bulunmaktadır. Dolayısıyla bölge için 8 bileşenli karma dağılım modeli oluşturulmuştur. Ege bölgesi illeri içerisinde İzmir en fazla ağırlığa sahip olan ilimizdir. Ege bölgesi için oluşturulan dağılım grafikleri de karma dağılım grafiğine uyumlu görüntüdedir.

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde 8 il bulunmaktadır. Bu iller için 8 bileşenli Karma Weibull Dağılım Modeli oluşturulmuştur. Bu bölgedeki en büyük ağırlığa sahip il Şanlıurfa'dır. Bölge için oluşturulan dağılım grafikleri karma dağılım grafiği ile uyumludur.

İç Anadolu Bölgesi'nde 14 bileşenli Karma Weibull Dağılım Modeli oluşturulmuştur. Bölge'nin ağırlığı en yüksek ili Ankara'dır. İç Anadolu bölgesi için oluşturulan dağılım grafikleri de karma dağılım grafiğine uyumlu görüntüdedir.

Karadeniz bölgesinde yer alan iller için 17 bileşenli karma model oluşturulmuştur. Bölgenin ağırlığı en yüksek ili Kastamonu'dur. Karadeniz bölgesi dağılım grafikleri de diğer 5 bölgede olduğu gibi karma dağılım grafiğine uyumludur.

Karma dağılım modeli oluşturulan son bölge olan Marmara bölgesinde 11 il bulunmaktadır. Bu iller için 11 bileşenli karma model oluşturulmuştur. Bölgenin ağırlığı en yüksek ili Balıkesir'dir. Marmara bölgesi dağılım grafikleri karma dağılım grafiğine uyumlu görüntüdedir.

Bu adımda, rüzgâr potansiyelinin belirlenmesinde faydalanan önemli niceliklerden birisi olan ortalama güç yoğunlukları ve ortalama hız değerleri hesaplanmıştır. Bu amaçla ilk olarak 2012 – 2016 yıllarına ait gerçek veri değerlerinin bölgelere göre ait ortalama hız ve ortalama güç yoğunluğu değerleri hesaplanmıştır. Buna göre, en büyük ortalama hız değeri 2.92 m/s ve en büyük ortalama güç yoğunluğu değeri 15.06 W/m² ile Marmara Bölgesi'ne aittir. En düşük ortalama rüzgâr hız 1.94 m/s ve en düşük ortalama rüzgâr güç yoğunluğuna 3.88 W/m² sahip bölge Doğu Anadolu Bölgesi'dir.

Weibull dağılımı ile tahmin edilen ortalama güç yoğunluğu ve ortalama hız hesaplama sonuçlarına göre; en büyük ortalama rüzgâr hızı değeri 2.93 m/s ve en büyük ortalama rüzgâr güç yoğunluğu değeri 26.39 W/m², Marmara Bölgesi için tahmin edilmiştir. En düşük ortalama rüzgâr hız 1.94 m/s ve en düşük ortalama rüzgâr güç yoğunluğuna 3.88 W/m² sahip bölge Doğu Anadolu Bölgesi'dir.

Karma Weibull dağılımı ile tahmin edilen bölgelere göre en büyük ortalama hız değeri 2.96 m/s ile Marmara Bölgesi'dir. En büyük ortalama güç yoğunluğu değeri 41.29 W/m² ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi'dir. Karma Weibull dağılım modeli tahmin sonucuna göre ortalama hız değerinin en az olduğu bölge 2.17 m/s ile Doğu Anadolu Bölgesi'dir. Ortalama güç yoğunluğu değerinin en düşük olduğu bölge ise 18.19 W/m² ile Ege Bölgesi olarak tahmin edilmiştir.

Birim alan için gerçek veri değerleri hesaplanan ve Weibull ve Karma Weibull dağılımları ile tahmin edilen güç yoğunluğu değerleri kullanılarak Türkiye'nin rüzgâr gücünden elektrik enerjisi üretim öngörü değerleri hesaplanmıştır. Buna göre 2016 yılına ait enerji değerleri Weibull ve Karma Weibull için en yüksek iken gerçek verilerde 2015 yılına ait enerji değeri en

yüksek olarak hesaplanmıştır. Güncel enerji değerlerle karşılaştırılan öngörülen enerji değerleri ülkemizin rüzgâr enerji potansiyelinin büyüklüğünü doğrular niteliktedir.

REPA ile ortaya konulmuş olan bölgelerin teknik potansiyel değerlendirme sonuçlarına göre; 26.149,60 MW teknik potansiyel değeri ile Ege Bölgesi ilk sırada yer almıştır. İkinci sırada bulunan Marmara Bölgesi'nin teknik potansiyeli 47,237.04 MW'tır. Sırasıyla diğer bölgelerin teknik potansiyelleri; Akdeniz Bölgesi, 13.286,08 MW, İç Anadolu Bölgesi, 7.980,88 MW, Karadeniz Bölgesi, 14.146,48MW, Güneydoğu Anadolu Bölgesi, 3.124,72 MW ve Doğu Anadolu Bölgesi, 2.983,92 MW'tır.

Çalışmanın son bölümünde büyük veri madenciliği analizi ile bölgeler, yıl, ay ve şehir bazında kümeleme, sınıflandırma analizi ve ortalama rüzgâr hızı için regresyon analizi yapılmıştır. Büyük Veri Madenciliği analizleri ile veriler arasında var olan ve görülemeyen ilişkiler ortaya çıkarılarak verilerin anlamlı bilgilere dönüştürülmesi amaçlanmıştır. Büyük Veri Madenciliği Analizleri için Weka yazılımı kullanılmıştır. Kümeleme Analizleri, EM algoritması; Sınıflandırma Analizleri, Random Tree algoritması ile yapılmıştır. Doğrusal Regresyon Analizi ile doğrusal regresyon modelleri oluşturulmuş ve doğrusal regresyon analizi içinde sınıflandırma yapılarak sonuçlar ortaya konulmuştur.

5.2. Öneriler

Büyük veri analitiği, veri madenciliği ve yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyel belirleme çalışmaları günümüzde olduğu gibi gelecekte de ayrı ayrı çalışmalara konu olabildiği gibi bir araya getirilerek bir sentez çalışma da ortaya konulabilir. Buna göre gelecek çalışmalar için öneri olarak;

- Güneş verileri kullanılarak Türkiye geneli için güneş enerji potansiyel belirleme çalışması yapılabilir.

- Türkiye geneli rüzgâr verileri ile farklı yüksekliklere göre rüzgâr enerji potansiyeli belirleme çalışması yapılabilir.
- Yukarıda önerilen iki farklı potansiyel belirleme çalışması için büyük veri analitiği ve veri madenciliği teknikleri kullanılabileceği gibi farklı teknikler de kullanılabilir.
- Bu çalışmada 5 yıllık geçmiş yıllara ait rüzgâr verileri ve bu verilerdeki rüzgâr hızı için aylık ortalama değerleri kullanılarak Türkiye geneli için rüzgâr enerji potansiyeli araştırılmıştır. Öneri olarak, 10 yıllık rüzgâr verileri ve bu verilerde yer alan rüzgâr hızı için saatlik veriler kullanılarak Türkiye geneli rüzgâr enerji potansiyeli belirleme çalışması yapılabilir.



KAYNAKLAR

- Ağçay M., 2007. Türkiye'nin Elektrik Enerjisi Arz Talep Dengesinin Tespiti, Üretim Projeksiyonuna Yönelik Rüzgar Elektrik Santrali Tasarımı RES'in Kurulum Maliyetlerinin ve Üretim Parametrelerinin Analizinin Matlab&Simulink ile Yazılan Programda Yapılması, Bitirme Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Akdağ S.A., 2008. Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli ve Ekonomik Analizinde Weibull Dağılımının Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- _____, 2018. Rüzgar Enerjisi Potansiyel Analizinde Karışım Dağılımları Temelli Tekniklerin Kullanılması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Akdağ S. A., Bagiorgas H.S., Mihalakakou G., 2010. Use of two-component Weibull mixtures in the analysis of wind speed in the Eastern Mediterranean. Applied Energy 87:2566–2573.e
- Akın K. Y., 2008. Doktora Tezi. Veri Madenciliğinde Kümeleme Algoritmaları ve Kümeleme Analizi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Akpınar E., Akpınar S., 2004. Determination of the wind energy potential for Maden-Elazig, Turkey. Energy Conversion and Management 45:2901–2914.
- Al Buhairi M. H., 2006. A Statistical Analysis of Wind Speed Data and an Assessment of Wind Energy Potential in Taiz-Yemen. Ass. Univ. Bull. Environ. Res. 9 (2).
- Ali K. M. E., Hassan M. Z., Ali ABM S., Kumar J., 2018. Prediction of Wind Speed Using Real Data: An Analysis of Statistical Machine Learning

- Techniques. 4. Asia-Pacific World Congress on Computer Science Engineering.
- Al Roby M., El Halees A., 2011. Data Mining Techniques for Wind Speed Analysis. *Journal of Computer Engineering*, 2(1).
- Avcıoğlu A., 2017. Yenilenebilir Enerji ve Kaynakları ve Teknolojileri Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 1637, Ders Kitabı: 588, Ankara.
- Azad A. K., Rasul M. G., İslam R. ve Shishir I. R., 2014. Analysis of wind energy prospect for power generation by three Weibull distribution methods. *Energy Procedia* 75:722 – 727.
- Babaoğlu A., 2015. Veri Madenciliği Yöntemleri ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Bahadır A., 2010. Karma Regresyon Modelleri, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Bilgiç H. H., İlker M., Karakuş C., 2016. Estimation of Wind Speed Using Artificial Neural Network Method Based Multiple Linear Regression. *International Conference on Natural Science and Engineering (ICNASE'16)*.
- Bouqata B., 2017. Big Data & Analytics for Wind O&M: Opportunities, Trends and Challenges in the Industrial Internet. *GE Renewable Energy Digital*.
- Çakır M. T., 2010. Türkiye'nin Rüzgâr Enerji Potansiyeli ve AB Ülkeleri İçindeki Yeri, *Politeknik Dergisi*, 13(4):287-293.
- Çakmakçı B. A., 2019. Kırklareli Üniversitesi Kayalı Kampüsünün Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırklareli.
- Çelik 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.

- Çolak İ., Sağıroğlu Ş., Yeşilbudak M., 2012. Data mining and wind power prediction: A literature review. *Renewable Energy* 46:241-247.
- Demirkol Z., 2013. Afyonkarahisar İli Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Demirtaş Ö., 2013. Havacılık Endüstrisinde Stratejik Yönetim: Swot Analizi ile Durum Değerlendirmesi, Nevşehir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 2:207-226.
- Ding Y., Tang J., Huang J., 2015. Data Analytics Methods For Wind Energy Applications, Proceedings of ASME Turbo Expo 2015: Turbine Technical Conference and Exposition.
- Duncan, D.B., 1957. Multiple range tests for correlated and heteroscedastic means, *Biometrics*, 13:164-174.
- Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yayını, 2017.
- Ebru Kavak Akpınar, Yaşar Biçer, 2005. Beytullah Erdoğan, Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki Bazı İllerin Hava Şartları ve Rüzgâr Gücünün Modellenmesi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 89:58-64.
- Erişoğlu M., Servi T., Erişoğlu Ü., Çalış N., 2013. Mixture Gamma Distribution for Estimation of Wind Power Potential. *International Journal of Applied Mathematics and Statistics* 40(10).
- Erol H., Erol R., 2018. Determining Big Data Complexity Using Hierarchical Structure of Groups and Clusters in Decision Tree. 3rd International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK).
- Fawzy D., Moussa S. ve Badr N., 2016. The Evolution of Data Mining Techniques to Big Data Analytics: An Extensive Study with Application to Renewable Energy Data Analytics. *Asian Journal of Applied Sciences*, 04(03).

- Finamore A., Calderaro V., Galdi V., Piccolo A., Conio G., Grasso S., 2015. A Day-Ahead Wind Speed Forecasting Using Data-Mining Model - A Feed-Forward NN Algorithm. Conference Paper.
- Hashmi A.S. ve Ahmad T., 2016. Big Data Mining: Tools & Algorithms. iJES , 4(1).
- Haylı S., 2001. Rüzgar Enerjisinin Önemi ve Dünyada ve Türkiye’deki Durumu. Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 11(1): 1-26.
- Hemlata H. ve Gulia P., 2016. Big Data Analytics. Research Journal of Computer and Information Technology Sciences, 4(2):1-4.
- Hepbaşlı A. ,Özgener Ö., 2004. A review on the development of wind energy in Turkey. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 8:257–276.
- Gökalp S., 2014. Veri Madenciliğinde Çeşitli Kümeleme Algoritmalarının Farklı Platformlarda Karşılaştırmalı Analizi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- İlker M. , Karakuş C., Peker F., 2014. Antakya Bölgesi Rüzgar Karakteristiğinin İncelenmesi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 5(1):13-22.
- İlkılıç C., 2003. Rüzgâr Enerjisi ve Kullanımı. Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları 4.
- Jamdade S. G., Jamdade P. G., 2012. Analysis of Wind Speed Data for Four Locations in Ireland based on Weibull Distribution’s Linear Regression Model. International Journal of Renewable Energy Research, 2 (3).
- Kalaiyarasi P., Kalaiselvi A., 2018. Data Mining Techniques Using to Weather Prediction. International Journal of Computer Science Trends and Technology, Volume 6, Issue 3.
- Kaplan Y. A., 2016. Rayleigh ve Weibull Dağılımları Kullanılarak Osmaniye Bölgesinde Rüzgar Enerjisinin Değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 20(1):62-71.

- Kavak Akpınar E., Akpınar S., 2005. A statistical analysis of wind speed data used in installation of wind energy conversion systems. *Energy Conversion and Management*, 46(4).
- Kavun E., 2018. Türkiye’de Rüzgâr Enerji Potansiyelinin Belirlenmesine Yönelik Yapılan Çalışmaların İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Osmaniye.
- Keleş D., Ayhan V., Parlak A., Cesur İ., Boru B ve Koç T., 2013. Bir rüzgar türbini tasarımı ve geliştirilmesi. *SAÜ. Fen Bil. Der.* 17 (2):207-216.
- Köse B., Güneşer T., Yazıcı M., Yılmaz H., 2015. Eskipazar Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Rayleigh, Lognormal ve Weibull Dağılım Modeli Kullanarak Tahminlenmesi. *ISITES2015 Valencia – Spain*.
- Kudyba S., Hoptroff R., 2001. *Data Mining and Business Intelligence: A Guide to productivity*. Idea Group Publishing.
- Kurban M., Kantar Y. M., Hocaoglu F.O., 2007a. Weibull Dağılımı Kullanılarak Rüzgar Hız ve Güç Yoğunluklarının İstatistiksel Analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7 (2).
- _____, 2007b. Lojistik Regresyon ve Perseptron Modelleri Kullanılarak Rüzgar-Güneş Enerji Santral Modelinin Güç Üretim Durumunun Analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1):91-95.
- Łatka M., Nowak M., 2017. Statistical analysis of the amount of the power generated by the wind power plant, according to weather conditions, *Przegląd Elektrotechniczny*, 93(10).
- Liu F-J., Ko H-H., Kuo S-S., Liang Y-H. ve Chang T-P., 2014. Study on Wind Characteristics Using Bimodal Mixture Weibull Distribution for Three Wind Sites in Taiwan. *Journal of Applied Science and Engineering*, 17 (3), 283-292.

- Minaz M. R., Gün A., Kurban M., İmal N., 2013. Bilecik İlının Farklı Yöntemler Kullanılarak Basınç, Sıcaklık ve Rüzgâr Hızı Tahmini. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, 3.
- Ouarda T. B.M.J, Charron C., 2018. On the mixture of wind speed distribution in a Nordic region, Energy Conversion and Management, 174, 33-44.
- Özgür M. A., 2006. Kütahya Rüzgâr Karakteristiğinin İstatistiksel Analiz ve Elektrik Üretimine Uygulanabilirliği, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Özkan R., 2015. Muğla Bölgesi'nin Rüzgâr Potansiyelinin Belirlenmesi ve Rüzgâr Enerjisi Analizinin Yapılması, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla.
- Qin X., Zhang J-S., Yan X-D., 2012. Two Improved Mixture Weibull Models for the Analysis of Wind Speed Data. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 51.
- Rasool S. N., Koca A., Qader K. H., 2017. The Estimation of Wind Velocity Using Data Mining Technique. The 1stInternational Conference on Information Technology.
- Sağiroğlu Ş. ve Sinanç D., 2013. Big Data: A Review, International Conference on Digital Object Identifier.
- Sarıkaya U., 2010. Niğde İli Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Sarkar A., Gugliani G., Deep S., 2017. Weibull Model for Wind Speed Data Analysis of Different Locations in India. KSCE Journal of Civil Engineering.
- Scheffe, H., 1959. The analysis of variance, New York: John Wiley press.
- Shukla P., 2017. Big Data Analysis is used in Renewable Energy Power Generation, International Journal of Computer Applications, 174(2).

- Servi T., 2009. Çok Değişkenli Karma Dağılım Modeline Dayalı Kümeleme Analizi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Süzek F., 2007. Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Şan B., 2018. Türkiye'nin Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi Ve Yerel Yönetimlerce Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Uzmanlık Tezi, İller Bankası Anonim Şirketi.
- TÜBA- Rüzgâr Enerjisi Teknolojileri Raporu, 2019. Ankara.
- Türkan Y. S., Aydoğmuş H. Y., Erdal H., 2016. The Prediction of the Wind Speed at Different Heights by Machine Learning Methods. An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications, 6(2):179-187.
- Uçar A., Balo F., Evaluation of wind energy potential and electricity generation at six locations in Turkey, Applied Energy, 86, 1864–1872, 2009.
- Wais P., A review of Weibull functions in wind sector., Renewable & Sustainable Energy Reviews, 70, 1099-1107,
- Wooten R.D., 2011. Statistical Analysis of the Relationship Between Wind Speed, Pressure and Temperature. Journal of Applied Sciences, 11 (15).
- Yılmaz V., Doğan M., Tepeyurt N., 2013. Rüzgâr Enerji Potansiyellerinin Belirlenmesinde İstatistiksel Yaklaşım: Seçilmiş İllerde Uygulama Çalışması. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 3:174-188.
- Youm I. , Sarr J., Sall M., Ndiaye A. ve Kane M.M., 2005. Analysis of wind data and wind energy potential along the northern coast of Senegal. Rev. Energ. Ren., 8:95 – 108.
- Zakir J., Seymour T., Berg K., 2015. Big Data Analytics. Issues in Information Systems, Conference Paper, 16(II):81-90.

<https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>
www.tureb.com.tr/files/turek/2014/sunumlar/mustafacaliskan.pdf
<http://www.mesuttaskin.com/ruzgar-enerjisinden-elektrik-uretimi-289/>
<https://www.enerjiportali.com/yenilenebilir-enerji-kaynaklari-nelerdir/>
http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar-ruzgar_enerjisi.aspx



ÖZGEÇMİŞ

Adana’da doğdu. Lisans ve yüksek lisans eğitimlerini Çukurova Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nde tamamladı. Doktora eğitimine 2014 yılında Çukurova Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nde başlamıştır.







EKLER



EK-1

İşletme'deki RES'ler

Sıra No	Kurulu Güç Kapasitesi (MWm)	Şehir	Türbin Üreticisi	Türbin Gücü
1	4,60	Balıkesir	ENERCON	2 MW
2	10,00	İzmir	SIEMENS GAMESA	2 MW
3	60,80	Kırklareli	SIEMENS GAMESA	3,2 MW
4	21,00	Muğla	SUZLON	2,5 MW
5	21,60	Aydın	NORDEX	2,4 MW
6	31,50	Aydın	SUZLON	2,1 MW
7	23,00	Konya	SIEMENS GAMESA	2,625 MW
8	55,00	Manisa	NORDEX	2,5 MW
9	72,00	Kayseri	VESTAS	2 MW
10	10,20	Kayseri	GOLDWIN	3,4 MW
11	14,70	Tokat	SIEMENS GAMESA	2,1 MW
12	16,00	İzmir	ENERCON	2 MW
13	7,20	İzmir	VESTAS	0,6 MW
14	19,20	İzmir	NORDEX	2,4 MW
15	30,00	Balıkesir	NORDEX	3,6 MW + 3MW
16	82,00	Amasya	NORDEX	2,5 MW / 3 MW
17	46,20	Amasya	VESTAS	3,3 MW
18	11,70	Malatya	NORDEX	3,9 MW
19	62,70	Konya	SIEMENS GAMESA	3,3 MW
20	10,80	Amasya	VESTAS	3,6 MW
21	18,00	Hatay	SIEMENS GAMESA	2 MW
22	28,20	Balıkesir	VESTAS	3 MW / 3,3 MW
23	48,00	İzmir	NORDEX	2,4 MW
24	79,20	Konya	SIEMENS	3,3 MW

			GAMESA	
25	61,40	Tekirdağ	SIEMENS GAMESA	2,3 MW / 3,6 MW
26	143,00	Balıkesir	GE	2,75 MW
27	30,00	Balıkesir	GE	1,5 MW
28	89,70	Balıkesir	VESTAS	3 MW / 3,3 MW
29	21,50	Balıkesir	NORDEX	2,5 MW
30	41,80	Balıkesir	NORDEX	2,5 MW / 2,4 MW
31	12,45	Tekirdağ	GE	2,85 MW / 3,2 MW
32	48,00	Hatay	VESTAS	3 MW
33	32,00	Tokat	SIEMENS GAMESA	3,2 MW
34	120,00	İzmir	NORDEX	2,5 MW / 3 MW
35	25,20	İzmir	NORDEX	3,6 MW
36	69,95	İzmir	GE	3,2 MW / 2,75 MW
37	60,80	Çanakkale	GE	3,2 MW
38	10,20	Çanakkale	ENERCON	0,6 MW
39	19,70	İzmir	NORDEX	2 MW
40	14,90	Çanakkale	ENERCON	3,4 MW
41	57,60	Kahramanmaraş	NORDEX	2 MW / 3 MW
42	42,30	Çanakkale	ENERCON	2,5 MW
43	20,80	Çanakkale	ENERCON	2,1 MW
44	47,50	İstanbul	NORDEX	2,5 MW
45	93,00	İstanbul	VESTAS	3 MW
46	27,75	Balıkesir	ENERCON	1,6 MW
47	12,00	İstanbul	NORDEX	2 MW
48	57,00	Hatay	ACCIONA	1,7 MW / 2,85 MW
49	10,70	İzmir	ENERCON	3,45 MW
50	18,00	İzmir	NORDEX	3,3 MW
51	39,00	Mersin	SIEMENS GAMESA	0,9 MW / 2 MW
52	41,60	Muğla	ENERCON	2 MW

53	12,50	Muğla	SIEMENS GAMESA	3,2 MW
54	23,30	Osmaniye	GE	2 MW
55	40,00	İzmir	NORDEX	3 MW
56	28,80	Kahramanmaraş	NORDEX	2,85 MW
57	115,00	Afyon	SIEMENS GAMESA	3,4 MW
58	85,25	Afyon	GE	2,1 MW
59	51,50	İzmir	GE	2,5 MW
60	39,00	Afyon	NORDEX	2,5 MW
61	77,40	Balıkesir	NORDEX	3,3 MW
62	9,20	İzmir	ENERCON	2 MW / 2,35 MW
63	30,00	Mersin	VESTAS	3,6 MW
64	9,90	Mersin	VESTAS	2,4 MW
65	21,60	Edirne	NORDEX	0,9 MW / 2 MW / 2,35 MW
66	32,40	Yalova	NORDEX	3,6 MW
67	80,00	Muğla	SIEMENS GAMESA	2 MW
68	33,00	İzmir	VESTAS	2,3 MW
69	6,90	İstanbul	VESTAS	0,8 MW / 0,9 MW / 2,3 MW
70	30,00	Manisa	NORDEX	2,5 MW
71	12,00	Muğla	NORDEX	3 MW / 3,45 MW
72	12,00	İzmir	ENERCON	2,5 MW
73	168,00	Kırşehir	ENERCON	3 MW
74	135,00	Osmaniye	GE	2,1 MW
75	10,20	Kocaeli	GE	3,3 MW
76	35,75	Manisa	GE	1,6 MW
77	20,75	Balıkesir	GE	2 MW
78	9,60	Bursa	NORDEX	3 MW
79	52,80	Bursa	VESTAS	0,8 MW
80	50,00	Osmaniye	NORDEX	3 MW
81	9,90	Mersin	VESTAS	2,4 MW
82	29,20	Afyon	VESTAS	3,2 MW

83	55,70	Çanakkale	ENERCON	2 MW / 0,9 MW / 2,35 MW
84	10,20	Balıkesir	GE	2 / 2,35 MW
85	78,00	Sivas	VESTAS	3,45 MW
86	50,00	Sivas	SIEMENS GAMESA	2,75 MW
87	64,00	Edirne	SIEMENS GAMESA	2 MW / 2,35 MW
88	28,00	Balıkesir	VESTAS	2 MW
89	3,00	İzmir	SENVION	3,4 MW
90	156,00	İzmir	ENERCON	2 MW / 3 MW
91	30,00	Bursa	NORDEX	2,5 MW
92	12,60	Sivas	SIEMENS GAMESA	2,1 MW
93	10,00	İzmir	GE	2,5 MW
94	18,00	İzmir	NORDEX	3 MW
95	19,20	Kırklareli	GE	1,6 MW
96	12,00	Manisa	VESTAS	2 MW
97	30,15	Muğla	GE	1,7 MW / 2,85 MW
98	65,55	Gaziantep	VESTAS	3,45 MW
99	52,80	Balıkesir	VESTAS	3,3 MW
100	29,90	Balıkesir	ENERCON	0,9 MW / 2 MW
101	24,00	İstanbul	ENERCON	
102	54,00	İzmir	SIEMENS GAMESA	3,2 MW
103	28,00	Kırklareli	SIEMENS GAMESA	2 MW
104	45,00	Tekirdağ	NORDEX	3 MW
105	45,60	Manisa	GE	2,85 MW
106	30,60	Çanakkale	SIEMENS GAMESA	3,4 MW
107	14,70	Sivas	SIEMENS GAMESA	2,1 MW
108	25,00	İzmir	NORDEX	2,5 MW

109	25,20	İzmir	SUZLON	2,5 MW
110	52,80	Çanakkale	VESTAS	3,3 MW
111	34,55	İzmir	ENERCON	2 MW / 2,35 MW
112	14,40	Mersin	NORDEX	3,6 MW
113	45,60	Kayseri	NORDEX	2,4 MW
114	50,30	Manisa	ENERCON	0,9 MW / 2 MW / 2,35 MW
115	36,00	Bursa	NORDEX	3,6 MW
116	20,00	Aydın	SIEMENS GAMESA	2 MW
117	29,90	Çanakkale	SIEMENS GAMESA	2,3 MW
118	56,20	İzmir	ENERCON	0,8 MW / 0,9 MW / 2,3 MW
119	30,00	İzmir	NORDEX	2,5 MW
120	62,70	Mersin	VESTAS	3 MW / 3,45 MW
121	40,00	Bilecik	NORDEX	2,5 MW
122	15,00	İzmir	ENERCON	3 MW
123	31,50	İzmir	SUZLON	2,1 MW
124	52,80	Mersin	VESTAS	3,3 MW
125	11,20	Balıkesir	GE	1,6 MW
126	18,00	Aydın	SIEMENS GAMESA	2 MW
127	42,00	İzmir	NORDEX	3 MW
128	0,80	Balıkesir	ENERCON	0,8 MW
129	51,00	İzmir	ALSTOM	3 MW
130	4,80	İzmir	NORDEX	2,4 MW
131	32,00	Balıkesir	SIEMENS GAMESA	3,2 MW
132	77,10	Balıkesir	ENERCON	2 MW / 0,9 MW / 2,35 MW
133	48,50	Balıkesir	ENERCON	2 / 2,35 MW
134	3,45	İstanbul	VESTAS	3,45 MW

135	27,50	İzmir	GE	2,75 MW
136	43,90	İzmir	ENERCON	2 MW / 2,35 MW
137	6,95	Tekirdağ	ENERCON	2,3 MW / 2,35 MW
138	27,50	Çanakkale	GE	2,75 MW
139	30,00	Tekirdağ	ENERCON	2 MW / 0,8 MW
140	57,00	Osmaniye	GE	2,85 MW
141	32,50	İzmir	NORDEX	2,5 MW
142	57,20	Manisa	ENERCON	2 MW / 0,9 MW
143	63,70	Hatay	VESTAS	2 MW / 3 MW
144	21,00	İzmir	NORDEX	3 MW
145	21,00	İzmir	NORDEX	3 MW
146	36,00	Hatay	ALSTOM	3 MW
147	9,40	Çanakkale	VESTAS	2,0 MW
148	41,50	İzmir	ENERCON	2,3 MW / 2,35 MW
149	63,00	İstanbul	NORDEX	2,5 MW / 3,6 MW
150	27,50	Adıyaman	NORDEX	2,5 MW
151	264,10	Manisa	ENERCON	2 MW / 0,9 MW
152	120,00	Manisa	NORDEX	2,5 MW / 3,6 MW
153	30,00	Aydin	SIEMENS GAMESA	2,5 MW
154	49,50	Aydin	VESTAS	2 MW / 0,9 MW
155	1,20	İstanbul	ENERCON	2,5 MW / 3 MW
156	75,00	Balıkesir	NORDEX	2 MW
157	66,00	Kırklareli	VESTAS	3,3 MW
158	38,50	Çanakkale	GE	2,75 MW
159	105,00	Balıkesir	VESTAS	3 MW
160	113,40	Balıkesir	VESTAS	3 MW / 1,8 MW

161	38,10	Hatay	VESTAS	3 MW / 3,3 MW
162	27,70	Hatay	VESTAS	3 MW
163	0,85	İstanbul	VESTAS	0,85 MW
164	5,00	İstanbul	NORDEX	2,5 MW
165	50,90	İzmir	GE	1,7 MW / 3,2 MW
166	94,00	Tokat	NORDEX	2,5 MW / 3 MW
167	24,00	Aydin	VESTAS	2 MW
168	61,20	Isparta	GE	1,7 MW
169	36,40	Balıkesir	VESTAS	2 MW / 3,3 MW
170	15,00	İzmir	ENERCON	3 MW
171	18,00	İzmir	NORDEX	3 MW
172	54,00	Uşak	SINOVEL	1,5 MW
173	112,20	Çanakkale	SIEMENS GAMESA	3,4 MW
174	52,80	Kayseri	NORDEX	2,4 MW
175	82,50	Kayseri	VESTAS	3,3 MW
176	54,00	Yalova	SINOVEL	1,5 MW
177	15,00	İzmir	ENERCON	3 MW
178	21,60	Aydın	NORDEX	2,4 MW
179	60,00	İzmir	NORDEX	2,5 MW
180	25,60	Kırklareli	SIEMENS GAMESA	3,2 MW
181	50,00	İzmir	NORDEX	2,5 MW
182	12,00	Kayseri	NORDEX	2,4 MW
183	76,00	Hatay	GE	2,5 MW / 2,75 MW
TOPLAM	7.615,40			

EK-2

Marmara Bölgesi'nde Kurulabilecek Rüzgâr Enerjisi Santrali Güç Kapasiteleri

Şehir	Rüzgâr Sınıfı	Rüzgâr Gücü (w/m ²)	Rüzgâr Hızı (m/s)	Alan (km ²)	Potansiyel (mw)
Balıkesir	3	300-400	6,8 - 7,5	1,511.42	7,557.12
	4	400-500	7,5 - 8,1	850.96	4,254.80
	5	500-600	8,1 - 8,6	284.51	1,422.56
	6	600-800	8,6 - 9,5	115.23	576.16
	7	> 800	> 9,5	3.34	16.72
Bilecik	3	300-400	6,8 - 7,5	61.73	308.64
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Bursa	3	300-400	6,8 - 7,5	683.60	3,418.00
	4	400-500	7,5 - 8,1	85.22	426.08
	5	500-600	8,1 - 8,6	5.23	26.16
	6	600-800	8,6 - 9,5	2.29	11.44
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Çanakkale	3	300-400	6,8 - 7,5	863.70	4,318.48
	4	400-500	7,5 - 8,1	802.99	4,014.96
	5	500-600	8,1 - 8,6	761.09	3,805.44
	6	600-800	8,6 - 9,5	174.74	873.68
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Edirne	3	300-400	6,8 - 7,5	578.24	2,891.20
	4	400-500	7,5 - 8,1	115.78	578.88
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
İstanbul	3	300-400	6,8 - 7,5	832.91	4,164.56
	4	400-500	7,5 - 8,1	2.48	12.40
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Kırıkkale	3	300-400	6,8 - 7,5	572.66	2,863.28
	4	400-500	7,5 - 8,1	43.22	216.08
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00

	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Kocaeli	3	300-400	6,8 - 7,5	15.57	77.84
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Sakarya	3	300-400	6,8 - 7,5	0.40	2.00
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Tekirdağ	3	300-400	6,8 - 7,5	884.61	4,423.04
	4	400-500	7,5 - 8,1	40.72	203.60
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Yalova	3	300-400	6,8 - 7,5	77.36	386.80
	4	400-500	7,5 - 8,1	29.20	386.80
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.06	0.32
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
TOPLAM TEKNİK KAPASİTE				47,237.04	

EK-3

Ege Bölgesi'nde Kurulabilecek Rüzgâr Enerjisi Santrali Güç Kapasiteleri

Şehir	Rüzgâr Sınıfı	Rüzgâr Gücü (w/m ²)	Rüzgâr Hızı (m/s)	Alan (km ²)	Potansiyel (mw)
Afyon	3	300-400	6,8 - 7,5	125.71	628.56
	4	400-500	7,5 - 8,1	44.37	221.84
	5	500-600	8,1 - 8,6	1.97	9.84
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Aydın	3	300-400	6,8 - 7,5	458.46	2,292.32
	4	400-500	7,5 - 8,1	46.29	231.44
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Denizli	3	300-400	6,8 - 7,5	47.60	238.00
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.11	0.56
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
İzmir	3	300-400	6,8 - 7,5	933.09	4,665.44
	4	400-500	7,5 - 8,1	868.30	4,341.52
	5	500-600	8,1 - 8,6	317.68	1,588.40
	6	600-800	8,6 - 9,5	251.78	1,258.88
	7	> 800	> 9,5	0.02	0.08
Kütahya	3	300-400	6,8 - 7,5	38.03	190.16
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Manisa	3	300-400	6,8 - 7,5	474.35	2,371.76
	4	400-500	7,5 - 8,1	301.57	1,507.84
	5	500-600	8,1 - 8,6	193.86	969.28
	6	600-800	8,6 - 9,5	90.69	453.44
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Muğla	3	300-400	6,8 - 7,5	903.87	4,519.36

	4	400-500	7,5 - 8,1	130.19	650.96
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.13	0.64
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Uşak	3	300-400	6,8 - 7,5	1.86	9.28
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
TOPLAM TEKNİK KAPASİTE				26,149.60	

EK- 4

Akdeniz Bölgesi'nde Kurulabilecek Rüzgâr Enerjisi Santrali Güç Kapasiteleri

Şehir	Rüzgâr Sınıfı	Rüzgâr Gücü (w/m ²)	Rüzgâr Hızı (m/s)	Alan (km ²)	Potansiyel (mw)
Adana	3	300-400	6,8 - 7,5	100.46	502.32
	4	400-500	7,5 - 8,1	48.99	244.96
	5	500-600	8,1 - 8,6	18.19	90.96
	6	600-800	8,6 - 9,5	12.10	60.48
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Antalya	3	300-400	6,8 - 7,5	166.34	831.68
	4	400-500	7,5 - 8,1	59.42	297.12
	5	500-600	8,1 - 8,6	7.94	39.68
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.38	1.92
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Burdur	3	300-400	6,8 - 7,5	11.63	58.16
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Hatay	3	300-400	6,8 - 7,5	265.95	1,329.76
	4	400-500	7,5 - 8,1	261.33	1,306.64
	5	500-600	8,1 - 8,6	99.63	498.16
	6	600-800	8,6 - 9,5	48.62	243.12
	7	> 800	> 9,5	7.26	36.32
Isparta	3	300-400	6,8 - 7,5	260.48	1,302.40
	4	400-500	7,5 - 8,1	18.50	92.48
	5	500-600	8,1 - 8,6	5.65	28.24
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Mersin	3	300-400	6,8 - 7,5	340.56	1,702.80
	4	400-500	7,5 - 8,1	191.94	959.68
	5	500-600	8,1 - 8,6	138.61	693.04
	6	600-800	8,6 - 9,5	35.14	175.68
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
KMaraş	3	300-400	6,8 - 7,5	329.06	1,645.28
	4	400-500	7,5 - 8,1	81.90	409.52
	5	500-600	8,1 - 8,6	3.52	17.60

	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Osmaniye	3	300-400	6,8 - 7,5	139.47	697.36
	4	400-500	7,5 - 8,1	4.14	20.72
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00

TOPLAM TEKNİK KAPASİTE

13,286.08



EK-5

İç Anadolu Bölgesi'nde Kurulabilecek Rüzgâr Enerjisi Santrali Güç Kapasiteleri

Şehir	Rüzgâr Sınıfı	Rüzgâr Gücü (w/m²)	Rüzgâr Hızı (m/s)	Alan (km²)	Potansiyel (mw)
Ankara	3	300-400	6,8 - 7,5	0.00	0.00
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Çankırı	3	300-400	6,8 - 7,5	60.48	302.40
	4	400-500	7,5 - 8,1	2.59	12.96
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Çorum	3	300-400	6,8 - 7,5	28.54	142.72
	4	400-500	7,5 - 8,1	2.69	13.44
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Eskişehir	3	300-400	6,8 - 7,5	8.22	41.12
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Kayseri	3	300-400	6,8 - 7,5	276.69	1,383.44
	4	400-500	7,5 - 8,1	95.20	476.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	4.85	24.24
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.32	1.60
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Kırşehir	3	300-400	6,8 - 7,5	0.00	0.00
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Konya	3	300-400	6,8 - 7,5	320.98	1,604.88
	4	400-500	7,5 - 8,1	46.72	233.60
	5	500-600	8,1 - 8,6	4.32	21.60

	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Nevşehir	3	300-400	6,8 - 7,5	1.65	8.24
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Niğde	3	300-400	6,8 - 7,5	11.65	58.24
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.77	3.84
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Sivas	3	300-400	6,8 - 7,5	314.32	1,571.60
	4	400-500	7,5 - 8,1	14.18	70.88
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Yozgat	3	300-400	6,8 - 7,5	215.30	1,076.48
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Aksaray	3	300-400	6,8 - 7,5	0.00	0.00
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Karaman	3	300-400	6,8 - 7,5	153.50	767.52
	4	400-500	7,5 - 8,1	24.21	121.04
	5	500-600	8,1 - 8,6	8.86	44.32
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.14	0.72
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Kırıkkale	3	300-400	6,8 - 7,5	0.00	0.00
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
TOPLAM TEKNİK KAPASİTE				7,980.88	

EK-6

Karadeniz Bölgesi'nde Kurulabilecek Rüzgâr Enerjisi Santrali Güç Kapasiteleri

Şehir	Rüzgâr Sınıfı	Rüzgâr Gücü (w/m²)	Rüzgâr Hızı (m/s)	Alan (km²)	Potansiyel (mw)
Amasya	3	300-400	6,8 - 7,5	220.50	1,102.48
	4	400-500	7,5 - 8,1	19.41	97.04
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Artvin	3	300-400	6,8 - 7,5	1.94	9.68
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.02	0.08
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Bolu	3	300-400	6,8 - 7,5	23.42	117.12
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Giresun	3	300-400	6,8 - 7,5	28.83	144.16
	4	400-500	7,5 - 8,1	3.25	16.24
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.02	0.08
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Gümüşhane	3	300-400	6,8 - 7,5	0.21	1.04
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Kastamonu	3	300-400	6,8 - 7,5	79.90	399.52
	4	400-500	7,5 - 8,1	18.56	92.80
	5	500-600	8,1 - 8,6	4.51	22.56
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Ordu	3	300-400	6,8 - 7,5	237.87	1,189.36
	4	400-500	7,5 - 8,1	185.44	927.20
	5	500-600	8,1 - 8,6	31.84	159.20

	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Samsun	3	300-400	6,8 - 7,5	899.98	4,499.92
	4	400-500	7,5 - 8,1	144.51	722.56
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Sinop	3	300-400	6,8 - 7,5	289.63	1,448.16
	4	400-500	7,5 - 8,1	8.59	42.96
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Tokat	3	300-400	6,8 - 7,5	541.71	2,708.56
	4	400-500	7,5 - 8,1	58.74	293.68
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.05	0.24
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Trabzon	3	300-400	6,8 - 7,5	3.25	16.24
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.13	0.64
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Zonguldak	3	300-400	6,8 - 7,5	0.00	0.00
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Bayburt	3	300-400	6,8 - 7,5	0.00	0.00
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Bartın	3	300-400	6,8 - 7,5	12.32	61.60
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Karabük	3	300-400	6,8 - 7,5	14.67	73.36
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00

	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Düzce	3	300-400	6,8 - 7,5	0.00	0.00
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00

TOPLAM TEKNİK KAPASİTE

14,146.48



EK – 7

Doğu Anadolu Bölgesi'nde Kurulabilecek Rüzgâr Enerjisi Santrali Güç Kapasiteleri

Şehir	Rüzgâr Sınıfı	Rüzgâr Gücü (w/m ²)	Rüzgâr Hızı (m/s)	Alan (km ²)	Potansiyel (mw)
Ağrı	3	300-400	6,8 - 7,5	0.05	0.24
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Bingöl	3	300-400	6,8 - 7,5	12.29	61.44
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Bitlis	3	300-400	6,8 - 7,5	4.42	22.08
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Elazığ	3	300-400	6,8 - 7,5	146.30	731.52
	4	400-500	7,5 - 8,1	58.53	292.64
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.85	4.24
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Erzincan	3	300-400	6,8 - 7,5	62.90	314.48
	4	400-500	7,5 - 8,1	11.71	58.56
	5	500-600	8,1 - 8,6	1.94	9.68
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Erzurum	3	300-400	6,8 - 7,5	3.55	17.76

	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Hakkâri	3	300-400	6,8 - 7,5	1.79	8.96
	4	400-500	7,5 - 8,1	2.75	13.76
	5	500-600	8,1 - 8,6	1.30	6.48
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.05	0.24
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Kars	3	300-400	6,8 - 7,5	0.67	3.36
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Malatya	3	300-400	6,8 - 7,5	253.70	1,268.48
	4	400-500	7,5 - 8,1	24.10	120.48
	5	500-600	8,1 - 8,6	1.22	6.08
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Muş	3	300-400	6,8 - 7,5	0.00	0.00
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Tunceli	3	300-400	6,8 - 7,5	2.62	13.12
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Van	3	300-400	6,8 - 7,5	3.38	16.88
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.50	2.48
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00

	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Ardahan	3	300-400	6,8 - 7,5	1.79	8.96
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.05	0.24
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
	3	300-400	6,8 - 7,5	0.35	1.76
Iğdır	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
	3	300-400	6,8 - 7,5	0.35	1.76

TOPLAM TEKNİK KAPASİTE

2,983.92

EK – 8

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Kurulabilecek Rüzgâr Enerjisi Santrali Güç Kapasiteleri

Şehir	Rüzgâr Sınıfı	Rüzgâr Gücü (w/m²)	Rüzgâr Hızı (m/s)	Alan (km²)	Potansiyel (mw)
Adıyaman	3	300-400	6,8 - 7,5	176.32	881.60
	4	400-500	7,5 - 8,1	50.96	254.80
	5	500-600	8,1 - 8,6	12.10	60.48
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Diyarbakır	3	300-400	6,8 - 7,5	110.03	550.16
	4	400-500	7,5 - 8,1	16.98	84.88
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Gaziantep	3	300-400	6,8 - 7,5	46.32	231.60
	4	400-500	7,5 - 8,1	7.06	35.28
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Mardin	3	300-400	6,8 - 7,5	101.78	508.88
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Siirt	3	300-400	6,8 - 7,5	101.78	508.88
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Şanlıurfa	3	300-400	6,8 - 7,5	0.05	0.24
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Batman	3	300-400	6,8 - 7,5	1.58	7.92

	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Şırnak	3	300-400	6,8 - 7,5	0.00	0.00
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
Kilis	3	300-400	6,8 - 7,5	0.00	0.00
	4	400-500	7,5 - 8,1	0.00	0.00
	5	500-600	8,1 - 8,6	0.00	0.00
	6	600-800	8,6 - 9,5	0.00	0.00
	7	> 800	> 9,5	0.00	0.00
TOPLAM TEKNİK KAPASİTE					3,124.72

EK-9

Ay Bazında Sınıflara göre Ayrıntılı Doğruluk Oranları

Sınıflara göre Ayrıntılı Doğruluk Oranları									
	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F- Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Sınıf
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	2
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	3
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	4
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	5
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	6
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	7
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	8
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	9
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	10
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	11
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	12
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	13
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	14
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	15
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	16
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	17
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	18
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	19
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	20
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	21
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	22
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	23
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	24
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	25
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	26
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	27
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	28
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	29
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	30
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	31
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	32
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	33
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	34
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	35
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	36
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	37
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	38
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	39
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	40
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	41
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	42
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	43
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	44
	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	45

[illegible]