



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**RÜZGAR TÜRBİNLERİ KULLANILARAK
ÜRETİLEN ELEKTRİK ENERJİSİ
MİKTARININ ZAMAN SERİLERİ İLE
ANALİZİ VE UYGULAMASI**

Serkan CAN

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

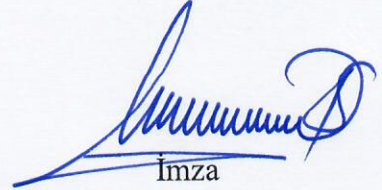
NİSAN 2020

ETİK BEYAN

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

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

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



İmza

Serkan CAN

30/04/2020



**RÜZGAR TÜRBİNLERİ KULLANILARAK ÜRETİLEN ELEKTRİK
ENERJİSİ MİKTARININ ZAMAN SERİLERİ İLE ANALİZİ VE
UYGULAMASI**

Serkan CAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

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

NİSAN 2020

RÜZGAR TÜRBİNLERİ KULLANILARAK ÜRETİLEN ELEKTRİK ENERJİSİ
MİKTARININ ZAMAN SERİLERİ İLE ANALİZİ VE UYGULAMASI
(Yüksek Lisans Tezi)

Serkan CAN

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Nisan 2020

ÖZET

Bu çalışmada Doğu Akdeniz Bölgesinde bulunan Belen Atik Yaylasında kurulu olan 9 adet birbiri ile eş niteliklere sahip rüzgar türbinlerinden elde edilecek elektrik enerji miktarı hakkında daha sonraki dönemler için zaman serileri kullanılarak tahminleme yapılması amaçlanmıştır. Ayrıca rüzgar türbinlerinden elde edilen enerji miktarının rüzgar hızına, hava sıcaklığına ve türbinin aktif çalışma saatine bağlı olma durumları çoklu doğrusal regresyon analizi ile araştırılmış ve enerji üretiminin bağlı olduğu parametreler incelenmiştir. Analizlerin gerçekleştirilme sürecinde IBM SPSS 20 ve Eviews10 paket programları kullanılmıştır. Çalışmada rüzgar türbinleri ile üretilen elektrik enerjisinin geçmiş dönemlere ait değerlerinin Ljung-Box Testine göre durağan olmadığı fakat birinci farkından sonra durağanlaştığı tespit edilmiştir. Ayrıca araştırmada yer alan değişkenlerin ADF birim kök testine göre düzey değerlerinde durağan olduğu, P-P birim kök testine göre birinci farklarında durağan olduğu belirlenmiştir. Çalışmada Ljung-Box Testi sonucunda seçilen tahmin modelinin çıktısına göre 2020 yılındaki aylara ait enerji üretim tahminleri önceki aylara göre kararlı kaldığı görülmektedir. Ayrıca hava sıcaklığının türbinlerin ürettiği enerji miktarında doğrudan anlamlı bir etkisinin olmadığı, buna karşılık rüzgar hızını ve türbinlerin çalışma sürelerinin doğrudan anlamlı etkilerinin olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Rüzgar, rüzgar türbini, yenilenebilir enerji, zaman serileri

Sayfa Adedi : 85

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Melikşah Özaktürk

TIME SERIES ANALYSIS AND ITS APPLICATION OF ELECTRICAL ENERGY
QUANTITY GENERATED BY USING WIND TURBINES

(M. Sc. Thesis)

Serkan CAN

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

April 2020

ABSTRACT

In this study, it is aimed to make an estimation about the amount of energy to be obtained from 9 wind turbines with equal characteristics installed in Atik Belen Plateau in Eastern Mediterranean Region by using time series for later periods. In addition, the amount of energy depends on wind speed, air temperature and active operating hours of the turbine obtained from wind turbines was investigated with the help of multiple linear regression analysis and the parameters depending on the energy production were examined. The analyzes were performed with IBM SPSS 20 and Eviews10 package programs. In the study, it was found that the energy produced by wind turbines was not stable but it was found to be stagnant according to the Ljung-Box Test of past values. In addition, it was found that the variables in the research were stable at level values according to the ADF unit root test and that the first differences were stable according to the P-P unit root test test. In the study, according to the output of forecasting model selected as a result of Ljung-Box Test, it is seen that the energy production forecasts for the months of 2020 are stable compared to the previous months. In addition, it was determined that weather temperature had no direct significant effect on the amount of energy generated by the turbines, whereas wind speed and operating time of the turbines had direct significant effects.

Key Words : Wind, wind turbine, renewable energy, time series

Page Number : 85

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Melikşah ÖZAKTÜRK

TEŞEKKÜR

Bu tezin oluşturulmasında ve hazırlanmasında desteklerini esirgemeyen saygıdeğer danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Melikşah ÖZAKTÜRK'e teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmamın hazırlanmasında desteklerini esirgemeyen Sayın Dr. Öğr. Üyesi Murat FURAT'a da ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca ihtiyacım olan verilere kolayca erişmemi sağlayan ve desteklerini bir an olsun esirgemeyen Gürış İnşaat ve Mühendislik A.Ş. ile Mogan Enerji ve Yatırım Holding'e ve değerli yöneticilerimize teşekkürlerimi bildiririm.

Çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen babam Ali CAN, annem Nesrin CAN, kardeşim Süleyman Anıl CAN ve ablam Fulya CAN KAYAR'a, bana tezimi yazmama fırsat veren yedi ay önce doğmuş oğlum Yaman CAN'a ve her anımda beni destekleyen eşim Sibel CAN'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiii
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ	1
2. YENİLENEBİLİR ENERJİ VE RÜZGAR	2
2.1. Enerji ve Enerji Kaynakları.....	2
2.1.1. Yenilebilir olmayan enerji kaynakları.....	2
2.1.2. Yenilenebilir enerji kaynakları.....	3
2.2. Rüzgar	10
2.2.1. Rüzgarın oluşumu	10
2.2.2. Rüzgar hızı ve değişim şartları.....	10
2.2.3. Rüzgar potansiyelinin ölçümü	10
2.2.4. Rüzgar türleri	11
2.3. Rüzgar Enerjisi.....	14
2.4. Rüzgar Enerji Potansiyelinin Belirlenmesi	16
2.4.1. Rüzgar enerjisinden elde edilen enerjiyi etkileyen faktörler	17
2.5. Rüzgar Enerjisi İhtiyacı	21
2.5.1. Küresel ölçekte rüzgar enerjisi ihtiyacı ve mevcut durum.....	21
2.5.2. Türkiye’de rüzgar enerjisi ihtiyacı ve mevcut durum.....	23

	Sayfa
3. RÜZGAR TÜRBİNLERİ	26
3.1. Rüzgar Türbinleri Nedir?	26
3.2. Rüzgar Türbinlerinin Kullanım Amaçları	26
3.3. Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması	27
3.3.1. Eksen tiplerine göre rüzgar türbinleri	28
3.3.2. Ürettiği güç potansiyeline göre rüzgar türbinleri	30
3.3.3. Şanzıman tiplerine göre rüzgar türbinleri	30
3.3.4. Şebeke bağlantı tiplerine göre rüzgar türbinleri	32
3.3.5. Kurulduğu konuma göre rüzgar türbinleri	33
3.4. Rüzgar Türbinlerinin Bileşenleri	34
3.4.1. Türbin gövdesi	34
3.4.2. Türbin rotoru ve kanatları	35
3.4.3. Hub	38
3.4.4. Şaftlar	38
3.4.5. Dişli kutusu (şanzıman)	39
3.4.6. Frenleme sistemi	39
3.4.7. Jeneratör sistemi	40
3.4.8. Kontrol sistemi	40
3.4.9. Hidrolik ve pnömatik parçalar	40
3.4.10. Soğutma	41
3.4.11. Türbin kulesi	41
3.4.12. Anemometre sistemi	42
3.5. Rüzgar Türbinlerinin Çalışma Verimini Etkileyen Faktörler	42
3.5.1. Rüzgarın özelliklerinden (rüzgar tipi, hızı ve yönü) kaynaklı etkiler	42

	Sayfa
3.5.2. Duruşlar.....	44
3.6. Rüzgar Türbinleri Kurulum Bölgelerinin Seçimi	46
4. ZAMAN SERİLERİ	48
4.1. Zaman Serileri Analizi ve Gelecek İle İlgili Tahmin Yürütme	48
4.1.1. Trend	49
4.1.2. Konjonktür	49
4.1.3. Mevsimsellik.....	49
4.1.4. Arizi bileşen	49
4.2. Zaman Serilerinde Durağanlık	50
4.3. Durağan Olmama ve Birim Kök Testleri.....	50
4.3.1. Genişletilmiş dickey-fuller testi.....	50
4.3.2. Phillips- perron testi	51
4.4. Box Jenkins Metodolojisi.....	52
4.4.1. Box jenkins modelleri	52
5. RÜZGAR ENERJİSİ ÜRETİMİNİN ZAMAN SERİSİ İLE ANALİZİ	57
5.1. Araştırmanın Amacı ve Kapsamı	57
5.2. Verilerin Elde Edilmesi ve Araştırma Yöntemi	57
5.3. Araştırmada Yer Alan Değişkenlerin Durağanlığının Araştırılması.....	63
5.3.1. Otokorelasyon fonksiyonu ile durağanlığın araştırılması	63
5.3.2. Araştırmada yer alan değişkenlerin birim kök testleri İle.....	68
durağanlığının sağlanması.....	68
5.3.3. Box jenkins yöntemi kullanılarak zaman serisi modelinin yapılması.....	70
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	74
6.1. Sonuç.....	74
6.2. Öneriler	75

	Sayfa
KAYNAKLAR	76
ÖZGEÇMİŞ	86



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Rüzgâr yönleri.....	13
Şekil 2.2. Güneş ve rüzgârın elektrik üretimindeki payı.....	15
Şekil 2.3. Bir engel etrafında rüzgar akışı.....	19
Şekil 2.4. Tepe etkisi örneği.....	20
Şekil 2.5. Dünya’da kurulu rüzgar enerjisi kapasitesinin yıllar bazında değişimi.....	21
Şekil 2.6. Dünya’da rüzgar kurulu gücünün yıllar içerisindeki değişimi	22
Şekil 2.7. 2018 yılı verilerine göre rüzgar enerjisi üretim kapasitesi.....	
bakımından ilk 10 ülke.....	23
Şekil 3.1. Yatay eksenli rüzgar türbinleri	28
Şekil 3.2. Dikey eksenli rüzgâr türbinleri	29
Şekil 3.3. Eğik eksenli rüzgar türbinleri	30
Şekil 3.4. Türbin parçaları genel görünüş	35
Şekil 3.5. Rotor ve kanatlar.....	35
Şekil 3.6. Modern bir rotor göbeğinin iç yapısı	37
Şekil 3.7. Doğrudan sürücülü sistem	38
Şekil 3.8. Hub.....	38
Şekil 3.9. Rüzgar türbini ana parçaları.....	39
Şekil 3.10. Soğutma sistemi.....	41
Şekil 3.11. Türbin kulesi ve montajı	42
Şekil 3.12. Rotor çaplarına göre ideal rüzgar türbini yerleşimi	43
Şekil 3.13. Rüzgar hızlarına göre rüzgar türbininin enerji üretimi	44

Şekil	Sayfa
Şekil 3.14. Rüzgar türbinlerinin engellere karşı konumlandırılması	47
Şekil 5.1. Bölgedeki aylık ortalama rüzgar hızı.....	60
Şekil 5.2. Bölgedeki aylık ortalama sıcaklık.....	61
Şekil 5.3. Aylık toplam elektrik üretim miktarı	62
Şekil 5.4. Aylık toplam türbin aktivasyonu	63
Şekil 5.5. Enerji üretim miktarı için ACF grafiği	65
Şekil 5.6. Enerji üretimi miktarı 1.farkı için ACF grafiği.....	67

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Kurulu güneş enerjisi santralleri kapasitesine göre.....	
en güçlü 5 ülke	5
Çizelge 2.2. Kurulu hidrolik enerjisi santralleri kapasitesine göre.....	
en güçlü 5 ülke	9
Çizelge 2.3. Rüzgarların sürekliliklerine göre sınıflandırılması.....	12
Çizelge 2.4. Rüzgar hızlarının sınıflandırılması.....	13
Çizelge 2.5. Türkiye’de rüzgâr enerji potansiyelinin bölgelere dağılımları	25
Çizelge 5.1. Araştırma değişkenlerine ait değerler	58
Çizelge 5.2. Üretim miktarı serisi otokorelasyonu	66
Çizelge 5.3. Üretim miktarı serisi birinci farkının otokorelasyonu	68
Çizelge 5.4. Çalışmadaki değişkenlere ait ADF testi sonuçları	69
Çizelge 5.5. Çalışmadaki değişkenlere ait PP testi sonuçları	69
Çizelge 5.6. Rüzgar enerjisi üretimi MAPE, RMSE değerleri	71
Çizelge 5.7. Rüzgar enerji üretim tahmin tablosu.....	72
Çizelge 5.8. Rüzgar türbininden elde edilen enerji miktarına etki eden.....	
faktörlere ait çoklu doğrusal regresyon analizi sonuçları	73

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 2.1. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA).....	6
Harita 2.2. Türkiye rüzgâr atlası	24



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklamalar
λ :	noktasal hız
$^{\circ}\text{C}$:	Santigrad derece
CO:	Karbonmonoksit
CO₂:	Karbondioksit
dB:	desibel
d/dk:	devir / dakika
ft:	feet
J:	Joule
g/mol:	gram / mol
GTon:	Gigaton
GW:	gigawatt
kg:	kilogram
km:	kilometre
kWh :	Kilowattsaat
kWh / m²:	Kilowattsaat / metrekare
m:	metre
m/s :	metre / saniye
m²:	metrekare
MW:	Megawatt
P:	Pascal
SO₂:	Sülfüroksit
T:	Sıcaklık
TW:	Terawatt
TWh:	Terawattsaat
W/m² :	Watt / metrekare
V:	hacim

Kısaltmalar	Açıklamalar
ABD:	Amerika Birleşik Devletleri
AC:	Alternatif Akım
ACF :	Autocorrelation Function
ADF :	Augmented Dickey Fuller
AR :	Autoregressive
ARIMA :	Autoregressive Integrated Moving Average
ARMA :	Autoregressive Moving Average
DC:	Doğru Akım
DEKTMK:	Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi
DMİ:	Devlet Meteoroloji İşleri
DF :	Dickey Fuller
EİE :	Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
ETKB:	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EİGM:	Enerji İşleri Genel Müdürlüğü
FMEA:	Failure Mode and Effect Analysis
GEPA:	Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
CFRP:	Carbon Fibre Reinforced Plasti
GRP:	Glass reinforced plastic
KF:	Kapasite Faktörü
MAPE :	Mean Absolute Percentage Error
MGM:	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
PACF :	Partial Autocorrelation Function
PP :	Phillips Perron
RMSE :	Root Mean Square Error
TÜBİTAK:	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
WMO:	Dünya Meteoroloji Örgütü
yy.:	Yüzyıl

1. GİRİŞ

Yaşamın devam ettirilebilmesi için yegâne ihtiyaçlardan birisi enerjidir. Birçok farklı türe sahip olan enerjinin çeşitlerini saymak gerekirse kısaca mekanik, kimyasal ya da elektrik enerjisi şeklinde sıralanabilir. Başta elektrik enerjisi olmak üzere kullanılan tüm enerji türleri büyük bir öneme sahiptir. Öyle ki insanoğlu farkında dahi olmadan günün her saatinde elektrik enerjisini kullanmaktadır. Hayatın devamlılığı açısından dünya üzerindeki enerji kaynaklarının sürekli olarak kullanılması elzem hale gelmiştir. Ancak yeryüzünde başta fosil yakıtlar olmak üzere tüm yenilenebilir olmayan enerji kaynakları rezervlerinin ciddi anlamda azalmasıyla birlikte yeni arayışlara girilmiştir.

Özellikle enerji tüketiminin artması ile birlikte başta büyük şirketler ve kuruluşlar olmak üzere birçok platformda yeni enerji kaynakları arayışları başlamıştır. Bu aşamada özellikle dünya var oldukça asla tükenmeyecek olan enerji kaynakları keşfedilmiştir. Bu tip enerji kaynaklarına kısaca yenilenebilir enerji kaynakları adı verilmiştir. Fosil yakıtların tükenmeye yüz tutması ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının kıymeti insanoğlu tarafından daha iyi anlaşılmış ve bu enerji tipinden daha fazla istifade edilmeye başlanmıştır. Güneş, rüzgar, jeotermal gibi enerji kaynaklarının kullanımının artması ile birlikte, bunlardan en verimli olan enerji kaynaklarından birisi olan rüzgar, özellikle devletlerin ve uluslar-arası kuruluşların destek vermesiyle birlikte oldukça popüler hale gelmiştir.

Rüzgardan elektrik enerjisi elde etmenin en kolay ve verimli yollarından birisi rüzgar türbinleridir. Bu metot ile yeryüzü üzerindeki yeterli rüzgar alan bölgelere kurulacak santraller ile hem verimli, hem sonu olmayan hem de doğa dostu enerji üretimi mümkündür. Bu çalışmada rüzgar türbinlerinden üretilen elektrik enerjisinin zaman serileri ile analizinin yapılması amaçlanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde yenilenebilir enerji ile ilgili detaylı bilgi verilerek yenilenebilir enerjinin türlerinden olan rüzgar hakkında bilgiler verilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde ise rüzgar ile nasıl elektrik üretimi yapıldığı konusuna ağırlık verilecek olup rüzgar türbinlerinin incelenmesine yer verilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde zaman serileri hakkında bilgiler verilerek rüzgar enerjisi üretiminde hangi methodların kullanılacağına ait bilgiler verilmiştir.

Çalışmanın beşinci bölümünde ise zaman serilerinden uygun olan method ile bir sonraki yıl içerisindeki aylarda ne kadarlık elektrik enerjisinin üretilebileceği hesaplanmıştır.

2. YENİLENEBİLİR ENERJİ ve RÜZGAR

2.1. Enerji ve Enerji Kaynakları

Enerji, farklı amaç ve fonksiyonlara sahip, organik veya mekanik sistemlerin kapasitelerini gerçekleştirme kabiliyetidir. İşin meydana getirilme gücüdür (Acaroğlu, 2007: 1).

Enerji, fizikte başat ve skaler büyüklüklerinden birisidir ancak direkt ölçülebilir bir değeri yoktur. Sistemlerin iş yapabilmelerinin ardından durumlarının değişmesine göre ya da bu durumların fiziksel türlerine göre farklı metot ve hesaplamalarla belirlenmektedir (Öztürk, 2013: 1).

Başka bir açıdan ise enerji, sosyal hayatın ve sanayiye arz edilerek ekonominin iyileşmesi ve refah düzeyinin artmasında en önemli etken ve ayrıca insan hayatını nitelikli bir duruma getiren, iş yapabilen ve kaynağı ışın (hüzme) olan güçtür (Yaman, 2007: 17)

Güneş, akarsu, rüzgâr, petrol, kömür, doğalgaz gibi kaynaklardan değişik metotlar aracılığıyla hayati ihtiyaçlar ile ekonomik nedenlerle üretilen güç, enerji kaynaklarını tanımlamaktadır (Doğanay ve Coşkun, 2017: 2).

Enerji kaynaklarının en önemli üç özelliği şunlardır (Aydın, 2010):

- Yerküre üzerinde farklı noktalarda toplanmış olmaları,
- Yetersiz olmaları,
- Enerji kaynaklarının kullanımının sonucunda çevre kirliliği oluşturmaları

Gündelik hayatın her alanında kendine kullanım yerleri bulan enerji; Güneş, jeotermal, rüzgâr, hidrolik, nükleer, kimyasal, mekanik ve elektrik enerjisi türlerinden farklı yapılar da olmakta ve doğasına uygun yöntemlerle birbirlerine çevrilmektedirler. Enerjinin üretildiği kaynakların hepsi enerji kaynakları olarak ele alınmakta ve buna göre kategorize edilmektedir.

Günümüzde en çok başvurulan sınıflandırma yöntemi, kaynakların kullanımlarının ardından ortaya çıkan yenilenebilirlik ile tükenebilirlik özelliklerin göz önüne alındığı yöntemdir (Ayran, 2015).

2.1.1. Yenilenebilir olmayan enerji kaynakları

Doğal rezervler tüketildikçe yeniden oluşması çok fazla zaman alır. Doğalgaz, petrol, kömür gibi ürünler doğal rezervlerdir. Bu rezervler işlendiği zaman açığa sera etkisine sahip ve atmosferi kirleten gazlar (CO, CO₂, SO₂ vb.) çıkmaktadır. Toryum ve uranyum gibi madeni

nükleer enerji kaynakları yenilenebilir olmayan sonlu enerji kaynaklarıdır (Torunoğlu Gedik, 2015).

Yenilenebilir olmayan, fosil, yeraltı enerji kaynakları, uzun süren jeolojik süreçlerde geçirdikleri dönüşüm ve değişimlerle oluşmuşlardır. Petrol, doğalgaz, kömür ve bunların işlenmeleriyle elde edilen alt ürünler (benzin, motorin, lpg vb.) fosil temelli enerji kaynaklarıdır (Savrul, 2010). Bu enerji kaynaklarından elektrik ve ısı enerjisi üretmek için yakma (ve suyun buharlaştırılması) işlemleri kullanılıyor olmakla birlikte yakmadan (kimyasal) enerji üretim teknolojileri de geliştirilmektedir.

Yenilenebilir olmayan fosil enerji kaynaklarına en önemli alternatif, atomun parçalanması sağlanarak açığa çıkan büyük miktarlardaki enerjinin kontrol edilmesiyle üretilen nükleer enerjidir(Kırteke, 2014).

2.1.2. Yenilenebilir enerji kaynakları

İnsanların taleplerinin karşılanması noktasında sağlanması gereken kaynakların oluşturulmasında enerji üretiminin önemi çok büyüktür. Enerji yaşamın her alanında insanın ihtiyacını karşılamaktadır (Adaçay, 2014). Teknolojik ilerleme enerjiye duyulan ihtiyacı büyük bir oranda artırmıştır (Abrahamse & Steg, 2011). Enerjinin üretim ve tüketim biçimleri 1960'larda çevre ve atmosfer kirliliği ile içli dışlı bir kaynak problemi oluşturduğunun saptanmasıyla enerji üzerine daha da yoğunlaşılacak bir konu olmuştur (Canning, 2011). Sanayinin enerji kullanımı büyük ölçüde arttığı gibi global olarak enerji talebi de artmıştır(Pearce, 2012). Bu koşullar altında, doğada ve doğal döngüler içindeki enerji akışından enerji edilmesi yani yenilenebilir enerji kavramı alternatif arayışlarına cevap olmuştur (Cingil, 2008).

Yenilenebilir enerji genel olarak, üretilen enerjiye ve kaynakların tüketim hızına eşit değerde kendini yenileyebilen enerjidir (Yörükoğlu, 2014). Bu enerji kaynakları, bölgesel enerji gereksinimlerine yetebilir olmakla birlikte atmosfer kirliliği ve sera gazlarının emisyonlarının neredeyse sıfır düzeyinde olmaktadır (Panwara vd, 2011).

Yenilenebilir enerji kaynakları büyük oranda güneşe bağlıdır. Bu enerji kaynakları çevreci, güvenli ve yerli enerji kaynaklarıdır (Özcan, 2015). Bu nitelikleri sayesinde bu enerji kaynakları, enerjiye erişimi temiz ve uygun bedelli bir yoldan sağlanması olanağını getirerek ülkelerin ekonomilerinin iyileşmesinde ve sürdürülebilir kalkınma planlarının yerine getirilmesinde rol oynamaktadır (Agency, 2012).

Güneş enerjisi

Güneş, gel-git ve jeotermal enerji kaynakları hariç diğer her bir yenilenebilir enerji ve fosil temelli kaynakların doğrudan veya dolaylı kaynağı olduğu için tek sonsuz enerji kaynağı olarak görülmektedir. Güneşin, radyasyon ile dünyaya anlık 178 000 Terawatt (TW) 'lık güç göndermektedir. Bu gücün 62 000 TW kadar olan kısmı yerkürenin yüzeyinden yansımakta, 76 000 TW kadar kısmı ise yerküreden uzaya yayılmaktadır. Bu şekilde dünyaya ulaşan net anlık güç miktarı 40 000 TW olmaktadır (Akdoğan, 2018).

Güneş enerjisi (solar enerji), güneşin alt tabakalarında yer alan radyoaktif tepkime süreçleri ile (Hidrojenin helyuma dönüşmesi) açığa çıkan radyasyon enerjisidir. Uzay koşullarında bu enerjinin şiddeti 1370 W/m^2 iken yerkürenin atmosfer katmanlarının kırıcılık ve süzme etkilerinden ötürü dünyaya ulaşan şiddet 0 ile 1100 W/m^2 arasında değişmektedir (Açıkgöz vd, 2015).

Güneş'ten yerküreye ulaşan yıllık enerji miktarı, bilinen petrol rezervlerinin 800 katı civarına, kömür rezervlerinin ise 50 katı civarına denk geldiğinden güneş enerjisi, çevre açısından ve yenilenebilir olduğu için fosil temelli enerji kaynaklarına karşılık en önemli alternatif olmaktadır (Koç ve Şenel, 2013). Bilhassa 1970'li yıllarda güneş enerji sistemleri üzerine yapılan çalışmalar ve araştırmalar süratlenmiş, bu alanda teknolojiler geliştirilmiş ve kaydedilen teknolojik ilerleme sayesinde maliyetlerde düşüş görülmüştür (Koç ve Şenel, 2013).

Materyal, yöntem ve teknolojik düzey açısından enerji üretimleri farklılık gösteren güneş enerji sistemleri, genel olarak fotovoltaik ve termal sistemler olmak üzere iki başat metotla gerçekleştirilmiştir.

Fotovoltaik güneş enerji sistemleri; Silikon, Kadmiyum Tellür gibi malzemelerden üretilen yarı-iletken fotovoltaik hücrelere gelen ışığın direkt olarak elektrik enerjisine çevrilmesi ile çalışmaktadır. Diğer bir yöntem olan termal sistemlerde ise ısı enerjisi üretilmektedir ve ısı enerjisi doğrudan kullanılabilirdiği gibi elektrik enerjisi üretimine de aktarılmaktadır (Kantaroglu, 2010).

Yerkürenin ortalama güneş enerji potansiyeli 432 000 TWh civarındadır (Tomabeche, 2010). 2018 yılı sonunda dünyada kurulan güneş enerji sistemlerinin kapasitesi 406,9 GW seviyesine ulaşmıştır ve 2018 yılı sonunda dünyada kurulu sistemlere bakıldığında solar elektrik enerjisi üretiminde Çin 175,032 GW seviyesi ile birinci durumdadır. Çizelge

2.1.'de, 2018 yıl sonu itibariyle dünyada kurulu güneş enerji kapasitesine göre önde gelen 5 ülke gösterilmiştir (Irena, 2019).

Çizelge 2.1. Kurulu güneş enerjisi santralleri kapasitesine göre en güçlü 5 ülke (Irena, 2019)

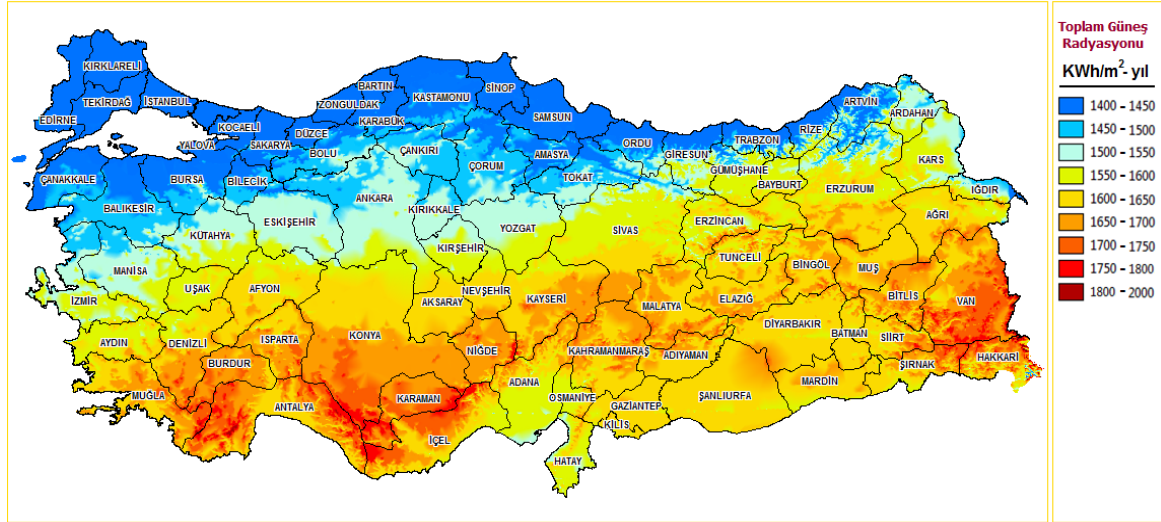
Ülke	Kurulu Güç (GW)
Çin Halk Cumhuriyeti	175,032
Japonya	55,5
A.B.D	51,45
Almanya	45,932
Hindistan	27,098

Türkiye'de 2018 yıl sonundaki kurulu güneş enerjisi sistemleri gücü 5,064 GW düzeyindedir. 2017-2018 döneminde Çin 44,220 GW ile; Hindistan 9,225 GW ile ve ABD 8,590 GW ile kapasitelerini artırmaya en çok yatırım yapan ülkelerdir. Türkiye bu dönemde, kapasitesini 1,642 GW seviyesinde yükseltebilmiştir (Irena, 2019).

Türkiye, coğrafi konumu bakımından dünyadaki pek çok ülkeye göre üstünlükleri vardır, güneş enerjisi potansiyeli olarak dünyanın önde gelen ülkelerindendir (Koç ve Şenel, 2013).

Türkiye'de güneş enerji daha çok termal amaçlı kullanılmaktadır. Termal güneş enerji sistemleri ekonominin içinde yerleşmiştir, 18 milyon m² kolektör kurulum alanı ile dünyada bu alanda başı çeken ülkelerdendir (Yılancı vd, 2019). Son dönemlerde Türkiye'de fotovoltaik enerji üretimi kapasitesinde de artış gözlenmiştir: Yıllık fotovoltaik enerji üretimi hesaplamalarına bakılarak doğal potansiyelin 977 000 TWh, teknik potansiyelin 6,105 TWh, iktisadi potansiyelin de 305 TWh olduğu görülmüştür (Özdamar vd, 2004).

Yürütülen güneş enerjisinin potansiyelinin saptanmasına yönelik çalışma kapsamında hazırlanan ölçek ile Türkiye'deki güneş enerjisi üretiminin en verimli olan bölgelerin saptanmasına ve bu bölgelerin güneş enerjisi üretim olanaklarına uygunluğunun belirlenmesine çalışılmıştır. Harita 2.1.'de Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA)'na yer verilmiştir (EİGM, 2019).



Harita 2.1. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA), (EİGM, 2019)

Haritada yer alan GEPA incelendiğinde, Türkiye'nin güney bölgeleri solar enerji potansiyeli açısından diğer bölgelerden daha yüksektir. Buna göre, Akdeniz, Güneydoğu ve Doğu Anadolu bölgeleri en yüksek ve Karadeniz ve Marmara bölgeleri en az potansiyele sahip olmaktadır. Türkiye'nin solar radyasyon değeri 1400-2000 kWg/m²-y arasında değişiklik göstermektedir. Yalnız Trakya ve Kırklareli şehri için bu değer aralığı 1400-1450 kWh/m²-y'dir.

Biyoenjerji

Biyolojik kaynaklı maddelerden elde edilebilir yenilenebilir enerjiye biyoenjerji denir. Biyokütle, yaşayan ya da yakın zamanda yaşamış canlılardan elde edilen fosilleşmemiş tüm biyolojik malzemenin genel adıdır. Biyokütle, ormancılık ve zirai ürünlerden ve bu ürünlerdeki enerjiyi tekrar elde etmek, çevirmek amacıyla yakıt olarak tohumu yağlı bitkiler, ağaçlar, sebzeler ve meyveler, hayvansal, şehirsal ve endüstriyel atıklardan elde edilmektedir (Öztürk, 2013: 365).

Biyokütleden üretilen ısı ve elektrik enerjisine biyoenjerji ismi verilmektedir. Dünyada biyoenjerjinin kullanımı ve üretimi uzun dönemleri kapsadığı için klasik ve modern yöntemler olarak iki başlıkta incelenmektedir (Çelen, 2018).

Klasik biyoenjerji üretimi, biyokütlelerin ilkel metotlardan bugüne çeşitli yakma metoları ile doğrudan enerjinin elde edilmesidir. Modern biyoenjerji, enerji tarımı mahsülleri, ormancılık atıkları ve zirai atıkların çeşitli yakma teknikleri ile gaz, sıvı ve katı yakıtlara dönüştürülmesidir (Çelen, 2018; Öztürk, 2013: 365).

Biyokütlelerin yakılmasından oluşan emisyon çok değildir. Fosil yakıtların emisyonlarına oranla daha az duman ve asit yağmurlarına neden olmaktadırlar. Doğru metotlar ve teknolojiler sayesinde biyoenerjiye çevrildiklerinde, çevre kirliliğine az derecede etki eden, güvenli ve uzun vadeli enerji kaynaklarıdır. Biyoenerji üretiminin en önemli dezavantajı, biyokütlelerde yanma verimini düşüren nem(su)dur. Biyokütleyi gaza dönüştürmek ya da pelet üretimi için biyokütlelerin içine nemin nüfuz etmesi gerekmektedir. Biyokütleler, ne kadar kuruluk gösterirse gösterecek fosil temelli kaynaklara nazaran daha az enerji üreteceğinden, yüksek miktarda biyokütlelerin sürece sokulmaları gerekecektir. Biyokütlenin depolama, biriktirme ve taşıma maliyetleri fazla olmaktadır. Ekonomik yönden biyokütlelerin bölgesinde işlenmesi veya kısa mesafeler arasında taşınması gerekmektedir (Öztürk, 2010).

Jeotermal enerji

Jeotermal enerji, yeraltında kayaçların ve büyük kütleli yapıların içinde veya arasında sıkışmış ısı enerjisinin çeşitli akışlanlar ve jeolojik hareketler sonucunda taşınarak yeraltı rezervuarlarında birikmesiyle meydana gelen sıcak su ve buharlar yoluyla ısınmış kayalardan çeşitli tekniklerle üretilen ısı enerjisidir (Akdoğan, 2018).

Jeotermal ılıca ve kaplıcaların tarihine bakıldığında antik çağlara kadar uzanıyor olsalar da endüstriyel açıdan bu enerjinin üretimine yönelik çalışmalar 1800'lü yıllarda İtalya'da başlamıştır. İlk olarak 19.yy'ın sonlarında jeotermal ısı enerjisi üretimi ABD'de kurulmuştur ve 1920'lerde İzlanda buna dahil olmuştur. 20.yy'ın başlarından itibaren elektrik enerjisinin üretiminde jeotermal enerji kaynakları kullanılmaya başlamıştır. Bugün, halen ısı ve elektrik enerjisi üretiminde jeotermal enerji kaynaklarının kullanımı devam etmektedir (Akdoğan, 2018).

Jeotermal enerji kaynaklarını aşağı yukarı etkileyen faktörler (mevsimler, meteorolojik koşullar, jeolojik olaylar vb.) pek bulunmamakta veya meydana gelmediğinden ötürü yıl boyu sabit oranda enerji üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Gelişen teknoloji sayesinde bu santrallerde verim %95 düzeylerine çıkabilmektedir.

Jeotermal enerji kaynakları, bölgelerde gereksinim duyulan ısıtma ihtiyacı ile, yüzme havuzlarının, göletlerin ve spaların ısıtılmasında, karların eritilmesinde ve de sanayi ısıtma proseslerinde kullanılabilir. Diğer yandan jeotermal kaynaklardan elektrik ve ısı enerjisi üretimi için kullanılan metotlar ve teknikler farklılık göstermektedir (Akdoğan, 2018).

Jeotermal enerji, yerkürenin alt tabakalarında yaşanan süreçlerle üretilen ısı enerjisidir ve bu enerjisinin bir tükenim noktası olmadığından yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Jeotermal enerji üretim süreçlerinde oluşan emisyonların yüksek seviyeleri görmemeleri nedeniyle jeotermal enerji çevrecidir (Erdener vd, 2013).

Jeotermal enerji kaynakları üzerine yapılan çalışmalara bakıldığında, bu kaynaklar üzerinden üretilen elektrik enerjisinin potansiyelinin mevcut küresel enerji ihtiyacını 10 ile 100 katı arasında karşılayabilir olduğu görülmektedir (Akdoğan, 2018). 2016'da yayımlanan en güncel rapora göre, jeotermal enerji üretiminde kapasitesine en fazla yatırım yapan ilk beş ülke; Japonya, Meksika, Kenya, Endonezya ve Türkiye'dir. Bu raporda jeotermal enerji kaynakları üzerine kurulu güce en fazla sahip ülkeler Meksika, Yeni Zelanda, Filipinler, ABD ve Endonezya olmakla beraber küresel ölçekte toplam jeotermal enerji kurulu gücü 13,5 GW düzeyinde görülmüş ve bunun %25'inden fazla bir oranının ABD'ye ait olduğu belirlenmiştir (Sawin, 2013).

2015 yılında doğrudan ısı enerjisi üretiminde yararlanılan jeotermal enerji kaynakları ile 75 TWh'e yakın üretim gerçekleştirilmiştir. Jenotermal enerjide 1,2 GWh'lik üretim artışı ile sisteme 21,7 GWh dahil olmuştur. Bu raporlar ışığında jeotermal ısı enerjisinin kullanımında %3 seviyesinin üzerinde bir yıllık artış oranı gösterdiği ifade edilmektedir (Sawin, 2013).

Hidroenerji

Yerçekimi ve suyun kuvvetinden yararlanılarak hidroelektrik santrallerinde elektrik üretimi yapılmaktadır. Türbinleri çevirebilmek için su kütlesi belli bir yükseklikten aşağı bırakılarak potansiyel enerjisinin açığa çıkarılması sağlanmaktadır. Bu şekilde sudan elde edilen mekanik enerji, türbinlere bağlı jeneratörlerle elektrik enerjisine çevrilmektedir (Oral vd, 2017).

Hidroelektrik enerjisi yaygın olarak, inşa edilen barajlar sayesinde suyu toplayarak ve bu toplanan suyun sahip olduğu potansiyel enerjiden faydalanarak elektrik enerjisini sağlamak amacıyla tercih edilmektedir (Kısakürek, 2019).

Hidroelektrik santraller arasında suyun bırakılma yüksekliklerine göre alçak basınçlı (25m'den az) ve yüksek basınçlı (25-100m) olarak ayırım yapılmaktadır. Hidroelektrik santrallerinde elektrik üretimi için kurulu sistemler, diğer enerji kaynakları için kurulan teknolojik sistemlere nazaran daha basit bir yapıdadır (Rajput, 2006; Oral vd, 2017).

Hidroelektrik enerji üretiminde herhangi bir ithal kaynağa başvurulmadığından tümüyle yerli enerji olarak değerlendirilmekte ve santrallerin durumları ve nitelikleri açısından

yenilenebilir olarak kabul edilmektedir. Bu santrallerin ülkenin akarsu kaynaklarının etkin kullanımlarında, akarsuların rejimlerinin ve yönlerinin kontrol edilmesinde ve sulama ihtiyaçlarının karşılanması noktasında da faydaları bulunmakla birlikte yapım ve araştırma maliyetlerinin yüksekliği, enerji kaynağı seviyesinin geliştirebilir olmaması; yerleşim, zirai ve tarihi bölgelerin su altında kalma riski ve akarsu rejiminin yıl boyu sabit olmaması nedenleri ile dezavantajları bulunmaktadır (Rajput, 2006).

Küresel ölçekte doğal hidroelektrik enerji potansiyeli 15 930 TWh seviyesindedir (Tomabechi, 2010). 2018 dönem sonunda dünyanın toplam hidroelektrik üretim kapasitesi 1,11 TW'tır ve dünya çapında üretilen yenilenebilir enerjinin %50,75'i hidroelektrik enerji santrallerinin üretimlerinden oluşmaktadır (Drury vd, 2009). Aynı dönemin raporuna göre hidroelektrik enerji üretiminde kurulu güç sistemlerine bakıldığında Çin 352,261 GW düzeyi ile lider pozisyonundadır. Hidroelektrik enerji üretiminde dünyada en güçlü beş ülke aşağıdaki Çizelge 2.2'de yer almaktadır (Irena, 2019).

Çizelge 2.2. Kurulu hidrolik enerji santralleri kapasitesine göre en güçlü 5 ülke
(Irena, 2019)

Ülke	Kurulu Güç (GW)
Çin Halk Cumhuriyeti	352,261
Brezilya	104,195
A.B.D	103,109
Kanada	80,747
Rusya	51,478

Türkiye 2017-2018 döneminde kurulu hidroelektrik üretim gücünü 1,018 MW artırarak 2018 sonunda toplam gücünü 28,291 GW'a yükseltmiştir (Irena, 2019).

Türkiye'de hidroelektrik enerji, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en büyük potansiyeli barındırmaktadır. Türkiye'de gerçekleştirilen hidroelektrik enerji üretiminin yıllık teknik değerleri; 433 TWh doğal potansiyel, 216 TWh teknik potansiyel ve 128 TWh iktisadi potansiyel olarak bulunmuştur (Özdamar vd, 2004). Bu hidrolik enerji kaynağının kullanımının en önemli dezavantajlarından birisi de üretim sahasının, tüketim sahalarına olan uzaklığıdır ancak buna rağmen güvenli ve yenilenebilir olduğu için önem arz etmeye devam

etmektedir. Türkiye 2020 yılı için hedeflediği hidroelektrik enerjide kurulu güç seviyesi, 33 GW düzeyinde belirlenmiştir (Action Plan, 2014).

2.2. Rüzgar

2.2.1. Rüzgarın oluşumu

Dünyanın geometrik şekli (geoid), dönme ekseninin eğimli olması, yüzeyinin heterojen yapıda olması sebeplerinden ötürü dünyaya ulaşan güneş enerjisi düzeyleri değişkenlik arz etmekte ve neticesinde oluşan hava basıncı değişiklikleri, havanın potansiyel enerjisinin kinetik enerjisine geçmesine yani havanın hareketli bir şekilde yer değiştirmesine neden olmaktadır. Bu şekilde hareket eden hava, rüzgâr olarak adlandırılmaktadır (Menteş, 2009).

2.2.2. Rüzgar hızı ve değişim şartları

Rüzgârın hızı devamlı olarak değişim gösterdiği için rüzgârın taşıdığı enerji dalgalanmaktadır. Büyük ölçekli dalgalanmalar meteorolojik ve coğrafik koşullara bağlıdır. Bu nedenle türbinin verimi, rüzgârın enerjisi ile birlikte değişim göstermektedir. Yeryüzünde birçok alanda gün içinde esen rüzgârın hızı gece esen rüzgârdan daha fazladır. Rüzgâr enerji santrali işletmeleri veya yatırımcıları tarafından bu durum önemlidir; çünkü gün içinde üretilen enerjinin önemli bir bölümü yine gün içinde tüketilmektedir. Birçok enerji yatırım şirketleri gün içinde görülen tüketim yoğunluklarında (piklerde) daha fazla ödemede bulunmaktadır (Ağçay, 2007). Gün içerisinde tüketim yoğunluklarının hesaplamaları tez konusundan faydalanılarak zaman serileri üzerinden çıkartılabilir. Bu da ekstra ödemelerin yapılmasını engelleyebilir.

2.2.3. Rüzgar potansiyelinin ölçümü

Elektrik enerjisinin üretilmesinde rüzgâr enerjisinden yararlanılabilmesi için öncelikle rüzgâr santrallerinin kurulacağı bölgenin rüzgâr potansiyelinin tespit edilmesi gerekmektedir. Tespit edilen potansiyele göre uygun türbin kurulumu gerçekleştirilebilmektedir. Rüzgâr potansiyelinin tespit edilmesi noktasında rüzgârlı bölgenin rüzgâr hızlarının dağılımlarının tespit edilmesi zorunludur. Bir bölgedeki rüzgâr hızlarının dağılımlarının tespit edilmesinde günümüzde en çok Rayleigh ve Weibull dağılımı metotlarına başvurulmaktadır (Ulgen & Hepbasli, 2002).

Weibull rüzgâr hızı dağılımı metodu, rüzgâr hızı dağılımlarının saptanması için başvuru ve ölçülen değerlere en yakın neticeleri yansıtan çift faktörlü bir metottur. Weibull rüzgâr hızı dağılımının belirlenmesinde kullanılan hesaplama yöntemi aşağıda (2.1) gösterilmiştir:

$$f_w(v) = \frac{k}{c} * \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (2.1)$$

Yukarıdaki denkleme göre;

" f_w " değeri boyutsuz bir Weibull şekil parametresini, " v " rüzgar hızını, " c " ölçek parametresini ifade eder (ECDGE, 2009).

Rüzgâr hızı değişkenliklerinin tespit edilmesi için en çok kullanılan metotlardan birisi Rayleigh rüzgâr hızı dağılımı metodudur (Vural, 2011). Bu metot, Weibull dağılım metodunun özel bir durumuna işaret etmekte ve 'k' boyutsuz Weibull şekil faktörünün değeri 2 olarak alınmaktadır. Rayleigh rüzgâr dağılım hesaplama yöntemi aşağıda (2.2) gösterilmiştir (Vural, 2011):

$$f_R(v) = \left(\frac{\pi}{2}\right) \left(\frac{v}{v^2 m}\right) \exp\left[-\left(\frac{\pi}{4}\right) \left(\frac{v}{v^2 m}\right)^2\right] \quad (2.2)$$

Yukarıdaki denkleme göre " v " değeri ortalama rüzgar hızını ifade etmektedir.

2.2.4. Rüzgar türleri

Rüzgarlar devamlılıklarına, süratlerine ve yönleri uyarınca sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma çalışmaları sayesinde rüzgarların belirli rakımlarda net ölçümlerinin yapılması, yönlerine göre adlandırılmaları ve özelliklerine göre derecelendirilmesi (kategorilendirilmesi) mümkün olmaktadır.

Rüzgârın süreklilik şartlarına göre türleri

Rüzgarların tanımlanmasında göz önünde bulundurulacak önemli kriterlerden birisi rüzgârın sürekliliğidir. Elektrik enerjisi üretimine yönelik türbinlerin özelliklerinin belirlenmesinde rüzgârın sürekliliği önemli bir unsurdur. Atmosferde rüzgarlar devamlı olarak sabit bir şiddette ve hızda esmemektedir ve bu nedenle rüzgâr türbinleri %65-80 arasında bir yoğunlukta ve kurulu kapasitelerinden daha az bir verimle enerji üretmektedirler. Rüzgârın devamlılık gösterdiği durumlarda kapasite durumu yüksek görünmekle birlikte rüzgârın kararsız ve değişken yapısı nedeni ile kapasite verimi %25-40 değerleri arasında kalmaktadır (Watt & Wilson, 2001; Yerebakan, 2001).

Rüzgârın oluşumunda ve hareket özelliklerinde bölgelerin topografik yapıları belirleyici olmaktadır. Rüzgarlar, devamlılık gösteren ve devamlılık göstermeyen rüzgarlar olarak iki sınıfta toplanmaktadır (Yerebakan, 2001). Rüzgarların esme devamlılıkları uyarınca yapılan sınıflandırma Çizelge 2.3.'de sunulmuştur (Watt & Wilson, 2001).

Çizelge 2.3. Rüzgarların sürekliliklerine göre sınıflandırılması.

Sürekli Tip Rüzgarlar				Süreksiz Tip Rüzgarlar	
Alizeler	Kontralizeler	Meltemler		Fön(Föhn) Rüzgarları	Antisiklonlar
		Kara Meltemleri Deniz Meltemleri	Vadi Meltemleri Dağ Meltemleri		

Ekvatorial bölgelerde ısınan hava yeryüzünden 10km yüksekliğe kadar çıkabilmekte ve güneye ve kuzeye doğru hareket etmektedir. Dünyanın kendi eksenini etrafındaki hareketi dolayısı ile oluşan coriolis kuvveti sıcak havanın hareketini sınırlandırarak daha düşük hava basınçlı alanlara doğru alçalan hareketini başlatarak (Alize rüzgarlarını) küresel rüzgarları oluşturmaktadır. Bu rüzgarlar en az 1 km rakımda oluştukları için yeryüzü koşullarına göre değişmemektedir (Watt & Wilson, 2001; Yerebakan, 2001). Alize rüzgarlarının tersine kontralize rüzgarları ekvatorundan uzaklaşan bir hareket izlemektedir. Bu rüzgarlar yeryüzü koşullarından etkilenmekte ve buna göre hızlarında ve yönlerinde değişiklikler meydana gelmektedir. Yeryüzünden 100m civarı bir yükseklikte buldukları için türbinlerin yüksekliğine göre rüzgâr enerjisi santralleri için önem arz eden rüzgarlardır (ETKB, 2019). Deniz ve kara meltemleri, gece ve gündüzleri karasal bölgelerin denizden daha hızlı ısınması ve soğuması durumları neticesinde oluşmaktadır. Vadi ve dağ meltemleri günün içinde vadiden daha çok ısınan yamaçlara doğru esen vadi rüzgarları ve yüksek bölgelerde soğuyan havanın vadi yönünde esmesiyle oluşan dağ esintileridir (Watt & Wilson, 2001; Yerebakan, 2001).

Rüzgarın hızlarına göre türleri

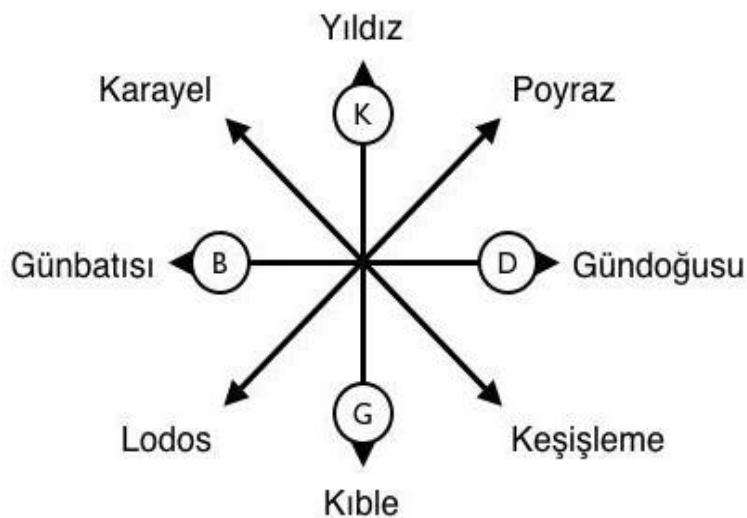
Rüzgarların özellikleri, yön ve hızları doğrultusunda iki parametre ile belirlenmektedir. Rüzgâr hızlarında yaşanan ani değişimlere hamle denilmektedir. Rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisinin üretilmesinde rüzgarların sınıflandırılması ve tahmini rüzgar ölçümleri yüksek derecede önemli parametre oldukları için, rüzgarların özelliklerinden yönü, hızı ve hamlesi gibi nicelikler yön kontrol cihazları ve anemometre gibi detaylı ölçüm yapabilen cihazlarla saptanmaktadır. Rüzgarların hızlarına göre ve 10m yükseklikte bulunduğu varsayımı ile yapılan sınıflandırma Çizelge 2.4.'te sunulmuştur (Walker & Kenkins, 1997; Nelson, 2013).

Çizelge 2.4. Rüzgar hızlarının sınıflandırılması.

Rüzgar Hızı (m/s)	Rüzgar Çeşidi
0 - 0,4	Sakin
0,4 - 1,8	Hafif
1,8 - 3,6	
3,6 - 5,8	
5,8 - 8,5	Orta
8,5 - 11	Rüzgarlı
11 - 14	Güçlü
14 - 17	
17 - 21	Sert
21 - 25	
25 - 29	Çok Sert
29 - 34	
>34	Kasırga

Rüzgarların niceliksel durumlarının ölçülmesi noktasında ölçüm cihazlarının kullanılmadığı durumlarda rüzgâr hızları tahmin edilmektedir. Bu tahminin yapılmasında Beaufort ölçeğine başvurulmaktadır. Bu ölçeğin kullanılmasında rüzgârın şiddetinin ve hızının tahmin edilmesi için rüzgârdan dolayı oluşan görüntülere bakılmaktadır. Denizde, karada ve deniz kıyılarında gözlenen durumlar not edilerek bu ölçekte yer alan skala doğrultusunda rüzgâr hızında tahminde bulunmak mümkün olmaktadır (Walker & Kenkins, 1997; Nelson, 2013; Acaroğlu, 2007).

Rüzgarın akış yönlerine göre türleri



Şekil 2.1. Rüzgâr yönleri

Bulunulan alana doğru esen rüzgârın gelme yönüne göre rüzgârın yönü belirlenmektedir. Böylelikle rüzgarlar, esme doğrultularına göre adlandırılmaktadır (Toklu, 2002; Akınsal, 2009).

Rüzgarlar batı ve güney yönünden estiğinde nem ve sıcaklık açısından daha yoğunken, doğu ve kuzey yönünden estiğinde kuru ve düşük sıcaklık özelliklerine sahiptir.

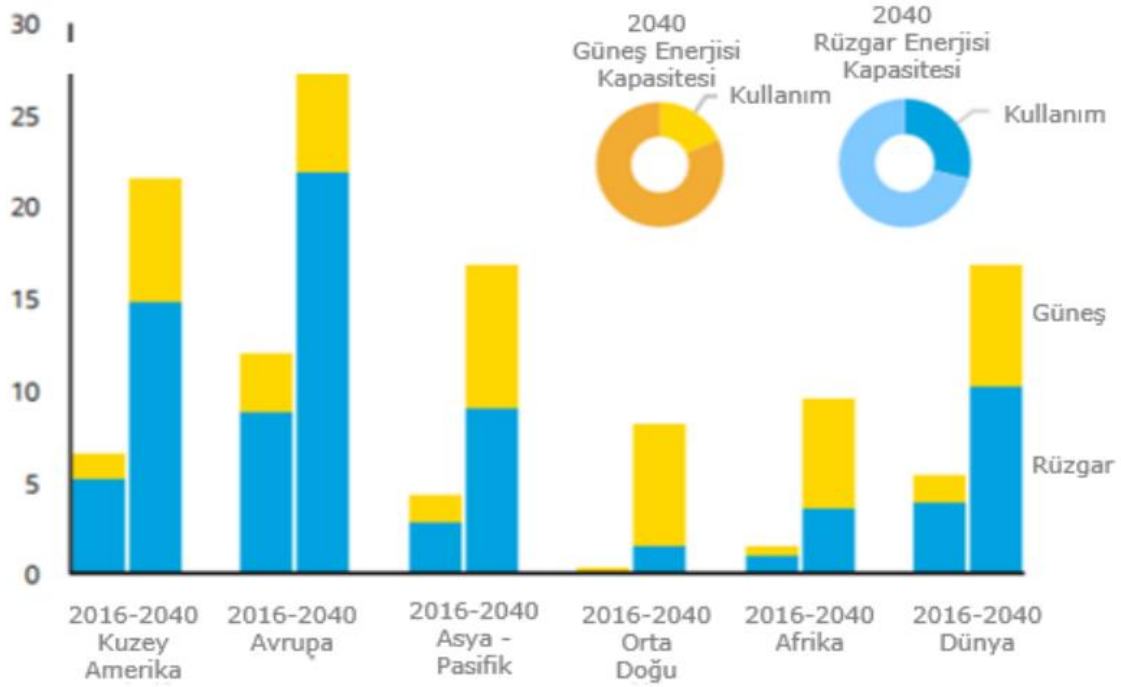
Ana yönlerine göre esen rüzgarlar haricinde coğrafi açıdan farklı özelliklere sahip bölgelerde de bazı özel rüzgarlar bulunmaktadır. Bunlar arasında Bora, Etezyen, İmbat, Meltem ve Samyeli isimleriyle anılan rüzgarlardır (MGM, 2019). Bu rüzgarların taşıdığı nem oranları da rüzgar türbinlerinde üretilen elektrik enerjisine doğrudan etkisi vardır.

2.3. Rüzgar Enerjisi

Rüzgârdan elektrik enerjisinin üretilmesi, kaynağı güneş olan, yenilenebilir ve temiz bir enerji üretimi sistemidir. Enerjinin bu biçimde üretilmesi yalnızca günümüzde yapılmakta olan bir şey değildir. Tarihi dönemlerde de bu konseptin kullanıldığı görülmektedir. Kullanım biçimi açısından ilk görülen yer 7.yy'da Doğu medeniyetlerinin kullandığı suyun kaldırılması amacıyla, buğdayı öğütme için yel değirmenlerinin kullanıldığı görülmüş olmakla birlikte, türbinlerden ilk elektrik enerji üretimi 1891 yılında Danimarkalı bir mühendis olan Paul La Cour tarafından geliştirilmiştir. 1956 yılından itibaren bakım yapılmaksızın 1967 yılına kadar kullanılan ve 200kW güce sahip olan ve bugünkü türbinlerin öncüsü sayılan türbin Gedser türbinidir (Sevim, 2015). Rüzgârın taşıdığı enerjiden yararlanma hususunda, petrol krizlerinin baş gösterdiği dönemlere kadar ilerleme olmadığı görülmektedir. Petrol krizlerinin ardından, petrol fiyatlarının yükselmesi ve ekolojik denge üzerinde daha hassas hale gelinmesi ve yenilebilir enerji kaynaklarının avantajları dolayısı ile rüzgâr türbinleri yeniden ilgiyi üzerine çekmiştir. Şekil 2.2.'de sunulduğu gibi rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretilmesinin oranı oldukça yüksektir ve gelecek yıllarda bu oranın daha da artacağı öngörülmektedir.

Elektrik üretiminde rüzgâr enerjisinde yararlanılması dünya genelinde yaygın bir uygulama haline gelmiştir. Solar enerji kaynakları ile karşılaştırıldığı zaman rüzgâr enerjisinin elektrik üretimindeki payının dünya genelinde arttığı gözlenmektedir. Buna göre iki enerji kaynağına bakıldığında 2040 yılına kadar rüzgâr enerji kaynakları ile güneş enerjisi kaynaklarından daha fazla yararlanılacağı öngörülmektedir. Bu öngörülerini destekleyen veriler Şekil 2.2.'de sunulmuştur (DEKTMK, 2018).

Güneş ve Rüzgârın Elektrik Üretimindeki Payı – TWh Payı



Şekil 2.2. Güneş ve rüzgârın elektrik üretimindeki payı (DEKTMK, 2018)

Rüzgâr enerjisi kullanımının avantajları aşağıdaki gibidir:

- İlk olarak, yenilenebilir olmayan madeni ve organik enerji kaynaklarına alternatif ve sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır.
- “Temiz ve çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Araştırma sonuçlarına göre 57 000 ağacın atmosferdeki CO₂ temizlemesi işlemine eş değerde yapılan bir iş 500kW’lık bir rüzgâr türbini tarafından gerçekleştirilmektedir. Küresel çapta elektrik enerjisi üretiminin 2025’e kadar %10’luk bir diliminin rüzgâr enerjisinden sağlanması halinde, CO₂ emisyonunda yılda 1,41 GT azalma olacağı hesaplanmıştır.” (Özgener, 2002).
- Rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretimi doğal kaynaklardan sağlanmaktadır. Bu durum ülkelerin enerjide dışa bağımlılığını ve enerjinin ülkeler arası taşınması maliyetlerini ortadan kaldırmaktadır.
- Rüzgâr enerjisinden yararlanılabilmesi için gerekli teknolojik ve teknik olanaklar geliştirilmiştir.
- “Rüzgâr enerjisi santralleri veya rüzgâr çiftlikleri işletme maliyetleri en az olan enerji üretim sistemidir. Türbinler üç ay gibi bir süre içinde kurulabilmekte, 20-30 yıl bakım periyodu bulunmakta ve diğer enerji kaynaklarına göre daha güvenli ve bakım

ve temizliğinin yapılması daha elverişli olan enerji üretimi düzenekleridir” (Gezer, 2013).

- “Hızlı bir şekilde artan enerji talebine yanıt verilebilmesi açısından ihtiyaç duyan bölge veya sanayi işletmeleri için elektrik altyapıları ve enerjinin aktarılması için gerekli şebeke sistemlerinin kurulmasını şart koşan büyük enerji santrallerine göre daha hızlı ve daha az maliyetli bir şekilde kurulabilmektedir.” (Bayraç, 2011).
- “Güneş enerji sistemleri gibi yer yüzünde alan işgali yapılmamaktadır. Bir rüzgâr türbini 1MW enerjiyi üretebilmek için ortalama 200 m² alanı işgal ederken 1 MW güç üretimi gerçekleştiren bir güneş enerji santrali ortalama 20 000 m² alanı işgal etmektedir”
- Rüzgâr enerji santralleri, rüzgâr potansiyeli olan her bölgeye kurulabilmekte ve devamlı olarak güç üretebilmektedir.
- “Rüzgâr enerjisi santralleri ile rüzgâr çiftliklerinin kurulduğu alanlarda zirai faaliyetler olumsuz etkilenmemektedir. Diğer yandan türbinlerin gürültüsü 100m uzaklık 60dB (bulaşık makinesi gürültüsü) seviyesinde, 400m uzaklıkta 37dB (buzdolabı gürültüsü) seviyesinde gürültüsü vardır.” (Öztürk, 2013).

2.4. Rüzgar Enerji Potansiyelinin Belirlenmesi

Rüzgârın taşıdığı hareket (kinetik) enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülen bölümü rüzgâr enerjisi potansiyelidir (EİGM, 2019). Rüzgârın hareket enerjisi yükseklik arttıkça hızının küpü ile doğru orantılı bir şekilde artmaktadır. Taşınan enerjinin seviyesi, havanın özgül kütlesi ağır olmadığı için hıza bağlıdır (Sarıkaya, 2010). Türbinler tarafından rüzgârdan yakalanan enerji; türbinin kanatlarının yüzey alanı, rüzgârın hızı ve havanın yoğunluğu parametrelerine göre değişim göstermektedir (Yazar, 2013).

Matematiksel olarak herhangi bir noktadaki rüzgârın taşıdığı enerji aşağıdaki denklemde gösterildiği gibi hesaplanabilmektedir. Bu denklemde yer alan kinetik enerji birim gücü ifade etmektedir. (Durak vd., 2008).

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

Yukarıdaki formüle göre “E” değeri “W/ m” biriminden rüzgar enerjisinin potansiyelini, “A” değeri rüzgar türbininin süpürme alanını, “ ρ ” değeri hava yoğunluğunu, “v” ise “m/s” birimi olarak rüzgar hızını ifade etmektedir.

Bu denkleme göre, rüzgarların taşıdıkları enerji potansiyelleri, yine rüzgarların o anki hızlarının küpü ile doğru orantılıdır.

Havanın yoğunluğu ile rüzgârın enerji potansiyeli de doğru orantılıdır. Havanın yoğunluğu, havada yer alan gaz moleküllerinin sıcaklıklarında ve basınçlardaki değişimlere göre değişmektedir. Gazlarda basınç, sıcaklık ve hacim ilişkilerinin incelendiği İdeal gaz denklemi, aşağıda (2.4) gösterilmiştir.

$$PV = nRT \quad (2.4)$$

Yukarıdaki formülde “R” değeri evrensel gaz sabiti sabit olup değeri 8314 J’dür. “T” değeri “Kelvin” olarak sıcaklığı, “V” değeri “m³” birimiyle gaz hacmini, “P” değeri “Paskal veya N/ m²” birimiyle basıncı, “N” değeri gaz molekül sayısını ifade eder.

Havanın yoğunluğa bağlı ideal gaz denklemi aşağıda (2.5) gösterilmiştir.

$$\rho = \frac{mP}{nRT} \quad (2.5)$$

1 kg mol kütleli(**m**) havanın ağırlığı, 1 kg kuru havanın moleküler ağırlığı 28.97 g/mol olduğu için 28,97 kg olarak hesaplanmaktadır. Bu hesaba göre havanın yoğunluğu aşağıdaki denklemde ifade edildiği gibi hesaplanmakta ve rüzgâr enerjisi potansiyeli hesaplarında kullanılmaktadır.

$$\rho = 3,484 \frac{P}{T} kg/m^3 \quad (2.6)$$

2.4.1. Rüzgar enerjisinden elde edilen enerjiyi etkileyen faktörler

Yükseklik

Rüzgârın hızını değiştiren en önemli faktörlerden birisi yüksekliktir. Rüzgârın hızı genel olarak 10m’lik referans bir irtifada ölçülmektedir. Yeryüzünün yapısı tamamen düzlük göstermediği ve rüzgârın hareketini dağıttığı için rüzgâr yükseldikçe hızı artmaktadır. 100 m ve üzeri irtifalarda, rüzgâr türbinlerine temas eden hava en az değişkenlik ve düşük türbülans riski ile en ideal yüksekliktir (Mathew, 2006; Manwell vd, 2002). Kurulan rüzgâr enerjisi santrallerinin yıllık enerji üretimi, türbinlerin kule yüksekliği, türbinlerin güç eğrisi, kanatların taradığı alan, türbinler arası mesafelerin uygun belirlenmesi ve rüzgârın enerji potansiyelidir. Türbin yüksekliklerinin artırılması ile ortalama üretilen enerji seviyesinin de arttığı gözlenmektedir (Gipe, 2003; Mathew, 2006; Manwell vd, 2002)

Rüzgâr enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesinde 100 metredeki rüzgarlar, yeryüzü şekillerinden en az etkilenen en alçak rüzgarlar olduğundan mekanik enerjinin elektrik

enerjisine çevrilmesindeki en önemli rüzgarlardır. Yükseklik arttıkça rüzgârın hızı logaritmik bir biçimde artmakta ve belli bir irtifa üzerinde rüzgâr hızı sabitlenmektedir (Gipe, 2003; Hemami, 2012; Mathew, 2006; Manwell vd, 2002).

Pürüzlülük (yüzey pürüzlülüğü)

Yeryüzünden yaklaşık 1 km'lik bir irtifaya kadar olan, atmosferin alçak katmanlarında, rüzgâr yeryüzünün koşullarına göre sürtünme etkisi ile rüzgârı etkilemektedir. Yeryüzünde rüzgârın hızını düşürmekte olan birçok engel bulunmaktadır. Yerleşim ve ormanlık alanlarında rüzgârın hızı önemli ölçüde azalmaktadır. Diğer yandan havaalanı pistleri ve deniz veya göl yüzeyleri gibi az pürüzlü geniş ve düz zeminli yüzeylerde rüzgâr hızında pek bir azalma yaşanmamaktadır.

Rüzgâr enerjisi üretiminde, bir alanın rüzgarlılık değerlendirmesi gerçekleştirileceği vakit pürüzlülük uzunluğu ve pürüzlülük sınıfı değerleri karar verme aşamasında önemli faktörlerdir. Pürüzlülük derecesi 3 veya 4 olan alanlar su yüzeylerine denk gelmektedir. Havaalanı pistlerinin pürüzlülük derece 0,5'tir. Düz ve açık alanlar da (mera alanları vb.) bu pürüzlülük sınıfında yer almaktadır.

Türbülans

Enerji üretimini olumsuz etkileyen unsurlardan birisi; aniden ortaya çıkan hava hareketinin düzensizliği şeklinde tanımlanan türbülanstır. Türbülansın oluşma düzeyi yükseldikçe enerji üretiminde verim o ölçüde azalma göstermektedir (Janardan & Nelson, 1994).

Türbülans, rüzgâr türbinlerinin kanatlarına etki eden kuvvetlerin şiddetlerini artırmakta ve türbin materyallerinin yıpranmasını hızlandırmaktadır; bu durum genel olarak rüzgâr türbinlerinin ömrünü kısaltmaktadır (Manwell vd, 2002; Lettau, 1969). Bu nedenle düşük türbülans olasılığı bulunan, hareketi ve hızı düzenlilik gösteren rüzgarın bulunduğu, ormanlık ve yerleşim alanlarından uzak 100m veya üzeri yüksekliklerdeki alanlar türbinler için en uygun şartları karşılamaktadır (Amano & Sunden, 2014; Manwell vd, 2002; Lettau, 1969).

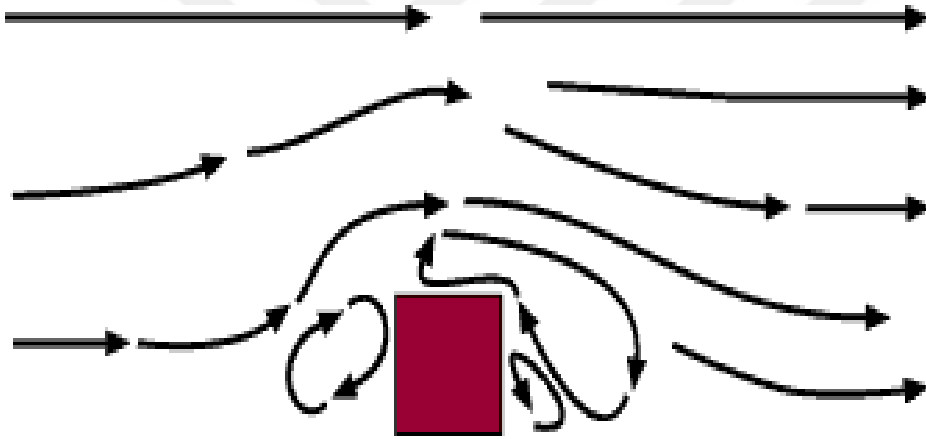
Rüzgarların ortalama hızları ve bu hızlarda görülen dalgalanmalardan dolayı oluşan standart sapma, türbülans şiddetinin tespit edilmesinde kullanılmaktadır. Buna göre rüzgâr hareketlerinin 0-3m/s standart sapma aralığında olması, rüzgâr enerji santrallerinin kurulması için uygunluk ölçütüdür (Janardan & Nelson, 1994; Lettau, 1969). Rüzgarların

standart sapma değerinin ortalama rüzgâr hızına bölünmesi ile hesaplanan türbülansın yoğunluğu birimi olmayan bir ölçüdür.

Türbülans yoğunluğuna göre alanlar $>0,25$ gibi bir değerde ise yüksek derece türbülanslı; $0,1-0,25$ değer aralığında orta derece türbülanslı; $0-0,1$ değer aralığında düşük türbülanslı alan olarak sınıflandırılmaktadır. Buna göre, türbülans yoğunluğu $>0,25$ değerinde olan alanlarda rüzgâr türbülerinin kurulması uygun görülmemektedir (Manwell vd, 2002; Lettau, 1969).

Rüzgâr engelleri (perdeleme etkisi)

Rüzgâr hareketlerini bloke eden unsurlar (yerleşim alanları, gökdelenler, ormanlar vb.) rüzgâr hızına önemli derece azaltan bir etkide bulunmaktadır ve sıklıkla türbülans oluşmasına neden olmaktadır.



Şekil 2.3. Bir engel etrafında rüzgâr akışı

Yukarıda yer alan şekilde bir engelle karşılaşan hareket halindeki havanın uğradığı durumlar gösterilmektedir. Buna göre bu engelin irtifasında 3 türbülans alanına işaret edilebilmektedir. Engelin yüzeyindeki pürüzlülük bu türbülans yoğunluğuna etki eden bir diğer unsurdur. Söz konusu türbülansın en belirgin olduğu alanlar engelin arkasında ve önünde oluşmaktadır. Bu engeller rüzgârın hareketini ve hızını kararsız bir hale getireceği için türbinlerin engellerin bulunmadığı alanlarda kurulması gerekmektedir. Bu nedenlerle, rüzgâr santrallerinin kurulum planlarında engeller göz önünde bulundurulacağı gibi türbinler arası mesafeler de önemli olmaktadır. Türbinlerin 1km'den daha az mesafelerde ve rüzgâr hareketi doğrultusunda kurulması rüzgâr engelliliğini artıracığı için aralarındaki mesafenin buna göre düzenlenmesi gerekmektedir (Lee vd, 2002).

Tünel etkisi (tunnel effect)

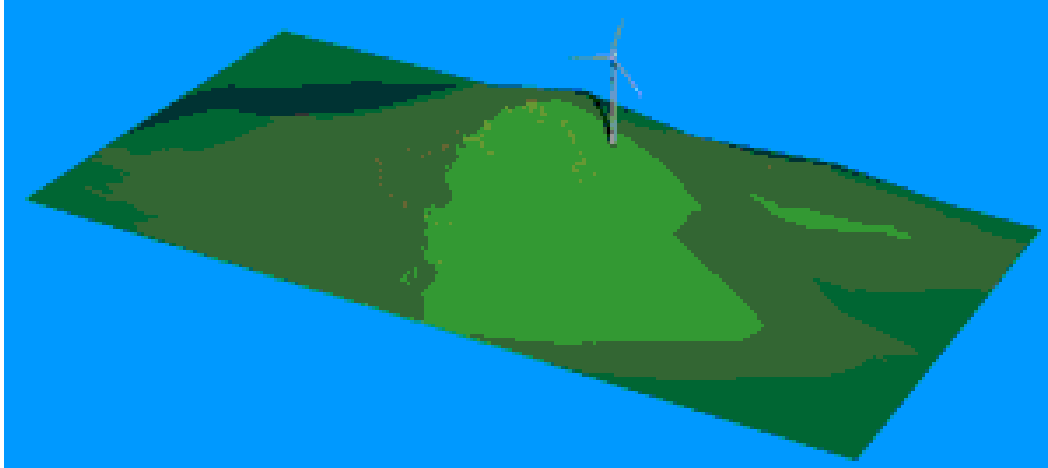
Vadilerde, dağların veya gökdelenlerin arasında hareket eden rüzgârın, bu alanlarda hava hareketlerinin çapışması nedeniyle hızında ortaya çıkan artış tünel etkisidir (Janardan & Nelson, 1994; Lettau, 1969).

Tünel etkisi planlamalara ve hesaplamalara dahil edilerek türbinlerin alan içinde konumlandırılması enerji üretiminde rüzgârın enerjisinden daha etkin bir biçimde yararlanılması enerji üretimi için olumlu bir unsurdur. Tünel etkisininin maksimize edilebilmesi için türbinlerin kurulduğu alanların pürüzsüz ve engelsiz olması ve yumuşak yapıların arasında bulunması gerekmektedir (Gipe, 2003; Mathew, 2006; Lettau, 1969)

Bu durumlar göz önünde bulundurulmadığında, türbinlerin kurulduğu alanlarda kararlı bir tünel etkisi gözlenmeyeceği gibi oluşan türbülans daha fazla sayıya çıkacaktır. Bu durumlar türbinlerde yorulma, yıpranma ve enerji üretiminde verimsiz bir devamlılığı ortaya çıkarmaktadır (Gipe, 2003; Tong, 2010; Amano & Sunden, 2014; Lettau, 1969).

Tepe etkisi (hill effect)

Türbinlerin kurulma alanlarında başvuru tercihlerinden birisi türbinin doğrudan bir tepenin üzerine kurulmasıdır. Tepe etkisi Şekil 2.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Tepe etkisi örneği

Hava hareketlerinin yoğunlaştığı doğrultularda geniş alanların yer alması söz konusu ise bu durum türbin kurulumlarında üstünlük sağlamaktadır. Tepelerde esen rüzgarların hızları alçak bölgelere göre daha yüksek olduğu açıktır ancak rüzgarın ritmi türbinden geçtikten sonra bozulmaktadır ve tepelik bölgenin çok engebeli veya dik olması durumunda türbülansa dikkat edilmesi gerekmektedir.

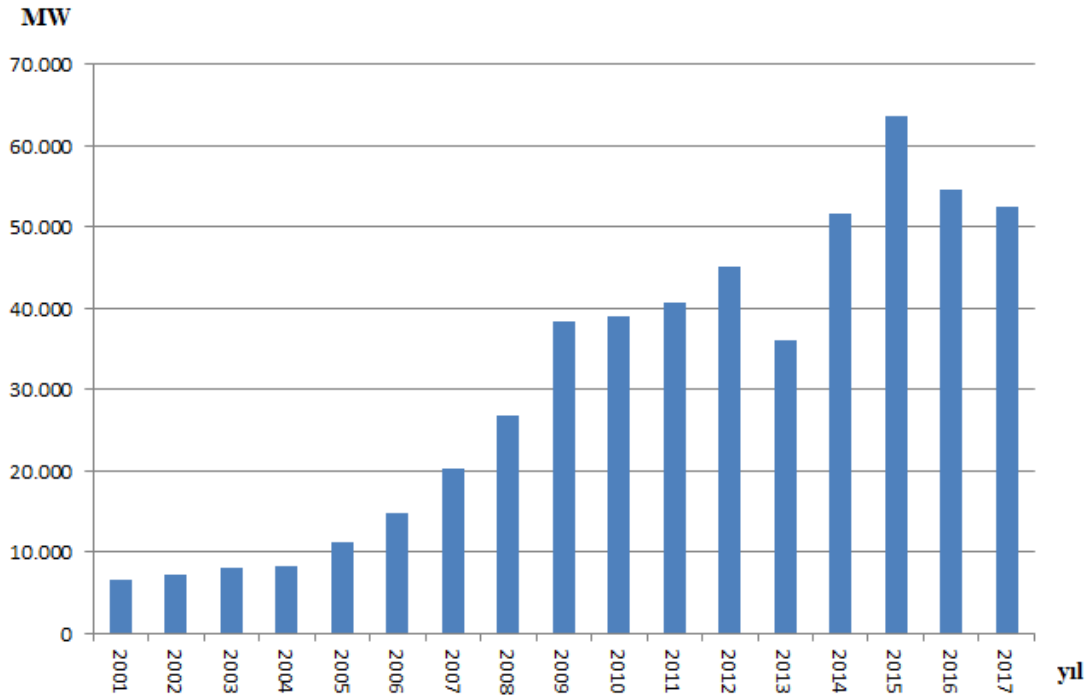
2.5. Rüzgar Enerjisi İhtiyacı

2.5.1. Küresel ölçekte rüzgar enerjisi ihtiyacı ve mevcut durum

Dünyada kaynağı ne olursa olsun üretilen enerjinin ekonomik ve politik etki ve sonuçları bulunmaktadır. Buna göre, dünyadaki enerji kaynaklarının potansiyelinin, yararlanılması esnasında ortaya çıkabilecek problemlerin ve bunlara yönelik geliştirilen teknolojiler açısından detaylı analizlerde bulunulması gerekmektedir (Koç ve Şenel, 2013).

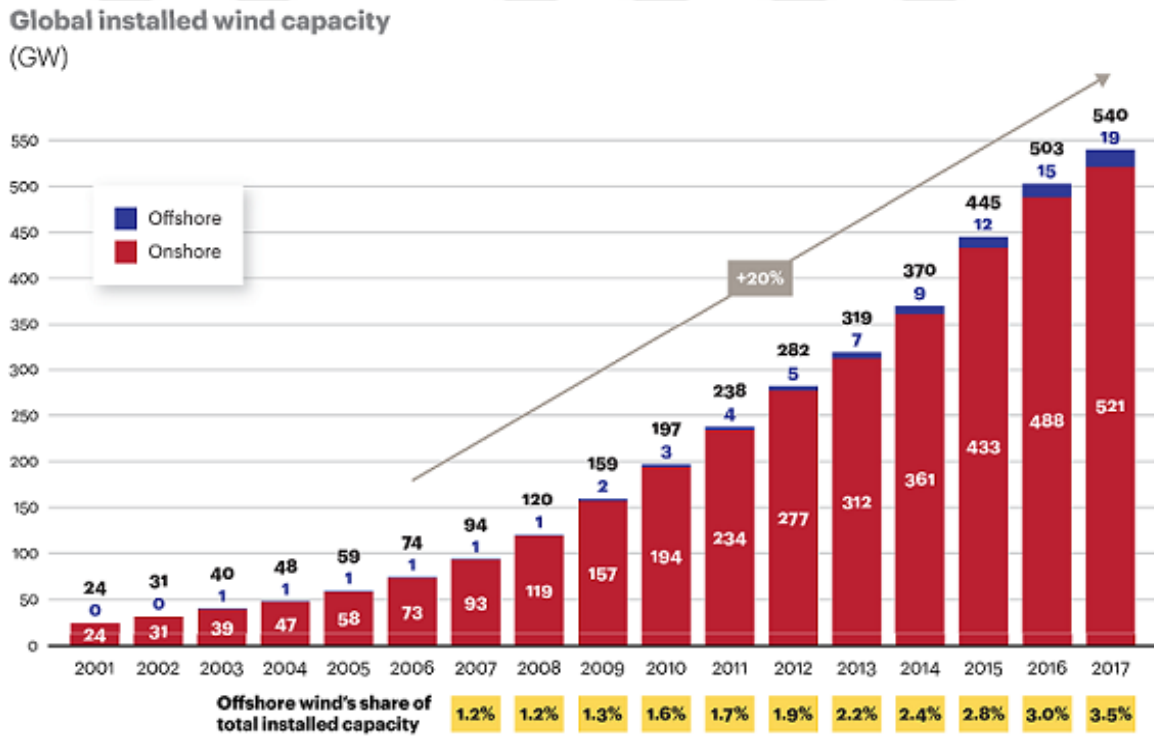
Pekçok ülke tarafından rüzgâr enerjisinden yararlanmak için önemli teknolojik ve altyapı yatırımları ile araştırmalar yapılmaktadır. Dünya genelinde rüzgâr enerjisi gücünün 189 000 TWh/yıl ve yararlanılabilecek rüzgâr enerjisi gücünün 53 000 TWh/yıl civarında olduğu hesaplanmıştır (Tomabechei, 2010). Küresel ölçekte 2018'in sonuna kadar yenilenebilir ve temiz enerjinin %24,55'i rüzgâr enerjisi sistemlerinden üretilmiş ve dünyada kurulu rüzgâr enerjisi kapasitesi 539 GW'a kadar yükselmiştir (GSR, 2018).

Geçtilen dönemler içinde, dünyada kurulu rüzgar enerjisi kapasite artışlarının izlediği yola bakıldığında; 2001 yılında ulaşılan 6 500 MW'lık düzey, 2007'de 20 310 MW ve 2017'de 52 492 MW'a kadar yükselmiştir. Dünya genelinde kurulu rüzgar enerjisi kapasitesinin yıllara göre artışı Şekil 2.5.'de aktarılmıştır (Suomen, 2019).



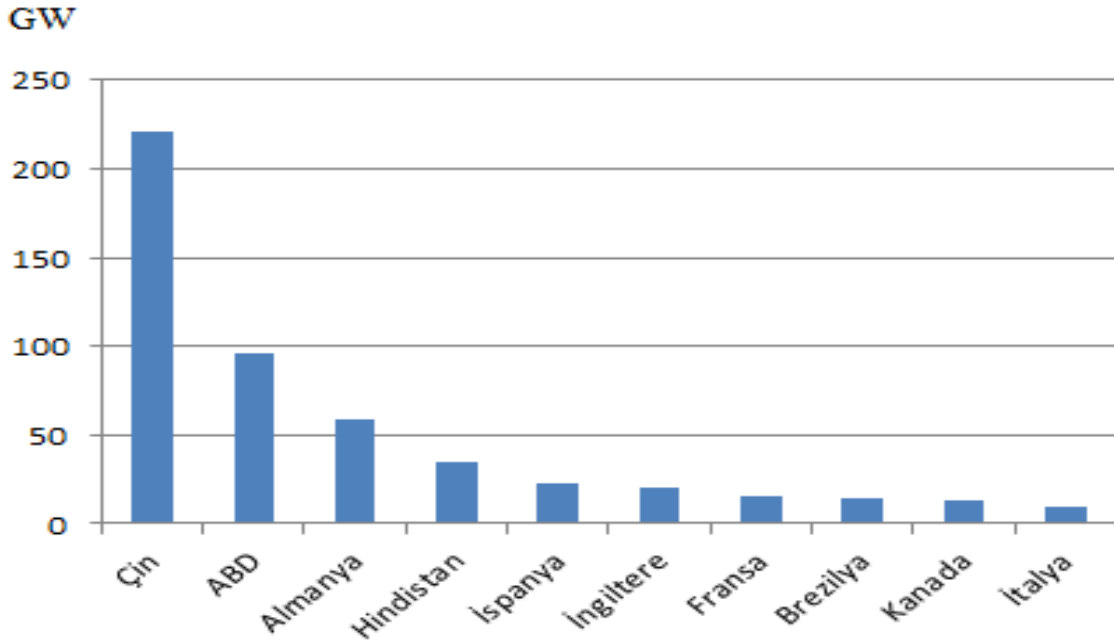
Şekil 2.5. Dünya'da kurulu rüzgar enerjisi kapasitesinin yıllar bazında değişimi, (Durak & Özer, 2008)

Şekil 2.5.'e bakıldığında, 2006'ya kadar sabit bir artış oranı izleyen kurulu rüzgar enerjisi kapasitesi, 2006-2010 yılları arasında önemli oranda gelişme kaydetmiştir. Bu gelişmenin yaşanmasında devletler tarafından getirilen yasal düzenlemeler, arazi tercihlerinde ve maliyetlere yönelik devletin doğrudan desteği, üretilen enerjinin tüketilmesine dair garantiler sunulması önemli rol oynamıştır (Durak & Özer, 2008). Buna göre dünya genelindeki toplam kurulu rüzgar gücü kapasitesi 2001'de görülen 24 GW'lık seviyesinden, 2017 yılında 540 GW seviyesine kadar genişlemiştir. Dünya genelinde kurulu rüzgar enerjisi kapasitesinin izlediği yol aşağıdaki şekilde incelenmiştir (Suomen, 2019). Buna uygun olarak, küresel boyutta rüzgâr enerjisinden yararlanılması için geçilen dönemler içinde önemli düzeyde ağırlık verildiği ve yatırımlar yapıldığı görülmektedir.



Şekil 2.6. Dünya'da rüzgar kurulu gücünün yıllar içerisindeki değişimi

2018 yılı verilerine göre kurulu rüzgar enerjisi üretim kapasitesine göre Çin, 221 GW ile diğer ülkelere göre açık ara lider durumdadır. Küresel olarak rüzgar gücü üretim kapasiteleri konusunda ilk 10 ülke Şekil 2.7.'de belirtilmiştir (Irena, 2019).



Şekil 2.7. 2018 yılı verilerine göre rüzgar enerjisi üretim kapasitesi bakımından ilk 10 ülke, (Irena, 2019)

Çin'in arkasından Amerika 96,4 GW ile 2. sırada olup 3. sırada ise 59,3 GW ile Almanya bulunmaktadır. İlk üç sonrasında sırasıyla Hindistan, İspanya, İngiltere, Fransa, Brezilya, Kanada ve İtalya gelmektedir (Irena, 2019).

2.5.2. Türkiye'de rüzgar enerjisi ihtiyacı ve mevcut durum

Enerji dünyanın en önemli ve en hızlı çözülmesi gereken sorunlarından birisidir. Gelişmekte olan veya 3. dünya ülkelerinde enerji kritik bir öneme sahiptir. Enerji, her dönem maliyeti daha da artan toprağın işlenmesi, emek ve sermaye ile üretimin sağlanmasına etki eden en önemli unsurdur (Sür, 2007).

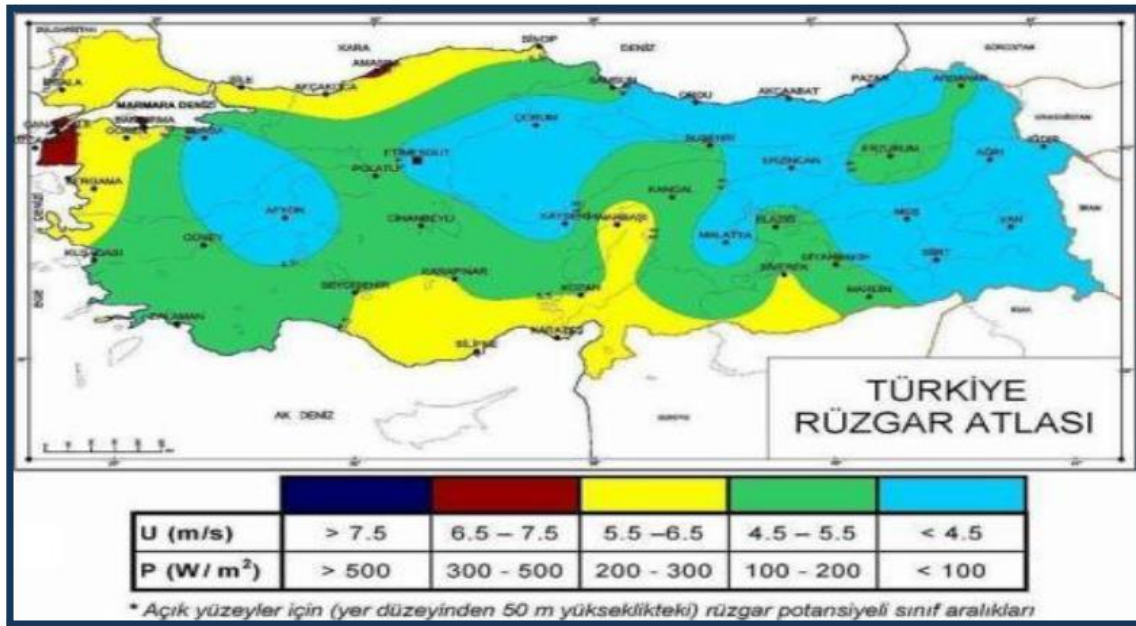
Türkiye, coğrafi açıdan oldukça stratejik bir konuma sahip ve sınırlarının üç tarafı denizlerle çevrili bir ülkedir. Karasal ve denizsel bölgelerde oluşan havanın basıncının sürekli değişmesi Türkiye'yi rüzgâr enerjisi potansiyeli zengin bir ülke pozisyonuna getirmektedir. Türkiye'nin rüzgâr enerjisi potansiyelinin tespit edilmesi doğrultusunda yürütülen ilk araştırma, Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) tarafından 1970-1980 arasında gözlenen meteorolojik verilerden hareketle değerlendirme yapılması olmuştur.

Rüzgârın enerji üretimine yönelik kullanılabilmesi, Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından belirtilen unsurlar ve ölçümler uyarınca belirlenmektedir. Buna göre en az 1 yıllık

zaman içinde 10'ar dakikalık veya 1'er saatlik periyotlar ile yapılan rüzgârın hızı ve yönü, sıcaklık ölçümleri aktarılarak hesaplanmaktadır (Karamanlıoğlu, 2011, Taşkın, 2013).

DMİ ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) ortak bir çalışma ile 2002 yılında Türkiye Rüzgâr Atlası'nı yayınlamıştır. Bu çalışmaya göre Türkiye'nin sahip olduğu rüzgâr enerjisi potansiyeli 88 GW, ticari olarak 10 GW seviyesinde olduğu görülmektedir (Karamanlıoğlu, 2011).

50m'lik irtifada ve açık alanlarda rüzgâr potansiyeli aralıklarına Harita 2.2.'de gösterilen rüzgar atlasında yer verilmiştir.



Harita 2.2. Türkiye rüzgâr atlası, (EİGM, 2019b)

2010 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve TÜBİTAK Uzay ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü ortak çalışmaları ile Türkiye'de rüzgar enerjisi potansiyelinden maksimum düzeyde yararlanılması için daha fazla rüzgar enerjisi santralının kurulabilmesi amacıyla "Rüzgârdan Üretilen Elektriksel Güç İçin İzleme Tahim ve Yönetim Sistemi" adlı proje hayata geçirilmiştir (Karataş, 2009).

Türkiye'nin coğrafi bölgelerine göre rüzgâr enerjisi potansiyelinin gösterdiği dağılıma Çizelge 2.5.'de yer verilmiştir.

Çizelge 2.5. Türkiye’de rüzgâr enerji potansiyelinin bölgelere dağılımları(EİGM,2019b)

Bölge	Rüzgar Enerjisinin Ortalama Yoğunluğu (W/m²)	Rüzgarın Ortalama Hızı (m/s)
Marmara	51,91	3,29
Güneydoğu Anadolu	29,33	2,69
Ege	23,47	2,65
Akdeniz	21,36	2,45
Karadeniz	21,31	2,38
İç Anadolu	20,14	2,46
Doğu Anadolu	13,19	2,12

Bu çizelgeye göre Türkiye’de rüzgâr enerjisi potansiyelinin en yüksek seviyede olduğu bölgenin Marmara bölgesi, en düşük seviyede olduğu bölgenin Doğu Anadolu bölgesi olduğu görülmektedir (Yılmaz, 2012).

3. RÜZGAR TÜRBİNLERİ

3.1. Rüzgâr Türbinleri Nedir?

Rüzgâr türbini, rüzgâr kuvveti ile içerisinde bulunan jeneratörün döndürülmesi ile elektrik enerjisi üreten sistemlerdir.

Bir rüzgâr türbini kule, nacelle, türbin trafosu, jeneratör, dişli kutusu, ana mil, kanat bağlantı bölümü ve kanatlardan oluşur.

Bir rüzgâr türbininde, türbinlerin teknolojik seviyelerine göre kanatlar dakikada 13 ila 20 devir arasında dönmektedir. Ortalama 25 yıllık bir yaşam döngüsüne sahip olan rüzgâr türbinlerinin ömürleri, rüzgâr enerjisi teknolojilerinin hızla gelişmesiyle birlikte daha uzun süreli olacağı belirtilmektedir.

3.2. Rüzgâr Türbinlerinin Kullanım Amaçları

Dünya genelinde alternatif enerji kaynaklarına olan yönelme rüzgâr enerjisinin ne olduğu ve nasıl kullanıldığı sorularının yanıtlanmasını önemli bir hale getirmektedir. Hidroelektrik santrallerinin akarsu yataklarında yarattığı değişimler, nükleer ve termik santrallerinin çevre ve doğa için oluşturduğu tehdit dünyanın her bölgesinde alternatif enerji kaynaklarına olan sempatiyi artırmıştır. Yine de rüzgâr enerjisinden küresel çapta yeteri kadar yararlanılmadığı ifade edilebilmektedir. Bugünkü yerleşim ve kentsel yapılanmaları rüzgâr enerjisinden her alanda yararlanılmasını engellemektedir. Diğer açıdan, yeni kentleşme planları ve sürdürülebilir mimari anlayışlar ile rüzgâr ve solar enerjinin ön plana çıkmasıyla bu durumun değişebileceği söz konusu olmaktadır.

Başta, sürdürülebilir proje yatırımları ile rüzgâr enerjisi büyük önem kazanmaktadır. Yerleşim alanlarında ve işletmelerin kendi enerjilerini ürettiği projelerde rüzgâr türbinlerine başvurulmaktadır. Bugün dahi birçok sürdürülebilir mimari anlayışları ile hayata geçirilmiş projelerde rüzgâr türbinleri sayesinde kendi enerjilerini karşılayan yapıların bulunduğu bilinmektedir. Bu enerji üretim modeli ile yakın gelecekte önemli ölçüdeki taleplerin karşılanacağı öngörülemese de otonom enerji sistemleri ile gelişmesi mümkün olmaktadır (Zafar, 2018).

Sanayi: Üretim sanayi ve ticari işletmelerin enerji taleplerine ana şebeke hatlarının dışında bir kaynaktan yanıt verilmesi; o bölgedeki elektrik dağıtım sistemleri ve kuruluşların enerji maliyetleri açısından önemli bir unsurdur. Türkiye’de faaliyet gösteren enerji kuruluşlarından birçoğu enerji ihtiyacınının karşılanmasında rüzgâr enerjisine

başvurmaktadır. Enerji üretiminin geneline bakıldığında henüz çok yaygın olmadığı görülse de lojistik gibi alanların enerji ihtiyacı, rüzgar enerji santralleri aracılığı ile giderilmektedir.

Tarım: Tarım, Türkiye’de rüzgâr enerjisinden en fazla yararlanan alandır. Zirai üretim aşamalarında kullanılan sulama ve öğütme işlemleri rüzgâr enerjisiyle gerçekleştirilmektedir.

Yerleşim alanları: Rüzgâr enerjisi ile yerleşim alanlarının enerji ihtiyacının karşılanması henüz gelişmiş bir durumda değildir ancak proje bazlı örnekleri görülmektedir.

Enerji yönetimi: Su dağıtım şebekeleri için en uygun enerji çözümünün rüzgâr enerjisi tarafından sağlandığı belirtilebilmektedir. Öncelikle, suyun depolanması işlemlerinde rüzgâr türbinlerinden yararlanılmaktadır. Yerleşim alanlarının su dağıtım sistemlerinde, arıtma tesislerinde, içme suyunun üretildiği veya depolandığı alanlarda rüzgâr enerjisinden yararlanılması yerinde bir yaklaşımdır.

Rüzgâr enerjisi, doğru ve uygun araştırma ve planlamalar yapıldığı müddetçe bölgelerin ekosistemleri için faydalı bir enerji üretim tekniği olması ile birlikte yenilebilir bir enerji kaynağıdır. Günümüzde rüzgâr enerjisi santrallerinin enerji ihtiyacını karşıladığı başlıca alanlar şunlardır:

- Bahçe, park ve sokak aydınlatmaları
- Soğutma sistemleri
- Su depolama sistemleri
- Su pompalama sistemleri
- Soğutma
- Zirai öğütme işlemleri
- Lojistik

Türkiye’de henüz rüzgar enerjisinden üretilen elektrik enerjisi daha çok kurumsal taleplere yönelik kurulmuş olsa da yakın zamanda hanelerin enerjisinin karşılanması noktasında da rol oynayacağı belirtilmektedir (Zafar, 2018).

3.3. Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması

Elektrik enerjisi üretiminde kurulan rüzgâr türbinleri türleri ve boyutları bakımından değişiklik göstermektedir. Türbinler aralarında güç kontrol sistemleri, rotor devri, dönüş eksenlerine göre sınıflandırılmaktadır.

3.3.1. Eksen tiplerine göre rüzgar türbinleri

Yatay eksenli türbinler

Rotoru rüzgâra paralel ve türbin kanatlarının rüzgâra dik açıda bulunduğu türbinler yatay eksenli türbinlerdir. Verimi yüksek olduğu için yaygın bir şekilde tercih edilmektedir.

Yatay eksenli türbinlerde verim alınabilmesi için rotorun rüzgârın hareket yönünde konumlandırılması gerekmektedir. Buna göre, rotor türbin kulesinin üzerinde dönebilen bir platforma kurulmaktadır. Bu türbinler dikey eksenli türbinlere göre daha verimlidir. Kanat sayısının azalmasına göre rotorun dönme hızı artmaktadır. Kanatın ucundaki noktasal hız (λ)'a göre; $\lambda > 15$ ise tek kanatlı rotor; $\lambda = 9-15$ ise çift kanatlı rotor; $\lambda = 6-8$ ise üç kanatlı rotor; $\lambda = 1-5$ ise 4 ya da daha fazla kanatlı rotor tercih edilmektedir (Şenel & Koç, 2014).



Şekil 3.1. Yatay eksenli rüzgar türbinleri, (Şahin & Yavrucuk, 2017)

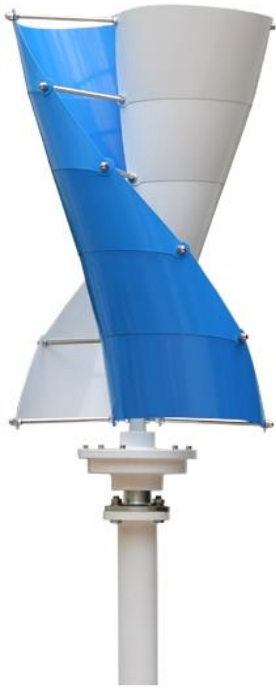
Dikey eksenli türbinler

Rotorun ve aksanda yer alan milin rüzgârın yönüne göre dik açıda bulunduğu türbinler dikey eksenli türbinlerdir. Darrieus, Savonius vb. türleri bulunmaktadır. Diğer türbinlere oranla deneysel bir amaçla hazırlandıkları için rüzgâr enerjisi santrallerinde çoğunlukla tercih edilmemektedir.

Milin eksen olarak kabul edildiği durumda kanatları elips şeklindedir. En önemli üstünlüğü bütün yönlerden esen rüzgarlar tarafından çalıştırılabilmesidir. Yaw mekanizmasını zorunlu kılmamaktadır. Diğer yandan, jeneratörün ve dişlilerin kule gibi yükseğe yerleştirilmesini

gerektirmemektedir. Mil dışında kalan parçalarının bakımı kolaydır ve yeryüzü seviyesinde bulunduğu için enerji aktarımını kolaylaştırmaktadır (Alpman, 2015).

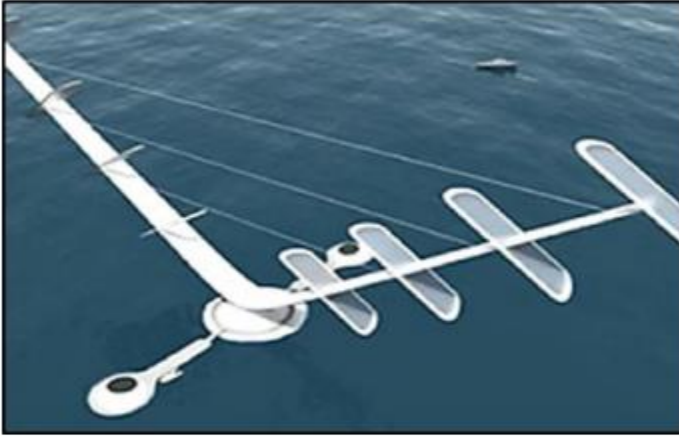
Yeryüzüne yakın yerleştirildikleri için rüzgâr türbinin alt noktalarında düşük hızda esmektedir. Bu türbinler rüzgârı sürüklemekte veya hareketini yükseltmektedir. Elektrik enerjisinin üretilebilmesi için kanat hızlarının rüzgâr hızlarından fazla olması gerekmektedir. Bu nedenle harekete başladıkları anda beklenen verim ortaya çıkmamakta ve hareket bir motor aracılığıyla başlatılmaktadır. Dikey eksenli türbinlerde verim yatay eksenli türbinlere oranla çok az olması; sabit durabilmeleri için destekler yerleştirilmesi; türbin milinin bakımı için türbinin tamamen elden geçirilmesi gerektiği için kullanımı yaygın değildir. Dikey eksenli rüzgâr türbinlerine Şekil 3.2.'de yer verilmiştir.



Şekil 3.2. Dikey eksenli rüzgâr türbinleri

Eğik eksenli türbinler

Dönme eksenini dikey ve rüzgârın doğrultusu ile açı yapacak şekilde kurulan türbinlerdir. Bu türbinlerde dönüş eksenini ile kanatlar sabit bir açı yapmaktadırlar (Graham-Rowe, 2008). Eğik eksenli rüzgâr türbinlerine Şekil 3.3.'te yer verilmiştir.



Şekil 3.3. Eğik Eksenli Rüzgar Türbinleri, (Graham-Rowe, 2008)

3.3.2. Ürettiği güç potansiyeline göre rüzgar türbinleri

Rüzgâr türbinleri aralarında ürettikleri elektrik enerjisi kapasitelerine ultra, büyük, orta, küçük ve mikro türbinler olarak gruplandırılmaktadır. 10MW'tan daha fazla enerji üreten türbinler, ultra türbinler olarak adlandırılmakta ve zaman içinde sayısı artmaktadır. 10 MW'a kadar enerji üretimi gerçekleştiren türbinler büyük türbinlerdir ve günümüzde yaygın olan türbin grubudur. 100 kW'tan 1 MW'a kadar enerji üreten orta türbinlerdir. Orta rüzgâr türbinleri, dağıtılmış enerji, rüzgâr enerjisi santralleri, hibrit santraller vb. alanlarda kullanılmaktadır. 100 kW'a kadar enerji üretebilen küçük türbinler meskenlerde, telekom sistemlerinde, uzaktan kumanda edilen bölgesel sistemler, su pompa istasyonları vb. ihtiyaçlara yönelik tercih edilmektedir. Bu rüzgâr türbinleri bölgesel elektrik enerjisi ihtiyacına yanıt verebilirken elektrik dağıtım hatlarının kapasitesinin artırılması gereksinimlerini erteletebilmektedirler. Mikro türbinler, elektriğin ulaştırılmadığı bölgelerde, su pompa sistemleri ve sokak aydınlatması gibi alanlarda kullanılmaktadır (Tong, 2010).

3.3.3. Şanzıman tiplerine göre rüzgar türbinleri

Rüzgâr türbinleri, dişli bir sürücü sistemine sahip, bir aktarma mekanizması bulunmayan doğrudan tahrikli ve zincir-kayış sistemli olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır.

Sürücülü şanzımana sahip rüzgar türbinleri

Dişli kutulu rüzgâr türbinlerinde, rotorun bağlı olduğu ve dönme hızı az olan mekanik enerjinin, kontrollü bir dönüşüm oranında rotorun bağlı olduğu şaftın hızını artıracak şekilde aktarılması görevini yapmaktadır. Bu türbinlere az kutuplu ve devri yüksek olması nedeniyle

asenكرون jeneratörler yerleştirilmektedir. Önceleri, sabit hızlı türbinlerdeki asenكرون jeneratörlere üç aşamalı dişli kutuları yerleştirilmiştir (Bang vd, 2008). Bu dişli kutularının devamlı olarak, değişken rüzgâr hızlarına ve türbinlerin boyutlarına bağlı olarak torqları değişime uğradığı için rüzgar türbinlerindeki en kırılğan parça olarak bilinmektedir. Mekanizma yuvasında geniş yer tutması, arızalanma riskinin yüksek olması ve dolayısı ile sürekli bakım ve yağlama gerektirmesi, %70'e yakın verimlilik kaybına neden olması, kule içinde ağırlığa neden olması dişli kutularının tercih edilmesi noktası eksi yönleridir (Letcher, 2016; Kashyap, 2013; Polinder vd, 2006). Bugünün rüzgâr enerjisi santrallerinde mekanik enerjinin dönüştürülmesi ve jeneratör sistemlerinin gelişmesi dolayısı ile doğrudan tahrikli türbin sistemler tercih edilmektedir.

Direkt tahrikli şanzımana sahip rüzgar türbinleri

Türbin rotoru ile jeneratörün aynı şafta bağlı olduğu ve herhangi bir mekanik enerji çevirme sisteminin bulunmadığı rüzgâr türbinleridir. Bu türbinlere çok kutuplu senكرون jeneratörler yerleştirilmektedir (Stiebler, 2008). Bu nedenle, türbinlerde rotor hızı düşük olmasına rağmen tork yüksektir ve dişli mekanizması kutulu sürücü sistemlerine göre daha basittir ve türbinin bakım periyodu daha geniş vadelidir. Bu türbinler daha az gürültü çıkartmakta ve verimliliğin daha yüksek olmasını sağlamaktadır. Dişli kutulu sürücülü türbinlere göre bakım masrafları azalmakta ancak üretilen enerjinin artması ve düşük hızda çalışması jeneratörün daha büyük boyutlu olmasını gerektirdiğinden pahalı türbin sistemleri üretilmesine neden olmaktadır (Polinder vd, 2006). Enerji üretiminde verimlilik ve güvenilirlik söz konusu olduğunda deniz üstü rüzgâr türbinleri en doğru yatırım olmaktadır.

Zincir veya kayışla tahrik sistemine sahip rüzgar türbinleri

Rüzgâr enerjisi santrallerinde kullanılsa da dişli kutulu bir sürücü yerine zincir-kayış sürücüleri bulunan rüzgâr türbinleri bulunmaktadır. Kanatların bağlı olduğu şaftı ile türbinin (jeneratörün) şaftı arası mesafenin uzaması durumunda zincir-kayış sistemlerine başvurulmaktadır (Hemami, 2012). Diğer yandan zincir-kayış sistemlerinin yüksek hızlara dayanabilir olması gerekmektedir. Hobi amaçlı geliştirilen türbinlerde dişli kutulu sürücüler yerine tercih edilmektedir.

3.3.4. Şebeke bağlantı tiplerine göre rüzgar türbinleri

Şebeke bağlantısı(on-grid) olan rüzgar türbinleri

Rüzgâr enerjisi çok aşamalı bir enerji üretimi türüdür. Üretilen elektrik enerjisi şebekelere aktarılmadan önce bazı aşamalardan geçmektedir. Şebeke ağına bağlı türbinler, devri yüksek olup 2 veya 3 kanatlı şekilde yapılmaktadır. Suyun pompalanması için yapılan türbinler çok kanatlıdır ve devri düşüktür. Şebeke ağına bağlı rüzgâr enerjisi santralleri bölgesel enerji talebine yanıt verebileceği gibi çok sayıda şebekenin bulunduğu bölgelerde elektrik enerjisi şebekeye de aktarılmaktadır. Günümüzde kurulu büyük türbinli rüzgâr enerji santralleri şebeke bağlantısı bulunan ve çok sayıda türbinlerin bulunduğu rüzgâr enerjisi çiftlikleri şeklindedirler. Merkezi elektrik şebekelerine elektrik enerjisi sağlayan türbinler en yaygın sistemlerdir. Yerel dağıtım şebekelerine aktarılan enerji yerel firmaların taleplerine de yanıt verebilmektedir. Üretimi sağlanan enerjinin kullanıcılara aktarılması için elektrik iletim hatlarına gereksinim vardır. Üretilen elektriğin gerilimi yükseltilerek yüksek gerilim hatlarına aktarılmakta ve kullanıcı bölgelere ulaştırılmaktadır. Tüketici bölgelere ulaşan elektriğin gerilimi, trafolar aracılığı ile tekrar 220V veya 380V'e düşürülmekte ve tüketicilere aktarılmaktadır. Bu şekilde aktarım esnasında kaybedilen enerji en az düzeye çekilmektedir. Elektriğin dağıtılmasında kullanılan trafolar, direkler ve iletim hatları bilindiği üzere maliyeti olan yapılardır ve bu maliyetlerin en aza indirilebilmesi için rüzgâr enerjisi santrallerinin elektriğin verileceği bölgeye yakın olması ve uygun kalitede malzemelerin kullanılması gerekmektedir. Gelişmiş ülkelerde basit sigortalı ayırıcılar ile her bir türbin bir trafo aracılığı ile şebekeye bağlanarak kurulan rüzgâr enerjisi santrallerinde görevli bir operatör olmadan çalışmaya devam edebilmektedir. Bu santraller otomasyon sistemleri ile kontrol edilmekte ve bir aksaklık çıktığında uzaktan kontrol edilebilmektedir. Türkiye'de türbinlerin, trafoların ve dağıtım hatlarının güvenliği için ayırıcı, kesici gibi ek mühimmat ve kablo kaynaklı arızalara karşın ring sisteminin kurulması zorunlu kılınmıştır (Özgür, 2002).

Şebeke bağlantısı olmayan(off-grid) rüzgar türbinleri

Şebeke bağlantısı bulunmayan rüzgar enerjisi türbinleri genel olarak üç kanatlı türbinler, doğru akım (DC) jeneratörü, yönlendirici kuyruk, akü, fren ve transmisyon sisteminden oluşmaktadır. Üretilen DC elektrik akü aracılığı ile depolanmaktadır. 10-100kW arası elektrik üretilebilir olmasına rağmen genel olarak 30kW civarında elektrik üretilmektedir.

Bu rüzgar enerjisi sistemleri, yedek enerji kaynakları dizel jeneratörlerle eşsürelî işletilmektedir. Bu tür sistemlerde dizel jeneratör rüzgar enerjisi sayesinde %40-50 oranında yakıt tasarruf sağlanarak elektrik enerjisi üretilmektedir ve tüketicilere bu enerji DC/Alternatif akım (AC) konvertörü ile AC olarak sunulmaktadır. Bu gibi sistemlere özellikle kırsal veya ana şebekeye bağı olmayan bölgelerde başvurulmaktadır. Rüzgarsız koşullarda aküde depolanmış olan enerji kullanılmaktadır. Türkiye’de 10kW’tan daha az enerjilerde güneş ve rüzgar enerjisinin bir arada kullanan enerji üretim sistemlerine başvurulduğu görülmektedir. Bu sistemlere hibrit sistemler denmektedir. Örnek verecek olursak Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi’nde kurulmuş hibrid sistem Türkiye şebekesinden bağımsız ve tamamen yenilenebilir enerji kaynakları ile tasarlanmış bir sistem olup 300W rüzgâr türbini ve 100W’lık 3 adet güneş paneli olmak üzere toplam kurulu gücü 600W değerindedir. Bina çatısına kurulmuş bu sistem ile Üniversite içerisindeki bazı sınıfların aydınlatılması sağlanmaktadır (B. Yanıktepe & C. Özalp & M. M. Savrun & T. Köroğlu & Ç. Cebeci, 2011).

3.3.5. Kurulduğu konuma göre rüzgar türbinleri

Rüzgâr enerjisi santralleri kuruldukları bölgeler açısından kara üstü, deniz üstü olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Karaüstü (onshore) rüzgar türbinleri

Karaya kurulan rüzgâr türbinleri, dünya genelinde en çok alana sahip rüzgâr enerjisi santralleridir. Deniz üstü rüzgâr enerjisi santrallerine göre türbinlerin bakımı ve maliyetleri açısından daha avantajlı görülmelerine rağmen daha uzun kule yapılarını, belli bir bölgenin kullanımının sadece santrallere ayrılması, verimlilik ve gürültü gibi eksi yönleri bulunmaktadır (Hemami, 2012). Bu konudaki Ar-Ge çalışmaları, karada gittikçe kurulum alanlarının azalması ve deniz üstü santrallerin daha üstünlüklü olmalarından dolayı deniz üstü rüzgâr santrallerine yoğunlaşmıştır (Elibüyük & Üçgöl, 2014).

Denizüstü (offshore) rüzgar türbinleri

Denizlerin üzerinde ve şartlara göre özel dizayn edilen, bir temel üzerinde bulunan rüzgâr türbinleridir. Deniz bölgelerinde esen rüzgarlar daha hızlı ve sürekli ve diğer yandan karaya kurulan türbinlere göre daha büyük olması ile birlikte kurulum ve bakım maliyetlerinin fazlalığı söz konusudur (Hemami, 2012; Letcher, 2016). Söz konusu maliyet derinlik ve karadan uzaklığa doğru orantılıdır (Letcher, 2016). Türbinlerin kule yüksekliği

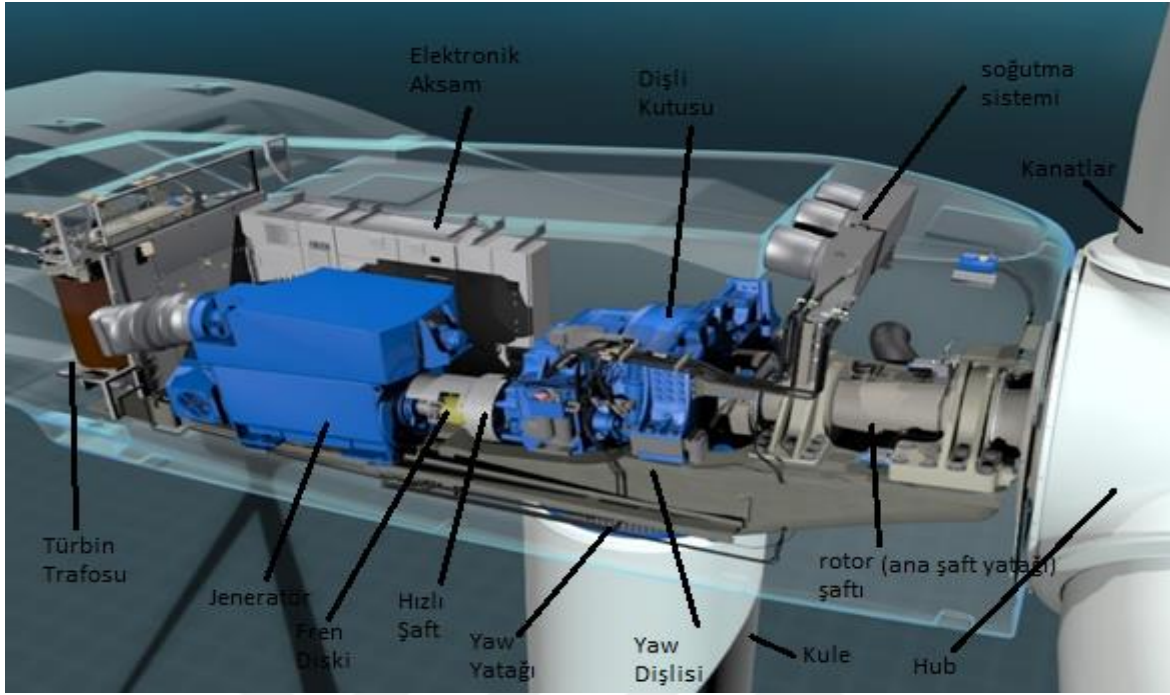
kara türbinlerine göre daha kısadır (Chowdhury, 2014). Derinliğin az olduğu durumlarda kule dibe yerleştirilmekte ve derinliğin fazla olduğu durumlarda kuleler yüzen temeller üzerine yerleştirilmektedir (Hemami, 2012). Diğer yandan olası aksaklık hallerinde dalgalar, derinlik, rüzgarın şiddeti ve hava koşulları nedeni ile türbinlere erişim kolay olmayabilmektedir (Chowdhury, 2014). Nem ve tuzluluk gibi donanımsal sorunlar çıkaran durumlara ve pahalı sistemler olması karşısında verimliliklerinin sürekliliğinin olması nedeni ile güçlü ve güvenilir enerji üretim sistemleri olarak değerlendirilmektedir (Hemami, 2012; Letcher, 2016). Onarım periyotlarını uzatmak ve maliyetlerini azaltmak, arıza risklerini düşürmek için doğrudan tahrikli senkron jeneratörlü türbinlerin tercih edilmesi olumlu sonuçlar sağlamaktadır.

3.4. Rüzgar Türbinlerinin Bileşenleri

Rüzgar türbinlerinin, minimal parçalar hariç ana hatlarıyla oluştuğu ana bileşenler aşağıdaki başlıklarda gösterilmektedir.

3.4.1. Türbin gövdesi

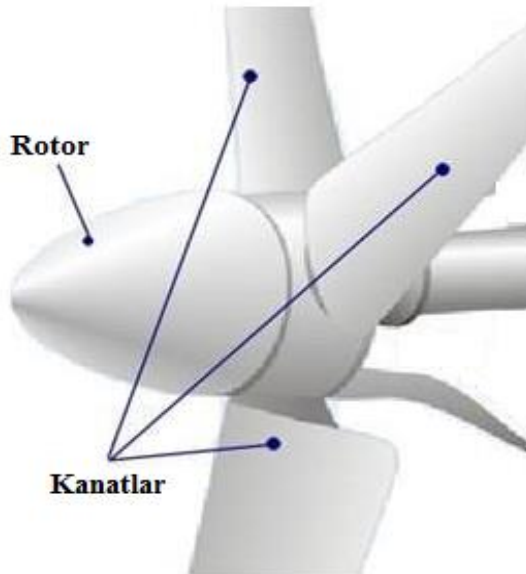
Rüzgâr türbinlerinde, kulenin tepesinde yer alan bölüm yaw dişlileri, yaw yatağı, jeneratör, ana şaft yatağı, soğutma sistemi, ana şaft, elektronik aksan, fren diski, hidrolik sistem gibi donanımların yer aldığı gövdedir. Gövdenin esas işlevi türbinlerin başat donanımlarının konumlandırılması, korunması ve rüzgarın hareketinin aerodinamik olarak daha akıcı hale getirmesidir. Gövde kısmına erişim kulelere yerleştirilmiş asansörler aracılığı ile yapılmaktadır (Durak & Özer, 2008).



Şekil 3.4. Türbin parçaları genel görünüş

3.4.2. Türbin rotoru ve kanatları

Türbinlerin kanatları rüzgârın hareketi ile dönmektedir ve bu mekanik enerji rotora aktarılmaktadır. Şekil 3.5.'de bir rüzgar türbininde rotor ve kanatlar görülmektedir. Rotor bu enerjinin şaft ve dişli kutusu aracılığı ile jeneratöre gönderen donanımdır. 600kW'lık bir türbinde kanatlar 20m (66 ft) uzunluğunda ve uçak kanatlarına benzer bir şekilde tasarlanmaktadır.



Şekil 3.5. Rotor ve kanatlar

Bir rüzgâr türbininden maksimum verimin elde edilebilmesi için kanadın tarama(süpürme) alanı ve kanadın aerodinamiği, atmosferik koşullar ve rüzgârın esme hızları, kule yüksekliği vb. unsurlar göz önünde bulundurulmalıdır. Bu unsurlar arasında belki de en önemlisi, rüzgârın taşıdığı enerjinin en fazla %59'u mekanik enerjiye dönüştürülebildiği için kanatların aerodinamik özelliğidir (Eker & Vardar, 2003).

Kanatların dizayn edilmesi rüzgar türbinlerinde büyük önem arz etmelerinden ötürü kanat dizaynları üzerinde uzun süren çalışmalarda bulunulmuş ve değişik kanat tipleri geliştirilmiştir. Rüzgar türbinlerinden daha fazla verim elde edilebilmesi için bu konuda teorik çalışmalar yürüten National Advisory Committee for Aeronautics (NACA) kanat tipleri örnek teşkil etmektedir (Yılmaz & Çam & Taştan & Karcı, 2016). Kanat tipinin önemli olmasının yanı sıra kanatların rotora bağlanma açıları da önem arz etmektedir. Güçlü türbinlerde kanatlar gereği gibi ayarlanabilmekte ancak küçük güçlü türbinler için bu açı olması gerektiği gibi belirlenmelidir. Şekil 3.6.'da modern rüzgar türbininde kanatların rotora bağlanma açılarının ayarlanabilme özelliği görülmektedir.

Bu konuda yürütülen bir araştırmada NACA'nın 4415 kanat tipi için uygun kanat ve torsiyon (burulma) açıları tespit edilmiştir. Türbinin kanat açılarının türbinin çalışması süresince devamlı olarak sabit kaldığına dikkat edilmiştir. Türbinin kanat ve torsiyon açılarını ve kanat sayılarının saptanması en verimli neticenin elde edilmesi için büyük önem taşımaktadır. Kanatlar 10° ve 20° torsiyon açıları yapacak şekilde üretilmiştir. 10° torsiyon açılı kanatlarda, 8° , 10° , 15° ve 20° torsiyon açılı kanatlarda 10° , 15° , 18° tercih edilmiştir. Bu deneyden elde edilen verilere göre, NACA 4415 kanat tipleri kullanılarak işletmelere yönelik bir türbin sisteminin kurulması durumunda yer alacak rotorun verim bakımından en yüksek düzeyin 10° torsiyon ve 10° kanat açılı 2 kanatlı türbinin daha yerinde olacağı belirtilmiştir (Eker & Vardar, 2002).

Kanatların üretilmesinde kullanılacak materyaller genel olarak camla güçlendirilmiş plastik (Glass reinforced plastic, GRP), ağaç, karbon fiberiyle kuvvetlendirilmiş plastik (Carbon Fibre Reinforced Plasti, CFRP), alüminyum ve çelik tercih edilmektedir (Walker & Jenkins, 1997). Ağaçlardan yapılan kanatlar dayanıklı olmamakla birlikte büyük türbinlerde CFRP materyaller kullanılarak kanat üretilmektedir ancak bu imal işlemi pahalı olmaktadır. Çeliğin tercih edilmesi noktasında çeliğin dayanıklılığı ve tokluğu yüksektir ancak ağırlığı problem olmaktadır. Günümüzde büyük türbinlerde daha çok GRP materyaller kullanılmaktadır.

Modern olmayan türbinlerde, türbinin dairesel hareketi jeneratöre aktarma donanımları aracılığı ile iletilmektedir. Dişli kutuları 30-60 devir/dakika (d/dk) devri, jeneratöre uygun

bir şekilde 1500 d/dk düzeyine çıkartmaktadır. Dişli düzenekleri, kavramalı düzeneklere göre üstün görülse de doğrudan tahrikli sistemlerle kıyaslandığında daha karmaşıktır ve yağlama ve soğutma bakımlarını şart koşmaktadır.

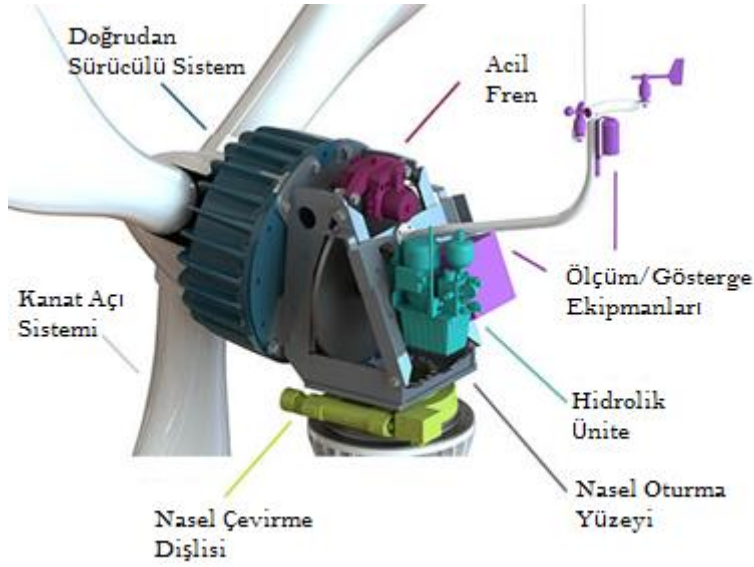
Şekil 3.7.'de sunulan doğrudan sürücülü sistem (Direct Drive System), modern rüzgar türbinlerinde tercih edilen mekanizmadır. Bu türbin tasarımında, daha az döner donanımlar bulunduğu ve mekanik gerilmeler azaldığı için ömrü ve bakım periyodu daha uzun sürelidir ve bu açıdan maliyetleri düşürmektedir (WWE, 2019).

Bu türbin sistemlerinde rotor ve jeneratör, sabit bir mil ile doğrudan bağlanmaktadır. Doğrudan sürücü sistemleri düşük hızda çalışmalarını gerektiği için, yavaşça dönen rulmanlı yatak yer almaktadır (WWE, 2019).

Doğrudan sürücülü düzeneklerin en önemli donanımı dairesel jeneratördür. Rotor ile aynı tempoda işlemesi sürtünmelerden dolayı oluşan enerji kayıplarını minimuma indirmekte ve devamlı bir enerji aktarımı sağlamaktadır.



Şekil 3.6. Modern bir rotor göbeğinin iç yapısı



Şekil 3.7. Doğrudan sürücülü sistem

3.4.3. Hub

Kanatlar ile gövdeyi bağlayan ve Şekil 3.8.'de görülen bölüm hubtır (göbek). Verimliliğin artırılması için servo motorların hareketine gerek duyulabilmektedir. Bu şekilde kanatların açıları kontrol edilmekte rüzgarların hızına ve yönlerine göre dönmektedirler. Göbek bölümü küresel ve grafitli demir materyallerden imal edilmektedir. Bu bölümün tasarımının karmaşık ve büyük olması ile yorulma dayanımı açısından sağlam olması nedenlerinden bu materyalin kullanımı kaçınılmazdır.

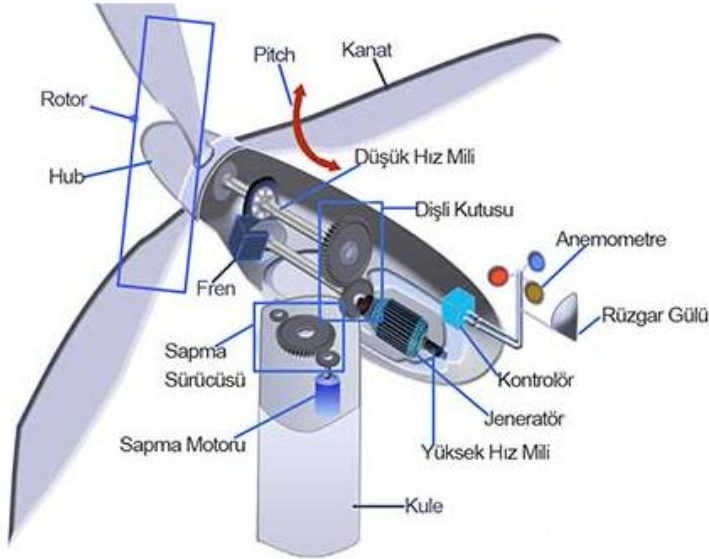


Şekil 3.8. Hub

3.4.4. Şaftlar

Şaft (düşük hız mili) türbinlerde yer alan başat millerden birisidir ve türbin rotorunu çeviren rüzgârın enerjisini dişli kutusuna aktarmaktadır (Durak & Özer, 2008). Bu milin başlıca amacı rotorun dişli kutusuna bağlanması ve aerodinamik frenleyicileri çalıştıran hidrolik

sistemlerin ilgili mekanizmalara bağlamasıdır. Şekil 3.9.'da bir rüzgar türbininde bulunan ekipmanların bulunduğu bölgeler yer almaktadır. Genel olarak 30 ile 60 d/dk arasında bir devir yapmaktadır (Tong, 2010; Amano & Sunden, 2014).



Şekil 3.9. Rüzgar türbini ana parçaları

3.4.5. Dişli kutusu (şanzıman)

Dişli kutusu, rotordan mil aracılığı ile aktarılan düşük devirli hareketin jeneratöre uygun bir devire getirilmesi ve iletilmesinden sorumludur. Rüzgar türbinlerinde yer alan en pahalı ve ağır donanım dişli kutusudur.

Günümüzde daha yağınlaştığı şekliyle doğrudan sürücülü türbinler verimin artırılması ve maliyetlerin azaltılması noktasında daha fazla tercih edilmektedir. Dişli kutuları bulunan türbinler pahalı, ağır ve daha az verimlidir (Kurt, 2011). Dişli kutusunun türbin üzerindeki konumu Şekil 3.9.'da gösterilmiştir.

3.4.6. Frenleme sistemi

Rüzgarın türbin kanatlarına çarparak dişli kutusunu, oradan da jeneratörü çevirmesi ile üretilen elektrik enerjisi, rüzgârın hızının küpü ile doğru orantılı bir ilişki içindedir. Bu sayede rüzgâr hızının olası değişimlere göre oluşan mukavemetler öngörülebilmektedir. Bu mukavemetlerin kontrolden çıkmamaları için türbinlerde frenleme sistemi bulunmaktadır. Özellikle fırtınalı hava koşullarında rüzgâra karşı fazla yüzey alanı göstermemek veya türbinden faydalanılmayacak ise bütünüyle pasif hale getirilmesi gerekmektedir. Bunların gerçekleşmesi için değişik teknikler kullanılmaktadır. Bu tekniklerden birisi mekanik

frenleme aksamıdır. Bu fren, çelikten yapılmakta ve dişli kutusunda yer alan mil üzerinde konumlandırılmıştır. Olası aksaklıklara karşı frenleme sisteminin güvenliği için ise hidrolik yağ basıncı kullanılmaktadır. Bu hidrolik sistem türbinin aerodinamik frenlenmesinde görev almaktadır. Yağ basıncı ortadan kalktığında, fren blokları diskleri sıkıştırmaktadır (Sirotkin vd, 2016).

Fren sisteminin türbin üzerindeki konumu Şekil 3.9.'da gösterilmiştir.

3.4.7. Jeneratör sistemi

Rüzgâr türbinlerinde rüzgârın türbin kanatlarına çarparak dişli kutusunu çevirmesi, dişli kutusunun da şaft yardımıyla jeneratörü çevirmesi ile elektrik enerjisi üretilmektedir. Jeneratörler asenkron ve senkron olarak ikiye ayrılmaktadır. Senkron jeneratörler rotorla birlikte serbest bir ritimde çalışmaktadır. Senkron jeneratör sisteminin çalışabilmesi için şebekeye bağlı olmaları gerekmektedir ve şebekeden reaktif güç almamaktadır. Senkron jeneratörlerde statöre bağlı mıknatıslar çok olduğu için pahalıya mal olmaktadır. Asenkron jeneratörün mıknatısları az olduğu ve dışarıdan invertör-konvertör aracılığı ile uyartım oluşturularak ilk üretimin yapılması nedeni ile daha ucuza mal edilir. Şebekeye oranla daha yüksek tempoda çalışmakta ve şebekeden reaktif güç almaktadırlar (Polinder vd, 2013).

Jeneratör sisteminin türbin üzerindeki konumu Şekil 3.9.'da gösterilmiştir.

3.4.8. Kontrol sistemi

Kontrol sistemleri birimleri, türbinin hareketleri devamlı olarak takip ederek kontrollerini ayarlamakta ve aksaklık hallerinde raporlar iletmektedir. Bu birimler bilgisayar ve otomasyon desteklidir. Kontrol sistemleri bünyesinde bulunan telefon ve internet hatları aracılığı ile türbin operatörünün bilgisayarına devamlı olarak kontrol sinyalleri iletmektedir (Ömeroğlu, 2012). Kontrol birimleri, türbinin çalışması esnasında oluşan aksaklık durumlarında türbinin çalışmasını kontrol eder veya frenlenmesini sağlamaktadır. Kontrol sisteminin türbin üzerindeki konumu Şekil 3.9.'da gösterilmiştir.

3.4.9. Hidrolik ve pnömatik parçalar

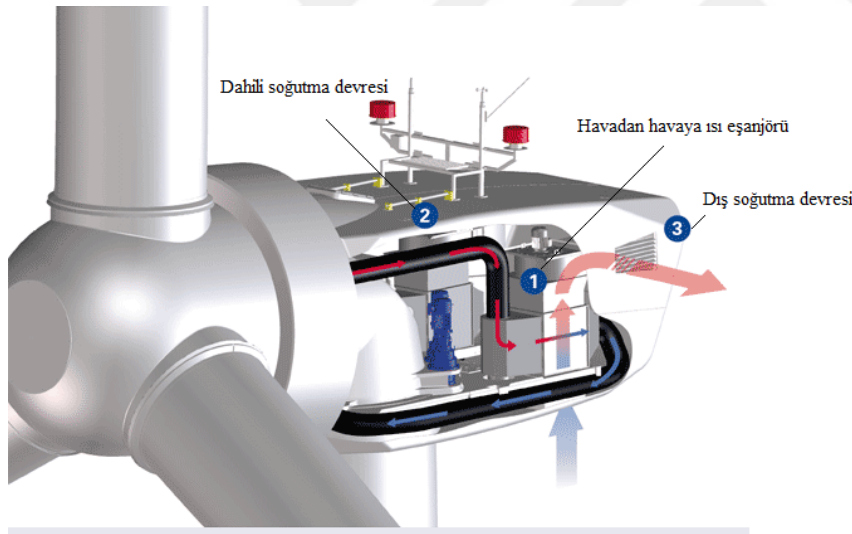
Hidrolik düzenek, türbinin nitelikleri uyarınca belli bir rüzgâr şiddetinin üzerindeki durumlarda veya gerekli görüldüğü taktirde türbinin frenlenmesi için aerodinamik ve mekanik frenlemeleri sağlayan hidrolik yağ basıncını içermektedir. Türbinde yer alan hidrolik motorların yağ basıncı bu sistemin bir parçasıdır. Bu düzeneklerde yağ pompası bulunmaktadır (Durak & Özer, 2008; Amano & Sunden, 2014).

Genel itibariyle, spesifik bir tasarım olmadığı takdirde rüzgar türbinlerinde kapsamlı bir pnömatik sistem bulunmamaktadır.

Hidrolik sisteminin türbin üzerindeki konumu Şekil 3.6.'da gösterilmiştir.

3.4.10. Soğutma

Türbinin donanımlarından olan jeneratör, dişli kutusu ve çevirici mekanizmaların her biri kendisine ait bir soğutma sistemine sahiptir. Türbinde yer alan önemli birimlerin sıcaklığını azaltmak için donanımların sıcaklıkları kontrol sistemi birimi aracılığı ile izlenmekte ve ideal dengenin korunması için bu sistemler çalıştırılmaktadır. Türbinlerde genel olarak fanlı soğutma kullanılmaktadır ve su soğutmalı jeneratörler de tercih edilmektedir. İdeal soğutma sisteminin türbindeki konumlandırılması Şekil 3.10.'da gösterilmiştir. Su soğutmalı jeneratörlerin kanatlardan esen rüzgarın soğutma özelliğini kullanabilmesi için eksi yönlü gövdede radyatör bulundurulmasını zorunlu kılmaktadır (Durak & Özer, 2008; Hemami, 2012).



Şekil 3.10. Soğutma sistemi, (Quesnel, 2016).

3.4.11. Türbin kulesi

Türbinin kulesi, türbinin kanatlarını, hubü ve gövdeyi taşıyan donanımdır. Şekil 3.11.'de tüp biçimli kule tipine bağlı türbin parçaları yer almaktadır. Yüksek boylu kulelerin kurulması rüzgar hızı artacağı için avantaj sağlamaktadır. Diğer yandan kulenin imal edilmesi pahalı olduğu için kule yüksekliği sınırlı tutulmaktadır. Kule ağırlıkları 12-88 ton, gövde 10-56 ton ve rotor 3-26 ton ağırlıklarındadır. Kuleler silindir veya kafes biçiminde tasarlanmaktadır. Bir rüzgar türbinin kulesi elektrik üretiminin en ideal olduğu yüksekliğe göre seçilmelidir.

Tüp biçimli kulelerin gövdesine çıkmak daha kolaydır ancak kafes kuleler daha az maliyetlidir (Özgür, 2002).



Şekil 3.11. Türbin kulesi ve montajı, (Chantharasenawong vd, 2011)

3.4.12. Anemometre sistemi

Rüzgârın yönünün ve hızının belirlenmesinde anemometre kullanılmaktadır. Örnek verilmesi gerekirse, türbinin işlemeye başlaması için gerekli rüzgâr hızı 5m/s ve frenlenmesi için 25m/s olan bir türbinin elektronik kontrol birimi anemometreden gelen verileri değerlendirmektedir. Rüzgâr hızının, limit hızdan yüksek olması durumunda türbin otomatik olarak frenlenmektedir. Rüzgâr türbininden gelen veriler doğrultusunda, rüzgar türbini yaw (rota) donanımı ile rüzgara doğru türbinin yönlendirilmesini sağlamaktadır.

Anemometrenin türbin üzerindeki konumu Şekil 3.9.'da gösterilmiştir.

3.5. Rüzgar Türbinlerinin Çalışma Verimini Etkileyen Faktörler

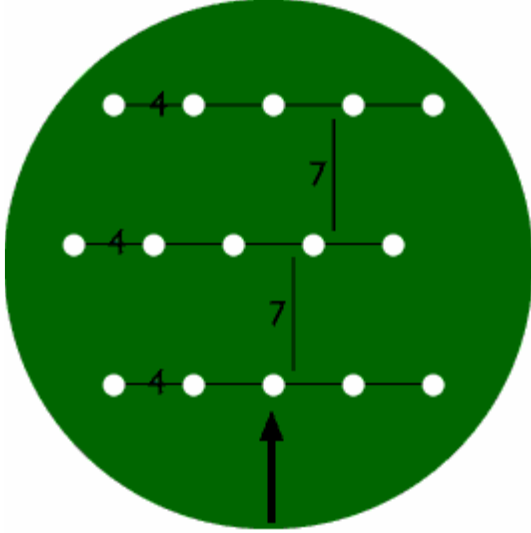
Rüzgar türbinlerinin çalışma süreçleri esnasında bir çok duruş ve kayıp yaşanabilmektedir. Birçok kritere göre değişebilen bu kayıplar fiziksel şartlardan dolayı ya da ekipman ile ilgili olabilmektedir.

3.5.1. Rüzgârın özelliklerinden (rüzgâr tipi, hızı ve yönü) kaynaklı etkiler

Türbinin kanatlarına rüzgârın dokunduğu andan itibaren rüzgârın hareketi yavaşlamakta ve türbülansa benzer bir etki çizerek türbinden ayrılmaktadır. Rüzgâr çiftliklerinin ve enerji santrallerinin kurulumunda türbinlerin rüzgâra karşı ancak birbirilerine olabildiğince yakın olmaması gerekmektedir. Diğer taraftan rüzgârdan yüksek seviyede yararlanılabilmesi ve

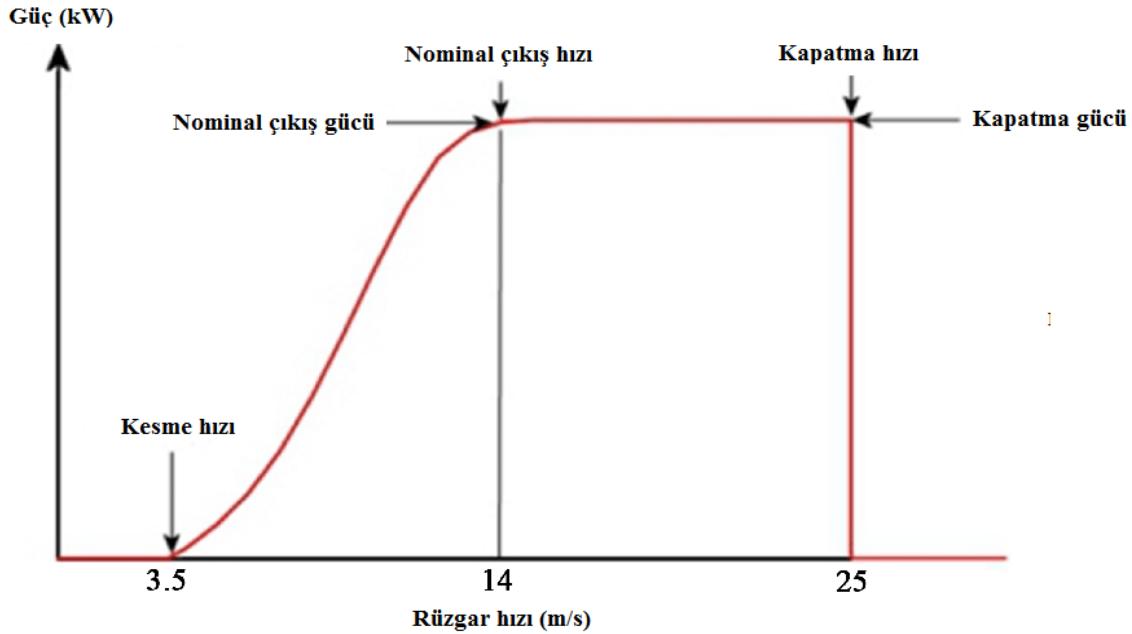
türbinler arası ve ana hat bağlantılarının maliyetini azaltmak için türbinlerin olabildiğince yakın kurulması gerekmektedir.

Rüzgar çiftliklerinin veya enerji santrallerinin kurulması esnasında takip edilecek başlıca kural şekil 3.12.'deki gibi türbinlerin rüzgarın doğrultusuna dik 3 ile 5 rotor çapı ve bu doğrultuya paralel 5 ile 9 rotor çapı uzaklıklarda olmasıdır (Energy, 2019).



Şekil 3.12. Rotor çaplarına göre ideal rüzgar türbini yerleşimi, (Energy, 2019)

Rüzgârın hızının zamana, sıcaklığa bağlı ve coğrafi koşullara göre değişiklik gösterdiği önceki bölümlerde ifade edilmiştir. Rüzgârın hızı aynı şekilde rüzgar enerji santrallerinin kurulum alanları içinde de değişiklik gösterebildiği gibi aynı rüzgar özellikleri altında türbinlerin enerji üretimleri aynı değerde de olmayabilmektedir. Şekil 3.13.'de standart bir rüzgar türbininin rüzgar hızı güç grafiği yer almaktadır. Her ne kadar türbin üreticileri bir rüzgar türbininin standart üretim grafiğini veriyor olsa da rüzgarın yoğunluğuna bağlı üretim grafikleri değişiklik gösterebilmektedir.



Şekil 3.13. Rüzgar hızlarına göre rüzgar türbinin enerji üretimi, (Monnerie vd, 2015)

Bunların haricinde türbinlerin bazı matematiksel kayıpları vardır.

Optimum düzeydeki bir rüzgar türbinini kanatları tarafından aktarılan maksimum güç aşağıdaki denklemlerde (3.1), (3.2) gösterildiği gibi hesaplanmaktadır (Turhan, 2009).

$$P_p = C_{pBetz} \frac{1}{2} \rho A V_r^3 \quad (3.1)$$

$$P_p = 0,5926 \frac{1}{2} \rho A V_r^3 \quad (3.2)$$

Pratikte sonuca ulaşamamasının sebebi ise ortaya çıkan kayıplardır. Ortaya çıkan kayıplar şu şekilde gruplandırılmaktadır (Turhan, 2009):

- Profil Kayıpları
- Uç Kayıplar
- Girdap Kayıpları

3.5.2. Duruşlar

Rüzgar türbinlerinin çalışmaya başlatılmasından ancak birkaç yıl sonra türbinlerin üretimde göstereceği verimlilik ve ortaya çıkan işletme maliyetleri isabetli bir şekilde tahmin edilebilmektedir. Örnek olarak, deniz üzerinde kurulmuş bir rüzgar enerji santralinin bakımı ve onarım süreçlerinin planlaması yapılarak bu tesisin işletim maliyeti düşürülmekte ve kar eden bir işletme haline getirmektedir. Gerçekleştirilen araştırma verilerine göre ortalama

olarak bir rüzgâr türbininin ömrü 25 yıl sürmektedir. Diğer yandan bu tesislerin işletilmesi ve diğer çalışmaların yürütülebilmesi için gereken veri ve deneyimin kazanılması en az birkaç yıl gerektirdiğinden ve bilimsel olarak yeterli düzeyde bilginin mevcut olmayışı rüzgâr türbinlerinin kullanım süreleri açısından isabetli bir şekilde tahmini değerlendirmelerin yapılmasını engellemektedir.

Arıza Nedenli Duruşlar

Gelişmiş ülkelerde kurulan rüzgâr enerjisi santrallerinde ortaya çıkan arızalar, türbinlerin sınıflandırılmasına göre bakıldığında küçük güçlü türbinlerde çıkan arızalar gittikçe azalma gösterse de büyük güçlü türbinlerde ilk 5 yıl içinde fazla sayıda arıza olduğu ve düzenli bakım ve onarım süreçleri ile müdahale edildiğinde oluşan arızaların neredeyse ortadan kaldırıldığı görülmektedir. Birim maliyet başına üretilen enerji miktarına bakıldığında 1000kW ve üzeri güçlerdeki türbinler için bakım onarım planlanmalarının küçük güçlü türbinlere nazaran daha öncelikli olması gerekmektedir (Kısar, 2017).

Ortaya çıkan arızaların türbinin operasyonel etkinliği esnasında, montaj aşamalarından kaynaklanabileceği gibi türbinin imal edilme sürecindeki bir sorun nedeniyle de olabilmektedir. Buna göre, türbinlerin tasarım, imalat, montaj ve operasyon aşamalarında her detay dikkate alınmalıdır.

Bakım Nedenli Duruşlar

Rüzgâr türbinlerinin durdurulmasına neden olan veya olası durduracak olan arızaların giderilmesi ve önlenmesi için türbinleri imal eden kuruluşlar tarafından bakım, onarım ve işletme ve parça değişim periyotlarına dair kontrol ve denetim rehberleri oluşturulmaktadır. Bu rehber genel olarak aşağıda sıralanan denetim ve takipleri içermektedir. Bunlar (Özüarı & Eker, 2010);

- Fren balataları ve frenleme mekanizmalarındaki aşınma,
- Bağlantı ve güç aktaran parçaların kontrolü,
- Dişli sistemlerin yağlanması,
- Dişlilerin aşınma ve yağ seviyesi,
- Filtrelerin değişimi ve kontrol edilmesi,
- Korozyonun ilerleme düzeyi ve denetimi,
- Sistemin genel denetimidir.

Rüzgar türbinleri için yapılan bakım ve onarım çalışmalarını bir yıllık süreç içinde ve yıllara yayılan süreçler içinde olarak ikiye ayrılabilir. Yıl içinde yürütülen ve sistemin parçalarının titreşim verileri, termografik verileri ve yağ durumları gibi bakım ve onarım verimliliği artırılmasında yardımcı olmaktadır (Özüarı & Eker, 2010).

Genel olarak bakım ve onarım uygulamalarının periyodunun 2 yıl olduğu görülmektedir. Bu süreçte türbin 12 ile 18 saat arasında pasif halde tutulmaktadır. Yapılan çalışmalarda türbinlerin orijinal yedek parçaları yerine kullanılan parçaların zaman içinde arıza ve verim kaybına neden olduğu ve bu durumun türbini garanti dışı bırakabileceği türbin üreticileri tarafından belirtilmektedir. Türbinleri üreten firmalar tarafından kurulumundan itibaren başlayan 5 yılda işletme garantisi verilmekte, sonraki zamanlarda bakım ve onarım anlaşmaları uygulanmaktadır. Birçok türbin imal eden firma için türbinlerde boya kullanımı garanti şartlarında değişikliğe gidilmesini gündeme getirmektedir. Bunun nedeni, türbinlerin meteorolojik koşullar altında çalışmasından kaynaklanan ve başta boyalı türbin parçalarının korozyona daha açık bulunmasıdır. Türbin kanatlarının ve kulenin hava koşulları tarafından en çok etkilenen bölümler olduğu açıktır. Rüzgâr türbinlerinde ortaya konulan tüm uğraşlara rağmen, failure mode and effect analysis(FMEA) raporlarına henüz kaydedilmiş arıza veya diğer teknik sorunlar ya da işletim aşamalarında saptanamayan sorunlar ciddiyeti pek değişiklik göstermeyen umulmadık arızalara sebep olabilmektedir. Türbinlerde oluşacak bu tür arızaların sayısının veya türbinin durmasına neden olan sorunların en az düzeye çekilebilmesi için teknik servisin müdahale süresi ve yedek parçaların hızlı bir şekilde ulaştırılması önem arz etmektedir (Özüarı & Eker, 2010). Yedek parçaların gecikmesi, teknik servisin müdahale süresinin uzaması, rüzgar türbinlerinde üretilen elektrik enerjisinde düşümlere neden olmakta ve bu düşümler de zaman serilerinde sapmalara neden olmaktadır.

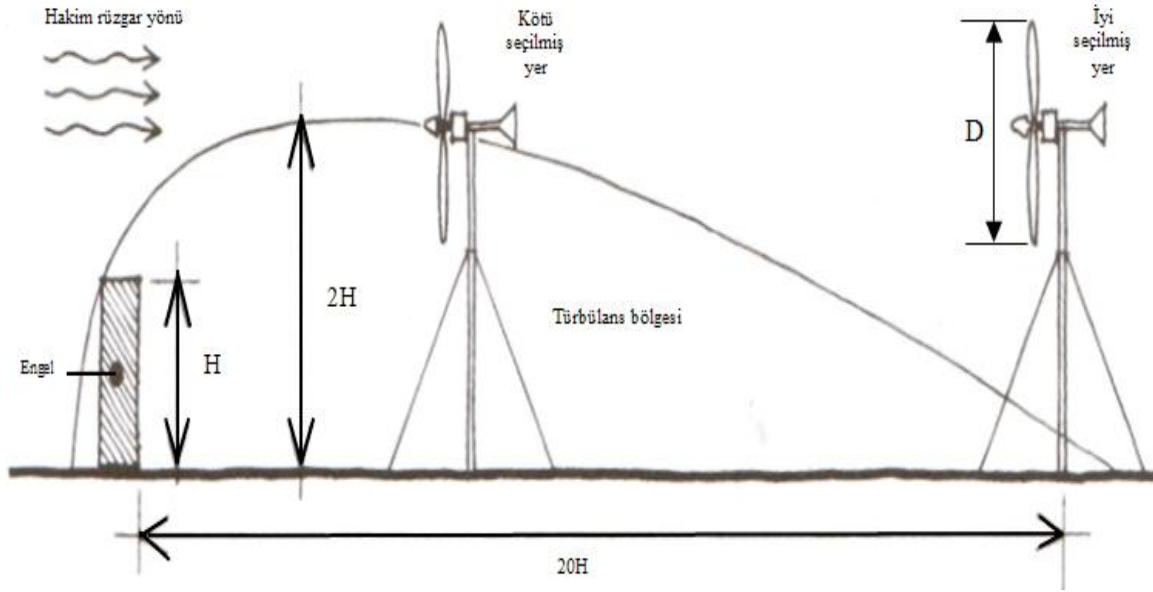
3.6. Rüzgar Türbinleri Kurulum Bölgelerinin Seçimi

Enerji üretiminde verimliliğin sağlanabilmesi için rüzgâr türbinlerinin özelliklerine göre en uygun alanların belirlenmesi gerekmektedir. Bu alanların belirlenmesi ve kurulumu karar verilebilmesi için söz konusu alanlarda en az bir yıllık rüzgâr enerji potansiyeli gözleminin yapılması zorunludur. Diğer taraftan bu alanlara ilişkin, ulaşım, ana enerji dağıtım şebekelerine uzaklığı, alanların eğimleri ve genişlikleri, bu bölgede yer alan ekosistem, bu alanların kullanım amaçlarına yönelik yol yapımı ve kullanımın kolaylaştırılması, yerleşim bölgelerine olan uzaklık, alanın mülkiyetinin sahipliği vb. unsurlar ön plana çıkmaktadır (Durak & Özer, 2008).

Rüzgâr türbinlerinin kurulmasında diğ̈er bir unsur; türbin tarafından bir yılda üretilen net enerjinin, tahmini olarak üretebileceği maksimum enerjiye oranı olan kapasite faktörü (KF)'dür (3.3) (Durak & Özer, 2008).

$$KF = \frac{E}{N_N \times 8760} \quad (3.3)$$

Rüzgâr türbinlerinin kanatlarına ulaşan rüzgâr enerjisi, kanatlardan ayrılan rüzgârın enerjisinden her zaman daha yüksektir. Bir rüzgâr türbininin rüzgâra göre arka cepesinde (rüzgâraltı) kalan bölgede rüzgâr gölgelemesi oluşmaktadır. Rüzgârın türbin kulesine çarpması ile yine türbinin arka cepesinde uzun bir yol kateden türbülans meydana gelmektedir. Bu sebeple rüzgâr türbinleri civarında yer alan rüzgâr kesen engellerden en az 20 katı uzaklıkta bir mesafede ve en az 2 katı yükseklikte yerleştirilmelidir. Şekil 3.14'te görüldüğü gibi arka arkaya koyulacak türbinlerin aralarındaki mesafe en az 20 kat olmalıdır.



Şekil 3.14. Rüzgar türbinlerinin engellere karşı konumlandırılması, (Durak & Özer, 2008)

4. ZAMAN SERİLERİ

4.1. Zaman Serileri Analizi ve Gelecek İle İlgili Tahmin Yürütme

Hemen her alanda ciddi bir önemi olan, şimdiki zamana kadar mevcut olan verilere bakılarak, gelecek zamanda olabilecek olay ve durumların tahmin edilmesi şeklindeki verilerin ortaya koyulması, pek çok sahada önemli bir yer tutmaktadır. Belirli periyotlarda alınan verilerle ortaya çıkarılan zaman serileriyle bir tahmin modeli çıkartılıp bu tahmin modelinin geçerliliği sağlandıktan sonra zaman serisinin gelecek tahmini yapılabilmektedir. Oluşturulan zaman serileri incelendikten sonra belirli bir periyot içerisinde devamlı bir şekilde gözlem değerleri alınabiliyorsa buna “sürekli zaman serisi” adı verilmektedir. Bahsedilen zaman serilerinden yine belirli bir zaman periyodu içerisinde belli aralıklarla kaydedilen verilere ulaşılıyorsa ise “kesikli zaman serisi” şeklinde isimlendirilmektedir. Ayrıca kesikli zaman serilerinin gösterimi y_t ve sürekli zaman serilerinin gösterimi $y(t)$ olarak yapılmaktadır (Gujarati ve Porter, 2012).

Sürekli serilere örnek olarak ısı, voltaj, elektrik sinyalleri, ses gibi mühendislik alanlarında kullanılan serileri, kesikli serilere ise, faiz oranları, satış hacmi, üretim miktarı gibi iktisat serilerini verebiliriz.

Zaman serisi metodunda var olan değişkenler ardışık zaman periyotlarıyla gözlemlendiklerinde özel olarak adlandırılmaktadırlar. Bu değişkenler yılda her gün gözlemlendiklerinde “günlük zaman serileri” olarak adlandırılmakla birlikte yılda her ay bir kere gözlemlendiklerinde “aylık zaman serileri”, her mevsim bir kere olmak üzere yılda dört kere gözlemlendiklerinde üçer aylık veya çeyrek olmak üzere “mevsimlik zaman serileri”, yılda iki kere gözlemlendiğinde “altı aylık zaman serileri”, yılda bir kere gözlemlendiğinde ise “yıllık zaman serileri” adını almaktadır (Kuzu, 2013).

Zaman serisi verilerinden oluşturulan model grupları gözlemlenirken bununla ilgili olan zaman serilerinin niteliklerinin biliniyor olması ve gözleme ölçüt olarak bu niteliklerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu nitelikler, skolastik ve deterministik olarak iki başlıkta araştırılabilmektedir. Serilerin durağanlığı, bu serilerin skolastik niteliklerini ortaya koyarken, serilerde mevsimsellik, sabit ve trend etmenlerinin görülüp görülmemesi ise deterministik niteliğiyle ilgilidir.

Zaman serisinden meydana gelen seriler dört unsura göre taranabilmektedir Bunları şu şekilde ifade edebiliriz;

- Trend
- Konjoktür
- Mevsimsellik
- Arizi bileşen'dir -(Tarı, - 2010).

4.1.1. Trend

Trend, zaman serilerinin uzun dönemli olan eğilimini ifade etmekte olup, serilerin uzun bir zaman periyodunda gösterdikleri azalış ve artış, kararlı niteliktedir. Trend niteliğinin gözlemlendiği seriler hareketli (durgun olmayan) serilerdir. "Trend eğrisi" adı verilen kavram ise iktisadi özellikli bir zaman serisinin uzun süreli değişme veya değişme eğilimini belirten eğriye denir.

4.1.2. Konjoktür

Ekonominin refah dönem ve depresyon döneminde meydana gelen değişimlere konjoktür dalgalanması adı verilmektedir. Öncelikle refah döneminde satışlar, üretimler, yatırımlar, ve gelir seviyeleri belirli bir süre artış göstererek en azami duruma ulaşırken daha sonraki zaman dilimi içerisinde depresyon dönemi baş göstererek bu seviyelerde düşüşler gözlemlenmeye başlar ve bu durgunluktan sonraki dönemde ekonomi tekrar canlanmaya başlar.

4.1.3. Mevsimsellik

Mevsimsellik, zaman serilerinin her sene sistemli bir biçimde gözlemlenen ekonomik dalgalanmalara denir. Örnek olarak bot, kaban, atkı, bere gibi materyallerin kış mevsimi sürecinde satışlarının daha fazla olması ile deniz şortu ve su satın alımlarının yaz mevsimde artması gösterilebilir.

4.1.4. Arizi Bileşen

Hata terimi ile adlandırılabilen, zamanla ortaya çıkan ekonomik gelişim ve değişimlerin üzerinde etkili olan diğer unsurlar gibi belirgin olmayan değişimlerdir. Geçmiş zamandan elde edilen verilerle tahmin edilememesinden dolayı bu değişimler sistematik değildir. Arizi bileşenlere örnek olarak; tahmin edilemeyen değişimler olan ekonomik krizler, doğal afetler, sosyal ve siyasal krizler verilebilir (Orhunbilge, 1999: 8).

4.2. Zaman Serilerinde Durağanlık

Zaman serilerinin en önemli niteliklerinden biri olan ve skolastik bir niteliği gösteren bir süreç olarak bu serilerin durağan (stationary) veya durağan olmama (nonstationary) durumlarıdır. Gözlemlenen zaman serisinin değişkenleri arasında anlamlı bir ilişki ortaya çıkarılabilmesi için bu serinin durağan olması zorunludur.

Belirgin bir gerileme ve ilerleme oranına sahip olan iktisadi zaman serilerinin değişkenlerine dair zaman serilerinde trend unsurunun var olma durumu gözlemleniyorsa alan yazında sahte regresyon (spurious regression) adı verilen durum ortaya çıkmaktadır. Ulaşılan bazı sonuçlar gerçeği yansıtmayabilir. Bu durumlar genellikle durağan olmayan zaman serilerinde belirgin bir sonuç elde etmek için kullanılan $y_t = \beta_1 + \beta_2 x_t + \varepsilon_t$ regresyon denkleminin kullanıldığı durumlardır. Bu durumda değişkenlere ait zaman serisinden elde edilen sonuçlarda gerçek bir ilişkiden ziyade yanıltıcı bir ilişki meydana çıkmaktadır (Kuzu, 2013: 7).

Bir zaman serisinin durağan zaman serisi adını alabilmesi için, bu serinin kovaryansı, ortalaması, varyansı ve daha yüksek dereceden momentlerinin zamana göre değişim göstermemesi ya da seri periyodik dalgalanmalardan etkilenmemesi gerekmektedir.

Realitede, spesifik olarak ekonomik sektörde adı geçen durağan seri örneklerini görmek oldukça güç bir durumdur. Genel olarak zaman serileri konjonktür dalgalanmalar, trend, tesadüfi dalgalanmalar ve trend unsurlarından minimum birini içermektedirler. Zaman serisinde kullanılan olasılık modelleri ve analiz yöntemleri durağan olmayan serilere uygulanmadığından bu serilere bazı dönüştürme metotları kullanılarak durağan zaman serisi haline getirilmektedir. İktisadi olmayan zaman serilerinin büyük bir kısmı bir fark çıkartıldıktan sonra durağan zaman serisi haline getirilir.

4.3. Durağan Olmama ve Birim Kök Testleri

Herhangi bir zaman serisinin durağan olup olmadığını belirlemek için kullanılan yöntemlerde çoğunlukla Philips-Perron (PP) Testi ya da Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF) Testidir. Durağan olmayan seriler kendisinden bir önceki dönemde gözlemlenen şoklardan ve değerlerinden etkilenmeyen birim köklü serilerdir. Bu bölümde çoğunlukla birim köklü zaman serilerini belirlemek için uygulanan metotlar üzerinde durulacaktır.

4.3.1. Genişletilmiş dickey-fuller testi

ADF testinin uygulanabilmesi için hata terimlerinin otokorelasyon içermemesi gerekmektedir. Zaman serisinin hata terimindeki otokorelasyonun giderilebilmesi amacıyla

bu serinin gecikmeli değerleri dikkate alınmaktadır. Dickey-Fuller modelde yer alan bağımlı değişkenin sahip olduğu gecikme değerini modelin kendi bağımsız değişkeni olarak modele ilave etmiş ve bu testi alan yazına kazandırmıştır. Buna göre gecikmenin sahip olduğu uygun gecikme uzunluğu belirlenirken Akaike ve Schwarz kriterleri yararlanılan unsurlar olmaktadır. Bu birim kök testi için belirtilmiş modelleri şu şekilde (4.1), (4.2), (4.3) belirtmek mümkündür (Enders, 1995;225).

$$\Delta Y_t = \alpha Y_{t-1} + \sum_{j=1}^p \alpha_j \Delta Y_{t-j} + \varepsilon_t \quad (4.1)$$

τ - istatistiği (trend ve sabit yok)

$$\Delta Y_t = \alpha Y_{t-1} + \sum_{j=1}^p \alpha_j \Delta Y_{t-j} + \varepsilon_t \quad (4.2)$$

τ_0 - istatistiği (sabitli)

$$\Delta Y_t = \beta t + \alpha Y_{t-1} + \sum_{j=1}^p \alpha_j \Delta Y_{t-j} + \varepsilon_t \quad (4.3)$$

τ_t - istatistiği (sabitli ve trendli)

4.3.2. Phillips- perron testi

Dickey-Fuller testi bağımsız rasgele değişkenlerden oluşmakta olup, değişkenlerin hata terimlerinin dağılımı aynıdır. Philips ve Peron ise bu hata terimlerinin otokorelasyon içermesi durumunda DF birim kök testi iyi bir çıkarım sunmayacağını belirtmiştir. Hata terimlerinin otokorelasyona sahip olması halinde bir düzeltme faktörünün gerekliliği söz konusu olduğu belirtilmiştir (Akdi, 2012). Bu yöntemle yapılan durağanlaştırma işleminde test istatistik değerlerinin sahip olduğu kritik değerler ile Dickey-Fuller istatistiğinin sahip olduğu kritik değerleri aynı olmaktadır.

$$y_t = a_0 + a_1 y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (4.4)$$

$$y_t = a_0 + a_1 y_{t-1} + a_2 (t-T/2) + \varepsilon_t \quad (4.5)$$

Yukarıda yer alan (4.4) ve (4.5) denklemlerinde T harfi gözlem sayısını temsil etmekte olup, ε_t ifadesi hata terimlerinin dağılımını belirtmektedir. Hata terimlerinin beklenen ortalamasının sifira eşittir. Philip-Perron DF'deki hata terimleri ile ilgili olan sınırlayıcı yaklaşımlarla ilgilenmemesinin gerekçesi hata terimlerinin geçmiş dönemlere ait olan değerlerini hareketli ortalama şeklinde kullanmış olmasıdır. Bu sebeple Dickey-Fuller testinde bulunan AR (otoregresif süreci) bu birim kök testinde ARMA (otoregresif hareketli ortalama) sürecine evrilmiştir şeklinde ifade edilebilir (Kuzu, 2013: 20).

4.4. Box Jenkins Metodolojisi

Box ve Jenkins tarafından 1970 yılı içinde durağanlık koşulunu sağlamış tek değişkenli zaman serilerinin analiz süreci için geliştirilmiş ve tahminleme metodolojisinde ARIMA (otoregresif bütünleşik hareketli ortalama) modeli olarak da adlandırılan bir yöntemdir. Durağan halde bulunan zaman serilerinin tahmin edilmesinde en sıklıkla kullanılan ve en uygun olan yöntem Box-Jenkins metodudur. Bu yöntemin önemli koşulları arasında eşit zaman aralıkları ile gözlemi yapılmış ve değerleri alınmış serilerin durağan olması ve kesikli olması bulunmaktadır.

AR ve MA (hareketli ortalama) yaklaşımlarının sergilendiği modelleri ve bu ikisinin bir araya getirilmesi sonucunda olan ARMA modelleri sadece durağan süreçlere sahip serilere uygulaması yapılabilmektedir. ARIMA modelleri ise durağan halde bulunmayan süreçlerde uygulanabilen modeller olarak kabul edilmiştir.

ARMA (p, q) modelinin belirlenmesi durumu için kısmi otokorelasyon ve otokorelasyon katsayılarının incelenme aşaması önemlidir. Fakat bazı koşullarda söz konusu modelin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayıları tek bir modele işaret edememesi bunun (modelin) tespit edilmesini güçleştirmektedir. Birtakım uygulamalar esnasında veri setinde var olan rassallık nedeniyle söz konusu otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayısı belirgin bir yatkınlık içinde olmaz. Bu otokorelasyon katsayıları standart sapması $1/\sqrt{n}$ olan normal dağılıma uymakta olup, ortalaması sıfırdır. Buna göre %95 güven düzeyinde otokorelasyon katsayılarının rastlantısallık sınırları belirlenmektedir ve $2/\sqrt{n}$ denkleminin sonucunda daha büyük olanların istatistiksel bakımdan sıfırdan farklılaştığı bulunur. MA ve AR modellerinin derecelerinin tespit edilebilmesi için sıfırdan anlamlı derecede farklı otokorelasyon belirlenmesi gerekmektedir. AR'nin derecesinin belirlenmesinde kısmi otokorelasyon katsayısı (p), MA'nın model derecesi otokorelasyon katsayılarının (q) sayısı kullanılmaktadır (Orhunbilge, 1999). Örnek olarak istatistiksel bakımdan olarak otokorelasyon katsayısı 1, kısmi otokorelasyon katsayısı 1 olduğu durumda $p=1$ ve $q=1$ olacağı için ARMA (1,1) biçiminde yapılmaktadır.

4.4.1. Box jenkins modelleri

Otoregresif modeli (AR)

Otoregresif modellerde değişken olarak belirlenen niceliklere ait geçmiş değerlere göre bir tahmin modeli ortaya konulmaktadır. Buna göre birincil olarak otokorelasyon ve kısmi

otokorelasyon katsayılarına ait olan dağılımlara bakılmaktadır. Şayet otokorelasyon katsayıları üssel bir şekilde sifıra doğru gidiyorsa AR modelinden bahsedilebilmektedir. Kısmi otokorelasyon katsayılarının incelenmesinin ardından da AR modelin derecesi tespit edilebilmektedir (4.6).

$$Y_t = \alpha_1 Y_{t-1} + \delta + u_t \quad (4.6)$$

Yukarıdaki ilişki birinci dereceden otoregresif stokastik bir modeli tanımlamaktadır. Söz konusu bu model AR (1) şeklinde belirtilmektedir. Burada yer alan denklemde u_t sıfır ortalamaya ve sabit varyansa sahip, otokorelasyonu olmayan bir hata terimini temsil etmektedir. δ terimi ise stokastik sürecin sahip olduğu ortalama ile ilişki halinde olan bir terimdir. AR (2) modeli ise (4.7), (4.8):

$$Y_t = \alpha_1 Y_{t-1} + \alpha_2 Y_{t-2} + \delta + u_t \quad (4.7)$$

olarak yazılabilmekte olup buna göre AR (p)

$$Y_t = \alpha_1 Y_{t-1} + \alpha_2 Y_{t-2} + \dots + \alpha_p Y_{t-p} + \delta + u_t \quad (4.8)$$

olarak belirtilebilmektedir (Tarı, 2010).

Hareketli ortalama modeli (MA)

Bu yöntem uzun periyoda sahip değerleri olan zaman serilerinde uygulanabilmektedir (Pevehouse ve ark., 2013). p değeri oldukça düşük durumda bulunan otoregresif temelli modellerin yok edemediği yönelimler bulunduğu hareketli ortalama modelleri devreye girmektedir. Bu modellerle gerçekleştirilen tahmin esnasında değişkenlerin tahmin ve hata değerleri arasında bir bağıntı bulunmaktadır. Söz konusu bu modeller geçmiş döneme ait gözlenen değerlerine yaklaştıkça azalım gösteren ağırlıklar verilmesi prensibi ile örtüşmektedir (Orhunbilge, 1999).

Hareketli ortalama modelinde yer alan Y_t süreci gecikmeli ve cari hata terimlerinin toplamında meydana gelmektedir. MA (1) modelinin genel olarak şu şekilde gösterimi yapılmaktadır (4.9):

$$Y_t = \mu + u_t - b_1 u_{t-1} \quad (4.9)$$

Bu gösterimde μ bir sabiti temsil etmekte olup, u ise belirli bir kalıpta bulunmayan hata

terimini göstermektedir. Hata teriminin beyaz gürültü süreci sonucunda oluştuğu yani bu terimin zamandan bağımsız bir şekilde dağılıma sahip olduğu varsayılır.

MA (2) de şu şekilde gösterilebilmektedir (4.10):

$$Y_t = \mu + u_t - b_1 u_{t-1} - b_2 u_{t-2} \quad (4.10)$$

Bu durumda MA (q) ise (4.11):

$$Y_t = \mu + u_t - b_1 u_{t-1} - b_2 u_{t-2} - \dots - b_q u_{t-q} \quad (4.11)$$

biçiminde belirtilebilir (Tarı, 2010).

Otoregresif hareketli ortalama modeli (ARMA)

Zaman serilerinin pek çoğunluğu MA veya AR süreçlerini kapsamaktadır. Otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon katsayılarına odaklanılması ile tespit edilen p ve q değerleri ARMA modelindeki dereceleri meydana getirmektedir (Tarı, 2010: 446).

ARMA (p,q) modeli genel şekli ile (4.12)

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_p y_{t-p} + e_t - \theta_1 e_{t-1} - \dots - \theta_q e_{t-q} \quad (4.12)$$

olarak gösterilmektedir.

Bu modelin tahminleme süreçlerinde kullanımı ile ilgili dikkat gösterilmesi gerekli iki durum bulunmaktadır. İlk husus şayet işlemlerin ortalamadan alınan farklarla gerçekleştirilmiş ise ortalamanın yapılan tahminlere eklenmesi gereklidir. İkinci husus ise tahminlemede bulunulurken değişkenin alınan farkının göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Örnek olarak ARMA (0,1) modeli uygulanacak ise (1.derecede MA modeli) ve model ilk fark alımı yapılarak ve ortalamadan farklara dayandırılarak oluşturulmuş ise (4.13);

$$y_t' = e_t - \theta_1 e_{t-1} \text{ yerine } y_t' = y_t - y_{t-1} \quad (4.13)$$

olduğundan

$$y = y_t + y_{t-1} + e_t - \theta_1 e_{t-1} . \quad (4.14)$$

(4.14) denkleminde başvurulacaktır

ARMA (0,2) modeli uygulanacak ise (2.derecede MA modeli) ve model ilk fark alımı yapılarak ve ortalamadan farklara dayandırılarak oluşturulmuş ise (4.15), (4.16);

$$y_t'' = e_t - \theta_1 e_{t-1} - \theta_2 e_{t-2} \quad (4.15)$$

$$y_t'' = y_t - 2y_{t-1} - y_{t-2} \quad (4.16)$$

ikinci farklarla oluşturulduğundan

$$y_t = y + e_t - \theta_1 e_{t-1} - \theta_2 e_{t-2} + 2y_{t-1} - y_{t-2} \quad (4.17)$$

(4.17) denkleminin başvurulması gerekmektedir.

Herhangi bir zaman serisinde gözlem verisi ile (-farkların alınmadığı durumda geçerli olmak üzere) ARMA (1,0) modeli (1. dereceden otoregressif model) olarak belirlenmiş ise;

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + e_t \quad (4.18)$$

(4.18) denklemi bu haliyle kullanımı yapılmaktadır. Şayet model değişkenin birinci farkı sonucunda yapılmış ise (4.19);

$$y_t = (\phi_1 + 1) y_{t-1} + \phi_1 y_{t-2} + e_t \quad (4.19)$$

olarak tahminleme yapılmaktadır.

ARMA (2,0) modeli (2.derece otoregressif) ikinci fark alma işlemi sonucunda oluşturulmuş ise (4.20), (4.21);

$$y_t'' = \phi_1 y_{t-1}'' + \phi_2 y_{t-2}'' + e_t \quad (4.20)$$

$$y_t'' , y_{t-1}'' \text{ ve } y_{t-2}'' \quad (4.21)$$

de yer alan değerlerin gösterimi (4.22), (4.23), (4.24):

$$y_t'' = y_t - 2y_{t-1} + y_{t-2} \quad (4.22)$$

$$y_{t-1}'' = y_{t-1} - 2y_{t-2} + y_{t-3} \quad (4.23)$$

$$y_{t-2}'' = y_{t-2} - 2y_{t-3} + y_{t-4} \quad (4.24)$$

biçiminde olduğundan burdaki üç adımda ARMA (2,0) modelinde uygulanarak geleceğe

yönelik tahmin etme süreci gerçekleştirilmektedir.

ARMA (1,1) modeli 1.dereceden otoregresif ilk farklarla kurulmuş ise (4.25):

$$y_t' = \phi_1 y_{t-1}' + e_t - \theta_1 e_{t-1} \quad (4.25)$$

biçimindedir ve

$$y_t' = y_t - y_{t-1} \quad (4.26)$$

$$y_{t-1}' = y_{t-1} - y_{t-2} \quad (4.27)$$

(4.26) ve (4.27) denklemleri model içinde ait oldukları yerlere konulduğu zaman aşağıda yazılı olan denklemin (4.28) tahmin edilmesinde kullanımına başvurulması gerekli olmaktadır (Orhunbilge, 1999).

$$y_t = (\phi_1 + 1) y_{t-1} - \phi_1 y_{t-2} + e_t - \theta_1 e_{t-1} \quad (4.28)$$

Otoregresif bütünleşik hareketli ortalama modeli (ARIMA)

Bu modeller kendi içinde homojen şekilde olup, durağan halde bulunamayan süreçleri kapsamaktadır. Bu model ARIMA (p, d, q) şeklinde gösterilmekte olup "p" gecikme derecesinde olan AR (p) sürecine sahip olduğu, "q" harfi ile belirtilen ve değişkenin sahip olduğu hata terimlerinin önceki dönemlerde aldığı değerleri ile olan etkileşimini belirten, ayrıca stokastik süreci göstermesi bakımından hata terimlerini düzgün hale getirme yöntemlerinden bir tanesi olan MA (q) sürecini belirtmektedir. d harfi ise gecikme farkını ifade etmektedir.

ARIMA yöntemi ile gerçekleştirilen tahmin durumlarında, serilerin rastgele bir anındaki değeri, daha önceki döneme ait hata terimi ve değerlerden meydana gelen doğrusal halde bulunan bir eşitlik şeklinde belirlenmektedir. Modelin kendisinde yer alan seriye ait varyansın sabit ve sıfır ortalamasının olduğu bu durumda da durağan halde bulunduğu varsayılmaktadır.

5. RÜZGAR ENERJİSİ ÜRETİMİNİN ZAMAN SERİSİ İLE ANALİZİ

5.1. Araştırmanın Amacı ve Kapsamı

Rüzgar, yeryüzünün eşit bir şekilde gerçekleşmeyen ısınma ve soğuma durumları neticesinde açığa çıkan kuvvetlerin etkisinde meydana gelen hava hareketlerine verilen isimdir. Rüzgar enerjisi ise rüzgarı meydana getiren söz konusu hava akımının kendisinde var olan hareket (kinetik) enerjisidir. Havanın yeryüzü düzeyinde hareketini imkanı hale getirerek rüzgarı oluşturan ve rüzgarın şiddetine etkide bulunan atmosferdeki belli kuvvetler coriolis kuvvet, merkezkaç kuvveti, basınç gradyan kuvveti ve sürtünme kuvvetidir. Coriolis kuvvet, dünyanın dönmesinden ötürü oluşan saptırıcı kuvvet olarak tanımlanmaktadır. Basınç gradyan kuvveti ise havanın yüksek basınçtan alçak basınca doğru yönlendirmeye çalışan bir kuvvettir. Rüzgarlar çoğunlukla bir merkezin etrafında dolanmaktadırlar. Bu durumun sonucunda kendisini bir merkezden dışarıya doğru uzaklaşmaya zorlayan bir kuvvetin etkisinde olurlar. Bu da merkezkaç kuvveti olarak tanımlanmaktadır. Sürtünme kuvveti ise rüzgarın oluşumuna katkıda bulunmaya ve rüzgarın hızını azaltmaya çalışan kuvvettir (Elibüyük ve Üçgül, 2014: 2).

Bu çalışmada Doğu Akdeniz Bölgesinde Belen Atik Yaylası'nda kurulu olan 9 adet birbiri ile eş niteliklere sahip rüzgar türbinlerinden elde edilecek enerji miktarı hakkında daha sonraki dönemler için zaman serileri kullanılarak tahminleme yapılması amaçlanmıştır. Buna göre rüzgar türbinlerinden elde edilen enerji miktarının rüzgar hızına, hava sıcaklığına ve türbinin aktif çalışma saatine bağlı olma durumları araştırılacak ve enerji üretiminin bağlı olduğu unsurlar incelenecektir.

5.2. Verilerin Elde Edilmesi ve Araştırma Yöntemi

Araştırmada Doğu Akdeniz Bölgesinde Belen Atik Yaylası'nda konuşlandırılmış 9 adet rüzgar türbinine ait 2018 yılı Ocak ayı ve 2019 yılı Ekim ayı arasındaki aylık periyotlara ait kWh cinsinden üretim miktarı, bölgedeki o aya ait ortalama rüzgar hızı (m/s) ve 9 adet türbinin toplam aylık aktif çalışma süresi (saat) ve aya ait ortalama hava sıcaklığı (°C) değişkenleri türbin tesisindeki veri tabanından elde edilmiştir. Buna göre öncelikle geçmiş aylara bağlı enerji üretim miktarına ait verilerle zaman serisi analizine tabi tutularak gelecek aylardaki enerji üretim tahminleri yapılacaktır. Sonrasında aylık enerji üretimini etkileyen değişkenlerin istatistiksel bakımdan anlamlılığı ve etki derecesi regresyon analizi ile tespit

edilmeye çalışılacaktır. Analizlerin gerçekleştirilme sürecinde IBM SPSS 20 ve Eviews10 paket programları kullanılmıştır. Söz konusu verilere ait araştırma periyodu içindeki değerleri Çizelge 5.1.'de gösterilmiştir.

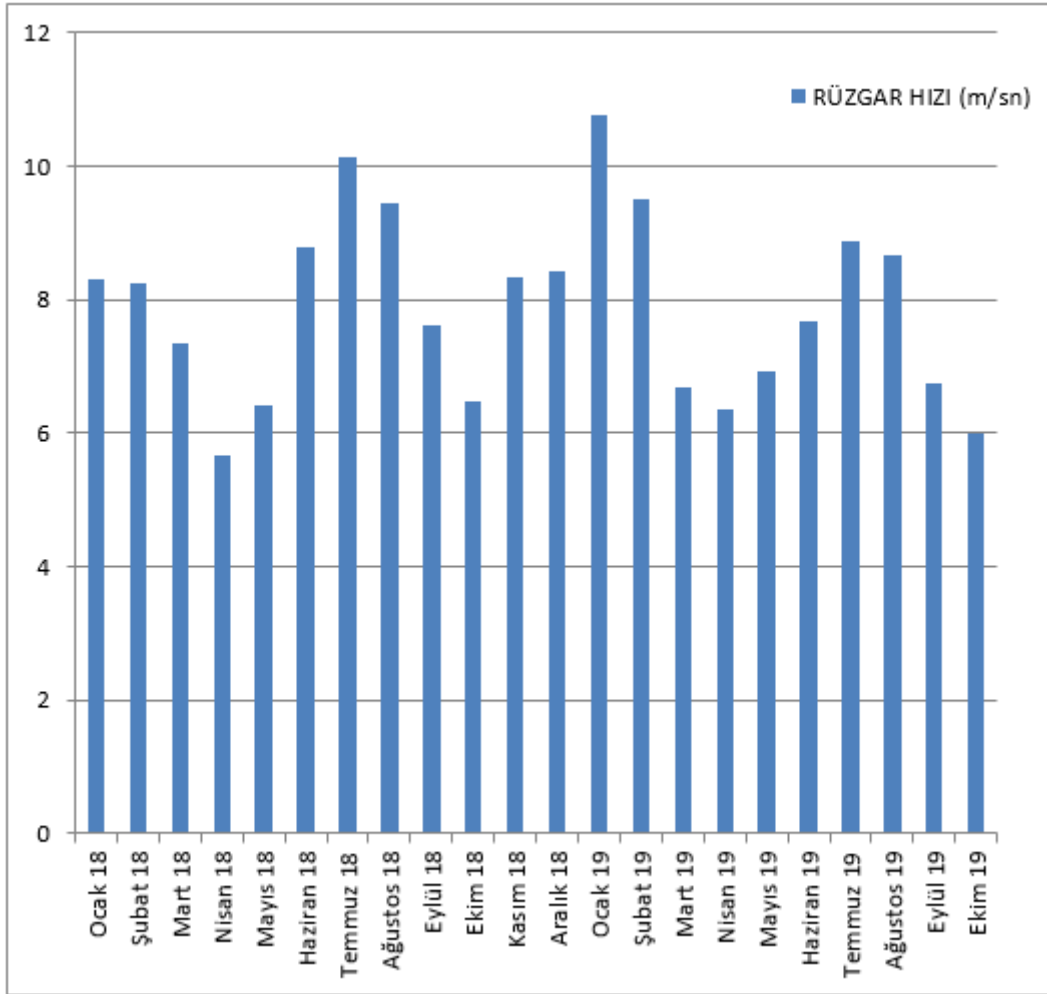
Çizelge 5.1. Araştırma değişkenlerine ait değerler

TARİH	RÜZGAR HIZI (m/s)	SICAKLIK (C)	ÜRETİM MİKTARI (kWh)	ÇALIŞMA SÜRESİ (saat)
Ocak 18	8,31	6,62	3 123 314	1561,66
Şubat 18	8,23	9,34	2 949 707	1474,85
Mart 18	7,35	12,88	3 332 847	1666,42
Nisan 18	5,65	16,3	2 096 319	1048,15
Mayıs 18	6,4	20,46	2 030 437	1015,21
Haziran 18	8,78	21,06	5 518 194	2759,09
Temmuz 18	10,13	22,99	7 936 328	3968,16
Ağustos 18	9,43	24,09	7 740 910	3870,45
Eylül 18	7,61	23,07	3 831 546	1915,77
Ekim 18	6,46	19,83	3 090 516	1545,25
Kasım 18	8,32	12,82	3 656 720	1828,36
Aralık 18	8,41	8,8	3 930 716	1965,35
Ocak 19	10,75	4,71	4 650 591	2325,29

Çizelge 5.1. (Devam) Araştırma değişkenlerine ait değerler

Şubat 19	9,51	6,47	2 907 556	1453,77
Mart 19	6,69	8,32	2 858 264	1429,13
Nisan 19	6,36	11,4	2 800 089	1400,04
Mayıs 19	6,93	19,9	3 300 492	1650,24
Haziran 19	7,66	21,25	4 580 489	2290,24
Temmuz 19	8,88	21,84	6 161 387	3080,69
Ağustos 19	8,66	27,32	6 097 693	3048,84
Eylül 19	6,74	21,5	4 021 162	2010,58
Ekim 19	5,99	19,51	3 371 719	1685,85

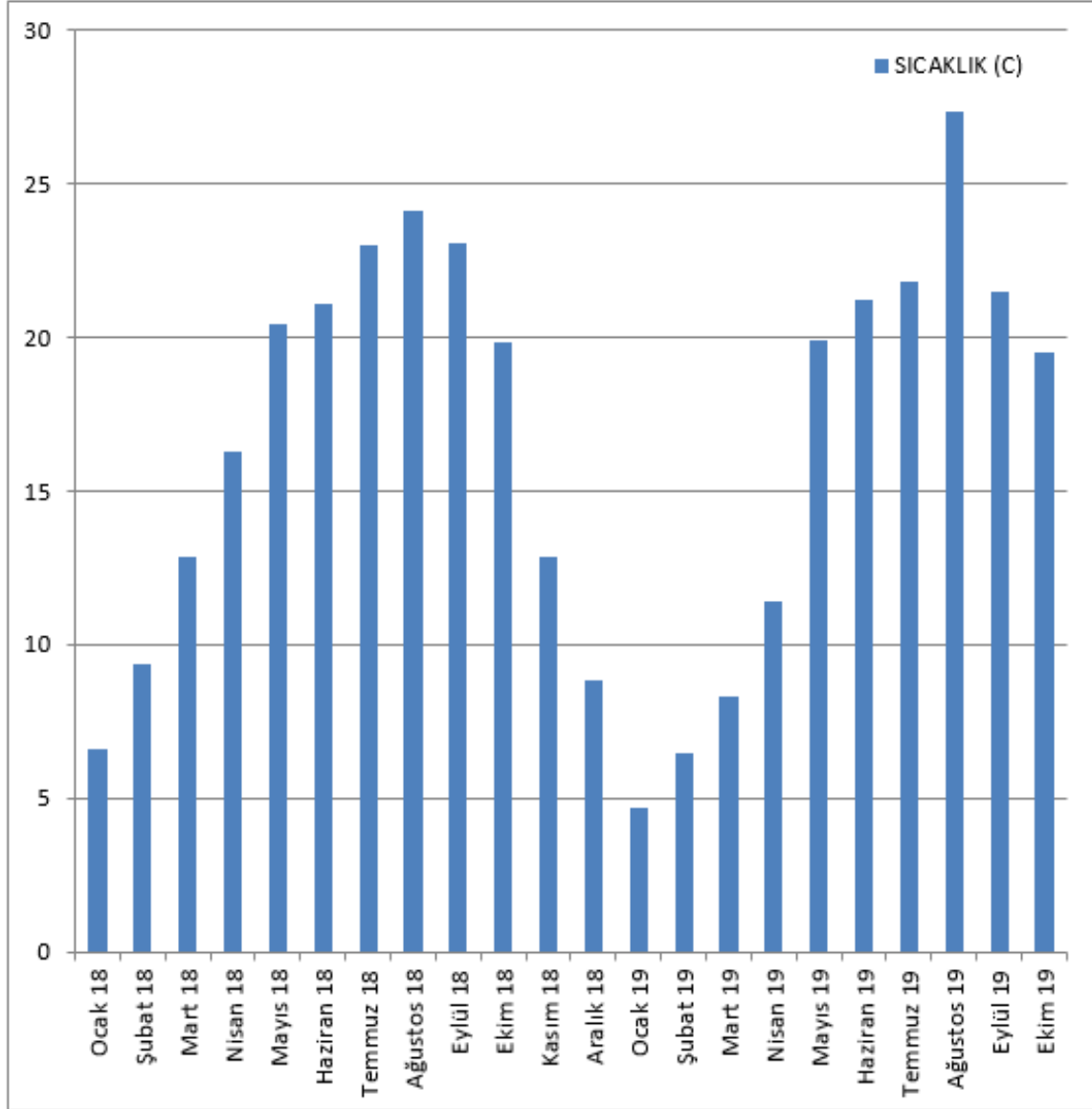
Çizelge 5.1.'e göre toplamda 22 aylık bir veri seti görülmektedir. Bu döneme ait verilerin gösterimi şekillerde yapılmıştır.



Şekil 5.1. Bölgedeki aylık ortalama rüzgar hızı

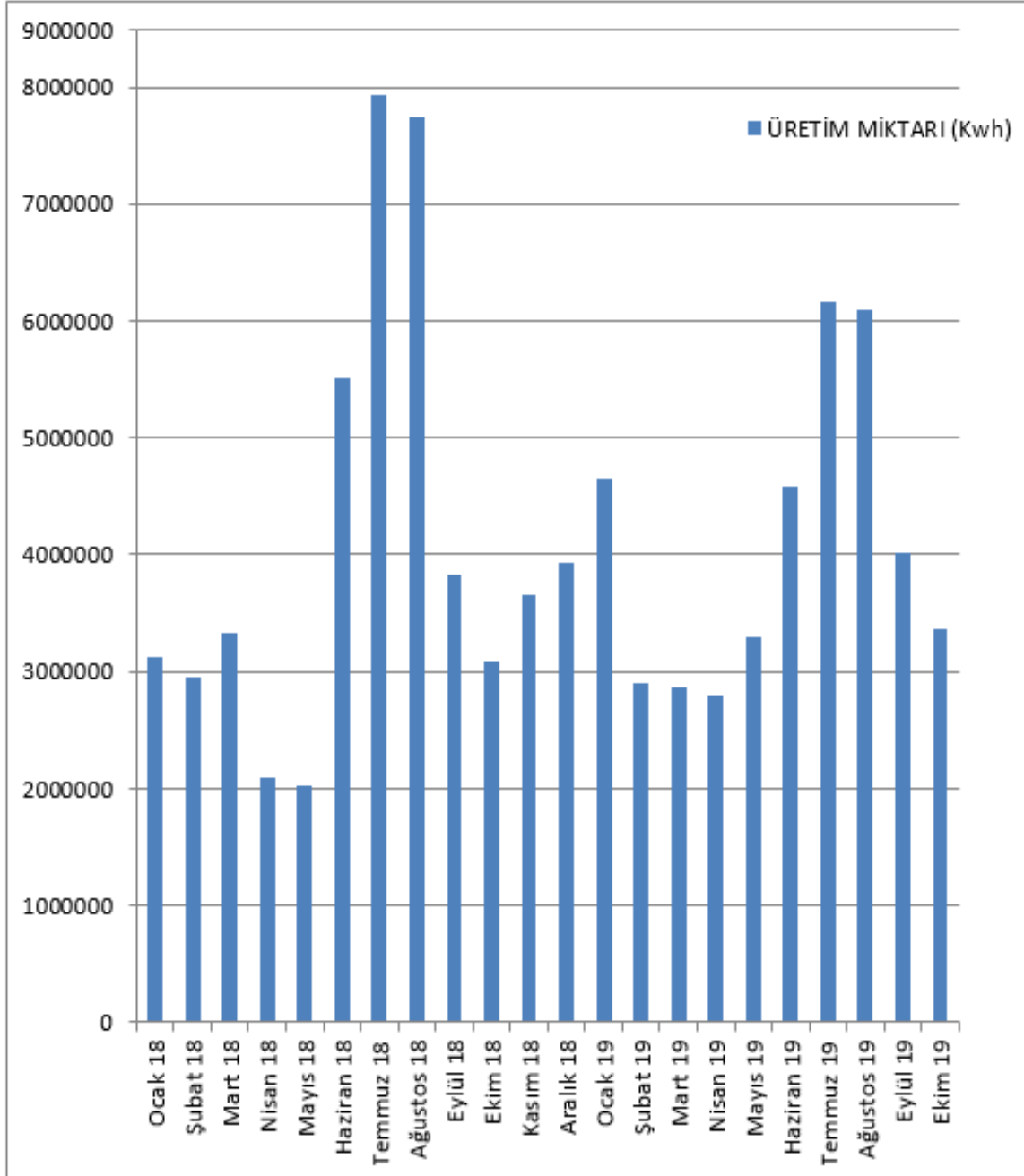
Şekil 5.1'e göre rüzgar hızı araştırma periyodu içerisinde en yüksek ortalama rüzgar hızının olduğu ayın Ocak 2019 olduğu, en düşük ortalama rüzgar hızına sahip olunan ayın Nisan 2018 olduğu belirlenmiştir.

Şekil 5.2.'ye göre araştırmada dikkate alınan dönem içerisinde en düşük ortalama sıcaklık Ocak 2019 ayına aitken, en yüksek ortalama sıcaklık Ağustos 2019 ayına aittir.



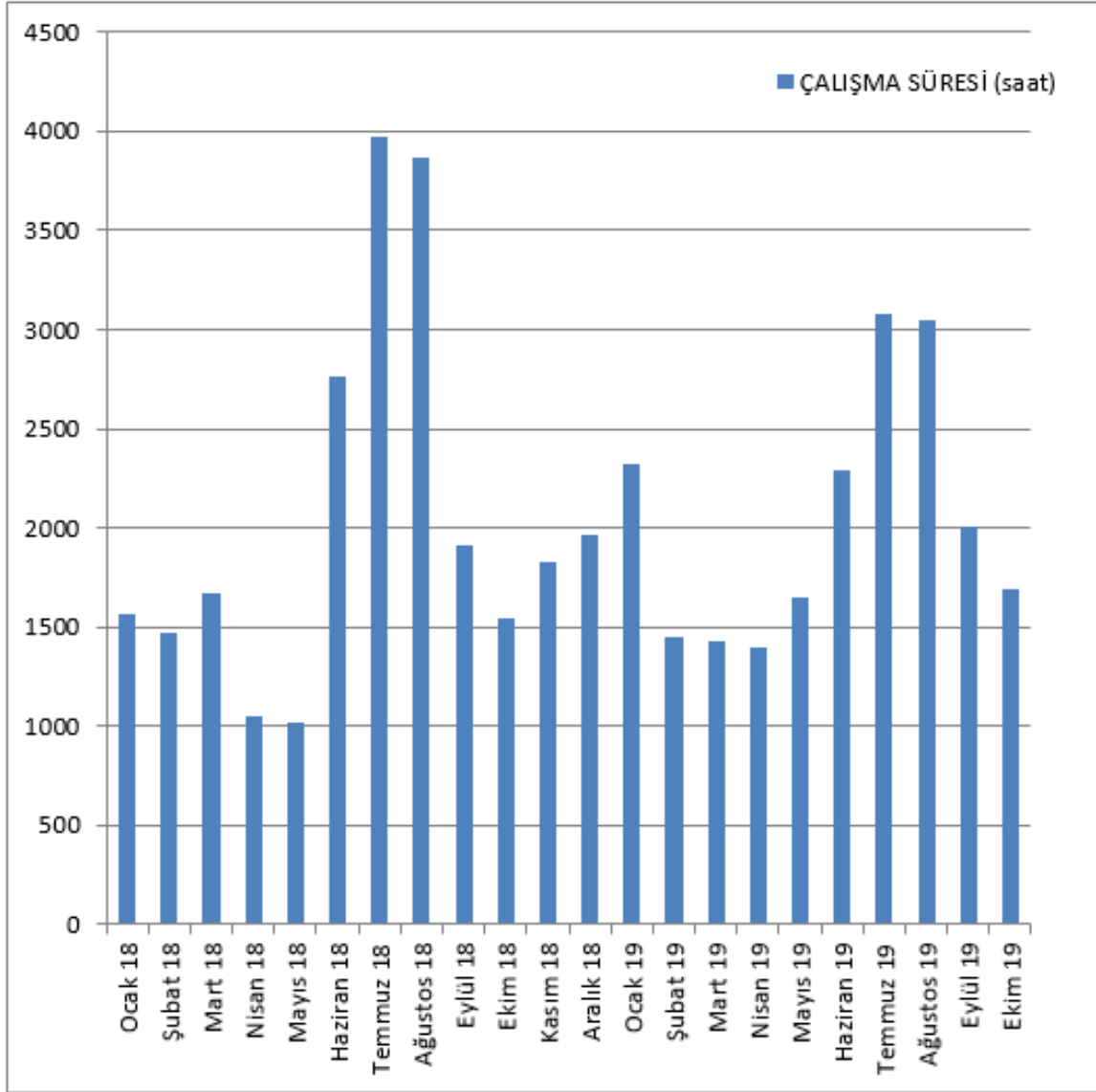
Şekil 5.2. Bölgedeki aylık ortalama sıcaklık

Şekil 5.3'e göre araştırmada dikkate alınan dönem içerisinde en düşük toplam elektrik üretimi Mayıs 2018 ayındayken, en yüksek elektrik üretimi Temmuz 2018 ayına aittir.



Şekil 5.3. Aylık toplam elektrik üretim miktarı

Şekil 5.4'e göre araştırmada dikkate alınan dönem içerisinde türbinlerin en aktif olarak çalıştığı ay Temmuz 2018 olup, en düşük aktiflikte çalıştığı ay ise Nisan 2018 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.4. Aylık toplam türbin aktivasyonu

5.3. Araştırmada Yer Alan Değişkenlerin Durağanlığının Araştırılması

Zaman serisi analizinden önce durağan halde olmayan serilerin durağan hale çevrilmesi gerekmektedir. Bu sebeple önce serinin otokorelasyon fonksiyonlarına bakılmış sonrasında ADF ve P-P birim kök testleri uygulanmıştır.

5.3.1. Otokorelasyon fonksiyonu ile durağanlığın araştırılması

Bir serinin otokorelasyon fonksiyonunu tespit etmek adına çeşitli testler bulunmaktadır. Bu

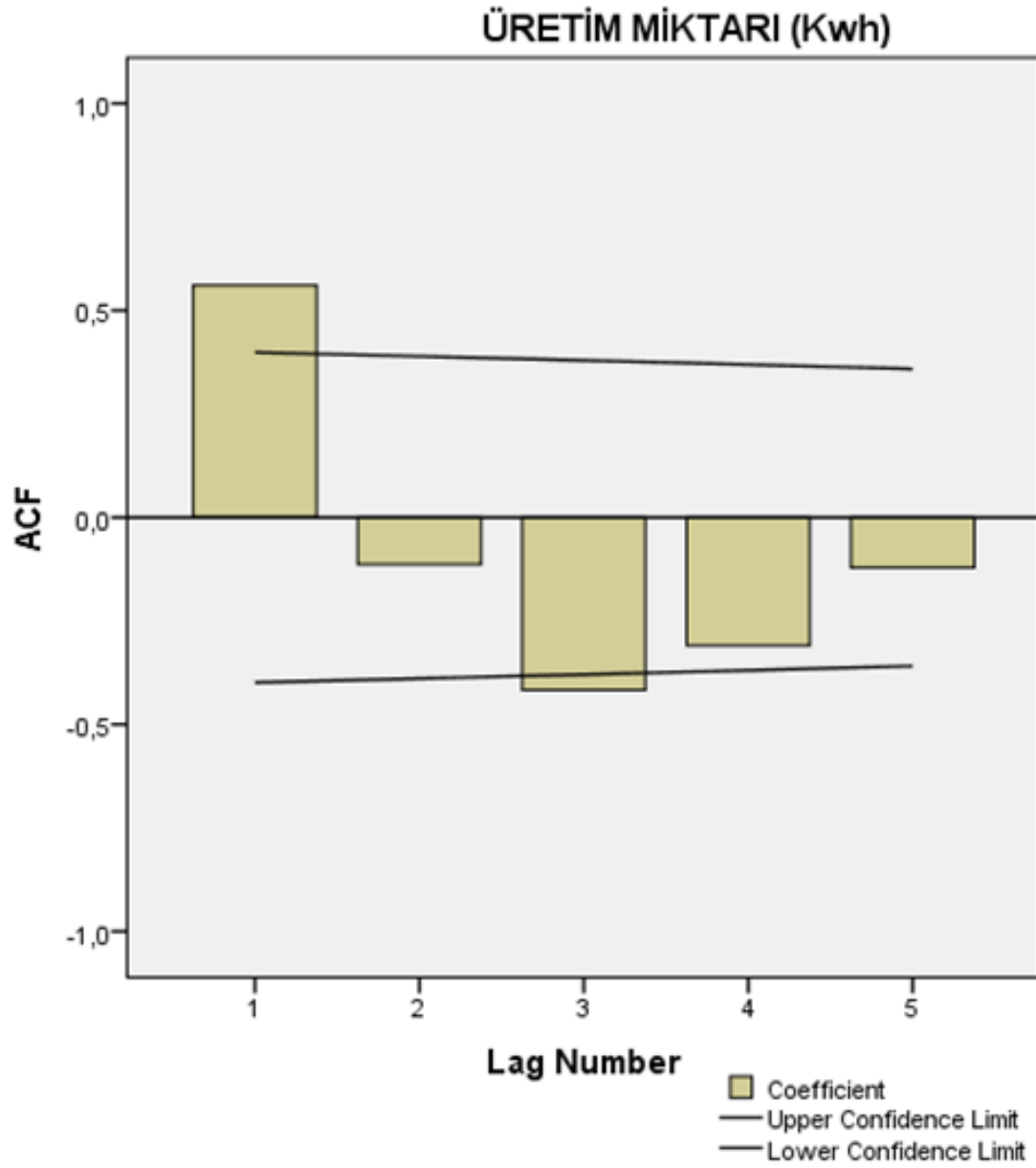
araştırmada IBM SPSS 20 programında bulunan Ljung-Box testi ile otokorelasyon fonksiyonunun araştırılması yapılmıştır. Bu test küçük örneklem grupları ile çalışıldığı takdirde iyi neticeler alınabilmektedir. Aynı test oluşturulan modelin hata serisine ait otokorelasyonun varlığına dair çıkarımlar elde etmektedir.

H_0 : Serinin otokorelasyonu yoktur. (Seri durağandır.)

H_1 : Serinin otokorelasyonu vardır. (Seri durağan değildir.)

Ljung-Box Testi ile elde edilen Q istatistiğinin anlamlılık düzeyi (p), 0,05'ten küçük olması durumunda H_0 hipotezi reddedilir. Bu karar zaman serisinin durağan olmadığına işaret etmektedir.

Enerji retim miktarına ait zaman serisi için SPSS programında yapılan otokorelasyon fonksiyonuna (ACF) ait grafik Şekil 5.5.'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Enerji üretim miktarı için ACF grafiği

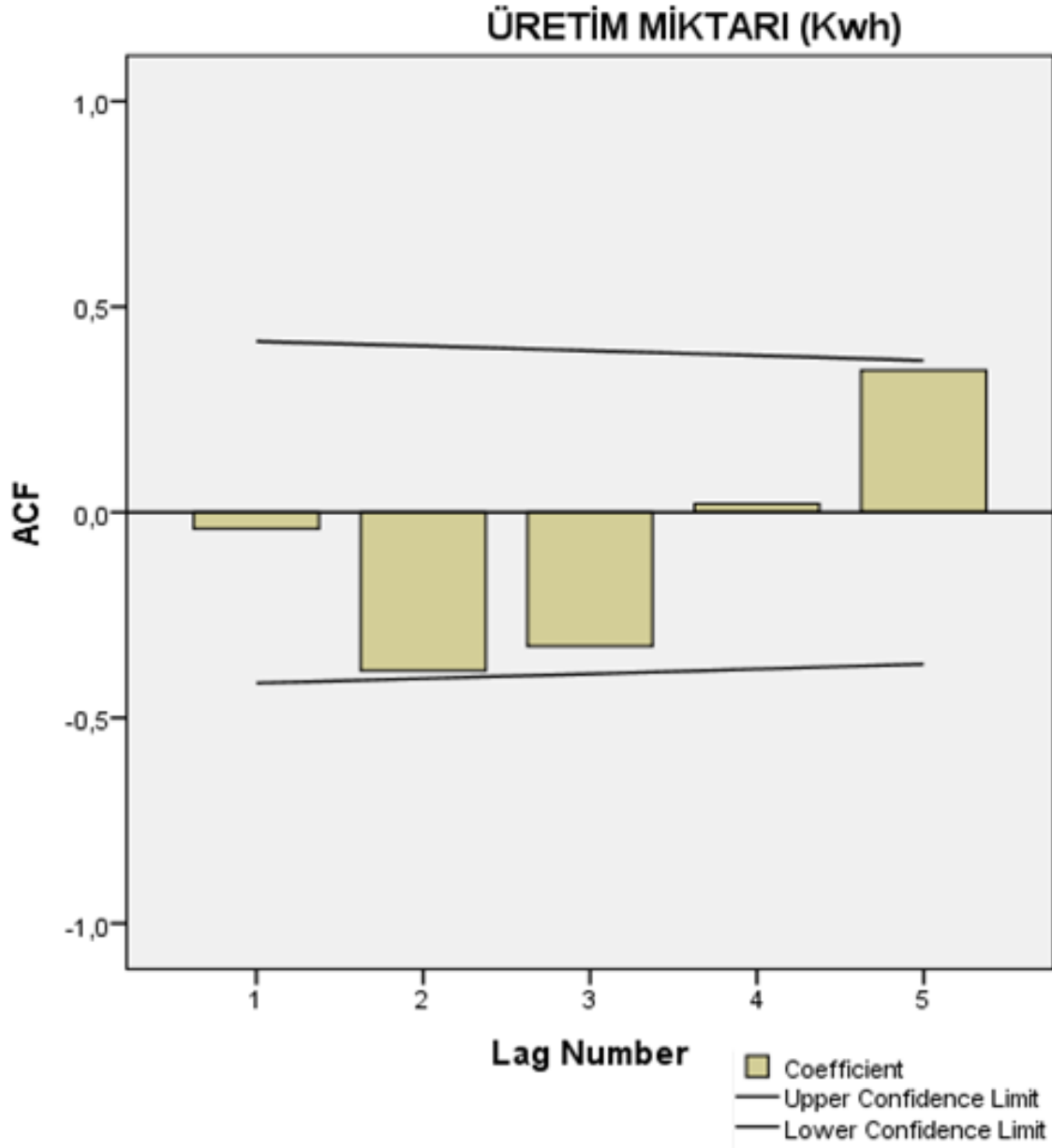
Enerji üretimi değişkeninin ACF grafiğine göre katsayıların limit değerlerden daha fazla olduğu durumlar olduğu görülmektedir. Buna göre üretim miktarı değişken düzeyde durağan olmadığı ifade edilebilir.

Enerji üretimi değişkenine ait otokorelasyon tablosuna göre 5 ($\max < \text{Gözlemsayısı}/4$) gecikmeye değin otokorelasyon olup olmadığına bakılmıştır. Çizelge 5.2.'de yer alan bütün gecikmelerin Ljung-Box Testi anlamlılık düzeyi 0,05'ten daha küçük olduğundan sıfır hipotezi reddedilerek değişkene ait zaman serisinin durağan olmadığı anlaşılmıştır.

Çizelge 5.2. Üretim miktarı serisi otokorelasyonu

Gecikme	Otokorelasyon	Standart Hata	Box-Ljung İstatistiği		
			Değer	sd	p
1	,561	,199	7,907	1	,005
2	-,114	,195	8,247	2	,016
3	-,417	,190	13,070	3	,004
4	-,309	,185	15,878	4	,003
5	-,121	,179	16,334	5	,006

Enerji üretim miktarına ait zaman serisinin 1. farkı için SPSS programında yapılan otokorelasyon fonksiyonuna (ACF) ait grafik Şekil 5.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Enerji üretimi miktarı 1.farkı için ACF grafiği

Şekil 5.6.'ya göre enerji üretim miktarı serisi düzey değerlerinin durağan olmamasından dolayı serinin birinci farkı alınmış ve önsezi olarak serinin birinci farkında durağanlaştığı görülmüştür.

Çizelge 5.3. Üretim miktarı serisi birinci farkının otokorelasyonu

Gecikme	Otokorelasyon	Standart Hata	Box-Ljung İstatistiği		
			Değer	sd	p
1	-,040	,208	,038	1	,846
2	-,385	,202	3,665	2	,160
3	-,326	,197	6,417	3	,093
4	,021	,191	6,429	4	,169
5	,345	,185	9,928	5	,077

Üretim miktarı serisinin birinci farkının 5 gecikmeli değerinin de Box-Ljung Testi sonucu anlamlılık düzeyi 0,05'ten büyük olduğundan serinin durağanlaştığı görülmektedir.

5.3.2. Araştırmada yer alan değişkenlerin birim kök testleri ile durağanlığının sağlanması

Daha öncesinde yapıldığı gibi otorelasyon katsayılarının ve onların grafikleri ile serinin durağanlık durumu araştırıldığı gibi genişletilmiş Dickey-Fuller Birim Kök Testi ve Philip Peron Birim Kök Testi ile de durağanlık incelenebilmektedir.

Çalışmada yer alan değişkenlere ait Genişletilmiş Dickey-Fuller Birim Kök Testi sonuçları Çizelge 5.4.'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. Çalışmadaki değişkenlere ait ADF testi sonuçları

Değişken	Test Seviyesi	Denklem Tipi	Test İstatistiği	Sonuç
Üretim Miktarı	Düzy	ADF	Sabitli : -3,914** Sabitli Trendli: -3,857*	I(0)
Çalışma Saati	Düzy	ADF	Sabitli : -4,149** Sabitli Trendli: -4,000*	I(0)
Hava Sıcaklığı	Düzy	ADF	Sabitli : -5,860** Sabitli Trendli: -5,632**	I(0)
Rüzgar Hızı	Düzy	ADF	Sabitli : -4,888** Sabitli Trendli: -3,707*	I(0)

*p<0,05 ; **p<0,01

H_0 : Değişkenlerde birim kök vardır.

H_1 : Değişkenlerde birim kök yoktur.

Tabloya göre araştırmada yer alan değişkenlerin ADF birim kök testine göre düzey değerlerinde durağan olduğu belirlenmiştir.

Çalışmada yer alan değişkenlere ait Philip Peron Birim Kök Testi sonuçları Çizelge 5.5.'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.5. Çalışmadaki değişkenlere ait PP testi sonuçları

Değişken	Test Seviyesi	Denklem Tipi	Test İstatistiği	Sonuç
Üretim Miktarı	Düzy	PP	Sabitli : -2,478 Sabitli Trendli: -2,387	I(1)
	1.Fark		Sabitli : -3,811* Sabitli Trendli: -3,718*	
Çalışma Saati	Düzy	PP	Sabitli : -2,478 Sabitli Trendli: -2,387	I(1)
	1.Fark		Sabitli : -3,058* Sabitli Trendli: -3,014*	
Hava Sıcaklığı	Düzy	PP	Sabitli : -2,776 Sabitli Trendli: -2,678	I(1)
	1.Fark		Sabitli : -4,058* Sabitli Trendli: -4,014*	
Rüzgar Hızı	Düzy	PP	Sabitli : -2,593 Sabitli Trendli: -2,544	I(1)
	1.Fark		Sabitli : -3,236* Sabitli Trendli: -3,715*	

*p<0,05 ; **p<0,01

Çizelge 5.5.'e göre araştırmada yer alan değişkenlerin P-P birim kök testine göre düzey değerlerinde durağan olmadıkları fakat 1. farklarında durağanlaştığı tespit edilmiştir.

5.3.3. Box jenkins yöntemi kullanılarak zaman serisi modelinin yapılması

Box-Jenkins metodunun en önemli olan basamağı otokorelasyon ve kısmi korelasyon katsayılarının detaylı incelemesi yapılarak tahmin etmeye en uygun olan ARMA (p,q) modelinin tespit edilmesidir. Bu uygun modelin belirlenmesinde MAPE ve RMSE dikkate alınmıştır. Rüzgar türbini tesisinin veri tabanından elde edilen veriler dikkate alınarak daha sonraki yılların enerji üretimi ile ilgili tahminleme yapılacaktır.

MAPE ortalama mutlak yüzde hata (mean absolute percentage error)

Zaman serilerinde model tahminlerinin kesinliğinin tespit edilmesi için ortalama mutlak yüzde hatası sık kullanılan bir adımdır. Bu araştırmada MAPE değerinde bakılarak daha az olan modelleri daha öncelikli olarak seçilmeye gayret edilecektir (5.1) ve (5.2).

$$MAPE=(100/n) \sum_j^n (|e_j| / |A_j|) \quad (5.1)$$

sMAPE Simetrik Ortalama Mutlak Yüzde Hata:

$$sMAPE=(100/n) \sum_j^n (2*|e_j| / (|A_j|+(|P_j|))) \quad (5.2)$$

tanımlanmaktadır.

RMSE Kök ortalama kare hata (root mean square error)

Tahminlemesi yapılan değerler ve gerçekte olan değerlerin birbiri arasındaki uzaklığın tespit edilmesinde kullanılan, hatanın büyüklüğü ile ilgilenen kuadratik ölçü olarak literatürde geçmektedir. RMSE tahmin hatalarının standart sapması olarak da bilinmektedir.

MSE Ortalama Kare Hata (5.3)

$$MSE=(1/n) \sum_{j=1}^n (e_j^2) \quad (5.3)$$

RMSE Kök Ortalama Kare Hata (5.4), (5.5)

$$RMSE=\sqrt{(1/n) \sum_{j=1}^n (e_j^2)} \quad (5.4)$$

$$RMSE=\sqrt{MSE} \quad (5.5)$$

Üretim miktarı serisine ait otokorelasyon fonksiyonu ve PP testi sonucunda değişkenin birinci farkında durağanlaşmanın sağlandığı görülmüştür. Farklı ARIMA modelleri için gerçekleştirdiğimiz tahminlemelere göre hata terimleri değeri Çizelge 5.6.'da belirtilmiştir.

Çizelge 5.6. Rüzgar enerjisi üretimi MAPE, RMSE değerleri

ARIMA MODEL	MAPE	RMSE
(0,1,0)	22,415	131 767
(1,1,0)	22,391	134 330
(0,1,1)	23,105	132 188
(1,1,1)	25,036	129 249
(0,1,2)	23,384	140 351
(2,1,2)	26,573	121 365
(1,1,2)	26,243	126 762

Uygun tahminleme modelinin seçimi için Çizelge 5.6.'da sonuçlara ulaşılmıştır. Buna göre MAPE hata terimi değerleri diğer modellerden belirgin olarak daha düşük bulunmuş olup, RMSE değerleri de yeteri seviyede düşüktür. Buna göre rüzgar enerjisi üretim tahmininin belirlenmesinde ARIMA (1,1,0) modelinin kullanılmasına karar verilmiştir.

Uygun olan ARIMA(1,1,0) modeli kullanılarak, aylar itibari ile tahmin sonuçları Çizelge 5.7.'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7. Rüzgar enerji üretim tahmin tablosu

Aylar	Tahmin (kWh)
Ocak2020	4 109 175
Şubat2020	3 150 854
Mart2020	3 317 778
Nisan2020	2 670 426
Mayıs2020	2 887 687
Haziran2020	5 271 564
Temmuz2020	7 271 080
Ağustos2020	7 141 524
Eylül2020	4 148 576
Ekim2020	3 453 340

Çizelge 5.7.'ye göre 2020 yılındaki aylara ait enerji üretim tahminleri önceki aylara göre stabil kaldığı görülmektedir. Buna göre enerji üretimine ait geçmiş dönem verilerine etkide bulunan değişkenlerin belirlenmesi için kurulan çoklu doğrusal regresyon analizi modeli aşağıdaki gibidir:

Üretilen Enerji Miktarı (kW)= Rüzgar Hızı (m/s)+Hava sıcaklığı (°C)+Çalışma Süresi (Saat)
Bağımlı değişkenin ve bağımsız değişkenlerin çoklu doğrusal regresyon analizi sonuçları Çizelge 5.8. 'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.8. Rüzgar türbininden elde edilen enerji miktarına etki eden faktörlere ait çoklu doğrusal regresyon analizi sonuçları

Bağımlı Değişken: Δ Üretim	Coefficient	Standart Hata	Anlamlılık
c	-0,018	0,097	0,927
Δ Çalışma süresi	0,687	0,139	0,008
Δ Hava sıcaklığı	0,888	0,014	0,125
Δ Rüzgar Hızı	0,287	0,189	0,002
$R^2=0,732$			
$F=26,062$	$p=0,000$		

Durağanlaştırmak için birinci dereceden farkları alınmış olan seriler Eviews10 programında çoklu doğrusal regresyona tabi tutulmuş ve Çizelge 5.8.'deki çıktılar elde edilmiştir. Buna göre Ocak 2018- Ekim 2019 arasında kalan döneme ait rüzgar türbini üretim çıktılarının bağlı olduğu faktörlerin tespiti için yapılan analizde modelin istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur ($F=26,062$ $p<0,05$). Ayrıca çoklu doğrusal regresyonu sonucunda elde edilen bulguların geçerliliği için regresyon analizi varsayımlarının (değişen varyans, normallik, otokorelasyon ve çoklu doğrusal bağlılığın olmaması) da sağlandığı tespit edilmiştir. Çizelge 5.8.'e göre hava sıcaklığının türbinlerin üretmiş olduğu enerji miktarında doğrudan anlamlı bir etkisinin olmadığı ($p<0,05$), buna karşılık rüzgar hızının ve türbinlerin çalışma sürelerinin doğrudan anlamlı etkilerinin olduğu belirlenmiştir. Bu durumda çevresel rüzgardaki bir birimlik artışın enerji üretimde 0,287 birimlik artışa sebep olduğu, ayrıca türbinlerin çalışma süresindeki bir birimlik artışın toplam enerji üretimde 0,687 birimlik artışa sebep olduğu bulunmuştur.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuç

Bu çalışmada Doğu Akdeniz Bölgesinde Belen Atik Yaylası'nda kurulu olan 9 adet birbiri ile eş niteliklere sahip rüzgar türbinlerinden elde edilecek enerji miktarı hakkında daha sonraki dönemler için zaman serileri kullanılarak tahminleme yapılmıştır. Buna göre rüzgar türbinlerinden elde edilen enerji miktarının rüzgar hızına, hava sıcaklığına ve türbinin aktif çalışma saatine bağlı olma durumları araştırılarak enerji üretiminin bağlı olduğu unsurlar incelenmiştir. Araştırmada Doğu Akdeniz Bölgesinde Belen Atik Yaylası'nda konuşlandırılmış 9 adet rüzgar türbinine ait 2018 yılı Ocak ayı ve 2019 yılı Ekim ayı arasındaki aylık periyotlara ait kWh cinsinden üretim miktarı, bölgedeki o aya ait ortalama rüzgar hızı (m/s) ve 9 adet türbinin toplam aylık aktif çalışma süresi (saat) ve aya ait ortalama hava sıcaklığı (°C) değişkenleri türbin tesisindeki veri tabanından elde edilmiştir. Buna göre öncelikle geçmiş aylara bağlı enerji üretim miktarına ait verilerle zaman serisi analizine tabi tutularak gelecek aylardaki enerji üretim tahminleri yapılmıştır.

Üretim miktarı serisinin birinci farkının 5 gecikmeli değerinin de Box-Ljung Testi sonucu anlamlılık düzeyi 0,05'ten büyük olduğundan serinin durağanlaştığı görülmüştür. Ayrıca araştırmada yer alan değişkenlerin ADF birim kök testine göre düzey değerlerinde durağan olduğu, araştırmada yer alan değişkenlerin P-P birim kök testine göre birinci derecede durağan olduğu belirlenmiştir.

Uygun tahminleme modelinin seçimi için yapılan çalışmada MAPE hata terimi değerleri diğer modellerden belirgin olarak daha düşük bulunan model seçilmiş olup, buna göre rüzgar enerjisi üretim tahmininin belirlenmesinde MAPE değerleri belirgin bir şekilde küçük olduğundan ARIMA (1,1,0) modelinin kullanılmasına karar verilmiştir. Çalışmada 2020 yılındaki aylara ait enerji üretim tahminleri önceki aylara göre stabil kaldığı görülmektedir. Buna göre enerji üretimine ait geçmiş dönem verilerine etkide bulunan değişkenlerin belirlenmesi için kurulan çoklu doğrusal regresyon analizi sonucunda Ocak 2018 – Ekim 2019 arasında kalan döneme ait rüzgar türbini üretim çıktılarının bağlı olduğu faktörlerin tespiti için yapılan analizde modelin istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur. Hava sıcaklığının türbinlerin üretmiş olduğu enerji miktarında doğrudan anlamlı bir etkisinin olmadığı ($p < 0,05$), buna karşılık rüzgar hızının ve türbinlerin çalışma sürelerinin doğrudan anlamlı etkilerinin olduğu belirlenmiştir. Bu durumda çevresel rüzgardaki bir birimlik artışın

enerji üretiminde 0,287 birimlik artışa sebep olduğu, ayrıca türbinlerin çalışma süresindeki bir birimlik artışın toplam enerji üretiminde 0,687 birimlik artışa sebep olduğu bulunmuştur. Bu tahminleme sisteminin verileri, hem gelecekte oluşabilecek problemleri öngörmeyi sağlayacak hem de rüzgar santrali işletme sahası alanındaki endişenin azalmasına yardımcı olacağı düşünülmektedir. Ayrıca tahminleme sistemi rüzgar santrali işletmesinin ileriye yönelik doğru politikaların da oluşturulmasına ön ayak olacağı varsayılmaktadır.

6.2. Öneriler

Mevcut tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar içerisinde 2020 yılına ait üretim verileri elde edilmiştir. Kullanılan metodlarla oluşturulan zaman serileri modellemede makul doğrulukta sonuçlar verse de geliştirilebilir bir yapıya sahip olduğu düşünülmektedir. Özellikle rüzgar hızı, arıza süreleri, türbin çalışma sürelerinin değişkenliklerine göre sayısal model sonuçları üzerindeki etkileri kapsamlı parametrik çalışmalar ile ele alınmalıdır. Bu veriler ışığında ileriye dönük tahminleme sayesinde rüzgar santralleri işletmelerinin enterkonnekte sisteme ne kadar enerji aktarımı sağlayabileceği de öngörülmektedir. 2020 yılında yapılan tahminlerin ışığında, her yıl bir sonraki yılın verileri de tahminleme sistemine yüklenmek koşulu ile bir sonraki takvim yılında oluşabilecek üretim miktarının ne kadar olacağı öngörülebilecektir. Bu öngörüler sayesinde dışa bağımlılık belirli bir miktarda azaltılabileceği de öngörülmektedir. Yapılan tahminin doğruluğunu her yıl bir önceki yıldaki verilerin analizi ile karşılaştırılmalı ve sonuçların istenilen doğruluk oranında çıkması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- Abrahamse, W., & Steg, L. 2011. Factors related to household energy use and intention to reduce it: The role of psychological and socio-demographic variables. *Human Ecology Review*, 18(1), 30-40.
- Acaroğlu M. 2007. Alternatif enerji kaynakları, Nobel Yayın Dağıtım 2. Basım, Ankara, Türkiye.
- Action Plan. 2014. National Renewable Energy Action Plan For Turkey. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (December, 2014).
https://www.eigm.gov.tr/File/?path=ROOT%2f4%2fDocuments%2fEnerji%20Politikas%2fNational_Renewable_Energy_Action_For_Turkey.pdf
- Açıkgöz, H., Akyavuz, Ü. D., Yücel, N. & Özdemir, R. 2015. Kilis İlinin Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli Bakımından Değerlendirilmesi. 1. Uluslararası Mühendislik Mimarlık Ve Tasarım Kongresi
- Adaçay, F. R. 2014. Türkiye için enerji ve kalkınmada perspektifler. *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(2), 87-103.
- Agency, I. R. E. 2012. Hydropower, Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series, 1(5), 1-44
- 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 İle Yazılan Programda Yapılması. Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektronik Mühendisliği Bitirme Tezi.
- Akdi, Y. 2012. Zaman serileri analizi, Gazi Kitabevi, Ankara, C:3.
- Akdoğan, D. A. 2018. Yenilenebilir enerjide kamu politikaları ve Türkiye. Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul
- Akınsal, A. 2009. Rüzgar Enerjisi Ve Türkiye Rüzgar Potansiyeli Rüzgar Enerjisinde Değişken Ve Sabit Fiyat Tarifeleri Ve Enerji Depolama Teknikleri (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

- Alpman, E. 2015. Aerodynamic performance of small-scale horizontal axis wind turbines under two different extreme wind conditions. *Journal of Thermal Engineering*, 1(3), 420-432.
- Amano, R. S., & Sundén, B. (Eds.). 2014. *Aerodynamics of wind turbines: emerging topics*. WIT Press.
- Aydın, F. F. 2010. Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 30 (35), 317–340.
- Ayran, K. 2015. Türkiye’de Alternatif Enerji Kaynaklarının Ekonomik Açısından İrdelenmesi. *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*. Çankırı Karatekin Üniversitesi, Çankırı.
- Bang, D., Polinder, H., Shrestha, G., & Ferreira, J. A. 2008, March. Review of generator systems for direct-drive wind turbines. In *European wind energy conference & exhibition, Belgium* (Vol. 31).
- Bayraç, H. N. 2011. Küresel rüzgâr enerjisi politikaları ve uygulamaları. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, C1(1)
- B. Yanıktepe & C. Özalp & M. M. Savrun & T. Köroğlu & Ç. Cebeci, 2011, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey
- Canning, P. 2011. Energy use in the US food system. *Economic Research Report*, 94, Diane Publishing.
- Chantharasenawong, C., Jongpradist, P., & Laoharatchapruak, S. 2011, October. Preliminary design of 1.5-MW modular wind turbine tower. In *The 2nd TSME International Conference on Mechanical Engineering*, Krabi, Thailand.
- Chowdhury, M. M. 2014. Modelling and control of direct drive variable speed wind turbine with Interior Permanent Magnet Synchronous Generator. *Doctoral dissertation*, University of Tasmania).
- Cingil, İ. 2008. Yenilenebilir enerji kaynakları ve ekonomik etüdü. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 25-29
- Çelen, E. 2018. Pastörizasyon Ön İşleminin Biyogaz Üretim Verimine Etkisi. *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

- Dektmk. 2018. 2018 Enerji Görünümü: 2040'a Bakış. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, <https://www.dunyaenerji.org.tr/2018-enerji-gorunumu-2040a-bakis/>, (Erişim Tarihi: 17.12.2019).
- Doğanay, H. ve Coşkun, O. 2017. Enerji Kaynakları. (3. Baskı). Ankara: Pegem Akademi.
- Drury, E., Denholm, P., & Margolis, R. M. 2009. The solar photovoltaics wedge: pathways for growth and potential carbon mitigation in the US. *Environmental Research Letters*, 4(3), 034010.
- Durak, M. 2016 Rüzgar Ölçümlerinde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar, Enermet Enerji Meteoroloji Müşavirlik ve Mümessillik Limited Şirketi
- Durak, M., & Özer, S. 2008. Rüzgar enerjisi teori ve uygulama. Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği.
- EİGM. 2019. Rüzgar Enerjisi. Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar-ruzgar_enerjisi.aspx, (Erişim Tarihi: 12.12.2019)
- EİGM. 2019b. Çanakkale ili rüzgar kaynak bilgileri. Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, <http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/CANAKKALE-REPA.pdf>, (Erişim Tarihi: 07.12.2019)
- Eker, B., Vardar, A., 2002 Bir Rüzgar Türbin Kanadı Olarak NACA 4415 Profilinin Rüzgar Tüneli Testleri, *Journal of Energy and Electric, Electronic Technologies*, 96.
- Elibüyük, U., & Üçgül, İ. 2014. Rüzgâr Türbinleri, Çeşitleri Ve Rüzgâr Enerjisi Depolama Yöntemleri. *SDÜ Yekarum e-Dergi*, 2(3), 1-14.
- Enders, W. 1995. *Applied econometric time series*, Jonh Wiles and Sons, Canada.
- Energy. 2019. <https://www.energy.gov/>, (Erişim tarihi: 15.12.2019)
- Erdener, H., Eroğlu, E., Şengül, E., Gür, N., Baç, N., & Erkan, S. 2007. *Sürdürülebilir Enerji ve Hidrojen*. ODTU Yayıncılık.
- ETKB. 2019. Biyokütle. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <https://www.enerji.gov.tr/tr-tr/sayfalar/biyokutle>, (Erişim Tarihi: 07.12.2019)
- Gezer, E. H. 2013. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Türkiye*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

- Gipe P. 2003. Wind Energy Basics, Chelsea Gren Publishing Company, Vermont, USA.
- Graham-Rowe, D. 2008. Aerogenerator turbine sets sail for a greener future. <https://www.theguardian.com/technology/2008/jan/29/wind.energy.aerogenerator>, (Erişim Tarihi: 18.12.2019).
- GSR. 2018. Renewables 2018 Global Status Report, A comprehensive annual overview of the state of renewable energy. <https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/08/Full-Report-2018.pdf>, (Erişim Tarihi: 09.12.2019)
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. 2012. Temel Ekonometri, Çeviren: şenesen, Ü. and şenesen, G. G., İstanbul, Literatür Yayıncılık.
- Hemami, A. 2012. Wind turbine technology. Cengage Learning. Boston, USA.
<http://ele.aut.ac.ir/~wind/en/tour/wres/hill.htm>, (Erişim Tarihi: 20.12.2019)
- http://eval.ifm-electronic.com/ifmbg/web/apps-by-industry/cat_060_010_010.html, (Erişim Tarihi: 20.12.2019)
- <http://industrybest.me/>, (Erişim Tarihi: 20.12.2019)
- <http://www.energy-transition-institute.com/Insights/Wind.html>, (Erişim Tarihi: 20.12.2019)
- <https://grabcad.com/library/rotor-hub-wind-turbine-1>, (Erişim Tarihi: 20.12.2019)
- <https://www.enerjiatlasi.com/elektrik-uretimi/>, (Erişim Tarihi: 20.12.2019)
- <https://www.enerjibes.com/ruzgar-enerjisi-nedir-ruzgar-turbini-cesitleri-nelerdir/>, (Erişim Tarihi: 20.12.2019)
- <https://www.muhendisbeyinler.net/ruzgar-turbini-nedir-nasil-calisir/>, (Erişim Tarihi: 20.12.2019)
- <https://www.windpowerengineering.com/eocycles-direct-drive-wind-turbine-gains-three-new-certifications/>, (Erişim Tarihi: 20.12.2019)
- Irena 2019. Renewable Capacity Statistics 2019. International Renewable Energy Agency. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019%20/%20Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2019.pdf

- Irena 2019. Renewable Capacity Statistics 2019. International Renewable Energy Agency.
https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019%20/%20Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2019.pdf, (Erişim Tarihi: 11.12.2019)
- Kantaroğlu, F. 2010. Fotovoltaik Sistemler. Tiirk Tesisat Mühendisleri Derneği. TTMD.
- Karamanlıoğlu, T. 2011. Farklı rüzgâr türbini tasarımları için santral yeri seçimi ve rüzgâr enerji potansiyelinin belirlenmesinde yapay zeka uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Mersin.
- Karataş, S. 2009. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları İçerisinde Rüzgar ve Güneş Enerjilerinin Yeri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Kashyap, A. R. 2013. Direct-drive permanent magnet synchronous generator design for hydrokinetic energy extraction. Master of Science Thesis, Missouri University of Science and Technology, Faculty of the Graduate School, Missouri, USA
- Kırteke, N. D. 2014. Avrupa Birliği ve Türkiye’nin Enerji Politikaları Bağlamında Nükleer Enerjinin Ekonomik Etkileri. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İnönü Üniversitesi, Malatya.
- Kısakürek, T. 2019. Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Türkiye Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Osmaniye.
- Kısar, A. O. 2017. Rüzgar Santrallerinde İşletme ve Bakım. Dnv.Gl.
- Koç, E., & Şenel, M. C. 2013. Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu-genel değerlendirme. Mühendis ve Makina, 54(639), 32-44.
- Kurt, G. 2011. Dişli Kutulu ve Dişli Kutusuz Rüzgar Türbini-Generatör Sistemlerinin Karşılaştırılması. Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, 5-7.
- Kuzu, S.2013. Yapısal kırılmaları göz önüne alarak Türk imalat sanayi ekonomik değişkenleri arasında uzun dönemli ilişkilerin araştırılması, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

- Lee, S. J., Lim, H. C., & Park, K. C. 2002. Wind flow over sinusoidal hilly obstacles located in a uniform flow. *Wind and Structures*, 5(6), 515-526.
- Letcher, T. M. 2016. *Wind energy engineering: a handbook for onshore and offshore wind turbines*. Academic Press.
- Lettau, H. 1969. Note on aerodynamic roughness-parameter estimation on the basis of roughness-element description. *Journal of applied meteorology*, 8(5), 828-832.
- Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. 2002. Wind turbine control. In *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*. John Wiley & Son.
- Mathew, S. 2006. *Wind energy: fundamentals, resource analysis and economics (Vol. 1)*. Berlin: Springer.
- Menteş, S. 2009. *Enerji Meteorolojisine Giriş Ders Notları*, ITU Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul
- MGM. 2019. Mahalli Rüzgar Yön İsimleri. T.C. Tarım Ve Orman Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <https://www.mgm.gov.tr/genel/sss.aspx?s=mahalliruzgarisimleri>, (Erişim Tarihi: 11.12.2019)
- Monnerie, N., Houaijia, A., Roeb, M., & Sattler, C. 2015. Methane Production via High Temperature Steam Electrolyser from Renewable Wind Energy: A German Study. *Green and Sustainable Chemistry*, 5(02), 70.
- Nelson, V. 2013. *Wind energy: renewable energy and the environment*. CRC press.
- Oral, F., Behçet, R., & Aykut, K. 2017. Hidroelektrik Santral Rezervuar Verilerinin Enerji Üretimi Amaçlı Değerlendirilmesi. *Journal of Science*, 29.
- Orhunbilge, N.1999. *Zaman serileri analizi tahmin ve fiyat indeksleri*, A. Basım- Yayın, İstanbul.
- Ozdamar, A., Gursel, K. T., Orer, G., & Pekbey, Y. 2004. Investigation of the potential of wind-waves as a renewable energy resource: by the example of Cesme—Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8(6), 581-592.
- Ömeroğlu, Ö., 2012. *Yatay Eksenli Rüzgar Türbini Dizaynında Kule Boyu, Çark Çapı ve Kanat Profili Seçiminin Analizi ve Eskişehir İli İçin Bir Uygulama*. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

- Özcan, B. 2015. Yenilenebilir enerjide mevzuat: mevzuat sorunlarına yönelik bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Özgener, Ö. 2002. Türkiye’de Ve Dünya’da Rüzgar Enerjisi Kullanımı. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 4(3), 159-173.
- Özgür, M. A. 2002. Kütahya’da seçilen bir konumda rüzgar verileriyle elektrik enerjisi üretim potansiyelinin bulunması. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Öztürk, F. 2010. Kağıt Endüstrisinde Yakıt Olarak Kullanılan Biyokütle Atıklarının Nem İçeriğinin Yanma Üzerine Etkileri. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak.
- Öztürk, H. H. 2013. Yenilenebilir Enerji Kaynakları. (1. Baskı). İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Özüarı, O. & Eker, B. 2010. Verimlilik Gözetiminde Rüzgâr Türbinleri İçin Bakım Stratejilerinin Geliştirilmesi. Mühendis ve Makina Dergisi, 51(602), 12-15
- Panwar, N. L., Kaushik, S. C., & Kothari, S. 2011. Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. Renewable and sustainable energy reviews, 15(3), 1513-1524.
- Pearce, J. M. 2012. Limitations of nuclear power as a sustainable energy source. Sustainability, 4(6), 1173-1187.
- Polinder, H., Ferreira, J. A., Jensen, B. B., Abrahamsen, A. B., Atallah, K., & McMahan, R. A. 2013. Trends in wind turbine generator systems. IEEE Journal of emerging and selected topics in power electronics, 1(3), 174-185.
- Polinder, H., Van der Pijl, F. F., De Vilder, G. J., & Tavner, P. J. 2006. Comparison of direct-drive and geared generator concepts for wind turbines. IEEE Transactions on energy conversion, 21(3), 725-733.
- Quesnel, N. 2016. Industry Developments: Cooling Electronics in Wind Turbines. <https://www.qats.com/cms/2016/12/21/industry-developments-cooling-electronics-wind-turbines/>, (Erişim Tarihi: 06.12.2019)
- Rajput, R. K. 2006. Power system engineering. Firewall Media. New Delhi, India.

- Rohatgi, J. S., & Nelson, V. 1994. Wind characteristics: An analysis for the generation of wind power. Alternative Energy Institute, West Texas A&M University.
- Sarıkaya, U. 2010. Niğde ili yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 1-52).
- Savrul, M. 2010. AB İlişkileri Çerçevesinde Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının İktisadi Açından Değerlendirilmesi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale.
- Sawin, J. L. 2013. Renewables 2013: Global status report. REN21.
- Sevim, C. 2012. Küresel enerji stratejileri ve jeopolitik. Seçkin Yayınları.
- Sirotkin, E. A., Martyanov, A. S., Solomin, E. V., & Kozlov, S. V. 2016, May. Emergency braking system for the wind turbine. In 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) (pp. 1-4). IEEE.
- Stiebler, M. 2008. Wind energy systems for electric power generation. Springer Science & Business Media.
- Suomen. 2019. Rüzgar Enerjisi tahminleri. Suomen Tuulivoimayhdistys, <https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoima-suomessa-ja-maailmalla/tuulivoimaennusteita>, (Erişim Tarihi: 19.12.2019)
- Sür, B. 2007. Türkiye'de Elektrik Enerjisinin Geçmişi, Bugünü ve Gelecek Planlamaları, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Şahin, M., & Yavrucuk, İ. 2017. Değişken Hızlı Rüzgar Türbinlerinin Kısmi ve Tam Yük Bölgeleri için Kontrolcü Tasarımı. YEKSEM 2017, 12.
- Şenel, M. C., & Koç, E. 2014. Yatay eksenli rüzgar türbinlerinin dinamik davranışı-teorik bir model. DÜMF Mühendislik Dergisi, 5(1), 69-80.
- Tarı, R.2010. Ekonometri, Umuttepe Yayınları, Kocaeli.
- Taşkın, A. 2013. Rüzgâr enerjisinden elektrik üretiminin yaşam döngü analizi. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri.

- Toklu, M. 2002. Rüzgar Enerjisi Ve Elazığ Şartlarında Bir Rüzgar Santrali Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Tomabechi, K. 2010. Energy resources in the future. *Energies*, 3(4), 686-695.
- Tong, W. 2010. *Wind Power Generation and Wind Turbine Design*, WIT Press, Southampton, UK.
- Torunoğlu Gedik, Ö. 2015. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Çevresel Etkileri. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Tsao, J., Lewis, N. & Crabtree, G. 2006. Solar FAQs. Working Draft Version 2006 Apr 20. <https://www.sandia.gov/~jytsao/Solar%20FAQs.pdf>
- Turhan, F. 2009. Rüzgar Enerjisinin Dünya’da ve Türkiye’de Kullanımı, Eskişehir Merkezinin Rüzgar Değerlerinin İncelemesi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
- Ulgen, K., & Hepbasli, A. 2002. Determination of Weibull parameters for wind energy analysis of Izmir, Turkey. *International Journal of Energy Research*, 26(6), 495-506.
- Vardar, A. 2003. Eker B. Rüzgar türbinlerinde uygun kanat tipinin seçilmesi, 3e *Electrotech Mountly. Journal of Energy and Electric, Electronic Technologies*, 105, 134-8.
- Vural, A. 2011. Rüzgar türbinleri için kanat açısı ve rotor hız kontrolü yaparak verimliliğin sağlanması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Walker, J. F., & Jenkins, N. 1997. *Wind energy technology*. John Wiley & Sons Incorporated.
- Watt, F. & Wilson, F. 2001. *Hava ve İklim*, Nurol Matbaacılık, Ankara, Türkiye.
- WWE. 2019. How much do domestic wind turbines cost? *World Wind Energy*, <https://world-wind-energy.info/how-much-do-domestic-wind-turbines-cost/>, (Erişim Tarihi: 09.12.2019)
- Yaman, Y. 2007. *Enerji Tasarrufu ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları*. (1. Baskı). İstanbul: Birsen Yayınevi

- Yazar, A. H. 2013 Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar Kampüsünde Rüzgâr Enerjisi Verimliliğinin İzlenmesi ve Elektrik Üretim Potansiyelinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş
- Yerebakan, M. 2001. Rüzgar Enerjisi, İstanbul Ticaret Odası Yayınları, İstanbul, Türkiye.
- Yıllancı, A. Atalay, Ö., Koçar, G., & Eryaşar, A. 2019. Dinamik test metodu ile bir güneş kollektörünün ısı performansının belirlenmesi. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 25(4).
- Yılmaz & Çam & Taştan & Karcı, 2016. İlker YILMAZ, Ömer ÇAM, Murat TAŞTAN, Adem KARCI / POLİTEKNİK DERGİSİ, Politeknik Dergisi,2016;19(4):577-584
- Yılmaz, M. 2012. Türkiye'nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi. Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, 4(2), 33-54.
- Yörükoğlu, H. 2014. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Risklerinin Bulanık Hıea Tekniğı İle Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 42-45
- Zafar, U. 2018. Literature Review Of Wind Turbines. Chair of Geotechnical Engineering Bauhaus Universität, Weimar.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : CAN, Serkan
 Uyuşu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 20.08.1985, Antakya
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (532) 254 87 12
 e-mail : canserkan85@hotmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi / Elektrik Elektronik Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Yakın Doğu Üniversitesi / Elektrik Elektronik Mühendisliği	2011
Lise	Selim Nevzat Şahin Anadolu Lisesi	2003

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2017-Halen	Güriş İnşaat ve Mühendislik A.Ş. Belen Atik Rüzgar Santrali	İşletme Müdürü - Mühendis
2015-2017	Aksa Enerji Üretim A.Ş. Belen Atik Rüzgar Santrali	İşletme Müdürü - Mühendis
2013-2015	Aksa Enerji Üretim A.Ş. Mardin-Kızıltepe Mobil Santrali	İşl. Müd. Yrd. - Mühendis
2011-2013	EÜAŞ Tarsus Berdan HES	İşletme Bakım Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce
 Arapça

Yayımlar

- CAN, S. & OZAKTURK, M. (2020) Reducing Energy Generation Loss in Wind Turbines by Ensuring Torque Restricted Yaw Gear System to Operate at Optimum Torque Values, 3rd International Mardin Artuklu Scientific Research Congress
- CAN, S. & OZAKTURK, M. (2020) Rüzgar Türbinlerinde Kullanılan Tork Limitersiz Yaw Gear Sisteminin Tork Limiterli Yaw Geara Dönüştürülmesi ile Türbindeki Üretim Kaybını Azaltma, 7th International Scientific Research Congress

Hobiler

Yüzme, Kamp ve Doğa yürüyüşleri, Basketbol



TEKNOVERSİTE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

