

**T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ VİZE MESLEK YÜKSEKOKULU
YERLEŞKESİNİN RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ziya KAYI

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

Tez Danışmanı: Yrd.Doç. Dr. Süreyya KOCABEY

OCAK 2017

**T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ VİZE MESLEK YÜKSEKOKULU
YERLEŞKESİNİN RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ziya KAYI
(1148204102)**

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

Tez Danışmanı: Yrd.Doç. Dr. Süreyya KOCABEY

09 Ocak 2017

Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 1148204102 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Ziya KAYI**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ VİZE MESLEK YÜKSEKOKULU YERLEŞKESİNİN RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd.Doç. Dr. Süreyya KOCABEY**
Kırklareli Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Nevzat ONAT**
Celal Bayar Üniversitesi

Yrd.Doç. Dr. Zafer Ömer ÖZDEMİR
Kırklareli Üniversitesi

Teslim Tarihi : **09 Ocak 2017**
Savunma Tarihi : **20 Ocak 2017**

Beni meslek yaşamım süresince destekleyen ve bana her zaman yardımcı olan başta kıymetli eşim Tuba Nur KAYI'ya ve tüm aileme ithaf ediyorum.

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde bizzat elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada özgün olmayan tüm kaynaklara eksiksiz atıf yapıldığını, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ediyorum.

İmza
Ziya KAYI
.../.../2017

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bilgi ve deneyimleriyle her konuda bana destek olup yönlendiren değerli hocam, danışmanım Yrd.Doç.Dr. Süreyya KOCABEY'e, verilerin toplanması aşamasında desteklerinden ötürü Vize MYO Müdürü Yrd.Doç.Dr.Nihat Kamil ANIL'a ve Yüksekokulu Sekreteri Nedim BAYRAKTAR'a, ayrıca yol arkadaşım Sergen DEMİRTAŞ'a teşekkür ederim.

Ocak 2017

Ziya KAYI

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
BEYAN SAYFASI	vii
ÖNSÖZ	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xv
SEMBOL LİSTESİ	xvii
ÇİZELGE LİSTESİ	xix
ŞEKİL LİSTESİ	xxi
ÖZET	xxv
SUMMARY	xxvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	1
1.2 Çalışmanın Kapsamı	2
1.3 Literatür Taraması	3
2. ENERJİ TALEBİ VE ENERJİ KAYNAKLARI	13
2.1 Dünyada Enerji Talebi ve Üretimi	13
2.2 Türkiye de Enerji Talebi ve Üretimi	15
2.3 Enerji Kaynakları	19
2.3.1 Yenilenemez enerji kaynaklarına genel bakış	19
2.3.2 Yenilenebilir enerji kaynakları.....	22
2.3.2.1 Güneş enerjisi	22
2.3.2.2 Güneş enerjisi kullanımı	24
2.3.2.3 Rüzgar enerjisi	26
2.3.2.4 Hidrolik enerjisi	26
2.3.2.5 Jeotermal enerji	27
2.3.2.6 Biyokütle enerjisi	28
3. RÜZGAR ENERJİSİ VE TEKNOLOJİLERİ	31
3.1 Rüzgar Nedir, Nasıl Oluşur	31
3.2 Rüzgar Türleri	32
3.2.1 Süreklilik durumlarına göre	32

3.2.2 Hızlarına göre	33
3.2.3 Esme yönlerine göre	35
3.3 Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi.....	36
3.4 Rüzgar Enerjisi Potansiyelini Etkileyen Faktörler	38
3.4.1 Yükseklik	38
3.4.2 Pürüzlülük (yüzey pürüzlülüğü).....	39
3.4.3 Türbülans.....	41
3.4.4 Rüzgar engelleri (perdeleme etkisi)	42
3.4.5 Wake etkisi (wake effect) ve türbin yerleşim etkisi (park effect)	42
3.4.6 Tünel etkisi (tunnel effect)	44
3.4.7 Tepe etkisi	44
3.5 Rüzgar Teknolojileri	45
3.5.1 Rüzgar türbinlerinin sınıflandırılması	46
3.5.1.1 Yatay eksenli rüzgar türbinleri (YERT).....	47
3.5.1.2 Dikey eksenli rüzgar türbinleri (DERT).....	51
3.5.1.3 Eğik eksenli rüzgâr türbinleri	55
3.6 Rüzgar Türbini Parçaları	55
3.6.1 Gövde (kanopi, nase)	57
3.6.2 Kanatlar	57
3.6.3 Hatve mekanizması (pitch kontrol sistemi).....	57
3.6.4 Ana şaft ve ana şaft yatağı.....	58
3.6.5 Dişli kutusu	59
3.6.6 Yaw mekanizması (sapma mekanizması)	59
3.6.7 Fren.....	60
3.6.8 Kule	60
3.6.9 Jeneratör	61
3.6.10 Elektronik kontrol sistemi	61
3.6.11 Hidrolik sistem	62
3.6.12 Soğutma sistemi	62
3.6.13 Anemometre ve rüzgar vanası.....	62
4. RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİ VE ÖLÇÜM TEKNİKLERİ.....	63
4.1 Dünyada Rüzgar Enerjisi	63
4.2 Türkiye de Rüzgar Enerjisi	65
4.3 Kırklareli'nde Rüzgar Enerjisi Potansiyeli	69
4.4 Rüzgar Ölçüm İstasyonu Özellikleri ve Ölçüm Teknikleri.....	72

4.4.1 Rüzgar ölçüm istasyonu ölçüm standartları ve kurulum özellikleri	73
4.4.2 Rüzgar ölçüm istasyonunda yer alan algılayıcılar	78
5. MATERYAL VE METOD.....	83
5.1 Kırklareli Üniversitesi Vize Meslek Yüksekokulu Yerleşim Alanı.....	83
5.2 Materyal	85
5.2.1 Ölçüm istasyonunun kurulumu ve kullanılan yazılım	86
5.2.2 Ölçüm istasyonu özellikleri.....	87
5.3 Yöntem.....	89
5.3.1 Rüzgâr gülü rüzgâr hızı dağılım fonksiyonu.....	90
6. BULGULAR.....	93
6.1 Rüzgar Ölçüm Sonuçları	93
6.2 Vize MYO'nun Enerji Tüketimi ve Tüketimi Karşılımak İçin Seçilen Türbinler.....	99
6.3 Türbin Nacel Yüksekliği İçin Rüzgar Hızlarının Hesaplanması.....	102
7. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	105
KAYNAKLAR	107
ÖZGEÇMİŞ.....	113

KISALTMALAR

ABD	:Amerika Birleşik Devletleri
ANFIS	:Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Denetim Sistemi
BEP	:Binalarda Enerji Performansı
BP	:British Petroleum
DC	:Doğru Akım
DERT	:Dikey Eksenli Rüzgar Türbini
EİE	:Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EWEA	:Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği
GEPA	:Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
GSM	:Küresel Mobil İletişim Sistemi
GWEC	:Küresel Rüzgar Enerjisi Konseyi
HES	:Hidroelektrik Santrali
MATLAB	:Matrix Laboratory
MGM	:Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MS	:Milattan Sonra
MYO	:Meslek Yüksekokulu
OECD	:Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
OFFSHORE	:Deniz Üstü
REPA	:Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası
RES	:Rüzgar Enerjisi Santrali
RETScreen	:Enerji Proje Analiz Yazılımı
TEBLİĞ	:Rüzgar ve Güneş Enerjisine Dayalı Önlisans Başvuruları İçin Yapılacak Rüzgar ve Güneş Ölçümleri Uygulamalarına Dair Tebliğ
TEİAŞ	:Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
TÜREB	:Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği
WAsP	:Wind Atlas Analysis and Application Program
WMO	:Dünya Meteoroloji Örgütü
YERT	:Yatay Eksenli Rüzgar Türbini
YSA	:Yapay Sinir Ağları

SEMBOL LİSTESİ

A	:Rotor Süpürme Alanı (m^2)
A_h	:Pürüzlülük Elemanının Bölge Üzerine Dağılmış Ortalama Yatay Kesit Alanı
CdTe	:Kadmiyum Tellürid
CH₄	:Metan
CO₂	:Karbondiyoksit
C_p	:Türbinin Güç Katsayısı
CuInSe₂	:Bakır İndiyum Diselenid
E	:Rüzgardaki Kinetik Enerji (j)
E_y	:Enerji Yoğunluğu
f	:Rüzgarın Yıllık Esme Saat Sayısı
GaAs	:Galyum Arsenit
H	:Hesaplanmak İstenen Noktanın Yerden Yüksekliği
h	:Pürüzlülük Elemanının Yüksekliği
H_{ref}	:V _{ref} Rüzgar Hızının Ölçüldüğü Noktanın Yerdenyüksekliği
I	:Türbülans Yoğunluğu
mh	:Havanın Kütlesi (kg)
Mtep	:Milyon Ton Eşdeğer Petrol
N₂O	:Diazot Monoksit
Py	:Ölçüm Yüksekliğindeki Güç Yoğunluğunu
S	:Pürüzlülük Elemanının Rüzgara Karşı Gelen Dikey Kesit Alanı
s	:Rüzgâr Hız Verilerinin Standart Sapma Değeri
t	:Ölçüm Zamanını (s)
V	:Hesaplanmak İstenen Yükseklikteki Rüzgar Hızı
V_h	:Hava Hacmi (m^3)
V_m	:Ölçülen Ortalama Hız Değeri
V_r	:Ölçümün Yapıldığı Yükseklikteki Rüzgar Hızı (m/sn)
V_{ref}	:H _{ref} Yüksekliktekirüzgar Hızı
Z₀	:Pürüzlülük Uzunluğu (m)
λ	:Kanat Uç Hız Oranı

μ :Yeryüzü Pürüzlülüğüne Bağlı Hellmann Katsayısı
 ρ_h :Havanın Yoğunluğu (kg/m^3)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Türkiye kurulu güç ve üretiminin yıllar itibariyle gelişimi.....	16
Çizelge 2.2 : Türkiye elektrik enerjisinin üretim-ithalat-ihracat-brüt talebin 2014 yılı itibariyle aylık dağılımı.....	17
Çizelge 2.3 : 2014 yılı itibariyle Dünyada güneş enerjisi.....	23
Çizelge 2.4 : Türkiye HES kurulu gücü.....	27
Çizelge 2.5 : Biyokütle kaynakları kullanılan çevrim teknikleri, bu teknikler kullanılarak elde edilen yakıtlar ve uygulama alanları	29
Çizelge 3.1 : Süreklilik durumlarına göre rüzgarlar	32
Çizelge 3.2 : Hızlarına göre rüzgarlar (10 m yükseklik için).	33
Çizelge 3.3 : Beaufort rüzgar ölçeği.	34
Çizelge 3.4 : Rüzgarın esme yönüne göre dereceleri ve rüzgar isimleri	35
Çizelge 3.5 : Pürüzlülük sınıfları ve pürüzlülük uzunluğu.	39
Çizelge 3.6 : Türbülans yoğunluğu değerlerinin sınıflandırılması.	41
Çizelge 4.1 : Bölgelere göre ortalama rüzgar gücü yoğunluğu ve hızları.	66
Çizelge 4.2 : Kırklareli ili kurulabilecek rüzgar enerjisi santrali güç kapasitesi.....	71
Çizelge 4.3 : Kırklareli ili işletmede olan rüzgar enerjisi santralleri.....	72
Çizelge 4.4 : Kırklareli ili inşa halindeki rüzgar enerjisi santralleri.....	72
Çizelge 4.5 : Anemometrede istenilen asgari özellikler.	79
Çizelge 4.6 : Hava Sıcaklığı, Hava Nemi, Basınç ölçer asgari özellikleri	80
Çizelge 5.1 : Ölçüm istasyonunun teknik özellikleri.	88
Çizelge 5.2 : Datalogger'in arşivleme aralığına göre kayıt saklama kapasitesi.	89
Çizelge 5.3 : Grafik metodu uygulaması (Eylül Ayı).....	91
Çizelge 6.1 : Aylara göre rüzgar ve meteorolojik veriler.....	96
Çizelge 6.2 : Yönlere göre rüzgar verileri.....	97
Çizelge 6.3 : Rüzgarın yönlere göre esme hızları.....	97
Çizelge 6.4 : Rüzgar hız verilerinin frekans dağılımı.....	98
Çizelge 6.5 : 22 metre için aylara Göre k, c, V_{ort} ortalama değerleri.....	99
Çizelge 6.6 : Vize Meslek Yüksekokulu 1 yıllık elektrik enerji tüketimi.....	99
Çizelge 6.7 : Türbin modellerinin özellikleri ve üretilen enerji miktarları.....	103

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 : 2013 yılı Dünya genelinde birincil enerji tüketimi	14
Şekil 2.2 : Türkiye 2014 yılı brüt elektrik enerjisi üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı	17
Şekil 2.3 : Yıllar itibariyle kişi başına düşen elektrik enerjisi tüketimi.....	18
Şekil 2.4 : 1990 ile 2013 yılları arasında bölgeler bazında dünya petrol tüketim.....	20
Şekil 2.5 : Bölgeler itibariyle petrol rezerv ve rezerv ömrü (2013).....	20
Şekil 2.6 : 2014 yılı Dünya ispatlanmış doğal gaz rezervleri dağılımı (EIA)	21
Şekil 2.7 : Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA).	23
Şekil 2.8 : Güneş Pili ve Güneş Pili modülü.	24
Şekil 2.9 : Fotovoltaik hücre yapısı.	25
Şekil 2.10 : Keban Barajı ve hidroelektrik santrali (HES).	27
Şekil 3.1 : Rüzgar oluşumu.....	31
Şekil 3.2 : Rüzgar pusulası	35
Şekil 3.3 : Pürüzlülük derecelerine göre yüzey şekilleri	40
Şekil 3.4 : Bir engel etrafında rüzgârın akış biçimi.	42
Şekil 3.5 : Wake (İz) Etkisi ve türbin arkasında oluşan hız eğrileri	43
Şekil 3.6 : Wake (iz) Etkisi ve türbin uçlarına eklenen dumanın Wake Etkisi	43
Şekil 3.7 : Türbin yerleşim planı örneği	44
Şekil 3.8 : Gedser rüzgar türbini.....	46
Şekil 3.9 : Rüzgarı önden alan türbin ve rüzgarı arkadan alan türbin.	48
Şekil 3.10 : Tek Kanatlı Rüzgar Türbini.	49
Şekil 3.11 : İki ve Üç Kanatlı Rüzgar Türbini.....	50
Şekil 3.12 : Çok Kanatlı Rüzgar Türbini.	51
Şekil 3.13 : Darrieus ve H-Darrieus Rüzgar Türbin Tipleri.	53
Şekil 3.14 : Savonius Tip rüzgar türbini ve çalışma prensibi	54
Şekil 3.15 : Bazı model Savonius türbin modelleri.	54
Şekil 3.16 : Eğik Eksenli Rüzgar Türbini.....	55
Şekil 3.17 : Siemens SWT-3.6-107 Model Türbinin güç eğrisi	56

Şekil 3.18 : SWT-3.6-107 Model Siemens rüzgar türbini iç yapısı.....	56
Şekil 3.19 : Hatve mekanizması (Kanat açısı ayarlama)	58
Şekil 3.20 : Ana şaft.....	58
Şekil 3.21 : Dişli kutusu.....	59
Şekil 3.22 : Yaw mekanizması	60
Şekil 4.1 : 1995-2015 Dünya toplam rüzgar enerjisi kurulu gücü (MW).....	63
Şekil 4.2 : 1995-2015 Dünya rüzgar enerji kurulu gücü artışı (MW).....	64
Şekil 4.3 : 2015 yılı dünyada rüzgar enerjisi kurulu gücü ilk 10 ülke ve toplam kapasite (MW).....	64
Şekil 4.4 : 2015 yılı dünyada rüzgar enerjisi kurulu güç artışı ilk 10 ülke ve toplam artış (MW)	65
Şekil 4.5 : Türkiye’de 100 m yükseklik için yıllık ortalama rüzgar hızı haritası (REPA).	66
Şekil 4.6 : Rüzgar enerjisi kurulu güç artışı ve rüzgar enerjisi toplam kurulu gücü .	67
Şekil 4.7 : Türkiye 2015 yılı RES'lerin bölgeler bazında dağılımı.....	68
Şekil 4.8 : Türkiye 2015 yılı RES'lerin iller bazında dağılımı (MW)	68
Şekil 4.9 : Kırklareli ili rüzgar hız dağılımı (Yükseklik: 50 m.)	69
Şekil 4.10 : Kırklareli ili kapasite faktörü dağılımı(Yükseklik: 50 m.).....	70
Şekil 4.11 : Kırklareli ili rüzgar santrali kurulamayacak alanlar	71
Şekil 4.12 : Rüzgar ölçüm istasyonu şematik gösterimi.	75
Şekil 4.13 : Boru tipi ve Kafes tipi ölçüm direği.	76
Şekil 4.14 : Ölçüm direğinin tepe noktası rüzgar ölçerlerin birbirleri ile olan mesafeleri.	77
Şekil 4.15 : Kupalı anemometre	78
Şekil 4.16 : Anemometre hata oranı sonucu güç üretiminde hata oranı.	79
Şekil 4.17 : Yön sensörü.....	80
Şekil 4.18 : Veri kaydedici	81
Şekil 4.19 : GSM modül	81
Şekil 5.1 : Rüzgar ölçüm istasyonunun kurulacağı Vize MYO'nun uydu görüntüleri. .	84
Şekil 5.2 : Kuzey batı yönünden görünümü (Vize Kalesi tarafından).	85
Şekil 5.3 : Ölçüm istasyonunun kurulum aşamaları.	87
Şekil 5.4 : Ölçüm istasyonu.	87
Şekil 5.5 : Meteoroloji istasyonu software programı ekran görünümü.	89
Şekil 5.6 : Rüzgar hızlarının xi ve yi düzeninin grafiği (Eylül ayı).....	92
Şekil 6.1 : 22 metre yükseklikten alınan Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim, Kasım, Aralık dönemine ait günlük ortalama ve aylık ortalama hızlar.....	95

Şekil 6.2 : Hakim rüzgar yönü.....	96
Şekil 6.3 : Rüzgar hızlarının xi ve yi grafiği.....	98
Şekil 6.4 : Kullanılan türbinlerin güç eğrisi.....	102

KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ VİZE MESLEK YÜKSEKOKULU YERLEŞKESİNİN RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Günümüzde hayatımızın her alanında elektrik enerjisi kullanılmakta ve tüketimi her geçen gün artmaktadır. Bu artan talebi karşılamak ülkelerin başlıca sorunlarından biri haline gelmektedir. Günümüzde elektrik enerjisi fosil kaynaklı yakıtlardan elde edilmektedir. Dünyada elektrik enerjisi üretmek için kullandığımız fosil yakıt rezervleri her geçen gün azalmaktadır. Ayrıca fosil yakıtların kullanılması küresel ısınma ve çevre kirliliğine de neden olmaktadır. Ülkemiz gibi yeterli fosil yakıt rezervine sahip olmayan pek çok ülke ise enerji kullanımında dışa bağımlıdır. Bu ve benzeri nedenlerle günümüzde enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi daha fazla artmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlilerinden biri olan rüzgar enerjisi en hızlı gelişen yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Rüzgar enerjisinden en iyi şekilde faydalanılabilmesi ve bu enerji kaynağının ilk yatırım maliyetinin yüksek olması nedeniyle rüzgar enerjisi santrali kurulumundan önce rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında, Kırklareli Üniversitesi Vize MYO Yerleşkesinin rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, 20 metre yüksekliğe sahip Vize MYO binasının üzerine kurulan rüzgar ölçüm istasyonundan faydalanılmıştır. Rüzgarın hızı, hakim rüzgar yönü, havanın nemi, sıcaklığı ve basıncı gibi meteorolojik veriler 2,5 saniye aralıklarla alınmış ve dataloggerdan bu ölçümlerin istatistiksel değerlendirmeleri yapılarak 15 dakika arayla kaydedilmiştir. Daha sonra bu veriler ışığında bölgenin rüzgar enerjisi potansiyeli yorumlanmıştır. Çalışmada rüzgar enerjisi potansiyelinin analiz için Weibull dağılımı kullanıldı. Sonuç olarak bölgenin rüzgar enerjisi potansiyelinin Vize MYO'nun enerji ihtiyacının ne kadarına cevap verebileceği yorumlanmıştır.

İlk önce tezin amacı ve kapsamı belirlenmiştir. Daha sonra literatür taramasına yer verilmiştir. Dünyada ve Türkiye'deki enerji ihtiyacı ve buna yönelik üretim incelenmiştir. Yenilenemez ve yenilenebilir enerji kaynakları incelenerek rüzgar enerjisi ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretiminde kullanılan rüzgar türbinleri sınıflandırılarak incelenmiş ve yatay eksenli rüzgar türbinlerinin parçaları tanımlanmıştır. Dünyada ve Türkiye'deki rüzgar enerjisi potansiyeli incelenerek rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretimi irdelenmiştir. Rüzgar enerjisi ölçümü için kullanılan istasyonların standartları ve ölçümde kullanılan algılayıcılar incelenmiştir. Materyal ve metot bölümünde ölçüm yapılan alan incelenmiş, ölçüm sisteminin kurulumu ve özellikleri verilmiştir. Sonraki bölümde alınan sonuçlar ortaya konulmuş ve Weibull dağılımıyla istatistiksel değerlendirmesi yapılmıştır. Binanın rüzgar enerjisi potansiyeli belirlenmiş ve ihtiyaca ne kadar cevap verebileceği tartışılmıştır.

DETERMINATION OF THE WIND ENERGY POTENTIAL OF THE KIRKLARELI UNIVERSITY VIZE VOCATIONAL SCHOOL

SUMMARY

Today, electricity is used in all areas of our lives and consumption has been growing with each day. Meeting this increasing demand is becoming one of the main problems of the countries. Today, electric energy is derived from fossil fuels. The fossil fuel reserves we use to produce electricity in the world are decreasing day by day. Also, the use of fossil fuels causes global warming and environmental pollution. Many countries that do not have sufficient fossil fuel reserves, such as our country, are outsourced in energy usage. For these and similar reasons the importance of renewable energy sources in energy production has increased more and more today.

Wind energy, one of the most important sources of renewable energy resources, is one of the fastest growing sources of renewable energy. Because of the best utilization of wind energy and the high initial investment cost of this energy source, it is necessary to determine the wind energy potential before installation of the wind energy plant.

In this thesis study, it was aimed to determine the wind energy potential of Kirklareli University Vize Vocational College Campus. For this purpose, the wind measurement station built on the Vize Vocational College building, which is 20 meters high, was used. Meteorological data such as wind speed, dominant wind direction, air humidity, temperature, pressure were taken at intervals of 2.5 seconds and statistical evaluations were made from the datalogger and recorded every 15 minutes. Then, by evaluating the obtained data, the wind energy potential of the region is interpreted. In the study, the Weibull distribution was used for the analysis of the wind energy potential. As a result, it has been interpreted how the wind energy potential of the region can respond to the VIZE Vocational College energy needs.

First, the purpose and scope of the thesis was determined. Later, it was included in the literature review. The energy demand in the world and in Turkey and the production capacity to meet this demand have been examined. By examining Nonrenewable and renewable energy sources, wind energy has been dealt with in detail. Wind turbines types used in the production of electricity from wind energy are classified and examined and parts of horizontal axis wind turbines are introduced. The potential of wind energy in the world and Turkey has been investigated and the production of electricity from wind energy has been examined. Characteristics of meteorological stations used in wind energy measurement, installation standards and sensors used in the measurement process are examined. In the material and method section, the measurement area is examined and the setup and properties of the measurement system are given. The results obtained in the next section are presented and statistical evaluation is made with the Weibull distribution. The building's potential for wind energy has been determined and it has been discussed how much it can respond to.

1. GİRİŞ

İnsanlık var olduğu günden bugüne enerjiye ihtiyaç duymuştur. Günümüzde ise neredeyse hayatımızın hemen her alanında enerjiden faydalanmaktayız. İhtiyaç duyduğumuz bu enerji kesintiye uğradığında ısınma, ulaşım, çalışma hayatı, eğitim, beslenme gibi hayatımızın temel alanları durma noktasına gelmektedir.

18. yüzyılda insan ve hayvan gücüne üzerine kurulu olan üretimden makine gücü üzerine kurulu üretime geçiş olarak tanımlayabileceğimiz sanayi devrimi, günümüzdeki teknolojik gelişmeler ve insan nüfusundaki artış ile birlikte insanoğlunun enerjiye olan ihtiyacı katlanarak artmıştır[1].

Artan talep nedeniyle enerji ihtiyacı ülkelerin çözmesi gereken en büyük sorunlardan biri haline gelmiştir. Bunun yanında enerji ihtiyacının karşılanması için günümüzde kullanılan kömür, petrol, doğal gaz, vb. fosil yakıtların tükeniyor olması ve çevreye verdikleri zararda göz önünde bulundurulduğunda tüm dünyada yeni enerji kaynaklarına büyük önem verilmektedir.

Gelişen teknoloji elektrik enerjisine olan ihtiyacı daha da arttırmış hayatımızı bu enerji kaynağına bağımlı hale getirmiştir. Ancak hali hazırda dünya genelinde kullanılan elektrik enerjisinin büyük çoğunluğu fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Fosil yakıtların tükenme eğiliminde olması ise insanoğlunun en büyük handikapıdır.

İşte bu ve benzeri ihtiyaç ile zorunluluklar yeni enerji kaynakları üzerinde daha fazla düşünmeyi ve hızlı bir şekilde alternatiflerin üretilmesini gerekli hale getirmiştir. Bu bağlamda elektrik enerjisinin üretiminde yenilenebilir enerji kaynakları günden güne önem kazanmakta ve bu kaynaklar ülkelerin dışa bağımlılığını önemli ölçüde azaltmaktadır.

1.1 Çalışmanın Amacı

Bu tez çalışmasında Kırklareli Üniversitesi Vize Meslek Yüksekokulu rüzgar enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Rüzgar enerjisi sistemlerinde bakım maliyetlerinin düşük olmasına rağmen yatırım maliyetinin yüksek olması türbin konulması planlanan bölgede öncesinde ölçüm yapmak ve ölçüm sonuçlarını değerlendirilmesini zorunlu hale getirmektedir. Bu doğrultuda Vize Meslek Yüksekokulu rüzgar enerjisi potansiyeli tespit edilerek binanın enerji ihtiyacının buradan karşılanıp karşılanamayacağı araştırılmıştır.

Bu kapsamda 20 metre yüksekliğe sahip Vize MYO binası üzerinde uygun bir yere 2,5 metre yüksekliğinde bir direğe meteoroloji ölçüm istasyonu kurulması hedeflenmiştir. Bu istasyonda 7 aylık bir sürede 15 saniye aralıklarla ölçümler yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesiyle ortalama rüzgar hızı (m/s), aylara ait günlük/aylık rüzgar hız eğrileri, hakim rüzgar yönü, rüzgar güç yoğunluğu, rüzgar frekans yoğunluğu tespit edilerek bölgenin rüzgar enerjisi potansiyeli tespit edilmiştir.

1.2 Çalışmanın Kapsamı

Tez kapsamında Kırklareli Üniversitesi Vize MYO Yerleşkesinin elektrik enerjisi ihtiyacının rüzgar enerjisi ile karşılamaya yönelik bir çalışma yapılmıştır. Binanın enerji ihtiyacı, ilgililerden alınan güncel enerji tüketim verileri göz önüne alınarak tespit edilmiştir. Çalışmanın temelini oluşturacak rüzgâr verileri bina çatısında kurulan rüzgar ölçüm sistemi ile belli aralıklarla toplanmıştır. Rüzgâr ölçüm verileri elde olunduktan sonra değerlendirilerek bölgede rüzgâr türbini kurmaya elverişli olup olmadığı yorumlanmıştır.

Tezin birinci kısmında; giriş, tezin amacı ve kapsamı, Dünyada ve Türkiye'de konu ile ilgili yapılan tez ve makale gibi bilimsel araştırmaların incelenmesi sonucu oluşturulan literatür taraması yer almaktadır. İkinci kısımda; Dünya ve Türkiye'de enerji ihtiyacı, ihtiyacın karşılanması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının bu ihtiyacı karşılamadaki yerinden bahsedilmiş, yenilenemez ve yenilenebilir enerji kaynaklarına değinilmiştir. Üçüncü kısımda rüzgâr enerjisi geniş bir açıdan irdelenmiş ve rüzgar türleri, rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesi ile potansiyeli etkileyen faktörlere değinilmiş, rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretmede kullanılan rüzgar türbünleri sınıflandırılmış ve yatay eksenli rüzgar türbinlerinin parçaları tanıtılmıştır. Dördüncü kısımda Dünyada, Türkiyede ve Kırklareli ilinde rüzgar enerjisi potansiyeli ile bu potansiyelden ne kadar yararlandığı ortaya konmuş ve rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesi için hangi standartlarda ölçüm yapılması gerektiği ve ölçüm sistemi anlatılmıştır. Beşinci kısımda yapılan deneysel çalışma için ölçüm alınan yerin coğrafi

özellikleri, kullanılan ölçüm istasyonunun teknik özellikleri ve kullanılan yöntem belirlenmiştir. Altıncı kısımda ölçüm sonuçları verilerek rüzgâr hızı, hâkim yönü, frekansı vb. incelenmiş ve son kısımda da incelenen sonuçlar değerlendirilmiştir.

1.3 Literatür Taraması

Gürdal (2010), bu tez çalışmasında Temmuz 2001- Ekim 2002 tarih aralığında Kütahya Dumlupınar Üniversitesi merkez kampüs alanı için 10 ve 30 metre yükseklikteki anemometreler ve yön kontrol cihazı yardımıyla elde edilen rüzgar verilerini kullanmıştır. Elde edilen veriler neticesinde 14 tip rüzgar türbini için yıllık üretilen enerji miktarı, maliyet analizleri ve türbinlerin kendilerini geri ödeme sürelerini hesaplamıştır. Rüzgar hızını 4,6 m/s tespit etmiş ve en uygun türbinin 2500 KW gücündeki Nordex-100 tipi türbin olduğunu belirtmiştir. Bu türbinin yatırım maliyetini 7 yılda geri ödediğini tespit etmiş ve kampüs alanının 2009 yılındaki enerji ihtiyacını karşılaması için bu türbinin uygun olduğu sonucuna varmıştır[2].

Toklu (2002), Elazığ ili için yaptığı bu çalışmada meteorolojinin 2001 verilerine dayanılarak 53 yıllık rüzgar hızı ortalamasının 2,01 m/s olduğu, fakat aynı sonuçların son 15 yılı alındığında rüzgar hızı ortalamasının 2,45 m/s olduğundan bahisle bunun ilin ikliminin değiştiği ve bu yüzden son 15 yıllık verilerden faydalanıldığı belirtmiştir. Kırsal arazide kısa sürede (şubat 2001-mart 2001) yapılan ölçümlerde rüzgar hızını 4,45 m/s bulmuştur. Elazığ ili için yapılacak ticari amaçlı bir rüzgar santrali için bölgenin uygun olmadığı sonucuna varmıştır[3].

Özcan (2011), Isparta ili için 1975-2008 yılları arasında Meteoroloji İl Müdürlüğünden elde ettiği verilerden faydalanarak, ANFIS ve YSA yöntemini kullanmış ve bölgenin rüzgar potansiyelini yapay zeka yöntemiyle tahmin etmiştir. Elde ettiği 408 verinin 79'unu test amaçlı ayırmıştır. Yapay zeka yöntemi kullanılarak yapılan tahminler için ANFIS metodunun daha uygun olduğu sonucuna varmıştır. Çalışma sonucunda Isparta ilinin rüzgar potansiyelinin rüzgar santrali kurulması için yeterli olmadığı anlaşılmış, bölge için hibrid sistemlerin daha uygun olacağını öngörmüştür[4].

Taşkın (2013), Niğde ili için kurulabilecek bir rüzgar santralinin, RETScreen programı yardımıyla fiziksel ve ekonomik analizini yapmıştır. Sonuçta Niğde ili için ortalama rüzgâr hızını 4,3 m/s bulunmuş ancak; Niğde Meteoroloji istasyonundan alınan verilerde bu hız değeri ortalama 3,5 m/s olarak tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda

50 m ve daha yukarı yükseklikler için uygun konumda yapılacak ölçümlerde göz önüne alınarak Niğde ilinin merkez bölgesinde rüzgar enerjisi yatırımlarının ekonomik olabileceğini kanaatine varılmıştır[5].

Şimşek (2007), Sivas ili için yaptığı çalışmada Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden temin edilen, bölgenin Meraküm Tepesine ait 2005 yılı (Ocak 2005 – Aralık 2005 ayları ve 10 m yüksekliğe ait) rüzgar verilerini kullanmıştır. Verileri hellmann yükseltme bağıntısını kullanarak 30 m ve 113 m yükseklikler için hesaplamıştır. 2,3 MW gücünde büyük güçlü ve 5 KW gücünde küçük güçlü bir rüzgar türbini için hesaplamalar yapmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda hem büyük güçlü rüzgar türbini hem de küçük güçlü rüzgar türbini için bölgenin uygun olmadığı sonucuna varmıştır. Daha sağlıklı veriler için yerinde ve türbin yüksekliğinde ölçüm yapılması gerektiğini belirtmiştir[6].

Terzi (2014), bu tez çalışmasında Tokat il merkezi, Artova, Niksar, Zile, Almus, Erbaa, Turhal ve Reşadiye ilçeleri için rüzgar enerjisi potansiyelini değerlendirmiştir. Çalışmada Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün Ağustos 2012-Temmuz 2013 dönemi 10 m istasyon yüksekliğinde elde edilen verileri kullanmıştır. Ölçümler sonucu elde edilen rüzgar hızı, sıcaklık, rüzgar yönü ve nem verilerini tüm bölgeler için Türkiye REPA haritası verileriyle de karşılaştırarak sonuçları ayrı ayrı yorumlamıştır. Bölgede en yüksek rüzgar hızını 11,7 Km/sa Almus ilçesinde, en düşük rüzgar hızını 6,5 Km/sa Turhal ilçesinde ölçmüştür. Tokat il genelindeki rüzgar hızını 8,71 Km/sa ölçmüş, il geneli rüzgar yönünü de kuzey belirlemiştir[7].

Talayoğlu (2010), Denizli ili Tavas ilçesi için yaptığı bu çalışmada, EİE'den Aralık 2004-Aralık 2005 tarihleri arasındaki aylara ait 10 m ve 30 m yükseklikteki 10 dk, 30 dk ve 60 dk'lık rüzgar hızı ve rüzgar yönleri verilerini kullanmıştır. WAsP modeli kullanılarak rüzgar enerjisi potansiyeli ve enerji üretim hesaplamalarını gerçekleştirerek, farklı türbin tipleri için bölgeye uygun türbin konumlandırmaları yapmıştır. WAsP'ta çizilen Weibull dağılımı sonuçlarında ölçek parametresini 3,3 m/s, şekil parametresini ise 1,44 olarak bulmuştur. WAsP ile yapılan modellemede 30 MW'lık bir enerji santrali için Vestas V63 ve V80 türbinleri seçerek yapılan hesaplama sonucu, V80 tipi türbinin yıllık enerji üretim miktarını daha fazla olduğunu gözlemlemiştir. 10 m ve 30 m'deki sonuçlara göre V63 ve V80 türbinlerine ait en yüksek-en düşük kapasite faktörleri için santrallerin senelik enerji üretimlerini

hesaplayarak çalışmanın yapıldığı tarihteki türbin fiyatları göz önünde bulundurması sonucu KWh maliyetini 1,15 ile 2,97 eurocent arasında hesaplamıştır[8].

Artar (2005), Gökçeada rüzgar potansiyeli belirlemesi ve enerji dönüşümü analizi için yaptığı bu çalışmada ada içerisindeki Aydıncık bölgesi rüzgar hızı verilerini Güç Kanunu formülüyle 50 m yükseklik için uyarlamıştır. Daha sonra; 50 m yüksekliğe uyarladığı verilerle, adadaki daha önceki çalışmalardan elde edilen üç bölgenin verilerini kullanarak, Weibull ağırlıklı olasılık dağılım fonksiyonu yardımıyla; aylık ve yıllık rüzgar profillerini elde etmiştir. Adanın rüzgar enerji potansiyelini belirlemek adına Nordex firmasına ait N50 tipli 800 KW ve Gamesa firmasına ait G52 tipli 850 KW model rüzgar türbini seçilerek hesaplamalar yapılmış ve Aydıncık bölgesi için Nordex N50 türbini yaklaşık 2,8 milyon KWh, Gamesa G52 içinse 3 milyon KWh yıllık elektrik enerjisi elde edilebileceğini hesaplamıştır[9].

Ete (2010), Van ilinin Gevaş Gürpınar bölgesinin rüzgar enerjisi potansiyelini belirlemek için; boru tipi ve 10 m yükseklikte bir rüzgar ölçüm istasyonu kurmuştur. Anemometreden 30 saniye aralıklarla aldığı verileri istatistiksel değerlendirmeler yaparak dataloggera 10'ar dakika aralıklarla kaydetmiştir. Kaydettiği bu verileri MATLAB programı aracılığıyla değerlendirerek, aylık ve genel rüzgar hızları, ortalama enerji yoğunluğu, Weibull parametreleri gibi değerleri hesaplamıştır. 10 m'de elde ettiği verileri 50 m ve 70 m'ye uyarlamıştır. 10 m için ortalama rüzgar hızı 3,28 m/s, güç yoğunluğu 50,8 W/m² bulmuştur. Uyarlanmış verilerden yapılan hesaplama sonucunda 50 m için 4,59 m/s rüzgar hızı ve 138,3 W/m² güç yoğunluğu, 70 m için 4,8 m/s rüzgar hızı ve 157,97 W/m² güç yoğunluğu elde etmiştir. Hesaplamalar sonucu verilerin Türkiye geneli (10 m ölçüm verilerine göre) ortalamasının üstünde olduğu sonucuna varmıştır[10].

Ünveren (2010), İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü kampüs alanı için rüzgar potansiyelini belirlemesi için alandaki 3 farklı bölgede bulunan 4 ölçüm istasyonundan yararlanmıştır. Elde ettiği sonuçlara göre bölgenin ortalama rüzgar hızı 50 metre yükseklik için 8,17 m/s ve 80 metre yükseklik için 8,63 m/s dir. Bölgenin hakim rüzgar yönünün kuzey olduğu sonucuna varmıştır. Çevresel etkiler ve veriler ışığında WAsP ve GH WindFarmer yazılımlarını kullanarak maksimum enerji getirisini hesaplamıştır. Varsayımsal olarak yerleştirilen 18 adet 2500 KW nominal güce sahip rüzgar türbininden, 167 GWh/yıl enerji üretilebileceğini belirlemiştir[11].

Yazar (2013), Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar Kampüsü'nün rüzgar potansiyelini belirlemek için; bölgede kurulan 40 m yüksekliğindeki rüzgar ölçüm istasyonundan, 10 m ve 40 m için elde edilen sonuçlardan, faydalanmıştır. Ölçümler Ekim-2010 ve Nisan-2012 tarihleri arasında yapılmıştır. 10 m ve 40 m yükseklik için yapılan ölçümlerde ortalama rüzgâr hızı değeri sırasıyla 4,70 m/s ve 4,82 m/s olarak bulunmuş, hakim rüzgar yönü kuzey batı olarak tespit etmiştir. Veriler ışığında 600 KW'lık bir rüzgar türbininin üreteceği elektrik; kampüs kurulu elektrik gücünün yaklaşık 2 MW olduğu düşünüldüğünde, kurulu gücün yaklaşık 1/3'ünü karşılayacağı sonucuna varmıştır[12].

Oral (2010) Sakarya ili, Esentepe bölgesi için; elektrik enerjisi üretme amaçlı rüzgar potansiyelini belirlemesi için, yapılan çalışmalar sonucu deniz seviyesinden 340 m yükseklikte olan Tahtalı Tepe mevkiini seçmiştir. Kurulan rüzgar ölçüm istasyonunda, 30 m ve 10 m yükseklikler için, Temmuz 2006-Temmuz 2007 yılları arasında, 12 aylık ölçümler yapılmıştır. 30 m de yapılan ölçümlerde yıllık ortalama rüzgar hızı 4,49 m/s, ortalama güç yoğunluğu değeri 122,26 W/m² olarak bulunmuştur. Rüzgar verilerinin analizi için MATLAB yazılımında program hazırlanmış. Bunun yanında rüzgar verilerinin analizinde; WindPRO 2.5, WAsP 8.3 ve JMP 4 paket programlar kullanılmıştır. Matlab'ta yazılan program ve paket programlarda Weibull parametreleri belirlenerek yapılan analizlerin sonucunda, gerçek değerler ile analiz sonucu elde edilen değerlerin birbirine çok yakın olduğu sonucuna varmıştır. Bölge de kurulması düşünülen Rüzgar Enerji Santrali için enerji üretim amaçlı analiz yapmıştır. Bu santral için nominal gücü 2,5 MW olan Fuhrlander firmasına ait 6 adet türbin, toplam kurulu güç 15 MW belirlemiştir. Yapılan hesaplamada santralin yıllık toplam enerji üretim miktarı 26658 MWh, RES yerleşim verimliliği %96,6, kapasite faktörü değeri %20,3 olarak bulunmuştur. Rüzgar Enerji santralinin ekonomik analizi yapılmış, yatırımın geri dönüş süresini 15 yıl 3 ay olarak hesaplamıştır[13].

Yalçın (2010), yapmış olduğu tez çalışmasında, İstanbul ilinin Terkos bölgesinde kurulması tasarlanan bir rüzgar enerjisi santrali için, İstanbul Enerji A.Ş. (İstanbul Büyükşehir Belediyesi iştiraki) kayıtlarından alınan rüzgar verilerini kullanmıştır. Kasım 2007-Nisan 2009 dönemini kapsayan 28 aylık ölçümleri, 52 m yükseklikteki anemometre aracılığıyla elde etmiş, rüzgar şiddeti ortalamasını 6,44 m/s bulunmuştur. Daha sonra WAsP programını kullanarak 3 farklı mikrokonuşlandırma çalışması yapmış, ilk senaryoda 3 sıra, 1,5 MW'lık 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbinini

yerleştirerek 45 MW kurulu gücünde bir rüzgar enerjisi santrali oluşturulmuş, ikinci mikrokonuslandırma da 2 sıra 2,0 MW'lık 22 adet VESTAS V80 model rüzgar türbini ile 44 MW kurulu gücünde bir rüzgar enerjisi santrali oluşturulmuş, üçüncü senaryoda 2 sıra 1,5 MW'lık 22 adet VESTAS V63 model rüzgar türbini ile 33 MW kurulu gücünde bir rüzgar enerjisi santrali oluşturmuştur. Yapılan her senaryo için ayrı ayrı, kurulu güç, yıllık elektrik enerjisi üretim miktarı, kapasite faktörü, kurulum maliyeti, çeşitli fiyatlar için yıllık gelir ve geri ödeme sürelerini hesaplayarak en avantajlı durumu ortaya koymuştur. Bu kabuller sonunda İstanbul Terkos bölgesinde bir rüzgar enerjisi santralinin kurulmasının ekonomik olduğunun mmknlğnden bahsetmiştir[14].

Demirci ve ark. (2009), Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kurupelit Yerleşkesinin rüzgar enerjisi potansiyelini ve rüzgar verimliliği değerlendirmek amacıyla 25,5m'lik binanın üzerinde, 12m'lik direk kullanarak rüzgar ölçüm sistemi kurmuşlardır. Ağustos 2008-Mart 2009 sresinde ölçüm yapmışlar ve aylık ortalama rüzgar hızlarının dönemsel ortalamasını 3,42m/s olarak tespit etmişlerdir. Ayrıca çalışmada hakim rüzgar yönü, rüzgar frekans yoğunluğu, rüzgar güç yoğunluğu gibi çıkarımlarda bulunmuşlardır[15].

Köse ve ark. (2005), Selçuk Üniversitesi Alaaddin Keykubat Kampüsü için bölgenin rüzgar enerjisi potansiyelini belirlemek amacıyla; bölgede rüzgar ölçüm istasyonu kurmuş ve verileri değerlendirmişlerdir. 2003-2005 yılları arasında 21 aylık dönemde ölçüm yapmışlar, yapılan ölçümler sonucu kapasite, yatırım maliyeti ve basit geri ödeme sürelerini hesaplamışlardır. Minimum maliyet ve geri ödeme süresi için uygun türbini tipi seçerek ilk yatırım maliyetini 6 yıldan kısa sürede karşılayacağı sonucuna ulaşmışlardır[16].

Küçükali ve ark.(2014), İzmit'in Batı Karadeniz sahil bölgesinin rüzgar enerjisi potansiyelini belirlemek üzere, 50 m yüksekliğe sahip ölçüm istasyonundan Haziran 2008-Haziran 2009 tarihlerinde alınan verileri istatistiksel analizi ve değerlendirmesini yapmışlardır. Rüzgar hız verilerini bölgeye yakın meteoroloji istasyonlarının (şile, Akçakoca) verileri ile karşılaştırmışlar ve arada önemli bir fark olduğunu tespit etmişlerdir. 3 farklı rüzgar türbini için yıllık rüzgar enerji verimi değerlendirilmiş, Türbülans analizi ve mali analizi gerçekleştirmişlerdir[17].

Koç (1998), Ayvalık rüzgar enerjisi potansiyelini belirlemek için, Ayvalık Meteoroloji İstasyonundan elde ettiği 1990-1996 dönemine ait 7 yıllık verileri kullanmıştır. 10 m

ölçümleri 50 m ve 100 m'ye uyarlamıştır. Ortalama rüzgar hızı 10 m de 3,0 m/s, 50 m de 4,5 m/s ve 100 m de 6,0 m/s hesaplanmıştır[18].

Özgür ve ark. (2006), Dumlupınar Üniversitesi Kampüs alanında rüzgar enerjisi potansiyelini belirlemek için rüzgar ölçüm istasyonu kurulumuna uygun yer olarak Bünelek Tepe bölgesini belirlemiştir. Temmuz 2001-Haziran 2004 döneminde 36 ay boyunca 10 ve 30 metrelerde birer anemometre ve 30 metrede bir adet yön kontrol cihazı bulunan rüzgar ölçüm istasyonu ile 10 dakika aralıklarla günlük ve aylık rüzgar hız ve rüzgar yön bilgilerini elde etmiştir. Ortalama rüzgar hızı 4,80 m/s, olarak hesaplamıştır. Mevcut verileri, ALWIN yazılımını kullanarak, 6 farklı türbin markasının değişik kapasitelerdeki modelleri uygulamış ve bölge için en uygun rüzgar türbinini belirlemeye çalışılmıştır[19].

Yayla ve ark.(2010), bu çalışmalarında Van ilinde bulunan Yüzüncü Yıl Üniversitesi kampüs alanının rüzgar enerjisi potansiyelini belirlemeyi amaçlamışlardır. Kampüs alanına kurulan rüzgar ölçüm direğinde anemometre ve rüzgar yön sensörü 30 m yüksekliğe konuşturulmuş ve Nisan 2004-Mart 2005 dönemi verileri kaydedilmiştir. Rüzgar hızı ve hakim rüzgar yönü tespit edilmiş, veriler ışığında VESTAS V52 (850KW) rüzgar türbini seçilerek, Wasp programı yardımıyla bir yılda üretilebilecek enerji miktarını hesaplamışlardır. Rüzgar verileri Türkiye'nin diğer bölgeleriyle karşılaştırılmıştır[20].

Çetin (2009), Isparta ili ve çevresindeki rüzgâr enerji potansiyelinden yola çıkarak, Süleyman Demirel Üniversitesi kampus bölgesi etrafında Üniversite tesislerinin elektrik ihtiyacını karşılamak için rüzgar türbini kurulması çalışmasını gerçekleştirmiştir. Çalışmadan elde edilen veriler ışığında rüzgar elektrik santraline en uygun alanın, Uluborlu bölgesi olacağı sonucuna varmış ve yıllık enerji üretimini 3,987 MWh hesaplamıştır[21].

Kurban ve ark. (2007), bu çalışmalarında Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampüsü'nün rüzgar enerjisi potansiyelinin önsel istatistik analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında 2005 yılı Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim dönemini kapsayan 4 aylık dönem için 15 saniye aralıklarla ölçülen rüzgar hız verilerini kullanmışlardır. İstatistiksel analizleri Weibull ve Rayleigh dağılımlarını kullanarak gerçekleştirmişlerdir. 10 m yükseklik için hesaplanan rüzgar hızı 3 m/s'den, rüzgar enerjisinin 50 W/m² 'den büyük olduğunu hesaplamışlar ve bölgenin istatistiksel açıdan rüzgar enerjisi üretimine uygun olduğu sonucuna varmışlardır[22].

Albostan ve ark. (2008), 2008 yılı Şubat-Temmuz döneminde, 35 m yüksekliğinde rüzgar ölçüm istasyonu aracılığıyla yapılan ölçümlerle Bahçeşehir Üniversitesi Beşiktaş Yerleşkesi rüzgar enerjisi potansiyelini incelemişlerdir. Elde edilen ölçüm sonuçlarında rüzgarın ortalama hızı 4,48 m/s, rüzgarın güç yoğunluğu 104,65 W/m² olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda rüzgar enerji potansiyelinin istatistiksel olarak elektrik enerjisi üretimi için uygun olduğu sonucuna varmışlardır[23].

Kerem ve ark.(2013), yaptıkları araştırma makalesinde Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İstiklal Yerleşkesi'nin rüzgar enerji potansiyelini belirlemek amacıyla kurulan rüzgar ölçüm istasyonunun; kurulumu ve özelliklerini incelemişlerdir. Kurulan rüzgar ölçüm istasyonunda kullanılan cihazlar ve teknik özellikleri üzerinde durulmuş, ölçüm istasyonu ile 24 ay süreyle ölçüm yapılarak ardından analiz aşamasına geçileceği belirtilmiştir[24].

Gültutan (2013), rüzgar enerjisinin Türkiye de ve Dünyadaki durumu ile ilgili teorik ve istatistiki bilgiler vermiş, Gaziantep ili için 500 KW altı küçük ölçekli rüzgâr türbin tasarımı için hesaplar yapmış, ortalama 5 KW'lık bir türbin tasarlamıştır. Tasarladığı türbinden elde edilecek enerji miktarı, maliyet hesabı ve geri ödeme süresini hesaplayarak, türbinin tam kapasite olarak çalışması durumunda geri ödeme süresinin yaklaşık 3 yıl olduğu sonucuna varmıştır[25].

Özkaya ve ark. (2008), rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretiminde kullanılan rüzgar türbinlerinin Kayseri ili için çevresel etkilerini değerlendirmişlerdir. Değerlendirmede yer seçimi ve alan ihtiyacının çevreye etkisi, türbinlerin; kuşlarına göç yollarına, hava kirliliğine, görsel ve gürültü, elektromanyetik alan ve doğal koruma alanlarına etkileri irdelenerek çözüm yolları sunulmuştur[26].

Aydın (2012), rüzgar enerjisinde hakim rüzgar yönünün öneminden bahsetmiş, Manisa bölgesinin rüzgar enerjisinden faydalanabilmesi için hakim rüzgar yönünün belirlenmesine yönelik bir çalışma yapmıştır. Manisa merkezinde bulunan Meteoroloji istasyonunda 10 m yükseklikte 2005, 2006, 2007, 2008 yıllarında 12 ay boyunca yapılan ölçüm sonuçlarını kullanmış, ölçümler sonucu tüm yıllarda hakim rüzgâr yönünü Kuzey-Kuzey doğu ve Doğu-Güneydoğu olarak bulmuştur. Ayrıca ölçüm yapılan bölge için 5 KW'lık bir türbinle ne kadar elektrik enerjisi üretilbileceğini hesaplamıştır[27].

Dabbaghiyan ve ark. (2015), bu çalışmada İran'ın güneyinde Basra Körfezi kıyısındaki Bushehr eyaletinde bulunan dört şehrin (Asaluyeh, Bordkhun, Delvar and Haft-Chah) rüzgar enerjisi potansiyelini değerlendirmişlerdir. Çalışmada İran Yenilenebilir Enerji Örgütünden temin edilen 1 Ocak-31 Aralık 2011 dönemine ait; 10 dakika arayla kaydedilen 10 m, 30 m, 40 m yükseklik için rüzgar hızı ve 30-37,5 m için rüzgar yönü verilerini analiz etmişlerdir. Yapılan analiz sonucu Bordkhun şehrinin rüzgar enerjisi potansiyelinin diğer üç ilden daha yüksek olduğu sonucuna varılmış, 40 m için yıllık ortalama rüzgar güç yoğunluğu yaklaşık 265 W/m^2 hesaplanmıştır. 12 farklı türbin için hesaplamalar yaparak en iyi türbin modelini araştırmışlardır[28].

Werapun ve ark. (2014), Güney Tayland'ta bulunan Phangan adası için Offshore rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesi yönünde çalışma yapmışlardır. Ölçüm yapmak için 120 m yüksekliğe sahip kafes tipi ölçüm direği kullanılmış; 65, 90, 100, 110 ve 120 m'ye rüzgar hız ölçer anemometreler, 100 ve 120 m'ye yön kontrol cihazları yerleştirilmiştir. Ölçümler Aralık 2011-Kasım 2012 döneminde 10 dakika aralıklarla kaydedilmiştir. Ortalama rüzgar hızını 4,28 m/s, ortalama rüzgar güç yoğunluğunu 85 W/m^2 bulmuşlar ve hakim rüzgar yönünü kuzey olarak tespit etmişlerdir. Yapılan simülasyon sonucu kapasite faktörü % 0,98-2,68 aralığında bulunmuş ve yatırım için uygun olmadığını söylemişler, adanın daha yüksek noktalarında ölçüm yapılması gerektiğini belirtmişlerdir[29].

Boudia ve ark. (2015), Cezayir'in kuzey batı kesiminde Akdeniz'e kıyısı olan Oran kenti için rüzgar gücü potansiyelini araştırmışlardır. Rüzgar potansiyeline sahip üç bölgeyi seçmişler ve 90 m rakımlı Oran-Senia Meteoroloji İstasyonunda 10 m yüksekliğe sahip ölçüm direğiyle 01/01/1981–31/12/1990 tarihleri arasında yapılan ölçümleri kullanmışlardır. Yıllık ortalama rüzgar hızı 4,2 m/s ve yıllık ortalama güç yoğunluğu 129 W/m^2 bulmuşlardır. Mevsimsel değerlendirmede bahar ayı potansiyeli 4,9 m/s ile yüksek çıkmıştır. 6 farklı ticari rüzgar türbini için hesaplamalar yapılmış ölçüm sonuçları ve maliyet analizleri verilerek bölge için uygun türbini belirlemişlerdir[30].

Shu ve ark. (2015), Çin Halk Cumhuriyetine bağlı Hong Kong'un rüzgar karakteristiğini ve rüzgar enerjisi potansiyelini Weibull dağılımı modeli yardımıyla istatistiksel olarak incelemek için bölgede bulunan 51 meteoroloji istasyonundan, farklı arazi koşullarına sahip 5 istasyonu seçerek Ocak 2005-Kasım 2010 sürecindeki verileri kullanmışlardır. İstasyonların konumları tek tek değerlendirilmiş, tepe ve

adalardaki rüzgar enerjisi potansiyelinin kentsel alanlara göre daha çok olduğunu tespit etmişlerdir. Maksimum rüzgar güç yoğunluğu ortalaması Tai Mo Shan hava istasyonunda $915,23 \text{ W/m}^2$ olarak hesaplamışlardır. 5 istasyonun mevsimsel analizinde en yüksek aylık rüzgar güç yoğunlukları Eylül ayı tespit edilmiştir[31].

Ammari ve ark. (2015), Ürdün'ün rüzgar enerjisi potansiyelini değerlendirmek amacıyla; 51 m ile 1120 m arasında değişen yüksekliklerde 5 konum seçmişlerdir. Bu konumlarda yer alan meteoroloji istasyonlarındaki 10 m yüksekliğe sahip ölçüm direğiyle, 2008-2012 yılları arasında yapılan ölçümler sonucu elde edilen verileri kullanarak analiz ve değerlendirmelerde bulunmuşlardır. Aylık rüzgar hızı ortalaması en yüksek değerini, Eylül ayında Akabe Havaalanı'nda $7,05 \text{ m/s}$ olarak belirlemişlerdir. 100 KW, 500 KW, 900 KW, 1500 KW ve 3000 KW kapasiteli 5 farklı rüzgar türbini için yapılan analizde tüm rüzgar türbini kapasiteleri için maksimum enerji çıkışı Akabe Havalimanı'nda elde edilmiştir[32].

2. ENERJİ TALEBİ VE ENERJİ KAYNAKLARI

Enerjiyi en kısa şekliyle iş yapabilme yeteneği olarak tanımlamamız mümkündür. Günlük hayatımızın her alanında farklı enerji türlerinden faydalanılmaktadır. Hiç bir enerji kaybolmamakta sadece başka bir enerji türüne dönüşmektedir. Ancak halihazırda insanoğlu tarafından bilinen temel enerji kaynakları kısıtlı bir potansiyele sahip olduğu gibi ve bu potansiyel tükenme eğilimindedir. Dolayısıyla gelecekte dünya genelinde hızla artan nüfusun enerji ihtiyaçlarına cevap vermek mümkün olmayacaktır. Bu bölümde dünyada ve Türkiye’de enerji üretim ve tüketim potansiyeli incelenecektir.

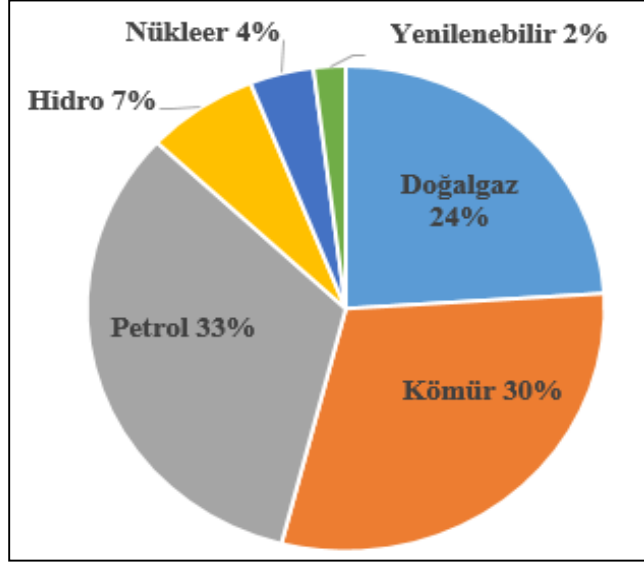
2.1 Dünyada Enerji Talebi ve Üretimi

Dünyada birincil enerji talebi 1990 yılında 8769 Mtep iken 2014 yılında bu talep %47,4 artışla 12928,4 Mtep'e çıkmıştır. Türkiye’de ise birincil enerji talebi 1990 yılında 52,9 Mtep iken 2013 yılında %127,39 artış ile 120,29 Mtep'e çıkmıştır. Ülkemiz bu enerji talebinin dörtte üçünü (doğalgaz, petrol, kömür vb.) dışarıdan ithal etmektedir[33–35].

Dünyada tüketilen enerjinin yaklaşık %87’si petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil kaynaklı yakıtlardan elde edilmektedir. Ulaşım alanında temel enerji kaynağı olarak kullanılmakta olan petrol aynı zamanda, dünya birincil enerji tüketimi içinde de en büyük paya sahiptir (Şekil 2.1). Kullanılan doğal gaz ve kömürün büyük bir kısmı da elektrik üretiminde kullanılmaktadır. ABD Enerji İdaresi, BP, Uluslararası Enerji Ajansı gibi uluslararası kurum ve kuruluşlara göre petrol, uzun vadede birincil enerji kaynakları arasındaki payını korumaya devam edecektir [36].

“Yeni Politikalar” başlıklı Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) senaryosuna göre, 2040 yılında küresel enerji talebi, dünya siyasetine bağlı olarak, şu anki talebin 1,4 katına çıkmasını öngörmektedir. Bu enerji talebindeki artışı karşılamak için kullanılacak enerji kaynaklarındaki 2012’den 2040’a kadar olan dönem için talep artışı öngörülürü ise, ulaşımda kullanılan temel kaynak olan petrolde %13,5, elektrik üretmede en çok kullanılan kömür ve doğalgazda sırasıyla %14,6 ve %55, halen güvenli olup olmadığı

tartışılan nükleerde % 88,5, hidrolik enerjinin de dahil olduğu yenilenebilir kaynaklarda %317 olmuştur[36].



Şekil 2.1: 2013 yılı Dünya genelinde birincil enerji tüketimi (BP Energy outlook to 2035)

2013 yılı verilerine göre toplam birincil enerji talebinin %42,3'ü elektrik üretiminde kullanılmış olup bu oranın 2035 yılında %46,6 olması beklenmektedir. Dünya petrol tüketiminin %52,8'i taşıma alanında olmuştur. Ulaşım alanında petrol kullanımı 2035 yılına kadar %94'ten %89,4'e, ulaşım da kullanılan enerjinin ise %18'den %17'ye düşmesi beklenmektedir. Bunun yanında Uluslararası Enerji Ajansı'nın petrol talebi ile ilgili 2040 yılı için yaptığı değerlendirmelere göre OECD dışı ülkelerde talep yükselirken, OECD ülkelerinde düşüş yaşanacaktır. BP Energy Outlook 2035 birincil enerji talep projeksiyonuna göre, 2013 ile 2035 yılları arasında endüstriyel üretimde kömürün kullanım oranının azalarak, fosil yakıtların arasında çevreyi daha az kirleten doğalgazda artış olacağı öngörülmüştür. Uluslararası Enerji Ajansının Yeni Politikalar Senaryosu'nda 2040 yılında doğalgaz tüketiminin 5,4 trilyon m³'e ulaşacağı ve bu talebin %30,4'ü OECD ülkelerinden, %69,6'sı ise OECD dışı ülkelere olacağı değerlendirilmiştir[36].

Dünyada 2013 yılında, yenilenebilir enerji kaynaklardan elektrik üretimi 5 bin 130 terawatt-saat (TWh) ile toplam elektrik üretiminin %22'sine karşılık gelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklı bu üretimin içinde hidro dışındaki yenilenebilir enerji kaynaklarının payı %5,4 olup petrolden üretilen elektrik enerjisini geçmiştir. Dünyada

1990 yılından bugüne güneş enerjisi yıllık ortalama yüzde 44,6, rüzgar ise yüzde 27,1 büyümüştür[37].

2.2 Türkiye de Enerji Talebi ve Üretimi

Ülkemizde elektrik enerjisi ihtiyacı yıllara göre sürekli bir artış içerisinde. Ülkemizin enerji kaynakları açısından kurulu gücü ve bu kurulu güce dayanan elektrik enerji üretimi çizelge 2.1’de verilmiştir. Ülkemizde 1970 ile 1983 yılları arasında elektrik enerjisi üretiminde, hidrolik dışında yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmazken 1984 yılından itibaren yenilenebilir enerji kaynaklarının da kullanılmaya başlandığı görülmektedir. 10 Mayıs 2005 tarihli ve 5346 sayılı "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun" ile yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımının yaygınlaştırılması, bu kaynakların güvenilir, ekonomik ve kaliteli biçimde ekonomiye kazandırılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, atıkların değerlendirilmesi, çevrenin korunması ve bu amaçların gerçekleştirilmesinde ihtiyaç duyulan imalat sektörünün geliştirilmesi amaçlanmış ve buna paralel yapılan değişiklikler ve düzenlemeler sonucu; fiyat desteği, arazi kullanımı için destek ve alım garantisi gibi teşvikler sayesinde 2006 yılından itibaren hidrolik dışındaki yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretiminde önceki yıllara göre önemli artışlar gerçekleşmiştir (çizelge 2.1). Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planında 2023 yılında elektriğin en az %30’unun yenilenebilir kaynaklardan üretilmesi hedeflenmektedir[38].

Çizelge 2.1: Türkiye kurulu güç ve üretiminin yıllar itibariyle gelişimi[39].

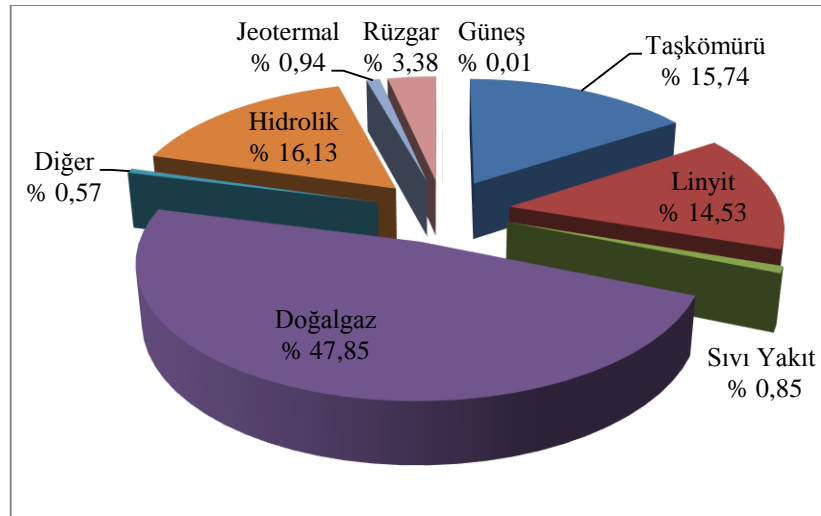
TÜRKİYE KURULU GÜÇ VE ÜRETİMİNİN YILLAR İTİBARIYLA GELİŞİMİ										
KURULU GÜÇ (MW)						ÜRETİM (GWh)				
Yıllar	Termik	Hidrolik	Jeoter.+ Rüz+Gün.	Toplam	Artış	Termik	Hidrolik	Jeoter.+ Rüz+Gün.	Toplam	Artış
1970	1509,5	725,4		2234,9	-	5590,2	3032,8		8623,0	-
1971	1706,3	871,6		2577,9	15,3	7170,9	2610,2		9781,1	13,4
1972	1818,7	892,6		2711,3	5,2	8037,7	3204,2		11241,9	14,9
1973	2207,1	985,4		3192,5	17,7	9821,8	2603,4		12425,2	10,5
1974	2282,9	1449,2		3732,1	16,9	10121,2	3355,8		13477,0	8,5
1975	2407,0	1779,6		4186,6	12,2	9719,2	5903,6		15622,8	15,9
1986	6220,2	3877,5	17,5	10115,2	10,9	27778,6	11872,6	43,6	39694,8	16,0
1987	7474,3	5003,3	17,5	12495,1	23,5	25677,2	18617,8	57,9	44352,9	11,7
1988	8284,8	6218,3	17,5	14520,6	16,2	19030,8	28949,6	68,4	48048,8	8,3
1989	9193,4	6597,3	17,5	15808,2	8,9	34041,0	17939,6	62,6	52043,2	8,3
1990	9535,8	6764,3	17,5	16317,6	3,2	34314,9	23148,0	80,1	57543,0	10,6
1991	10077,8	7113,8	17,5	17209,1	5,5	37481,7	22683,3	81,3	60246,3	4,7
1992	10319,9	8378,7	17,5	18716,1	8,8	40704,6	26568,0	69,6	67342,2	11,8
1993	10638,4	9681,7	17,5	20337,6	8,7	39779,0	33950,9	77,6	73807,5	9,6
2006	27420,2	13062,7	81,9	40564,8	4,4	131835,1	44244,2	220,5	176299,8	8,9
2007	27271,6	13394,9	169,2	40835,7	0,7	155196,2	35850,8	511,1	191558,1	8,7
2008	27595,0	13828,7	393,5	41817,2	2,4	164139,3	33269,8	1008,9	198418,0	3,6
2009	29339,1	14553,3	868,8	44761,2	7,0	156923,4	35958,4	1931,1	194812,9	-1,8
2010	32278,5	15831,2	1414,4	49524,1	10,6	155827,6	51795,5	3584,6	211207,7	8,4
2011	33931,1	17137,1	1842,9	52911,1	6,8	171638,3	52338,6	5418,2	229395,1	8,6
2012	35027,2	19609,4	2422,8	57059,4	7,8	174871,7	57865,0	6760,1	239496,8	4,4
2013	38648,0	22289,0	3070,5	64007,5	12,2	171812,5	59420,5	8921,0	240154,0	0,3
2014	41801,8	23643,2	4074,8	69519,8	8,6	200416,6	40644,7	10901,5	251962,8	4,9

Çizelge 2.2’de ise 2014 yılı itibariyle ülkemizde aylar bazında elektrik üretimi, ithalat, ihracat ile talep olunan brüt talep elektrik gereksinimi görülmektedir. Çizelge 2.2’ye göre 2014 yılında aylık ortalama üretim toplamı 20996,9 GWh olurken, aylık ortalama brüt talep 21435 GWh olmuştur. Dolayısıyla bir ay da yaklaşık 500 GWh elektrik enerjisi ithalat yoluyla temin edilmektedir.

Çizelge 2.2: Türkiye elektrik enerjisinin üretim-ithalat-ihracat-brüt talebin 2014 yılı itibariyle aylık dağılımı[39].

TÜRKİYE ELEKTRİK ENERJİSİNİN ÜRETİM-İTHALAT-İHRACAT-BRÜT TALEBİN 2014 YILI İTİBARIYLA AYLIK DAĞILIMI (GWh)				
Aylar	Üretim	İthalat	İhracat	Brüt Talep*
Ocak	21558,2	760,7	279,8	22039,1
Şubat	19351,2	606,6	208,5	19749,3
Mart	20630,9	637,2	225,6	21042,5
Nisan	19853,6	635,9	171,5	20318
Mayıs	20214,6	620,7	194,5	20640,8
Haziran	20332,1	510,3	120,8	20721,6
Temmuz	22820,9	747,9	191,4	23377,4
Ağustos	23935,1	588,6	215,4	24308,3
Eylül	21308,5	533,2	195,5	21646,2
Ekim	19227,6	645,3	291,4	19581,5
Kasım	20756,8	795,6	263,6	21288,8
Aralık	21973,2	871,5	338	22506,7
TOPLAM	251962,7	7953,5	2696	257220,2

Türkiye 2014 yılı sonunda brüt elektrik enerjisi üretimi 251962,8 GWh olmuştur. Elektrik ihtiyacını karşılamak için kullandığı enerji kaynakları ve bunların 2014 yılı içerisinde elektrik üretimindeki oranları Şekil 2.2'de verilmiştir.

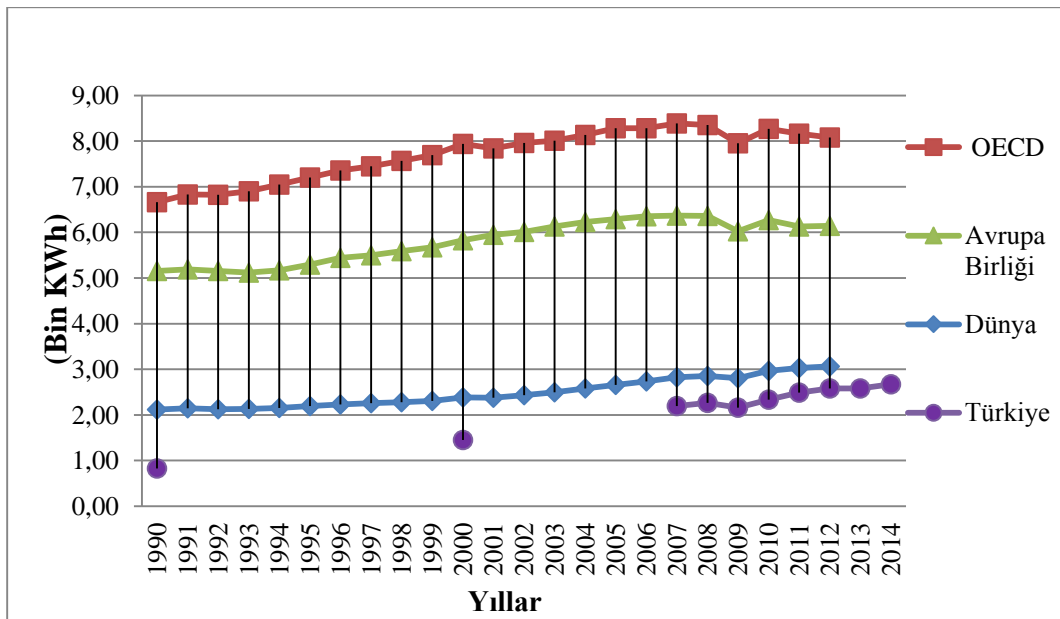


Şekil 2.2: Türkiye 2014 yılı brüt elektrik enerjisi üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı[39].

Görüldüğü gibi elektrik üretiminde her ne kadar alternatif enerji kaynakları yerini almış ise de hidrolik'in payı göz ardı edildiğinde diğer alternatif enerji kaynaklarının toplam üretimdeki paylarının oranı sadece %5 civarında kalmaktadır.

2014 yılı üretimde kullanılan alternatif enerji kaynaklarının kendi içerisinde kullanımı değerlendirildiğinde %76'lık oranla hidrolik enerjisi gelmektedir. Daha sonra sırasıyla rüzgar, jeotermal, diğer kaynaklar ve güneş gelmektedir.

Uluslararası alanda ülkelerin gelişmişlik seviyelerinin tespitinde kişi başına düşen elektrik enerjisi tüketimi dikkate alınmaktadır. Bu bağlamda kişi başına düşen elektrik enerjisi tüketiminin yüksek olduğu ülkelerin ekonomik açıdan kalkınmış ve refah düzeyinin yüksek olduğunu söyleyebiliriz[40]. Şekil 2.3'te OECD, Avrupa Birliği, Dünyada ve Türkiye de kişi başı elektrik tüketimi yıl bazında gösterilmektedir. Türkiye de kişi başına düşen elektrik enerjisi tüketimi 1990 yılında 829 KWh iken; 2014 yılında 2669 KWh'a yükselmiş olmasına rağmen üyesi olmaya çalıştığımız Avrupa Birliği ülkelerinin ortalamasının ancak üçte birine yaklaşabilmiştir [39][41][42].



Şekil 2.3: Yıllar itibariyle kişi başına düşen elektrik enerjisi tüketimi[41].

Dünyada ve Türkiye de artan nüfus ve gelişen teknoloji ile birlikte artan elektrik enerjisi ihtiyacı ve bu ihtiyacı karşılamak için kullanılan enerji kaynaklarının çevreye verdiği zarar düşünüldüğünde yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi her geçen gün daha da artmaktadır.

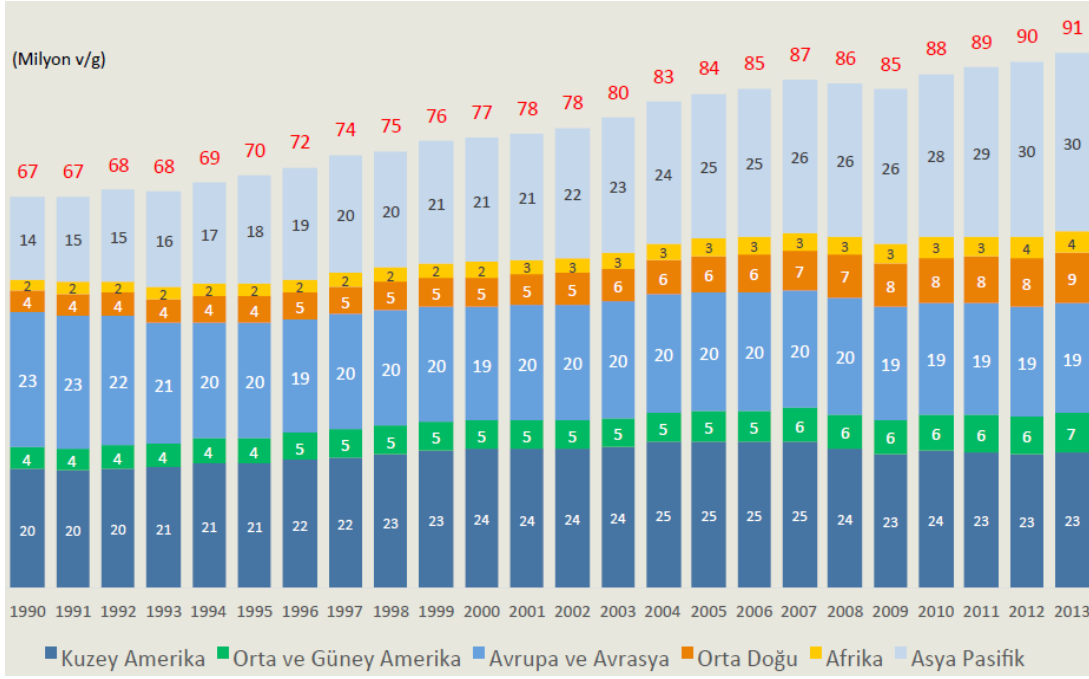
2.3 Enerji Kaynakları

2.3.1 Yenilenemez Enerji Kaynaklarına Genel Bakış

Yenilenemez enerji kaynakları, kullanıldıktan sonra tekrar oluşması için belli bir zaman diliminin geçmesi gereken enerji kaynaklarıdır. Bu enerji kaynaklarının temelini kömür, petrol doğalgaz vb. fosil yakıtlar oluşturmaktadır. Fosil yakıtlar ölen canlı organizmaların oksijensiz bir ortamda uzun yıllar boyunca çözülmesi sonucu oluşurlar. Dünyada enerji ihtiyacının büyük bir kısmı bu yakıtlardan karşılanmaktadır. Fakat dünya enerji tüketim hızı doğal fosil oluşum hızınının 300 bin katıdır. Bu da bir gün içerisinde tükettiğimiz enerjinin karşılanabilmesi için; doğal fosil oluşum sürecinde bin yıllık bir oluşum süresi gerektirmektedir[43]. Bunun sonucunda enerji tüketim hızının enerji kaynaklarının oluşum hızından çok yüksek olması sonucu en çok kullanılan enerji kaynağı olan fosil yakıtları hızla tüketmekteyiz.

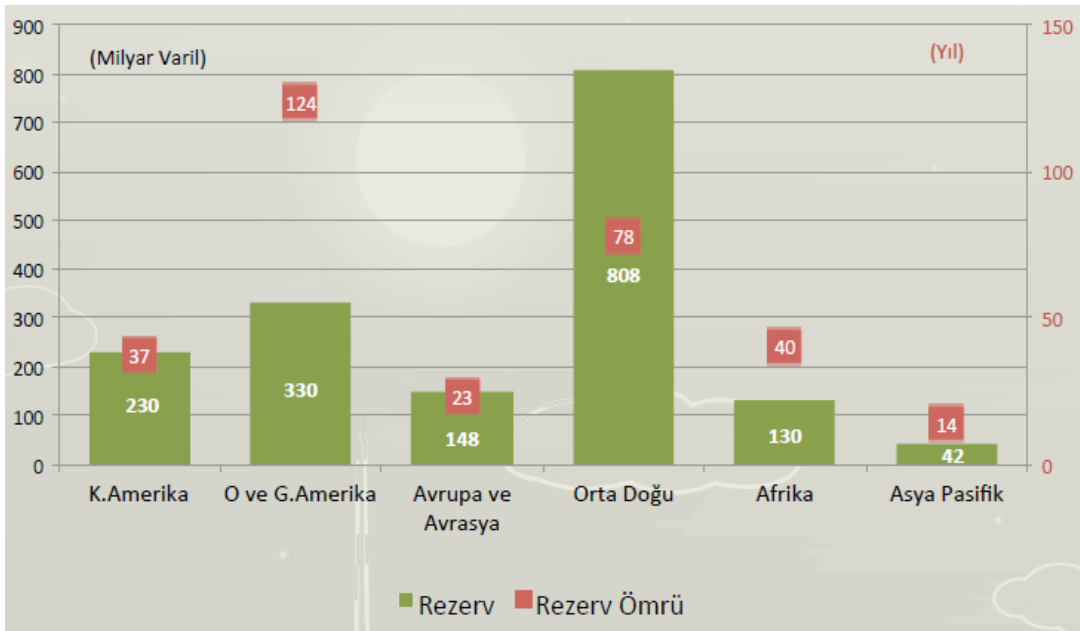
Türkiye Petrolleri Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı tarafından hazırlanan 2014 Yılı Ham Petrol ve Doğal Gaz Sektör Raporu'na göre mevcut rezervler göz önüne alındığında 2013 yılı küresel petrol rezerv ömrü ortalama 53,3 yıl, yine 2013 doğalgaz küresel rezerv ömrünün 55 yıl olduğu hesaplanmıştır[36]. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın verilerine göre dünyada 2012 yılı toplam kömür üretimi dikkate alındığında, küresel kömür rezervlerinin yaklaşık 142 yıl ömrü bulunduğu hesaplanmaktadır[44].

Dünya petrol rezervleri göz önüne alındığında toplam rezervin; %48,5'lik kısmı Orta Doğu da, %19,8'lik kısmı Orta ve Güney Amerika da, %13,3'lük kısmı Kuzey Amerika da yer alırken, kalan kısmın %7,6'sı Afrika, %7,2'si Avrasya, %2,8'i Asya ve Okyanuslarda ve sadece %0,8 'lik kısmı Avrupa da yer almaktadır. Petrol rezervleri bu durumdayken Uluslararası Enerji Ajansı tarafından 2014 yılı petrol üretimi 92,15 milyon v/g ve petrol talebi de 92,4 milyon v/g olarak tespit edilmiştir. 1990-2013 yılları arasında dünya genelindeki petrol tüketimi Şekil 2.4'teki gibi gerçekleşmiştir.



Şekil 2.4: 1990 ile 2013 yılları arasında bölgeler bazında dünya petrol tüketimi[36].

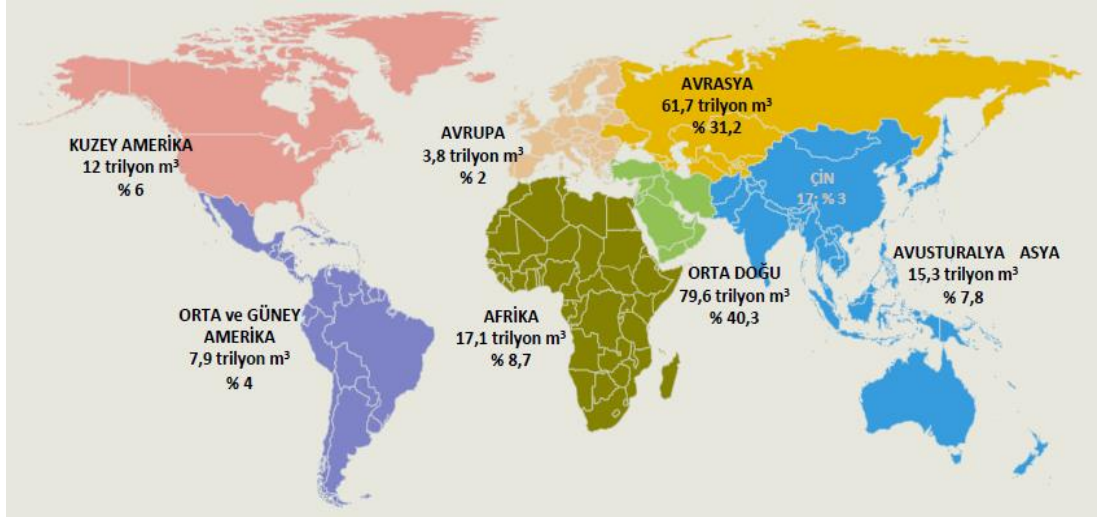
2013 yılına göre küresel petrol rezerv ömrü 53,3 yıl olarak belirttiğimiz rezervin bölgelere göre miktarı ve tahmini ömrü Şekil 2.5'te verilmiştir. Bu süre günümüz tespit edilen rezervleri ve harcama oranları göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır.



Şekil 2.5: Bölgeler itibariyle petrol rezerv ve rezerv ömrü (2013)[36].

Fosil yakıtların bir diğer en çok kullanılanı olan doğalgazın 2014 yılı ispatlanmış rezerv miktarı 197 trilyon m³ olarak belirlenmiştir. Bu rezervin dünya üzerinde bölgeler bazında dağılımı Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Ülkeler bazındaki dağılım göz

önüne alındığında ise Rusya 48 trilyon m³ ile ilk sırada yer alırken, İran 34 trilyon m³, Katar 25 trilyon m³, ABD ise 10 trilyon m³ rezerve sahiptir.



Şekil 2.6: 2014 yılı Dünya ispatlanmış doğal gaz rezervleri dağılımı (EIA)[36].

Doğalgazın küresel üretimine bakıldığında 2012 yılında 3,3 trilyon m³, 2013 yılında 3,4 trilyon m³ olarak gerçekleşmiştir. 2013 yılı küresel doğal gaz talebi, 3,34 trilyon m³ olmuştur. Bu yıl içinde doğalgaz talebinin tek azaldığı bölge %1,6 ile Avrupa ve Avrasya olurken; Avrupa'daki bu azalmanın sebebi olarak Avrupa Birliği ülkelerinin büyük oranda yenilenebilir enerjiye yönelmelerini gösterebiliriz.

En çok kullanılan fosil yakıtlar olan petrol ve doğalgazın bulunan rezervi ve tüketimi küresel anlamda düşünüldüğünde insanlık tarihi açısından yarım yüzyıl gibi kısa bir ömre sahip olması tüm dünyayı yeni enerji kaynakları arayışına yöneltmektedir.

Ayrıca fosil yakıtların çevreye olan etkileri de günümüzdeki en büyük sorunlardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Dünya da sanayi devriminden sonra, insanlığın iklimi etkilediği bir döneme girilmiş ve bu durum atmosferin yapısında sera gazlarının artmasına yol açmıştır. Bu etkiyle atmosferde bulunan karbondioksit, azotoksit ve metan gazlarının oranında artış olmuş; atmosferdeki CO₂ oranı %30, N₂O oranı ise %15 kadar yükselmiş, CH₄ oranı ise iki katından fazla artmıştır. Bunun sonucu; atmosferin ısı tutma özelliği artmış, küresel ortalama hava sıcaklıkları geçtiğimiz yüzyıl içerisinde 0,4-0,8 °C yükselmiştir. Bu sürecin devam etmesi halinde küresel yüzey sıcaklıklarının önümüzdeki 50 yıllık süreçte 0,6-2,5 °C, 100 yıllık süreçte ise 1,4-5,8 °C artacağı öngörülmektedir[45].

Birincil enerji kaynağı olarak kullandığımız fosil yakıtların belirli bir süreç içerisinde tükenecek olması; hava kirliliği, sera gazı etkisi gibi küresel çevre sorunlarına yol açması nedeniyle yeni enerji kaynakları arayışı içine girilmiştir. Yeni enerji kaynaklarının fosil yakıtların dezavantajlarından arınmış olması, süreklilik arz etmesi ve çevre sorunlarına yol açmaması önemli beklentiler haline gelmiştir. Bu doğrultuda yenilenebilir enerji kaynakları tüm dünyada büyük önem kazanmış, ülkelerin kendi potansiyel güçlerini kullanmaları içinimkan doğmuştur.

2.3.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynaklarını; uzun bir gelecekte tükenmeden kalabilecek ve kendisini yenileyebilen kaynaklar olarak ifade edilmektedir[40][46]. Bu kaynaklar kendisini yenilemesi sayesinde tükenmeyen bir kaynak olması, çevreye fosil yakıtlara oranla çok daha az zarar vermesi, nakliye, dışa bağımlılık gibi sorunlarının olmaması gibi nedenlerle alternatif enerji kaynakları olarak da adlandırılmaktadır.

Dünya tarihinde yeni gelişmeleri göz önünde bulundurup değerlendiren ülkelerin yaşanan süreçlerde hep bir adım daha önde olduğu düşünüldüğünde, yenilenebilir enerji teknolojisindeki gelişmelerin ivedilikle takip edilmesi ve geliştirilmesi Ülkemiz açısından hem kendine yeterlilik hem de konuyla ilgili bulunduğu coğrafi bölgede önder olabilmesi için önem arz etmektedir.

Bu kritik öneme sahip yenilenebilir enerji kaynaklarından bazıları olan hidrolik, rüzgar, güneş, jeotermal ve biyoyakıtı bu başlığımız altında inceleyeceğiz.

2.3.2.1 Güneş Enerjisi

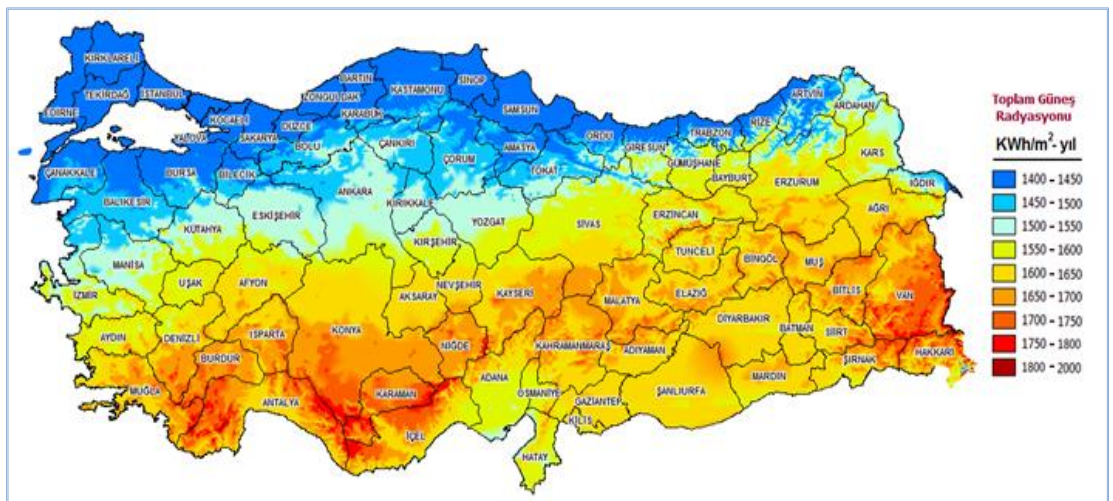
Güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışıma enerjisine güneş enerjisi denmektedir. Atmosferin dışında güneş enerjisinin şiddetinin yaklaşık değeri 1370 W/m^2 'dir. Atmosferden nedeniyle bu değerin $0-1100 \text{ W/m}^2$ arasında değişiklik gösteren kısmı yeryüzüne ulaşır. Dünyaya ulaşan bu enerjinin bir yılda gelen miktarı, bilinen kömür rezervlerinin 50 katına, petrol rezervlerinin 800 katına tekabül etmektedir[38][40][47]. Özellikle 1970'lerden sonra güneş enerjisi ile ilgili çalışmalar hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojisi ilerlemiş ve ilerleyen teknolojiye paralel maliyetlerde düşüşler yaşanmıştır[38]. Dünyada 2014 yılında elektrik üretiminde kullanılan toplam güneş pili kapasitesi 150 GW'ı aşmıştır[48].

Dünyada güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretmede kurulu güç göz önüne alındığında 2014 yılı sonu itibariyle Almanya (38,2 GW) ile lider durumdadır. 2014 yılı içerisinde Çin (10,6 GW), Japonya (9,7 GW) ve Amerika Birleşik Devletleri (6,2 GW) ile kurulu güçlerini en çok arttıran ülkelerdir[49]. Türkiye'nin Mayıs 2016 tarihi itibariyle güneş enerjisindeki kurulu gücü (Lisanssız) 443,3 MW'tır[39]. Çizelge 2.3'de Dünyada güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminde ilk on ülke gösterilmiştir.

Çizelge 2.3: 2014 yılı itibariyle Dünyada güneş enerjisi [49].

Ülke	Kurulu Güç (GW)	Ülke	Kurulu Güç (GW)
Almanya	38,2	Fransa	5,7
Çin	28,1	İspanya	5,4
Japonya	23,3	Birleşik Krallık	5,1
İtalya	18,5	Avustralya	4,1
Amerika Birleşik Devletleri	18,3	Belçika	3,1

Türkiye'nin coğrafi konumu göz önüne alındığında güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye oranla daha avantajlı bir konumda yer aldığı görülmektedir. Ülkemiz güneş enerjisi potansiyeli açısından İspanya dışındaki tüm Avrupa ülkelerinin önünde yer almaktadır[40][47]. Şekil 2.7'de Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli atlası incelendiğinde, Ülkemizin ekvatora yakın olan güney bölgelerinin güneş enerjisi potansiyelinin daha yüksek olduğu görülmektedir.



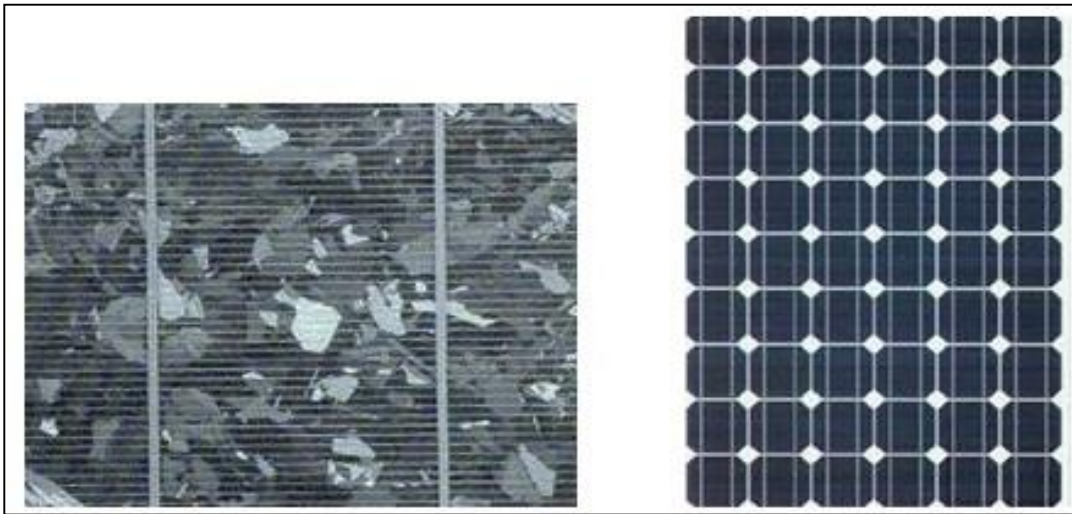
Şekil 2.7: Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA).

En fazla güneş enerjisi alan bölgeler sırasıyla Güneydoğu Anadolu, Akdeniz Bölgesi, Doğu Anadolu Bölgesi, en az güneş enerjisi alan bölgeler Marmara ve Karadeniz bölgeleridir. Ülkemizdeki Toplam Güneş Radyasyonu değeri 1400 KWh/m²-yıl ile 2000 KWh/m²-yıl arasında değişmektedir. Haritadan da görüldüğü gibi Trakya bölgesi ve Kırklareli ili için bu değer 1400-1450 KWh/m²-yıl'dır.

2.3.2.2 Güneş Enerjisi Kullanımı

Güneş enerjisinden yararlanmanın bir çok yolu olmakla birlikte en çok kullanılan teknolojiler; ısıl güneş teknolojisi ve fotovoltaik güneş teknolojisidir. Isıl güneş teknolojilerindeki amaç güneş enerjisinden ısı elde etmektir. Bu teknoloji sıcak su elde etme, su arıtma sistemleri, ürün kurutma sistemleri, güneş havuzları, güneş ocakları ve güneş mimarisi gibi alanlarda uygulanmaktadır. Fotovoltaik güneş teknolojisindeki amaç ise Fotovoltaik hücreler olarak adlandırılan yarı-iletken malzemeler yardımıyla güneş ışığını doğrudan elektriğe çevirmektir.

Fotovoltaik hücreler, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı-iletken malzemelerdir. Güneş hücreleri alanları genelde 100 cm² civarında olup, 0,1-0,4 mm kalınlığa sahiptirler ve kare, dikdörtgen ve daire şeklinde biçimlendirilebilirler. Güneş enerjisini, %5 ile % 30 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevirmek mümkün olmaktadır. En temel silikon-kristalinden oluşan bir hücrede 0,5 V DA elektrik üretilmektedir. Güç çıkışını artırmak için güneş hücrelerinin birbirine seri ya da paralel bağlanarak bir yüzey üzerine monte edildiği yapıya fotovoltaik modül (güneş modülü) adı verilmektedir(Şekil 2.8)] [38].



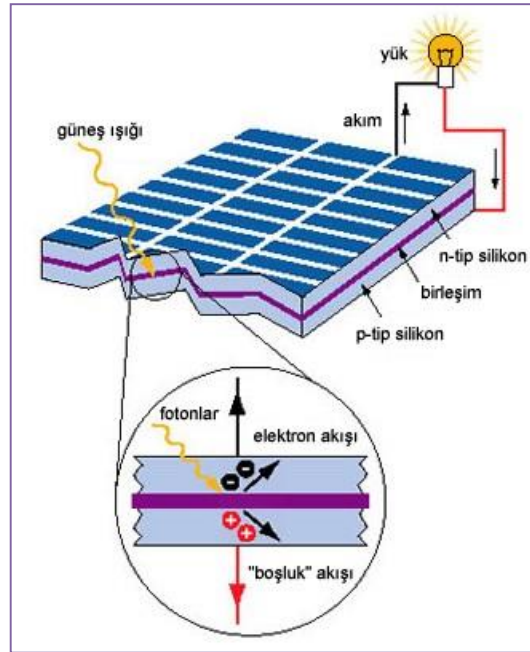
(a)

(b)

Şekil 2.8: (a) Güneş Pili, (b) Güneş Pili modülü.

Bu güneş modüllerinin de birbirleriyle seri ya da paralel bağlanmasıyla bir kaç Watt'tan MEGA Watt'lara kadar sistemler oluşturulabilir.

Fotovoltaik hücre olarak kullanılacak yarı iletken maddelerin öncelikle n ya da p tipi katkıları gereklidir. Katkılandırılan bu malzemeler bir araya getirilerek yarıiletken eklemler oluşturulur. N tipi yarı iletken elektronlar çoğunluk taşıyıcısı iken, p tipi yarı iletken holler(oyuklar) çoğunluk taşıyıcısıdır. PN eklem oluştuğunda, ışık (füzyon) etkisiyle N tipindeki çoğunluk taşıyıcısı elektronlar, P tipine doğru akım oluştururlar. Elektronların bu hareketi bir elektrik akımı oluşturmaktadır. Oluşan elektrik akımını kullanılacak alanlara ulaştırmak amacıyla çeşitli iletkenler kullanılır[38]. Fotovoltaik hücre yapısı şekil 2.9'da gösterilmiştir[47].



Şekil 2.9: Fotovoltaik hücre yapısı.

Fotovoltaik hücreler farklı maddeler kullanarak üretilebilmektedir. Günümüzde en çok kullanılanlarını verimlilik açısından incelediğimizde;

- Kristal Silisyum: Tek kristal silisyum bloklardan üretilen güneş pillerinin ticari modüllerinde %15'in üzerinde, çok kristal silisyum güneş pillerinin ticari modüllerinde ise %14 civarındadır,
- Galyum Arsenit(GaAs): çok eklemlili GaAs pillerde %30 civarında olup, uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcı sistemlerde kullanılmaktadır,
- Amorf Silisyum: ticari modüllerinde verimlilik %5-7 oranındadır. Çok küçük elektronik cihazlarda güç kaynağı, güneş ışınımı az olan bölgeler de santral

uygulamalarında, bina dış koruyucusu ve enerji üretici uygulamalarda kullanılmaktadır.

- Kadmiyum Tellürid(CdTe): Çok kristal yapıda bir malzemedir. Ticari tip modüllerde % 7 civarında verim elde edilmektedir.
- Bakır İndiyum Diselenid(CuInSe₂): Bu çok kristal hücre enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde %10,2 verim elde edilmiştir.
- Optik Yoğunlaştırıcı Hücreler: mercekli veya yansıtıcı araçlarla modül verimi %20'nin, hücre verimi ise %30'un üzerine çıkılabilmektedir.

Fotovoltaik sistemler başlangıçta sadece yerleşim yerlerinden uzak, şebeke olmayan vb. durumlarda kullanılırken, günümüzde şebeke bağlantılı olarak evlerde ve büyük ölçekli santral uygulamalarında da kullanımı yaygınlaşmıştır. Bunun yanında hibrit sistemlerde kullanılmaktadır. Güneş modülleri yapılan uygulamaya göre invertörler, akümülatörler, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılırlar. Güneş enerjisinden faydalandığı sürece üretilen elektrik enerjisi akümülatörde depolanır, güneşin yetersiz olduğu zamanlar ve gece saatlerinde gerekli enerji akümülatörden alınır. Alternatif akımın gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme eklenen invertör aracılığıyla akümülatördeki DA gerilim, 220 V, 50 Hz. AA'a çevrilir.

2.3.2.3 Rüzgar Enerjisi

Güneşin yeryüzünü ve atmosferi, farklı ısıda ve hızlarda ısıtması sonucu oluşan rüzgarların, rüzgar türbinleri yardımıyla önce hareket enerjisine daha sonra elektrik enerjisine çevrilmesidir. Rüzgarın rüzgar türbinlerinin kanatlarını döndürmesi ile kanatların bağlı olduğu milin türbin içerisinde bulunan generatörü çalıştırmasıyla elektrik enerjisi üretmesi prensibine dayanmaktadır. Bu türbinler belli hızlarda çalışmakta ve rüzgara göre belli oranlarda yön değiştirebilmektedir. Rüzgar enerjisiyle ilgili daha ayrıntılı bilgi 4. bölümde verilecektir.

2.3.2.4 Hidrolik Enerjisi

Hidroelektrik Santrallerde (HES) yer çekimi ve suyun gücünden faydalanarak elektrik elde edilmektedir. Su belli bir yükseklikten daha alçakta bulunan türbinlere yönlendirilir. Böylece suyun akış veya düşüş hızının yardımı ile pervane gibi kolları bulunan türbinleri döndürmesi sağlanmaktadır. Bu türbinler generatörlere bağlıdır ve mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürürler[38].

HES'ler elektrik enerjisi üretmelerinin yanında; ülke kaynaklarının kullanılması, akarsuların kontrolü ve su ihtiyacının karşılanması avantajları da bulunmaktadır. Yapım maliyetinin yüksek olması, coğrafi bölgedeki yerleşim yeri, ekim dikim alanları, tarihi eserlerin su altında kalması ve doğal hayata zarar vermesi dezavantajlarıdır.



Şekil 2.10: Keban Barajı ve hidroelektrik santrali (HES).

Ülkemizin HES üretim (Baraj, Akarsu) türüne göre santral sayısı ve kurulu gücü çizelge 2.4'te gösterilmiştir. HES'lerin Ülkemizin 2014 yılı sonu itibariyle elektrik enerjisi toplam kurulu gücü içerisindeki payı %34 iken, Kasım 2015 yılı itibariyle %35,4 e yükselmiştir.

Çizelge 2.4: Türkiye HES kurulu gücü[39].

ÜRETİM TÜRÜ	2014 Yılı Sonu		Kasım 2015 Sonu İtibariyle	
	Kurulu Güç (MW)	Santral Sayısı (Adet)	Kurulu Güç (MW)	Santral Sayısı (Adet)
Hidrolik Barajlı	16.606,9	77	18.157,6	89
Hidrolik Akarsu	7.036,3	444	7.515,6	467

2.3.2.5 Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji, yer kabuğunun derinliklerine inildikçe kayalar içerisinde birikerek oluşan ısının akışkanlar aracılığı ile taşınarak rezervuarlarda depolanması sonucu meydana gelen sıcak su, buhar, kuru buhar ve kızgın kuru kayalardan yapay yollarla elde edilen ısı enerjisidir. Bu kaynaklar yapısı gereği volkanik ve magmatik yapılar

ilefay hatlarının etrafında oluşmaktadır. Jeotermal enerji sağlık, ısınma, endüstri, elektrik üretimi gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır[44].

20-70 °C düşük sıcaklıklı sahaların başlıca kullanım alanı ısıtma olup, endüstride ve kimyasal madde üretiminde de kullanılmaktadır. Elektrik enerjisi üretimi için gerekli olan sahalar ise 70-150 °C orta sıcaklıklı ve 150 °C ve üstü sıcaklığa sahip yüksek sıcaklıklı sahalarlardır.

Elektrik üretimini genel olarak üç farklı şekilde kategori edebiliriz. Birinci tür üretimde kullanılan sahalar buharın baskın olduğu sahalar olup; kuyudan elde edilen kuru buhar alınarak elektrik üretmek için kullanılan türbini döndürmesi sağlanır. Bu sahalar kullanımı en kolay sahalarlardır. İkinci tür üretimde ise; ilk önce jeotermal akışkan separatörlerde sıvı ve buhar olarak ayrılır. Daha sonra ayrıştırılan buhar alınarak birinci tür üretimde olduğu gibi elektrik üretmek için kullanılan türbini döndürmesi sağlanır. Bu türbinlerin avantajı ilk yatırım maliyetlerinin diğerlerine göre daha düşük olmasıdır. Üçüncü tür üretim ise; ikili çevrim santrallerinde yapılan üretimdir. Jeotermal akışkanın sıcaklığından faydalanılır. Jeotermal akışkandan daha düşük kaynama sıcaklığına sahip ikincil bir akışkan eşanjörde buharlaştırılarak elektrik üretmek için kullanılan türbini döndürmesi sağlanır. Böylece bu sistem daha düşük sıcaklıklarda üretim imkanı sağlanmaktadır[38][44].

Genel olarak Ülkemizin jeotermal enerji potansiyeli bölgeler bakımından incelendiğinde; %79'u Batı Anadolu'da, %8,5'i Orta Anadolu'da, %7,5'i Marmara Bölgesinde, %4,5'i Doğu Anadolu'da yer alırken, diğer bölgelerde ise ancak toplam %0,5'lik kısım bulunmaktadır. Ülkemizdeki bulunan jeotermal kaynakların ancak %6'lık kısmı elektrik enerjisi üretimi için uygundur. Ülkemizde jeotermal enerji 2013 yılı sonu itibariyle; 2924 dönüm sera ısıtmasında, 89.443 adet konutun ısıtılmasında kullanılmıştır[44]. Ülkemizde jeotermal enerjiden elektrik üretimi 2015 yılı sonu itibariyle 623,9 MW kurulu güce sahip 21 santralda yapılmaktadır. Dünya da 2013 yılı itibariyle jeotermal enerjiden elektrik enerjisi elde etmek için kurulu güç 11.766 MW'a ulaşmıştır[39].

2.3.2.6 Biyokütle Enerjisi

Bir türe veya çeşitli türlerden oluşan bir topluma ait canlı organizmaların belirli bir zaman diliminde sahip oldukları toplam kütleyle biyokütle denmektedir. Bunlar biyolojik kökenli fakat fosil olmayan organik maddelerdir. Biyokütle enerji

kaynaklarını; orman kökenli, tarımsal kökenli (hayvansal ve bitkisel), endüstriyel ve kentsel kökenli atıklar oluşturmaktadır. Bunlara örnek olarak tarımı yapılan mısır, buğday, arpa, kolza bitkisi; otlar, ağaçlar, denizdeki algler, yosunlar, hayvansal atıklar, gübre, sanayi atıkları ile evlerden atılan meyve, sebze gibi tüm organik çöpler sıralanabilir[38]. Bu kaynaklar, biyokütle çevrim teknikleri (çizelge 2.5) yardımıyla katı, sıvı ve gaz yakıtlara dönüştürülmektedir. Üretim sonucu biyodizel, biyoetanol, biyogaz, gibi ana ürünler elde edilmekte ve bu yakıtların kullanımıyla da elektrik enerjisi üretilebilmektedir[38]. Biyokütle kaynaklarından enerji elde etmek için hangi çevrim yöntemi ile hangi yakıtların üretildiği ve uygulama alanları çizelge 2.5'te gösterilmiştir.

Küresel biyoenerji üretimi 2012 yılında 370 TWh olurken, 2018 yılı için 560 TWh'e ulaşması beklenmektedir[51]. Ülkemizde biyokütleden elektrik üretimi 2015 yılı sonu itibariyle; 69 santral ile 344,7 MW kurulu güce sahipken, 2016 Mayıs ayı sonu itibariyle 70 santral 385 MW kurulu güce ulaşmıştır[39].

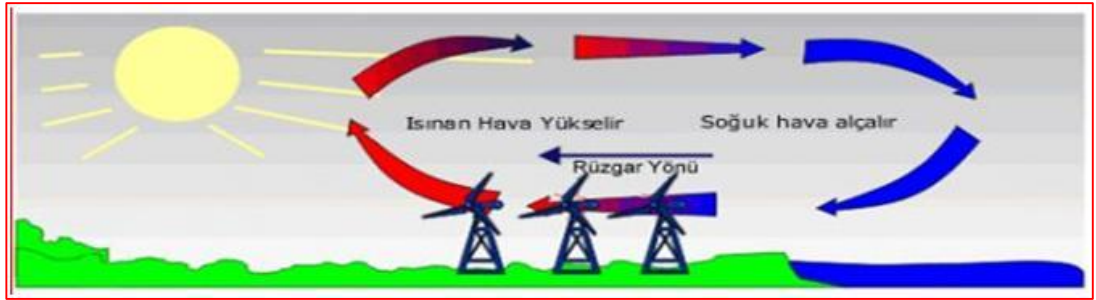
Çizelge 2.5: Biyokütle kaynakları kullanılan çevrim teknikleri, bu teknikler kullanılarak elde edilen yakıtlar ve uygulama alanları[38].

Biyokütle	Çevrim Yöntemi	Üretilen Yakıtlar	Uygulama Alanları
Orman artıkları	Havasız Çürütme	Biyogaz	Elektrik Üretimi, Isınma
Tarım artıkları	Piroliz	Etanol	Isınma, Ulaşım araçları
Enerji bitkileri	Doğrudan Yakma	Hidrojen	Isınma
Hayvansal atıklar	Fermantasyon, Havasız Çürütme	Metan	Ulaşım Araçları, Isınma
Çöpler (organik)	Gazlaştırma	Metanol	Uçaklar
Algler	Hidroliz		Sentetik Yağ, Roketler
Enerji ormanları	Biyofotoliz	Motorin	Ürün Kurutma
Bitkisel ve hayvansal yağlar	Esterleşme Reaksiyonu	Motorin	Ulaşım Araçları, Isınma, Seracılık

3. RÜZGAR ENERJİSİ VE TEKNOLOJİLERİ

3.1 Rüzgar Nedir, Nasıl Oluşur

Hareket halindeki havaya rüzgar denmektedir. Rüzgarın oluşmasında kaynak güneştir. Güneş enerjisi kinetik enerjiye dönüşerek rüzgarları oluşturmaktadır. Rüzgarlar yüksek basınç merkezinden alçak basınç merkezine doğru hareket ederler. Ortamdan daha fazla ısınan hava atmosferin yukarısına doğru hareket eder ve boşalan yere, aynı hacimdeki soğuk hava kütleleri yerleşir. Rüzgarın oluşumunda; dünyanın eğriliği, dönme ekseninin eğimi, ve güneşin karaları, denizleri, atmosferi homojen ısıtmaması ve yer yüzeyinin homojen soğumaması, gece gündüz sıcaklık farklılıkları etkilidir. Bu gibi nedenlerden dolayı oluşan sıcaklık ve basınç farklılıkları rüzgarları oluşturur. Yani sıcaklık farkının yüksek olduğu bölgelerde (deniz, okyanus kıyısı vb.) rüzgar potansiyelinin de yüksek olduğunu söyleyebiliriz. Ayrıca rüzgarların özelliklerini; bitki örtüsü, dağlar, tepeler, göller, akarsular gibi yerel coğrafi farklılıklar ile zamansal ve yöresel değişiklikler etkilemektedir (yok olan ormanlar, baraj yapımı vb. olaylar). Hava olayları atmosferin troposfer denilen katmanında gerçekleşmektedir. Güneş dünyamıza 10^{17} Watt gücünde bir enerji göndermekte ve bu enerjinin ancak %1-%2'küçük bir kısmı rüzgar enerjisine dönüşmektedir[13,14,38].



Şekil 3.1: Rüzgar oluşumu.

3.2 Rüzgar Türleri

3.2.1 Süreklilik Durumlarına Göre

Rüzgarın oluşumunda alanın topografik yapısı önem arz etmektedir. Rüzgarlar yıl boyunca sürekli esen rüzgarlar ve yıl içerisinde aralıklı esen süreksiz rüzgarlar olarak ikiye ayrılmaktadır.

Sıcak ekvator bölgesinde ısınan hava yerden 10 km kadar yükselerek kuzey-güneye yönlerine doğru yayılır ve 30° kuzey-güney enlemlerine kadar ilerler. Dünya'nın dönmesi ile oluşan Coriolis kuvvetleri sıcak havanın ilerlemesini engelleyerek daha önce boşalttıkları düşük basınç bölgelerine doğru alçalarak hareket etmesini sağlayarak küresel rüzgarları (Alize Rüzgarlar) meydana getirir. Bu rüzgarlar 1000 m ve üzeri yüksekliklerde olduğundan yerel coğrafik koşullardan etkilenmezler[13,52]

Kontralize rüzgarlar, alize rüzgarlarının tersi yönde hareket ederek ekvatorдан uzaklaşırlar. Bu rüzgarlar yer yüzeyinden etkilenir; yerküre pürüzlülüğü, rüzgar hızı, engeller gibi nedenlerle hızları yavaşlar ve yönleri değişir. 100 m yükseklik içerisinde oluştuklarından, rüzgar türbini kule yükseklikleri dikkate alındığında rüzgar enerjisi için önemli olan rüzgarlardır[13,52].

Çizelge 3.1: Süreklilik durumlarına göre rüzgarlar[52].

Sürekli Rüzgarlar				Süreksiz Rüzgarlar	
Alize Rüzgarlar	Kontralize Rüzgarlar	Meltem Rüzgarları		Föhn Rüzgarları	Antisiklon Rüzgarları
		Kara ve Deniz Meltemleri	Dağ ve Vadi Meltemleri		

Kara ve deniz meltemleri, karalarındanizlerden daha çabuk ısınıp soğuması sonucu oluşur. Gündüz; deniz meltemleri, denizden daha çabuk ısınan karalara doğru eserken, gece ise; kara meltemleri, karadan daha geç soğuyan denize doğru eserler. Dağ ve vadi meltemleri; gündüz vadiden daha fazla ısınan yamaçlara esen vadi rüzgarları ile gece yüksek yerlerde soğuyan havanın vadilere doğru esmesiyle oluşan dağ rüzgarlarıdır[13,52].

3.2.2 Hızlarına Göre

Sınıflandırma ve tahminsel rüzgar ölçümü rüzgar hızından enerji üretiminde önemli bir gösterge olduğundan, rüzgar hızı ve yönü hassas cihazlarla (anemometre, yön kontrol cihazı) ölçülmelidir. Rüzgarlar hızlarına göre sınıflandırılırlar. 10 m referans yükseklik için rüzgarların hızlarına göre sınıflandırılması çizelge 3.2'de gösterilmiştir[53].

Çizelge 3.2: Hızlarına göre rüzgarlar (10 m yükseklik için).

Rüzgar Hızı[m/s]	Rüzgar Tipi
0,0-0,4	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

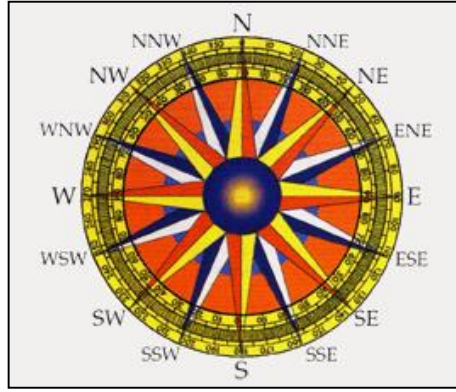
Ölçüm cihazları kullanılmadan veya aletlerle ölçüm yapmanın mümkün olmadığı durumlarda rüzgarın tahminsel ölçümü için Beaufort ölçeği kullanılabilir. Beaufort rüzgar ölçeği İngiliz Amiral Sir Francis Beaufort tarafından geliştirilmiş rüzgarın görsel durumuna göre hızı ve şiddetinin tahmin etmek için kullanılmaktadır. Çeşitli rüzgar hızlarında karada, denizde ve kıyıda görsel durumlar yazılarak bu görsel durumlara göre skala üzerinden rüzgar hızı tahmininde bulunulur. Skala bakarak bir rüzgar türbininin Beaufort numarası ile 3-9 arasında enerji üretebileceği sonucuna varabiliriz. Beaufort rüzgar ölçeği çizelge 3.3'te görülmektedir[10,54].

Çizelge 3.3: Beaufort rüzgar ölçeği.

BEAUFORT RÜZGAR SKALASI							
Beaufort No	Rüzgarın Tanımı	Açık ve Düz Alanda 10 m Yükseklikteki Tanımlanmış Rüzgar Hız Sınırları			Rüzgarın Yaptığı Etki		
		Knot	m/sn	km/h	Karada	Denizde	Kıyıda
0	Sakin	1	0-0,2	1	Duman dikine yükselir	Deniz çarşaf gibi düzdür.	Sakin
1	Esinti	1-3	0,3-1,5	1-5	Rüzgarın yönü rüzgar değil dumanın sürüklenmesinden belli olur	Çok küçük dalgacıklar, az belirgin ve köpüksüz (su üstünde balık pulu gibi buruşuk)	Balıkçı tekneleri hafif sallanır
2	Hafif Rüzgar	4-6	1,6-3,3	6-11	Rüzgar insan teninde hissedilir, yapraklar titreşir, rüzgar gülü hareketle geçer.	Küçük dalgacıklar kısa, fakat daha belirgindir. Dalga tepeleri düzgün görünüşlü, çatlamazlar	Rüzgar teknelerin yelkenlerini doldurur ve 1-2 knot hızla hareket ettirebilir
3	Tatlı Rüzgar	7-10	3,4-5,4	12-19	Rüzgar yaprakları ve ince dalları devamlı hareket ettirir. Bayrakları hafif dalgalandırır	Dalgacıklar birleşir, tepeleri kırılmaya başlar ve köpüklenir (köpükler dağılmış koyunlara benzer)	Yelkenliler yaklaşık 3-4 knots hızla ve yana yatarak hareket edebilirler.
4	Orta Rüzgar	11-16	5,5-7,9	20-28	Rüzgar toz ve kağıt parçacıklarını uçurur, küçük dalları hareket ettirir	Küçük dalgalar genişlemeye başlar. Kırılan dalgaların köpükleri daha sık koyunlar gibidir.	Yelkenliler için en iyi rüzgar; yelkenlilerin tüm yelkenleri şişer ve iyice yana yatarlar.
5	Sert Rüzgar	17-21	8,0-10,7	29-38	Yapraklı küçük ağaçlar sallanmaya başlar, iç sularda tepeli dalgacıklar oluşur	Orta dalgalar daha belirgin bir şekilde gelişir. Hafif serpinti olasılığı vardır.	Yelkenliler yelkenlerini azaltırlar
6	Kuvvetli Rüzgar	22-27	10,8-13,8	39-49	Büyük dallar sallanır, telgraf tellerinde ıslık sesi işitilir, şemsiye taşımak güçleşir	Büyük dalgalar oluşmaya başlar, dalga tepelerinin köpükleri etrafı daha fazla kaplar. Biraz serpinti olabilir.	Yelkenler yelkenlerini kapatırlar. Avlanırken çok dikkat edilmelidir.
7	Fırtınamsı Rüzgar	28-33	13,9-17,1	50-61	Bütün ağaçlar sallanır. Rüzgara karşı yürümek güçleşir	Deniz kabarmaya başlar. Kırılan dalgaların köpükleri rüzgar yönü boyunca savrulur.	Yelkenliler limanda kalırlar. Denizde olanlar hareket edemezler, (faça)
8	Fırtına	34-40	17,2-20,7	62-74	Rüzgar filizleri kırar ve rüzgara karşı yürümek genellikle zordur	Uzun boylu oldukça yüksek dalgalar, dalga tepelerinin kenarları rüzgar tarafından kırılır, köpükler rüzgar yönü boyunca savrulur.	Yakında olan tekneler limana çekilirler.
9	Kuvvetli Fırtına	41-47	20,8-24,4	75-88	Zayıf yapı binalarda hasar meydana gelir. Bacalar yıkılır, kiremitler uçar	Yüksek dalgalar; serpinti ve köpükler rüzgar yönü boyunca daha yoğun bir hat oluşturur. Dalga tepeleri devrilmeye, yıkılmaya ve yuvarlanmaya başlar. Serpinti görüş uzaklığını etkiler.	-
10	Tam Fırtına	48-55	24,5-28,4	89-102	Karada nadir olup ağaçları kökünden söker, binalarda önemli zararlar yapabilir	Uzun sorguçlu çok yüksek dalgalar; büyük parçalar halindeki köpük ve serpintiler rüzgar yönü boyunca çok yoğun bir şekilde savrulur. Deniz genellikle beyaz görünür, iyice yükselmeye ve kabarmaya başlar. Görüş uzaklığı azalır.	-
11	Çok şiddetli fırtına	56-63	28,5-32,6	103-117	Ender rastlanır ve geniş çapta hasarlara neden olur	Çok az görülen yüksek dalgalar; rüzgar yönü boyunca oluşan köpük ve serpintiden denizin üstü beyaz görünür. Dalga tepelerinden her tarafa köpük püskürmektedir. Görüş uzaklığı azalmıştır. (küçük ve orta gemiler dalgaların arasında görünmeyebilir)	-
12	Harikeyn	64 >	32,7 >	73 >	-	Gökyüzü köpük ve serpinti ile kaplanmıştır. Deniz tamamen bembeyazdır. Görüş uzaklığı çok azalmıştır	-

3.2.3 Esmeye Yönlerine Göre

Rüzgarlar aynı zamanda esme yönüne göre isimlendirilir. Şekil 3.2'de rüzgar yönünü göstermek için kullanılan rüzgar pusulası görülmektedir. Rüzgar pusulasında yer alan rüzgarın esme yönüne göre dereceleri ve rüzgar isimleri ise çizelge 3.4'te verilmiştir. Çizelgede yer alan derece ve yönlerin kısaltmaları deneysel çalışma ve sonuçların değerlendirilmesi kısımlarında hakim rüzgar yönünü belirleme çalışmalarında kullanılacaktır.



Şekil 3.2: Rüzgar pusulası[10].

Çizelge 3.4: Rüzgarın esme yönüne göre dereceleri ve rüzgar isimleri[10].

YÖN	DERECE	ADI
N (Kuzey)	0	YILDIZ
NNE	22	YILDIZ POYRAZ
NE	45	POYRAZ
ENE	67	GÜNDOĞUSU POYRAZ
E (Doğu)	90	GÜNDOĞUSU
ESE	112	GÜNDOĞUSU KEŞİŞLEME
SE	135	KEŞİŞLEME
SSE	157	KIBLE KEŞİŞLEME
S (Güney)	180	KIBLE
SSW	202	KIBLE LODOS
SW	225	LODOS
WSW	247	GÜN BATISI LODOS
W (Bati)	270	GÜN BATISI
WNW	292	GÜN BATISI KARAYEL
NW	315	KARAYEL
NNW	337	YILDIZ KARAYEL

3.3 Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi

Rüzgar enerjisi geçmişten günümüze gemilerin hareket ettirilmesi, tahıl öğütme ve sulama gibi pek çok alanda kullanılmıştır[13]. Günümüzde rüzgar bir alternatif enerji kaynağı olarak elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Rüzgar türbinleri yardımıyla rüzgardaki kinetik enerji mekanik enerjiye çevrilerek jeneratörler yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Günümüzde rüzgar türbinleri belirli bir rüzgar hızı aralığında çalışmaktadırlar. Rüzgar türbini kurulması için ilk olarak kurulacak bölgenin rüzgar güç potansiyelini belirlemek gerekir. Potansiyelin belirlenmesinde türbinin süpürme alanı, bu alandaki rüzgar gücü, havanın yoğunluğu ve hızı bilinmelidir[5].

Potansiyeli belirlemek için gereken verilerin en temel olanı rüzgar hızıdır. Hareket halindeki hava kinetik enerjiye sahip olduğundan, rüzgarın enerjisini hesaplamada kinetik enerji formülünden faydalanılır[5][6][8][13][14][55].

$$E = \frac{1}{2} \cdot mh \cdot Vr^2 \quad (3.1)$$

Burada;

E: Rüzgardaki kinetik enerji (J)

mh: Havanın kütlesi (kg)

Vr: Ölçümün yapıldığı yükseklikteki rüzgar hızı (m/sn)

Burada havanın kütlesini hesaplırsak (m):

$$mh = \rho_h \cdot V_h \quad (3.1a)$$

ρ_h : Havanın yoğunluğu (kg/m³)

(1 atm basıncında (deniz seviyesi) ve 15° C sıcaklıkta) (1,225 kg/m³)

V_h : Hava hacmi (m³)

Burada havanın hacmini hesaplırsak (V_h):

$$V_h = Vr \cdot A \cdot t \quad (3.1b)$$

Vr: Ölçümün yapıldığı yükseklikteki rüzgar hızı (m/sn)

A: Rotor süpürme alanı (m²) ($A = \pi \cdot D^2 / 4$) (D=çap)

t: Ölçüm zamanını (s)

3.1-b eşitliği 3.1-a eşitliğinde yerine konularak elde edilen denklem 3.1 deki kinetik enerji formülüyle birleştirildiğinde Rüzgar enerjisi Joule cinsinden şu bağıntı ile tanımlanmış olacaktır;

$$E = \frac{1}{2} \cdot \rho h \cdot A \cdot V_r^3 \cdot t \quad (3.2)$$

3.2 eşitliğinde t=1 olarak alındığında, birim zamandaki enerji, rüzgarın anlık gücü (Pr) watt cinsinden bulunur;

$$Pr = \frac{1}{2} \cdot \rho h \cdot A \cdot V_r^3 \quad (3.3)$$

Eşitlik 3.3'te rüzgarın anlık gücü bulunurken bu gücün enerjiye dönüştürülecek maksimum miktarını hesaplayabilmemiz için rüzgardan rotora geçen enerjinin verimliliğini bulmalıyız. Bu verim eşitlik 3.3 ile Cp (türbinin güç katsayısı) çarpılarak elde edilir.

Türbin sistemi en ideal olduğu durumda dahi rüzgârdan elde edilecek enerjinin bir limiti vardır. Bu limite Betz limiti denmektedir. Betz yasasına göre; Cp' nin maksimum değeri 0,593 olmaktadır. Günümüzdeki, rüzgar türbinleri için Cp yaklaşık 0,35–0,40'tır. [5][6][55]Rüzgar türbininin üreteceği teorik güç eşitlik 4.4 daki gibi olmaktadır.

$$Pt = \frac{1}{2} \cdot \rho h \cdot A \cdot V_r^3 \cdot Cp \quad (3.4)$$

Rüzgar türbinlerinin kataloglarında belli kabullerle (1 atm basıncında (deniz seviyesi) ve 15° C sıcaklıkta hava yoğunluğu 1,225 kg/m³gibi) hangi rüzgar hızında ne kadar enerji ürettikleri belirtilmektedir. Burada formülde de gözüktüğü gibi rüzgar türbinine göre rotorun süpürme alanı ve güç katsayısı sabit olacağından üretilen enerjiyi hesaplamada rüzgarın küpü alındığı düşünüldüğünde türbin kurulmadan önce yapılacak ölçümler de ne kadar hassas davranılması gerektiği ve ölçümlerde rüzgar hızının ne denli önemli olduğu görülmektedir.

Farklı rüzgar hızlarına sahip bölgelerin rüzgar güç ve enerjilerini karşılaştırmak istediğimizde, bu bölgelerin rüzgar güç ve enerji yoğunlukları üzerinden yorumlama yapılmaktadır. Öncelikle ölçüm yüksekliğindeki güç yoğunluğunu (Py) bulmak için eşitlik 3.3 düzenlendiğinde[5][6];

$$Py = \frac{Pr}{A} = \frac{1}{2} \cdot \rho h \cdot V_r^3 (W/m^2) \quad (3.5)$$

Enerji yoğunluğu (E_y) elde etmek için eşitlik 3.5 teki güç yoğunluğuyla yıllık esme saat sayısı "f" (saat/yıl) ile çarpılmasıyla bulunur[5][6];

$$E_y = P_y \cdot f = \frac{P_r}{A} \cdot f = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot h \cdot V_r^3 \cdot f \text{ (W/m}^2\text{.yıl)} \quad (3.6)$$

3.4 Rüzgar Enerjisi Potansiyelini Etkileyen Faktörler

Eşitlik 3.3'tende anlaşılacağı gibi rüzgar gücünü dolayısıyla rüzgardan elde edilen enerjiyi hava yoğunluğu, türbinin süpürme alanı ve rüzgarın hızının küpü etkilemektedir. Burada rüzgar hızının küpü alındığından, gücü en çok rüzgar hızının etkilediğini rahatlıkla söyleyebiliriz. Doğal olarak rüzgar karakteristiğini ve hızını etkileyen faktörler aynı zamanda rüzgar enerjisini de etkilemektedir.

3.4.1 Yükseklik

Yükseklik rüzgarın hızını etkileyen bir faktördür. Rüzgar enerjisinde kule yükseklikleri de göz önüne alındığında 100 m civarı rüzgarlar önem arz etmekte ve bu rüzgarlar yüzey koşullarından etkilenmektedir. Rüzgar hızı yükseklikle orantılı olarak logaritmik şekilde artmakta ve belli bir yükseklikten itibaren sabitlenmektedir[5][12][14][52]. Bir yükseklikte ölçülen bir rüzgar hızından faydalanılarak farklı bir yükseklikte esen rüzgar hızını Hellman katsayısını kullanarak aşağıdaki şekilde hesaplamak mümkündür[56];

$$V = V_{ref} \cdot \left(\frac{H}{H_{ref}} \right)^\mu \quad (3.7)$$

V : Hesaplanmak istenen yükseklikteki rüzgar hızı,

V_{ref} : H_{ref} yükseklikteki rüzgar hızı,

H : Hesaplanmak istenen noktanın yerden yüksekliği,

H_{ref} : V_{ref} rüzgar hızının ölçüldüğü noktanın yerden yüksekliği,

μ : Yeryüzü pürüzlülüğüne bağlı Hellmann katsayısı.

μ pürüzlülük katsayısı; yüzey pürüzlülüğü ile incelenen bölgeler arasındaki yükseklik farkına bağlıdır ve eşitlik 3.8'deki gibi bulunur;

$$Z_0 = 15,25 \exp\left(\frac{-1}{\mu}\right) \quad (3.8)$$

Z₀= Pürüzlülük uzunluğu (m)

3.4.2 Pürüzlülük (yüzey pürüzlülüğü)

Dünyamızın yüzeyinde yer şekilleri belirli farklılıklar göstermektedir. Yüzey pürüzlülüğü, bir bölgenin bitki örtüsü, ağaçlar, doğal arazi yapıları, yapılaşma gibi pürüzlülük elemanlarının boyutları ve bölge üzerindeki dağılımlarına bağlıdır. Yüzey pürüzlülüğü rüzgar hızı üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğundan; rüzgar enerjisi çalışmalarında önemli bir yere sahiptir. Yüzey pürüzlülüğü arttıkça rüzgar hızının azalacağı kabul edilir. Düz zeminler; hava alanı, deniz yüzeyi gibi rüzgar hızını daha az etkilerken, büyük ağaçlı ormanlar, tepeler ve büyük binalar rüzgar hızını önemli ölçüde etkilemektedir. Pürüzlülük sınıfları ve pürüzlülük uzunluğunu gösterir tablo çizelge 3.5'te görülmektedir[5][10][12][13][14].

Çizelge 3.5: Pürüzlülük sınıfları ve pürüzlülük uzunluğu.

Pürüzlülük Sınıfı	Pürüzlülük Uzunluğu Z_0 (m)	Enerji Göstergesi (%)	Yüzey Şekli
0	0,0002	100	Su yüzeyleri
0,5	0,0024	73	Açık araziler (Beton, hava alanlarındaki beton yollar, otoban, çayır ekili alanlar, vb.)
1	0,03	52	Uzak aralıklı yapılara sahip çitsiz ve engelsiz açık tarımsal araziler. (Çok hafif engebeli)
1,5	0,055	45	Birkaç binalı ve 1250 m mesafeli 8 m yüksekliğinde çitlere sahip tarımsal araziler
2	0,1	39	Birkaç binalı ve 500 m mesafeli 8 m yüksekliğinde çitlere sahip tarımsal araziler.
2,5	0,2	31	Pek çok bina, çalı ve bitkiye sahip, yada 250 m mesafeli 8 m yüksekliğinde çitlere sahip tarımsal araziler.
3	0,4	24	Köyler, küçük şehirler, çok yada yüksek çitli tarımsal araziler, ormanlar, çok yoğun ve pürüzlü bölgeler.
3,5	0,8	18	Yüksek yapılara sahip büyük şehirler
4	1,6	13	Yüksek binalara ve gökdelenlere sahip büyük şehirler

Pürüzlülük uzunluğunun yukarıda belirttiğimiz pürüzlülük elemanları ile ilişkisi, eşitlik 4.9'daki gibidir[14].

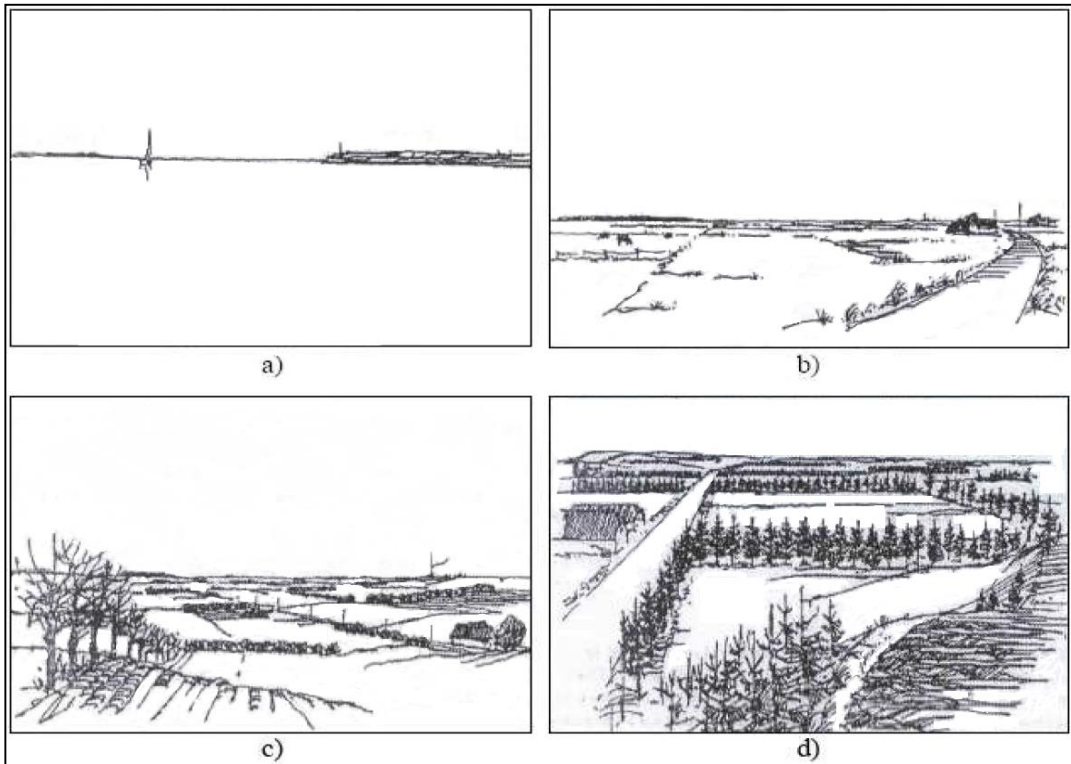
$$Z_0 = 0.5 \frac{h.S}{A_h} \quad (3.9)$$

h = Pürüzlülük elemanının yüksekliği

S = Pürüzlülük elemanının rüzgara karşı gelen dikey kesit alanı

A_h = Pürüzlülük elemanının bölge üzerine dağılmış ortalama yatay kesit alanı

Yüzey pürüzlülüğü dört sınıfta (0,1,2,3) olarak ele alınmakta olup, ayrıca büyük şehirler ve yüksek binaları bir arada barındıran bölgeler için pürüzlülük sınıfı 4 olan yeni bir derecelendirme tanımlanmıştır[13]. Rüzgar enerji potansiyeli açısından, 0 derece pürüzlülük sınıfına sahip alan en uygunken; 4 derece pürüzlülük sınıfına sahip alan en uygunsuz alan olarak kabul edilebilir. Bu bölgeler pürüzlülük derecelerine göre, şekil 3.3'te gösterilmiştir[6], [13], [14], [52].



Şekil 3.3: Pürüzlülük derecelerine göre yüzey şekilleri
a) 0.derece b) 1.derece c) 2.derece d) 3.derece.

Bu sınıflandırmalardan; derecesi 0 olan bölge su yüzeyleri, göller, deniz, pürüzsüz kum yüzeyler olarak tanımlanır. Bu sınıfta kurulabilecek rüzgar türbinlerine off shore rüzgar türbinleri ve deniz kıyısına kurulan türbinler örnek gösterilebilir. Derecesi 1

olan bölge; basit şekiller, ağaç, çalılık gibi düz alanlar ile yumuşak engebeli alanlardan oluşur. Derecesi 2 olan bölge; arazi yapısı düz veya dalgalı olabilir, aynı zamanda arazi üzerinde çok sayıda bina ve ağaç bulunabilir. Fakat bu rüzgar kırıcılar; birbirinden ortalama 1000 m uzaklıkta, açık arazi diyebileceğimiz bir şekilde, dağınık olarak bulunurlar. Derecesi 3 olan bölge; çok sayıda rüzgar kırıcı engelin bulunduğu; ormanlar, çiftlikler, şehirler bulunmaktadır.

3.4.3 Türbülans

Rüzgar türbinlerinin verimliliğini olumsuz etkileyen parametrelerin başında gelen türbülans; ani oluşan düzensiz hava hareketleri olarak tanımlanmaktadır. Türbülans yoğunluğunun seviyesi yüksek olduğunda enerji üretim verimliliğini azaltmaktadır. Bunun yanında bu durum rüzgar türbini üzerine etki eden kuvvetlerin şiddetini ve malzeme yorulmasının hızını arttırmakta ve rüzgar türbinlerinin ömürünün azalmasına neden olmaktadır. Rüzgâr türbinlerinin yüksekliklerinin arttırılmasıyla, rüzgar hızından daha çok faydalanılmakta ve yer seviyesine yakın rüzgârlardan kaynaklanan türbülans sakınılmaktadır. Türbülans şiddetini belirlemek için, ortalama rüzgar hızı ve rüzgar hızlarının dalgalanmaları olarak tanımlanan standart sapması belirlenmelidir. Bir bölgedeki rüzgar verilerinin standart sapmasının küçük olması rüzgar rejiminin düzenli olduğunu gösterir ve standart sapmanın 0 ile 3 m/s arasında olması istenir[12][14]. Türbülans yoğunluğu; eşitlik 4.10'daki gibi hesaplanır ve birimsiz bir niceliktir[57]. Hesaplanan türbülans yoğunluğu değerlerinin sınıflandırılması çizelge 3.6'da verilmiştir.

$$I = \frac{\sigma}{V_m} \quad (3.10)$$

I = Türbülans yoğunluğu

σ = Rüzgâr hız verilerinin standart sapma değeri

V_m = Ölçülen ortalama hız değeri

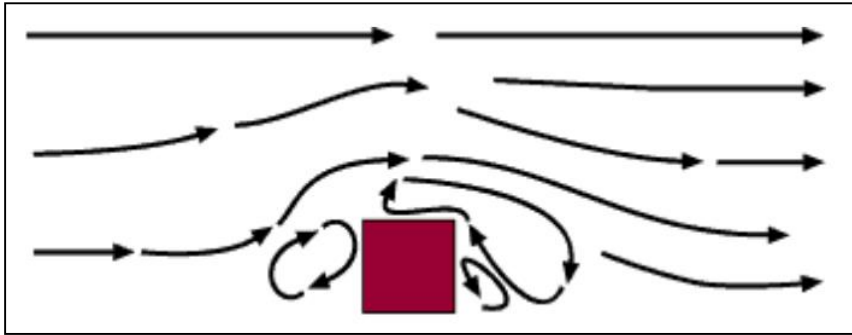
Çizelge 3.6: Türbülans yoğunluğu değerlerinin sınıflandırılması.

Türbülans Yoğunluğu (I)	Yoğunluk Sınıfı
0,00 < I < 0,10	Düşük
0,10 < I < 0,25	Orta
0,25 < I	Yüksek

Türbülans yoğunluğu değerinin 0,25 ten yüksek olduğu alanlara rüzgâr enerji santrali kurmaktan kaçınılmalıdır[11].

3.4.4 Rüzgar Engelleri (Perdeleme Etkisi)

Rüzgar enerjisi elde edilmesi istenen bölge üzerindeki engeller rüzgar hızını önemli düzeyde düşürebilir. Rüzgar hızındaki bu azalmaya perdeleme denmektedir. Ayrıca engeller türbülansa da sebep olurlar ve oluşan türbülans engelin arkasında, engelin önüne göre daha belirgindir. Bu engelleri, insanlar tarafından yapılan yapılar v.b. ile ağaç, bitki örtüsü, arazi yapıları gibi doğal engeller oluşturmaktadır. Doğal engeller, insan yapımı blok engellere göre havanın geçişine izin vermeye daha müsaittir. Binalar için geçirgenlik “0” alınırken, ağaçlar için “0,5” alınmaktadır. Engelin perdeleme etkisi bazı faktörlere bağlıdır. Bunlar; engele olan uzaklık, engelin yüksekliği, hesaplanan noktanın yüksekliği, engelin uzunluğu ve geçirgenliği olarak sıralanabilir. Engelden uzaklaştıkça, engelin geçirgenliği ve hesaplama noktasının yüksekliği arttıkça perdeleme azalırken; engelin yüksekliği ve uzunluğu arttıkça perdeleme etkisi de artmaktadır. Türbinler bina engellerinin 10 katı mesafede kurulması gerekli gibi oranlar veriliyor ise de bina arkasında oluşacak etki alanının binanın şekline ve rüzgara göre konumuna da bağlı olduğundan belirlenen bu uzaklıklar için bir genelleme yapılamayacağını söylemek mümkündür. Şekil 3.4'te bir engel etrafında rüzgârın akışı gözükmektedir[5][8][13][14].

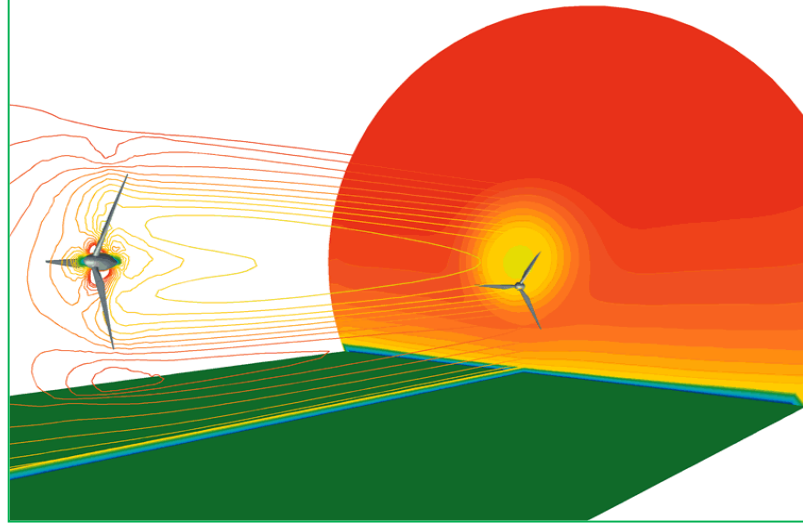


Şekil 3.4: Bir engel etrafında rüzgârın akış biçimi.

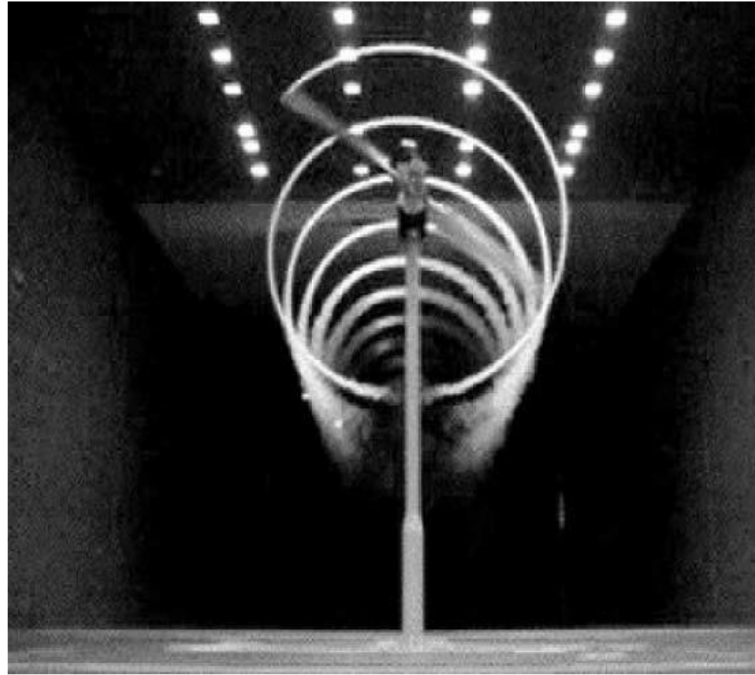
3.4.5 Wake Etkisi (Wake Effect) ve Türbin Yerleşim Etkisi (Park Effect)

Hava akımı bir rüzgar türbininin kanatlarından geçerken, rüzgârın sahip olduğu kinetik enerji dönüşeceği için, türbinden çıkan enerji, enerji korunumu ilkesi gereği, daha düşük olması gerekir. Rüzgar türbinleri enerji dönüşümünü gerçekleştirdiklerinde rüzgar hızını düşürürler. Buradan yola çıkarak, rüzgar çiftliklerinde türbinlerin

arkalarında bulunan türbinlere giden rüzgarın hızında azalmaya ve çalkantıya sebep olması sonucu enerji üretimine yapacakları etkiye wake etkisi diyebiliriz. Şekil 3.5'te Wake (iz) etkisi ve türbin arkasında oluşan hız eğrileri gözükmekte iken, türbin uçlarına duman eklenirse, bir türbinin arkasındaki kanat ucu wake izini şekil 3.6'da görmek mümkündür.



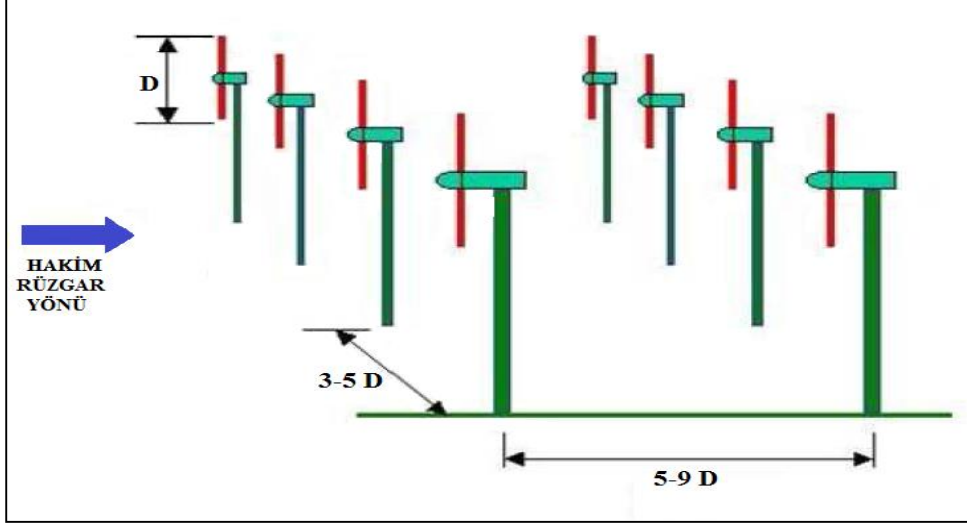
Şekil 3.5: Wake (İz) Etkisi ve türbin arkasında oluşan hız eğrileri[14].



Şekil 3.6: Wake (iz) Etkisi ve türbin uçlarına eklenen dumanın Wake Etkisi[58].

Bu etkiyi azaltmak için türbinlerin yerleşiminde türbinler arasında yeteri kadar mesafe oluşturulması gerekirken, türbinlerin elektrik bağlantıları açısından düşünüldüğünde türbinler mümkün mertebe birbirine yakın planlanmalıdır. Rüzgar çiftliklerinde

türbinler arasındaki mesafe, hakim rüzgar yönünde 5-9 rotor çapı mesafede, düşey yönde ise 3-5 rotor çapı mesafede olmalıdır. Türbin yerleşim planı örneği şekil 3.7'de görülmektedir[5][13][14][58].



Şekil 3.7: Türbin yerleşim planı örneği[13].

3.4.6 Tünel Etkisi (Tunnel Effect)

Dağlar ve yüksek binalar arasından geçen rüzgarın hızında değişimler olmaktadır. Bu oluşumlardan geçen hava akımlarının sıkışması sonucu rüzgarın hızında meydana gelen artışa tünel etkisi denmektedir. Rüzgar türbinlerini tünel etkisini dikkate alarak arazi içerisinde uygun ve düzgün alanlara konumlandırılması, rüzgar enerjisini daha verimli kullanmayı ve enerji üretimi açısından avantaj sağlamayı mümkün kılmaktadır. Ancak; olumlu bir tünel etkisi sağlamak için türbin yumuşak engellerin arasına yerleştirilmeli ve arazinin yapısı pürüzlü ve engebeli olmamalıdır. Bu koşullara dikkat edilmediği takdirde; sert, pürüzlü ve engebeli bir arazi düzenli olmayan tünel etkisi oluşturacak ve bu da daha çok türbülansa sebep olacaktır. Oluşan türbülans, türbinde yıpranma, yorulma, gibi hasarlara neden olarak türbinin ömrünü azaltacak ve enerji üretiminde avantaj yerine dezavantaja sebep olacaktır[5][13][14].

3.4.7 Tepe Etkisi

Rüzgar hızları çevre alanlara göre tepelerde daha yüksektir. Ayrıca tepelerde engellerden etkilenmede daha az olmaktadır. Engelsiz ve rüzgar hızının yüksek olduğu tepe noktalar rüzgar türbinlerinin kurulması için uygun yerlerdir. Tepelik bölgelerdeki yüksek basınç alanları hava akımını yükselterek tepeye ulaşmadan sıkışmaya başlamasına neden olur. Hava akımı hareketine tepenin diğer yamacında oluşan düşük

basınç alanına genişleyerek devam eder. Bu olaya tepe etkisi denmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken tepelerin özellikleridir; denize paralel, orta eğimli, hakim rüzgar yönüne dik ve özellikle de engellerin olmadığı çıplak bir yapıya sahip tepeler enerji üretimine çok uygunken, sarp (dik) veya engebeli (engelli yapıya sahip) tepeler ise türbülansa sebep olacağından rüzgar enerji üretimi uygun değildir. Tepenin hakim rüzgar yönüne sahip üst ve ön kısmı türbinler için uygunken, tepenin üst ve arka kısmı türbülans nedeniyle uygun değildir[5][13][14].

3.5 Rüzgar Teknolojileri

İnsanoğlunun rüzgar enerjisinden günlük işlerinde faydalanması tarihte çok eski dönemlere kadar dayanmaktadır. İlk olarak insanların gemileri hareket ettirmek amacıyla yaklaşık 5500 yıl önce yelken ile rüzgârın gücünden faydalandığı bilinmektedir. İlk yel değirmenleri ise MS 7. yüzyılda İran'da, su pompalamak ve tahıl öğütmek amacıyla kullanılmıştır. Rüzgar enerjisinden elektrik üretmek amacıyla Danimarkalı Poul la Cour, 1897 yılında 89 W gücündeki ilk türbini üretmiştir. Doğru akım elde eden Paul La Cour, elektroliz yoluyla hidrojen gazı eldeetmiş ve bu şekilde rüzgar enerjisini depolamıştır. Daha sonra bu fikirden yola çıkan araştırmacılar 2 ve 3 kanatlı rüzgar türbinlerini ve ilk alternatif akımla çalışan rüzgar türbinini (Johannes Juul) üreterek bu gelişmeye katkı sağlamışlardır. 1956 yılında Danimarka da kurulan 24 m pervane çaplı ve 200 KW kurulu güce sahip, Gedser rüzgar türbini günümüz modern rüzgar türbinlerinin temellerini oluşturmuştur. Bu türbin asenkron jeneratör, elektromekanik dönüş ve aerodinamik fren sistemine sahip olup, şekil 3.8'de gösterilmiştir[14].

1960'lı yılların ortalarına kadar yapılan çalışmalarla rüzgar türbinleri etkin bir biçimde kullanılmaya başlanmış, fosil yakıt fiyatlarının düşmesiyle bu gelişim yavaşlamıştır. 1973'te ortaya çıkan petrol krizi ve ilerleyen yıllarda artan çevre bilinci yeni enerji kaynaklarının aranmasına sebep olmuştur. Bu arayış sonucu endüstriyel ve teknolojik gelişmelerin de yardımıyla 1980–1981 yıllarında 55 KW kapasiteli türbinlerin üretimine başlanmış ve rüzgar enerjisi endüstrisi daha çok yaygınlaşmıştır. Rüzgar enerjisi teknolojileri 1995 yılından sonra hızla artmış, KW mertebesindeki rüzgar türbinleri bu tarihten sonra hızla MW'lar seviyesine çıkmıştır. 1960'larda 20 m civarındaki kule yükseklikleri günümüzde 100 m ve üzerinde olup; rotor çapları da 70,80,120 m ve üzerine ulaşmıştır. Rüzgâr enerjisi potansiyeli açısından karalardan

daha verimli olduğu tespit edilendenizlerde de, offshore rüzgâr santralleri kurulmaya başlanmıştır. İlk deniz üstü rüzgar çiftliği, 1991 yılında Danimarka'nın Lolland adası yakınlarında kurulan, 450 KW'lık 11 adet rüzgar türbini ile 5 MW kurulu güce sahip Vindeby rüzgar çiftliğidir[14][59][60].



Şekil 3.8: Gedser rüzgar türbini.

3.5.1 Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması

Rüzgar türbinleri teknolojilerinin geçmişten günümüze yaşadığı gelişmesi sonucu; ortaya farklı rüzgar türbin tipleri çıkmış ve ihtiyaca göre farklı boyutlarda rüzgar türbinleri üretilmiştir. Bu çeşitlilik rüzgar türbinlerinin sınıflandırılması ihtiyacını doğurmuştur. Rüzgar türbinlerini; güç kontrol sistemleri, rotorun dönme hızı, kullanım yerleri gibi bir çok şekilde sınıflandırmak mümkün olsa da en çok tercih edilen ve kullanılan sınıflandırma rotorun yapısına (dönme eksenine) göre sınıflandırmadır. Bu sınıflandırmaya göre rüzgar türbinlerini üç sınıfta inceleyebiliriz;

- Yatay eksenli rüzgâr türbinleri,
- Dikey eksenli rüzgâr türbinleri,
- Eğik eksenli rüzgâr türbinleri.

3.5.1.1 Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri (YERT)

Yatay eksenli rüzgar türbinlerinin dönme eksenini rüzgar yönüne paralel, kanatları rüzgar yönüne dik açı yaparlar. Günümüzde ticari amaçlı kullanılan türbinler genellikle yatay eksenli türbinlerdir. Bu türbinlerde rotor, rüzgarı en iyi alacak şekilde, döner bir tabla üzerine yerleştirilmiştir. Rotoru yatay ekseninde çalışmaktadır ve rüzgardan verimi en iyi şekilde alabilmesi için kanatları rüzgar akış yönünde olmalıdır. Bu türbinin parçalarından ileriki bölümde bahsedeceğiz[61][62].

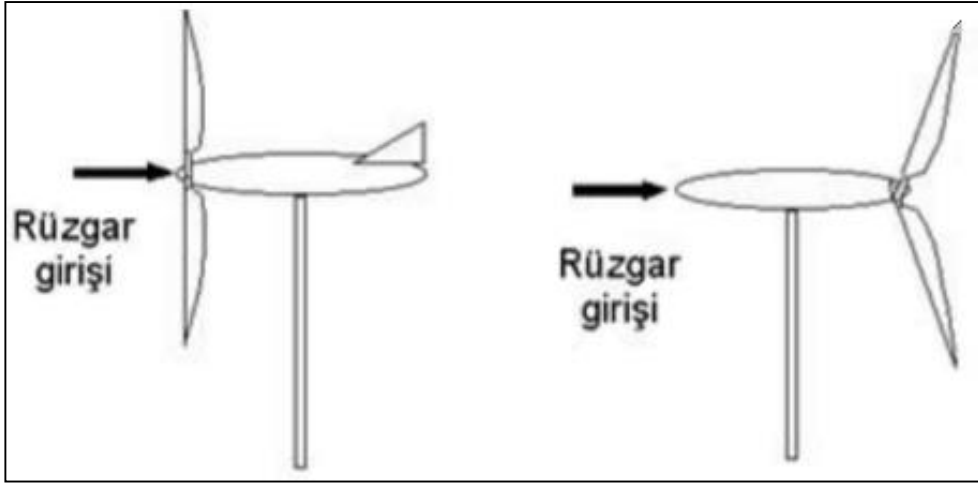
Bu türbinler kendi içinde de rüzgarı alış yönüne ve kanat sayısına göre sınıflandırılabilirler.

Rüzgarı Alış Yönüne Göre

Rüzgarı alış yönüne göre rüzgar türbinleri kendi içinde rüzgarı önden alan ve rüzgarı arkadan alan rüzgar türbinleri olarak ikiye ayrılmaktadır.

Rotor yüzü rüzgara doğru yönlendirilen rüzgar türbinleri rüzgarı önden alan rüzgar türbinleri olarak adlandırılırlar. Bu türbinlerin kullanımı yaygındır. Bu türbinlerin üstünlüğü kuleden kaynaklı oluşacak gölgeleme etkisine çok az maruz kalmasıdır. Bunun yanında kulenin ön tarafında az da olsa rüzgar gölgelemesi oluşmaktadır. Kule her ne kadar düz ve yuvarlak bir yapıda olsa dahi, kanat kule hizasından geçerken türbinin ürettiği güç biraz azalmaktadır. Bunda dolayı kanatlar sert yapılmalıdır ve bununla birlikte kanatların kuleden biraz uzakta yerleştirilmesi gerekir. Bu makinelerde rotoru rüzgara karşı döndürebilmek için yaw mekanizmasına gerek duyulmaktadır[61][63]. Şekil 3.9-a'da rüzgarı önden alan türbin şekli gösterilmiştir.

Rotorları kulenin arkasına konulan türbinleri ise rüzgarı arkadan alan rüzgar türbinleri olarak adlandırılır. Bu sistemin, türbinin rüzgara dönmek için yaw mekanizmasına ihtiyaç duymaması önemli bir artıdır. Makine yatağı olan nacelle ve rotorun uygun tasarımıyla makine yatağının (nacelle) rüzgarı pasif olarak izlemesi sağlanır. Kanatlar esnek özelliğe sahiptir. Bu da sistemin ağırlık ve makinenin güç sistemi açısından önemli bir avantaj sağlar. Böylece bu türbinler, rüzgarı önden alan türbinlere göre daha hafif yapılırlar ve böylece kule yükü azalmış olur. Ancak, bu türbinlerde kanatın kule hizasından geçerken meydana gelen güç dalgalanması, rüzgarı önden alan türbinlere oranla daha çok zarar verir[63][64][65]. Şekil 3.9-b'de rüzgarı arkadan alan türbin şekli gösterilmiştir.



Şekil 3.9: a) Rüzgarı önden alan türbin. b) Rüzgarı arkadan alan türbin.

Kanat Sayısına Göre Sınıflandırma

Bu sınıflandırmada tek kanatlı, çift kanatlı, üç kanatlı ve çok kanatlı rüzgar türbinleri yer almaktadır. Bu türbinlerden çok kanatlı olanlar yavaş hızlarda çalışırken diğer türbinler yüksek hızlarda çalışmaktadır.

Kanat uç hız oranı (λ), rüzgar hızının, rotor kanadı uç hızına bölünmesiyle bulunan orandır. Kanat uç hız oranı (λ);

- $\lambda= 1-5$ çok kanatlı rotor,
- $\lambda= 6-8$ üç kanatlı rotor,
- $\lambda= 9-15$ iki kanatlı rotor,
- $\lambda>15$ tek kanatlı rotor tercih edilir[66][67].

Yatay eksenli rüzgar türbinlerini kanat sayılarına göre incelersek;

Tek kanatlı, rüzgar türbinlerinin yapılmasındaki amaç, kanat sayısına göre dönme hızının yüksek olması ve bu sayede makine kütlelerini ve rotorun döndürme momentini azaltmaktır. Rotor kanadı, kanat üzerindeki yapısal yükleri azaltacak mekanizma ve kanat mekanizma hareketinin pürüzsüz olabilmesi için, tek menteşe ile sabitleştirilip, 2 karşı ağırlıkla dengelenmelidir. Ayrıca, ilave yüklerden ortaya çıkan aerodinamik balanssızlık ve mekanizma hareketinin kontrol altındatutulması için bu türbinlerin rotorlarında hub çok iyi yapılmalıdır. Bu türbinlerin ticari dezavantajının en önemli sebebi, 120m/sn civarındaki kanat uç hızının sebep olduğu rotorun aerodinamik gürültü seviyesidir. Üç kanatlı rüzgar türbinlerine göre, kanat uç hızı iki kat daha

yüksek olup; daha fazla gürültülü çalışmaktadırlar[66]. Şekil 3.10'da tek kanatlı rüzgar türbini gösterilmektedir.



Şekil 3.10: Tek Kanatlı Rüzgar Türbini.

Çift kanatlı rüzgar türbinleri; bu türbinlerin üretimindeki amaç, üç kanatlı rüzgar türbinlerine göre rotor maliyetini azaltmaktır. 10 m ve 100 m rotor çaplı üretilmiştir. Avrupa ve Amerika Birleşik Devletlerinde kullanılmıştır. Rotor balansı, tek kanatlı rüzgar türbinlerinin rotor balansına göre daha düzgündür. Kanat uç hızları, üç kanatlı rüzgar türbinlerine göre daha yüksektir[66][67].

İki kanatlı rotorun sebep olduğu dinamik etkiler çeşitli ilave ekipmanlar gerektirir ve bu da maliyet artışına sebep olmaktadır. Kanat uç hızının yüksek olması gürültülü çalışmasına neden olmaktadır. Ayrıca bu türbinler düşük rüzgar hızında (3 m/s) devreye girememektedir. Günümüzde çift kanatlı rüzgar türbinleri tercih edilmemektedir[66][67]. Şekil 3.11'de çift kanatlı rüzgar türbini gösterilmektedir.



Şekil 3.11: İki ve Üç Kanatlı Rüzgar Türbini.

Üç kanatlı rüzgar türbinleri; günümüzde en çok kullanılan türbin modeli olarak göze çarpmaktadır. Bu türbinlerin tercih edilmesindeki sebep, dönme momentlerinin diğer türbin modellerine göre daha düzgün olmasından kaynaklanmaktadır. Üç kanatlı rüzgar türbinlerinde, türbin üzerinde depolanan yükler salınım yapan adalet momentine neden olmaz ve bu türbinler her hızda sabit atalet momentine sahiptir. Türbin sahip olduğu sabit atalet momentini sayesinde göbek içinde titreşimi engelleyici pahalı parçalara ihtiyaç duymaz. 70 m/sn altında kanat uç hızına sahip olduğu için gürültü oranı düşüktür. Bu türbinlerin küçük güçlü rüzgar türbinlerinde kullanılması güç problemlerine sebep olmaktadır. Bu sorunu önlemek için dişliler yardımıyla rotor devir sayısı $1/n$ oranında artırılır ve gereken hıza ulaşıncaya kadar jeneratör boşa çalıştırılır[66][67]. Şekil 3.11'de üç kanatlı rüzgar türbini gösterilmektedir.

Çok kanatlı rüzgar türbinleri; 1870'li yıllarda Amerika Birleşik Devletlerinde üretilmeye başlanmış bugünkü rüzgar türbinlerinin gelişmemiş ilk örnekleridir. Düşük hızda çalışan bu türbinler uzun süre su pompalamada kullanılmış, şu işlemi yerine getirebilmesi için gerekli momenti karşılayabilmesi için çok kanatlı olarak üretilmiştir. Türbinlerin bazı modellerinde kanat genişlikleri göbek kısmında uçlara gidildikçe artar, kuyruğa yerleştirilen kanat dümen vazifesini yerine getirir. Dişli kutusu

kullanılarak devir sayısı arttırılmaktadır. Bu türbinler 2-3 m/s gibi düşük rüzgar hızlarında kendiliğinden çalışmaya başlar. Genellikle su pompalama işi için ideal olan bu türbinlerin, elektrik üretimi için verimleri düşüktür[67][68]. Şekil 3.12'de çok kanatlı rüzgar türbini gösterilmektedir.



Şekil 3.12: Çok Kanatlı Rüzgar Türbini.

3.5.1.2 Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri (DERT)

Bu tip rüzgar türbinlerinde, türbinin mili düşey yapıdadır ve rüzgarın geliş yönüne diktir. Düşeyde yer alan kanatlar, rüzgar hangi yönden kabul edebildikleri için yön değiştirme ve bunun için gerekli sistemlere ihtiyaç duymazlar. Bu türbinlerin çeşitlerine bakıldığında, sürüklenme ve kaldırma kuvveti ile dönen model Darrieus tip, sadece sürüklenme etkisi ile dönen model Savonius tip rüzgar türbini olarak adlandırılır. Verimlilikleri yaklaşık olarak %35 olup, ilk harekete geçişleri güvenilir değildir. Kule ihtiyacı olmayan bu türbinlerde, jeneratör ve dişli kutusu gibi sistemler yer seviyesinde konumlandırılırlar. Bu sayede bu sistemlerin bakımları daha kolay gerçekleştirilir. Kule olmadığı için yükseklikleri düşüktür. Bu sebeple düşük rüzgar hızlarında çalışırlar ve “Yaw” mekanizması kullanımına gerek yoktur. Düşük hızlarda güç katsayıda düşük olduğundan su pompalama gibi basit işlerde kullanılırlar ve ticari

kullanımları azdır. Bununla birlikte yeni tasarım çalışmalarıyla güç katsayıları arttırılmaya çalışılarak elektrik üretiminde de kullanılmaları amaçlanmaktadır. Yatay eksenli türbinlerine oranla, dönüş hızlarının düşük olması ve daha sessiz çalıştıkları düşünüldüğünde şehirlerde kullanılmalarının güvenli olduğu söylenebilir. Yatay eksenli türbinlerine göre az ekipman ihtiyacı ve kule masrafının olmaması ilk yatırım ve bakım maliyetleri konusunda bir avantaj sağlamaktadır. İlk hareket motoruna ihtiyaç duyarlar. Türbini ayakta tutabilmek için germe telleriyle yere sabitlenirler ve alan kaplamaktadırlar. Türbin mili yatakları ile ilgili işlemlerde, makine tamamen yere yatırılmalıdır[60][61][62][66].

Darrieus Tip Rüzgar Türbini

Darrieus tip rüzgar türbini Fransız mühendis Georges Jeans Mary Darrieus tarafından 1931 yılında icat edilmiştir. Kendisi bu türbinlerin kanat şeklini bir kablonun döndürülmesine (Troposkien) benzeterek tanımlamıştır. Amerika ve Kanada da 1970-1980'lerde kanat dizaynları üzerine çalışmalar yapılmıştır. Dönme hareketi; kanatların içbükey ve dışbükey yüzeyleri arasındaki çekme kuvveti farkı ile oluşur. Türbin 2-3 kanatlı olur (2 kanatlı yapıda malzeme ve kurulum giderlerinin düşük olması 2 kanatlı modelin tercih edilmesine sebep olmuştur.) ve yüksek hızlarda çalışabilir. Kanatların aerodinamik yapısı sayesinde yüksek performanslıdır. İlk harekette tahrik motoruna gereksinim duyar. Ticari olarak kullanılan modellerinde 250 KW ve üzeri güç üretilmektedir[60][62][66][69]. Şekil 3.13-a'da Darrieus tipi bir rüzgar türbini gösterilmiştir.

H-Darrieus Tip Rüzgar Türbinleri

Dikey eksenli rüzgar türbinlerinin, bir diğer önemli modelidir. Daha karmaşık olan bu türbin modeli Darrieus rüzgar türbinlerinin geliştirilmesiyle ortaya çıkmıştır. Darrieus tip rüzgar türbininden iki temel farkı mevcuttur;

- Aerodinamik profili düzdür,
- Kanatlara pitch kontrol uygulanarak, yüksek rüzgar hızlarında kanat açısı değişimi ve sabit hızda tutulması sağlanır[60][66].

Şekil 3.13-b'de H-Darrieus tipi bir rüzgar türbini gösterilmiştir.



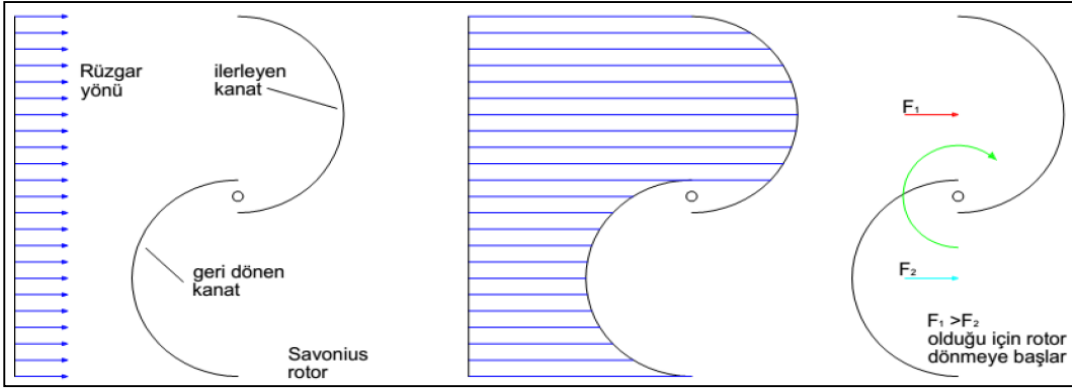
a)

b)

Şekil 3.13: a) Darrieus b) H-Darrieus Rüzgar Türbin Tipleri.

Savonius Tip Rüzgar Türbinleri

Rüzgarın sürekleme kuvvetiyle çalışan savonius tip rüzgar türbinlerini, Finlandiya'lı mühendis Sigurd J. Savonius 1925 yılında keşfetmiştir. Rotor, dikey konumda olup; bir silindirin ortadan ikiye kesilmesi ve merkezleri birbirine göre simetrik şekilde kaydırılması sonucu elde edilir ve "S" şeklindedir. Belli bir hızla gelen rüzgar rotora çarpar, bunun sonucunda yarım daire silindirin iç kısmında pozitif, diğer yarım daire silindirin dış kısmında negatif bir moment oluşur. İç kısımdaki moment dış kısımdaki momentten daha büyüktür ve oluşan fark rotorun dönmesini sağlar. Şekil 3.14'te rotorun çalışma prensibi gösterilmiştir[62][67]. Şekilden de anlaşıldığı gibi, yarı silindire (kanatlara) çarpan rüzgarın iç tarafı dönük olan kanada uyguladığı basınç geri dönen kanattaki basınca yani kuvvete göre daha büyüktür. Türbin rüzgarın estiği yön fark etmeksizin dönmeye ve güç üretmeye başlar[62].



Şekil 3.14: Savonius Tip rüzgar türbini ve çalışma prensibi[62].

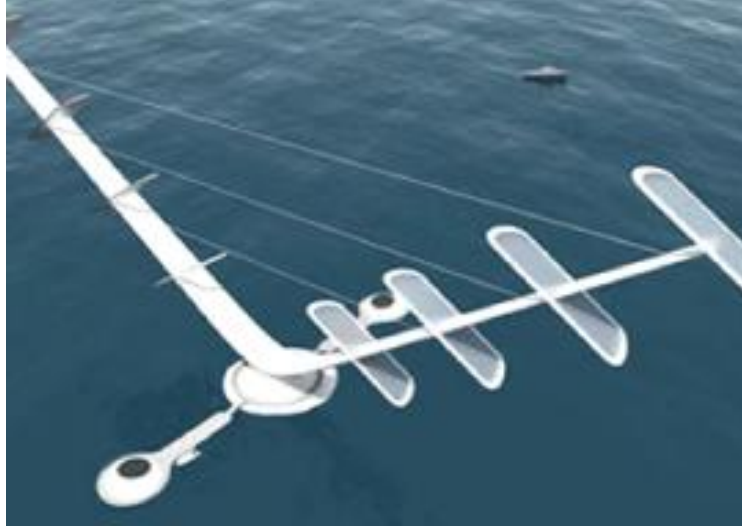
Bu türbinlerin yapımının ucuz ve kolay olması, ilk harekete tahrik motoruna ihtiyaç duymaması, rüzgar yönünden bağımsız olması, düşük rüzgar hızında ve sessiz çalışması pozitif yanlarıdır. Aerodinamik performansları düşüktür, ancak bu negatif yönü geliştirmek amacıyla çalışmalar yapılmaktadır. Ayrıca yatay eksenli rüzgar türbinlerine oranla güç katsayıları da düşüktür. Genellikle su pompalama gibi işlemlerde kullanılırlar. Ancak; güç katsayısını arttırmak için yapılan çalışmalar sayesinde yeni tasarımlarla elektrik üretiminde faydalanılma yoluna gidilmiştir. Gün geçtikçe daha çeşitli model ve şekilleri üretilmektedir[60][62][66][67]. Şekil 3.15'te bazı model savonius türbin modelleri gösterilmiştir.



Şekil 3.15: Bazı model Savonius türbin modelleri.

3.5.1.3 Eğik Eksenli Rüzgâr Türbinleri

Eğik eksenli rüzgar türbinlerinin dönme eksenleri düşeyle rüzgar yönünde bir açı yapar. Ayrıca bu türbinlerin dönme eksenleriyle kanatları arasında belirli bir açı mevcuttur[66][67]. Şekil 3.16'da eğik eksenli rüzgar türbini gösterilmiştir.

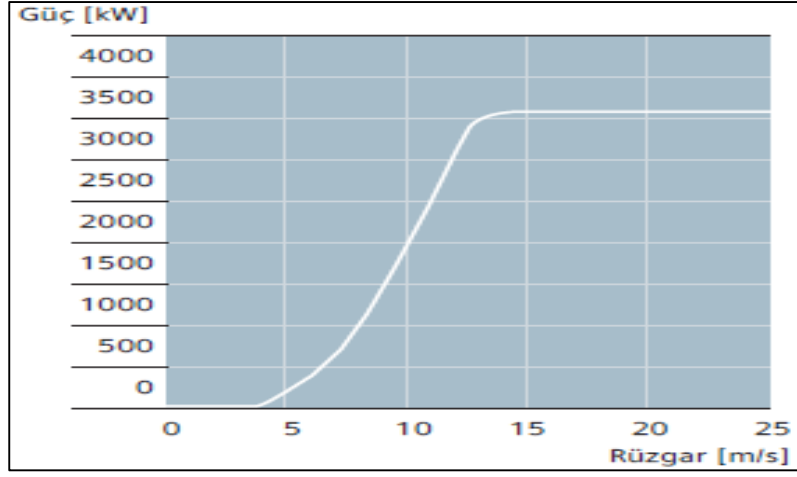


Şekil 3.16: Eğik Eksenli Rüzgar Türbini[67].

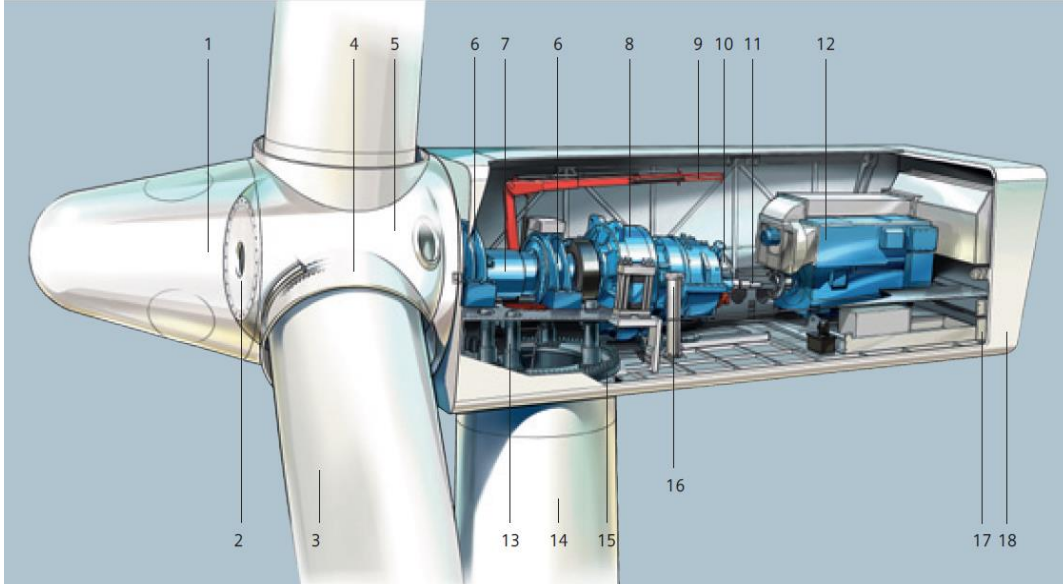
3.6 Rüzgar Türbini Parçaları

Günümüzde elektrik enerjisi üretmek amaçlı kullanılan rüzgar türbinlerinden en çok tercih edileni yatay eksenli 3 kanatlı rüzgar türbini olduğunu söyleyebiliriz. Siemens marka SWT-3.6-107 model bir yatay eksenli 3 kanatlı rüzgar türbininin genel özellikleri incelendiğinde, 52 m kanat uzunluğu ve 107 m rotor çapına sahiptir. Rotor göbeği yüksekliği 80 m ve rotor ağırlığı 95 ton, makine dairesi ağırlığı 125 tondur. Hidrolik fren diskine sahip bu rüzgar türbininin devreye girme rüzgar hızı 3–5 m/s, nominal güç için rüzgar hızı 13–14 m/s, devreden çıkma rüzgar hızı ise 25 m/s'dir. Türbinin güç eğrisi şekil 3.17'de gösterilmiştir. (Güç eğrisi verileri 15 C⁰ derece sıcaklık, 1013 mBar hava basıncı ve 1,225 kg/m³ hava yoğunluğu olan standart hava koşulları içindir.)[70].

Şekil 3.18'de Siemens marka SWT-3.6-107 model bir yatay eksenli 3 kanatlı rüzgar türbininin iç yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.17: Siemens SWT-3.6-107 Model Türbinin güç eğrisi[70].



Şekil 3.18: SWT-3.6-107 Model Siemens rüzgar türbini iç yapısı[70].

- | | |
|--------------------------|--------------------|
| 1. Rotor başlığı | 5. Rotor göbeği |
| 2. Rotor başlığı desteği | 6. Ana şaft yatağı |
| 3. Kanat | 7. Ana şaft |
| 4. Kanat eğim yatağı | 8. Dişli kutusu |
| 9. Servis vinci | 14. Kule |
| 10. Fren diski | 15. Yaw yatağı |
| 11. İletim sistemi | 16. Yağ filtresi |
| 12. Jeneratör | 17. Jeneratör fanı |
| 13. Yaw dişlisi | 18. Kanopi(nasel) |

3.6.1 Gövde (Kanopi, Nasel)

Nasel; rüzgar türbininin, ana Şaft yatağı, ana Şaft, dişli kutusu, fren diski, hidrolik sistem, jeneratör, yaw dişlisi ve yatağı gibi ana ekipmanların bulunduğu kule üzerindeki kafa kısmıdır. Gövdenin görevi ana ekipmanları korumak ve havanın akıŐını aerodinamik olarak kolaylaŐtırmaktır. Kanatlar yardımıyla mekanik enerjiye çevrilen rüzgar enerjisi buradaki ana ekipmanlar yardımıyla elektrik enerjisine çevrilmektedir. Günümüzde nasel kısmına geçiş türbin kulesindeki asansörler yardımıyla sağlanmaktadır[2][13][14].

3.6.2 Kanatlar

Rüzgar türbininin en önemli parçalarından olan kanatlar türbinin rotoruna (pervanesine) hubnoktalarından bağlanmaktadır. Rotorda mekanik enerjiye çevrilen rüzgar enerjisi, ana Őafttan dişli kutusuna oradan da jeneratöre gönderilmektedir. Kanatlar rüzgarın gücünü rotora aktarmaktadır. Kanatlara etkiyen rüzgar; kanadın gövdesine ve rotorun merkezine doğru hareketlendike, daha dik bir açıdan gelir. Rüzgar, rotor kanadına çok dik bir geliş açısı ile gelirse, rüzgar kanadı kaldırma kuvvetinin azalmasına ve sıfırlanmasına yol açar. Bunun için, rotor kanadı burulmak zorundadır ve kanadın arka ucu, esen rüzgarla aynı yöne doğru itilir[2][13].

Rüzgardan elde edilecek enerjiyi, kanadın yapısı ve aerodinamiği önemli derecede etkilemektedir. Kanatlarda paslanmaya dayanıklı galvanizli sac, özel karbon ile karıŐtırılmıŐ kompozit malzemeler veya ahŐap kullanılır. Günümüzdeki modern rüzgar türbin rotor kanatları, cam elyaf plastikten yapılmaktadır. Yukarıda belirtilen SWT-3.6-107 model Siemens rüzgar türbininin kanatları cam elyaf takviyeli epoksiden yapılmıştır. Kanatlara çok yüksek rüzgar hızının yanında yıldırımlarda büyük zararlar vermektedir. Bu nedenle türbinin kendisi ve kanatların korunması için her kanat iletim sistemiyle donatılıp, topraklaması sağlanır. Bir kanatın kalite kriterlerini; çok yüksek rzgrlarda ani yavaŐlama veya duruŐ karakteristiği, pürüzsüzlük, düşük gürültü karakteristiği, yüksek kaldırma ve sürükleme kuvveti belirlemektedir[13][14][70].

3.6.3 Hatve Mekanizması (Pitch Kontrol Sistemi)

Hatve mekanizması, kanatlarının açısal konumlarını deđiŐtirmek için kullanılırlar. Kanatların açısal konumlarının değiştirilmesi ile rüzgardan elde edilecek verimi arttırmak, hızın sabit Şekilde tutulması sağlamak, düşük rüzgar hızında türbinin

harekete geçmesi için yüksek başlangıç momenti elde etmek amaçlanmaktadır. Kanatlar, şiddetli rüzgar hızlarında ve türbinin hareket etmesinin istenmediği durumlarda rüzgar yükünü minimumda tutmak için 90 dereceye getirilir[2][70]. Şekil 3.19'da kanatların hareketi gösterilmiştir.



Şekil 3.19: Hatve mekanizması (Kanat açısı ayarlama)[71].

3.6.4 Ana şaft ve ana şaft yatağı

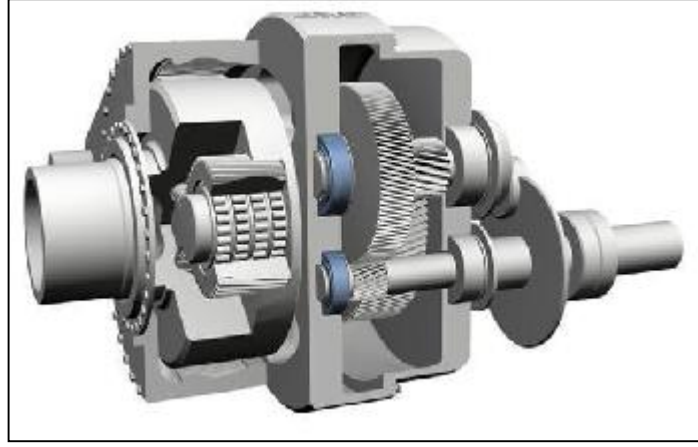
Ana şaft; jeneratör, dişli kutusu, düşük-yüksek hız mili(iletim sistemi) gibi ekipmanların üzerine oturduğu yerdir. SWT-3.6-107 modelde ana şaft, alaşımlı çelikten yapılmış, hatve mekanizmasına güç ve sinyal sağlamak amacıyla içi boş bırakılmıştır. Ana şaft iki ana şaft yatağıyla desteklenmiştir[14][70]. Şekil 3.20'de ana şaft gösterilmiştir.



Şekil 3.20: Ana şaft.

3.6.5 Dişli Kutusu

Dişli kutusu; rüzgar türbinlerinin en önemli elemanlarından birisidir. Dişli kutusunun vazifesi düşük hız, yüksek torka sahip rüzgar türbini pervanesinin dönüşünü; yüksek hız, düşük torkta çalışan jeneratörün kullanabileceği bir dönüşe çevirmektir. Yani düşük hızda ve yüksek torkta dönen pervanenin hareketini jeneratörün kullanabileceği gibi yüksek hız ve düşük torka çevirmektedir. Genellikle tek bir dişli oranı kullanılmaktadır. 600 KW-750 KW nominal güce sahip bir rüzgar türbininde dişli kutusu oranı 1:50 iken; 1,5 MW nominal güce sahip rüzgar türbininde, 1:98 civarındadır(Şekil 3.22). Yukarıda belirtilen SWT-3.6-107 model Siemens rüzgar türbininin nominal gücü 3,6 MW, dişli kutusu oranı ise 1:119 dur[2][13][70].



Şekil 3.21: Dişli kutusu[71].

3.6.6 Yaw Mekanizması (Sapma Mekanizması)

Rüzgardan daha fazla enerji elde edebilmek için yatak eksenli rüzgar türbinlerinde rotor sürekli rüzgarın estiği yöne doğru olmalıdır. Bunu sağlayan sistem Şekil 3.22'de gösterilen yaw mekanizmasıdır. Rüzgar yönü, türbinin rotor göbek yüksekliğinde bulunan rüzgar gülünden gelen yön bilgileri ile tespit edilir. Türbinin konum bilgisi ile rüzgar gülünden elde edilen yön bilgileri karşılaştırılarak yaw mekanizması aracılığıyla türbinin yönü bir kaç derece kadar döndürülür. Kuleye bağlı olan naseli döndürebilmek için elektrik motorları kullanılmaktadır[2][14].



Şekil 3.22: Yaw mekanizması[71].

3.6.7 Fren

Rüzgar türbinlerinin devir sayılarının sabit tutulması gerektiğinde veya jeneratörün aşırı ısınması, şebekeden ani kopma gibi istenmeyen durumlarda ve bakım, tamirat gerektiren durumlarda türbinin durdurması gerekebilir. Bunların yanında fırtına gibi yüksek rüzgar hızlarının olduğu durumlarda rüzgara karşı kanatın küçük bir yüzeyini göstermek veya türbini tamamen durdurmak gerekebilir. Bu tip durumlarda kullanılmak üzere kanat ucu fren sistemi (aerodinamik fren) ve mekanik fren sistemleri geliştirilmiştir. Kanat ucu fren sistemine sahip rüzgar türbinlerinden; hatve ve aktif stall kontrollü olanlarda kanat ucu fren sistemi, pervane kanatlarının kendi yatay eksenleri etrafında 90^0 dönmesi ile çalışırken, stall kontrollü kanat ucu fren sisteminde ise kanat ucunun 90^0 dönmesi mantığı ile çalışmaktadır. Mekanik fren sistemi rüzgar türbininin ikincil emniyet sistemi olup; aerodinamik fren sisteminin yedeği gibi kullanılmaktadır. Mekanik fren, dişli kutusunun jeneratöre bağlanan yüksek hızlı şaftına takılmıştır. Çelikten yapılmış, iki hidrolik kampanaya sahiptir ve şafta sabitlenmiştir[13][70].

3.6.8 Kule

Rüzgar türbinlerinde kule gövde ve pervanenin (rotor) taşındığı kısımdır. Rüzgar hızının yükseklikle doğru orantılı olması ve günümüzde gelişen teknoloji kule yüksekliklerinin arttırmasına sebep olmuştur. Ancak kule yüksekliklerinin belirlenmesinde arazi yapısı da dikkate alınmalı nakliye, izin gibi hususlar dikkate göz önünde bulundurulmalıdır. Yüksek ve kararlı rüzgar hızlarının yanında pürüzlülük etkisinden kaçınma ve düşük türbülans gibi olumlu koşullara ulaşmak için rüzgar

türbinlerinde 100 m ve üstü yükseklikler en ideal koşulları sağlamaktadır. Günümüz rüzgar türbinlerinin kulelerinin yapısı tubular şeklinde yapılmaktadır. Bu yapı kulenin temeldeki çapı büyük, nasele yaklaştıkça kule çapı küçülmektedir. Kule yüksekliği, kurulu gücü artan rüzgar türbinlerinin kule çapı da artmakta ve günümüz maksimum kule çapları 4-4,5 m civarına ulaşmıştır. Bununla birlikte, bu durum nakliye sıkıntılara yol açmaktadır. Kule ağırlıkları yüksek olup; 60 m yükseklikteki bir kule yaklaşık 80 ton civarındadır[13]. Çelik saçın bükülmesiyle üretilen kulelerin dış kısımları korozyona karşı boyanmaktadır. Nasele ulaşmak için kule içinden merdiven veya günümüzde daha çok asansör kullanılmakta, güç kabloları da kule içerisinden indirilmektedir.

3.6.9 Jeneratör

Rüzgar türbinlerinde üretilen mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirmek için kullanılan ekipmandır. Rüzgar türbinlerinde doğru akım jeneratörleri, senkron ve asenkron jeneratörler kullanılmaktadır. Eskiden doğru akım jeneratörleri düşük güçlü sistemlerde kullanılmakta, doğrultmaçlar (converter) yardımıyla doğru akım alternatif akıma dönüştürülmekteydi. Ancak günümüzde yerlerini senkron ve asenkron jeneratörlere bırakmışlardır. Orta ve büyük güçlü sistemler için daha çok senkron ve asenkron jeneratörler tercih edilmektedir. Senkron jeneratör, bağlandığı şebeke ile aynı frekansta çalışır, verimi yüksek ve düşük dönme hızında elektrik üretebilmektedir. Bu jeneratörler sabit hızlı sistemlere daha uygundur. Üç fazlı asenkron jeneratörler veya indüksiyon jeneratörler alternatif akım üretmek için rüzgar türbinlerinde kullanılırlar. Bu jeneratörlerin maliyetleri düşüktür ve güvenlidirler. Asenkron jeneratörler şebeke frekansından yüksek frekansta çalışır. Değişken hızlı alternatörden sabit çıkış gerilimi ve frekans elde etmek için, aynı zamanda akülerdeki doğru akımı alternatif akıma çevirmekte kullanılan, eviricilerden (inverter) yararlanılmaktadır[13].

3.6.10 Elektronik Kontrol Sistemi

Bu sistem, rüzgarın hız ve yön verilerinin kullanarak türbinin yönünü ile kanat açılarının değiştirilmesi, yüksek hızlarda türbinin otomatik kapatılması gibi işlemleri kontrol eden birimdir. Bunun yanında rüzgar türbininin çalışması esnasında nasel içinde bulunan ekipmanlardan toplanan verileri depolamayarak türbin hakkında istatistiki bilgileri depolamaktadır[13] [14].

3.6.11 Hidrolik Sistem

Bu sistem, türbinin belli bir rüzgar hızından (25 m/s) sonra ve gerekli durumlarda durdurulması gerektiğinde kullanılan frenler için gerekli yağ basıncını sağlamaktadır.

3.6.12 Soğutma sistemi

Türbinin içerisindeki jeneratör, dişli kutusu, eviricilerin ısınması sonucu oluşan fazla ısıyı gidermek amacıyla kullanılır. Ekipmanların sıcaklıkları kontrol sistemi yardımıyla izlenir ve soğutma sistemleri birbirinden bağımsız olarak cihazların en ideal çalışma sıcaklığını göz önünde bulundurarak devreye girmektedirler. Türbinlerde soğutma genelde hava yardımıyla olup, verimlilik avantajı bulunan su soğutmalı jeneratörlerde bulunmaktadır. Ancak bunun dezavantajı da naselde radyatör bulundurma zorunluluğudur[13].

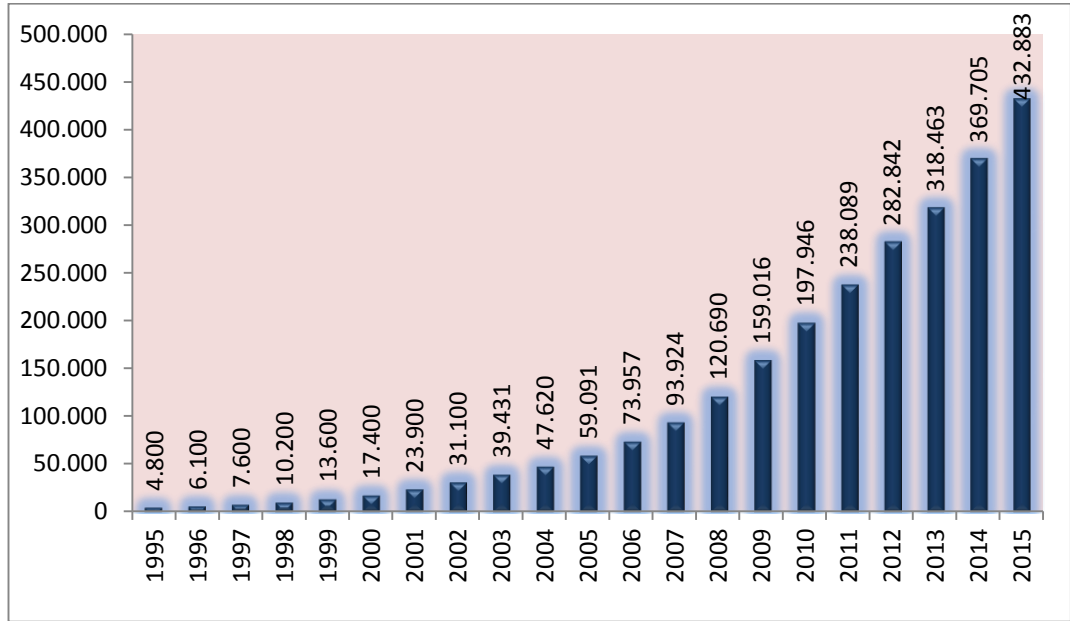
3.6.13 Anemometre ve Rüzgar Vanası

Genelde nacelin üst kısmında bulunurlar ve rüzgar hızı ve yönünü ölçmek için kullanılırlar. Elektronik kontrol sistemi, 3-5 m/s hızlarda türbini harekete geçirmek için veya 25 m/s rüzgar hızında türbini ve etrafındakileri korumak için türbini durdurma işlemini anemometreden gelen elektronik sinyalleri kullanarak yapar. Rüzgar vanası ise rüzgar yönünü belirleyerek elektronik kontrol sistemine ileterek yaw mekanizması yardımıyla türbini rüzgara karşı çevirmektedir[2].

4. RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİ VE ÖLÇÜM TEKNİKLERİ

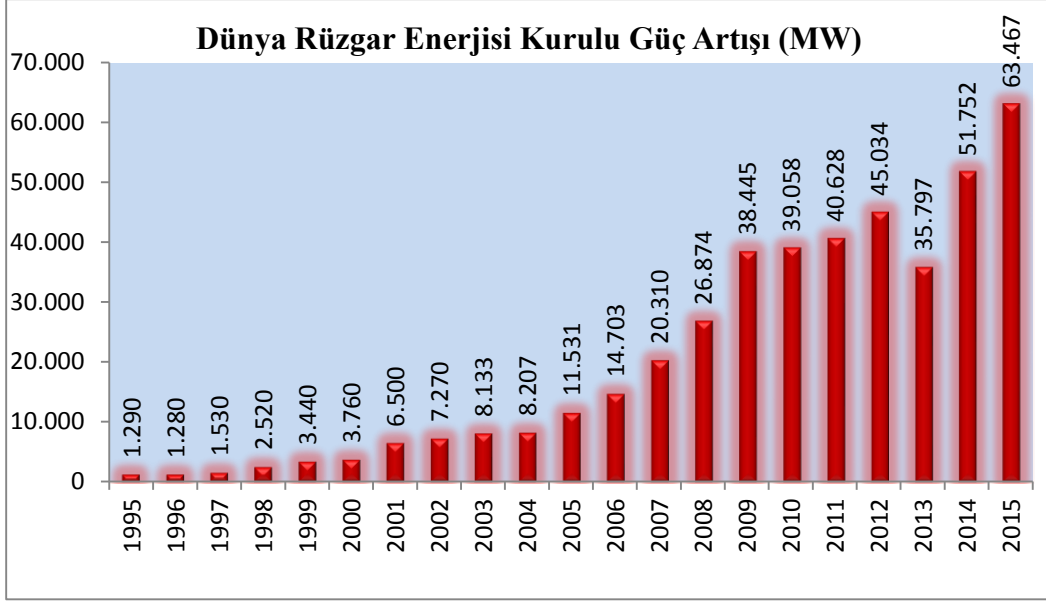
4.1 Dünyada Rüzgar Enerjisi

Birçok ülke rüzgar enerjisi potansiyelinden faydalanmak için önemli teknolojik yatırım ve araştırmalar yapmaktadır. Dünya teknik rüzgar enerjisi potansiyelinin yılda 53.000 TWh olduğu tahmin edilmektedir. Bu potansiyel; 2020 yılı tahmini dünya elektrik ihtiyacının iki katından daha fazlasına karşılık gelmektedir[14][68]. Dünya toplam rüzgar kurulu gücü 1995 yılında 4.800 MW iken, 2005 yılında 59.091 MW ve 2014 yılında 369.705 MW olmuştur. Şekil 4.1'de görüldüğü üzere, 2015 yılı itibariyle de 432.883 MW'a ulaşmıştır.



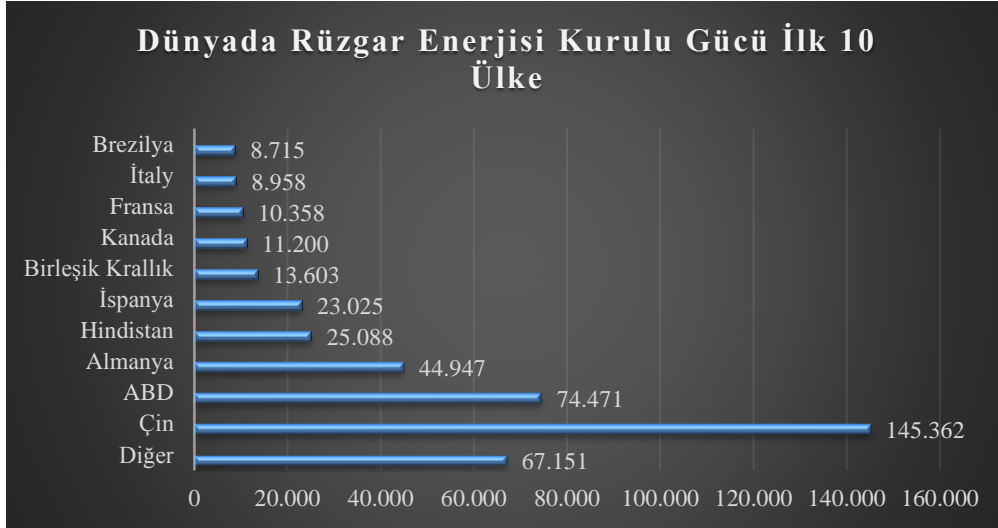
Şekil 4.1: 1995-2015 Dünya toplam rüzgar enerjisi kurulu gücü (MW)[72].

Şekil 4.2'de 1995-2015 yılları arasında dünya rüzgar enerji kurulu gücü artışlar gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde; 1995-2005 yılları arasında kurulu güç artışı bir önceki yıla göre 1290-11.531 MW aralığında kalırken, 2005 yılından sonraki artışlar; 2009 yılında 38.445 MW, 2012 yılında 45.034 MW olarak devam etmiştir. 2014 yılında 51.752 MW'a yükselen güç artışı, 2015 yılında 63.467 MW olarak şu ana kadar ki en büyük artış olmuştur. Şekil 4.2'de de görüldüğü gibi dünyada her yıl rüzgar enerjisine yapılan yatırımın arttığını rahatlıkla söyleyebiliriz.



Şekil 4.2: 1995-2015 Dünya rüzgar enerji kurulu gücü artışı (MW)[72].

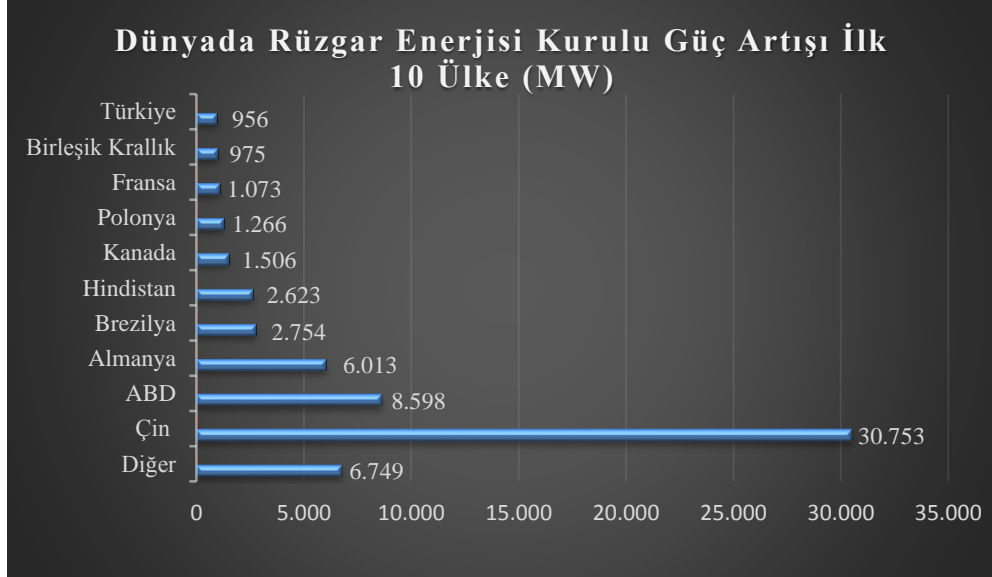
Şekil 4.3'te 2015 yılı dünya toplam rüzgar enerjisi kurulu gücü olan 432.883 MW'lık kapasitenin kurulu olduğu ilk 10 ülke ve toplam kapasite gösterilmektedir. 2015 yılı toplam kurulu kapasitenin %33,6'sı olan 145.362 MW'lık güç ile birinci sırada Çin yer almaktadır. Daha sonra 74.471 MW'lık kurulu güç ile ABD toplam kurulu gücün %17,2'sine, 44.947 MW ile Almanya toplam kurulu gücün %10,4'üne sahiptir. En büyük kurulu güce sahip olan on ülke, toplam kurulu gücün %84,5 ine sahip olup diğer ülkelerin toplam kurulu güce katkıları 67.151 MW ile %15,5 olmuştur.



Şekil 4.3: 2015 yılı dünyada rüzgar enerjisi kurulu gücü ilk 10 ülke ve toplam kapasite (MW)[72].

Şekil 4.4'te dünya rüzgar enerjisi kurulu güç artışın gerçekleştiği ilk 10 ülke ve toplam kurulu güç artışı görülmektedir. 2015 yılındaki 63.467 MW'lık artış incelendiğinde;

rüzgar enerjisine en büyük yatırımı ayıran üç ülkeden Çin 30.753 MW artış ile bir önceki yıla göre kurulu gücünü %26,6 arttırmıştır. ABD 8.598 MW ile kurulu gücünü %3 Almanya ise 6.013MW ile kurulu gücünü %15,4 arttırmıştır.



Şekil 4.4: 2015 yılı dünyada rüzgar enerjisi kurulu güç artışı ilk 10 ülke ve toplam artış (MW)[72].

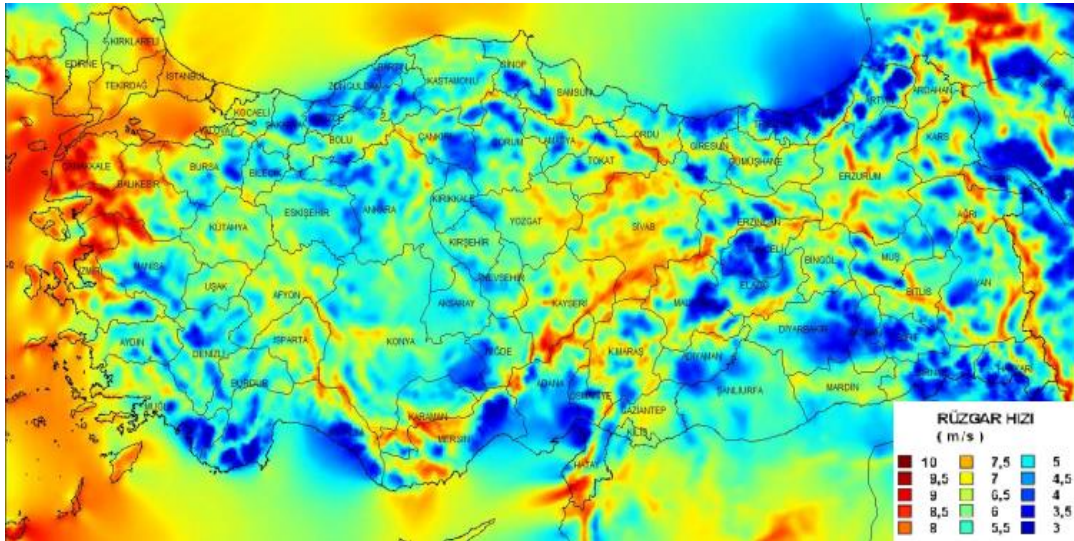
4.2 Türkiye de Rüzgar Enerjisi

Ülkemizde elektrik enerjisinin büyük bir kısmının ithal edilen fosil yakıtlardan karşılandığı düşünüldüğünde enerji konusundaki dışa bağımlılığımızın sona erdirilmesi noktasında ülkemizin yerli enerji kaynaklarının değerlendirilmesi açısından yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması daha da büyük önem kazanmaktadır. Bu Ülkemizde yenilenebilir enerji konusunda kaynaklardan rüzgar enerjisiyle ilgili ilk Ar-Ge çalışması Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından yapılmış ve çizelge 4.1'deki coğrafi bölgelerin ortalama rüzgar hızı ve rüzgar güç yoğunlukları tespit edilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere Marmara, Güneydoğu Anadolu ve Ege bölgeleri rüzgar güç yoğunluğu yönünden en yüksek bölgeler olurken, en düşük bölge Doğu Anadolu bölgesi olmuştur. Ülkemizin ortalama rüzgar hızı 2,58 m/s olurken, ortalama rüzgar güç yoğunluğu da 25,85 W/m² olmuştur. Bu durumda ülkemiz için rüzgar enerjisi yatırımında uygun bölgelerinin Marmara, Güneydoğu Anadolu ve Ege bölgeleri olduğunu söyleyebiliriz[52][73].

Çizelge 4.1: Bölgelere göre ortalama rüzgar gücü yoğunluğu ve hızları.

Bölge	Rüzgar Güç Yoğunluğu (W/m ²)	Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)
Marmara bölgesi	51,91	3,29
Ege bölgesi	23,47	2,65
Akdeniz bölgesi	21,36	2,45
İç Anadolu bölgesi	20,14	2,46
Karadeniz bölgesi	21,31	2,38
Güneydoğu Anadolu bölgesi	29,33	2,69
Doğu Anadolu bölgesi	13,19	2,12
Ortalama	25,82	2,58

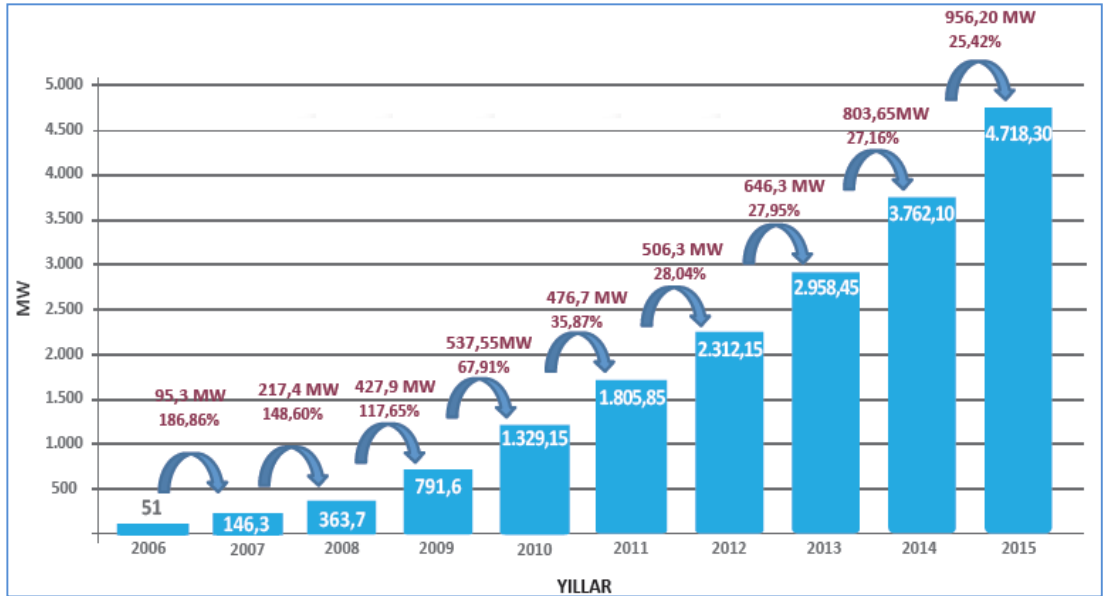
2007 yılında Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından, orta-ölçekli sayısal hava tahmin modeli ve mikro-ölçekli rüzgar akış modeli kullanılarak üretilen rüzgar kaynak bilgilerinin verildiği Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) geliştirilmiştir. Bu atlas yardımıyla; 200x200 çözünürlüğünde 30, 50, 70 ve 100 m yüksekliklerdeki yıllık, mevsimlik, aylık ve günlük rüzgar hız ortalamaları, rüzgar güç yoğunluğu, referans bir rüzgar türbini için yıllık kapasite faktörü gibi bilgiler öğrenilebilmektedir. Şekil 4.5'te Türkiye'de 100 m yükseklikte yıllık ortalama rüzgar hızı haritası görülmektedir.



Şekil 4.5: Türkiye’de 100 m yükseklik için yıllık ortalama rüzgar hızı haritası (REPA).

Harita incelendiğinde Marmara Denizi ve Çanakkale Boğazı çevresi, Ege bölgesi kıyıları ve Antakya bölgesi için potansiyelin yüksek olduğu görülmektedir. Kıyı kesimler, yüksek ve açık alanlar en iyi rüzgar kaynağı olarak görülmektedir. Bu doğrultuda Ülkemizin 50 m yükseklik için rüzgar enerjisi potansiyeli; ortalama rüzgar hızı 8,5 m/s ve üzerinde olan bölgeler için 5.000 MW civarında, ortalama rüzgar hızı 7 m/s'nin üzerindeki bölgeler için 48.000 MW civarında olduğu tespit edilmiş, bunun 37.836 MW'lık kısmı karasal alanlar, 10.013 MW'lık kısmı ise deniz üstü alanlar olarak belirlenmiştir[13][14][74].

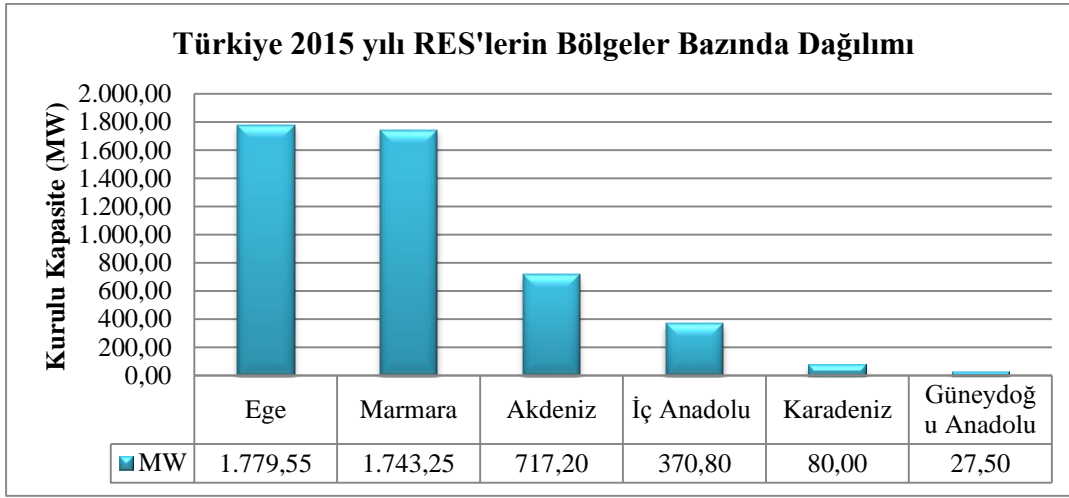
Ülkemizdeki rüzgar enerjisine yönelik yatırımlar incelendiğinde; rüzgar enerjisiyle ilgili ilk teorik çalışmalar 1990'lı yıllarda başlamış ve 1996'lı yıllara doğru daha da gelişmiştir. 1998 yılına gelindiğinde ilk şebekeye bağlı rüzgar elektrik santrali kurulmuştur ve aynı yıl içinde kurulu kapasite 8,7 MW (türeb 2012) olmuş, 2000 yılında 18,9 MW, 2003'te 20,1 MW'a ulaşmıştır. Bu yıldan sonra 2006 yılına kadar kapasite artışı yaşanmamış 2006 yılına gelindiğinde kurulu kapasite 51 MW olmuştur. Sektör asıl gelişimini 2005 yılında yürürlüğe giren 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanıma İlişkin Kanun ile gerçekleştirmiştir[13][68]. Şekil 4.6'da, Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği (EWEA) ve Küresel Rüzgar Enerjisi Konseyi (GWEC) üyesi olan Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliğinin(TÜREB) verilerine göre, Ülkemizin son 10 yıldaki kurulu rüzgar enerjisi kapasite artışı ve bu yıllardaki toplam kapasite gösterilmektedir.



Şekil 4.6: Rüzgar enerjisi kurulu güç artışı ve rüzgar enerjisi toplam kurulu gücü[75].

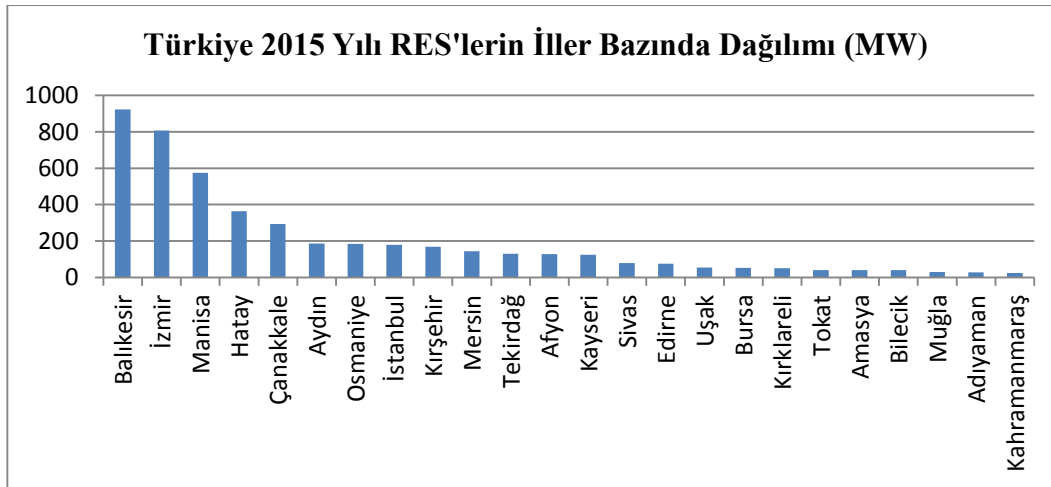
Ülkemizin son 10 yıldaki gelişimi incelendiğinde en çok kapasite artışı son 3 yıl olan 2013, 2014, 2015 yıllarında olduğu görülmekte ve sırasıyla yıllık kurulu güç artışı yıllara göre 646,3 MW, 803,65 MW ve 956,20 MW olmuştur. Ülkemizin 2015 yılı sonu itibariyle kurulu rüzgar enerjisi kapasitesi 4.718,30 MW'a ulaşmıştır.

Şekil 4.7'de Türkiye 2015 yılı RES'lerin bölgeler bazında kurulu güç dağılımı görülmektedir. 2015 yılı toplam kurulu gücünün bölgelere göre dağılımı incelendiğinde Ege ve Marmara bölgesindeki kurulu güç, toplam kurulu gücün %74'üne karşılık gelmektedir.



Şekil 4.7: Türkiye 2015 yılı RES'lerin bölgeler bazında dağılımı[75].

Şekil 4.8'de Türkiye toplam rüzgar enerjisi kurulu gücünün iller bazında dağılımı verilmiştir. Balıkesir 923,65 MW kurulu güç ile birinci, 807,2 MW ile İzmir ikinci, 574,95 MW ile Manisa üçüncü sırada yer alıyor. Trakya bölgesinde Çanakkale 297,05 MW, Tekirdağ 130,20 MW, Edirne 75 MW, Kırklareli 44 MW kurulu güce sahiptir.



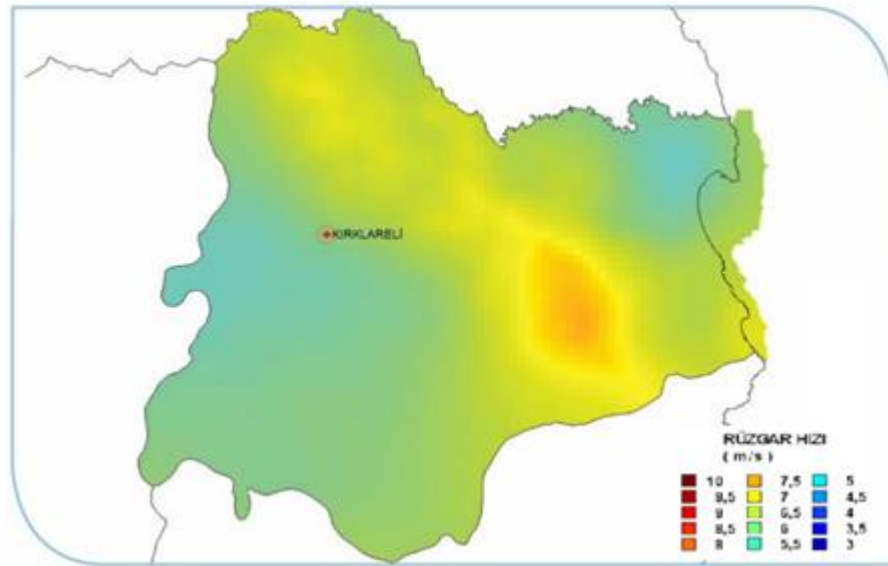
Şekil 4.8: Türkiye 2015 yılı RES'lerin iller bazında dağılımı (MW)[75].

Ülkemizde 2015 yılı sonu itibariyle 61 adet inşa halinde rüzgar enerji santrali bulunmakta olup bunların toplam kapasitesi 1.868,85 MW'tır. Bu RES'lerin 786,6 MW gücündeki kısmı Ege bölgesinde, 637,95 MW'lık kısmı Marmara bölgesinde, 184 MW'lık kısmı Akdeniz bölgesinde, 167,4 MW'lık kısmı İç Anadolu bölgesinde ve 92,9 MW'lık kısmı Karadeniz bölgesinde bulunmaktadır[75]. Türkiye'de rüzgar enerji santrallerinde kullanılan türbin markaları ve toplam kurulu güce göre oranları şu şekildedir; Vestas %25,64, Nordex %24,02, Enercon %23,72, GE %14,43, Siemens %4,97, ve diğerleri (Gamesa, Suzlon, Acciona, Sınovel, Alstom) %7,22.

4.3 Kırklareli'nde Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

Kırklareli Türkiye'nin kuzey batısında yer almaktadır. Dünyadaki konumu itibariyle 41 derece, 13 dakika, 34 saniye ve 42 derece 05 dakika, 03 saniye kuzey enlemleri ile 26 derece 54 dakika , 14 saniye ve 28 derece 06 dakika 15 saniye doğu boylamları arasında bulunur. Yüzölçümü 6.555 km² olup, % 48'i dağlık, %35'i dalgalı arazi, %17'si ise ovalıktır[76].

Kırklareli rüzgar enerjisi potansiyeli açısından incelendiğinde, REPA Kırklareli ili için yapılan çalışmalarda 50 m yükseklik için ölçüm değerleri Şekil 4.9'da görülmektedir.

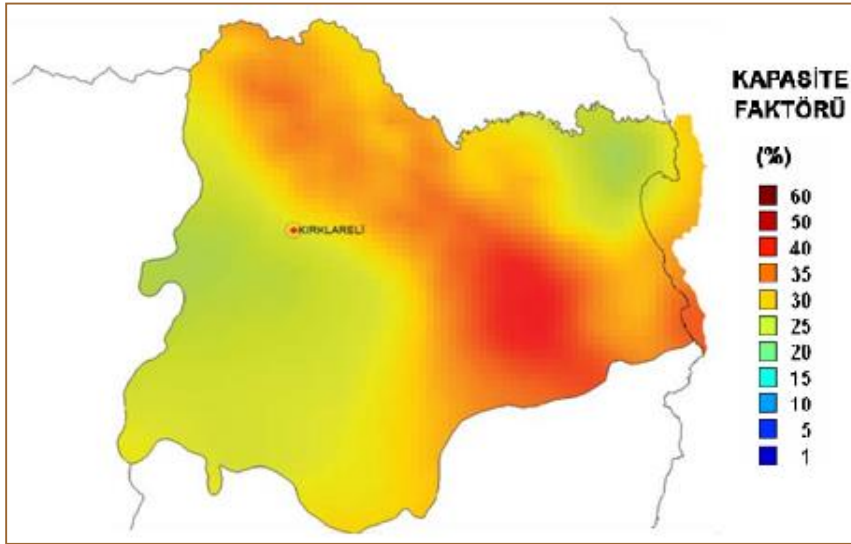


Şekil 4.9: Kırklareli ili rüzgar hız dağılımı (Yükseklik: 50 m.)[25].

Şekil incelendiğinde Kırklareli ili için rüzgar hızı 4,5 m/s - 8 m/s aralığında olduğu görülmektedir. Harita üzerinde ilçeler göz önüne alınarak yapılacak incelemede ise, Lüleburgaz, Babaeski ve Pehlivan köy ilçeleri 6 m/s ile 7 m/s aralığında, Merkez ve Kofçaz ilçeleri incelendiğinde 5 m/s ile 7 m/s aralığında, Demirköy ilçesinde 5,5 m/s

ile 6,5 m/s aralığında ve ortalama rüzgar hızı değeri aralığı olarak diğer ilçelerine göre daha yüksek olan Pınarhisar ile Vize ilçelerinde 5,5 m/s ile 8 m/s aralığında değişmektedir. Ekonomik RES yatırımı için 7 m/s üzerinde rüzgar hızına ihtiyaç duyulduğu göz önüne alındığında bölgede rüzgar enerjisi için en uygun alan Pınarhisar ve Vize ilçeleridir[74][77].

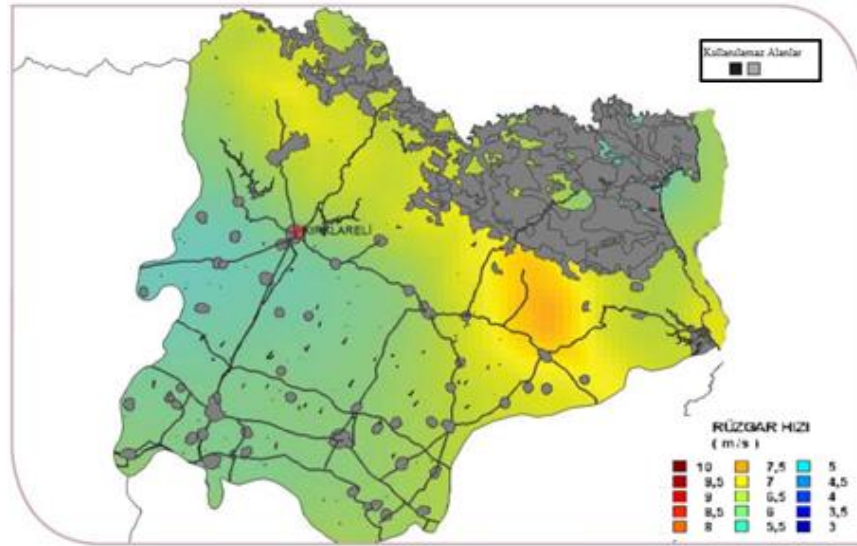
Bir türbinin mevcut rüzgar değerleriyle ürettiği enerjinin nominal güçte üretmesi gereken enerjiye oranı olarak tanımlanan kapasite faktörü, bir türbinin değerlendirmesindeki en önemli faktörlerden birisidir. Ekonomik RES yatırımı için %35 veya üzeri kapasite faktörüne ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 4.10'da Kırklareli ilinin kapasite faktörü dağılımı görülmektedir. Şekil incelendiğinde Vize ilçesi ve çevresinin kapasite faktörünün %35'in üzerinde olduğu görülmektedir[74][78].



Şekil 4.10: Kırklareli ili kapasite faktörü dağılımı (Yükseklik: 50 m.)[25].

Kırklareli ili için Şekil 4.11'de gri olarak gösterilen yerlerde RES kurulmasının uygun olmadığı alanlar gösterilmektedir.

Çizelge 4.2'de REPA'nın Kırklareli ili için 50 m yükseklikteki kurulabilecek rüzgar enerjisi santrali güç kapasitesi potansiyeline baktığımızda 6,8-7,5 m/s rüzgar hızlarında elde edilecek kurulu güç toplamı 2.863,28 MW, 7,5-8,1 m/s rüzgar hızlarında elde edilecek kurulu güç toplamı 216,08 MW potansiyele sahiptir. Toplama bakıldığında 615,88 km²'lik alanda 3.079,36 MW'lık bir güce sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.11: Kırklareli ili rüzgar santrali kurulamayacak alanlar[25].

Çizelge 4.2: Kırklareli ili kurulabilecek rüzgar enerjisi santrali güç kapasitesi (REPA)[25].

50 m'de Rüzgar Gücü (W/m ²)	50 m'de Rüzgar Hızı (m/s)	Toplam Alan (km ²)	Toplam Kurulu Güç (MW)
300 – 400	6,8 – 7,5	572,66	2.863,28
400 – 500	7,5 – 8,1	43,22	216,08
500 – 600	8,1 – 8,6	0	0
600 – 800	8,6 - 9,5	0	0
> 800	> 9,5	0	0
TOPLAM		615,88	3.079,36

Çizelge 4.3'te Kırklareli ilinde 2015 yılı sonu itibariyle işletmedeki rüzgar enerjisi santralleri görülmektedir. Bu iki santralin toplam kurulu kapasitesi 44 MW'tır.

Ayrıca Çizelge 4.4'te inşa halindeki rüzgar güç üretim santrallerinin detaylı bilgileri gösterilmiş olup bu santrallerinde devreye girmesiyle eklenecek 86,4 MW güç ile toplam kurulu güç 130,4 MW'a ulaşacaktır[75].

Çizelge 4.3: Kırklareli ili işletmede olan rüzgar enerjisi santralleri[75].

Firma İsmi	Proje Adı	Kurulu Kapasite (MW)	Türbin Markası	Türbin Modeli	Türbin Gücü (MW)	İşletmeye Alınma Tarihi
Aysu En. San. ve Tic. A.Ş.	Karadere RES	16	GE	GE1.6-100	1,6	2014
Alenka Enerji Ür. A.Ş.	Kıyıköy RES	28	GAMESA	G90/G97	2.0	2014

Çizelge 4.4: Kırklareli ili inşa halindeki rüzgar enerjisi santralleri[75].

Firma ismi	Proje adı	Kurulu kapasite (MW)	Türbin Markası	Türbin Modeli	Türbin Gücü (MW)
Airres Elk. Ür. San. ve Tic. A.Ş	AirRES-4 (Vize)	60,8	SIEMENS	SWT-3.2-113	3,2
Derne En. Ür. Tic. A.Ş.	Zeliha RES	25,6	SIEMENS	SWT-3.2-113	3,2

4.4 Rüzgar Ölçüm İstasyonu Özellikleri ve Ölçüm Teknikleri

Günümüzde meteorolojik, tarım, iklim, bilimsel amaçlarla olmak üzere bir çok alanda rüzgar ölçümleri yapılmaktadır. Meteorolojik ölçümler, Dünya Meteoroloji Örgütü'nün (WMO) belirlediği, standart ölçüm yüksekliği 10 metrede tek anemometre ve yön sensörü ile yapılmaktadır. Enerji amaçlı rüzgar ölçümlerinde daha önce her ne kadar meteoroloji istasyonlarının verilerinden faydalanılsa da günümüzde bu ölçümlerin ne kadar hassas ve doğru yapılması gerektiği anlaşılmıştır[13].

RES kurulmasında projenin ilk aşaması rüzgar ölçümüdür. Yapılan bu ölçümler projenin veri değerlendirmesi, türbin seçimi ve enerji üretiminin belirlenmesine zemin oluşturmaktadır. Kurulacak rüzgar ölçüm istasyonu proje sahasını en iyi şekilde temsil etmeli gerekiyorsa bir kaç noktaya ölçüm istasyonu konmalıdır. RES kurulmadan önce yapılan rüzgar ölçümleri projenin ekonomisini her açıdan belirleyeceği için finansörlerin ilk olarak dikkat ettiği kısım yapılan ölçümlerin kalitesi ve bu ölçümlerden hesaplanan tahmini enerji üretimidir[13].

Bu bölümde öncelikle rüzgar ölçüm istasyonunun kurulumu aşamasında önemli parametreler ve özelliklerinin bir tespiti yapılacak. Daha sonra bir rüzgar ölçüm

istasyonunda ölçülecek meteorolojik değişkenlerin ölçümünde kullanılacak sensörler hakkında bilgiler verilecektir.

4.4.1 Rüzgar Ölçüm İstasyonu Ölçüm Standartları ve Kurulum Özellikleri

Ülkemizde RES yatırımı yapabilmek için rüzgar ölçümleri 2014 yılında resmi gazetede yayınlanan "Rüzgar ve Güneş Enerjisine Dayalı Önlisans Başvuruları İçin Yapılacak Rüzgar ve Güneş Ölçümleri Uygulamalarına Dair Tebliğ"ine uygun şekilde gerçekleştirilmelidir. Bu tebliğde başvuru sırasında yapılacak işlemler, veriler için dikkat edilecek hususlar, eksik verilerin tamamlanması, ölçüm istasyonunun özellikleri, kullanılan malzemelerin özellikleri gibi standartlar belirlenmiştir.

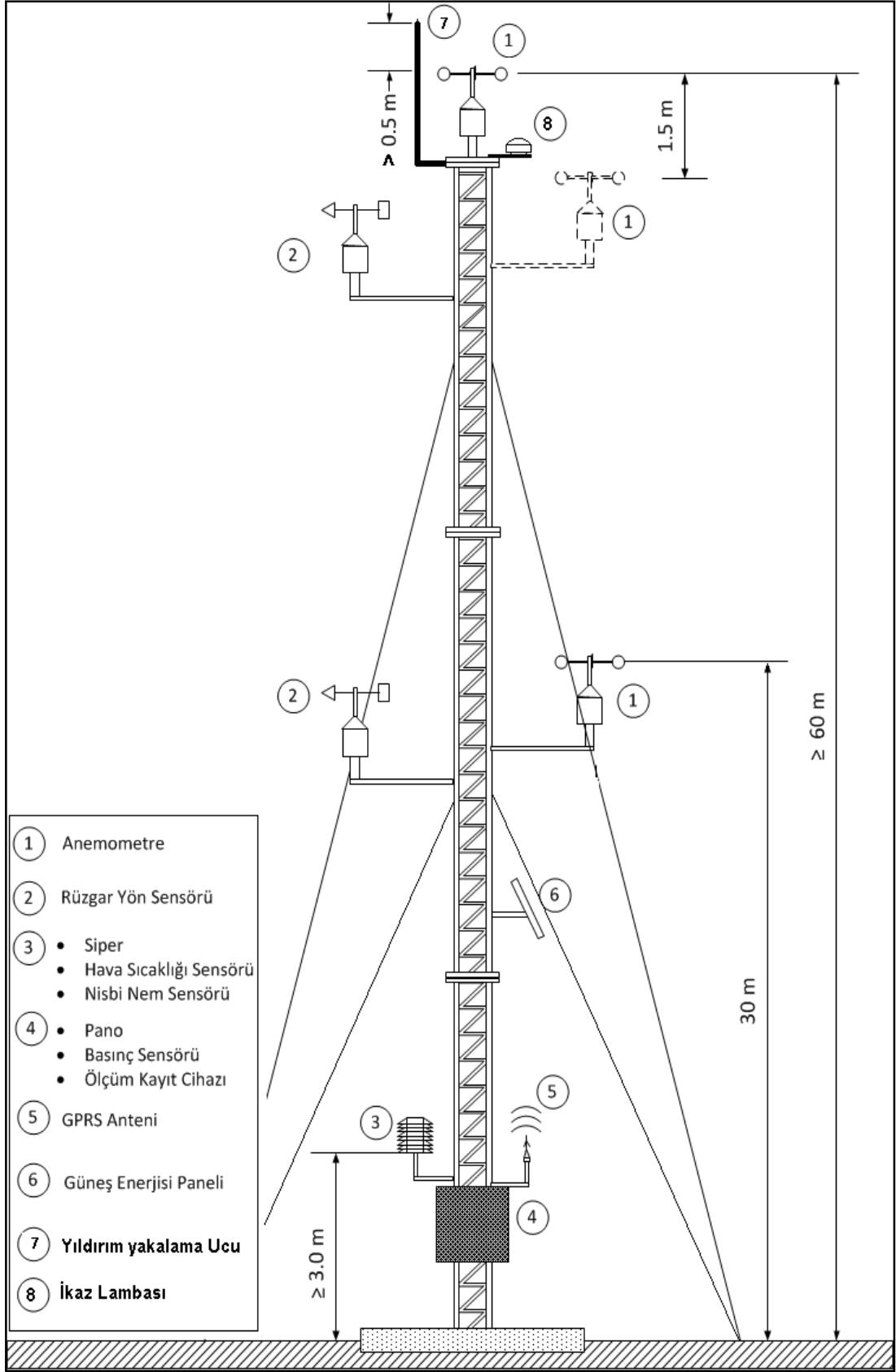
Rüzgar ölçümlerinde küçük gibi görünen bir hata bile enerji üretiminde büyük farklılıklara yol açmaktadır. Bunu bir örnek üzerinde açıklarsak, 10 m ve 30 m de yapılan rüzgar hızı ölçümlerinde sırasıyla 4,4 m/s ve 5,3 m/s olarak tespit edilen rüzgar hızı, 78 m hub yüksekliğinde ise 6,08 m/s olarak bulunmuştur, Ancak kalibrasyonsuz veya yanlış montaj sonucu aynı yüksekliklerde sırasıyla 4,2 m/s ve 5,5 m/s olarak ölçülmesi durumunda 78 m hub yüksekliğinde 6,63 m/s rüzgar hızı hesaplanmıştır. Kurulması düşünülen rüzgar türbini 600 KW seçildiğinde doğru ölçümlere göre yıllık elektrik enerjisi üretimi 1210 MWh olurken, aynı türbin ile hatalı ölçümler sonucu 1462 MWh hesaplanmıştır[79]. Sonuç olarak rüzgar hızı ölçümlerindeki hatalar yatırım yapılıp yapılmamasını veya yapılan yatırımın geri dönüş sürecini etkileyecektir. Bu nedenle ölçümler çok hassas ve dikkatli bir şekilde yapılmalı, en gelişmiş ölçüm sistemleri kullanılmalıdır. Devam eden bölüm ülkemizde rüzgar ölçümü yapacak bir firmanın uyması gereken kuralları ve şekillerle anlatımı içeren "Rüzgar ve Güneş Enerjisine Dayalı Önlisans Başvuruları İçin Yapılacak Rüzgar ve Güneş Ölçümleri Uygulamalarına Dair Tebliğ"e dayanılarak hazırlanmıştır[80].

Tebliğe göre; ölçüm direğinin yüksekliğinin en az 60 m olmalıdır. Ancak ölçüm direği; kurulacak rüzgar türbininin yüksekliğinin en az 2/3 katı olmalıdır diyebiliriz[81]. Bunun yanında ölçüm yapılan bölgenin topografik koşulları ölçüm yüksekliğini değiştirebilir. Ölçüm direği boru veya kafes tipi olabilmektedir. Boru tipi ölçüm direklerinin montajı daha kolay olup yerde birleştirilerek dikilirken, kafes tipi ölçüm direkleri yerden başlayarak yukarıya doğru örülürler, daha yüksek ölçüm mesafeleri için daha uygun ve cihazlarda meydana gelebilecek bir arıza durumlarında direk yere

indirilmeden üzerine tırmanmak suretiyle gerekli müdahale yapılabilmektedir. Ölçüm direği hangi tip olursa olsun tüm parçaları paslanmaz malzemeden üretilmelidir[13].

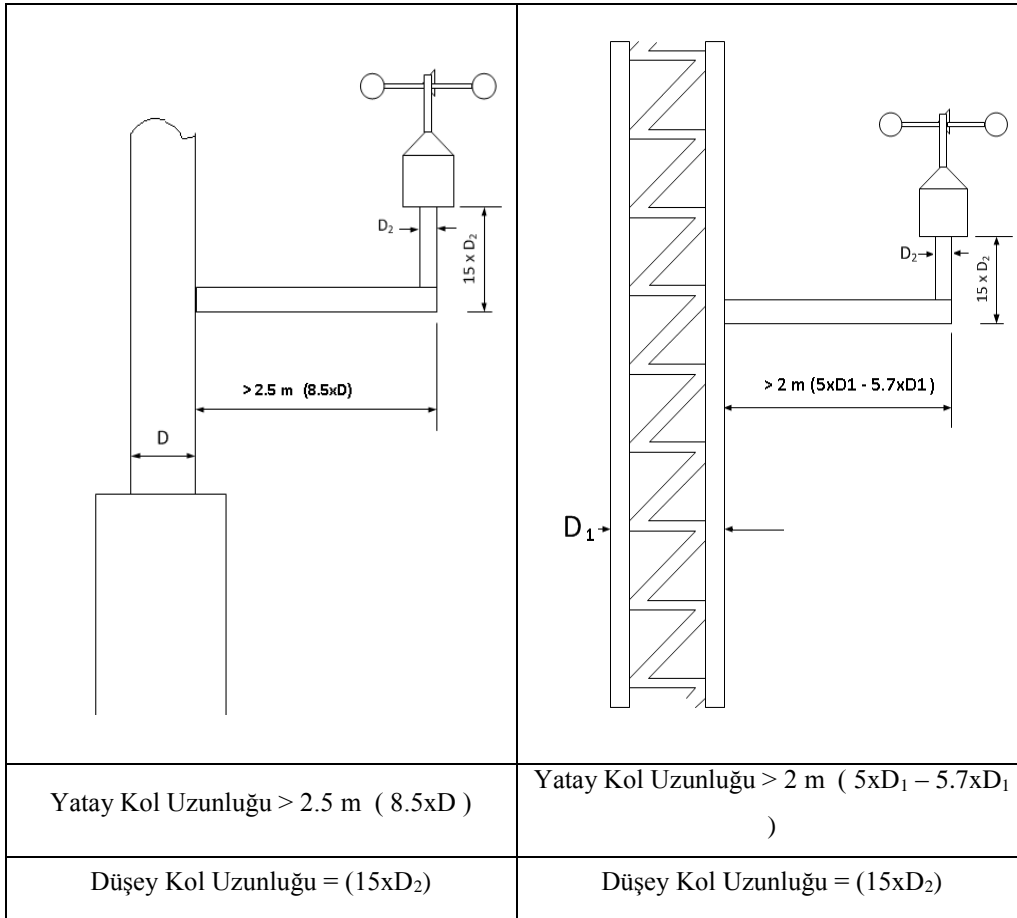
Ölçüm direği ve kollarının yatay ve dikey konumlarını kaybetmemesi, devrilmemesi vb. nedenlerle direk, farklı yüksekliklerden paslanmaz malzemeden gergi telleri ile zemine sabitlenmelidir. Direk kırmızı ve beyaz renklere boyanmalı, hava araçlarının güvenliği için üst kısmına ikaz lambası konmalıdır.

Şekil 4.12’de 60 m’lik bir kafes tipi rüzgar ölçüm istasyonunun şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.12: Rüzgar ölçüm istasyonu şematik gösterimi.

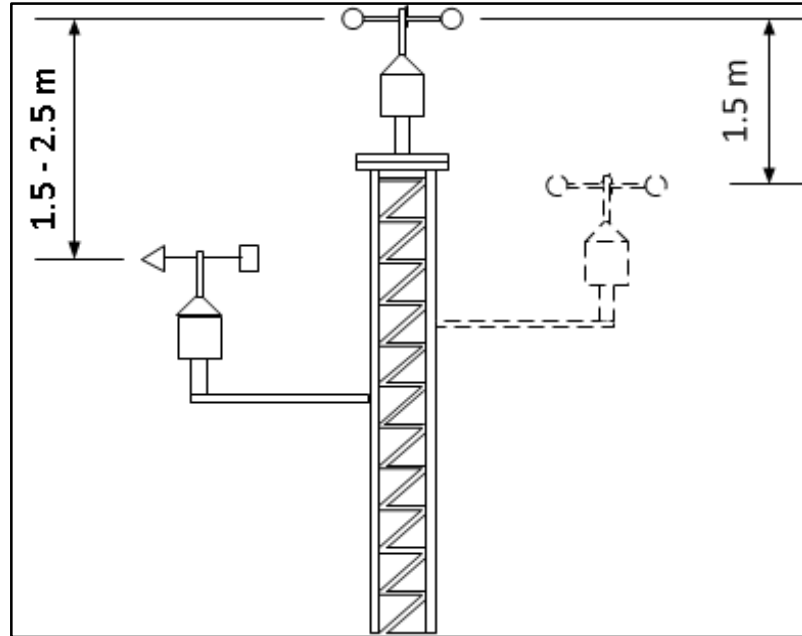
Şekilde 60 m yükseklikteki bir ölçüm direğinde rüzgar hız ölçümü için 1 numara ile gösterilen, birincisi 30 m (zorunlu) yükseklikte ve ikincisi tepe noktada (Bu durum için 60 m) olmak üzere ana ölçüm seviyelerinde anemometreler konumlandırılmalıdır. Tepe noktada bulunan rüzgar hız ölçerde yıldırım çarpması, kuşlar gibi nedenlerden meydana gelebilecek arızalarda veri kaybını en aza indirmek için başka bir hız ölçeri uygun şekilde yerleştirilebilir. 7 numara ile gösterilmiş olan yıldırım yakalama ucu tepe noktadaki anemometrenin seviyesinden 50 cm yukarı gelecek şekilde monte edilmelidir. 3 numara ile gösterilen hava sıcaklığı sensörü ve nisbi nem sensörü güneş radyasyonundan direkt etkilenmeyecek şekilde ve hava sirkülasyonunu gerçekleştirecek bir siper içerisine monte edilerek yerden en az 3 m yüksekliğe konmalıdır. Basınç sensörü ve ölçüm kayıt cihazının bulunduğu pano 4 numara ile gösterilmiş olup çevre şartlarından korunacak şekilde belli bir yüksekliğe konmalıdır. GSM modül kullanıldığı durumlarda iletişimin sağlıklı şekilde sağlanması amacıyla GPRS anten 5 numara ile gösterildiği şekilde monte edilmelidir. Ölçüm direklerinde kullanılan yan kollarında bir standardı bulunmaktadır (Şekil 4.13).



Şekil 4.13: a) Boru tipi direk.

b) Kafes tipi direk.

Yan kol uzunlukları ölçüm direğinin tipine göre değişmektedir. Şekil 4.13-a ve 4.13-b’de görüldüğü üzere yan kol uzunlukları boru tipi ölçüm direğinde rüzgar hız ölçerin monte edildiği yükseklikteki direğin kesit çapı D , kafes tipi ölçüm direğinde rüzgar hız ölçerin monte edildiği yükseklikteki direk kesit çapı D_1 uzunluklarına göre hesap edilir. Rüzgar hız ölçerin yan kola bağlanacağı dikey kol yüksekliği ise bu düşey bağlantı aparatının şekilde D_2 ile gösterilen çapına göre hesap edilir. Yan kollar elden geldiğince hakim rüzgar yönüne dik konulurlar. Tepe noktaya konulacak rüzgar yön ölçer, bu noktadaki anemometrenin türbülans etkisinde kalmaması için anemometreden 1,5 ile 2,5 m aşağıya, 30 m deki rüzgar yön ölçer ise bu mesafedeki anemometreden 1,5 m ile 2,5 m aşağıya veya yukarıya kurulabilir. Tepenoktaya konulan anemometrenin yedeği olacak ikinci bir anemometre monte edileceksetepe noktadaki anemometreden 1,5 m aşağıya konabilir. Şekil 4.14’te ölçüm direğinin tepe noktasındaki rüzgar ölçerlerin arasında olması gereken mesafeler gösterilmiştir. Yatay bağlantı kollarının sağlam şekilde monte edilmesi, tam yatay konumda durmaları, düşey kolların yatay eksene dik olması ve titreşim yapmamaları tam ve doğru ölçüm yapılması için önem arz etmektedir. Ölçüm esnasında ölçüm cihazların gölgeleme ve türbülans etkisinde kalmaması için, cihazların birbirlerine olan mesafeleri ile yan kolların belirtilen mesafe aralıklarına dikkat edilmesi gerekmektedir.



Şekil 4.14: Ölçüm direğinin tepe noktası rüzgar ölçerlerin birbirleri ile olan mesafeleri.

4.4.2 Rüzgar Ölçüm İstasyonunda Yeralan Algılayıcılar

Rüzgar enerjisinden yararlanmak için yapılacak ölçümlerde kullanılan algılayıcılar büyük önem arz etmektedir. İstasyondaki en önemli verileri aldığımız algılayıcılar; rüzgar hız ölçümlerini gerçekleştiren anemometre ve rüzgar yön ölçümlerini gerçekleştiren rüzgar yön ölçerdir. Ayrıca hava sıcaklığını ölçmek için termometre, bağıl nem ölçer ve hava basıncını ölçen barometre kullanılmaktadır. Bu verilerin kaydedilmesi için veri toplama ünitesi olarak adlandırılan datalogger kullanılır.

Ölçüm istasyonunda kullanılan algılayıcıları ayrıntılı şekilde inceleyelim:

Anemometre; en önemli veriyi oluşturan rüzgar hızını ölçen cihazdır. Bu cihazlar rüzgar hızını elektriksel sinyale dönüştürme prensibiyle çalışır. Kupalı (cup) anemometre, rüzgar hızını ve yönünü bir arada ölçen kombine tip, ultrasonik anemometre, propeller (pervane) anemometre gibi çeşitleri mevcuttur. Tebliğe göre; farklı seviyelerde ölçümlerde bu anemometrelerden biri kullanılabilirken ana ölçüm yüksekliklerinde kupalı anemometre kullanılmalıdır. Kupalı anemometreler dakikadaki dönüş sayılarıyla rüzgar hızını hesaplamaktadırlar. Anemometreye çarpan rüzgarın türbülans oluşturmaması için gövdenin küçük ve simetrik bir yapıya sahip olması gerekmektedir. Soğuk bölgelerde elektriksel ısıtmaya sahip şaftlı modeller tercih edilmelidir. Anemometrenin kalibrasyonu önem arz etmekte olup kalibrasyon sertifikasına sahip modeller tercih edilmelidir[13]. Kupalı tip anemometre şekil 4.15'te gösterilmiş olup tebliğ tarafından istenen asgari özellikler çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

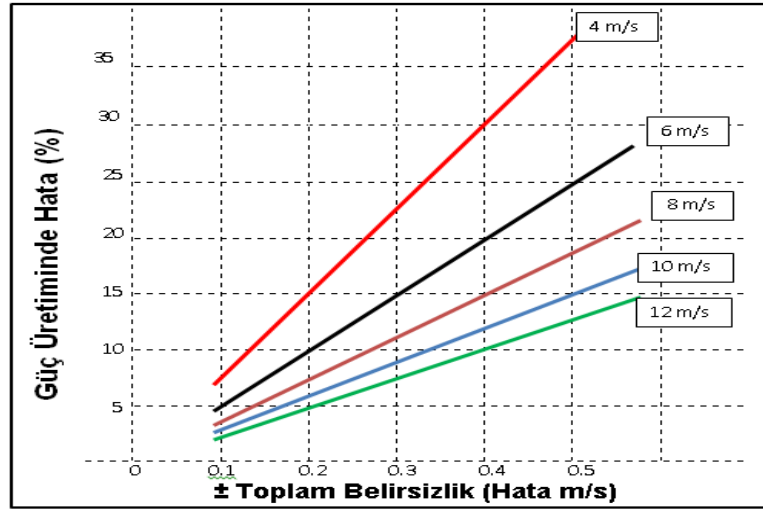


Şekil 4.15: Kupalı anemometre[82].

Çizelge 4.5: Anemometrede istenilen asgari özellikler.

Özellikler	İstenen Aralık
Ölçüm Aralığı	0 - 75 m/sn
Eşik Değeri	0,5 m/sn
Çözünürlük	0,1 m/sn
Doğruluk	$\pm 0,5$ m/sn (5 m/sn ye kadar), ± 10 % (5 m/sn'nin üzerinde)
Mesafe sabiti	2 - 5 m

Şekil 4.16'da ölçümlerdeki hata oranı yüksek anemometreler ile yapılan ölçümler sonucuna dayanarak yapılacak güç hesaplarındaki hata oranı gösterilmiştir. Buna göre $\pm 0,4$ m/s doğrulukla çalışan bir cihaz ile ölçülen ortalama 8 m/s rüzgar hızından güç üretimindeki hata oranının $\pm \% 15$ olduğu görülmektedir.



Şekil 4.16: Anemometre hata oranı sonucu güç üretiminde hata oranı.

Yön sensörleri; temel olarak rüzgarın hangi yönden estiğinin tespitinde kullanılırlar. Yön sensörlerinden alınan veriler sonucunda; ölçülen rüzgar hızının hangi yönden geldiği, hakim rüzgar yönü ve farklı yönlerden esen rüzgarlar ile bu rüzgarların hangi sıklıkla estiği belirlenmektedir. Şekil 4.17'de yön sensörü gösterilmiştir. Tebliğe göre yön sensörü için istenilen asgari özellikler; ölçüm aralığı 0 - 360°, çözünürlük 1°, doğruluk $\pm 5^\circ$ olarak belirlenmiştir.

Rüzgar ölçüm istasyonunda; anemometre ve yön ölçüm cihazları ana ölçüm cihazlarının yanında yardımcı cihazlarda kullanılmaktadır. Bunlar; ortamın sıcaklığını belirlemek için kullanılan termometre, hava nemi ölçer ve basınç ölçerdir. Termometre ile hava nemi ölçer ölçüm direğinin en az 3 m yüksekliğine konmalıdır. Bu algılayıcılar

hava sirkülasyonunu sağlayacak ve güneş radyasyonundan direkt etkilenmeyecek bir siper içerisine konularak ölçüm direğine monte edilebilir. Ortam basıncını ölçen basınç sensörü ölçüm kayıt cihazının bulunduğu panoya konulabilir. Cihazların tebliğde istenen asgari çizelge 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.17: Yön sensörü[82].

Çizelge 4.6: Hava Sıcaklığı, Hava Nemi, Basınç Ölçer asgari özellikleri.

Algılayıcı	Özellikler	İstenen Aralık
Hava Sıcaklığı Ölçer	Ölçüm aralığı	- 40 °C / +60 °C
	Çözünürlük	0,1 °C
	Doğruluk	± 0,3 °C
Hava Nemi Ölçer	Ölçüm aralığı	% 0 - % 100
	Çözünürlük	1 %
	Doğruluk	3 %
Basınç Ölçer	Ölçüm aralığı	750-1050 hPa
	Çözünürlük	0,5 hPa
	Doğruluk	± 1,0 hPa (tam ölçüm aralığında)
	Kararlılık	± 0,5 hPa / yıl

Data logger (veri kaydedici); ölçüm direği üzerindeki anemometre, yön sensörü, hava sıcaklığı ölçer, hava nemi ölçer, basınç ölçer gibi algılayıcılardan gelen verilerin elektronik olarak saklandığı ve aynı zamanda alınan verilerin değerlendirilmesi yapan cihazdır (Şekil 4.18). Cihazların özelliklerine göre belli aralıklarla ölçüm yapıp bu

verileri istatistiksel olarak değerlendirerek 1, 10, 15 dakikalık ve saatlik olarak kaydetmektedirler. Bu cihazlar verileri data çiplerinde depolama özelliğine sahiptirler.



Şekil 4.18: Veri kaydedici[82].

GSM modül; veri kaydediciye uzaktan bağlantı kurup kaydedilen verilere ulaşmayı ve kontrol edilmesine imkan veren bir sistemdir (Şekil 4.19). Bu sayede sistemi her an takip edilebilmekte ve herhangi bir algılayıcının bozulması durumunda hemen sisteme müdahale imkanı vererek veri kaybını en aza indirmektedir.



Şekil 4.19: GSM modül [82].

Rüzgar ölçüm direğinin kurulumu gerçekleştiikten sonra sistem üzerinden verilerin kaydedilmesinde dikkat edilmesi gereken hususlar bulunmaktadır. Bölgenin tam bir karakteristiğinin çıkarılabilmesi için en az 12 ay boyunca ölçüm yapılarak bir yıl içerisindeki hareketler gözlenmelidir.

Tebliğe göre; yapılan gözlemler esnasında 1 yıllık ölçüm için, bakım, arıza gibi nedenlerden oluşabilecek veri kaybı % 20'nin üzerinde olmamalıdır. Bu oran ölçümün resmi olarak başladığı tarih itibariyle 1 yıllık süre içerisinde dikkate alınarak hesaplanır. Bir yılın üzerinde ölçüm yapılan durumlarda veri kaybı olmayan veya % 20'den az olan bir yıllık periyot baz alınır. % 20 lik oran tüm algılayıcılar için ayrı ayrı hesaplanır.

% 20'ye kadar olan veri kayıplarının tamamlanmasında bölgeyi temsil eden en yakındaki meteoroloji istasyonundan veya istatistiksel veri tamamlama yöntemleri yardımıyla yapılabilir. Aynı zamanda ölçüm yapılan bölgede aynı firmanın kurduğu veya başka firmaya ait (veriler söz konusu istasyon sahibinden ve yazılı izin ile alınmak şartıyla) ve MGM'nin kabul ettiği ölçüm istasyonları mevcut ise istasyonların verileri birbirinin verilerini tamamlamada kullanılabilir. Ayrıca ölçüm direğindeki ana ölçüm seviyesinde yer alan rüzgar hız ve yön ölçerdeki veriler ile ara seviyelerde yer alan algılayıcılardan hesaplamalar yapılarak eksik veriler tamamlanabilmektedir.

Ölçüm istasyonu kurulum aşamasında “Ölçüm İstasyonu Kurulum Raporu İçin Başvuru Formu” ve kurulum sonrası sonuçların alınmasından sonra “Ölçüm İstasyonu Ölçüm Sonuç Raporu Başvuru Formu”, “Rüzgar / Güneş Verisi – Veri Tamamlama Bilgi Formu” ve “Rüzgar / Güneş Ölçüm İstasyonu Ham Veri Teslim Formu” MGM ne teslim edilmesi gerekir. Bu formların en güncel haline Resmi Gazete'nin web sayfası aracılığıyla “Rüzgar ve Güneş Enerjisine Dayalı Önlisans Başvuruları İçin Yapılacak Rüzgar ve Güneş Ölçümleri Uygulamalarına Dair Tebliğ”in eklerinden ulaşılabilir.

5. MATERYAL VE METOD

Gelişen teknoloji ile birlikte enerjiye olan ihtiyacımız gün geçtikçe artmaktadır. Bununla birlikte mevcut enerji kaynaklarının kullanılmasında ortaya çıkan olumsuz çevresel etkenler yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilginin artmasına da sebep olmuştur. Ayrıca enerji kaynaklarımızı çeşitlendirmek ve enerji konusunda dışa bağımlılıktan kurtulmak noktasında yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir.

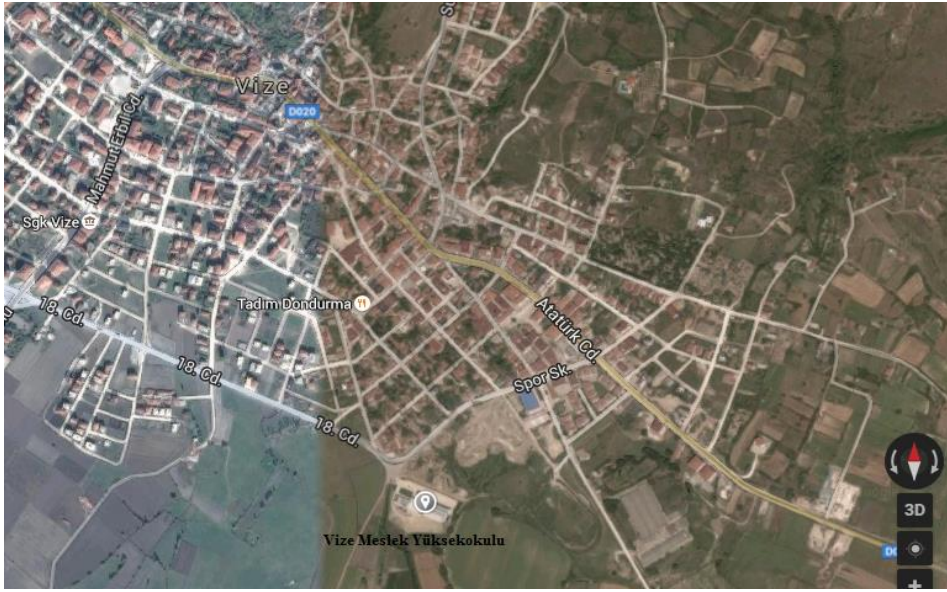
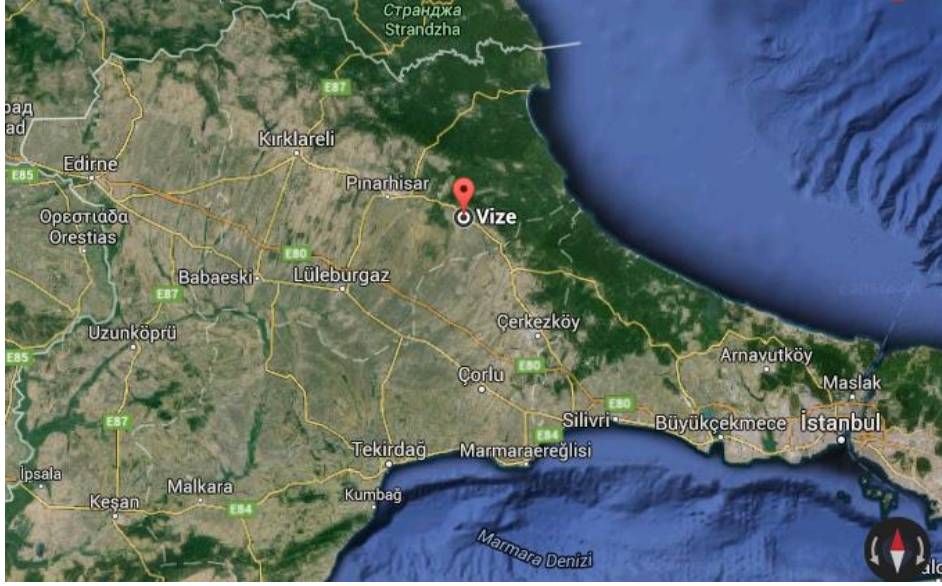
Bu amaçla Ülkemizde 2008 yılında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından “Binalarda Enerji Performansı (BEP) Yönetmeliği” yayınlanmıştır. Bu yönetmeliğe göre 1000 m² ve üzerinde kullanım alanına sahip binaların enerji ihtiyaçlarının tamamen veya kısmen karşılanması amacıyla yenilenebilir enerji kullanım imkanlarının araştırılması zorunludur. Eğer 20 bin m²'ye kadar olan binalarda kurulması planlanan sistemin 10 yılda kendini amorti etmesi söz konusu ise yenilenebilir enerji üretim sisteminin kurulması zorunludur.

Bu çalışmada, bölgesel olarak yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanılması amacıyla Kırklareli Üniversitesi Vize Meslek Yüksek Okulu Yerleşkesinin Rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesi hedeflenmektedir. Rüzgar enerjisi sistemlerinin tasarımı, planlanması ve çalıştırılması için rüzgar karakteristiklerinin tüm detaylarıyla bilinmesi gerekmektedir. Rüzgar enerji santralının projelendirilmesi ve ekonomisi temel olarak seçilen santral sahasından üretilebilecek enerji miktarına bağlı olmaktadır. Enerji miktarının tespiti için ise, uzun süreli güvenilir verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, seçilen proje sahasının topografik yapısı göz önüne alınarak uygun noktaya rüzgar gözlem istasyonu (RGI) kurulmalıdır.

5.1 Kırklareli Üniversitesi Vize Meslek Yüksekokulu Yerleşim Alanı

Vize Kırklareli iline bağlı bir ilçe olup 41 derece 36 dakika, 52 saniye (41.6143) kuzey enlemleri ile 27 derece 50 dakika, 52 saniye (27.8478) doğu boylamlarında yer alırken,

Vize MYO $41^{\circ}33'53.6''N$ $27^{\circ}46'15.9''E$ boylamlarında yer almaktadır. İlçe 180 metre rakıma sahip olup yüzölçümü 1.119 Km^2 'dir[83].



Şekil 5.1: Rüzgar ölçüm istasyonunun kurulacağı Vize MYO'nun uydu görüntüleri.

Vize ilçesi Trakya bölgesinde Yıldız dağları eteklerinde yer almakta olup Meteoroloji ve REPA verilerine göre Türkiye ortalamasının üzerinde rüzgar hızlarına sahiptir. Halihazırda Kırklareli ili içinde kurulu ve inşa halindeki santrallara bakıldığında Vize ilçesi bu noktada kayda değer verilere sahiptir.

5.2 Materyal

Şekil 5.2'de gözükten 20 metre yüksekliğe sahip Vize MYO binasının çatısına 2,5 m yüksekliğe ait ölçüm direği dikilerek aşağıda belirtilen parametrelerin ölçümü yapılmıştır:Barometrik Basınç,

- İç ve Dış Sıcaklık,
- İç ve Dış Nem,
- Rüzgar Hızı ve Yönü,
- Hissedilen Sıcaklık,
- Yağış,
- Çiy noktası,
- UV,
- Güneş Radyasyon.



Şekil 5.2: Kuzey batı yönünden görünümü (Vize Kalesi tarafından).

Meteoroloji istasyonundan elde olunan tüm veriler bir bilgisayara kablolu ve kablosuz olarak aktarılabilir. Meteoroloji istasyonunda bulunan tüm sensörler, istasyon üzerinde bulunan güneş panelinden sağlanan enerji ile çalışmaktadır. Sistem ayrıca kapalı günlerde ve geceleri sistem içerisindeki lityum pilden sağlanan enerji ile çalışmaktadır. Sensörlerin tamamı dış ortama dayanıklı yapı içerisine yerleştirilmiştir. Meteoroloji istasyonundan alınacak veriler belirli aralıklarla datalogger'a kaydedilebildiğinden, istasyon istenen uzaklıktaki bir yere kurulabilir. Dolayısıyla

veriler belirli periyotlarla datalogger'in yanına gidilerek taşınabilir bir bilgisayara aktarılmıştır.

5.2.1 Ölçüm İstasyonunun Kurulumu ve Kullanılan Yazılım

Ölçüm istasyonu kurulumunun ilk aşamasında Vize MYO'nun 20 metre yükseklikteki çatısı üzerine 2,5 m direğin 1 m'lik kısmı çatıya çıkmakta kullanılan merdivene çelik kelepçelerle tutturularak monte edilmiştir(resim 1). Daha sonra ölçüm istasyonunu oluşturan anemometre, yön ölçer ve diğer algılayıcı parçaları direğe monte edilecek şekilde aşağıda birleştirilmiştir. Daha sonra birleştirilen ölçüm istasyonu direğe monte edilerek çalışır durumu getirilmiştir. Ölçüm istasyonunun yanında ölçüm yapılarak deniz seviyesine göre rakımı 169 metre olarak belirlenmiştir. Kablosuz datalogger bina içerisinde uygun bir noktaya yerleştirilerek ölçüm sonuçlarını almak için gerekli ayarlamalar yapılmıştır. Şekil 5.3'te ölçüm istasyonunun kurulum aşamaları görülmektedir.



Şekil 5.3 (devamı) : Ölçüm istasyonunun kurulum aşamaları.



Şekil 5.3: Ölçüm istasyonunun kurulum aşamaları.

5.2.2 Ölçüm İstasyonu Özellikleri

Ölçüm istasyonu olarak Vantage Pro2 Plus Kablosuz Meteoroloji İstasyonu (6162EU) kullanılmıştır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4: Ölçüm istasyonu.

İstasyonda rüzgâr hızı (m/s), rüzgâr yönü (16 yön belirterek), iç ve dış sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), nem (%), basınç (mb), yağış miktarı (mm), güneşlenme miktarı (W/m^2) değerleri ölçülmüştür. Sistemde bu değerler anlık olarak takip edilebilmekte ve aynı zamanda

veriler saklanabilmektedir. Kablosuz datalogger açık alanda 300 m, kapalı alanda ise 60-120 metre arası iletişim sağlamaktadır. Tüm algılayıcılar enerjisini güneş panelinden karşılamakta ayrıca sistem içerisindeki lityum pilden kapalı günler ve geceler gibi gerekli durumlarda enerji sağlamaktadır. Algılayıcılar sağlıklı ve kesintisiz ölçüm yapabilmeleri için dış ortama dayanıklı yapı içerisindedir[84]. Algılayıcıların özellikleri çizel 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Ölçüm istasyonunun teknik özellikleri.

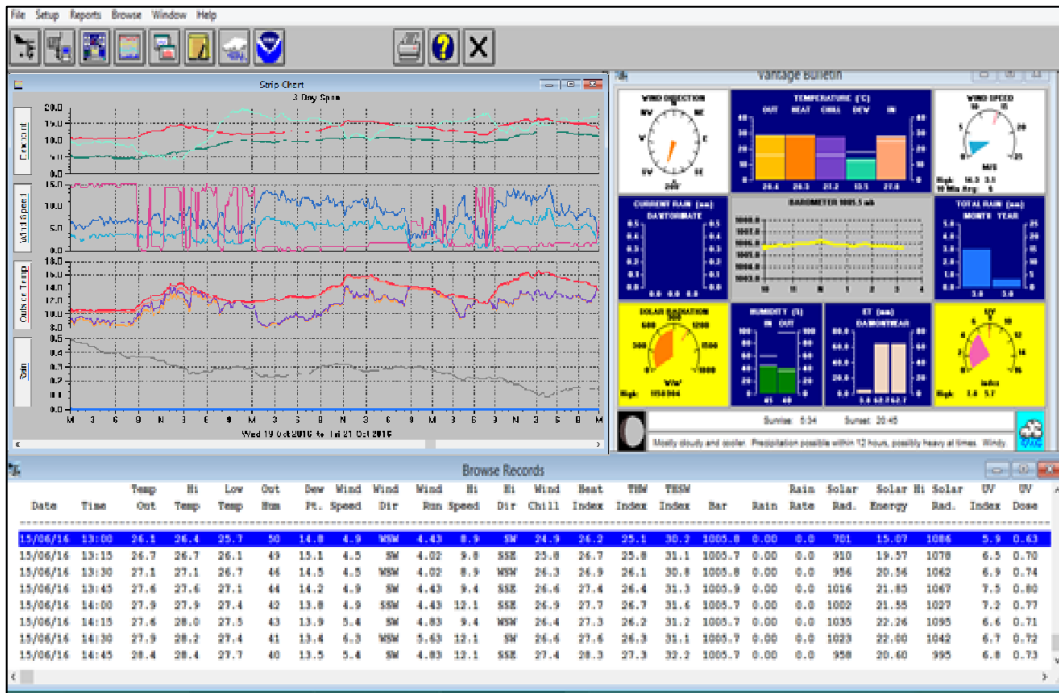
Barometrik Basınç Algılayıcı		Çiğ Noktası Sıcaklığı	
Hassasiyet	0,1mb	Hassasiyet	1°C
Kesinlik	±1,0 mb	Kesinlik	±1,5 °C
Ölçüm Aralığı	540...1100 mb	Ölçüm Aralığı	-76...+54°C
Anemometre ve Yön Sensörü		Yağış Sensörü	
Rüzgar Yön	0-360° (16 Yön)	Hassasiyet	0,2 mm
Kesinlik	±3°	Kesinlik	% 4
Çözünürlük	1°	Ölçüm Aralığı	0...6553 mm
Aralık	0-80 m/sn (3-290 km/hr)	Yağış Oranı	0...2438 mm/hr
Sıcaklık sensörü (İç ortam)		Sıcaklık sensörü (Dış ortam)	
Hassasiyet	0,1 °C	Hassasiyet	0,1°C
Kesinlik	±0,5 °C	Kesinlik	±0,5 °C
Ölçüm Aralığı	0...+60 °C	Ölçüm Aralığı	-40...+65°C
UV Sensörü (UV Dozu)		UV Sensörü (UV İndeksi)	
Hassasiyet	0,1 MEDs	Hassasiyet	0,1
Kesinlik	% 5	Kesinlik	% 5
Ölçüm Aralığı	0...199 MEDs	Ölçüm Aralığı	0...16
Nem sensörü (İç Ortam, Dış ortam)		Solar Radyasyon Sensörü	
Hassasiyet	% 1	Hassasiyet	1 W/m ²
Kesinlik	% 3	Kesinlik	± % 5
Ölçüm Aralığı	% 1 ... % 100	Ölçüm Aralığı	0...1800 W/m ²

İstasyonun datalogger kablosuz olup, alınan verileri belli aralıklarla kaydetme ve saklama özelliğine sahiptir. Kullanılan yazılım aracılığıyla kaydedilen veriler USB bağlantı vasıtasıyla bilgisayar ortamında canlı olarak izlenebilmektedir. Datalogger'a kaydedilen veriler USB yardımıyla bilgisayara aktarılarak WeatherLink yazılımı ile değerlendirilmiştir. Program bu verileri grafikler halinde gösterebilmekte ve arşivleyebilmektedir. Sistem belli aralıklarla kayıt yapabilme özelliğine sahip olup

çizelge 5.2'de arşivleme aralığına göre kayıt saklama kapasitesi gösterilmiştir. WeatherLink yazılım programının bir ekran görüntüsü şekil 5.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2 Datalogger’ın arşivleme aralığına göre kayıt saklama kapasitesi.

Arşivleme Aralığı	Kayıt Saklama Kapasitesi
1 Dakika	42 Saat
5 Dakika	8 Gün
10 Dakika	17 Gün
15 Dakika	26 Gün
30 Dakika	53 Gün
60 Dakika	106 Gün
120 Dakika	213 Gün



Şekil 5.5: Meteoroloji istasyonu software programı ekran görünümü.

5.3 Yöntem

Çalışma, Vize MYO'nun bulunduğu alanın rüzgar enerjisi potansiyelinin hesaplanabilmesi için 20 metre yüksekliğe sahip Vize MYO binasına kurulmuş olan 2,5 metre yükseklikteki ölçüm direğine monte edilen ölçüm sistem ile 04/06/2016-31/12/2016 tarihleri arasında algılayıcılardan alınan bilgiler 7 ay boyunca 15 dakika arayla elde edilen verilerde faydalanılarak bölgenin rüzgar enerjisi potansiyeli belirlenmiştir. Verilerin günlük, haftalık, aylık ortalama, maksimum, minimum değerleri hesaplanmıştır. Rüzgarın hakim rüzgar yönü tespit edilerek, yönlere göre

frekans yoğunlukları ve sıcaklık değerleri belirlenmiştir. Bölgenin rüzgar hız verileri kullanılarak weibull k ve c parametreleri elde edilmiş, bölgeye ait olasılık dağılım işlevi (weibull dağılımı) belirlenmiştir. Böylece bölgenin rüzgar potansiyelinin karakteristiği elde edilmiştir. Veriler ışığında Vize MYO Yerleşkesinin ölçüm yapılan süreçteki elektrik ihtiyacının ne kadarlık bir kısmının elde edilebileceği teorik olarak hesaplanmıştır.

5.3.1 Rüzgâr Gülü Rüzgâr Hızı Dağılım Fonksiyonu

Rüzgar enerjisi potansiyeli çalışmalarında rüzgâr hız dağılımını temsil etmek için iki parametrelili Weibull dağılımında yararlanılmaktadır. Bu yöntemin tercih edilmesinin sebepleri incelendiğinde, parametre sayısının azlığı, rüzgâr dağılımına uyum sağlaması, dağılımın esnek bir yapıya sahip olması, parametrelerinin belirlenmesindeki kolaylık ve parametrelerin bir yükseklik için belirlenmesinden sonra farklı yükseklikler için de tahmin edilebilmesi sıralanabilmektedir[25].

Bu çalışmada weibull dağılım fonksiyonu hesaplamalarında grafik metodu kullanılmıştır. Bu yöntemde hız aralıklarına karşılık gelecek şekilde kümülatik frekans değerleri belirlenir. Çizilen grafikte veri ve sıra meydanları gösterilir. Zaman verileri X ekseninde, kümülatif yüzdeler ise Y ekseninde yer alır. Daha sonra bu noktalar üzerinde olabilecek en mümkün doğru elde edilir. Dönüşüm aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır: [85].

$$X_{(i)}=\ln(v_i) \quad (5.1)$$

$$Y_{(i)}=\ln[-\ln(1-P_{(v)})] \quad (5.2)$$

Daha sonra $y = ax + b$ lineer bir denklem bulunur. Buradan k ve c parametreleri denklem 5.3 ve denklem 5.4 ile elde edilmektedir.

$$k= a \quad (5.3)$$

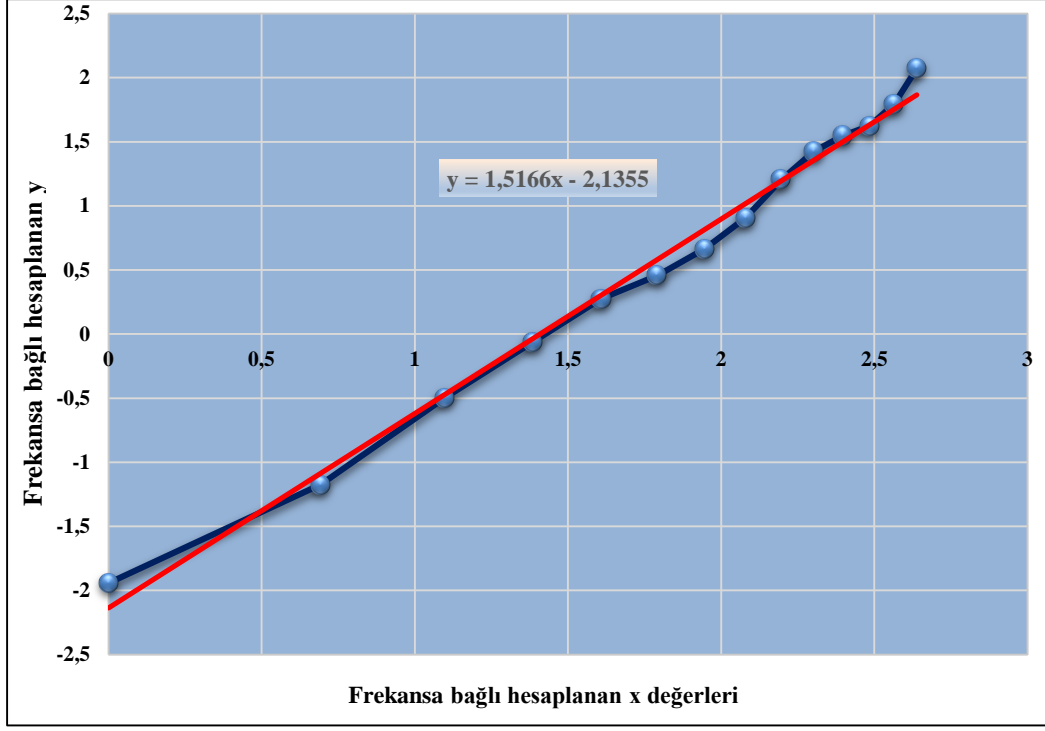
$$c=\exp (-b/a) \quad (5.4)$$

Metodun uygulaması aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir:

Çizelge 5.3 Grafik metodu uygulaması (Eylül Ayı).

Rüzgar Hızı (m/s)	Frekans	Kümülatif	xi	yi
1	0,13368056	0,13368056	0	-1,94140934
2	0,13229167	0,26597222	0,69314718	-1,17373977
3	0,18993056	0,45590278	1,09861229	-0,49654913
4	0,15416667	0,61006944	1,38629436	-0,05997655
5	0,12222222	0,73229167	1,60943791	0,276007084
6	0,06180556	0,79409722	1,79175947	0,457647084
7	0,0625	0,85659722	1,94591015	0,663768822
8	0,059375	0,91597222	2,07944154	0,90688982
9	0,04861111	0,96458333	2,19722458	1,206142277
10	0,01979167	0,984375	2,30258509	1,425246549
11	0,00659722	0,99097222	2,39789527	1,549146155
12	0,00277778	0,99375	2,48490665	1,624360774
13	0,00381944	0,99756944	2,56494936	1,795026697
14	0,00208333	0,99965278	2,63905733	2,075125437

Çizelgede xi ve yi değerleri belirlendikten sonra grafik çizdirilir. Bunun sonucunda elde edilen değerlerden $y=ax+b$ doğru denklemi geçirilir. Doğru denklemdeki katsayılar kullanılarak denklem 5.3 ve 5.4'ün yardımıyla k ve c parametre değerleri hesaplanır. Bulunan gerçek değerler ve uydurulan doğru denklemi Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



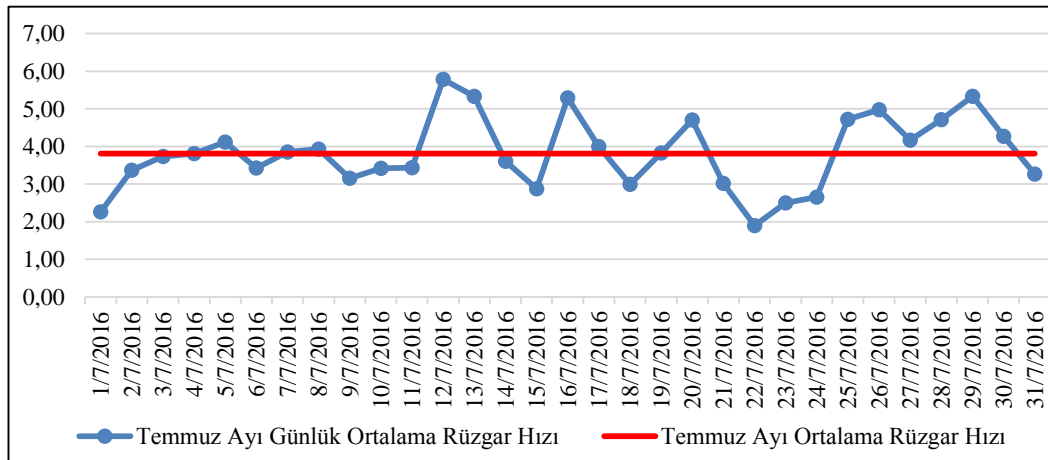
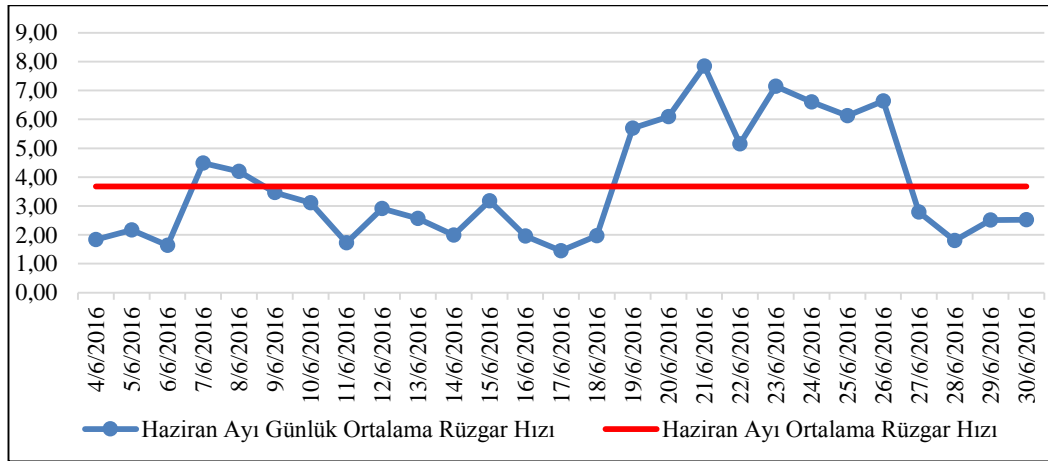
Şekil 5.6 Rüzgar hızlarının x_i ve y_i düzeninin grafiği (Eylül ayı).

$y=ax+b$ ifadesinden, $a=1,5166$ ve $b=2,1355$ olarak elde edilmektedir. a ve b değerleri denklem 5.3 ve 5.4 kullanılarak k ve c parametreleri 1,52 ve 4,11 olarak hesaplanır.

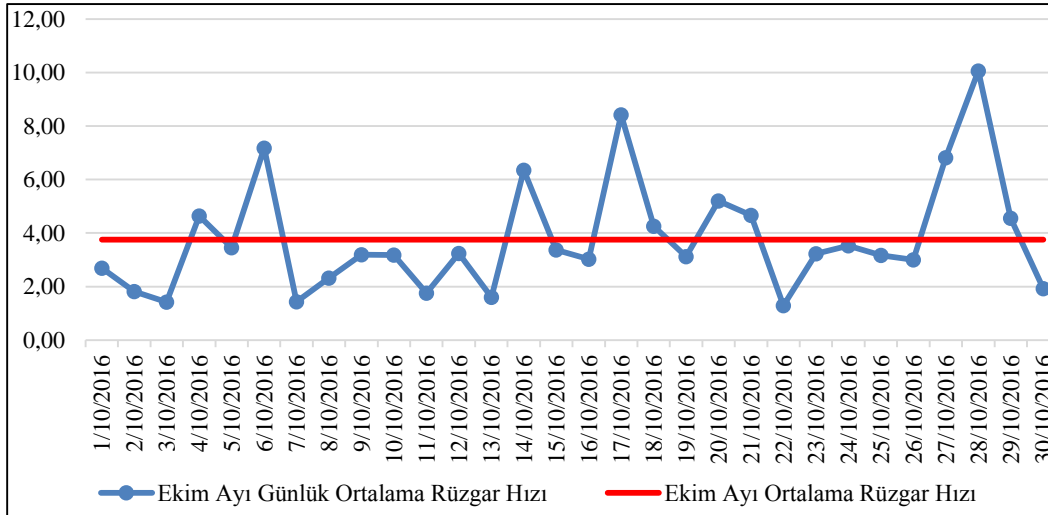
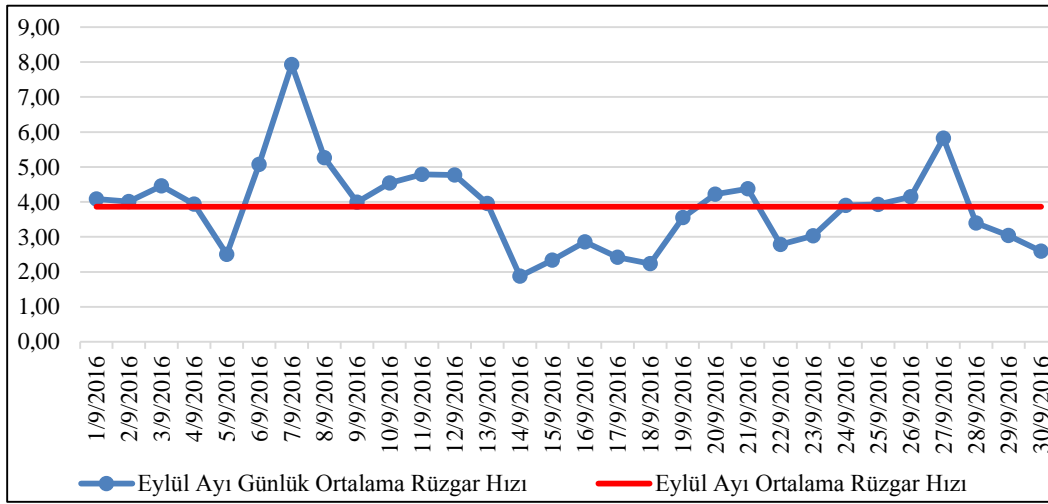
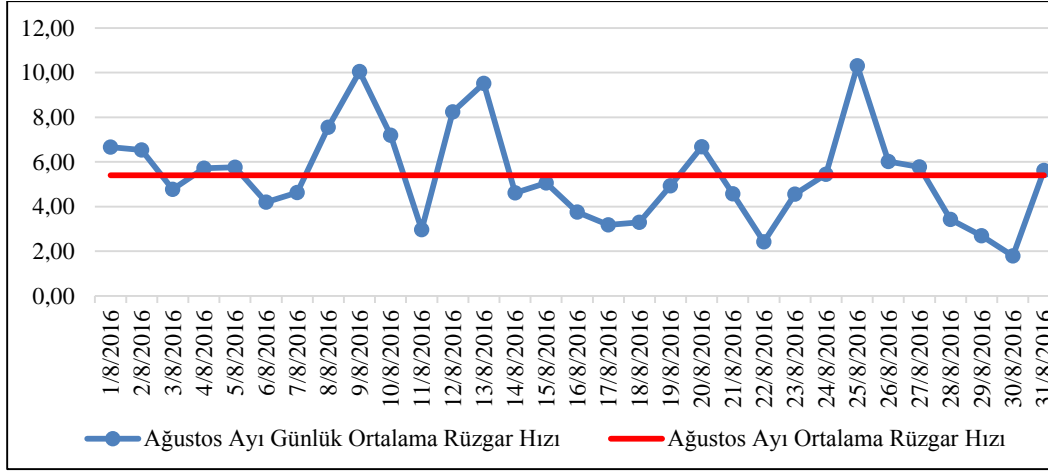
6. BULGULAR

6.1 Rüzgar Ölçüm Sonuçları

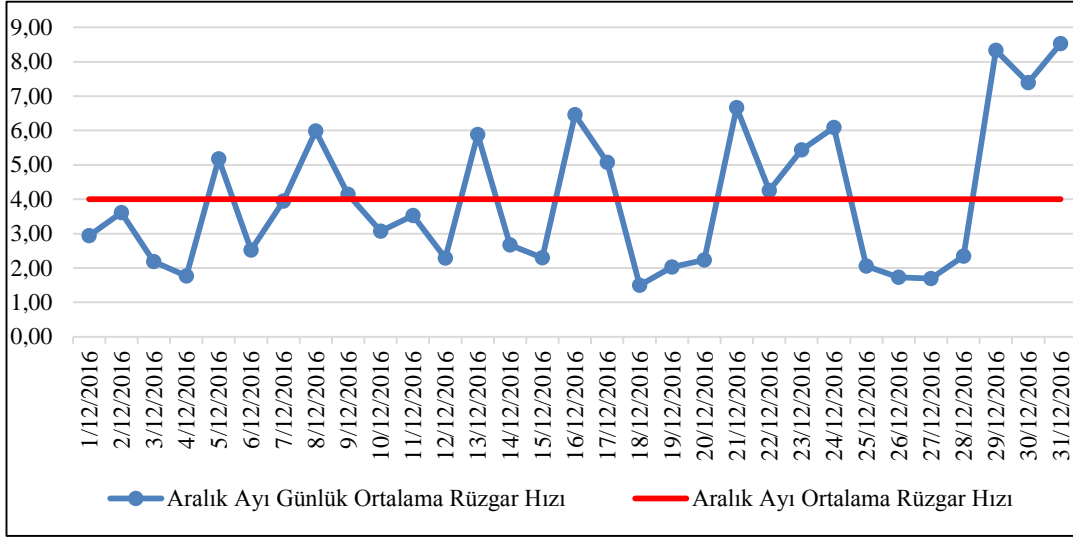
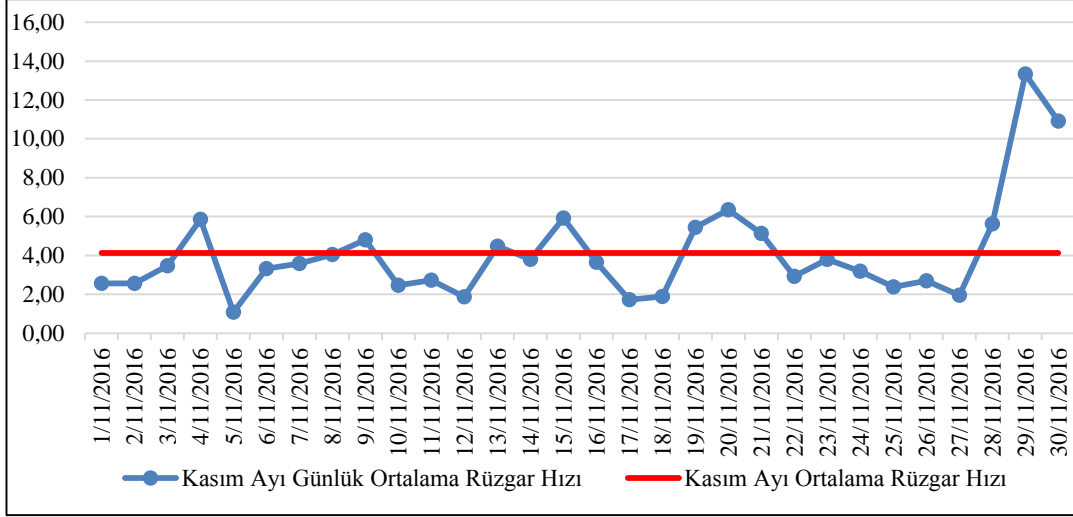
Kırklareli Üniversitesi Vize MYO binasına kurulan ölçüm direği ile 04/06/2016 tarihinde ölçüm sonuçları alınmaya başlanmıştır. Veriler ölçüm istasyonuna ait WeatherLink yazılımı ile incelenmiştir. Vize Meslek Yüksekokulunun 22,5 metrede alınan haziran, temmuz, ağustos, eylül, ekim, kasım ve aralık 2016 dönemine ait 15 dakikalık ortalama verilerden oluşan günlük ortalama rüzgar hızları ve bu aylara ait ortalama günlük rüzgar hızları şekil 6.1 de verilmiştir.



Şekil 6-1 (devam): 22 metre yükseklikten alınan Haziran ve Temmuz dönemlerine ait günlük ortalama ve aylık ortalama hızlar.



Şekil 6.1 (devam): 22 metre yükseklikten alınan Ağustos, Eylül, Ekim dönemlerine ait günlük ortalama ve aylık ortalama hızlar.



Şekil 6.1 22 metre yükseklikten alınan Kasım, Aralık dönemlerine ait günlük ortalama ve aylık ortalama hızlar.

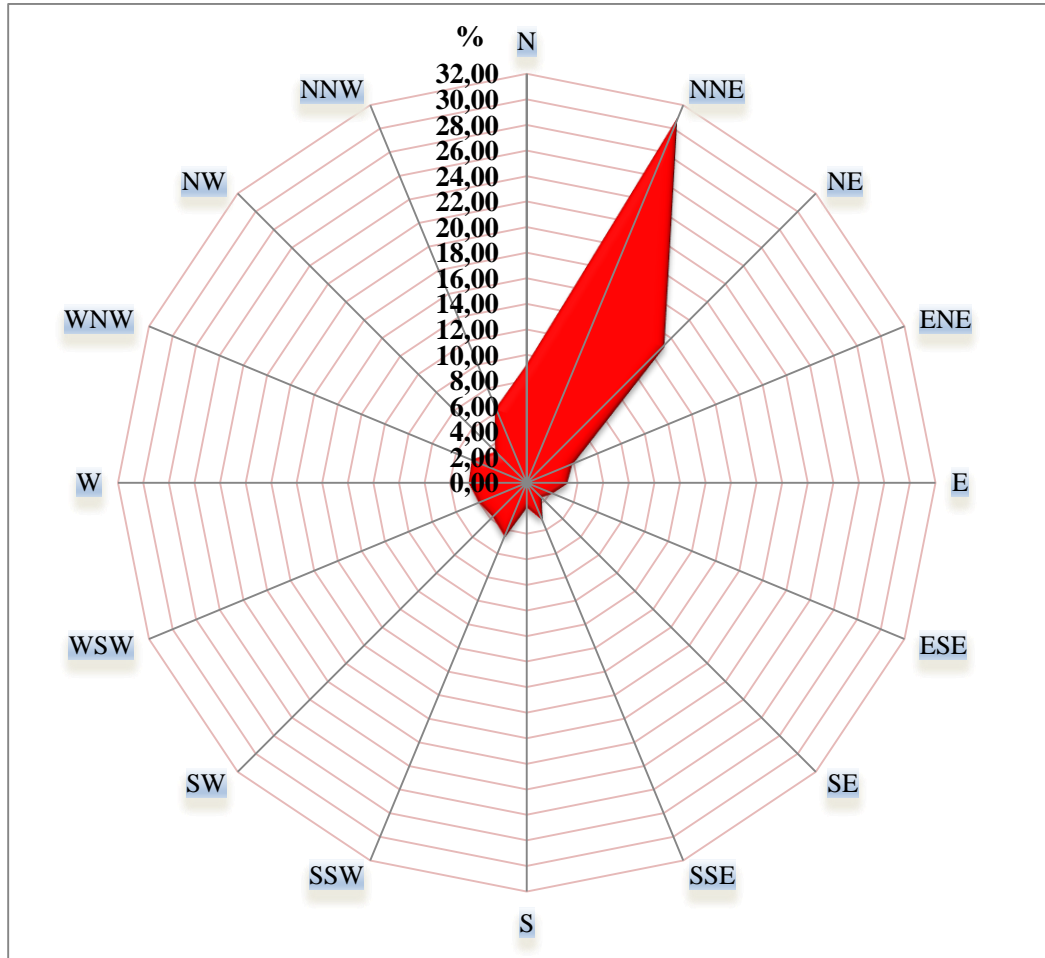
Yapılan meteorolojik ölçümlere göre oluşturulan şekil 6.1 incelendiğinde 22,5 metrede yapılan ölçümlerde ortalama rüzgar hızı en yüksek olan ay Ağustos ayı olurken, tüm ayların hakim rüzgar yönü Kuzey Kuzey Doğu (NNE) olmuştur. Yine günlük ortalama hızlar incelendiğinde bir günde ölçülen en yüksek ortalama rüzgar hızı 13,34 m/s ile 29/11/2016 tarihinde ölçülmüşken, tüm verilerdeki en yüksek rüzgar hızı ise yine aynı günde 17,5 m/s ile N (Kuzey) yönünden ölçülmüştür. Çizelge 6.1’de, aylara göre ortalama rüzgar hızı, hakim rüzgar yönü, ölçülen en yüksek hız ve yönü, aylık ortalama sıcaklık, her ay ölçülen en yüksek sıcaklık ve en düşük sıcaklık değerleri verilmiştir.

Tüm rüzgar yönlerine ait ölçüm sonuçları ile oluşturulan Şekil 6.2 incelendiğinde hakim rüzgar yönü % 30,45 ile Kuzey Kuzey Doğu (NNE) olurken ikinci sırada ise

% 15,06 ile Kuzey Doğu (NE) olmuştur. Daha sonra en yakın hakim rüzgar yönü ise % 9,08 ile Kuzey (N) yönü olmuştur.

Çizelge 6.1- Aylara göre rüzgar ve meteorolojik veriler.

Aylar	Ortalama Hız (m/s) (22 m)	Hakim Rüzgar Yönü	Ölçülen En Yüksek Anlık Hız (m/s)	En Yüksek Anlık Hızın Yönü	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ölçülen En Yüksek Anlık Sıcaklık (°C)	Ölçülen En Düşük Anlık Sıcaklık (°C)
Haziran	3,69	NNE	22,8	N	22,4	36	11,2
Temmuz	3,82	NNE	18,3	NNE	23,9	32	15,6
Ağustos	5,42	NNE	25,9	N	24,3	33,6	16
Eylül	3,86	NNE	22,4	NNE	20,6	33,2	10,5
Ekim	3,75	NNE	24,1	NNE	14,5	28,5	3,2
Kasım	4,13	NNE	30	N	10,3	25,6	-1,8
Aralık	4	NNE	30	NNE	2,5	12,7	-4,8



Şekil 6.2 Hakim rüzgar yönü.

Çizelge 6.2’de aylar bazında rüzgarın yönlere göre esme sayıları verilmiş ve Çizelge 6.3’te de aylar bazında rüzgarın yönlere göre esme hızları verilmiştir.

Çizelge 6.2 Yönlere göre rüzgar verileri.

YÖNLER	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Toplam
Haziran	165	712	399	137	87	56	33	89	55	139	133	98	136	132	101	120	2592
Temmuz	285	1026	748	92	54	28	43	30	27	48	83	94	109	105	68	136	2976
Ağustos	313	1370	508	103	64	39	25	36	10	20	35	50	49	70	90	194	2976
Eylül	283	747	687	130	83	50	37	79	21	151	66	80	83	123	88	172	2880
Ekim	268	907	491	181	121	76	40	82	49	98	84	89	139	118	85	148	2976
Kasım	195	887	174	62	72	69	69	220	154	292	208	154	97	118	45	64	2880
Aralık	331	518	43	49	140	94	55	59	44	142	127	233	278	252	194	417	2976
Toplam	1840	6167	3050	754	621	412	302	595	360	890	736	798	891	918	671	1251	20256

Çizelge 6.3 Rüzgarın yönlere göre esme hızları.

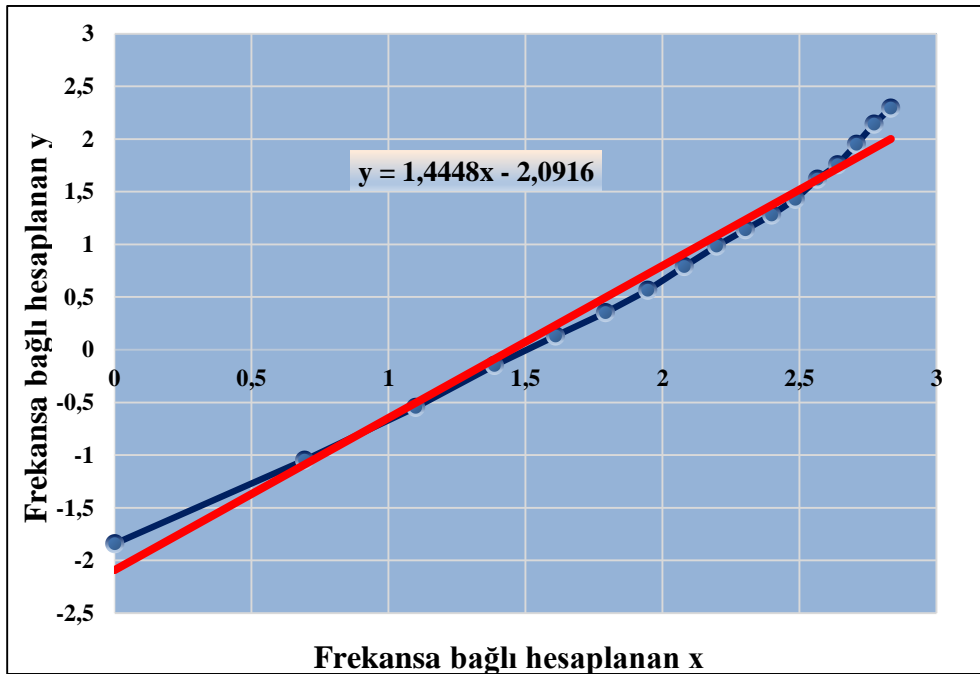
Hız/ Yön	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Toplam
1	96	129	211	210	217	160	145	163	137	203	256	221	324	243	153	106	2974
2	189	246	219	171	222	118	92	169	92	149	177	251	304	260	165	196	3020
3	310	498	323	140	107	78	37	105	52	157	105	139	173	236	151	305	2916
4	416	803	407	109	45	33	10	66	27	118	71	69	49	134	116	314	2787
5	233	771	464	77	23	13	7	34	23	108	57	56	24	35	40	124	2089
6	138	720	430	42	3	5	4	23	11	65	24	26	4	5	20	72	1592
7	136	689	384	5	4	5	7	17	11	38	22	11	11	5	18	33	1396
8	110	709	307	0	0	0	0	7	4	32	16	16	1	0	8	36	1246
9	61	529	182	0	0	0	0	8	2	10	6	7	1	0	0	33	839
10	51	351	74	0	0	0	0	3	0	7	1	1	0	0	0	17	505
11	34	261	24	0	0	0	0	0	1	3	0	1	0	0	0	11	335
12	29	196	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	244
13	29	146	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	183
14	3	64	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	68
15	3	39	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	44
16	1	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14
17	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Çalışmada 22,5 metrede yapılan ölçümler için rüzgar hızının dağılımının belirlenmesinde, weibull dağılım fonksiyonunun grafik metodu kullanılarak ölçek ve

şekil parametreleri bulunmuştur. Çizelge 6.4'te rüzgar verilerinin frekans dağılımı verilmiştir.

Çizelge 6.4 Rüzgar hız verilerinin frekans dağılımı.

Rüzgar Hızı (m/s)	Frekans	Kümülatif	xi	yi
1	0,146820695	0,146820695	0	-1,840200738
2	0,149091627	0,295912322	0,693147181	-1,04738969
3	0,143957346	0,439869668	1,098612289	-0,545441591
4	0,137588863	0,577458531	1,386294361	-0,149117734
5	0,103129937	0,680588468	1,609437912	0,132146004
6	0,078593997	0,759182464	1,791759469	0,353270177
7	0,068917852	0,828100316	1,945910149	0,565793356
8	0,061512638	0,889612954	2,079441542	0,790166123
9	0,041419826	0,93103278	2,197224577	0,983621837
10	0,024930885	0,955963665	2,302585093	1,138710883
11	0,01653831	0,972501975	2,397895273	1,279165918
12	0,012045814	0,984547788	2,48490665	1,427916787
13	0,00903436	0,993582148	2,564949357	1,619125214
14	0,00335703	0,996939179	2,63905733	1,755971992
15	0,002172196	0,999111374	2,708050201	1,949594008
16	0,000691153	0,999802528	2,772588722	2,143579041
17	0,000148104	0,999950632	2,833213344	2,294170421
18	4,93681E-05	1	2,890371758	3,584730798



Şekil 6.3 Rüzgar hızlarının xi ve yi grafiği.

Çizelge 6.5 22 Metre için aylara göre k, c, V_{ort.} değerleri.

	k	c	V_{ort.}
Haziran	1,29	3,80	3,69
Temmuz	1,64	3,95	3,82
Ağustos	1,55	5,63	5,42
Eylül	1,52	4,11	3,86
Ekim	1,35	3,82	3,75
Kasım	1,28	4,28	4,13
Aralık	1,41	4,23	4
GENEL	1,45	4,24	4,1

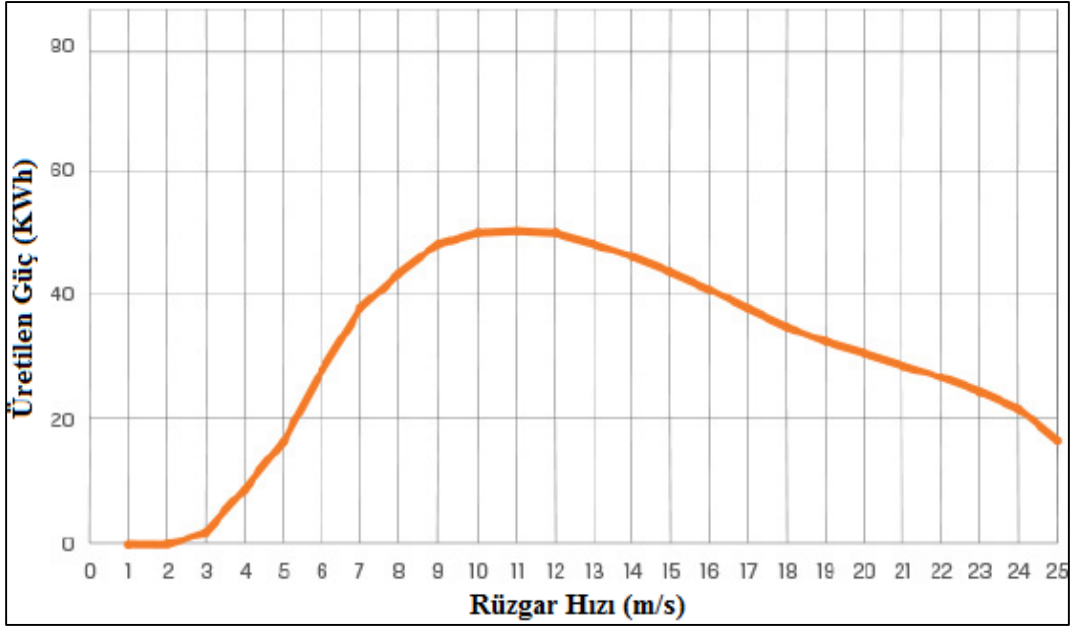
6.2 Vize MYO'nun Enerji Tüketimi ve Tüketimi Karşılama İçin Seçilen Türbinler

Vize MYO harcamış olduğu Ocak 2016 – Aralık 2016 dönemine ait yıllık elektrik enerjisi tüketimi çizelge 6.6 da verilmiştir. Meslek Yüksekokulunun bu bir yıllık dönem içindeki aylık elektrik harcamaları aşağıdaki gibi olurken aylık ortalama tüketim 16.617 KWh olurken günlük tüketim ortalaması ise 546,3 KWh olmuştur.

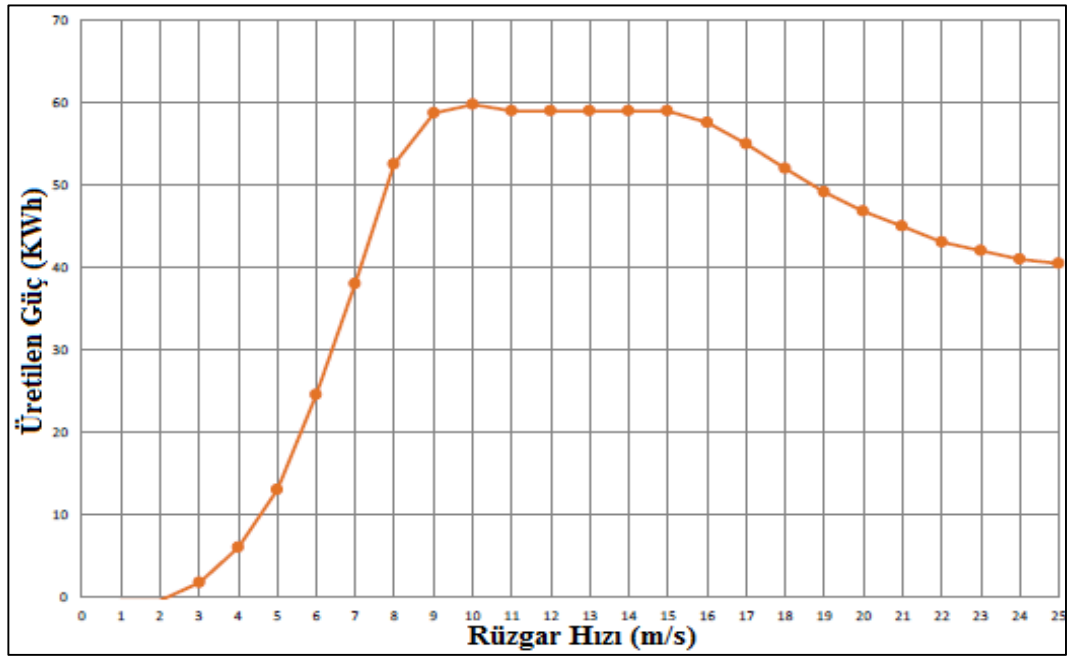
Çizelge 6.6 Vize Meslek Yüksekokulu 1 yıllık elektrik enerji tüketimi.

Aylar/2016	Gündüz KWh	Puant KWh	Gece KWh	Toplam KWh	Günlük Ort. KWh
Ocak	12023	5128	6924	24075	803
Şubat	8990	3522	5445	17957	599
Mart	9462	4228	4915	18605	600
Nisan	6417	2734	4112	13263	442
Mayıs	6612	2941	4207	13760	459
Haziran	6683	2443	3894	13020	434
Temmuz	6141	2357	4253	12751	425
Ağustos	7246	2765	4509	14520	484
Eylül	5444	2241	3750	11435	381
Ekim	9798	4396	4642	18836	628
Kasım	11316	4355	5107	20778	693
Aralık	10524	4765	5113	20402	658
TOPLAM	100.656	41.875	56.871	199.402	546,3

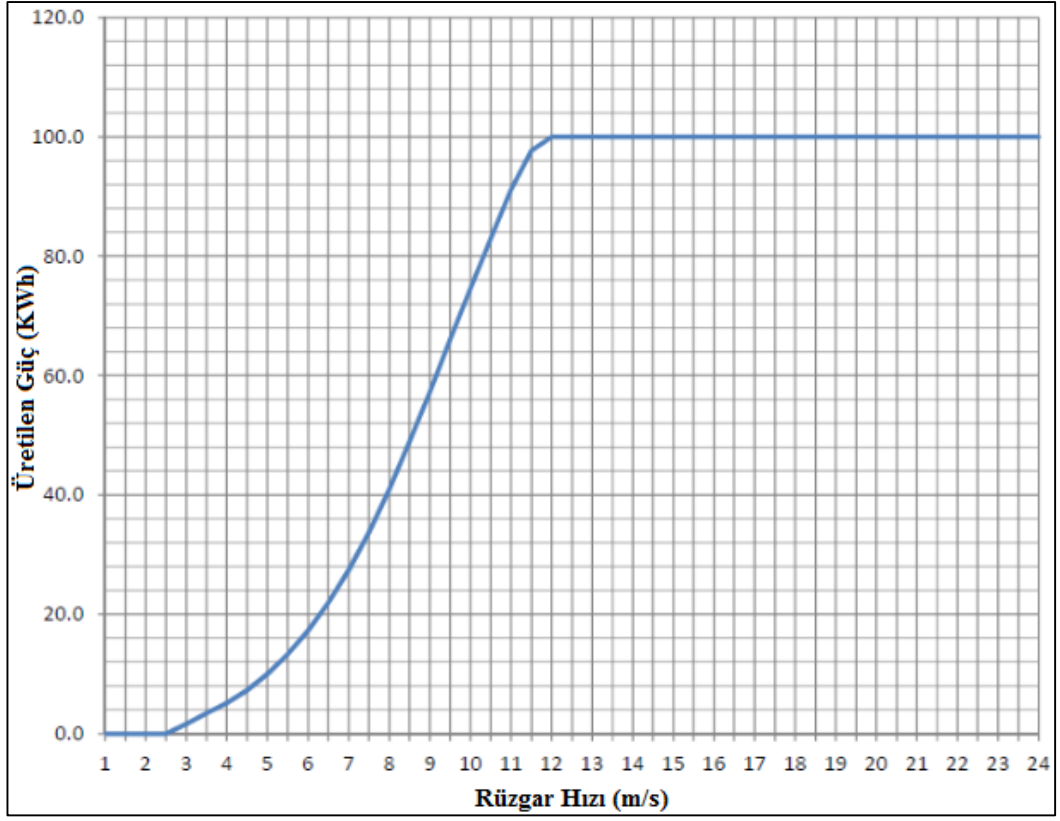
Vize Meslek Yüksekokulunun harcamış olduğu enerji, okulun fiziki yapısı ve çevresinin incelenmesi neticesinde gerekli enerjiyi karşılamak için 6 farklı türbin tipi ile hesaplamalar yapılmıştır. Şekil 6.4'te güç üretimi hesabında kullanılan rüzgar türbinlerinin güç eğrileri verilmiştir.



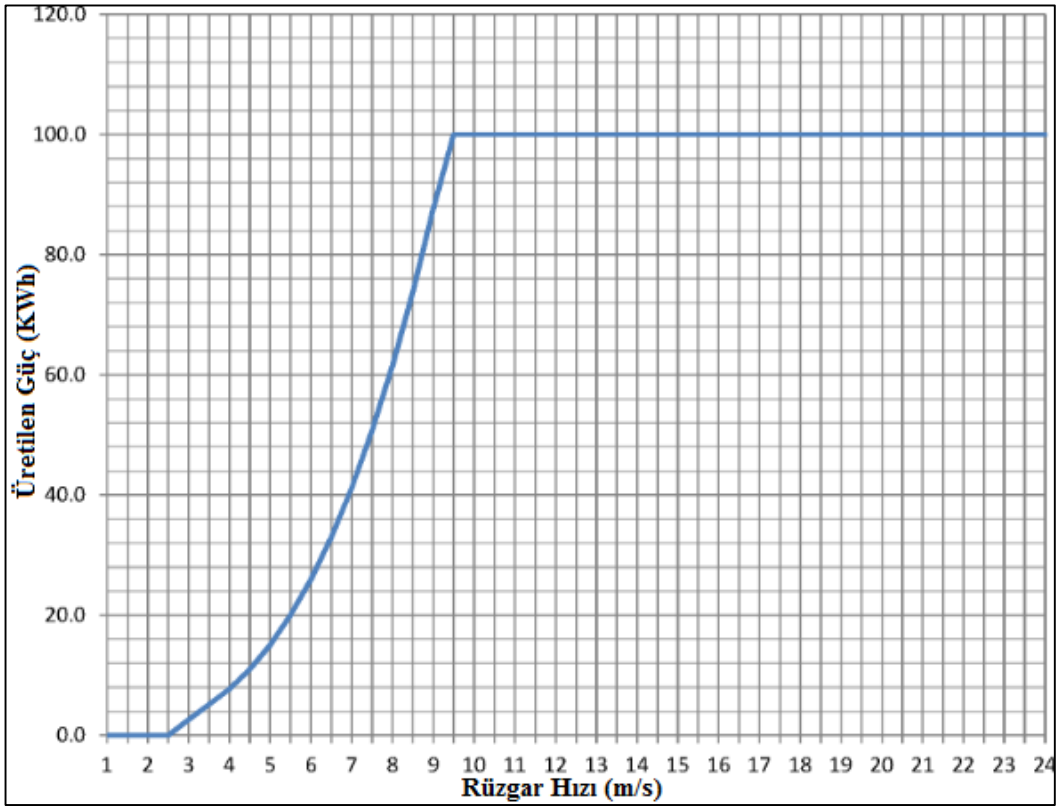
Şekil 6.4 (devam): Kullanılan türbinlerin güç eğrisi, Northern NPS 50-24.



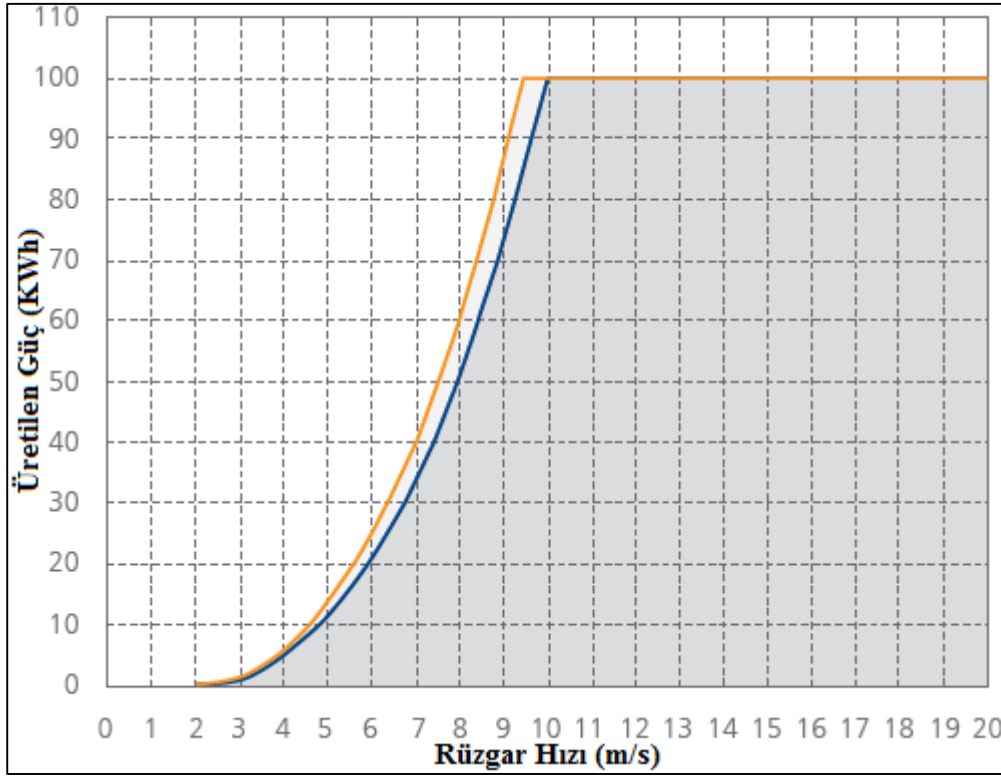
Şekil 6.4 (devam): Kullanılan türbinlerin güç eğrisi, Northern NPS 60-24.



Şekil 6.4 (devam): Kullanılan türbinlerin güç eğrisi, Polaris P21-100.



Şekil 6.4 (devam): Kullanılan türbinlerin güç eğrisi, Polaris P25-100.



Şekil 6.4: Kullanılan türbinlerin güç eğrisi, Norvento Ned 100-22/24.

6.3 Türbin Nacel Yüksekliği İçin Rüzgar Hızlarının Hesaplanması

Seçilen rüzgar türbinlerinin hub yüksekliklerindeki rüzgar hızları, 22,5 metrede ölçülen rüzgar hızları kullanılarak denklem 3.7 yardımıyla her bir türbin yüksekliği için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu hesaplamada kullanılan Hellman katsayısı ağaçlık alan ve şehirler için kullanılan 0,28 olarak alınmıştır.

Yapılan hesaplamalar çizelge 6.7 de gösterilmektedir. 22,5 metrede ortalama rüzgar hızı 4,1 m/s olurken ortalama güç yoğunluğu $123,06 \text{ W/m}^2$ olarak tespit edilmiş ve türbinlerin yüksekliklerine göre elde edilen verilerde ise ortalama rüzgar hızı 4,7 ile 5 m/s arası değişirken ortalama güç yoğunluğu ise $186,3$ ile $225,4 \text{ W/m}^2$ arasında değişmiştir. Seçilen rüzgar türbinlerinin nacel yüksekliğindeki rüzgar hızları hesaplamaları kullanılarak her bir rüzgar türbini yüksekliğinde Weibull dağılımına göre k ve c parametreleri hesaplanmıştır.

Çizelge 6.7 Türbin modellerinin özellikleri ve üretilen enerji miktarları.

	Özellik	TÜRBİN MODELLERİ					
		Northern NPS 50-24	Northern NPS 60-24	Polaris P21-100	Polaris P25-100	Norvento Ned 100/24	Norvento Ned 100/22
Türbin Özellikleri	Hub Yüksekliği (m)	37	37	36,6	45	36	36
	Rotor Çapı (m)	24,4	24,4	21,2	25	24	22
	Üretime Başlama Hızı (m/s)	3	3	2,7	2,7	3	3
	Maksimum Enerji Üretim Hızı (m/s)	10	11	12	10	10	10
Türbin Yüksekliğindeki Ortalama Rüzgar Hızı		4,7389	4,7389	4,7342	5,0207	4,7139	4,7139
Weibull	k	1,4410	1,4410	1,4484	1,5127	1,4536	1,4536
	c	4,9140	4,9140	4,9052	5,4228	4,8990	4,8990
Türbinlerin Hub Yüksekliğine Göre Hesaplanan Birim Alana Düşen Güç Yoğunlukları (W/m ²)		190,130	190,130	188,972	225,439	186,330	186,330
Ölçümlere Göre Üretilen Enerji (KWh)	Haziran	9.679	10.119	10.584	14.980	12.905	12.073
	Temmuz	12.407	12.642	10.835	18.055	14.607	13.122
	Ağustos	18.630	21.010	24.494	32.796	29.679	28.208
	Eylül	11.477	11.929	11.647	17.795	14.972	13.865
	Ekim	11.691	12.360	12.526	18.454	15.779	14.652
	Kasım	11.992	12.918	13.732	19.489	16.761	15.625
	Aralık	12.187	13.090	14.089	19.890	17.395	16.336
	Toplam Üretim	88.062	94.067	97.907	141.461	122.099	113.882
2016	Toplam Tüketim (KWh) Haziran-Aralık*	110.440	110.440	110.440	110.440	110.440	110.440
	FARK	-22.378	-16.373	-12.533	31.021	11.659	3.442

*Ölçüm yapılmayan 1-3 Haziran 2016 tarihlerinde tüketilen elektrik enerjisi hariç tutulmuştur.

7. TARTIŞMA VE SONUÇ

Kırklareli Üniversitesi Vize MYO'nun enerji ihtiyacını karşılanması amacıyla yapılan bu tez çalışması için 20 metre yükseklikteki okul binası çatısına kurulan ölçüm istasyonundan 15'er dakikalık arayla alınan verilerden yararlanılmıştır. Haziran 2016 – Aralık 2016 dönemleri arasında 22,5 metreden alınan veriler neticesinde aylık ve genel ortalama rüzgar hızı, güç yoğunluğu hesabı yapılmış ve Weibull parametreleri gibi istatistiki değerler hesaplanmıştır. 22,5 metrede alınan rüzgar verilerine göre genel ortalama rüzgar hızı 4,1 m/s olurken, ortalama güç yoğunluğu 123,06 W/m² olarak hesaplanmış. Ayrıca (genel türbin yükseliği) 37 metre yüksekliğe göre yapılan hesaplamalarda ortalama rüzgar hızı 4,7 m/s, ortalama güç yoğunluğu 190 W/m² olarak hesaplanmıştır.

36, 36,6, 37 ve 45 metre hub yüksekliğine sahip 6 farklı rüzgar türbini için hesaplamalar yapılmıştır. 22,5 metre yükseklikte alınan veriler bu yükseklikler için değerlendirilerek türbinlerin bu hızlardaki üretimleri hesaplanmıştır. Hava yoğunluğunun 1,225 kg/m³ olduğu kabul edilerek yapılan bu hesaplamalarda türbin modellerinin üçü gerekli enerji ihtiyacını karşılarken, üçü ise ihtiyaca cevap verememiştir. Haziran 2016-Aralık 2016 dönemine ait 7 aylık süreçte (Ölçüm yapılmayan 1-3 Haziran 2016 tarihlerinde tüketilen elektrik enerjisi hariç tutulmuştur.) Vize Meslek Yüksekokulunun tüketmiş olduğu elektrik enerjisi 110.440 KWh'tır. Northern NPS 50-24 rüzgar türbini 88.062 KWh, Northern NPS 60-24 rüzgar türbini 94.067 KWh, Polaris P21-100 rüzgar türbini 97.907 KWh, Polaris P25-100 rüzgar türbini 141.461 KWh, Norvento Ned 100-22 113.882 KWh, Norvento Ned 100-24 122.099 KWh elektrik enerjisi üretmiştir. Gerekli elektrik enerji miktarını karşıladığı hesaplanan üç rüzgar türbini göz önüne alındığında maliyet açısından daha düşük olacağı düşünülen ve enerji ihtiyacını karşılamada yeterli olduğu görülen Norvento Ned 100-22 veya Norvento Ned 100-24 modeli türbinlerden birinin seçilmesi uygun görülmüştür.

Yapılan ölçümler neticesinde; bölgenin rüzgar enerjisi potansiyelinin, ölçüm yapılan toplam dönemde Vize Meslek Yüksekokulunun ihtiyacını karşılamak için yeterli

olduğu tespit edilmiştir. Ancak günlük ve aylık bazda değerlendirme yapıldığında bazı gün ve aylarda ihtiyaçtan fazla üretim yapıldığı, bazı gün ve aylarda ise ihtiyacın karşılanamadığı görülmektedir. Bu nedenle dönemsel olarak ihtiyaçtan fazla elektrik üretimi yapıldığı zamanlarda fazla enerjinin şebekeye verilmesi ve yine dönemsel olarak enerji ihtiyacının karşılanamadığı dönemlerde ise ihtiyacın şebekeden karşılanması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Küçükkale İ.M., *Endüstri Devrimi ve Ekonomik Sonuçlarının Analizi*, sayı 2 (Güz). 1997, ss. 51–68.
- [2] Gürdal T., “Dumlupınar Üniversitesi Merkez Kampüs Elektrik Enerjisi İhtiyacının Rüzgar Enerjisi İle Karşılama Olasılığının İrdelenmesi”, *Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bil. Enst., Makine Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi*, s. 64, 2010.
- [3] Toklu M., “Rüzgar Enerjisi ve Elazığ Şartlarında Bir Rüzgar Santrali tasarımı”, *Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst., Elektrik Eğitimi ABD. Yüksek Lisans Tezi.*, s. 98, 2002.
- [4] Özcan İ., “Isparta İlinde Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi ve Bir Rüzgar Santrali Tasarımı”, *Süleyman Demirel Üni., Fen Bilimleri Enst. Makine Eğitimi ABD., Yüksek Lisans Tezi.*, s. 49, 2011.
- [5] Taşkın B., “Niğde İlinde Kurulabilecek Rüzgar Enerjisi Santralının Fiziksel ve Ekonomik Analizi”, *Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst., Fizik ABD. Yüksek Lisans Tezi.*, s. 95, 2013.
- [6] Şimşek V., “Rüzgar Enerjisi ve Sivas Şartlarında Bir Rüzgar Santrali Tasarımı”, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Müh. ABD Yüksek Lisans Tezi*, s. 105, 2007.
- [7] Terzi İ., “Tokat İli Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Değerlendirilmesi”, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst., Biyosistem Müh. ABD., Yüksek Lisans Tezi*, s. 90, 2014.
- [8] Talayoğlu S., “Denizli İlinin Tavas İlçesine Ait Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Hesaplanması ve Ekonomik Analizi”, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji ABD, Yüksek Lisans Tezi*, s. 125, 2010.
- [9] Artar H., “Gökçeada Rüzgar Enerji Potansiyelinin İncelenmesi ve Enerji Dönüşüm Analizi”, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Makina Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi*, s. 77, 2005.
- [10] Ete T., “Gevaş-Gürpınar Bölgesinin Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Saptanması”, *Yüzüncüyıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi.*, s. 74, 2010.
- [11] Ünveren Ç., “Wind Resource Assessment On The Campus Area Of Izmir Institute Of Technology: Use Of Multi Point Data Sources”, *Izmir Institute of Technology, Faculty of Engineering - Department of Mechanical Eng., Master of Science*, s. 120, 2010.
- [12] Yazar A.H., “Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar Kampüsünde Rüzgar Enerjisi Verimliliğinin İzlenmesi ve Elektrik Üretim potansiyelinin Araştırılması”, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği ABD., Yüksek Lisans Tezi*, s. 124, 2013.

- [13] F. Oral, “Sakarya-Esentepe Yöresi Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Yeni Bir Yaklaşımla Belirlenmesi”, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği ABD, Doktora Tezi*, s. 284, 2010.
- [14] Y. Yalçın, “İstanbul Terkos Bölgesi’nde Kurulması Planlanan Bir Rüzgar Enerjisi Santrali İçin Enerji Üretim Potansiyeli, Kurulum Maliyeti ve Geri Ödeme Süresinin Belirlenmesi”, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji ABD, Yüksek Lisans Tezi*, s. 159, 2010.
- [15] E. Demirci ve İ. Şenlik, “Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yerleşkesi Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Dönemsel Değerlendirilmesi”, *Endüstri ve Otomasyon Dergisi*, ss. 22–25, Kas-2009.
- [16] F. Köse ve M. Özgören, “Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Ölçümü ve Rüzgar Türbini Seçimi”, *Mühendis ve Makina*, c. 46, sayı 551, ss. 20–30, 2005.
- [17] S. Kucukali ve Ç. Dinçkal, “Wind energy resource assessment of Izmit in the West Black Sea Coastal Region of Turkey”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, c. 30, sayı May 2005, ss. 790–795, 2014.
- [18] T. Koç, “Ayvalık’ta Rüzgar Enerjisi Potansiyeli”, *Balıkesir Üniversitesi Sos. Bilim. Enstitüsü Derg.*, c. 1, sayı 2, ss. 1–18, 1998.
- [19] M. A. Özgür ve R. Köse, “Elektrik Enerjisi Üretimi İçin Dumlupınar Üniversitesi Rüzgar Enerji Potansiyelinin Analizi”, içinde *Türkiye 10. Enerji Kongresi*, 2006, c. 2, ss. 189–199.
- [20] S. Yayla, H. Yumak, ve A. Bayram, “Yüzüncü Yıl Üniversitesi Kampüs Alanının Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi”, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilim. Derg.*, c. 15, sayı 1, ss. 17–23, 2010.
- [21] A. C. Çetin, “Rüzgar Enerjisi ve Isparta İlinde Rüzgar Enerji Santral Kuruluş Yeri Seçimi”, *Uluslararası Davraz Kongresi Bildiriler Kitabı, V*, ss. 368–389, 2009.
- [22] M. Kurban, F. O. Hocoğlu, ve Y. Mert Kantar, “Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampüsündeki Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Önsel İstatistiksel Analizi”, *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknol. Derg.*, c. 8, sayı 1, ss. 199–206, 2007.
- [23] A. Albostan, L. Eren, ve Y. Çekiç, “Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi”, *ELECO 2008*, s. 4, 2008.
- [24] A. Kerem, Y. Atayeter, S. Görgülü, ve S. Salman, “Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İstiklal Yerleşkesi’nin Rüzgar Enerji Fizibilite Alt Yapısının Hazırlanması ve Uygulanması”, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, c. 5, sayı 1, ss. 18–24, 2014.
- [25] S. Gültutan, “Rüzgâr Enerjisi ve Gaziantep Koşullarında (500 kW Altı) Evsel İhtiyaçları Giderecek Rüzgar Türbin Tasarımı”, *TMMOB, Makina Mühendisleri Odası, Tesisat Mühendisliği Derg.*, sayı 133, ss. 53–58, 2013.
- [26] M. G. Özkaya, H. İ. Variyenli, ve S. Uçar, “Rüzgar Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretimi ve Kayseri İli İçin Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi”, *Cumhur. Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fen Bilim.*, c. 29, sayı 1, s. 20, 2008.
- [27] İ. Aydın, “Manisa Bölgesinde Verimlilik Amaçlı Ölçülen Rüzgar Yönlerinin Fizibilite Değerlendirmesi”, *Harit. Teknol. Elektron. Derg.*, c. 4, sayı 1, ss. 36–

44, 2012.

- [28] A. Dabbaghiyan, F. Fazelpour, M. D. Abnavi, ve M. A. Rosen, “Evaluation of wind energy potential in province of Bushehr, Iran”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, c. 55, ss. 455–466, 2016.
- [29] W. Werapun, Y. Tirawanichakul, W. Kongnakorn, ve J. Waewsak, “An assessment of offshore wind energy potential on Phangan Island by in southern Thailand”, içinde *Energy Procedia*, 2014, c. 52, ss. 287–295.
- [30] S. M. Boudia ve O. Guerri, “Investigation of wind power potential at Oran, northwest of Algeria”, *Energy Convers. Manag.*, c. 105, ss. 81–92, 2015.
- [31] Z. R. Shu, Q. S. Li, ve P. W. Chan, “Statistical analysis of wind characteristics and wind energy potential in Hong Kong”, *Energy Convers. Manag.*, c. 101, ss. 644–657, 2015.
- [32] H. D. Ammari, S. S. Al-Rwashdeh, ve M. I. Al-Najideen, “Evaluation of wind energy potential and electricity generation at five locations in Jordan”, *Sustain. Cities Soc.*, c. 15, ss. 135–143, 2015.
- [33] Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, *Enerji Raporu 2013*. 2014.
- [34] O. Türkyılmaz, “Ocak 2015 İtibarıyla Türkiye’nin Enerji Görünümü Raporu”, *TMMOB, Makina Mühendisleri Odası Bülten Eki*, sayı 200, s. 20, 2015.
- [35] British Petroleum, “BP Statistical Review of World Energy, June 2015”, *Nucl. Energy*, sayı June, s. www.bp.com/statisticalreview, 2015.
- [36] Türkiye Petrolleri, “2014 Yılı Ham Petrol ve Doğal Gaz Sektör Raporu (Mayıs 2015)”, *T.C. Enerj. ve Tabii Kaynaklar Bakanl.*, s. 58, 2015.
- [37] “IEA: ‘Dünyada ikinci elektrik üretim kaynağı güneş ve rüzgâr enerjisi’”, 2015. [Çevrimiçi]. Available at: <http://enerjienstitusu.com/2015/09/01/iea-dunyada-ikinci-elektrik-uretim-kaynagi-gunes-ve-ruzgar-enerjisi/>. [Erişim: 19-Haz-2016].
- [38] “T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü”, 2016. [Çevrimiçi]. Available at: <http://www.eie.gov.tr/anasayfa.aspx>. [Erişim: 19-Haz-2016].
- [39] “Türkiye Elektrik İletim A.Ş.”, 2016. [Çevrimiçi]. Available at: <http://www.teias.gov.tr/TurkiyeElektrikIstatistikleri.aspx>. [Erişim: 19-Haz-2016].
- [40] E. Koç ve M. C. Şenel, “Dunyada ve Turkiyede Enerji Durumu-Genel Değerlendirme”, *Muhendis ve Makina*, c. 54, sayı 639, ss. 32–44, 2013.
- [41] Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, “Bülten Mart-Nisan 2015”, sayı 7, 2015.
- [42] “Electric power consumption (per capita)”, 2016. [Çevrimiçi]. Available at: http://data.un.org/Data.aspx?d=WDI&f=Indicator_Code%3AEG.USE.ELEC.KH.PC. [Erişim: 19-Haz-2016].
- [43] İ. Yılmaz, M. İlbaş, ve Ş. Su, “Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Değerlendirilmesi”, *Yeni ve Yenilenebilir Enerj. Kaynakları Sempozyumu, TMMOB*, ss. 399–401, 2003.
- [44] “T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı”, 2016. [Çevrimiçi]. Available at: <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Anasayfa>. [Erişim: 19-Haz-2016].

- [45] M. A. Pekin, “Ulaştırma Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonu”, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi*, s. 113, 2006.
- [46] M. C. Şenel, “Rüzgar Türbinlerinde Güç İletim Mekanizmalarının Tasarım Esasları-Dinamik Davranış”, *Ondokuzmayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi*, s. 202, 2012.
- [47] F. DİNÇER, “Türkiye’de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi Potansiyeli - Ekonomik Analizi ve AB Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Değerlendirme”, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Derg.*, c. 14, sayı 1, ss. 8–17, 2011.
- [48] International Energy Agency IEA, “Solar Photovoltaic Energy”, *Technol. Roadmap*, s. 60, 2014.
- [49] International Energy Agency IEA, “2014 Snapshot of Global PV Markets”, ss. 1–16, 2015.
- [50] G. Koçar, “Biyokütle Enerji Teknolojileri dersi sunumu”, *Ege Üniversitesi Güneş Enerji Enstitüsü*, 2014.
- [51] “About bioenergy”, *IEA*. [Çevrimiçi]. Available at: <https://www.iea.org/topics/renewables/subtopics/bioenergy/>. [Erişim: 20-Haz-2016].
- [52] M. A. Özgür, “Kütahya Rüzgar Karakteristiğinin İstatistiksel Analizi ve Elektrik Üretimine Uygulanabilirliği”, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği ABD Doktora Tezi*, s. 298, 2006.
- [53] F. Süzek, “Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi”, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi*, s. 127, 2007.
- [54] Beaufort Rüzgar Skalası, “Meteoroloji Genel Müdürlüğü”, 2016. [Çevrimiçi]. Available at: <http://www.mgm.gov.tr/files/genel/sss/beaufort.pdf>. [Erişim: 20-Haz-2016].
- [55] K. Başaran, N. Çetin, ve H. Çelik, “Rüzgar-Güneş Hibrit Güç Sistemi Tasarımı ve Uygulaması”, *6. International Advanced Technologies Symposium*, ss. 114–119, 2011.
- [56] A. Özdamar, “Farklı Anma Güçlü Rüzgar Türbinlerinin Çeşitli Kriterlere Göre Karşılaştırılması”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilim. Derg.*, c. 7, sayı 1, ss. 17–27, 2001.
- [57] A. A. AKKAŞ, “Rüzgar Enerjisi Sistemlerinin Performans Değerlendirmesi”, *Rüzgar Enerji Sempozyumu*, sayı April, ss. 75–84, 2001.
- [58] L. J. Vermeer, J. N. Sørensen, ve A. Crespo, “Wind turbine wake aerodynamics”, *Prog. Aerosp. Sci.*, c. 39, sayı 6–7, ss. 467–510, 2003.
- [59] İ. Çolak ve M. Demİrtaş, “Rüzgâr Enerjisinden Elektrik Üretiminin Türkiye’deki Gelişimi”, *TUBAV Bilim Derg.*, c. 1, sayı 2, ss. 55–62, 2008.
- [60] V. ÖĞÜT, “Rüzgar Hızının Sinirsel Bulanık Yöntemle Tahmini”, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi*, s. 117, 2014.

- [61] K. Üzüm, “Yeni Nesil Teknoloji Kullanarak Küçük Güçlü Rüzgar Türbini Tasarım ve Bilgisayar Destekli Analizi”, *Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi*, s. 128, 2015.
- [62] İ. Şahin, “Bir Savoniuia Rüzgar Türbininin Performansının Sayısal İncelenmesi ve İyileştirilmesi”, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi*, s. 128, 2015.
- [63] S. Yanık, “Rüzgar Türbininde Rotor Tasarımı ve Analizi”, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi ABD. Yüksek Lisans Tezi*, s. 91, 2009.
- [64] H. İ. Karadağ, “Yenilenebilir Enerji Kaynakları Arasında Rüzgar Enerjisinin Önemi ve Rüzgar Türbini Tasarımı”, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği ABD Yüksek Lisans Tezi*. s. 142, 2009.
- [65] Ö. Ömeroğlu, “Yatay Eksenli Rüzgâr Türbini Dizaynında Kule Boyu, Çark Çapı ve Kanat Profili Seçiminin Analizi ve Eskişehir İli İçin Bir Uygulama”, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği ABD Yüksek Lisans Tezi*, s. 95, 2012.
- [66] N. Nurbay ve A. Çınar, “Rüzgar Türbinlerinin Çeşitleri ve Birbirleriyle Karşılaştırılması”, *III. Yenilenebilir Enerji. Kaynakları Sempozyumu*, ss. 164–168, 2005.
- [67] U. Elibüyük ve İ. Üçgül, “Rüzgâr Türbinleri, Çeşitleri ve Rüzgâr Enerjisi Depolama Yöntemleri”, *Yekarum e-Dergi*, c. 2, sayı 3, s. 14, 2014.
- [68] D. Keleş, “Bir Rüzgar Türbini Tasarımı ve Geliştirilmesi”, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi ABD, Yüksek Lisans Tezi*, s. 112, 2012.
- [69] A. B. Atlıhan, “Rüzgar Enerjisi ve Darrieus Rüzgar Çarklarının İncelenmesi”, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği ABD, Doktora Tezi*, s. 95, 2006.
- [70] Siemens, “Siemens SWT-3-6-107 Wind Turbine brochure”, 2016. [Çevrimiçi]. Available at: <http://www.energy.siemens.com/hq/en/renewable-energy/wind-power/platforms/g4-platform/wind-turbine-swt-3-6-107.htm>. [Erişim: 21-Haz-2016].
- [71] “Yatay Eksenli Üç Kanatlı Rüzgar Türbinleri”, 2016. [Çevrimiçi]. Available at: <http://www.muhendisbeyinler.net/yatay-eksenli-uc-kanatli-ruzgar-turbinleri/>. [Erişim: 21-Haz-2016].
- [72] Global Wind Energy Council - GWEC, “Global Wind Reports”, 2016. [Çevrimiçi]. Available at: <http://www.gwec.net/publications/global-wind-report-2/>. [Erişim: 21-Haz-2016].
- [73] C. İlkılıç, “Türkiye’de Rüzgar Enerjisi Potansiyeli ve Kullanımı”, *Mühendis ve Makina*, c. 50, sayı 593, 2009.
- [74] M. Çalışkan, “Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyeli”, *Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü ve Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TÜREB)-Rüzgar Enerjisi Semineri*, 2010. [Çevrimiçi]. Available at: http://www.mgm.gov.tr/FILES/haberler/2010/rets-seminer/2_Mustafa_CALISKAN_RITM.pdf. [Erişim: 21-Haz-2016].

- [75] TUREB, “Türkiye Rüzgar Enerjisi Raporu Ocak 2016”, 2016. [Çevrimiçi]. Available at: http://www.tureb.com.tr/files/bilgi_bankasi/turkiye_res_durumu/2016_turkiye_ruzgar_enerji_istatistik_raporu_ocak_2016.pdf. [Erişim: 21-Haz-2016].
- [76] “Fiziki ve Kültürel Yapı-Kırklareli”, *Kırklareli Belediye Başkanlığı*. [Çevrimiçi]. Available at: http://www.kirklareli.bel.tr/site/index.php?md=dinamik_sayfa&id=16. [Erişim: 21-Haz-2016].
- [77] S. Dursun, “Biyokütle-Rüzgar-Güneş Hibrit Güç Üretim Sistemi Kullanılarak Kırklareli Üniversitesi Kayalı Yerleşkesinin Tekno-Ekonomik Açından Değerlendirilmesi”, *Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji sistemleri Mühendisliği ABD Yüksek Lisans Tezi*, s. 145, 2016.
- [78] A. Şenkal, N. S. Çetin, ve G. Edaş, “Türkiye’de Kurulu Olan Büyük Güçlü Rüzgar Santrallerinin Kapasite Faktörlerine Genel Bir Bakış”, *Ege Bölgesi Enerj. Forumu*, ss. 40–45, 2009.
- [79] M. Durak, “Rüzgar Ölçümlerinde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar”, *Meteoroloji Mühendisliği Dergisi*, 2005.
- [80] “Rüzgar Ve Güneş Enerjisine Dayalı Önlisans Başvuruları İçin Yapılacak Rüzgar ve Güneş Ölçümleri Uygulamalarına Dair Tebliğ”, *Mevzuat Bilgi Sistemi*, 2014. [Çevrimiçi]. Available at: <http://mevzuat.basbakanlik.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=9.5.19796&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=R%C3%BCzgar ve G%C3%BCne%C5%9F Enerjisine Dayal%C4%B1 %C3%96nlisans Ba%C5%9Fvurular%C4%B1 %C4%B0%C3%A7in Yap%C4%B1lacak R%C3%BCzgar ve G%C3%BCne%C5%9F %C3%96>. [Erişim: 21-Haz-2016].
- [81] F. Oral ve R. Behçet, “Rüzgâr Verilerinin Enerji Üretimi Amaçlı Değerlendirilmesi”, *Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Bilim. Derg.*, c. 4, sayı 2, ss. 173–182, 2015.
- [82] E. Bağcı ve Y. Güzelsoy, “Rüzgar Ölçüm İstasyonlarında Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar ve Örnek Bir Çalışma: Balıkesir-Edremit’te Rüzgar Ölçüm İstasyonu Kurulumu”. 2009.
- [83] “Vize Coğrafi Özellikleri”, *Vize Belediye Başkanlığı*. [Çevrimiçi]. Available at: <http://www.vize.bel.tr/Cografı-Ozellikler.html>. [Erişim: 22-Haz-2016].
- [84] “Vantage Pro2 Plus Kablolulu/Kablosuz Meteoroloji İstasyonu”, *Teknik Grup Davis Instruments Türkiye Yetkili Distribütörü*. [Çevrimiçi]. Available at: <http://www.davis-tr.com/Istasyonlar.html>.
- [85] Y.A.Kaplan, “Rayleigh ve Weibull Dağılımları Kullanılarak Osmaniye Bölgesinde Rüzgar Enerjisinin Değerlendirilmesi”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimler Dergisi, Cilt 20, Sayı 1*, 62-71, 2016.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Ziya KAYI

Doğum Yeri ve Tarihi: Ahmetçe/TEKİRDAĞ 12.06.1983

E-Posta: ziya.kayi@klu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans: 2007, Kocaeli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik Öğretmenliği
Bölümü