

T.C.
SİNOP ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİSİPLİNLERARASI NÜKLEER ENERJİ SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SİNOP'TA RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI

YAZAR
MEHMET EMİN ÖZTÜRK

DANIŞMAN
Doç. Dr. MURAT SARIKAYA

SİNOP-2021

TEZ KABUL

Mehmet Emin ÖZTÜRK tarafından hazırlanan “Sinop’ta Rüzgâr Enerjisi Potansiyelinin Araştırılması” başlıklı bu çalışma, 25/02/2021 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak, jürimiz tarafından **YÜKSEK LİSANS tezi** olarak kabul edilmiştir.

Başkan	Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Kemal BALKİ Sinop Üniversitesi / Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi	İmza
Üye	Doç. Dr. Murat SARIKAYA Sinop Üniversitesi / Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi	İmza
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Çağrı Vakkas YILDIRIM Erciyes Üniversitesi / Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi	İmza

ETİK BEYANI

Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mehmet Emin ÖZTÜRK

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER	iv
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
TEŞEKKÜR	xiii
1.1.GİRİŞ	1
2. ENERJİ	3
2.1. Enerji Kaynakları ve Çeşitleri	4
2.1.1. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları	4
2.1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	4
2.1.2.1. Güneş Enerjisi	5
2.1.2.2. Hidrolik Enerjisi	6
2.1.2.3. Hidrojen Enerjisi	6
2.1.2.4. Biyokütle Enerjisi	7
2.1.2.5. Biyogaz Enerjisi	7
2.1.2.6. Jeotermal Enerji	8
2.1.2.7. Rüzgar Enerjisi	8
3. DÜNYA'DA RÜZGAR ENERJİSİ	12
4. TÜRKİYE'NİN ENERJİ DURUMU	14
4.1. Türkiye'nin Rüzgar Enerjisi Potansiyeli	16
4.2. Türkiye'nin Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası	21
4.3. Türkiye'deki Kurulu Rüzgar Santralleri	23
5. RÜZGAR TÜRBİNLERİ	28
5.1. Rüzgar Türbini Çeşitleri	31
5.1.1. Dönme Eksenlerine Göre Rüzgar Türbini Çeşitleri	31
5.1.1.1. Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri	32
5.1.1.2. Düşey(Dikey) Eksenli Rüzgar Türbinleri	33
5.1.1.3. Eğik Eksenli Rüzgar Türbinleri	35
5.1.2. Kanat Sayılarına Göre Rüzgar Türbini Çeşitleri	35
5.1.2.1. Tek Kanatlı Rüzgar Türbinleri	35

5.1.2.2. Çift Kanatlı Rüzgar Türbinleri	35
5.1.2.3. Üç Kanatlı Rüzgar Türbinleri	36
5.1.2.4. Çok Kanatlı Rüzgar Türbinleri	36
5.1.3. Rüzgarın Gelme Yönüne Göre Rüzgar Türbini Çeşitleri	37
5.1.3.1. Rüzgarı Önden Alan Rüzgar Türbinleri	37
5.1.3.2. Rüzgarı Arkadan Alan Rüzgar Türbinleri	38
5.1.4. Maksimum Güçlerine Göre Rüzgar Türbini Çeşitleri	38
5.1.5. Dişli Kutusuna Göre Rüzgar Türbini Çeşitleri	39
5.1.5.1. Dişli Kutusu Bulunduran Rüzgar Türbinleri	39
5.1.5.2. Dişli Kutusu Bulundurmayan Rüzgar Türbinleri	40
5.2. Rüzgar Enerjisi Santrali(RES) Maliyetleri	41
5.2.1. Rüzgar Türbini Fiyatları	41
5.2.2. Rüzgar Türbininin Kurulum Maliyetleri	41
5.2.3. İşletme ve Bakım Masrafları	41
5.2.4. Lisanslı Rüzgar Enerjisi Santrallerinden Ve Lisansız Rüzgar Enerjisi Santrallerinden Elektrik Üretimi Teşviki	41
5.3. Rüzgar Türbinlerinin Karşılaştırılması	43
5.4. Yatay Eksenli Rüzgar Türbini Kanatları	45
5.4.1. Kanat Profili(Aerofoil)	47
5.4.2. Kanat Bileşenleri	49
5.5. Kanat Katı Modellemesi	51
5.6. Kanat Tasarımında Kullanılan Malzemeler	55
5.7. Kanat İmalatı	57
5.7.1. El Yatırma Yöntemi	57
5.7.2. Vakum Torbalama Yöntemi	57
5.7.3. Vakum İnfüzyon Yöntemi	58
6. LİTERATÜR ÖZETİ	60
7. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	63
7.1. İstasyon Yeri.....	63
7.2. Sinop İli Rüzgar Verilerinin Belirlenmesi.....	63
7.3. Verilerin Analizi.....	64
9. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	72
KAYNAKÇA.....	74
ÖZGEÇMİŞ.....	78

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

SEMBOLLER

λ	Hız oranı
C	Santim
Cm	Santimetre
cm ³	Santimetreküp
CO ₂	Karbondioksit
G	Gram
GWh	Gigawatt
Kg	Kilogram
Km	Kilometre
kN	Kilonewton
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt saat
m	Metre
m ²	Metrekare
max	Maksimum
mm	Milimetre
mm ²	Milimetrekare
MW	Megawatt
N	Newton
N _n	Nominal güç
PVC	Polivinil klorür
rpm	Dakikadaki devir sayısı
TWh	Terawatt
W _n	Nominal açısal hız
W	Watt

KISALTMALAR

AB	Amerika Birleşik
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CRS	Common Reporting Standart
ÇED	Çevresel Etki Değerlendirmesi
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
FAHP	Bulanık Analitik Hiyerarşi Metodu
HES	Hidroelektrik Santrali
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MTOE	Ton Eşdeğer Petrol
NACA	Havacılık Alanında Ulusal Danışma Komitesi
OECD	İktisadi İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı
PET	Pozitron Emisyon Tomografisi
REPA	Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası
RES	Rüzgâr Enerji Santrali
RGİ	Rüzgâr Enerjisi Gözlem İstasyonları
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
YE	Yenilenebilir Enerji
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

ŞEKİLLER

Şekil 2.1. Rüzgâr türbinlerinde mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüşüm adımları.....	10
Şekil 2.2. Türkiye'nin ilk rüzgar türbini(Alize Çeşme Santrali)	11
Şekil 3.1. Dünya'nın teknik rüzgar potansiyeli dağılımı	13
Şekil 4.1. Türkiye birincil enerji tüketiminin dağılımı	14
Şekil 4.2. Türkiye'nin enerji tüketiminin kaynaklar bazında dağılımı	15
Şekil 4.3. Toplam elektrik üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı.....	16
Şekil 4.4. Yıllara göre Türkiye'de rüzgar enerjisi santralleri kurulu gücü	18
Şekil 4.5. Yıllık ortalama rüzgâr hızının 30 metre yükseklikteki değerleri.....	18
Şekil 4.6. Çanakkale Bozcaada rüzgar santrali	19
Şekil 4.7. Türkiye'de rüzgar enerjisinin dağılımı	20
Şekil 4.8. Türkiye'de rüzgar enerjisinin illere göre dağılımı	20
Şekil 4.9. Türkiye rüzgar enerjisi potansiyel atlası(REPA)	22
Şekil 4.10. Türkiye'deki rüzgar enerjisi santralleri	24
Şekil 4.11. Yıllık ortalama rüzgar hızlarının 50 metre yükseklikteki değerleri.....	25
Şekil 4.12. Yıllık ortalama rüzgar güç yoğunluğunun 50 metre yükseklikteki değerleri.....	26
Şekil 4.13. Yıllık ortalama rüzgar hızlarının 100 metre yükseklikteki değerleri.....	26
Şekil 4.14. Yıllık ortalama rüzgâr güç yoğunluğunun 100 metre yükseklikteki değerleri.....	27
Şekil 5.1. Rüzgar türbini parçaları	28
Şekil 5.2. Rüzgar türbini ekipmanları yerleşimi	29
Şekil 5.3. Yatay ve dikey eksenli rüzgar türbinlerinin bileşenlerinin yerleşimi	30
Şekil 5.4. Rüzgar türbinlerinin sınıflandırılması	31
Şekil 5.5. Yatay eksenli rüzgar türbini şeması	32
Şekil 5.6. Yatay eksenli rüzgar türbinlerinden oluşan RES	32
Şekil 5.7. Dikey eksenli rüzgar enerjisi türbinleri	33
Şekil 5.8. Darrieus tipi rüzgar türbinleri	34
Şekil 5.9. Savonius tipi rüzgar türbini	34

Şekil 5.10. Eğik eksenli rüzgar türbini	35
Şekil 5.11. Çok kanatlı rüzgar türbinleri (rüzgargülleri)	37
Şekil 5.12. Rüzgarı önden alan rüzgar türbinleri	38
Şekil 5.13. Rüzgarı arkadan alan rüzgar türbinleri	38
Şekil 5.14. Rüzgar türbininde dişli kutusunun yerleşimi	39
Şekil 5.15. Deniz üstü rüzgar türbinleri (Offshore)	40
Şekil 5.16. Rüzgar enerjisi çiftliği	42
Şekil 5.17. Yatay eksenli rüzgar türbin kanadı, bölgeleri ve kanat kesit	46
Şekil 5.18. Kanadı oluşturan kesit profilleri	47
Şekil 5.19. Havanın aerofoil etrafındaki hareketi ve kaldırma kuvveti oluşturma	48
Şekil 5.20. NACA aerofoil serisindeki büyüklükleri	48
Şekil 5.21. Rüzgar türbin kanat bileşenleri ve montajı	50
Şekil 5.22. Kanatta kullanılan giriş yapıları	50
Şekil 5.23. Yatay eksenli rüzgar türbin kanadı büyüklükleri	51
Şekil 5.24. Kanat tasarımı için belirlenen istasyon noktaları	53
Şekil 5.25. Kanat katı modeli	54
Şekil 5.26. İç destek elemanı(spar) boyutları ve katı modeli	54
Şekil 5.27. Modern rüzgar türbin kanadı	56
Şekil 5.28. Vakum torbalama yöntemi	58
Şekil 5.29. Vakum infüzyon yöntemi	59
Şekil 6.1. Veri alınan noktanın uydu görüntüsü	61
Şekil 7.1. Sinop Meteoroloji İstasyonu ölçüm cihazı(İHA).....	63
Şekil 7.2. 1988-2019 yılları arası hakim rüzgar yönlerine göre esme sayısı.....	64
Şekil 7.3. 1988-2019 yılları arası aylara göre ortalama kuvvetli rüzgarlı gün sayısı.....	65
Şekil 7.4. 1988-2019 yılları arası max. ortalama hız sayısının aylara göre dağılımı.....	66
Şekil 7.5. 1988-2019 yılları arası ortalama rüzgar hızları.....	67
Şekil 7.6. Çanakkale ili ortalama rüzgar hızları.....	67

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. Ülkelere göre enerji ticaret hacminin dağılımı	13
Tablo 4.1. Türkiye’deki rüzgar istasyonlarında hava istasyonları tarafından ölçülen bazı yerler	21
Tablo 4.2. Türkiye’nin rüzgar enerjisi potansiyeli	22
Tablo 4.3. Türkiye’de enerji türünün dağılımı	23
Tablo 4.4. Rüzgar enerjisi santralleri profili	24
Tablo 4.5. Talep tahmini referans(Baz) Talep	25
Tablo 5.1. Büyük rüzgar türbinleri ile küçük rüzgar türbinlerinin karşılaştırılması	43
Tablo 5.2. Rüzgar alışı yönüne göre türbinlerin karşılaştırılması	43
Tablo 5.3. Kanat çeşitlerine göre türbinlerin karşılaştırılması	44
Tablo 5.4. Onshore ve offshore rüzgar santrallerinin karşılaştırılması	45
Tablo 5.5. Çeşitli NACA aerofoil kodları	49
Tablo 5.6. D49 kanadının teknik özellikleri	52
Tablo 5.7. Modellenen kanadın tasarım parametreleri	53
Tablo 5.8. Rüzgar türbin kanat malzemelerin rijitlik ve mukavemet parametreleri	55

ÖZET

SİNOP'TA RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI

Günümüzde nüfusta yaşanan artış ve ilerleyen sanayileşme ile birlikte enerji ihtiyacı artmış ve yeni, temiz enerji kaynaklarının kazanılmasına yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Bu sebepten dolayı hem çevre dostu hem ekonomik olan yenilenebilir enerji kaynaklarına talep artmıştır. Fosil yakıtların yarattığı çevre kirliliği ve sera etkisini azaltmak için yenilenebilir enerji kaynakları insanlık için büyük önem kazanarak vazgeçilemez bir enerji kaynağı olarak hayatımızda yerini almıştır. İlk olarak enerji ve enerji kaynakları ile ilgili kısa bilgilerin yer aldığı bu çalışmada, yenilenebilir (ikincil) enerji kaynaklarından biri olan rüzgâr enerjisi ayrıntılı olarak ele alınmış ve Sinop'un rüzgâr enerjisi potansiyeli araştırılmıştır. Ayrıca, olası bir rüzgâr enerjisi santrali(RES) kurulumuna yönelik bir araştırma yapılmıştır. Sonuç olarak, Sinop'ta ölçülen ortalama rüzgâr hızının Türkiye'de mevcut çalışır durumda olan santrallerin bölgesinden ölçülen rüzgâr hızlarına oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir. Dahası, rüzgâr hızı ölçümlerinin yapıldığı istasyonun konumu dikkate alındığında bu değerlerin diğer santrallerin değerlerine daha fazla yaklaşacağı veya geçeceği düşünülmektedir. Bu durum Sinop'un rüzgâr enerjisi potansiyelini gözler önüne sermiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Rüzgâr enerjisi, Yenilenebilir enerji, Rüzgâr enerji santrali.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF WIND ENERGY POTENTIAL IN SINOP (TURKEY)

Today, with the increase in population and progressive industrialization, the need for energy has increased and efforts to gain new and clean energy resources have gained momentum. For this reason, the demand for renewable energy sources, which are both environmentally friendly and economical, has increased. In order to reduce the environmental pollution and greenhouse effect caused by fossil fuels, renewable energy resources have gained great importance for humanity and have taken their place in our lives as an indispensable energy source. In this study, which includes brief information about energy and energy resources, wind energy, one of the renewable (secondary) energy resources, was discussed in detail and the wind energy potential of Sinop city was investigated. In addition, a research was carried out for a possible wind power plant (WPP) installation. Consequently, the measured ambient wind speed Sinop Turkey are found to be very close to the wind speed measured from the present running of the plant. Moreover, considering the location of the station where wind speed measurements are made, it is thought that these values will approach or exceed the values of other power plants. This situation has revealed Sinop's wind energy potential.

Keywords: Energy, Renewable energy, Wind energy, Wind energy plant.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda değerli bilgi, tecrübe ve birikimleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Murat SARIKAYA; ilgisini, desteğini ve sonsuz sevgisini esirgemeyen sevgili aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Mehmet Emin ÖZTÜRK

1. GİRİŞ

En temel anlamıyla iş yapabilme gücü olarak tanımlanan enerji; insan yaşamında hem tüketim hem de üretim için gerekli eşsiz bir kaynaktır. Odun, kömür, petrol, nükleer enerji vb. zaman içerisinde yararlanılmış olan enerji kaynaklarıdır. Bilim ve teknolojinin gelişmesi yeni kaynakların bulunmasına zemin hazırlamış ve enerji alanında büyük gelişmelerin kat edilmesini sağlamıştır (Akova, 2016).

Enerji, insanlık için büyük önem teşkil etmektedir. Ülke ve dünya genelinde gelişmenin ve ilerlemenin bir göstergesidir. Sanayileşmenin yanı sıra insanlık içinde vazgeçilmez bir unsurdur. Enerjinin öneminden anlaşılacağı üzere, ülkeler ihtiyaç duyduğu bu enerjiyi sağlayacak kaynaklar için tam bir yarış halindedirler. Enerji kaynaklarının tükenebilir oluşu ülkeleri, hem verimli ve hem de çevreci kaynaklara yönelterek enerji ithalatından kurtulmak için büyük bir arayışa sürüklemektedir. Nüfus artışı ile birlikte de bu önem katbekat artmıştır. Enerji kaynağı olarak kullanımda en büyük payı fosil yakıt olan kömür, petrol ve doğalgaz almaktadır. Bu kaynakların tükenmeye başlaması ve çevreye olan azımsanamayacak zararlı etkilerinden ötürü yeni kaynak arayışları başlamıştır. Bu arayışlar neticesinde doğal ve yenilenebilir kaynaklar bulunmuş ve insanlığa kazandırılmak üzere çalışmaları başlamıştır.

Doğal süreçlerden yararlanılarak enerji temininde yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmaktadır. Günümüz ve gelecek nesiller için temiz, sağlıklı, verimli kaynaklar olarak karşımıza çıkan bu tükenmez kaynaklar insanlık için vazgeçilmez öneme sahiptir. Oluşumu yıllar süren yenilenemez enerji kaynaklarını riske atmadan enerji üretilmesine olanak sağlayan güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi gibi kaynaklar ile enerji temini sağlanmaktadır. Bu enerji türlerinin ülke kalkınması başta olmak üzere çevreci oluşu, yerli kaynak gelişimini sağlaması, dışa bağımlılığı azaltması, yeni iş istihdamı sağlaması gibi birçok faydası bulunmaktadır (Anonim, 2018a).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında rüzgâr enerjisi gelmektedir. Yeryüzü farklı sıcaklık, nem ve basınca sahiptir. Bu farklılıklar neticesinde rüzgâr meydana gelmektedir. Rüzgâr bünyesinde barındırdığı güçle birlikte potansiyel bir enerji kaynağını oluşturmaktadır. Hava akımının sahip olduğu hareket enerjisi rüzgâr enerjisi olarak tanımlanan tükenmez bir enerji kaynağıdır. Ülkemiz de rüzgâr enerjisinden faydalanmak için birçok ilde rüzgâr türbini santrali kurmuş ve enerji üretimine başlamıştır. Geçmişten günümüze rüzgâr enerjisi üretimi için birçok farklı türbin kullanılmıştır. Bu türbinlerin kullanım amaçları da türbin çeşitleri gibi farklılıklar gösterebilmektedir. Başta tarım

ürünlerini öğütmek, su pompalamayı sağlamak için kullanılırken yıllar geçtikçe elektrik üretimi içinde tercih edilmeye başlanmıştır (Anonim, 2019).

Ülkemizde hidroelektrik santralinden sonra elektrik üretiminde kullanılan bir diğer kaynaktan rüzgâr enerji santralleridir. Bu bağlamda ülkemizin birçok şehrinde bu kaynaktan yararlanmak için santraller kurulmuştur. Santral kurulan şehirlerin yanı sıra Sinop'ta rüzgâr enerjisi bakımından elverişli koşullara sahiptir (Alcan, 2017).

Bu çalışmada Sinop iline ait rüzgâr verilerinden yararlanarak rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi potansiyeli araştırılmıştır. Bu kapsamda, Sinop Meteoroloji Müdürlüğü'nden temin edilen verilerden de yararlanılarak rüzgâr enerjisi potansiyeli incelenerek analiz edilmeye çalışılmıştır. Bu incelemeler sırasında ilk olarak enerji ele alınmış yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde durulmuştur. Akabinde rüzgâr enerjisinin Dünya ve Türkiye'deki durumu incelenmiş; rüzgâr türbin çeşitlerinden, yatay eksenli rüzgâr türbinleri ve verimlilikten bahsedilerek amaca uygun türbin seçiminin önemi vurgulanmıştır. Son bölümde ise, Sinop iline en uygun olan türbini seçimi ve Sinop rüzgâr enerjisi potansiyeli araştırılmış ve sonuçlar bu çalışma içerisinde sunulmuştur.

2. ENERJİ

Türkçede karşılığı “erke” olan ve hareket ettirici güç olarak nitelendirilen enerji; hayatımızın her alanında ihtiyaç duyduğumuz bir unsurdur. Üretimden tüketime insanlık için olmazsa olmaz bir özellik taşımaktadır. İnsanlığın varoluşundan beri ihtiyaç duyulan bu enerji yıllar içerisinde değişiklik göstererek temin edilmiş ve insanlığa sunulmuştur. İlk yıllarda ve yakın bir tarihe kadar enerji fosil kaynaklı olan kömür, petrol ve doğal gazdan elde edilirken bu kaynaklarda oluşabilecek tükenme riski insanları yeni kaynak arayışına sürüklemiştir. Bu kaynaklardaki tükenmenin yanı sıra çevreye verdikleri zarar da bu arayışın önemli sebeplerinden biridir (Anonim,2018b).

Günlük hayatta enerji bakımından güvenli ve erişilebilir arz neredeyse tüm faaliyetlerin sürdürülebilirliği için önemlidir. Bununla birlikte, bugün dünyada küresel enerji tüketiminin%85'i kömür, doğal gaz ve yağlar gibi fosil esaslı yakıtlarla karşılanmaktadır (British Petrol 2018). Bazı ülkeler fosil kaynaklı enerji kaynaklarına alternatif aramaya başlamışlardır. Özellikle geçmişte yaşanmış olan enerji krizlerinden sonra fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmak için enerji politikaları oluşturmuşlar ve bunları hayata geçirmişlerdir. Ayrı, kendi enerjileri ihtiyaçlarını güvenli bir şekilde sağlamak adına yeni politikalarda gelişmeye devam etmektedirler.

Fosil yakıtların yanması yerel hava kirleticilerine (özellikle partiküller, ozon, kükürt dioksit, nitrojen oksitler ve metan) ve küresel olarak sera gazları (Haines ve diğerleri 2006) oluşumuna sebep olduğu için birçok insanın sağlığının bozulmasına ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. Sonuç olarak fosil yakıtların yanmasından kaynaklanan bu kirleticiler hem insanların hayatını hem de dünyanın ekolojik dengesini tehdit etmektedir (Ağbulut ve Bakır, 2019). Dünya çapında kentleşme ve ekonomik gelişmelere paralel milyonlarca insan, gezegenimizin ekosistemlerini ve kaynaklarını sürdürülebilir bir şekilde yönetmemiz gerektiğinin farkına varmaya başlamıştır. Bu farkındalık, başta elektrik olmak üzere, enerjinin kullanımı ve üretim yöntemleri hakkındaki endişelerin artmasında sürdürülebilir bir şekilde önemli bir rol oynamaktadır. Elektrik üretmek için birçok enerji kaynağı vardır ve bu enerji kaynakları temelde kömürdür. Yenilenebilir kaynaklar, doğal gaz, güneş enerjisi, dalga enerjisi vb. gibi kaynaklar daha küçük bir yüzdeye sahiptir(Ağbulut, 2019). Günümüzde, enerji politikalarının amacı enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve bu kaynakların mantıklı yöntemlerle insanların kullanımına sunulmasıdır. Yenilenemez enerji kaynaklarının gerek üretim gerekse tüketim aşamasında çevreye verdiği zararlardan dolayı kaynak çeşitliliği arttırmak zorunluluk haline gelmiştir.

Günümüzde ülkeler enerji politikalarını geliştirerek enerji ithalatının önüne geçip ihracatı hedeflemektedirler. Enerjinin pahalı oluşu, iklimsel değişiklik, insanların bilinçlenmesi ve çevresel farkındalık, dünyanın artan enerji talebi ve artan talebin karşılanmada zorluk çekileceği öngörüsü ülkelerin enerji alanında kaygılanmasına sebep olmaktadır.

2.1. Enerji Kaynakları ve Çeşitleri

Enerji kaynakları, ikiye ayrılmaktadır. Bunlar; yenilenemeyen enerji kaynakları diğer ismiyle birincil enerji kaynakları ve yenilenebilen enerji kaynakları diğer ismiyle ikincil enerji kaynaklarıdır. Aşağıda sırasıyla yenilenemeyen ve yenilebilen enerji kaynakları ele alınacaktır.

2.1.1. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları

Dünyada enerji ihtiyacının önemli bir kısmının oluşturan yenilenemez enerji kaynakları oluşum sebepleri bakımından tekrardan meydana gelmeleri uzun yıllar alan enerji kaynaklarını oluşturmaktadırlar. Yenilenemez enerji kaynakları bir kez kullanılıp tüketilen ve yenisinin oluşması zaman alan bir kaynaktır. Bitki ve hayvan atıklarının senelerce kimyasal dönüşümünün bir sonucu olarak oluşmaktadır. Yenilenemeyen enerji kaynakları; petrol, kömür, nükleer enerji ve doğalgaz gibi fosil yakıtlar olarak sıralanabilir. Kömür diğer birincil enerji kaynaklarına kıyasla yeryüzünde geniş dağılıma sahip önemli bir kaynaktır. Özellikle 2030 sonrası bu önemi daha da artacaktır. Petrol 19. yüzyılın sonlarında bir enerji kaynağı olarak keşfedilmiştir. Petroldeki bu ilerleme ve gelişme ile kömüre olan ilgi dağılmıştır. Isıtma içinse doğal gazdan yararlanılmaktadır. Enerji açısından yararlanılmasının yanında çevreye verdikleri zararlar sebebi ile aşırı kullanımı esnasında daha fazla dikkat edilmesi gerekmektedir (Anonim, 2018c).

2.1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji, daimi olarak sağlanan, hammadde sorunu olmayan, doğal süreçleriyle var olan enerjilerdir. Enerji kaynağından alınan enerji ile aynı oranda ya da kaynağın tükenme hızından daha çabuk yenilenebilmesi özelliği ile ön plana çıkan bir kaynaktır. Yenilenebilir oluşları, çevreye verdiği zararın az oluşu, bakım ve işletme masraflarının az olması ve ulusal

özellikleri ile güvenilir enerji sağlama özellikleri sayesinde dünya ve ülkemiz adına önemli bir konuma sahiptir (Anonim, 2018d).

Ülkenin kalkınması açısından da önemli bir yere sahip olan yenilenebilir enerji kaynakları dışa bağımlılığın azaltılmasını sağlamaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde; 10.05.2005 tarih ve 5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına ilişkin Kanun Tasarısı Taslağı'nın 3. Maddesine göre enerji kaynakları aşağıdaki gibi sıralanmaktadır (Anonim, 2005):

- Jeotermal Enerjisi,
- Rüzgâr Enerjisi,
- Güneş Enerjisi,
- Hidrojen Enerjisi,
- Biyokütle,
- Biyogaz,
- Gel-git,
- Dalga

2.1.2.1. Güneş Enerjisi

Dünyaya yansıyan güneş ışınlarının güneş panelleri yardımı ile elektrik ve ısıya dönüştürülmesi sonucu güneş enerjisi oluşur. Doğal bir enerji kaynağı olması sebebi ile çevreye herhangi bir zarar vermeden elde edilir. Önceleri maliyetindeki fazlalıktan ötürü tercih edilemeyen bu sistem ilerleyen teknoloji ve gelişmeler sayesinde maliyetinin de düşmesi ile birlikte güneş enerjisi kullanımı hızla artış göstermiştir.

Güneş, dünyada kullanılan yakıtların ana kaynağıdır. Bunun yanında dünya da dâhil olmak üzere birçok gezegene enerji veren uçsuz bucaksız bir güce sahip olan önemli bir kaynaktır. Güneşte bir döngü şeklinde devam eden hidrojenin helyuma dönüştüğü füzyon reaksiyonları

meydana gelmektedir. Füzyondan kaynaklanan kütle farkları ısı enerjisine dönüşerek uzaya yayılmakta fakat oluşan bu enerjinin az bir kesimi dünyaya gelmektedir. Bu devasa enerji kaynağı olan güneşten dünyaya ulaşan gücün miktarı yaklaşık $1,8 \times 10^{11}$ MW olarak hesaplanmıştır (Anonim, 2018d).

2.1.2.2. Hidrolik Enerjisi

Hidrolik enerjisi, akan suyun gücünden yararlanılarak elektrik elde edilmesi olarak tanımlanabilir. Bu enerji ise Hidroelektrik santralleri(HES) ile sağlanır. Akarsu, ırmak ya da nehir gibi yerlerden akmakta olan su taşıdığı enerji ile birlikte yüksek yerden akan su ise daha büyük bir enerjiyi bünyesinde barındırmaktadır. Bu gibi yerlerde kanal veya borular vasıtasıyla su alınır, türbinlere akar ve pervaneyi andıran bu türbinlerin dönmesi ile mekanik enerji elektrik enerjisine dönüştürülerek elektrik üretimi sağlanır.

Hidroelektrik enerjisi avantajlı özellikleri sebebi ile diğer enerji kaynakları içerisinde önemli bir konuma sahiptir. Bu avantajlı özellikleri arasında çevre dostu olmaları ve düşük potansiyel risk taşımaları ilk sıralarda gelmektedir. Bunun yanında hidroelektrik barajlar; yakıt gideri olmayan, yenilenebilir, temiz, yüksek verimli, uzun ömürlü, enerji fiyatlarında sigorta rolü üstlenen, işletme giderleri yerli imkanlarla sağlanabilen bir kaynaktır (Dinçer ve ark.,2017).

Hidroelektrik santraller;

- *Enerjilerini yenilenebilir kaynak olan sudan elde ederler,
- *Sera etkisi oluşturmazlar,
- *Kurulumu yerli imkânlarla yapılabilir,
- *Yakıt masrafı yoktur ve tesisler uzun yıllar kullanılabilir,
- *Bakım masraflarının oldukça azdır,
- *Kurulum alanları genellikle kırsal bölgeler olduğu için yerel istihdamı arttır ve böylece hem yerel ekonomiye hem de ülke ekonomisine önemli katkılar sağlar.

2.1.2.3. Hidrojen Enerjisi

Geleceğin enerjisi olarak nitelendirilen hidrojen enerjisi, yenilenemez enerji kaynaklarının tükenme riski göz önüne alınarak çevreye zararsız oluşuyla dikkatleri üzerine çekmiştir. Gerek taşınabilme özelliği gerekse güvenli ve az enerji kaybına uğraması sebebi ile birçok farklı alanda tercih edilmektedir. Tat, koku ve renk barındırmayan bir element olan hidrojen; yakıt hücreleri üzerinde çalışan ve dünyadaki en basit yapıya sahip ve çok miktarda bulunan

elementtir. Evrenin ana enerji kaynağı olan hidrojen, uzaydaki termonükleer tepkimelerden ortaya çıkar (Tutar, 2011).

Atık olarak sadece su veya su buharı salınımı yapan hidrojen enerjisi, günümüzde ısı ve patlama enerjisine ihtiyaç duyulan her alanda kullanımı temiz ve kolay olduğundan sıkça tercih edilmektedir. Yenilenemez enerji kaynaklarının geneline nazaran %33 daha verimli bir yakıttır. Enerjinin üretimi sırasında küresel ısınma ve çevreye olumsuz etkileri olacak gaz veya kimyasal salınımı olmadığından çevre dostu bir enerjidir (Anonim, 2019).

2.1.2.4. Biyokütle Enerjisi

Yaşayan ve yakın tarihte yaşamış olan canlılardan meydana gelen fosilleşmemiş tüm biyolojik malzemenin genel olarak adına ‘biyokütle’ denir. Bir türe veya farklı türlerden oluşan bir popülasyona ait yaşayan organizmaların belli süreler sonunda ortaya çıkan toplam kütle olarak da ifade edilebilir. Karbonhidrat biyokütlenin ana bileşenidir. Geçmişte yaşamış olan tüm hayvansal ve bitkisel tüm maddelerin biyokütle enerji kaynağı, bu kaynaktan üretilen enerji ise biyokütle enerjisi şeklinde tanımlanır. Biyokütle ürünleri işlenerek katı sıvı ve gaz yakıtlarına dönüştürülmektedir. Biyokütle yenilenebilir ayrıca çevreye uyumlu bir enerjidir (Varınca ve ark., 2006).

Biyokütle ile fosil yakıtlar kıyaslandığında benzer karakteristik özellikleri taşımaktadır. Lakin fosil yakıtlar yer altındaki sıcak ve basınçla değişime uğradıklarından, yakıldıkları takdirde atmosfere zararlı madde salarlar. Dahası, milyonlarca yılda meydana gelen bu birikimin kısa zamanda yakılması atmosferdeki karbondioksit oranının bozulmasına neden olur ve bu da sera etkisini tetikler.

2.1.2.5. Biyogaz Enerjisi

Biyogaz, organik atıklardan kullanılabilir gaz üretilmesini ifade etmektedir. Biyogaz hayvansal, endüstriyel ve bitkisel atıklar gibi organik maddelerin oksijensiz ortamda anaerobik mayalanma(biyolojik parçalanması) sonucu meydana gelen yoğun olarak karbondioksit ve metan gazıdır. Biyogaz enerjisi organik kökenli atık maddelerden enerji temin edilmesine ayrıca atıkların toprağa faydalı olarak kazandırılmasına da olanak sağlamaktadır.

Hayvansal ve bitkisel atık maddelerin çürütülmesi ile meydana gelen metan gazı çevreye zarar vermektedir. Fakat aktif haldeki gazın depo edilmesi, arıtılması ve sonrasında oluşan

metan gazının yakılması yolu ile enerjiye dönüştürülmesi sağlanmaktadır. Dahası, yakılması olanağı olmayan atık maddeler de gübre olarak tarımda kullanılmaktadır(Anonim, 2020).

2.1.2.6. Jeotermal Enerji

Türkçe karşılığı yer enerjisi, yer ısıdır. Yerkabuğunun derinliklerinde saklanan ısının oluşturduğu kimyasallar içeren su, buhar ve gazlara jeotermal; bunların oluşturduğu enerjiye jeotermal enerji denilir. Birçok kullanım alanı olan bu enerji tıbbi amaçlı tedavilerin yanı sıra gıda pişirme amacıyla da kullanılmaktadır. Artan elektrik ihtiyacını karşılamak üzere de elektrik üretiminde yararlanılmaktadır. Jeotermal enerji kaynakları da elektrik üretimi yapılabilen önemli yenilenebilir kaynaklardan sayılmaktadır (Akkurt, 2020).Türkiye bulunduğu konum itibari ile genç tektonik kuşak içinde yer almaktadır. Bu özelliği itibari ile de oldukça büyük miktarda jeotermal kaynağı içinde barındırır.

2.1.2.7. Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerjisi, rüzgârın hareketinin bir sonucu olarak oluşan yenilenebilir bir enerjidir. Sahip olduğu kinetik enerji yeryüzünde farklı birçok alanda önemli potansiyele sahiptir. Yüksek verim sağlama özelliği ve çevre dostu bir kaynak oluşu ile ön plana çıkmaktadır. Yıllar içerisinde rüzgârın sahip olduğu bu enerjiden farklı alanlarda yararlanılmış ve geliştirilmiştir. İlk zamanlar su pompalaması gibi amaçlarla kullanılırken yeni gelişme ve ilerlemelerle elektrik üretimi amacıyla da kullanımı mümkün hale gelmiştir. Rüzgârın sahip olduğu bu enerji de türbinler vasıtası ile yakalanmaktadır. Bu enerjinin şiddeti de yerel ortalama rüzgâr hızına bağlıdır. En uygun olarak nitelendirilebilecek yerler ise, açık arazili iç kesimler ve su kütlelerinin kenarına yakın bölgelerdir. Bunun yanında bazı dağlık alanlar da iyi potansiyele sahiptir (Türkyılmaz ve ark., 2019).

Değişik basınç, sıcaklık ve nem oluşmasına sebep olan güneş ışınları yeryüzünün homojen ısınması ve soğumasına imkân vermez. Bu oluşan farklılık da ısınma ve soğuma esnasında meydana gelen hava hareketlerini oluşturur. Mevcut durumdan daha fazla ısınan hava kütlesi atmosferde yükselerek bir boşluk oluşturur. Isınan havanın yerine daha soğuk hava kütlesi geçer. Burada meydana gelen yer değişikliği sonucu oluşan olaya rüzgâr denilir. Rüzgârı meydana getiren hava akımının sahip olduğu hareket enerjisine de rüzgâr enerjisi denilir. Dünyanın ihtiyacı olan enerjinin tümü güneşten gelmekte ve güneş enerjisinin sadece %1-

2'lik kısmı rüzgâr enerjisine dönüşmektedir. Yeryüzünün her tarafı aynı derecede ısınmaması sonucu rüzgâr meydana gelir. Yüzeyde oluşan sürtünmeler, bölgesel ısı kayıpları, dünyanın kendi ekseninde dönmesi ve yeryüzünün yapısı rüzgârın yüksek basınç merkezinden alçak basınç merkezine geçişini etkileyen durumlardır. Rüzgâr enerjisi, kinetik enerji ile ilişkili olduğundan yükseklik, dağ, ağaçlık alan ve yüksek binalar gibi belirgin yer şekillerine doğrudan bağlıdır (Anonim, 2019b).

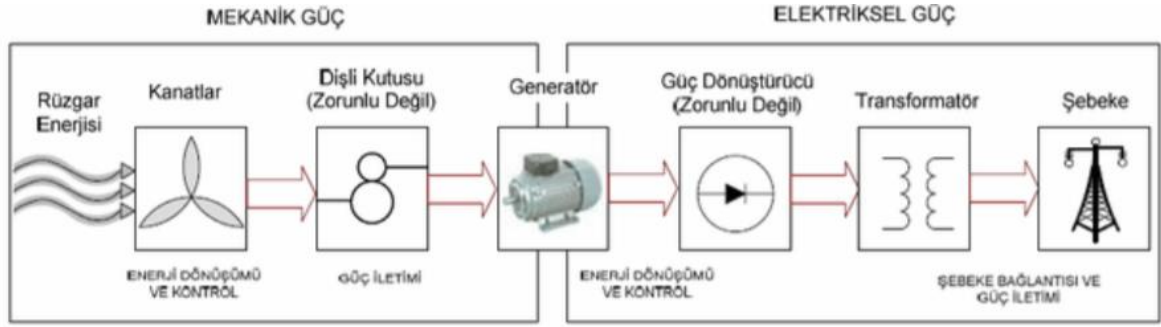
Rüzgârın taşıdığı özellikler coğrafi farklılıklara bağlı olarak ve dünyanın eşit ısınmamasından dolayı değişiklik göstermektedir. Yükseklikle doğru orantılı olarak rüzgârın hızı artmaktadır. Rüzgâr enerjisinin diğer tüm enerji sistemlerinde de olduğu gibi avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

Rüzgâr enerjisinin avantajları:

1. Temiz ve yenilenebilir bir enerjidir.
2. Rüzgâr enerjisi ucuz ve kurulum maliyeti azdır.
3. Çevreye zarar vermez aksine kömür ile elektrik üretimi ile salınan zararlı gazların önlenmesi ile çevreye yararlı olur.
4. Dünyanın her yerinde mevcut bir enerjidir.
5. Kömür santrallerine göre kurulum alanı daha azdır.
6. Rüzgâr türbinleri her ortama uyum sağlarlar; tarım alanları ve hayvancılık alanlarını kullanabilirler.
7. Dağlarda tepelerde kurulumu ile elektrik ulaştırılamayan yerlerde bu ihtiyacın karşılanması sağlanmış olur.
8. Ticari amaç güdülmeyen yerel/bireysel ihtiyaçları da karşılamada kullanabilmektedir.

Rüzgâr enerjisinin dezavantajları:

1. Rüzgâr enerjisi kesintisiz ya da istikrarlı bir enerji değildir.
2. Rüzgâr yönü her yer de aynı olmamaktadır.
3. İlk yatırım maliyeti yüksektir.
4. Yerleşim yerlerine uzak oluşu şebekeye bağlantı problemi yaratabilir.
5. Çok gürültü yapması sebebi ile rahatsızlık verebilir(Anonim, 2020a).



Şekil 2.1. Rüzgâr türbinlerinde mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüşüm adımları (Küçükkaya, 2019).

Yenilenebilir nitelikteki hava akımını rüzgâr türbinleri elektrik enerjisine dönüştürürler. Rüzgâr türbinleri rüzgâr enerjisi santrallerinin en büyük parçasıdır. Rüzgârın kinetik enerjisini rotor yardımıyla mekanik enerjiye daha sonra jeneratör yardımıyla elektrik enerjisine dönüştüren sistemdir (Şekil 2.1) (Ümit, 2019).

Dönüş eksenlerine bakarak rüzgâr türbinleri yatay eksenli ya da dikey (dikey) eksenli olarak iki şekilde üretilirler. Yatay eksenli rüzgâr türbinleri en çok tercih edilen türbinlerdir. Dönme eksenleri rüzgârın yönüne paralel ve kanatları rüzgârın yönüne dik çalışmaktadır. Dikey eksenli rüzgâr türbini ise rüzgârın yönüne dik ve dikeydir. Kanatları da dikey durumdadır (Nuray ve ark., 2005).

Yatay eksenli rüzgâr türbinleri başlıca aşağıda yer alan şu parçalardan oluşmaktadır;

1. Rotor: Türbinde kinetik enerjiyi mekanik enerjiye dönüştüren parçadır.
2. Dişli Çark: Rotorun süratini artırır.
3. Jeneratör: Rotorda oluşan mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür.
4. Fren: Türbini durdurur ya da hızını düşürür.
5. Yönlendirici: Türbini rüzgârın estiği yöne göre yönlendirir.
6. Transformatör: Türbinde oluşan düşük voltajı şebeke kullanım voltajına yükseltir.
7. Kule: Kanatları ve makine dairesini üzerinde bulundurarak türbini taşır (Güneyli, 2019).

1998 yılında Alize Çeşme’de Türkiye’nin ilk RES santrali kurulmuştur (Şekil 2.2). Bu santralden 1.5 MW güç elde edilmiştir (Anonim, 2019c).

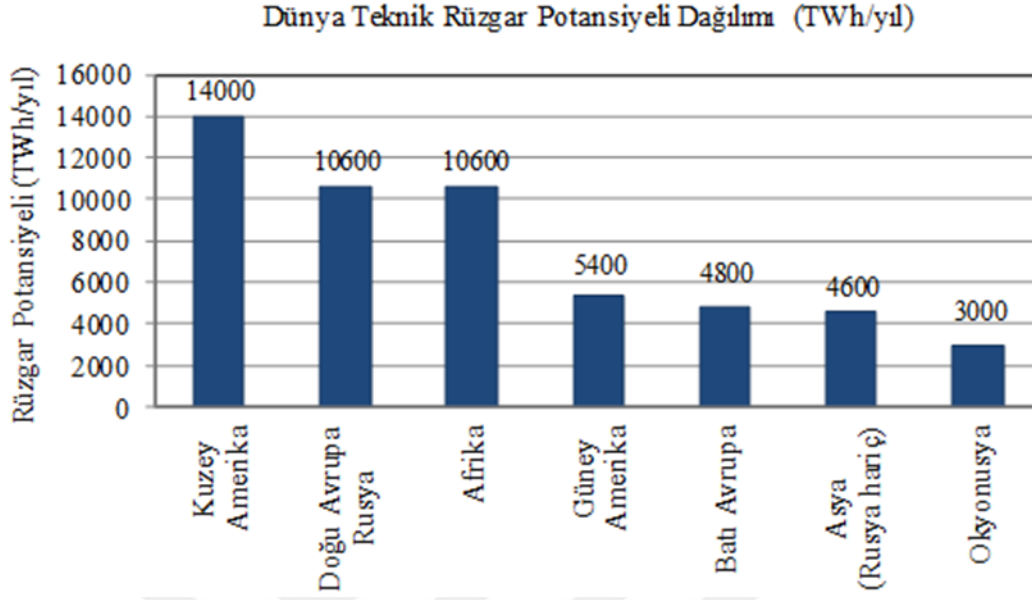


Şekil 2.2. Türkiye’de ilk rüzgâr türbini (Anonim, 2019c)

3. DÜNYA'DA RÜZGÂR ENERJİSİ

Dünya nüfusundaki artış, sanayileşme ve teknolojik gelişmelerle birlikte enerjiye olan ihtiyaç artmış ve bu insanoğlunun yeni güvenilir kaynaklara yönelmesine yol açmıştır. Yaşam alanlarımız, iş alanımız ve sosyal çevremiz gibi hayatımızın birçok alanında vazgeçilmez bir parçası olan enerji temel girdimizi oluşturmaktadır. Fosil yakıtların da dezavantajları sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarına bir yönelme söz konusudur. Yenilenebilir bu kaynaklarda olan rüzgâr enerjisi de taşıma sorunu bulunmaması ve ileri teknoloji gerektirmemesi ile son yılların tercih edilen enerji kaynağı olmuştur.

Kullanımı ve önemi gün geçtikçe artan rüzgâr enerjisi ile ilgili olarak rüzgâr enerjisinin potansiyelini belirlemek amacıyla Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) türlü çalışmalar yapmıştır. Çalışmalar sonucunda, rüzgâr hızının 5,1 m/s üzerinde olduğu bölgelerde, çevresel faktörlerin etkisiyle sadece %4'ünün kullanılabileceği öngörülerek dünyadaki rüzgâr potansiyeli teknik olarak 53000 TWh/yıl olarak tahmin edilmiştir. En yüksek potansiyele sahip kıta Kuzey Amerika olurken Kuzey Amerika'yı sırasıyla Doğu Avrupa, Rusya, Afrika, Güney Amerika, Batı Avrupa, Asya ve Okyanusya gibi bölge ve kıtalar takip etmiştir. Rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesi aşamasında, rüzgâr hızının 4-5 m/s olduğu yerler önemsenmemesine karşın, bu alanlar da oldukça yüksek rüzgâr potansiyeline sahiptir. Örneğin Almanya'ya baktığımızda bu değer 90 TWh/ yıl olarak belirlenmiştir. Tüm bunların yanında, sadece karasal bölgeler için bu hesaplamaların yapılıyor olmasına karşılık ciddi bir rüzgâr enerjisi potansiyeline sahip olan ve pek üzerinde durulmayan açık deniz (offshore) bölgelerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Şekil 3.1.'de, dünyanın rüzgâr enerjisi potansiyelinin %66'sı Kuzey Amerika, Doğu Avrupa, Rusya ve Afrika bölgelerinde olduğu görülmektedir (Güneyli,2019).



Şekil 3.1. Dünyanın teknik rüzgâr potansiyeli dağılımı (TWh/yıl) (Şenel, 2015).

Enerji ticaretini yüksek hacimlerde yapan ülkeler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Tabloya göre ilk üç sırayı Çin, Japonya ve Hindistan almıştır. Türkiye 115 Mtoe ile 9. Sırada kendine yer bulmuştur.

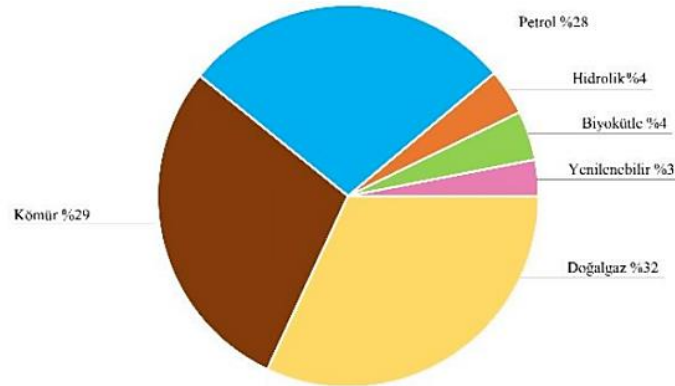
Tablo 3.1. Ülkelere göre enerji ticaret hacminin dağılımı (Mtoe) (Enerdata, 2018)

Çin	621	İtalya	125
Japonya	405	Fransa	120
Hindistan	336	Türkiye	115
Güney Kore	255	Tayvan	106
Almanya	211	İspanya	102
ABD	165	Tayland	74

4. TÜRKİYE’NİN ENERJİ DURUMU

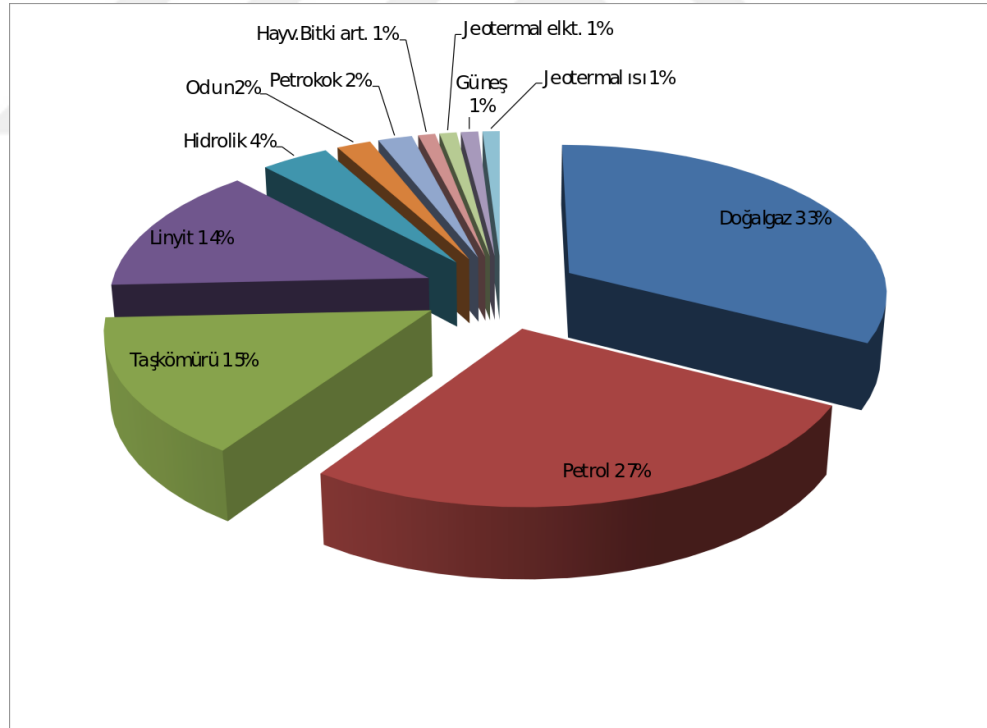
Türkiye, yenilenemez enerji gereksiniminin büyük bir kısmını doğal gaz vasıtasıyla karşılamakta olup bunu petrol ve kömür izlemektedir. Türkiye’de, ortalama enerji tüketiminin kişi başına düşen düzeyi İktisadi İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı (OECD) ülkelerinden azdır (Arslan, 2019). Son 15 yıla bakıldığında OECD ülkeleri arasında enerjiye olan talep artışının en hızlısı Türkiye’dir. Her ne kadar talepte artış gözlenirse de enerji kullanımı hala az seviyelerdedir. Türkiye’nin talep ettiği enerji yıllar içinde artarak devam edeceği beklenmektedir (Arslan, 2019).

Türkiye’nin zaman içinde birincil enerji arzında yaşanan artışın yanı sıra enerjiye olan talebin daha fazla olduğu görülmektedir. Bu talebi karşılamak içinde yerli kaynakların yetersizliği sebebi ile yıllar içinde enerji ithalatı artmıştır. İthal ettiğimiz enerji kaynaklarının başında doğalgaz ve petrol gelmektedir ve talep edilen enerji yıllar içinde artış gösterme eğilimindedir. Petrol ve doğalgaz gibi yakıtlar açısından fakir olan ülkemiz bu enerjilerin yerli imali konusunda yetersiz kalmaktadır ve bu sebeple enerjide yerlilik oranımız %26 seviyelerindedir. Türkiye’nin enerjide dışa bağımlılığı yaklaşık olarak %75’dir. Doğalgazın %99’u ve petrolün %92’si ülkemize ithal yollarla kazandırılmaktadır (Arslan, 2019).



Şekil 4.1. Türkiye birincil enerji tüketiminin dağılımı (UPA, 2017)

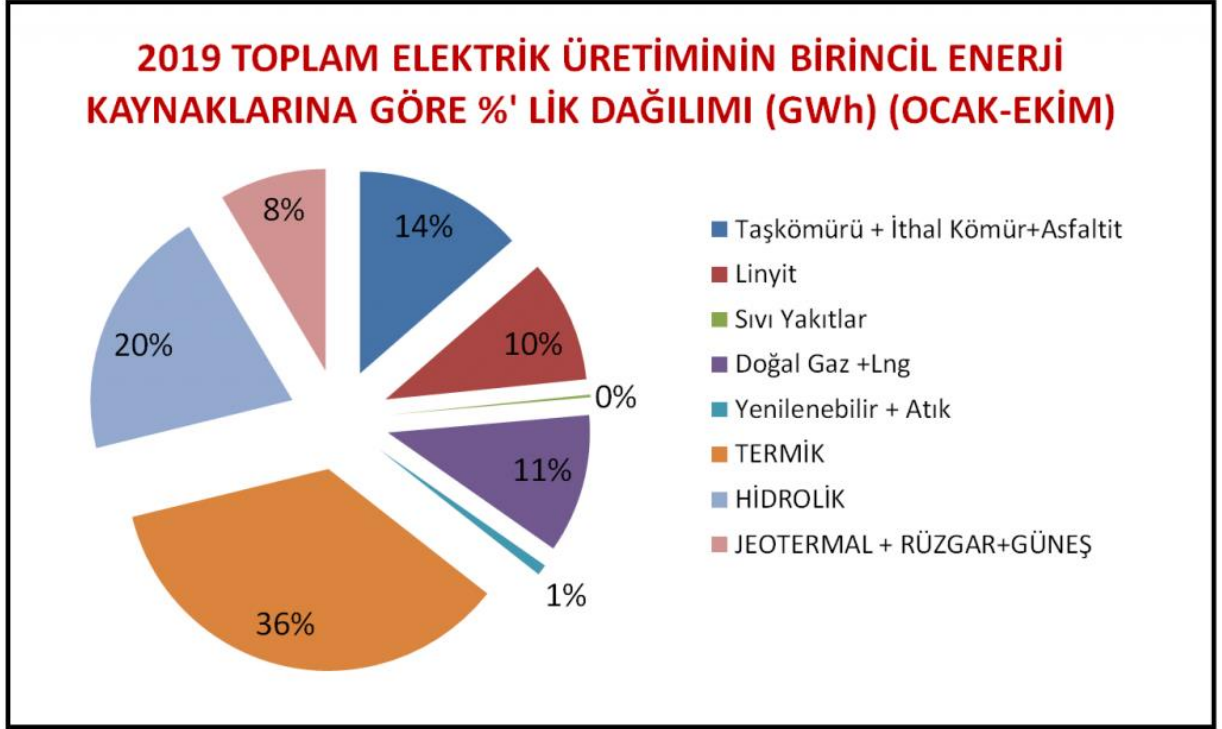
Enerji talebinde büyük oranda dışa bağımlı olan ülkemizin uyguladığı enerji politikaları küresel enerji sektöründe yaşanan gelişmelerden payını alarak etkilenmektedir. Türkiye ithalatçı konumunda olduğunda bu değişimi ve oluşan dalgalanmaları takip etmek zorundadır. Cari denge üzerinde oluşabilecek olumsuz etkiye sebep olabilir. Enerji arzı güvenliği sebebi ile gelişmiş teknolojiler kullanarak Türkiye'nin yerli enerjisini üretmesi gerekmektedir. Kaynak çeşitliliği artırılarak yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde araştırmalar ve girişimler yapılması gerekmektedir. Türkiye bünyesinde barındırdığı özellikleri sayesinde jeopolitik konum ve yapısının yardımıyla birçok yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmaya uygun bir ülkedir. 2017 yılında yapılan tespitlere göre Türkiye'de yenilenebilir enerjinin oranı %45'dir. Türkiye AB ülkeleriyle karşılaştırıldığında özellikle hidrolik enerji bakımından fazlasıyla elverişlidir. Ülkemizde yüksek potansiyel barındırmamıza rağmen yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanma oranımız oldukça düşük seviyelerdedir (Arslan,2019).



Şekil 4.2. Türkiye'de Enerji tüketiminin kaynaklar bazında dağılımı

Doğalgaz ve petrolde dışa bağımlı ülkelerin başını çeken Türkiye, yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi en çok bu iki enerjinin tüketimini yapmaktadır. Buna bağlı olarak ülkemizde cari

açık enerji ithalatına bağlı olarak giderek artmaktadır.



Şekil 4.3. 2019 toplam elektrik üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı
(Kurban, 2019)

Yukarıdaki Şekil 4.3. incelendiğinde 2019 yılında elektrik üretiminin %36'sı termik, %20'si hidrolik, %14'ü kömür, %11'i doğal gaz, %10'u linyit, %8'i jeotermal+ rüzgar+ güneş ve %1'i atıklardan elde edildiği görülmektedir.

4.1. Türkiye'nin Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli

Türkiye gelişmekte olan ülkeler arasında yer almaktadır. Sanayileşme ve hızlı nüfus artışı ile doğru orantılı olarak enerjiye olan gereksinimde bu doğrultuda artmaktadır. Enerji tüketimimizin neredeyse yarısı petrol ve doğalgazdan karşılanmaktadır. Fakat ülkemiz bu enerjilerin büyük bir kısmına sahip değildir. Çoğu ülkede olduğu gibi enerji ihtiyacının güvenli olarak karşılanması ve dışa bağımlılığın azalması için ülkemizde de yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim önem kazanmıştır. Kullandığımız yakıtların çoğu yenilenemez

yakıtlardır. Bundan dolayı çevreye verdikleri zararlar birlikte çevre kirliliği önemli ölçüde artmaktadır. Artan enerji taleplerine rağmen Türkiye yeterli miktarda enerji üretememekte ve kullanılan enerjinin büyük bir kısmını ithal etmektedir. Dolayısıyla bunun bir sonucu olarak da ülkemizde mevcut olan rüzgâr enerjisi potansiyeline doğru bir yönelme olmaktadır.

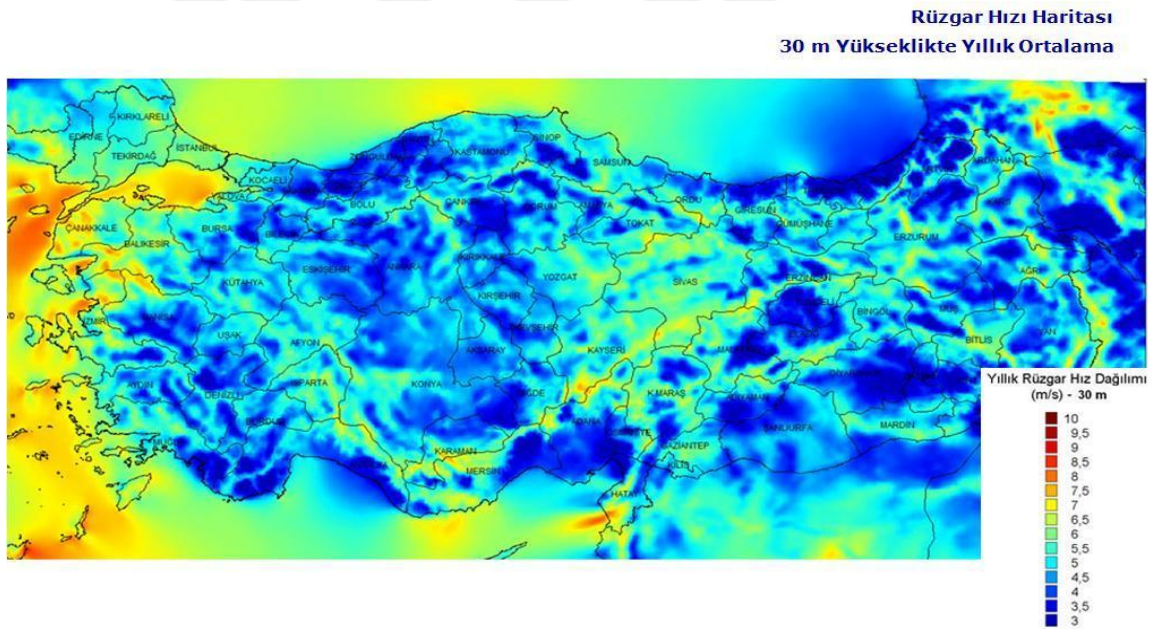
Ülkemizin yüksek rüzgâr enerjisi potansiyeline sahip oluşu sebebiyle temiz ve süreklilik arz eden bir enerji olarak rüzgâr enerjisi son yıllarda büyük önem kazanmıştır. Türkiye yapılması planlanan projelerle birlikte 20 GW'lık rüzgâr enerjisi kapasitesine 2023 yılında varmayı hedeflemiştir. Bu hedeflerle birlikte rüzgâr enerjisi pazarında Avrupa'da yükselen bir değer olmuştur. Rüzgârdan sağlanan bu enerji ile elektrik üretimi neticesinde ekonomik olarak değer kazanmasının yanı sıra ekolojik dengenin de korunmasına büyük katkısı olacaktır.

Türkiye'nin sahip olduğu rüzgâr enerji potansiyelini saptamak gayesiyle rüzgâr ölçümleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından yapılmaktadır. Rüzgâr Enerjisi Gözlem İstasyonları (RGİ) ilk olarak rüzgâr enerjisi üretimine uygun olan yerlerde kurulmuş ve veriler elde edilmiştir. Ölçümler genellikle 10 metre ya da 30 metre yükseklikten alınmaktadır. Çeşitli yazılım programlarıyla arşivlenen verilerin periyot aralıkları bir saat ile on dakika arasında değişmektedir. Enerji Genel Müdürlüğü'nün (YEGM) ölçüm istasyonları yardımıyla alınan hız değerleri neticesinde bir bölgenin rüzgâr enerjisi faaliyetleri için elverişliliği değerlendirilebilir. MGM'nin ölçüm istasyonu sayısı enerji amaçlı ölçümler için yetersiz kalmaktadır. İstasyon sayısı artırılarak daha güvenilir rüzgâr verilerinin elde edilmesi sağlanmalıdır. Rüzgâr enerjisi potansiyeli yüksek olan bölgeler daha iyi belirlenmesi RES kurulumunda yerli ve yabancı yatırımcılar için yol gösterici olacaktır. Türkiye'de 7,5 m/s üzerinde hızların 50 metre yükseklikte gerçekleştiği alanlarda km² başına 5 MW kuvvetinde RES kurulabileceği kararı alınmıştır. Bu karara dayalı olarak, yazılımlar sayesinde sayısal tahmin modeli ve rüzgâr akış modellemeleriyle Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) oluşturulmuştur. REPA'ya göre ülkemizin kara üzerindeki rüzgâr enerjisi potansiyeli 48000 MW olarak hesaplanmıştır. Yalnız 2018 yılında devreye alınmış vaziyette bulunan santrallerden toplam 7000 MW güç elde edilmektedir (Güneyli, 2019).

Aşağıda Şekil 4.4.'de yıllara göre Türkiye'de rüzgâr enerjisi santralleri kurulu gücü ve Şekil 4.5.' de yıllık ortalama rüzgâr hızının 30 metre yükseklikteki değerleri verilmiştir.



Şekil 4.4. Yıllara göre Türkiye’de rüzgâr enerjisi santralleri kurulu gücü (Küçükkaya, 2019)



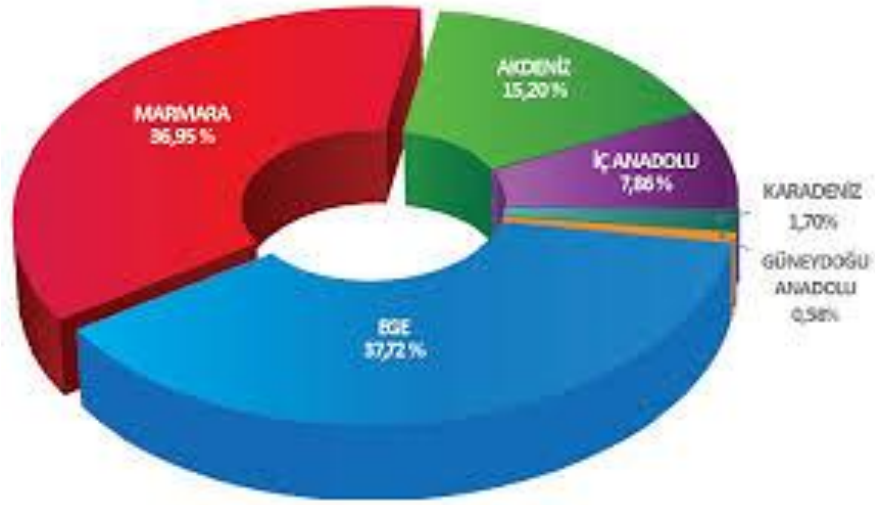
Şekil4.5. Yıllık ortalama rüzgâr hızının 30 metre yükseklikteki değerleri

Ülkemizde ilk rüzgâr türbini 55 KW gücünde olup 1986’da Çeşme’de kullanılmaya başlanmıştır. 1998’de 1,5MW gücünde ilk rüzgâr santrali İzmir, Alaçatı’da kullanılmaya başlanmıştır. Akabinde 7.2 MW’ lik 12 adet türbinden meydana gelen ikinci rüzgâr santrali aynı bölgede devreye alınmıştır. 25 Haziran 2000 tarihinde Çanakkale Bozcaada’da 17 adet rüzgâr türbininden oluşan 10.2 MW gücünde olan üçüncü bir santral devreye girmiştir (Karık, 2015).

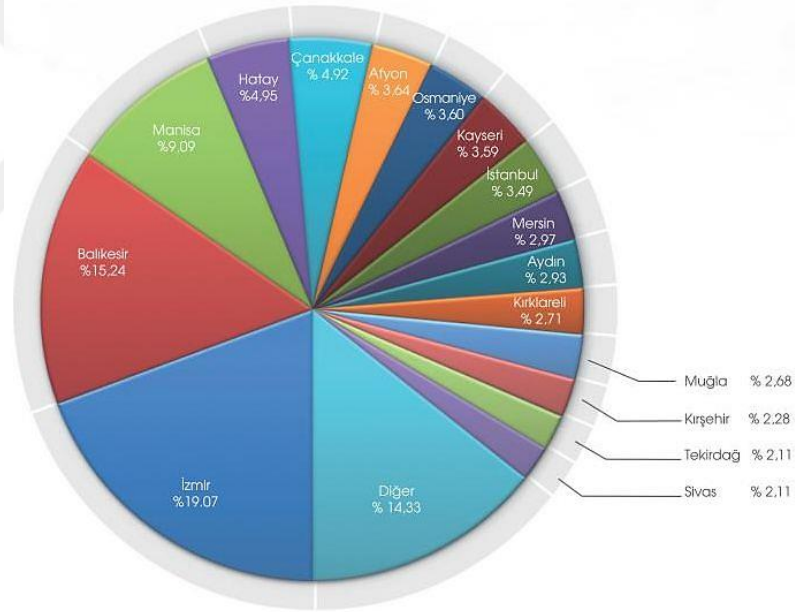


Şekil 4.6. Çanakkale Bozcaada rüzgâr santrali (Anonim, 2020b)

Türkiye’de rüzgâr enerjisi kurulu gücün bölgelere göre dağılımının, rüzgâr potansiyeli ile uyumlu olarak Ege ve Marmara bölgelerinde yoğunlaştığı şekilde görülmektedir. Ülkemizin coğrafyasının geniş olmasından dolayı, rüzgâr esmediği zamanlar yok denecek kadar azdır. Bu yüzden ülkemizin rüzgâr haritaları incelendiği zaman Ege ve Marmara bölgelerinin dışında da pek çok bölgede rüzgâr enerjisi çalışmalarının yapılmakta olduğu görülmektedir.



Şekil 4.7. Türkiye’de rüzgâr enerjisinin dağılımı



Şekil 4.8. Türkiye’de rüzgâr enerjisinin illere göre dağılımı

Türkiye’de rüzgâr enerji sistemlerinin illere göre dağılımı şekilde görülmektedir. En yüksek %19,07 ile İzmir ardından %15,24 ile Balıkesir onu takip etmektedir. Bölgesel olarak baktığımızda Marmara, Ege ve Akdeniz bölgelerimiz rüzgâr potansiyeli açısından çok zengindir. Türkiye’deki son resmi bilgilere göre, 2006 yılında kurulu elektrik gücü kapasitesi 40,565 MW, elektrik talebindeki yıllık artış oranı %8-10 civarındadır. Türkiye 2006 yılında 169,500 GWh elektrik üretmiş ve 143,070 GWh tüketmiştir. Türkiye 90’lı yılların ortasında elektrik enerjisini rüzgâr enerjisinden üretmeye başlamıştır. Rüzgâr enerjisi santrallerinin

kurulu gücü 2018 yılı sonunda 7369,35 MW' tır.2023 yılında hedefi 20000 MW rüzgâr enerji üretmektir. Yapılan planlamaya bakılarak rüzgâr enerjisi 2003 yılında %0,1 (19MW) iken payı zamanla artarak 2014 yılında %6 (3424MW) ve 2020 yılında ise %10,6 (9249MW) oranında olacağı tahmin edilmektedir. Coğrafi dağılımlara bakıldığında daha önce kurulan rüzgâr türbinlerinin Ege, Akdeniz ve Marmara bölgelerinde diğer bölgelere göre yoğun olduğu görülmektedir. 2019 yılında 113 rüzgâr santralinden 11,543050 MW elektrik üretilmiştir (Barlas, 2019).

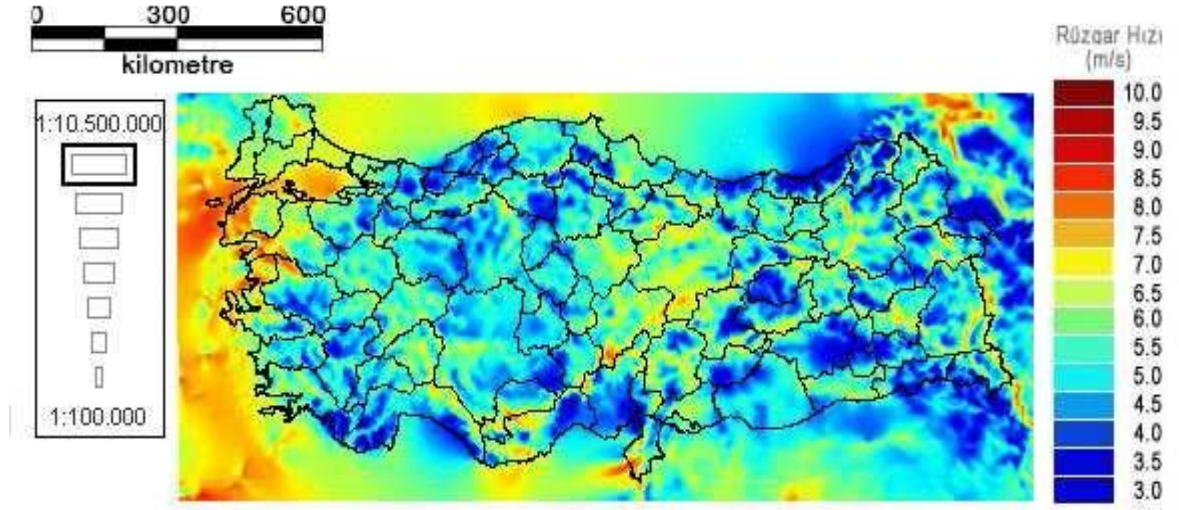
Tablo 4.1. Türkiye'deki rüzgâr istasyonlarında hava istasyonları tarafından ölçülen bazı yerler (Barlas, 2019)

Site	m/s	Site	m/s	Site	m/s	Site	m/s
Kumköy	5.3	Çanakkale	5.1	Bandırma	6.4	Sinop	5.2
Çeşme	3.8	Datça	5.8	Antakya	4.7		

Hava durumu istasyonu değerlerine göre, Türkiye'nin tahmini teknik rüzgâr enerjisi potansiyelinin mevcut elektrik tüketiminin yaklaşık iki katı olduğunu söylemek mümkündür.

4.2. Türkiye'nin Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası

Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) ülkemizin rüzgâr enerjisi özelliklerini ve dağılımını belirlemek amacıyla REPA hazırlanmıştır. REPA; orta ölçekli sayısal hava tahmin modeli ve mikro ölçekli rüzgâr akış modelinden yararlanılarak üretilen rüzgâr hızı kaynak bilgilerinin verildiği rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlasıdır. REPA, rüzgâr enerjisi potansiyeli mevcut olan fakat fiziki nedenlerden dolayı ölçülemeyen yerlerdeki rüzgâr potansiyelini yazılımlar vasıtasıyla tahmin etmek adına önemli bir argümandır. REPA haritaları sayesinde rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretimi için elverişli bölgeler kolayca görülmektedir (Ateş, 2019).



Şekil 4.9. Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyel atlası (REPA)

REPA'ya göre, ülkemizin en çok rüzgâr potansiyeline sahip bölgeleri Batı bölgesi ve Marmara bölgesidir. Rüzgâr hızının 50 metre yükseklikte 7 m/s'den yüksek olduğu bölgelerde üretilen 48,000 MW'lık bir potansiyelden 130 milyar KWh elektrik elde edilebilir (Barlas, 2019).

Rüzgâr hızı haritalarından da anlaşılacağı üzere, Türkiye'deki en yüksek rüzgâr kaynağı bölgeleri kıyı kesimleri, yüksek dağ ve tepeler veya etrafı açık bölgeler yer almaktadır. Antakya çevresi, Marmara çevresi ve ülkemizin batı kesimleri etrafı açık alanlardaki en yüksek yıllık ortalama hıza sahiptir.

Tablo 4.2. Türkiye'nin rüzgâr enerjisi potansiyeli (Barlas, 2019)

Rüzgâr düzeyi	Rüzgârın sınıflandırılması	50m Yükseklikte rüzgâr güç yoğunluğu (W/M ²)	50m yükseklikte rüzgar hızı (M/S)	Toplam alan (Km ²)	Alanın oranı	Toplam kurulu güç (Mw)
Ortalama	3	300-400	6,5-7	16781,39	2,27	83906
İyi	4	400-500	7-7,5	5851,87	0,79	29259,36
Çok İyi	5	500-600	7,5-8	2598,86	0,35	1299432
Harika	6	600-800	8-9	1079,98	0,15	5399,92
İnanılmaz	7	>800	>9	39,17	0,01	195,84
Toplam				26351,28	3,57	131756,40

Yukarıdaki tabloya göre ortalama rüzgâr enerjisi potansiyeli de dikkate alındığında, bu potansiyelin toplam alanının Türkiye'nin %3,57'sine tekabül ettiği ve Türkiye'de toplam 131,75640 MW'lık potansiyel bulunduğu anlaşılmaktadır.

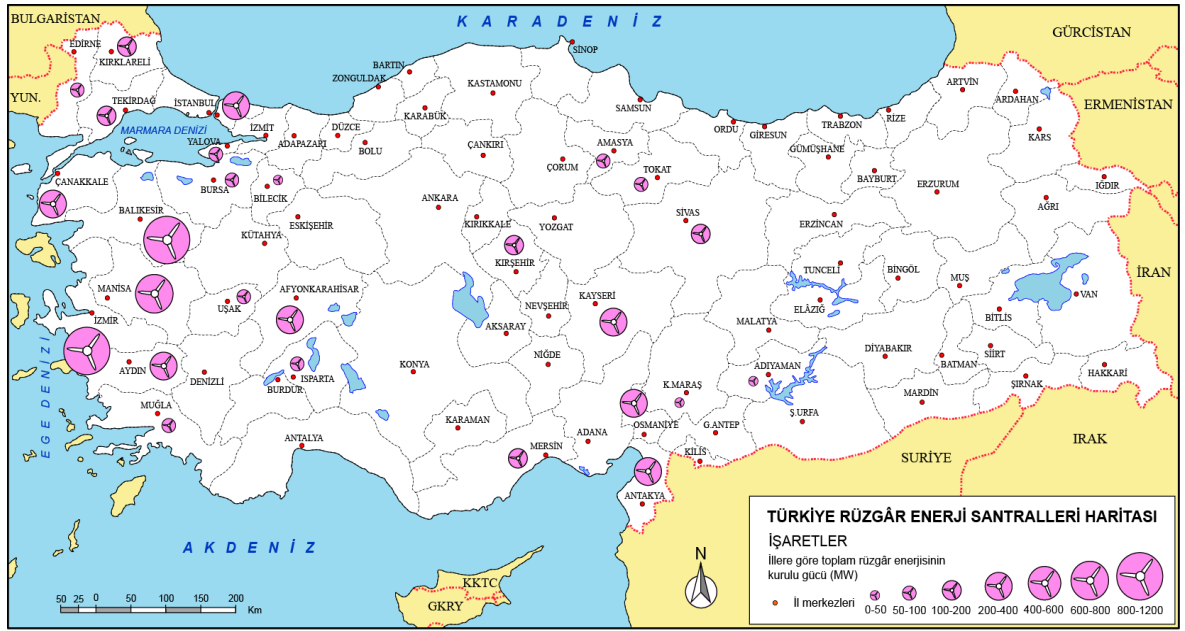
Tablo 4.3. Türkiye'de enerji türünün dağılımı (Barlas, 2019)

Yakıt türleri	Kurulu güç(M/W)	Katkı(%)	Bitki sayısı(Parça)
Yakıt Yağ+ Dizel	742,3	1,0	15
Kömür+ Linit	8.729,4	12,1	25
İthal Kömür	6.064,2	8,4	8
Doğal Gaz+ Lng	21.495,7	29,8	240
Atık+ Prolitik Yağ	320,5	0,4	66
Çok Yakıt(Katı+ Sıvı)	657,8	0,9	7
Çok Yakıt(Sıvı+ N.Gaz)	3.883,8	5,4	38
Jeotermal	581,4	0,8	17
Hidrolik(Baraj)	18.126,2	25,1	89
Hidrolik(Deniz)	7.231,6	10,0	451
Rüzgâr	4.144,2	5,7	106
Güneş(Sınırsız)	178,6	0,2	279
Toplam	72.155,6	100,0	1.341

Yukarıdaki tabloda rüzgâr enerjisi üretim kurulu gücünün toplam enerji üretimindeki payı Türkiye'deki toplam enerji üretiminin %5,7'dir. Türkiye'deki rüzgâr santrali sayısı 106'dır. Türkiye dünyada kurulu olan rüzgâr enerjisi santrallerinin %1,6'sına sahiptir. %45,2 ile rüzgâr santrallerinin en büyük payı halen Çin'e aittir.

4.3. Türkiye'deki Kurulu Rüzgâr Santralleri

Ülkemiz 5798,39 MW kurulu güce sahiptir. Bu gücü 172 adet rüzgâr enerjisi santralinden elde etmektedir. 2016 yılında ise Rüzgâr Enerji Santralleri ile 1.6 milyar KWh elektrik üretimi yapılmıştır. Bu zamana kadar devreye giren 192 santralden bir bölümünün inşası halen devam ettiği için lisanslı kurulu gücüne ulaşamamıştır.



Kaynak: tureb.com.tr 2017 © Haritanın tüm hakları saklıdır

cografyaharita.com R.SAYGILI 2017

Şekil 4.10. Türkiye’deki rüzgâr enerjisi santralleri

Tablo 4.4. Rüzgâr enerjisi santralleri profili

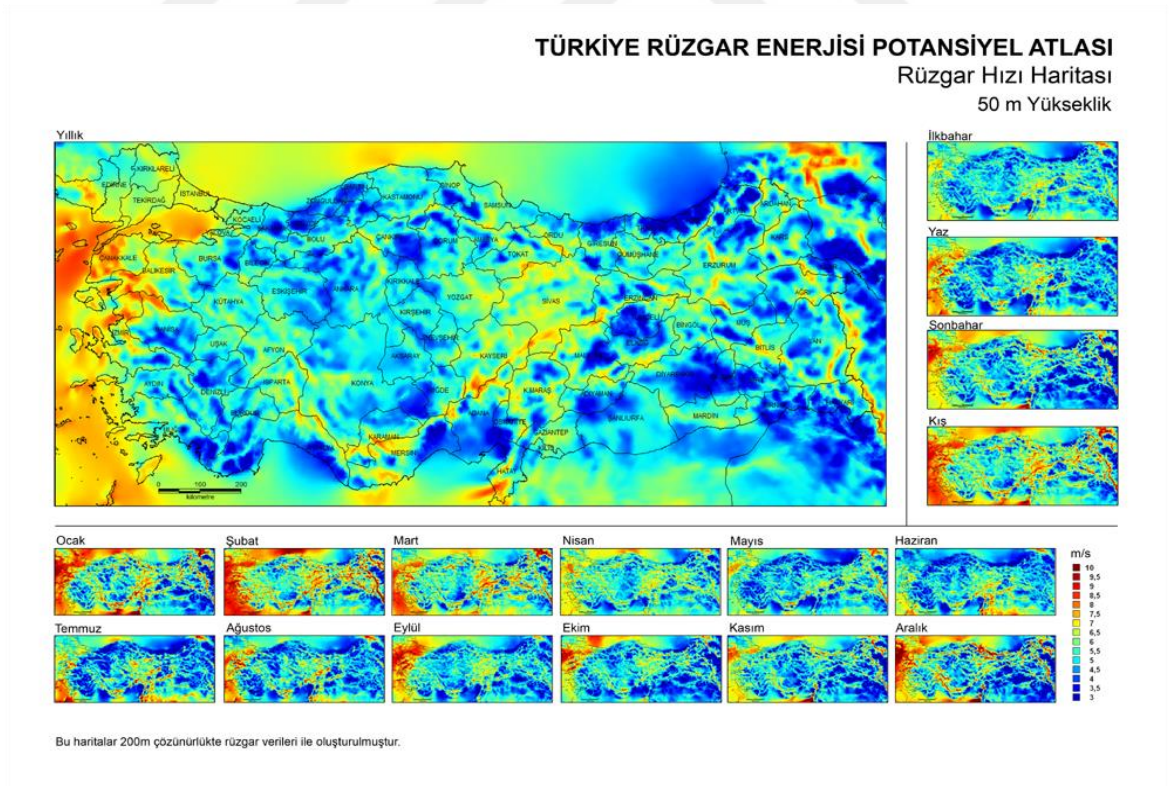
Rüzgâr enerjisi santralleri profili	
Kayıtlı santral sayısı	258
RES kurulu güç	8.701MW
Kurulu güce oranı	%7,56
Yıllık elektrik üretimi	22.691 GWh
Üretimin tüketime oranı	%6,81

Yukarıdaki tabloda Türkiye çapında devreye giren 258 santralin bir bölümünün henüz lisans kurulu gücü kadar kapasiteye ulaşmaması sebebi şu an aktif olarak çalışmakta olan santraller gösterilmiştir.

Tablo 4.5. Talep tahmini referans (Baz) Talep (Barlas, 2019)

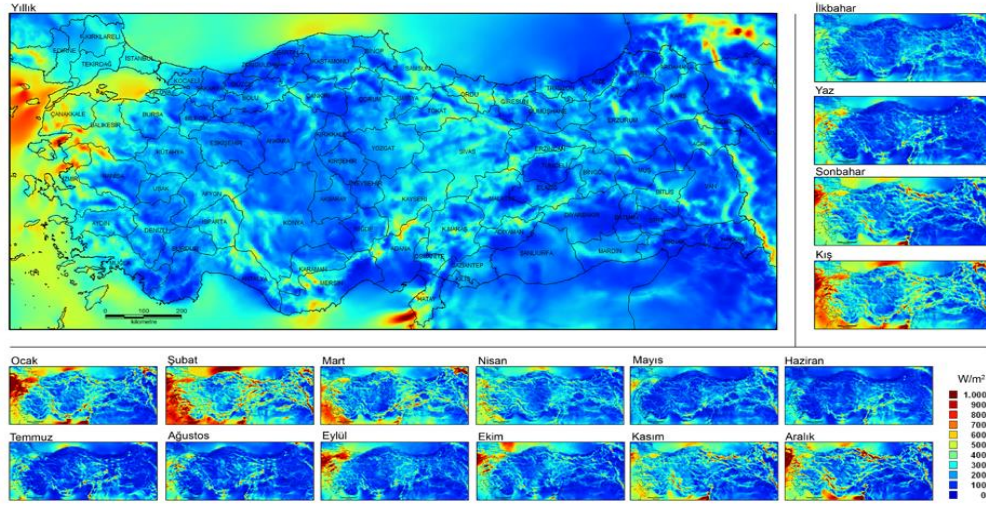
Yıl	Puan talebi		Enerji talebi	
	MW	Artış(%)	GWh	Artış(%)
2020	53,112	4,9	334,985	4,9
2021	55,602	4,7	350,696	4,7
2022	58,229	4,7	367,263	4,7
2023	60,984	4,7	384,638	4,7
2024	63,786	4,6	402,308	4,6
2025	66,671	4,5	420,509	4,5
2026	69,630	4,4	439,171	4,4
2027	72,596	4,3	457,876	4,3

Tabloda 4.5’de görüldüğü gibi dünya genelinde 8 yıllık (2020-2027 yılları arası) tahmini puan talebi ve enerji talebinin artışı MW, GWh ve % olarak belirlenmiştir. Araştırmalar 2020 yılında 53,112 MW göstermiş olup ancak 8 yıl sonrasında yani 2027 yılında bu talebin 72,596 MW’a yükseleceğini tahmin etmektedir(Barlas, 2019). Şekil 4.11-Şekil 4.14 arasında Türkiye’nin rüzgâr enerjisi potansiyel atlası görülebilir.



Şekil 4.11. Yıllık ortalama rüzgâr hızlarının 50 metre yükseklikteki değerleri (REPA)

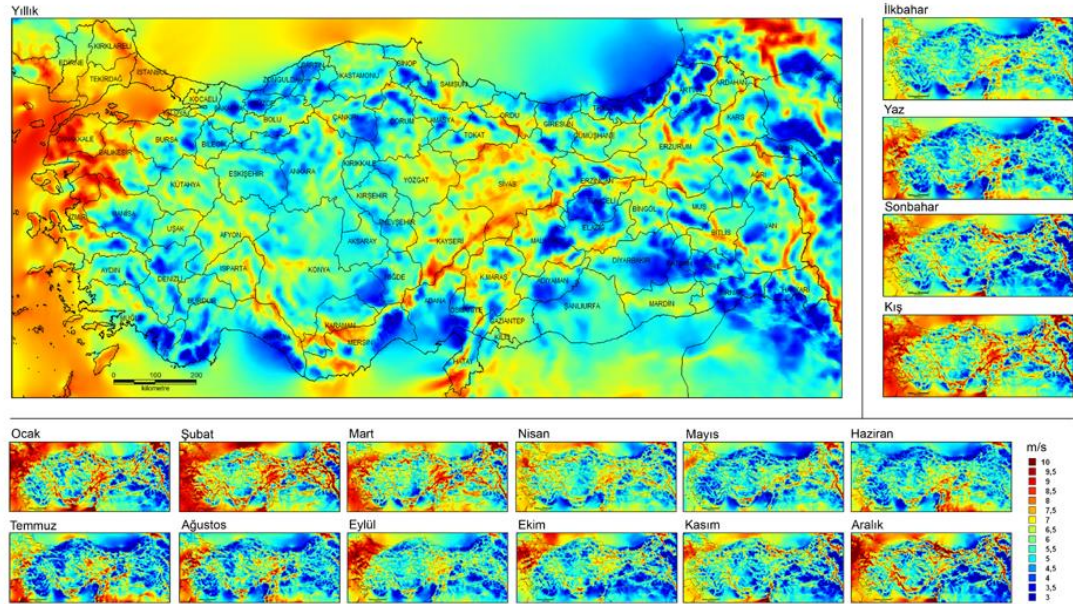
TÜRKİYE RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYEL ATLASI
Rüzgar Güç Yoğunluğu Haritası
50 m Yükseklik



Bu haritalar 200m çözünürlükte rüzgar verileri ile oluşturulmuştur.

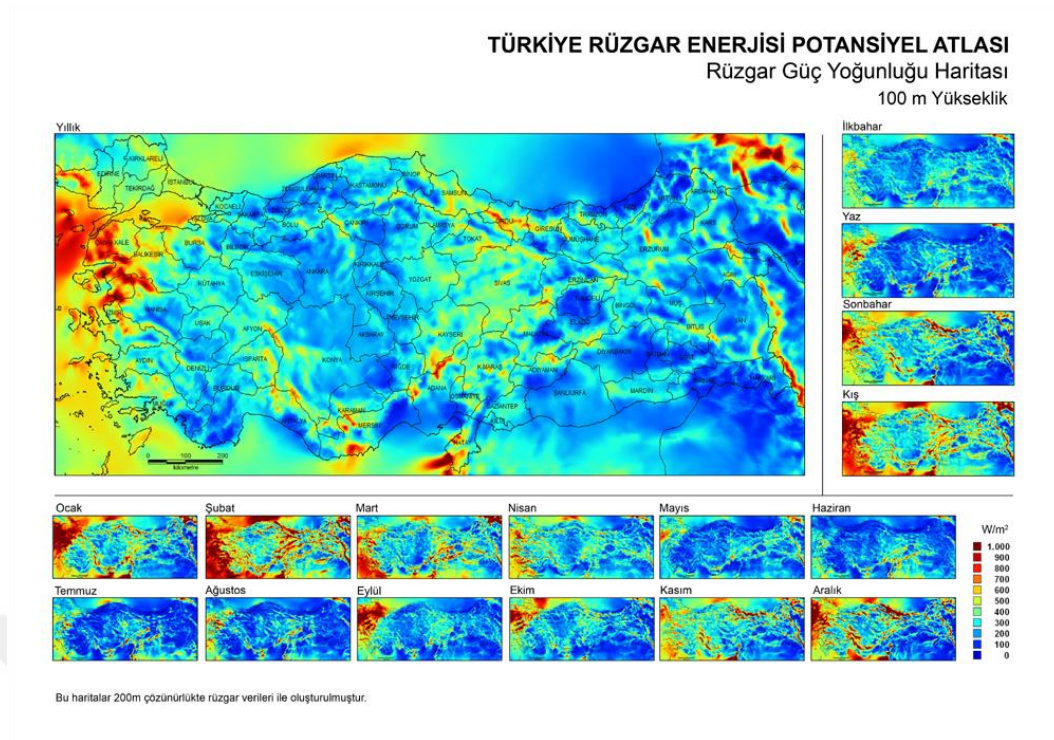
Şekil 4.12. Yıllık ortalama rüzgâr güç yoğunluğunun 50 metre yükseklikteki değerleri (REPA)

TÜRKİYE RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYEL ATLASI
Rüzgar Hızı Haritası
100 m Yükseklik



Bu haritalar 200m çözünürlükte rüzgar verileri ile oluşturulmuştur.

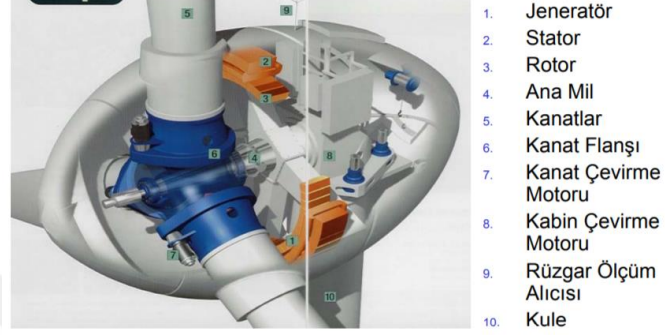
Şekil 4.13. Yıllık ortalama rüzgâr hızlarının 100 metre yükseklikteki (REPA)



Şekil 4.14. Yıllık ortalama rüzgâr güç yoğunluğunun 100 metre yükseklikteki değerleri (REPA)

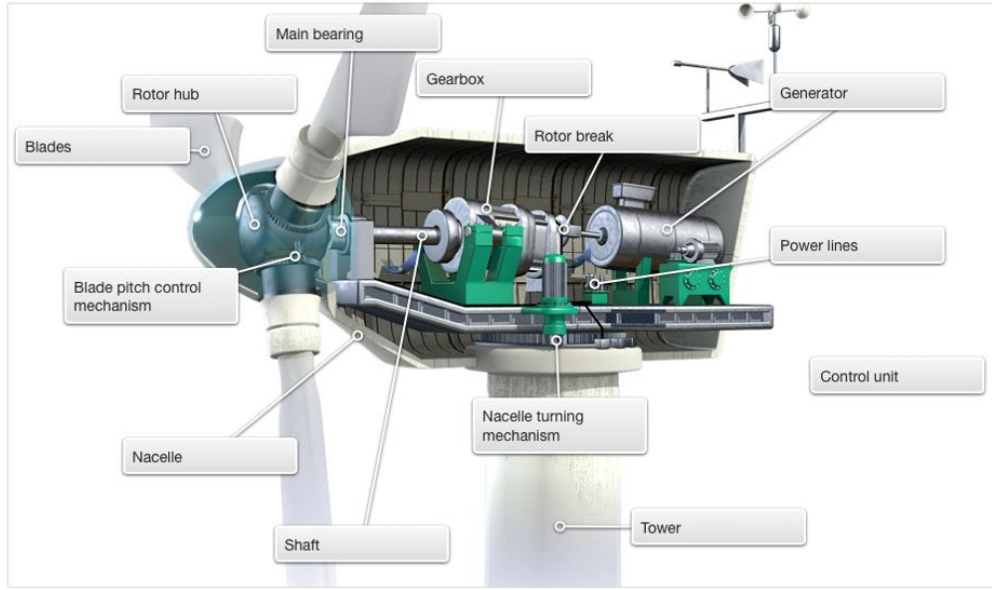
5. RÜZGÂR TÜRBİNLERİ

Rüzgâr türbini, rüzgârın barındırdığı kinetik enerjiyi önce mekanik enerjiye akabinde elektrik enerjisine çeviren sistemdir. Rüzgâr türbini genel itibari ile beş bölümden oluşur. Bunlar jeneratör, kule, elektrik elektronik elemanlar, pervane ve dişli kutusudur(Anonim, 2019c.).



Şekil 5.1. Rüzgar türbini parçaları (Anonim, 2019c.)

Kule: Rüzgâr türbinlerinde rotor ve nacelle'yi taşıyan kısımdır. Türbinin pervane ve motor kısımlarının zeminden emniyetli bir yükseklikte çalışmasını sağlamaktadır. Genel itibari ile bir kule tüp biçiminde çelik, kafes yapılı ya da betonarme şeklinde kurulur. Direk türü ve halat destekli kuleler bilhassa küçük türbin uygulamalarında tercih edilir. En çok tercih edilen ise tüp biçiminde olan kulelerdir. Bu kulenin seçilmesinin en önemli ve temel avantajı maliyetinin düşük oluşudur. Hâlihazırda halat destekli direk türü kule kullanılarak küçük türbinlerin birçoğunun kurulumu yapılır. Ağırlığının çok az, maliyetinin düşük olması en büyük avantajıdır. Tarım alanlarının kullanımını engellemesi ve inşa zorluğu dezavantajı olarak karşımıza çıkmaktadır (Anonim, 2019c.).



Şekil 5.2. Rüzgâr türbini ekipmanları yerleşimi (Anonim,2019c)

Pervane Kanatları: Genellikle rüzgâr türbinleri 2 ya da 3 pervane kanadını sahiptir. Bir uçak kanadı gibi tasarlanmaktadır (Anonim,2019c.).

Fren sistemi: Bu rüzgâr türbini sisteminin güvenli bir biçimde işlemesi için etkili bir fren sistemine ihtiyaç duyulur. Bu bağlamda rüzgâr türbinlerinde iki bağımsız sistem bulunmaktadır; bunlar mekanik fren sistemi ve Pitch-Stall kontrol sistemidir. Bahsedilen bu iki sistem de hız sınırının aşıldığı zamanlarda şebeke bağlantılarının kopması ve de oluşabilecek diğer ani vaziyetlerde rüzgâr türbinlerini emniyetli hale getirme özelliğini taşımaktadır (Anonim,2019c.).

Jeneratör Sistemi: Rüzgâr türbini jeneratörlerini diğer jeneratörlerden ayıran en önemli nedenlerden biri, jeneratörün salınımlı güç üreten rüzgâr türbini rotoruyla beraber çalışmasıdır. Mekanik enerjiyi elektrik enerjisine indüksiyon yöntemi ile dönüştürmektedir. Üç farklı jeneratör kullanılmaktadır; “Doğru Akım Jeneratörleri, Asenkron Jeneratörleri ve Senkron Jeneratörleri” (Anonim, 2019c.).

Rüzgâr Ölçer (Anemometre): Anemometre; rüzgâr hızını ölçmeye yarayan alettir. Rüzgâr türbinlerinde rüzgâr hızını ölçerek kontrol ünitesine ulaşımını sağlamaktadır (Anonim, 2019c.).

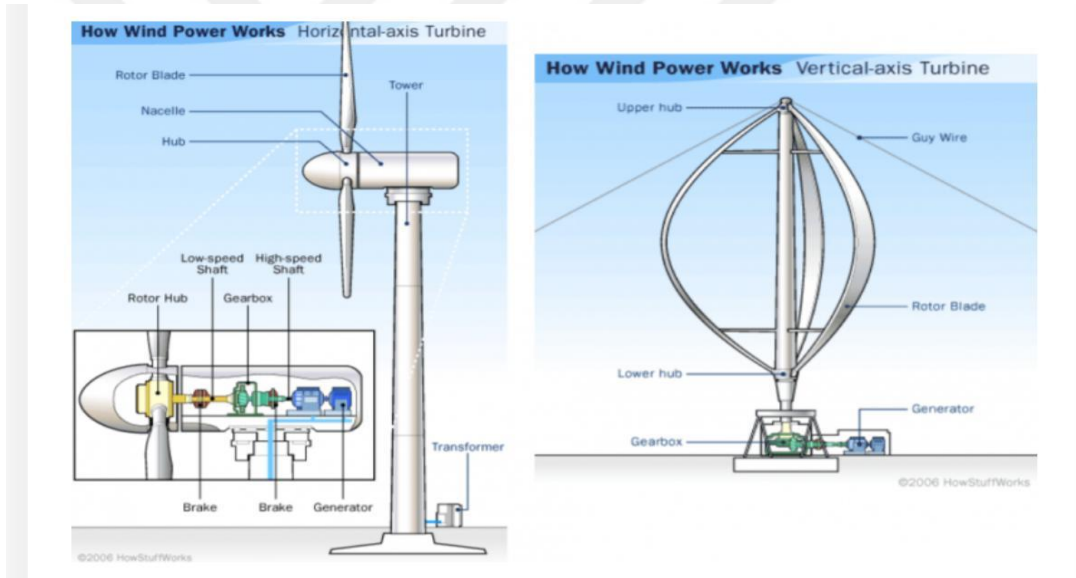
Yüksek Hız Mili (Şaft): Araçlarda şanzımanı diferansiyelle bağlayan bir parça olarak bilinen şaft rüzgâr türbinlerinde ise jeneratörü sürmektedir (Anonim, 2019c.).

Düşük Hız Mili(Low Speed Shaft): Pervane göbeğini dişli kutusuna bağlar. Hidrolik sisteme ait borular içerir ki bu da aerodinamik frenlerin çalışması içindir (Anonim, 2019c.).

Sapma Sürücüsü: Yatay eksenli rüzgâr türbinlerinin sapma sisteminin en önemli parçasıdır. Rüzgârı önden alan rüzgâr türbinleri rüzgârın geldiği tarafa dönük şekilde çalışmalıdır. Rüzgâr yönünde olan değişikliğe göre rotorun rüzgâra dönmesini sağlar(Anonim,2019c.).

Sapma Motoru: Sert bir gövdenin sapma eksenini etrafında, hareket yönünün soluna veya sağına doğru değiştiren bir hareket sistemi oluşturan ve sapma sürücüsüne güç sağlayan yapıdır (Anonim, 2019c.).

Makine Bölümü (Nacelle): Rüzgâr türbininin dişli kutusu ve elektrik üretici kısmı da dâhil türbin için önemli parçaları içinde barındırır. Bu kısım türbin kulesinin en üst kısmında yer alır ve içinde vites kutusu, düşük ve yüksek hız milleri, jeneratörü, kontrol ünitesi ve fren bulunur. Makine bölümünün solunda rüzgâr türbin pervanesi ve göbek bulunur. Makine bölümüne türbin kulesinden girilebilmekle beraber türbinlerin bazılarının makine bölümü helikopter incek büyüklükte inşa edilmektedir (Anonim, 2019c.).



Şekil 5.3. Yatay ve dikey eksenli rüzgâr türbinlerinin bileşenlerinin yerleşimi (Anonim, 2019c)

Vites Kutusu: Elektrik enerjisi üretmek için gerekli olan dönüş hızını, düşük hız mili ile yüksek hız milini birbirine bağlar.

Rotor: Diğer adı endüvi olan rotor, makinelerin dönen bölümlerine verilen isimdir.

Yelkovan: Sapma sürücüsünün yön değiştirebilmesi için yelkovana ihtiyaç vardır. Rüzgârın geliş yönünü tayin edip sapma sürücüsüne aktarır.

Kontrol Ünitesi: Rüzgârın hızına göre türbinin devreye girip devreden çıkmasını sağlar. Türbinler genellikle 2-4 m/s arasında devreye girip 25-35 m/s hızları arasında devreden çıkarlar (Anonim, 2019c.).

5.1. Rüzgâr Türbini Çeşitleri

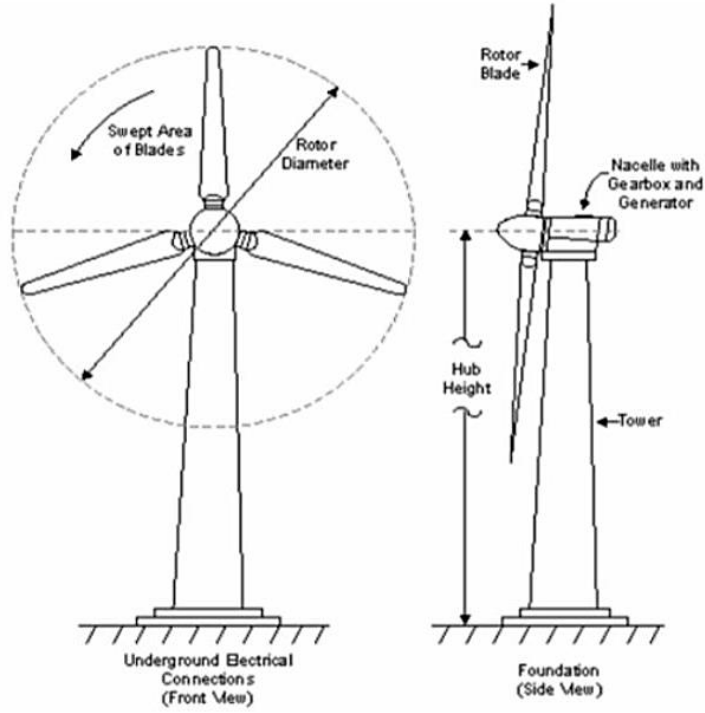
Şekil 5.4'te görüldüğü üzere, rüzgâr türbinleri güçlerine, devirlerine, kanat sayılarına, dişli özelliklerine, kurulum konumlarına, dönme eksenlerine ve rüzgâr etkisine göre yedi başlık altında sınıflandırılabilir.



Şekil 5.4. Rüzgâr türbinlerinin sınıflandırılması (Elibüyük, 2016)

5.1.1. Dönme Eksenlerine Göre Rüzgâr Türbini Çeşitleri

Dönme eksenine göre üç çeşit rüzgâr türbini vardır. Bunlar yatay eksenli rüzgâr türbinleri, dikey eksenli rüzgâr türbinleri ve eğik eksenli rüzgâr türbinleridir.



Şekil 5.5. Yatay eksenli rüzgâr türbini şeması (Anonim, 2019c)

5.1.1.1. Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri

Bu türbinlerde; kanatlar rüzgâr yönüne dik ve rüzgâr yönü ile dönme eksenini birbirine paraleldir. Ticari türbinlerin büyük bir kısmı yatay eksenli türbinlerdir. Dönen bir tablaya yerleştirilen yatay eksenli rüzgâr türbinleri rüzgârı önden aldığı için daha verimli olmaktadır. Yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde rüzgârı önden alan türbinlerin verimi yaklaşık %45 civarındadır (Işık, 2015).



Şekil 5.6. Yatay eksenli rüzgâr türbinlerinden oluşan RES (Anonim,2019c)

5.1.1.2. Düşey (Dikey) Eksenli Rüzgâr Türbinleri

Dikey eksenli rüzgâr türbinlerinin dönme yönü rüzgâr yönüne dik gelecek biçimde düzenlenir. Ayrıca pervaneleri de dikey durumdadır. Bu tip rüzgâr türbinleri rüzgârın yönünü değiştirmesinden etkilenmemesi sebebi ile yönlendirici parçalara gereksinim duymaz. Bu özelliğinin yanında elektronik ve elektro-mekanik parçaları zeminde bulunması sebebi ile de bakımının yapılması son derece kolay ve maliyeti az olmaktadır. Dikey eksenli rüzgâr türbinleri ticari kullanımların dışında genellikle deneyler için üretilmektedir. Bu özgün sistemin, istenilen rüzgâr yönüne çevrilebilmesi sebebi ile dümen sistemine gerek kalmamaktadır. Yatay eksenli türbinler düşey eksenli türbinlere göre daha verimlidir. Jeneratör ve dişli kutusu yere yerleştirildiği için kule kullanmak gerekmemekte ve böylece kule masrafı da oluşmamaktadır. Maliyet bakımından avantajlarının yanında tarım arazileri için olumsuz etkilerinin fazla olması bir dezavantaj oluşturmaktadır. Sistemden elde edilen güç, toprak seviyesinde çıktığı için nakledilmesi daha kolay olmaktadır. Dikey eksenli rüzgâr türbinleri iki şekilde karşımıza çıkmaktadır (Anonim, 2019c.).



Şekil 5.7. Dikey eksenli rüzgâr enerjisi türbinleri (Anonim,2019c)

Darrieus Rüzgâr Türbinleri

Darrieus tipi dikey eksenli rüzgâr türbininde, düşey biçimde yerleştirilmiş iki tane aerofoil kanat mevcuttur. Kanat yerleşim şekline bahsetmek gerekirse, yaklaşık olarak türbin mili uzun eksenli olan bir elips oluşturacak şekilde yerleştirilmiştir. Kanatlar yapısı itibariyle içbükey ve dışbükey tasarlanmıştır bu yapı tipi de çekme kuvveti farkı oluşturduğundan dönme hareketi oluşmaktadır. Rüzgârın tek taraftan geldiği farz edelim; türbinin verdiği güç,

sinüs şeklinde bir eğri oluşumuna neden olur ve Giromill adı verilen, düz kanat kullanılan ve aynı ilke ile çalışan rüzgâr türbinleri de bulunmaktadır (Işık, 2015).



Şekil 5.8. Darrieus tipi rüzgâr türbini

Savonius Rüzgâr Türbinleri

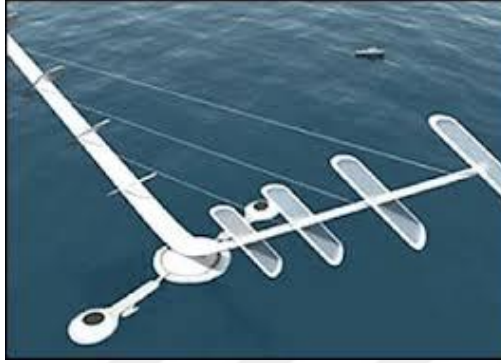
Savonius rüzgâr türbinleri iki veya üç tane kepçeye benzeyen kesitin birleşimi biçimindedir ki en yaygını iki tane kepçenin oluşturduğu durumdur ve “S” harfini çağrıştıran bir görünümü mevcuttur. Bu türbinde akışkan içbükey kanat üstünde burgaçlı bir yol takip eder ve burada dönel akışlar oluşur. Meydana gelen bu dönel akışlar türbinin performansını düşürür ve bu sebeple elektrik üretiminde pek fazla kullanılamamaktadırlar. Elektrik üretiminden ziyade daha çok su pompalama amacı güdülerek ve rüzgâr ölçümleri için anemometre olarak kullanılmaktadırlar.



Şekil 5.9. Savonius Tipi Rüzgâr Türbini (Işık, 2015).

5.1.1.3 Eğik Eksenli Rüzgâr Türbinleri

Eğik eksenli rüzgâr türbinleri dönme eksenleri düşeyle rüzgâr yönünde bir açı yapan rüzgâr türbinleridir. Bu türbinlerin kullanım alanı oldukça azdır.



Şekil 5.10. Eğik eksenli rüzgâr türbinleri (Işık, 2015).

5.1.2. Kanat Sayılarına Göre Rüzgâr Türbini Çeşitleri

Kanat sayılarına bakılarak rüzgâr türbinleri dört tanedir ve bunlar; tek kanatlı, iki kanatlı, üç kanatlı ve çok kanatlı rüzgâr türbinleridir.

5.1.2.1. Tek Kanatlı Rüzgâr Türbinleri

Tek kanatlı rüzgâr türbinleri pervanelere etkiyen yüksek rotasyonel hızın düşürülmesi amacıyla kullanılır. Bunun yanında, tek kanatlı olmasından ötürü kanadın dönme esnasında rotora uyguladığı istemediğimiz yükler oluşmaktadır. Bu ve benzeri sebeplerden dolayı göbek kısmında fazladan ekipmanlar yapılması gerekmektedir. Bahsedilmesi gereken bir diğer dezavantajı da yüksek sesli çalışmasıdır. Üç hız oranı, 120 m/s civarındaki üç kanatlı pervanelerle karşılaştırıldığında, üç hızı iki kat daha yüksektir. Bu nedenle üç kanatlı rüzgâr türbinlerinden daha gürültülüdür (Elibüyük, 2016).

5.1.2.2. Çift Kanatlı Rüzgâr Türbinleri

Avrupa ve Amerika’da daha çok kullanılan çift kanatlı rüzgâr türbinlerinin pervane çapları 10 metre ile 100 metre arasında değişmektedir. İlk bakıldığında iki kanatlı rüzgâr türbinleri üç kanatlı rüzgâr türbinlerine göre daha kazançlı olarak görülmesine karşın iki kanatlı rüzgâr

türbinleri devimsel özelliklerinden mütevellit bazı ek ekipmana ihtiyaç duyduğundan üç kanatlı türbinler ile aynı maliyete gelmektedir. Dönmeden oluşan ve kulenin yatay eksenine uygun olan bir atalet momentine sahip oluşu üç kanatlı rüzgâr türbinleri arasındaki önemli bir farklılık olarak karşımıza çıkmaktadır. Oluşan bu farklılık ise rüzgâr türbini üzerinde ek bir yüklenme oluşturur ve yalnızca sallanan göbek ile bu giderilebilir. Bu tip türbinlerde büyük ataletleri önlemek için pervane üzerinde sallanan göbek kullanılmaktadır (Anonim, 2019c.).

5.1.2.3. Üç Kanatlı Rüzgâr Türbinleri

Yeni nesil modern rüzgâr türbinlerinde diğer türbinlere nazaran en çok tercih edilen model üç kanatlı rüzgâr türbinleridir. Pervanenin bütün hızlarda aynı eylemsizlik momentine sahip olması üç kanatlıların tercih edilmesinin temel sebebini oluşturmaktadır. Bu avantajı üç veya daha fazla kanada sahip olan tüm pervaneler taşımaktadır. Tüm bunların yanında, üç kanatlı pervane bu avantajı sayesinde rüzgâr türbinleri üzerinde ek bir yük oluşturmamaktadır (Elibüyük, 2016).

5.1.2.4. Çok Kanatlı Rüzgâr Türbinleri

Rüzgârgülleri olarak da isimlendirebildiğimiz bu türbinler, rüzgâr türbinlerinin gelişmemiş ilk örneklerini oluşturmaktadır. Senelerce yalnızca su pompalamasında kullanılmış olan bu türbinler, su pompalaması işlemi esnasındaki moment ihtiyacının karşılanabilmesi amacıyla çok kanatlı olarak üretilmiştir. Bu türbinler düşük hızlarda çalışırlar ve türbin kanatlarının genişlikleri pervane göbeğinden uçlara gidildikçe artış göstermektedir. Çok kanatlı rüzgâr türbinlerinin pervane mili, dişli kutusuna bağlanarak, jeneratör mili devir sayısı artırılır ve otomobillerde uygulama alanı bulan jeneratörler kullanılır. Rüzgârgülleri, rüzgârı sürekli karşıdan alabilmeleri için rüzgârgülü yönlendiricisi kullanılmaktadır.



Şekil 5.11. Çok kanatlı rüzgâr türbinleri(Rüzgârgülleri) (Anonim,2019c.)

5.1.3. Rüzgârın Gelme Yönüne Göre Rüzgâr Türbini Çeşitleri

Rüzgârın gelme yönüne bakarak rüzgâr türbinleri ikiye ayrılmaktadır. Bunlar; rüzgârı önden alan ve rüzgârı arkadan alan türbinlerdir.

5.1.3.1. Rüzgârı Önden Alan Rüzgâr Türbinleri

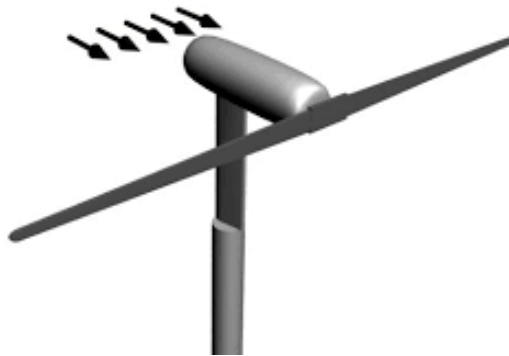
Yatay eksenli türbinlerinde rotorun ön kısmı rüzgâra bakıyor ise önden rüzgârlı türbinleri olarak adlandırılırlar. Rüzgârı önden alan rüzgâr türbinlerinin en önemli özelliği ise kulenin yapacağı gölgeleme etkisine maruz kalmamalarıdır. Uzun yıllardır genellikle rüzgârı önden alan makineler kullanılmıştır. Diğer yandan kulenin önünde az da olsa bir rüzgâr gölgelemesi oluşmaktadır yani rüzgâr kuleye eğilerek gelmektedir. Kule yuvarlak ve düz olsa dahi, kanadın kule hizasından her geçişinde türbinin üretmiş olduğu güç biraz daha azalır. Kanatların kuleden uzak olması ve sert yapılardan oluşturulması bu sebeplerden kaynaklanmaktadır. Önden rüzgârlı makineler ayrıca, rotoru rüzgâra doğru döndürmek amacıyla sapma sürücüsü ile donatılmışlardır(Elibüyük, 2016).



Şekil 5.12. Rüzgârı önden alan rüzgâr türbini (Çolak, 2008)

5.1.3.2. Rüzgârı Arkadan Alan Rüzgâr Türbinleri

Rüzgârı arkadan alan türbinlerin rotorları kule arkasında yer alır. Bu türbinlerin en önemli üstünlüğü sapma sürücüsüne ihtiyacı olmayışlarıdır. Kanatların esnek özelliğe sahip yapılması bir diğer önemli üstünlüğünü oluşturmaktadır ve bu özelliği itibari ile hem ağırlık hem de makinenin güç dinamiği bakımından önemli bir üstünlük sağlamaktadır. Bu sayede kule yükü azalmış olacaktır. Önden rüzgâr alan türbin çeşitlerine göre en büyük özelliği daha yapılar olarak karşımıza çıkmalarıdır. Fakat kanat kulenin yanından geçerken oluşan güç türbülansı rüzgârı önden alan türbinlere göre daha fazla zarar vermektedir ve bunun temel nedeni kanatlar ile kulenin birbirine yakın oluşudur (Elibüyük, 2016).



Şekil 5.13. Rüzgârı arkadan alan rüzgâr türbini (Çolak, 2008).

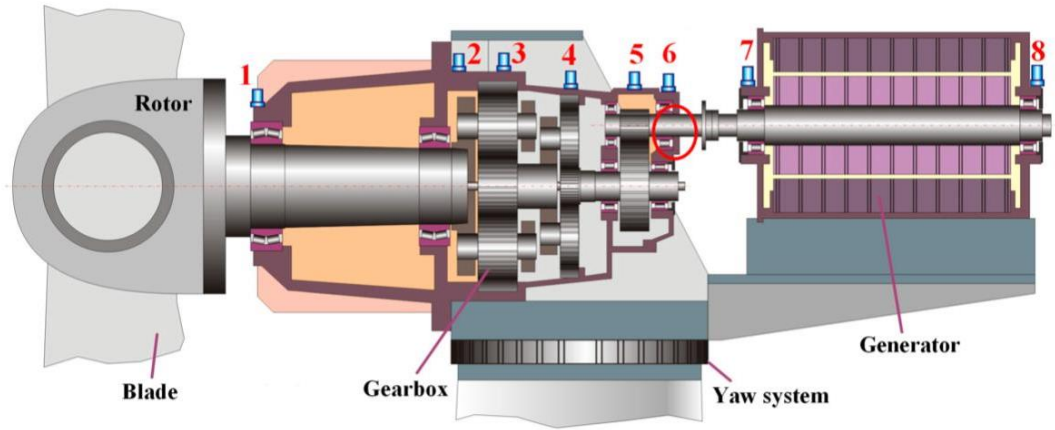
5.1.4. Maksimum Güçlerine Göre Rüzgâr Türbini Çeşitleri

Rüzgâr türbinleri güçlerine göre dört çeşittir. Bunlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

- Küçük Güçlü Rüzgâr Türbinleri: En fazla 30 KW güç üretebilen cihazlardır.
- Orta Güçlü Rüzgâr Türbinleri: 30-100 KW arasında güç üretebilen cihazlardır.
- Büyük Güçlü Rüzgâr Türbinleri: 100-1000 KW arasında güç üretebilen cihazlardır.
- Çok Büyük Güçlü Rüzgâr Türbinleri: 1 MW üzerinde güç üretebilen cihazlardır (Anonim,2019c.).

5.1.5. Dişli Kutusuna Göre Rüzgâr Türbini Çeşitleri

Standart rüzgâr enerjisi sistemi; bir rüzgâr türbini, bağlantı ekipmanı (dişli kutusu), jeneratör ve kontrol sistemi içermesi gerekmektedir. Sürücü sistemleri bakımından rüzgâr türbin üniteleri; dişli kutusu olan ve dişli kutusu olmayan türbin jeneratör sistemleri olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır.



Şekil 5.14. Rüzgâr türbininde dişli kutusunun yerleşimi (Anonim, 2019c)

5.1.5.1. Dişli Kutusu Bulunduran Rüzgâr Türbinleri

Dişli kutusu bulunduran rüzgâr türbinlerinin jeneratörleri az kutuplu, yüksek devirlidir ve bundan dolayı pervanenin devir sayısı ile jeneratör devir sayısını dengelemek için 1/50, 1/70 gibi oranlarda dişli kullanılmaktadır (Elibüyük, 2016).

5.1.5.2. Dişli Kutusu Bulundurmayan Rüzgâr Türbinleri

Dişli kutusu bulundurmayan rüzgâr türbinlerinin jeneratörleri çok kutuplu, düşük devirli olduğundan dolayı dişli sisteme gerek duyulmamaktadır. Bunlarsa iki çeşittir; sürekli mıknatıslı direkt sürümlü senkron jeneratörler ve elektrik uyarılı direkt sürümlü senkron jeneratörler. Bunların haricinde türbinleri deniz üstü(offshore) ve kara üstü(onshore) olarak da sınıflandırmak mümkündür.

Deniz Üstü (Offshore): Uzun yıllar boyunca kara parçaları üzerinde kurulan rüzgâr türbinleri denizdeki rüzgâr hızının karaya oranla daha fazla olması sebebi ile deniz üzerine de inşa edilmeye başlanarak enerji temin edilmeye çalışılmıştır. Başlarda derinliği 10 metreyi aşmayan, sahile yakın kesimlerde kurulumu yapılmıştır. Deniz üstü rüzgâr türbinlerine yönelik ilk çalışmalar Danimarka'da Vindeby rüzgâr çiftliğinde 5 MW'lık gün üreterek yapılmıştır(Küçükkaya, 2018).



Şekil 5.15. Deniz üstü rüzgâr türbinleri (Offshore) (Küçükkaya, 2018)

Kara üstü(onshore) ve deniz üstü(offshore)rüzgâr enerji santralleri arasında belirgin farklar mevcuttur. Bu farklılıkların başında offshore türbinlerde yüksek rüzgâr hızları görüldüğünden enerji üretimi daha fazla olmaktadır. Offshore rüzgâr enerji santralleri onshore sistemlere göre bakım ve işletme maliyetleri açısından daha külfetlidir ve denizlerdeki hava koşullarıyla doğrudan alakalı olduğundan lojistik anlamda problemler ortaya çıkabilmektedir (Küçükkaya, 2018).

5.2. Rüzgâr Enerjisi Santrali Maliyetleri

5.2.1. Rüzgâr Türbinin Fiyatları

Rüzgâr türbinlerinde fiyatların temeli, seçimleri birbirine bağlı olan jeneratör gücü, rotor çapı ve kule yüksekliğidir. Çok sayıda türbinden oluşan rüzgâr çiftliklerin maliyeti az sayıda türbin barındıran çiftliklere göre daha makuldür. Ortalama olarak bir rüzgâr türbinin kullanımda kalma süresi 25 yıla kadar çıkmaktadır. 25 yılın sonunda verimlerinde ciddi düşüşler meydana geldiğinden kullanımları pek uygun olmamaktadır(Anonim,2019c.).

5.2.2. Rüzgâr Türbinin Kurulum Maliyetleri

Rüzgâr türbinlerinin kurulum maliyetlerinin ana komponentleri, kuleyi oturtmak için temelde betonarme, türbinin büyük parçalarını taşımak için lojistik anlamda yol yapımı, voltaj ayarı yapılabilmesi için transformatör, türbin durumunu uzaktan incelemek ve kumanda etmek için iletişim bağlantıları, türbinden transformatöre ve transformatörden iletim hattına olan kablo maliyetleri şeklinde sıralanabilir. Tek bir türbin kurmak, bir rüzgâr çiftliği yapıp daha fazla türbin kurmaktan daha maliyetlidir(Anonim,2019c.).

5.2.3. İşletme ve Bakım Masrafları

Yeni nesil rüzgâr türbinleri ortalama 120000 saat işletmede kalıp 20 yıllık çalışma ömrüne sahip olacak şekilde tasarlanmaktadır. Bu süre bölgedeki iklim şartlarına, kurulumda kullanılan malzeme kalitesine ve işçiliğe doğrudan bağlıdır(Anonim,2019c.).

5.2.4. Lisanslı Rüzgâr Enerjisi Santrallerinden ve Lisanssız Rüzgâr Enerjisi Santrallerinden Elektrik Üretimi Teşviki

Aralık 2010 tarihinde Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın çıkardığı Yenilenebilir Enerji Kanunu'yla birlikte üreticiler rüzgar enerjisi alanında 1 MW kapasite temel alınarak rüzgar türbiniyle elektrik enerjisi üretimini lisans almadan yapabilmektedirler ve kullanmadıkları fazla enerjiyi de şebekelere satabilirler. Burada bu kanunla asıl amaçlanan ülke olarak enerji

tasarrufu yapmak ve dış ülkelere olan bağımlılığımızı azaltarak çevreye de olumlu yönde katkıda bulunarak kalkınmaya destek olmaktadır.



Şekil 5.16. Rüzgâr enerjisi çiftliği (Rüzgâr Enerjisi Tarlası) (Anonim,2019c.)

Rüzgâr çiftliklerinde Kilowatt başına elektrik üretim masrafını azaltmak için rüzgârgülünün KW miktarının yüksek olması gerekir. Örneğin iki tane 250 KW rüzgâr türbinin fiyatı 500 KW rüzgâr türbini fiyatından daha pahalı olmaktadır. İki adet 500KW türbin ise 1 MW rüzgâr türbininden daha pahalıdır. Ancak rüzgâr hızı bu değişen türbin kapasitelerini kaldırabilmelidir(Anonim,2019c.).Rüzgâr türbininin düşük rüzgâr hızlarında da çalışabilmeleri verimli elektrik üretebilmesi için gereklidir ve tam bu noktada bir örnekle açıklamak gerekirse 250 KW rüzgâr türbini daha düşük hızlarda çalışabildiğinden dolayı üretim verimliliği bakımından daha avantajlıdır. Bu enerji sistemi kurulumuna karar verilmeden önce rüzgâr enerjisi üretimi için seçilen arazinin ayrıntılı raporu alınıp ortalama en az 5 m/s rüzgâr hızı olduğundan emin olunmalıdır. Türkiye’de lisanssız kategoride rüzgâr kapasitesi bakımından en elverişli türbin 250 kW veya 500 kW’lık türbinlerdir. İyi bir ön araştırma ve analiz neticesinde uygun arazi seçilmelidir ki burada arazilerin birbirinden farklı özellikleri bulunması sebebi ile bu analiz ve ön araştırmalar büyük önem arz etmektedir.

5.3. Rüzgâr Türbinlerinin Karşılaştırılması

Fonksiyonel özelliklerinden kaynaklanan rüzgâr türbini modellerinin farklı özellikleri bulunmaktadır. Rüzgâr çiftlikleri kurulumunda rüzgâr türbinlerinin özelliklerinin bilinmesi gerekir. Gerekliliğin sebebi kurulumda; olumsuz iklim şartları, kurulum alanındaki negatif etkenler ve kayıplara sebep olacak etmenlerden kaçınmaktır. Türbinler kullanım alanları, rüzgârı alma yönleri ve kanat çeşitlerine göre birkaç şekilde üretilmektedir.

Tablo 5.1. Büyük rüzgâr türbinleri ile küçük rüzgâr türbinlerinin karşılaştırılması (Elibüyük, 2016)

Türbin boyutu	Kullanım alanı	Bir tek türbin gücü	Üretilen enerjinin verildiği yer	Akü ihtiyacı	Bakım masrafı	Kurulum masrafı
Büyük rüzgâr türbinleri	Endüstriyel	50 kW-2MW	Şebeke	Yok	Var	Yüksek
Küçük rüzgâr türbinleri	Kişisel	50W-10kW	Seralar, çiftlik evleri, radyo kulesi vb.	Var	Yok	Düşük

Büyük rüzgâr türbinleri merkezi şebekeye doğrudan bağlı rüzgâr enerjisi santralleridir. Bu türbinlerin bakım masrafları ve kurulum masrafları vardır. Genellikle kişisel kullanım için uygun olan rüzgâr türbinleri küçük rüzgâr türbinleridir. Küçük rüzgâr türbinlerinde üretilen az miktarda enerji aküler vasıtasıyla depolanabilmektedir. Günlük hayatta kullanıma uygun olan bu türbinler çiftlikteki evlerin elektriği ve su pompalamada kullanılabilmektedir.

Tablo 5.2. Rüzgâr alışı yönüne göre türbinlerin karşılaştırılması (Elibüyük, 2016)

Türbin tipi	Yaw mekanizması ihtiyacı	Kanat malzeme yapısı	Kuleye binen yük	Rüzgârın türbine verdiği hasar
Rüzgârı önden alan rüzgâr türbinleri	Var	Sert	Ağır	Az
Rüzgârı arkadan alan rüzgâr türbinleri	Yok	Esnek	Hafif	Çok

Rüzgârı önden alan türbinlerde, rüzgâr ilk olarak kanatlara çarptığı için kapasitesini olumsuz etkileyecek bir güçle karşılaşmaz ve verimi yüksek olur. Bunun bir sebebi olarak önden alan rüzgâr türbinlerinin üretim oldukça fazladır. Rüzgârı arkadan alan rüzgâr türbinlerinde sapma sürücüsünün olmaması ve kulede oluşan yükün hafif olması gibi avantajları vardır. Bunun yanında kanat kule arası türbülanslı etkileşim olduğundan dolayı türbine verdiği zarar çok fazladır. Bu sebeple üretimi ve kullanımı oldukça azdır (Elibüyük, 2016).

Tablo 5.3. Kanat çeşitlerine göre türbinlerin karşılaştırılması (Elibüyük, 2016)

Özellikleri	YERT				DERT	
	Tek kanatlı	Çift kanatlı	Üç kanatlı	Çok kanatlı	Savonius	Darrierus
Maliyet	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük
Estetik Görünüm	Kötü	Kötü	İyi	İyi	İyi	İyi
Gürültü	Yüksek	Yüksek	Düşük	Az	Az	Az
Çalışma hızı	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük
Kule ihtiyacı	Var	Var	Var	Var	Yok	Yok
Kullanım amacı	Elektrik	Elektrik	Elektrik	Az elektrik ve su pompalaması	Az elektrik ve su pompalaması	Az elektrik ve su pompalaması
Günümüzde Kullanımı	Yok	Yok	Var	Var	Az	Az
Rotorun dönmesi için rüzgârı	Kaldırır	Kaldırır	Kaldırır	Kaldırır ve sürükler	Kaldırır ve sürükler	Kaldırır ve sürükler

Yüksek gürültü yapması, estetik görünüşlerinin kötü olması ve maliyetlerinin yüksek olması sebebi ile tek ve çift kanatlı rüzgâr türbinleri fazla tercih edilmemektedir. Bu yıllarda en fazla kullanılan türbin ise üç kanatlı rüzgâr türbinleridir. Bu tercihin sebebi estetik görünüşlerinin iyi olması, düşük maliyetli, düşük gürültü düzeyinde çalışması ve yüksek çalışma hızlarından dolayıdır. Günümüzde kişisel kullanımlar için ise çok kanatlı rüzgâr türbinleri, Savonius ve Darrierus rüzgâr türbinleri; su pompalama ya da çiftliklerde elektrik üretimi gibi amaçlar ile kullanılmıştır.

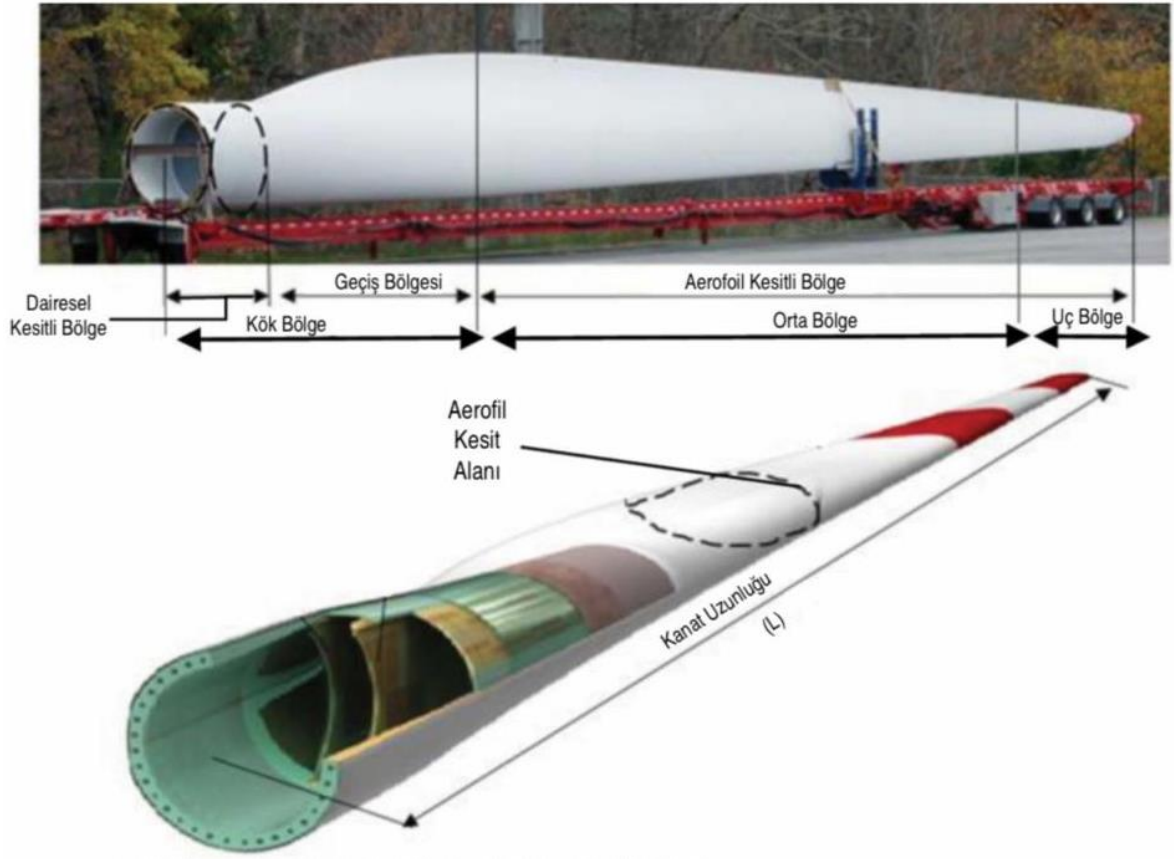
Tablo 5.4. Onshore ve offshore rüzgâr santrallerinin karşılaştırılması (Elibüyük, 2016)

	Kurulum maliyeti	Çalışma hızı	Enerji üretimi	İşletme maliyeti	Yaygın kullanımı
Onshore (Kara üstü)	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Yüksek
Offshore (Deniz üstü)	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Düşük

Onshore türbinlerin kullanımı daha yaygındır. Kurulum ve işletme maliyetleri düşüktür. Öte yandan tam tersi olarak deniz üstü türbinler yüksek kurulum ve işletim maliyetleri sebebi ile çok yaygın değildir. Fakat gün geçtikçe teknoloji ve bilimdeki ilerleme ile offshore rüzgâr santrallerinin kurulumunun artması beklenmektedir. Avrupa’da karada RES santrali için kullanım yerlerinin azalmasından dolayı offshore sistemlere yönelim giderek artmaktadır(Elibüyük, 2016).

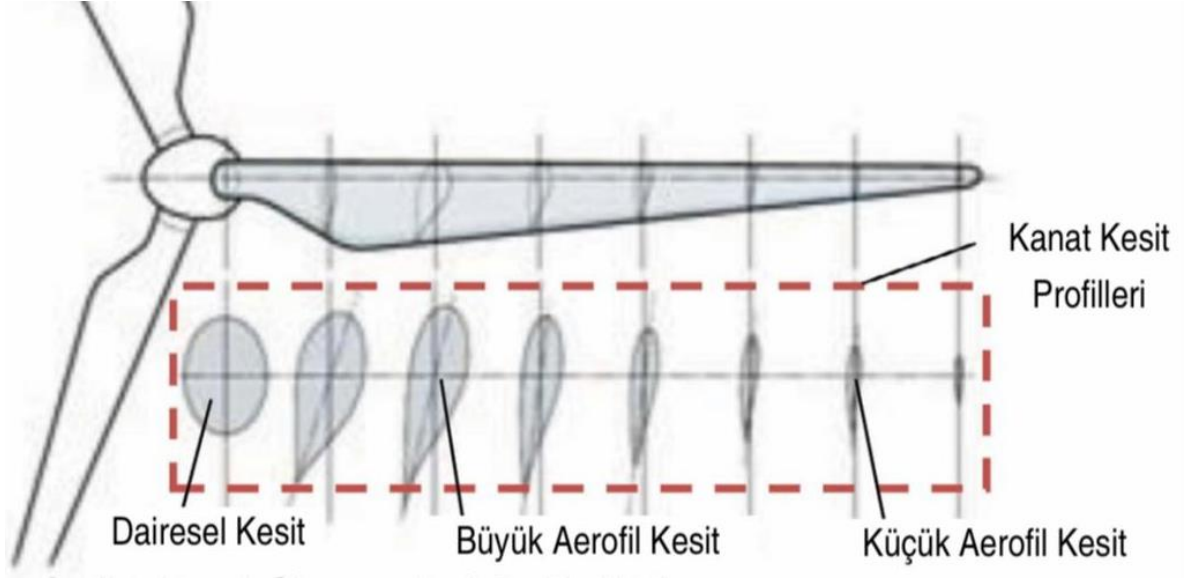
5.4. Yatay Eksenli Rüzgâr Türbin Kanatları

Rüzgâr türbin kanatları, yapısal ve aerodinamik fonksiyonlarına göre üç kısımdan oluşmaktadır ve bunlar; uç bölge, orta bölge ve kök bölgedir. Türbin kanatları, rüzgârın kinetik enerjisini alıp mekanik enerjiye dönüştürerek şafta ileten bileşenlerdir şeklinde tanımlamak mümkündür. Aşağıdaki şekilde yatay eksenli rüzgâr türbin kanadı, kanat kesiti ve bölgeleri verilmiştir.



Şekil 5.17. Yatay eksenli rüzgâr türbin kanadı, bölgeleri ve kanat kesit (Kadir ve ark.,2010).

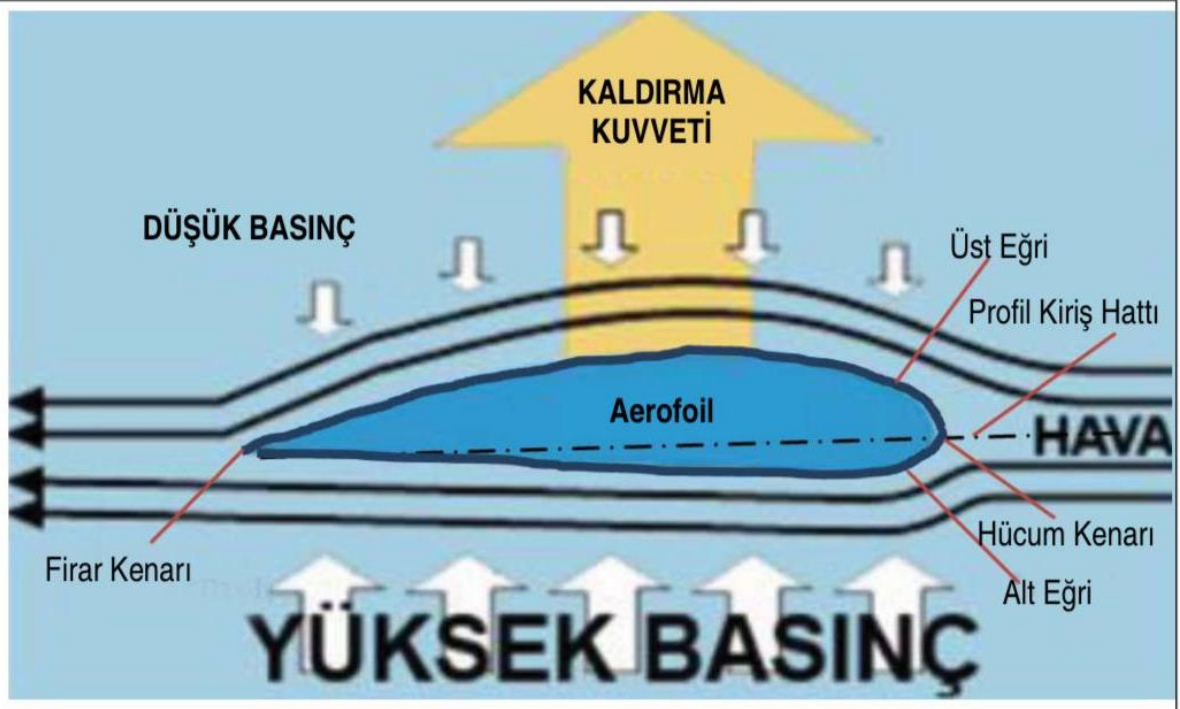
Türbin kanadının bu üç kısmını kısaca anlatmak gerekirse; kanat uç kısmı kırılğan bir tasarıma sahiptir ve orta kısım gibi güç üretimi için kritik bir bölge olarak nitelendirilebilir. Kanat orta kısmı aerodinamik parametreler dikkate alınarak bu kısmın tasarımı yapılmalıdır ve kanadın bu kısmı güç üretiminin en önemli bölgesi sayılmaktadır. Kanat kök kısmı kanat bağlantı yeri ile kanadın kanat profili (aerofoil) biçimini aldığı bölüm arasında kalan bölge olup, türbin kanadının en çok zorlanmaya maruz olan bölgesidir ve bu bölgenin baş kısımlarında kanat dairesel bir kesit alanına sahiptir. Yeni nesil modern rüzgâr türbinlerinde bulunan kanat, değişik boyutlarda dairesel kesitli kısımlar ve aerofoil kesitli kısımlardan meydana gelmektedir. Türbin kanadı yapı itibari ile kök kısmına gidildikçe dairesel kesitten büyük aerofoil kesite ve daha sonrasında ise küçük aerofoil kesite doğru değişim gösterir. Aşağıdaki şekilde üç kanatlı bir rüzgâr türbininde kanadı oluşturan dairesel ve aerofoil profiller gösterilmiştir.



Şekil 5.18. Kanadı oluşturan kesit profilleri (Kadir ve ark.,2010)

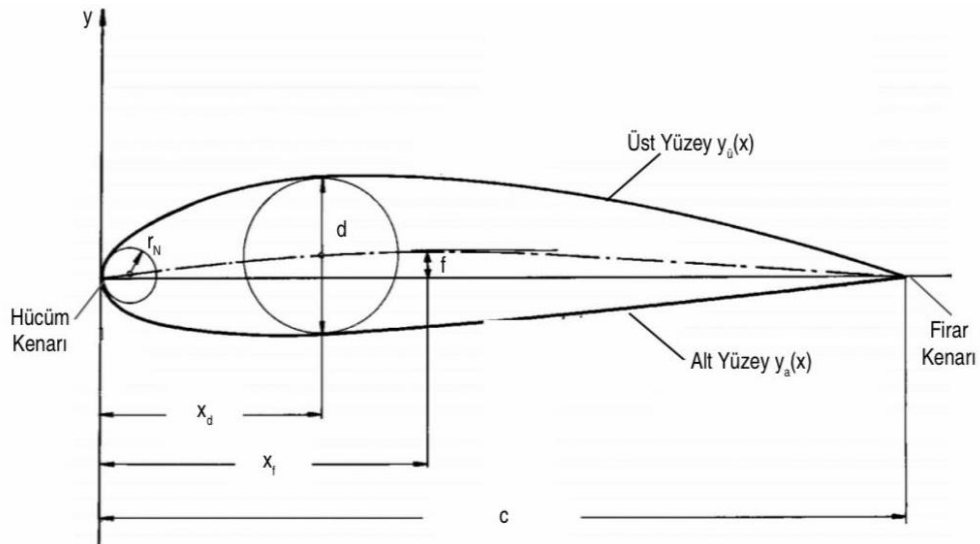
5.4.1. Kanat Profili (Aerofoil)

Türbin kanatlarında kullanılan aerofoiller, iki özel eğri olan biri giriş üzerinde ve diğeri altında tanımlanmış olan birleşimlerden oluşmaktadır. Bahsettiğimiz bu eğrilerden üstteki eğrinin alt eğrilikten küçük olması kamburluk olarak adlandırılmaktadır ve bu kamburluk, kanadın iki tarafında da farklı akış hızlarının meydana gelmesini sağlamaktadır. Kanat yüzeylerinde oluşan farklı akış hızları, taşıma kuvveti olarak ya da kanadın üst ve alt yüzeyi arasında basınç farkı oluşturarak kanadın alt kısmından üst kısmına doğru kaldırma şeklinde de tanımlanan kuvveti meydana getirmektedir ki bu oluşan kuvvet, rüzgâr türbininden enerji temin edilmesini sağlayan kuvvet olmaktadır. Aşağıda yer alan Şekil5.20’de havanın oluşturduğu kaldırma kuvveti ve aerofoil üzerindeki hareketi şemalandırılmıştır.



Şekil 5.19. Havanın aerofoil etrafındaki hareketi ve kaldırma kuvveti oluşumu (Kadir ve ark.,2010).

Rüzgâr türbinlerinde değişik birçok kurum ve kuruluştta farklı aerofoiller kullanılmaktadır. Bu farklı profillerden günümüzde en yaygın olarak kullanılanı ise NACA aerofoilidir. Standart bir NACA aerofoil ve ana büyüklükleri Şekil 5.21.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.20. NACA aerofoil serisindeki büyüklükler (Kadir ve ark.,2010)

Yukarıdaki şekilde gösterilen NACA aerofoil serisinde yer alan ifadeler; aerofoil veter uzunluğu (c), maksimum kamburluk (f), maksimum kamburluğun konumu (x_f), maksimum

kalınlık (d), maksimum kalınlığın konumu (x_d), aerofoil hücum kenarının eğrilik yarıçapı (r_N), aerofoil üst eğri formu $y_u(x)$ ve aerofoil alt eğri formu $y_a(x)$ ile karakterize edilmektedir. Ve aerofoilde boyutsuz maksimum kamburluk oranı ($\bar{f}$) ve boyutsuz maksimum kalınlık oranı ($\bar{d}$) sırasıyla;

$$\bar{f} = \frac{f}{c} \quad (1)$$

$$\bar{d} = \frac{d}{c} \quad (2)$$

şeklinde tanımlanmaktadır (Kadir ve ark.,2010).

Genel olarak, NACA aerofoil kodları çok basamaklı sayılar kullanılarak ifade edilmektedir. Örneğin; NACA 0008, NACA4415 gibi. Buradaki her bir sayı özel bir anlam taşımaktadır. Birinci sayı, yüzde bakımından maksimum kamburluk oranını ifade ederken(f) ikinci sayı, on katının yüzde bakımından maksimum kamburluğun hücum kenarından itibaren konumunu; üçüncü ve dördüncü sayıysa yüzde bakımından maksimum kalınlık oranını bize göstermektedir. Aşağıdaki Tablo 5.5.'de NACA 0008, NACA 2415 ve NACA 4415 aerofoil kodları verilmiştir.

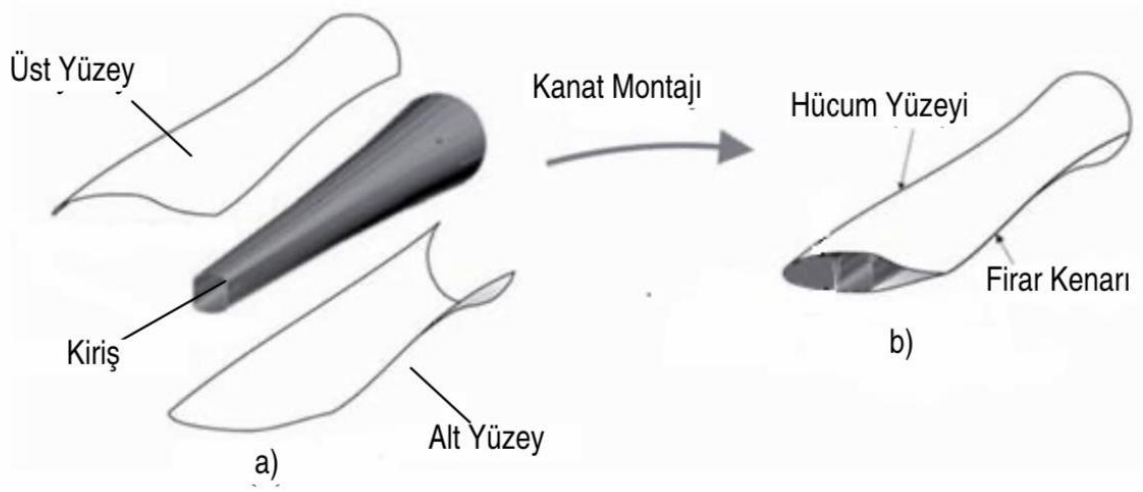
Tablo 5.5. Çeşitli NACA Aerofoil Kodları (Kadir ve ark.,2010)

Sayılar	Aerofoiller		
	NACA 0008	NACA 2415	NACA 4415
Birinci Sayı	0	2	4
Anlamı	Aerofoilde kamburluk oluşmadığını	Maksimum kamburluk oranının $\bar{f}=0,02$ olduğu	Maksimum kamburluk oranının $\bar{f}=0,04$ olduğu
İkinci Sayı	0	4	4
Anlamı	Maksimum kamburluğun profilin hiçbir noktasında oluşmadığını	Maksimum kamburluğun aerofoil kesit uzunluğunun %40'ına karşılık gelen noktada oluştuğu ($x_f=0,04c$)	Maksimum kamburluğun aerofoil kesit uzunluğunun %40'ına karşılık gelen noktada oluştuğu ($x_f=0,04c$)
Üçüncü ve Dördüncü Sayı	08	15	15
Anlamı	Maksimum kalınlık oranının $\bar{d}= 0,08$ olduğu	Maksimum kalınlık oranının $\bar{d}= 0,15$ olduğu	Maksimum kalınlık oranının $\bar{d}= 0,15$ olduğu

5.4.2. Kanat Bileşenleri

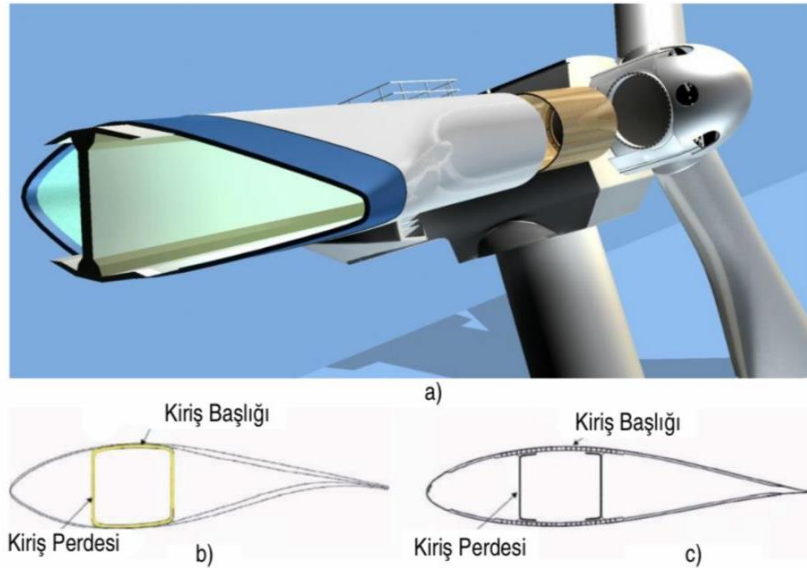
Modern rüzgâr türbinlerinde hâlihazırda en yaygın tercih edilen kanat, dış yapı ve giriş olarak iki bileşenden oluşmaktadır. Kanadı oluşturan bu iki bileşeni kısaca açıklamak gerekirse dış yapı yani kabuk yapı, kanat veya palanın aerodinamik formunu meydana getirmekte olup iki parçadan oluşmaktadır. Bunlar üst yüzey ve alt yüzey parçalarıdır. Bir

diğer bileşen olan kiriş ise kanadın maruz kalınan yüklere karşı dayanımını sağlamaktadır. Aşağıdaki Şekil 5.22’de, rüzgâr türbin kanat bileşenleri ve montajı şemalandırılmıştır.



Şekil 5.21. Rüzgâr türbin kanat bileşenleri ve montajı (Kadir ve ark.,2010)

Kanadın direncini arttırmak amacıyla kanat kirişi kullanılmaktadır ve kanat kirişi dış yapıdan aldığı yükleri göbeğine ileten elemandır. Bu kanat kirişindeki dikey öge, kiriş perdesi; yatay eleman ise kiriş başlığı olarak adlandırılır. Kanadın rotora bağlantı noktasına yakın bir konumdan başlayan kanat kirişi kanat uç noktasına kadar gitmektedir. Kanat bileşeni olan kiriş, rüzgâr kaynaklı yüklere ve kanadın kendi ağırlığından kaynaklanan yükler maruziyeti söz konusu olabilmektedir. Türbin kanatlarında dikdörtgen şeklindeki I kirişleri kullanılmalıdır. Aşağıdaki Şekil 5.23’de, kanadın yapısında kullanılan bir I kiriş gösterilmiştir.

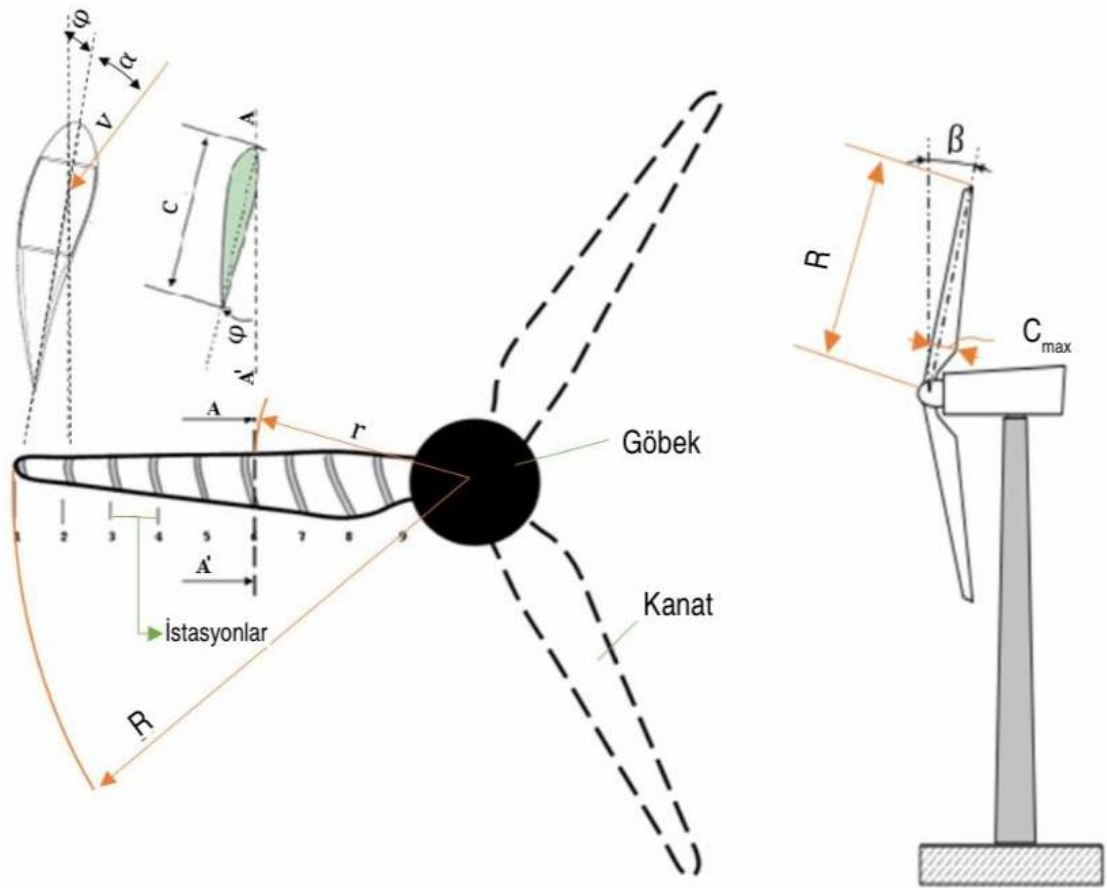


Şekil 5.22. Kanatta kullanılan kiriş yapıları (Kadir ve ark.,2010).

5.5. Kanat Katı Modellenmesi

Katı model olarak ifade edilen bu terim, bir parçanın geometrisini modelleyerek anlatım için uygun hale getirile şekillerdir. Aşağıda yer alan şekilde, yatay eksenli üç kanatlı rüzgâr türbinleri için yapılan kanat katı modellenmesi ele alınarak kanat tasarım değişkenleri tespit edilerek ANSYS Workbench programında 2 MW'lık bir rüzgâr türbin kanadının katı modeli şekle dökülmüştür (Kadir ve ark., 2010).

Rüzgâr türbinlerinde kanadın katı modelinin oluşturulması için bazı parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu parametreler; koniklik açısı (β), nominal güç (N_n), uç-hız oranı (λ), nominal açısal hız (ω_n), kanadı dilimlere ayıran istasyon sayısı ile bu istasyonlardaki aerofoillerin profil uzunluğu (c) ve hatve açıları (ϕ) gibi kanadın tasarım parametreleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 5.23.'de, yatay eksenli rüzgar türbininde kanatların büyüklükleri gösterilmiştir (Kadir ve ark., 2010).



Şekil 5.23. Yatay eksenli rüzgar türbin kanadı büyüklükleri (Kadir ve ark.,2010)

Rüzgâr türbinde kanadın, belirlenen istasyonlardaki hatve açısı (φ) ile veter boyu (c) sırasıyla;

$$\varphi = \arctan\left(\frac{2*R}{3*\lambda*r}\right) - \alpha \quad (3)$$

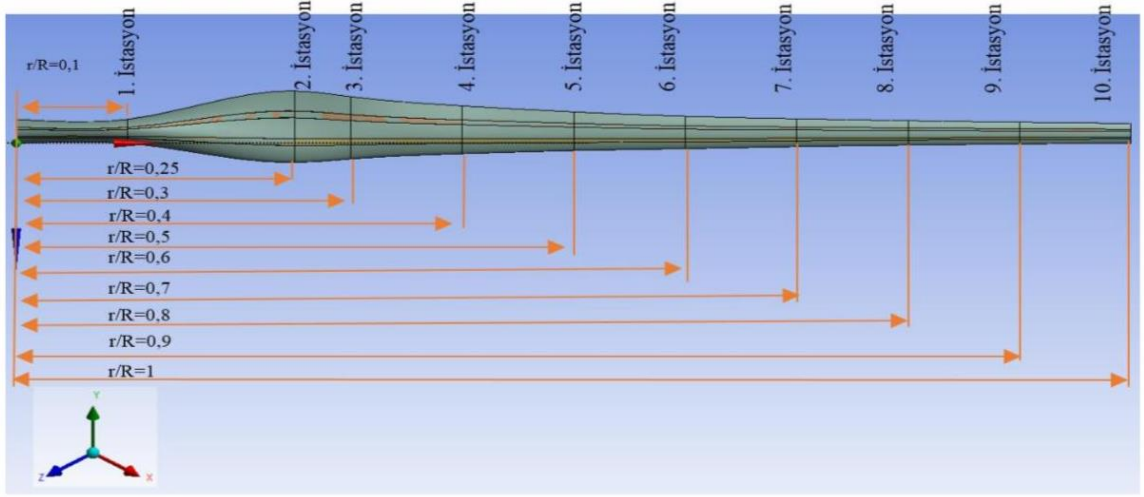
$$c = \frac{8*\pi*R*\sin\varphi}{3*B*C_L*\lambda} \quad (4)$$

Denklemlerinden faydalanılarak belirlenmektedir. Bu denklemlerde yer alan ifadeleri açıklamak gerekirse; r , kanat elemanın kanat kök kısmına olan uzaklığı; α , hücum açısı; λ , uç-hız oranı; R , rotor yarıçapı; B , kanat sayısı ve C_L , kaldırma kuvveti katsayısı olarak ifade edebiliriz. Bu örnekte 2 MW'lık güce sahip üç kanatlı bir rüzgâr türbinin katı modeli gösterilmiştir. Bu amaçla yararlanılan bilgilerden(Blade Dynamics firmasının D49 kanadı katalog)elde edilen büyüklükler Tablo 5.6'da verilmiştir(Kadir ve ark., 2010).

Tablo 5.6. D49 kanadının teknik özellikleri (Kadir ve ark.,2010)

Genel Özellikler	
Nominal Güç (N_n)	2000 kW
Nominal Açısal Hız (ω_n)	1,6441 rad/s
Dönme Yönü	Saat Yönü
Geometrik Özellikler	
Kanat Uzunluğu ($L=R$)	48,63 m
Maksimum Profil Uzunluğu (c_{max})	3,608 m
Koniklik Açısı (β)	1°
Aerodinamik Özellikler	
Uç Hız Oranı (λ)	9,4
Maksimum Güç Faktörü (C_{pmax})	0,49
Yapısal Özellikler	
Ağırlık (Kg)	6150 kg
Malzeme	E-Cam/ Epoksi

Rotor yarıçapı(R), kanat uzunluğu(L)olarak verilmiştir. Kanadın 10 duraktan oluştuğu kabul edilmiş ve bu duraklar Şekil 5.25'de verilmiştir.



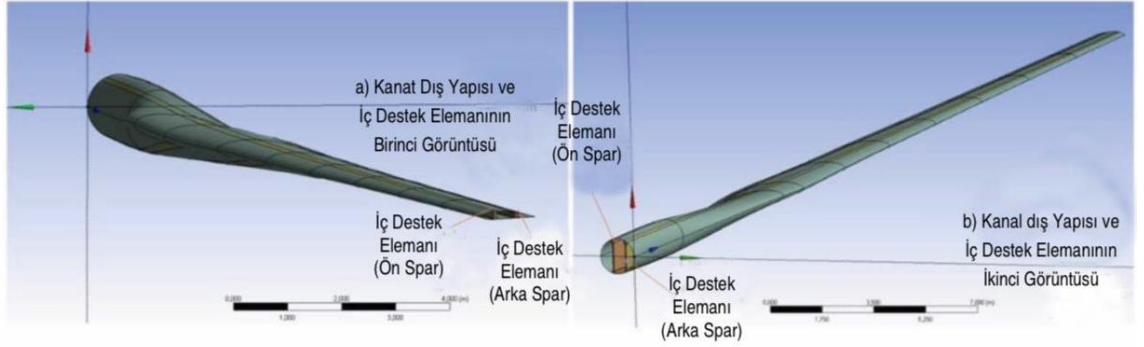
Şekil 5.24. Kanat tasarımı için belirlenen istasyon noktaları

İstasyon noktaları olarak kanat uzunluğunun yüzde 10, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100'lük kısımlarına bölünmüştür ve kanadın katı modelinin oluşturulması maksadıyla, tabloda yer alan katalog bilgileri ile denklem 3 ve 4'ten faydalanılarak istasyon duraklarındaki profil uzunlukları (c) ve hatve açıları (ϕ) belirlenmiş ve Tablo 5.7.'da bu veriler yer almıştır. Belirlenen aerofoil profil uzunluğu (c) ile hatve açılarının (ϕ) kanat uzunluğu boyunca azalış göstermektedir (Kadir ve ark., 2010).

Tablo 5.7. Modellenen kanadın tasarım parametreleri (Kadir ve ark.,2010)

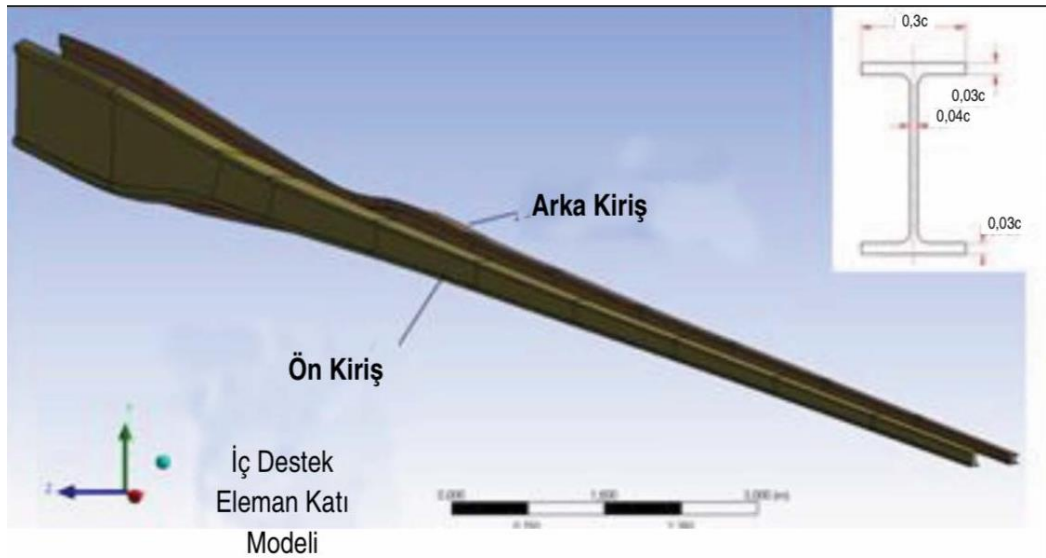
Profil İstasyonu	r/R	r	Hatve Açısı ϕ (°)	Profil Uzunluğu c (m)
2	0,25	12,1575	15,84	3,7284
3	0,3	14,589	9,24	3,1556
4	0,4	19,452	6,00	2,4057
5	0,5	24,315	4,02	1,9383
6	0,6	29,178	2,68	1,6230
7	0,7	34,041	1,73	1,3943
8	0,8	38,904	1,01	1,2225
9	0,9	43,767	0,45	1,0873
10	1	48,63	0,00	0,9786

2 MW'lık kanadı oluşturan istasyon noktaları ile yukarıdaki tabloda yer alan büyüklüklerden faydalanılarak oluşturulan kanat katı modeli Şekil 5.26'da verilmiştir.



Şekil 5.25. Kanat katı modeli (Kadir ve ark.,2010)

Şekildeki kanat katı modeli, uzunluğu 48,63 metredir. Dış yapı ve iç destek elemanlarından meydana gelmektedir. Kanat, kök kısmından başlayarak 4,863 m ($r/R=0,1$) uzunluğa kadar dairesel kesite, 4,863 m uzunluktan 12,1575 m uzunluğa kadar geçiş kesitine (dairesel kesitten aerofoil kesite geçiş), 12,1575 metreden kanat ucuna (48,63 m) kadar aerofoil kesite sahiptir. Kanat katı modeli, aerofoil kesitin başladığı noktada (12,1575 m) $15,84^\circ$ 'lik hatve açısına sahiptir. Bu bahsettiğimiz açı, kanat ucuna doğru giderek azalmakta ve en uçtaki istasyonda 0° kadar inmektedir. Yukarıdaki şekilde kanat katı modelinde iç destek elemanı (spar) olarak I kirişler kullanılmış ve iç destek elemanının katı modeli Şekil 5.27'de verilmiştir (Kadir ve ark.,2010).



Şekil 5.26. İç destek elemanı(spar) boyutları ve katı modeli (Kadir ve ark., 2010)

Literatürdeki çalışmalardan faydalanılarak iç destek elemanlarının konumu ve boyutları belirlenmiştir ve bu çalışmada, iç destek elemanları aerofoilin 0.25c ve 0.65c’lik profil uzunluklarında konumlandırılmıştır. İç destek elemanlarının boyutları ise profil uzunluğuna bağlı olarak değişmekte olup yukarıdaki Şekil 5.27’de verilmiştir(Kadir ve ark., 2010).

5.6. Kanat Tasarımında Kullanılan Malzemeler

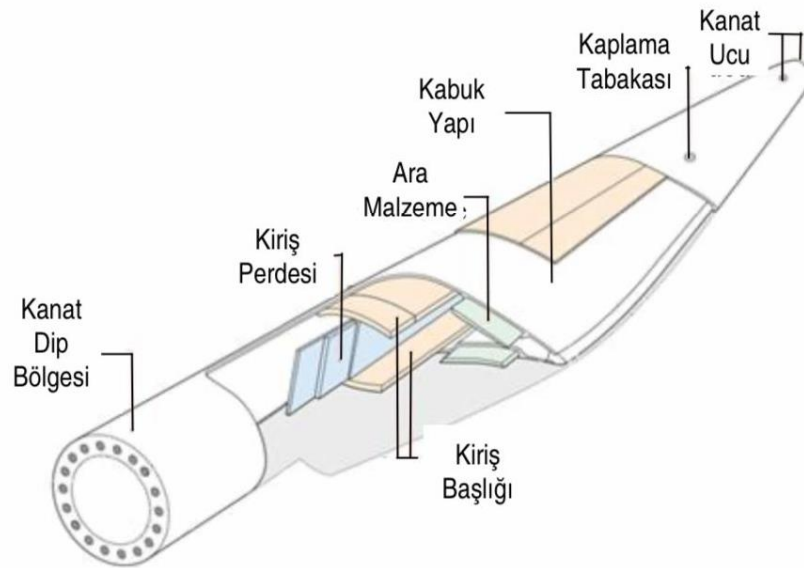
Kanat tasarımında birçok önemli parametre olmakla beraber en önemli ve birinci sırada yer alan parametre kanat malzemesi olmaktadır. Rüzgâr türbin kanat malzemelerinin; dayanıklı olması gerekmektedir ki bu dayanıklılığı gerekli kılan etmen kanada etki eden yüklerdir. Bir diğeri; kanat malzemeleri düşük yoğunlukta olmalıdır. Son olarak yorulma mukavemetinin çok olması tercih edilir. Rüzgâr türbin kanatlarında çoğunlukla kullanılan malzemeler; alüminyum, çelik, karbon takviyeli kompozit malzemeler ve camdır. Günümüzde modern türbin kanatlarında karbon fiber ve cam fiber kompozitler; küçük boyutlardaki türbin kanatlarında çelik ve alüminyum, yaygın olarak kullanılmaktadır. Rüzgâr türbin kanatlarında tercih edilen bazı malzemelerin bazı mekanik özellikleri Tablo5.8 ’de verilmiştir.

Tablo 5.8. Rüzgar türbin kanat malzemelerin rijitlik ve mukavemet parametreleri (Kadir ve ark.,2010)

	Özgül Ağırlık (γ) g/cm ³	Kopma Mukavemeti (σ_K) N/mm ²	Elastiklik Modülü (E) kN/mm ²	Yorulma Mukavemeti $\pm \sigma_A$ 10 ⁷ N/mm ²
Çelik (St52)	7,85	520	210	60
Alüminyum Alaşımı (AlZnMgCu)	2,7	480	70	40
Alüminyum Alaşımı (AlMg ₅)	2,7	236	70	20
Cam Elyaf/Epoksi Kompozit	1,7	420	15	35
Karbon Elyaf/Epoksi Kompozit	1,4	550	44	100
Ağaç (Sitka Spruce)	0,38	≅ 65	≅ 8	≅ 20

Yukarıdaki tablodan da anlaşıldığı üzere türbin kanadı imalatı için en uygun olan malzemeler kompozitlerdir. Farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip iki ya da daha fazla

bileşenin mikroskobik düzeyde birleştirilmesiyle kompozit malzemeler oluşur. Yapıyı oluşturan kompozit bu iki malzemenin özelliklerinden doğan yeni özellikler kazanır. Matris ve takviye malzemesi şeklinde en az iki ayrı malzemenin birleşiminden oluşmaktadır. Bu malzemelerin taşıdığı özellikler kısaca; takviye malzemeler yapıya gelen yükleri taşıyıcı görev üstlenmektedir ve etrafında bulunan matris yapı ise takviye elemanları birbirine bağlamaya, onları desteklemeye yaramakta ve dış etkilerden korumaktadır. Takviye elemanı olarak kompozit malzemelerde elyaflar kullanılmaktadır. Cam elyaf(E-Cam), rüzgâr türbin kanatlarında ekonomik olması ve istenilen özellikleri sağlaması nedeniyle tercih edilmektedir. Büyük boyutlardaki rüzgâr türbinlerinde, karbon elyaf yalnız ya da karbon elyaf, cam elyaf hibrit yapı şeklinde kullanılmaya başlanmıştır. Matris malzeme takviye malzemesi ile kıyaslandığında; matris malzemesi takviye malzemesine göre düşük mukavemetli ve esnektir. Rüzgâr türbin kanatlarında epoksi reçine tercih edilmektedir. Bu seçimin sebebi üstün mekanik özellikleri, korozyon dayanımları, elektriksel özellikleri ve yüksek sıcaklıklara dayanım gibi özelliklerinden ötürüdür. Ayrıca sandviç kompozitler de modern rüzgâr türbin kanatlarında kullanılmaktadır. Matris ve takviye malzemelerinin yanında sandviç kompozitlerde, ara (core) malzemeler de kullanılmaktadır ve bu malzemeler kanadın eğilme dayanımını ve rijitliğini arttırmaktadır. PVC ya da PET köpükle balsa ağacı sandviç yapılarda ara malzeme olarak kullanılmaktadır. Şekil de görüldüğü gibi modern rüzgâr türbin kanatlarında, kanat kök bölgesi ile kanat dış yapısı cam elyaf ya da karbon elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemelerden, iç destek yapı olarak bilinen kiriş perdesi ile kiriş başlığı ise sandviç kompozit malzemelerden yapılmıştır(Kadir ve ark.,2010).



Şekil 5.27. Modern rüzgar türbin kanadı (Kadir ve ark.,2010)

Rüzgâr türbini kanadında kullanılan sandviç kompozitte en alt kısımdan en üst kısma doğru sırayla, cam veya karbon elyaf destekli kompozit malzemeler, ara malzeme(köpük veya basla ağacı), cam veya karbon elyaf destekli kompozit malzeme yer almaktadır ve kanadın dış esimine jel coat kaplama veya poliüretan boya yapılmalıdır.

5.7. Kanat İmalatı

Rüzgâr türbini kanadının yapımında ilk olarak, bir kanat kalıbı hazırlanır ve aşağıda da bahsedilmiş olan 3 üretim yöntemlerinden biri seçilerek rüzgâr türbin kanat dış yapısı (kabuk yapısı) imal edilir. Son olarak dış yapı ile destek yapı (kiriş elemanı) uygun yapıştırıcılardan yararlanılarak birleştirilir ve kanadın imalatı tamamlanır. Açık kalıp yöntemi rüzgâr türbin kanadı imalatında ilk zamanlar tercih edilirken yapılan çalışmalar neticesinde el yatırma, vakum torbalama ve vakum infüzyon olarak 3 yöntem kullanılmakta olup aşağıda, kısaca bu yöntemlere değinilmiştir.

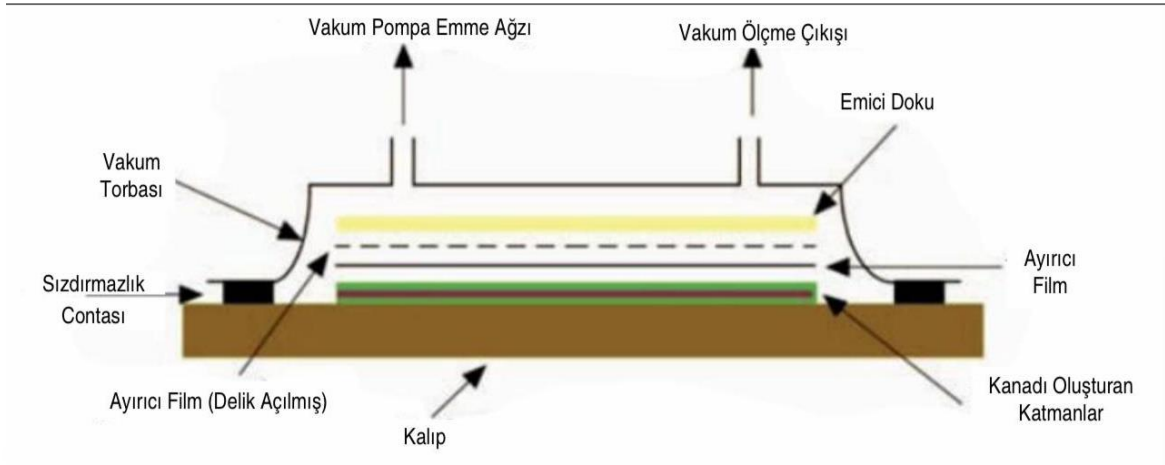
5.7.1. El Yatırma Yöntemi

El yatırma yöntemi kompozit malzemelerin temel imalat yöntemlerinden biridir. Takviye malzemenin kalıplara yatırılıp kalıp üzerine sıvı reçine uygulanması şeklinde yapılmaktadır. El yatırma yönteminde ilk önce hazırlanmış olan kanat kalıbına kaplama tabakası rulo, fırça veya sprey tabancası kullanılarak uygulanır. Yeterince sertleştiğine emin olunan kaplama tabakası üzerine takviye malzemesi ve takviye malzemesinin üzerine de reçine uygulanır. Sonrasında, iyice absorbe etmesi için reçine malzeme üzerine iyice yayılır. Reçine yeterli sertliğe ulaşana kadar rulolama işlemi yapılır ki takviye elemanı ve reçine arasında boşluk kalmasın. Bu işlem kanadın üst ve alt dış yapılarında tekrarlanarak devam edilir. Bu metodun kullanıldığı yerlerde gelişmiş havalandırma sistemlerine ihtiyaç vardır. Bu ihtiyacın sebebi ise bu metodun olumsuz yanlarından biri olan çalışanların alerjik rahatsızlıklara neden olmasıdır. Bir başka bu metodda karşılaşılan dezavantaj ise üretilecek malzemenin kalitesinin çalışanın el becerisine bağlı olmasıdır.

5.7.2. Vakum Torbalama Yöntemi

Vakum torbalama yönteminde farklı olarak reçine kalıp yüzeyine serildikten sonra reçine tepkisi hızlanıp jelleşme kıvamına oluşmadan kalıp iç kısmı sıcaklığa ve basınca dayanıklı

olan vakum torbası ile kapatılarak sisteme vakum uygulanır. Şekil 5.29’da vakum torbalama yöntemi gösterilmiştir.

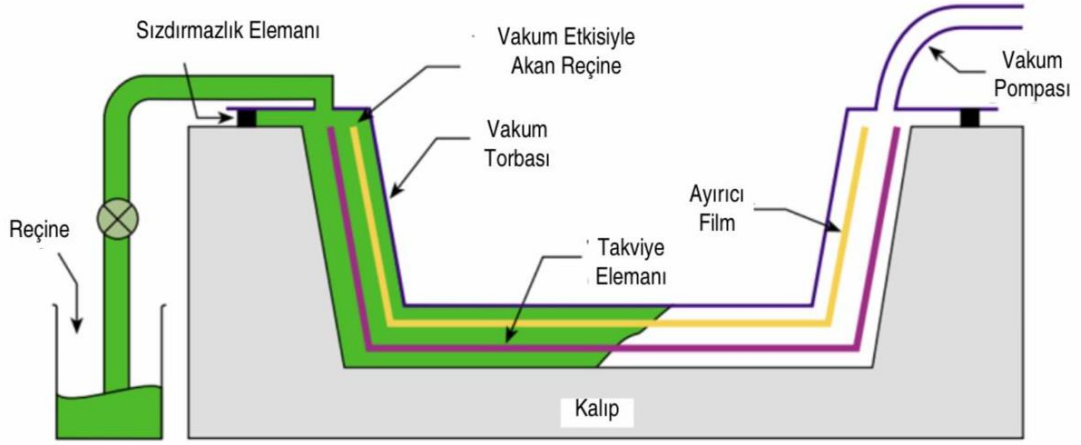


Şekil 5.28. Vakum torbalama yöntemi(Kadir ve ark., 2010).

El yatırma yöntemi ile üründen alınamayan havanın vakum sayesinde uzaklaştırılması ayrıca reçinenin lifler arasına daha kolay absorbe olması bu vakumlama işlemi ile mümkün hale gelmektedir. Vakum torbalama yöntemi ile kaliteli bir ürün temin etmek için ürün tamamen sertleşene kadar vakum işlemi sürdürülmelidir. Sertleşme işlemi gerçekleştirilirken, sağlığa zarar verebilecek uçucu maddelerin solunmasını engelleyen kapalı bir ortam oluşturulmaktadır. Vakum torbalama yönteminin önemli bir dezavantajı ise üretim maliyetlerinin yüksek oluşudur.

5.7.3. Vakum İnfüzyon Yöntemi

Reçinenin kalıba aktarılması işlemine infüzyon adı verilir. Vakum infüzyon yönteminin temel ilkesi, vakum altına alınmış kuru takviye ve dolgu malzemelerinin gerçekleşen basınç farkından faydalanılarak sıvı reçine ile doyurulması olarak söylenebilir. Şekil 5.30’da vakum infüzyon yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 5.29. Vakum infüzyon yöntemi (Kadir ve ark., 2010).

Vakum infüzyon yönteminin el yatırma yöntemine göre en önemli özelliği reçine kaplanması düzgün bir biçimde yapılan takviye malzemesinin ürün içinde hava boşlukları kalmayacak şekilde uzaklaştırılıyor olmasıdır. Kaynaklarda mantığı vakum infüzyona dayanan farklı isimlerde birçok çeşit bulunmaktadır. Belirtilen bu çeşitli yöntemlerde ufak tefek farklılıklar olsa da prensip olarak aynı işlemlerle işlem yapılmaktadır ve aşağıda basitçe maddeler haline getirilmiştir.

- Bir kalıp içine takviye malzemeler serilir.
- Vakum torbalama yönteminde olduğu gibi serilen takviye malzemesi sızdırmazlık elemanları ve plastik bir vakum filmi ile dış ortamdan yalıtılır.
- Bir vakum torbası yardımıyla izole edilen ortamın içinde bulunan hava boşaltılır.
- Takviye malzemenin reçineye doyumu sağlanması için izole edilen ortama reçine gönderilir.
- Reçine girişi takviye malzemesi reçineye doyduğunda kapatılır ve reçinenin sertleşmesi beklenir.

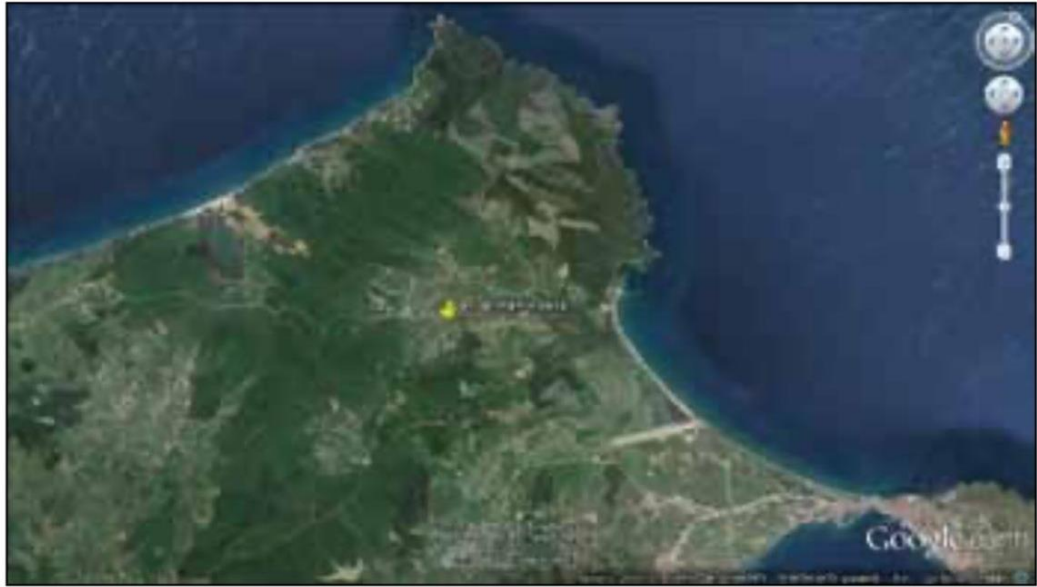
Rüzgâr türbin kanatlarında vakum infüzyon yönteminin kullanılmaya başlanmasıyla beraber kalıp yapım teknolojileri oldukça ilerleme göstermiştir. Vakum girişleri hazır kendinden ısıtılabilir izolasyon yapılarak ısı kayıplarının en aza indirildiği kalıplar geliştirilerek ürün kalitesinin daha da artması sağlanmıştır. Rüzgar türbin kanatları vakum torbalama yöntemi ile daha iyi mekanik özelliklere sahip şekilde imal edilmesine rağmen günümüzde imalat maliyeti daha uygun olan vakum infüzyon yöntemi kullanılmaktadır (Kadir ve ark., 2010).

6. LİTARATÜR ÖZETİ

Çelebi ve Tosun (2011), rüzgâr türbinlerinin yüksek binalar ile bütünleşik tasarımını sağlamak için araştırma yapmışlardır. Rüzgâr Türbinlerinin Yüksek Binalar ile Bütünleşik Tasarımı adlı 2011 yılında yayınlanan bu çalışmanın hedefi; “sistem” ve “bütünleşme” konularının incelenmesi, “mimarlık sistemlerinin” sorgulanması, yenilenebilir enerji kaynaklarının önem kazandığı günümüzde yapılarla bu enerjiden bir bütün olarak faydalanılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelen rüzgâr enerjisinin yapı sistemleri ile bütünleştirme stratejilerinin araştırılarak; konunun mimari, yapısal ve çevresel boyutlarının irdelenip, bütünleşme tasarım ölçütlerinin oluşturulmasıdır. Mimarlık sistemlerinin bütünleşme yöntemlerinin arayışı, çalışmanın çıkış noktasıdır. Son yıllarda sıklıkla gündeme gelen enerji talebindeki artış ve yenilenemez kaynaklardaki hammaddelerin tükenmekte olması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını zorunlu duruma getirmektedir. Bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynaklarının yapı ve ekosistem arasında bütünleşmeyi sağlayan yapıya bütünleşmiş alt sistemler olarak ele alınmasını sağlamıştır. Bu çerçevede, rüzgâr türbinlerinin bütünleşik olarak kullanıldığı bina örnekleri (3 bina örneği) belirlenerek bütünleşme düzey ve şekilleri, tasarım ve oluşum özellikleri mimari tasarım ve yapı formu kapsamında saptanmaya çalışılmıştır. Bu saptama çalışması içinde, rüzgâr türbinlerinin yerleşim şekli ve yapıların mimari tasarım kriterleri PhotoshopPortable ve Autocad 2009 programları aracılığıyla irdelenerek analiz sonuçlandırılmıştır. Sonuçta, bütünleşme düzey ve şekillerinin yapı formu ile ilişkili olarak farklılaştığı ortaya konulmuştur.

Özşahin, E.ve ark. (2013), Hatayı örneğe alarak RES yapımı için yer seçimi üzerine bir araştırma yapmışlardır. Hatay örneği adlı 2013 yılında yayınlanan çalışmada; Hatay’daki RES’nin coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak, fiziki ve iklimsel etkiler göz önüne alınarak uygun yer tespitleri yapılması hedeflenmiştir. Çalışmada çeşitli kaynaklardan harita ve sayısal verilere ulaşılmıştır. Elde edilen veriler ArcGIS/ArcMap destekli program ile analiz edilmiştir. Sonuçların doğruluğu arazi üzerinde de mukayese edilmiştir. Çalışmada sonuç olarak; Hatay’ın duyarlılık oranı orta(%45) ve iyi(%25) olduğu görülmüştür. Bununla birlikte uygunluk bakımından mükemmel ve zayıf yerler %5 i geçmemektedir. Tüm bu bulgular REPA’nın verilerini destekler niteliktedir.

Alcan (2017), rüzgâr potansiyeli yüksek olan Sinop için verimli bir çalışma gerçekleştirmiştir. 2017 yılında yayınlanan “Sinop İli İçin Rüzgâr ile Elektrik Üretiminin Potansiyeli ve Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi” adlı çalışma sonuçlarına göre; yenilenebilir ve alternatif enerji kaynağı olan rüzgâr enerjisinin önemi, dünyada ve ülkemizde talebi giderek artan enerji gereksinimi ile doğru orantılı olarak arttığı belirtilmiştir. Sonsuz enerji kaynağı olan rüzgâr enerjisinin tercih edilmesinde çevre dostu olması ve doğaya zararlı atıklar meydana getirmeyeceği vurgulanmıştır. Bu çalışmada; çevresel etkileriyle birlikte rüzgâr ile elektrik enerjisi üretiminin Sinop ili özelinde değerlendirilmesi yapılmıştır. Çevresel etki değerlendirmesi raporunda bazı ana başlıklar yer almaktadır. Genel olarak bu başlıklar; hava kirliliğine, gürültüye, kurulum yerine ve tarım alanlarına etkisi olarak sıralanabilir. Sinop için REPA incelendiğinde RES kurulumu amacıyla 7 m/s veya üzerindeki hızlara ihtiyaç duyulmaktadır. Sinop’un hâkim rüzgâr hızı değerlendirildiğinde bu değerlerin görüldüğü ve RES için uygun bir il olduğu söylenebilir. Sinop’ta mevcut halde RES bulunmamaktadır. Yatırım için uygun şartların gözlemlendiği Sinop’ta çevre dostu olan rüzgâr enerjisinden faydalanılmalıdır. Türbin seçimi olarak Suzlon S64/1000 tip türbin seçilebilir. Olası santral kurulumunda 1 MW’lık santralin yılda 2,8 GWh’lik enerji üretebileceği öngörülmektedir.



Şekil 6.1. Veri alınan noktanın uydu görüntüsü (Alcan, 2017).

Şekil 6.1’de Sinop iline ait Dibekli mevki gösterilmiştir. Yerleşim alanlarından uzakta olan Dibekli mevki CED raporunda dikkate alındığı gibi yerleşim yerlerinden uzakta ve gürültüye sebebiyet vermemektedir.

Çelik ve ark. (2020), yaptıkları çalışmada Kahraman Maraş bölgesini örnek alarak 1 KW'lık rüzgâr türbininden elde edilecek enerji ve gelir hesabı üzerinde durmuşlardır. Bu çalışmada; Onikişubat ilçesinde bulunan bir eve 1 KW gücünde küçük bir rüzgâr türbini kurup incelemişlerdir. Kurulan sistemin masrafları hesaplanmış ve analiz edilmiştir. MGM'den alınan saatlik rüzgâr verileri ve yönü incelenerek yıllık enerji üretimi hesabı yapılması hedeflenmiştir. Analizlerle, kurulan düzeneğin verimliliği iki farklı çalışma durumuna göre incelenmiştir. İlk olarak üretilen enerjini tümü şebekeye gönderilmiştir. Diğer durumda ise önce ev için gerekli elektrik enerjisi kullanılıp daha sonra artan enerji şebekeye gönderilmiştir. Amortisman süresi önce ev için elektriğin kullanıldığı durumda daha kısa olmaktadır. Sonuç olarak eğer böyle bir sistem kurulacaksa üretilecek enerjinin ev ihtiyaçları için tüketilen enerjiden daha büyük olması gerekmektedir.

Tagıl (2000), Sinop ve çevresinde rüzgâr enerjisi potansiyeli üzerine çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada, çevre bölgeleriyle birlikte Sinop'taki rüzgâr enerjisi kullanılabilirliği incelenmiştir. Rüzgâr verileri saatlik olarak alınmıştır. Rüzgâr enerjisi analizlerinde daha önce de sıkça kullanılan WA^{SP} (Wind Atlas Analysis and Application Program) ile çeşitli analizler yapılmıştır. Program yardımıyla Sinop'ta hâkim olan rüzgâr %20,4 frekansla 150°den esmektedir. İkincil hâkim yönü ise %16,3 frekansla 300°dir. Veriler incelendiğinde saat 13.00 ile 17.00 arasında rüzgâr hızının arttığı görülmüştür. Mevsimsel olarak yaz ve kış aylarında rüzgâr hızı artarken ilkbahar ve son bahar aylarında rüzgâr hızı düşük gözlemlenmiştir. Ölçüm yapılan yükseklik arttıkça çevresel faktörler azaldığından hızlarda artış görülmüştür. Enerji yoğunluğu değerlendirildiğinde Sinop 324 W/m² ile iyi bir sonuç ortaya koymuştur.

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

7.1. İstasyon Yeri

Bu çalışmada, Sinop Meteoroloji Müdürlüğü tarafından kayıt altına alınan son 30 yıllık veriler dikkate alınmıştır. Ölçümler İncedayı Mah. Meteoroloji Sokak No:41 de bulunan istasyondan alınmıştır. İstasyonun konumu, 32 metre rakımda olup, $42^{\circ} 03''$ enlem ve $35^{\circ} 15''$ boylamı üzerinde yer almaktadır.



Şekil 7.1. Sinop meteoroloji istasyonu ölçüm cihazı (İHA)

İstasyon konumu incelendiğinde, ölçüm cihazını olumsuz etkileyen faktörler olduğu görülmektedir. Ölçüm cihazının yakın çevresinde yüksek binaların olması ve ada kısmının alt tarafında kalmasından dolayı alınan rüzgâr hızları gerçek rüzgâr hızlarına göre daha düşük olabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır.

7.2. Sinop İli Rüzgâr Verilerinin Belirlenmesi

Elektrik enerjisi artık günlük yaşamımızı sürdürürken bile vazgeçilmez bir gereksinim haline gelmiştir. Yenilenemez enerji kaynaklarının bir sonu olduğu ve tükenme riski her zaman var olduğu için alternatif olarak yenilenebilir enerjilerine yönelim hızla artmaktadır.

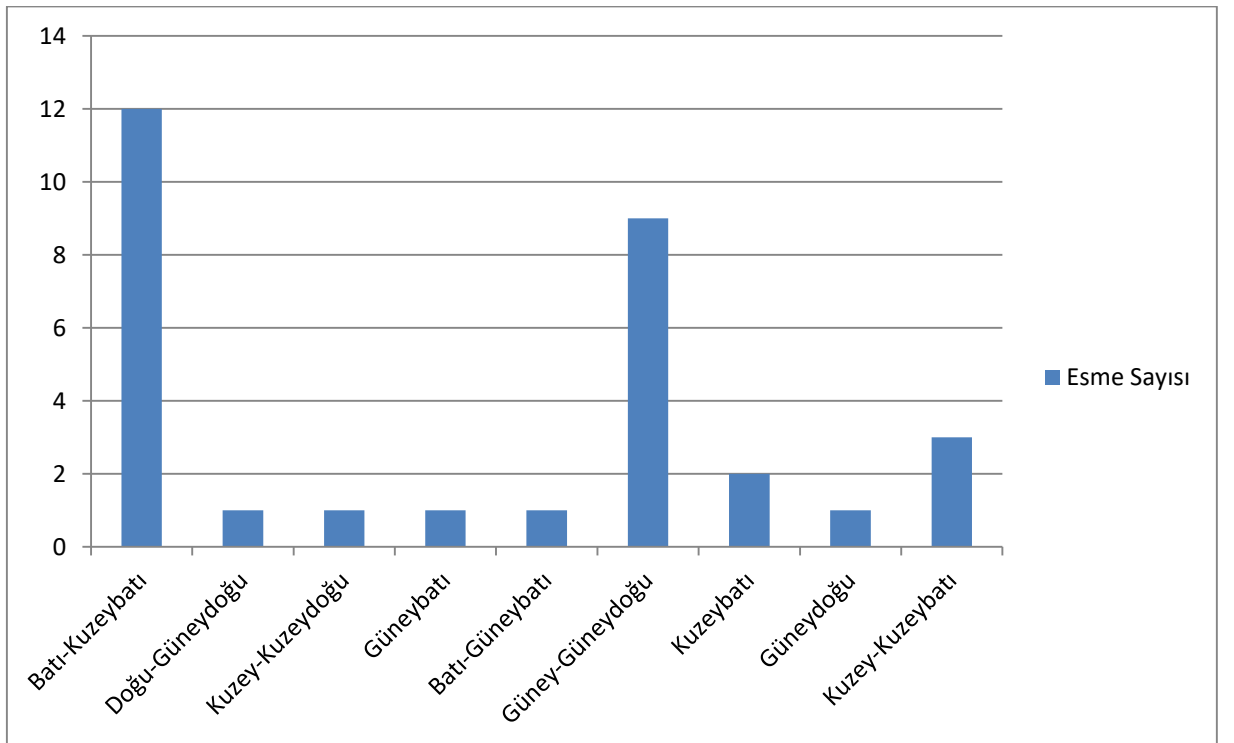
Yenilenebilir enerji kaynakları çevre dostu kaynaklardır. Alternatif enerji kaynaklarının başını çeken rüzgâr enerjisi üç tarafı denizlerle çevrili ve açık bir alanda bulunan Sinop için değerlendirilebilir bir enerji kaynağıdır. Bu kapsamda rüzgâr enerjisini araştırmak adına Sinop Meteoroloji Genel Müdürlüğünden bazı veriler alınmıştır.

Aşağıda Sinop Meteoroloji Müdürlüğünden(MGM) alınan

- Aylık Hâkim Rüzgâr Yönü ve Ortalama Rüzgâr Hızı($m \div sn$)
- Aylık Hâkim Rüzgâr Yönü ve Tüm Esme Sayısına Oranı
- Aylık Maksimum Rüzgâr Yönü ve Hızı($m \div sn$)
- Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı(m/sn)gibi verilere yer verilmiştir.

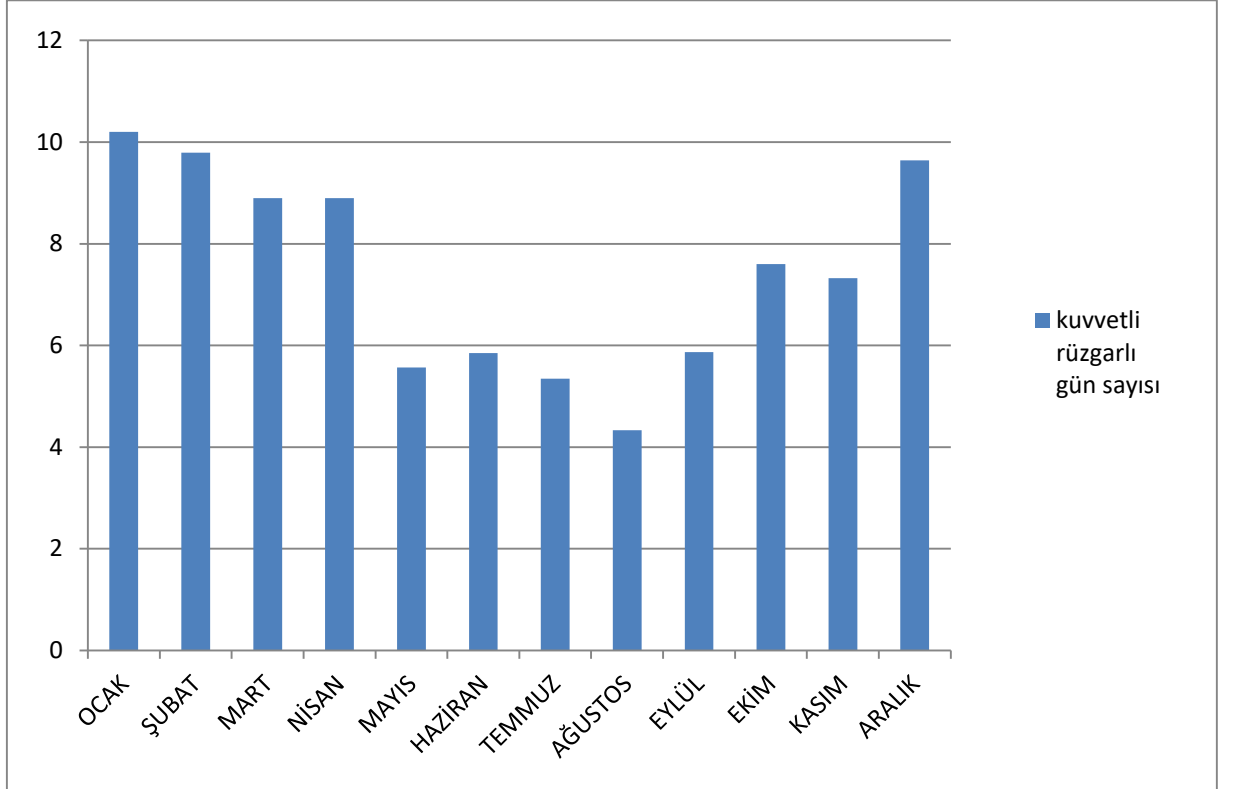
7.3. Verilerin Analizi

Yukarıda bahsedildiği gibi Sinop meteoroloji müdürlüğünden rüzgârla ilgili son 30 yıllık önemli veriler alınmıştır. Bu verilere göre hâkim rüzgâr yönüne göre ortalama aylık rüzgâr hızı, esme sayıları, kuvvetli rüzgârlı gün sayıları ve aylara göre max. ortalama hız sayıları gibi grafikler elde edilmiştir.



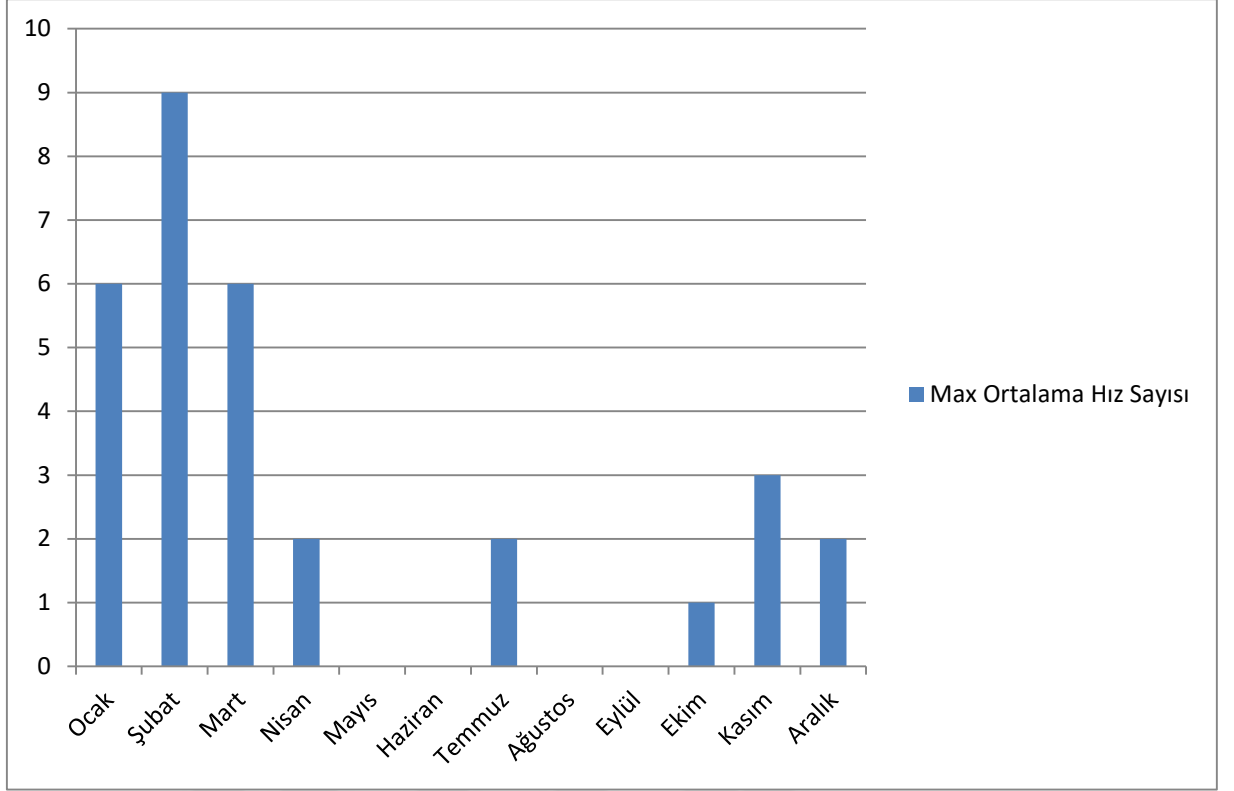
Şekil 7.2. 1988-2019 yılları arası hâkim rüzgâr yönlerine göre esme sayısı

Yukarıdaki şekilde 1988-2019 yılları arasında Sinop Meteoroloji Müdürlüğünden alınan veriler değerlendirilerek hâkim rüzgâr yönlerine göre esme sayıları grafikendirilmiştir. Grafiği değerlendirdiğimizde Sinop ilinin en çok iki farklı yönden rüzgâr aldığı görülmektedir. Hâkim rüzgâr %38,8 ile batı-kuzeybatı ve %29,1 ile güney-güneydoğu yönlerinden esmiştir. Sinop ilimize ilerleyen zamanlarda kurulabilecek rüzgâr enerjisi santrali için kurulum yönü açısından dikkat edilmesi gereken bir veri ortaya çıkmaktadır.



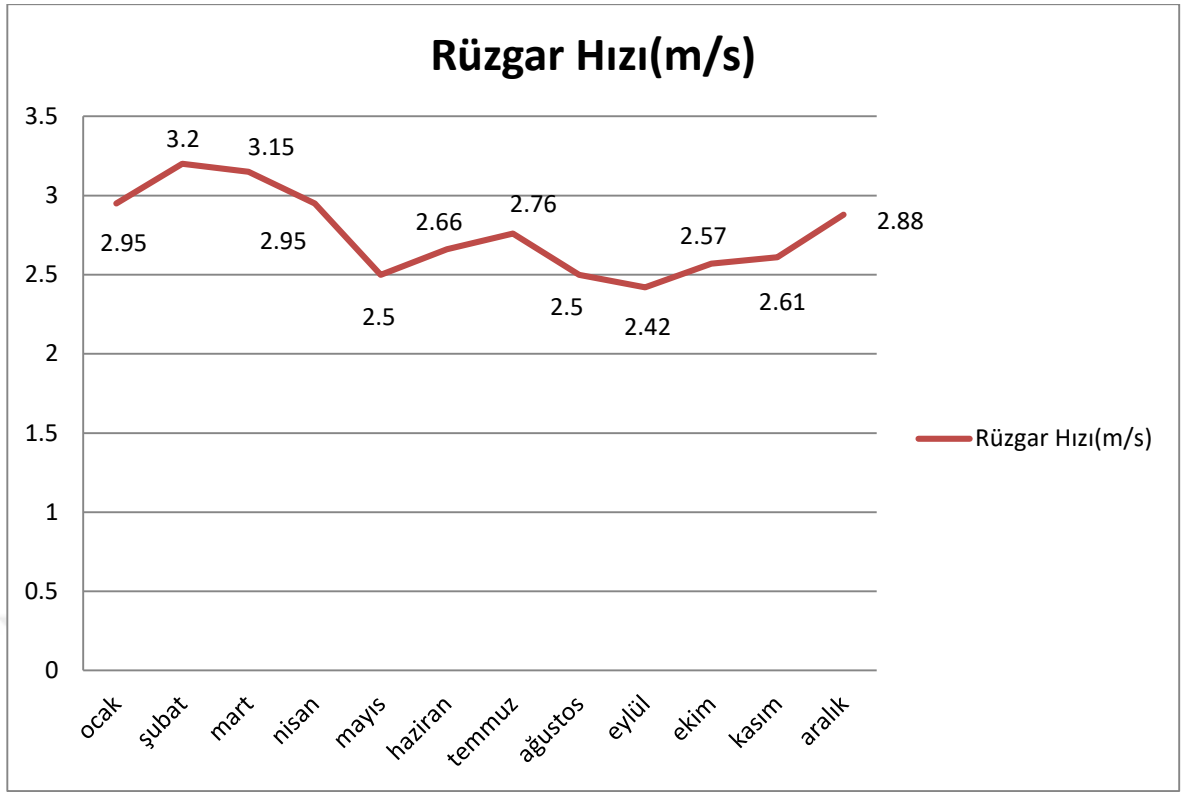
Şekil 7.3. 1988-2019 yılları arası aylara göre ortalama kuvvetli rüzgârlı gün sayısı

Yukarıda gösterilen şekilde son otuz yıllık alınan verilere göre aylık kuvvetli rüzgârlı günlerin ortalaması grafik olarak verilmiştir. Grafiğe baktığımızda kış ve bahar aylarında kuvvetli rüzgâr sayılarının arttığı görülmektedir ki bu sayı ayın yaklaşık 10 gününde gözlemlenmiştir. Meteoroloji Genel Müdürlüğünün Meteorolojik olayların şiddetlerine ait sınıflandırma' çizelgesinde kuvvetli rüzgâr olarak 10,8-17,1m/s aralığındaki değerler belirtilmiştir.

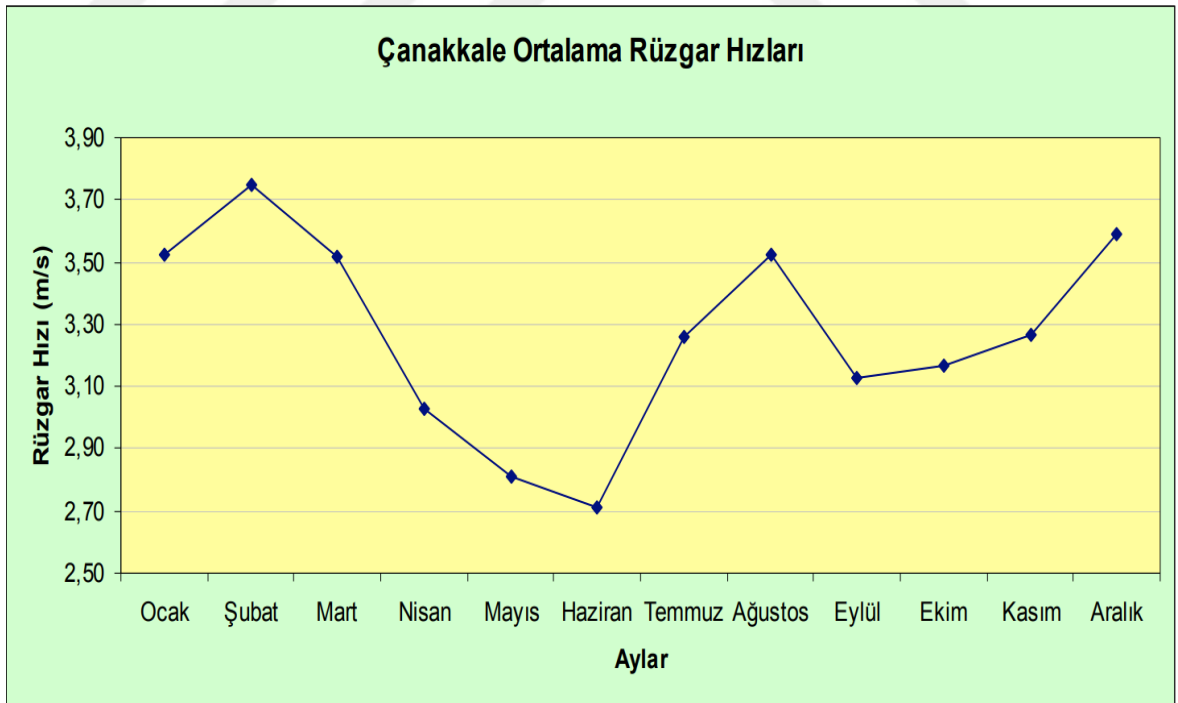


Şekil 7.4. 1988-2019 yılları arası max. ortalama hız sayısının aylara göre dağılımı

Şekil 7.4.'de yaklaşık otuz yıllık verilere göre maksimum rüzgâr hızının hangi aylarda gerçekleştiği görülmektedir. Bu grafiğe göre senelik en fazla rüzgâr hızı ölçümü %29'luk oran ile Şubat, %19'luk oran ile ocak ve mart aylarında gerçekleşmiştir. Sinop ilinde yaz aylarında daha rüzgârsız hava koşulları hâkim olmuştur. Son 30 yıl içinde, yılın en yüksek rüzgâr hızının açıkça ortaya koyulduğu grafiğimizden yola çıkarak kış ve ilkbahar aylarında rüzgârın daha kuvvetli estiği tespit edilmiştir.



Şekil 7.5. 1988-2019 yılları arası ortalama rüzgâr hızları



Şekil 7.6. Çanakkale ili ortalama rüzgâr hızları (Anonim,2011)

Şekil 7.5 Sinop MGM'den aldığımız bilgiler ışında aylık ortalama rüzgâr hızları gösterilmiştir. Daha önce Çanakkale bölgesinde yapılan bir çalışmadan alınan grafik 7.6'da verilerek karşılaştırmak amaçlanmıştır. Sinop'ta rüzgâr hızı 3,2-2,42 m/s arasında seyrederken Çanakkale'de aralık biraz daha açılarak 3,7-2,7 m/s arasında seyretmiştir. İki grafiğe de baktığımızda en üst ve en alt rüzgâr hızı değerleri genellikle aynı aylarda olmuştur ve iki rüzgâr hızı olarak birbirlerine benzerlik göstermiştir. Bütün ayların ortalamasını aldığımızda Sinop için 2.76 m/s, Çanakkale için 3.27 m/s'lik rüzgâr hızları hesaplanmıştır. İki il arasında 0.51 m/s'lik ortalama hız farkı gözlemlenmiştir.

RES kurulumunda rüzgâr türbinlerinin özelliklerinin bilinmesi gerekir. Gerekliliğinin sebebi kurulumlarda; rüzgâr şartları, kurulacak alan ve ciddi kayıplardan kaçınılmaktır. Türbinleri kanat çeşitleri, rüzgâr alışı şekilleri ve kullanım alanlarına göre sınıflandırarak en uygun türbin çeşidi seçilmelidir. Sinop'un rüzgâr potansiyelinden yararlanmak adına endüstriyel kullanım alanı olan büyük rüzgâr türbinleri, kurulum ve bakım masraflarının yüksek olmasına rağmen şebekeye yüksek miktarda enerji vermek ve Sinop'un kendi elektrik enerjisini üretmesi açısından faydalı olacaktır.

Yukarıda da genişçe açıklandığı üzere dönme eksenlerine göre rüzgâr türbinleri 3'e ayrılmaktadır. Kanatları ile dönme eksenini arasında belirli açı yer alan eğik eksenli rüzgâr türbinlerinin kullanımı azdır ve ticari amaçlar yerine deneylerde faydalanılmaktadır. Düşey eksenli rüzgâr türbinlerinin kullanım alanı daha çok su pompalama, küçük çiftliklere elektrik enerjisi üretmek ve deneylerde faydalanılmaktır. Ticari tesisleri için kullanılmamasının sebebi verimlerinin oldukça düşük olmasıdır. Sinop için en uygun olan türbin yatay eksenli rüzgâr türbinidir. Çünkü yatay eksenli rüzgâr türbinlerinin dönme eksenini rüzgâr yönüne paraleldir. Bu hem verimlilik sağlamak hem de rotor kanatlarının az oluşuna bağlı olarak rotor daha hızlı dönmektedir. Bunun yanında ticari türbinlerin çoğu yatay eksenlidir ki bu da bu türbinin seçilmesini sağlayan bir diğer faktördür.

Rüzgâr türbinlerini kanat sayılarına göre de sınıflandırmak mümkündür. Çok kanatlı rüzgâr türbinleri daha çok su pompalama ve az enerji üretimi için kullanıldığından bizim kullanım alanımıza uygun değildir. Tek ve çift kanatlı rüzgâr türbinlerinin maliyetinin yüksek olması, çok sesli çalışması ve estetik görünümünün kötü olmasından dolayı günümüzde kullanımı yok denecek kadar azdır. Sinop için gürültüsü az, yüksek elektrik enerjisi üretmek için uygun, estetik olarak güzel ve maliyeti düşük olan üç kanatlı rüzgâr türbinleri tercih

edilmelidir. Modern rüzgâr türbinlerinde en çok tercih edilen modeldir. Bunun temel nedeni pervanenin tüm hızlarda sabit atalet momentine sahip olmasıdır. Atalet momentinin sabit olması sayesinde rüzgâr türbini üzerinde ekstra yük oluşmamaktadır.

Rüzgârı alış yönüne göre rüzgârı önden ve arkadan alan iki çeşit rüzgâr türbini mevcuttur. Rüzgâr geliş yönüne göre rüzgârı önden alan rüzgâr türbinleri tercih edilmelidir. Rüzgârı önden alan türbinlerde rüzgâr ilk olarak kanatlara geldiği için dünya genelinde üretimi daha fazladır. Yıllardır yaygın olarak bu makineler kullanılmıştır. Bu türbinlerin en önemli üstünlüğü kulenin yapacağı gölgeleme etkisine maruz kalmamasıdır. Gölgeleme etkisi türbin yakınlarında bulunabilecek olası yerleşim yerleri için ışık yoksunluğuna sebep olduğundan yaşam kalitesini düşürebilmektedir. Hem yaygın olması hem de rüzgâr türbinine verdiği zarar daha az olduğundan rüzgârı önden alan türbinleri tercih etmekte fayda vardır.

Maksimum güçlerine göre üretebileceği maksimum gücü 1MW üstünde olan türbinlerden çok büyük güçlü rüzgâr türbinleri seçilmelidir. Ve son olarak dişli kutusu bulunduran rüzgâr türbini seçilmelidir ki bunun sebebi jeneratörlerinin az kutuplu ve yüksek devirli oluşudur.

Şekil 7.2 göz önüne alındığında rüzgârın daha çok batı-kuzeybatı ve güney-güneydoğu yönünden estiği belirlenmiştir. Bu bilgiye dayanarak tesis edilecek rüzgâr türbinlerinin konumlandırılmasında bu iki yönden en verimli şekilde faydalanılmaya çalışılmalıdır. Zira konumlandırılma doğru tayin edilirse hem elde edilen enerji artacak hem de türbinin sarf ettiği enerji azalacaktır.

Şekil 7.3'e baktığımızda Sinop'ta hatırı sayılır sayıda kuvvetli rüzgâr esme sayısı olduğu görülmektedir. Daha çok kış ve bahar aylarında gerçekleşen kuvvetli rüzgârlar enerji üretimini yukarıya çekecektir. Rüzgâr hızının 10,8 m/s hızı aştığı bu durumlar türbinlerdeki hızı arttırarak enerji verimliliğini arttıracaktır. 10,8 m/s hız kuvvetli rüzgârlar için başlangıç hızıdır ki bu değere ulaşan rüzgârlardan enerji üretmek daha kolaydır. Sinop'ta son otuz yıllık rüzgâr verileri ele alındığında kış aylarında ciddi esme sayıları, yüksek rüzgâr hızları görülmektedir. Yıllık en yüksek ortalama hızlarda ocak, şubat ve mart aylarında gerçekleşmiştir. Sinop'ta bu aylarda ki enerji üretiminin yüksek olacağı aşikârdır ve buna

doğru orantılı olarak ülkemizde elektrik enerjisi tüketimi en çok ocak ayında gerçekleşmektedir.

RES seçiminde dikkat edilmesi gereken konular hem ticari hem de verim açısından önem taşımaktadır. Rüzgâr türbini seçimi esnasında dikkat edilmesi gereken önemli kriterlerden biri rotor çapıdır. 1 KW için 3,0-3,2 m, 2 KW için 3,8-4,0 m, 3 KW için 4,8-5,0 m rotor çaplı ürünler tercih edilmesi uygundur. Sinop için hazırlanmış olan REPA(rüzgâr enerji potansiyeli atlası) dikkate alındığında verimli enerji üretimi için 7 m/s veya üzerindeki rüzgâr hızlarına ihtiyaç vardır. Rüzgâr türbini seçimi yapılırken 7-11 m/s rüzgâr hızlarında ortalama enerji üretim değerleri dikkate alınmalıdır. Inverter tercih ederken ihtiyaca göre modifiye sinüs veya tam sinüs inverter tercih edilmelidir. Modifiye sinüs inverterler özellikle hassas elektronik cihazlarda sorunlara neden olabilir. Bu neden ile tam sinüs inverter kullanılması daha akılcı bir seçim olacaktır. Tam sinüs inverter sinüs dalgaları üretir. Modifiye sinüs inverterler ise kare dalgalar üretir. Tam sinüs inverterler şebeke frekansına en yakın AC çıkışı verebilir ki bu da tam sinüs inverter seçmemiz için önemli bir etkidir.

Planlama yapılan bir bölgedeki ortalama rüzgâr hızı şayet 6 m/s'nin altında ise, o bölgeye rüzgâr türbini kurmanın çok verimli olmayacağı sonucuna varılmıştır. Dahası, Sinop için hazırlanmış olan REPA(rüzgâr enerji potansiyeli atlası) dikkate alındığında verimli enerji üretimi için 7 m/s veya üzerindeki rüzgâr hızlarına ihtiyaç vardır. Ancak, Çanakkale örneğini incelediğimizde Şekil 7.6.'da görüldüğü üzere ortalama hız 3,27 m/s görülmektedir. Çanakkale'de halen çalışır durumda olan 22 adet santralden 570.3 MW'lık enerji elde edilmektedir. Sinop 2.76 m/s'lik ortalama rüzgâr hızı ile Çanakkale'nin sadece 0.51 m/s altında kalmıştır. Alcan (2017)'a göre deniz seviyesinden 78 m yükseklikte bulunan Dibekli köyünde yerden 50 m yükseklikteki veriler 6,8-7,5 m/s arasında hızları göstermektedir. Buradan RES'in ekonomik bir yatırım olduğu görülmektedir fakat bizim çalışmamızda deniz seviyesinden 32 m yükseklikte bulunan Sinop Meteoroloji Müdürlüğü ölçün istasyonundan aldığımız sonuçlarda aylık ortalama hızlar 3-4,5 m/s arasında seyredilmiştir. Burada ortaya çıkan sonuç ölçüm yerinin önemini gözler önüne sermiştir. Dibekli köyünde verilerin toplandığı yer sırt bölgedir ve rüzgâr hızını olumsuz etkileyecek bina, ağaç vb. unsurlar yoktur. Sinop Meteoroloji Müdürlüğü ölçün istasyonu ağaçlık alanlarla çevrili, etrafında sıkça binaların mevcut olduğu ve ada kısmının dip kısmında yer aldığı bir konumda kaldığından ciddi ölçüm farkları meydana gelmiştir. RES kurulumunda

gürültü açısından şehir merkezinden uzak, rüzgâr hızından faydalanma açısından yapılar, ağaçlık alanlar ve dağ eteklerinden uzak, geçimini tarımla sağlayan vatandaşlarımız için tarım alanları dışında, canlı popülasyonunu olumsuz etkilememek için doğa koruma alanlarından uzak ve göçmen kuşları etkilemeyecek şekilde önlemler alınmasında çok önemlidir. Özetle, yukarıda da bahsedildiği gibi, rüzgâr hızı ölçümlerinin yapıldığı istasyonun konumu da dikkate alındığında gerçek verilerin Çanakkale deki verilere daha yakın olacağı düşünülmektedir. Bu durum Sinop'un rüzgâr enerjisi potansiyelini gözler önüne sermektedir.



8. SONUÇ VE ÖNERİLER

İnsan hayatını idame ettirmede vazgeçilmez bir kaynak olan enerjinin hammadde miktarının azalması ve teknolojinin gelişmesiyle yenilenemez enerji kaynaklarına olan talebin daha da artması, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyacı daha fazla arttırmıştır. Birçok çeşidi bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlilerinden ve ülkemizde de faydalanabileceğimiz potansiyel gücü olan rüzgâr enerjisinin araştırılması gerekmektedir. Devletler ve ülkeler enerji sağlayacak kaynaklar için tam bir yarış halindeyken rüzgâr enerjisi ülkemiz adına enerji alanında büyük önem arz etmektedir.

Sinop ili özeline baktığımızda, Sinop halkının gerek işsizlik gerek ekonomik nedenlerden dolayı büyük şehirlere çalışmak için göç ettikleri görülmektedir. Sinop ilinin istihdam ihtiyacı açıktır. Olası bir RES kurulumunda, Sinop halkından nitelikli kişilere eğitim ve gerekli bilgiler verilerek kendi illerinde istihdam kaynağı oluşturulması, giderek artan işsizliğin önüne geçilmesi ve liman kenti olan Sinop'un gerekli ulaşım, lojistik desteği verilerek kalkındırılması gibi pek çok faydası olacaktır.

Ülkemizin rüzgâr enerjisi bakımından yüksek potansiyele sahip olduğu görülmüştür. Bu kaynağın faydalı bir şekilde ülkemizin kullanımına sunmak için yüksek rüzgâr enerjisi potansiyelini bünyesinde barındıran Sinop için bir ön çalışma gerekliliği duyulmuştur. Bu çalışmada, Sinop Meteoroloji Müdürlüğünden alınan veriler değerlendirilerek Sinop ili için olası bir RES kurulumuna zemin hazırlamak ve ön tahminlerini gerçekleştirmek amaçlanmıştır. Ölçüm sonuçları tablo ve grafikler haline getirilerek analiz edilmiş ve literatürdeki sonuçlar ve mevcut kurulu RES kıyaslanmıştır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Sinop ilinde hâkim rüzgâr %38,8 ile batı-kuzeybatı ve %29,1 ile güney-güneydoğu yönlerinden esmiştir. Buna göre Sinop ilinin en çok iki farklı yönden rüzgâr aldığı görülmektedir. Sinop ilinde ilerleyen zamanlarda kurulabilecek rüzgâr enerjisi santrali için bu yönler daha fazla dikkate alınmalıdır.
- Sinop ilinde kış ve bahar aylarında kuvvetli rüzgâr sayılarının arttığı görülmüştür. Bu sayı ayın yaklaşık 10 gününde gözlemlenmiştir. Rüzgâr hızının 10,8 m/s hızı aştığı bu durumlar türbinlerdeki hızı arttırarak enerji verimliliğini arttıracaktır. 10,8 m/s hız kuvvetli rüzgârlar için başlangıç hızıdır ki bu değere ulaşan rüzgârlardan

enerji üretmek daha kolay olacaktır.

- En fazla rüzgâr hızı %29'luk oran ile Şubat ayında, %19'luk oran ile Ocak ayında ve Mart aylarında tespit edilmiştir. Sinop ilinde yaz aylarında daha rüzgârsız hava koşulları hâkim olmuştur. Buna göre kış ve ilkbahar aylarında rüzgârın daha sert estiği tespit edilmiştir. Ülkemizde özellikle kış aylarında ısınmadan dolayı artan enerji ihtiyacı dikkate alındığında bu aylarda RES'den elde edilecek enerjinin daha önemli olduğu sonucu çıkarılmıştır.
- Sinop'ta rüzgâr hızı 3,2-2,42 m/s arasında seyretmiştir. Bütün ayların ortalamasını aldığımızda Sinop için ortalama 2,76 m/s'lik rüzgâr hızları hesaplanmıştır. Bu değerler Türkiye mevcut çalışır durumda olan santrallerin bölgesinden ölçülen rüzgâr hızlarına oldukça yakındır. Dahası, rüzgâr hızı ölçümlerinin yapıldığı istasyonun konumu da dikkate alındığında bu değerlerin diğer santrallerin değerlerine daha fazla yaklaşacağı veya geçeceği düşünülmektedir. Bu durum Sinop'un rüzgâr enerjisi potansiyelini gözler önüne sermektedir.
- RES kurulumunda gürültü açısından şehir merkezinden uzak, rüzgâr hızından faydalanma açısından yapılar, ağaçlık alanlar ve dağ eteklerinden uzak, geçimini tarımla sağlayan vatandaşlarımız için tarım alanları dışında, canlı popülasyonunu olumsuz etkilememek için doğa koruma alanlarından uzak ve göçmen kuşları etkilemeyecek şekilde önlemler alınmasıda çok önemlidir.
- Sinop ilinde kurulması planlanan bir RES santrali için ilin farklı konumlarından (etrafı açık, çevresel olumsuz faktörlerden uzak vs.) ölçümlerin alınarak fizibilite çalışmasının yapılması daha uygun görülmektedir.
- Dünyadaki örneklere bakıldığında bazı RES'nin deniz üzerine kurulduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla ilin üç tarafının denizlerle çevrili olduğu dikkate alındığında Sinop'un bu potansiyelinin de göz ardı edilmemesi gerekmektedir.
- Sinop'ta olası RES kurulumunda türbin için; yatay eksenli, üç kanatlı, nüvesiz alternatifli, rüzgârı önden alan ve büyük tip rüzgâr türbini kullanılması önerilir.

KAYNAKÇA

- Ağbulut, Ü., and H. Bakır. 2019. The investigation on economic and ecological impacts of tendency to electric vehicles instead of internal combustion engines. *Düzce University Journal of Science and Technology*.
- Ağbulut, Ü. (2019). Turkey's electricity generation problem and nuclear energy policy. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 41(18), 2281-2298.
- Akkurt, F. Düşük Sıcaklıkta Jeotermal Enerji Kaynaklı Organik Rankine Çevrimi Sisteminin Enerji Ve Ekserji Analizi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 25(2), 729-742.
- Akova, D. İ. Enerji Ve Alternatif Enerji Kaynakları.
- Alcan, Y.2017. ALCAN, Y. (2017). Sinop İli İçin Rüzgâr ile Elektrik Üretiminin Potansiyeli ve Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(1), 266-273.
- Anonim, 2005. <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.5346.pdf>
- Anonim,2011. https://izmir.mgm.gov.tr/FILES/iklim/canakkale_iklim.pdf
- Anonim, 2018a. <https://www.enerjiportali.com/yenilenebilir-enerji-kaynaklari-nelerdir/>
- Anonim, 2018b. <https://www.enerjiportali.com/enerji-nedir-enerji-kaynaklari-nelerdir/>
- Anonim, 2018c. <https://www.enerjiportali.com/yenilenemez-enerji-kaynaklari-nedir/>
- Anonim, 2018d. <https://www.enerjiportali.com/yenilenebilir-enerji-kaynaklari-nelerdir/>
- Anonim, 2019. <https://www.enerjiportali.com/ruzgar-enerjisi-nedir/>
- Anonim, 2019a. <https://www.enerjiportali.com/hidrojen-enerjisi-nedir/>
- Anonim, 2019b. <https://www.enerjiportali.com/ruzgar-enerjisi-nedir/>
- Anonim, 2019c. <https://www.enerjiportali.com/ruzgar-turbini-nedir-ruzgar-turbini-cesitleri-nelerdir/>
- Anonim, 2020. <https://biyogazder.org/biyogaz-enerjisi/>
- Anonim, 2020a. <https://www.yesilodak.com/ruzgari-yakala-ruzgar-enerjisinin-avantajlari-ve-dezavantajlari>
- Anonim,2020b. <https://www.enerjigunlugu.net/bozcaada-ruzgar-santrali-devlete-devredildi-38360h.htm>
- Arslan, E.,& Solak, A. (2019). Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Tüketiminin İthalat Üzerindeki Etkisi. *OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 10(17), 1380-1407.

Ateş, S.,& Topal, A. Rüzgâr Enerji Teknolojisinde Yerel Kaynak Kullanımının Değerlendirilmesi. 8. Ulusal Lojistik Ve Tedarik Zinciri Kongresi, 10.

Barlas, S. S. (2019). Türkiye hakim rüzgar ve ortalama rüzgar vektörel haritası ile Türkiye rüzgar enerji potansiyelinin değerlendirilmesi (Master's thesis, Namık Kemal Üniversitesi).

Bayramoğlu, T. (2018). Yenilenebilir Enerji Potansiyeli ve Etkileri: Bayburt Örneği. İşletme Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi, 1(1), 1-16.

Bektaş, A. (2013). Binalarda rüzgâr enerjisi kullanımının farklı bölgeler açısından değerlendirilmesine yönelik bir çalışma: toki Tarımköy projesi örneği (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

British Petrol. November 11, 2018. [Online].
<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statisticalreview-of-world-energy/primary-energy>.

Çelebi, G.Ü.ve ark.2011. Çelebi, G. Ü.,& Tosun, S. (2011). Bütünleşik Mimarlık Sistemleri: Rüzgar Türbinlerinin Yüksek Binalar ile Bütünleşik Tasarımı. Politeknik Dergisi, 14(3), 179-186.

Çelik, İ. Ve Ark. Çelik, İ., Yıldız, C., Şekkel, M., & Hasırcı, H. Y. 1 Kw Rüzgâr Türbini İçin Enerji Üretim Ve Gelir Hesabı: Kahramanmaraş Bölgesi Örnek Çalışması. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, 9(1), 47-54.

Çeşme, Alize. <http://www.demirer.com.tr/santral/alize/cesme/index.html>

Çolak, İ.,& Demirtaş, M. (2008). Rüzgâr Enerjisinden Elektrik Üretiminin Türkiye'deki Gelişimi. TÜBAV Bilim Dergisi, 1(2), 55-62.

DEK-TMK. (2018, 01 29). <http://dektmk.org.tr>. 01 29, 2018 tarihinde <http://dektmk.org.tr/upresimler/turkiye-enerji-piyasasinin-gorunumu.pdf> adresinden alındı.

Dinçer Ve Ark.2017,Dinçer, F., İpek, A. T. İ. K., Yılmaz, Ş., & Çıngı, A. (2017). Hidrolik enerjisinden yararlanmada ülkemiz ve gelişmiş ülkelerin mevcut durumlarının analizi. DÜMF Mühendislik Dergisi, 8(3), 555-561.

Elibüyük, U.,& Üçgül, İ. (2014). Rüzgâr Türbinleri, Çeşitleri Ve Rüzgâr Enerjisi Depolama Yöntemleri. SDÜ Yekarum e-Dergi, 2(3).

Enerdata, 2018. Total Energy, World Import Export Statistics. Retrieved January 1, 2018 (de indirildi) from the World Wide Web: <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-import-exportstatistics>. html

- Eroğlu, H. (2014). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Metodu (FAHP) Kullanılarak Rüzgar Santralleri için En Uygun Yer Tayini. Eleco 2014 Elektrik–Elektronik–Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, 50-55.
- Güneyli, A. Rüzgar ekonomisi.
- Haines, A., R. S. Kovats, D. Campbell-Lendrum, and C. Corvalán. 2006. Climate change and human health: Impacts, vulnerability and public health. Public Health 120 (7):585–96. doi:10.1016/j.puhe.2006.01.002.
- https://www.theglobaleconomy.com/rankings/Energy_imports/#Turkey. 0000.
- Işık, E. Projesi, B., Avcı, B., Yılmaz, T. B., Yöneten, P., & Ataş, D. D. C. (2015). Rüzgar Türbini Kanat Tasarımı Ve Analizi.
- Kadir, K. ve ark. Kadir, K. A. Y. A., & Erdem, K. O. Ç. (2015). Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinlerinde Kanat Profil Tasarımı Ve Üretim EsASLARI. Mühendis ve Makina, 56(670), 38-48.
- Karık, F., Sözen, A., & İskender, Ü. (2015). Türkiye'de Rüzgar Enerjisinde Mevcut Durum. Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD), 1(2), 219-233.
- Kurban, E. 2019: <https://www.enerjiportali.com/teias-2019-elektrik-uretim-istatistiklerini-yayimladi/>
- Küçükkaya, E. 2018. <https://www.enerjiportali.com/denizustu-offshore-ruzgar-enerjisi-santrali-nedir/>
- Küçükkaya, E. 2019. <https://www.enerjiportali.com/tureb-turkiye-ruzgarinin-gucu-ortaya-koydu/>
- Nurbay, N., & Çınar, A. (2005). Rüzgar türbinlerinin çeşitleri ve birbirleriyle karşılaştırılması. III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 19-21.
- Özşahin, E. ve ark. 2013. Özşahin, E., & Kaymaz, Ç. (2013). Rüzgâr Enerji Santrallerinin (Res) Kuruluş Yeri Seçiminin CBS İle Analizi: Hatay Örneği. TÜBAV Bilim Dergisi, 6(2), 1-18.
- REPA. <https://repa.enerji.gov.tr/REPA/>
- Şenel, M. C., & Erdem, K. O. Ç. (2015). Dünyada ve Türkiye’de rüzgar enerjisi durumu- Genel değerlendirme. Mühendis ve Makina, 56(663), 46-56.
- Tağıl, Ş. Sinop ve Çevresinde Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli. Türkiye, 8, 135-149.
- Tutar, F., & Mehmet, E. R. E. N. (2011). Geleceğin enerjisi: Hidrojen ekonomisi ve Türkiye. Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi, (6).
- Türkyılmaz, Ö. G. T., & Kurban, M. Rüzgar Enerjisi Sistemlerinin Sivrihisar Bölgesi İçin Analizi Ve Uygulaması. in international congress of energy economy and security (p. 78).

Ümit, O. A.,& Çevik, O. Yenilenebilir Enerji Yatırımlarının Yapılabilirlik Analizi Ve Kilis İlinde Bir Araştırma.

Varınca,K.B. ve ark. Varınca, K. B.,& Gönüllü, M. T. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımının Çevresel Olumlu Etkileri.

Wikipedi.

https://tr.wikipedia.org/wiki/Darrieus_r%C3%BCzg%C3%A2r_t%C3%BCrbini



ÖZGEÇMİŞ

1. Kişisel Bilgiler

Ad Soyad Mehmet Emin ÖZTÜRK

Doğum Tarihi

Doğum Yeri

E-posta Adresi

2. Eğitim Bilgileri

Lisans Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü(2013-2017)

Yüksek Lisans Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Disiplinlerarası Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri
Anabilim Dalı(2017-Halen)

3. İş Deneyimi

11.2017-11.2020 Bölgem mühendislik doğalgaz

11.2020-Halen Kuryap ısı doğalgaz