

**T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**RÜZGÂR ENERJİ SİSTEMLERİNDE MALİYET
ANALİZİ**

Yüksek Lisans Tezi

Emrah AĞDERE

İSTANBUL, 2012

T.C
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ VE ÇEVRE YÖNETİMİ

RÜZGÂR ENERJİ SİSTEMLERİNİN MALİYET
ANALİZİ

Yüksek Lisans Tezi

Emrah AĞDERE

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Yıldız ARIKAN

İSTANBUL,2012

T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ VE ÇEVRE YÖNETİMİ

Tezin Adı: Rüzgâr Enerji Sistemlerinde Maliyet Analizi
Öğrencinin Adı Soyadı: Emrah AĞDERE
Tez Savunma Tarihi: 10.09.2012

Bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğu
_____ Enstitüsü tarafından onaylanmıştır.

Ünvan, Ad ve SOYADI
Enstitü Müdürü
İmza

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğunu onaylarım.

Ünvan, Ad ve SOYADI
Program Koordinatörü
İmza

Bu tez tarafımızca okunmuş, nitelik ve içerik açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak yeterli görülmüş ve kabul edilmiştir.

_____ Jüri Üyeleri

İmzalar

Tez Danışmanı

Ünvan, Adı ve SOYADI

Ek Danışman

Ünvan, Adı ve SOYADI

Üye

Ünvan, Adı ve SOYADI

Üye

Ünvan, Adı ve SOYADI

ÖNSÖZ

Rüzgâr enerji sistemlerinde maliyet analizi isimli tez çalışmamda öncelikle danışman hocam olan ve bu tez çalışmasında desteğini ve yol göstericiliğini hiçbir zaman esirgemeyen Doç.Dr. Yıldız Arıkan'a teşekkürü bir borç bilirim.

Piyasada maliyet analiz yaparken sorduğum sorulara verdiği cevaplar ve yol göstericiliği için Sayın Sarp Kemaloğlu'na (İnşaat Yük. Müh. İcra Kurulu Üyesi Alke İnşaat Sanayi ve Ticaret A.S.), Şahres rüzgâr enerji santral müdürü Sayın Nuh Zıyan ve Bakım mühendisi Sayın Taner Akkan'a paylaştıkları dökümanlar ve vermiş oldukları bilgiler için çok teşekkür ederim.

Bugüne kadar maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman benden esirgemeyen aileme ve tüm dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

İstanbul, 2012

Emrah AĞDERE

ÖZET

RÜZGÂR ENERJİ SİSTEMLERİNDE MALİYET ANALİZİ

Ağdere, Emrah

Enerji Ve Çevre Yönetimi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Yıldız Arıkan

(Eylül, 2012), 94

Rüzgâr enerjisi, fosil yakıt kullanımına ihtiyaç duymadığından çevre dostu bir enerji biçimidir. Rüzgâr türbinlerinin, termik santraller ya da dizel santraller gibi emisyonları bulunmamaktadır. Bu tür emisyonlar asit yağmurları ve küresel ısınmayı gerçekleştiren sera etkisine neden olmaktadır. Rüzgâr enerjisinin en önemli özelliği, yenilenebilir enerji kaynağı olmasıdır. Bu nedenle fosil yakıtlar gibi tükenmesi söz konusu değildir.

Rüzgâr, günümüz yenilenebilir enerji kaynakları arasında en ekonomik çözümler arasında yerini almaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında fosil yakıtlarla rekabet edebilecek kaynaklardan birisidir. Ortalama rüzgâr hızı yüksek olan bölgelerde kurulması rekabet gücünü artırmaktadır. Kurulum maliyetleri çok fazla olsa da, bakım ve işletme giderleri çok azdır.

Son yıllardaki rüzgâr enerjisinin kullanımı hızlı bir artış gösterirken birçok ülkede rüzgâr enerjisinin kullanımını teşvik etmek için programlar başlatılmıştır. Bunlara paralel olarak rüzgâr türbin teknolojisini üretmek ve üretilen bu teknolojinin kullanılması için Türkiye’de de çok önemli teşvikler verilmeye başlanmıştır. Türbin parçalarından kule, kanat, dişli kutusu, jeneratör gibi büyük parçaların üretilmesi halinde üretilen kWh başına teşviklerin verileceği çıkarılan kanunla yasallaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr enerji sistemleri, Rüzgâr türbin parçaları, Maliyet analizleri,

ABSTRACT

COST ANALYSIS OF WIND ENERGY SYSTEMS

Ağdere, Emrah

Energy and Environmental Management

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Yıldız Arıkan

(September, 2012), 94

Wind energy is a clean renewable energy. Wind power plants do not have air polluting emissions. In conventional power plants, these kind of emissions causes greenhouse effect, acid rain and global warming.

Although wind energy is the most economical solution in renewable energy systems, can compete with the conventional power plants. It increases competitive capacity in the event of regions with high wind speed average. Although there are a lot of installation, maintenance and operating cost is very small.

In parallel to these developments very important incentives for investors have been initiated to produce wind turbine technology and using produced technology in Turkey. The incentives will be given per kWh of the electricity produced on the basis of the parts of the turbine as tower, blade, gear box and generator.

Keywords: Wind energy systems, Wind turbine components, Cost analysis

İÇİNDEKİLER

TABLolar

ŞEKİLLER

KISALTMALAR

SEMBOLLER

1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
3. RÜZGÂR ENERJİ SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ.....	5
3.1 RÜZGÂR TÜRBİNLERİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ	5
3.2 RÜZGÂRIN OLUŞUMU	8
3.3 RÜZGÂR TÜRLERİ	9
3.3.1 Yerel Rüzgârlar	9
3.3.2 Deniz Meltemi.....	10
3.3.3 Kara Meltemi	10
3.3.4 Geostrofik Rüzgâr	10
3.4 Rüzgâr Hız Değerlerinin Weibull Dağılımı ile İfadesi	10
3.5 RÜZGÂR ENERJİSİNİN ELDE EDİLMESİ	12
4. RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİ	15
4.1 DÜNYA RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİ.....	15
4.2 TÜRKİYE’NİN RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİ	21
5. RÜZGÂR TÜRBİN ÇALIŞMALARI, ÖZELLİKLERİ VE YAPISI.....	27
5.1 RÜZGÂR ENERJİSİ ÇALIŞMALARI	27
5.2 RÜZGÂR TÜRBİNLERİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ.....	29
5.3 RÜZGÂR TÜRBİNLERİNİN ÖZELLİKLERİ ve YAPISI.....	29
5.4 RÜZGÂR TÜRBİNLERİNİN SINIFLANDIRILMASI	30
5.4.1 Rüzgâr Kuvvetinden Yararlanma Şekline Göre Sınıflandırma.....	31
5.4.1.1 Rüzgârın direnç kuvvetinden yararlanan türbinler.....	31
5.4.1.2 Rüzgârın kaldırma kuvvetinden yararlanan türbinler.....	31
5.4.1.3 Yükselen hava akımlı rüzgâr türbinleri.....	32
5.4.2 Rüzgâr Türbinlerinin Pervane Ekseninin Konumuna Göre Sınıflandırılması	32

5.4.2.1 Düşey eksenli türbinleri.....	32
5.4.2.2 Yatay eksenli türbinleri.....	33
5.5 RÜZGÂR TÜRİNİN İÇYAPISI	35
5.5.1 Türbinin Kule Üst Kısmı.....	36
5.5.2 Kanatlar	36
5.5.3 Kanatların Bağlantı Noktası.....	37
5.5.4 Dişli Kutusu	38
5.5.5 Elektrik Jeneratörü	38
5.5.6 Sapma Mekanizması	40
5.5.7 Hidrolik Sistem	40
5.5.8 Soğutma Sistemi	40
5.5.9 Kule.....	41
5.5.10 Anemometre.....	42
5.5.11 Yatak	42
5.5.12 Hız kontrolörü.....	42
6. TÜRKİYE’DE RÜZGÂR ENERJİSİ, MEVCUT DURUM, FİNANSMAN KAYNAKLARI, MALİYET HESAPLAMALARI ve GALATA WİND ŞAHRES PROJESİ MALİYET KALEMLERİ	42
6.1 RÜZGÂR ENERJİSİ KONUSUNDA MEVCUT DURUM	42
6.2 YASAL MEVZUAT ve RÜZGÂR ENERJİSİNDEN ÜRETİLEN ELEKTRİĞE SAĞLANAN DESTEKLER.....	50
6.3 RÜZGÂR ENERJİSİ YATIRIMLARININ FİNANSMANI.....	52
6.3.1 Öz kaynak Finansmanı.....	53
6.3.2 Borç Finansmanı	53
6.3.3 Proje Kredisi ve Proje Kredisi Veren Bazı Kuruluşlar	53
6.3.4 Sendikasyon Kredisi	59
6.4 RÜZGÂR ENERJİSİNDE MALİYET ANALİZLERİ	60
6.4.1 Rüzgâr Enerjisi Santrallerinin Kurulum Maliyetleri.....	60
6.4.2 Rüzgâr Enerjisi Santrallerinin Operasyon, Bakım ve Onarım Maliyetleri	61
6.4.3 Rüzgâr Enerjisi Santral Maliyetlerini Etkileyen Trendler	61
6.4.4 Rüzgâr Enerjisi ile Üretilen Elektrik’in Maliyeti	62
6.4.5 Türbin Ana Parçalarının Üretim, Taşıma ve Vergi Maliyetleri.....	66

6.4.6 Teşvik Hesaplamaları.....	67
6.5 GALATA WİND ENERJİ LTD. ŞTİ ŞAHRES PROJESİ YATIRIM MALİYET KALEMLERİ.....	69
6.6 Türbin Ana Parçalarının Türkiye’de Üretilmesi Halinde Oluşturulan Senaryolar	73
7. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	77
KAYNAKÇA.....	79
ÖZGEÇMİŞ.....	81

TABLULAR

Tablo 4.1: Küresel Kurulu rüzgâr enerjisi kapasitesi – Bölgesel dağılımı.....	17
Tablo 4.2: 50 m. yükseklikteki rüzgâr hız dağılımları.....	22
Tablo 4.3: İşletmedeki lisanlı rüzgâr santralleri.....	23
Tablo 6.1: Türbin Ana Bileşenleri ve Bunların Türbin Maliyetleri İçindeki Payları.....	46
Tablo 6.2: Ana Rüzgâr Türbin Üreticileri ve Tedarikçileri.....	47
Tablo 6.3: TEİAŞ Rüzgâr projeleri yarışmaları.....	49
Tablo 6.4: RES' lerin yurt içinde üretimine 5 yıl süreyle ödenecek yerli katkı ilavesi.....	52
Tablo 6.5: Rüzgâr Santrallerinde Maliyet Dağılımı.....	60
Tablo 6.6: Yurt dışındaki kanat üretim ve taşıma maliyeti.....	67
Tablo 6.7: Türbin ana parçalarının maliyet ve taşıma kalemleri.....	67
Tablo 6.8: 6094 sayılı Kanun 1 ve 2 sayılı cetveller.....	68
Tablo 6.9: Kanat parçasının yurt içi ve yurt dışı üretiminin maliyete etkisi.....	68
Tablo 6.10: RES'in yurt içinde üretilmesi halinde verilen teşvik farkı ile toplam kazancı.....	69
Tablo 6.11: Şahres rüzgâr enerji santrali toplam maliyet kalemleri.....	69
Tablo 6.12: İşletmenin proje aşamasında ve sonrasındaki maliyet kalemleri.....	70
Tablo 6.13: Yurt içinden temin edilen makine ve teçhizat listesi.....	71
Tablo 6.14: Yurt dışından temin edilen makine ve teçhizat listesi.....	72
Tablo 6.15: Senaryo 1; 3 MW'lık Türbin ana parçalarının Türkiye'de üretilmesi halinde maliyetler.....	73
Tablo 6.16: Maliyet karşılaştırmaları Senaryo 1.....	74
Tablo 6.17: Rüzgâr santralinin teşviksiz ve teşvikli geri ödeme süresi.....	75
Tablo 6.18: Senaryo 2; 3 MW'lık türbin ana parçalarının Türkiye'de üretilmesi halinde maliyetler.....	76

ŞEKİLLER

Şekil 3.1: Darrieus tipi dikey eksenli rüzgâr türbini.....	6
Şekil 3.2: Gedser rüzgâr türbini.....	6
Şekil 3.3: Deniz üstü (Off Shore Wind) rüzgâr santralleri.....	7
Şekil 3.4: İzmir - Çeşme, Alaçatı mevkiinde bulunan Türkiye'nin ilk rüzgâr santrali.....	8
Şekil 3.5: Weibull dağılımı.....	11
Şekil 3.6: Rüzgârın rotor düzlemine gelişi ve rotor düzlemini terk edişi.....	12
Şekil 3.7: İdeal güç katsayısı (Betz katsayısı).....	14
Şekil 3.8: Güç Eğrileri.....	15
Şekil 4.1: Küresel yıllık kurulu rüzgâr enerjisi kapasitesi.....	18
Şekil 4.2: Küresel toplam kurulu rüzgâr enerjisi kapasitesi.....	19
Şekil 4.3: Top 10 yeni kurulu güç.....	19
Şekil 4.4: Top 10 kümülatif kapasitesi.....	19
Şekil 4.5: Bölgelere göre yıllık kurulu güç.....	20
Şekil 4.6: Türkiye rüzgâr atlası.....	22
Şekil 5.1: Yatay eksenli rüzgâr türbini ve bir rüzgâr çiftliği.....	28
Şekil 5.2: Rüzgâr türbinden enerji üretimi.....	29
Şekil 5.3: Savonius rüzgâr türbini ve yapısı.....	31
Şekil 5.4: Düşey eksenli rüzgâr türbini.....	32
Şekil 5.5: Yatay eksenli bir rüzgâr türbini.....	34
Şekil 5.6: Rüzgâr türbininin temel parçaları.....	35
Şekil 5.7: Modern rüzgâr türbinlerinde kullanılan tipik bir nacelle yapısı.....	36
Şekil 5.8: Rüzgâr türbin kanatları.....	37
Şekil 5.9: Dişli kutusu.....	38
Şekil 5.10: Elektrik jeneratörü.....	39
Şekil 5.11: Yaw Sistemi.....	40
Şekil 5.12: Rüzgâr türbin kulesi.....	41
Şekil 6.1: Türkiye Kurulu Rüzgâr Gücünün Yıllara Göre Değişimi.....	43
Şekil 6.2: Kurulu Rüzgâr Gücünün İllere Göre Dağılımı.....	43
Şekil 6.3: Türkiye'de Kullanılan Rüzgâr Türbinleri.....	44
Şekil 6.4: Türbin Markaları Toplam Kurulu Güç.....	44
Şekil 6.5: EPDK Rüzgâr Projelerinin Durumu.....	47

Şekil 6.6 Farklı ülkelerde satılan rüzgâr türbinlerinin yıllara göre büyüme eğrileri.....	62
Şekil 6.7: Kuruluş Yeri Rüzgâr Rejiminin Rüzgâr Enerji Santrallerinde Üretilen Elektrik Maliyetine Etkisi.....	63
Şekil 6.8: Danimarka’ da Rüzgâr Enerji Santrallerinde Üretilen Elektrik Maliyetinin Yıllar İtibariyle Değişimi.....	63
Şekil 6.9: Rüzgâr Enerji Santrallerinde 2008–2030 Yılları İtibariyle Azaltılması Planlanan CO2 ve Yakıt Maliyetleri.....	65

KISALTMALAR

- Ar-Ge : Araştırma – Geliştirme
DMI : Devlet Meteoroloji İşleri Genel M¼d¼rl¼ę¼
EİEİ : Elektrik İşleri Et¼t İdaresi
EPDK : Enerji Piyasası D¼zenleme Kurulu
EPI : Yery¼z¼ Politikası Enstit¼s¼
EWEA : Avrupa R¼zg¼r Enerjisi Birliği
GWEA : Global R¼zg¼r Enerjisi Birliği
IEA : Uluslararası Enerji Ajansı
O.G : Orta Gerilim
REPA : R¼zg¼r Enerjisi Potansiyel Atlası
RES : R¼zg¼r Enerji Santrali
SPDF : Yenilenebilir Enerji Üretimini Finanse Edilmesinde Özel Amaçlı Borç Fonu
TEİAŞ : Türkiye Elektrik İletim A.Ş
TKB : Türkiye Kalkınma Bankası
TM : Trafo Merkezi
TSKB : Türkiye Sınai Kalkınma Bankası
TÜREB : Türkiye R¼zg¼r Enerjisi Birliği
YEK : Yenilenebilir Enerji Kaynakları
WEC : Dünya Enerji Konseyi
WMO : Dünya Meteoroloji Örg¼t¼

SEMBOLLER

Rüzgâr hızı (m/s)	: V
Ölçek değışkeni (m/s)	: c
Şekil değışkeni	: k
Rotor düzlemindeki ortalama rüzgâr hızı (m/s)	: V_1
Rüzgâr türbinin rotor düzleminin önünde esen rüzgârın hızı(m/s)	: V
Rotor düzleminin arkasındaki rüzgâr hızı (m/s)	: V_2
Enerji (Joule)	: E
Kütle (kg)	: m
Rüzgâr hızı (m/s)	: V^2
Güç katsayısı (Watt)	: P
Havanın yoğunluğu (kg/m^3)	: ρ
Rotor düzlemine gelen hava kütesinin kesit alanı (m^2)	: A
Kilowatt	: kW
Megawatt	: MW
Türbin güç katsayısı	: C_p
Mekanik-teknik verimlilik	: η
Stator uyarma frekansı (1/s, Hz)	: f
Rotor çapı (D, metre)	: R
Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	: T
Devir sayısı (devir/dakika)	: n
Metre	: m

1. GİRİŞ

Çağımızda gelişmiş ve sağlam ekonomik yapıya sahip ülkeler; bir yandan ekonomilerinde bazı yapısal değişiklikler yaparak, öte yandan da uluslararası teşkilatlar kurarak sorunlarına elbirliğiyle çözümler aramışlar ve gerekli önlemler almışlardır. Bu arada zengin petrol kaynaklarına sahip ülkeler; mali ve politik üstünlükler kazanırken fakir ülkeler ise daha büyük darboğazlara itilmişlerdir. Dolayısıyla dünyada ortaya çıkan ekonomik ve politik dengesizlikler; küresel güçlerin egemenliğindeki sermaye gruplarının; teknoloji, su ve petrol kaynaklarının paylaşımı ve denetimi hakkında zorlu bir mücadeleye girmesine neden olmuştur. Böylece 21.yüzyılda kapitalist sistemin işleyişini belirleyen sömürü düzeni ile bir küreselleşme adı altında tanımlanan bir sürece girilmiştir. Dünyada; ülkeler bir taraftan azalan fosil yakıt kaynaklarını daha tasarruflu kullanmayı planlarken, artan enerji talebini yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlamanın yollarını araştırmaya başlamışlardır. Bugün hidrolik enerjide dâhil olmak üzere, güneş, rüzgâr, jeotermal, biyolojik yakıtlar, dalga ve gel-git vs. gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili olarak teknolojiler geliştirilmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr enerjisi; fosil yakıtların meydana getirdiği çevre kirliliği gibi etmenlerin olmadığı temiz bir enerji kaynağıdır. Rüzgâr enerjisi sistemlerindeki teknolojik gelişmeler, enerji maliyetlerini de azaltmakta ve günümüzde tüm ülkelerde ve bu arada ülkemizde de rüzgâr potansiyelinin iyi olduğu bölgelerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Özellikle rüzgâr enerjisi maliyetlerin düşmesiyle daha da yaygınlaşmıştır. Rüzgâr enerjisi kaynağı bakımından da Türkiye oldukça elverişli bir konumdadır. Enerji sektörü ülke ekonomisinde temel rol oynamaktadır. Yer altı kaynakları bakımından dışa bağımlı olan ülkemiz, ileride yapacağı yatırımlarla, temiz rüzgâr enerjisi sayesinde bu bağımlılığı azaltabilir. Bağımlılığı azaltabilmenin diğer bir yolu da ülkemizin enerji sektöründe üretkenliği arttırmasıdır.

Türkiye rüzgâr enerji sektöründe büyük güçlü rüzgâr türbin üretiminde geride kalmıştır. Büyük güçlü rüzgâr türbinleri dış ülkelerden satın alınarak kurulmaktadır. Bu da büyük miktarda paranın ülke dışına çıkması anlamına gelmektedir. Ülkemizde rüzgâr sektörüne verilen teşvikler özellikle türbin parçalarını ülke içinde üretmek ve bu parçaların kurulacak

türbinlerde kullanılması için kWh başına verilen teşviklerdir. Bu teşvikler sayesinde ülkemizde büyük ölçekte Ar-Ge (Araştırma-Geliştirme) çalışmaları başlamıştır.

Bu tezin konusu rüzgâr enerji sistemlerinde maliyet analizidir. Bu çerçevede, rüzgâr türbinlerinin ana parçaları göz önüne alınarak dış ülkelerde ne kadar olduğu bilgilerinden yola çıkarak Türkiye’de hangi türbin parçaları üretilmektedir ve gelecekte türbin üretimi ile ilgili projelerde hangi aşamadayız sorusunun cevabı aranmaktadır. Türbin çiftliği kurarken türbin temeli, O.G (Orta Gerilim), fiber kablolar, trafo ve diğer maliyet giderleri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda rüzgâr türbinlerinin parçalarının ve Türkiye’de üretilmesi sonucunda elde edilecek kazançlar ortaya konmuştur.

Bununla birlikte teknolojinin yerli üretiminin birim elektrik üretim maliyetini hangi oranda azaltacağı ve diğer teşviklerle birleştiğinde rüzgâr enerjisi yatırımlarının fizibilitesinin çıkartılması ile ilgili bir senaryo yapılmıştır.

Tezin ikinci bölümünde bir literatür araştırması verilmiştir. Üçüncü bölümde rüzgâr enerjisi sistemleri incelenmiştir. Rüzgâr türbinlerinin tarihsel gelişimi, rüzgârın oluşumu, rüzgâr türleri ve rüzgâr enerjisinin elde edilmesi ile ilgili bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde Dünyada ve Türkiye’de rüzgâr enerjisi potansiyeli, beşinci bölümde rüzgâr türbin çalışmaları, özellikleri ve yapısı incelenmiştir. Altıncı bölümde Türkiye’de rüzgâr enerjisinde mevcut durum, finansman kaynakları, maliyet hesaplamalarının yanı sıra Şahres projesi maliyet kalemleri çıkarılmış ve son olarak iki senaryo oluşturulmuş, oluşturulan bu senaryolarda rüzgâr türbin parçalarının Türkiye’de üretilmesi halinde elde edilecek kazanımlar hesaplanmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Enerji ihtiyacının her geçen gün artması, enerji elde etmek uğruna çeşitli çevre felaketlerinin yaşanması birçok kamu ve özel teşebbüs kuruluşunu rüzgâr enerjisine yönlendirmiştir.

Öte yandan artan Ar-Ge faaliyetleri sonucunda, rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmesi gün geçtikçe daha da kolaylaşmakta ve maliyetler azalmaktadır.

Tez konusunun daha iyi anlaşılması için yapılan kaynak araştırması çalışmasında, rüzgâr enerjisinin temel maliyet bileşenleri, rüzgâr türbin fiyatı, enerji politikaları ve ekonomik riskler hakkında bilgi toplanmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda bazı makaleler yol gösterici olmuştur bu makaleler şunlardır;

B. Özerdem, H.M. Türkeli “Wind energy potential estimation and micrositting on Izmir Institute of Technology Campus, Turkey” adlı makalede İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsünün 30 ve 50 metre yüksekliklerde, 16 aylık rüzgâr ölçümü sonrasında ortaya çıkan rüzgâr enerji potansiyeli incelenmiştir.

Baris Özerdem, Serra Özer, Mahir Tosun tarafından yazılan “Feasibility study of wind farms: A case study for Izmir, Turkey” adlı makalede Dünyada ve Türkiye’de rüzgâr enerjisinin durumu, teknik ve ekonomik açıdan kurulan rüzgâr çiftlikleri, türbin kurulacak yerin fizibilite çalışmaları, rüzgâr alan modellemesi yapılmış. Yapılan modelleme ve fizibilite çalışmaları sonucunda Enercon ve Neg-Micon türbinlerinin özellikleri, bu sahaya uygunlukları, maliyet karşılaştırmaları ve hesapları yapılmıştır.

P. Fuglsang, H.A. Madsen tarafından yazılan “Optimization method for wind turbine rotors” adlı makalede ise tasarlanan rüzgâr türbininin Minimum enerji maliyet analizinin yapılması, aeroelastik hesaplamaları ve rainflow modellemesi ile 1.5 MW’lık rüzgâr türbin rotor çapına göre tasarımı ve sonuçları incelenmiştir.

Fausto Pedro García Márquez, Andrew Mark Tobias, Jesús María Pinar Pérez tarafından yazılan “Condition monitoring of wind turbines: Techniques and methods” adlı makalede rüzgâr türbinlerinin işletim ve bakım- onarım maliyetlerini azaltmak amacı ile durum izleme sistemi geliştirilmiştir. Bu durum izleme sistemi türbinlerde oluşabilecek büyük parçaların arızalarını erken tespit etmek ve bu sayede daha fazla verim ile çalışmalarını sağlamak amacı ile geliştirilmiş bir sistemi anlatmaktadır.

M. Jureczko, M. Pawlak, A. Mezyk tarafından yazılan ‘‘ Optimisation of Wind Turbine Blades’’ adlı makalede rüzgâr türbin kanat maliyeti araştırılmış, kanat için uygun kompozit malzemeler incelenmiş ve sayısal modelleme ve uygun optimizasyon teknikleri ile birlikte tasarım yapılmıştır.

Andrew Kusiak, Wenyan Li, Zhe Song tarafından yazılan ‘‘ Dynamic control of wind turbines’’ isimli makalede dinamik kontrollü rüzgâr türbini tasarlanmıştır. Tasarlanan bu sistemde akıllı kontrol sistemi diye adlandırılan beş farklı ağırlığa sahip rüzgâr türbini değişken rüzgâr koşulları ve işletme gereksinimlerine göre tasarım yapılmıştır. Üç faktör rüzgâr hızı, yoğunluğu ve elektrik talebine göre senaryolar yapılmıştır.

S. Quraeshi tarafından yazılan ‘‘ Costs and economics of wind turbine generators for electrical power production’’ isimli makalede rüzgar türbin santrallerinin maliyeti ve ekonomisi hakkında bilgiler verilmektedir. Santralin enerji maliyeti, enerji değeri, kredi ve başabaş maliyetleri çıkarılmıştır. Makul rüzgârlı bölgelerde kurulu olan rüzgâr santrallerinin toplam elektrik üretimi hesaplanmıştır.

Tez çalışmasında ayrıca EPDK (Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu) , EİE (Etüt İşleri İdaresi), TÜREB (Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği), EWEA (European Wind Energy Association) Cost of Wind Energy March 2009, GWEA (Global Wind Energy Association) yayınlarından yararlanılmıştır. Bölüm 3’de bu verilere dayandırılarak rüzgâr enerjisi sistemleri hakkında bir teknik ve ekonomik inceleme sunulmuştur.

3. RÜZGÂR ENERJİ SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ

3.1 RÜZGÂR TÜRBİNLERİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Rüzgâr enerjisi tarihte ilk olarak yelkenli gemilerin güç kaynağı olarak kendini göstermiştir. Jeneratör teknolojilerinde meydana gelen gelişmeler rüzgâr enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümü de sağlanmıştır.

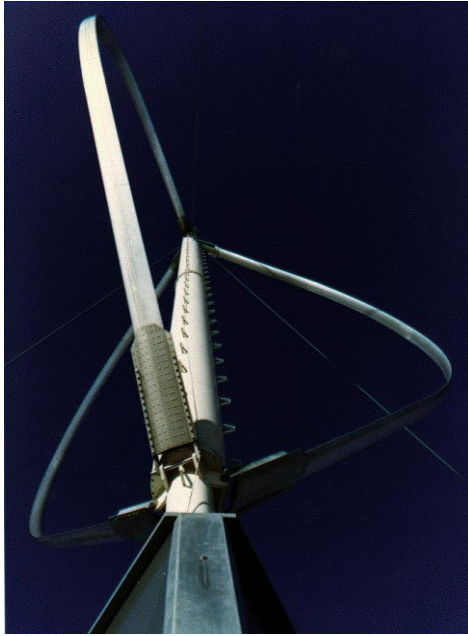
Rüzgâr enerjisi ilk kullanımı M.O. 2800 yıllarına kadar uzanmaktadır. Rüzgâr enerjisi ilk olarak Orta Doğuda kullanılmıştır. M.O.17. Yüzyılda Babil kralı Hammurabi döneminde Mezopotamya'da sulama amacıyla kullanılan rüzgâr enerjisinin, aynı dönemde Çin'de de kullanıldığı belirtilmektedir. Persler M.S. 7. yüzyıl ortalarında dikey eksenli rüzgâr değirmenleri yaygın olarak kullanmaktaydılar.

Yel değirmenleri, ilk olarak İskenderiye yakınlarında kurulmuştur. Türklerin ve İranlıların ilk yel değirmenlerini M.S.7. yüzyılda kullanmaya başlamalarına karşın, Avrupalılar yel değirmenlerini ilk olarak Haçlı seferleri sırasında görmüşlerdir. Fransa ve İngiltere'de rüzgâr değirmenlerin kullanılmaya başlanması 12.yüzyılda olmuştur.

18.Yüzyılın sonunda yalnızca Hollanda'da 10.000 yel değirmeni bulunmaktaydı. 19. yüzyıla gelindiğinde rüzgâr enerjisinin en önemli kullanım alanı su pompalarıydı. Buhar makinesinin yapılması ve odun, kömür gibi yakıtlardan kesintisiz enerji üretimine başlanması ile rüzgâr enerjisi önemini yitirmeye başlamıştı. Bununla beraber, rüzgâr türbini denilen ve elektrik üretiminde kullanılan ilk makineler 1890'ların başlarında Danimarka'da yapılmıştır. 23 metre çapında olan bu rüzgâr türbini elektrik üretimi gerçekleştirilen ilk rüzgâr türbini oldu. Aynı dönemde, bu makinelerin geliştirilmesi için Almanya'da da önemli çalışmalar yapıldığı bilinmektedir. Rüzgâr kuvvet makineleri yerlerini yakıtlı kuvvet makinelerine bırakırken, rüzgâr enerjisi kullanımının sürmesi için yeni bir teknoloji de başlıyordu. Ancak 19.yüzyılda geliştirilen ilk rüzgâr türbinlerin verimlerinin düşük olmasına rağmen 1910 yılına gelindiğinde güç değerleri 5 ile 25 kW arasında değişen birkaç yüz rüzgâr ünitesi Danimarka'da enerji üretmekteydi. 1925 yılından sonra 2 ve 3 kanatlı rüzgâr türbinleri Amerikan pazarında kendilerini göstermeye başladılar. 1961 yılında Roma'da Birleşmiş Milletler tarafından düzenlenen "Enerjinin Yeni Kaynakları Konferansı'nda ele alınan üç kaynaktan biri rüzgâr enerjisi idi. Böylece çok eskiden bu yana tanınan rüzgâr enerjisi, teknolojik gelişmelerle ele alınıyor, yeni ve yenilenebilir kaynaklar arasına sokuluyordu. 1961-1966 yılları arasında Almanya' da rotor

çapı 35 m. olan 100 kW'lık bir modelin geliştirilmesi üzerinde duruluyordu. 1970'lerde Danimarka'daki (Şekil 3.2' de görülen) Gedser türbini, gücü 650 kW olan büyük türbinlerle değiştiriliyordu. Bu dönemde rüzgâr jeneratörleri üzerinde İsviçre, Avusturya ve İtalya'da da teknolojik çalışmalar yapmaktaydı. Amerika'da 1970'lerde büyük tip yatay eksenli makineler üzerinde yeniden çalışılırken, dikey eksenli Darrieus tipi (Şekil 3.1' de görülen) makineler üzerinde de çalışmalar başlatılmıştır. Ucuz petrol döneminde süreklilik kazanamayan rüzgâr enerjisi, 1974-1978 yılları arasındaki yapay petrol bunalımlarının ardından, gündeme daha çok girmiştir. [1]

Şekil 3.1: Darrieus tipi dikey eksenli rüzgâr türbini Şekil 3.2: Gedser rüzgâr türbini



Rüzgâr enerjisinin gelişimine, 1980'li yıllarda Uluslararası Enerji Ajansı eşgüdümünde yürütülen araştırma geliştirme çalışmalarının büyük etkisi olmuştur. Artık, eski tip rüzgâr jeneratörleri yerine modern ve çağdaş rüzgâr enerjisi çevrim sistemleri (WECS) kurulmaktadır. Ayrıca, rüzgâr türbini ile beraber, dizel motor ve güneş fotovoltaik jeneratör içeren rüzgâr-dizel-PV hibrid sistemlerde geliştirilmiştir. Günümüzde rüzgâr santralleri karalarda olduğu kadar denizlerde de kurulmaktadır. Karadan denize geçiş ilk uygulamalarla teknik alanda başarılı ve ticari uygulamaları da gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte daha gelişkin sistemler için AR-GE çalışmaları sürmektedir. Deniz üstü rüzgâr enerjisi (Şekil 3.3) ile ilgili ilk çalışmalar 1970'li yılların sonuna doğru

Danimarka, Hollanda, İsveç ve ABD’de başlamıştır. 1980’li yılların başında bu çalışmalar Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) bünyesinde yürütülmüştür.

Şekil 3.3: Deniz üstü (OffShore Wind) rüzgâr santralleri



İlk deniz üstü “rüzgâr çiftliği” Danimarka’da Loland adası yanında kurulan Vindeby rüzgâr çiftliğidir. Bu çiftlikte 5 MW’lık enerji üretilebilmektedir. 1991 yılı ortalarında işletmeye açılan çiftlik, Danimarka Enerji Bakanlığı’nın 100 MW’lık projesinin bir bölümünü oluşturuyordu. Avrupa’da 1995–1997 yılları arasında kapasitesi 12 MW olan rüzgâr santralleri kurulmuş olup günümüzde bu santrallerin kapasitesi arttırılmaktadır. Sözgelimi İngiltere’nin doğu kıyısında, Inner Dowsing adı verilen bölgede karaya 5 km uzaklıkta yapılması planlanan bu santralde hedef 1.4 MW gücünde 9 türbin kurup 12.6 MW enerji üretmekti. [2]

Ülkemizde 1992 yılında Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği kurulmuştur ve Avrupa Rüzgâr Enerjisi Birliğine bağlanmıştır. Birlik pek çok kamu kurumu ve özel sektörden katılan üyelerden oluşmaktadır. Enerji bakanlığının ve özellikle bu birliğin etkin çalışmaları sonucu, özel şirketler tarafından ilk defa 1998’lerde İzmir- Çeşme, Alaçatı mevkiinde ARES – Güç Birliği şirketi tarafından toplam 7.2 MW gücünde rüzgâr türbinleri kurularak elektrik üretimine geçilmiştir. Aynı yıllarda Çanakkale-Bozcaada’da Demirer Holding tarafından 10.2 MW’lık güçte rüzgâr türbinleri kurulmuştur. Bu türbinler dönmeye ve

elektrik üretmeye devam ederken ülkemizde pek çok yerde daha kurulması için büyük şirketlerin çalışmaları devam etmektedir.

Şekil 3.4: İzmir - Çeşme, Alaçatı mevkiinde bulunan Türkiye'nin ilk rüzgâr santrali



Ülkemizde bu konuda yapılan çalışmalar özellikle 2004 yılından sonra büyük bir ivme kazanmıştır. Şirketlerin yatırım yapmalarını kolaylaştırmak amacıyla REPA (Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası) geçtiğimiz yıllar içerisinde tanıtılarak, bu sektördeki firmaların kısa sürede yol alarak yatırımlarını tamamlamaları ve hem şirketler adına hem de ülke adına geride kalınan bu konuda büyük bir gelişme kaydedilmesine çalışılmaktadır. Rüzgâr enerjisi konusunda çalışan birçok ünlü firma son dönem içerisinde çalışmaları hızlandırmışlardır. Bunlar, As Makinsan A.Ş.; İzmir Çeşme'de ve Çanakkale-Karacaören'de ve Demirer Holding; İzmir-Çeşme ve Muğla-Datça'da rüzgâr türbin kurma çalışmalarını sürdürmektedir. Aynı şekilde Interwind Ltd.; Çanakkale-İntepe ve Atlantis Tic.; Balıkesir-Bandırma'da türbin kurma çalışmalarını sürdürmektedir.

Ülkemizde rüzgâr enerjisinden rüzgâr türbinleri kurarak elektrik üretmek amacıyla çalışan diğer büyük şirketlerin isimleri de şöyledir: Prokom A.Ş., Mage A.Ş., Yapısan Ltd., Ak-En A.Ş., Enda A.Ş., Simelko A.Ş., Teknik Tic., Akfırat A.Ş., Bilgin Holding- Escort A.Ş. , Sanko Holding, Ağaoğlu enerji, Fina Holding, ABK Enerji.

Ayrıca Dünya Bankası, Avrupa Yatırım Bankası gibi finans kurumları ülkelerdeki temiz enerji kaynaklarından enerji üretecek projelere kredi vermektedir.

3.2 RÜZGÂRIN OLUŞUMU

Rüzgâr enerjisi, güneş enerjisinin çevrime uğramış şeklidir. Güneş enerjisinin karaları, denizleri ve atmosferi her yerde özdeş ısıtmaması nedeniyle oluşan sıcaklık ve basınç farkları, rüzgârları oluşturmaktadır. Rüzgâr yüksek basınç alanından, alçak basınç alanına

yer değiştiren havanın, dünya yüzeyine göre bağıl olarak yaptığı hareketlerdir. Ekvator bölgesi Dünya'nın diğer bölgelerine göre daha fazla ısınır. Bu bölgede ısınan hava yaklaşık 10km.'ye kadar yükselir, kuzeye ve güneye doğru yayılır. Eğer Dünya dönmeseydi, ısınan hava Kuzey Kutbu'na ve Güney Kutbu'na vardıktan sonra aşağıya doğru hareket eder ve ekvatora geri dönerdi. Dünya döndüğü için, kuzey yarımkürede her hareket saat yönüne, güney yarımkürede ise saat yönünün ters istikametine doğru yönelir. Fransız matematikçi Gustave Gaspard Coriolis (1792-1843) tarafından bulunan bu kuvvete Coriolis Kuvveti denir.

Rüzgâr, ekvator bölgesinde yükselir ve atmosferin yüksek katmanlarında kuzeye veya güneye doğru hareket eder. Her iki yarımkürede de 30° enlem civarında Coriolis Kuvveti havanın daha uzağa gitmesini engeller. Havanın aşağıya doğru hareket ettiği bu enlemde yüksek basınç alanı vardır. Havanın yükselmeye başladığı ekvator bölgesinde ise alçak basınç alanı vardır. Kutuplarda ise havanın soğuması nedeni ile yüksek basınç alanı vardır. [3] Bu rüzgâr yönleri rüzgâr türbinlerine yer seçimi açısından önemlidir. Çünkü rüzgâr türbinlerinin bu rüzgâr yönlerinde engeli az olan alanlara kurulması istenir.

Rüzgâr atmosferde bol ve serbest olarak bulunan, kararlı, güvenilir ve sürekli bir kaynaktır. Doğası gereği kinetik enerji taşımaktadır. Havanın özgül kütlesi az olduğundan, rüzgârdan sağlanacak enerjinin miktarı rüzgârın hızına bağlıdır. Rüzgârın hızı yükseklikle, gücü ise hızının küpü ile orantılı olarak artar. Sağlayabileceği enerji gücüne estiği süreye bağlıdır. Özgül rüzgâr gücü, hava debisine dik olarak birim yüzeye düşen güçtür.

3.3 RÜZGÂR TÜRLERİ

Tüm dinamik hava olayları atmosferin yeryüzüne en yakın tabakası olan troposfer de gerçekleşmektedir. Yüzey rüzgârları yeryüzünden yaklaşık 100m'lik yükseklik içerisinde tanımlanır. Bu nedenle yeryüzünden çok fazla etkilenir. Yere yakın düzeylerde yüzey rüzgârı ile geostrofik rüzgâr yönünün farklı olmasının nedeni budur. Rüzgârlar dört başlık altında incelenebilir.

3.3.1 Yerel Rüzgârlar

Bu rüzgârlar belli bir alanda baskın rüzgârı belirlemede önemlidir. Yerel rüzgârlar büyük ölçekli rüzgârlara katkıda bulunurlar. Büyük ölçekli rüzgârlar zayıf olduğunda yerel rüzgârlar, bu rüzgârın şeklini belirlerler.

3.3.2 Deniz Meltemi

Kara üzerindeki hava kütlesi güneş tarafından gündüz deniz üzerindeki hava kütesinden daha çabuk ısıtılır. Hava kütlesi yukarıya doğru hareket etmeye başlar. Böylece kara üzerinde alçak basınç oluşur. Bu alana denizdeki hava kütlesi hareket ederek deniz meltemini oluşturur.

3.3.3 Kara Meltemi

Akşam, kara ve deniz sıcaklıklarının eşitlenmesi süreci olduğundan hava sakindir. Gece ise kara denizden daha soğuk olduğu için deniz meltemindeki olayın tersine hareket başlar. Yani hareket karadan denize doğru olur. Buna kara meltemi denir. Bu rüzgârlar deniz meltemine göre daha az şiddetlidir. Çünkü geceleyin kara ve deniz sıcaklıkları birbirine daha yakındır.

3.3.4 Geostrofik Rüzgâr

Geostrofik rüzgâr, sıcaklık farklılıkları dolayısıyla oluşan basınç farklılıklarından meydana gelir. Geostrofik rüzgârın, yerin yüzey yapısından etkilenmediği var sayılır. Doğal olarak bu rüzgârın olduğu yükseklik yaklaşık olarak 1km'dir. Bu rüzgâr hava balonları kullanılarak ölçülür.

3.4 Rüzgâr Hız Değerlerinin Weibull Dağılımı ile İfadesi

Rüzgâr enerjisinin frekans dağılımına en uygun istatistiksel dağılımının Weibull dağılımı olduğu başta Justus (1978) ve Lyons tarafından ifade edilmiştir. Rüzgâr hız değerlerinin hâkim yön ve şiddetlerinin bulunması, bu dağılımın kullanılmasının esas sebepleri arasında yer almaktadır. Rüzgârın belli bir periyotta değişimi ve dağılımı, hem enerji üretimi değerlendirmelerinde hem de rüzgâr endüstrisinde çok önemlidir. Türbin tasarımcıları, türbin iyileştirilmesinde ve maliyetleri en aza indirmede rüzgâr dağılımı ve değişimi ile ilgili bilgilere gerek duyarlar. Eğer bir yıl boyunca rüzgâr ölçülürse, genel olarak çok şiddetli rüzgârların nadiren, ılımlı ve şiddetli rüzgârların daha çok ortaya çıktığı görülür. Bir site için rüzgâr dağılımı ya ölçülerek, ya da ölçümlere dayalı değişik nokta ve yüksekliklerde Weibull dağılımı ile belirlenir.[4]

Dağılım eğrisi simetrik değil çarpıktır. Bu eğriyi oluşturan her bir hız frekansları, ortalama hızın bulunmasını da sağlar.

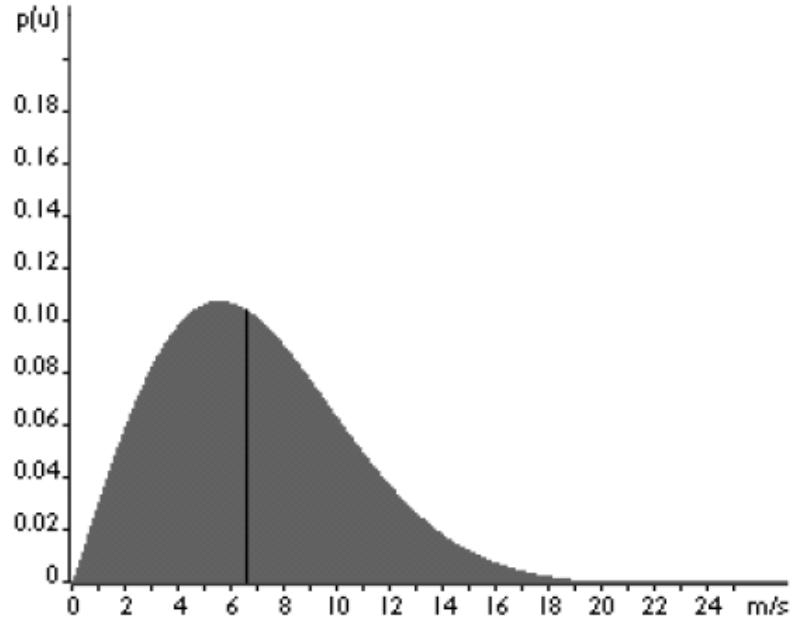
Buna göre Weibull dağılımı;

$$P(V) = \left[\frac{k}{c} \right] \left[\frac{V}{c} \right]^{k-1} e^{-\left[\frac{V}{c} \right]^k} \quad (3.1)$$

Şeklinde ifade edilir.

V: rüzgâr hızı (m/s)
c: ölçek değişkeni (m/s)
k: şekil değişkeni

Şekil 3.5: Weibull dağılımı [4]



Şekil 3.5 'de ana hızı 7 m/s, şekil değişkeni 2 ve ölçek değişkeni 7,9 alınarak çizilmiş bir Weibull dağılımı verilmiştir. Eğer şekil değişkeni 2 ise, şekildeki gibi, bu dağılıma Rayleigh dağılımı denir. Rüzgâr türbini üreticileri, makinelerinin standart performans diyagramını Rayleigh dağılımını kullanarak verirler. Bunun nedeni, değişik yerlerdeki rüzgâr dağılımlarının bilinmemesidir.

3.5 RÜZGÂR ENERJİSİNİN ELDE EDİLMESİ

Şekillerden de anlaşıldığı gibi rotor düzleminin önündeki, rotor düzlemindeki ve rotor düzleminin arkasındaki rüzgâr hızları birbirinden farklıdır ve aralarında da bir ilişki vardır.

Şekil 3.6: Rüzgârın rotor düzlemine gelişi ve rotor düzlemini terk edişi [12]



$$v_1 = \frac{1}{2} \cdot (v + v_2) \quad (3.2)$$

v_1 : rotor düzlemindeki ortalama rüzgâr hızı
 v : rüzgâr türbini rotor düzlemini önünde esen rüzgârın hızı,
 v_2 : rotor düzleminin arkasındaki rüzgâr hızı

Hareket halinde bulunan bir kütle (m), hızı (v) nedeniyle bir kinetik enerjiye (E) sahiptir.

$$E = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad (3.3)$$

E : Enerji
 m : Hareket halindeki havanın kütlesi
 v^2 : Rüzgâr hızı

$$[E] = kg \cdot \frac{m^2}{s^2} = Nm = Joule = J \quad (3.4)$$

Güç (P), birim zamandaki enerjiden ($E = \frac{dE}{dt}$) elde edilir. (3.5)

$$P = E = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad (3.6)$$

P: Güç

$$[P] = \frac{Nm}{s} = Watt = W \quad (3.7)$$

Akış halindeki havanın kütlesi;

$$m = \rho \cdot v \cdot A \quad (3.8)$$

m: Hareket halindeki havanın birim zamandaki kütle miktarı

ρ : Havanın yoğunluğu (kg/m³)

A: Rotor düzlemine gelen hava kütlelerinin kesit alanı (m²)

v: Rüzgâr hızı (m/s)

Bu veriler dikkate alındığında, Güç eşitliği aşağıdaki gibi olur;

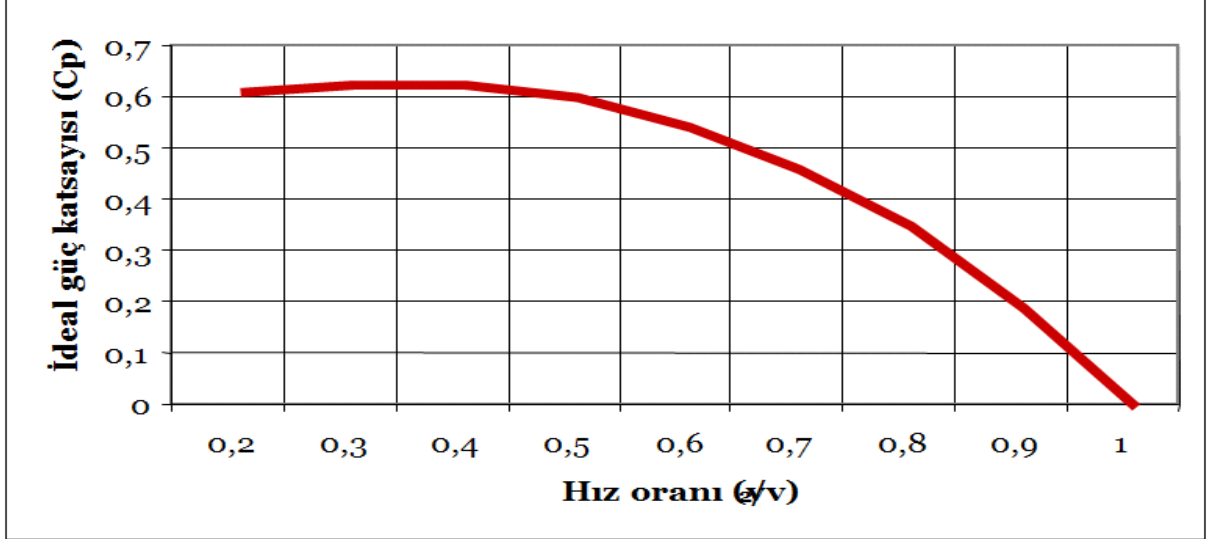
$$P = \frac{\rho}{2} \cdot A \cdot v^3 \quad (3.9)$$

- Bulunan bu eşitlik rüzgârın içinde barındırdığı kinetik enerjiyi Watt olarak vermektedir.
- Bu gücün rüzgâr türbini rotoru aracılığı ile yararlı güce çevrilmesi gerekir.
- Bu noktada rüzgâr hızı, türbin mil hızı ve kanat seçimine bağlı olarak değişim gösteren bir katsayı devreye girmektedir.
- Bu katsayıya güç katsayısı (Cp) adı verilir.

- Kanat türü, kanat biçimi, eğim açısı ve kanadın uç hız oranı vb. burada etkili faktörlerdir.

Güç katsayısının rüzgâr hızının değişim oranına (rotorun arkasındaki rüzgâr hızının rotorun önündeki rüzgâr hızına oranı) bağlı değişimi Grafik 'de verilmiştir.

Şekil 3.7: İdeal güç katsayısı (Betz katsayısı) [4]



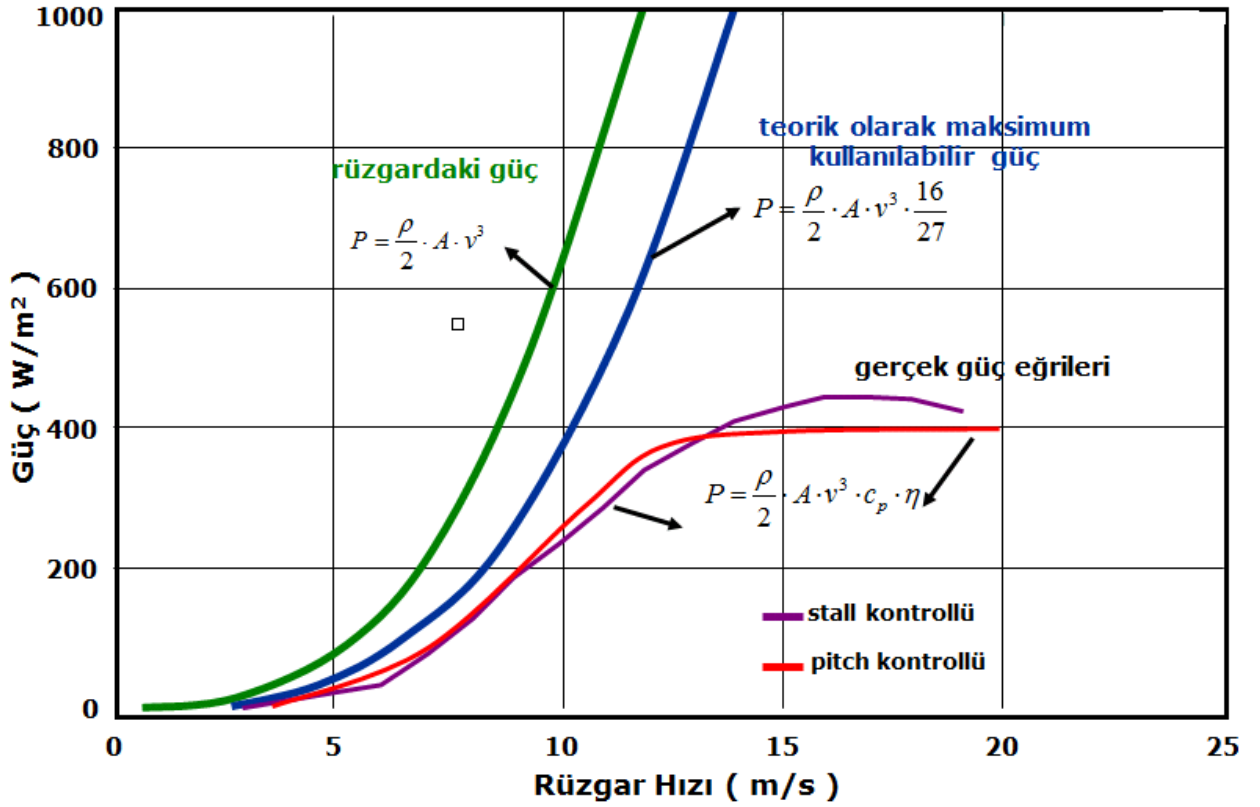
- Şekilde görülen “ideal güç katsayısı” teorik bir değerdir.
- Uygulamada ise bu değer daha da düşüktür.
- Ayrıca devreye mekanik-teknik kayıplar da girmektedir.
- Ancak mekanik-teknik verimlilik (η) değeri 1 ‘e yakın bir değer olduğundan hesaplamalarda ihmal edilebilir.
- Bu bilgiler ışığında güç eşitliğimiz;

$$P = \frac{\rho}{2} \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p \cdot \eta \quad (3.10)$$

C_p : Güç katsayısı

η : Mekanik-teknik verimlilik

Şekil 3.8: Güç Eğrileri



Rüzgâr' dan elde edilebilecek enerji ile ilgili güç eğrileri

- Grafik 'de rüzgârın içinde barındırdığı toplam enerji değerinden rüzgâr türbininden elde edilebilecek güç değerine kadar geçen sürecin genel bir perspektifi görülmektedir.
- 1. eğri, rüzgârın içinde barındırdığı gücü göstermektedir.
- 2. eğri, teorik olarak kullanabileceğimiz maksimum güç değerini ifade etmektedir.
- 3. eğri, stall kontrollü rüzgâr türbinlerinde gerçek güç eğrisidir.
- 4. eğri ise, pitch kontrollü rüzgâr türbinlerinde gerçek güç eğrisidir.[5]

4. RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİ

4.1 DÜNYA RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİ

Dünyanın rüzgâr enerjisi potansiyelini tahmin etmek ve belirlemek zordur. Fakat bilimsel çalışmalar ham rüzgâr potansiyelinin sadece yüzde 10'nun kullanılmasıyla, dünyanın elektrik enerji gereksiniminin tamamının karşılanabileceğini göstermiştir.

Dünya Enerji Konseyi (WEC) dünya rüzgâr kaynağının teknik potansiyelini, km^2 başına 8 MW üretim kapasitesi ve yüzde 23 kapasite faktörü kabul ederek, dünya potansiyelini yılda 20000 TWh olarak tahmin etmiştir. Yerden 10 metre yükseklikte dünya yüzeyinin yaklaşık yüzde 27'sinin yıllık ortalama rüzgâr hızı 5.1 m/s'den daha yüksektir. Uygun olmayan arazi, yerleşim alanları, tarımsal amaçlar ve diğer arazi kullanımları nedeniyle bu alanların sadece yüzde 4'ü elektrik üreten rüzgâr tarlaları için uygundur. Bu alanlar kıta alanlarının 50° kuzey ve güney enlemleri arasında 1000 km^2 'lik sahil şeridi içinde bulunmaktadır. Ekonomik, estetik ve fiziksel planlama kısıtları nedeniyle bunun yaklaşık üçte birinin gerçekleştirilebileceği kabul edilmiştir.

Rüzgâr enerjisi bakımından denizler, karasal alanlara göre daha zengindir. Kıyıdan 10 km açıklıkta ve 10 m derinlikteki alanların potansiyeli 750 TWh/yıl iken, kıyıdan uzaklığı 30 km ve su derinliği 40 m olan yerlerde 3500 TWh/yıl düzeyine çıkmaktadır.[6]

Rüzgâr enerjisinin gün geçtikçe önem kazandığı günümüz koşullarında dünya üzerinde de bu konuda birçok kapsamlı araştırma ve projeler yürütülmektedir. Küresel ısınmanın etkisinin yadsınmadığı bu koşullar dünya üzerinde rüzgâr enerjisinin kısa bir süre içerisinde daha yaygın olarak kullanılacağına sinyallerini vermektedir. Rüzgâr enerjisi dünyada ciddi biçimde yaygınlaşacaksa, öncelikle bu hedefleri gerçekleştirecek doğal kaynakların var olup olmadığını açıkça anlamak gerekir. Uygulamada, elektrik üretiminde kaynak yetersizliğinin, rüzgâr gücü kullanımı açısından sınırlayıcı bir etken olma olasılığı yoktur. Dünyanın rüzgâr kaynaklarının 53,000 TWh/yıl olduğu hesaplanırken, 2020 yılına kadar dünya elektrik tüketiminin 25,579 TWh/yıla yükselmesi beklenmektedir. Bu nedenle teknik olarak elde edilebilecek küresel rüzgâr kaynağı, dünyanın tüm elektrik gereksinimi için yapılan tahminin iki katından fazladır.

Bugüne kadar yapılmış araştırmalar, dünyanın rüzgâr kaynaklarının çok büyük ve neredeyse tüm bölgelere ve ülkelere yayılmış durumda olduğunu göstermektedir. Bunların büyüklükleri konusunda birçok değerlendirme yapılmıştır. Bu tür çalışmalarda kullanılan yöntem, yer düzeyinden 10 m yükseklikte, saniyede 5- 5,5 m/sn aşkın ortalama yıllık rüzgâr hızları olan kaç kilometrekare alan mevcut olduğunu değerlendirmektir. Bugünün enerji üretim maliyetleri ile rüzgâr enerjisinin kullanılması için bu ortalama hız uygun kabul edilmektedir. Şubat 2012 GWEA' nın hazırladığı rapora göre Dünya' da toplam kurulu güç 238351 MW olarak verilmiştir. Aşağıdaki tabloda küresel kurulu rüzgâr enerjisi kapasitesinin bölgesel dağılımı verilmiştir.[7]

Tablo 4.1: Küresel Kurulu rüzgâr enerjisi kapasitesi – Bölgesel dağılımı [7]

GLOBAL INSTALLED WIND POWER CAPACITY (MW) – REGIONAL DISTRIBUTION			
	End 2010	New 2011	Total End 2011
AFRICA & MIDDLE EAST			
Cape Verde	2	23	24
Morocco	286	5	291
Iran	90	3	91
Egypt	550	-	550
Other ⁽¹⁾	137	-	137
Total	1,065	31	1,093
ASIA			
China**	44,733	18,000	62,733
India	13,065	3,019	16,084
Japan	2,334	168	2,501
Taiwan	519	45	564
South Korea	379	28	407
Vietnam	8	29	30
Other ⁽²⁾	69	9	79
Total	61,106	21,298	82,398
EUROPE			
Germany	27,191	2,086	29,060
Spain	20,623	1,050	21,674
France**	5,970	830	6,800
Italy	5,797	950	6,747
UK	5,248	1,293	6,540
Portugal	3,706	377	4,083
Denmark	3,749	178	3,871
Sweden	2,163	763	2,970
Netherlands	2,269	68	2,328
Turkey**	1,329	470	1,799
Ireland	1,392	239	1,631
Greece	1,323	311	1,629
Poland	1,180	436	1,616
Austria	1,014	73	1,084
Belgium	886	192	1,078
Rest of Europe ⁽³⁾	2,807	966	3,708
Total Europe	86,647	10,281	96,616
of which EU-27 ⁽⁴⁾	84,650	9,616	93,957

LATIN AMERICA & CARIBBEAN

Brazil	927	583	1,509
Mexico**	519	354	873
Chile	172	33	205
Argentina	50	79	130
Costa Rica	119	13	132
Honduras	-	102	102
Dominican Republic	-	33	33
Caribbean ⁽⁵⁾	91	-	91
Others ⁽⁶⁾	118	10	128
Total	1,997	1,206	3,203

NORTH AMERICA

USA	40,298	6,810	46,919
Canada	4,008	1,267	5,265
Total	44,306	8,077	52,184

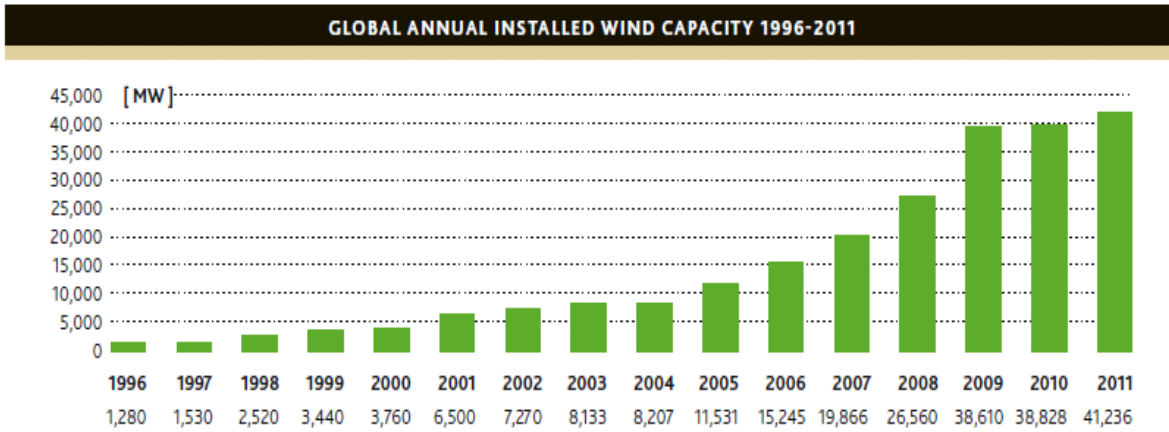
PACIFIC REGION

Australia	1,990	234	2,224
New Zealand	514	108	622
Pacific Islands	12	-	12
Total	2,516	342	2,858

WORLD TOTAL	197,637	41,236	238,351
--------------------	----------------	---------------	----------------

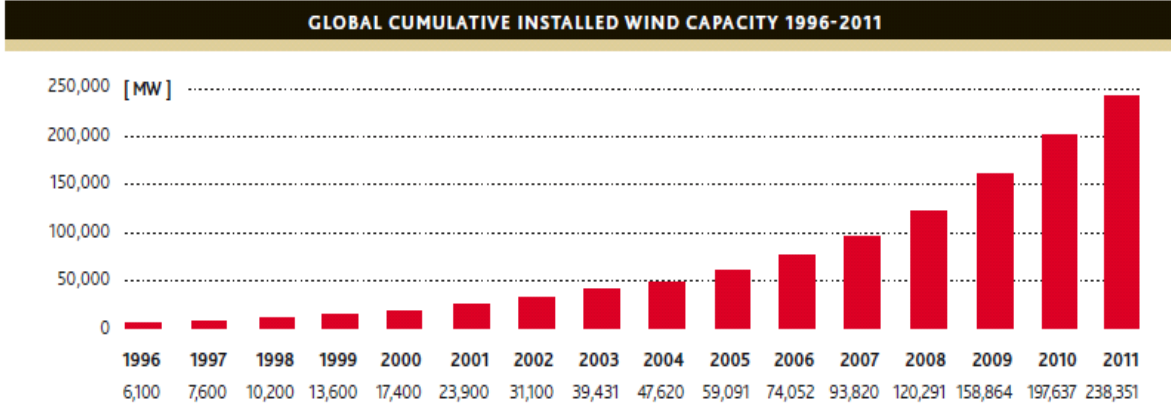
Global Wind Statistics 2011

Şekil 4.1: Küresel yıllık kurulu rüzgâr enerjisi kapasitesi [7]



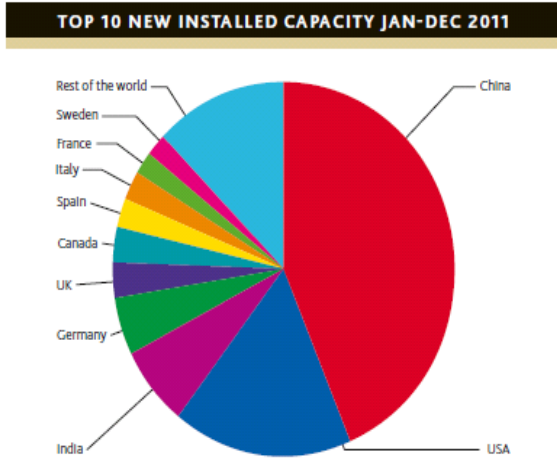
Global Wind Statistics 2011

Şekil 4.2: Küresel toplam kurulu rüzgâr enerjisi kapasitesi [7]



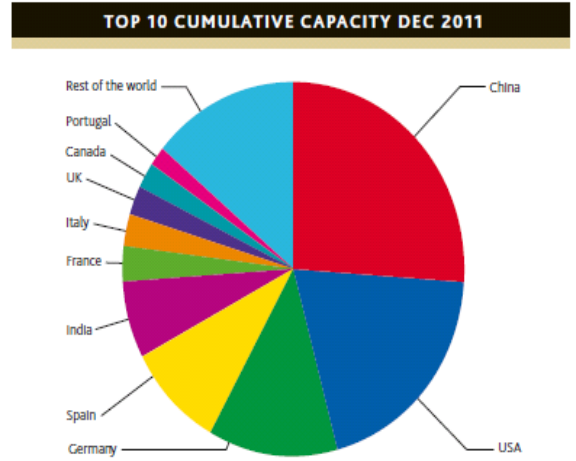
Global Wind Statistics 2011

Şekil 4.3: Top 10 yeni kurulu güç [7]



Country	MW	% SHARE
China**	18,000	44
USA	6,810	17
India	3,019	7
Germany	2,086	5
UK	1,293	3.1
Canada	1,267	3.1
Spain	1,050	2.5
Italy	950	2.3
France**	830	2.0
Sweden	763	1.9
Rest of the world	5,168	12.5
Total TOP 10	36,068	87.5
World Total	41,236	100.0

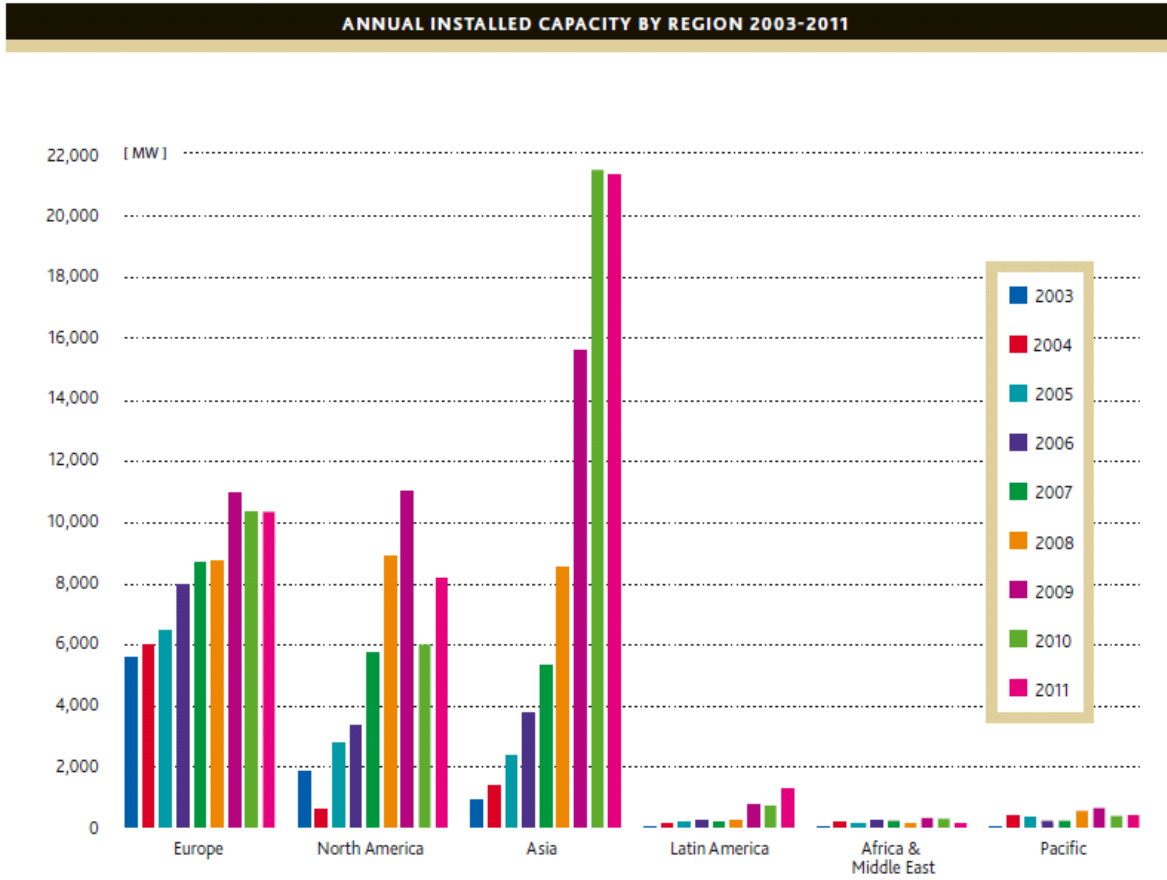
Şekil 4.4: Top 10 kümülatif kapasitesi [7]



Country	MW	% SHARE
China**	62,733	26.3
USA	46,919	19.7
Germany	29,060	12.2
Spain	21,674	9.1
India	16,084	6.7
France**	6,800	2.9
Italy	6,747	2.8
UK	6,540	2.7
Canada	5,265	2.2
Portugal	4,083	1.7
Rest of the world	32,446	13.6
Total TOP 10	205,905	86.4
World Total	238,351	100.0

Global Wind Statistics 2011

Şekil 4.5: Bölgelere göre yıllık kurulu güç [7]



Global Wind Statistics 2011

Daha ayrıntılı değerlendirmeler, gerçekte beklenenden çok daha fazla sayıda potansiyel sahanın kullanılabilir olduğunu kanıtlamaktadır. Bunun iyi bir örneği Almanya'nın iç bölgelerindeki daha az rüzgârlı görünen sahaların keşfi olmuştur. Kaliforniya'nın dağ geçitlerinde olduğu gibi diğer örneklerde, yerel topografya olağan üstü iyi koşullar yaratmaktadır. Bu nedenle dünyadaki toplam rüzgâr kaynağı, bölgesel iklim gözlemlerine dayalı değerlendirmelerin gösterdiğinden daha da yüksektir. Son olarak teknolojinin daha da geliştirilmesi 5 m/s' lik rüzgâr hızlarının kullanılma potansiyelini kesinlikle arttıracaktır. Tablo 1'de de görüldüğü gibi bugün dünyada rüzgâr enerjisi kullanımı giderek yaygınlaşırken, bu çevre dostu enerjiyle Danimarka, Finlandiya, Norveç ve İsveç'in enerji ihtiyacı karşılanmaktadır. Yeryüzü Politikası Enstitüsü'nün (EPI) geçici verilerine göre, rüzgâr enerjisi üretim kapasitesi 2000 yılında 17400 MW iken 6500 MW (yüzde 33)'lik artışla 2001'de 23900 MW' a çıkmıştır. Oysa bu rakam daha 1996 yılında sadece 6100 MW' idi. Aynı yıl dünyada 1500 MW' lık rüzgâr tesisi kurulmuş olup, bu oran 1996 yılındakinden yüzde 19 daha fazladır. 1997 yılında eklenen kapasite ise, 2600 MW ile

1996 yılında eklenenin 1.73 katıdır. 1998 yılında 1400 MW, 1999 yılında 3800 MW, 2000 yılında ise 6500 MW'lık rüzgâr enerjisi tesisi kurulmuştur. Görüldüğü gibi tesis kurulma hızı, her yıl bir önceki yıldan daha fazla artmaktadır. Bu da rüzgâr enerjisinin önünün açık olduğunun bir göstergesidir.

4.2 TÜRKİYE’NİN RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİ

Türkiye coğrafi konumu nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Rüzgâr enerjisi bu kaynaklar içinde önemli bir yer kaplamaktadır. Türkiye, orta kuşakta yer almasından dolayı, soğuk ve sıcak hava kütlelerinin karşılaştığı bir alandır.

Rüzgârın oluşabilmesi için gerekli olan basınç farkını bu iki farklı hava kütlesi sağlar. Türkiye batı rüzgârları kuşağında yer alır. Balkan yarımadası üzerinden gelen kuzey rüzgârlarının etkisiyle, kış boyunca Karadeniz’de güçlü rüzgârlar oluşur. Fakat Karadeniz kıyılarının, sarp kayalıklardan ve ani yükselen tepelerden meydana gelmesi yüzünden bu rüzgârların gücünden yararlanılamamaktadır.

Anadolu’nun güneydoğu kıyıları, batı kıyıları ve Marmara Bölgesi rüzgâr gücü bakımından zengin alanlarımızdır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ) istasyonlarının 1970-1980 dönemi rüzgâr verileri değerlendirilerek, Türkiye’nin rüzgâr enerjisi potansiyeli belirlenmeye çalışılmıştır. Ancak, DMİ tarafından yapılan ölçümler meteorolojik amaçlıdır (klimatolojik, sinoptik, hava kirliliği vb.) ve yerel rüzgârların ölçümleri Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) kurallarına göre 10 m’de yapılmaktadır. Enerji amaçlı rüzgâr ölçümlerinde ise rüzgâr hızı, rüzgâr yönü ve çevre sıcaklığı gibi parametreler 30 metre, 50 metre, 80 metre ve mümkünse türbin hub (göbek) yüksekliğinde en az bir yıl boyunca periyodik olarak (her 10 dk 1 saat gibi) ölçülmeli ve bilgisayar ortamında değerlendirilebilecek şekilde veri paketi olarak tespit edilmelidir. [7]

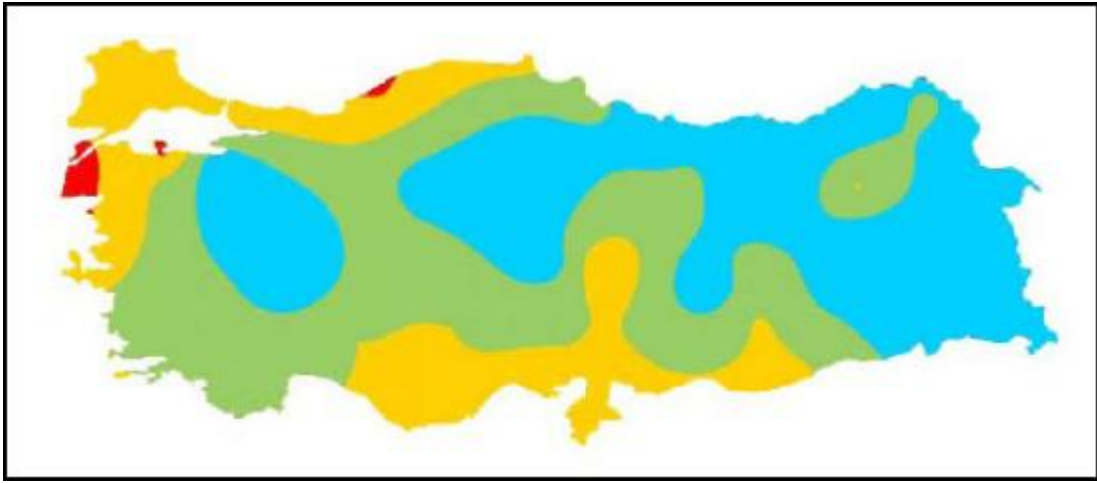
Rüzgâr enerjisine verilen resmi önemin kanıtı olarak ilk ciddi girişim ise ancak 2005’de ‘‘Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanunu’’ ile ortaya konuldu. Bu kanunun sonrasında Bandırma, Çeşme Yarımadası, Hatay, Manisa, Çanakkale’de gerçekleştirilen 150 MW gücündeki santraller kanunun ilk meyveleri olarak karşımıza çıkıyor. 2007 yılında gerçekleştirilmiş olan Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) ile ülkemizde yıllık rüzgâr hızı 8.5 m/s ve üzerinde olan bölgelerde en az 5000 MW, 7.0 m/s’nin

üzerindeki bölgelerde ise en az 48.000 MW büyüklüğünde rüzgâr enerjisi potansiyeli bulunuyor.[25]

Ekonomik RES yatırımı için yıllık ortalama 7 m/s rüzgâr hızı ve yüzde 35 veya üzeri kapasite faktörü gerekmektedir.

Aşağıda gördüğümüz şekilde ve bir sonraki çizelgede gösterilen lejant renkleri Avrupa'nın da kullandığı renklerdir. Ülkemizde rüzgâr potansiyeli olarak en son kırmızı renkte rüzgârlar görülmektedir. En üst katmanda görmüş olduğumuz lacivert renkle gösterilen rüzgâr tipine ülkemizde rastlanılmamaktadır. [8]

Şekil 4.6: Türkiye rüzgâr atlası. [8]



Tablo 4.2: 50 m yükseklikteki rüzgâr hız dağılımları [8]

Beş farklı topoğrafik durum için yer seviyesinden 50 m. yükseklikteki rüzgar potansiyelleri										
	Kapalı Araziler		Açık Araziler		Kıyılar		Açık Deniz		Tepe ve Bayırlar	
	1/ms	2/Wm	1/ms	2/Wm	1/ms	2/Wm	1/ms	2/Wm	1/ms	2/Wm
Blue	>5.0	>250	>7.5	>500	>8.5	>700	>9.0	>800	>11.5	>1800
Red	5.0-6.0	150-250	6.5-7.5	300-500	7.0-8.5	400-700	8.0-9.0	600-800	10.0-11.5	1200-1800
Yellow	4.5-5.0	100-150	5.8-6.5	200-300	6.0-7.0	250-400	7.0-8.0	400-600	8.5-10.0	700-1200
Green	3.5-4.5	50-100	4.5-5.5	100-200	5.0-6.0	200-400	5.5-7.0	200-400	7.0-8.0	400-600
Blue	<3.5	<50	<4.5	<100	<5.0	<150	<5.5	<200	<7.0	<400

Tablo 4.2'de beş farklı topoğrafi durum için yer seviyesinden 50 m yükseklikteki rüzgâr hız dağılımları verilmiştir. Bandırma (5.1–5.2 m/s), Bozcaada (6.3–7 m/s), Karaburun ve Karabina (6.4 m/s), Nurdağı (7.1 m/s), Şensoy (7 m/s) yıllık ortalama rüzgâr hızı yüksek

olan bölgelerimizdir. Tablo 4.2’ de Türkiye’nin değişik bölgelerindeki bazı yerlerin yıllık ortalama rüzgâr hızı verilmektedir. Tablo 4.3’ de işletmedeki lisanslı rüzgâr santralleri verilmiştir. [9]

Tablo 4.3: İşletmedeki lisanslı rüzgâr santralleri [9]

İşletmedeki Lisanslı Rüzgâr Santralleri		
Mevkii	Şirket	Kurulu Güç (MW)
İzmir-Çeşme	Alize Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	1.50
Çanakkale-İntepe	Anemon Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	30.40
Manisa-Akhisar	Deniz Elektrik Üretim Ltd. Şti.	10.80
Çanakkale-Gelibolu	Doğal Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	14.90
Manisa-Sayalar	Doğal Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	34.20
İstanbul-Çatalca	Ertürk Elektrik Üretim A.Ş.	60.00
İzmir-İliç	İnnores Elektrik Üretim A.Ş.	57.50
İstanbul-Gaziosmanpaşa	Lodos Elektrik Üretim A.Ş.	24.00
İzmir-Çeşme	Mare Manastır Rüzgâr Enerjisi Santrali San. ve Tic. A.Ş.	39.20
İstanbul-Hadımköy	Sunjüt Sun’i Jüt San. ve Tic. A.Ş.	1.20
İstanbul-Silivri	Teperes Elektrik Üretim A.Ş.	0.85
Balıkesir-Bandırma	Yapısan Elektrik Üretim A.Ş.	35.00
Balıkesir-Şamlı	Baki Elektrik Üretim Ltd. Şti.	114.00
Muğla-Datça	Dares Datça Rüzgâr Enerji Santrali Sanayi ve Ticaret A.Ş.	29.60
Hatay-Samandağ	Deniz Elektrik Üretim Ltd. Şti.	30.00
Aydın-Didim	Ayen Enerji A.Ş.	31.50
Çanakkale-Ezine	Alize Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	20.80
Balıkesir-Susurluk	Alize Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	20.70

Osmaniye-Bahçe	Rotor Elektrik Üretim A.Ş.	135.00
İzmir-Bergama	Ütopya Elektrik Üretim Sanayi ve Ticaret A.Ş.	30.00
İzmir-Çeşme	Mazı-3 Rüzgâr Enerjisi Santrali Elektrik Üretim A.Ş.	30.00
Balıkesir-Bandırma	Akenerji Elektrik Üretim A.Ş.	15.00
Balıkesir-Bandırma	Borasco Enerji ve Kimya Sanayi ve Ticaret A.Ş.	57.00
Manisa-Soma	Soma Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	140.10
Hatay-Belen	Belen Elektrik Üretim A.Ş.	36.00
Tekirdağ-Şarköy	Alize Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	28.80
İzmir-Urla	Kores Kocadağ Rüzgâr Enerji Santrali Üretim A.Ş.	15.00
Balıkesir-Bandırma	As Makinsan Temiz Enerji Elektrik Üretim San. ve Tic. A.Ş.	24.00
Mersin-Mut	Akdeniz Elektrik Üretim A.Ş.	33.00
Edirne-Enez	Boreas Enerji Üretim Sistemleri A.Ş.	15.00
İzmir-Bergama, Aliğa	Bergama RES Enerji Üretim A.Ş.	90.00
Hatay-Belen	Bakras Enerji Elektrik Üretim ve Tic. A.Ş.	15.00
Hatay-Samandağ	Ziyaret RES Elektrik Üretim San. ve Tic. A.Ş.	57.50
Manisa-Soma	Bilgin Rüzgâr Santrali Enerji Üretim A.Ş.	90.00
Manisa-Kırkağaç	Alize Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	25.60
Çanakkale-Ezine	Garet Enerji Üretim ve Ticaret A.Ş.	22.50
Aydın-Çine	Sabaş Elektrik Üretim A.Ş.	24.00
Çanakkale-Ezine	Enerjisa Enerji Üretim A.Ş.	29.90
Balıkesir-Susurluk	Alentek Enerji A.Ş.	45.00

Balıkesir-Havran	Alize Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	16.00
Balıkesir-Bandırma	Galata Wind Enerji Ltd. Şti.	93.00
Manisa-Akhisar	Akhisar Rüzgâr Enerjisinden Elektrik Üretimi Santralı Ltd. Şti.	43.75
İzmir-Aliğa	Doruk Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	30.00
Balıkesir-Bandırma	Bandırma Enerji ve Elektrik Üretim A.Ş.	3.00
Çanakkale-Ayvacic	Ayres Ayvacık Rüzgâr Enerjisinden Elektrik Üretim Santralı Ltd. Şti.	5.00
Tokat	PEM Enerji Anonim Şirketi	40.00
Aydın-Söke	ABK Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	30.00
Kayseri-Yahyalı	Aksu Temiz Enerji Elektrik Üretim San. ve Tic. A.Ş.	72.00
Amasya-Merzifon	Baktepe Enerji A.Ş.	32.50
Bilecik-Bozüyük	Can Enerji Entegre Elektrik Üretim A.Ş.	39.00
İzmir-Aliğa	Kardemir Haddecilik San. ve Tic. Ltd. Şti.	12.00
Hatay-Merkez	EOLOS Rüzgâr Enerjisi Üretim A.Ş.	26.00
Mersin-Mut	Enerjisa Enerji Üretim A.Ş.	39.00
KAPASİTE TOPLAMI		1995.80
İşletmedeki Yap-İşlet-Devret Rüzgâr Santralları		
Mevkii	Şirket	Kurulu Güç (MW)
İzmir-Çeşme	Ares Alaçatı Rüzgâr Enerjisi Sant. San. ve Tic. A.Ş.	7.20
Çanakkale-Bozcaada	Bores Bozcaada Rüzgâr Enerjisi Sant. San. ve Tic. A.Ş.	10.20
KAPASİTE TOPLAMI		17.40

Rüzgâr enerjisi potansiyelinin enerji üretimi amacıyla belirlenmesi kapsamında EİEİ Genel Müdürlüğünce “Rüzgâr Enerjisi Gözlem İstasyonu Projesi” başlatılmıştır. Proje kapsamında kurulan istasyonlarda, rüzgâr verilerini toplama çalışmaları sürdürülmektedir. Enerji konusunda sıkıntı yaşamamak adına özel sektör temiz enerji olan rüzgâr enerjisine ilgi duymaktadır. Bu konuda birçok tanınmış şirket yatırımlarını bu yönde yapma taraftarıdır. Son dönem tartışılan konular arasında çok önemli hale gelen ve gelişimi büyük bir hız kazanan rüzgâr enerjisi için türbin üretici firmalar çalışmalarına ve araştırma-geliştirme faaliyetlerine giderek artan oranda önem vermektedir.

Ülkemizde rüzgâr enerjisi ile ilgilenen şirketler uygun yerler için araştırmalarını yapıp lisans başvurularını yaparken, üretici firmalar ileri tarihlere siparişler vermektedirler. Tüm dünyanın dikkatini rüzgâr enerjisine çevirmiş olması, daha önceden bu konuda üretim yapmak üzere yatırım yapmış firmalara iyi fırsatlar sunmaktadır.

Ülkemizde; 2002 yılında kurulan, 450 kişiye iş imkânı sağlayan, iç pazar harici 26 ülkeye ihracat yapan ve yıllık cirosu 28 milyon Euro olan Enercon-Demirer Holding ortaklığında İzmir’deki Aero Rüzgâr türbini kanat fabrikasında jeneratör üretimi hariç türbinin kalan kısımları üretilmektedir. Genel ortaklık yapısına zaman zaman bu iki şirketin dışında Polat Holding’in de dâhil olduğu görülmektedir. Demirer Enerji ile birlikte yaklaşık 500 MW Kurulu gücünde rüzgâr enerjisi yatırımı amaçlayan Polat Enerji, önümüzdeki günlerde hayata geçireceği yeni proje kapsamında rüzgâr santralleri için jeneratör imalatını hedeflemektedir. 30 milyon Euro’luk yatırım hazırlığında olan bu şirketler, hem iç pazara hem de dış pazara yönelik üretim yapmayı hedeflemektedirler. Türkiye’de ilk rüzgâr enerjisi yatırımı yapan şirketlerden Demirer Holding ile Polat Enerji’nin şu anda ayrı ayrı ve ortak girişimleri yürüttükleri 500 MW güce sahip olacak rüzgâr santralleri projeleri kapsamında 2009 yılı içerisinde Çanakkale’de 15 MW., Manisa’da ise 30 MW kurulu gücünde rüzgâr santrali yatırımlarını devreye almışlardır. 2014 yılı sonuna kadar da 400 MW kurulu gücünde yatırımın tamamlanması planlanmaktadır.

Enerji sektöründe faaliyet gösteren firmalardan olan Zorlu, Aksa ve Sanko’ da yenilenebilir enerjiye yatırım yapmaktadırlar. Elektrik dağıtım ihaleleri kadar, yenilenebilir enerjiyle de yakından ilgilenen Zorlu Enerji bölgede lider olmayı hedeflemektedir. Zorlu

Enerji'nin Pakistan'daki rüzgâr santrali projesi kapsamında yer alan rüzgâr ölçüm istasyonunun kurulması ile birlikte çalışmalarına başlamıştır. Bu projede 2012'nin sonlarına doğru devreye alınacaktır.

Yenilenebilir enerji yatırımlarına yönelen gruplardan bir diğeri ise Sanko Grup, Türkiye'de 800 milyon dolar ile 1 milyar dolar arasında enerji yatırımı yapacağını belirtmektedir. Finansal destek olarak da Garanti bankası, 42,5 MW kurulu gücünde rüzgâr elektrik santrali olacak Bergama Projesi için MV Holding'e 41,75 milyon Euro tutarında proje finansmanı kredisi sağlayacağını açıklamıştır.

EPDK ise 2007 yılında toplam 136,55 MW kurulu gücünde 7 ayrı rüzgâr enerjisi santrali kurulması için lisans talebini kabul etmiştir. Lisans verilen şirketler arasında Didim'de 31,5 MW kurulu gücünde rüzgâr santrali yatırımı gerçekleştirmeyi planlayan Ayen Enerji ile Balıkesir'de 16 MW kurulu gücünde rüzgâr santrali kuracak olan Akenerji de bulunmaktadır. Ayres, İstanbul Enerji, Belen Elektrik, Kapıdağ, lisans alan diğer şirketler arasındadır.

Enerji Bakanlığı Türkiye'de 2023'e kadar 20000 MW kurulu güce sahip rüzgâr santralinin devreye girmesini planlamaktadır. Bugün itibariyle yaklaşık 8500 megawatt rüzgâr projesi lisans almış durumda olup, kalan 2500 megawatt'lık projenin önümüzdeki dönemde lisans alması beklenmektedir. Bundan sonraki süreçte projelerin daha hızlı hayata geçirileceği beklenmektedir. TEİAŞ'ın açıklamalarına göre 2013 yılından sonra rüzgâra her yıl 1000 MW kapasite eklenecektir. Şuanda Türkiye enerji ihtiyacının yüzde 2-3'nü rüzgârdan karşılanmaktadır. Üretim 20000 MW seviyesine ulaştığında bu oran yüzde 18-20 civarına çıkacaktır. [10]

5. RÜZGÂR TÜRBİN ÇALIŞMALARI, ÖZELLİKLERİ VE YAPISI

5.1 RÜZGÂR ENERJİSİ ÇALIŞMALARI

Günümüzde modern rüzgâr enerjisi sistemleri üzerinde çalışılmaların hız kazanması ile birlikte birden çok türbin içeren rüzgâr çiftlikleri ile elektrik şebekelerinin beslenmesi amaçlanmıştır. Yapılan sistem analizlerinde rüzgâr enerjisi gelişiminde hub yüksekliği 70-126 m çapında olan sistemler (1.5-5 MW) optimum büyüklük olarak tespit edilmiştir. 1981'de ABD 'de tesis edilen sistemlerde rüzgâr türbin gücü 100 kW' dan daha azdı. 1980'lerin sonu ile 1990'lı yılların başında kullanılan rüzgâr türbin gücü 100 kW ile 500

kW arasındaydı. 1990'lı yılların ortalarında bu türbin güçleri 750 kW ile 1000 kW arasında değişmekteydi.

1990'lı yılların sonunda ise bu güç 2500 kW'a yükseldi. Bu yıllarda piyasalarda bulunan makinelerin 500-750 kW arasında olanları en düşük fiyattan elektrik enerjisi üretebilmektedir. Bugün için dünya piyasasında bulunan ve santral kurmak için kullanılabilir rüzgâr türbinlerinin güçleri yaklaşık 3 MW' tır. Tümü yatay eksenli (Şekil 5.1) propeller tipi türbinler olup, rotor kanat sayıları iki ile üç arasında değişmektedir. Genellikle önden rüzgârlı tip türbinlerdir. Yaklaşık yüzde 93'ü üç kanatlı, geriye kalan yüzde 7'si iki kanatlıdır. Rotor çapları 18-90 m, rotor süpürme alanları 255-3.320 m², rotor dönüş hızları 28-60 devir arasındadır. Çalışmaya başlangıç rüzgârı hızı 3-4 m/s kadar olup nominal güçlerini 11-14 m/s rüzgâr hızlarında üretmektedirler.

Çalışmanın durdurulması rüzgâr hızı 20-28 m/s arasındadır. Rotorların zarar görebileceği rüzgâr hızı 50 ve 70 m/s'den büyüktür.

Şekil 5.1: Yatay eksenli rüzgâr türbini ve bir rüzgâr çiftliği



Rüzgâr hızına göre rotor güç ayarları için, kanat eğimi denetimli veya aktif durdurma denetimli sistemler kullanılmaktadır. Makinelerin teknolojisi itibariyle verimleri (kapasite faktörü C_p) yüzde 30-40 arasında değişmektedir. Kanatlar polyster ile kuvvetlendirilmiş fiberglas veya epoksi ile güçlendirilmiş fiber karbondan yapılmakta ve çelik omurga ile desteklenmektedir. Hub yüksekliği 30'm. ile 100'm. arasındadır. Mekanik frenleri disk fren iken, aerodinamik frenleri aktif negatif kanat ayarı olmaktadır. Rüzgâr enerjisi için bir diğer uygulama alanı küçük güçlerde olmak üzere oto prodüktör elektrik üretimi ve mekanik enerji ile su pompalamadır. Küçük güçlü rüzgâr jeneratörleri birkaç yüz W ile

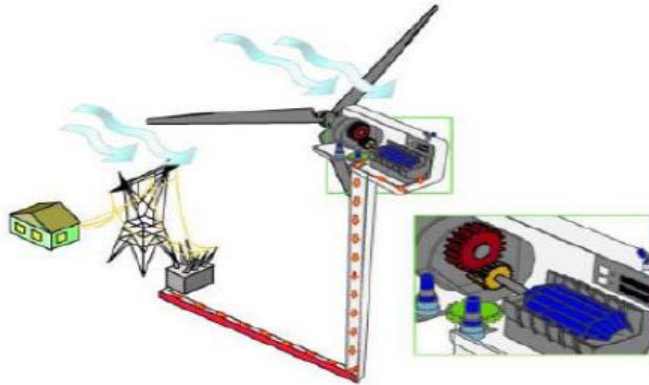
birkaç kW arasında değişmektedir. Bunlar küçük ve uzak yerler için güvenilir güç üretebilmek için kullanılabilir. [11]

5.2 RÜZGÂR TÜRBİNLERİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Tahrik edilen kısmı ile dönme hareketi yapan ve bir akışkanda bulunan enerjiyi milinde mekanik enerjiye dönüştüren makineler türbin olarak adlandırılmaktadırlar. Rüzgâr türbinleri ile ilgili tanımlar, değişik kaynaklarda birbirleriyle çelişmektedir.

Bu konudaki en genel tanımlama şöyledir: Pervane kanatları, pervane göbeği ve pervane miline rotor veya türbin denilir. Pervane mili dişli kutusuna bağlıdır. Dişli kutusunu jeneratöre bağlayan mile de, jeneratör mili denir. Bunların tümü kule tarafından taşınır. Kule ile yer bağlantısı da temel aracılığıyla sağlanır. Tüm bu elemanlara, en genel halde rüzgâr enerjisi tesisi adı verilir. Bu gerçeğe rağmen, yerli ve yabancı literatürde, rüzgâr enerjisi tesisi yerine, rüzgâr türbini tabiri kullanılmaktadır.

Şekil 5.2: Rüzgâr türbinden enerji üretimi



5.3 RÜZGÂR TÜRBİNLERİNİN ÖZELLİKLERİ ve YAPISI

Rüzgâr enerjisi üretimi için kullanılan türbinler teknolojik gelişmeler sayesinde gün geçtikçe modernleşmekte ve eksik olduğu düşünülen konular bir bir tamamlanmaktadır. Performansı arttırıcı sistemler ile rüzgâr dünden bugüne yel değirmenlerinden modern türbinlere kadar basamak basamak bir gelişim göstermektedir. Şimdi kısaca modern türbinlerin genel yapısına bakacak olursak;

- i. Modern rüzgâr türbinleri 3 kanatlıdır.
- ii. Kanat çapları yaklaşık olarak 30 m ile 56 m arasındadır.

- iii. Belli bir zaman aralığında rüzgâr hızı değişmez değildir. Ancak, şebekeye enerji, rüzgâr jeneratörü ve kanat özellikleri ile yaklaşık olarak değişmez olarak verilir.
- iv. İki rüzgâr türbini arasındaki uzaklık yaklaşık olarak 150 - 300 m. arasında değişebilir. Bu nedenle arazinin yaklaşık yüzde 99'luk kısmı tarım, hayvancılık ve diğer amaçlar için kullanılabilir.
- v. Enerji üretimi rotor yüksekliğinde rüzgâr hızının küpüne ve kanatların süpürme alanına bağlıdır.
- vi. Her türbin bilgisayar sistemi ile denetlenmektedir.
- vii. Rüzgârdan üretilen elektriğin birim maliyeti giderek düşmektedir. 2015 yılına kadar maliyetlerin yüzde 25 azalması beklenmektedir.
- viii. Türbin güçleri 250 kW tan 5 MW a kadar değişebilmektedir.
- ix. Rüzgâr türbinleri karaya kurulduğu gibi denizlerde de kurulabilmektedir.

Topografik koşullara göre yerden 50 m. yükseklikte özgül güç, hız 3.5 m/s den küçük iken, $50W/m^2$ den az olabileceği gibi hız 11.5 m/s den büyük iken $1800W/m^2$ den çok olabilir. Ortalama rüzgâr hızı yıldan yıla değişebilir. Rüzgâr hızının değişkenliğinden dolayı, rüzgâr enerjisi potansiyelinden elde edilecek enerji, yıllık ortalama hız değerinden hesaplanan enerjiden daha fazla olmaktadır. Bu yüzden belli bir bölgede rüzgâr türbinleri ile üretilebilecek elektrik enerjisi üretim miktarının hesabında, yıllık ortalama rüzgâr hızından çok gözlemlenen dağılım veya Weibull dağılımı ile hesap edilmiş rüzgâr hızı sıklık dağılımı kullanılmaktadır. Türbin tarafından üretilen enerjinin miktarı, rüzgâr hızı dağılımına bağlıdır. Rüzgâr hızları, frekans dağılımına bağlı olarak, aynı ortalama rüzgâr hızına sahip farklı yerlerde iki kata varabilecek güç yoğunluğu farklılıkları olabilir. Bu durum küp çarpanından kaynaklanmaktadır.

Elde edilen rüzgâr kayıtları, kalite kontrolü yapılarak istatistik çözümler de kullanılmak üzere değerlendirilir. Değerlendirmelerde, hem uzun dönemli rüzgâr kayıtlarını elde etmek, hem de farklı yer ve farklı yüksekliklerde rüzgâr özelliklerini belirlemek için rüzgâr hızı dağılımı olasılık yoğunluk fonksiyonları kullanılır. Bu fonksiyonlar, Weibull dağılımı, Rayleigh dağılımı ve Rüzgârgülüdür.

5.4 RÜZGÂR TÜRBİNLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Rüzgâr türbinleri, direnç, kaldırma ve yükselen hava kuvvetinden yararlanmalarına göre, pervane ekseninin yatay ya da düşey olmasına göre sınıflandırılabilirler.

5.4.1 Rüzgâr Kuvvetinden Yararlanma Şekline Göre Sınıflandırma

Rüzgâr türbinleri rüzgâr kuvvetinden yararlanma şekillerine göre 3 kısımda incelenirler.

Bunlar;

- i. Rüzgârın Direnç Kuvvetinden Yararlanılan Türbinler
- ii. Rüzgârın Kaldırma Kuvvetinden Yararlanılan Türbinler
- iii. Yükselen Hava Akımlı Rüzgâr Türbinleri

5.4.1.1 Rüzgârın direnç kuvvetinden yararlanılan türbinler

Direnç kuvvetinden yararlanan türbinlerde, rüzgâra karşı bir düzey tutulur ve rüzgâr basıncından dönme hareketi oluşur. Örnek olarak; kepçe tipi anemometreler, Fars çarkı ve Savonius türbini gösterilebilir (Şekil 5.2). Direnç kuvvetinden yararlanan türbinler, pistonlu pompalar ile su pompalanması gibi yüksek moment gereken yerlerde kullanılmaktadırlar.[12]

Şekil 5.3: Savonius rüzgâr türbini ve yapısı



5.4.1.2 Rüzgârın kaldırma kuvvetinden yararlanılan türbinler

Kaldırma kuvvetinden yararlanan türbinlerde rüzgâr; yüzeye belli bir açıyla gelir ve yüzeye etkileyen hava hızının doğrultusuna dik olarak oluşan kaldırma kuvveti, dönme hareketine dönüşür. Yüzey öncesinde yüksek basınç, yüzey arkasında ise alçak basınç oluşmaktadır. Örnek olarak, düşey eksenli Darrius türbini ve kanatlı yatay eksenli rüzgâr türbinleri gösterilebilir. Rüzgâr türbinleri, nominal güçlerine göre de 5kW. ile 100kW arasında olanlar küçük güçlü, 100kW'ın üstünde ise büyük güçlü rüzgâr türbinleri olarak sınıflandırılır.

5.4.1.3 Yükselen hava akımlı rüzgâr türbinleri

Yükselen hava akımlı rüzgâr türbinleri, hava hareketindeki kinetik enerjiden yararlanan türbinlerdir. Enerji dönüştürücüsü yükselen hava akımlı rüzgâr türbinleri (güneş enerjisi konveksiyon bacası), güneş ışınları enerjisi tarafından ısıtılan havanın yükselmesi ve yükselen havadaki kinetik enerjinin de rüzgâr türbinini tahrik etmesi prensibine göre çalışır. Isıtılarak yükselmesi istenen hava, üsten cam veya plastik malzemedeki yapılmış geçirgen bir çatı ile örtülüdür ve bu çatının ortasında yer alan betonarme bacada yükselir.

Yükselen hava akımlı rüzgâr türbinlerinde elde edilen güç; kollektörü verimi, kollektörüne kesit alanı, havanın sabit basınçta özgül ısı kapasitesi, dış ortam sıcaklığı, güneş sabiti ve bacanın yüksekliğine bağlıdır. Buradaki baca yüksekliği arttıkça, elde edilen güç de artmaktadır. Bu baca, alttan ankastre mesnet üsten serbest bir çubuk olarak idealleştirilmektedir.

5.4.2 Rüzgâr Türbinlerinin Pervane Ekseninin Konumuna Göre Sınıflandırılması

Rüzgâr türbinleri pervane eksenlerinin konumlarına göre 2 ayrı kategoride sınıflandırılırlar Bunlar;

- i. Düşey Eksenli Türbinler
- ii. Yatay Eksenli Türbinler

5.4.2.1 Düşey eksenli türbinler

Bu türbinlerin dönme eksenleri düşey ve rüzgâra diktir. Kanat kirişleri dönme eksenine dik olacak şekilde yerleştirilmiştir. Düşey eksenli türbinlerde, kanatların içbükey ve dışbükey yüzeyleri arasındaki çekme kuvveti farkı nedeniyle dönme hareketi oluşur.

Aynı ilke Savonius rotorlarda daha özel bir şekilde kullanılır. Bu rotorda güç katsayısı 0,15'den daha azdır. Bu nedenle güç üretiminde tercih edilmezler.

Şekil 5.4: Düşey eksenli rüzgâr türbini



Kanatlar bir düşey mile bağlanmıştır. Bu türbinler G.J.M. Darrieus isimli bir Fransız mühendis tarafından 1931'de icat edildiğinden Darrieus türbini olarak da isimlendirilir.[12]

Yatay eksenli türbinlere göre üstünlükleri şunlardır:

- i. Rüzgâr doğrultusundan etkilenmez. Dolayısıyla yönlendiriciye ihtiyaç yoktur.
- ii. Bütün elektromekanik aksam yerde olduğu için yatırım ve bakım masrafları daha azdır.

Buna karşılık düşey eksenli türbinlerinin başlıca iki eksikliği vardır:

- i. Türbin kanatları dizaynı dolayısıyla verimleri düşüktür.
- ii. Kanatların yere yakınlığı sonucu düşük rüzgâr hızına maruz kalırlar, bu ise enerji üretimini azaltır.

Verim düşüklüğü nedeniyle düşey eksenli rüzgâr türbinleri fazla uygulama alanı bulamamıştır.

Uygulama Kanada ve Kaliforniya'daki birkaç ünite ile sınırlı kalmıştır. "H" türbini denen ve bir kulenin tepesinde düşey mil (shaft) üzerine yerleştirilen türbin araştırma konusu olsa da henüz ekonomik açıdan fizibil olamamıştır.

5.4.2.2 Yatay eksenli türbinler

Yer konumuna göre, rotoru yatay ekseninde çalışan yatay eksenli rüzgâr türbinleri, daha geleneksel ve daha modern bir kullanımı sunarlar. Bir rüzgâr türbinin elektrik sistemi mekanik enerjinin elektriksel enerjiye dönüşümü sağlayacak tüm ekipmanın yanında, kontrol ve izleme ekipmanlarını da içermelidir.

Dönme eksenleri rüzgâr yönüne paralel ve kanatlar rüzgâr yönüne diktir. Ticari türbinler genellikle yatay eksenlidir Rotor, rüzgârı en iyi alacak şekilde döner bir tablet üzerine yerleştirilmiştir. Yatay eksenli türbinlerin çoğu rüzgârı önden alacak şekilde tasarlanır. Rüzgârı arkadan alan türbinlerin ise, yaygın bir kullanım alanları yoktur.

Yatay eksenli türbinlerde rotor, dişli çark, jeneratör ve fren bir kule üzerinde yatay safta bağlanmışlardır. Büyük güçlü türbinlerde (1 MW' dan büyük) transformatör de kulenin tepesinde nasell'de yer alır. Bu türbin tipine modeline ve markasına göre değişiklik göstermektedir. Küçük güçlü türbinlerde ise, transformatör şebeke bağlantı sistemleri ile birlikte yerde bulunur.

Şekil 5.5: Yatay eksenli bir rüzgâr türbini



Rotora iki veya üç kanat bağlıdır. Üç kanatlı rotor sürekli (değişikliği az, stabil) üretim sağlayıp daha sessiz çalışmasına karşın, bu tip rotorların maliyetleri yüksektir. 500 kW ile 3 MW arasındaki türbinler için rotor çapı ($=D$) genellikle 40-100 m. arasında değişmektedir. Rotor genellikle kulenin önünde yer alır. Rotorun kulenin arkasında kalması halinde kulenin yarattığı türbülans türbin verimini düşürmektedir. Rotorun türbin önünde rüzgâr doğrultusuna göre ayarlanabilmesi için elektrikli yönlendirici bulunur ve bu türbin gövdesi ile kule arasında yer alır. Kule genellikle çelikten imal edilir. Büyük türbin kuleleri betondan da olabilmektedir. Jeneratörün sabit hızlı olması halinde rotor hızının kontrolü gerekmektedir. Aksi halde aşırı rüzgâr hızlarında rotor kontrolsüz hızlanır ve kazaya sebep olur. Rotor kontrolü iki şekilde yapılmaktadır:

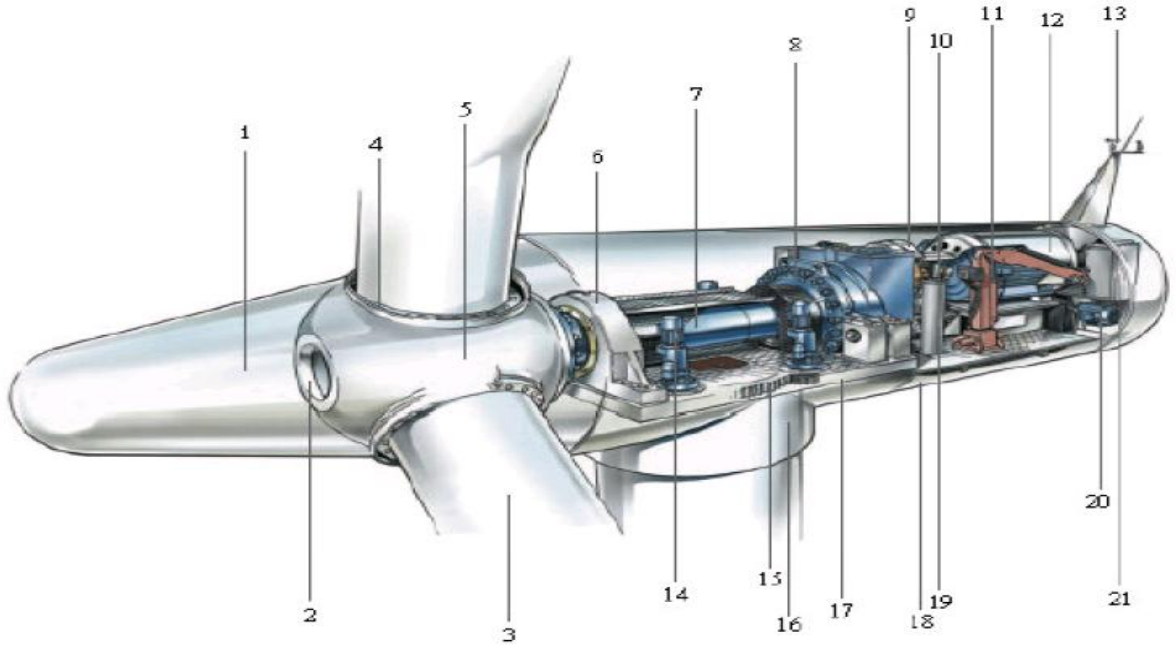
a) Rotor kanatlarının uygun dizaynı ile rüzgâr hızı belirli bir değerin üstüne çıksa dahi (örneğin: 25 m/s.) türbin hızı sabit kalmaktadır (stall kontrol). Bu olay hidroelektrik türbinlerindeki kavitasyon ile benzerlik göstermektedir.

b) Kanatların rüzgâr doğrultusu ile açısının bir hidrolik sistemle değiştirilmesi (pitch kontrol) ile rotor kontrolü sağlanabilmektedir. Çok yüksek hızlarda kanatlar rüzgâra en az direnç gösterecek şekilde çevrilerek türbin hızı ayarlanabilmektedir. Bunun hidroelektrikteki benzeri Kaplan türbinleridir. Açısı değiştirilebilen rotor kanatlarının diğer faydası düşük rüzgâr hızlarında da yüksek verimin elde edilebilmesidir. Asenkron jeneratörlerin rüzgâr türbinlerinde kullanılmaya başlanmasıyla birlikte tüm rüzgâr hızlarında enerji dönüşümü mümkün kılınmıştır. Senkron jeneratör kullanılan rüzgâr türbinlerinin hızını jeneratörün dizayn hızına çıkartmak için rotor ile jeneratör arasında

dişli çark kullanılmaktadır. Ancak bu hem maliyeti hem de bakım masraflarını arttırmaktadır.

5.5 RÜZGÂR TÜRBİNİN İÇYAPISI

Şekil 5.6: Rüzgâr türbininin temel parçaları



1–Kanat muhafazası, 2– Kanat yatağı , 3– Kanat, 4– Kanat eğim yatağı, 5 – Rotor Göbeği, 6– Merkezi mil yatağı, 7– Ana mil , 8 – Dişli kutusu, 9 – Fren diski, 10 – Bağlantı noktası, 11 – Servis vinci, 12 – Jeneratör, 13 – Anemometreler, 14 – Sapma dişlisi, 15 – Sapma yatağı, 16 – Kule, 17 – Türbin taban plakası, 18 – Gövde, 19 – Yağ filtresi, 20 – Jeneratör fanı, 21 – Yağ soğutucu.

Modern yatay eksenli kanatlı rüzgâr türbinlerini oluşturan ana elemanlar aşağıdaki gibi sıralanabilirler;

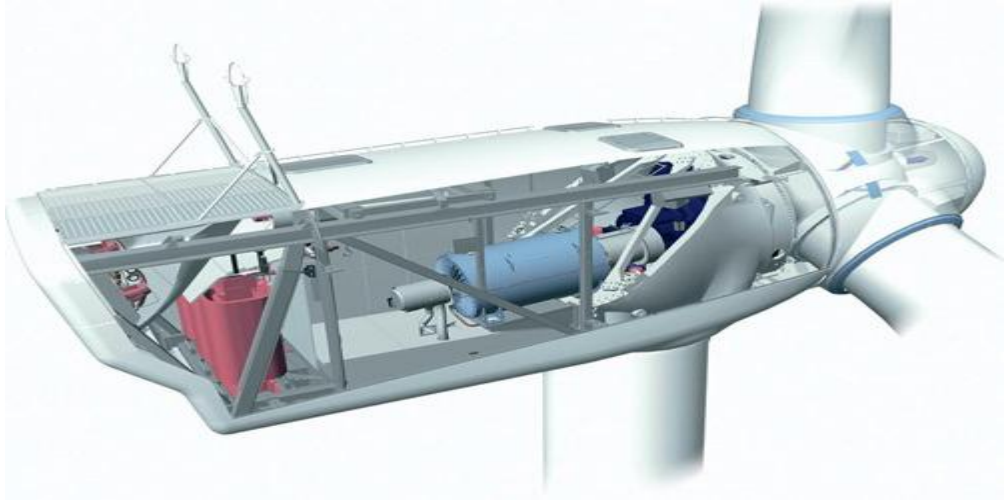
- i. Türbinin kule üstündeki kısmı
- ii. Kanatlar
- iii. Kanatların bağlantı noktası
- iv. Düşük Hız Mili
- v. Dişli Kutusu
- vi. Mekanik frenli Yüksek Hız Mili
- vii. Generator

- viii. Sapma Mekanizması
- ix. Elektronik Kontrolcü
- x. Hidrolik Sistemi
- xi. Soğutma Sistemi
- xii. Kule
- xiii. Anemometre

5.5.1 Türbinin Kule Üst Kısmı

Rüzgâr türbininin dişli kutusunu ve jeneratör dâhil ana parçalarını içine alır. Servis personeli türbin kule üst kısmı (nacelle) türbin kulesinden girebilir. Nacelle'nin solunda rüzgâr türbin rotoru, kanatlar ve kanatların bağlantı noktası bulunur.

Şekil 5.7: Modern rüzgâr türbinlerinde kullanılan tipik bir nacelle yapısı



5.5.2 Kanatlar

Rüzgârı yakalar ve onun gücünü kanatların bağlantı noktasına aktarır. Rüzgâr türbinlerinin pervaneleri; alüminyum, titanyum, çelik, elyaf ile güçlendirilmiş plastik (cam elyafı, karbon elyafı ve aramid elyafı) ve ağaçtan imal edilebilmektedir. Modern rüzgâr türbinlerinin kanatlarının hemen hemen tamamı, cam elyafı ile güçlendirilmiş polyester veya epoksi gibi, cam elyafıyla plastikten üretilmektedirler.

Cam elyafının kopma mukavemeti, 420 N/nm^2 ile St 52 çeliğinin kopma mukavemeti 520 N/nm^2 'ye yakındır. Karbon elyafı ile güçlendirilmiş epoksi plastik malzemenin kopma mukavemeti ise, 550 N/nm^2 ile çelikten daha iyidir.

Cam elyafı ile güçlendirilmiş epoksi plastik malzemenin ana sorunu, elastisite modülünün 15 kN/nm^2 ile çeliğe nazaran (210 kN/nm^2) çok düşük olmasıdır. Bu nedenle, çok uzun kanatlarda cam elyaf yerine, elastisite modülü 44 kN/nm^2 olan karbon elyafı ile güçlendirilmiş epoksi plastik malzeme kullanılır.

3 MW'lık modern bir rüzgâr türbininde, her bir kanat 45 m. uzunluğundadır. Ayrıca kanatlarda rüzgâr enerjisinden maksimum düzeyde yararlanmak için kendi eksenleri etrafında 0° - 90° arasında hareket kabiliyetine sahiptirler. Rüzgâr hızı maksimum sınırlara ulaştığında kanat pitch açısını rüzgârdan maksimum verim elde etmek için değiştirir. Rüzgâr türbinleri 25 m/s hızda güvenlik açısından kendini durdurur ve kanat açılarını rüzgâra karşı bıçak gibi konumlandırır ve kanat açılarını 90° 'ye getirir. Kanatlar yıldırımdan zarar görmemek için topraklama sistemi ile donatılmıştır. Topraklama sistemi kanatlardan nacelle'e oradan da kule ile birlikte toprağa şarj eden yıldırımdan koruma sistemi ile donatılmıştır.[13]

Şekil 5.8: Rüzgâr türbin kanatları



5.5.3 Kanatların Bağlantı Noktası

Kanatların gövde ile olan bağlantı noktalarını oluşturur. Bu noktalar, bazı türbinlerde verimliliği artırabilmek için servo kontrollü hareketli parçalardan oluşur. Bu sayede kanatlar açısız olarak kontrol edilir ve rüzgârın hızına göre optimum açıda kontrol sağlanır. Diğer taraftan hidrolik sistem ile çalışan rüzgâr türbinlerinde pitch açısı yapabilmek için hidrolik sistem tarafından sağlanan basınçlı bir hat ile hareket kabiliyetini pistonlar ile yapmaktadır. Acil bir durumda hidrolik sistemden kaynaklanan bir arıza durumunda türbin

kanatlarını hareket ettiremeyeceğinden acil durum sistemi vardır. Bu sistem basınçlı akümülatörlerle kanatları acil olarak 90°'ye çekmeye yarar.

5.5.4 Dişli Kutusu

Kanat milindeki enerji, jeneratöre bir dişli sistemi ile aktarılır. Dişli sistemi, kanat milinin devir sayısını jeneratörün gerek duyduğu devir sayısına çıkarır. Dişli kutusu bir rüzgâr türbinin en ağır parçasıdır.

Düşük hızlı milden (şafttan) yaklaşık olarak 50 kat daha hızlı dönen yüksek hızlı mil ise sağındadır. Düşük hızlı mil ile yüksek hızlı mili birbirine bağlayan bu parça, elektrik üretmek için birçok jeneratörün ihtiyaç duyduğu dönüş hızı olan dakikada 30-60 (rpm) devirden, dakikada 1000-1800 (rpm) devire kadar çıkarır.[15]

Şekil 5.9: Dişli kutusu



Yüksek hız milinin görevi jeneratör rotorunu hareket ettirmektir, düşük hız mili ise rotor tarafından tahrik edilen mildir.

5.5.5 Elektrik Jeneratörü

Rüzgâr enerjisi tesislerinde kullanılan jeneratörler, alternatif akım veya doğru akım jeneratörleri olabilir. Burada elde edilen elektrik akımı, yetersiz kalitede alternatif akım veya doğru akım bile olsa, çeşitli güç elektroniği düzenekleriyle şebekeye uygun hale getirilebilirler.

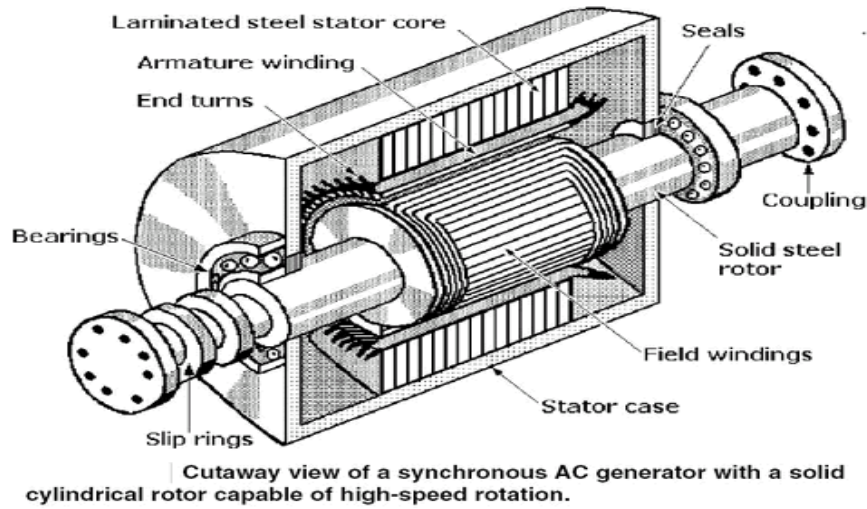
Doğru akım jeneratörleri, büyük güçlü rüzgâr enerjisi tesislerinde tercih edilmemektedir. Bunun nedeni, sık bakım gereksinimine sahip olmaları ve alternatif akım jeneratörlerine

göre daha yüksek maliyetli olmalarıdır. Doğru akım jeneratörleri, günümüzde sadece küçük güçlü rüzgâr enerji tesislerinde akülere enerji depolamak için kullanılır.

Direkt şebekeye bağlantı sistemlerinde; alternatif akım jeneratörlerini oluşturan asenkron veya senkron jeneratörlerin millerinin devir sayısı $n_{\text{senkron}} = 60.f/p$ (d/d) bağlantısı ile verilir. Burada f Hertz biriminde elektrik şebekesi frekansı, p çift kutup sayısı ve n dakikada devir sayısıdır.[14]

Dişlideki kayıplar ve gürültünün önlenmesi amacıyla, çok kutuplu jeneratörü olan dişli kutusuz türbinler de kullanılmaktadır. Bu bağıntıdan da anlaşılacağı gibi, jeneratörün kutup sayısı arttıkça, 50 Hz' lik elektrik şebekesi frekansına uygun akım için gereken jeneratör mili devir sayısı da azalmaktadır. Bu nedenle, yüksek kutup sayılı jeneratörler de dişli kutusuna gerek kalmamaktadır. Asenkron jeneratör kullanılan rüzgâr türbinlerinin bağlandıkları şebekeye olan etkileri ikiye ayrılabilir;

Şekil 5.10: Elektrik jeneratörü



- i. Kararlı hal güvenliği
- ii. Güç kalitesi

Kararlı hal güvenliğindeki amaç rüzgâr gücü enjekte edildiğinde, şebeke güç kararlılığı koşullarını kontrol etmektir. Güç kalitesi analizi ise rüzgâr hızındaki değişmelere karşı üretilen gerilim dalgasındaki bozulmaları izler. Frekans ve gerilimi istenilen seviyede tutmak ve şebekeye sabit frekansta elektrik enerjisi vermek için convertor sistemleri kullanılmaktadır.

5.5.6 Sapma Mekanizması

Sapma mekanizması, rüzgâr sensörünü (anemometre) kullanarak rüzgâr yönünü belirler. Bu sistem küçük gibi görünse de rüzgâr türbininin rüzgârdan maksimum enerji elde edebilmesi için çok önemlidir. Rüzgâr yönü değiştiği zaman, normal olarak o anda sapma sadece bir kaç derece kadar olacaktır. Rüzgâra karşı nacelle ile rotoru döndürmek için elektrik motorlarını kullanır. Bu motor sayıları türbin tiplerine göre değişmektedir.[15]

Şekil 5.11: Sapma Sistemi



5.5.7 Hidrolik Sistem

Türbinin aerodinamik frenlerini ve kanat açılarını ayarlamak için kullanılır. Türbinin aşırı hızlanması durumunda kanat kontrolünü hidrolik sistem ile yaparak türbini istenilen devir sayısında tutmak için kullanılır. Bazı türbin modellerinde hidrolik sistem yerine servo motorlar kullanılmaktadır.

5.5.8 Soğutma Sistemi

Elektrik jeneratörünü ve dişli kutusu yağını soğutan kısımdır. Bazı türbinler su-soğutmalı jeneratörlere sahiptir. Soğutma işlemi türbinin çalışması açısından çok önemlidir. Örneğin su soğutmalı bir jeneratör sisteminde soğutma sisteminde meydana gelen arıza sonucu jeneratörün yatakları aşırı ısınacak belki de yatak sistemi hasar görecektir. Aynı şekilde

dişli kutusu sisteminde yağ sıcaklığının da önemi büyüktür. Dişli sisteme herhangi bir zarar gelmemesi için yağ sıcaklığını da istenilen değerler arasında tutmak gerekir.

5.5.9 Kule

Rüzgâr türbininin kulesi, nacell ve rotoru üzerinde taşır. Genellikle kulenin yüksek olması bir avantajdır çünkü rüzgâr hızları yerden yükseldikçe artar. Tipik olarak 2,5-3 MW'lık modern bir rüzgâr türbininin kulesi 60-80 m. yüksekliktedir. Kule seçimi sahada yapılan rüzgâr ölçümlerine göre de belirlenir. Kuleler tüp ya da kafes biçimindedir.

Tüp biçimli kuleler çalışanlar için daha avantajlıdır, çünkü gerektiğinde bir merdivenle içeriden türbinin tepesine çıkmak daha kolaydır. Şuanda modern türbin kulelerinin içinde merdiven ile birlikte asansörlerde bulunmaktadır. Kafes kulelerin avantajı esas olarak ucuz oluşlarıdır. Kule malzemesi, genelde çelik veya betondur. Modern rüzgâr türbinleri, halka enine kesitli kulelere sahiptir. Kule yüksekliği, yüksekteki rüzgâr hızlarından yararlanmanın getirisi ile boya bağlı artış gösteren kule maliyeti arasındaki optimum çözümlerle belirlenir.

Kule boyutlandırılmasındaki bir diğer parametre de, eğilme doğal frekansı, kule malzemesi ve dolayısıyla maliyeti önemli ölçüde etkilemektedir. Rüzgâr türbinlerinin tüm imalat giderlerinin yüzde 20-27' si kule imalatına aittir.

Şekil 5.12: Rüzgâr türbin kulesi



5.5.10 Anemometre

Rüzgârın hızını ve yönünü ölçmek için kullanılırlar. Rüzgâr hızı 3.5-4 m/s.' ye eriştiğinde türbini harekete geçirmek için rüzgâr türbininin elektronik kontrolcüsü tarafından anemometrenin gönderdiği elektronik sinyaller kullanılır. Eğer rüzgâr hızı 25 m/sn' i aşarsa kontrol sistemi, türbini ve çevresindekileri korumak için rüzgâr türbinini otomatik olarak durdurur. Anemometreden gelen sinyaller, rüzgâr türbini elektronik kontrolcüsü tarafından alınarak, yaw mekanizması yardımıyla rüzgâra karşı türbini döndürmek için kullanılır.

Birçok boyutta rüzgâr türbini bulunmaktadır. Türbin özellikleri her geçen gün gelişmektedir.

Günümüzde 5 MW gibi büyüklüklerdeki türbin kapasiteleri test edilmektedir.

5.5.11 Yatak

Yatak, kulenin en üstünde bulunan ve içerisinde dişli kutusunu, düşük ve yüksek hız milini jeneratörü, kontrolörü ve fren sistemini bulunduran kısımdır.

5.5.12 Hız kontrolörü

Rüzgâr türbinin çalışma aralığını belirleyen kısım hız kontrolörüdür. Rüzgâr türbinlerinin enerji üretimine başlayacağı rüzgâr hızı (cut-in speed) ve türbinin devre dışı kalacağı rüzgâr hızı (cut-out speed) değerlerinin uygulanması hız kontrolörü tarafından yapılmaktadır.

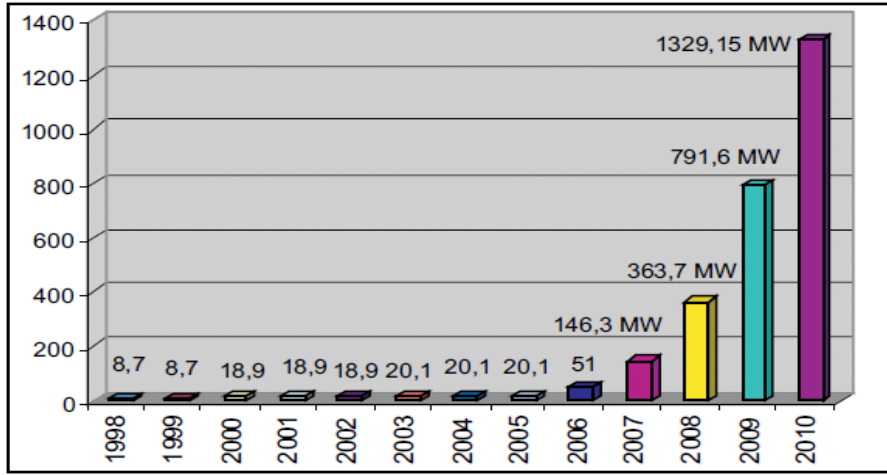
6. TÜRKİYE'DE RÜZGÂR ENERJİSİ, MEVCUT DURUM, FİNANSMAN KAYNAKLARI, MALİYET HESAPLAMALARI ve GALATA WİND ŞAHRES PROJESİ MALİYET KALEMLERİ

6.1 RÜZGÂR ENERJİSİ KONUSUNDA MEVCUT DURUM

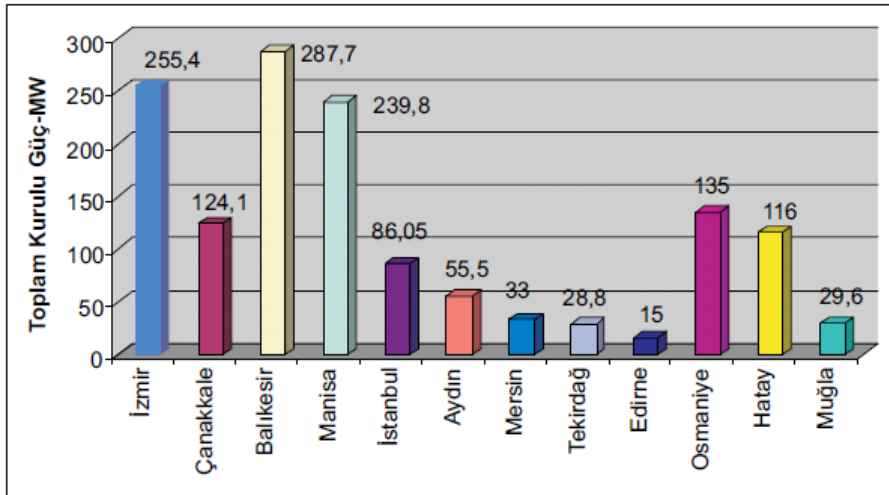
Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA), Türkiye rüzgâr kaynaklarının karakteristiklerini ve dağılımını belirlemek amacıyla Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından 2006 yılında üretilmiştir. Bu atlasta verilen detaylı rüzgâr kaynağı haritaları ve diğer bilgiler rüzgâr enerjisinden elektrik üretimine aday bölgelerin belirlenmesinde kullanılabilecek bir altyapıyı sağlamaktadır. Yıllık ortalama değerler esas alındığında, Türkiye'nin en iyi rüzgâr kaynağı alanları kıyı şeritleri, yüksek bayırlar ve dağların

tepesinde ya da açık alanların yakınında bulunmaktadır. Açık alan yakınlarındaki en şiddetli yıllık ortalama rüzgâr hızları Türkiye'nin batı kıyıları boyunca, Marmara Denizi çevresinde ve Antakya yakınında küçük bir bölgede meydana gelmektedir. Orta şiddetteki rüzgâr hızına sahip geniş bölgeler ve rüzgâr gücü yoğunluğu Türkiye'nin orta kesimleri boyunca mevcuttur. Türkiye Rüzgâr Atlas'ında (REPA) yer seviyesinden 50 metre yükseklikteki rüzgâr potansiyelleri incelendiğinde Ege, Marmara ve Doğu Akdeniz bölgelerinin yüksek potansiyele sahip olduğu görülmektedir. 7 m/s'den büyük rüzgâr hızları göz önüne alınarak Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyeli 47849 MW olarak belirlenmiştir.[9]

Şekil 6.1: Türkiye Kurulu Rüzgâr Gücünün Yıllara Göre Değişimi



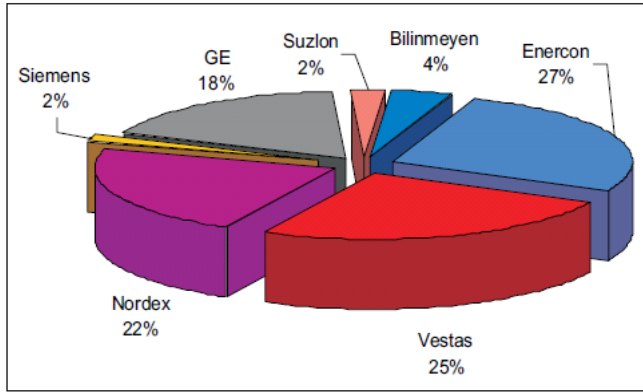
Şekil 6.2: Kurulu Rüzgâr Gücünün İllere Göre Dağılımı



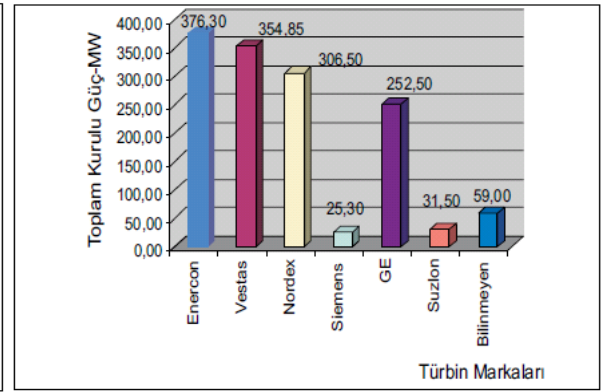
Türkiye'de şebekeye bağlı rüzgâr enerjisiyle elektrik üretimi 1998 yılında başlamış ve özellikle 2005 yılından itibaren 5346 sayılı Yenilenebilir Elektrik Kanunu'nun çıkmasından

sonra kurulu güç ve enerji üretiminde her yıl yüzde 100'ün üzerinde artış göstererek kısmen veya tamamen işletmede olan 39 adet rüzgâr santraliyle 2010 yılı sonunda 1329 MW' a (Sekil 6.1), 2012 Mayıs ayı itibarıyla ise mevcut santrallerdeki kapasite artırımları ve eklenen üç yeni santralle 2013.20 MW' ye ulaşmıştır. Marmara Bölgesi'nde Balıkesir, İstanbul, Çanakkale, Ege Bölgesi'nde İzmir, Manisa, Doğu Akdeniz çevresinde Hatay rüzgâr santrallerinin yoğun olarak yer aldığı illerdir (Sekil 6.2). Rüzgâr santrallerinin yoğun olarak kurulduğu iller REPA' da gösterilen potansiyelle uyum göstermektedir Rüzgâr santrallerine türbin üreticileri açısından bakıldığında en büyük payı yüzde 27'yle Enercon türbinlerinin oluşturduğu, onu yüzde 25'le Vestas ve yüzde 22'yle Nordex'in izlediği görülmektedir (Sekil 6.3 ve Sekil 6.4).

Şekil 6.3: Türkiye'de Kullanılan Rüzgâr Türbinleri Toplam Kurulu Güç



Şekil 6.4: Türbin Markaları



Santrallerde en fazla 2.5 ve 3 MW' lık türbinler tercih edilmekle birlikte, 900 kW' lık türbinlerden oluşan santraller de genel toplam içinde ikinci sırayı oluşturmaktadır. Bir rüzgâr santralinin toplam maliyetinin yüzde 75'ine karşılık gelen en büyük kalemini rüzgâr türbinleri (kanatlar, kuleler, nakliye ve tesis dâhil olmak üzere) oluşturur. Bir rüzgâr türbini 8000 farklı bileşenden oluşur. Rüzgâr türbininin ana bileşenleri ve bunların türbin maliyeti içindeki payları Tablo 6.1 'de gösterilmektedir.

Tablo 6.1: Türbin Ana Bileşenleri ve Bunların Türbin Maliyetleri İçindeki Payları

REpower MM92 (Kanat çapı 45.3 m, Kule yüksekliği: 100m) RT için			
Bileşen	%	Bileşen	
Kule	26.3	Rota (yaw) sistemi	1.25
Rotor kanatları	22.2	Kanat açısı (pitch) kontrol sistemi	2.66
Rotor göbeği (hub)	1.37	Güç konvertörü	5.01
Rotor yatakları	1.22	Trafo	3.59
Ana mil	1.91	Fren sistemi	1.32
Ana gövde	2.80	Kaporta (nacelle) muafazası	1.35
Dişli kutusu	12.91	Kablolar	0.96
Generatör	3.44	vidalar	1.04

www.epdk.org.tr/işletmedeki rüzgâr santralleri (erişim 12 Mayıs 2011)

45.3 m kanat uzunluğu ve 100 m kule yüksekliği olan REpower MM92 türbinine dayanarak çıkarılmıştır.

Dünya pazarına türbin sağlayan bazı türbin üreticileri ve tedarikçileri Tablo 6.2' de verilmektedir. Üreticiler türbinleri oluşturan bileşenleri ya kendileri üretmekte ya da tedarikçiler aracılığıyla sağlamaktadır. Rüzgâr türbin kuleleri genellikle projelerin yer aldığı yerli piyasada imal edilmektedir. Tabloda koyu renk yazılarla belirtilen türbin üreticisi şirket tarafından üretilen veya türbin üreticisinin sahip olduğu tedarikçi firmayı göstermektedir. Türkiye'deki santrallerini oluşturan türbinler Şekil 6.3 ve 6.4'ten de görülebildiği gibi dünya piyasasına hâkim olan türbin markalarıdır ve rüzgâr türbin ve bileşenlerinin büyük bir kısmı (türbin, jeneratör, göbek (hub), dişli kutusu vb.) yurt dışından ithal edilmektedir. Bununla birlikte yerli üretim olarak bazı türbinlerin kuleleri (Enercon, GE, vb.) Çimtaş, Alkeg tarafından bazı türbinlerin kanatları Enercon Aero Kanat Fabrikası (Enercon) ve Alkeg (Fuji Heavy Industries için kanat imalatı) tarafından yabancı firmalarla ortak girişim yapılarak yurt içi piyasada üretilmektedir.

Tablo 6.2: Ana Rüzgâr Türbin Üreticileri ve Tedarikçileri [16]

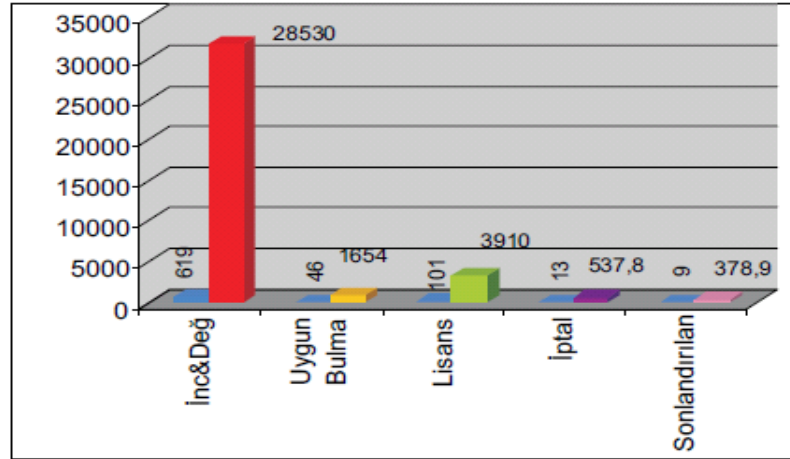
Türbin Üreticisi	Rotor Kanatları	Dişli Kutuları	Generatörler	Kuleler ³	Kontrol Üniteleri
Vestas	Vestas ⁴ , LM	Bosch Rexroth, Hansen, Winergy, Moventas	Weier, Elin, ABB, LeroySomer	Vestas, NEG, DMI	Cotas (Vestas), NEG (Dancontrol)
GE Energy	LM, Tecsis	Winergy, Bosch, Rexroth, Eickoff, GE	Loher, GE	DMI, Omnic al SIAG	GE
Gamesa	Gamesa, LM	Echesa (Gamesa), Winergy, Hansen	Indar (Gamesa) Cantarey	Gamesa	Ingelectric (Gamesa)
Enercon	Enercon	Doğrudan sürücülü	Enercon	KWG, SAM	Enercon
Siemens Wind	Siemens, LM	Winenergy	ABB	Roug, SAM	Siemens, KK Electronic
Suzlon	Suzlon	Hansen, Winenergy	Suzlon, Siemens	Suzlon	Suzlon, Mita Teknik
REpower	LM	Winenergy, Renk Eickhoff	N/A	N/A	Mita Teknik, Re Guard
Nordex	Nordex	Winenergy, Eickhoff, Maag	Loher	Nordex, Omnic al	Nordex, Mita Teknik

(Kaynak: *Supply Chain: To race to meet demand, Wind Directions-January/February 2007*) Zerrin TAÇ ALTUNTAŞOĞLU, *Yerli Rüzgâr Enerji Teknoloji Üretimi Destek Politikaları ve Türk Mevzuatı, TMMOB Türkiye 6. Enerji Sempozyumu-Küresel Enerji Politikaları ve Türkiye Gerçeği, s.9, Ekim 2007*

Ancak türbin bileşenlerinin yerli üretiminde kurulu güç gelişimine paralel bir gelişme sağlanamamıştır. Bunun temel nedeni 2010 yılı sonuna kadar uygulanmakta olan YEK-e destekleme sisteminde (5346 sayılı Kanun) esas olarak rüzgâr gücü üretiminin artırılmasının desteklenmesine yönelik politikalar bulunması, yerli rüzgâr endüstrisi gelişmelerine odaklanmış politikaların yer almamasıdır. Örneğin türbin kanat üretiminde kanat malzemesinin hammaddesi olan amazonlarda yetişen bir ağaç türü ile imalatı yapılmaktadır. Eski yasaya göre her bileşeni Türkiye’de üretmek koşulu ile teşvikten yararlanma maddesi vardı. Bu ağaç türünün Türkiye’de yetiştirilmesi ihtimali olmadığı için kanat üretimi ve diğer benzeri parçaların üretiminin önünü kapatmıştır. Ancak 2011 yılı başında 6094 sayılı Kanun’la yek-e destekleme sisteminde yapılan değişiklik yerli üretimin desteklenmesine ilişkin ek alım garantisi yerli üretim olanakları yaratılabilmesi açısından umut vadetmektedir. Bunun sonucunda piyasada farklı türbinlerin yerli üretimi konusunda yürütülen bazı çalışmalar ile ülke çapında bazı üniversiteler, araştırma kurumları ve özel sektör firmalarının oluşturduğu bir AR-GE uygulama projesi olan Milli Rüzgâr Enerji Sistemleri Geliştirilmesi ve Prototip Türbin Üretimi (MİLRES) konusunda çalışmalar başlamıştır. Rüzgâr enerjisi konusunda bunlardan başka rüzgâr ölçümü ve

değerlendirilmesi, proje geliştirilmesi, danışmanlık, montaj, nakliye, inşaat, işletme ve bakım konuları bazı yerli veya ortak girişim şirketleri tarafından yapılmaya başlanmıştır. Ayrıca rüzgâr santrallerinin kredilendirilmesi konusunda yerli ve yabancı bankalar (Yapı ve Kredi Bankası, Garanti Bankası, Akbank, Türkiye Sınai Kalkınma Bankası (Dünya Bankası (IBRD) ve Fransız Gelişim Ajansı (AFD) ile birlikte) vb.) artan sayıda rüzgâr projesi için kredi sağlamaktadır. EPDK tarafından bugüne kadar toplam gücü 1654 MW olan 46 rüzgâr projesi uygun bulunmuş, 3910 MW' ı aşan güçte 101 rüzgâr enerji santral projesine lisans verilmiştir. Lisans alınmasına rağmen işletmede olan rüzgâr santrallerinin toplam gücü lisans verilen projelerin yüzde 36'sına ulaşabilmektedir. (Şekil 6.5). Bunun temel nedenleri lisans almadan inşaatla başlamaya kadar olan süreçte bürokratik işlemlerin uzunluğu ve kurumlar arasındaki koordinasyon eksikliği, projelerde yeterli güvenilir rüzgâr verilerinin bulunmaması, yaşanan ekonomik kriz, kredi temininde yaşanan sıkıntılar vb.dir. Halen toplam kurulu gücü 28530 MW olan 619 projenin EPDK ve diğer ilgili kurumlar tarafından inceleme ve değerlendirmesi sürmektedir. İnceleme ve değerlendirmesi süren başvuruların büyük bir bölümünü 1 Kasım 2007 yılında bir günlük lisans alma süresinde alınan rüzgâr projeleri oluşturmaktadır. Aradan geçen üç yıldan fazla sürede yapılan çeşitli mevzuat düzenleme ve değerlendirme çalışmaları sonucunda 2011 yılı ilk aylarında bu başvurulardan toplam 634 MW gücünde 18 rüzgâr projesine EPDK tarafından lisans verilmesine karar verilmiştir.

Şekil 6.5: EPDK Rüzgâr Projelerinin Durumu



Kaynak: www.epdk.org.tr/, işletmedeki rüzgâr santralleri (erişim 12 Mayıs 2011)

Türkiye'de rüzgâr kaynağı açısından cazip olan yerler genellikle bölgesel tüketimin düşük olduğu kıyı bölgelerinde yer almaktadır. Bu alanlar hat kapasiteleri sınırlı olan şebekenin

uç noktalardır. Bu noktalara güçlü bir rüzgâr santrali kurulması halinde üretilecek enerjinin, sistemin güçlü noktalarına taşınması için ya yeni hatların tesisiyle güçlendirilmesi ya da bağlantının doğrudan uzun hatlarla güçlü noktalara yapılması gerekmektedir. Bu nedenle rüzgâr şebekeye bağlantı konusu rüzgâr santrallerinin ilk kurulma yıllarından başlayarak önemli bir tartışma konusunu oluşturmaktadır 24 Eylül 2008 tarihli Resmi Gazete’ de yayınlanan Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenirliği Yönetmeliği’nin 7. maddesine göre bir bağlantı noktasında, sistemin kısa devre gücünün en fazla yüzde 5’i kadar kurulu güçte rüzgâr enerjisine dayalı üretim tesisi bağlantısına izin verilmektedir. Bunun yanı sıra mevzuatta yapılan değişikliklerle aynı bölge ve/veya aynı trafo merkezi için yapılan birden fazla başvuru bulunması halinde sisteme bağlanacak olanın belirlenmesi için Türkiye Elektrik İletim A.Ş (TEİAŞ) “Rüzgâr Enerjisine Dayalı Üretim Tesisi Kurmak Üzere Yapılan Lisans Başvurularına İlişkin Yarışma Yönetmeliği ”ne göre yarışma yapılması gerekmektedir. Yönetmeliğe göre yarışmayı işletmeye girdikten sonra yönetmelikle belirlenecek süre boyunca üretilecek kWh başına ödenecek en yüksek katkı payı teklif eden şirket kazanır ve katkı payı, üretim tesisinin ilk ünitesinin geçici kabulünün yapıldığı tarihten başlamak üzere ve tüm tesisin geçici kabulünün yapıldığı tarihten itibaren 20 yıl süreyle gerçekleşen üretim üzerinden ödenir. Teklif edilen fiyat yıllık TÜFE oranında güncellenir.

1 Kasım 2007 tarihinde bir günlük başvuru süresince alınan başvuruların büyük bir bölümünün toplam kurulu güçleri, bağlanması öngörülen TM'lerin izin verilebilir kapasitelerinin üzerindedir. Bu nedenle elektrik sistemi kapasitesinin gelişmesi ve tanımlanan kriterler göz önüne alınarak trafo merkezlerinin TM gerilim seviyelerine göre bağlanabilir rüzgâr santral kapasiteleri Şubat 2010 tarihinde TEİAŞ tarafından yayınlanmıştır. Buna göre 142 adet TM'nin YG/OG baralarına bağlanabilecek RES kapasitesi toplam 8449 MW (7529 MW YG/920 MW OG)'tır. Halen EPDK incelemesinde olan toplam 28530 MW'lık rüzgâr projesi bu TM'lere bağlanacaktır. Bu kapsamda yer alan ve kurul tarafından uygun görülen Rüzgâr enerji santrali (RES) başvurularından 1378 MW'ı ise tekli başvuru olup, bağlanması uygun bulunan TM'lere doğrudan bağlanacaktır. Geri kalan projelerin bağlantı hakkı kazanabilmesi TM ve gerilim seviyesi bazında yapılacak yarışma sonuçlarına göre belirlenecektir. EPDK tarafından uygun görülen rüzgâr projelerinden yarışma kapsamında olanlar için TEİAŞ tarafından ilki 15 Şubat 2011'de

olmak üzere sekiz yarışma duyurusu yapılmıştır. Bu yarışmalar ve yarışmayı kazanan projelerin tekliflerinin alt ve üst sınırları Tablo 6.3'te verilmektedir.

Tablo 6.3: TEİAŞ Rüzgâr projeleri yarışmaları

Paket ve Yarışma Tarihi	TM Sayısı/ Bağlanabilir RES Gücü	Yarışan Proje Sayısı adet	Yarışmaya Katılan Toplam Güç-MW	Çakışma Kesişme Durumu	Kazanan Teklifler krş/kWh	İhale kazanan Proje Sayısı/ Toplam Kapasite
1. Paket/ 15 Şubat 2011	12 TM/686 MW	27	1152	Yok	0,01-2,76	17 Prj/636 MW 1 TM'nin ihalesi yapılamadı
2. Paket/ 29 Mart 2011	5 TM/281 MW	11	556.2	Yok	0,02-1,11	6 Prj/281 MW
3. Paket/ 30 Mart 2011	8 TM/504 MW	26	719	Kesişme var	0,03-2,82	8 Prj/504 MW
4. Paket/ 14 Nisan 2011	3 TM/395 MW	31	1787.8	Kesişme var	0.01-3.43	8 Prj/395 MW
5. Paket / 12 Mayıs 2011	9 TM/582 MW	36	1670	Kesişme- çakışma var	0.03-5.1	9 Prj/520 MW 1 TM'nin ihalesi ertelendi
6. Paket/ 6 Haziran 2011	9 TM/302 MW	38	822.05	Kesişme var		
7. Paket/ 28 Haziran 2011	6 TM/432 MW			Kesişme- çakışma var		
8. Paket/ 29 Haziran 2011	6 TM/635 MW	54	4220.6	Kesişme var		

Kaynak: Enerji Piyasası Düzenleme Kurulunun 24/2/2011, 3/3/2011, 10/3/2011, 16/3/2011, 24/3/2011 ve 31/3/2011 tarihli kararları

Gerçekleştirilen beş yarışma paketi arasında en yüksek teklif Karabiga TM'nin 60 MW'lık RES bağlanabilir kapasitesi için 5.1 krş/kWh olarak verilmiştir. Yarışmalarda bazı TM'lerde verilen teklifler birbirine yakınken, TM kapasitesinin oldukça düşük ve az sayıda firmanın başvurduğu TM'lerde kapasiteyi almak için verilen tekliflerin oldukça yüksek olduğu (9 MW bağlantı kapasiteli Taşucu TM için kazanan teklif 2.76 krş/kWh, diğeri 1.31 krş/kWh), çok sayıda başvurunun olduğu ve izin verilebilir bağlantı kapasitesi de nispeten fazla sayılabilecek olan bazı TM'lerde ise aynı TM'de yarışmayı kazanan firmaların teklifleri arasında da büyük farklar olabilmektedir (Milas TM'nin 90 MW'lık RES bağlanabilir kapasitesini kazanan üç teklif; 1.29 krş/kWh (50 MW), 1.15 krş/kWh (30 MW), 0.5 krş/kWh (10 MW) örnek olarak gösterilebilir.

6.2 YASAL MEVZUAT ve RÜZGÂR ENERJİSİNDEN ÜRETİLEN ELEKTRİĞE SAĞLANAN DESTEKLER

Enerjide ithalat bağımlılığının azaltılması ve arz güvenliğinin sağlanması amacıyla YEK kullanımının artırılması Türkiye enerji politikasının önemli bir unsuru olarak belirtilmektedir. Türkiye'de rüzgâr enerjisi başta olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimi;

- a) 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu
- b) 5346 sayılı “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun” (YEK Kanunu) ve adı geçen kanunlarla ilgili ikincil mevzuat kapsamında teşvik edilmektedir.[21]

Bu kanunlarda 5627 (Enerji Verimliliği Kanunu), 5784 (4628 ve Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun) ve en son olarak 6094 (Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun) sayılı kanunlar ve ilgili yönetmeliklerle zaman içerisinde bazı değişiklikler yapılmıştır. Bu kanunlar ve ikincil mevzuatları kapsamında YEK ‘ten elektrik üretimine sağlanan destekler ana hatlarıyla aşağıda özetlenmektedir.

- a) 4628 sayılı Kanun ve ilgili yönetmeliklerle sağlanan destekler:
 - i. Lisans başvurusunda lisans bedelinin yüzde 1’inin ödenmesi (yüzde 99 muafiyet)
 - ii. Yıllık lisans bedelinde ilk 8 yıl muafiyet,
 - iii. Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı, kurulu gücü azami beş yüz kilovatlık üretim tesisiyle mikro kojenerasyon tesisi kuran gerçek ve tüzel kişilere, lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muafiyet.
 - iv. YEK tesislerinden lisanssız üretim yapan gerçek ve tüzel kişilerin dağıtım sistemine verdiği ihtiyaç fazlası elektrik enerjisine 10 yıl süreyle 1 sayılı cetveldeki fiyatlardan satış olanağı.
 - v. Sisteme bağlantı yapılmasında öncelik
 - vi. Yük alma ve yük atma ve dengeleme birimi olma yükümlülüğü muafiyeti
 - vii. YEK-e üreticilerine lisanslarında öngörülen ortalama yıllık üretim miktarlarını geçmemek kaydıyla özel sektör toptan satış şirketlerinden enerji alabilme olanağı.

b) Kanunu'nda son yapılan değişikliklerle sağlanan destekler:

- i. - Kanun'da belirtilen teşvikli fiyatlardan yararlanabilmek YEK belgesine sahip olma ve YEK Destekleme Mekanizmasına dâhil olmak gerekmektedir.
- ii. 31 Aralık 2015 tarihine kadar işletmeye girecek YEK belgesine sahip üretim lisansı sahibi tüzel kişinin yenilenebilir enerji kaynaklarından ürettiği elektrik enerjisi için sabit fiyat sistemi (1 ve 2 sayılı cetveller) getirilmiştir.
- iii. YEK-e üretimine uygulanacak fiyatlar ABD doları türünden belirlenmiş olup, farklı yenilenebilir enerji kaynak türleri için farklılık göstermektedir. Bununla birlikte kullanılacak teknolojiler arasında fiyat farklılaşması (rüzgâr -kara, rüzgâr –kıyı, güneş-pv, güneş- odaklayıcı sistem vb.) ile ölçek ekonomisine yönelik farklılaşma yoktur.
- iv. YEK-e üreticilerine ödenecek sisteme verilen elektrik miktarıyla YEK listesindeki fiyatların çarpılmasıyla hesaplanacak ve o tarihteki Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası döviz alış kuru üzerinden TL olarak ödenecektir
- v. 31 Aralık 2015 tarihinden önce işletmeye giren YEK tesislerinde kullanılan mekanik ve/veya elektro-mekanik aksamın yerli üretilen bölümüne 5 yıl süreyle ilave fiyat uygulanacaktır (2 sayılı cetvel).
- vi. Destekleme sisteminden yararlanabilmek için her yıl 31 Ekim tarihine kadar başvurmak gerekmektedir ve başvuruda bulunulan yıl içerisinde destekleme sistemi dışına çıkılmasına izin verilmemektedir.
- vii. YEK kaynaklarından üretilen elektriğin tüketimini sağlamak için tüketicilere elektrik satışı yapan tedarikçilere alım zorunluluğu getirilmiştir. Alım zorunluluğu oranı her bir tedarikçinin bir önceki yıl sattığı elektrik enerjisi miktarının tedarikçilerin toplamının ülkede sattığına bölünmesiyle belirlenecektir. PMUM her bir fatura dönemi için YEK toplam bedelini ve her bir tedarikçinin ödeme yükümlülüğü oranını belirleyecektir. YEK-e üreticilerinin serbest piyasada satış olanağı vardır, ancak hesaplamalara dâhil edilmeyecektir.
- viii. Kanun'un yayım tarihi itibarıyla işletmede olanlar dâhil 31 Aralık 2015 tarihine kadar işletmeye girecek YEK tesislerinden, ulaşım yollarından ve sisteme bağlantı noktasına kadar olan enerji nakil hatlarından yatırım ve

işletme dönemlerinin ilk 10 yılında izin, kira, irtifak hakkı ve kullanma izni bedellerine yüzde 85 indirim uygulanacaktır.

- ix. Milli park, tabiat parkı, tabiat anıtı ile tabiatı koruma alanlarında, muhafaza ormanlarında, yaban hayatı geliştirme sahalarında, özel çevre koruma bölgelerinde ilgili bakanlığın, doğal sit alanlarında ise ilgili koruma bölge kurulunun olumlu görüşü alınmak kaydıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretim tesislerinin kurulmasına izin verilecektir.
- x. Kanun'un YEK Destekleme Mekanizması (Madde 6) ile Muafiyetli Üretim (Madde 6A) hükümlerine aykırı hareket edenlere 4628 sayılı Kanun 11. madde hükümleri uygulanacaktır.
- xi. Kanun kapsamındaki tesislere 4706 sayılı Hazineye Ait Taşınmaz Malların Değerlendirilmesi ve Katma Değer Vergisi Kanununda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun'un ek 2. Maddesi uygulanmayacaktır.

Buna göre bir rüzgâr santralinden elektrik üretilmesi (RES-e) halinde uygulanacak fiyat (6094 sayılı Kanun 1 ve 2 sayılı cetveller):

Tablo 6.4: RES'lerin yurt içinde üretimine 5 yıl süreyle ödenecek yerli katkı ilavesi

31.12.2015 tarihine kadar işletmeye giren RES üretilen enerjiye uygulanacak fiyat (1 sayılı Cetvel)	
RES-e	: 7.3 ABD \$ cents/kWh
31.12.2015 tarihine kadar işletmeye giren RES'lerin yurt içinde gerçekleşen imalatına 5 yıl süreyle ödenecek yerli katkı ilavesi (2 sayılı Cetvel)	
Kanat	: 0.8 ABD \$ cents/kWh
Jeneratör ve Güç Elektroniği	: 1.0 ABD \$ cents /kWh
Türbin Kulesi	: 0.6 ABD \$ cents /kWh
Rotor ve nasele'deki gruplarındaki mekanik aksamın tamamı: 1.3 ABD \$ cents /kWh	

6.3 RÜZGÂR ENERJİSİ YATIRIMLARININ FİNANSMANI

Dünyada ve buna paralel olarak ülkemizde son yıllarda artan çevre bilinci yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır. Özellikle rüzgâr enerjisi çok ilgi çekmektedir. Ülkemizde projelerin en zorlu aşamasını finansman aşaması oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı santraller için resmi kurumlara yapılan başvurular neticesinde ülkemizde şu anda birçok yatırımcı şirket finansman aşamasına gelmiş bulunmaktadır.

Yatırımcılar, projelerine hem yurtiçinden hem de yurt dışından finansman bulmaya çalışmaktadır.

Rüzgâr enerjisi yatırımı finansman yöntemlerini iki ana başlık altında toplamak mümkündür. Bunlar öz kaynak finansmanı ve borç finansmanıdır.[17]

6.3.1 Öz kaynak Finansmanı

Öz kaynak, bir işletmenin sahibi ya da ortakları tarafından sağlanan fondur. Riski yüksektir ve iflas veya faaliyetlere son verilmesi durumunda kaynaklar arasında ödeme sırasına göre en sonda bulunan kaynaktır. Dolayısıyla bir firmaya, bir projeye öz kaynak sağlayanlar yüksek kar beklentisi içindedirler. Ortaklar projenin operasyonel riskini sermaye katkıları oranında paylaşırlar. Yatırımlar henüz proje aşamasındayken ve borçlanma imkânının sınırlı olduğu dönemlerde öz kaynak finansmanı yeterli olabilmektedir. Ancak projenin ilerleyen aşamalarında, daha büyük tutarlı kaynak gereksinimi olduğu dönemlerde öz kaynak yöntemi yetersiz kalmaktadır ve borçlanma gereksinimi duyulmaktadır. Öz kaynak finansmanı aşağıdaki kişi ve kurumlardan sağlanabilir:

- a) Proje sahiplerinden
- b) Projeye yakından ilgilenen ekipman satıcıları ve kuruluş yeri sahiplerinden
- c) Bölgesel işletmeler ve gerçek kişilerden
- d) Bazı ülkelerde devlet fonlarından Proje sahipleri proje maliyetinin belli bir kısmını öz kaynak olarak koyarlar. Ekipman satıcıları ve kuruluş yeri sahipleri proje karlılığına inanırlarsa öz kaynak sağlayabilirler. Projenin gerçekleştirileceği bölgedeki işletmeler ve diğer gerçek kişiler ile bazı ülkelerde devlet projeye öz kaynak sağlayabilir.[18]

6.3.2 Borç Finansmanı

Rüzgâr enerjisi santrallerinin öz kaynakla finanse edilemeyen aşamalarında başvuru yöntemidir. Proje Kredileri ve Sendikasyon Kredileri olarak ikiye ayrılabilir.[18]

6.3.3 Proje Kredisi ve Proje Kredisi Veren Bazı Kuruluşlar

Proje kredisi, finansmanı sağlayan kuruluşun, kredi geri ödemelerini proje gelirleriyle ve nakit akışıyla sağlayabileceğine inanması ile mümkündür. Yatırımcının herhangi bir öz varlığını ipotek veya garanti olarak vermesi gerekmemektedir. Burada teminat projenin

kendisidir.[18] Herhangi bir projenin finanse edilebilmesi için altı temel kural bulunmaktadır:

- i. Proje bağımsız olarak borcunu ödeyip yatırımcıya makul bir temettü sağlıyorsa,
- ii. Proje teknik olarak uygulanabilir ise, proje maliyetlerini karşılamaktadır. Enerji projelerinde sıkça kullanılan proje kredisi yöntemi, diğer finansman yöntemlerinden daha avantajlıdır. Bu avantajlar aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir;
- iii. Teminatın kendisi projedir, yatırımcıdan ek taahhütler gerekmez,
- iv. Öz kaynak / kredi oranı daha büyüktür,
- v. Ülke ve politik risklerin azaltılması amacı ile yatırımcılar yabancı ortaklarla işbirliğine girerek (joint-venture) finansman bulabilirler,
- vi. Yatırımcının kendisinin kredi bulamadığı bir ortamda proje için kredi bulunabilir. Yatırımcı, yüzde 20–30 civarında öz kaynak koymakta, dolayısıyla geriye kalan yüzde 70 80 finansör kuruluştan gelmektedir. Proje gerçekleştirilmeden önce fon kurularak, para fonda toplanmaktadır ve proje gerçekleştirildikten sonra da, oluşan proje gelirlerinden öz kaynak ve kredi geri ödemeleri yapılmaktadır.

Proje finansmanında dört ana risk bulunmaktadır:

- a) Proje Realizasyon Öncesi Risk: Burada projeyi finanse eden kuruluş, projenin uygulanabilir olup olmadığına bakmaktadır. Bu amaçla bağımsız müşavir kuruluşlardan yararlanılır. Projenin teknik açıdan öngörülen hedeflere ulaşım ulaşmayacağına kontrol edilmesi amacı ile genel bir durum değerlendirmesi yapılır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı santral projelerinde, buna en iyi örnek tahmini yıllık üretimin tutup tutmayacağı, rüzgâr enerjisi projelerinde ise, seçilen rüzgâr türbininin uygun olup olmadığı sayılabilir.
- b) Proje Realizasyon Sonrası Risk: Bu safhada finansman kuruluşu, projede işlerin yolunda gittiğini görmek için kontroller yaptırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı santraller içindeki ekipmanların bakım ve onarımının zamanında yapılıp yapılmadığı, hammadde gereksiniminde herhangi bir sorun yaşanmadığını kontrol edilmektedir.[18]
- c) Finansal Risk: Aslında proje riski dendiği zaman akla ilk gelen risktir. Projenin mali analiz ve nakit akış tablolarına bakılarak proje ile ilgili karar verilebilir. Proje kredi ve faizini ödedikten sonra kabul edilebilir bir kar bırakmıyor ise, finansör için tatmin edici

bulunmaz. Finansal risklerin içerisinde öngörülmeleyen maliyetler, döviz kur riski, faiz oranı değişimleri ve ülkenin enflasyon durumu da bulunmaktadır.

d) Politik Risk: Finansörler tarafından dikkate alınan diğer bir önemli risk unsurudur. Ülkenin politik bakımdan istikrarlı bir yapıda olması beklenmektedir.

Aşağıda proje kredisi veren bazı kuruluşlar ve sağladıkları krediler hakkında özet bilgiler sunulmuştur.

a) Avrupa Yatırım Bankası Kredileri

Avrupa Yatırım Bankası 1958 yılında Roma Antlaşması hükümlerine göre kurulmuştur. Merkezi Lüksemburg'da bulunmaktadır. Avrupa Yatırım Bankası, Avrupa Birliği'nin finansman kuruluşu olup, kamu ve özel sektör kuruluşlarına uzun vadeli finansman sağlamak suretiyle Birliğin politik hedeflerinin hayata geçirilmesine yardımcı olmaktadır. Avrupa Yatırım Bankası, kâr amacı gütmeyen bir kurum olup, özellikle kalıcı projelerin finansmanını sağlamaktadır. Banka, Avrupa Birliği'ne üye devletlere ait olup, kurulduğu 1958 yılından bu yana Birliğe üye ve ortak ülkelerdeki projelerin desteklenmesi için 540 Milyar Euro'dan fazla finansman sağlamıştır. Avrupa Yatırım Bankası 1960 yılından itibaren Türkiye'de faaliyetlerini sürdürmektedir. 1990'lı yıllardan önce hatta 2000'li yıllara kadar istenilen destekler sağlanamamıştır. Ama başvurular son yıllarda büyük bir artış göstermiştir. Avrupa Yatırım Bankası, proje maliyetlerini yüzde 50 seviyesine kadar finanse etmektedir. Avrupa Yatırım Bankası kredileri, yatırımcının kendi fonlarına ve başka kaynaklardan elde edeceği finansmana ilaveten destek sağlamayı amaçlamaktadır. Avrupa Yatırım Bankası, yatırımı ya münferit krediler ya da küresel krediler üzerinden finanse etmektedir. Büyük ölçekli projeler, AYB tarafından kendi koşullarına ve şartlarına dayalı olarak ya doğrudan yatırımcı ile ya da finansman faaliyetine katılan başka bankalar ve finans kurumları ile gerçekleştirilen münferit krediler üzerinden finanse edilmektedir. Avrupa Yatırım Bankası, projenin ekonomik, mali ve teknik uygunluğunu tespit etmek için her projeyi ve tabii ki proje geliştiricisinin mali durumunu ve sağlanan güvencenin yeterli olup olmadığını değerlendirmektedir.[18]

Avrupa Yatırım Bankasının mevcut finansman türleri aşağıdaki gibidir;

1.Münferit Krediler

Tipik olarak 25 milyon Euro'dan daha fazla yatırım tutarı olan projeler için kullanılmaktadır. Bütün altyapı yatırım türleri, enerji üretimi ve iletim, çevre koruma projeleri, sanayi ve hizmet şirketleri tarafından yapılan yatırımlar için kullanılmaktadır.

Yerel yönetimler, özel amaçlı guruplar ve benzer kamu ve özel sektör şirketleri kredilerden faydalanabilmektedir. Finansman limiti yeni projelerin toplam maliyetinin maksimum yüzde 50'sine kadardır. Vadeler sanayi projeleri için normal olarak 5 ile 12 yıl arası, altyapı ve enerji projeleri için 15 ile 25 yıl arası, çok büyük projeler için daha uzun vadelerdir. Güvence olarak ise projenin niteliğine ve kredi alanın kalitesine dayalı olarak uygun bir güvence yapısı istenmektedir.

2.Küresel Krediler

25 milyon Euro'dan daha az yatırım tutarı olan projeler için verilen kredi türleridirler. Küresel krediler bölgede faaliyet gösteren bir Avrupa Yatırım Bankası ortağı (veya aracı kurum) ile ayarlanır. Aracı bankalar, Avrupa Yatırım Bankası fonlarını borç alan taraflara kendi riskleri çerçevesinde borç verirler, her proje tek tek incelenip değerlendirilir. Yatırım türleri altyapı projeleri, su tedarik ve sıhhi tesisat projeleri, çevre koruma projeleri, enerjinin rasyonel kullanımı, özellikle küçük ve orta ölçekli şirketlerin ve hizmet şirketlerinin kurumsal yatırımları, ileri teknoloji yatırımları, AR-GE projeleridir. Faydalananlar yerel yönetimler ve diğer kamu kuruluşları veya özel amaçlı guruplar, küçük ve orta ölçekli girişimler olabilmektedir. Finansman limiti yeni projelerin toplam maliyetinin yüzde 50 tutarına kadardır. [19]

b) Dünya Bankası Yenilenebilir Enerji Projesi Elektrik Piyasası Kanununun sonucunda rekabetçi bir toptan satış piyasasına doğru gidilmesi ve Hazine garantilerinin bitmesiyle birlikte, özel sektör için enerji kaynağı projelerine yönelik finansman bulmak giderek daha da güçleşmiştir. Ayrıca özel sektörde temiz enerji projeleri üretenlerin, genellikle küçük yatırımcılar, Türk ve uluslararası sermaye piyasalarına erişimleri zor olan yatırımcılar olmaları nedeniyle, krediye erişimleri daha da zorlaşmıştır. Birçok yenilenebilir enerji projesinin yaşam döngüsü açısından ekonomik olması, Türkiye'nin çok geniş ve yenilenebilir hidroelektrik, jeotermal ve rüzgâr enerjisi santrallerine sahip olması, yenilenebilir kaynaklardan sağlanan enerjinin, kirliliği ve evlerde kullanılan yeşil gazın emisyonunu azaltacak olmasına karşın, durum böyledir. Yenilenebilir Enerji kaynaklarına dayanan iyileştirme projelerinin yerel, özel sektör sponsorlarının karşılaştıkları engeller şöyle özetlenebilir:

1) Yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili potansiyel alanlar konusunda teknik açıdan güvenilir bilgi bulunmaması sonucunda, fosil yakıtların kullanımıyla gerçekleştirilen geleneksel enerji üretim projelerine göre daha yüksek yatırım öncesi masraflar; mevcut

verilerin geçerliliğinin tasdik edilmesinin ve ek araştırma yapma giderleri (fizibilite öncesi, ayrıntılı fizibilite mühendislik tasarımı).

2) Bu tür küçük, ancak sermaye yoğun altyapı projelerinde mali tutarlılığa ulaşmak için gereken orta ile uzun vadeli borçlanma finansmanının bulunmaması. Doğalgazla işletilen tesislerle karşılaştırıldığında, sermaye maliyetlerinin, işletme maliyetlerine oranının başlangıçta daha yüksek olması nedeniyle, finansmanın bir kısmı uzun vadeli borç olarak sağlanmadıkça elektrik satış gelirleri ve borç servis yükümlülükleri arasında bir dengesizlik bulunmaktadır.

Yenilenebilir Enerji Projesinin amacı, her türlü yenilenebilir enerji üretim projesinin uzun vadeli borç bulabilmeleri için finanse edilmesi ve dolayısıyla da kirlilik ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasıdır.[20]

Proje aynı zamanda, Avrupa Dünya Bankası ve Orta Asya bölgesinde 3önemli konuya önem vermektedir. Bunlar; ortak çevresel faktörleri de içine alan kilit önem taşıyan küresel kamu ürünlerinin desteklenmesi, canlı özel sektör koşullarının oluşturulması ve hükümetin üstlendiği koşullu yükümlülüklerin azaltılması, devlet yatırımlarının özel sektör fonları ile desteklenmesi suretiyle sağlam bir kamu sektörünün geliştirilmesidir. Projenin tek bir ana bileşeni bulunmaktadır; Yenilenebilir Enerji Üretiminin Finanse Edilmesinde Özel Amaçlı Borç Fonu (SPDF).[20]

Proje kapsamında, yenilenebilir enerji üretimi için toplam yatırım tutarının, özel sponsorların sağlayacağı sermaye finansmanı, ihracat kredisi kurumlarından borç finansmanı, Dünya Bankası Özel Amaçlı Borç Fonu ve ticari bankaların sağlayacağı finansman da dâhil olmak üzere yaklaşık 500 milyon dolar olması beklenmektedir. SPDF iki finansal aracı tarafından işletilen vadeli bir borç fonudur. Bu işlem için seçilen bu iki aracı Kurum:

- a) Türkiye Sınai Kalkınma Bankası (TSKB)
- b) Türkiye Kalkınma Bankası(TKB)'dir.

Dünya Bankası'nın SPDF için ayırdığı fon, borçlu konumundaki Hazine tarafından alınır ve bu iki mali kuruma aktarılır. Bu aracı kurumlar bu fonu, özel sektörde faaliyet gösteren firmaların gerçekleştireceği uygun bulunan yenilenebilir enerji projeleri için uzun vadeli borç sağlamak amacıyla kullanır. SPDF uygun bulunan yenilenebilir enerji projeleri için yerel özel girişimcilerden sermaye yatırımı desteği, ihracat kredisi finansmanı ve bu

projelerin inşaatı için gereken diğer finansman türlerinin sağlanması amacıyla planlanmıştır.

Bu iki finansal kurum finansal güçleri ve projeyi yönetme ve geliştirme kapasiteleri dikkate alınarak seçilmiştir. Ayrıca, kalkınma bankaları olmaları bu kurumlara Hazine'nin kamu fonlarından yararlanma olanağını tanımaktadır. Proje yönetimi TSKB ve TKB tarafından gerçekleştirilmektedir. Her iki bankada da, belirli banka personeli proje yönetimi ve uygulaması için görevlendirilir. Ayrıca, mali rapor verme, doküman kontrol, çevre konuları ve özel hesaptan fon sağlanması konularından sorumlu başka personel de bulunmaktadır.[20]

TSKB 'de kredinin pazarlanması, Kurumsal Pazarlama Bölümü tarafından ve proje geliştirme ise, Teknik Hizmetler Bölümü tarafından yürütülmektedir. TKB'de kredi pazarlama Kredi Bölümü tarafından ve proje geliştirme ise Proje Geliştirme Departmanı tarafından yürütülmektedir. Her iki bankada da, pazarlama ve proje geliştirme çalışmaları birbirlerinden bağımsız olarak çalışan departmanlar tarafından yürütülür. Bankalara sunulan her bir proje önerisi, mühendisler, finansal analizciler ve proje ekonomisinden oluşan bir grup uzman tarafından değerlendirilir. Bu uzmanlar daha sonra bir proje değerlendirme raporu hazırlar. TSKB' de bu proje raporları bir üst düzey yönetici ve başkan yardımcısından oluşan bir kredi komitesine sunulur. TKB' de ise proje değerlendirme raporları kredi ve proje geliştirme direktörleri ve bankanın genel müdür yardımcılarında oluşan kredi komitesine sunulur. Kredi komitesinin onayından sonra, bu raporlar onay için her bankanın yönetim kuruluna sunulur. Yönetim kurulunun onayından ve kredi anlaşmasının imzalanmasından sonra, alt krediler dağıtımına hazır hale gelir. Her iki bankanın ilk iki projesi, ön inceleme için Dünya Bankası'na gönderilir. Dünya Bankası Projesi Türk Hükümeti'ne, yenilenebilir enerji projelerinin geliştirilmesi için kapsamlı bir çerçeve oluşturulmasında, Türkiye'nin finansman kaynağı, imtiyazlı ve ikili fon kaynakları bulmasına olanak tanıyacak güvenilir bir mali aracılık mekanizmasının kurulmasında yardımcı olmaktadır. Proje aynı zamanda, Türkiye'nin mevcut enerji santrallerine, önemli miktarlarda temiz üretim kapasitesini eklemesini sağlayacaktır.[20]

Dünya Bankası projesinin uygulaması 30 Temmuz 2004 tarihinde başlamıştır. Şimdiye kadar, üçü TKB ve dördü TSKB tarafından olmak üzere yedi alt proje tamamlanmıştır. Bu projelerden dört tanesi küçük hidroelektrik, ikisi jeotermal ve bir tanesi de rüzgâr santrali

projesidir. Çeşitli daha büyük hidroelektrik santralleri de dâhil olmak üzere yaklaşık 9 civarında alt proje daha faal bir şekilde hazırlanmaktadır.[20]

6.3.4 Sendikasyon Kredisi

Riskin bölüşülebilmesi için yüksek yatırım tutarı gerektiren altyapı projelerinin finanse edilebilmesi için geliştirilmiş bir finansman modelidir. Genellikle 3 ana katılımcı taraf bulunur: Ödünç alan (borrower), ana banka (lead manager)ve küçük katılımcılar (participants). Süreleri genellikle 15 yıl olup LIBOR + ...(London Interbank Offered Rate) veya US Prime Rate + ...şeklinde faizlendirilerek kullanılan bir kredi şeklidir. Genellikle beş tip sendikasyon kredisi kullanılmaktadır. Bunlar; geleneksel sendikasyon kredisi, sendikasyon banka kredisi, dönen krediler, standby kredisi ve çok seçenekli kredidir.[18]

a) Geleneksel Sendikasyon Kredisi (Değişken Faizli)

Kredi bir defada çekilir ve belirlenen sürede geri ödemesi yapılır. Genellikle ödemenin yapılmayacağı belli bir süre belirlenir. Tek bir banka tarafından müzakereleri yapılarak sonuçlandırılır ve diğer bankalarla sendikasyona gidilir. Faiz değişkendir.

b) Sendikasyon Banka Kredisi(Sabit Faizli)

Geleneksel sendikasyonun aynısı olup sadece faiz sabittir.

c) Dönen Krediler

Bu türde para belirlenen program dâhilinde belli aralıklarla çekilir.

d) Standby Kredisi

Geleneksel sendikasyon kredileri genellikle belirlenen programa göre verilmekte iken standby kredilerinde alıcı istediği zaman krediyi belli miktarlarda çekebilmektedir.

e) Çok Seçenekli Kredi

Orta vadeli bir kredi türü olup esnek yapıdadır ve kredi maliyetleri ucuzdur. Sendikasyon kredilerinin prosedüründe belli adımlar vardır ve onlar takip edilmelidir. Her adım kredi veren kuruluşu tatmin edecek şekilde olmalıdır. Kredi sağlayan kuruluş müşteri ve ana banka arasında sendikasyona girecek banka sayısı ve oranları ile kredi koşulları ve ne zaman hangi program dâhilinde kullanılacağı konularında tam mutabakat olmalıdır.[18]

6.4 RÜZGÂR ENERJİSİNDE MALİYET ANALİZLERİ

6.4.1 Rüzgâr Enerjisi Santrallerinin Kurulum Maliyetleri

Rüzgâr enerjisi santrallerinin toplam maliyetlerinin yaklaşık olarak yüzde 75' lik kısmı türbin maliyetinden oluşmaktadır. Rüzgâr enerjisi santrallerinde üretilen elektriğin maliyetine dalgalanan yakıt fiyatlarının hiçbir etkisi yoktur. Fosil kaynaklı yakıtlarla çalışan enerji üretim santrallerinde, örneğin doğalgazla çalışan elektrik üretim santrallerinde üretilen elektriğin maliyetinin yaklaşık yüzde 40–70' i yakıt maliyeti(doğalgaz) ve bakım onarım maliyetlerinden oluşmaktadır.[17]

Tablo 6.5: Rüzgâr Santrallerinde Maliyet Dağılımı[17]

	Yatırım (EURO 1.000/MW)	Toplam Maliyetteki Payı%
Türbin	928	75,6
Şebeke Bağlantısı	109	8,9
Kuruluş	80	6,5
Arazi Kirası	48	3,9
Elektrik Bağlantısı	18	1,5
Danışmanlık	15	1,2
Finansal Maliyetler	15	1,2
Yol Yapımı	11	0,9
Kontrol Sistemleri	4	0,3
TOPLAM	1228	100,0

Kaynak: The European Wind Energy Association, Basic Cost of Wind Energy, <http://www.ewea.org/index.php?id=1639>

Rüzgâr enerjisi santrallerinin kurulum maliyetlerinin büyük bir bölümü türbin maliyetinden oluşmaktadır. Avrupa' da kurulacak tipik bir 2 MW kapasiteli rüzgâr enerjisi santralinin ortalama maliyeti 1,23 milyon €/MW' tır. Ancak bu tutar ülkeden ülkeye farklılıklar arz etmektedir. KWh başına maliyet 1.000 € ile 1.350 € arasında değişmektedir. En düşük maliyetler Danimarka' da karşımıza çıkarken maliyetlerin en yüksek olduğu İngiltere, İspanya, Almanya ve Kanada' da bu tutar Danimarka' ya göre yüzde 20–30 daha yüksektir. Maliyet farklılıkları kurulum ve şebeke bağlantısında da ülkelere göre önemli ölçüde

değişmektedir. Kurulum ve şebeke bağlantısı maliyetleri Portekiz’ de türbin maliyetinin yüzde 32’ sini oluşturmakta iken, Almanya’da yüzde 24, İtalya’ da yüzde21, Danimarka’ da ise yüzde 16’ sını oluşturmaktadır.[17]

6.4.2 Rüzgâr Enerjisi Santrallerinin Operasyon, Bakım ve Onarım Maliyetleri

Operasyon, bakım ve onarım maliyetleri bir rüzgâr türbininin ürettiği elektriğin KWh başına maliyetinin yaklaşık yüzde 20–25’ lik bir kısmını teşkil etmektedir. Türbin üreticileri bu maliyetleri yeni türbinlerde düşürebilmek için çalışmalarını sürdürmektedirler. Bu maliyet kalemleri aşağıdaki gibidir;

- a) Sigorta maliyetleri
- b) Periyodik bakımlar
- c) Tamir
- d) Yedek parça

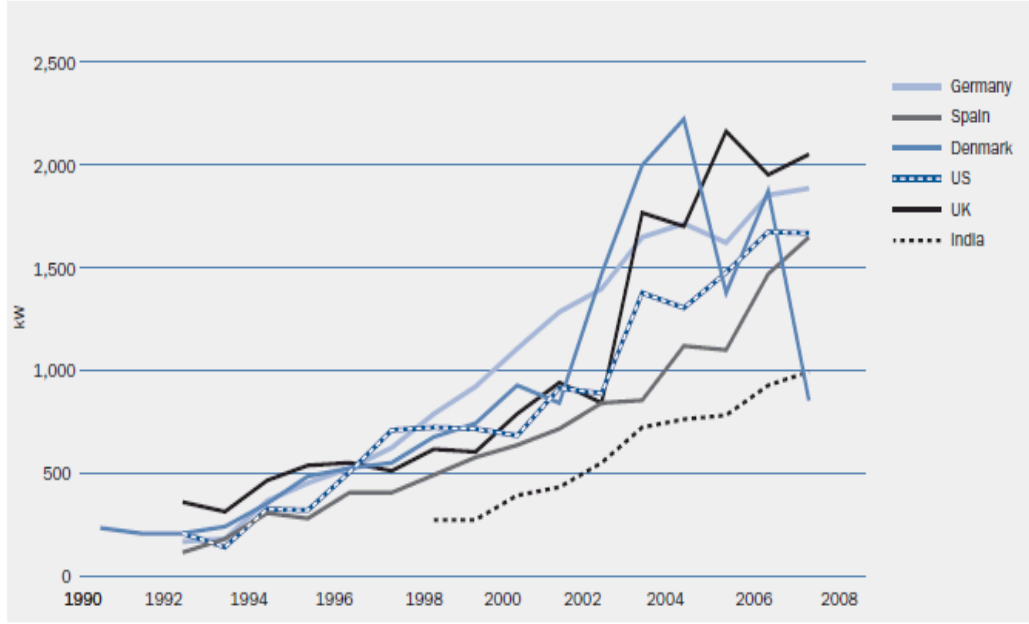
Bu maliyet kalemlerinden sigorta ve periyodik bakım maliyetleri önceden tahmin edilebilir, ancak tamir ve yedek parça maliyetlerinin önceden tahmini çok güçtür. Ayrıca bu maliyetler türbinin yaşı arttıkça artmaktadır. Almanya, İspanya, İngiltere ve Danimarka’daki deneyimlere göre üretilen her kWh elektrik başına bu giderlerin toplamı 1,2–1,5 €c olarak gerçekleşmiştir.[17]

6.4.3 Rüzgâr Enerjisi Santral Maliyetlerini Etkileyen Trendler

Geçtiğimiz 10-15 yıl içerisinde rüzgâr enerjisi santrali maliyetlerini etkileyen 3 önemli trend vardır;

- a) Daha büyük kapasiteli türbinler kullanılmaya başlanmıştır. 1990’ lı yıllarda ortalama türbin kapasitesi 200 kW iken 2007 yılında ortalama türbin kapasitesi 2 MW’ ı bulmuştur. Şuanda ise 3-5 MW arasında değişmektedir.
- b) Daha verimli türbinler üretilmeye başlanmıştır.
- c) KWh başına yatırım maliyetleri önemli ölçüde düşmüştür

Şekil 6.6: Farklı ülkelerde satılan rüzgâr türbinlerinin yıllara göre büyüme eğrileri(kW)[17]

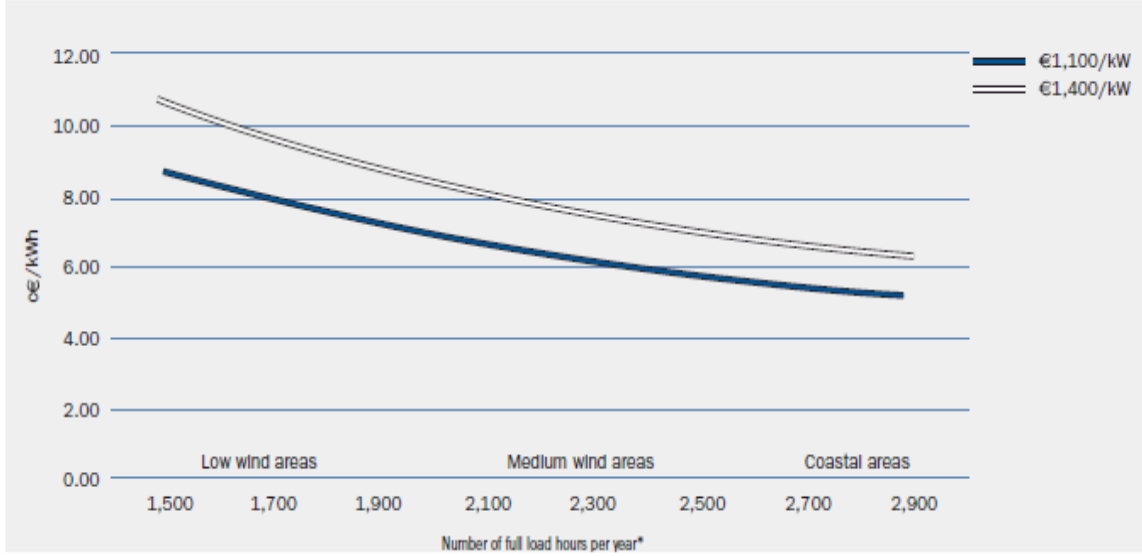


Rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretiminde verimlilik; kuruluş yeri ve türbin yüksekliği gibi etmenlere bağlıdır. Türbinlerin daha büyük seçilmesi ve daha yükseklere kurulmaya başlanması gibi kuruluş yeri seçiminin daha iyi yapılabilmesini sağlayan yöntemlerin gelişmesi de verimliliği artırıcı etki yapmıştır. Ayrıca, Almanya ve Danimarka gibi rüzgâr enerjisinde öncülük etmiş ülkelerdeki eski türbinlerin yenileriyle değiştirilmesi verimlilik ve kapasite artışları yaratmıştır. Geride bıraktığımız 10–15 yıl içerisinde türbin verimlilikleri her yıl ortalama yüzde 2-3 artış göstermiştir.[17]

6.4.4 Rüzgâr Enerjisi ile Üretilen Elektrik Maliyeti

Avrupa’ da rüzgâr enerjisi santrallerinin kuruluş yeri rüzgâr rejimlerine göre ürettikleri elektrik enerjisi maliyetleri (€/KWh) Şekil 6.7’ de görülmektedir.

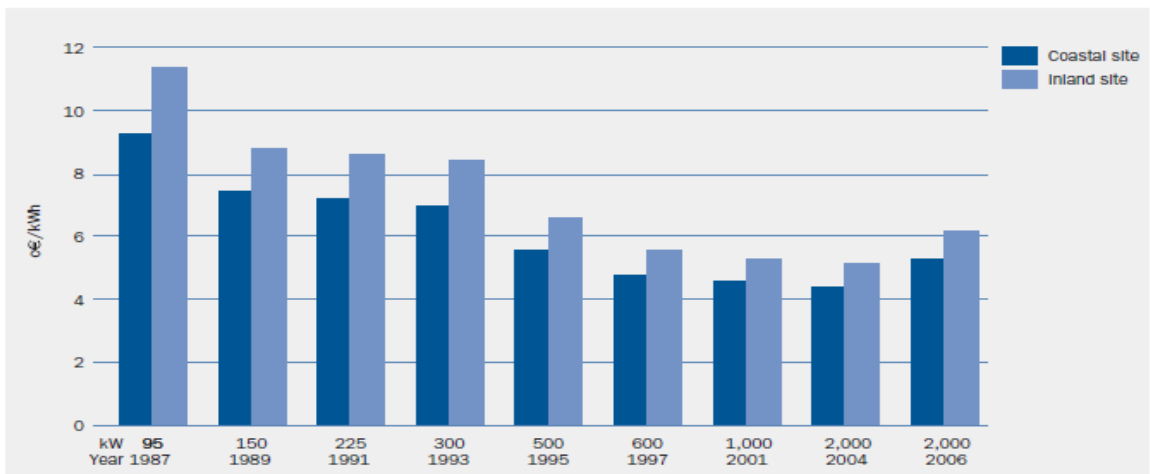
Şekil 6.7: Kuruluş Yeri Rüzgâr Rejiminin Rüzgâr Enerji Santrallerinde Üretilen Elektrik Maliyetine Etkisi[17]



Şekil 6.7 oluşturulurken rüzgâr türbininin tam kapasiteli yıllık çalışma saatinin 2.000' den düşük olduğu bölgeler düşük rüzgârlı bölgeler, 2.000-2.500 arası olduğu bölgeler orta rüzgârlı bölgeler ve 2.500' den yüksek olduğu bölgeler kıyı bölgeleri olarak adlandırılmıştır. Maliyetler düşük ve orta rüzgârlı bölgelerde 7–10 €/KWh arasında olup yüksek rüzgâr rejimine sahip kıyı bölgelerinde 5–6,5 €/KWh olarak gerçekleşmektedir.[17]

Şekil 6.7 aynı zamanda kuruluş maliyetlerinin üretilen elektriğin maliyetine etkisini de göstermektedir.[17]

Şekil 6.8: Danimarka' da Rüzgâr Enerji Santrallerinde Üretilen Elektrik Maliyetinin Yıllar İtibariyle Değişimi[17]



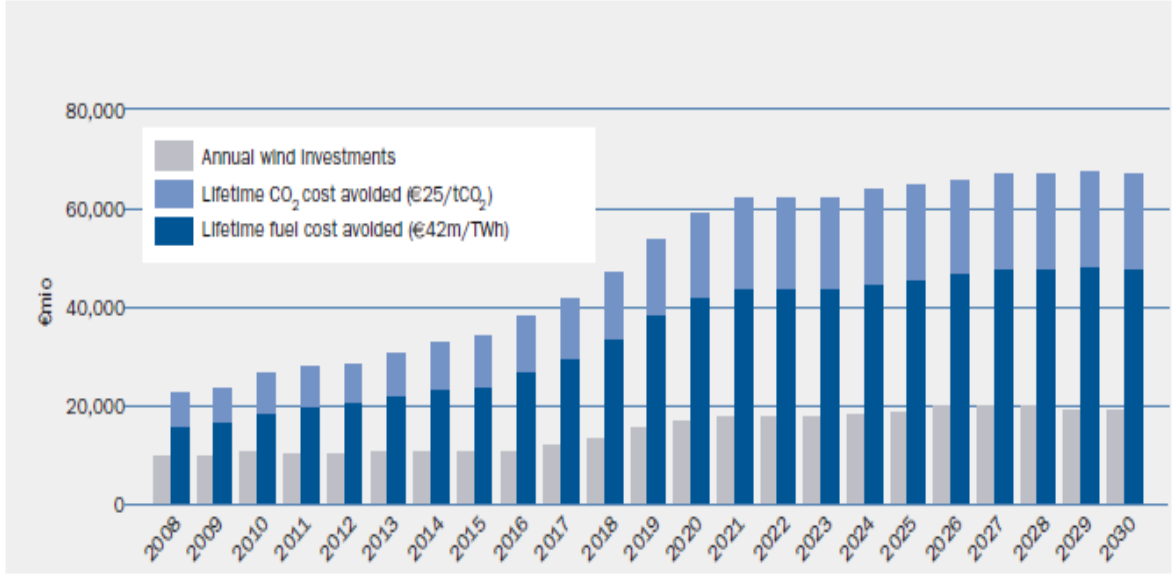
Rüzgâr enerjisi santrallerinde üretilen elektriğin maliyetinin yıllar itibariyle değişimi Şekil 6.8’ de görülmektedir. Şekil 6.8 oluşturulurken verilerin yetersiz olması nedeniyle sadece rüzgâr enerjisi konusunda önemli ülkeler arasında yer alan Danimarka’daki veriler esas alınmıştır. Daha sonra yapılan bir araştırmada verilerin Almanya için de benzer olduğu görülmüştür.[17] Şekil 6.8’ in incelenmesinden anlaşılacağı üzere yıllar itibariyle kullanılan türbin kapasiteleri artmış ve elektrik üretim maliyeti de giderek düşmüştür.

Denizde kurulu rüzgâr enerjisi santralleri halen Dünya’daki toplam kapasitenin yüzde 1’ ini oluşturmaktadır. Bunun nedeni günümüzde denizde rüzgâr enerjisi santrali kurmanın karada kurmaya oranla yüzde 50 daha pahalı olmasıdır. 2008yılı sonunda toplam kapasite 1.471 MW olmuştur. Bu alandaki gelişmenin büyük bir bölümü Avrupa Birliği ülkelerinde gerçekleşmektedir. Yüksek rüzgâr rejimi beklentileri nedeniyle bu santrallere olan ilgi her geçen gün daha da artmaktadır. Karada kurulu normal bir rüzgâr enerjisi santrali için yıllık toplam tam kapasiteli saat 2.000 – 2.500 arasında değişirken, denizde kurulu rüzgâr enerjisi santralleri için bu rakam 4.000 saate kadar ulaşabilmektedir.[17]

Rüzgâr enerjisi santrallerinin kullanımı ile 2008–2030 yılları arasında kaçınılması planlanan CO² ve yakıt maliyetleri Şekil 6.9’ da görülmektedir. Şekil 6.9 oluşturulurken yapılan varsayımlar aşağıdaki gibidir:

- a) Karada Kurulu rüzgâr enerjisi santrallerinin ekonomik ömrü 20 yıl, denizde kurulu rüzgâr enerjisi santrallerinin ekonomik ömrü ise 25 yıldır.
- b) Rüzgâr enerjisi ile üretilen elektriğin her KWh’ si 690 gram CO² salınımını engellemektedir. [17]
- c) CO² salım maliyeti 25 € /t’ dir.
- d) Rüzgâr enerjisi ile üretilen her TWh elektrik enerjisi ile 42 milyon € değerinde petrol tasarrufu sağlanmaktadır.
- e) Petrolün varil fiyatı 90 \$’ dir.

Şekil 6.9: Rüzgâr Enerji Santrallerinde 2008–2030 Yılları İtibariyle Azaltılması Planlanan CO2 ve Yakıt Maliyetleri[17]



Şekil 6.9 2000–2030 yılları arasında Avrupa Birliği ülkelerinde tahmini rüzgâr enerjisi yatırımlarını göstermektedir. Yatırımların 2015 yılına kadar yıllık 10milyar € civarında seyretmesi beklenmektedir. Ancak denizde kurulu rüzgâr enerjisi santral yatırımlarının her geçen yıl toplam yatırımlar içindeki payının artması beklenmektedir. 2020 yılında yıllık yatırım tutarının 17 milyar € civarında olması beklenmekte olup bu yatırımın yaklaşık yüzde 50' sinin denizde kurulu rüzgâr enerjisi santral yatırımlarından oluşacağı tahmin edilmektedir. 2030 yılında ise yıllık yatırım tutarının 20 milyar € olması beklenmekte olup bu yatırımın yaklaşık yüzde 60'ının denizde kurulu rüzgâr enerjisi santral yatırımlarından oluşacağı tahmin edilmektedir.[17]

Tüm enerji yatırımlarında olduğu gibi yeterli ve uygun şartlarda fon sağlayabilme sorunu rüzgâr enerjisi yatırımcılarının karşılaştığı en büyük sorunlardandır. 2000' li yıllara kadar finansal kurumlar rüzgâr enerjisi yatırımlarını karmaşık ve riskli görmüş ve fon sağlama konusunda isteksiz davranmışlardır. Fon sağlayan kurumlar ise vadeleri kısa tutmuş ve yüksek faiz oranları ile borç vermiştir. Günümüzde ise bu tür yatırımlara fon sağlamak daha kolay ve daha ucuzdur. Bankalar, sigorta şirketleri ve diğer finansal kurumların rüzgâr enerjisi yatırımları ile ilgilenmeye başlaması bu yatırımların hem yapılabilirliğini arttırmış hem de bu yatırımları daha verimli kılmıştır. Rüzgâr enerjisi santrali yatırımlarına fon sağlayacak finansal kurumların yaptıkları ilk çalışma girişimci tarafından sunulan fizibilite raporlarının detaylı bir incelemesidir. Hatta bazı finansal kurumlar bu çalışmayı

bağımsız bir danışmanlık firmasına yaptırmayı da tercih edebilmektedirler. Yapılacak bu çalışma finansal kurumun sunulan proje ile ilgili risk değerlendirmesinde temel teşkil edeceğinden son derece kritiktir. Bunun için sunulan projenin teknik, finansal ve diğer yönleriyle kapsamlı bir değerlendirmeye tabi tutulması gerekmektedir.[17]

6.4.5 Türbin Ana Parçalarının Üretim, Taşıma ve Vergi Maliyetleri

Vestas 3 MW Rüzgâr türbinlerinin bazı ana parçaları göz önüne alınarak yapılan araştırmalarda şu maliyet kalemlerine ulaşılmıştır;

Dişli kutusu: 341.400 € = 751.080 TL

Generator: 86.100 € = 189.420 TL

Kanat (1 adet): 55.350 € = 121.770 TL

Güç Kontrolleri: 22.200 € = 48.840 TL

Kule: 387500 € = 852.500 TL

2.5-3 MW rüzgâr türbininin ortalama satış maliyeti 2.5 - 3.5 milyon € arasında değişmektedir. Yukarıda alınan maliyet kalemleri yedek parça olarak alındığından türbin satış maliyetinin, türbin parçalarının ortalama maliyetinden daha yüksek olduğu görülmektedir.

Bu parçalar yurtiçinde üretilmediği için, parçaların maliyetine ek olarak taşıma ve vergi masraflarını da dâhil etmek gerekir. Bildiğimiz gibi Türkiye Avrupa Gümrük Birliği'ne üye ülkeler arasındadır. Bu çerçevede bu malların Avrupa'dan Türkiye'ye gelmesi sırasında herhangi bir gümrük vergisi ödenmemektedir. Türbin parça maliyeti başına gümrük harç ve pul masrafları vardır ancak bunlar da çok az meblağ tutmaktadır ve yaklaşık yüzde 1.5 – yüzde 2 oranındadır.[13] (€=2.2 TL olarak hesaplanmıştır (01.08.2012))

Dişli kutusu: Dişli kutuları Danimarka'da üretilmekte ve taşıma masrafları adet olarak 7.500 € = 16.500 TL civarındadır.

Generator: Vestas'ın kendi üretimidir ve bu parça da Danimarka'da üretilmektedir. Bu parçanın taşıma maliyeti yaklaşık olarak 4.500 € = 10.000 TL civarındadır.

Kanat: Tek başına 1 kanatın İtalya'dan taşıma maliyeti fabrika çıkış - saha teslim olarak 50.000 € = 110.000 TL olabilir, eğer 1 set (3 adet) kanat dendiğinde toplam rakam 90.000

€ = 198.000 TL' yi bulmakta ve kanat başı maliyet 30.000 € = 66.000 TL' ye düşmektedir, Kanat sayısı arttıkça birim maliyet düşecektir.

Tablo 6.6: Yurt dışındaki kanat üretim ve taşıma maliyeti (3 MW türbin)

Kanat	1 Set TL	Taşıma Maliyeti TL	Üretim Yeri	Teşvik %0.8
Maliyet	365.310	198.000	Yurt Dışı	Yok

Kule: Kule içinde aynı kanat maliyet bilgileri kullanılabilir, kule fabrikaları İspanyada ve İtalya'da bulunuyor. İspanya'dan veya İtalya'dan gelmesi çok fark yaratmayacaktır. Eğer Türkiye'de üretilecek yerli kule söz konusu olursa sahanın fabrikaya yakınlığına göre 6.000 € = 13.200 TL' den başlayarak 12.000 € = 26.400 TL' ye kadar maliyet oluşabilir 1 set (toplam 3 section) kule için. Yani 13.200 ile 26.400 TL arasında değişmektedir.

Power controller: Grand Controller & UPS malzemeleri genelde konteyner içerisinde gelir, 1 adet 40'ft konteyner toplam 30 adet controller alabildiği için, konteyner nakliye maliyeti İspanya veya Danimarka'dan yaklaşık 3.000 € = 6.600 TL'dir, buna göre birim maliyet 100 €'ya gelmekte, konteynere yüklenen controller sayısı azaldıkça birim maliyet de artış göstermektedir.

Tablo 6.7: Türbin ana parçalarının maliyet ve taşıma kalemleri(3 MW türbin)

Türbin Ana Parçalarının Maliyet ve Taşıma Kalemleri			
Malzeme	Üretim yeri	Satın alma Maliyeti (TL)	Taşıma Maliyeti (TL)
Kanat	İtalya	121.770	198.000 (1 set)
Dişli kutusu	Danimarka	751.080	16.500
Generator	Danimarka	189.420	10.000
Güç kontrolleri	Danimarka	48.840	6.600
Kule	İspanya-İtalya	852.500	26.400
Toplam		1.963.610	257.500

6.4.6 Teşvik Hesaplamaları

Bu gün itibariyle RES-e uygulanan kWh başına birim fiyat 7.3 ABD \$ cents/kWh'dir. Teşvik uygulamaları kapsamında aşağıda gösterilen parçaların Türkiye'de üretilmesi halinde elde edilecek kWh başına ek kazanç gösterilmiştir.

Tablo 6.8: 6094 sayılı Kanun 1 ve 2 sayılı cetveller;

31.12.2015 tarihine kadar işletmeye giren RES üretilecek enerjiye uygulanacak fiyat (1 sayılı Cetvel)	
RES-e	: 7.3 ABD \$ cents/kWh
31.12.2015 tarihine kadar işletmeye giren RES'lerin yurt içinde gerçekleşen imalatına 5 yıl süreyle ödenecek yerli katkı ilavesi (2 sayılı Cetvel)	
Kanat	: 0.8 ABD \$ cents/kWh
Jeneratör ve Güç Elektronikliği	: 1.0 ABD \$ cents /kWh
Türbin Kulesi	: 0.6 ABD \$ cents /kWh
Rotor ve nasele'deki gruplarındaki mekanik aksamın tamamı: 1.3 ABD \$ cents /kWh	

Kanat parçasının Türkiye'de üretilmesi halinde devletin vereceği teşvik $7.3+0.8= 8.1$ \$ cents/kWh olur. Balıkesir bölgesinde ortalama 3MW'lık bir türbinin 1 yıl boyunca toplam üretimi 7 ila 10 milyon kWh olarak değişmektedir. Kanatın yerli üretim olması halinde yıllık gelire etkisi aşağıda verilmiştir.

7.3 cent için gelir = $7.3 \text{ cent} * 7 \text{ milyon kWh} = 51.100.000 \text{ cent} = 511.000 \$ = 920.000 \text{ TL}$.

10 milyon kWh için yaklaşık 1.200.000 TL.

8.1 cent için gelir = $8.1 \text{ cent} * 7 \text{ milyon kWh} = 56.700.000 \text{ cent} = 567.000 \$ = 1.020.000 \text{ TL}$. 10milyon kWh için yaklaşık 1.320.000 TL.

Tablo 6.9: Kanat parçasının yurt içi ve yurt dışı üretiminin gelire etkisi

KANAT			
Üretim kWh	Üretim Yeri	Teşvik % (\$ cents/kWh)	Gelir TL
7 milyon	Yurt dışı	Yok	920.000
7 milyon	Yurt içi	7.3 + 0.8	1.020.000
10 milyon	Yurt dışı	Yok	1.200.000
10 milyon	Yurt içi	7.3 + 0.8	1.320.000

Bu sonuçlar değerlendirildiğinde devletin sadece kanat için yaptığı teşvik hesaplandığında yıllık üretimi 7-10 milyon kWh' lik bir türbin için 100.000 TL ila 120.000 TL arasında bir kazanç sağlanmış olur.

3MW'lık türbinin tamamının yerli üretim olması halinde devletin vereceği teşviklerin toplamı;

Kanat, jeneratör ve güç elektronikliği, türbin kulesi, rotor ve nacelle' deki grupların mekanik aksamının tamamı yerli üretildiğinde toplam teşvik = $0.8+1+0.6+1.3 = 3.7$ \$ cents/kWh olacaktır. Bu durumda birim üretim başına geliri

$7.3 \$ \text{ cents/kWh} + 3.7 \$ \text{ cents/kWh} = 11 \$ \text{ cents/kWh}$ olacaktır.

Şimdi türbinin yıllık üretim maliyetine etkisini inceleyelim.

11 \$ cents/kWh için satış geliri = 11 cent * 7 milyon kWh = 77.000.000 cent = 770.000 \$ = 1.400.000TL olacaktır. Bu gelir 10 milyon kWh için yaklaşık 1.940.000TL olacaktır.

Tablo 6.10: RES' in yurt içinde üretilmesi halinde toplam gelir

Kanat, Jeneratör, Güç Elektroniği, Kule, Rotor ve Nacelle' deki Mekanik Aksam			
Üretim kWh	Üretim Yeri	Teşvik % (\$ cent/kWh)	Gelir TL
7 milyon	Yurt içi	7.3 + 3.7= 11	1.400.000
10 milyon	Yurt içi	7.3 + 3.7= 11	1.940.000

7 milyon kWh için artan kazanç;

1.400.000 TL - 920.000 TL = 480.000 TL

10 milyon kWh için toplam kazanç;

1.940.000TL – 1.200.000TL = 740.000 TL

Bu hesaplamalar göz önüne alındığında devletin verdiği teşvikle yatırımcılar yerli üretim türbin aldıklarında kazançlarını neredeyse iki katına çıkartabilmektedirler. Ancak şuanda Türkiye'de büyük güçte yerli türbin üretimi bulunmamaktadır. Bu konudaki çalışmalar devam etmektedir. En önemli çalışmalardan biride MİLRES projesidir. Bu proje sonunda, 2015 yılında 2.5 MW gücünde rüzgâr türbini üretilmesi hedeflemektedir.

6.5 GALATA WIND ENERJİ LTD. ŞTİ ŞAHRES PROJESİ YATIRIM MALİYET KALEMLERİ

Türbin ve diğer maliyet bilgilerine tutarlı bir biçimde erişmekteki zorluklar nedeni ile gerçekleştirilmiş bir projenin incelenmesi yoluna gidilmiştir.

Şahres projesi 2011 Mayıs ayında devreye alınmıştır. Bu projede 31*3MW= 93 MW Vestas türbinleri kullanılmıştır.

Şahres Rüzgâr enerji santralinden alınan maliyet kalemleri aşağıdaki gibidir;

Tablo 6.11: Şahres rüzgâr enerji santrali toplam maliyet kalemleri

MALİYET TÜRÜ	TUTAR (TL)
İNŞAAT MALİYETİ	15.000.000
TÜRBİN MALİYETİ	170.000.000
ELEKTRİK İŞLERİ	6.000.000

ENERJİ NAKİL HATTI (GÖBEL TM VE KAMULAŞTIRMA DAHİL)	8.000.000
DİĞER MALİYETLER (PROJE, LİSANS, ORMAN VE DİĞER İZİNLER)	8.000.000
TOPLAM	207.000.000

İnşaat maliyetleri, türbin temel maliyeti, şalt sahası, XLPE kabloların sahadan şalt sahasına döşenmesi vb. kalemleri oluşturmaktadır. Türbin bedeli maliyeti 31 türbin için toplam olarak verilmiştir. Elektrik işleri kalemlerinden bazıları, orta ve yüksek gerilim şalt sahası, yükseltici trafolar, O.G kablolar, kesiciler, ayırıcılar, gerilim trafoları, akım trafoları, parafodurlar, XLPE güç kabloları, kumanda panoları, röle panoları, haberleşme sistemleri gibi kalemleri içine almaktadır. Enerji nakil hattı olarak şalt sahasından en yakın TEİAŞ trafo merkezine (GÖBEL TM) 113 adet enerji nakil hattı direği dikilmiştir. Bu enerji nakil direklerinin geçtiği arazide mal sahipleri ile anlaşılması gerekmektedir. Bu ise iki şekilde olabilmektedir: birinci şekilde birebir anlaşma yoluna gidilmekte, ikincisinde ise anlaşılabilirse kamulaştırmaya gidilmesidir. [22]

Kamulaştırma: Kamu yararının zorunlu kıldığı durumlarda gerçek ya da özel hukuk tüzel kişilerinin iyeliğinde bulunan taşınmaz malların, devlet ve kamu tüzel kişilerin el konulmasıdır.

Tablo 6.12: İşletmenin proje aşamasında ve sonrasındaki maliyet kalemleri[22]

MALİYET TÜRÜ	TUTAR (€)*
SİGORTA	400.000
TÜRBİN BAKIM & ONARIM	1.860.000
DİREK İŞÇİLİK	500.000
GENEL YÖNETİM VE PAZARLAMA GİDERLERİ	100.000
İLETİM (SİSTEM KULLANIMI)	
1-5 YIL	200.000
5-20 YIL	400.000
ORMAN İZİN (ARAZİ İZİN)	
1-10 YIL	30.000
10-20 YIL	200.000
TOPLAM	3.690.000

Saha devreye alınırken ve alındıktan sonra yapılan anlaşmalara göre sahanın sigorta bedeli 400.000 €'dur. Bunun içinde türbin ve şalt sahası sigorta ettirilmiştir. Türbin bakım ve

onarımı türbin başına 60.000 €'ya denk gelmektedir. Bu üretici firma ile yapılan anlaşmalara göre değişiklik gösterebilir.

29 Aralık 2010 tarihinde 6094 sayılı Kanun'la değiştirilen 5346 sayılı “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanuna göre iletim ve orman arazi kullanım bedeli olarak santral kurulduktan sonra ilk 10 yıl yüzde 85 indirimli olarak kullanılacaktır.

Tablo 6.13: Yurt içinden temin edilen makine ve teçhizat listesi[22]

YURT İÇİNDEN TEMİN EDİLEN MAKİNA VE TEÇHİZAT LİSTESİ					
Sıra No	Adı ve Özelliği	Miktar	Birim	Fiyatı (TL)	Tutarı (KDV hariç)
1	ORTA VE YÜKSEK GERİLİM ŞALT SAHASI EKİPMANLARI	1	SET	3.414.155	3.414.155
2	YÜKSELTİCİ TRAFİO (Aksesuarlarıyla birlikte)	2	Adet	755.018	1.510.036
3	Kablo (34.5 kV'luk orta gerilim yer altı kablosu)	130000	Metre	15.37	1.998.100
1\$= 1.5514 TL (31.05.2010 tarihli değerler)					
				Toplam	6.922.291

Liste muhteviyatı makine ve teçhizatın tamamı çıkarılan yönetmeliğe göre KDV istisnasından yararlanılmıştır.

Yükseltici trafo 2 adet 62.5 ve 50 MW trafo kullanılmıştır. Bu trafoların bedeli 1.510.036 TL değerindedir. Orta gerilim kablosu iletkenlik özelliklerine göre ayrılırlar, bu özellikler maliyete de etkiledikleri için bunun hesabını çok iyi yapmak gerekmektedir. Alüminyum iletkenli kablo bakır iletkenli kabloya göre daha ucuzdur. Şahres projesinde de alüminyum iletkenli orta gerilim kablosu kullanılmıştır.

Tablo 6.14: Yurt dışından temin edilen makine ve teçhizat listesi[22]

YURT DIŞINDAN TEMİN EDİLEN MAKİNA VE TEÇHİZAT LİSTESİ								
Sıra No	Adı ve Özelliği	Miktar	Birim	Birim Fiyatı (orijinal döviz €)	Toplam Tutarı (FOB €)	Toplam Tutarı (FOB €)	Toplam Tutarı (FOB TL)	Toplam Tutarı (CIF TL)
1	3 MW Rüzgâr Türbini set olarak (Kule, Kanatlar) Jenaratör ünitesi, Kule içi alçak gerilimi orta gerilime yükselten trafo (elektronik ve elektrik ekipmanları ile birlikte), Nacell, Paratonerlik, Uçak Uyarı Lambası ve Sistemi(komple), Temel Sepet Demiri, Kesici koruma ünitesi vb. tüm aksesuar ve ekipmanlarıyla komple.	31	SET	2.346.665	72.746.600	90.099.827	139.780.871	149.565.532
2	Veri Tabanlı Santral Kontrol ve Gözetleme Sistemi	1	SET	230.500	230.500	285.484	442.900	473.903
	1\$ = 1.5514 TL - 1€ = 1.2386 (31.05.2010 tarihli değerler)							
				Toplam	72.977.100	90.385.311	140.223.771	150.039.435

Yurt dışından temin edilen makine ve teçhizatın muhteviyatın tamamı gümrük vergisinden muaftır. Yurt dışından alınan türbinlerin kontrol ve gözetleme sistemi Tablo 6.9'daki gibidir.

6.6 Türbin Ana Parçalarının Türkiye’de Üretilmesi Halinde Oluşturulan Senaryolar

Türbin ana parçalarının Türkiye’de üretilmesi halinde maliyetlerin ne kadar olacağı bilgisine erişmek mümkün olamamıştır. Değişik kaynaklardan alınacak bilgilerin birbirleriyle uyumlu olamayabileceği endişesi ile tahmini maliyet senaryoları hazırlayıp bunların sistem üzerindeki etkilerinin incelenmesi yolu benimsenmiştir.

Senaryo 1.

Bu senaryoda 200 trilyonluk yatırım ve 3 MWx30 türbinlik bir rüzgâr çiftliğinin toplam maliyeti, bu maliyetin rüzgâr türbin parçalarının Türkiye’de üretilmesi halinde taşıma ve diğer işçilik maliyetinden elde edeceği kar yüzdesi, birim elektrik üretiminin teşviksiz ve teşvikli olarak kar oranlarının hesaplanması ve yatırımın geri ödeme süresi çıkartılmıştır.

İşçilik oranının yurtiçinde daha ucuz olması nedeni ile maliyetleri yüzde 20 azaltacağı, taşıma maliyetlerinin yüzde 80 azalacağı varsayılmıştır. (1\$= 1.8 TL olarak alınmıştır)

3 MW’lık bir türbinin yıllık ortalama 8 milyon kWh üretim yaptığı varsayılmıştır. Rüzgâr sahasının toplam üretimi 8 milyon kWh*30 türbin = 240 milyon kWh hesaplanmıştır.

Yılda 8000 MWh üretim, 3MW’lık bir türbin için 0.3 kapasite faktörüne denk gelmektedir.

Bu senaryo için hesaplamalar yapmadan önce aşağıda Şahres santrali için teşvikli ve teşviksiz gelirler ve kar hesabı yapılmıştır. Bu hesaplamalara yerli üretim teşvikleri altında maliyet kalemleri hiç değişmeseydi ne olurdu durumunu gösteren hesaplar olarak bakmak doğru olacaktır.

İlk olarak işletmenin yıllık giderleri;

Tablo 6.15: İşletmenin türbin başına bir yıllık gider kalemleri

İşletmenin Türbin Başına Bir Yıllık Giderleri	
Yıllık Giderler	Türbin Başına TL
Sigorta	28.600
Türbin Bakım& Onarım	132.000
İşçilik	9.200
Genel Yönetim ve Pazarlama	2.600
İletim Sistem Kullanımı	4.840
Orman İzni	1.687
Toplam	178.927

İşletmenin türbin başına bir yıllık ortalama gideri 178.927 TL olarak hesaplanmıştır.

Rüzgâr santrali 30 türbinden kurulu olduğu için toplam gider $30 \times 178.927 = \underline{5.367.810 \text{ TL}}$

olmaktadır. (Kur: 1\$=1.8TL)

Santralin yıllık ortalama üretimi 8milyon kWh*30 türbin = 240 milyon kWh'dir.

Teşviksiz ve teşvikli geri ödeme süreleri;

Teşviksiz işletmenin 1 yıllık geliri;

240milyon kWh * 7.3 cent = 17.520.000\$ = 31.536.000TL

Santralin toplam üretimden elde ettiği gelir 31.536.000 TL. Bu rakamdan santralin yıllık giderleri çıkartıldığında;

$31.536.000 - 5.367.810 = \underline{26.168.190 \text{ TL}}$. Dolayısıyla işletmenin bir yıllık karı

26.168.190 TL.

Teşvikler ile işletmenin 1 yıllık geliri;

240 milyon kWh * 11 cent = 26.400.000\$ = 47.200.000 TL

Santralin toplam üretimden elde ettiği gelir 47.200.000TL. Bu rakamdan santralin yıllık giderleri çıkartıldığında;

$47.200.000 - 5.367.810 = \underline{41.832.190 \text{ TL}}$. Dolayısıyla işletmenin bir yıllık karı 41.832.190 TL.

Tüm teşviklerden yararlanıldığında Şahres projesinde bir yıllık kar 26.168.190 TL den 41.832.190 TL ye çıkmaktadır.

Tablo 6.16 da Senaryo 1 varsayımları altında maliyetler verilmiştir.

Tablo 6.16: Senaryo 1; 3 MW'lık Türbin ana parçalarının Türkiye'de üretilmesi halinde maliyetler

Türbin Ana Parçalarının Türkiye'de Üretilmesi Halinde Taşıma ve Diğer İşçilikten Elde Edeceği Toplam Maliyet (Senaryo 1)				
Malzeme	Üretim Yeri	Satın Alma Maliyeti (TL)	Yerli Üretim Maliyeti (TL) (İşçilik %20 ucuz)	Yerli Üretimde Taşıma Maliyeti (TL) (%80 daha ucuz)
Kanat	Türkiye	121.770	$0.8 \times 121.770 = 97.416$	$0.2 \times 198.000 = 39.600$
Dişli Kutusu	Türkiye	751.080	$0.8 \times 751.080 = 600.864$	$0.2 \times 16.500 = 3.300$
Generator	Türkiye	189.420	$0.8 \times 189.420 = 151.536$	$0.2 \times 10.000 = 2.000$
Güç Kotrolleri	Türkiye	48.840	$0.8 \times 48.840 = 39.072$	$0.2 \times 6.600 = 1.320$
Kule	Türkiye	852.500	$0.8 \times 852.500 = 682.000$	$0.2 \times 26.400 = 5.280$
	Toplam	1.963.610	1.570.888	51.500
		Toplam	1.622.388	

İşçiliğin yüzde 20 daha ucuz, taşımanın da yüzde 80 azalacağı varsayılarak yapılan hesaplamada toplam maliyet 1.622.388 TL olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6.17 de Senaryo 1 varsayımları altında ve yurtdışından temin durumları için toplam maliyet karşılaştırması verilmiştir.

Tablo 6.17: Maliyet karşılaştırmaları Senaryo 1

Senaryo 1: Yurt dışından temin edilen parçaların yurtdışında üretilmesi halinde yatırım maliyetleri üzerine karşılaştırma (Yıllık üretim 8 milyon kWh)		
	Eski(yurtdışından temin) toplam maliyet	Yeni Toplam Maliyet Senaryo 1
P	2221110.00	1622388.00
A	260980.425	190630.59
MWh Başına maliyet(A/8000MWh)	32.623	23.829
Maliyetin % değişimi		-26.95
MWh Basına kar(TL)		8.794
Teşvik ile MWh başına kar(TL)		6.66
Toplam MWh başına KAR(TL)		15.454
Yıllık satış geliri	31.536.000TL	47.200.000
Yatırımın geri ödeme süresi(Yıl)	5,59	3,10

Burada P adı geçen parçaların toplam maliyetini göstermektedir. Toplam yatırımın yıllara yayılmış maliyet (A) olarak ifade edilmesi için mühendislik ekonomisinin temel formülü (A/P,%10,20) kullanılmıştır. Formülde 20 sayısı türbinin ömrünü, yüzde 10 ise faiz oranını göstermektedir.

Yapılan hesaplamalarda yatırım maliyetinin yüzde 26.95 azaldığı bulunmuştur.

MWh başına kar 8.794 TL ve verilen toplam teşvik ile (tüm parçalar için toplam 3.7 cent) MWh başına 6.66 TL kar elde edildiği bunların toplamında da toplam kar 15.454 TL olduğu bulunmuştur.

Yatırımın geri ödeme süresi yine faiz oranı %10 ve ekonomik ömür 20 yıl alınarak bulunmuştur. Oysa yurt dışından temin ve teşviksiz durumda geri ödeme süresi 5.59 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu fark yatırımcı üzerinde oldukça teşvik edici bir etki yaratabilir.

Senaryo 2.

2. senaryoda 1.senaryodan farklı olarak 3MW'lık bir türbinin yıllık üretiminin 10 milyon kWh üreteceği varsayılarak hesaplamalar yapılmıştır. Türbinin kapasite faktörü bu durumda 0.38 olmaktadır. (Kur: 1\$=1.8 TL)

Rüzgâr sahasının toplam üretimi 10 milyon kWh*30 türbin = 300 milyon kWh olarak hesaplanmıştır. Bu durumda elektrik satış geliri $300*11*1.8=59.400.000$ TL dir.

Tablo 6.18: Senaryo 2; 3 MW' lık türbin ana parçalarının Türkiye'de üretilmesi halinde maliyetler

Senaryo 2: Yurt dışından temin edilen parçaların yurtiçinde üretilmesi halinde yatırım maliyetleri üzerine karşılaştırma (Yıllık üretim 10 milyon kWh)		
	Eski toplam maliyet	Yeni Toplam Maliyet Senaryo 2
P	2221110.00	1622388.00
A*	260980.425	190630.59
A/10000MWh		
MWh Başına maliyet	26.098	19.063
Maliyetin % değişimi		-26.95598147
MWh başına kar(TL)		7.035
Teşviksiz MWh başına kar(TL)		13.14
Teşvik ile MWh başına kar(TL)		19.8
Teşviksiz Toplam MWh başına KAR(TL)		20.175
Teşvikli Toplam MWh başına KAR(TL)		26.835
Yıllık satış geliri	31.536.000TL	59.400.000
Yatırımın geri ödeme süresi	5,59	2,53

Teşviksiz toplam MWh başına kar 20.175 TL, teşvikli toplam MWh başına kar 26.835 TL olarak hesaplanmıştır. Yatırımın geri ödeme süresi 2,53 yıl olarak hesaplanmıştır..

Türbin kapasite faktörü 0,3 den 0,38 e çıktığında geri ödeme süresinin 3,1 yıldan 2,53 yıla indiği gözlenmiştir.

7. SONUÇ ve ÖNERİLER

Tüm dünya ülkelerinin en önemli hedefi minimum maliyette enerji üretebilmektir. Çünkü enerji üretim maliyeti ne kadar düşük olursa, sanayi üretim birim fiyatları da aynı oranda düşük olur. Buna yönelik olarak gelişmiş ülkeler enerji üretim kapasitelerini alternatif enerji kaynaklarına yönelerek arttırmaktadır. Böylece doğaya ve insana zarar vermeksizin, başka bir ülkeye bağımlı olmadan elektrik enerjisi üretilebilmektedir.

Bu çalışmalar Rüzgâr enerjisine verilen teşvikler, türbin ana parçalarının maliyeti, taşıma ve vergi masrafları, finansman kalemleri, bir rüzgâr çiftliğinin ana maliyet kalemleri incelenmiştir. Ayrıca senaryo oluşturularak türbin ana parçalarının Türkiye’de üretilmesi halinde yatırım maliyetine etkisi ve birim elektrik üretiminin diğer teşviklerle birleştiğinde çıkarılan maliyet kalemlerinin, teşviksiz ve teşvikli olarak çıkarılan rakamların kurulan santrale göre hesabı yapılarak geri ödeme süresi çıkarılmıştır.

Şuanda Rüzgâr enerjisi Türkiye’nin elektrik ihtiyacının yüzde 2-3’nü karşılamaktadır. 2023 yılında 20000 MW kurulu güce ulaşılması hedeflenmektedir. Bu orana ulaşılması sonucunda Türkiye’nin elektrik enerjisi ihtiyacının yüzde 18-20 oranında karşılanacağı hesaplanmaktadır. Bu rakam rüzgâr enerjisinin önemini açıkça ortaya koymaktadır. Eski teşvikler rüzgâr enerjisi piyasasını Türkiye şartlarında olumsuz yönde etkilemiştir. Yeni çıkarılan teşvikler ile rüzgâr enerjisi piyasasında Türkiye ekonomisini ve sanayisini önemli ölçüde etkileyecektir. Rüzgârdan enerji üretmek isteyen yatırımcılar türbin parçalarının Türkiye’de üretilmesi halinde devletin vereceği teşviklerden yararlanmak isteyeceklerdir. Yapılan maliyet analiz sonuçlarında kWh başına üretilen elektriğin yıllık bazda kazancı görülmüştür. Bu kazanç elektrik enerjisi üreten firmalar açısından göz ardı edilmeyecek rakamlardır. Bu da rüzgâr türbin üreticilerinin Türkiye’de fabrika kurmalarına ve ülke içinde üretim yapmalarına itecektir. MİLRES projesinin 2015 yılına kadar hayata geçireceği 2.5 MW’lık rüzgâr türbini bu bağlamda çok büyük önem arz etmektedir.

Çıkarılan yeni yönetmeliklerin 2. Kanunda 31 Mayıs 2015 tarihine kadar işletmeye girecek rüzgâr santrallerinin yurt içinde imalatına 5 yıl süreyle ödenecek yerli katkı ilavesi konusundaki süre kısıtlıdır. Yurt içinde üretilen bazı türbin firmaları kule ve kanat gibi türbin bileşenlerini üretmesine rağmen kule üst kısmı (nacell) ve genarator gibi bileşenleri büyük yatırım tutarları içermekte, sadece fabrikaların kurulması ve yapılacak üretimin sertifikalanması en az iki yıllık bir süre gerektiği bilinmektedir. İlgili prosedürler hızlı bir şekilde işleme alınıp, ilgili türbin parçasının üretimi için gerekli işlemler kolaylaştırılırsa

Türkiye hem ekonomik anlamda hem sanayi anlamında hem de teknoloji anlamında kendini daha çok geliştiren ve dış pazarlara da ithalat yapan bölgesi itibari ile başrol oynayabilecek bir konuma gelebilir.

Tezin son bölümünde yapılan senaryoda türbin ana parçalarının Türkiye’de üretilmesi halinde yatırım maliyetlerinin ne kadar azalacağı, yatırımın geri ödeme süreleri, teşvikli ve teşviksiz olarak üretilen elektrikten elde edilen gelirler hesaplanmış ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Yapılan hesaplamalarda mühendislik ekonomisinin temel formülü (A/P,%10,20) kullanılarak yatırım maliyetinin yüzde 26.95 azaldığı bulunmuştur. Senaryo 1 de yatırımın geri ödeme süresi teşviksiz 5.59 yıl, teşvikli 3.10 yıl olarak hesaplanmıştır. Senaryo 2 de ise yine yatırımın geri ödeme süresi teşviksiz 5.59 yıl teşvikli 2.53 yıl olarak hesaplanmıştır. Teşvikten doğan bu farklar yatırımcı için oldukça büyük önem arz etmektedir.

Rüzgâr enerjisinde açıklanan teşvikler ve belirsizlikler kısa vadede ülkemizin rüzgâr kurulu gücü hedeflerine ulaşamayacağını göstermektedir. Kanun'da yerli üretime verilen teşvik uygulanmasının 2015 yılından sonra da devam edeceğine ilişkin güven ortamı sağlanır ve doğrudan üreticilere yönelik de düzenlemeler yapılırsa uzun vadedeki hedeflere ulaşılabilir. Uzun vadedeki bu hedeflerde Türkiye'nin de kendi rüzgâr türbini üreten, ürettiği türbinler ile enerji ihtiyacının bir kısmını karşılayan ve dış ülkelerde de ürettiği türbinleri pazarlayan bir ülke konumuna geleceğine inancımız sonsuzdur.

KAYNAKÇA

- [1] Le Gourieres, D. (1982). Wind Power Plants Theory and Design, Pergamon Pres Ltd, Headingtan Hill Hall Oxford OX30BW, England
- [2] Yalçın, U. (2007), “Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi Kullanılarak Rüzgâr Enerjisi Santral Yer Secimi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul]
- 3] UYAR, T.S. (1997), Elektrik Dergisi, Sayı 99, Dünya Rüzgâr Enerjisinin Gelişimi ve Türkiye’de İlk Adımlar, Kaynak
- [4] Danish Wind Industry Association, www.windpower.org, (2003)
- [12] HEIER, S. Grid Integratiın of Wind Energy Conversion Systems, John Wiley & Sons, 1997
- [5] www.alivardar.com/SEMINERLER/RuzgarEnerjisi.ppt
- [6] Türkiye’nin rüzgâr haritası, yıllara göre Türkiye’deki ve Dünya’daki kurulu rüzgâr gücünün değişimi. www.eie.gov.tr, 11 Temmuz 2010
- [7] Global Wind Statistics 2011
- [8] REPA
- [9] <http://www.epdk.gov.tr>
- [10] <http://tureb.com.tr/> Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu Şubat 2012
- [11] Seul, K. K., ve Eung, S. K., (2005), “PSCAD/EMTDC-Based Modeling and Analysis of a Gearless Variable Speed Wind Turbine”.
- [12] South, P., and Rangi, R. S. (1975) An Experimental Investigation of a 12-Ft Diameter High Speed Vertical-Axis Turbine. National research council of Canada, LTR-LA-166
- [13] Vestas Wind System www.vestas.com
- [14] KIRIM, S. Rüzgâr Enerjisi ve Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul 2002
- [15] Peterson A. Analysis, Modeling and Control of Doubly-Fed Induction Generators for Wind Turbines, Thesis For The Degree Of Doctor Of Philosophy, Chalmers University Of Technology, Goteborg, Sweden 2005
- [16] To race to meet demand, Wind Directions-January/February 2007
- [17] European Wind Energy Association, Basic Cost of Wind Energy, <http://www.ewea.org/index.php?id=1639>, (30.04.2009)

- [18] Murat DURAK, Yenilenebilir Enerji Yatırımları İçin Finansman Modelleri: Proje ve Sendikasyon Kredisi, 3 E Dergisi Sayı 128, (Ocak 2005), s.1
- [19] Kenan YAVUZ, Avrupa Yatırım Bankası Kredileri,
[http://www.tumfonlar.com /index.php?option=com_content&task=view&id=40&Itemid=1](http://www.tumfonlar.com/index.php?option=com_content&task=view&id=40&Itemid=1)
, (02.05.2009)
- [20] Yenilenebilir Enerji Projesi, <http://web.worldbank.org/website/external/countries/ecaext/turkeyinturkishextn/0,,contentmdk:20815979~pagepk:141137~pipk:141127~thesitepk:455688,00.html>, (02.05.2009)
- [21] Zerrin TAÇ ALTUNTAŞOĞLU, Yerli Rüzgâr Enerji Teknoloji Üretimi Destek Politikaları ve Türk Mevzuatı, TMMOB Türkiye 6. Enerji Sempozyumu-Küresel Enerji Politikaları ve Türkiye Gerçeği, s.9, Ekim 2007
- [22] Galata Wind Enerji LTD. ŞTİ. Şahres Rüzgâr Enerji Santralleri.
- [23] http://www.yildiz.edu.tr/~volkan/bilirkisilik/Kam_genel.pdf
- [24] <http://aramizdakielektrik.blogspot.it/>
- [25] <http://www.enerjigazetesi.com/turkiyenin-2023-yenilenebilir-enerji-hedefi/>



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Emrah Ağdere

E-posta: agdere.emrah@gmail.com

Sürekli Adresi: 17 Eylül Mahallesi 839 sokak No:11 D/3 Bandırma / Balıkesir

Doğum Yeri ve Yılı: Küçükçekmece / İstanbul 26.10.1986

Yabancı Dili: İngilizce

İlk Öğretim: Halkalı Doğa İlk Öğretim Okulu

Lisans: Marmara Üniversitesi / Enerji Teknolojisi **2005-2009**

Lisans: Anadolu üniversitesi /İşletme **2008 - 2012**

Yüksek Lisans: Bahçeşehir Üniversitesi **2009-2012**

Enstitü Adı: Fen Bilimleri

Program Adı: Enerji ve Çevre Yönetimi

Çalışma Hayatı: 10/2010 - ??? Vestas Rüzgâr Enerji Sistemleri
07/2006 – 04/2010 Marin Telekomünikasyon A.Ş