

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RÜZGAR TÜRBİNLERİ İLE ENERJİ ÜRETİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Elektronik Müh. Ömer ERGÜR

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK. ELEKTR MÜH
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mehmet Ali YALÇIN

Eylül 2006

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RÜZGAR TÜRBİNLERİ İLE ENERJİ ÜRETİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elek-Elektronik Müh. ÖMER ERGÜR

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTR MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK

Bu tez 04/09/2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. M. Ali Yalçın

**Y. Doç. Dr. Mehmet
Bayrak**

**Y. Doç. Dr. İmdat
Taymaz**

Jüri Başkanı

Üye

Üye

ÖNSÖZ

Sakarya Üniversitesi'ndeki öğrenimim boyunca bana yardımcı olan tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Özellikle danışman hocam olarak bana hem lisans eğitimimde hem de lisansüstü eğitimimde yardımcı olan Prof. Dr. Mehmet Ali Yalçın'a teşekkürü bir borç bilirim.

Sayın hocam dışında gerek doküman sağlamamda gerek simülasyon uygulamamda zamanını benden esirgemeyen Arş. Gör. İrfan Yazıcı'ya teşekkürlerimi sunarım.

ÖMER ERGÜR

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	viii
SUMMARY.....	ix

BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
1.1. Tarihçe.....	1
1.2. Rüzgar Enerjisinin Küresel Durumu.....	4
1.3. Türkiye’de Rüzgar Enerjisi Durumu.....	8

BÖLÜM 2.

RÜZGAR ENERJİSİ.....	13
2.1. Rüzgarın Oluşumu.....	13
2.2. Rüzgar Türleri.....	14
2.2.1. Yerel rüzgarlar.....	14
2.2.2. Deniz meltemi.....	14
2.2.3. Kara meltemi.....	15
2.2.4. Geografik rüzgar.....	15
2.3. Weibull Dağılımı.....	15
2.4. Rüzgardan Elde Edilebilecek Elektrik Gücünün Hesabı.....	17

BÖLÜM 3.

RÜZGAR TÜRBİNLER.....	22
3.1. Türbinin İç Yapısı.....	22
3.2. Elektrik Generatörleri.....	24
3.2.1. Senkron generatör.....	26
3.2.2. Asenkron generatör.....	27
3.2.2.1. Kafes yapılı rotorlar.....	27
3.2.2.2. Endüksiyon makinalarının verimi ve soğutması.....	29
3.2.2.3. Uyarma kapasitesi.....	30
3.3. Rüzgar Türbin Sistemleri.....	30
3.3.1. Sabit Hızlı Ve Asenkron Generatörlü Rüzgar Türbinleri	31
3.3.2. Değişken Hızlı Direkt Dağılı Senkron Generatörler	32
3.3.3 Çift Beslemeli Asenkron Generatör Sistemi.....	33
3.4. Rüzgar Türbinlerinde Güç Kontrolü.....	34

BÖLÜM 4.

BİLGİSAYAR SİMÜLASYONU.....	37
4.1. Giriş.....	37
4.2. Sabit Rüzgar Hızlı Simülasyon.....	39
4.3. Değişken Rüzgar Hızlı Simülasyon.....	42
4.4. Simülasyon Sonuçları.....	44

BÖLÜM 5.

SONUÇLAR.....	46
---------------	----

KAYNAKLAR.....	48
----------------	----

ÖZGEÇMİŞ.....	50
---------------	----

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

B: Pitch Açısı ($^{\circ}$)

c : ölçek değişkeni (m/s)

C_p : Verim katsayısı

ES: Harici Rüzgar Hızını simgeleyen harici sinyal (m/s)

f : stator uyarma frekansı

k : şekil değişkeni

N_s : senkron hız

P: Türbin çıkış gücü (pu)

P: magnetik kutup çiftlerinin sayısı

T : moment

T_m : Türbin çıkış torku (pu)

V_w : Rüzgar hızı (m/s)

W: Mekanik Hız (rad/s)

Φ : stator akısı

η : generatör verimi

ρ : Birim hacim için havanın yoğunluğu

BM : Birleşmiş Milletler

ETKB : Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı

IEA : Uluslararası enerji kurumu

OPEC : Petrol İhraç Eden Ülkeler Birliği

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Juul tarafından kullanılan ilk alternatif akım üreten jeneratör.....	2
Şekil 1.2. İlk Gedser Türbini.....	2
Şekil 1.3. California Palm Springs Rüzgar Parkı.....	3
Şekil 1.4. Dünya Enerji Kaynakları.....	5
Şekil 1.5. Dünya Elektrik Üretimi.....	5
Şekil 2.1. Weibull dağılımı	16
Şekil 2.2. Bozcaada için Rayleigh dağılımı.....	17
Şekil 2.3. Havanın Rotor Çevresindeki Akışı.....	18
Şekil 2.4. C_p 'nin V_3/V_1 'in fonksiyonu olarak çizilmiş eğri.....	21
Şekil 3.1. Rüzgar Tribünü İç Yapısı.....	22
Şekil 3.2. Elektrik Generatörü.....	24
Şekil 3.3. Senkron Generatör.....	26
Şekil 3.4. Asenkron Genetarör.....	27
Şekil 3.5 Sabit Hızlı Rüzgar Türbini	31
Şekil 3.6 Değişken Hızlı Senkron Generatörlü Türbin Sistemi	32
Şekil 3.7 Çift Beslemeli Asenkron Generatör Sistemi	33
Şekil 3.8 Rüzgar hızı –güç değişimi	34
Şekil 4.1. Rüzgar Türbini Elemanı.....	38
Şekil 4.2. Rüzgar Kaynağı Elemanı.....	38
Şekil 4.3. Rüzgar Türbini Kontrolörü Elemanı.....	38
Şekil 4.4. Türbinin PSCAD Simülasyonu.....	40
Şekil 4.5. Sabit Rüzgar Hızındaki Veriler.....	41
Şekil 4.6. Simülatör Rüzgar Kaynağı Menüsü.....	42
Şekil 4.7. Değişken Rüzgar Hızındaki Veriler.....	43

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. Dünyada Rüzgar Enerjisi Üreten Ülkeler.....	7
Tablo 1.2. Türkiye’de Bölgesel Rüzgar Verileri.....	8
Tablo 1.3. Türkiye’de Rüzgar Enerjisi Üretim Açısından Verimli Yerler.....	10
Tablo 1.4. Türkiye’de Mevcut Rüzgar Santralleri ve Kapasiteleri.....	10
Tablo 1.5. Türkiye’de Kurulma Hazırlıkları Sürdürülen Rüzgar Santralleri.....	11
Tablo 5.1. Rüzgar Tribününün 25m/s’ye kadar ürettiği güç ve pitch açısı.....	44

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Rüzgar Enerjisi, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Rüzgar Türbini, Rüzgar Generatörleri, Simülasyon.

Son yıllardaki rüzgar enerjisinin kullanımı hızlı bir artış göstermesiyle birçok ülkede rüzgar enerjisinin kullanımını teşvik etmek için programlar başlatılmıştır. Türkiye’de birçok özel sektör kuruluşu verimli bölgelerde fizibilite çalışmalarına başlamıştır.

Türkiye’de özellikle Marmara ve Ege bölgesinde rüzgar enerjisi ile ilgili ölçümler yapılmaktadır. Bu ölçümler hem Devlet Meteoroloji İşleri hem de özel kuruluşlar tarafından yapılmaktadır. Bu ölçümlere göre en elverişli bölgeler Alaçatı, Gökçeada, Datça, Bozcada, ve İntepe’dir.

Türkiye diğer bir alternatif enerji kaynağı olan güneş enerjisi bakımından da oldukça elverişlidir. Ama, güneş enerjisinin veriminin düşük olması ve çok geniş alanlara ihtiyaç duyması nedeniyle şu an için ekonomik değildir. Bu bakımdan dolayı rüzgar enerjisi günümüz koşullarında ideal alternatif enerji kaynağıdır.

Bu tezde birinci bölümde rüzgar türbinlerinin tarihçesi, rüzgar enerjisinin dünyada ve Türkiye’de ki kullanımlarından bahsedilmiştir. İkinci bölümde rüzgar enerjisinin oluşumu, türleri, weibull dağılımı ve rüzgar enerjisinden elde edilebilecek elektrik gücünün hesabı incelenmiştir. Üçüncü bölümde ise rüzgar türbinlerinin iç yapıları, senkron ve asenkron generatörler üzerinde durulmuştur. Dördüncü ve son bölümde ise PSCAD simülasyon programıyla sabit ve değişken hızlar için türbin simülasyonu yapılmıştır.

ENERGY PRODUCTION WITH WIND TURBINES

SUMMARY

Keywords: Wind Energy, Renewable Energy Sources, Wind Turbine, Wind Generators, Simulations.

Many countries have set programs to encourage the usage of wind energy since it has been increasing in the last few years. Many private companies have started doing feasibility studies.

Some measurement studies have been going on in Turkey, especially in Marmara and Aegean regions. These measurements are taken both by State Meteorology Department and some private organizations. According to these measurement studies, the most suitable regions for the wind energy plants can be built in Alaçatı, Gökçeada, Datça, Bozcaada, and İntepe.

Turkey has also high potential for solar power, an alternative energy source. However, solar power has low efficiency and requires very large amount of land, it is not economical. For these reasons, wind energy is the ideal alternative energy resource for Turkey nowadays.

The first section of this study explains the history of wind turbines and the usage of the wind power in Turkey and in the World. In the second section, the types of wind energy; the Weibull Distribution and the calculation of electric power obtained from the wind energy plants are explained. The information about the interior structure of the wind turbines, synchronous and asynchronous generators will be given in the third section. The final section of this study is completed by a turbine simulation for constant and variable speeds programmed by PSCAD.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Tarihçe

Dünyada temiz yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasının önemi her geçen gün artmaktadır. Özellikle rüzgar enerjisi maliyetlerin düşmesiyle daha da yaygınlaşmıştır. Rüzgar enerjisi kaynağı bakımından da Türkiye oldukça elverişli bir konumdadır. Enerji sektörü ülke ekonomisinin temel sürücü gücüdür. Yer altı kaynakları bakımından dışa bağımlı olan ülkemiz, ileride yapacağı yatırımlarla, temiz rüzgar enerjisi sayesinde bu bağımlılığı azaltabilir.

.Rüzgar enerjisi ilk defa M.Ö. 5000'li yıllarda Nil Nehri'nde ulaşımda kullanılmıştır. Aynı tarihlerde Çin'de de tarımda su pompalamak için kullanıldığı bilinmektedir. Rüzgar gücü kullanımı Haçlı seferleriyle Avrupa'ya geçmiştir. 1105 yılında Fransa'da yaygınlaşan rüzgar değirmenleri daha sonra İngiltere ve sonrada Hollanda'da kullanılmaya başlanmıştır.

Endüstri devrimiyle birlikte 18.Yüzyılda buhar makinalarının ortaya çıkmasıyla, enerjinin temini için termodinamik işlemlere dayanan makinalardan faydalanılmaya başlanmıştır. Özellikle kömür, petrol ve gaz gibi fosil yakıtların önemi artmıştır.

Poul la Cour (1846-1908) modern rüzgar generatörlerinin öncüsü olmuştur. La Cour rüzgardan enerji üreten ilk türbini 1891 yılında kurmuştur. Askov Folk Kolleji'nde rüzgar generatörleri ile ilgili çeşitli dersler vermiştir[16].

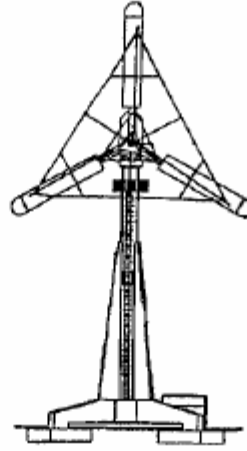
Danimarka'da 1918 yılında rüzgar enerjisinden elektrik üreten 120 adet türbin bulunmaktaydı. Güçleri 20 ile 35 kW arasındaki bu türbinlerin toplam gücü 3 MW'ı buluyordu ve Danimarka'nın elektrik üretiminin %3'ünü karşılamaktaydı.

1951 yılına gelindiğinde doğru akım üreten generatörler yerlerini yavaş yavaş alternatif akım üreten asenkron generatörlere bırakmaya başlamıştır. AC generatör üretimiyle ilgili ilk çalışmalar, Poul La Cour'un öğrencisi olan Johannes Juul tarafından başlanmıştır.

1956-1957 yıllarında SEAS elektrik şirketi için Gedser kıyılarında 200 kw'lık rüzgar türbini Johannes Juul tarafından kurulmuştur. Kurulan tesis modern rüzgar türbinlerinin dizaynı için öncü olmuştur.



Şekil.1.1. Juul tarafından kullanılan ilk Alternatif akım üreten jeneratör [16]



Şekil 1.2. İlk Gedser Türbini [16]



1960'lı yıllara gelindiğinde ucuz olan fosil yakıtlar kullanılarak üretilen enerji revaçta olmuş ve rüzgar enerjisinden elektrik üretimi azalma göstermiştir. Ancak 1970'li yıllardaki petrol krizinin boy göstermesiyle alternatif enerji kaynakları arayışları hızlanmıştır.

Günümüzde rüzgar santralleri, enterkonnekte şebeke ile bağlantılı çok sayıda türbin içeren rüzgar çiftlikleri biçimindedir. Gelişmiş rüzgar türbinleri yatay eksenli, iki ya da üç kanatlı olup tek makine güçleri çoğunlukla 250 kW'ın üzerindedir. Kule yükseklikleri 30 ile 70 m arasında değişmekte, rotor çapları 30-60m arasında olmaktadır. California Palm Springs'deki rüzgar parkı, 55 kW'lık 1000'den fazla generatörün kullanıldığı en büyük rüzgar tarlasıdır.



Şekil 1.3 California Palm Springs Rüzgar Parkı

1.2. Rüzgar Enerjisinin Küresel Durumu

Modern enerji çağında temel değişimler, 1970'li yıllarda OPEC ülkeleri endüstrileşmiş ülkelerin ekonomileri üzerindeki güçlerini kavradıklarında, ortaya çıktı. Bunun sonucunda yakıt fiyatları bir gecede tavana vurdu ve sürekli ucuz, sürekli daha çok enerji arzı ani bir sona ulaşır göründü. Ama 1980'li yılların ortalarında yeni arz şirketleri OPEC'in pazar payını azaltınca petrol fiyatları düştü ve OPEC'in birliği parçalandı.

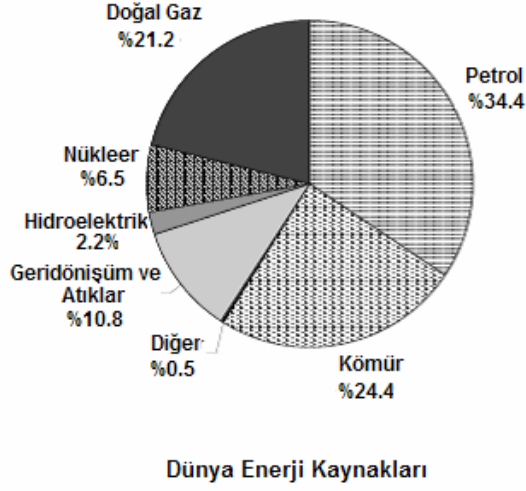
Yapılan hesaplamalara göre, tüketim hızı aynı devam ettiğinde, petrol rezervleri 2040, doğalgaz 2060, kömür ise 2150 yılında büyük bir olasılıkla tükenecektir[3].

Rüzgar enerjisi kullanımının avantajları şunlardır:

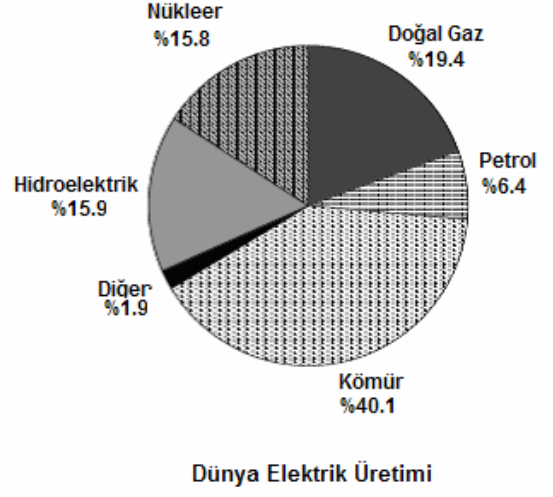
- Sera gazı etkisi yaratmaz,
- Temiz bir enerji kaynağıdır,
- Güvenirliği ve ucuzluğu gittikçe artmaktadır,
- Rüzgar türbini kurulan bir arazi ikili kullanım imkanına sahiptir.

Modern enerji sahnesindeki bir diğer aktör nükleer enerjidir. 40 yıl önce varolmayan bir sanayi bugün üretiminin zirvesindedir. Ama, aynı zamanda, bu endüstri sönmektedir. Yeni siparişler 20 yıl önce son bulmuştur, ve yaşlanan reaktörler ömürlerinin sonuna gelmiş, birer birer kapatılmaktadır. 1970'li yıllarda yüksek fosil yakıt fiyatları ve uygun devlet politikaları sonucunda yenilenebilir enerji kullanımı da artmıştır. Hidroelektrik güç en büyük yenilenebilir enerjidir.

Nükleer ve yenilenebilir enerjilerin katkılarına rağmen dünya hala fosil enerji çağında bulunmaktadır. Fosil yakıtlar – kömür, petrol ve doğal gaz – birincil enerji kaynaklarıdır. Elektrik üretiminde kömür egemendir, petrol taşıma yakıtları üzerinde neredeyse tekeldir, ve doğal gaz, gelişmekte olan ülkelerde kışın ısıtma için kullanılan en yaygın yakıttır.



Şekil 1.4. Dünya Enerji Kaynakları [4]



Şekil 1.5. Dünya Elektrik Üretimi [4]

Rüzgar enerjisinin bu kadar popüler olmasının sebepleri, ucuz, bol ve tükenmez bir enerji kaynağı olmasıdır. 1980'lerde rüzgar enerjisinin kWh maliyeti 38 cent iken günümüzde bu rakam 4 cent civarlarına düşmüştür. Yapılan tahminlerde bu rakam 2010 yılında 2.6 cent, 2020'de ise 2.1 cent'e kadar düşmesi tahmin edilmektedir.

Enerji yatırımlarında toplam proje maliyeti hesaplanırken toplumsal maliyetlerin göz önüne alınmıyor olması, geçmişin sorunlu teknolojilerinin gelişmekte olan ülkelere taşınmasının temel nedenidir. Her teknoloji yatırımı için toplumsal maliyetler, doğal çevre ve insan sağlığına yapılan tahribatının ekonomik değeri olarak, toplam yatırım maliyetine eklenmelidir. Örneğin bir kömürlü termik santraldan elektrik üretmenin toplumsal maliyeti ABD doları üzerinden 4 sent /kWh (0.04\$) mertebesindedir.

Her enerji projesi için toplam maliyetler beşikten mezara tüm maliyetleri kapsamalıdır. Örneğin, DECON senaryosuna göre, ABD'de son zamanlarda kapatılan Maine Yankee Nükleer Güç Santralının sökülmesinin maliyeti 2 Milyar Dolardır. Aynı santralin 1972 yılındaki yatırım maliyet 231 Milyon Dolardır (Tabiki bugün için aynı Nükleer Güç Santralının kurulum maliyeti göz önüne alınmalıdır.)

Avrupa Birliđine üye ülkeler, yenilenebilir enerji kaynaklarının faydalarını göz önünde bulundurarak, enterkonnekte şebekeye bağlı yenilenebilir enerji kaynaklarının önünü açmak için çalışmalar yaptılar. Bu kararın uygulanmasıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının Avrupa Birliği enerji güvenilirliğindeki artışta stratejik rolü olduğu görüldü. Ayrıca yerel ve bölgesel ekonomiye yarar sağladığı görüldü.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişimi, çeşitli politikaların ve çalışmaların sonucunda başarılmıştır. Avrupa Birliği'ne üye ülkeler arasında bu politika ve çalışmalarda farklılık olsa da genelde uygulanan politika ve çalışmalar şunlardır:

- Yenilenebilir enerji kaynaklarının teknolojik gelişimi için yapılan ARGE masraflarına devlet yardımları.
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının yayılmasını kolaylaştırmak için hükümet teşvikleri.
- Kredilerde ve vergilerde indirim.
- Arazi sağlanmasında kolaylıklar.

Tablo 1.1. Dünyada Rüzgar Enerjisi Üreten Ülkeler [12]

ÜLKE	2005 başı Toplam Kurulu Güç (MW)
Almanya	16.628.8
İspanya	8.263.0
Usa	6.740.0
Danimarka	3.117.0
Hindistan	2.985.0
İtalya	1.125.0
Hollanda	1.078.0
Japonya	940
İngiltere	900
Çin	764.0
Avustralya	606.0
Yunanistan	468
İsveç	442
Belçika	95.0
Ukrayna	68.6
Brezilya	23.8
Türkiye	20.1
Tunus	19
Rusya	10.8
Romanya	1.0
Bulgaristan	1.0
Toplam	47.864

Uluslararası enerji kurumu (IEA) istatistiğine göre Avrupa'da üç ülke, Almanya, İspanya ve Danimarka öne çıkmaktadır. Avrupa Birliği'nin 2010 yılındaki hedefi 75GW'lık gücün rüzgar yoluyla üretilmesidir. 2020 yılındaki hedefse 175 GW güçtür.

Rüzgar türbinleri en az 20 yıl ömür için dizayn edilmiştir. Bazı parçaları (örn: fren aksamı,akü..) her iki üç senede, daha önemli ve pahalı parça olan dişli sistemi ömrünü yarıladağında değiştirilmelidir.

1.3. Türkiye’de Rüzgar Enerjisi Durumu

Türkiye’nin hızlı nüfus artışı ve sanayileşmesine paralel olarak enerjiye olan ihtiyacı artmaktadır. Ülkemizde en büyük pay dışa bağımlı olduğumuz fosil yakıtlara aittir.

Türkiye, yenilenebilir enerji kaynakları bakımından oldukça iyi durumdadır. Türkiye’nin toplam rüzgar enerjisi potansiyeli 40.000 ile 80.000 MW düzeyindedir. Devlet Meteoroloji İşleri istasyonlarının verilerine göre, Türkiye’nin yıllık ortalama rüzgar hızının on metre yükseklikte 2.54 m/s ve rüzgar gücü yoğunluğunun 24W/m² olduğu belirlenmiştir. Türkiye’nin rüzgar enerjisi potansiyeli bölgelere göre değerlendirildiğinde, Marmara ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinin rüzgar gücü yoğunluğu bakımından diğer bölgelere göre daha zengin olduğu görülmektedir (tablo 1.2).

Tablo 1.2. Türkiye’de Bölgesel Rüzgar Verileri [12]

Bölge Adı	Ortalama Rüzgar Gücü Yoğunluğu (W/m ²)	Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)
Marmara	21.36	3.29
Güneydoğu Anadolu	29.33	2.69
Ege	23.47	2.65
Akdeniz	21.36	2.45
Karadeniz	21.31	2.38
İç Anadolu	20.14	2.46
Doğu Anadolu	13.19	2.12

Türkiye fosil yakıtların yakılmasından kaynaklanan sera gazı emisyonlarını sınırlandırmak üzere Birleşmiş Milletler tarafından Cumhurbaşkanımızın katıldığı Rio Zirvesinde imzaya açılan İklim Değişikliği Konvansiyonu Çerçeve Anlaşmasını bu güne kadar imzalamamıştır. Türkiye'nin anlaşmaya taraf olmadığı için aktif olarak katılmadığı Rio, Kyoto, Buenos Aires ve Bonn toplantılarında oluşan kararlar, halen fosil yakıtlara olan bağımlılığımız ile birleşince, Türk ekonomisini olumsuz etkileyecek kısıt ve yaptırımlar ortaya çıkabilecektir. Fosil yakıtların (kömür, akaryakıt ve doğal gaz) kullanımını içeren herhangi bir enerji yatırımı BM İklim Değişimi Çerçeve Anlaşması taslaklarını bugün için olmasa da gelecek yıllar için göz önünde bulundurmalıdır.

Türkiye'de Marmara, Ege, ve Akdeniz kıyıları, dünyada rüzgar gücü potansiyeli bakımından ilk %30'luk alana girmektedir. Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından yapılan çalışmalara göre, ülke genelinde süreklilik ve yoğunluk veren açısından ümit veren yöreler Tablo 1.3'de verilmiştir.

Ticari amaçlı ilk rüzgar santrali olan Çeşme'nin Germiyan Köy'ünde kurulmuş otoprodüktör statüsündeki 1.5MW kurulu gücündeki santral, yılda yaklaşık 5.000.000kWh enerji üreterek çevre bölgede yaşayan beş bin kişinin elektrik ihtiyacını karşılamaktadır. Diğer kurulu santraller Tablo 1.4'de verilmiştir.

Tablo 1.3. Türkiye’de Rüzgar Enerjisi Üretim Açısından Verimli Yerler [12]

Yerleşim	Ortalama Rüzgar Gücü Yoğunluğu (W/m ²)	Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)
Bandırma	152.6	5.0
Antakya	108.9	4.4
Kumköy	82	4.0
Mardin	81.4	4.0
Sinop	77.9	3.9
Gökçeada	74.5	3.9
Çorlu	72.3	3.8
Çanakkale	71.2	3.8

Tablo 1.4. Türkiye’de Mevcut Rüzgar Santralleri ve Kapasiteleri [12]

Projenin Adı	Yer	Bölge	İşletmeye Başlangıcı	Türbin Kapasitesi	Türbin Sayısı	Kurulu Güç	Rotor Çapı
Çeşme Germiyan	İzmir Çeşme	Ege	Şubat 1998	500	3	1.5MW	40.3m
Çeşme Alaçatı	İzmir Alaçatı	Ege	Kasım 1998	600	12	7.2MW	44m
Bozcaada	Çanakkale Bozcaada	Marmara	Temmuz 2000	600	17	10.2mw	44m
İstanbul	Hadımköy İstanbul	Marmara	2003	600	2	1.2mw	44m
Toplam:					34	20.1mw	

Yapılan fizibilite çalışmaları, Türkiye'nin özellikle Marmara ve Ege Bölge'lerinin rüzgar enerji dönüşüm sistemleri için uygun olduğunu göstermiştir. Elektrik sarfiyatının en yüksek olduğu bölgelerin Marmara ve Ege olduğu göz önüne alınırsa buralarda kurulacak olan rüzgar türbinleriyle elektriğin iletimi sırasında ortaya çıkacak kayıplarında azalacağı açıktır.

Çeşitli firmalar rüzgar hızının yeterli olduğu yerlerde, enterkonnekte sisteme bağlı rüzgar enerjisi projelerinin ön fizibilite çalışmalarına devam etmektedir.

Bugüne kadar ETKB tarafından değerlendirilen 39 adet Rüzgar Çiftliği projesi bulunmaktadır. Bu projelerin toplam kapasitesi 1370 ila 1440 MW 'dır. Bu 39 projenin, 215 MW'lık kapasiteye sahip 8 tanesinin yatırımcılarla yapılan görüşmeleri sonuçlandırılmıştır.

Tablo 1.5. Türkiye'de Kurulma Hazırlıkları Sürdürülen Rüzgar Santralleri [18]

Projenin Adı	Başvuran Firma	Yeri	Gücü
Çeşme Alaçatı Rüzgar Santrali	ARES A.Ş.	İzmir-Çeşme Alaçatı	7.2 MW
Kocadağ Rüzgar Santrali	AS MAKİNSAN	İzmir-Çeşme Kocadağ	50.4 MW
Çanakkale Rüzgar Santrali	AS MAKİNSAN	Çanakkale	30 MW
Bozcaada Rüzgar Santrali	DEMİRER HOLDING	Çanakkale Bozcaada	10.2 MW
Mazıdağı Rüzgar Santrali	DEMİRER HOLDING	İzmir-Çeşme Alaçatı	39 MW
İntepe Rüzgar Santrali	INTERWIND	Çanakkale-İntepe	30 MW
Datça Rüzgar Santrali	DEMİRER HOLDING	Datça-Muğla	28.8 MW
Datça Rüzgar Santrali	ATLANTIS TİCARET	Muğla-Datça	12.54 MW
Yalıkavak Rüzgar Santrali	ATLANTIS TİCARET	Muğla-Bodrum Yalıkavak	7.92 MW
Yenişakran Rüzgar Santrali	YAPISAN İNŞAAT LTD.	Aliğa-Bahçedere	54 MW
Ekinli Rüzgar Santrali	DERYALAR LTD.	Karacabey-Bandırma	39.6 MW

Tablo 1.5 Devam

Bandırma Rüzgar Santrali	ATLANTİS TİCARET	Balıkesir-Bandırma	15 MW
Çeşme Rüzgar Santrali	PROKON	İzmir-Çeşme	12 MW
Akhisar Rüzgar Santrali	AK-EN (SASAŞ İNŞAAT)	Manisa-Akhisar	12 MW
Akhisar Rüzgar Santrali	DEMİRER HOLDİNG	Manisa-Akhisar	30 MW
Beyoba Rüzgar Santrali	ATLANTİS TİCARET	Manisa-Akhisar (Beyoba)	7.92 MW
Karaburun Rüzgar Santrali	ATLANTİS TİCARET	İzmir-Karaburun	22.5 MW
Hacıömerli Rüzgar Santrali	DEMİRER HOLDİNG	İzmir-Hacıömerli	45 MW
Kocadağ Rüzgar Santrali	MAGE A.Ş.	İzmir-Çeşme (KOCADAĞ)	26.25 MW
Gökçeada Rüzgar Santrali	SİMELKO	Çanakkale-Gökçeada	5 MW
Yaylaköy Rüzgar Santrali	MAGE A.Ş.	İzmir-Karaburun	15 MW
Lapseki Rüzgar Santrali	ATLANTİS TİCARET	Çanakkale-Lapseki	15 MW
Şenköy Rüzgar Santrali	AKFİRAT A.Ş.	Hatay-Şenköy	12 MW
Belen Rüzgar Santrali	TEKNİK TİCARET	Belen-Hatay	20-30 MW
Kumkale Rüzgar Santrali	DEMİRER HOLDİNG	Çanakkale-Kumkale	12.6 MW
Mazıdağı-2 Rüzgar Santrali	DEMİRER HOLDİNG	İzmir-Çeşme	90 MW
Mazıdağı-3 Rüzgar Santrali	YAPISAN LTD.	İzmir-Çeşme	39.6 MW
Kapıdağ Rüzgar Santrali	AS MAKİNSAN	Erdek-Balıkesir	20-35 MW
Karabiga Rüzgar Santrali	AS MAKİNSAN	Karabiga-Çanakkale	15-50 MW
Yellice Belen Rüzgar Santrali	AS MAKİNSAN	Yellice-Belen Karaburun	70-100 MW
Zeytinbağ Rüzgar Santrali	Deryalar LTD.	Bursa-Zeytinbağ	30-60 MW
ÇERES Rüzgar Santrali	INTERWIND LTD.	Çeşme	18-25.5 MW
Taştepe Rüzgar Santrali	FORA A.Ş.	Taştepe-Bandırma	37.8 MW
Kocaali Rüzgar Santrali	DERİN LTD.	Tekirdağ-Şarköy	31.2 MW
Topdağ Rüzgar Santrali	DERİN LTD.	Sinop	33 MW
Paşalimanı Rüzgar Santrali	AS MAKİNSAN	Kapıdağ-Marmara	9 MW
Seyitali Rüzgar Santrali	DERİN LTD.	Aliağa	51 MW
Güzelyer Rüzgar Santrali	ENDA Enerji Üretim A.Ş.	Çeşme	50.4 MW

BÖLÜM 2. RÜZGAR ENERJİSİ

2.1. Rüzgarın Oluşumu

Rüzgar enerjisi, güneş enerjisinin çevrime uğramış şeklidir. Güneş enerjisinin karaları, denizleri ve atmosferi her yerde özdeş ısıtmaması nedeniyle oluşan sıcaklık ve basınç farkları, rüzgarları oluşturmaktadır. Rüzgar yüksek basınç alanından, alçak basınç alanına yer değiştiren havanın, dünya yüzeyine göre bağıl olarak yaptığı hareketlerdir.

Ekvator bölgesi Dünya'nın diğer yerlerine 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.

Rüzgar, 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. Tablo 2.2'de verilmiş olan hakim rüzgar yönleri Coriolis Kuvveti'nin bir sonucudur [3]. Bu rüzgar yönleri rüzgar türbinlerine yer seçimi açısından önemlidir. Çünkü, rüzgar türbinlerinin bu rüzgar yönlerinde engeli az olan alanlara kurulması istenir.

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

2.2. Rüzgarın Türleri

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

2.2.1. Yerel rüzgarlar

Bu rüzgarlar belli bir alanda baskın rüzgarı belirlemede önemlidir. Yerel rüzgarlar büyük ölçekli rüzgarlara katkıda bulunurlar. Büyük ölçekli rüzgarlar zayıf olduğunda yerel rüzgarlar, bu rüzgarın şeklini belirlerler.

2.2.2. 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.

2.2.3. 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 rüzgarlar deniz meltemine göre daha az şiddetlidir. Çünkü geceleyin kara ve deniz sıcaklıkları birbirine daha yakındır.

2.2.4. Geostrofik rüzgar

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

2.3. Weibull Dağılımı

Rüzgar enerjisinin frekans dağılımına en uygun istatistiksel dağılımının Weibull dağılımı olduğu başta Justus (1978) ve Lyons tarafından ifade edilmiştir. Rüzgar hız değerlerinin hakim yön ve şiddetlerinin bulunması, bu dağılımın kullanılmasının esas sebepleri arasında yer almaktadır. Rüzgarın belli bir periyotta değişimi ve dağılımı, hem enerji üretimi değerlendirmelerinde hem de rüzgar endüstrisinde çok önemlidir. Türbin tasarımcıları, türbin iyileştirilmesinde ve maliyetleri en aza indirmede rüzgar dağılımı ve değişimi ile ilgili bilgilere gerek duyarlar. Eğer bir yıl boyunca rüzgar ölçülürse, genel olarak çok şiddetli rüzgarların nadiren, ılımlı ve şiddetli rüzgarların daha çok ortaya çıktığı görülür. Bir site için rüzgar dağılımı ya ölçülerek, ya da ölçümlere dayalı değişik nokta ve yüksekliklerde Weibull dağılımı ile belirlenir[16]. Weibull dağılımı eğrisi simetrik değil çarpıktır. Bu eğriyi oluşturan her bir hız frekansları, ortalama hızın bulunmasını da sağlar. Buna göre Weibull dağılımı;

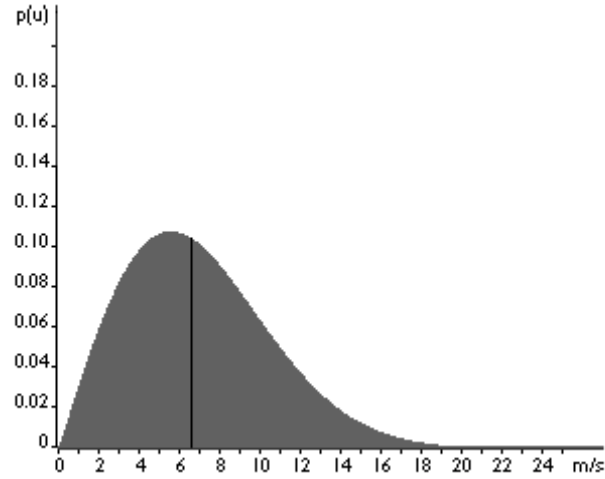
$$P(V) = \left[\frac{k}{c} \right] \left[\frac{V}{c} \right]^{k-1} e^{-\left[\frac{V}{c} \right]^k}$$

şeklinde ifade edilir.

V : rüzgar hızı (m/s)

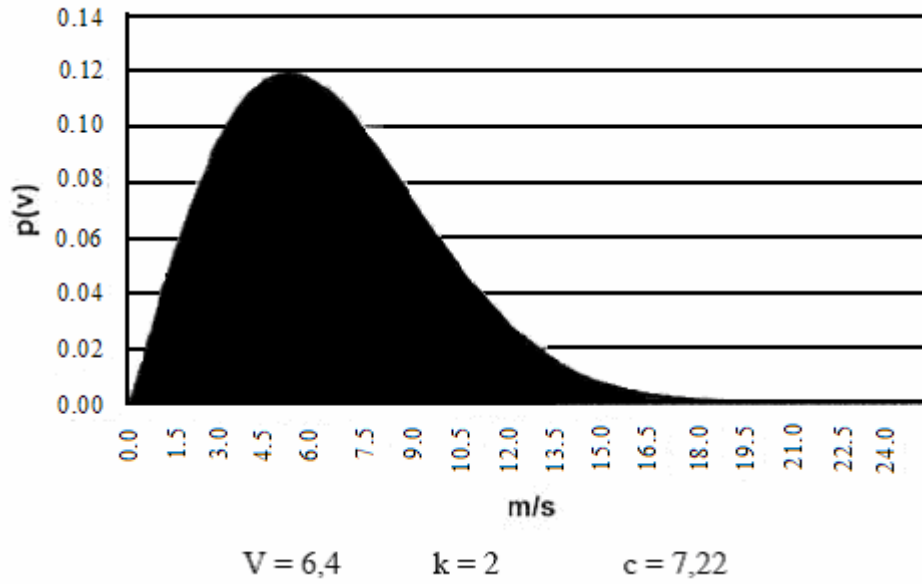
c : ölçek değişkeni (m/s)

k : şekil değişkeni



Şekil 2.1. Weibull dağılımı [16]

Şekil 2.7’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. Rüzgar türbini üreticileri, makinelerinin standart performans diyagramını Rayleigh dağılımını kullanarak verirler. Bunun nedeni, değişik yerlerdeki rüzgar dağılımlarının bilinmemesidir. Şekil 2.2’de Bozcaada için Rayleigh dağılımı verilmiştir.

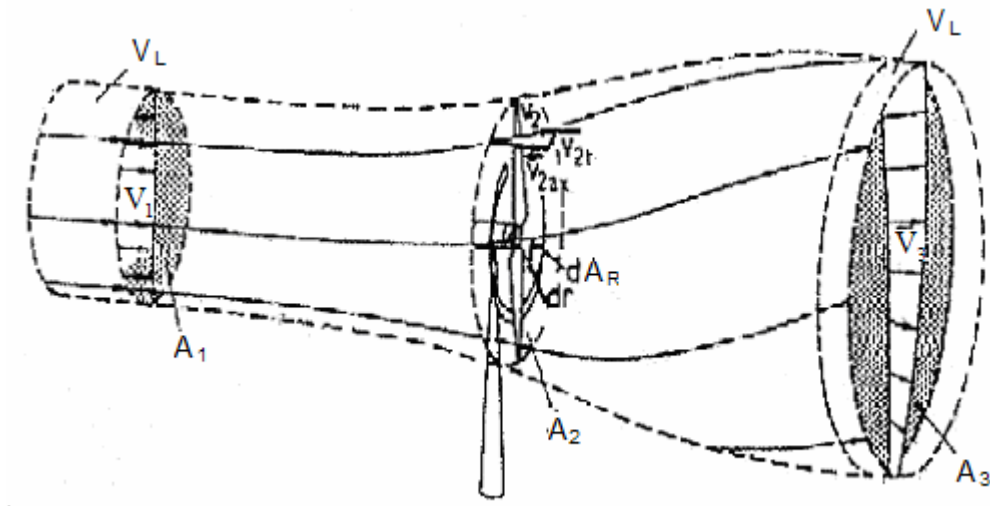


Şekil 2.2. Bozcaada için Rayleigh dağılımı

2.4. Rüzgardan Elde Edilebilecek Elektrik Gücünün Hesabı

Rüzgar türbinin rotoru hava akımındaki enerjiyi absorbe eder ve bu da rüzgarın hızına bir etkide bulunur. Bir rüzgar türbini tesis etmeden önce seçilen yörenin rüzgar enerjisi potansiyelinin ve buna ait teorik hesapların yapılması gerekir. Şekil 2.3’de havanın rotor çevresindeki akışı verilmiştir. Rotoru terk eden havanın hızı azalır ve teğetsel olarak da yönünde bir sapma olur.

Rüzgar gücünün hesabında kinetik enerji formülü temel alınır. Türbine giren rüzgarın enerjisi ile çıkan rüzgarın enerjisi arasındaki fark elde edilen enerjiyi verir.



Şekil 2.3. Havanın Rotor Çevresindeki Akışı [6]

$$W_w = V_a \frac{\rho}{2} (V_1^2 - V_3^2)$$

ρ : Birim hacim için havanın yoğunluğu

V_1 : Türbine giren rüzgarın hızı

V_3 : Türbinden çıkan rüzgarın hızı

V_a : Hava hacmi elemanı

Rüzgar türbininin gücü şu şekilde ifade edilir:

$$P_w = \frac{dW_w}{dt} = d \left[\frac{V_a \frac{\rho}{2} (V_1^2 - V_3^2)}{dt} \right]$$

Türbinin rotorundan geçen hava hacminin akışı ise

$$\frac{dV_a}{dt} = A_R V_2$$

şeklinde ifade edilir.

Yarı kararlı halde güç:

$$P_W = A_R \frac{\rho}{2} (V_1^2 - V_3^2) V_2$$

Güç absorpsiyonu ve türbinin işletme koşullarını efektif alan A_R , rüzgar hızı ve bu değerlerde oluşan değişiklikler belirler. Rüzgar türbininden elde edilecek maksimum güç Betz tarafından aşağıda verildiği gibi ifade edilmiştir.

$$P_{W_{MAX}} = \frac{16}{27} A_R \frac{\rho}{2} V_1^3$$

Rotordan geçen havanın ortalama hızının, türbine giren rüzgarın hızı ile türbinden çıkan rüzgarın hızının ortalaması olduğunu varsayalım. Bu durumda rotordan geçen havanın kütlesi;

$$m = \rho A \frac{(V_1 + V_3)}{2}$$

olarak elde edilir.

Newton'un ikinci kanununa göre rotor tarafından elde edilen güç

$$P = \frac{1}{2} m (V_1^2 - V_3^2)$$

$$P = \frac{\rho}{4} (V_1^2 - V_3^2) (V_1 + V_3) A$$

Rotorun rüzgarı engellemediği varsayarak aynı alandan geçen havanın gücü;

$$P_0 = \frac{\rho}{2} V_1^3 A$$

P ile P₀ arasındaki oranına verim katsayısı denir.

$$C_p = \frac{P}{P_0} = \frac{\frac{\rho}{4}(V_1^2 - V_3^2)(V_1 + V_3)A}{\frac{\rho}{2}V_1^3 A}$$

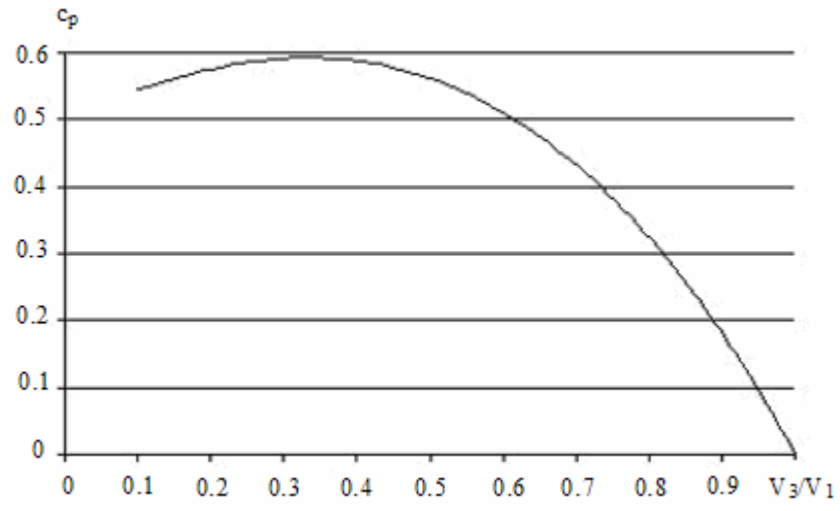
$$C_p = \frac{1}{2} \left(1 - \left(\frac{V_3}{V_1} \right)^2 \right) \left(1 + \frac{V_3}{V_1} \right)$$

C_p 'nin $\frac{V_3}{V_1}$ in fonksiyonu olarak çizilmiş eğrisi şekil 2.4'de verilmiştir. Eğriden de

görülebileceği gibi fonksiyon maksimuma $\frac{V_3}{V_1} = \frac{1}{3}$ değerinde ulaşmaktadır. Elde

edilecek maksimum güç ise toplam rüzgar gücünün 0.593 'ü veya $\frac{16}{27}$ 'sidir. Yani bir

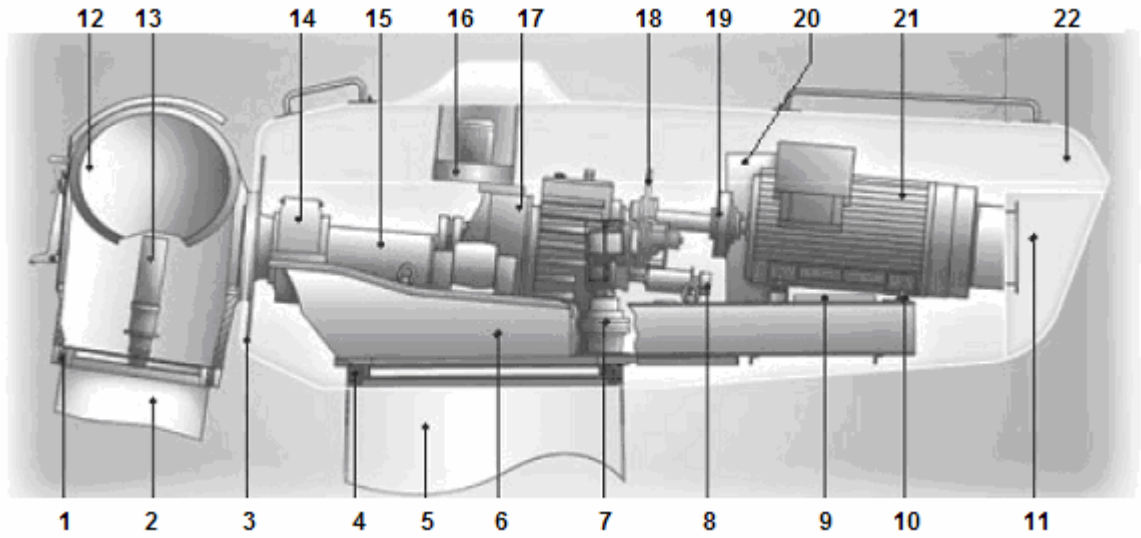
rüzgar türbininde verim katsayısının alabileceği maksimum değer 0.593 'tür. Verim katsayısının pratikte alabileceği değerler ise 0.10 ile 0.45 arasında değişir.



Şekil 2.4. C_p 'nin V_3/V_1 'in fonksiyonu olarak çizilmiş eğri [16]

BÖLÜM 3. RÜZGAR TÜRBİNLERİ

3.1. Türbinin İç Yapısı



Şekil 3.1. Rüzgar Türbini İç Yapısı [8]

- | | |
|-------------------|----------------------------------|
| 1- Kanat Yatağı | 12- Rotor Göbeği |
| 2- Kanat | 13- Kanat Açısı (pitch) Sürücüsü |
| 3- Rotor Kilidi | 14- Yatak Engelleyicisi |
| 4- Sapma Yatağı | 15- Rotor Şaftı |
| 5- Kule | 16- Yağ Soğutucusu |
| 6- Ana Gövde | 17- Dişli Sistemi |
| 7- Sapma Sürücüsü | 18- Fren |
| 8- Transmitter | 19- Kuplaj Sistemi |
| 9- Akü | 20- Kontrol Panel |
| 10- Ses Yalıtım | 21- Generator |
| 11- Havalandırma | 22- Dış Yüzey |

Rüzgar türbinleri dikey ve yatay olmak üzere ikiye ayrılır. Dikey rüzgar türbinleri daha çok deneysel olup, ticari amaçlı uygulamaları azdır. Günümüzde enerji üretiminde büyük oranda kullanılan sistemler yatay türbin sistemlerdir. Böyle bir türbin sistemi şekil 3.1’de görülmektedir. Şekil 3.1deki sistemler.

Kanatlar: Kanatlar, esen rüzgarın uçak kanatlarında yarattığı kaldırma kuvveti prensibine göre çalışırlar. Bu şekilde dönen sistemler rüzgar enerjisini rotora aktarırlar. Modern megawatt boyutlu sistemlerde bu kanat boyutları 35 metreden büyük olabilir.

Rotor: Kanatlar ve kanatları birleştiren merkez, rotor olarak adlandırılır. Geçmişte farklı sayıda kanatlı sistemler denenmişse de günümüzde 2 kanatlı veya 3 kanatlı sistemler kullanılmaktadır. Sistemin merkezi rotor şaftına bağlıdır.

Kanat açısı sürücüsü: Rüzgar hızının elektrik üretmek için çok düşük veya çok yüksek olduğu zamanlarda veya rüzgar hızı değiştiğinde, rotorun dönmesini engellemek için, rotor kanatlarının rüzgara karşı gelen açıları değiştirilerek rüzgarın oluşturduğu kaldırma kuvvetinin değiştirilmesiyle bir hız kontrolü yapılmış olur.

Sapma sürücüsü: Sapma sürücüsü, rüzgarın yönü değiştikçe rotoru döndürerek, sistemin rüzgara karşı durmasını sağlar. Sapma motoru tarafından hareket ettirilir. Dönüş yönü ve miktarı, rüzgar kanatçığında alınan bilgiler ile kontrol sistemi tarafından hesaplanır.

Rotor Şaftı: Bu şaft rotoru dişli sisteme veya doğrudan tahrikli sistemlerde generatöre bağlar.

Fren: Acil durumlarda rotoru durdurmaya yarar.

Dişli Sistemi: Dönüş hızı yüksek generatörler için geçerlidir. Pahalı ve ağır bir sistemdir.

Generatör: Asenkron ve senkron generatör olabilir.

3.2. Elektrik Generatörleri

Rüzgar türbini generatörleri mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirirler. Rüzgar türbini generatörleri diğer tip generatörler göre biraz farklıdır. Bunun ilk sebebi, generatörün salınımlı güç üreten rüzgar türbini rotoruyla birlikte çalışmasıdır[7].

100 veya 150 Kw üstündeki büyük rüzgar türbinlerinde üretilen gerilim üç fazlı alternatif olup, genellikle 690 V değerindedir. Daha sonra akım rüzgar türbinin yanına ve kulenin içine monte edilmiş transformatörlere yollanır ve mahalli şebekeye bağlı olarak bu transformatör yardımıyla voltaj 10.000V veya 30.000 V arasında bir değere yükseltilir. Büyük üreticiler hem 50 hz hem de 60 hz şebekeler için türbinler üretmektedir.



Şekil 3.2. Elektrik Generatörü

Rüzgar türbinleri ya senkron ve ya asenkron generatörle çalışabilecek şekilde dizayn edilirler. Bu yapılırken generatör şebekeye direk veya endirek olarak bağlanabilir. Direk bağlanması demek; Generatör elektrik şebekesine arada hiçbir aracı olmadan bağlanır. Endirek ballanması demek ise; Türbinden akınım şebekeye uyarlayacak olan elektrik cihazları boyunca akıp şebekeye ulaşmasıdır

Aşağıda belirtilen üç tip generatör rüzgar türbinlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bunlar;

- Doğru Akım Generatörleri
- Senkron Generatörleri
- Asenkron Generatörler

Küçük güç sistemlerinde eskiden daha fazla kullanılan doğru akım generatörleri şimdi senkron veya asenkron generatörlerle değiştirilmektedirler Bu generatörler, çok pahalı olmayan doğrultmaçlar yardımıyla kolayca doğru akıma dönüştürülebilen alternatif akım üretirler.

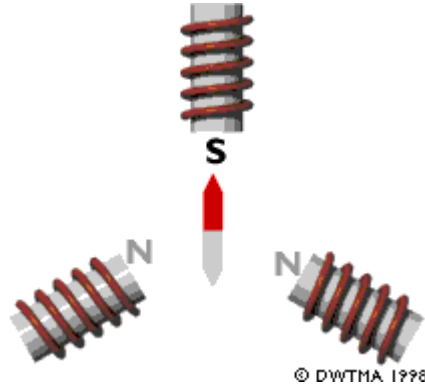
Günümüzde kullanılan doğru akım makineleri ise kalıcı magnetler içerirler. Rotor kalıcı magnetik kutuplar içerir ve stator de alternatif akım üretir Alternatif akım daha sonra doğrultucular yardımıyla doğrultulur. Bu tip makineler komutatör ve fırçalar kullanmazlar böylece makinaların güvenilirliği arttırılmış olur.

Kalıcı magnetli DC makineler küçük türbinlerle kullanılırlar. Bunun sebebi magnet kapasitesindeki sınırlamalardır. Fırçasız DC makinalarının 100 kW altında anma gücünde üretilebildiği bilinmelidir.

3.2.1. Senkron generatörler

Dünya üzerinde tüketilen elektrik enerjisinin büyük çoğunluğu senkron generatörler yardımıyla üretilir.[7]

Bunlara senkron generatör elenmesinin sebebi ortadaki magnetin (Şekil 3.2) magnetik alanın dönüşü ile senkronize olup sabit hızla dönmesidir



Şekil 3.3. Senkron Generatör

Bu tip makineler sabit frekansa bağlı olarak sabit hızda çalışırlar. Bu sebepten ötürü rüzgar santrallerinde değişken hızlı işletimler için pek uygun değildirler. Buna ilaveten, senkron makine rotor alanını uyarabilmek için doğru akıma gereksinim duyar. Bu da karbon fırçalarına ihtiyaç duyulması demektir. Doğru akım ve fırça gereksinimi reluktans motorunun kullanımı ile elimine edilebilir ve böylece güvenilirlik de artırılırken maliyet de azaltılır. Fakat bu tip makineler sadece onlu kW'lı güçlere sahiptirler.

Senkron makinaların sabit hızlı örnek olarak solar güç santrallerinde kullanılması daha doğrudur.

İndüksiyon makinelerinin aksine, senkron makineler elektrik şebekelerinde kullanıldığı zaman bazı avantajlara sahiptirler.

Şebekeden reaktif güç ihtiyacı duymazlar. Bu daha kaliteli güç sağlanmasını sağlar. Bu avantajın önemi, rüzgar santrali küçük kapasiteli bir şebekeye uzun ve düşük gerilimli hatlarla bağlandığı zaman daha da ön plana çıkar.

3.2.2. Asenkron (Endüksiyon) generatörler

Yeryüzündeki rüzgar türbinlerinin çoğunluğu alternatif akım üretebilmek için 3 fazlı asenkron ya da bilmen adıyla indüksiyon generatörleri kullanırlar. [7]



Şekil 3.4. Asenkron Genetarör

Bu tip generatörler, rüzgar teknolojisi dışında pek kullanılmazlar. Bu tip generatörlerle ilgili ilginç olan nokta bunların elektrik motoru olarak dizayn edilmeleridir. Dünya elektrik enerjisi tüketiminin yaklaşık 1/3'ü fabrikalarda, pompa istasyonlarında, asansörlerde ve kompresörlerde elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirmek amacıyla indüksiyon makinalarının işletiminde kullanılır.

Bu tip generatörleri seçmenin sebebi bunların oldukça güvenli ve maliyet bakımından uygun olmalarıdır.

3.2.2.1. Kafes yapılı rotorlar

Asenkron generatörleri senkron generatörlerden farklı kılan rotordur. Rotor elektriksel olarak birbirine bağlanmış alüminyum veya bakır barlar içerir. Rotor statorun orta kısmına yerleştirilmiştir. Ve statorda 3 fazlı olarak elektrik şebekesine bağlanır [7].

Bu tip makinaların çalışma prensibi dönen magnetik alan üretilmesidir. Bu dönen magnetik alanın hızına senkron hız adı verilir.

$$N_s = 60.f/p$$

f = stator uyarma frekansı

P= magnetik kutup çiftlerinin sayısı

Senkron hızla dönen stator magnetik alanı aşağıdaki belirlenir. Endüklenen gerilim Faraday elektromagnetik indüksiyon kanununa göre:

$$e = -d\Phi/dt$$

Bu gerilim rotordaki sirkülasyon akımını üretir. Rotor akımının ve stator akısının elektromagnetik kesişimi momenti üretir. Bu momentin genliği aşağıdaki eşitlikle verilir.

$$T = K\Phi I_2 \cos\Phi_2$$

K = sabit

Φ = stator akısı

I_2 = rotor barlarında indüklenen akım

Φ_2 rotor akımı ile gerilimi arasındaki faz açısı

Rotor bu momentin etkisi altında ivmelenecektir.

Eğer rotor sürtünmesiz bir ortamda ve hiçbir mekanik yüke bağlı değilse, rotor sıfır dirençle döner. Bu koşullar altında, rotor, statorla aynı hıza, senkron hıza ulaşacaktır. Bu hızda, rotor hızında indüklenen akım sıfır değerine sahiptir ve hiçbir moment değerine sahip değildir.

Eğer rotor bir mekanik yüke bağlanırsa, rotor yavaşlayacaktır. Sabit ve senkron hızla dönen stator akısı rotor hızına uygun hıza sahip olacaktır. Sonuç olarak, elektromagnetik

olarak endüklenmiş gerilim, akım ve moment rotorda oluşturulur. Oluşturulan moment yükü aynı hızda sürmek için gerekli momente eşit olmalıdır. Eğer rotoru bir rüzgar türbinine bağlarsak ve senkron hızdan daha hızlı sürersek, endüklenen akım ve moment yon değiştirirler. Bu durumda makine, stator çıkışlarına bağlanmış yük için türbinin mekanik enerjisini elektrik enerjisine çeviren bir generatör gibi çalışır. Eğer makine şebekeye bağlı ise, gerekli gücü şebekeye sağlayacaktır.

Bu sebeplen ötürü, indüksiyon makinaları sadece senkron hızın üstündeki hızlarda generatör gibi çalışırlar.

İndüksiyon makinaları stator ve rotor arasında hiçbir elektriksel bağlantıya ihtiyaç duymazlar. Bunların işletimi tamamen elektromagnetik indüksiyona dayanır. Elektriksel kontakların olmaması, ve bunların yapımındaki kolaylık bunları dayanıklı, güvenilir ve düşük maliyetli makinalar yapar.

Bu tip makinaların çalışma prensibi bir trafonun çalışma prensibiyle benzerlikler gösterir.

3.2.2.2. Endüksiyon makinalarının verimi ve soğutması

Endüksiyon makinalarının iç dirençleri R_1 (Stator direnci) , R_2 (Rotor Direnci) stator ve rotordaki kayıpları temsil ederler [7].

Bu sebetlen, R_1 ve R_2 birim olarak temsil edilerek, makinanın verimi aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$\eta = 1 - 2 \cdot (R_1 + R_2)$$

Direnç değerleri Per unit değerlerdir.

Örnek olarak, R_1 ve R_2 %2 değeri için, R_1 ve $R_2 = 0,02$ birim.

$Verim = 1 - 2 \cdot (0.02 + 0.02) = 0.92$, veya %92.

Makinadaki kayıplar yeterli soğutma sağlanarak dışarı atılabilir. Küçük makinalar genellikle hava soğutmalıdır. Nakel içine yerleştirilmiş generatörleri hava ile soğutmak oldukça zordur Su soğutması, hava ile soğutmadan daha etkili olarak, üç şekilde avantajlı olabilir:

- Aynı güçteki makinalar için su soğutmalı olan hava soğutmalıya göre daha hafiftir.
- Su soğutma ses ve vibrasyonları azaltır.
- Bakım gereksinimini de azaltır bu özellikle uzun kulelerin üzerine yerleştirilmiş makinalar da avantajlıdır.

3.2.2.3 Uyarma kapasitesi

Generatör olarak endüksiyon makinalarının bir dezavantajı uyarılma için reaktif güce ihtiyaç duymalarıdır. Uyarma gücü generatör terminallerine bağlanın harici bir kapasite ile sağlanabilir. Generatörün şebekeye bağlanması durumunda reaktif güç, şebekenin diğer ucuna bağlanmış senkron generatörler yardımıyla sağlanır [7].

Şebekenin reaktif güç kapasitesi yeterli olmadığı zaman, gerekli reaktif gücün bir kısmını sağlamak için lokal kapasiteler kullanılabilir

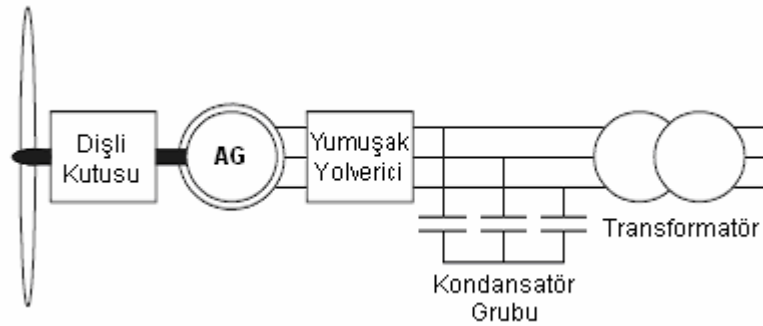
3.3. Rüzgar Türbin Sistemleri

Rüzgar türbinlerinde kullanılan generatörler üç kısımda toplanmaktadır. Bunlardan ilki olan ve Danimarka tasarımı (Danish Concept) olarak ta adlandırılan sabit hızlı rüzgar türbinleridir [5]. Bunun yanı sıra Senkron generatörler ve bilezikli asenkron motorların kullanıldığı rüzgar türbinleri de uygulanmaktadır. Ayrıca çok az sayıda olmakla beraber, küçük güçler içinde doğru akım generatörleri ile doğru akım ve gerilim elde edildiği rüzgar türbinleri de olabilmektedir. Bu türbinler özel bir amaç için üretilmektedir.

İstenilen güç seviyesi, kurulması planlanan rüzgar çiftliğinin konumu ve rüzgarın sürekliliği ile hızı bu üç konsept içerisinde en uygun olanın seçilmesinde önemli rol oynamaktadır.

3.3.1. Sabit Hızlı Ve Asenkron Generatörlü Rüzgar Türbinleri (Danimarka Konsepti)

Şekil 3.5’den görüldüğü gibi sincap kafesli (kısa devre rotorlu) bir asenkron generatör ile bu generatörü döndüren bir rüzgar türbininden oluşmaktadır. Bu sistemde asenkron generatör, ağ şebekeye doğrudan bağlıdır[5].



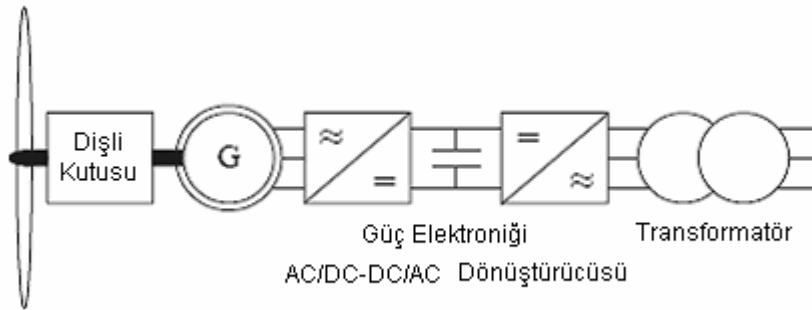
Şekil 3.5 Sabit Hızlı Rüzgar Türbini [11]

Sabit hızlı danimarka konsepti küçük güçler için başarıyla uygulanmaktadır. Türbin ile generatör arasında bir dişli kutusu bulunmakta ve devir sayısı dönüştürülmektedir. Sincap kafesli asenkron makinaların rotorunda sargı olmaması yani bir uyarma devresinin olmaması gerekli reaktif enerjinin dışarıdan sağlanması anlamına gerekir. Generatör çalışma durumunda şebekeye reaktif veremediği gibi ihtiyacı olan bu enerjiyi dışarıdan almak zorundadır. Bu ise terminallerine bağlanan bir paralel kondansatör grubu ile sağlanabilir. Eğer bu yapılmazsa generatör çalışma anında şebekeye aktif güç verirken, şebekeden ters yönde reaktif akış söz konusu olabilmektedir. Rüzgarın değişken hızlı bir kuvvete sahip olduğu düşünülürse değişken rüzgar olan yerlerde sabit hızlı Danimarka konsepti ile üretilen elektrik enerjisinin frekansı da değişebilir. Bunu önlemek için mekanik devrenin performansı ön plana çıkmaktadır. Mekanik devrenin

cevap verme süresi 10 milisaniye ve katları mertebesindedir. Sonuç olarak sabit hızlı sincap kafesli türbin-generatör sistemlerinde rüzgardaki her değişme çıkış gücüne de hızlı ve kuvvetli değişimler yapabilmektedir. Bu amaçla yüksek güç seviyelerinde bu konseptin sakıncaları olabilir. Ayrıca rüzgarın ani değişebildiği alanlar içinde pek uygun değildir. Ancak değişkenliği az rüzgarlarda ve küçük güç aralıklarında tasarım kolaylığı, kontrolü ve ucuzluğu yönüyle tercih edilmektedir.

3.3.2. Değişken Hızlı Direkt Dağlı Senkron Generatörler

Değişken hızlı türbin generatör sistemleri senkron ve asenkron makinaların kullanıldığı sistemlerdir. Senkron generatörlü değişken hızlı generatör sistemlerine ait prensip bağlama şeması Şekil 3.6'da gösterilmektedir [5].

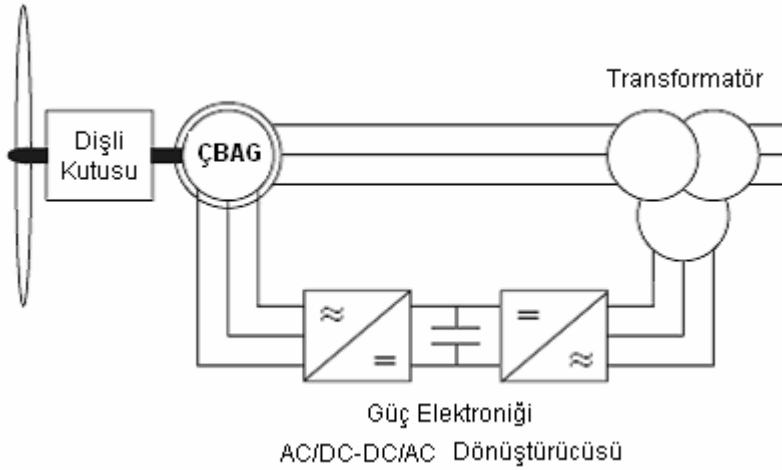


Şekil 3.6 Değişken Hızlı Senkron Generatörlü Türbin Sistemi [11].

Şekilden görüldüğü gibi generatör şebekeye bir güç konvertörü üzerinden bağlanmıştır. Değişken hızın sonucunda çıkış gücü ve frekansın değişken olması sonucu bir doğrultu inverterden oluşan dönüştürücü ile frekans ve gerilim şebeke değerlerine uygun halde tutulmaktadır. Bu dönüştürme işlemi pek kolay değildir. Harmonikler için uygun filtre tasarımı ve tetikleme açılarının uygun ve uyumlu olması gerekmektedir. Ayrıca kullanılan eviricinin generatör anma gücüne göre dizayn edilmesi maliyet açısından sakıncalıdır. Benzer şekilde filtrelerde anma gücünde gerçekleştirileceğinden ek maliyet getirebilir.

3.3.3 Çift Beslemeli Asenkron Generatör Sistemi

Rotoru sargılı olan bilezikli asenkron makinanın generatör olarak kullanıldığı bu uygulama da ise gerek uygun bir denetim sağlanması ve gerekse enerji kalitesinin yüksek olması nedeniyle diğerlerinden avantajlıdır. Şebekeye direkt bağlıdır. Rotor sargılarına aktarılan enerji bir dönüştürücü ile kontrol edilmekte ve uyarma gereksinimi de buradan sağlanmaktadır[5].



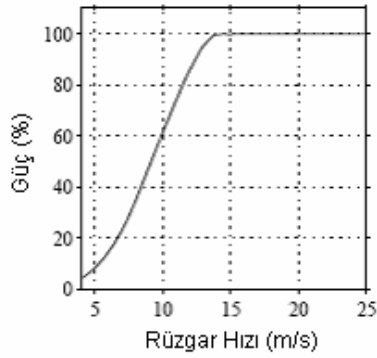
Şekil 3.7 Çift Beslemeli Asenkron Generatör Sistemi [11]

Senkron generatör bağlı sistemdeki bazı sakıncalar bu şekilde giderilmiştir. Örneğin burada kullanılan evirici yapı sadece rotor sargıları için gerektiğinden anma gücünün 4'te 1'i oranında dizayn edilmektedir. Buna ek olarak filtrelerde daha küçük güç için gerçekleştirileceğinden maliyet önemli oranda azalacaktır. Değişken hızlarda düşük maliyetli ve düşük kayıplı türbin gerektirmektedir.

Çift Beslemeli Asenkron Generatör Sistemli Türbin üreticilerinden bazıları şunlardır: DeWind, GEWind Energy, Nordex, and Vestas. [11]

3.4. Rüzgar Türbinlerinde Güç Kontrolü

Rüzgar Türbinleri elektrik enerjisini en ucuza mal edebilecek şekilde dizayn edilmişlerdir. Bu sebepten dolayı rüzgar türbinleri yaklaşık 15m/s rüzgar hızında maksimum çıkış verebilecek şekilde tasarlanırlar. Daha yüksek hızlarda maksimum çıkış üretebilecek şekilde rüzgar tribünleri dizayn etmek mantıklı değildir çünkü daha yüksek hızlar pek sık meydana gelmez. Eğer daha kuvvetli rüzgarlar meydana gelirse rüzgar türbinlerine zarar vermesini önlemek maksadıyla aşırı rüzgarın bir kısmından mahrum olmak gerekmektedir. Bu sebepten dolayı hemen hemen tüm rüzgar türbinleri güç kontrolü içerirler [7].



Şekil 3.8 Rüzgar hızı –güç değişimi. [11]

Günümüzde rüzgar türbinleri pitch değiştirme veya güç elektronik sistemleri kullanılarak değişken hızla çalışabilecek şekilde dizayn edilirler. Buna karşın, küçük türbinler ise basit ve düşük maliyetli güç ve hız kontrol sistemlerini kullanırlar. Hız kontrolü aşağıdaki şekilde olabilir.

Yaw (yönerge) kontrol: Bu metotla, rüzgar hızı dizayn sınırlarını aştığı zaman, rotor aksi rüzgar yönünden ayrılır.

Pitch (değiştirme) kontrol: Rotor hızını düzenlemek için değişen rüzgar hızıyla birlikte pervanenin yönü değiştirilir.

Stall (durdurma): Bu çeşit hız kontrolünde, rüzgar hızı sistemdeki güvenlik limitini aştığı zaman kanatlar durdurulur.

Yaw (yönerge) kontrol: yaw mekanizması rüzgar türbini rotorunu rüzgarın karşısına çevirmek için kullanılır. Eğer rotor rüzgara dik değilse rüzgar türbini için yaw hatasına sahip olduğu söylenebilir. Yaw hatasının anlamı şudur: rüzgar enerjisinin düşük bir kısmı rotor boyunca kullanılmaktadır [7].

Rüzgar kaynağına en yakın olan rotor kısmı rotorun diğer taraflarına göre daha büyük bir kuvvete maruz kalacağından, rotor sağa sola sapma eğilimine girecektir. Bunun anlamı kanatların rotorun her dönüşü için ileri ve geri eğilmesidir. Bu sebepten Yaw hatasıyla çalışan rotorlar rüzgara dik konumda çalışanlara göre daha fazla yorulma yüklerine maruz kalacaklardır.

Stall (durdurma): Rüzgar hızı üzerine kuvvet gösteren pasif bir kontrol sistemidir. Pervane kanatları pitch açısında sabitleşmiştir ve yatay ekseninde dönme yapamazlar [7].

Rüzgar türbinleri pitch açısında sabit rotasyon hızında döndüğünü varsayalım. Rüzgar hızı arttıkça, uç hız oranı azalacaktır ve hücum açısı da artacaktır. Hücum açısı artıp stall açısına geldiğinde stall (durdurma) olayı meydana gelecektir. Bu durum kaldırma kuvvetini düşürürken, sürüklenme kuvvetinde bir artış meydana getirecektir. Stall olayı kanatlarda bütün radyal pozisyonlarda aynı zamanda meydana gelir ve pervane gücü azalır.

Stall kontrollü rüzgar türbinleri, pitch kontrollü türbinlere göre daha basit yapıdadır. Bu mekanizmanın faydaları; basit bir pervane ve kanat yapısına sahip olması, daha az bakım gerektirmesi, güç kontrolünde yüksek verimlilik sağlaması.

Pitch (değiştirme) kontrol: Bu kontrol çeşidi, generatörden girdi işareti bekleyen aktif bir sistemdir. Pitch kontrolü rüzgar türbinlerinde bulunan elektronik aksama bağlı hız kontrol sistemi sayesinde çıkış gücünü saniyede birkaç kez kontrol eder. Güç çıkışı normalden çok yüksekse, hız kontrol sistemi sayesinde pervane pitch mekanizmasına

sinyal göndererek durum bildirir. Gelen bu sinyalden sonr pervane kanatları da yönünü rüzgarın estiği yönden hafifçe çevirerek güç kontrolü yapar. Ters durumda ise, rüzgar hızı azaldığında hız kontrol sinyali göndererek, pervane bu kez rüzgarın estiği yöne doğru eğilir. Bu sistemin avantajları; bütün rüzgarlı durumlarda aktif güç kontrol olanağı sağlanır, daha yüksek enerji üretimi, aşırı rüzgarlarda pervane kanatlarına düşen yüklemeye için pozisyon değişimine olanak sağlaması, kanatların hafif olmasından dolayı daha hafif bit yapıya sahip olması [7].

Tüm bu avantajlarına karşın bu sistemlerde pervanenin acil durumlarda durabilmesi için güçlü fren sistemi gerekmektedir.

BÖLÜM 4. BİLGİSAYAR SİMÜLASYONU

4.1. Giriş

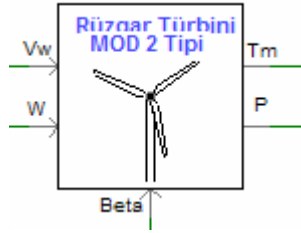
Uygulanan simülasyon programında bir rüzgar türbininin karakteristiği incelenmiş olup bu amaç için PSCAD/EMTDC programı kullanılmıştır [14].

EMTDC yazılımı 1970'lerin ortalarında geliştirilmiş bir geçici hal benzetim yazılımıdır. Geçici hal benzetimleri 1970'lerden günümüze büyük değişim göstermiştir. Bilgisayar sistemlerinin gelişmesi işe birlikte daha gelişmiş benzetimlerin yapılması mümkün hale gelmiştir. EMTDC yazılımının grafik arayüzü olan PSCAD ise 1990'ların başında geliştirildi. Bu simülasyonda EMTDC/PSCAD 4.2 versiyonu kullanılmıştır.

Bu simülasyonda rüzgar türbiniyle çalıştırılan indüksiyon generatörü kullanılmıştır. Bilgisayar benzetim programında sabit mıknatıslı senkron generatör modeli bulunamadığından, senkron generatör uyarması sabit ve dışardan kontrol edilmeyen bir değer olarak seçilmiş ve benzetim bu şekilde yapılmıştır. Yapılan benzetimde benzetim süresi 60 saniye olarak seçilmiştir. Simülasyon pscad programından alınmış ve bazı modifikasyonlar yapılmıştır.

Benzetim 2 durum olarak tasarlanmıştır. İlk durumda sabit 15m/s ile esen rüzgar için sistemin pitch açısı, güçler ve torklar incelenmiştir. İkinci durumda ise 15m/s'de rüzgar eserken, rüzgara artmalar ve azaltmalar verilmiş, değişken rüzgar değerleri için sistemin tepkisi incelenmiştir.

Benzetimdeki elemanların giriş ve çıkış açıklamaları:



Şekil 4.1. Rüzgar Türbini Elemanı

V_w : Rüzgar hızı (m/s)

W : Mekanik Hız (rad/s)

Beta: Pitch Açısı ($^{\circ}$)

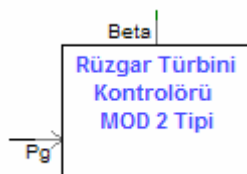
T_m : Türbin çıkış torku (pu)

P : Türbin çıkış gücü (pu)



Şekil 4.2. Rüzgar Kaynağı Elemanı

ES: Harici Rüzgar Hızını simgeleyen harici sinyal (m/s)

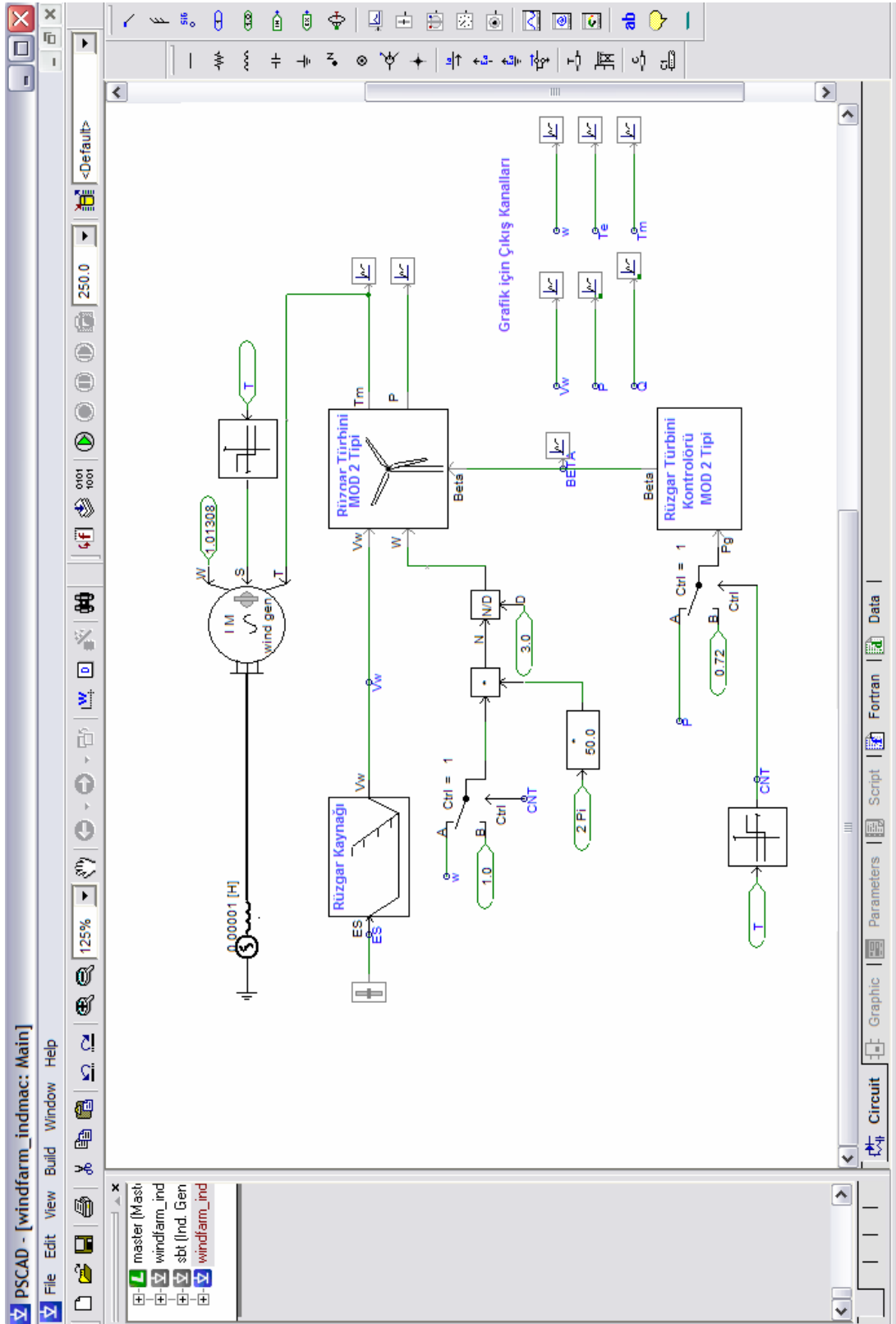


Şekil 4.3. Rüzgar Türbini Kontrolörü Elemanı

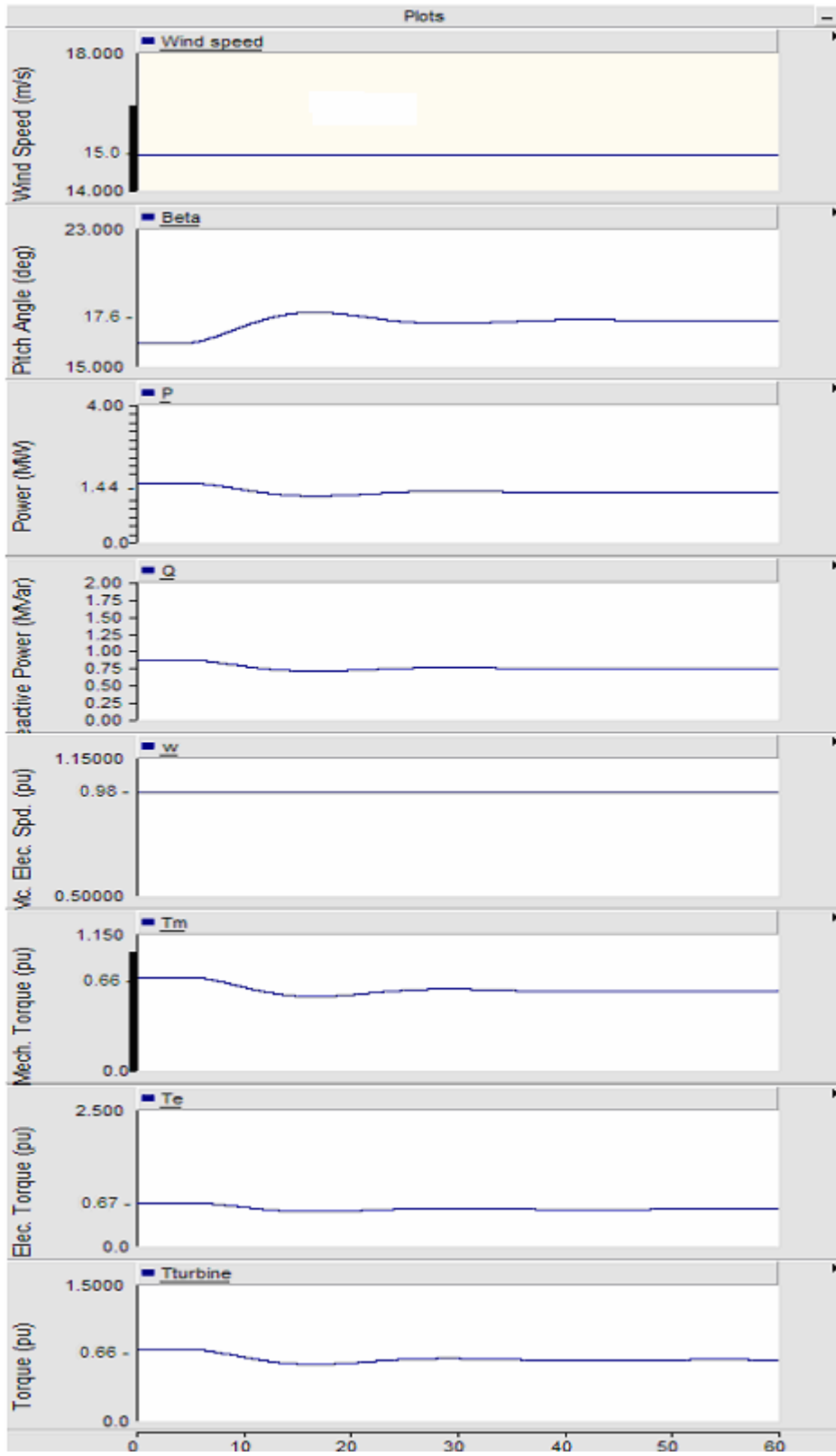
P_g : makinanın çıkış gücü

4.2. Sabit Rüzgar Hızlı Simülasyon.

Rüzgar türbinini tahrik eden sistem normal olarak 15m/s sabit hızla esen bir rüzgar olarak benzetilmiştir. Sistemin başlangıç pitch açısı 16.35 derece olarak verilmiştir. Simülasyon sistemin gereken pitch açısının 15m/s'deki değerini vererek, o açıdaki güçlerin, torkların anlık değerlerini hesaplamaktadır.



Şekil 4.4. Türbinin PSCAD Simülasyonu



Şekil 4.5. 15 m/s Sabit Rüzgar Hızındaki Veriler

4.3. Değişken Rüzgar Hızlı Simülasyon

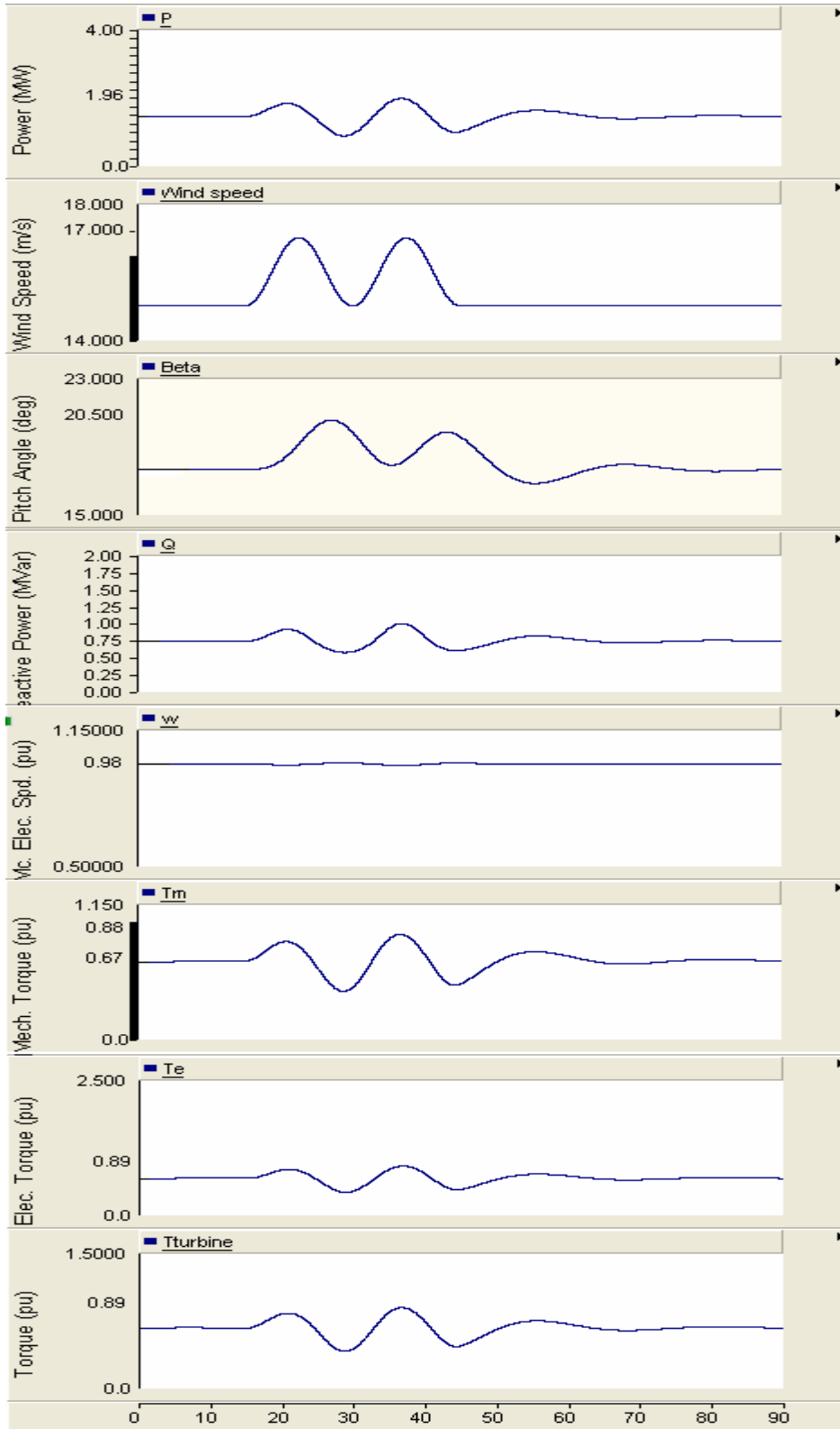
Rüzgar türbinini tahrik eden sistem normal olarak 15m/s sabit hızla eserken rüzgar hızı 15. saniyede artmaya başlamış ve 22.5. saniyede 17m/s'ye yükseltilmiştir. Daha sonra 30. saniyede tekrar 15 m/s'ye çekilmiş ve 37.5. saniyede yine 17 m/s'ye artırılmıştır. En son olarak 45. saniyede ilk hızı olan 15 m/s hızına geri döndürülmüştür.

Bu rüzgar hızı değişiklikleri rüzgar kaynağının iç yapısı değiştirilerek yapılmıştır. Bu da rüzgar kaynağının ana menüsünden ani rüzgar değeri menüsüne girilerek yapılmıştır.



Şekil 4.6. Simülator Rüzgar Kaynağı Menüsü

Değişken rüzgar hızları için gerekli olan pitch açısı rüzgar türbini kontrolörü tarafından hesaplanarak türbin açısı değişmiş ve anlık ürettiği güçler şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Değişken Rüzgar Hızındaki Veriler

4.4. Simülasyon Sonuçları

PSCAD simülasyon programıyla, rüzgar türbininin değişken rüzgar hızlarında vermiş olduğu tepkiler incelenmiştir. PSCAD programının en büyük avantajı özellikleri ve değişik konfigürasyonları rahatlıkla uygulanabilmesiydi. Bu programda kullanıcı kolaylıkla rüzgarın hızını değiştirebilmekte ve ölçümler yapabilmektedir.

Tablo 5.1. Rüzgar Türbininin 25m/s'ye kadar ürettiği güç ve pitch açısı.

Rüzgar Hızı	Güç (kW)	Pitch Açısı(⁰)
1 m/s	0	0
2 m/s	0	0
3 m/s	0	0
4 m/s	0	0
5 m/s	43	0
6 m/s	167	0
7 m/s	365	0
8 m/s	635	0
9 m/s	970	0
10 m/s	1360	0
11 m/s	1440	7.90
12 m/s	1441	11.52
13 m/s	1442	14.01
14 m/s	1440	15.98
15 m/s	1440	17.63
16 m/s	1439	19.07
17 m/s	1440	20.29
18 m/s	1440	21.40
19 m/s	1440	22.38
20 m/s	1440	23.27
21 m/s	1440	24.06
22 m/s	1438	24.76
23 m/s	1438	25.00
24 m/s	1441	25.39
25 m/s	1441	26.34

Öncelikle yapılan benzetimde, rüzgar tribününün 1m/s ile 25 m/s arasında ürettiği güçler incelenmiştir Rüzgar tribününden değişik rüzgar hızlarında elde edilecek güçler tablo 5.1'de verilmiştir. Rüzgar hızı 11m/s'den sonra 1440 kW değerine ulaşır. Rüzgar hızı 11 m/s'yeden arttıkça pitch açısı kontrolüyle üretilen güç 1440 kW değerinde

tutulmaya çalışılmaktadır. Pitch açısı artırılarak rüzgar alma alanı azaltılır ve güç istenilen değerde tutulur. Tribünün güç üretmesi için gereken minimum rüzgar hızı yaklaşık olarak 5m/s'dir.

Sabit Rüzgar Hızlı Simülasyonda 15m/s rüzgar hızı için başlangıç açısının yavaş yavaş 17.6 dereceye oturduğu şekil 4.5'de görülmektedir. Grafiklerden 17.6'lık pitch açısında 1.42MW lık güç üreteceği aşıkardır. Yapılan benzetimin grafiksel sonuçları şekil 4.5'de sunulmuştur.

Değişken Rüzgar Hızlı Simülasyonda rüzgar tribününü tahrik eden sistem normal olarak 15m/s sabit hızla eserken rüzgar hızı 15. saniyede artmaya başlamış ve 22.5. saniyede 17m/s'ye yükseltilmiştir. Rüzgar hızı 17m/s'e ulaştığında pitch açısı da artarak 19.1 derece değerini almakta ve bu anda üretilen güç 1741 kW'dır.

Daha sonra 30. saniyede rüzgar hızı tekrar 15 m/s'ye çekilmiş ve bu andaki pitch açısı 19.81dir. İlk andaki pitch açısı 17.62 dir. İlk anda ve 30. saniyede rüzgar hızı 15m/s ye olmasına rağmen pitch açılarının farklılığından dolayı; 17.62 derece de 1440 kW, 19.81 derecede ise 925 kW güç üretmektedir.

37.5. saniyede yine rüzgar hızı 17 m/s'ye artırılmıştır ve en son olarak 45. saniyede ilk hızı olan 15 m/s hızına geri döndürülmüştür. Pitch açısının değişimine göre üretilen anlık güçler değişik değerler almıştır. 76. saniyede pitch açısı 15m/s'lik rüzgar hızı için gerekli olan 17.6 dereceye oturmaya başlamış ve sabit güç üretmeye başlamıştır.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR

Giderek artan enerji ihtiyacıyla orantılı olarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasında da artış söz konusudur. Ülkemizde de rüzgar enerjisinin kullanımı yönünde projeler hazırlanmakta ve hayata geçirilmeye çalışılmaktadır. Rüzgar enerjisinin bu öneminden yola çıkılarak, rüzgarın oluşumundan, elektrik enerjisine dönüşümüne kadar geçirdiği bütün evreler simülasyonla da desteklenerek bu çalışmada incelenmiştir.

Önümüzdeki 20 yıl içinde elektrik enerjisi talebinin 19 trilyon kWh olması beklenmektedir, Bu da Yıllık % 2,6 büyüme hızına denk gelmektedir.

Amerika Birleşik devletleri dünyanın en büyük elektrik enerjisi tüketici olmasına karşın, enerji artışı bakımında sadece %1,6 lık bir büyümeye tekabül eder ki, bu da ortalama büyüme hızı olan %2,6 nın oldukça gerisindedir [17]. Diğer yandan, gelişen Asya ülkelerinin en hızlı büyüyen kullanıcılar olması beklenmektedir. Elektrik enerjisi talebi arttıkça, kömür özellikle Çin ve Hindistan'da birinci dereceden enerji kaynağı olarak kalmaya devam edecektir. Nükleer enerji payı ise tepe noktasına ulaşmış olup, nükleer enerji payının düşmesi beklenmektedir. Kömür, doğal gaz, ve yenilebilir kaynakların nükleer enerjinin yerini alması beklenmektedir, Oysa yenilebilir kaynakların bu büyümede en büyük payı alması beklenmektedir. Örneğin, İsveç hükümeti ülkenin elektrik enerjisi ihtiyacının %50'sini karşılayan nükleer enerji santrallerini kapatacağını açıkladı. Bu açığı telafi etmek için, hükümet fosil olmayan enerji kaynakları kullanımını desteklemeye başladı. Diğer endüstrileşmiş ülkelerde çevre kirliliğini azaltmak için önlemler almaya başlamışlardır. Amerika çevre koruma derneğine göre, elektrik enerjisi endüstrisi en büyük çevre kirleticidir[13]. Ve bu endüstri ülkedeki kirlenmeye yol açan SO₂'nin %66, NO_x'in %29, CO₂ 'nin %36, ve civanın %21'inden sorumludur[17].

Amerika enerji bakanlığı raporuna göre rüzgar enerjisi düşen üretim maliyetleri sebebiyle, enerji kaynakları içinde en hızlı büyüyen enerji kaynağı olmaktadır. Rüzgar enerjisinin maliyeti kW başına 3 sent e düşmüş olup, tahminlere göre maliyetinin 2010 yılında 2 cente düşmesi beklenmektedir. Rüzgar enerjisi bakımından en büyük beş pazarın, Amerika, Hindistan, Çin, Almanya ve İspanya olması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] SORENSEN P, HANSEN A, CHRISTENSEN P, MIERITZ M, BECH J, JENSEN B, NIELSEN H, Simulation and Verification of Transient Events in Large Wind Power Installations, Roskilde Danmark, 2003
- [2] DUBOIS M.R., BAUER P. , DE HAAN S.W.H, Wind Energy AND Offshore Windparks: State Of The Arts And Trends, Delft University Of Technology. Delft Netherland, 2002
- [3] UYAR, T.S., Dünya Rüzgar Enerjisinin Gelişimi ve Türkiye’de İlk Adımlar, Kaynak Elektrik Dergisi, Sayı 99, 1997
- [4] MEDICI, D. Experimental Studies of Wind Turbine Wakes Power Optimisation and Meandering, Technical Reports from KTH Mechanics , Stockholm, 2005
- [5] GELBERİ, H., Rüzgar Türbinlerinin Dağıtım Şebekelerine Bağlanması Ve Dinamik Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, S.A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Mayıs 2003.
- [6] HEIER, S., Grid Integratiın of Wind Energy Conversion Systems, John Wiley & Sons, 1997
- [7] KIRIM, S., Rüzgar Enerjisi ve Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul 2002
- [8] AHLSTRÖM, A., Simulating Dynamical Behaviour of Wind Power Structures, Royal Institute of Technology Department of Mechanics, Technical Reports, Stockholm Sweden, 2002

- [9] BORAN, D., Doğrudan Tahrikli Rüzgar Türbinlerinin Elektrik Şebekelerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul 2005
- [10] POLAT, U., Rüzgar Santralleri Ve Enerji Sistemlerine Bağlantılarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul 2000
- [11] 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
- [12] www.gyte.edu.tr/enerji/Ruzgarenerji/
- [13] European wind energy association, www.ewea.or
- [14] PSCAD/EMTDC, www.pscad.com
- [15] National Renewable Energy Laboratory, info.nrel.gov
- [16] Danish Wind Industry Association, www.windpower.org, 2003.
- [17] American Wind Energy Association, www.awea.org
- [18] Turk Coğrafya Kurumu, www.tck.org.tr
- [19] World Wind Energy Association, www.wwindea.org
- [20] Elektrik İşleri Etüd Dairesi (www.eie.gov.tr)

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında İstanbul'da doğan ÖMER ERGÜR, ilkokulu İstanbul'da bitirmiştir. 1995 yılında Özel Şener Lisesini bitirmiş ve Sakarya Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünü kazanmıştır. 1999 yılında Sakarya Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliğinden mezun olmuştur. 2000 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bölümleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans Programına kaydolmuştur. 2003 yılında Yeditepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü MBA (Master of Business Administration) programına başlamıştır.