



T.C.
OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan Basri BILDIRÇİN

RÜZGAR TÜRBİN TEKNOLOJİLERİ
VE TÜRKİYE'DE RÜZGAR ENERJİSİ
KAYNAĞININ GENEL DURUMU

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

OSMANIYE – 2018

**T.C.
OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**RÜZGAR TÜRBİN TEKNOLOJİLERİ VE TÜRKİYE'DE
RÜZGAR ENERJİSİ KAYNAĞININ GENEL DURUMU**

Hasan Basri BILDIRÇİN

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**OSMANIYE
AĞUSTOS-2018**

TEZ ONAYI

RÜZGAR TÜRBİN TEKNOLOJİLERİ VE TÜRKİYE’DE RÜZGAR ENERJİSİ KAYNAĞININ GENEL DURUMU

Hasan Basri BILDIRÇİN tarafından Doç. Dr. Yusuf Alper KAPLAN danışmanlığında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Enerji Sistemleri Mühendisliği** Anabilim Dalı’nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği/çokluğu ile **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Yusuf Alper KAPLAN
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

Üye: Doç. Dr. Coşkun ÖZALP
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

Üye: Doç. Dr. Ahmet TEKE
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

Yukarıdaki jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/...../..... tarih ve /..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Coşkun ÖZALP
Enstitü Müdürü, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Bu Çalışma OKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.

Proje No: OKÜBAP-2017-PT3-008

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

(İmza)
Hasan Basri BILDIRÇIN



ÖZET

RÜZGAR TÜRBİN TEKNOLOJİLERİ VE TÜRKİYE'DE RÜZGAR ENERJİSİ KAYNAĞININ GENEL DURUMU

Hasan Basri BILDIRÇİN
Yüksek Lisans, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Yusuf Alper KAPLAN

Ağustos 2018, 56 sayfa

Bu çalışmada Türkiye'nin rüzgar enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım oranları bölgelere göre incelenmiştir. Ayrıca Türkiye'de kurulmuş yapılan rüzgar gücünün küresel değerlerle kıyaslaması yapılmıştır. Türkiye'nin rüzgar enerjisi hedefleri ve bu hedeflerin gerçekleşme durumu değerlendirilmiştir. Türkiye ve Dünyada kullanılan rüzgar türbinlerinin teknik özellikleri hakkında bilgi verilmiştir. Türkiye'de devreye alınan rüzgar türbinlerinin dünya genelinde ve özellikle rüzgar enerji sektörü gelişmiş ülkelerde kurulan türbinlerle karşılaştırması yapılmış ve günümüz rüzgar türbin teknolojileri incelenmiştir. Rüzgar türbinlerinin genel bir sınıflandırması yapılmış, onu oluşturan bileşenlere kısaca değinilmiş ve elektrik üretimi için en önemli ekipman olan jeneratörler incelenmiştir. Günümüz rüzgar türbinlerinde en çok kullanılan jeneratörler olan çift beslemeli asenkron jeneratör ile sabit mıknatıslı senkron jeneratörün teknik ve karakteristik özellikleri hakkında açıklayıcı bilgilere yer verilmiştir. Bu iki jeneratör birbiriyle karşılaştırılmış ve avantajlı özellikleri ortaya konmuştur. Türkiye'de büyük güçlü rüzgar türbini üretimi için en uygun jeneratör çeşidinin hangisi olduğu araştırılmıştır. Son bölümde ise bulgular değerlendirilmiş ve bazı önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar sözcükler: Rüzgar enerjisi, Rüzgar türbini, Sabit mıknatıslı senkron jeneratör, Çift beslemeli asenkron jeneratör

ABSTRACT

RECENT TURBINE TECHNOLOGY AND OVERVIEW OF WIND ENERGY SOURCE IN TURKEY

Hasan Basri BILDIRÇİN
M.Sc., Department of Energy Systems Engineering
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Yusuf Alper KAPLAN

August 2018, 56 pages

In this study, wind energy potential of Turkey and the usage rates of these potentials were examined through regions. In addition, the wind power installed in Turkey is compared with global values. Turkey's wind energy objectives and the realization of these objectives were evaluated. Technical specifications of wind turbines in Turkey and worldwide were informed. Wind turbines engaged in Turkey were compared with worldwide and especially in the countries developed wind energy sector and today's wind turbine technologies were investigated. Wind turbines were classified generally, components were briefly mentioned that composed it and the most significant equipment of generators that generating electricity were investigated. Descriptive informations were illustrated for technical and characteristic features of doubly fed asynchronous generator and permanent magnet synchronous generator which are the mostly used generators in today's wind turbines. These two generators were compared to each other and advantageous features were revealed. It was researched that which the most suitable generator type for production of large scale wind turbine is in Turkey. In the last part, findings were evaluated and some suggestions were proposed.

Key Words: Wind energy, Wind turbine, Permanent magnet synchronous generator, Doubly fed asynchronous generator

Bu çalışmayı Ülkeme ve Milletime ayrıca desteğini hiçbir zaman esirgemeyen çok kıymetli Eşim Hacer, evlatlarım Sevde İkra ve Hasan Basri'ye ithaf ediyorum.



TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitiminde ve tez çalışmalarım süresince değerli bilgi ve tecrübeleriyle katkılarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Yusuf Alper KAPLAN' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayı OKÜBAP-2017-PT3-008 Proje Numarasıyla destekleyen Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Rektörlüğüne ayrıca teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
TEZ BİLDİRİMİ	
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İTHAF SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı.....	3
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
3. RÜZGAR ENERJİSİ.....	8
3.1 Türkiye'nin Rüzgar Enerji Potansiyeli ve Kullanım Durumu.....	8
3.1.1 Türkiye'nin Rüzgar Enerji Potansiyeli ve Bölgelere Göre Dağılımı.....	8
3.1.2 Türkiye'nin Offshore Rüzgar Potansiyeli ve Kullanım Durumu.....	9
3.1.3 Türkiye'de Kurulu Rüzgar Gücü ve Bölgelere Göre Dağılımı.....	10
3.1.4 Türkiye'de Rüzgar Enerjisinin Bölgelere Göre Değerlendirilme Oranları.....	12
3.1.5 Türkiye'de Kurulmakta Olan Rüzgar Gücünün Bölgelere Göre Dağılımı.....	12
3.2 Türkiye Rüzgar Enerjisi Kurulumunun Küresel Değerlerle Kıyaslanması.....	13
3.3 Dünyada ve Türkiye'de Rüzgar Enerji Politikaları.....	16
3.3.1 Türkiye'nin Rüzgar Enerjisi Politikaları.....	16
3.3.2 Avrupa ve Dünyada Rüzgar Enerjisi Politikaları.....	19
3.3.2.1 Almanya.....	19
3.3.2.2 Fransa.....	20
3.3.2.3 Brezilya.....	20
3.3.2.4 Hindistan.....	22
3.3.2.5 Çin.....	24
3.3.2.6 ABD.....	25
4. RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE ELEKTRİK ÜRETİMİ.....	28
4.1 Giriş.....	28
4.2 Rüzgar Türbin Çeşitleri.....	29
4.3 Rüzgar Türbini Bileşenleri.....	32
4.4 Türkiye'de Rüzgar Türbini İmalatı.....	32

4.5	Rüzgar Türbin Kanatlarının İmalatı	33
4.5.1	Vakum İnfüzyon Yöntemiyle Kompozit Kanat İmalatı	34
4.6	Büyük Güçlü Rüzgar Türbinleri ve İleriye Dönük Çalışmalar.....	35
4.7	Jeneratörlerde Verim ve Kayıplar	37
4.8	Rüzgar Türbin Kanatlarının Testleri	38
4.9	Rüzgar Türbinlerinde Kullanılan Jeneratörler.....	39
4.10	Türkiye'de Kurulan Rüzgar Türbinlerinin Teknik Özellikleri.....	40
4.11	Çift Beslemeli Asenkron Jeneratörler	41
4.12	Sabit Mıknatıslı Senkron Jeneratörler	44
4.13	Çift Beslemeli Asenkron Jeneratör ile Sabit Mıknatıslı Senkron Jeneratörün Karşılaştırması	45
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	47
6.	KAYNAKLAR	50
	ÖZGEÇMİŞ	56

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Türkiye, Avrupa ve Dünya Rüzgar Gücü Kurulumları	14
Çizelge 3.2. Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Politikalarını Belirleyen Yasalar	18
Çizelge 3.3. Hindistan'da Uygulanan Feed-in Tariff Bedelleri.....	23
Çizelge 4.1. Dünyanın En Büyük Güçlü Rüzgar Türbinleri	36
Çizelge 4.2. Bazı Üreticilerin Türbinlerinde Kullanılan Jeneratör Tipleri	40
Çizelge 4.3. Türkiye'de İnşa Halindeki Rüzgar Türbinlerinin Teknik Özellikleri.....	41
Çizelge 4.4. ÇBAJ ile SMSJ Avantajlar Tablosu	46



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Türkiye Elektrik Kurulu Gücünün Kaynaklara Göre Dağılımı	2
Şekil 3.1. Türkiye'nin Teknik Rüzgar Enerji Potansiyeli	8
Şekil 3.2. Türkiye'nin Bölgelere Göre Teknik Enerji Potansiyeli	9
Şekil 3.3. Türkiye Kurulu Rüzgar Gücü Kapasitesi	10
Şekil 3.4.a Türkiye Kurulu Rüzgar Gücünün Bölgelere Göre Dağılımı.....	11
Şekil 3.4.b Türkiye Kurulu Rüzgar Gücünün Bölgelere Göre Yüzdesel Dağılımı	11
Şekil 3.5. Türkiye'de Rüzgar Enerji Kapasitesinin Kullanım Durumu.....	12
Şekil 3.6. Türkiye'de İnşa Halindeki Rüzgar Gücünün Bölgelere Göre Dağılımı	13
Şekil 3.7. Dünya Rüzgar Gücü Kapasitesi ve Kurulum Bilgileri	14
Şekil 3.8. 2017 Yılında En Çok Kurulum Yapan Ülkeler	15
Şekil 3.9. Toplam Kurulu Kapasitesine Göre Ülkeler	16
Şekil 3.10. Türkiye'nin Rüzgar Enerjisi Hedefleri ve Gerçekleşme Değerleri	17
Şekil 4.1. Yatay Eksenli, Dikey Eksenli ve Eğik Eksenli Rüzgar Türbini	30
Şekil 4.2. Kanat Sayılarına Göre Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri	31
Şekil 4.3. Kompozit Rüzgar Türbin Kanadının Bölümleri	34
Şekil 4.4. İnfüzyonu Bitirilmiş Bir Kanat Yüzeyinden Görüntü	35
Şekil 4.5. Rüzgar Türbin Kanatlarının Statik ve Yaşlanma Testleri.....	38
Şekil 4.6. Çift Beslemeli Asenkron Jeneratörün Kesit Görüntüsü.....	42
Şekil 4.7. Çift Beslemeli Asenkron Jeneratörde Güç Akışı.....	43
Şekil 4.8. Sabit Mıknatıslı Senkron Jeneratörün Şebekeye Bağlanması	45

SİMGELER ve KISALTMALAR

AWEA	Amerikan Rüzgar Enerjisi Birliği (American Wind Energy Association)	(-)
C_p	Güç sabiti	(-)
ÇBAJ	Çift beslemeli asenkron jeneratör	(-)
DC	Doğru akım (Direct current)	(-)
DFIG	Doubly Fed Induction Generator	(-)
EEG	Yenilenebilir Enerji Kanunu (Almanya)	(-)
f	Şebeke frekansı	(Hz)
GBI	Üretim Bazlı Teşvik (Generation-based incentive)	(-)
HAWC2	Horizontal Axis Wind Turbine Code 2	(-)
HTS	Yüksek sıcaklık süperiletken (High temperature superconductor)	(-)
IGBT	İzole kapılı bipolar transistör	(-)
IREDA	Hindistan Yenilenebilir Enerji Kalkınma Ajansı	(-)
MNRE	Yeni ve Yenilenebilir Enerji Bakanlığı (Hindistan)	(-)
n	Devir sayısı	(rpm)
NWEM	Ulusal Rüzgar Enerji Misyonu (Hindistan)	(-)
p	Kutup çifti sayısı	(-)
P	Güç	(W)
PMSG	Permanent Magnet Synchronous Generator	(-)
PTC	Federal üretim vergi kredileri (ABD)	(-)
REC	Yenilenebilir Enerji Kredileri (ABD)	(-)
RES	Rüzgar Enerji Santrali	(-)
s	Kayma (Slip)	(-)
SERC	Bölgesel Elektrik Düzenleme Komisyonu (Hindistan)	(-)
SMSJ	Sabit mıknatıslı senkron jeneratör	(-)
TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi	(-)
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi	(-)
V	Rüzgâr hızı	(m/sn)
W	Güç	($\text{kg.m}^2.\text{s}^{-3}$)
ω_r	Açısal hız	(rad/s)
YEKDEM	Yenilenebilir Enerji Destekleme Mekanizması	(-)

1. GİRİŞ

Son yıllarda hızla artan enerji ihtiyacı mevcut konvansiyonel yöntemlerle enerji üretiminin yanında yenilenebilir enerji sistemlerinin de giderek yaygınlaşmasına ve bu alandaki teknolojik gelişmelerin hız kazanmasına neden olmaktadır.

Ülkemizin yenilenebilir enerji brüt potansiyeline baktığımızda yaklaşık 400TWh/yıl kapasite ile rüzgar enerjisi güneş ve hidrolikten sonra gelmektedir [1]. Rüzgar enerjisi Ülkemizin en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Türkiye’de rüzgar enerjisinin daha etkin kullanımını sağlamak için rüzgardan enerji üretim sistemlerinin yaygınlaşması ve yeni teknolojilere sahip daha verimli rüzgar türbinlerinin kurulması kaçınılmazdır. Türkiye’nin rüzgar enerjisi potansiyelinin bölgesel dağılımı, bölgesel ve genel olarak kullanım oranları ve rüzgar enerjisinde izlenen politikalar araştırmaya değer konulardır. Bunun yanında yeni rüzgar sahalarının keşfedilmesi, bu sahaların teknik analiz yöntemleriyle kapasitelerinin hesaplanması ve nihayetinde kullanıma açılması oldukça önemlidir.

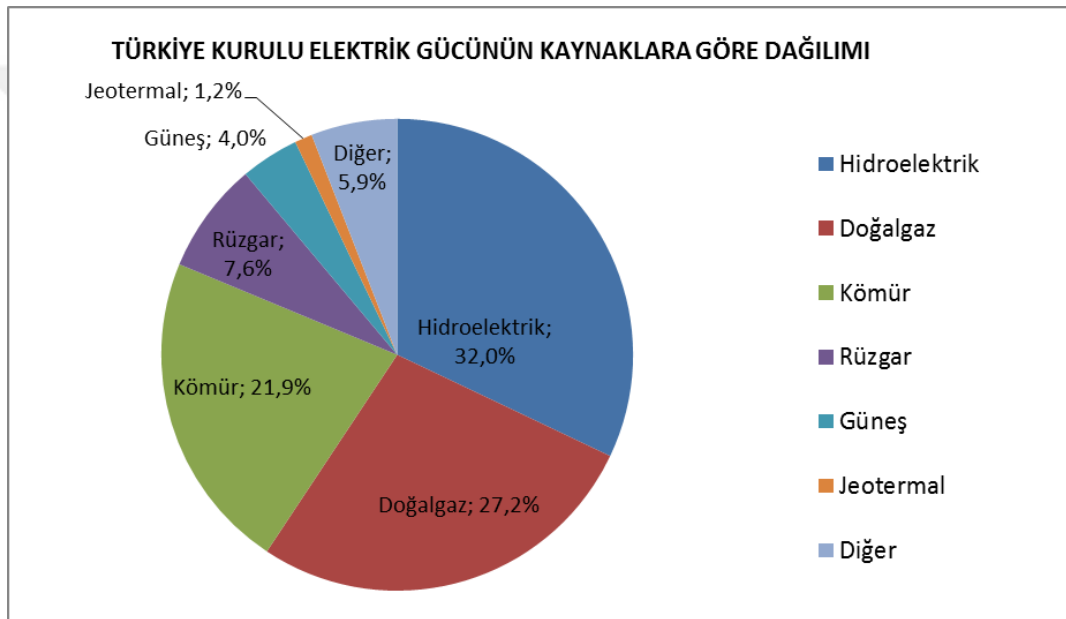
Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin artırılması için 2023 yılı hedefleri; Hidrolik: 34 GW, Rüzgar: 20 GW, Jeotermal: 1GW, Güneş: 5 GW ve Biyokütle: 1 GW olarak belirlenmiştir. Böylece elektrik üretimindeki yenilenebilir enerji payının 2023 itibarıyla %30’a çıkarılması, doğalgazın %30A düşürülmesi, kömürün %30 ve nükleer enerjinin de %10 da sabitlenmesi beklenmektedir [2].

TEİAŞ 2016 Aralık verilerine göre Türkiye’nin elektrik enerjisi kurulu gücü önceki yıla göre %7,6 artarak 78,497 GW olmuştur. Kurulu güç içindeki rüzgar enerjisi oranı ise %7 değerini geçmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam kapasite içindeki payı ise 34 GW değerini geçerek %44 paya ulaşmıştır [3].

2017 yılı sonunda ise kurulu güç yaklaşık %8 oranında artarak 84.736 GW olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının (hidrolik dahil) toplam kurulu güç içerisindeki payı (lisanslı santraller) 2016 yılında %43,32 iken 2017 yılında %43,26 olmuştur. Toplam termik kurulu gücün oranı ise 2016 yılında %56,68 iken %56,74 olarak

gerçekleşmiştir. 2017 yılında lisanssız kurulu güç geçen yıla oranla %202,74 artarak 3.173,32 MW olmuştur. Bu artışın %93,87'si güneş (fotovoltaik) enerjisinden elde edilmiştir [4].

Şekil 1.1'de 2017 sonu itibariyle Türkiye elektrik kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı görülmektedir. 2017 yılı sonunda kurulu gücümüzün kaynaklara göre dağılımı; yüzde 32,0'ı hidrolik enerji, yüzde 27,2'si doğal gaz, yüzde 21,9'u kömür, yüzde 7,6'sı rüzgâr, yüzde 4,0'ı güneş, yüzde 1,2'si jeotermal ve yüzde 5,9'u ise diğer kaynaklar şeklindedir [5].



Şekil 1.1 Türkiye Elektrik Kurulu Gücünün Kaynaklara Göre Dağılımı [5]

Güncel yenilenebilir enerji politikaları sonucunda Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı son yıllarda yavaş bir şekilde artmaktadır. Teknolojik gelişmelerin yenilenebilir enerji kapasitesinin gelişmesini tetikleyen ana etken olması beklenmektedir [6].

Yenilenebilir enerji kaynakları her ne kadar sınırsız olsa da enerji potansiyeli bakımından ve yapı bakımından uygun olan kullanılabilir alanların sınırlı olması sektörü kullanılan enerji üretim sistemlerinin verimliliğini arttırmaya zorlamaktadır. Yenilenebilir enerjide üretim maliyetlerinin düşürülmesi ve toplam enerji

üretimindeki payının arttırılabilmesi için de sistemlerin ağırlık ve hacimlerini arttırmadan kapasitelerinin arttırılması gerekli görülmektedir. Birim alanda daha fazla enerji üretme isteği karşısında üretici firmalar rüzgar türbinlerinin güç ünitelerini günden güne büyütmektedirler. Bu büyümenin sonucunda boyut ve ağırlık olarak devasa ölçekte rüzgar türbinleri üretilmektedir.

Son yıllarda Türkiye'nin yenilenebilir enerji kapasitesinin araştırılması, hesaplanması ve mevcut sahaların genişletilmesi ya da yeni sahalar keşfedilmesi konularında çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Yenilenebilir enerjinin avantajlarından maksimum düzeyde faydalanmak için bu çalışmaların yapılması zorunluluk arz etmektedir.

Görülüyor ki; tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de rüzgar enerjisi kapasitesinin arttırılması gerekli görülmekte ve yeni hedefler belirlenmektedir. Teknik olarak enerji potansiyeli bakımından verimli ve yapı bakımından kullanılabilir alanlarımızın sınırlı olması sektörde kullanılacak olan enerji üretim sistemlerinin verimliliğini daha da önemli duruma getirmektedir. Rüzgar enerjisinde üretim maliyetlerinin düşürülmesi ve rüzgarın toplam enerji üretimindeki payının arttırılabilmesi için de daha verimli sistemler kurulması zorunluluk olarak karşımıza çıkmaktadır. Rüzgar türbin teknolojilerindeki gelişmeler genel olarak fiziksel dayanıklılık ve işletme kalitesinden ödün vermeden üretim kapasitesinin arttırılması yönündedir. Bu amaçla rüzgar türbinlerinde farklı jeneratör tipleri çeşitli mekanik ve elektronik sistemlerle desteklenerek kullanılmakta ve böylece en verimli kombinasyonlar elde edilmeye çalışılmaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Türkiye'de rüzgar türbini üretimi konusunda çalışma yapan şirketler ve kurumlar olduğu bilinmektedir. Ancak Ülkemizde henüz büyük güçlü türbin üretimine yönelik bir firma veya kurum bulunmamaktadır. Türkiye'de rüzgar türbinlerinin çeşitli bileşenleri üretilmektedir ancak büyük güçlü türbinler için jeneratör ve güç elektroniği ekipmanlarının üretimi yapılmamaktadır. Büyük ölçekte jeneratör ve güç elektroniği ekipmanlarının üretimi, büyük ölçekli rüzgar türbini üretebilmek için

şarttır. Bu çalışmanın bir amacı da hangi jeneratör çeşidinin bu amaç için daha uygun olduğunu araştırmaktır.

Türkiye’de ve Dünyada, özellikle de rüzgar enerji sektörü gelişmiş ve hızlı gelişmekte olan ülkelerde rüzgar enerjisi potansiyelinin nasıl değerlendirildiği, ne gibi politikalar izlendiği ve izlenen politikaların nasıl sonuçlar ürettiği incelenmiştir. Bu şekilde Türkiye’de rüzgar enerji sektörünün daha hızlı gelişmesi ve kurulu gücün artırılarak rüzgar enerjisinin toplam kurulu güç içindeki payının artırılması konusunda etkili olacak aksiyonları tespit etmektir.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Rüzgar türbin teknolojileri ve Türkiye'deki rüzgar enerjisi kaynağının genel durumu konusunda yapılan benzer çalışmalar aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

Islam, vd.[7] Modern rüzgar enerjisi teknolojisinin gelişim süreci hakkında bilgi verilmiş; son 30-40 yıl içinde rüzgar türbin kapasitelerinin 30-40 kat arttığı vurgulanmıştır. Rüzgar enerjisi kapasitesinin artışına paralel olarak enerji depolama sistemlerinin güçlerinin de arttığı belirtilmiştir. Modern rüzgar türbin teknolojisinin günümüzde gidiş yönü ve etkinliği ile bataryalar hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca rüzgar türbinleri ve rüzgar enerjisinin maliyet ve verimlilik yönü incelenmiştir.

Akın, vd.[8] Türkiye'de rüzgar enerjisi potansiyelinin değerlendirmesi yapılmış, sonrasında Bursa bölgesinin rüzgar enerji potansiyeli değerlendirilmiş ve Gemlik bölgesinin rüzgardan enerji üretimi için uygun olduğu gösterilmiştir. Weibull dağılım metodu ile muhtemel rüzgar enerjisi üretim potansiyeli hesaplanmıştır. Sonuç olarak seçilen bölgede hub yüksekliği 80mt olan türbinlerle yaklaşık %49,8 kapasite faktörüne sahip bir güç üretim santrali kurulabileceği belirlenmiştir.

Kose, vd.[9] Selçuk Üniversitesi Kampüs bölgesinin rüzgar enerji potansiyelini özel bir gözlem istasyonundan alınan yerel rüzgar ortalaması verisi ile incelemiştir. 3 farklı yükseklikten alınmış olan 2005 yılına ait verilerin MS Office, Alwin, Wasp ve Witem yazılımları yardımıyla istatistiksel analizlerini yapmıştır. Bölgenin 10, 20 ve 40 metre yükseklikteki yıllık ortalama rüzgar hızlarını 5.36, 5.40 ve 6.05 m/s olarak belirlemiştir. Bölgenin 40 metre yükseklikteki güç yoğunluğu ise 260-308 W/m² arasındadır. Hesaplama göz önüne alınmak üzere rüzgar hızı frekans histogramı, Rayleigh ve Weibull dağılımları, rüzgar yönü ve sıcaklık verilerini de kullanmıştır. Elde edilen sonuçları 1, 1.5 ve 2.0 MW gücündeki türbinlerden oluşan 6 MW kapasiteli rüzgar çiftliğinin elektrik üretimini değerlendirmek için kullanmıştır.

Diaf, vd.[10] Cezayir'deki 13 farklı lokasyonda 10 metre yükseklikte ölçülen rüzgar hızı verilerini inceleyerek rüzgar enerji potansiyelini ve ekonomik analizini yapmıştır. Farklı ticari rüzgar türbinlerinden elektrik üretiminin teknik ve ekonomik değerlendirmesi üzerine çalışmıştır. Seçilen rüzgar türbinleriyle yıllık enerji üretimi,

kapasite faktörü ve üretilen elektrik enerjisinin kWh başına maliyetini hesaplamıştır. Toplanan verilerin incelenmesiyle Cezayir'in güney bölgesinin daha yüksek bir rüzgar potansiyeline sahip olduğu; Adrar bölgesinde %48 ile en yüksek kapasite faktörünün ve 0,0179 \$/kWh birim maliyet ile en düşük elektrik üretim maliyetinin bulunduğu gösterilmiştir.

Benli,[1] Türkiye'nin en önemli gelişme önceliklerinden birinin enerji olduğunu belirtmiştir. Buna rağmen Türkiye'nin bir çok enerji çözümünün bugün itibariyle sadece kömür ve hidroelektrik olduğunu, enerji talebinin arttığını, bu durumun artan enerji talebini karşılamak için ithal yakıtlara olan ihtiyacı arttırdığını vurgulamıştır. Fosil kaynakların pahalı olduğunu ve istenmeyen yüksek emisyonlara da sahip olduğunu, Türkiye'nin ise zengin yenilenebilir enerji potansiyeline sahip geniş sahiller ve dağlara sahip olduğunu aktarmıştır. Elektrik tüketiminin her yıl ortalama %8-9 oranında arttığını, talep edilen güç ile üretim kaynaklarının dengelenmesi için elektrik üretim, iletim ve dağıtım tesislerine önemli miktarda yatırıma ihtiyaç duyulduğu açıklamıştır. Türkiye'nin çok kısıtlı petrol ve gaz rezervi ile beraber, Rusya ve İran'dan ithal edilen gazdan bağımsızlığı ve enerji güvenliğini geliştirmek için yenilenebilir enerjiye hızla dönüşümü bir araç olarak kullandığını yazmıştır. Özet olarak, Türkiye'nin günümüzdeki yenilenebilir enerji potansiyeli ve ulusal enerji tüketimine günümüzde ve gelecekteki katkısının miktarı araştırılmıştır. Enerji politikaları üzerinde de durulmuştur.

Dursun, vd.[11] Rüzgar türbinlerinde kullanılan jeneratör tiplerini incelemiş ve bunların avantajları ile dezavantajları hakkında bilgiler sunmuştur. Rüzgar türbinlerinde kullanılan jeneratörleri sınıflandırarak listeledikten sonra; Asenkron jeneratör çeşitleri ile senkron jeneratör çeşitleri hakkında bilgiler vermiş ve bu jeneratörlerin rüzgar türbinine akuple edilerek şebekeye bağlanmalarını şematik olarak göstermiştir. Ayrıca DC jeneratörler ve anahtarlı relüktans jeneratörü hakkında kısaca bilgi vermiştir.

Çelikdemir vd.[12] Rüzgar türbinlerini eksenlerine göre, hızlarına göre, kanat sayılarına göre, rüzgarı alma yönlerine göre, güç kontrol sistemlerine göre, şebeke bağlantı şekillerine göre ve kullanılan jeneratörlerine göre incelemiştir.

Apaydın vd.[13] Rüzgar enerji sistemlerinin giderek yaygınlaştığını ve mekanik enerjinin elektriksel enerjiye dönüştürülmesinde kullanılan jeneratörlerin büyük öneme sahip olduğunu belirtmiştir. Rüzgar enerjisinde kullanılan jeneratörlerin hem maliyet açısından hem de kullanım amaçları ve doğru jeneratör seçimi açısından çeşitlerini incelemiş, avantaj ve dezavantajlarını ortaya koymuştur.

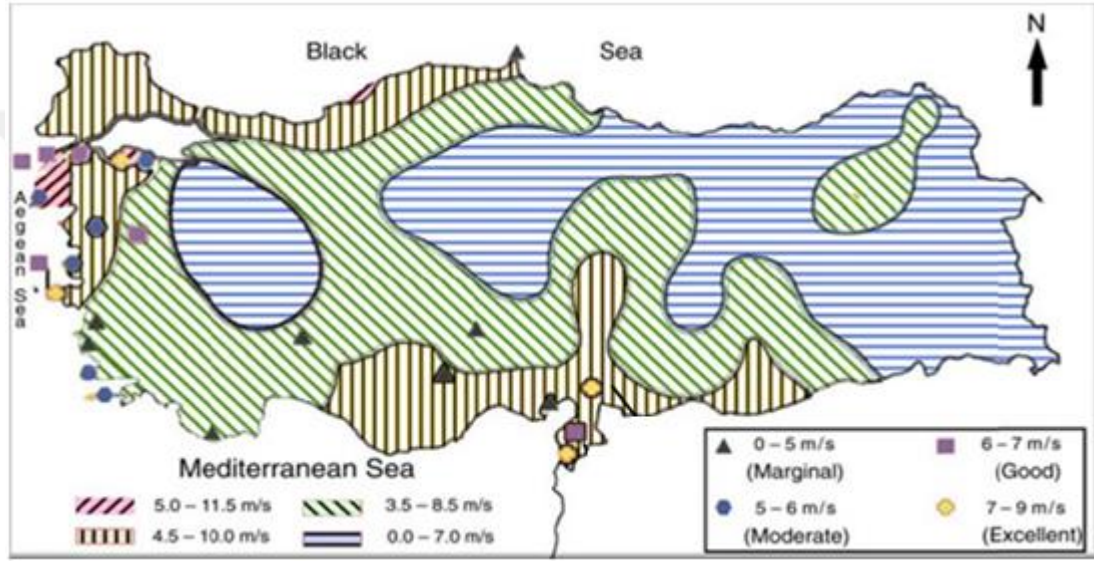


3. RÜZGAR ENERJİSİ

3.1 Türkiye'nin Rüzgar Enerji Potansiyeli ve Kullanım Durumu

3.1.1 Türkiye'nin Rüzgar Enerji Potansiyeli ve Bölgelere Göre Dağılımı

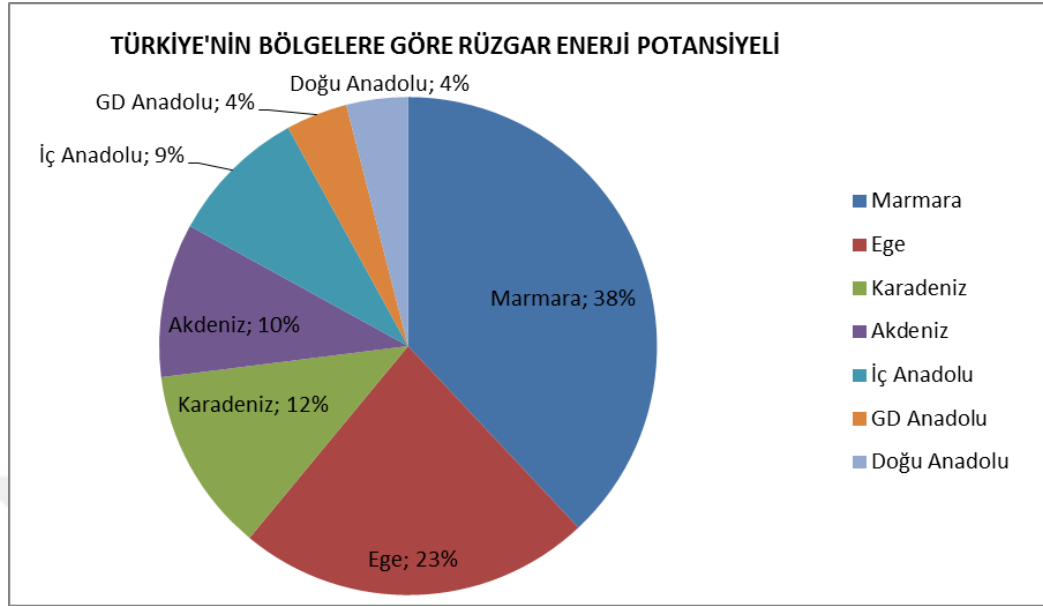
Türkiye coğrafik özelliklerinden dolayı çok zengin RES potansiyeline sahiptir. Şekil 3.1' de Türkiye'nin yerden 50 metre yüksekte ölçülerek belirlenmiş olan rüzgar enerji potansiyeli verilmiştir. Rüzgar Enerji Potansiyel Haritasına göre Türkiye 48 GW ekonomik rüzgar gücü yatırım kapasitesine sahiptir [14].



Şekil 3.1 Türkiye'nin Teknik Rüzgar Enerji Potansiyeli [14]

Türkiye'nin rüzgar enerji potansiyelinin özellikle Marmara, Ege ve Karadeniz bölgelerinde yoğunlaşmış olduğu Şekil 3.1'de açıkça görülmektedir [14]. Akdeniz bölgesinde ise %10 civarında bir potansiyel bulunmakta ve denizlere kıyısı olan dört bölgemizin RES kapasitesi toplam kapasitenin %80'inden fazlasına tekabül etmektedir.

Şekil 3.2’ de ise Türkiye’nin Bölgelere göre teknik enerji potansiyelinin dağılımı verilmiştir.



Şekil 3.2 Türkiye’nin Bölgelere Göre Teknik Enerji Potansiyeli [15]

3.1.2 Türkiye’nin Offshore Rüzgar Potansiyeli ve Kullanım Durumu

Türkiye 3500km sahil uzunluğuna sahiptir ve denizlerle çevrili bir ülkedir. Özellikle Marmara ve Ege sahillerinde rüzgar potansiyeli çok düzenli ve sürekli. Ancak Türkiye’de deniz üzerinde çalışan bir rüzgar santrali bulunmamaktadır. Türkiye’nin rüzgar enerjisi konusundaki gelişim çabaları uluslar arası arenada takdir edilmektedir. Son altı yılda gerçekleşen kurulum verilerine göre rüzgar enerjisinin ortalama yıl bazında ilerleme yüzdesinin %30 dolaylarında olduğu söylenebilir [16].

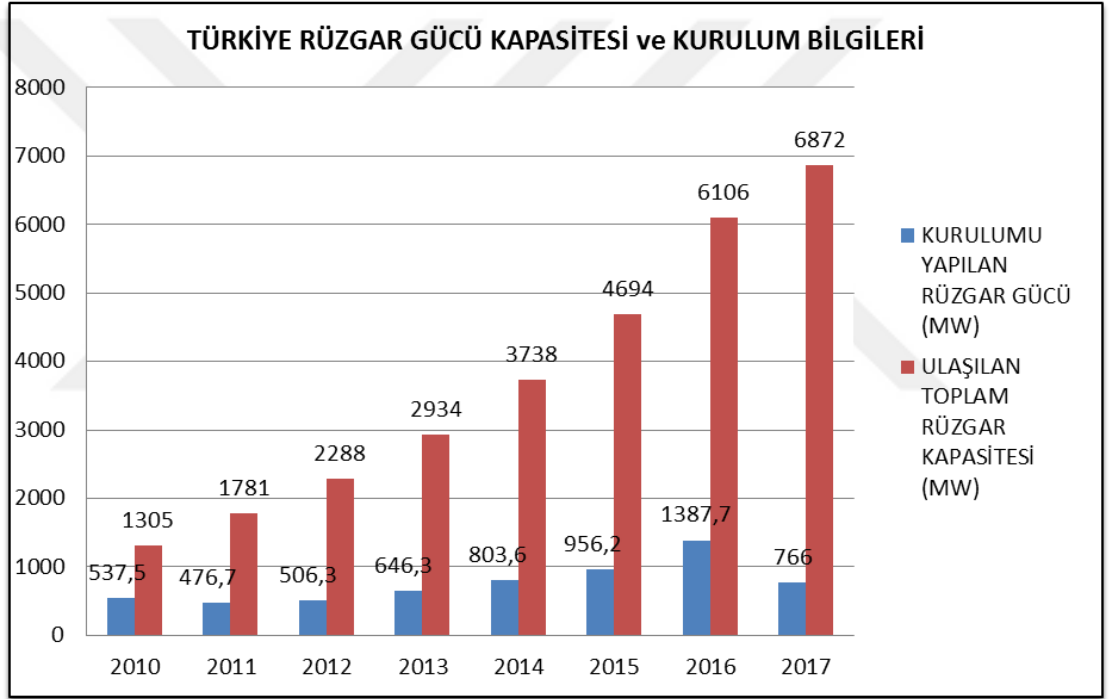
Şekil 3.1 incelendiğinde Türkiye’nin offshore rüzgar potansiyelinin Güney ve İç Marmara (Çanakkale, Bandırma) ve Doğu Akdeniz’in Güney kıyılarında (Samandağ) en güçlü şekilde yoğunlaştığı görülecektir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından 21.06.2018 tarih ve 30455 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan ilan ile 1.200 MW offshore rüzgar gücü kapasitesinin yarışma ilanı yayınlanmıştır. Türkiye’nin ilk deniz üstü (offshore) rüzgar enerjisi niteliğinde olan bu ihale için son başvuru tarihi 23 Ekim 2018 olarak açıklanmıştır. Yarışmanın yeri, tarihi ve saati daha sonra bildirilecek, katılım için son tarih ise 23

Ekim 2018 olarak belirlenmiştir. İhaleye katılanlar kWh başına tavan fiyat 8 dolar/cent üzerinden açık eksiltme usulü yarışacaklardır [17].

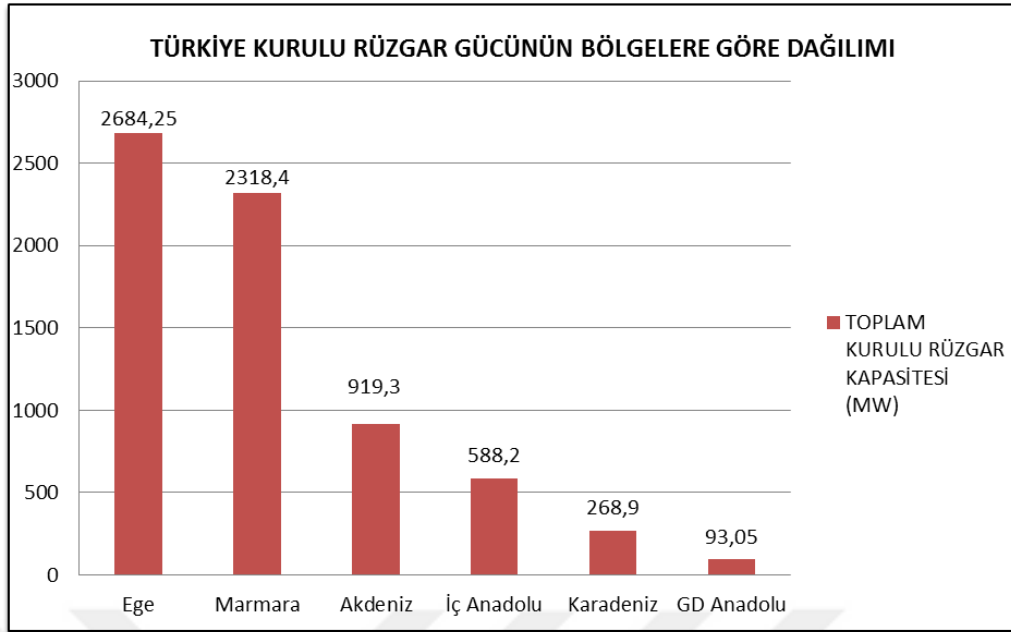
3.1.3 Türkiye’de Kurulu Rüzgar Gücü ve Bölgelere Göre Dağılımı

Türkiye’ nin kurulu rüzgar gücü kapasitesi Şekil 3.3’te görülmektedir [18]. Şekil 3.3 ‘e göre Türkiye’nin toplam kurulu kapasitesi 2011 ile 2015 arasında her yıl %25 üzerinde bir artış göstermiş olmakla beraber 2016 yılında da 1.387 MW kurulum yapılarak %29 civarında bir değer kaydedilmiştir. 2017 yılında ise 766 MW gücünde yeni rüzgar gücü devreye alınmıştır.

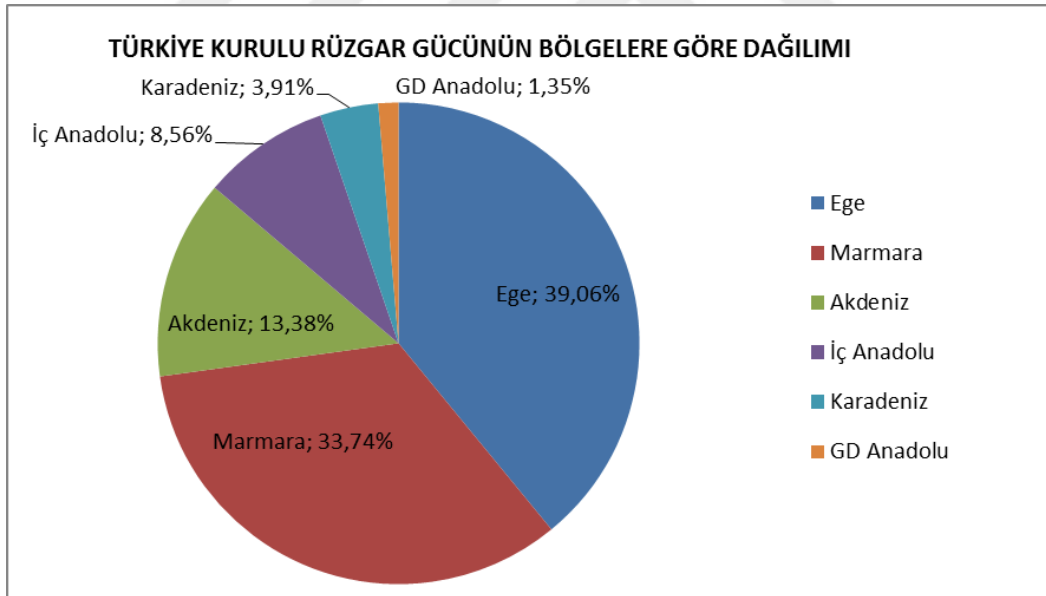


Şekil 3.3 Türkiye Kurulu Rüzgar Gücü Kapasitesi [18]

Şekil 3.4-a ile Şekil 3.4-b ‘ de Türkiye kurulu rüzgar gücünün bölgelere göre dağılımı ve bölgelere yüzdesel olarak dağılımı verilmiştir.



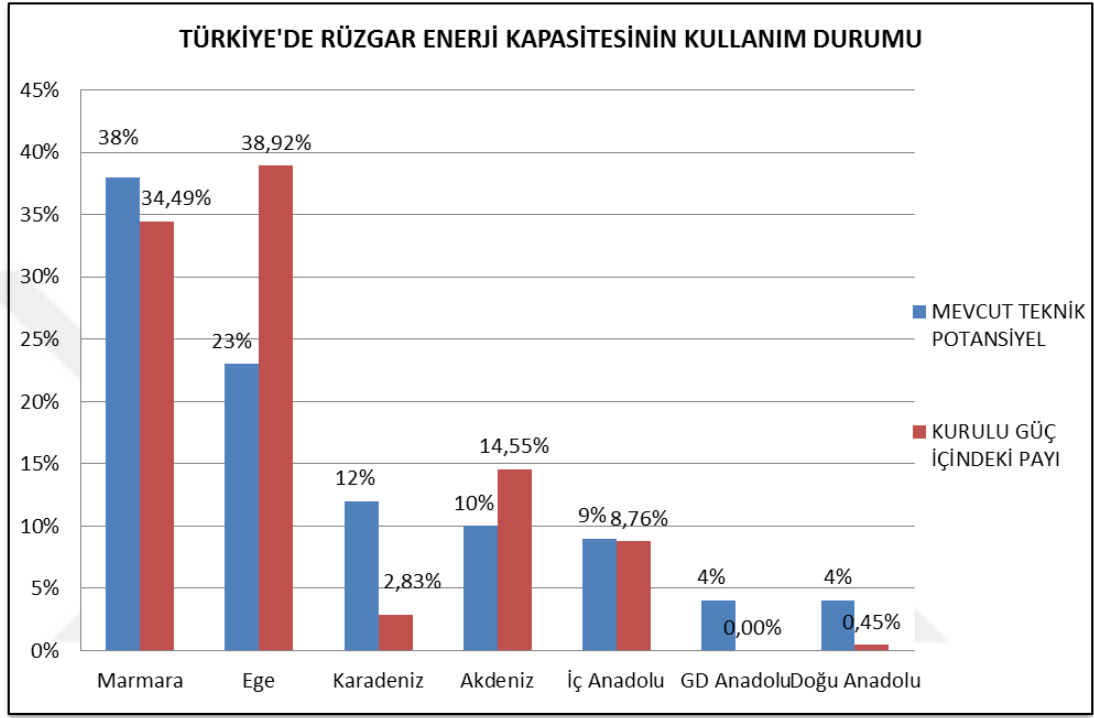
Şekil 3.4-a Türkiye Kurulu Rüzgar Gücünün Bölgelere Göre Dağılımı [18]



Şekil 3.4-b Türkiye Kurulu Rüzgar Gücünün Bölgelere Göre Yüzdesel Dağılımı [18]

3.1.4 Türkiye’de Rüzgar Enerjisinin Bölgelere Göre Değerlendirilme Oranları

Türkiye’deki kullanılabilir rüzgar enerjisi kapasitesinin kullanım durumunu değerlendirebilmek için Şekil 3.2 ve Şekil 3.4-b grafiklerinin aynı zeminde incelenmesi gerekli ve yeterli olacaktır. Bu durumda oluşan grafik Şekil 3.5’de verilmiştir.



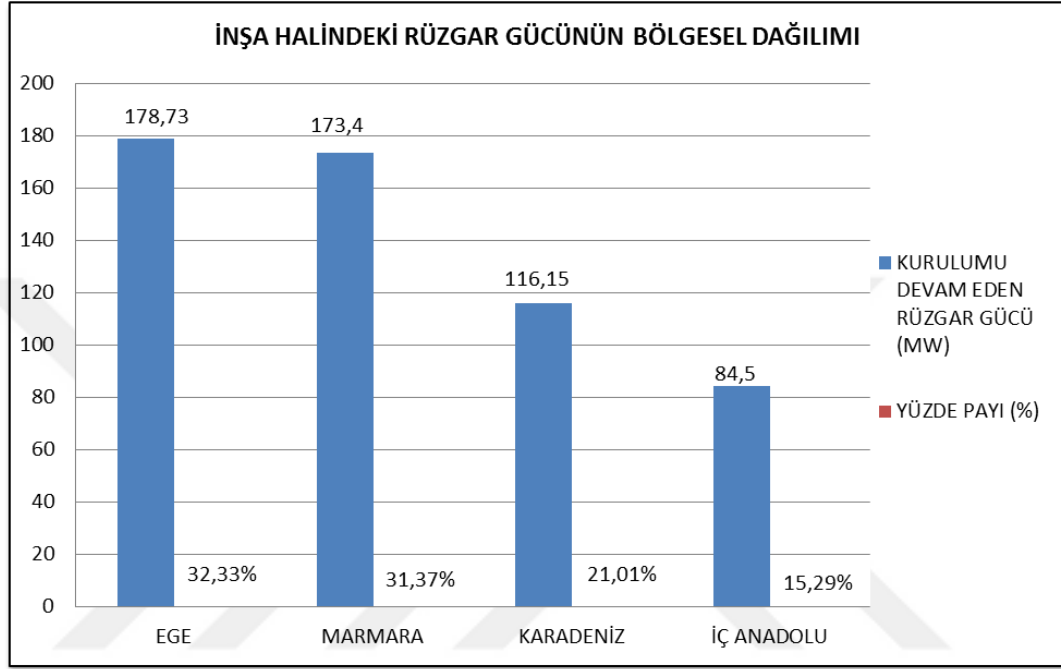
Şekil 3.5 Türkiye’de Rüzgar Enerji Kapasitesinin Kullanım Durumu [15], [18]

Grafikten, Ege ve Akdeniz bölgelerinin kurulu güç içindeki paylarının daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Başka bir deyişle Ege ve Akdeniz bölgelerine daha yüksek oranda yatırım yapılmıştır. Geriye kalan Marmara bölgesi ve Karadeniz bölgesinde ise halen kullanılmamış yüksek bir potansiyel olduğu görülmektedir. Marmara ve Karadeniz bölgeleri offshore rüzgar potansiyeli açısından da incelenmeye değer bölgelerimizdendir.

3.1.5 Türkiye’de Kurulmakta Olan Rüzgar Gücünün Bölgelere Göre Dağılımı

2016 yılında Türkiye’de inşası devam eden santraller incelenirse yatırımların Ege ve Marmara bölgelerinde yoğunlaştığı görülecektir. 2017 yılında ise en fazla

yatırım %32,3 pay ile İç Anadolu Bölgesine yapıldığı görülmektedir. Ege Bölgesi %31, Marmara Bölgesi %21 ve Akdeniz Bölgesi %15,3 oranında yeni yatırım gerçekleştirilen bölgeler olmuştur. 2017 yılında en çok rüzgar türbini kurulan ilimiz 178,73 MW güç ve %32,3 pay ile Konya olmuştur. Şekil 3.6' da inşa halindeki rüzgar gücünün bölgelere göre dağılımı görülmektedir [18].

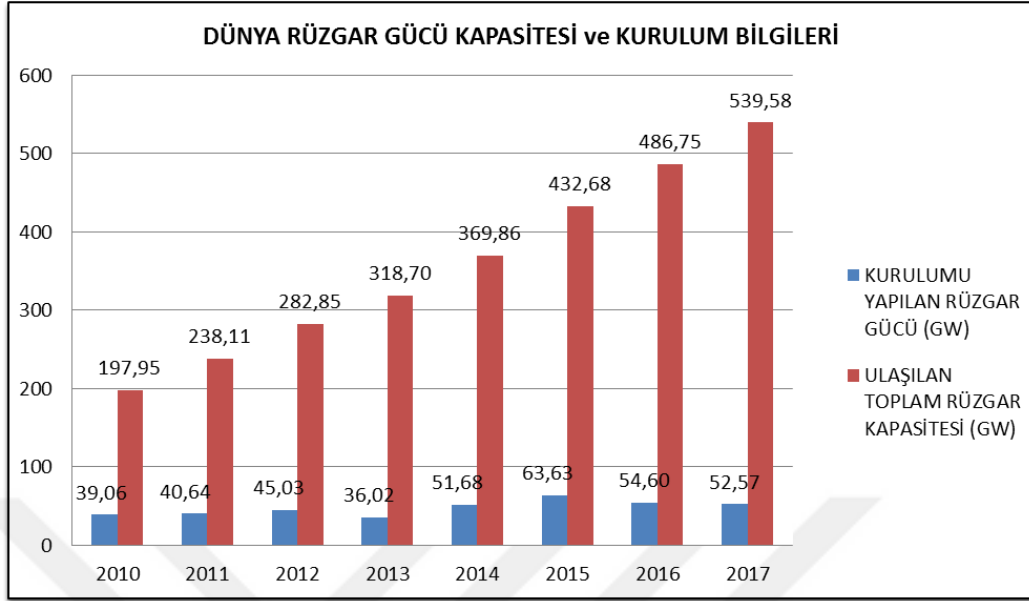


Şekil 3.6 Türkiye’de İnşa Halindeki Rüzgar Gücünün Bölgelere Göre Dağılımı [18]

3.2 Türkiye Rüzgar Enerjisi Kurulumunun Küresel Değerlerle Kıyaslanması

2016 yılında tüm dünyada 54 GW gücünde rüzgar türbini devreye alınmıştır. Böylece toplam küresel kurulu güç kapasitesi yaklaşık 486,75GW değerine ulaşmıştır. Türkiye’de 2017 yılında 1.387MW kurulum yapılarak 6,10GW kurulu kapasiteye ulaşılmıştır. Türkiye 2016 verilerine göre en yüksek güçte kurulum yapan 3. Avrupa ülkesi durumuna gelmiştir. Bununla beraber 2017 yılında 766 MW ile son yedi yılın en düşük oransal kurulum değeri kaydedilmiştir. Dünya kurulu rüzgar gücü kapasitesi 2017 yılında %10,8 oranında, Avrupa kurulu rüzgar gücü kapasitesi ise %10,2 oranında artmıştır. Türkiye’de kaydedilen değer ise %12,5 olmuştur. [18], [19].

Dünya rüzgar gücü kapasitesi ve kurulum bilgileri Şekil 3.7’ de görülmektedir.



Şekil 3.7 Dünya Rüzgar Gücü Kapasitesi ve Kurulum Bilgileri [19]

Türkiye, Avrupa ve Dünya genelinde son yedi yılda ulaşılan değerlerin kıyaslanması Çizelge 3.1’de görülmektedir.

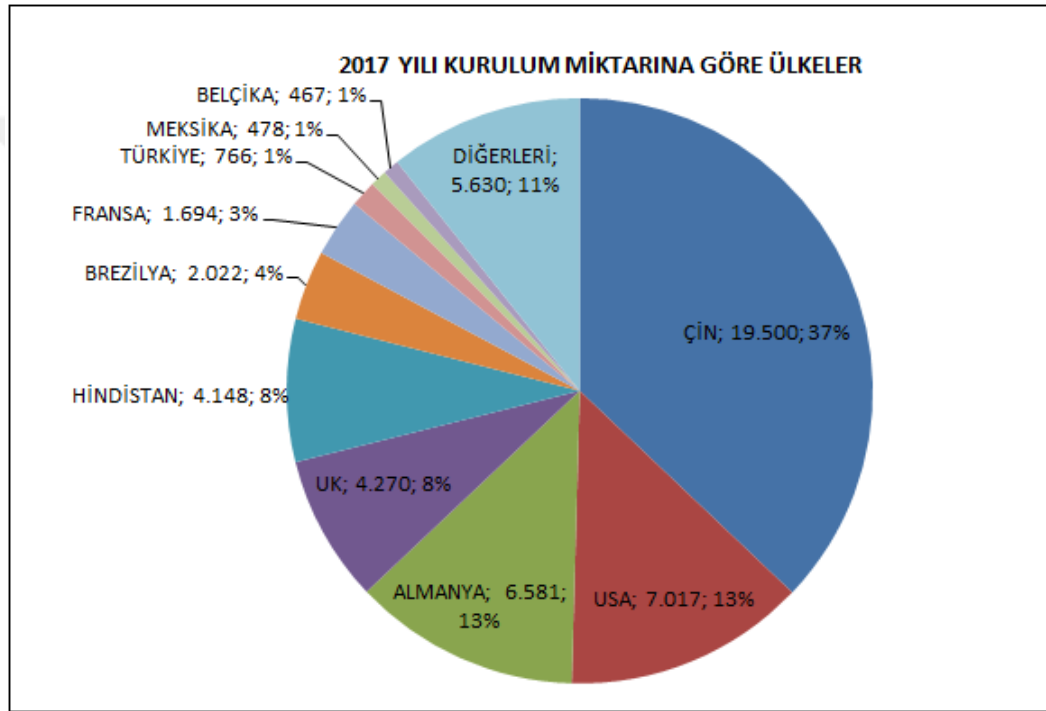
Çizelge 3.1 Türkiye, Avrupa ve Dünya Rüzgar Gücü Kurulumları [18], [19]

	TÜRKİYE			AVRUPA			DÜNYA		
	KURULUM YAPILAN GÜÇ (MW)	ULAŞILAN TOPLAM GÜÇ (MW)	ARTIŞ ORANI (%)	KURULUM YAPILAN GÜÇ (MW)	ULAŞILAN TOPLAM GÜÇ (MW)	ARTIŞ ORANI (%)	KURULUM YAPILAN GÜÇ (MW)	ULAŞILAN TOPLAM GÜÇ (MW)	ARTIŞ ORANI (%)
2017	766	6.872	12,5%	15.680	169.319	10,2%	52.573	539.581	10,8%
2016	1.387	6.106	29,5%	12.122	153.700	8,6%	54.069	486.749	12,5%
2015	956	4.694	25,6%	12.518	141.578	9,7%	62.818	432.680	17,0%
2014	804	3.738	27,4%	11.588	129.060	9,9%	51.165	369.862	16,1%
2013	646	2.934	28,2%	11.113	117.472	10,4%	35.847	318.697	12,7%
2012	506	2.288	28,4%	11.951	106.359	12,7%	44.740	282.850	18,8%
2011	477	1.781	36,5%	9.426	94.408	11,1%	40.154	238.110	20,3%
2010		1.305			84.982			197.956	

Çizelge 3.1’e göre Türkiye, 2016 yılında Avrupa ülkeleri toplamının %10’u kadar bir kurulum gerçekleştirmiştir. 2017 yılında ise bu değer %5 civarında gerçekleşmiştir.

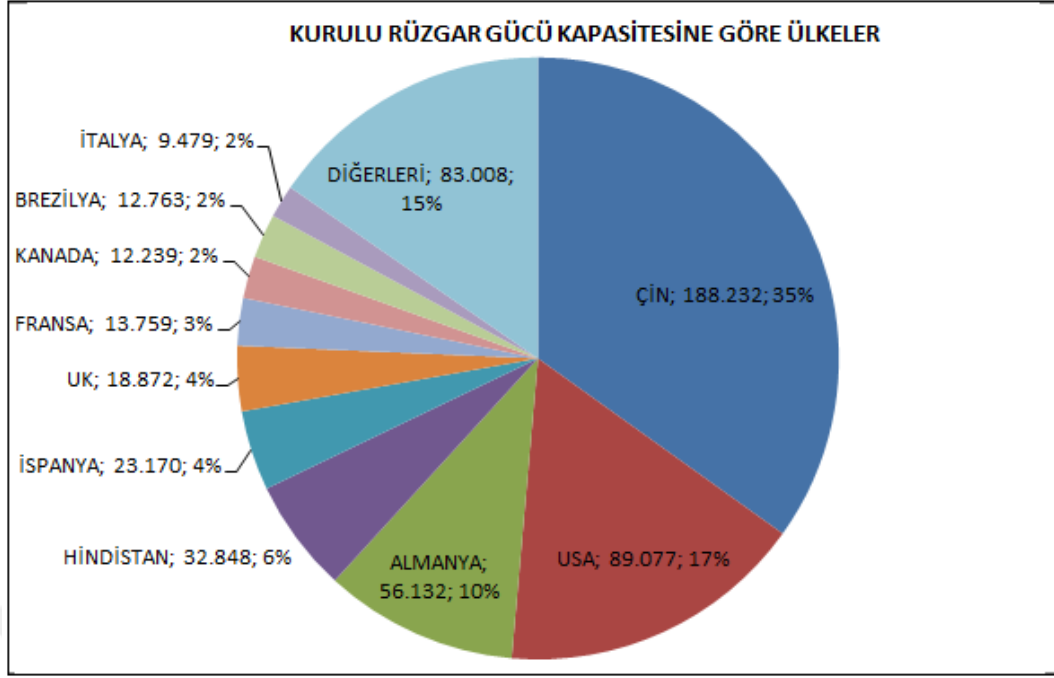
2016 yılında Türkiye devreye aldığı 1.387MW RES ile en çok kurulum yapan yedinci ülke konumundadır. Bu değer tüm Dünyada devreye alınan türbinlerin %2,5 misline tekabül etmektedir. 2017 yılı için bu oran %1,4 seviyesinde kaydedilmiştir.

2017 yılında en çok rüzgar enerjisi kurulumu yapan 10 ülke Şekil 3.8’ de görülmektedir. 2017 yılında ilk üç sıradaki kurulum yapan ülke sıralaması değişmemiş sadece kurulum miktarları değişmiştir. Almanya, UK ve Hindistan’ın 2016 yılına göre önemli miktarda artış gerçekleştirdiği görülmektedir.



Şekil 3.8 2017 Yılında En Çok Kurulum Yapan Ülkeler [19]

2017 yıl sonunda kümülatif kurulu güce göre ülkelerin sıralaması Şekil 3.9’da verilmiştir. İlk 10 sıradaki ülkelerin sahip olduğu kapasite toplam global kapasitenin %85’ini oluşturmaktadır [19].



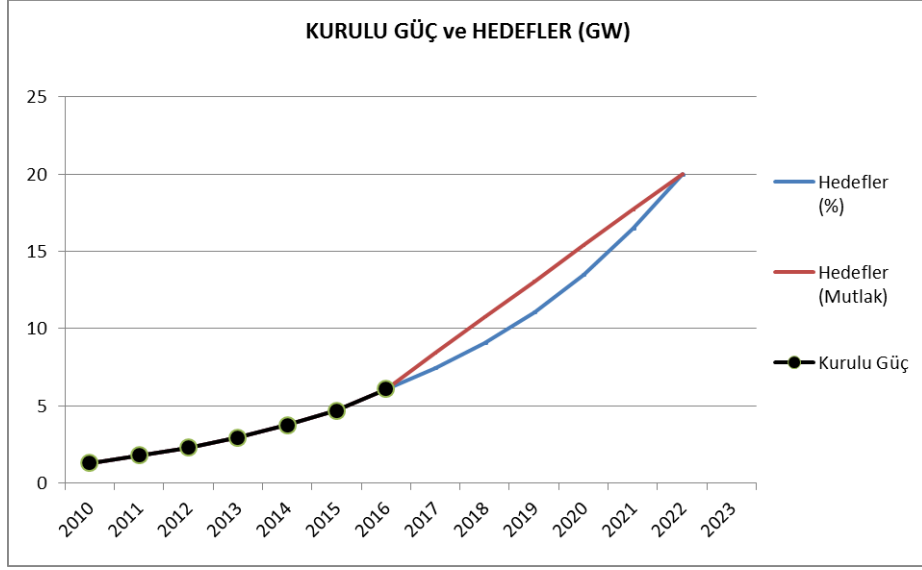
Şekil 3.9 Toplam Kurulu Kapasitesine Göre Ülkeler [19]

3.3 Dünyada ve Türkiye’de Rüzgar Enerji Politikaları

3.3.1 Türkiye’nin Rüzgar Enerjisi Politikaları

Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımları konusunda son yıllarda kayda değer ilerlemeler sağlansa da halen kullanılmamış hatırı sayılır miktarda bir potansiyel olduğu bilinmektedir [20].

Türkiye’de yenilenebilir enerjiden daha fazla faydalanmak ve enerjide dış ülkelere olan bağımlılığı azaltmak amacıyla 2023 yılı için bazı hedefler belirlenmiştir. Şekil 3.10’ daki grafik söz konusu hedeflerden rüzgar enerjisine ait hedefe ulaşmak için devreye alınması gereken RES kapasitesini (20GW seviyesine ulaştırmak) önceki yıllarda gerçekleşen kurulumlarla gelecek yıllarda yapılması gereken kurulumları karşılaştırmak amacıyla bir araya getirecek olursak ortaya çıkacak tabloyu göstermektedir.



Şekil 3.10 Türkiye'nin Rüzgar Enerjisi Hedefleri ve Gerçekleşme Değerleri [21]

Bu grafiğe göre Türkiye 2023 yılına kadar her yıl en az 2,33GW kurulum yapmalıdır. Diğer bir şekilde ise her yıl bir önceki yıla ait kurulu gücün %22'si oranında yeni tesis devreye alınırsa hedefe varılmış olacaktır.

Türkiye'de bir takım politika reformları ve çeşitli sübvansiyonları içeren Elektrik Üretiminde Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanuna 2005 yılında geçilene kadar hedeflenen kalkınma seviyesine ulaşamadı ve sektör kayda değer bir gelişme gerçekleştirmedi [22].

2005 yılı Ekim ayında 5346 Sayılı YEK Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun çıkarılmıştır. 2010 yılında güncellenmiş olan yasa, bu günkü kanuni düzenlemelerin temel esasını meydana getirmiştir. Rüzgar enerjisinin de dahil olduğu bazı kaynaklar için daha yüksek prim garantisi ve çeşitli parasal ve parasal olmayan teşvikler getirilmiştir. 2011 yılında Yenilenebilir Enerji Destekleme Mekanizması (YEKDEM) oluşturulmuştur. Ayrıca 2013 yılında Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik yürürlüğe alınmıştır.

2013 yılında ilk versiyonu yayınlanan ve 2016 yılında güncellenen Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Enerjisi Üreten Tesislerde Kullanılan Yerli Aksamın Desteklenmesi Hakkında Yönetmelik ile rüzgar türbinlerinin yurt içinde üretimi

yapılan her bir parçası için rüzgar enerji santrallerine ilave bir destekleme sağlanmaktadır [23].

Sektörün Türkiye’deki gelişimi ve rüzgar enerjisinin kullanılma hedeflerini başarma yolundaki önemli engeller ve zorluklar; hala bazı politik girişimler ve eylemler ile beraber bilgi transferi ve endüstriyel gelişmelerdir [24].

Bugün itibariyle Türkiye iyi düzenlenmiş bir tarifeye sahiptir ve USA, Çin ve AB ülkelerine oldukça benzer politikalara sahiptir. Bununla beraber diğer sübvansiyonlar, hibeler, krediler ve teşviklerin açıklanması hala devam ediyor [25].

Türkiye’de yenilenebilir enerji politikalarını belirleyen yasaları kısaca özetleyen bir tablo Çizelge 3.2’de görülmektedir.

Çizelge 3.2 Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Politikalarını Belirleyen Yasalar [20]

Yürürlükte Olan Yasal Düzenleme	Başlangıç Tarihi
Stratejik Plan 2015-2019	2015 Ocak
İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı 2011-2023	2011 Temmuz
Yenilenebilir Enerji Kanunu	2010
Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi 2010-2020	2010 Mayıs
Enerji Verimliliğinin Artırılması ve Düzenlenmesine İlişkin Kanun	2007
Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun - 5346 sayılı	2005 (son güncelleme 2016)
Elektrik Piyasası kanunu	2001

Son olarak 6 Nisan 2017 tarihinde Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından “Milli Enerji ve Maden Poitikası” bir tanıtım programıyla duyurulmuştur. Uygulamaya konulacak olan Milli Enerji ve Maden Politikasının temeli, toplam elektrik enerjisi üretimindeki yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının payının ve kaynak çeşitliliğinin artırılması suretiyle elektrik enerjisi üretiminde dengeli bir portföyün oluşturulmasına dayanmaktadır. Bu programda toplam elektrik üretiminde

yerli ve yenilenebilir kaynak oranının üçte iki (2/3) seviyesine yükseltilerek, güneş ve rüzgar kurulu kapasitemize önümüzdeki 10 yılda her bir kaynaktan 10GW kapasite eklenmesi hedefleri de ortaya konulmuştur. Ayrıca programın sunumunda rüzgar türbin teknolojisinde yerleşirmenin önünün açılacağı vurgulanmıştır [26].

3.3.2 Avrupa ve Dünyada Rüzgar Enerjisi Politikaları

3.3.2.1 Almanya

Almanya’da, Fukuşima felaketi ve güçlü kamusal karşıtlık nedeniyle 2011’de nükleer enerjinin azaltılması kararı yeniden güçlendi ve sağlamlaştı. Sözde enerji dönüşümü (Energiewende) olarak materyalleştirilen bu karar Almanya’nın enerji politikasını tamamıyla yeniden yapılandırmasına yardım ediyor [27].

Almanya’da yakın zamanda 2017 Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanunu (EEG 2017) kabul edildi. 1 Ocak 2017 tarihinde yürürlüğe girmiş olan ve Energiewende’ nin yeni bir evresi olarak tanımlanabilecek olan EEG 2017’nin önceki sisteme göre en önemli farkı; yenilenebilir enerji finansmanlarının gelecekteki oranları devlet tarafından tespit edilmek yerine sektör tarafından belirlenecektir [28].

Önceki sistem olan EEG 2014’ün belirlediği kurallar ise doğrudan satış sağlıyordu; yenilenebilir enerji tesis işletmecisi üretilen enerjiyi alıcıya ikisinin anlaşmaya vardığı bedel üzerinden satıyordu. Ek olarak işletmeci 20 yıl boyunca (ilave bir yıl tesisin kurulum süresi) üretilen elektriğin beslendiği şebeke işletmecisi tarafından geçerli piyasa bedeli ödeniyordu. Genel olarak EEG 2014 solar enerji, onshore ve offshore rüzgar, biyokütle vs. sabit fonlama değeri sağlıyordu [28].

2014 yılı sonlarında Almanya’da geçerli feed-in-tariff (sabit tarife) değerleri Onshore rüzgar enerjisi için tesisin kurulumundan itibaren ilk 5 yıl için 8,93 EUR ct/kWh ve ilave 0,48 EUR ct/kWh bonus olmak üzere 9,41 EUR ct/kWh ilk 5 yıldan sonra 4,87 EUR ct/kWh olarak uygulanmaktaydı. Offshore rüzgar enerjisi için ise iki farklı seçenek uygulanarak ilk 12 yıl için 15 EUR ct/kWh, sonrasında 3,5 EUR ct/kWh olarak veya ilk 8 yıl 19 EUR ct/kWh olarak sabit tarife uygulanmaktaydı [29].

3.3.2.2 Fransa

Fransa'da 2015 yılında kabul edilen yasayla 2030 yılına kadar ulaşılabacak iklim ve yenilenebilir enerji hedefleri belirlenmiştir. Fransa Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı çerçevesinde 2030 yılına kadar yenilenebilir enerji hedefleri ısıtma-soğutma, ulaşım, elektrik ve genel enerji tüketimi olarak sınıflandırılmış ve ayrı ayrı hedef belirlenmiştir. Buna göre toplam enerji tüketiminin %32'si, toplam elektrik tüketiminin ise %40'ını yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması öngörülmektedir [20].

Fransa'da yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik için şebeke satış garantisi bulunmaktadır. Fransa yenilenebilir elektrik desteklemeleri için teknolojiye özel şebekeye satış tarifesi uygulamaktadır. Tarife seviyeleri genel olarak yeterli, hatta olumlu görünmektedir. Rüzgâr teknolojileri için destek seviyesi yeterli olarak görünmektedir. Son olarak karadaki rüzgâr tarifesi belirlenirken ve tarifeye destek sağlanması sürecinde, bir türbinin tam kapasitesi baz alınmıştır [20]. Bu bilgilere göre Fransa'nın artan mali destekleri neticesinde RES kurulumunun da artış gösterdiği söylenebilir.

Fransa'da 2009 ile 2012 yıllarını kapsayacak şekilde 0,4 milyar Euro'luk bir bütçe uygulamasıyla özellikle hanelerde ve ufak işletmelerde tüketilen elektriği karşılamak için yapılacak RES yatırımlarına hibe ve teşvikleri vermekteydi [20].

3.3.2.3 Brezilya

Brezilya'nın ana elektrik kaynağı son 10 yıldır %80 civarında paya sahip olan hidroelektrik enerjidir. Bu durumun önümüzdeki yıllarda da devam etmesi öngörülmektedir. Rüzgar enerjisinin payı ise %20 olarak hedeflenmiş ve ülkenin ana enerji kaynağı olarak hidroelektrik ve rüzgar belirlenmiştir. Ülkenin en verimli rüzgar sahaları kuzey-doğu ve güney bölgelerinde tespit edilmiştir. Ülkenin onshore rüzgar enerji potansiyeli yerden 100 metre yüksekte yaklaşık 300-350 GW olarak tahmin edilmektedir [30].

Brezilya'da rüzgar enerjisinin gelişimi iki aşamada gerçekleşmiştir. İlk aşamada, konvansiyonel olmayan yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişimi güçlü bir şekilde teşvik edildi. İlk aşamanın sonuçları olağanüstü başarılıydı: Yenilenebilir enerji ihaleleri çok rekabetçiydi, devlet ve özel sektörden büyük yatırımlar çekiyordu ve tüketicilere daha düşük maliyetli temiz enerjiden kar imkanı veriyordu. Ancak rüzgar ihalelerinin bu yüksek başarısı bazı problemleri de beraberinde getirdi. Sözleşmelerde sunulan şartların çok cömert olması üreticilerin agresif teklifler vermesine ve santrallerinin muhtemel performansları hakkında gerçekçi olmayan vaatlerde bulunmasına neden olmuştu. Bu durum Brezilya'da rüzgar enerjisi gelişiminin ikinci aşamasını tanımlamıştır. Brezilya Hükümeti, 2009 yılında piyasaya sunulan açık arttırma sisteminin bazı yönlerini gözden geçirmek ve rüzgar üreticileri için sunulan sözleşmelerde optimal bir risk dağılımı gibi bazı konuları 2013 yılında ele almaya başladı. 2013 yılında gerçekleştirilen ihalelerde iki tane önemli değişiklik yürürlüğe girdi. Sertifikalı rüzgar enerji üretiminin açık arttırmada satılabilen kısmı azaltıldı: Bağımsız şirket tarafından geriye dönük rüzgar ölçümlerinden hesaplanan ortalama üretim değeri satılabilmekteyken (P50 olarak isimlendirilen 50. persentil değeri), 2013 yılı ile birlikte rüzgar enerji şirketlerinin açık arttırmaya çıkarabilecekleri enerji miktarı gelecek 10 yılın 9'undan daha düşük olması (P90) tahmin ediliyordu. 2013 yılı Ağustos ayına gelindiğinde ise hükümet artık üretim ve iletimin genişlemesini koordine etmeyecekti. P90'a dayalı sertifikalandırma, yatırımcıların hala teslim edebilecekleri enerjiden daha fazlasını vaat ediyor görünmesi nedeniyle çok başarılı sayılmadı ve hükümetin ihale tavan fiyatı politikasını gözden geçirmesi gündeme geldi. Ancak sonraki yapılan ihalelerde de tavan fiyatlara çok yakın marjinal fiyatlar ortaya çıktı. Fiyatların önemli ölçüde düşmesi için Brezilya rüzgar sektörünün kritik büyüklüğe ulaşması gerekiyordu. 2013 yılındaki cesaret verici politika düzenlemelerine rağmen Brezilya rüzgar enerji sektörünün gelişmesindeki ikinci aşamanın sorunları henüz tamamen çözülmüş değildir. Sonuç olarak, Brezilya sisteminin rüzgar enerjisi genişlemesine uyum kabiliyetini değerlendirmek için teknik bir analize ihtiyaç duyulmaktadır ve bu analiz gündemdedir [31].

3.3.2.4 Hindistan

2010-2015 yıllarında Hindistan'da rüzgar enerjisi sektörü %16 civarında büyümüştür. 2015 itibariyle Hindistan'ın toplam gücünün %12'si yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır ve yaklaşık %88'i diğer kaynaklara bağlıdır. Hindistan 2020 itibariyle enerji üretiminin %15'ini yenilenebilir enerjiden sağlamayı hedeflemektedir [32]. Yenilenebilir enerji kurulu gücü içindeki rüzgar enerjisi oranı %65, Solar %12, Biyokütle %12 ve Küçük hidroelektrik %11 civarındadır [33].

Hindistan'da, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Bakanlığı (MNRE) ile Hindistan Yenilenebilir Enerji Kalkınma Ajansı (IREDA) hükümetin rüzgar enerji departmanı ile koordinasyon içinde çalışmaktadır. IREDA, rüzgar potansiyeli olan sahaları belirlemek, rüzgar kaynağını değerlendirmek, devlet politikalarını kurmak, finansman ve karlılık, ekipmanların kullanılabilirliği, servis, kısıtlamalar ve teklifler üzerinde çalışmaktadır. IREDA, rüzgar güç yoğunluğunu ölçmek için Hindistan genelinde ölçüm istasyonları kurar. Yer seviyesinden 50 metre ve 80 metre yükseklikte Ülkenin $200\text{W}/\text{m}^2$ değeri üzerinde güç yoğunluğu olan lokasyonlar belirlenir. Rüzgar enerji kaynaklarını haritalandırmak için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılmaktadır. Bu haritalar rüzgar potansiyel alanlarına erişmek için ortalama rüzgar hızı hakkında fikir verir [32].

Hindistan'ın son 25 yıldır büyüyen ekonomisi nedeniyle ana enerji kaynağı her yıl %5,8 oranında artmalıdır. Bu önemli artış, entegre bir enerji politikasının gerekliliğine işaret etmektedir. Offshore rüzgar gücü politikasının geliştirilmesi de rüzgar enerji kapasitesini arttırmaya yardımcı olacaktır [32].

Hindistan'ın güç sektörünü dönüştürecek olan yenilenebilir enerji politikaları geliştirilmelidir. Bu politikalar 5 kategoride sınıflandırılmıştır [34]:

1. Devlet desteği
2. Mali ve kota tabanlı teşvikler
3. Yerel uzmanlık
4. Yatırımlar için sermaye
5. İnşa ve etkinleştirme sistemi

Hindistan’da 2009 yılı Aralık ayında Üretim Bazlı Teşvik (Generation-based incentive – GBI) devreye alınmış ve birim enerji başına 50 paisa (yarım Rupee) olarak duyurulmuştur. Bu mekanizmanın amacı RESlerde kurulum bazlı ödemedeki üretim bazlı ödeme yöntemine geçmektir. GBI’den önce RES kuranlar için vergi avantajları uygulanıyordu. Fakat GBI mekanizması daha fazla güç kurulumunu teşvik etmekte başarısız oldu. Daha verimli RESlerin gelişimini teşvik etmenin bir yöntemidir [32].

Nisan 2012’de ise Ulusal Rüzgar Enerji Misyonu (NWEM) duyuruldu. Hükümet birinci rüzgar enerji misyonunu rüzgar enerji sektörüne hız kazandırmak olarak açıkladı. Hindistan’da Yenilenebilir enerji, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Bakanlığı tarafından desteklenmekte, tüm politikalar, regülasyonlar ve yenilenebilir enerjiyle alakalı onayla merkezden yönetilmektedir. Bu kurum, Enerji Bakanlığı ile Merkezi ve Bölgesel Elektrik Düzenleme Komisyonu (CERC ve SERC) tarafından desteklenmektedir. Merkezi Elektrik Düzenleme Komisyonu (CERC) ulusal şebeke ve eyaletler arası güç transferi ve paylaşımı ile uğraşmakta, Bölgesel Enerji Düzenleme Komisyonu (SERC) ise bölgesel dağıtım ve iletimi yönetmektedir. Bu iki kurum feed-in tariff bedellerinin ve diğer öğelerin belirlenmesinde tek yetkili olarak yenilenebilir enerjinin artışında kilit rol oynamaktadır. CERC tarafından tarifelerin taban fiyat ve toleranslı fiyat olarak zaman zaman belirlenmesiyle yenilenebilir enerji güç ticareti düzenlenir. 2012 yılında CERC tarafından solar ve solar olmayan enerji kaynaklarının taban ve toleranslı fiyatları aşağıdaki gibi belirlenmiştir [32].

Çizelge 3.3 Hindistan’da Uygulanan Feed-in Tariff Bedelleri [32]

	Non-Solar/MW	Solar/MW
Toleranslı Fiyat	3,300	13,400
Taban Fiyat	1,500	9,300

Bugün Hindistan’da üreticiler devletle 20 yıllık güç satış anlaşması imzalamakta, ayrıca üçüncü şahıslara enerji satabilmekte ve ürettikleri enerjiyi kullanabilmektedir. Bazı eyalet hükümetleri vergi avantajları da sağlamaktadır [35].

3.3.2.5 Çin

Hızlı bir sanayileşme ve kentleşme süreci yaşanan Çin, dünyanın en fazla enerji tüketen ülkesi durumundadır. Çin’de elektrik üretiminin %73’ü kömürden elde edilmektedir. Bu durum Çin’i aynı zamanda dünyanın en çok sera gazı salınımı yapan ülkesi konumuna getirmektedir. Çin, dünya kömür tüketiminin yaklaşık olarak yarısını dünya toplam alanının % 2,2’lik bir kısmında gerçekleştirmektedir. Kömür tüketiminin bu derece yüksek olması Çin’de yaşanan hava kirliliğinin temel nedenidir [36].

2014 Kasım ayında Birleşik Devletler ve Çin 2020 yılı sonrası için “green house gas” (GHG) emisyon hedeflerini duyurmuştur. Birleşik Devletler CO₂ emisyonunu 2025 itibariyle 2005 seviyesine göre %26-28 düşürme hedefi duyurmuş, Çin ise 2030’a kadar CO₂ emisyonunun zayıflaması niyetinde olduğunu duyurmuştur. Çin 2030 yılı itibariyle fosil olmayan yakıtların enerji tüketimindeki payını %20 dolaylarına çıkarmaya odaklanmıştır. Çin’i 2020 yılı için yenilenebilir enerji hedefi 420GW hidroelektrik, 200GW rüzgar, 50GW solar ve 30GW biyokütle olmak üzere toplam 700GW kurulu kapasiteye ulaşmaktır [37].

Çin ekonomisinin hızlı büyümesi enerji ihtiyacının beklenenden hızlı artışına neden olmuştur. Sınırlı konvansiyonel enerji, yüksek enerji tüketimi ve ciddi kirlilik nedeniyle yenilenebilir enerjinin kullanımı gereklidir. Çin, karbon emisyon seviyesini düşürecek olan rüzgar, solar, biyokütle ve diğer yenilenebilir enerjilerin ilerdeki kullanımı ve gelişimini güçlendirecektir. Ancak Çin’in yenilenebilir enerjideki, özellikle rüzgardaki, hızlı gelişimi bazı büyüme sancularına eşlik etmiştir. Makul bir yenilenebilir enerji tarife politikası Çin’in mevcut durumunu değiştirmek için kilit role sahiptir [38].

Çin’in rüzgar gücü hızlı bir gelişimi başardı fakat farklı bölgeler arasında büyük zıtlıklar mevcuttur. Rüzgar gücünün gelecekteki ilerleme hedefleri on ikinci 5 yıllık plan ile belirlenmiştir. Çin’deki rüzgar enerji tarifeleri dört safhada gelişmiştir bunlar; tarife onayı safhası, fiyat teklifi ve tarife onayının bir arada olduğu safha, artı teklif izin safhası ve sabit tarife safhasıdır. Çin’de 2009 yılından sonra sabit tarife

uygulanmaya başlanmıştır. Bu politikaya göre tüm ülke rüzgar enerji kaynağı bölgesi olarak dört kısma ayrılmış ve karşılaştırmalı tarifeler 0.51, 0.54, 0.58 ve 0.61 RMB/kWh olarak belirlenmiştir [39].

Fakat sabit tarifelerin yatırımlara rehber olamadığı, RESlerin piyasa fiyatlarından izole olmasına neden olduğu ve teklif edilen ile onaylanan tarife fiyatının her bir proje için farklı olması nedeniyle rüzgar kaynağını kullanacak yatırımcıya kesin bilgi verememesi ve böylece yerli ve yabancı yatırımcıların kaçınılmaz şekilde negatif etkilenmesi gibi dezavantajları olduğu belirtilmektedir. Bununla beraber rüzgar enerji tarifelerinin ödenme yönteminin yeterince açık olmadığı belirtilmektedir [38], [40].

Çin menşeli rüzgâr türbini üreticilerinin pazar payının özellikle Çin'deki ekonomik büyümeyle paralel olarak artması dikkat çekmektedir [41].

Son yıllarda dünya genelinde yaşanan iklim değişikliği de Çin'in yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesinin bir diğer nedenidir. Çin, yüksek kömür kullanım oranları nedeniyle dünyanın en fazla karbon salınımı yapan ülkelerinden biridir. Bu durum hava, su ve toprak kirliliğine neden olarak su ve gıda güvenliğini de tehdit etmektedir. Ayrıca toplum genelinin de özellikle az gelişmiş bölgelerde insan yaşamı üzerinde olumsuz etkiye sebebiyet vererek, yaşam kalitesini azaltmaktadır. İklim değişikliği nedeniyle oluşturulan komisyonlar ve alınan protokoller nedeniyle Çin üzerinde önemli bir uluslararası baskının varlığından söz etmek mümkündür [36].

2013 yılı itibariyle Çin' de kurulumu yapılan rüzgar türbinlerinin büyük çoğunluğu yerel firmalar tarafından üretilmektedir. 2012 yılında kurulan 13GW rüzgar gücü kapasitesinin yaklaşık %92,5' i yerel kaynaklıdır, %7,5' i ise uluslararası üreticiler tarafından sağlanmıştır [42].

3.3.2.6 ABD

ABD' nin yenilenebilir teknolojileri geliştirmeyi ve uygulamayı hedefleyen yasal girişimleri; 2005 Enerji Politikası Yasası, 2007 Enerji Bağımsızlığı ve Güvenlik Yasası ve 2009 Amerikan İyileştirme ve Yeniden Yatırım Yasası ile şekillenmiştir.

Son eklenen ve Temiz Güç Planı olarak bilinen Bölüm 111(d) kapsamındaki Temiz Hava Kanunu, eyaletlerin yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimini artırmaları için bir politika çerçevesi sunmaktadır [43].

Rüzgar üretimini teşvik etmek için ilk olarak 1992 Enerji Politikası Yasası'nın bir parçası olarak Federal üretim vergi kredileri (PTC) hayata geçirilmiştir. Aralık 2015'te, bu federal vergi kredilerinin bir uzantısı, Güneş ve Rüzgar teknolojisi için Kongre tarafından yeniden onaylandı. İnşaat başlangıcındaki rüzgar santralleri için on yıl boyunca düşük uygulanan üretim vergisi kredileri 2019 yılına kadar uzatılmıştır [43].

ABD' de Yenilenebilir Portföy Standartları (RPS), Yenilenebilir Enerji Kredileri (REC), Feed in Tariff (FiT) ve kendi elektriğini üretmek isteyen tüketiciler için bir çeşit mahsuplaşma yöntemi olan Net Metering Tariff sistemleri uygulanmaktadır.

2014 yılı itibarıyla, ABD enerji kaynaklarının yaklaşık % 13'ünü yenilenebilir enerji kaynakları (hidroelektrik, rüzgar enerjisi, biyokütle odun, biyokütle atık, jeotermal ve güneş enerjisi) oluşturmaktadır ve bu oranın neredeyse yarısı hidroelektrik enerjisidir [43].

Texas, iyi pazar politikaları, yüksek elektrik talebi ve büyük bir rüzgar kaynağı sayesinde ABD'nin kurulu rüzgar kapasitesine liderlik ediyor [44]. ABD nüfusunun %40'ını temsil eden devletler (29 eyalet), temiz enerji planları ile ilerlemeye devam ediyor. Örneğin, sadece 2015 yılında Teksas' ın rüzgardan elektrik üretimi toplam elektrik üretiminin % 12'sini oluşturdu [45].

ABD Enerji Bakanlığı tarafından Mayıs 2008'de Rüzgar Enerjisinin ABD Elektrik Enerjisine Katkısını Artırma hakkında yayınlanan bir raporda, ABD'nin elektriğinin en az %20'sini rüzgardan elde etmek için yeterli ve uygun fiyatlı rüzgar kaynaklarına sahip olduğu sonucuna varılmıştır. %20 rüzgar vizyonunun sağlanması, sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltacaktır [46].

Doğru politika desteğiyle, rüzgar enerjisi ABD'nin elektriğinin yüzde 20'sini sağlayacak şekilde büyüyebilir. Enerji, politika odaklı bir endüstridir. Bir dizi devlet yasama ve düzenleme faaliyeti rüzgar endüstrisinin elektrik piyasasında rekabet edebilme yeteneğini etkilemektedir. Amerikan Rüzgar Enerjisi Birliği (AWEA)'nın sürdürdüğü temel devlet düzeyinde politikalarından bazıları şunlardır [44]:

- **Yenilenebilir Portföy Standartları (RPS);** Yenilenebilir elektrik standardı (RES) olarak da bilinen yenilenebilir portföy standardı (RPS), elektrik arzını çeşitlendirmek, yerel ekonomik kalkınmayı teşvik etmek ve kirliliği azaltmak için yakın ve uzun vadede yenilenebilir enerji için zor hedefler belirleyen bir politikadır. Bugün 29 eyalet ve Columbia Bölgesi yenilenebilir portföy standartlarına sahiptir ve sekiz eyalet yenilenebilir enerji hedeflerine sahiptir.
- **Üretim Vergi Kredileri (PTC);** Federal üretim vergi kredisi (PTC), konvansiyonel enerji için federal destekli teşviklerle beraber rüzgâr gücü seviyesini bir düzeye taşıdı. Bazı eyaletlerde ayrıca rüzgar gelişimini çekebilecek veya caydıracak vergi politikaları da vardır. Ekonomik gelişmeyi teşvik etmek için özel emlak vergisi muamelesi, bazı eyaletlerde rüzgar gelişiminin sağlanması için faydalı olmuştur.
- **Elverişli İletim Politikası;** Elverişli iletim politikası, iletim şebekesinin rüzgar enerjisi gelişimini sağlamak amacıyla genişletilmesidir. Yenilenebilir enerjinin genişlemesini teşvik etmek için, iletim şebekesi, büyük rüzgar kaynaklarına sahip alanları, elektrik enerjisi için önemli bir talebi olan alanlara bağlamak için inşa edilmelidir. Devlet düzenleyicileri, iletim şebekesinin genişletilmesi için planlama, izin verme ve ödeme konusunda kilit rol oynar.
- **Tedbirli Alan Politikaları;** Tedbirli alan politikaları, Rüzgâr enerjisi projelerinin alan sorunlarının çözülmesi, rüzgar enerjisi gelişiminin önemli bir parçasıdır. Rüzgar enerjisi konumlandırma sorunlarına uygulanan ilkeler, federal, eyalet ve yerel düzeylerde etkin, adil ve açık izin süreçlerini desteklemelidir.

4. RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE ELEKTRİK ÜRETİMİ

4.1 Giriş

Rüzgar türbinlerinin tasarım ve üretimleri çok aşamalı olarak gerçekleşmektedir çünkü çok sayıda bileşen ve sistemden oluşan kompleks bir yapıdır. Rüzgar türbinlerinin jeneratör, kanat, güç elektroniği gibi kısımları için ayrı mühendislik çalışmaları yapılmakta ve üretimden önceki aşamada çeşitli simülasyonlar uygulanmaktadır. Rüzgar türbinlerinin kısmi veya genel olarak modellenmesi ve simülasyonlarının gerçekleşmesi için bazı uygulamalar aşağıda verilmiştir.

Matlab Simulink, bir paket program olmasına rağmen çok sayıda mühendislik kolu ve özel çalışma konularına göre program hazırlama, derleyip çalıştırma ve detaylı simülasyon yeteneği bulunmaktadır. Bu yönüyle program rüzgar türbinlerinin elektrik, kontrol ve mekanik kısımlarının modellenmesi ve simülasyonunda özellikle akademik alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

HAWC2, Danimarka Teknik Üniversitesine bağlı Risø Ulusal Laboratuvarı tarafından geliştirilen HAWC2 (Horizontal Axis Wind Turbine Code 2) 2003 senesinden beri rüzgâr türbinlerinin zaman boyutundaki dinamik davranışlarını hesaplayan bir programdır [47].

HyperWorks, rüzgar türbini tasarımlarının modellenmesi ve optimizasyonu konusunda çözümler sunan ticari bir yazılımdır. Optimizasyon teknikleri kullanarak, optimum tasarımı teknik olarak gerçekleştirmeye imkan oluşturmaktadır [48].

Crystal Ball, Crystal Ball ise Microsoft Excel tabloları kullanarak riskleri ve belirsizlikleri analiz etmekte kullanılan bir simülasyon programıdır. Daha çok RES kurulumlarında ekonomik analizler ve geri ödeme sürelerinin hesaplanması gibi işlerde kullanım alanı bulmaktadır.

Generatörden elde edilebilecek aktif güç, rüzgâr gücünün etkili olduğu türbin kanadı süpürme alanı A , hava yoğunluğu ρ (kgm^{-3}) ve rüzgâr hızı (ms^{-1}) bileşenlerinden

oluşur. Aktif güç, rüzgâr gücünden elde edilip çıkışa aktarılan aktif güç sabiti C_p kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır [49].

$$P = \frac{1}{2} C_p(\lambda) \rho A V^3 \quad (4.1)$$

Burada, V rüzgâr hızıdır. Güç sabiti C_p , kanat ucu hız oranının λ doğrusal olmayan bir fonksiyonudur. Kanat ucu hız oranı generatör mili açısal hızı ω_r (rad/s) ve rüzgâr hızına bağlıdır [49].

4.2 Rüzgar Türbin Çeşitleri

Rüzgar türbinleri dönme eksenini, rüzgar etkisi ve kanat sayısı gibi çeşitli özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma genel olarak aşağıdaki gibidir [50].

1) Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri

a) Rüzgar Etkisine Göre;

- i) Rüzgarı Önden Alan Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri
- ii) Rüzgarı Arkadan Alan Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri

b) Kanat Sayısına Göre;

- i) Tek Kanatlı Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri
- ii) İki Kanatlı Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri
- iii) Üç Kanatlı Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri
- iv) Çok Kanatlı Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri

2) Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri

- a) Darrieus Tipi Dikey Eksenli Rüzgâr Türbini
- b) H-Darrieus Tipi Düşey Eksenli Rüzgâr Türbini
- c) Savonius Tipi Düşey Eksenli Rüzgâr Türbini

3) Eğik Eksenli Rüzgar Türbinleri

Eksenlerine göre rüzgar türbinlerinin örnek resimleri Şekil 4.1' de görülmektedir. Üstte solda görülen yatay eksenli, sağda bulunan dikey eksenli ve aşağıdaki resim ise eğik eksenli bir rüzgar türbinini göstermektedir.



Şekil 4.1 Yatay Eksenli, Dikey Eksenli ve Eğik Eksenli Rüzgar Türbini [51], [52]

Şekil 4.2’ de ise kanat sayılarına göre yatay eksenli rüzgar türbinlerinin örnek resimleri görülmektedir.



Şekil 4.2 Kanat Sayılarına Göre Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri [51], [53], [54]

Rüzgar türbinlerinde kanat sayısının artmasıyla aerodinamik verim artar ancak geri dönüşü azalır. Örneğin kanat sayısının birden ikiye çıkması üretimi %6 oranında artırır, ikiden üçe çıkması ise ilaveten %3 oranında arttırmaktadır [7].

Üç kanat kullanımının asıl sebebi, dönme momentinin daha düzgün olmasıdır. Bu türbinde, türbinin yapısı üzerinde depolanan yüklerden dolayı salınım yapan atalet momenti olmadığından, hub içinde titreşimi önleyici pahalı parçalara gerek yoktur. Kanat uç hızı 70m/sn altında olduğundan gürültünün düşüklüğü, sarsıntısız

döndükleri için göz estetiğini bozmamaları önemli bir avantaj olup, halk tarafından kabulünü sağlamıştır [55].

4.3 Rüzgar Türbini Bileşenleri

Rüzgar türbinleri çok fazla sayıda ve çeşitlilikte ekipman ihtiva etmekle beraber genel olarak kule, nasele ve rotor kısımlarından oluşmaktadır. Kule; türbinin destek elemanı olarak ayakta durur, üzerinde ve içinde ekipmanları barındırır. Nasele; güç üretim ve aktarma elemanları olan jeneratör ve dişli kutusu ile beraber sensörler, fren sistemi, kontrol sistemleri gibi türbinin ana elemanlarından oluşan yapıdır. Rotor ise kanatlar ve hub denilen göbek kısmından oluşur, burada kanat açısı kontrol sistemi (pitch) de bulunmaktadır.

Türbinin diğer bileşenleri ise transformatör, kesici-ayırıcı ve kablolar gibi elektrik ekipmanları, veri toplama, iletişim sistemleri ile temel yapısı olarak sayılabilir.

4.4 Türkiye’de Rüzgar Türbini İmalatı

Türkiye’de rüzgar türbini ve rüzgar türbin ekipmanları imalatı yapan yerli firmalar aşağıda listelenmektedir. Genel olarak ekipman imalatı yapan firmaların yerlilik oranlarının yüksek olduğu, sistem olarak türbin imalatı yapan firmalarda ise yerlilik oranının daha düşük olduğu görülmektedir.

Soyut Enerji A.Ş; Ankara’da faaliyet gösteren firma rüzgar türbinlerinin kanatlarını, kulelerini, makine dairesi (nacelle) ve kontrol sistemlerini imal etmektedir [56].

Altima Enerji ve Makinaları San. Ve Tic. A.Ş; İzmir’de faaliyet gösteren firma 500kW gücüne kadar olan rüzgar türbinleri imalatı yapmaktadır [57].

Northel Enerji A.Ş; Balıkesir’de faaliyet gösteren firma 250kW güce kadar olan rüzgar türbinlerini 100% yerli olarak IEC-CE 61400 standardında imal etmekte, kurulum yapmakta ve servis hizmeti vermektedir [58].

Ayetek Enerji; Konya’da kurulu olan firma 250kW gücüne kadar olan rüzgar türbini üretimi, solar panel üretimi ve kurulum alanında faaliyet göstermektedir [59].

Alka Grup; Kocaeli’nde faaliyet gösteren firma, rüzgar enerji santrallerinde ihtiyaç duyulan kuleleri monopol, poligonal konik ya da kafes tipi olarak tasarım, imalat ve montajlarını yapmaktadır [60].

Ateş Çelik; İzmir’de faaliyet gösteren firma tüm güçteki rüzgar türbinleri için kule, platform, merdiven, jeneratör statoru gibi çelik aksamların tasarımı, imalatı ve montajı yapmaktadır [61].

Berdan Cıvata; Mersin’de faaliyet gösteren firma rüzgar enerji sektörü ve çeşitli diğer sektörler için yüksek dayanımlı cıvata, ankraj, saplama ve somun üretimini üstlenmekte ve 50’yi aşkın ülkeye ürünlerini ihraç etmektedir [62].

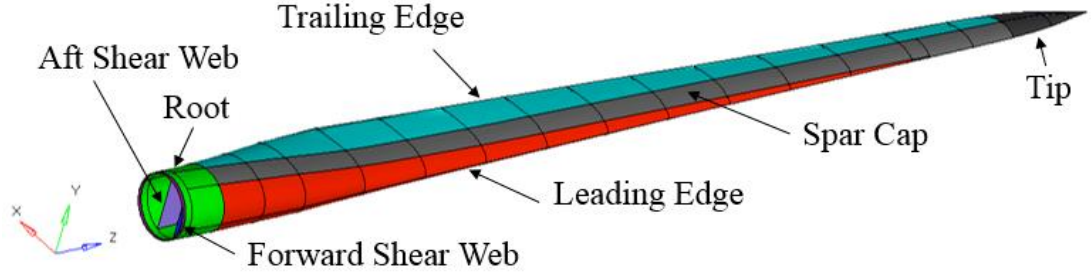
4.5 Rüzgar Türbin Kanatlarının İmalatı

Rüzgâr Türbinlerinin modellerine ve kapasitelerine göre kanatlarında farklılıklar olmaktadır ancak hemen hemen tüm kanatlar benzer yöntemler kullanılarak kompozit teknolojisi ile üretilmektedir [63].

Rüzgar türbin kanatlarının tasarımları dayanıklılık ve yaşlanma temelli olarak yapılabilmektedir. Ayrıca bu yöntemlerde ortalama rüzgar hızı ve değişken rüzgar hızlarına göre hesaplama, simülasyon ve deneylerle elde edilen veriler kullanılmaktadır.

Kompozit tip rüzgar türbin kanatlarının değişken rüzgar yükü altında dayanıklılık bazlı tasarımı ve diğer yöntemlere göre daha yeni bir metot olarak bilinmektedir.

Kompozit rüzgar türbin kanadını oluşturan yedi kısım Şekil 4.3’ de görülmektedir.



Şekil 4.3 Kompozit Rüzgar Türbin Kanadının Bölümleri [64]

Rüzgar türbin kanatları kompozit yapıdadır ve üretimleri büyük oranda el ile imalata dayanmaktadır.

Yakın geçmişte “El Yatırması Yöntemi”, daha sonra bunun geliştirilmesiyle “Vakum Torbalama ile El Yatırması Yöntemi” ve günümüzde yaygın olarak “İnfüzyon Yöntemi” olarak adlandırılan yöntemlerle kanatların üretimi yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir [63].

4.5.1 Vakum İnfüzyon Yöntemiyle Kompozit Kanat İmalatı

Bu yöntemin temel prensibi, vakum altına alınmış kuru takviye ve dolgu malzemelerinin basınç farkından yararlanılarak reçinenin ilerlemesi ile tamamen doyurulmasıdır [63].

Büyük ölçekli ürünlerde en iyi cam/reçine oranı bu yöntem ile sağlanabilmektedir ki bu da dayanımı çok daha yüksek ve daha hafif ürünler elde edilmesini sağlamaktadır [63].

Diğer yöntemlere göre maliyetleri daha fazla olmasına rağmen iş güvenliği ve işçi sağlığı açısından riskleri daha azdır. Bu yöntemin türbin kanadı imalatında kullanılmasıyla beraber, özellikle kalıp yapım teknolojileri de gelişme göstermiştir, kendinden ısıtmalı, vakum girişleri hazır, izolasyonları yapılarak ısı kayıplarının en aza indirildiği kalıplar üretilmiş ve bu durum üretilen kanat kalitesinin daha da artmasına imkan vermiştir. Şekil 4.4’ te İnfüzyon yöntemiyle imal edilen bir kanat görülmektedir [63].



Şekil 4.4 İnfüzyonu Bitirilmiş Bir Kanat Yüzeyinden Görüntü [63]

4.6 Büyük Güçlü Rüzgar Türbinleri ve İleriye Dönük Çalışmalar

Günümüzde rüzgar türbinleri için üretilen jeneratörler 12,5MVA güce ulaşmış olup çıkış gerilimleri de 690V ile 15kV arasında değişmektedir. Bu jeneratörler enerji üretiminde kullanılan diğer türbinlerden farklı olarak geniş bir devir aralığında çalışabilecek şekilde dizayn edilmektedir [65]. Jeneratörün devir sayısını belirleyen kutup çifti sayısıdır kutup sayısı tasarıma göre artabilmektedir. Özellikle sabit mıknatıslı senkron jeneratörlerde kutup sayısı fazla, devir sayısı düşüktür.

18 Mart 2016 tarihinde www.sciencealert.com web sitesi tarafından yayınlanan bir habere göre Amerikalı bilim adamları 50MW gücünde bir rüzgar türbini projesi geliştirmek için çalışma başlatmış ve projenin 2019 yılında tamamlanması planlanmıştır [66].

Bugün AB fonları ile desteklenen projelerde 10 MW ile 20 MW gücündeki rüzgar türbinleri için çalışmalar yapılmaktadır. Daha ekonomik türbin üretimi ile beraber kanatlar, güç kontrolü ve jeneratör konusunda farklı çalışmalar mevcuttur. Süper-

iletken doğrudan tahrikli (direct drive) jeneratör konsepti üzerinde çalışılmaktadır. Süperiletken jeneratörlerin düşük ağırlık ve yüksek verim nedeniyle uzun yıllardır rüzgar türbinlerinde kullanılması tartışılıyordu ancak üretimlerinde kullanılan ekipmanlar pahalıdır [67].

Çeşitli firmalar tarafından üretilen ve tasarlanan dünyanın en büyük güçlü rüzgar türbinleri incelendiğinde ulaşılan bilgiler Çizelge 4.1’ de özet olarak verilmiştir.

Çizelge 4.1 Dünyanın En Büyük Güçlü Rüzgar Türbinleri [66], [68], [69]

ÜRETİCİ FİRMA	TÜRBİN MODELİ	TÜRBİN GÜCÜ (MW)	JENERATÖR TİPİ	AKTARMA	ROTOR ÇAPI (m)	ÇALIŞTIĞI YER
AMSC	SeaTitan 10MW	10	HTS (Yüksek Sıcaklık Süperiletken)	Doğrudan	190	
SWAY	Sway Turbine ST10	10	Sabit Miknatıslı Senkron	Doğrudan	164	
AREVA	Areva 8MW	8	Sabit Miknatıslı Senkron	Dişli Kutusu	180	ALMANYA (TEST)
VESTAS	V164 8MW	8	Sabit Miknatıslı Senkron	Dişli Kutusu	164	DANİMARKA
ENERCON	E-126/7,5MW	7,5	Rotoru Sargılı Senkron	Doğrudan	127	ALMANYA, BELÇİKA, HOLLANDA
SAMSUNG	S7.0-171	7	Sabit Miknatıslı Senkron	Dişli Kutusu	171	İSKOÇYA
MHI	SeaAngel 7MW	7	Sabit Miknatıslı Senkron	Dişli Kutusu	167	JAPONYA, İSKOÇYA
SENVION (REpower)	6.2M152 / 6.2M126	6,2	Çift Beslemeli Asenkron	Dişli Kutusu	152/126	ALMANYA, BELÇİKA, HOLLANDA
SIEMENS	SWT-6.0-154	6	Sabit Miknatıslı Senkron	Doğrudan	154	İNGİLTERE
ALSTOM	Haliade 150-6MW	6	Sabit Miknatıslı Senkron	Doğrudan	150	
SINOVEL	SL6000	6	Çift Beslemeli Asenkron	Dişli Kutusu	128	SHANGAI

Üretilen türbinlerde önemli ayırt edici özelliklerden biri enerji çevrim oranı olan güç katsayısı değerleridir. Üretilen türbinlerde önemli ayırt edici özelliklerden biri enerji çevrim oranı olan güç katsayısı değerleridir. Ticari olarak üretilen türbinlerin güç katsayısı değeri ortalama 0,36 civarındadır. Türkiye’de bu konuda, milli RES projesi üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Geliştirme aşamasında olduğundan dolayı verimlilik değerleri ile alakalı bir sonuç yoktur [70].

4.7 Jeneratörlerde Verim ve Kayıplar

Kayıplar jeneratörlerin ve tüm makinelerin verimini belirler dolayısıyla işletme maliyetini de önemli ölçüde belirler.

Jeneratörlerde kayıplar genel olarak 4 grupta toplanmaktadır [71].

- **Ohmik Kayıplar**

Ohmik ya da I^2R kayıpları, jeneratörün bütün sargılarında bulunur. Geleneksel olarak bu kayıplar sargının $750C'$ deki DA dirençlerine dayalı olarak hesaplanır. I^2R ile yakından ilgili olan başka bir kayıp türü de, bilezikler ve komütatörlerdeki fırça-temas kaybıdır. Genel olarak bu kayıp asenkron ve senkron makineler için göz ardı edilir [71].

- **Mekanik Kayıplar**

Mekanik kayıplar fırça ve yatak sürtünmeleri ile rüzgar veya fanlı vantilasyon sistemi için gerekli olan gücü içerir [71].

- **Açık-Devre (Boşta) Çekirdek Kaybı**

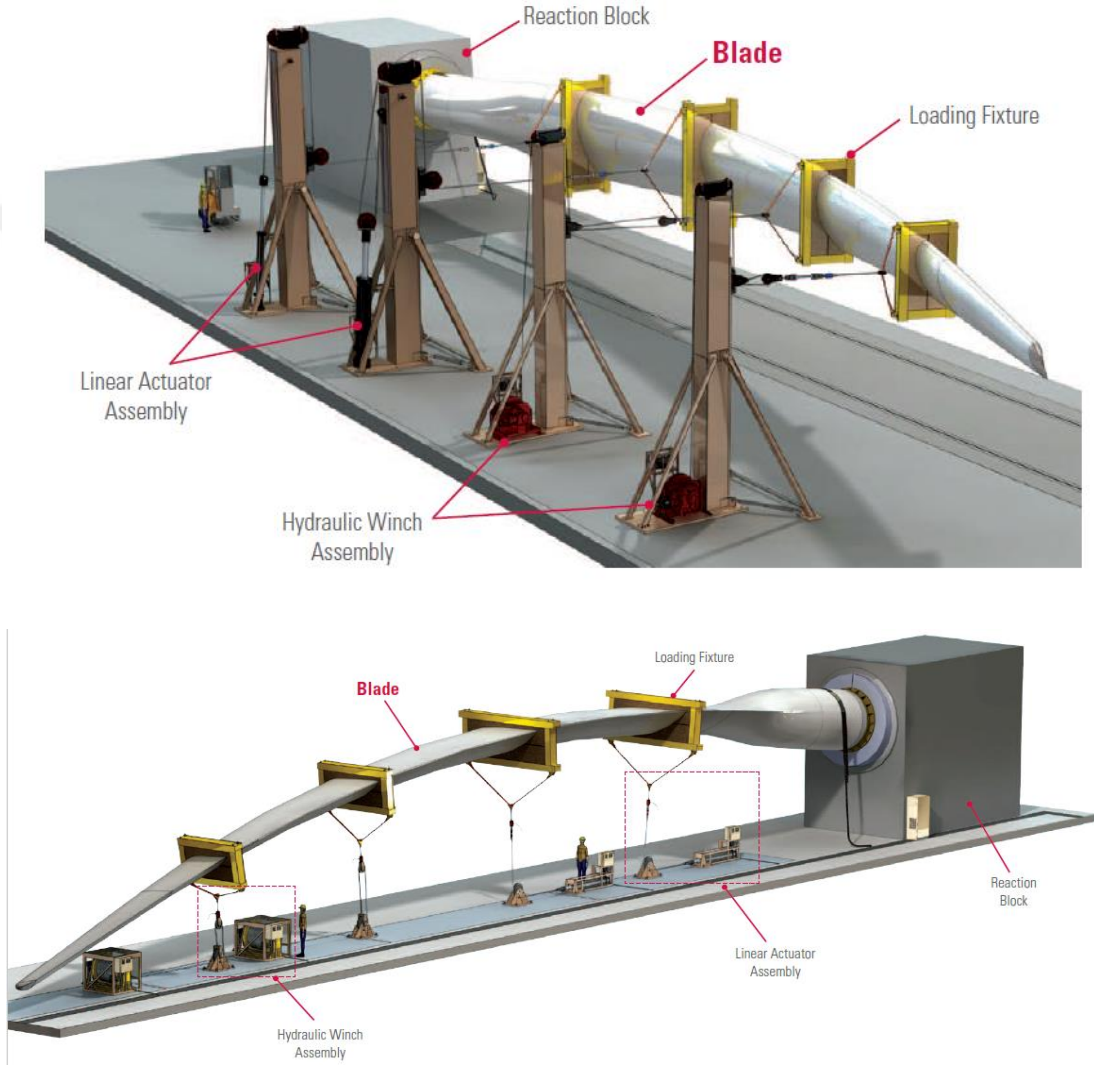
Açık-devre çekirdek kaybı, sadece ana uyartım sargısı enerjili makinenin demirindeki akı yoğunlukları değişiminden kaynaklanan histerezis ve girdap akımı kayıplarını kapsar. Girdap (Eddy) akım kayıpları, akı yoğunluğunun, frekansın ve laminasyon (sac levha) kalınlığının karesiyle değişir. Histerezis kayıplarının değişimi sadece ampirik (deneysel) temele dayalı bir denklem biçiminde ifade edilir [71].

- **Kaçak Yük Kaybı**

Kaçak yük kaybı bakırda homojen olmayan akı dağılımından kaynaklanan kayıpları ve yük akımının neden olduğu manyetik akı bozulmasının demir çekirdekte ürettiği ilave çekirdek kayıplarını içerir. Bu, doğru olarak tespit edilmesi zor olan bir kayıptır. Senkron ve asenkron makinelerde deneysel olarak bulunur [71].

4.8 Rüzgar Türbin Kanatlarının Testleri

Rüzgar türbin kanatlarının statik güvenilirlik testleri ve yaşlanma testleri çeşitli yöntemlerle test merkezlerinde yapılmakta ve sertifikalandırmada bu test sonuçları kullanılmaktadır. Şekil 4.5’de bu testlerin örnek görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.5 Rüzgar Türbin Kanatlarının Statik ve Yaşlanma Testleri [72]

4.9 Rüzgar Türbinlerinde Kullanılan Jeneratörler

Geçmiş dönemlerde sincap kafesli asenkron jeneratörler, rotoru sargılı asenkron jeneratörler, çift beslemeli asenkron jeneratörler, sabit mıknatıslı senkron jeneratörler ve elektrik uyarımlı senkron jeneratörler gibi çok sayıda jeneratör çeşidi rüzgar türbinlerinde kullanılmış ve test edilmiştir. [73].

Bütün jeneratörler doğrudan ve dişli kutusu ile tahrikli sistemin her birine uygun değildir. Doğrudan tahrikli sistemler senkron jeneratöre ihtiyaç duyarken dişli kutusu olan sistemler genellikle asenkron jeneratörlerle donatılır [74].

Doğru akım jeneratörleri, büyük güçlü rüzgâr enerjisi tesislerinde tercih edilmemektedir. Bunun nedeni, sık bakım gereksinimi ve alternatif akım jeneratörlerine göre daha pahalı olmasıdır [13].

Günümüz rüzgar türbinleri incelendiğinde 3MW ve daha yüksek güçteki türbin üretiminin giderek yaygınlaştığı ve tercih edildiği görülmektedir. Türbinlerde çoğunlukla çift beslemeli asenkron jeneratör ile sabit mıknatıslı senkron jeneratörler tercih edilmektedir. Sabit mıknatıslı veya elektrik uyarımlı senkron jeneratörler hem dişli kutusuyla birlikte hem de doğrudan tahrikli (direct drive) kullanılabilir. [74].

Dünya genelinde üretimde olan bazı rüzgar türbinlerinin katalog verileri incelendiğinde Çizelge 4.2'deki sonuçlar görülmüştür [50]. Çizelgede açıkça görülmüştür ki rüzgar türbinlerinin güç değeri arttıkça sabit mıknatıslı senkron jeneratöre doğru bir yönelim gerçekleşmektedir.

Çizelge 4.2 Bazı Üreticilerin Türbinlerinde Kullanılan Jeneratör Tipleri [50]

	ÜRETİCİ FİRMA	TÜRBİN GÜCÜ (kW)	JENERATÖR TİPİ	AKTARMA
1	SIEMENS	2300-3600	SİNCAP KAFESLİ ASENKRON	DİŞLİ KUTUSU
2	SIEMENS	3000-6000	SABİT MIKNATISLI SENKRON	DOĞRUDAN
3	GAMESA	2000-2500	ÇİFT BESLEMELİ ASENKRON	DİŞLİ KUTUSU
4	GAMESA	4500-5000	SABİT MIKNATISLI SENKRON	DİŞLİ KUTUSU
5	VESTAS	2000-3000	ÇİFT BESLEMELİ ASENKRON	DİŞLİ KUTUSU
6	VESTAS	3300-3600	SABİT MIKNATISLI SENKRON	DİŞLİ KUTUSU
7	NORDEX	2500-3600	ÇİFT BESLEMELİ ASENKRON	DİŞLİ KUTUSU
8	ENERCON	3000-7500	ROTORU SARGILI SENKRON	DOĞRUDAN
9	GE	2000-3200	ÇİFT BESLEMELİ ASENKRON	DİŞLİ KUTUSU

4.10 Türkiye’de Kurulan Rüzgar Türbinlerinin Teknik Özellikleri

Çizelge 4.3’de Türkiye’de henüz devreye alınmamış olan santrallerde kurulumu devam eden türbinlerin çeşitli teknik özellikleri verilmiştir. Çizelge incelendiğinde, dünyada piyasasına benzer bir durum olarak yeni santrallerde genellikle 3MW ve üstü güçlerdeki makinelerin tercih edildiği görülecektir [50].

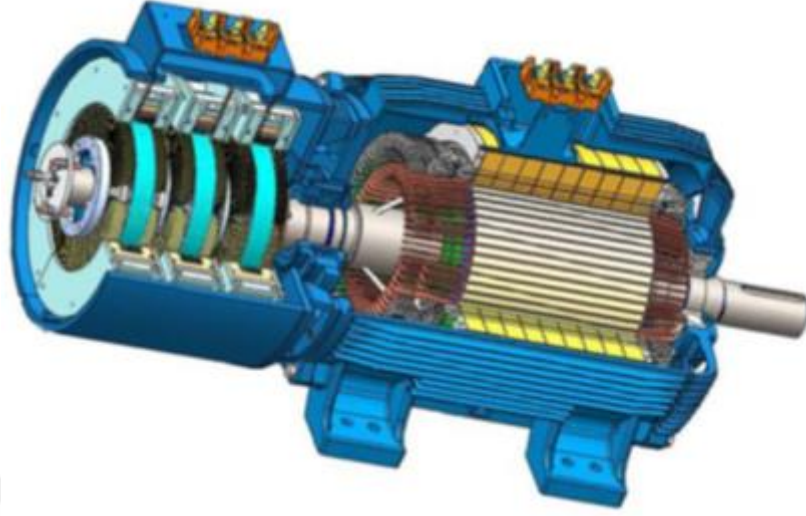
Çizelge 4.3 Türkiye’de İnşa Halindeki Rüzgar Türbinlerinin Teknik Özellikleri [50]

	ÜRETİCİ FİRMA	TÜRBİN MODELİ	TÜRBİN GÜCÜ (kW)	JENERATÖR TİPİ	AKTARMA	ROTOR ÇAPI (m)	RÜZGAR ALANI (m ²)
1	NORDEX	N90/N100 N117	2500 3600	ÇİFT BESLEMELİ ASENKRON	DİŞLİ KUTUSU	90/100 117	6.362/7.85 4 10.715
2	SIEMENS	SWT-3.2-113 SWT-3.6-130	3200 3600	SABİT MIKNATISLI SENKRON	DOĞRUDAN	113 130	10.000 13.300
3	VESTAS	V112-3.3 V126-3.3	3300	SABİT MIKNATISLI SENKRON	DİŞLİ KUTUSU	112	9.852
4	GE	GE-1.7-103 GE-2.75/2.85-103 GE-3.2-103	2000 2750/2850 3200	ÇİFT BESLEMELİ ASENKRON	DİŞLİ KUTUSU	103	7.854 8.332
5	SENVION	3,6M114 3,6M140	3400 3600	SİNCAP KAFESLİ ASENKRON	DİŞLİ KUTUSU	114 140	10.207 15.394
6	GAMESA	G114 G126	2000/2500 2500	ÇİFT BESLEMELİ ASENKRON	DİŞLİ KUTUSU	114 126	10.207 12.469

4.11 Çift Beslemeli Asenkron Jeneratörler

Çift beslemeli asenkron jeneratör (DFIG), stator sargıları doğrudan şebekeye bağlanmış olan rotoru sargılı bir asenkron jeneratör ile rotor sargılarına monte edilmiş iki yönlü (back-to-back) konvertörden meydana gelmiştir. Jeneratörün rotoru ile ana mil arasında bir şanzuman bağlantısı bulunmaktadır çünkü dönüş hızları ve toleransları farklıdır [75].

Şekil 4.6' da çift beslemeli asenkron jeneratörün kesit görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.6 Çift Beslemeli Asenkron Jeneratörün Kesit Görüntüsü [76]

Çift beslemeli asenkron jeneratörün avantajları; rotorda üretilen enerjinin güç konvertörüyle şebekeye iletilmesi ve şebeke tarafındaki güç konvertörünün reaktif güç kompanzasyonu yapabilmesidir [77]. En büyük dezavantajı ise reaktif mıknatıslanma akımına ihtiyaç duymasıdır.

Alternatif akım jeneratörlerinde kutup çifti sayısına bağlı olarak senkron devir sayısı denklem (4.4) de görüldüğü gibi

$$n = 60 \left(\frac{f}{p} \right) \quad (4.4)$$

şeklindedir. Burada;

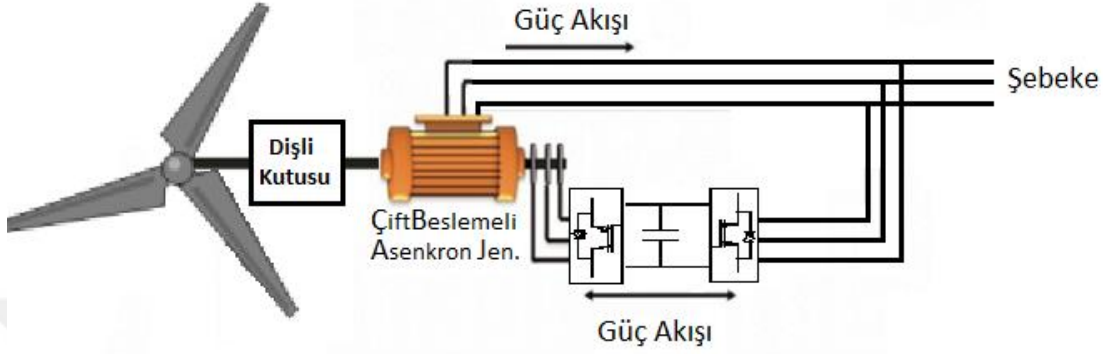
f = şebeke frekansını (50 Hz),

p = stator sargılarının kutup çifti sayısını,

n = rpm (devir/dakika) ifadesini belirtmektedir.

Çift beslemeli asenkron jeneratörün çalışması sırasında senkron-üstü hıza ulaşıldığında (super-synchronous mode) konverter vasıtasıyla rotordan şebekeye güç akışı olurken, senkron-altı hızda (sub-synchronous mode) ise şebekeden güç çekilir.

Her iki durumda da stator şebekeye enerji verir [75]. Senkron hızın altında dönerken rotor tüketici konumunda, senkron hıza ulaştığında ise üretici konumundadır. Stator ise her durumda üretici olarak şebekeye güç verir. Bu durum Şekil 4.7’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Çift Beslemeli Asenkron Jeneratörde Güç Akışı [78]

Çift beslemeli asenkron jeneratörün senkron-üstü ve senkron-altı hızda iken shafttan rotoruna aktarılan mekanik gücü sırasıyla (4.5) ve (4.6) denklemlerinde verildiği gibidir [75].

$$P_m = \left(1 + \frac{f_2}{f}\right) P_r \quad (4.5)$$

$$P_m = \left(1 - \frac{f_2}{f}\right) P_r \quad (4.6)$$

Burada ;

P_r = rotordan statora aktarılan elektromanyetik gücü,

f_2 = rotorun herhangi bir andaki frekansını,

f = genel frekansı belirtmektedir.

Rotor sargılarının tükettiği güç aşağıdaki denklem (4.7)’ de verildiği gibidir [75].

$$P_{er} = \left(\frac{f_2}{f}\right) P_r \quad (4.7)$$

Ayrıca denklem (4.8)' de verilen ifade kayma (slip) olarak adlandırılır.

$$s = \frac{f_2}{f} \quad (4.8)$$

Asenkron makinelerin karakteristikleri gereği oluşan kayma (slip) yük ile birlikte artar. Bu durumun oluşturduğu ana sorun, jeneratörün yüklendikçe güç faktörünün aşağılara düşmesidir. Bu durum kompanzasyonu zorunlu hale getirmektedir [79].

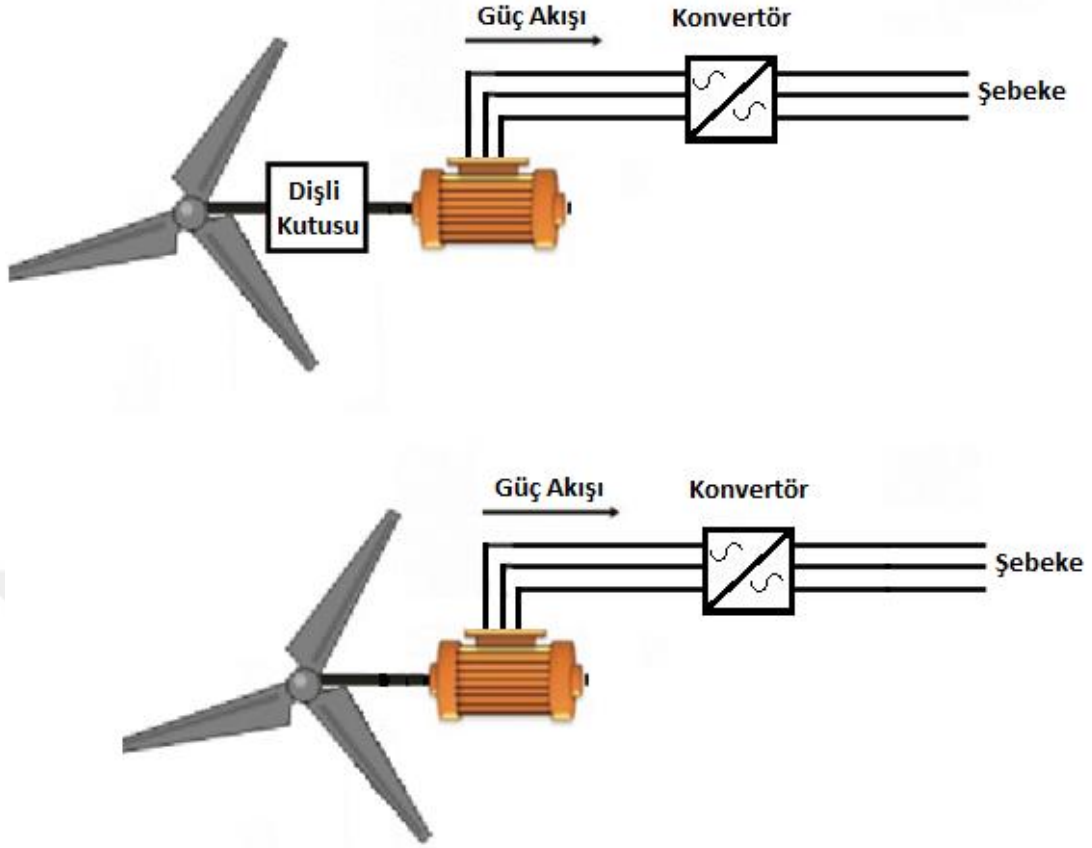
4.12 Sabit Mıknatıslı Senkron Jeneratörler

Sabit mıknatıslı senkron jeneratörler (PMSG), kendinden uyartımlı olması nedeniyle rüzgar türbinlerinde yaygınca kullanılırlar. Önemli bir avantajı da tüm hızlarda güç çıkışı yapabilmesidir. Bakım maliyeti nispeten daha az olmakla beraber rotor hızı dişli kutusu kullanmaksızın kontrol edilebilir [11].

Sabit mıknatıslı senkron jeneratörün rotoru sabit mıknatısların oluşturduğu bir kutup sistemi ile donatılmıştır. SMSJlerin senkron yapısı, voltaj regülasyonu problemlerine neden olabilir başka bir ifadeyle kolayca sabit bir voltaj çıkaramazlar. Döner manyetik alan sabit olduğundan ve rotor dönüş hızı ise rüzgar hızı ile değiştiğinden, çıkış voltajı ve frekansı değişkendir ve kararlı bir güç üretimi sağlayamaz. Bu nedenle kompleks bir güç konvertörü kullanılması zorunluluğu vardır [80].

Sabit mıknatıslı senkron jeneratörde güç konvertörü tarafından şebeke gerilimi ve frekansı referans alınarak, jeneratörün ürettiği ve değişken olan AC genlik ve frekanstaki voltaj önce DC'ye dönüştürülür, iki DC gerilim kıyaslanır ve tam eşitlik sağlandığında IGBT devreleri ilettime geçerek şebeke ve jeneratörü birbirine bağlar [81].

Şekil 4.8' de Sabit mıknatıslı senkron jeneratörün dişli kutusu vasıtasıyla ve doğrudan (direct drive olarak) kullanılması gösterilmektedir.



Şekil 4.8 Sabit Mıknatıslı Senkron Jeneratörün Şebekeye Bağlanması [78]

Direct drive rüzgar türbinlerine montajı yapılan sabit mıknatıslı senkron jeneratörler diğerlerine kıyasla daha yüksek sayıda manyetik kutuplu olarak imal edilirler.

Yeni tasarlanan sistemlerde, daha düşük hacimde olmaları, karlılık ve veriminin yüksek olması sebebiyle sabit mıknatıslı senkron jeneratörler tercih edilmektedir [79].

4.13 Çift Beslemeli Asenkron Jeneratör ile Sabit Mıknatıslı Senkron Jeneratörün Karşılaştırılması

Sabit mıknatıslı senkron jeneratörlerde verim asenkronlara göre daha yüksektir. Bununla beraber mıknatısların üretim maliyeti yüksek ve üretimleri zordur. Sabit mıknatıslı senkron jeneratörlerin bir diğer dezavantajı ise manyetik malzemelerin

sıcaklığa karşı hassas olması nedeniyle rotor sıcaklığı denetlenmelidir ve çoğunlukla bu jeneratörler bir soğutma sistemiyle beraber tasarlanır [80].

Çift beslemeli asenkron jeneratörün en önemli sorunu bilezik tertibatının bulunması ve hareketli olan bu parçaların düzenli bakım gerektirmesidir. Bununla beraber bir dişli kutusu aracılığıyla tahrik edilme zorunluluğu bulunmakta ve böylece hareketli sistemler artmaktadır.

Senkron jeneratörler, aynı büyüklükteki asenkron jeneratörlere göre daha pahalı ve mekanik olarak daha karmaşıktır. Ayrıca sabit mıknatısların kalitesi jeneratör verimini doğrudan etkilemektedir. Rotor aksamının sıcaklık değerinin bir soğutucu sistem ile kontrolünün sağlanması gereklidir.

Çift beslemeli asenkron jeneratör ve sabit mıknatıslı senkron jeneratörün avantajları Çizelge 4.4' te karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.4 ÇBAJ ile SMSJ Avantajlar Tablosu [78]

ÇBAJ İLE SMSJ KARŞILAŞTIRMASI		
	ÇBAJ	SMSJ
5MW Üstü Güçlere Uygunluk		UYGUN
Reaktif Güç Kontrolü		KOLAY
Dış Uyarım Gereksinimi		YOK
Bilezik Aksamı		YOK
Şanzuman Gereksinimi		YOK
Bakım Giderleri		DAHA DÜŞÜK
Verim		DAHA YÜKSEK
Güç/Ağırlık ve Güç/Hacim Değeri		DAHA İYİ
Yüksek Sıcaklık Hassasiyeti	DAHA AZ	
Üretim Maliyetleri	DAHA DÜŞÜK	

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım durumu hakkında bilgi verilmiş olup, Türkiye’de devreye alınan rüzgar enerjisi gücünün global değerlerle karşılaştırması yapılarak günümüz rüzgar türbin teknolojileri incelenmiştir.

Türkiye’de henüz kullanılmayan büyük miktarda rüzgar enerji potansiyeli bulunmaktadır. Rüzgar enerjisi yatırımları en verimli sahalarda yoğunlaşmıştır. Bununla beraber Türkiye’de offshore rüzgar santrali kurulumu henüz yapılmamıştır. Ancak gerekli hazırlıklar yapılarak kurulum öncesi ihale aşamasına gelinmiştir.

Rüzgar enerji sektörünün daha ilerde olduğu ülkelerle kıyaslandığında Türkiye’de rüzgar enerji sektörüne dair yasal düzenlemelerin daha geç şekillendiği görülmektedir. Sektöre verilen mali destek ve teşviklerin tüm dünyada olduğu gibi Ülkemizde de kapasite artışına ivme kazandırdığı anlaşılmaktadır. Fransa’nın küçük güçlü ve öztüketimi karşılamaya yönelik projelere destek vermesi Türkiye’deki “Lisanssız Elektrik Üretimi” ile bazı yönleriyle benzeşmektedir. Almanya rüzgar enerji alanında ulaşılan kapasite ve deneyimi yeterli öngörerek bu yatırımları sektörün kendi yönetimine bırakma kararı almıştır.

Türkiye’de son yedi yıla bakıldığında rüzgar enerjisi yatırımları Avrupa ve Dünya ortalamasının üzerinde bir artış göstermiştir.

Son yıllarda kurulumu yapılan rüzgar enerji santrallerinin toplam kapasitesi göz önüne alındığında, belirlenen hedef değere (2023 yılında 20GW kurulu güç) önceki yıllarda gösterilen performansın devam etmesi koşulunda kolaylıkla ulaşılabileceği anlaşılmaktadır. Türkiye’de yeni ve mevcut verimli alanlara rüzgar enerjisi yatırımları devam etmekte ve kurulu güç her yıl %25 üzerinde artış göstermektedir. Türkiye’deki yatırımların en verimli bölgelerde yoğunlaştığı görülmektedir.

Bugünkü yatırımların daha çok yoğunlaşmış olduğu bölgeler (Marmara ve Ege) dışındaki alanlar için daha geniş kapsamlı ve farklı bir teşvik sistemi uygulanması

koşulunda yatırımların bu iki bölgede yığılmasının önüne geçilerek daha geniş ölçekte santral montajları ile rüzgar enerji potansiyelimizin daha verimli değerlendirilmesi mümkün olabilecektir ve hedeflenmiş değerlere erişilebilecektir.

Global rüzgar enerjisi yatırımlarında ise daha fazla kullanılmamış potansiyeli bulunan Asya ülkelerinin ön plana çıktığını görüyoruz. Sadece Çin ve Hindistan'da 2016 yılında devreye alınan rüzgar gücü Dünya genelinde yapılan yatırımların yarısına eşittir. Son yıllarda hızlı ekonomik büyüme gösteren Çin ve Hindistan'ın bu büyüme nedeniyle ihtiyaç duyduğu enerji artışı sonucunda rüzgar enerjisi kurulumu da artmıştır. Bu doğrultuda türbin üretimi de ön plana çıkmış ve bu alanda da önemli düzeyde artış görülmüştür.

Hindistan'da 2012 yılında yapılan tarife düzenlemelerinde 2009 yılındakine göre önemli bir artış yapıldığı görülmektedir. Buna bağlı olarak 2012 yılı itibariyle yatırımlar hızlanmış ve Hindistan'da rüzgar enerjisi sektörüne ivme kazandırılmıştır.

Rüzgar türbinleri ve özellikle jeneratörleri gün geçtikçe daha yeni teknolojilerle donatılmakta ve verimlilikleri arttırılmaktadır. Bu durum enerji maliyetlerinde azalma ve rüzgar enerji kaynaklarını en üst verimlilik seviyesinde kullanma imkanı sağlamaktadır.

Kurulumu yapılmış veya üretimde olan rüzgar türbinlerine bakıldığında giderek daha yüksek güçlerde jeneratör ve türbin üretimi yönünde kayma görülmektedir. Son yıllarda Türkiye'de kurulmuş ve montajları süren rüzgar türbinlerinin de genellikle 3MW üstü türbinlerin tercih edildiği anlaşılmaktadır. Rüzgar türbinlerinin diğer birçok özelliğinin jeneratör özellikleri ile bağıntılı olduğu söylenebilir.

Öne çıkan jeneratörlerden sabit mıknatıslı senkron jeneratör ve çift beslemeli asenkron jeneratörün kendilerine has avantajları mevcuttur. Fakat sabit mıknatıslı senkron jeneratörlerin direct drive olarak çok geniş devir aralıklarında kullanılabilir olması (ilk üretim maliyetinin daha yüksek olmasına rağmen) 5MW üstündeki devasa güçlü türbinlerde daha fazla tercih edildiği görülmektedir.

Türkiye’de büyük güçlü rüzgar türbin üretiminin gerçekleştirilmesi için atılması gereken en önemli adım günümüz teknolojisine uygun özelliklerde ve kendini kanıtlamış bir jeneratör üretilmesidir. Bu çalışmada incelenen jeneratörlerden sabit mıknatıslı senkron jeneratör büyük güçlü türbinlerde kullanım bakımından daha iyi bir alternatif olarak ön plana çıkmaktadır.



6. KAYNAKLAR

- [1] Benli, H., "Potential of renewable energy in electrical energy production and sustainable energy development of Turkey: Performance and policies", *Renewable Energy*, 50, 33-46, 2013.
- [2] Turkish Ministry of Energy and Natural Resources: Strategic Plan 2015-2019, Nisan 2016.
- [3] "Türkiye Elektrik Üretim-İletim 2016 Yılı İstatistikleri", Erişim Adresi: <https://www.teias.gov.tr/tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-2016-yili-istatistikleri>, Erişim Tarihi:17.07.2017
- [4] "Elektrik Piyasası 2017 Yılı Gelişim Raporu", Erişim Adresi: <http://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-24/elektrikyillik-sektor-raporu>, Erişim Tarihi: 22.06.2018
- [5] "Bilgi Merkezi", Erişim Adresi: <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>, Erişim Tarihi: 22.06.2018
- [6] Basaran S. T., Dogru A. O., Balcik F.B., Ulugtekin N. N., Goksel C., Sozen S., "Assessment of renewable energy potential and policy in Turkey–Toward the acquisition period in European Union." *Environmental Science & Policy*, 46, 82-94, 2015.
- [7] M.R. Islam, S. Mekhilef, R. Saidur, "Progress and recent trends of wind energy technology", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 456–468, 2013.
- [8] Akın, S., Kara, Y., "A wind power plant feasibility study for Bursa, Gemlik Region, Turkey", *European Journal of Sustainable Development Research (EJSDR)*, 1(1), 44-52, 2016.
- [9] Kose, F., Aksoy, M.H., Ozgoren, M., "An assessment of wind energy potential to meet electricity demand and economic feasibility in Konya, Turkey", *International Journal of Green Energy*, 11, 559-576, 2014.
- [10] Diaf, S., Notton, G., "Technical and economic analysis of large-scale wind energy conversion systems in Algeria", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 37-51, 2013.
- [11] Dursun, E., Binark, A. K., "Rüzgar türbinlerinde kullanılan generatörler", VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 2008.
- [12] Çelikdemir, S., Özdemir, M., "Rüzgar türbin sistemlerinin karşılaştırılması", VII. URSI-Türkiye Bilimsel Kongresi, Elazığ, 2014.
- [13] Apaydın M., Üstün A. K., Kurban M., Başaran Filik Ü., "Rüzgar enerjisinde kullanılan asenkron jeneratörler", RÜGES 2009 2. Rüzgar Enerjisi Sempozyumu, Samsun, 04-05 Haziran 2009.
- [14] Kaplan Y. A, San I., "Current situation of wind energy in the world and Turkey", *Green Energy Conference-VI (IGEC-VI)*, Eskisehir, Turkey, 2011.
- [15] Baris K, Kucukali S., "Availability of renewable energy sources in Turkey: Current situation, potential, government policies and the EU perspective.", *Energy Policy*, 42, 377–391, 2012.

- [16] Demirdizen H. G., "Market development of renewable energy in Turkey.", Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, 2013.
- [17] "Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığından", Erişim Adresi: <http://www.resmigazete.gov.tr/main.aspx?home=http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/06/20180621.htm&main=http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/06/20180621.htm>, Erişim Tarihi: 24.06.2018)
- [18] Turkish Wind Energy Association (TUREB), Turkish wind energy statistics report, Ocak 2018.
- [19] GWEC(Global Wind Energy Council), Global wind statistics 2017, Şubat 2018.
- [20] Arık, A., "Yenilenebilir enerji politikalarının sürdürülebilirliği: AB ülkeleri ve Türkiye açısından bir değerlendirme," Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, 2016.
- [21] Kaplan, Y.A., Bildircin, H.B., "Türkiye'nin rüzgar enerjisi politikaları ve Avrupa ile karşılaştırması", 9. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, Antalya, 03-05 Kasım 2017.
- [22] Dursun B, Gokcol C. "Impacts of the renewable energy law on the developments of wind energy in Turkey." Renewable and Sustain Energy Reviews, 40:318–25, 2014.
- [23] "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Enerjisi Üreten Tesislerde Kullanılan Yerli Aksamın Desteklenmesi Hakkında Yönetmelik", Resmi Gazete Tarihi: 24.06.2016 Resmi Gazete Sayısı: 29752
- [24] Öner, İ. V., Yeşilyurt, M.K., Ömeroğlu, G., Yılmaz, E.Ç, "Wind energy: Potential, policies and status in Turkey", International Journal of Engineering Research & Science (IJOER), 2(12), December 2016.
- [25] Kaplan, Y.A. "Overview of wind energy in the world and assessment of current wind energy policies in Turkey." Renewable and Sustainable Energy Reviews, 43:562–8, 2015.
- [26] "Milli Enerji ve Maden Politikası Tanıtım Programı", Erişim Adresi: <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Bakanlik-Haberleri/Milli-Enerji-Ve-Maden-Politikasi-Tanitim-Programi>, Erişim Tarihi: 03.05.2017
- [27] Mari Tepp, Robert Schachtschneider & Robert Brückmann, "The promotion of wind power in Germany and Finland – A Comparative Overview on Legislation", Berlin, September 2012.
- [28] "Energy 2018 Germany", Erişim Adresi: <https://www.globallegalinsights.com/practice-areas/energy/global-legal-insights---energy-5th-ed./germany#chaptercontent5>, Erişim Tarihi:23.12.2017
- [29] Nordensvard, J. and Urban, F., "The stuttering energy transition in Germany: Wind energy policy and feed-in tariff lock-in." Energy Policy, 82, 156-165, 2015.
- [30] André F.P. Lucena, Leon Clarke, Roberto Schaeffer, Alexandre Szklo, Pedro R.R. Rochedo, Larissa P.P. Nogueira, Kathryn Daenzer, Angelo Gurgel, Alban

- Kitous, Tom Kober, “Climate policy scenarios in Brazil: A multi-model comparison for energy”, *Energy Economics*, 56, 564–574, 2016.
- [31] Gabriela Elizondo Azuela, Luiz Barroso, Gabriel Cunha, “Promoting Renewable Energy through Auctions: The Case of Brazil”, *Live Wire* (World Bank Group), 2014.
- [32] Ravindra B. Sholapurkar and Yogesh S. Mahajan, “Review of Wind Energy Development and Policy in India,” *Energy Technology & Policy*, 2(1), 122-132, 2015.
- [33] Jami, H., “India’s wind power potential,” *Tech. Rep.*, Ministry of New and Renewable Energy, 2015.
- [34] Mani, S. and Dhingra, T., “Policies to Accelerate the Growth of Offshore Wind Energy Sector in India,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 473–482, 2013.
- [35] Sangroya, D. and Dr. Nayak, J. K., “Development of Wind Energy in India,” *International Journal of Renewable Energy Research*, 5(1), 2015.
- [36] Bayraktar, Y. and Kaya H.İ., “ A comparison of renewable energy policies and wind energy; example of China, Germany and Turkey”, *International Journal of Economic Studies*, 2(4), 2016.
- [37] Michel den Elzen, Hanna Fekete, Niklas Höhne, Annemiek Admiraal, Nicklas Forsell, Andries F. Hof, Jos G.J. Olivier, Mark Roelfsema, Heleen van Soest, “Greenhouse gas emissions from current and enhanced policies of China until 2030: Can emissions peak before 2030?”, *Energy Policy*, 89, 224-236, 2016.
- [38] Zeng, M., Liu X., Li N., Xue S., “Overall review of renewable energy tariff policy in China: Evolution, implementation, problems and countermeasures”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 260-271, 2013.
- [39] Lewis, JI, Building a national wind turbine industry: experiences from China, India and South Korea, *International Journal of Technology and Globalisation*, 5:281–305, 2011.
- [40] Zhang Peidong, Yang Yanli, Tian Yongsheng, Yang Xutong, Yongkai Zhang, Zheng Yonghong, et al. “Bioenergy industries development in China: dilemma and solution”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13: 2571–9, 2009.
- [41] Şenel, M.C. ve Koç, E. “Dünyada ve Türkiye’de rüzgar enerjisi durumu – Genel değerlendirme”, *Mühendis ve Makine*, Cilt 56, Sayı 663, 46-56, 2015.
- [42] Lu, X, Michael B. McElroy, Wei Peng, Shiyang Liu, Chris P. Nielsen, and Haikun, Wang. “Challenges faced by China compared with the US in developing wind power”, *Nature Energy*, 1(6), 2016.
- [43] “Current state of U.S. renewable energy policy”, Erişim Adresi: <http://www.sustainableenergy.org/current-state-of-u-s-renewable-energy-policy/>, Erişim Tarihi: 23.01.2018
- [44] “State Policy, American Wind Energy Association (AWEA)”, Erişim Adresi: <https://www.awea.org/Advocacy/Content.aspx?ItemNumber=4361>, Erişim Tarihi:17.02.2018

- [45] Obama, B., “The irreversible momentum of clean energy”, US Department of Energy Publications, 2017.
- [46] Saidur, R., Islam, M.R., Rahim, N.A., Solangi, K.H. “A review on global wind energy policy” Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, 1744–1762, 2010.
- [47] Korukçu, M.Ö., Bir Rüzgâr Türbininin Değişik Koşullardaki Dinamik Davranışlarının İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 17(2), 2012
- [48] “Enerji Sektörü Rüzgar Türbinleri” Erişim Adresi: http://www.s-t.com.tr/altair_hyperworks_enerji_ruzgar_turbinleri.html, Erişim Tarihi: 01.07.2018
- [49] Rolán A, Luna Á, Rocabert J, Aguilar D, Vázquez G. “An approach to the performance-oriented model of variablespeed wind turbines”, IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Bari, Italy, 2010.
- [50] Kaplan, Y.A., Bildircin, H.B., “Dünyada ve Türkiye’de rüzgar türbin teknolojileri”, 1. Ulusal Elektrik Enerjisi Dönüşümü Kongresi, Elazığ, 21-22 Eylül 2017.
- [51] “Wind Generators Design Principle of Operation Payback of Wind Power Plants in the Middle of Russia”, Erişim Adresi: <https://ruscos.ru/tr/wind-generators-design-principle-of-operation-payback-of-wind-power-plants-in-the-middle-of-russia/>, Erişim Tarihi: 12.11.2017
- [52] Elibüyük, U., Üçgül, İ., “Rüzgar türbinleri, çeşitleri ve rüzgar enerjisi depolama yöntemleri”, Yekarum e-Dergi, 2(3), 2014.
- [53] “Turbine designer requires funding”, Erişim Adresi: <https://www.odt.co.nz/news/dunedin/turbine-designer-requires-funding>, Erişim Tarihi: 17.07.2017
- [54] “Aerostar 6 meter specifications”, Erişim Adresi: <https://www.aerostarwind.com>, Erişim Tarihi: 17.07.2017
- [55] Nurbay, N., Çınar, A., “Rüzgar türbinlerinin çeşitleri ve birbirleriyle karşılaştırılması”, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, Rüzgar Enerjisi, 1, 164-168, 2005.
- [56] “Soyut Enerji Hakkımızda”, Erişim Adresi: <http://soyutwind.com/hakkimizda/>, Erişim Tarihi: 22.06.2018
- [57] “Altema Enerji”, Erişim Adresi: <https://www.enerjiportali.com/altema-enerji/>, Erişim Tarihi: 22.06.2018
- [58] “İşte ilk %100 yerli rüzgar türbini: Vira”, Erişim Adresi: <http://www.tenva.org/iste-ilk-yuzde-100-yerli-ruzgar-turbini-vira/>, Erişim Tarihi: 22.06.2018
- [59] “Ayetek Tarihçesi”, Erişim Adresi: <http://www.ayetek.com/ayetek-wind-ruzgar-turbinleri-hakkinda/ayetek-tarihcesi/>, Erişim Tarihi: 22.06.2018
- [60] “Yenilenebilir Enerji”, Erişim Adresi: http://www.alkagroup.com.tr/TR/Yenilenebilir_Enerji.php, Erişim Tarihi: 22.06.2018

- [61] “Fabrications”, Erişim Adresi: <https://ateswindpower.com/products-services/>, Erişim Tarihi: 22.06.2018
- [62] “Hakkımızda”, Erişim Adresi: <https://www.berdancivata.com/tr/kurumsal/hakkimizda>, Erişim Tarihi: 22.06.2018
- [63] Karabağ S., “Rüzgar türbini kanadı imalatı”, 2. İzmir Rüzgar Sempozyumu ve Sergisi, 23-24 Aralık 2011.
- [64] Weifei Hu, K.K. Choi, Hyunkyoo Cho, Nicholas J. Gaul, Olesya I. Zhupanska “Reliability-Based Design Optimization of Wind Turbine Blades for Fatigue Life under Wind Load Uncertainty”, 11th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimisation, 07th -12th, Sydney Australia, 2015.
- [65] GE Power Conversion, Generators Brochure, Almanya, 2014.
- [66] “Scientists Are Developing The World's Biggest Wind Turbine”, Erişim Adresi: <http://www.sciencealert.com/scientists-are-developing-the-world-s-biggest-wind-turbine-with-200-metre-blades>, Erişim tarihi: 14.04.2016.
- [67] “Recent developments in wind turbine design”, Erişim Adresi: <https://energyhub.theiet.org/users/66328-david-milborrow/posts/20629-recent-developments-in-wind-turbine-design>, Erişim Tarihi: 30.06.2018
- [68] “The world’s 10 biggest wind turbines”, Erişim Adresi: <http://www.power-technology.com/features/featurethe-worlds-biggest-wind-turbines-4154395/>, Erişim Tarihi: 14.04.2016
- [69] “World's Largest Offshore Wind Turbine Unveiled in Fukushima”, Erişim Adresi: <http://www.ecowatch.com/2015/06/22/fukushima-offshore-wind-turbine/>, Erişim Tarihi : 14.04.2016.
- [70] Yücel, M., Özder, S., “Yaw Ve Pitch Kontrollü Dişli Kutusuz 5kW Rüzgâr Türbini Üretilmesi Ve Verimliliği”, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 4(1), 74-87, 2018.
- [71] Fitzgerald, A.E., Kingsley, C., Jr. Stephen, D.U., (Çeviri Editörü: Gürleyük, S.S.), Elektrik Makineleri, Palme Yayıncılık, Ankara, 2014.
- [72] MTS Systems Corporation, “Wind turbine blade testing solutions”, USA, 2012.
- [73] Li, H., Chen, Z., Polinder, H., Research report on numerical evaluation of various variable speed wind generator systems, Project UpWind, 2007.
- [74] Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N., Bossanyi, E., “Wind Energy Handbook”, Wiley, 2001.
- [75] Bodur, A., Özşar, Ç., (Editör: Thomas ACKERMANN), Güç Sistemlerinde Rüzgar, Elektrik Mühendisleri Odası, Ankara, 2009.
- [76] Ruviaro, M., Runcos, F., Sadowski, N., & Borges, I. M., “Analysis and test results of a brushless doubly fed induction machine with rotary transformer”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 59(6), 2670-2677, 2012.
- [77] Kadam D.P, Dr. Kushare B.E, “Overview of different wind generator systems and their comparisons”, International Journal of Engineering Science & Advanced Technology (IJESAT), 2(4), 1076 – 1081, 2012.

- [78] Kaplan, Y.A., Bildircin, H.B., “Rüzgar türbin teknolojilerine genel bakış ve Türkiye’deki gelişmeler”, II. Uluslararası Enerji ve Mühendislik Konferansı, Gaziantep, 12-13 Ekim 2017.
- [79] Şıpar, E., “Rüzgar enerjisi türbin sistemleri için gerçek zamanlı dinamik analiz simülatörü gerçekleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2011.
- [80] Neha V., Arun P., “Theoretical approach for comparison of various types of wind generator systems”, International Journal of Recent Research in Electrical and Electronics Engineering (IJRREEE), 2(2), 29-35, 2015.
- [81] Kültür, D., Başak, S., “Rüzgar santrallerinin temel çalışma ilkeleri ve koruma yönünden şebekeye bağlantı kriterleri”, EMO Ulusal Elektrik Tesisat Kongresi YG Çalıştayı, İzmir, 2009.



ÖZGEÇMİŞ

1. Adı Soyadı : Hasan Basri BILDIRÇİN
2. Doğum Tarihi : 12.05.1981
3. Ünvanı : Elektrik Elektronik Mühendisi
4. Öğrenim Durumu :

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Bitirme Yılı
Lisans	Elektrik Elektronik Mühendisliği	Zonguldak Karaelmas Üniversitesi	2005

5. İş Tecrübesi:

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Elektrik Birim Başmühendisi	BOTAŞ Dörtyol Terminali	2014-Devam
Enerji Sistemleri Ekip Lideri	Türk Telekom A.Ş Hatay İl Müdürlüğü	2008-2014
Elektrik Mühendisi	Bozdoğan Elektrik İnş. San. Tic. Ltd. Şti.	2007-2008

6. Ulusal ve Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler:

- Kaplan, Y.A., Bildircin, H.B., “Türkiye’nin rüzgar enerjisi politikaları ve Avrupa ile karşılaştırması”, 9. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, Antalya, 03-05 Kasım 2017.
- Kaplan, Y.A., Bildircin, H.B., “Rüzgar türbin teknolojilerine genel bakış ve Türkiye’deki gelişmeler”, II. Uluslararası Enerji ve Mühendislik Konferansı, Gaziantep, 12-13 Ekim 2017.
- Kaplan, Y.A., Bildircin, H.B., “Dünyada ve Türkiye’de rüzgar türbin teknolojileri”, 1. Ulusal Elektrik Enerjisi Dönüşümü Kongresi, Elazığ, 21-22 Eylül 2017.
- Kaplan, Y.A., Bildircin, H.B., “General situation of wind energy source in Turkey and wind turbine technologies, V. Avrupa Yenilenebilir Enerji Sistemleri Konferansı (ECRES 2017), Saraybosna, 27-30 Ağustos 2017.