KONYA SANAYİ ODASI

Mevlana Kalkınma Ajansı Development Agency

KONYA'DA YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI MALZEME ÜRETİLEBİLİRLİK ARAŞTIRMASI

1.RÜZGAR ENERJİSİ

Bu fizibilite çalışması,
KSO/MEVKA/DFD2011/Hizmet 1 projesi çerçevesinde
Yeryüzü Enerji Sistemleri Ltd. Şti. tarafından hazırlanmıştır.

ŞUBAT 2012

Katkıda Bulunanlar
Doç. Dr. Muammer Özgören, Yrd. Doç Dr. Faruk Köse,
Arş. Gör. Muharrem H. Aksoy, Arş. Gör. Eyüp Canlı,
Arş. Gör. Özgür Solmaz, Arş. Gör. Sercan Doğan, Sercan Yağmur.

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **3**

ÖZET **4**

1. RÜZGAR ENERJİSİ **4**

1.1. Dünyada Rüzgar Enerjisi Durumu 6
1.2. Türkiye'de Rüzgar Enerjisi ve Pazar Durumu 11
1.2.1. Rüzgar Enerjisi Santralleri için Olası Pazar Alanları 12
1.2.2. Rüzgar Türbini Maliyetleri 18
1.2.3. Türkiye'de Rüzgar Enerjisi santralleri 19
1.3. Konya Bölgesinin Rüzgar Enerjisi Potansiyeli 20
1.4. Türkiye'de Rüzgar Enerjisi Yasal Mevzuatı ve Elektrik Üretimi 26
1.4.1. Lisanslı Ve Lisanssız Uygulamalar Göre Rüzgar Enerjisinden Yararlanma 27
1.4.2.Türkiye'de YEK'ten Üretilen Elektriğe Sağlanan Teşvikler 30
1.5. Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması 35
1.5.1. Eksen tiplerine göre rüzgar türbinleri 35
1.5.2. Kanat Sayılarına Göre Türbin çeşitleri 39
1.5.3. Güçlerine Göre Rüzgar Türbinleri 40
1.5.4. Kullanım Yerine Göre Türbinler 41
1.5.5. Güç Kontrol Sistemine Göre Rüzgar Türbinleri 43
1.6. Rüzgar Türbini Sistemlerinde Son Teknolojiler ve Örnek Patent ve Uygulamalar 45
1.6.1. Türkiye'den Örnekler 47
1.7. Rüzgar Ölçümleri ve Standartlar 49
1.8. Rüzgar türbinlerinin temel elemanları 51
1.8.1. Nasel (Kabin) 52
1.8.2. Düşük Hız ve Yüksek Hız Şaftı 52
1.8.3. Dişli Kutusu 53
1.8.4. Kaplin 54
1.8.5. Mekanik Fren 54
1.8.6. Jeneratör 56
1.8.7. Soğutma Ünitesi 60
1.8.8. Dönen Yatak (Yaw-Sapma Sistemi) 61
1.8.9. Elektronik Kontrol Sistemi 62
1.8.10. Kanatlar 63
1.8.11. Pitch Sistemi 72
1.8.12. Göbek (Hub) 72
1.8.13. Kule 73
1.8.14. Şebeke Bağlantısı (Grid Connection) 73
1.8.15. Küçük Kapasiteli Rüzgar Türbini Parçaları 74
1.9. Hibrit Enerji Sistemleri 76
1.10. Konya Sanayisinde Üretilebilirlik Analizi 78
1.10.1. Rüzgar türbini tasarımı 80
1.10.2. Düşük Hız ve Yüksek Hız Şaftı (Main Shaft) 81
1.10.3.Dişli Kutusu 82
1.10.4 Kaplin 83

1.10.5 Mekanik Fren 83
1.10.6. Jeneratör 83
1.10.7 Soğutma Ünitesi 83
1.10.8. Yaw (Sapma) ve Pitch Sistemi 84
1.10.9. Elektronik Kontrol Sistemi 84
1.10.10. Kanatlar 84
1.10.11. Göbek (Hub) 86
1.10.12. Kule 87
1.10.13. Rüzgar Türbini Sistem Parçalarının Nace Kodları 88
1.10.14. Konya Sanayisinde Rüzgar Türbini Sistem Parçalarının Üretimi İle İlgili Firmalar 90
1.10.15. Rüzgar Türbinlerinde Malzeme Kullanımı 92
1.11.Dünyada Rüzgar Enerjisi Teşvikleri 93
1.12.Rüzgar Türbinleri Alanında Uluslararası Standartlar 99
1.13. Geleceğe Yönelik Projeksiyonlar 102
1.14. Sonuçlar ve Öneriler 104
EK-2 İşletmedeki Lisanslı Rüzgar Santralleri 111
EK-3 Çeşitli rüzgar türbin modelleri için güç katsayıları 113

KISALTMALAR

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AC	Alternatif Akım
AG	Alçak Gerilim (1000 V ve altı)
dB	Desibel
DC	Doğru Akım
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EWEA	European Wind Energy Association (Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği)
IEA	International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
KF	Kapasite Faktörü
kW	Kilovat
MW	Megavat
MWe	Megavat Elektrik Gücü
MWm	Megavat Mekanik Güç
REPA	Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası
RT	Rüzgar Türbini
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TM	Trafo Merkezi
WWEA	Dünya Rüzgar Enerjisi Birliğinin
YEK	Yenilenebilir Enerji Kaynakları
YG	Yüksek Gerilim (1000 V üzeri)
GW	Gigavat
RES	Rüzgar Enerjisi Santrali

ÖZET

Rüzgar, büyük boyutta ve dağınık bir enerjiye sahip olup, Dünya üzerinde sürekli hareket halindedir. Rüzgar enerjisi, hem dünya hem de ülkemiz adına enerji üretimine önemli miktarda katkıda bulunabilecek ekonomik, temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Ayrıca diğer yenilenebilir enerji sistemlerine göre gelecekte en büyük kurulu güce sahip olacağı tahmin edilen enerji türüdür. KSO ve MEVKA tarafından desteklenen bu çalışmada, öncelikle Dünya, Türkiye ve Konya rüzgar enerjisi potansiyeli değerlendirilmiştir. Daha sonra Türkiye'nin rüzgar enerjisi alanında mevcut durumu ve pazarı hakkında bilgiler verilmiş, enerji dönüşüm sistemlerinin Konya sanayisinde üretilebilirliğini araştırılmıştır. Rüzgar türbini tiplerine değinilmiş, ticari potansiyeli yüksek olan 3 kanatlı türbinler üzerine yoğunlaşılmıştır. Rüzgar enerjisi dönüşümü sistem elemanlarına göre Konya sanayisinde bu elemanların üretilebilirliği yapılan firma ziyaretleri ile belirlenmeye çalışılmıştır.

1. RÜZGAR ENERJİSİ

Rüzgar, atmosferde bol ve serbest olarak bulunan, güvenilir ve sürekli bir kaynaktır. Dünyanın 50° kuzey ve güney enlemleri arasında rüzgar gücü potansiyelinin $3x10^6$ MW olmasına karşın, ekonomik ve fiziksel planlamanın getirdiği sınırlılıklardan dolayı en fazla $1x10^6$ MW kapasitenin kullanılabileceği hesaplanmıştır (Jackson ve Oliver, 1996). Rüzgar enerjisinin kaynağı güneştir. Güneşin yeryüzünü ve atmosferi homojen ısıtmamasından kaynaklanan basınç ve sıcaklık farklarından hava hareketleri (kinetik enerji) ve rüzgar enerjisi meydana gelmektedir. İlk yatırım maliyetlerini yüksek olmasına rağmen rüzgar enerjisi, dünyada çoğu ülkenin yararlandığı ve son zamanlarda ülkemizde de büyük önem kazanan bir enerji türüdür.

Rüzgar enerjisi yelkenli gemileri yüzdürme amacının dışında Dünya'da ilk olarak doğu medeniyetinde kullanılmıştır. Milattan önceki devirlerde bile insanlar düşük seviyelerde bulunan suları yükseğe çıkartılmasında ve buğday öğütülmesinde yel değirmenleri ile rüzgar enerjisinden faydalanmıştır. Hindistan, Afganistan, Çin, Tibet gibi bölgelerden çeşitli savaş ve göç hareketleri neticesi bu alanda kullanılan teknikler doğudan batıya aktarılmıştır. Rüzgar türbinleri hakkında ilk yazılı bilgiler M.Ö. 200-300 yıllarında yatay eksenli yel değirmenleri hakkında yazılmıştır. İlk kez 1891 yılında Danimarka'da Profesör La Cour tarafından rüzgar enerjisinden elektrik üretilmiştir (Şekil 2). Rüzgar türbinlerinin kullanımı tarihsel gelişimine 1942 yılında üretilen 17.5 m çaplı 50 kW nominal güçlü Smitdh

rüzgar türbini ve 1957 yılında üretilen 24m çaplı ve 200 kW nominal güçe sahip Gedser Rüzgar Türbini verilebilir. Çok eski dönemlerde yararlanılmaya başlanmasına rağmen modern rüzgar türbinleri diğer yenilenebilir enerji sistemlerine benzer şekilde 1970'li yıllardaki petrol krizinden sonra gelişmeye başlamıştır.

Şekil 1. Rüzgar Teknolojilerinde aerodinamik değişim

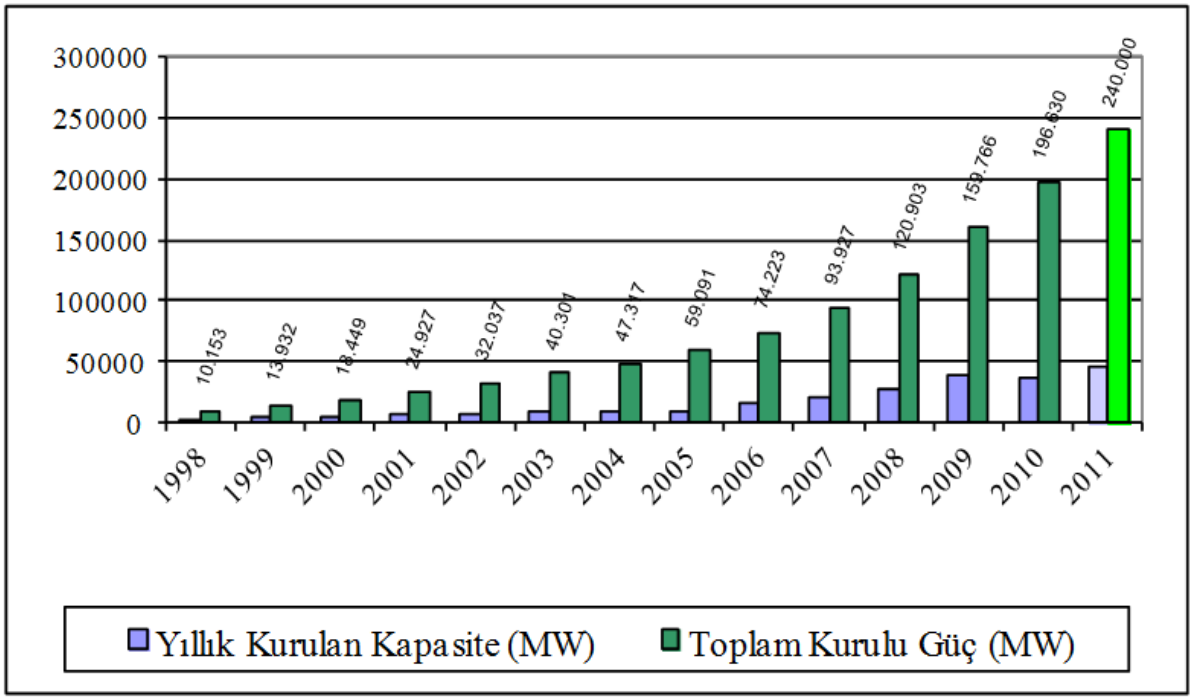
Şekil 2. Poul La Cour'un 1891'de, Danimarka'da elektrik üreten rüzgar türbini (Hau, 2006)

Günümüzde daha çok elektrik üretmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu türbinler (Darrieus, Savonius vb.) ilk yatırım maliyetinden sonra ucuz enerji üretiminde çok avantajlar sunmaktadır. Rüzgar türbinleri gece ve gündüz rüzgar olduğu sürece sürekli enerji üretirler ve herhangi bir zararlı gaz atmosfere salınmaz. Rüzgar türbini kurulduğu arazinin yaklaşık %5'ini işgal ettiğinden ve türbin kanatları yerden yüksekte olduğundan kalan arazi, tarım, hayvancılık ve diğer amaçlarla kullanılabilmektedir (Çengel, 2003; Varınca ve Varank, 2005; Şimşek V, 2007).

1.1. Dünyada Rüzgar Enerjisi Durumu

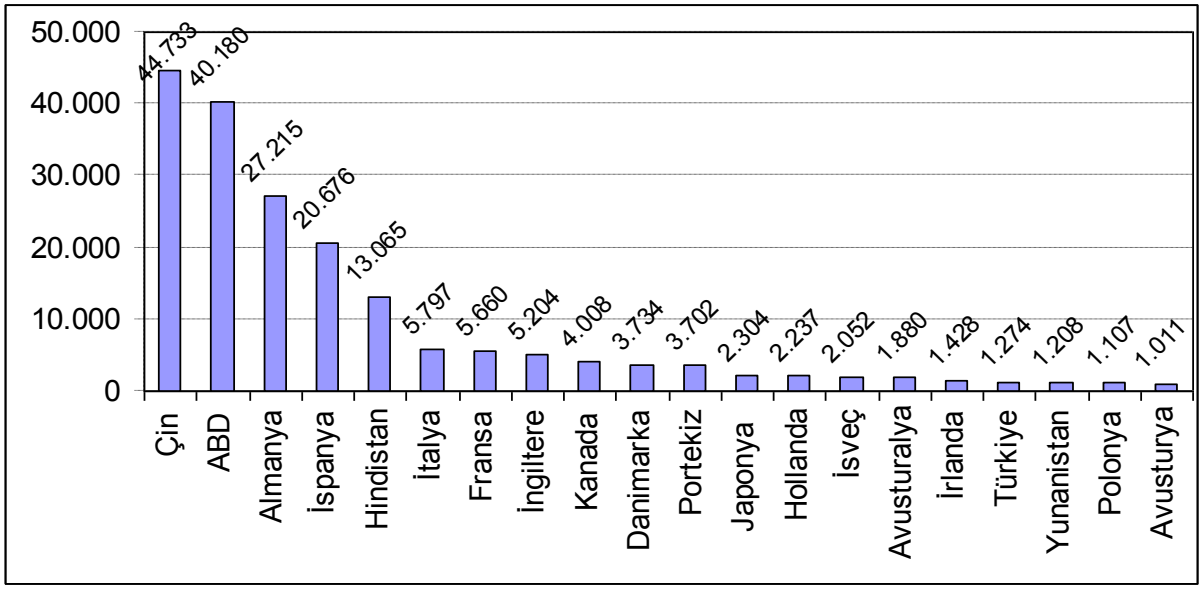
Dünyada ve Avrupa'da rüzgar enerjisi kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bu artışı zorlayan iki sebep bulunmaktadır. Biri, dünyayı tehdit eden küresel ısınma, diğeri de fosil yakıtların kullanımının kirlilik oluşturması ve ömürlerinin sınırlı olmasıdır. Dünya Rüzgar Enerjisi Birliğinin (WWEA) 2010 yılı raporuna göre, dünyada 2010 yılında 37.642 MW rüzgar enerjisi santrali kurulmuştur (WWEA, 2010). Rüzgar türbini pazarı her geçen yıl büyümeye devam etmekte ve küresel rüzgar enerjisi endüstrisi üretimdeki değişime hızla cevap vermektedir.

Rüzgar enerjisi kurulu güçleri ülkelere göre incelendiğinde, ilk üç sırada Çin, ABD ve Almanya bulunmaktadır (Şekil 3). 2010 sonu itibariyle, Çin 44.733 MW, ABD 40.180 MW ve Almanya'nın toplam kurulu gücü 27.215 MW tır (WWEA, 2010). Bu üç ülkeyi İspanya 20.676 MW, Hindistan 13.065 MW ve İtalya 5.797 MW kurulu güç ile takip etmektedir. Dünyada ilk 5 sıradaki ülkelerin her birinin kurulu güçleri 10.000 MW'ın üstünde olup toplamı 145.869 MW tır (Şekil 2). 2010'da yeni eklenen rüzgar kurulu güçleri incelendiğinde, ilk sırada yer alan Çin'in 18.923 MW rüzgar santrali kurduğu göze çarpmaktadır. Çin'i 5.021 MW ile ABD, 1.527 MW ile İspanya, 1.438 MW ile Almanya, 1.258 MW ile Hindistan, 1.112 MW ile İngiltere ve 1.086 MW ile Fransa izlemektedir (WWEA, 2010).



Şekil 3. Dünyada toplam rüzgar enerjisi kurulu gücünün ve yıllık kurulan güçlerin yıllara göre değişimi

Dünya genelinde rüzgar enerjisi kurulu gücünün büyüme oranları son 10 yıl için ortalama %27,5'tir. 2010 yılı büyüme oranı ise %23,6 olarak gerçekleşmiştir. Rüzgar enerjisi alanındaki yatırımlar büyük bir hızla artmaya devam etmektedir (WWEA, 2010). 2005 de 100 MW ve üzeri kurulu gücü olan ülke sayısı 24 iken 2009 da 35'e 2010 da ise 39'a çıkmıştır. Dünyada en büyük kurulu gücüne sahip 5 ülke olan Çin, ABD, Almanya, İspanya ve Hindistan olup toplam kurulu gücün %74,2'sini oluşturmaktadırlar. 2010 yılı yeni kurulan toplam Dünya rüzgar gücünün yarısından fazlasını Çin'in kurması dikkat çekicidir. Türkiye 2009 yılında dünya ülkeleri arasında 796,5 MW kurulu rüzgar santrali ile 19. sırada iken 2010 yılında 1.274 MW (bir değer kaynakta 1328 MW) ile 17. sıraya yükselmiştir (WWEA, 2010). 2011 sonu rüzgar enerjisi verileri henüz açıklanmamıştır ancak Türkiye bu yılda da %40'ın üzerinde bir büyükme kaydetmiştir. Avrupa ülkelerinin Türkiye ve Hırvatistan gibi aday ülkeler, Norveç, İsviçre, Rusya ve Ukrayna dahil toplam kurulu gücü 86.321 MW'a ulaşmıştır. Türkiye Avrupa ülkeleri arasındaki sıralamada 11. sıraya yükselmiştir (Köse, 2011).



Şekil 4. Dünyadaki rüzgar enerjisi kurulu gücü (en büyük 20 ülke)

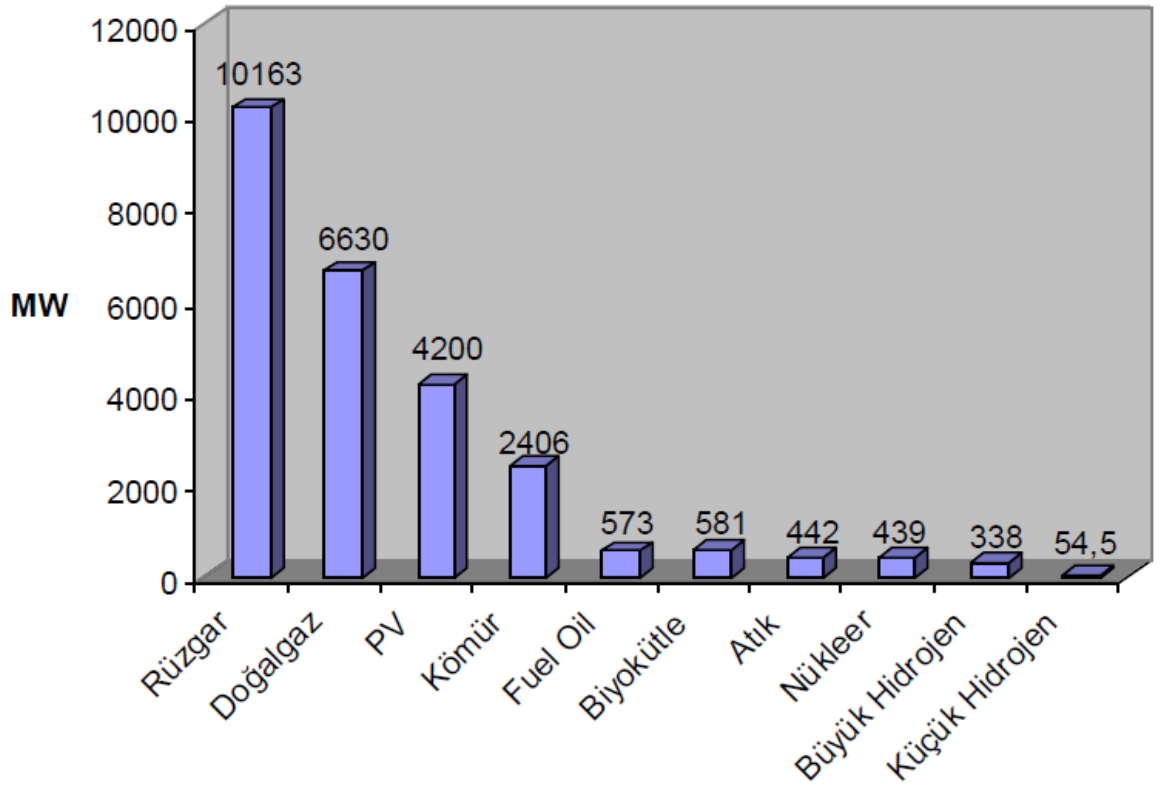
Çizelge 1. Avrupa ülkelerinde rüzgar potansiyel durumu ve 2010 yılı sonundaki kurulu güçleri

Ülke	Yüzölçümü x 1000 km^2	Teknik Potansiyeli		2010 Sonu Gücü, MW
		MW	TWh/yıl	
Almanya	357	12000	24	27214
İspanya	505	43000	86	20676
İtalya	301	35000	69	5797
Fransa	547	42000	85	5660
İngiltere	244	57000	114	5204
Portekiz	92	7000	15	3898
Danimarka	43	14000	29	3798
Hollanda	41	3000	7	2245
İsveç	450	20000	41	2163
İrlanda	70	22000	44	1428
Türkiye	781	83000	166	1328
Yunanistan	132	22000	44	1208
Avusturya	84	2000	3	1011
Diğerleri	--	--	--	4691
Toplam	--	816000	40.525	86321

Avrupa, rüzgar enerjisinde 2006 sonunda 48.545 MW ile dünya toplam rüzgar kurulu gücünün yüzde 65'ini oluşturmakta iken, 2010 sonunda 86.321 MW ile dünya toplam rüzgar kurulu gücünün yüzde 43,7'sini oluşturmaktadır. Son yıllarda Çin, ABD ve Hindistan gibi ülkelerin güçlerindeki yüksek artışlar bu oran değişimine yol açmıştır. Almanya ve İspanya AB pazarının yüzde 50'sinden fazlasını oluşturmaktadır. AB'nin 2009 "Yenilenebilir Enerji Yönergesine (2009/28/EC)" göre 2020 ye kadar yerel kurulu güçlerinin %20 sini ve elektrik

tüketimlerinin de %15 ile %34'ne kadarını yenilenebilir enerjilerden üretilmesi hedefini koymuştur. Tablo 1'de, Avrupa Birliği ve Avrupa ülkelerinin 2011 başı (2010 sonu) kurulu rüzgar gücü ve teknik potansiyelleri görülmektedir. Türkiye en yüksek potansiyele sahip olmasına karşılık, kurulu gücü olarak 1328 MW (2011 sonu 1749 MW olmuştur) ile 11. sıradadır. Avrupa en fazla rüzgar kurulu gücüne sahip olan Almanya, 27.214 MW ile toplam teknik potansiyel değerini (12.000 MW) aşmış durumdadır (Çizelge 1).

Avrupa Birliği ülkelerinde 2009 yılında da kurulan rüzgar enerjisi santrallerinin kapasitesi, diğer enerji kaynaklarını kullanan santrallerin kapasitesinden fazla olmuştur. 2009 yılında Avrupa'da kurulan santrallerin enerji türlerine göre grafiği Şekil 5'de de verilmiştir.



Şekil 5. 2009 yılında Avrupa'da kurulan santrallerin enerji türlerine göre dağılımı (EWEA, 2010)

Amerika Birleşik Devletlerinde rüzgar enerjisi kurulu gücü 2010 yılı sonunda 40.180 MW'a ulaşmıştır. ABD 2030 yılında elektrik enerjisi gereksiniminin %20'sini rüzgar enerjisinden karşılamayı hedeflemektedir. Bu hedefi gerçekleştirmek için 2018 yılına kadar senelik en az 16.000 MW kapasite artırımı yapması ve 2030 yılına kadar da bu oranla devam etmesi gerekmektedir. Dünyanın en büyük rüzgar çiftliği, 627 türbin ile Roscoe (Texas, ABD)'dir. Toplam kurulu kapasitesi ise 781,5 MW'tır (Şekil6).

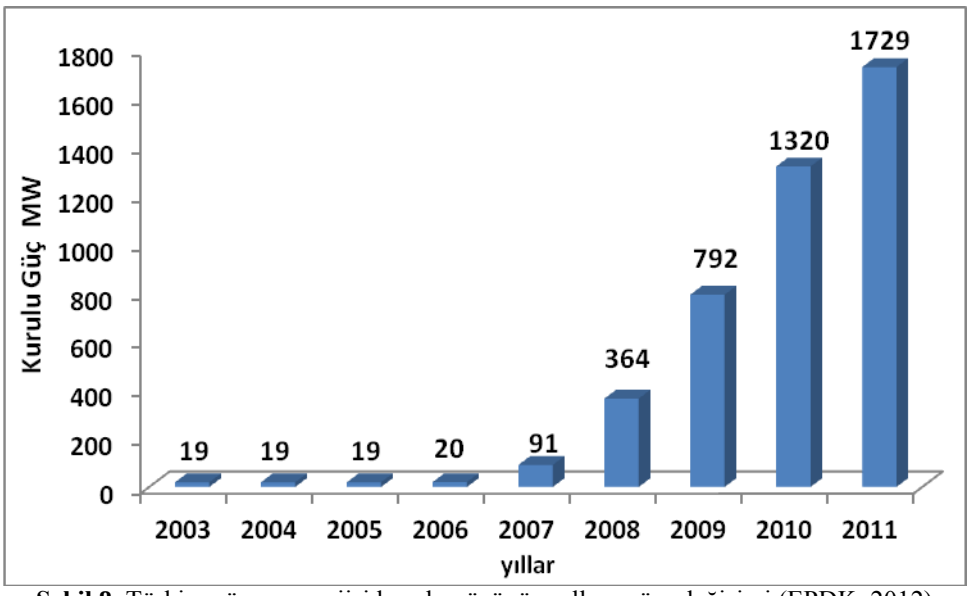
Şekil 6. Roscoe Rüzgar Çiftliği A.B.D.

Şekil 7. Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi

Bir diğer dikkat çekici rüzgar türbini uygulaması ise Manama, Bahreyn'de bulunan Bahreyn Dünya Ticaret Merkezidir. Merkez Dünyanın ilk rüzgar türbinli binası olma özelliğini taşımaktadır (Şekil 7). 2008 yılında bitirilen kulelerin toplam maliyeti 150 milyon dolardır. 240 metre yüksekliğinde ve 50 katlı olan Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi, "dünyanın ilk rüzgar gücüyle elektrik üreten rüzgar türbini entegre yüksek binası" özelliğindedir. 29 metre kanat çapına sahip, 3 adet yatay eksenli rüzgar türbini, yılda 1.100 ~ 1.300 MWh'lik üretimleriyle, binanın yıllık elektrik enerjisi ihtiyacının yaklaşık yüzde 15'ini karşılamaktadır.

1.2. Türkiye'de Rüzgar Enerjisi ve Pazar Durumu

ETKB'nın açıklamış olduğu Türkiye rüzgar enerjisindeki potansiyel yaklaşık 8 GW'ı verimli ve 40 GW'ı orta düzey verimli olmak üzere toplam 48 GW'tır. ETKB 2010-2014 Stratejik Planı'nda rüzgar enerjisi kurulu gücünün 2015 yılına kadar 10.000 MW'a çıkarılması, Elektrik Enerjisi Arz Güvenliği Strateji Belgesi'nde ise 2023 yılına kadar 20 GW rüzgar enerjisi kurulu gücüne ulaşılması hedeflenmiştir.



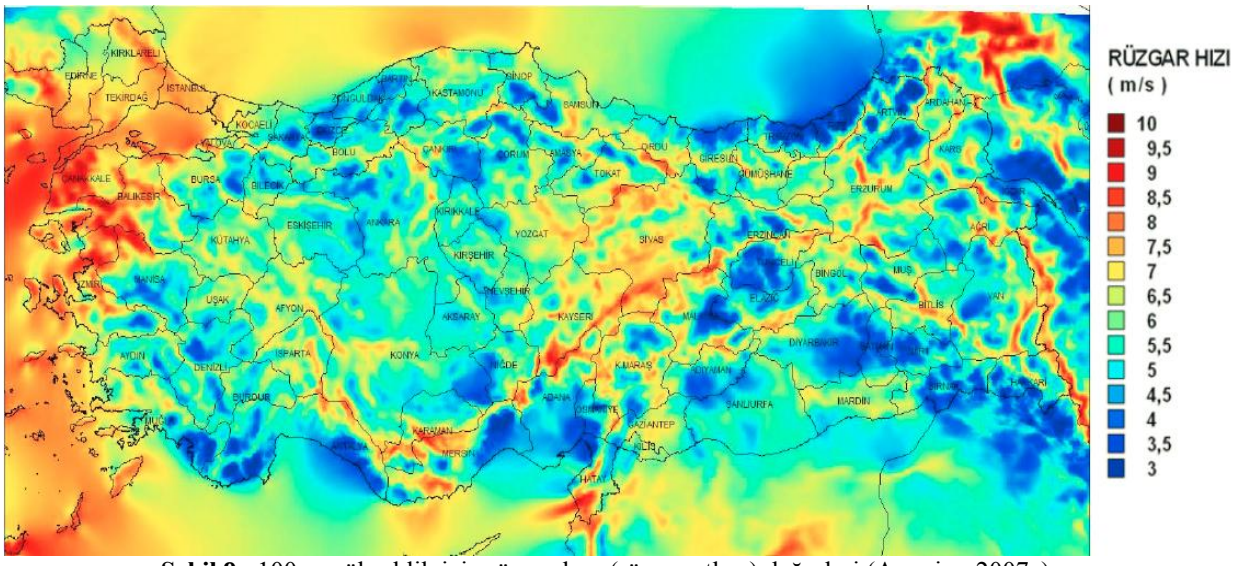
Şekil 8. Türkiye rüzgar enerjisi kurulu gücünün yıllara göre değişimi (EPDK, 2012)

Dünyada 20. yüzyılın ilk çeyreğinde başlayan rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi elde etme işlemi, Türkiye'de 20. yüzyılın son çeyreğinde başladığı görülmektedir. 1990'lı yılların ortalarına doğru ölçüm, fizibilite ve gerekli olan izinler ile ilgili çalışmalara başlanmış ve nihayetinde ilk rüzgar santrali 1998 yılında elektrik üretimine başlamıştır. Demirer Holding'e

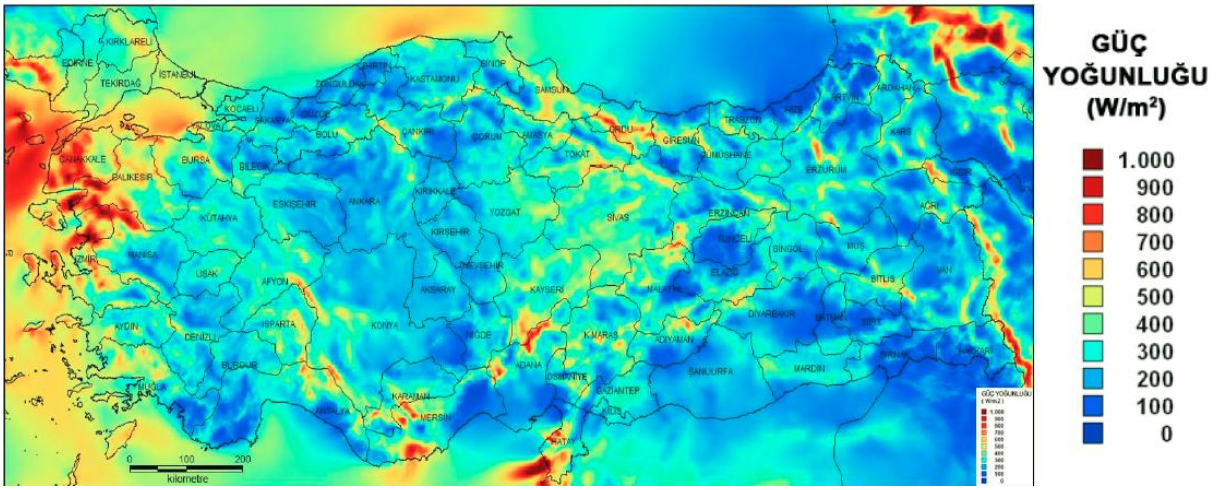
bağlı Alize Rüzgar Enerjisi Santrali, 1998 yılında Çeşme'de 1,5 MW kurulu güç ile devreye alınmıştır. İlerleyen 7-8 yıl içerisinde rüzgar enerjisine pek fazla ilgi gösterilmediğini söylemek mümkündür. Alize Rüzgar Enerjisi Santrali'nden sonra, 2006 yılına kadar sadece 3 adet rüzgar santrali kurulmuştur. Fakat 2006 yılından itibaren Türkiye'de rüzgar enerjisine olan ilgi sürekli olarak artmaya devam etmiştir. 2006 yılından itibaren 5346 sayılı Yenilenebilir Elektrik Kanunu'nun çıkmasından sonra kurulu güç ve enerji üretiminde her yıl önemli artışlar göstererek kısmen veya tamamen işletmede olan 48 adet rüzgar santraliyle 2011 yılı sonunda 1729 MW'a (Şekil 8) ulaşmıştır. Bu 48 santralin detaylı tablosu, kurulu yerleri, lisans alan şirketlerin isimleri EK-2'de detaylı olarak verilmiştir.

1.2.1. Rüzgar Enerjisi Santralleri için Olası Pazar Alanları

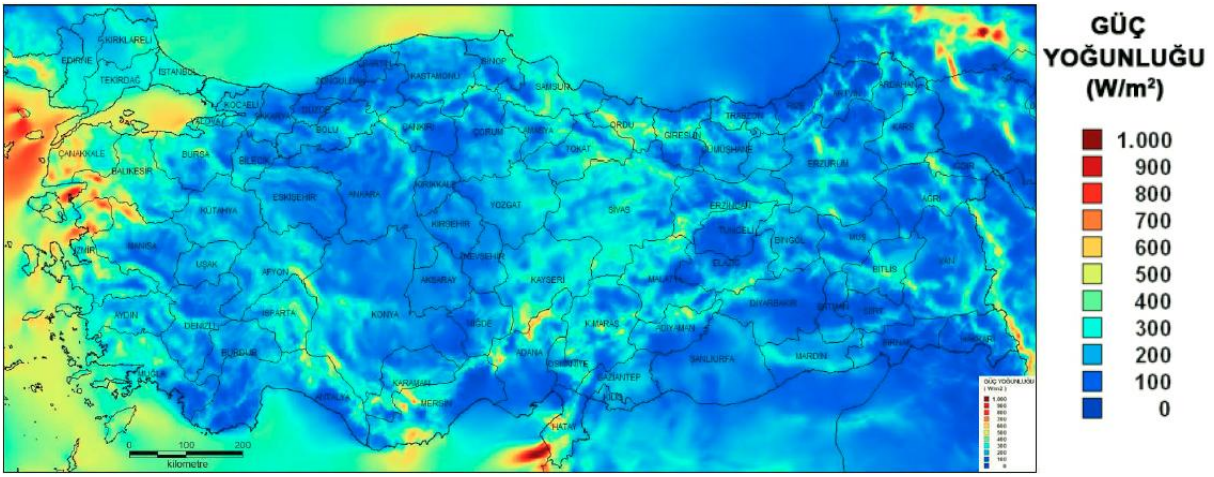
Şekil 9'da EİE tarafından hazırlanan Türkiye rüzgar atlasında ülkenin genelinin 100 m yükseklikteki rüzgar hız dağılımı ve şekil 10'de aynı yükseklikteki güç yoğunluğu verilmiştir. Haritada Ege ve Marmara sahillerinin, İç Anadolu ve Doğu Anadolu'da yüksek yerlerin ve Akdeniz bölgesinde bazı yerlerin yüksek rüzgar hızlarına sahip oldukları görülmektedir. Konya ili sınırlarında kısmi bazı bölgeler harici rüzgar hızının çok yüksek olmadığı görülmektedir. Konya bölgesinde incelenen bazı yerlerde santral geri ödeme süresinin yaklaşık 4-8 yıl arasında olduğu hesaplanmıştır (Köse ve ark, 2009).



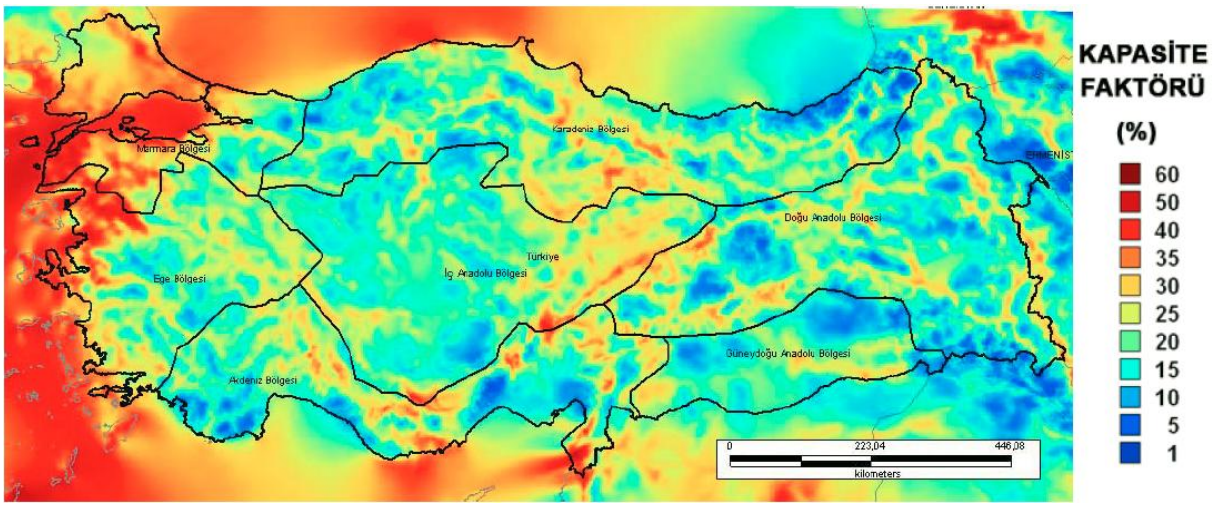
Şekil 9. 100 m yükseklik için rüzgar hızı (rüzgar atlası) değerleri (Anonim, 2007a).



Şekil 10. 100 m yükseklikte güç yoğunluğu (Anonim, 2007a).



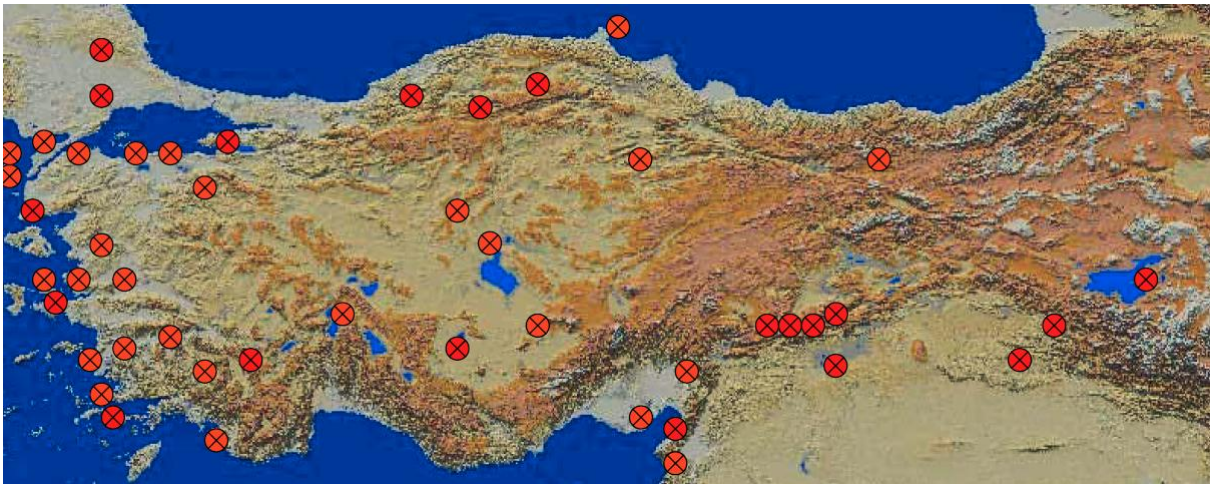
Şekil 11. 50 m yükseklikte güç yoğunluğu haritası (Anonim, 2007a).



Şekil 12. Türkiye geneli 50 metre yükseklikteki ortalama kapasite faktörü dağılımı (Anonim, 2007a).

Şekil 11 ve Şekil 12'de ise 50 metre yüksekliği için güç yoğunluğu ve kapasite faktörleri verilmiştir. 100 metre değerine göre daha düşük olduğu fakat benzer kapasite oranlarını yansıttığı görülmektedir.

REPA, orta-ölçekli sayısal hava tahmin modeli ve mikro-ölçekli rüzgar akış modeli kullanılarak üretilen rüzgar kaynak bilgilerinin verildiği Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası'dır. REPA'da kızıl renge yakın olan yerler pazar olabilecek bölgeleri temsil etmektedir. Özellikle İstanbul, Tekirdağ, Kırklareli, Kırıkkale, Çanakkale, Balıkesir, İzmir, Muğla, Antalya, Hatay rüzgar santrali kurulabilecek alanlardandır. İç bölgelerde ise Sivas, Yozgat, Kayseri bu alanları yatırım yapılabilecek bölgelerdir. Ayrıca Çeşme, Alaçatı, Bodrum, Marmaris, Didim, Kuşadası, Antalya, Gelibolu, Bandırma, İskenderun, Çatalca ve Silivri rüzgar potansiyeli açısından son derece zengin ve yatırım yapılabilecek yerlerdir. Yapılacak yatırımlar için saha araştırmasında bu bölgelere öncelik verilebilir.



Şekil 13. EİE Rüzgar Gözlem İstasyonlarının Bulunduğu Yerler (EİE, 2011)

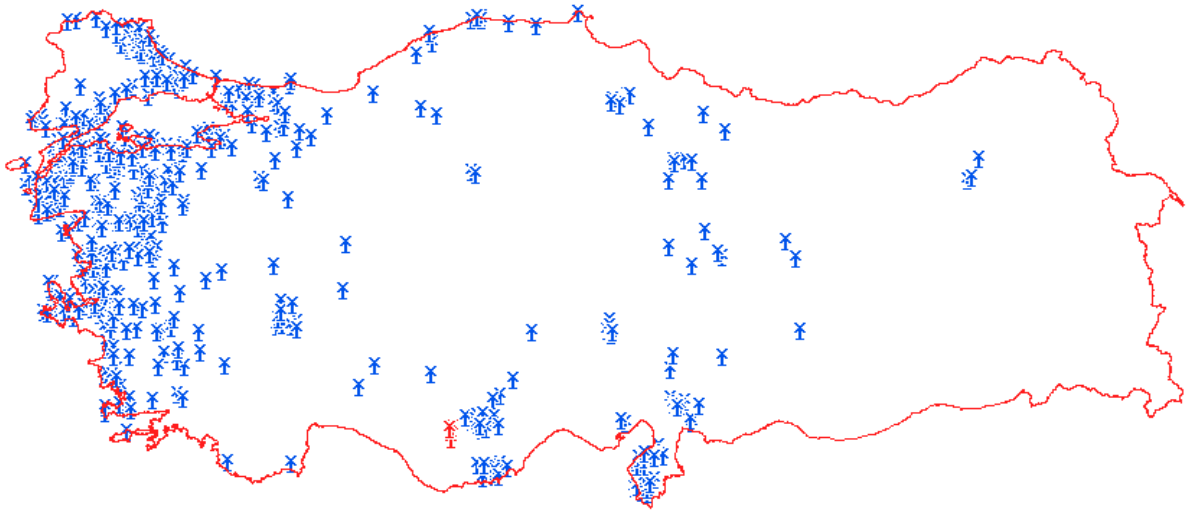
Şekil 13'de EİE'nin rüzgar gözlem istasyonları verilmiştir. Türkiye'de bir çok alan için lokal bir koordinatın verileri EİE'den satın alınabilmektedir. Ancak yatırım yapılabilecek bölgeler ancak uygun standartlardaki yerel ölçümlerle tespit edilebilir.

Türkiye'nin Teknik potansiyeli EİE tarafından değerlendirilmiş ve Çizelge 2'de verilmiştir. Hesaplamalarda 1 MW gücündeki referans rüzgar türbinine ait teknik değerler kullanılmıştır. Ekonomik RES yatırımı için %35 veya üzerinde kapasite faktörü gerekmektedir. Bu alanların 10.013 MW ı deniz alanları 37.836 MW ı ise karasal alanlara aittir. 3 tarafı denizlerle çevrili olan ülkemizde deniz üstü alanlar da değerlendirilmelidir. Türkiye, Avrupa ülkeleri arasında İspanya'dan sonra en büyük teorik rüzgar enerjisi

potansiyeline sahiptir. Türkiye'nin mevcut elektrik enerji altyapısı ile yaklaşık 10.000 MW'lık rüzgar gücünün enterkonnekte sisteme entegre edilmesi muhtemel gözükmektedir. Daha fazla kurulu güç için altyapının geliştirilmesi gerekmektedir.

Çizelge 2. Türkiye Rüzgar Potansiyeli (50m yükseklikte rüzgar hızı>7,0 m/s için)

Yıllık Ortalama Rüzgar Hızı -50 m (m/s)	Güç Yoğunluğu – 50 m (W/m^2)	Kapasite (MW)
7.0 – 7.5	400 – 500	29.259,36
7.5 – 8.0	500 – 600	12.994,32
8.0 - 9.0	600 – 800	5.399,92
> 9.0	> 800	195,84
	Total	47.849

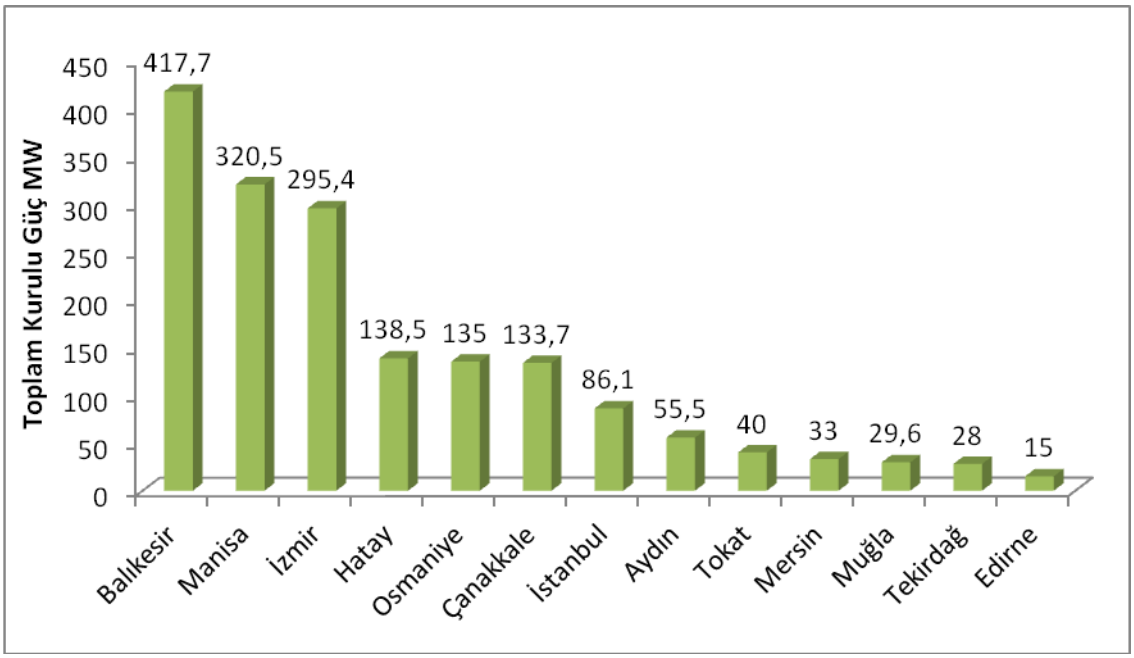


Şekil 14. RES Lisans Başvurusu Yapılan Bölgeler (EPDK)

Şekil 14'de 1 Kasım 2007 günü EPDK'ya 679 farklı başvuruda toplam 30.788MW kapasiteli yerlerin Türkiye'de dağılımı görülmektedir. Başvurular çok baskın şekilde Batı Ege ve Marmara bölgesine dağılmıştır. Bu başvuru alanları genelde Marmara ve Ege bölgesine yoğunlaşmıştır.

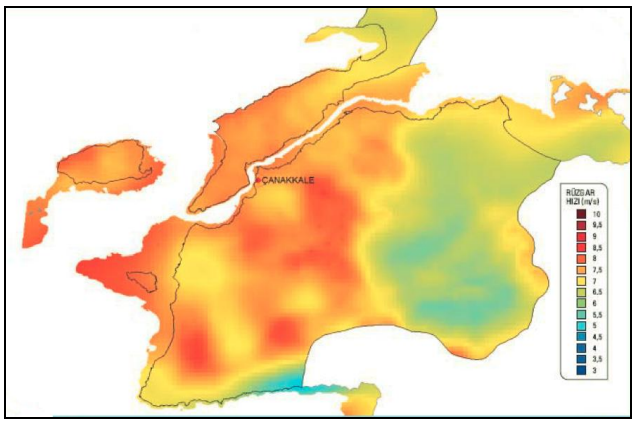
Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA), Türkiye rüzgar kaynaklarının karakteristiklerini ve dağılımını belirlemek amacıyla Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından 2006 yılında üretilmiştir. Yıllık ortalama değerler esas alındığında, Türkiye'nin en iyi rüzgar kaynağı alanları kıyı şeritleri, yüksek bayırlar ve dağların tepesinde ya da açık alanların yakınında bulunmaktadır. Açık alan yakınlarındaki en şiddetli yıllık ortalama rüzgar

hızları Türkiye'nin batı kıyıları boyunca, Marmara Denizi çevresinde ve Antakya yakınında sınırlı bir bölgede meydana gelmektedir. Orta şiddetteki rüzgar hızına sahip geniş bölgeler ve rüzgar gücü yoğunluğu Türkiye'nin orta kesimleri boyunca mevcuttur.

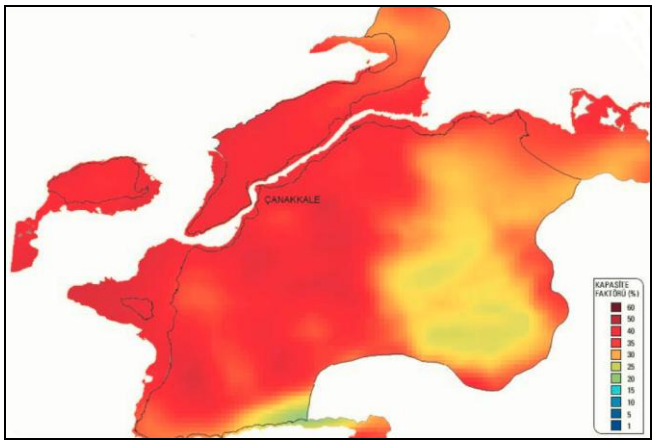


Şekil 15. 2011 yılı itibari ile rüzgar enerjisi santrallerinin şehirlere göre dağılımı (EPDK, 2012)

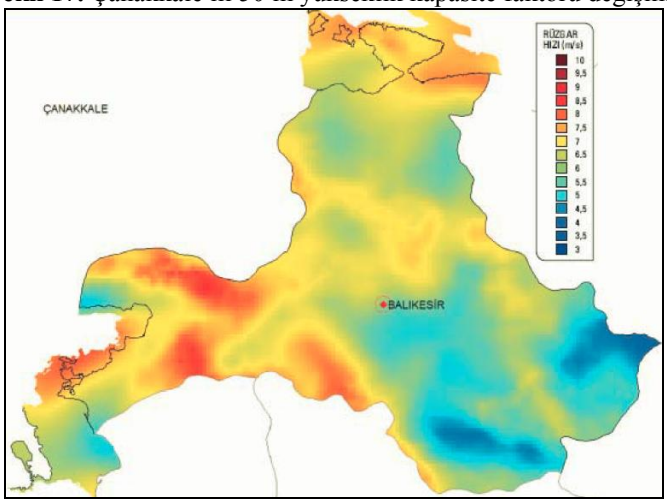
Rüzgar enerjisi santrallerinin şehirlere göre dağılımı incelendiğinde Marmara Bölgesi'nde Balıkesir, İstanbul Çanakkale, Ege Bölgesi'nde İzmir, Manisa, Doğu Akdeniz çevresinde Hatay rüzgar santrallerinin yoğun olarak yer aldığı illerdir (Şekiller 9-12). Rüzgar santrallerinin yoğun olarak kurulduğu iller REPA'da gösterilen potansiyelle uyum göstermektedir. 2011 yılı itibari ile rüzgar enerjisi santrallerinin şehirlere göre dağılımı Şekil 15'de verilmiştir (EPDK, 2012). Şekil 16-19'da ise Balıkesir ve Çanakkale illerinin rüzgar hız ve kapasite faktörü dağılımları verilmiştir. Daha detaylı bilgiye EİE web sayfasından erşilebilir.



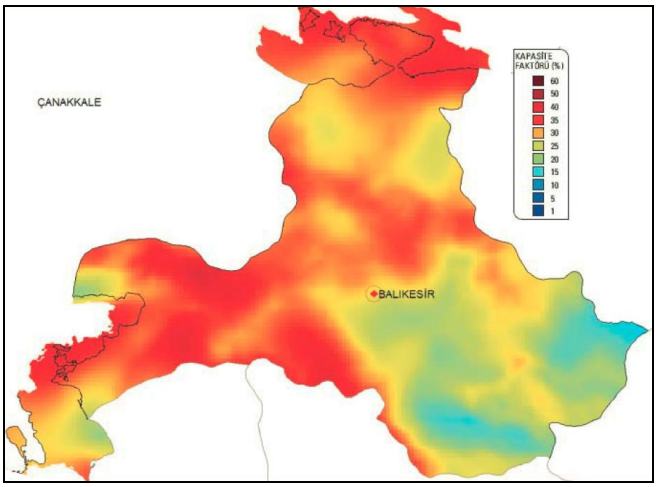
Şekil 16. Çanakkale ili 50 m yükseklik rüzgar hızı dağılımı



Şekil 17. Çanakkale ili 50 m yükseklik kapasite faktörü değişimi



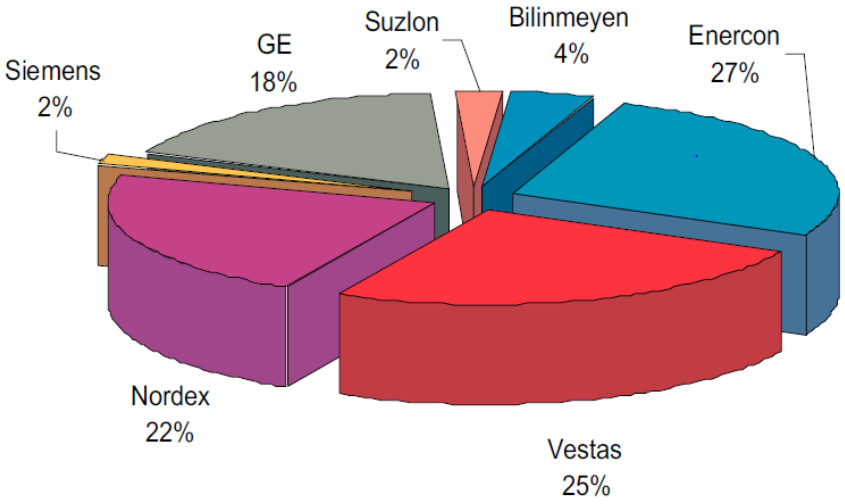
Şekil 18. Çanakkale ili 50 m yükseklik rüzgar hızı dağılımı



Şekil 19. Balıkesir ili 50 m yükseklik kapasite faktörü değişimi

Türkiye'deki mevcut rüzgar santrallerine türbin üreticileri açısından bakıldığında en büyük payı yüzde 27 ile Enercon türbinlerinin oluşturduğu, onu yüzde 25'le Vestas ve yüzde 22'lik pay ile Nordex'in izlediği görülmektedir (Şekil 20). Santrallerde en fazla 2.5 ve 3

MW'lık türbinler tercih edilmekle birlikte, bunları 900 kW'lık türbinlerden oluşan santraller takip etmektedir (Altuntaşoğlu, 2011).



Şekil 20. Türkiye Rüzgar Santrallerinde Kullanılan Rüzgar Türbinleri

1.2.2. Rüzgar Türbini Maliyetleri

1.2.2.1. Büyük Kapasiteli Rüzgar Türbinlerinin Maliyetleri

Çizelge 3. Büyük Güçlü Rüzgar Türbinlerinde Maliyet Dağılımı (600kW üzeri)

Elemanlar	Toplam Maliyetteki Payı %
Türbin	74-84
Temel	1-6
Elektrik Bağlantısı	1-9
Şebeke Bağlantısı	2-9
Danışmanlık	1-3
Arazi	1-3
Finansal Maliyetler	1-5
Yol Yapımı	1-5

Ülkemiz için rüzgar türbinlerinin kW başına kurulu güç maliyeti yaklaşık 900€/kW-1350€/kW'dır. Fiyatların yüksek olmasının nedenleri; gümrük vergisi, yerli üretimin az olması, nakliye ve montaj vb sebeplerdir. Türbin teknolojisindeki gelişmeler rüzgar türbin maliyetlerini her geçen yıl ortalama % 4-5 civarında düşürmektedir. Günümüzde büyük kapasiteli rüzgar türbinlerinin kurulu MW başına maliyeti 1.1-1.2 milyon Euro civarındadır. Bu miktar şebekeye bağlantı ve kurulum masraflarına göre değişiklik göstermektedir.

1.2.2.2. Küçük Güçlü Rüzgar Türbinlerinde Maliyet Dağılımı

Küçük kapasiteli rüzgar türbinlerinin maliyet dağılımı ise aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4. 10 kW Kapasiteli Rüzgar Türbininin Maliyet Dağılımı (Kaynak: Bergey.com)

Elemanlar	**Toplam Maliyetteki Payı%**
Teçhizatlar (türbin, kule, invertör, kule bağlantısı ile ilgili teçhizat	70
İşçilik	10
Malzemeler (beton, tel, kablo kanalları vb.)	8
Alt Yapı İşlemleri (izin, kazı, yükleme ve boşaltma)	6.3
Teçhizat Kirası (vinç)	5.2

1.2.3. Türkiye'de Rüzgar Enerjisi santralleri

Bu bölümde Türkiye'de örnek bazı rüzgar santralleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Şekil 21. Bozcaada RES - Bores

Bozcaada Rüzgar Enerjisi Santrali, Bores, 2000 yılında 10,2 MW kurulu güç ile kurulmuştur. Bozcada'nın en batı ucunda kurulan santral, 17 adet 600 kW gücünde Enercon marka türbinden oluşmaktadır. Yap – işlet- devret modeli ile kurulan ikinci rüzgar enerjisi santralidir.

Sunjüt Rüzgar Enerji Santrali, 2003 yılında 1,2 MW kurulu güç ile İstanbul – Hadımköy'de kurulmuştur. Santral, 2 adet 600 kW gücünde Enercon marka rüzgar türbininden oluşmaktadır.

Şekil 22. Sunjüt RES

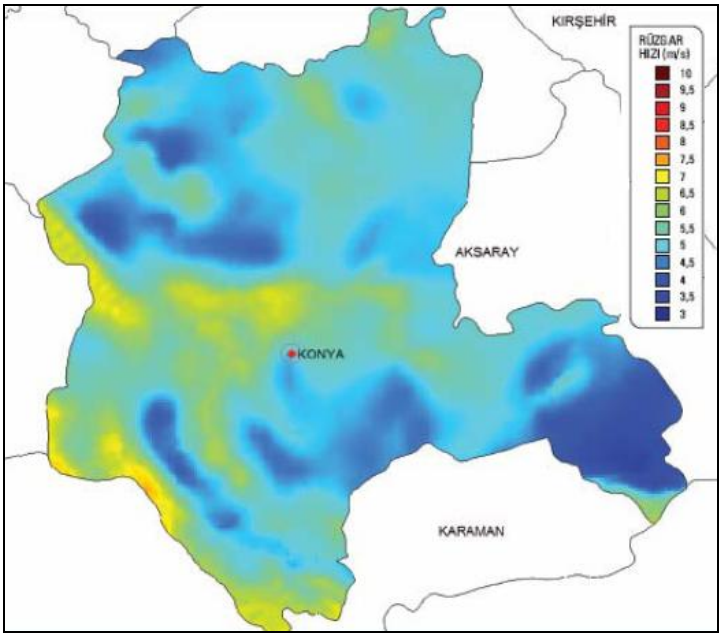
Yuntdağı Rüzgar Enerji Santrali, 2008 yılında 42,5 MW kurulu güç ile İzmir – Aliağa'da kurulmuştur. Dost Enerji'nin ilk rüzgar enerji santrali olan Yuntdağı RES, 17 adet 2500 kW gücünde Nordex marka türbinlerden oluşmaktadır.

Şekil 23. Yuntdağı Rüzgar Enerji Santrali

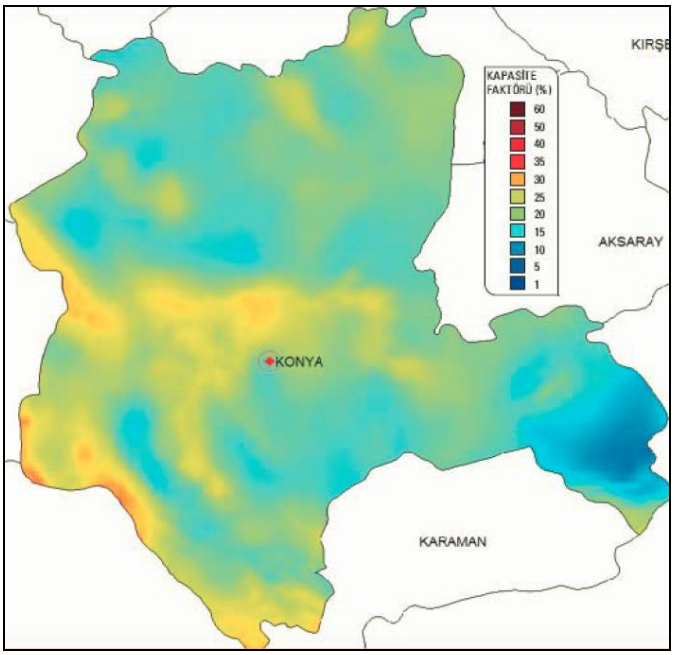
1.3. Konya Bölgesinin Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

Türkiye'nin en geniş yüzölçümüne sahip ili olan Konya'nın genel olarak rüzgar enerjisi potansiyeli belirlendi. Bu bölüm için, Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde 2002 yılından bu yana konuyla ilgili yapılan araştırma ve rüzgar ölçüm verilerinden ve EİE tarafından yapılan Türkiye rüzgar atlasından faydalanılmıştır (Şekil 24).

Daha hassas bir çalışma için bölge daha detaylı bir şekilde ölçüm istasyonları ile incelenmesi gerekir.



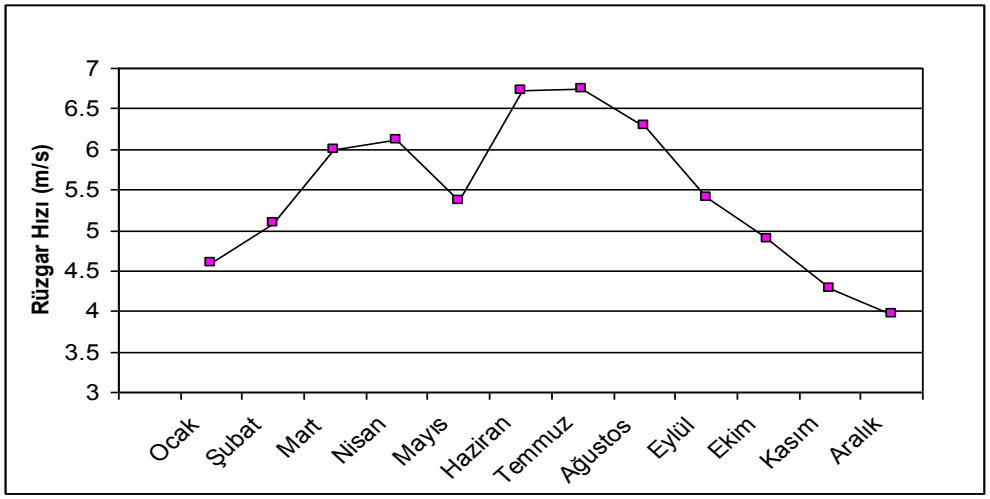
Şekil 24. Konya 50 metre rüzgar hızı dağılımı (Anonim, 2007a).



Şekil 25. Konya 50 metre kapasite faktörü dağılımı (Anonim, 2007a).

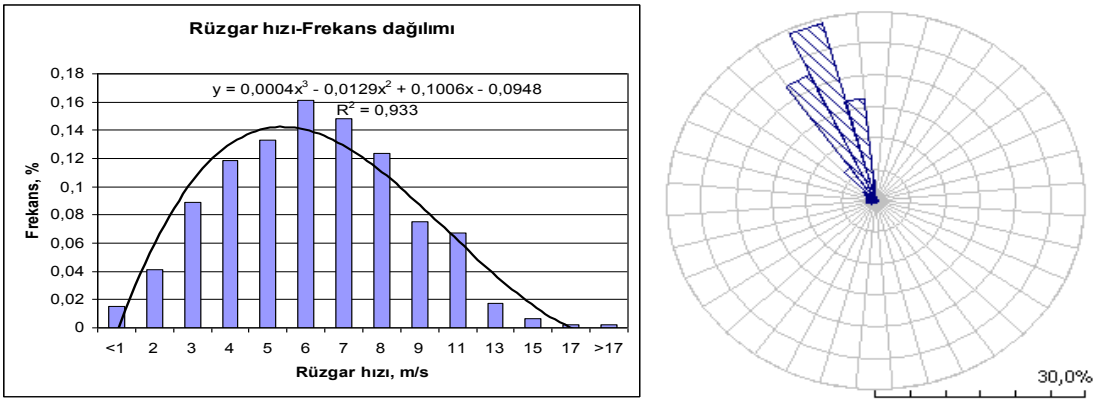
Ekonomik RES yatırımı için %35 veya üzerinde kapasite faktörü gerekmektedir. Bu nedenle, Kapasite faktörü %35'in üzerinde olan alanlar ancak sınırlı bölgelerde olduğu Şekil 25'de görülmektedir. Verilen haritadaki konturlar tahmini hesaplama metotları ile elde

edilmiştir. Detaylı analizler için kurulması düşünülen Türbinin göbek çapına uygun olarak en az bir yıllık periyotla potansiyel belirleme ölçümleri tekrar edilmelidir.



Şekil 26. S.Ü. Kampus bölgesinde 2006 yılı 40.m yükseklikte aylık ortalama rüzgar hızı değerleri

Selçuk Üniversitesi Alaaddin Keykubat kampüsü bölgesinde 40 metre yüksekliğinde bir ölçme sistemi ile 2004-2007 yılları arası yapılan ölçüm sonucu elde edilen aylık ortalama rüzgar hızları grafiği 2006 için Şekil 26'da verilmiştir. Konya rüzgar değerleri için rüzgar hız değerinin yaz aylarında daha yüksek seviyede olması dikkat çekicidir. Bu da tarımsal sulama ve enerji ihtiyacı için rüzgar enerjisinin Konya'da rahatlıkla kullanılabileceğini göstermektedir; çünkü tarımda enerji ihtiyacı yaz aylarında yüksek, diğer aylarda daha düşüktür. Şekil 27'de rüzgar verilerinin analizinden 40 metre yüksekliğindeki bir kule üzerindeki birim rüzgar gücünün 2005 yılı için 308 W/m^2, yıllık ortalama rüzgar hızının 6.01 m/s ve 2006 yılı için ise sıra ile 295 W/m^2 ve 5,87 m/s elde edilmiştir (Köse, 2011). Rüzgar hızı değerlerinde yıllık ±%10 dalgalanma olabilmektedir.



Şekil 27. 2006 yılı 40.m rüzgar hızı ve yönü (36 sektör, 10^o bölümlü) frekans dağılımı

Ortalama rüzgar hızı verilerinin standart sapma miktarının (σ) bu verilere ait ortalama hız değerine (V_m) oranı oralarak tanımlanan türbülans yoğunluğu hesaplanmıştır. 2005 yılı verileri incelendiğinde, ortalama hız standart sapmasının 0.75, ortalama türbülans yoğunluğunun 0.12 ve yön standart sapmasının ise 10.3^o ve 2006 verileri ise sırasıyla, 0.65, 0.12 ve 11.2^o olarak standartlara uygun, kabul edilebilir değerler elde edildi (Köse ve Özgören, 2005). Türbülans yoğunluğunun 0.25 den büyük olduğu alanlara rüzgar enerji santrali kurulmaması tavsiye edilmektedir.

Şekil 27'deki grafikte, 2006 yılı hakim rüzgar yönünün 340 derece yaklaşık kuzey yön civarında olduğunu gösteriyor. Şekil 28'de ise, Kapasite Faktörü (KF) (toplam kurulu gücünün yüzde faydalanma değeri), bir rüzgar türbininden alabileceğimiz güç oranını göstermektedir. Burada 1,5-1,8 MW gücündeki bir rüzgar türbini ile bölge rüzgar verileri ile üretilebilecek elektrik enerjisi ve kapasite faktörü değerleri 95 m yüksekliğindeki bir kule için hesaplanmıştır. Ölçülen değerlere göre kapasite faktörü değeri %35, ve bölgede bu türbinle üretebilecek elektrik enerjisini değeri 5.507.840 kWh/yıl'dır. Konya bölgesinde incelenen bazı yerlerde santral geri ödeme süresinin yaklaşık 4-8 yıl arasında olduğu hesaplanmıştır. Rüzgar hızı yükseldikçe, geri ödeme süresi çok hızlı bir şekilde düşmektedir (Köse, 2011).

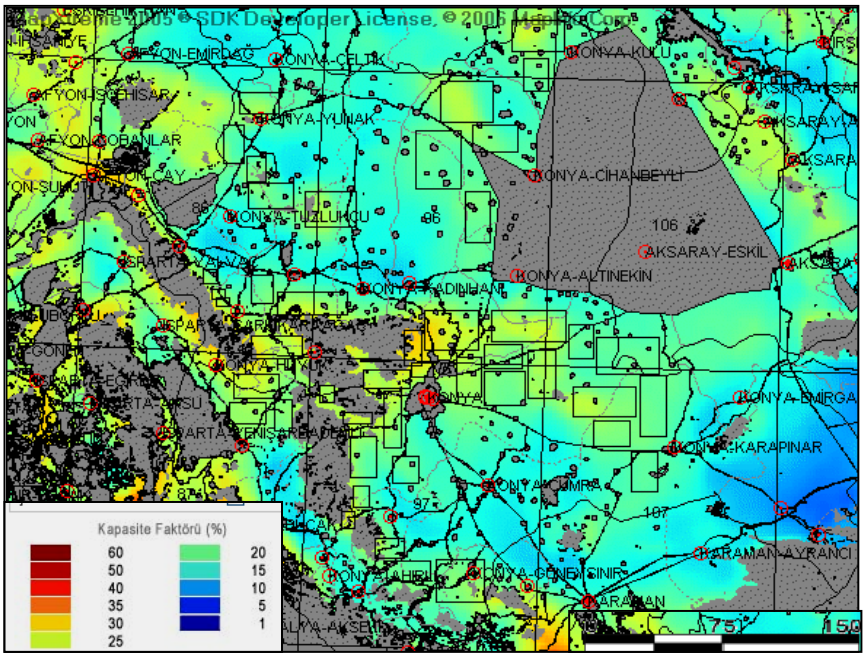
Çizelge 5. REPA'da Konya bölgesi rüzgar hızı, birim gücü ve kurulabilecek rüzgar gücü değerleri (EİE, 2011)

50 m'de Rüzgar Gücü (W/m^2)	50 m'de Rüzgar Hızı(m/s)	Toplam Alan (km^2)	Toplam Kurulu Güç (MW)
300-400	8,8-7,5	320,98	1.604,88
400-500	7,5-8,1	46,60	233,6
500-600	8,1-8,6	4,32	21,6
600-800	8,6-9,5	0,0	0,0
>800	>9,5	0,0	0,0
Toplam		372,02	**1.860,08**

REPA'da Konya bölgesi rüzgar enerjisi potansiyeli 50 m yükseklikteki rüzgar hızı 6,8 m/s den yüksek yerler kurulabilir alanlar olarak kabul edilerek yaklaşık 1.860,08 MW olarak bulunmuştur (Çizelge5).

50 m yükseklik için hazırlanan Türkiye rüzgar atlasını incelendiğinde, S.Ü. kampüs ölçümleri ile atlasın ortalamasının uyuştuğu görülmüştür. Rüzgar santralini kurulmasını engelleyen bazı faktörler vardır. Bunlar, 1.500 m'den yüksek rakımlı yerler, 50 m'den daha derin olan göl, deniz gibi kısımlar ve yerleşim yerleri ve yakınlarıdır. Bu kurulamaz bölgeler, Şekil 28'de gri renkte gösterilmiştir. Kapasite faktörü yüzde 25 ve üzeri olan bölgelere rüzgar santrali kurulabileceği kabul edilmektedir. Konya bölgesinin 50 m yükseklik için rüzgar

enerjisi kapasite faktörü atlasından, kapasite faktörü %25, %30 ve %35 olan yerler belirlenmiştir. Konya ili genelinde 3 ayrı bölge için %35, 14 bölge için %30 ve 9 bölge içinde %25 kapasite faktörü değerleri olmaktadır. Bölgelerin büyüklüğü 3x15 km ile 15x30 km büyüklükleri arasındadır. Bölgelerin kapasite faktörleri için alanlar, %35'lik bölge 200 km^2, %30'luk 2800 km^2 ve %25'lik bölge de 1700 km^2 ile toplam alan 5700 km^2 dir. Toplam ortalama bir potansiyel bulunabilse de her bir bölge ayrı ayrı analiz edilerek yerleştirilebilecek toplam türbin sayısı ve üretilebilecek enerji değerleri hesaplanmıştır (Köse, 2008). Bölgede türbin sayısı ve enerji hesabı için 82 m çaplı 1,5 MW, 100 m çaplı 1,8 MW ve 97 m çaplı 2 MW nominal güçlü rüzgar türbinlerin daha verimli olacağı sonucuna varılmıştır.

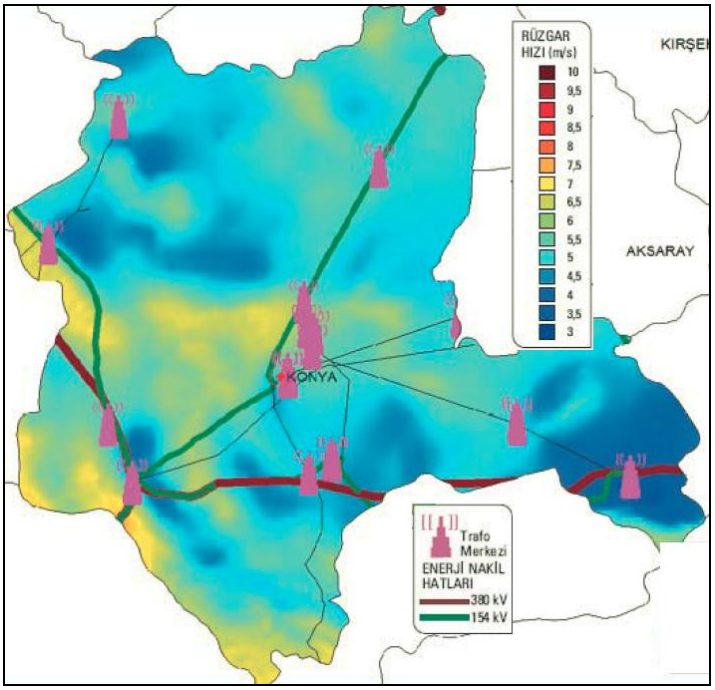


Şekil 28. Konya da KF'ne göre rüzgar santrali kurulabilecek bölgelerin belirlenmesi ve işaretlenmesi

Ekonomik rüzgar enerjisi santrali yapılabilir alanlara 7m/s veya üzerinde rüzgar hızı gerekmekte olup bu alanlar Konya il merkezi ile Seydişehir, Derebucak, Taşkent, Akşehir, Doğanhisar ilçeleridir. Kapasite faktörü haritası 50m yükseklikte yıllık rüzgar verileri ve 1,5-2,0 MW gücünde bir türbin kullanılarak oluşturulmuştur. Hesaplamada, türbinler arası 250-300 m, türbin sıraları arası ise 500 m alınmıştır. Ortalama olarak 1 km^2 alana 6 adet türbin yerleştirilebileceği belirlenmiştir (Köse, 2008). Daha önce belirlenen alanlar, her ne kadar kullanılmaz alanlar olan yerleşim yerleri, yüksek ve çok derin bölgeler çıkarılmış olsa da belirlenemeyen bazı hatalara karşı %50 küçültülmüştür. Buna göre kapasite faktörü 0,35 olan bölgeye yaklaşık 500 MW, 0,30 olan bölgeye 6000 MW ve 0,25 olan bölgeye de 3500 MW

kurulu güç yerleştirilebilecektir (Köse, 2008). Bu kapasiteye göre değerlendirildiğinde yapılan yatırımların geri ödeme süresi 7-8 yıl olmaktadır.

1 MW kurulu güç için, rüzgar santralinin yaklaşık maliyeti 1- 1,2 milyon Euro'dur. Ancak, rüzgar elektrik santrali yatırımcılarının dikkat etmesi gereken önemli noktalardan biri de projenin enterkonnekte sisteme bağlantı imkanıdır. TEİAŞ rüzgar projelerinin kurulu gücünü, bağlanılacak trafo merkezinin kısa devre gücünün %5'i ile sınırlamış durumdadır. Bu da projenin rüzgar potansiyeli ne kadar yüksek olursa olsun kurulu gücün enterkonnekte sistem bağlantısıyla sınırlandırıldığı anlamına gelmektedir. Hatta şu anda çoğu rüzgar potansiyeli yüksek projenin sisteme bağlantısı olmadığı için yapılamadığı görülebilir. Yatırımcılar, rüzgar potansiyeli ile birlikte o bölgenin bağlantı imkanını da bilmeleri gerekir.



Şekil 29. Konya Enerji Nakil hatları ve Trafo Merkezleri

Konya ili sınırları dahilinde bulunan trafo merkezlerinin kısa devre gücünün %5'ini hesapladındığında toplam 3.885 MW olduğunu görülmektedir. Bundan rüzgar santrali yapılamayacak veya tasarlanan santrallere uzak trafo merkezleri (Şekil 29) çıkarılınca geriye Çizelge 6'da verilen 3.432,5 MW beslenebilecek güç kalmaktadır. Lisanssız yönetmeliğe göre kurulabilecek rüzgar santrali gücü de 584,25 MW olarak hesaplanmıştır. Bu iki değerin toplanmasıyla Konya'nın toplam rüzgar elektrik santralı kurulu gücünün yaklaşık 4.017 MW'lık kısmının pratikte gerçekleşebileceği görülmektedir. Bunun gerçek faydalı güç oranı ise %30 kapasite faktörü için 1.205 MW olmaktadır. Teknik olarak kurulabilir güç (4.017 MW) ile de 10,55 Milyar kWh/yıl elektrik enerjisi üretilebilir. Burada bulunan brüt üretim

potansiyeli olan 35,19 Milyar kWh/yıl ve teknik olarak trafo sistemlerine uygun 10,55 Milyar kWh/yıl değerleri Türkiye'nin 2010 yılı toplam elektrik üretimi olan 210,12 milyar kWh değerinin 1/7'si ve 1/20'sidir. Ayrıca teknik üretilebilecek 10,55 Milyar kWh/yıl enerji, Konya'nın 2010 yılı elektrik tüketimi olan 3,625 milyar kWh değerinin 2,91 katıdır.

Çizelge 6. Konya için TM'leri ve bağlanılabilecek güç değerleri

İli: KONYA	Nominal Gücü	Lisanssız Bağl.Güç	Lisanslı Bağl.Güç	İli: KONYA	Nominal Gücü	Lisanssız Bağl.Güç	Lisanslı Bağl.Güç
Trafo Merkezi Adı	(MVA)	MW	%5 Kısa Devre Gücü (MW)	Trafo Merkezi Adı	(MVA)	MW	%5*Kısa Devre Gücü (MW)
Konya-1	185	55,5	256,1	Karasınır	32,6	9,78	36,4
Konya-2	110	33	152,0	Alibeyhüyüğü	76,3	22,89	120
Konya-3	130	39	224,0	Seydişehir	108	32,4	876,3
Konya-4	530	159	1145	Akşehir	50	15	74,6
Cihanbeyli	50	15	68,6	Yunak	50	15	40,0
Ladik	50	15	64,8	Kızılören	130	39	90,6
Çumra	91	27,3	183,1	Beyşehir	50	15	54,7
Karapınar	75	22,5	80,0	**Toplam Güç**	**1.947,5**	**584,25**	**3.432,5**

1.4. Türkiye'de Rüzgar Enerjisi Yasal Mevzuatı ve Elektrik Üretimi

Ülkemizin Ocak 2012 itibarı ile Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından verilmiş yürürlükte olan elektrik üretim lisansları rüzgar enerji santralleri için verilmiş toplam 214 adet lisansın kurulu güç toplamı 7.543,7 MWe'tir.

EİE tarafından hazırlanan REPA'ya göre iyi-sıra dışı rüzgar sınıfına giren aralıkta rüzgarlı alanların potansiyeli yaklaşık 48.000 MW'lık rüzgar kurulu gücü destekleyebileceği hesaplanmıştır (EİE, 2011). Rüzgar enerjisi potansiyeli hesaplanırken elektriksel alt yapı dikkate alınmamıştır. Bu miktar potansiyelle en güvenli şekilde 147 Milyar kWh/yıl elektrik enerjisi üretilebilir. Hesaplamalarda 50 m yüksekteki rüzgar hızları, % 35'lik kapasite faktörü, yıllık ortalama rüzgar hızının 7 m/s ve üzerindeki kullanılabilir alanlar ve km^2 başına 5 MW'lık bir güç kurulabileceği gibi güvenli yaklaşımlar kabul edilerek yapılmıştır. Rüzgar enerjisi uygulaması amaçlı kullanılamayacak tüm alanlar bu hesaplamadan çıkarılmış ve dikkate alınmamıştır (EİE, 2011).

1.4.1. Lisanslı Ve Lisanssız Uygulamalar Göre Rüzgar Enerjisinden Yararlanma

Rüzgar enerjisinin Türkiye'de kullanılmasında iki yöntem mevcuttur. Bunlardan birincisi 500 kW tan büyük kurulu güçler için alınması gereken "Üretim" ve "Otoprodüktör" lisanslı kullanımdır. İkincisi ise henüz tam olarak uygulamaya başlanılmamış 500 kW ve altı kurulu güçler için "Lisanssız" kullanım şeklidir. Lisanssız Elektrik üretimine ait yönetmelik son olarak EPDK tarafından Temmuz 2011 de yayınlanmış olup, üretilen elektriğin sisteme bağlantısı ile ilgili hususlar henüz açıklanmadığı için henüz müracaat yapılamamaktadır.

21 Temmuz 2011 tarihinde EPDK tarafından Resmi Gazete de yayınlanan 28001 sayılı "Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik" e göre **"**yalnızca kendi ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı kurulu gücü azami beş yüz kilovatlık üretim tesisi kuran gerçek ve tüzel kişilerin lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muaf tutulması ve bu kapsamdaki tesislerin denetimi ile üretilen ihtiyaç fazlası elektrik enerjisinin sisteme verilmesi halinde uygulanacak usul ve esasları" belirlenmiştir (EPDK, 2011).

Bu yönetmeliğe göre birden fazla gerçek ve/veya tüzel kişi, uhdelerindeki tesislerde tüketilen elektrik enerjisi için tüketimlerini birleştirerek üretim tesisi ya da tesisleri kurabilir. Bu Yönetmelik kapsamına giren üretim tesisleri dağıtım sistemine dağıtım sisteminin mevcut kapasitesine göre Yüksek Gerilim (YG) (1000V dan yüksek) veya Alçak Gerilim (AG) (1000 V ve daha düşük) gerilim seviyesinden bağlanabilir. Dağıtım şirketi, üretim tesisinin teknik özelliklerine ve bağlantı noktası itibarıyla Bağlantı başvurusu talebi, ancak bu yönetmelik hükümlerinin uygulanması kapsamında reddedilebilir. Her bir bağlantı noktasında bir kişiye tüketim tesisinden bağımsız olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisleri için en fazla 500 kWe tahsis yapılabilir. YG seviyesinden dağıtım sistemine bağlanmak isteyen rüzgar (ve/veya güneş) enerjisine dayalı üretim tesisi bağlantı başvuruları için bir transformatör merkezine yönlendirilen toplam güç 2 MW ve üzerinde olması halinde ilgili dağıtım şirketi TEİAŞ'a kaynak bazında ayrı ayrı bağlantı kapasite bildiriminde bulunur ve TEİAŞ'ın bildireceği bağlanabilir kapasiteyi bağlantı görüşlerinin sonuçlandırılmasına esas alır (EPDK, 2011).

Üretim tesisi bağlantı başvurusu, ekinde aşağıdaki bilgi ve belgeler bulunan "Lisanssız Üretim Bağlantı Başvuru Formu" ile doğrudan ilgili dağıtım şirketine veya Organize Sanayi Bölgesi dağıtım lisansı sahibi tüzel kişiye başvurur.

Bağlantı başvurusunun değerlendirilmesi ve sonuçlandırılması; gerçek veya tüzel kişilerin her takvim ayı içinde alınan başvuruları takip eden ayın ilk 20 günü içinde toplu olarak değerlendirilir ve sonuçlandırılır. Dağıtım şirketince dağıtım sistemine bağlantısı yapılacak olan üretim tesisinin bağlantısına ilişkin değerlendirmede;

1) Başvuruya konu üretim tesisinin yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı olması,

2) Başvuruya konu üretim tesisinin kojenerasyon tesisi olması,

3) Başvuruya konu üretim tesisinin tüketim tesisi ile aynı yerde olması,

4) Başvuru sahibinin önceden uygun bulunmuş bir başvurusunun olmaması,

5) Başvuru sahibinin varsa son bir yıl içindeki tüketim miktarının diğer başvurulardan yüksek olması, kriterleri sırasıyla uygulanır. Yapılan değerlendirme sonucunda, birden fazla başvurunun tüm kriterleri sağlaması durumunda dağıtım şirketine yapılan başvuru tarihi sıralamaya esas alınır. Bağlantı noktası uygun bulunmayan başvurular için varsa alternatif bağlantı önerisini başvuru sahibine yazılı olarak bildirir.

Lisanssız üreticilere üretim kaynak belgesi verilmesi; yenilenebilir enerji kaynaklarından üretim yapmak amacıyla dağıtım şirketi ile Bağlantı ve Sistem Kullanım Anlaşmalarını imzalayan ve dağıtım sistemine YG'den bağlanan üreticilere, talep etmeleri halinde, önceki yıl içinde üreterek sisteme verdikleri elektrik enerjisi miktarını gösteren bir yıl süreli Üretim Kaynak Belgesi, söz konusu miktarın emisyon ticareti kapsamındaki piyasalarda satışında kaynak türünün belirlenmesi ve takibi için kullanılması amacıyla, dağıtım şirketince verilir.

Başvuruda beyan edilen üretim tesisinin kurulu gücünün;

a) 11 kWe ve altında olması halinde AG,

b) 11 kWe'nin üzerinde olan üretim tesisleri, yapılan teknik değerlendirme sonucunda AG veya YG, seviyesinden dağıtım sistemine bağlanır.

Çizelge 7. Bir dağıtım trafosunda AG seviyesinden bir kişiye bir yıl içerisinde tahsis edilebilecek kapasite

Trafo Gücü (t.g.) (kVA)	Bağlanabilir Toplam Kapasite (kWe)	Bir kişiye bir yıl içerisinde tahsis edilebilecek kapasite (kWe)
t.g. < 100	t.g. x 0,3	7,5
100 ≤ t.g. ≤ 1000		t.g. x 0,1
t.g. >1000		100 kWe

Bir bölgede kurulabilecek AG seviyesinden bağlanacak üretim tesislerinin toplam kapasitesi, "bu üretim tesislerinin bağlı olduğu dağıtım transformatörünün (trafosunun) gücünün yüzde otuzunu (%30) geçemez" hükmü ile sınırlandırılmaktadır. Bir dağıtım

trafosunun AG seviyesinde bir kişiye bir yıl içerisinde tahsis edilebilecek kapasite aşağıdaki tabloda trafo gücü (t.g.)'ne göre belirlenir (Çizelge 7).

Bağlanılacak noktanın bağlanabilirlik oranının;

a) Kurulu gücü 500 kWe'nin üzerindeki kojenerasyon tesisleri için 35'in,

b) Diğer üretim tesisleri için 100'ün, üzerinde olması esastır. Bağlanabilirlik oranının bu değerlerin altında olması durumunda dağıtım şirketi bağlantı için başka bir bağlantı noktası teklif edebilir.

Örnek olarak Konya'da bulunan trafoların en küçük güçlüsü olan Karasınır Trafo Merkezi (TM) için değerlendirildiğinde; Karasınır TM'nin gücü 32.6 MVA=32.600 kVAx0.3=9780 kVA yani 9.78 MVA (≅MW) Lisanssız enerji gücü bağlanabilir. Bağlanabilirlik oranı 9.780 (100'ün üzerinde) olduğundan hem yenilenebilir hem de kojenerasyon (35'in üzeri) tesisi bağlanabilir. Ayrıca t.g.=32.600 kVA>1000 kVA olduğundan bir kişiye bir yıl içerisinde tahsis edilebilecek kapasite de 100 kWe olacaktır. Tablo 10 da görüldüğü gibi t.g. 1000 kVA olduğunda ve daha büyük olduğunda bir kişiye bir yılda tahsis edilebilecek güç her ikisinde de 100 kVA olmaktadır. Dolayısıyla lisanssız yönetmelikle bir kişiye müsaade edilen 500 kW güçte bir santral kurulup AG'den sisteme bağlanabilmesi için 5 yıl beklemesi gerekecektir.

Sayaçlar, Bu Yönetmeliğin uygulanması amacıyla, üretim ve tüketim tesislerinin aynı yerde bulunması halinde, bağlantı anlaşmasında belirlenen yere ilgili mevzuatta dengeleme ve uzlaştırma sisteminin gerektirdiği haberleşmeyi sağlayabilecek çift yönlü ölçüm yapabilen saatlik sayaç takılır. Bir tüketim tesisi için kurulacak, farklı teşvik fiyatlarına tabi yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesislerinde üretilen elektrik enerjisinin ayrı ayrı saatlik ölçülmesine imkan verecek şekilde sayaç tesis edilir.

İhtiyaç fazlası enerjinin satın alınması, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı olarak gerçek veya tüzel kişiler tarafından kurulan ve işletilen,

a) Tüketim tesisi ile aynı yerde kurulu üretim tesisinde ya da tesislerinde üretilerek her fatura döneminde sisteme verilen net elektrik enerjisi ile

b) Tüketim tesisi ile aynı yerde kurulu olmayan üretim tesisinde ya da tesislerinde üretilerek dağıtım sistemine verilen elektrik enerjisinden ilgili tüketim tesisinde, dağıtım sistemi kayıp oranları da dikkate alınarak belirlenecek tüketim miktarı tenzil edildikten sonra, her fatura dönemi için tüketilemeyen net elektrik enerjisi miktarı, ihtiyaç fazlası elektrik enerjisi olarak perakende satış lisansı sahibi dağıtım şirketi tarafından YEK Kanununa kaynak

bazında belirlenen fiyattan satın alınır. Bu fiyatlar ilgili üretim tesisinin sisteme enerji vermeye başladığı tarihten itibaren on yıl süreyle uygulanır.

İhtiyaç fazlası enerjinin değerlendirilmesi, elektrik enerjisi ilgili perakende satış lisansı sahibi dağıtım şirketi tarafından üretilerek sisteme verilmiş kabul edilir ve elektrik enerjisi ilgili perakende satış lisansı sahibi dağıtım şirketi tarafından sadece Kurul onaylı perakende satış tarifesi kapsamındaki abonelere satılabilir.

Üretim tesislerinin işletmeye girmesi; Bu Yönetmelik hükümlerine göre dağıtım sistemine bağlanacak üretim tesislerinin geçici kabul işlemlerinin, bağlantı anlaşmasının imza tarihinden itibaren; AG seviyesinden bağlanacak tüm üretim tesislerinde bir yıl, içerisinde tamamlanması zorunludur.

Lisanssız rüzgar santrali kurulumu ile ilgili yönetmelikte düzenleme gereken bazı hususlar henüz EPDK tarafından yayınlanmadığı için başvurular dağıtım firmaları tarafından kabul edilmemektedir. Bu hususstaki AG veya YG seviyesinden dağıtım sistemine bağlantı şartları EPDK tarafından belirlenecektir. Ayrıca "Bağlantı Anlaşması" ve "Sistem Kullanım Anlaşması"nın genel hükümlerinin hazırlanması gerekmektedir.

Lisanslı yönetmeliğe göre rüzgar santrali kurmak için EPDK'nın lisans başvurularını kabul ettiği tarihlerde santral yerine, kapasitesine, üretilebilecek elektrik enerjisine ve firmaya ait bilgilerden oluşan dosya hazırlanarak başvuru yapılmaktadır. Daha önce mevcut olan 30 metre yüksekliğindeki ölçme sistemi ile bir yıl ölçüm zorunluluğu 2006 yılında kaldırılmış olup, 01.11.2007 tarihinde açılan 1 günlük başvuru kabulüne aşırı bir ilgi olmuş ve yaklaşık 78.000 MW rüzgar santrali başvurusu yapılmıştır. O başvurulardan hala sonuçlanmamış olanlar bulunmaktadır. Son günlerde 40 veya 50 m'lik ölçme sistemi ile 1 yıllık ölçme zorunluluğunun yeniden yönetmelikle uygulanacağı çalışmaları yapılmaktadır. Günümüzde lisanslı yönetmeliğe göre TM'lerin kısa devre güçlerinin %5'i kadar rüzgar gücü bağlanabileceği kuralı uygulandığından Konya bölgesi TM'lerine toplam 3.432,5 MW, lisanssız olarak da 584,25 MW tır. Mevcut duruma ve yönetmeliklere göre olarak Konya bölgesinde kurulabilecek toplam rüzgar santrali gücü 4.017 MW tır. Bu da Türkiye de 2011 yılı sonunda kurulu toplam rüzgar santrallerinin yaklaşık 3 katı büyüklüğe eşittir.

1.4.2.Türkiye'de YEK'ten Üretilen Elektriğe Sağlanan Teşvikler

Enerjide ithalat bağımlılığının azaltılması ve arz güvenliğinin sağlanması amacıyla YEK kullanımının artırılması Türkiye enerji politikasının önemli bir unsuru olarak

belirtilmektedir. Türkiye'de rüzgar enerjisi başta olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimi;

- 4628 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu"
- 5346 Sayılı "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının" Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun"(YEK-e Kanunu) ve adı geçen kanunlarla ilgili ikincil mevzuat kapsamında teşvik edilmektedir.

Bu kanunlarda 5627 (Enerji Verimliliği Kanunu), 5784 (4628 ve bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun) ve en son olarak 6094 (Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun) sayılı kanunlar ve ilgili yönetmeliklerle zaman içerisinde bazı değişiklikler yapılmıştır.

Ülkemizde uygulanmakta olan destek sistemi teşvikli sabit fiyat mekanizmasıdır. Teşvik oranları kullanılacak yenilenebilir enerji kaynağına göre değişmektedir. Tarife geçerlilik süresi 2015 yılı sonuna kadar devreye girme koşulu ile 10 yıldır. Yerli teknoloji oluşumunu teşvik etmek amacıyla da bu tesislerde kullanılan mekanik ve/veya elektro-mekanik aksamının yerli üretim olması halinde üretilecek elektrik enerjisi için 5 yıl süre ile ilave fiyat uygulanacaktır. YEK'den üretilen elektriğin tüketimin sağlanması için tüketicilere elektrik satışı yapan tedarikçilere belli miktarda YEK'e alım zorunluluğu ve buna uyulmaması halinde ceza öngörülmektedir. Diğer yandan arazi kullanımı ile ilgili bazı destekler de vardır. Buna göre bir rüzgar santralından elektrik üretilmesi halinde uygulanacak tarifeler:

Çizelge 8. YEK uygulanacak fiyatlar

I Sayılı Cetvel (29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı Kanunun hükmüdür.)	
Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi	Uygulanacak Fiyatlar (ABD Doları cent/kWh)
a. Hidroelektrik üretim tesisi	7,3
b. Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi	**7,3**
c. Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	10,5
d. Biyokütleye dayalı üretim tesisi (çöp gazı dahil)	13,3
e. Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	13,3

Çizelge 9. Yerli Üretim teşvik miktarı

II Sayılı Cetvel (29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı Kanunun hükmüdür.)		
Tesis Tipi	Yurt İçinde Gerçekleşen İmalat	Yerli Katkı İlavesi (ABD Doları cent/kWh)
Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi	1- Kanat	0,8
	2- Jeneratör ve güç elektroniği	1,0
	3- Türbin kulesi	0,6
	4- Rotor ve nasel gruplarındaki mekanik aksamın tamamı (Kanat grubu ile jeneratör ve güç elektroniği için yapılan ödemeler hariç.)	1,3

Kanunlar ve ikincil mevzuatları kapsamında rüzgar enerjisinin de içinde bulunduğu yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimine sağlanan destekler ve destekleme sistemi özellikleri:

a) YEK kanununda son yapılan değişiklikler ile sağlanan teşvikler

• 31.12.2015 tarihine kadar işletmeye girecek YEK belgesine sahip üretim lisansı sahibi tüzel kişinin rüzgar enerjisinden ürettiği elektrik enerjisine 10 yıl süre ile 7,3 ABD $cents/kWh'den satın alınması (Çizelge 8).

• Lisanssız üretim yapan gerçek ve tüzel kişilerin (< 500 kW rüzgar tesislerine) dağıtım sistemine verdikleri ihtiyaç fazlası rüzgar enerjisinin 10 yıl süre ile 1 sayılı Cetvel'deki fiyattan (7,3 ABD$ cents/kWh) satın alınması

• 31.12.2015 tarihinden önce işletmeye giren lisanslı rüzgar enerjisi tesislerinde kullanılan mekanik ve/veya elektro-mekanik aksamın yerli üretim olması halinde bu tesislerde üretilen elektrik enerjisi için 5 yıl süre ile 2 sayılı Cetvelde rüzgar enerjisi için tanımlanan aksamlarına göre ilave fiyat uygulaması (0.6-1.3 ABD$ cents/kWh arasında değişmekte)

• Bu kaynaklardan üretilen elektriğin tüketimini sağlamak için tüketicilere elektrik satışı yapan tedarikçilere alım zorunluluğu.

• 8/1/2011 tarihi itibariyle işletmede olanlar dahil, 31/12/2015 tarihine kadar işletmeye girecek Kanun kapsamındaki yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesislerinden, ulaşım yollarından ve lisanslarında belirtilen sisteme bağlantı noktasına kadarki TEİAŞ ve dağıtım şirketlerine devredilecek olanlar da dahil enerji nakil hatlarından yatırım ve işletme dönemlerinin ilk on yılında izin, kira, irtifak hakkı ve kullanma izni bedellerine % 85 indirim.

• Milli Park, Tabiat Parkı, Tabiat Anıtı ile Tabiatı Koruma Alanlarında, Muhafaza Ormanlarında, Yaban Hayatı Geliştirme Sahalarında, Özel Çevre Koruma Bölgelerinde ilgili

Bakanlığın, Doğal Sit Alanlarında ise ilgili koruma bölge kurulunun olumlu görüşü alınmak kaydıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretim tesislerinin kurulmasına izin verilmesi.

- Kanun kapsamındaki tesislere 4706 sayılı Hazineye Ait Taşınmaz Malların Değerlendirilmesi ve Katma Değer Vergisi Kanununda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanunun ek 2. maddesi uygulanmaması (%1 Hazine payı muafiyeti).

Destekleme sistemi özellikleri

- Kanunda belirtilen teşvikli fiyatlardan yararlanabilmek için YEK belgesine sahip olma ve YEK Destekleme Mekanizmasına (YEKDEM) dahil olmak gerekmektedir.
- Destekleme sisteminden yararlanabilmek için her yıl 31 Ekim tarihine kadar başvurma gereklidir ve bulunulan yıl içerisinde destekleme sistemi dışına çıkılmasına izin verilmemektedir.
- 31.12.2015 tarihinden önce işletmeye giren lisanslı YEK tesislerinde kullanılan mekanik ve/veya elektro-mekanik aksamın yerli katkı ilave fiyatından yararlanabilmesi için tanımlanan aksamın tamamının yurt içi katma değerle üretilmiş olması gerekmektedir.
- Lisanssız YEK tesislerinde üretilen ihtiyaç fazlası enerjinin yerli katkı ilave fiyatlarından yararlanabilmesi için yukarıdaki koşul geçerlidir. Ayrıca bu tesislerdeki ihtiyaç fazlası enerjinin sisteme satılabilmesi için Cetvel-2'de (Çizelge 9'da) adı geçen mekanik ve/veya elektro-mekanik aksamdan her birinin ithalat tarihi baz alınarak en fazla 5 takvim yılında üretilmiş olması zorunludur.
- YEK-e üreticilerine ödenecek bedel YEK'e den üretilerek sisteme verilen elektrik miktarı ile YEK listesindeki fiyatların (ABD$cents) çarpılması ile hesaplanacak ve o tarihteki Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası döviz alış kuru üzerinden TL olarak ödenecek.
- Tüketicilere elektrik satışı yapan tedarikçilere uygulanacak alım zorunluluğu oranı her bir tedarikçinin bir önceki yıl sattığı elektrik enerjisi miktarının tedarikçilerin toplamının ülkede sattığına bölünmesi ile belirlenecektir.
- PMUM her bir fatura dönemi için YEK toplam bedelini ve her bir tedarikçinin ödeme yükümlülüğü oranını belirleyecektir.
- Muafiyetli üretim miktarını satın almakla yükümlü olan perakende satış lisansı sahibi dağıtım şirketleri de bölgelerindeki muafiyetli üretim miktarı için 31 Ekim tarihine kadar YEKDEM'e tabi olmak için EPDK'ya başvurmak zorundadır.
- YEK-e üreticilerinin serbest piyasada satış olanağı var ancak hesaplamalara dahil

edilmeyecektir.

• Kanunun YEK Destekleme Mekanizması (Madde 6) ile Muafiyetli Üretim (Madde 6A) hükümlerine aykırı hareket edenlere 4628 sayılı Kanun 11. Madde hükümleri uygulanacaktır.

• Uygulanacak fiyatlar ABD Doları türünden belirlenmiş olup farklı yenilenebilir enerji kaynak türleri için farklılık göstermektedir. Bununla birlikte kullanılacak teknolojiler arasında fiyat farklılaşması (rüzgar-kara, rüzgar–deniz) ile ölçek ekonomisine yönelik (santral büyüklüğüne göre) farklılaşma yoktur.

b) 4628 sayılı kanun ve ilgili yönetmeliklerle sağlanan teşvikler

• Lisans başvurusunda lisans bedelinin %1'inin ödenmesi (% 99 muafiyet),

• Yıllık lisans bedelinde ilk 8 yıl muafiyet,

• Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı, kurulu gücü azami beş yüz kilovatlık üretim tesisi ile mikro kojenerasyon tesisi kuran gerçek ve tüzel kişilere, lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muafiyet,

• YEK tesislerinden lisanssız üretim yapan gerçek ve tüzel kişilerin dağıtım sistemine verdiği ihtiyaç fazlası elektrik enerjisinin yerli ekipmanlar kullanılarak üretimi halinde 5 yıl süre ile 1 sayılı cetveldeki fiyata ek olarak 2 sayılı cetveldeki fiyatlardan da yararlanarak satış olanağı,

• Sisteme bağlantı yapılmasında öncelik,

• Yük alma ve yük atma ve dengeleme birimi olma yükümlülüğü muafiyeti,

• YEK'e üreticilerine bir takvim yılında, lisanslarında yer alan lisansa konu tesisin kaynağına göre mevcut kurulu gücü ile üretebileceği yıllık üretim miktarı ile ürettiği miktar arasındaki farkı geçmemek kaydıyla özel sektör toptan satış şirketlerinden elektrik enerjisi satın alabilme olanağı,

• Üretim lisansı sahibi tüzel kişiler, lisanslarına konu üretim tesisinin iç tüketimini karşılamak amacıyla aynı tesis sahasında, üretim sürecinde verimliliği artırıcı veya üretim sürecinin bir parçası olarak tasarlanıp sürece bağımlı olarak çalışacak ve iletim ve/veya dağıtım şirketinden olumlu bağlantı görüşü alınmak kaydıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretim tesisini, toplam iç ihtiyaç kapasitesini aşmamak ve lisansına eklenmesi kaydıyla yapabilme olanağı,

• Araştırma ve geliştirme faaliyetleri yapmak isteyen tüzel kişilere yapılacak tesisin bağlantı görüşünün TEİAŞ ve/veya dağıtım lisansı sahibi ilgili tüzel kişi tarafından olumlu

bulunması ve bu tesisten üretilecek olan elektriğin ticarete konu olmaması ve 10 MW kurulu gücü geçmemesi kaydıyla kurul kararı ile lisanssız elektrik üretimi yapabilme olanağı sunulmuştur.

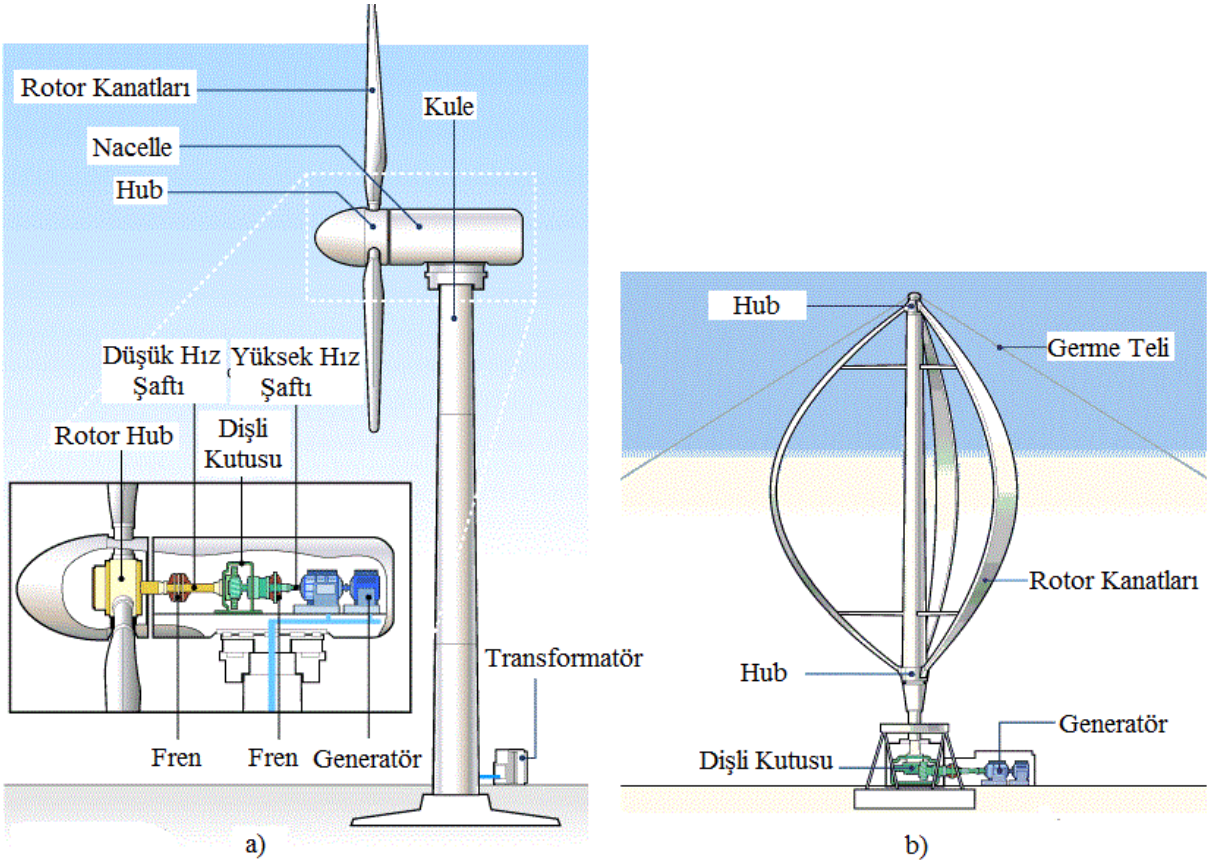
5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kanununda yapılan son değişikliklerle farklı teknolojiler için farklı teşvikli sabit fiyatlar öngörülmesi, yerli üretim aksamın kullanılması halinde uygulanacak ek tarife uygulaması, destekleme sistemi özellikleri nedeni ile yenilenebilir elektrik üretimlerinin piyasa yerine YEK destekleme sistemi kapsamında gerçekleşebileceği düşünülmektedir. Nitekim EPDK tarafından 20 Ekim 2011 tarihinde yapılan duyuruya göre 2011 yılı içinde YEKDEM mekanizmasına dahil olmak için yapılan duyuru sonucunda başvuruları uygun bulunan şirketler arasında dokuz rüzgar santralı işletmecisi de bulunduğu kayıt edilmiştir (Altuntaşoğlu, 2011).

1.5. Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması

Rüzgar türbinleri, bir rotor, bir güç şaftı ve rüzgarın kinetik enerjisini elektrik enerjisine çevirecek bir alternatörden oluşur. Rüzgar rotordan geçerken, aerodinamik bir taşıma kuvveti oluşur ve rotoru döndürür. Bu dönel hareket jeneratörü hareket ettirir ve elektrik üretir. Rüzgar şiddeti yükseklikle arttığı ve çevre etkileri azaldığı için rüzgar türbinleri bir kule üzerine yerleştirilir.

1.5.1. Eksen tiplerine göre rüzgar türbinleri

Rüzgar enerjisi teknolojisinin başlamasından bu yana, çeşitli rüzgar türbini tasarımları yapılmıştır. Bazıları yaratıcı tasarımlara sahip olmalarına rağmen, düşük verimlerinden veya yüksek maliyetlerinden dolayı ticari açıdan kabul görmemiştir. Rüzgar türbinlerini genellikle dönme eksenlerine göre, yatay ve düşey eksenli olarak sınıflandırma yapılmaktadır (Şekil 30) (Mathew, 2006).



Şekil 30. a) Yatay Eksenli Rüzgar Türbini b) Düşey Eksenli Rüzgar Türbini (Toprak, 2011)

1.5.1.1. Yatay eksenli rüzgar türbinleri (Horizontal-Axis wind turbine)

Yatay eksenli rüzgar türbinleri, yeryüzüne ve rüzgara paralel olan dönme eksenine sahiptirler. Kanatları ise rüzgar yönüyle dik açı yaparlar. Rotor, rüzgarı en iyi alacak şekilde, döner bir tabla üzerine yerleştirilmiştir (şekil 30a ve 31).

Ticari amaçla kullanılan birçok rüzgar türbini de bu kategoride yer almaktadır. Yatay eksenli rüzgar türbinleri, düşük hızlarda devreye girme özelliğine sahiptirler. Jeneratör ve dişli kutusunu kulenin üzerine yerleştirmek maliyeti bir miktar artırsa da verim ve kullanım kolaylılığı açısından daha çok tercih edilmektedir. Yatay eksenli türbinlerin çoğu, rüzgarı önden alacak şekilde tasarlanır ve bu sayede kulenin ve jeneratör sisteminin oluşturduğu rüzgar gölgelenmesinden etkilenmemesidir. Bu tiplerde türbinin rüzgara doğru dönmesini sağlayan bir kuyruk veya sapma mekanizmasına (yaw system) gereksinim duyulmaktadır. (Mathew, 2006).

Yatay eksenli türbinlere örnek olarak pervane tipi rüzgar türbinleri verilebilir. Bu tip türbinlerin kanatları tek parça olabileceği gibi iki ve daha fazla parçadan da oluşabilir. Günümüzde en çok kullanılan tip üç kanatlı olanlardır. Bu türbinler elektrik üretmek için

kullanılır. Geçmişte çok kanatlı türbinler tahıl öğütmek, su pompalamak ve ağaç kesmek için kullanılmıştır.

Şekil 31. Küçük ve Büyük Tip Yatay Eksenli Pervane Tipi Rüzgar Türbinleri

1.5.1.2. Düşey eksenli rüzgar türbinleri

Düşey eksenli rüzgar türbinlerinin dönme ekseni, hem yere hem de rüzgar yönüne diktir. Mili düşeydir ve rüzgarı her yönden alabilirler (Şekil 32). Rüzgar türbinlerinin Darrieus, Savonius gibi tipleri bulunmaktadır. Genelde sapma sistemlerine (yaw system) gerek duymazlar. Jeneratör ve dişli kutusu gibi sistemler yere daha yakın yerleştirildiği için, kule dizaynı daha kolaydır. Cihazların bakımı da yerde yapılabilir. Ancak bütün bu avantajlarına rağmen verimleri düşüktür ve düşük rüzgar hızlarında ilk harekete başlama problemleri vardır. Çalışmaya başlaması için bir motor tarafından ilk hareketin verilmesi gerekir. (Uçar, 2007). Verimlerinin düşük olma nedenlerinden biri kule üzerine yerleştirilememesi ve yerde düşük rüzgar hızı ile elektrik üretme durumunda olmasıdır. Darrieus tipi düşey eksenli rüzgar türbininde, düşey şekilde yerleştirilmiş iki tane kanat vardır. Kanatlar, yaklaşık olarak türbin mili uzun eksenli olan bir elips oluşturacak biçimde yerleştirilmiştir (Şekil 32).

Şekil 32. Düşey Eksenli Darrieus Tipi Rüzgar Türbinleri

Şekil 33. Savonius ve giromill tipi rüzgar türbinleri.

Savonius türbinleri, iki ya da üç adet kepçeye benzer kesitin birleşimi şeklindedir. En yaygını iki adet kepçenin bulunduğu durumdur ve "S" şeklini andıran bir görüntüsü vardır. Savonius türbininde akışkan içbükey kanat üzerinde türbülanslı bir yol izler ve burada dönel akışlar meydana gelir. Bu dönel akışlar Savonius türbininin performansını düşürür, bu nedenle

elektrik üretiminde pek fazla kullanılmazlar. Giromill tipi ise darrieus tipi rüzgar türbininin bir değişik versiyonudur. Darrieus tipine göre yüksek başlangıç torku; nispeten düz tork eğrisi, daha düşük bir kanat hız oranı daha yüksek bir performans katsayısına sahiptir. EK-3'de farklı kanat tiplerinin özellikleri verilmiştir. Elektrik üretimine en uygun olan 3 kanatlı tipleridir.

1.5.2. Kanat Sayılarına Göre Türbin çeşitleri

Kanat sayısına bağlı olarak rüzgar türbinleri tek kanatlı, çift kanatlı, üç kanatlı ve çok kanatlı olarak sınıflandırılabilir.

1.5.2.1.Tek Kanatlı Rüzgar Türbinleri

Tek kanatlı rüzgar türbininin yapılmasının sebebi, kanat sayısına göre dönme hızının yüksek olması ve bu sayede makine kütlesini ve rotorun döndürme momentini azaltmaktır. Ek olarak rotor kanadı, kanat üzerindeki yapısal yükleri azaltacak mekanizma ve kanat mekanizma hareketinin pürüzsüz olabilmesi için, tek menteşe ile sabitleştirilip, 2 karşı ağırlıkla dengelenmelidir. Diğer taraftan tek kanatlı rotorlarda, ilave yüklerden ortaya çıkan aerodinamik dengesizlik ve mekanizma hareketinin kontrol altında tutulması için rotor göbeği çok iyi yapılmalıdır. En önemli ticari dezavantajı, yüksek hızlarda kanat uç hızının sebep olduğu rotorun aerodinamik gürültü seviyesidir. Ticari kullanımı yok denecek kadar azdır (Şekil 35).

1.5.2.2. Çift Kanatlı Rüzgar Türbinleri

Üç kanatlı türbinlere göre rotor maliyetinin azaltılmak istenmesi bu türbin fikrini doğurmuştur. Birçok ülkede 10 ile 100 m rotor çaplı ölçülerde rüzgar türbinleri tasarlanıp, Avrupa ve ABD'de çalışmaya başlamıştır. Bu ticari rüzgar türbinlerinden sadece birkaç tanesi prototip durumundan, seri üretime geçebilmiştir. Almanya'da da örnekleri vardır. İki kanatlı rotorun balansı, bir kanatlı rotora göre daha düzgündür. Fakat iki kanatlı rotorun sebep olduğu dinamik hareketleri önlemek için rotora kadran sistemi ilave edilmiştir. Bu kadran, rotor şaftına dikey ve iki rotor kanadına yerleştirilir. Üç kanatlı rotorla karşılaştırıldığında en büyük avantajı; kanat uç hızlarının yüksek olmasıdır. Bu rüzgar türbinin gürültü seviyesinin yüksek olması ve düşük rüzgar hızlarında (3 m/s) çalıştırılması dezavantajıdır. Ticari kullanımı sınırlıdır.

Şekil 35. Tek, çift ve çok kanatlı rüzgar türbinleri

1.5.2.3. Üç Kanatlı Rüzgar Türbinleri

Üç kanatlı modern türbinler, dünyanın dört bir tarafında kullanılmaktadır. Üç kanat kullanılmasının asıl sebebi, dönme hareketinin daha düzgün olmasıdır. Bu türbinde, türbinin yarısı üzerinde depolanan yüklerden dolayı salınım yapan atalet momenti olmadığından, rotor göbeği içinde titreşimi önleyici pahalı parçalara gerek yoktur. Kanat uç hızı düşük olduğundan gürültünün düşüklüğü, sarsıntısız döndükleri için göz estetiğini bozmamaları önemli avantaj olup, teknik açıdan kabul görmüştür.

1.5.2.4.Çok Kanatlı Rüzgar Türbinleri

Çok Kanatlı rüzgar türbinleri rüzgar türbini alanındaki ilk örneklerdir. Yıllarca sadece su pompalanmasında kullanılan bu türbinler, Bu işlemdeki moment gereksiniminin karşılanabilmesi amacıyla, çok kanatlı olarak üretilmiştir. Çok kanatlı rüzgar türbinleri düşük hızda çalışırlar. Elektrik üretim amaçlı kullanımı uygun değildir (Toprak, 2011).

1.5.3. Güçlerine Göre Rüzgar Türbinleri

Güçlerine göre rüzgar türbinleri farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Şekil 27'de Görüldüğü gibi 10 kW'a kadar olan türbinler küçük güçlü rüzgar türbinleri, 10 kW - 250 kW arası olan türbinler orta güçlü rüzgar türbinleri ve 250 kW'tan büyük türbinler ise büyük güçlü rüzgar türbinleri olarak değerlendirilebilir (Şekil 36).

Şekil 36. Güçlerine Göre Rüzgar Türbinleri

Büyük güçlü türbinlere kıyasla, küçük güçlü türbinler teknolojik altyapı, bilgi birikimi ve yatırım açısından ulusal kaynaklarla daha kolay gerçeklenebilirler. Şu anda küçük güçlü rüzgar türbinlerinin tamamında sürekli mıknatıslı senkron jeneratörler kullanılmakta, elde edilen değişken genlik ve frekanstaki alternatif akım doğrultularak akülere depo edilmekte ya da uygun güç elektroniği devreleri yardımıyla şebekeye paralel bağlanabilmektedir.

1.5.4. Kullanım Yerine Göre Türbinler

19. yüzyıl ve öncesinde mekanik güç üretmek amacıyla kullanılan rüzgar türbinleri artık çoğunlukla elektrik üretimi için imal edilmektedir. Modern türbinler kullanma amacına göre 4 grupta incelenebilir. Bunlar su pompalama sistemi, hacim veya su ısıtılmasında kullanılan sistem, uzak bölgelerde enerji üretimi için kullanılan şebekesiz sistem ve şebekeye bağlantılı olarak kullanılan sistemlerdir. Su pompalama sistemleri, çok kanatlı, düşük rüzgar hızında yüksek moment sağlayabilen, su pompası ile bağlantılı olarak çalışan sistemlerdir. Uzak yörelerde, pompaj derinliği az olan küçük çapta sulama ve sulu tarım için kullanılmaktadır. Bu amaçla genellikle 3-5 kW'lık türbinler kullanılmaktadır. Hacim veya su ısıtılmasında kullanılan sistemler aynı şekilde uzak bölgelerde ya da rüzgar enerjisinin daha ekonomik olabildiği bölgelerde su ısıtılmasında ya da sera gibi büyük hacimlerin ısıtılmasında kullanılmaktadır. Kullanılan türbin kapasitesi 5-10 kW arasındadır. Şebekesiz sistemler akülü

veya uzak yerlerde emniyetli sistemler şeklinde iki gruba ayrılabilirler. Akülü sistemlerin çoğu, küçük, ucuz rüzgar türbinleri olup bireysel veya konutlar içindir. Uzak yerlerde emniyetli sistemler küçük, tek başına, uzak yerler için güvenilir güç üretirler. Bu sistemlerde de depolama ünitesi olarak akü bulunmalı ve mutlaka diğer kaynaklarla beraber kullanılmalıdır. Tipik kullanımları deniz fenerleri ve telekomünikasyon uygulamalarıdır. Rüzgar türbinleri bir yerleşim yerinin elektrik yükünü karşılayabilir. Burada, türbin elektrik yükünün yakınındadır ve yük ayrıca şebeke ile bağlantılıdır. Bu türbinler 10-100 kW arasında güce sahip türbinlerdir. Ayrıca, merkezî yerde çok sayıda tesis edilmiş türbinlerle rüzgar tarlaları da oluşturulabilir. Burada da asıl amaç şebekeye enerji temin etmektir. Bu türbinlerin güçleri 50- 500 kW' tır (Taşgetiren, 1998).

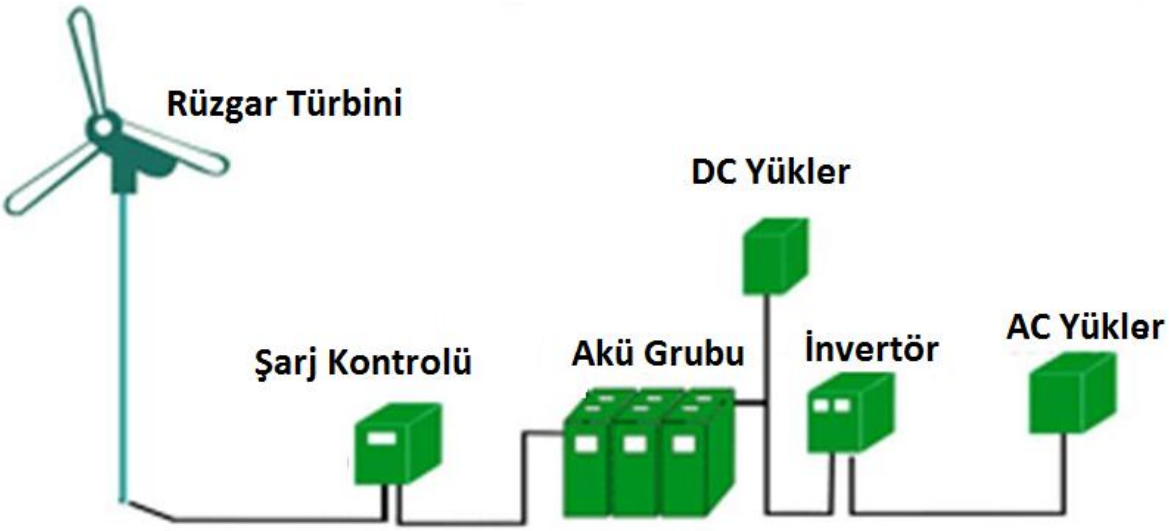
1.5.4.1. Şebeke Bağlantılı Rüzgar Türbinleri

Rüzgar enerjisi çok kesintili bir enerji kaynağıdır. Bugün kullanılan modern rüzgar türbinlerinde olduğu gibi rüzgar enerjisi, elektrik enerjisine çevrilerek şebekeye verilmeden önce çeşitli kademelerden geçmektedir. Şebeke bağlantılı rüzgar türbinleri yüksek rüzgar hızlarında, yüksek devir sağlamak için genelde 3 kanatlı yapılmaktadır. Su pompalamak için kurulan rüzgar türbinleri ise, çok kanatlı olduğu için düşük devir sağlamaktadır. Şebeke bağlantılı rüzgar santralleri küçük ölçekli ihtiyaçları karşılayabileceği gibi, belirli bir yerde çok sayıda şebekeye elektrik sağlamak amacıyla da kurulurlar. Günümüzün büyük güçlü rüzgar santralleri elektrik şebekesine bağlı ve birden fazla türbin içeren rüzgar çiftlikleri biçimindedir. Merkezi elektrik şebekesine elektrik veren rüzgar türbinleri, uygulamada en çok rastlanan sistemlerdir. Birbirine bağlanmış çok sayıda rüzgar türbini yerel dağıtım şebekesini besler ve yerel tüketici firmalara da bu elektrik satılabilir. Bunun dışında rüzgar türbinleri genel elektrik şebekesine bağlı olan meskenlere, işyerlerine ve çiftliklere elektrik vermek üzere tesis edilirler. Rüzgar gücünün düşük olduğu zamanlarda elektrik genel şebekeden satın alınır. Rüzgar türbinleri fazla güç ürettiğinde ise elektrik genel şebekeye verilir.

1.5.4.2. Şebeke Bağlantısız Rüzgar Türbinleri

Bu tür rüzgar jeneratörleri genellikle üç kanatlı, transmisyon sistemi, DC jeneratör, yöneltici kuyruk ve fren sisteminden oluşmaktadır. Makine daha çok direk tipi kule üzerine yerleştirilir. Elde edilen DC elektrik akü ile depolanabilir. Şebekeden bağımsız rüzgar elektrik

sistemleri birkaç kW ile 100 kW arasında kullanılmakla birlikte, çoğunlukla 30 kW kurulu gücü aşmamaktadır.



Şekil 37. Şebekeden Bağımsız Rüzgar Türbinlerinin Şematik Gösterimi

Bu tür sistemler özellikle kırsal alanlarda ve enterkonnekte şebekeye uzak olan bölgelerde tercih sebebidir. Türbinden elde edilen elektrik çeşitli ünitelerden geçerek kullanıma sunulmaktadır. Rüzgarın esmediği durumlarda ise yani türbin tarafından elektrik üretimi olmadığında; akü içerisinde depolanmış olan elektrik kullanıma sunulur. Türkiye'de özellikle 10 kW'dan küçük güçlerde rüzgar ve güneş enerjisinin beraber kullanıldığı elektrik sistemlerine bir talep olduğu ve bu tür sistemlerin piyasaya çıkarıldığı da görülmektedir. Bu sistemler DC karakterli ve akülüdürler. Ancak, pahalı olmaları yaygınlaşmalarını engellemektedir (Irabu ve Nath, 2006).

1.5.5. Güç Kontrol Sistemine Göre Rüzgar Türbinleri

Rüzgar türbinleri, nominal gücü vermek üzere tasarlandıkları hızların (nominal hız) üzerinde, türbinin zarar görmesini önlemek amacıyla kontrol sistemlerine sahiptirler. Bu sistemler, türbin nominal hızı astıktan sonra kanatların aerodinamik performansını düşürerek jeneratörde oluşabilecek aşırı yüklemeyi önlerler. Bu amaçla kullanılabilecek 5 temel tasarımdan söz edilebilir. Bunlar kullanım yaygınlıklarına göre:

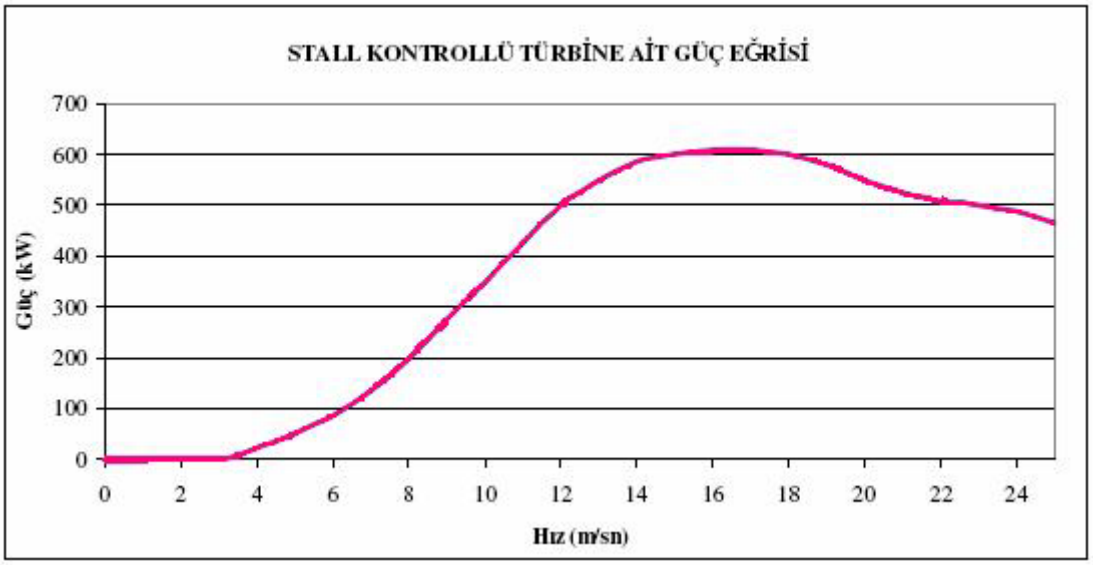
- Pasif Stall Kontrolü
- Aktif Pitch Kontrolü
- Aktif Stall Kontrolü
- Sapma Kontrolü

- Pasif Pitch Kontrolü

Yaygın kullanılan tipleri şu şekildedir;

1.5.5.1. Stall Kontrollü Türbinler

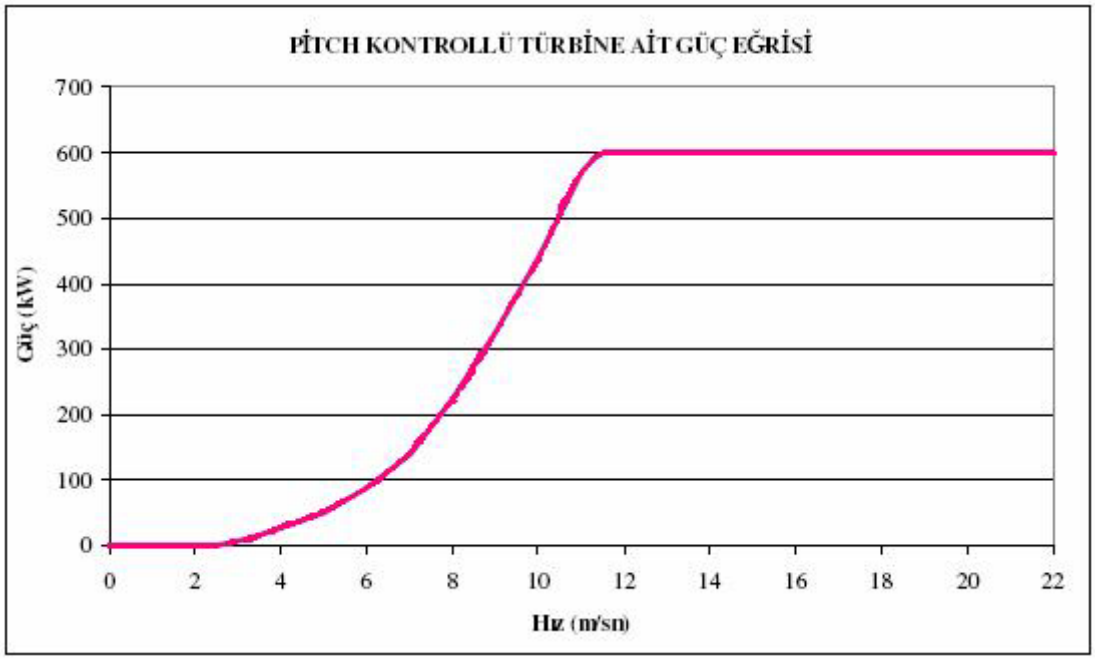
Stall kontrollü sistemler nominal hızın üzerindeki hızlarda, pitch kontrollü türbinler gibi sabit bir güç seviyesini koruyamamaktadırlar, bu sebeple nominal hız üzerinde enerji üretimi pitch kontrollü türbinlerden düşüktür. Stall kontrollü türbinlerin temel avantajı, rotorda hareketli parçalara sahip olmamaları ve karmaşık bir kontrol sistemine ihtiyaç duymamalarıdır. Bu türbinler sadece türbinlerin çalıştırılması ve durdurulması için kontrole ihtiyaç duyarlar. 600 kW'lık Bonus Mk IV Türbinine ait veriler kullanılarak oluşturulmuş, stall kontrollü bir türbine ait güç eğrisi Şekil 38'de görülmektedir (Emniyetli, 2007).



Şekil 38. 600 kW Stall kontrollü türbine ait güç eğrisi (Bonus, 2004).

1.5.5.2. Pitch Kontrollü Türbinler

Pitch kontrollü türbinlerde kanatlar, stall kontrollü olanların aksine göbeğe sabit bir açı ile sabitlenmiş değildirler. Kanat, pitch kontrol mekanizması sayesinde rüzgar hızına göre ekseni etrafında döndürülebilmektedir. Bu türbinler, nominal hız üzerinde sabit güç üretimi sayesinde daha kaliteli bir güç çıkışı sağlamaktadırlar. Ancak stall etkisine göre tasarlanmadıkları için ani rüzgarlara karsı hassastırlar. Şekil 39'da pitch kontrollü 600 kW'lık bir türbin olan DeWind D-4'e ait verilerle oluşturulmuş güç eğrisi görülmektedir (Emniyetli 2007). Bu sistemler genelde 600 kW üstü türbinlerde kullanılmaktadır. Pitch kontrollü türbinlerden elde edilecek performans artışı temel olarak kullanılan pitch mekanizmalarının hızına ve hassasiyetine bağlıdır (Karadağ, 2009).



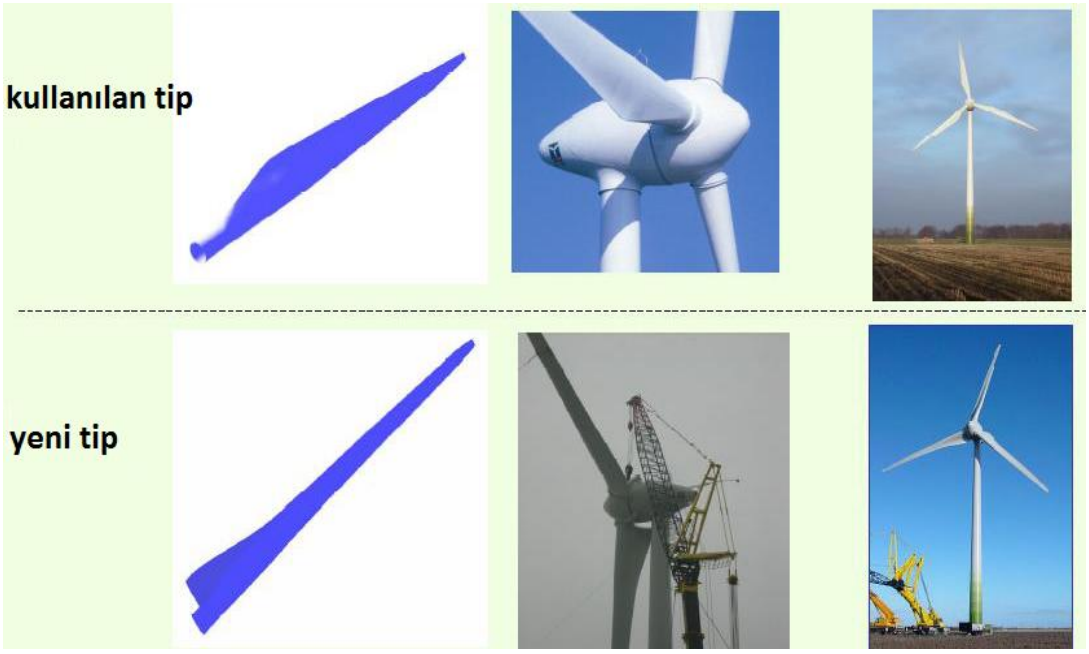
Şekil 39. 600 kW Pitch kontrollü türbine ait güç eğrisi (Dewind, 2004).

1.6. Rüzgar Türbini Sistemlerinde Son Teknolojiler ve Örnek Patent ve Uygulamalar

Rüzgar enerjisi sistemlerinde teknolojik gelişmeler verimi, kapasitesini artırmak ve maliyeti düşürmek üzerinde yoğunlaşmıştır. Dikey eksenli rüzgar sistemleri alanlarında da yenilikler olsa da ticari ve uygulanabilir çalışmalar genelde üç kanatlı, yatay eksenli türbinler üzerinde yoğunlaştırılmıştır. Örneğin rüzgar türbini kanat teknolojileri hakkında (wind turbine blade anahtar kelimesi ile) uluslararası bir patent araştırma sitesi olan www.wipo.int veri tabanı kullanarak arama yapıldığında 7.000 civarında patent bulunmaktadır. Bunların pek çoğu sektör lideri firmaların ürettikleri teknolojileri koruma adına aldıkları patentlerdir. Örneğin Vestas firmasının sadece kanat alanında toplam aldığı patent sayısı 414'tür. Rüzgar türbin kanatlarında aerodinamik tasarımla ilgili yapılan çalışmalarda değişik profiller kullanılmaktadır. Bunun dışındaki teknolojik eğilimler şu şekildedir.

- Büyük güç üretim kapasiteli rüzgar türbinleri ile birlikte daha uzun (40-70 m.) rüzgar türbin kanatlarına yönelik geliştirme çalışmaları hız kazanmıştır.
- Ar-Ge faaliyetleri rüzgar türbin kanatlarının dayanım/ağırlık parametresini ve dolayısıyla malzeme tasarımını geliştirmeye odaklanmıştır.
- Rüzgar türbin kanat teknolojisinde malzeme tasarımıyla ilgili yapılan çalışmalar vardır.

- Hibrit kompozit malzemelerin geliştirilmesi (Karbon+ cam elyafı, metalik+polimerik kompozitler)
- Nanokompozit yapılarla ilgili çalışmalar
- Termoplastik yapılarda dayanım/ağırlık ve dayanım/maliyet parametrelerinin optimize edilmesi



Şekil 40. Kanat Teknolojisindeki Yenilikler

Rüzgar türbinlerinin boyutunda sürekli olarak bir artış olduğu görülmektedir. 1980 yılında 15 metre olan rotor çapı, günümüzde 126 metreye ulaşmış durumdadır. Dünyada mevcut en büyük rüzgar türbini Enercon E-126'nın 126 metre bir rotor çapı vardır (Şekil 41). Kurulu gücü 6 MW olan türbin yeterli rüzgar hızında yılda 20 milyon kWh elektrik üretebilecek kapasitededir. Bu da Türkiye'nin ortalama kişi başı elektrik tüketimi dikkate alındığında 8000 den fazla insanın elektrik tüketimini karşılayacağı anlamına gelmektedir. İlerleyen yıllarda özellikle deniz üstü (off-shore) sistemler için daha büyük kapasiteli rüzgar türbinleri üzerinde çalışılmaktadır. Gelecekte yeni tasarımlar ile ekonomik ve mühendislik açısından 10-20 MW'lık rüzgar türbinleri üretmek için kavramsal çalışmalar yapılmaktadır. Birim alandan üretilen güç miktarını artırmak için büyük güç üretim kapasiteli (2 MW ve üzeri) rüzgar türbinleri tercih edilmektedir (Şenkal, 2010).

Şekil 41. 2011 itibari ile Dünyanın En büyük Rüzgar Türbini Emden, Almanya

1.6.1. Türkiye'den Örnekler

Türk Patent Enstitüsü tarafından rüzgar enerjisi sistemleri alanında tescillenen 300 civarında patent bulunmaktadır. Bunlar genelde kanat, kule ve montaj üzerine yoğunlaşılmıştır (http://www.tpe.gov.tr/portal/default.jsp).

Örneğin tescil numarası 2009 02066 olan "Cam elyaf takviyeli polyester (CTP) ile güçlendirilmiş strafor malzemeden mamul bir direk" isimli patentte rüzgar türbini sistemlerinde kullanılabilecek direklerle ilgili, üzerinde oluşturulan yalıtkan ve hafif bir malzemeden strafor katman, direğin mukavemetini artıran, strafor katman üzerinde oluşturulan CTP katman içermesiyle karakterize edilmesidir.

Farklı bir tasarıma sahip olan WAW türbinlerinin patent hakkı GSR Enerji şirketinde bulunmaktadır. Yerli imkanlarla geliştirilen türbin yüksek verime ve düşük maliyete sahip olduğu ifade edilmektedir (Şekil 42).

Şekil 42. WAW Rüzgar Türbini

Bir diğer tasarım bir Türk mühendisin geliştirdiği ve patentini aldığı Yücel Profili adını verdiği kanat profilidir (Şekil 43). Mucit verimin teorik olarak aşılamayacak bir limit olan Betz limitini aştığını iddia etmektedir. Bu tür buluşlar standart test koşullarında da test edilmeli ve iddiaları değerlendirilmelidir.

Şekil 43. Yücel Kanat Profilli Rüzgar Türbini

Son teknolojilerin izlenmesinde patent sistemleri oldukça önemlidir. Mevcut patentlerin izlenmesi özellikle firmaların yeni fikirler ve inovatif ürünler geliştirmesinde, ürün çeşitliliği sağlanmasında ilham verici özelliğe sahiptir. Patentlerin sistematik olarak izlenmesi teknolojik gelişim sonucunu doğurur. Rüzgar enerjisi alanına yatırım yapacak firmaların da, rakiplerini ve piyasayı yakından tanıma adına değerlendirmesi gereken bir alandır. Bir

sorunun çözümünde işe yarayan ve yeni çözümler getiren bir buluşu içermesi koşuluyla patentlerden teknoloji geliştiren devletler, kurumlar, bireyler, kısacası herkes faydalanabilmektedir.

1.7. Rüzgar Ölçümleri ve Standartlar

Henüz taslak aşamasında olan ve EPDK tarafından ilan edilen tebliğe göre rüzgar ölçümü ile ilgili mevzuat şöyledir; EPDK'dan 10/05/2005 tarih ve 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunun 6/C ve 4/8/2002 tarihli ve 24836 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliğinin 8 inci maddesi hükümlerine dayanılarak hazırlanan "Rüzgar Ve Güneş Enerjisine Dayalı Lisans Başvurularına İlişkin Ölçüm Standardı Tebliği"'ne göre;

Rüzgar ölçümlerine ilişkin yükümlülük

MADDE 4 - Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi kurmak üzere lisans başvurusunda bulunan tüzel kişiler, tesisin kurulacağı saha üzerinde, bu Tebliğ kapsamında düzenlenen şartlara uygun olarak elde edilmiş en az bir yıl süreli ölçüm yapılması zorunludur. Sağlıklı bir ölçüm yapılabilmesi için ölçüm direğinde aşağıdaki meteorolojik değişkenlerin ölçülmesi gerekmektedir.

Rüzgar ölçümlerinin sahayı temsil etmesi

MADDE 5 - Ölçüm verileri, rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisinin kurulacağı sahanın özelliğine göre, lisans başvuru sahasının tamamını temsil edecek nitelikte olmalı ve ölçüm istasyonunun yeri, başvuru sahibi tüzel kişi tarafından lisans başvurusuna esas proje sahası içerisinde yer almalıdır.

Rüzgar ölçüm istasyonu yapısı

MADDE 6 - Ölçüm istasyonu; sıcaklık sensörü, rüzgar hızı sensörü, rüzgar yönü sensörü ile ölçüm kayıt cihazından oluşur. Rüzgar ölçüm direğinin yüksekliği minimum 50 metre olmalıdır.

(2) Ölçüm direği üzerindeki sensörler, direk tarafından oluşturulacak türbülanstan ve direğin fizikî konumundan etkilenmeyecek şekilde yerleştirilir.

Rüzgar ölçüm cihazlarının temel özellikleri

MADDE 8 – Ölçüm cihazlarından; a) Rüzgar hızı sensörünün;

1) Ölçüm yapma aralığı, 0-50 metre/saniye,

2) Algılama hızı 1 metre/saniye'den küçük veya eşit,

3) Uzaklık sabiti 4 metreden az,

4) Ölçüm hatası yüzde 3 veya daha az,

b) Rüzgar yönü sensörünün;

1) Ölçüm yapma aralığı 0-360 derece ve ölü bölge 8 dereceden küçük,

2) Algılama hızı 1 m/s'den küçük veya eşit,

3) Ölçüm hatası 5 derece veya daha az,

c) Sıcaklık sensörünün;

1) Ölçüm yapma aralığı eksi 40 ile artı 60 derece santigrat,

2) Ölçüm hatası 1 derece santigrat veya daha az, olması gerekir.

(2) Bütün cihazlar, eksi 40 ila artı 60 derece santigrat sıcaklıklarda ve bağıl nem oranı yüzde yüz olan ortamlarda çalışabilme özelliğine sahip olmalıdır.

Şekil 44. Kafes ve Boru Tipi Rüzgar Ölçüm Direği

Rüzgar ölçüm süresi

MADDE 9 - (1) Rüzgar ölçüm istasyonunda, en az bir yıllık ölçüm yapılması zorunludur.

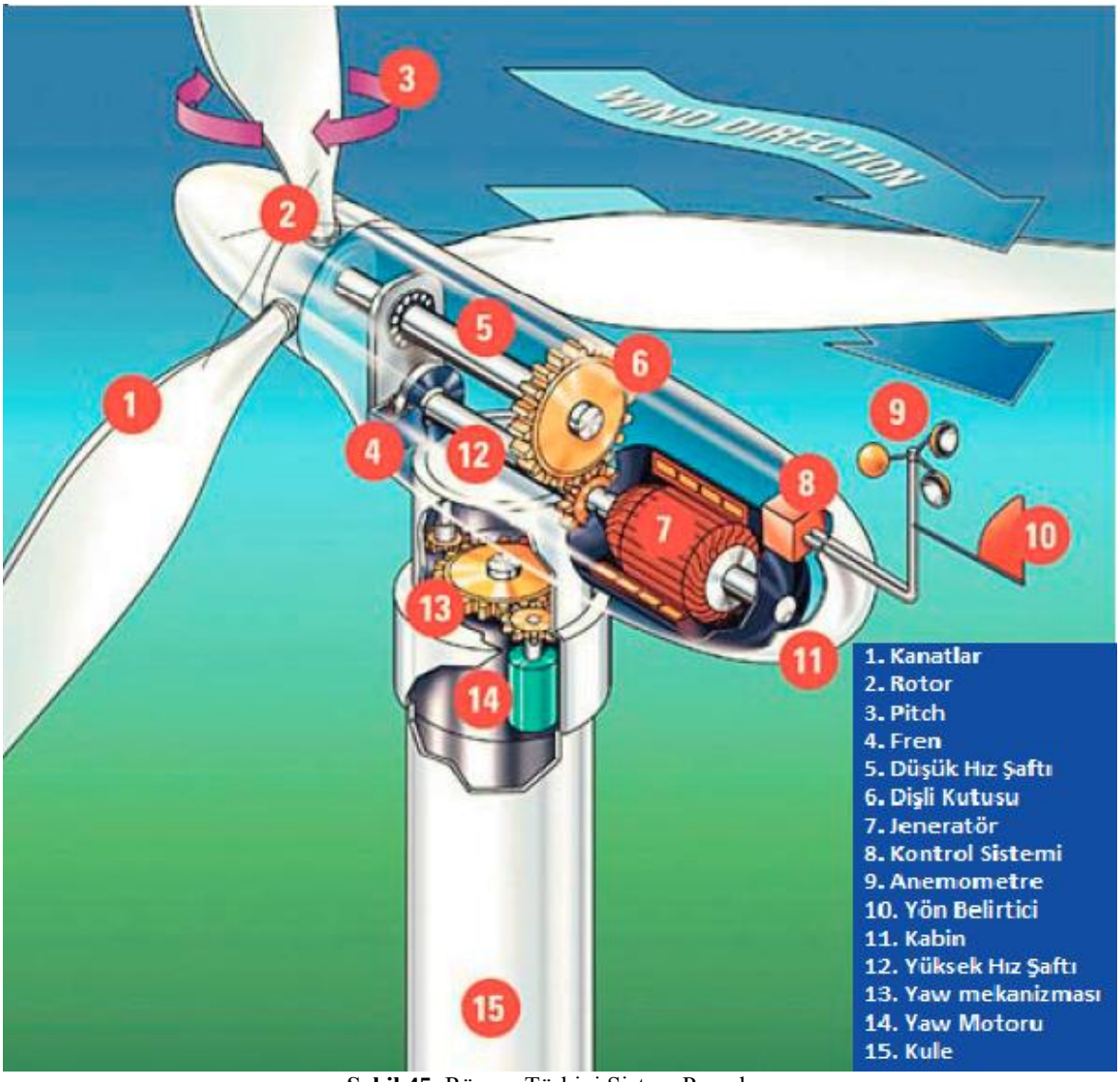
(2) Bir yıllık ölçüm süresi içerisinde, işletme ve/veya bakım veya sair nedenlerle veri kaybı yüzde 10'dan daha fazla olamaz.

Rüzgar ölçüm verilerinin kayıt yapısı

MADDE 10- (1) Beş saniye veya daha kısa sürelerde ölçülen değerlerin ortalamaları ve hesaplanan değerler 10 dakikalık aralıklarla kayıt edilir ifadeleri yer almaktadır. Dolayısıyla lisans başvurusu yapabilmek için bu standartlara uygun ölçüm cihazları ve direği seçilmelidir. Rüzgar ölçümlerinde kullanılan en önemli sensörler olan anemometre ve yön sensörünün seçiminde dikkat edilmesi gereken en önemli nokta anemometreler ve meteorolojik sensörlerin muhakkak kalibrasyon sertifikası bulunmasıdır.

1.8. Rüzgar türbinlerinin temel elemanları

Türbinler, tasarım ve yapısına göre farklı elemanlardan oluşabilir. Ancak, her türbinde özellikleri farklı da olsa aynı fonksiyonu icra eden benzer bileşenler vardır. Bir türbinin sistem parçaları Şekil 45'de görülmektedir. Genel olarak kule, kanatlar ve kabin içi ekipmanlar olarak 3 ana parça altında da incelenebilir (Yerbakan, 2001; Demir, 2007).

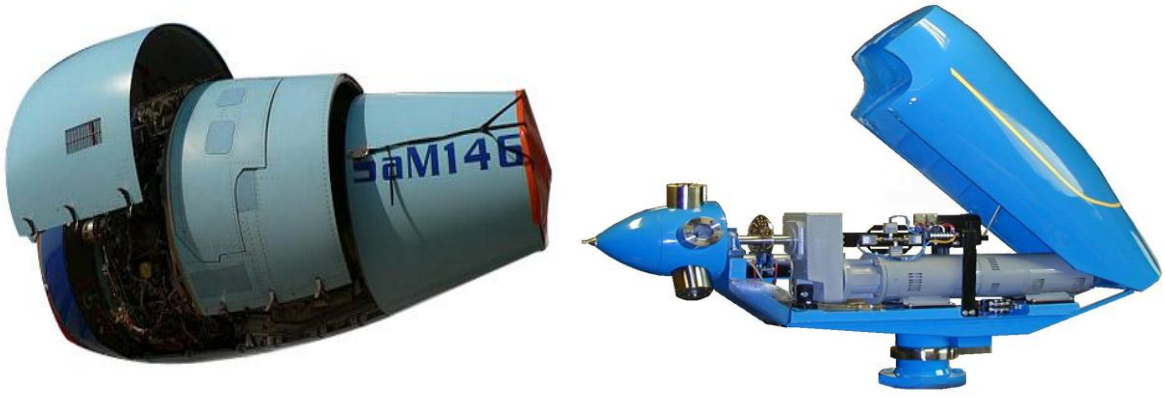


Şekil 45. Rüzgar Türbini Sistem Parçaları

Çalışmasının bu kısmında rüzgar türbinleri ana parçaları listelenmiş ve detaylı şekilde açıklanmıştır. İlk kısımda 50 kW üzeri orta ve büyük rüzgar türbinlerine ait parçalar incelenmiştir. Küçük tip rüzgar türbinlerine ait parçalara ve özelliklerine hem ilk hem de son kısımda ayrıca değinilmiştir.

1.8.1. Nasel (Kabin)

Nasel kanat hariç tüm mekanik aksamları içerisinde barındıran bir tür kabindir. Çelik paslanmaz saçtan imal edilir. Kapasitesine göre bir teknisyenin içinde tamirat yapabileceği kadar serbest alana sahiptir. Taşıdığı aksamların ağırlığını taşımak ve dengeli dağıtmak için bir iç çerçeveye ihtiyaç duyar. Güç aksamları mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmek için bir jeneratör, kulenin üzerinde türbini rüzgara doğru döndürmek için bir dönen yatak (yaw sürücü), işlem kontrolü ve izlenmesi için elektronik sistemler barındırır.

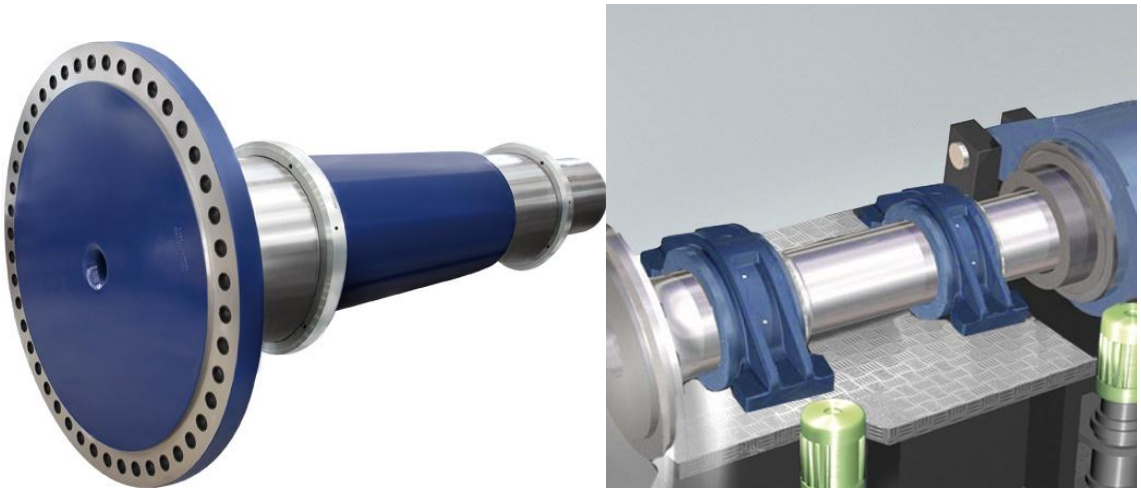


Şekil 46. Büyük ve Küçük Kapasiteli Türbinler için Nasel

1.8.2. Düşük Hız ve Yüksek Hız Şaftı

Türbin kanatlarından gelen dönel hareket bağlantılarla önce dişli kutusuna sonra da jeneratöre aktarılır. Bu aktarma vazifesini düşük hız ve yüksek hız şaftları yapar. Düşük hız şaftı kanatların bağlandığı mil olup dakikada 30–60 devirle dönmektedir.

Yüksek hız şaftı ise, jeneratörü süren ve dişli kutusu ile jeneratör arasında bulunan şafttır. Yüksek hız şaftı çap olarak daha küçük, çalışma devri olarak daha yüksektir. Benzer teknoloji ile üretilirler.

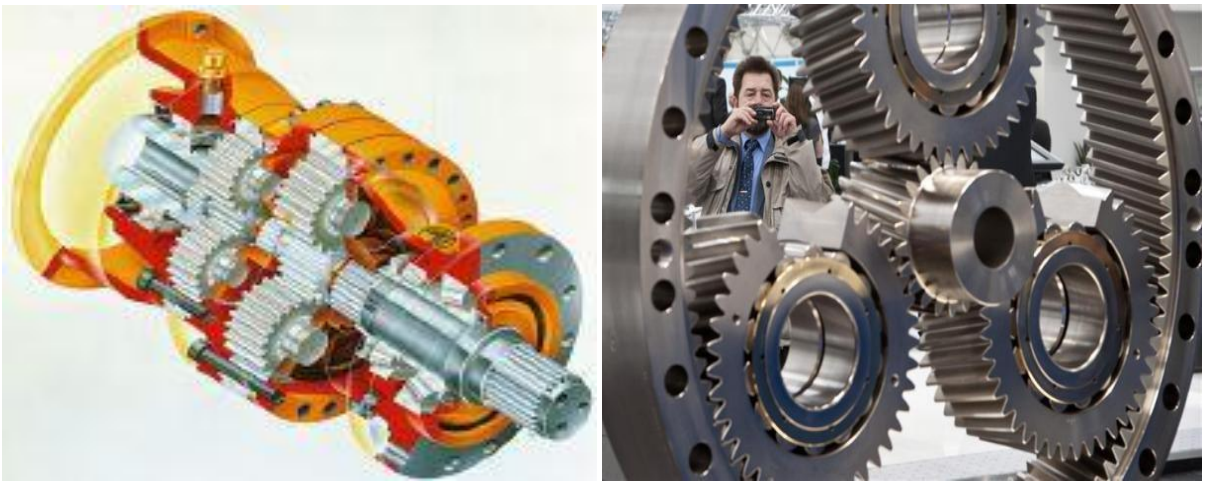


Şekil 47. Düşük Hız ve Yüksek Hız Şaftı

1.8.3. Dişli Kutusu

Dişli kutuları, düşük ve yüksek hız şaftlarının yataklandığı mekanizmalardır. Jeneratörlerin elektrik üretebilmeleri için, 1.200–1.550 devir/dk bir döndürme yükü almaları gerekmektedir. Bazı modellerde ise dişli kutusu yerine kayışlı veya zincirli kasnak sistemleri de kullanılır.

Dişli kutuları, rotorun bağlandığı düşük dönüşlü şafttan gelen 20–60 devir/dk'lık dönme yükünü, yüksek hız şaftına 1200–3000 devir/dk bir hıza yükselten mekanizmalardır. Yani dişli kutusu kanattan gelen düşük dönüş hızında ama yüksek torku, düşük torkta yüksek devre dönüştürmesi işlemidir. Bu dönüş hızı jeneratölerin elektrik üretebilmesi için gerekli optimum devre göre ayarlanabilir. Rüzgar türbini dişli kutusu sabit dişli oranına sahiptir. Planet, helisel ve sonsuz dişli kutusu olmak üzere üç çeşidi vardır.

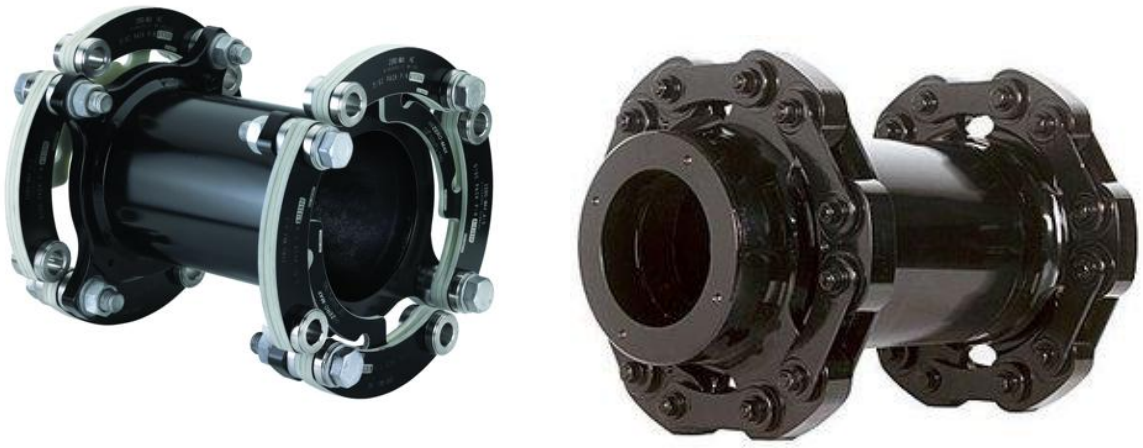


Şekil 48. Planet dişli kutusu

Rüzgar türbini sistemlerinde genellikle planet dişli kutusu kullanılır. Planet sistemler esnek tasarım kabiliyeti ve yüksek çalışma verimine sahiptir. Kompakt bir sistemdir ve türbinlerde ağırlığın önemli bir kısmını oluşturan dişli kutusunun ağırlığını bir miktar azaltılmasını sağlar. Ayrıca kabinde az yer kaplarlar.

1.8.4. Kaplin

Kaplin bir güç kaynağında üretilen dönme hareketini ve dolayısıyla momenti bir başka sisteme (makine, pompa, redüktör, konveyor vb) aktarma elemanıdır Rüzgar türbinlerinde kaplin dişli kutusu ile jeneratör arasındaki bağlantıyı sağlar. Esnek kauçuk malzemeler de kaplin olarak kullanılabilir. Bu da ilk hareket esnasında dişli kutusu ve jeneratör arasında uyumu sağlar. Esnek kauçuk benzeri malzemelerin kullanılması olası hasarların önüne geçer (Repp, 2004).

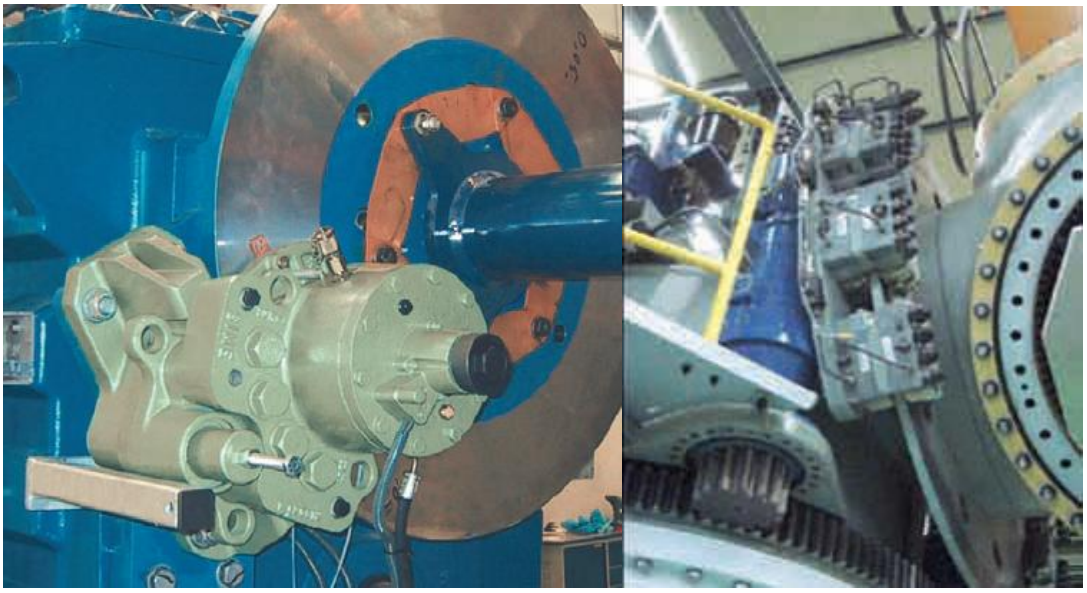


Şekil 49. Kaplin

1.8.5. Mekanik Fren

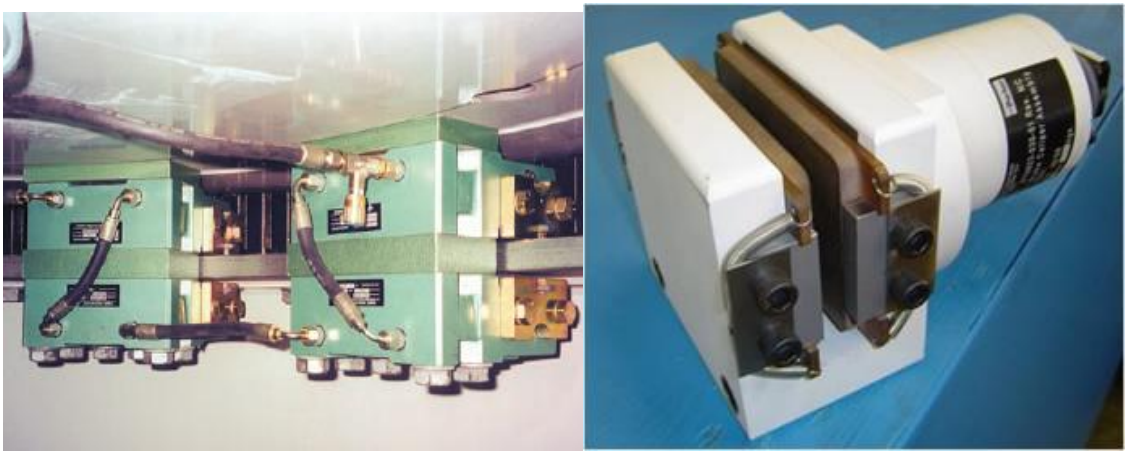
Aşırı rüzgar hızları bazen türbinler için çok tehlikeli olabilir. Kanatların yüksek devirlere çıkması hem kanatlara hem de iç aksamlara zarar verebilir. Bunun için türbinlerde 2 adet çalışma durumunda devreye giren (fail-safe) güvenlik sistemi bulunmaktadır. Çelikten yapılan disk fren, dişli kutusu ile jeneratör arasında bulunan yüksek hız mili üzerine yerleştirilen disk tipi frendir. Bazı türbinlerde frenler düşük hız şaftına da bağlanabilir. Bu disk fren iki adet fail-safe hidrolik fren kaliperleri yoluyla sağlanır. Bazı türbin tiplerinde ise kanat frenleri de mevcuttur. Normal çalışma sırasında kanat ucu frenleri, hidrolik bir silindir tarafından pozisyonda tutulur. Dönen yatak (yaw sistemi) üzerinde ise hidrolik disk fren

bakım ve olası arıza durumlarında naseli sabit tutar. Bu fren sistemleri birbirinden bağımsız olarak çalışırlar.



Şekil 50. 1,65MW gücündeki türbine ait yüksek hız şaft freni ve Düşük hız şaft freni.

Mekanik frenler fren diski, fren kumpası, fren blokları, yay yüklü uyarıcı ve hidrolik kontrolden oluşan sürtünmeli düzeneklerdir. Fren diski dişli kutusundan gelen yüksek hız miline bağlıdır. Normal çalışma koşulları altında, fren diski ve blokları hidrolik basınçla birbirlerinden ayrı tutulurlar. Sistem emniyet sebepleri nedeniyle durdurulacaksa bu basınç serbest bırakılır ve fren yayı diske karşı bloğa baskı uygular.



Şekil 51. 750 kW türbin için yaw freni

Yüksek kapasiteli sabit hızlı rüzgar türbinlerinde elektro-dinamik fren sistemlerini kullanma imkanları da araştırılmaktadır. Terminallerine kapasitör ve dirençlerin bağlı olduğu

döner endüksiyon makineli bu frenler kendinden uyarım prensibine göre çalışırlar. Bu fren sistemleri geleceğin teknolojisi olarak gösterilmektedir. hidrolik frene göre karşılaştırıldığında maliyeti düşük, güvenli ve düşük bakım maliyetine sahiptirler (Bonus 2004, www.ayetek.com).

1.8.6. Jeneratör

Rüzgar türbini jeneratörleri mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirirler. Rüzgar enerjisi tesislerinde kullanılan jeneratörler, alternatif akım veya doğru akım jeneratörleri olabilir. Burada elde edilen elektrik akımı, yetersiz kalitede alternatif akım veya doğru akım bile olsa, çeşitli güç elektroniği düzenekleriyle şebekeye uygun hale getirilebilir. Doğru akım jeneratörleri, günümüzde sadece küçük güçlü rüzgar enerji tesislerinde akülere enerji depolamak için kullanılır. Bunun nedeni, sık bakım gereksinimleri ve alternatif akım jeneratörlerine göre daha pahalı olmalarıdır.

Şekil 52. Rüzgar türbini jeneratörleri

Büyük türbin jeneratörleri (100 kW üzeri) fazlar arası değeri 690 V olan 3 fazlı gerilim üretirler. Üretilen bu gerilim, transformatör aracılığıyla 10 kV ile 30 kV arasındaki bir değere yükseltilir. Yükseltilen bu gerilim, dağıtım şebekesine veya enterkonnekte şebekeye verilir. Küçük güçlü jeneratörlerle güç elde etmek için küçük boyutlu kanatlar kullanılır. Eğer büyük kanat kullanılırsa kuvvetli esen rüzgarlarda sadece jeneratörün kapasitesi kadar güç üretilecektir ve rüzgarın çoğu boşa harcanacaktır. Diğer taraftan, büyük güçlü jeneratörler, kuvvetli rüzgar hızlarında çok verimli olacak, ancak düşük rüzgar hızlarında dönmeleri zor olacak veya dönemeyeceklerdir. Bu durumda, imalatçılar, pervane boyutunun ideal kombinasyonuna karar vermek için farklı rüzgar hızlarında, rüzgar hızlarının dağılımına ve rüzgarın enerji içeriğine bakarlar. Farklı rüzgar türbinine göre de jeneratör boyutu belirlenir.

Jeneratörler her zaman çok bölmeli statorlara sahip olarak üretilirler. Stator ile rotor arasındaki hava aralığının minimum olacak şekilde düzenlenmesi gerekir. Jeneratörlerin aşırı ısınmasını önlemek için, stator ve rotor, tek parça olarak değil de bir tarafı yalıtılmış ince sacların preslenerek birbirine yapıştırılmasıyla elde edilir.

Bazı üreticiler, hem düşük ve hem de yüksek rüzgar hızlarında çalışan jeneratörler üretirler. Bunun için makinenin imalatı, farklı sayıda kutup olacak şekilde yapılır. Bir anahtar yardımıyla değişen kutup sayısı, jeneratörün hızını da değiştirir. Böyle jeneratörler değişik hızlarda çalışarak değişik güçler üretebilirler. Bu nedenle, düşük rüzgar hızına sahip bölgelerde kullanılmak üzere fazla kutup sayısına sahip olan jeneratörler üretmeye gayret edilmiş ve bu sayede üretilen elektrik enerjisinin daha ucuza mal olduğu görülmüştür. Bu yapının üstünlüklerinden biri de alçak rüzgar hızlarında rotor hızının azaltılmasıdır. Bu sayede rüzgarın değişik hızlarından en iyi şekilde yararlanılır.

Bir jeneratör, üç fazlı şebekeye bağlanacaksa çıkış frekansının şebeke frekansıyla aynı olması gerekir. Eğer statordaki mıknatısların sayısı iki katına çıkarılırsa, manyetik alandan dolayı makinenin yarı hızda dönmesi sağlanmış olur. Kutup sayılarını değiştirerek hız da değiştirilebilir. Rüzgar türbinlerinde kullanılan jeneratörlerin çoğu 4 veya 6 kutupludur. Bu yüzden, yüksek hızlı jeneratörler diğerlerine nazaran daha küçüktür ve maliyet açısından da daha ucuzdur. Jeneratörü maksimum momentle çalıştırmak, rotorun büyüklüğüne bağlıdır. İhtiyaç duyulan güç çıkışına göre jeneratörler arasında düşük hızlı, pahalı veya yüksek hızlı, ucuz olarak seçim yapılabilir. Türbinin ürettiği mekanik enerjiyi minimum kayıpla elektrik enerjisine dönüştürmek için farklı hız ve çıkış kombinasyonları kullanılmaktadır. Temel olarak bir rüzgar türbininde asenkron, senkron ve doğru akım jeneratörlerinden biri kullanılabilir (Dursun ve Binark, 2008).

1.8.6.1 Doğru Akım Jeneratörleri

Doğru akım jeneratörleri, düşük güvenilirlik ve bakım gerektirmesi gibi dezavantajlarına rağmen, hız kontrollerinin kolay olması nedeniyle rüzgar türbinlerinde kullanılmaktadırlar. Jeneratörleri küçük kapasiteli rüzgar türbinlerinde, özellikle elektriğin şebekeden bağımsız olarak kullanıldığı yerlerde tercih edilmektedirler. Son yıllarda mekaniksel komütatörlü da jeneratörleri, komütatörü elimine etmek için daimi mıknatıslı olarak tasarlanmaya başlanmıştır. Bu tertibatta üretilen alternatif akım yarı iletken doğrultucular yardımıyla doğru akıma dönüştürülür. (Mergen ve Zorlu, 2005).

1.8.6.2. Senkron Jeneratör

Senkron jeneratör, harici bir yükü besleyen üç fazlı sargıların oluşturduğu bir stator ve manyetik alanı oluşturan bir rotordan meydana gelir. Rotorun oluşturduğu manyetik alan ya daimi mıknatıslardan ya da sargılardan akan doğru akımdan üretilir. Senkron jeneratörler sabit hızlı sistemler için daha uygundur. Bu nedenle, sabit hıza bağlı olarak sabit frekansta çalışırlar. Rüzgar türbinlerinde, genellikle rotoru sargılı (alan sargılı) ve daimi mıknatıslı olmak üzere iki tip senkron jeneratör kullanılmaktadır.

1.8.6.3 Asenkron Jeneratör

Rüzgar türbinleri içerisinde çok yaygın olarak kullanılan bir jeneratör tipidir. Sağlamlık, mekanik olarak basitlik, büyük tiplerde üretilebilmesi, fiyatının düşüklüğü gibi avantajları vardır. En büyük dezavantajı, statorun, reaktif mıknatıslanma akımına olan ihtiyacıdır. (Mergen ve Zorlu, 2006).

Bir asenkron makina, jeneratör olarak çalışmada makinanın güç kaynağı rotordan alınan mekanik güçtür. Asenkron jeneratörün statoru üç faz grubundan müteşekkil birçok sarıma yataklık yapar. Bu üç grup sargı fiziksel olarak stator etrafına yayılmıştır. Bu sargılar üzerindeki akım akışından dolayı rotor etrafında, çevresinde dönen bir manyetik alan oluşur. Rotor akımı ile stator akısı arasındaki etkileşim bir momente neden olur. Eğer rotoru bir rüzgar türbinine bağlanırsa ve senkron hızdan daha yüksek bir hızda döndürülürse, rotorda indüklenen akım ve momentin yönü motor çalışma durumuna göre ters yönde olur. Bu durumda makina jeneratör olarak çalışır. Türbinin mekanik gücünü elektrik gücüne çevirir ve stator uçlarına bağlı yükü besler. Eğer makina şebekeye paralel olarak çalışıyor ise şebekeye güç temin edecektir. Yani makinanın jeneratör olarak çalışabilmesi için senkron hızdan daha yüksek bir hızda döndürülmesi gerekir. Asenkron makinelerde stator ile rotor arasında elektriksel bir bağlantı olmayıp, tamamen elektromanyetik endüksiyon prensibine göre çalışır. Asenkron jeneratörler rotor yapılarındaki farklılığa göre sincap kafesli asenkron jeneratör ve rotoru bilezikli (sargılı) asenkron jeneratör olmak üzere ikiye ayrılırlar (Patel, 1999).

Türkiye'de mevcut rüzgar türbinlerinde kullanılan jeneratörleri incelendiğinde iki çift beslemeli asenkron jeneratör (doubly fed asynchronous jeneratör), ve herhangi dişli sistemine ihtiyaç duymayan sürekli mıknatıslı senkron jeneratörlerin (direct drive synchronous generator) kullanıldığı görülür (Çizelge 10).

Çizelge 10. Türkiye'de kurulu rüzgar enerji santralleri ve kullanılan jeneratör tipleri (TUREB, 2009)

Rüzgar Santrali Kurulu Bölge	Santral Kurulu Gücü (MW)	Türbinin Üretici Firması ve Modeli	Rüzgar Türbininde Kullanılan Generator Tipi	Türbin Adet ve Kapasitesi
İzmir-Çeşme	1,5	Enercon E40	Direct Drive Senkron Generator	3 adet 500 Kw
İzmir-Çeşme	7,2	Vestas V44	Çift Beslemeli Asenkron Generator	12 adet 600 kW
Çanakkale-Bozcaada	10,2	Enercon E40	Direct Drive Senkron Generator	17 adet 600 kW
İstanbul-Hadımköy	1,2	Enercon E40	Direct Drive Senkron Generator	2 adet 600 kW
Balıkesir-Bandırma	30	GE	Çift Beslemeli Asenkron Generator	20 adet 1500 kW
İstanbul-Silivri	0,85	Vestas V52	Çift Beslemeli Asenkron Generator	1 adet 850 kW
İzmir-Çeşme	39,2	Enercon E48	Direct Drive Senkron Generator	49 adet 800 kW
Manisa-Akhisar	10,8	Vestas V90	Çift Beslemeli Asenkron Generator	6 adet 1800 kW
Çanakkale-İntepe	30,4	Enercon E48	Direct Drive Senkron Generator	38 adet 800 kW
Çanakkale-Gelibolu	14,9	Enercon E48	Direct Drive Senkron Generator	13 adet 800 kW ve 5 adet 900 kW
Hatay-Samandağ	30	Vestas V80	Çift Beslemeli Asenkron Generator	15 adet 2000 kW
Manisa-Sayalar	30,6	Enercon E48	Direct Drive Senkron Generator	38 adet 800 kW
İzmir-Aliağa	42,5	Nordex N90	Çift Beslemeli Asenkron Generator	17 adet 2500 kW
İstanbul-Gaziosmanpaşa	24	Enercon E82	Direct Drive Senkron Generator	12 adet 2000 kW
İstanbul-Çatalca	60	Vestas V90	Çift Beslemeli Asenkron Generator	20 adet 3000 kW
Balıkesir-Şamlı	90	Vestas V90	Çift Beslemeli Asenkron Generator	38 adet 3000 kW
Muğla-Datça	10	Enercon E48	Direct Drive Senkron Generator	27 adet 800 kW ve 8 adet 900 kW

1.8.6.4. Çift Beslemeli Asenkron Jeneratör (Doubly Fed Asynchronous Jeneratör)

Bu tip jeneratörlere çift beslemeli (doubly fed) diye söylenmesinin nedeni, stator gerilimini şebekeden alırken rotora uyartım gerilimi güç konvertörü aracılığı ile yapıldığı içindir. Çift beslemeli asenkron jeneratör stator sargıları direkt olarak sabit frekanslı 3 fazlı şebekeye bağlı bir rotoru sargılı asenkron jeneratör ile rotor sargılarına monte edilmiş iki yönlü back-to-back IGBT (insulated gate bipolar transistor) konvertörden meydana gelmiştir. Rotor tarafı konvertörü ve şebeke tarafı konvertörü olmak üzere iki adet bulunur. Genellikle, rotor tarafındaki konvertör kontrol sistemi, elektromanyetik torku regüle eder ve jeneratörün manyetizasyonunu sürdürebilmesi için reaktif güç sağlar. Eğer jeneratör senkron hızın altında çalışırsa, şebekeden rotora bilezikler aracılığıyla elektriksel güç verilir. Böylelikle jeneratörün senkron hızı geçmesi sağlanır. Senkron hıza %30 yakın aralıklı olacak şekilde, rotor hız ayarı sağlanır. Eğer senkron hızın üstünde ise bu sefer şebekeye elektrik enerjisi verir. CBAG' un avantajları; sürekli değişen rüzgar hızı uygulamalarına imkan sağlar. Rüzgardan alınan enerji daha fazladır. Konvertörler sayesinde ekstra reaktif güç kontrolüne ihtiyacı yoktur. Aktif ve reaktif güç kontrolünü konvertörler sağlar. Büyük güç sistemleri için uygun olmasıdır. En

büyük dezavantajı ise bilezik tertibatının düzenli bakıma olan ihtiyacı olmasıdır (Uyar ve ark 2005, Muller ve ark 2002, Hansen ve ark 2001, Bogalecka, 1993).

1.8.6.5. Sürekli Mıknatıslı Senkron Jeneratör (Direct Drive Synchronous Jeneratör)

Sürekli mıknatıslı senkron jeneratörler (SMSG) herhangi bir enerji kaynağına gerek duymadan kendinden uyartımlı olması nedeniyle rüzgar türbini uygulamalarında kullanılmaktadır. En büyük avantajı herhangi bir hızda güç üretebilmesidir. Bakım maliyeti düşüktür. Küçük ve hafif uygulamalar için uygundur. Sürekli mıknatıslı senkron jeneratörün statoru sargılıdır ve rotoruna daimi mıknatıslar yerleştirilmiştir. Çok yaygın kullanılan tipleri; radyal akılı, aksiyal akılı ve çapraz akılı olanlardır (Dubois, 2000). SMSG'lerin rotor sıcaklıklarının soğutma sistemleri ile kontrolünün sağlanması gereklidir.

Şekil 51. Sürekli Mıknatıslı Senkron Jeneratör (Dursun ve Kakilli, 2010)

Jeneratörler bir güç elektroniği sistemi vasıtasıyla kullanılırlar. Bu sistemler jeneatör çıkışlarını şebekeye uygun hale getirir. Reaktif gücü mümkün kılar ve şebekeye 50-60 Hz AC olarak aktarır.

1.8.7. Soğutma Ünitesi

Bir çok makina sistemi gibi orta ve büyük kapassitedeki rüzgar türbinleri de soğutma sistemine ihtiyaç duyarlar. Soğutma ünitesi dişli kutusu, jeneratör, hidrolik fren sistemlerinin çalışma esnasında oluşturdukları ısıyı sistemden uzaklaştırmak için kullanılır. Türbin verimi ve güvenliği için hayati öneme sahiptir. Sıcaklığın artmasıyla jeneratör ve dişli kutusu verimleri azalır. Üreticiler tarafından kullanılan hava ve sıvı soğutmalı olmak üzere iki tip çeşidi bulunur. Fan, soğutma sıvısı, motor filtre, gibi ünitelerden oluşur.

Şekil 54. Dişli Kutusu ve Jeneratör Soğutma Üniteleri

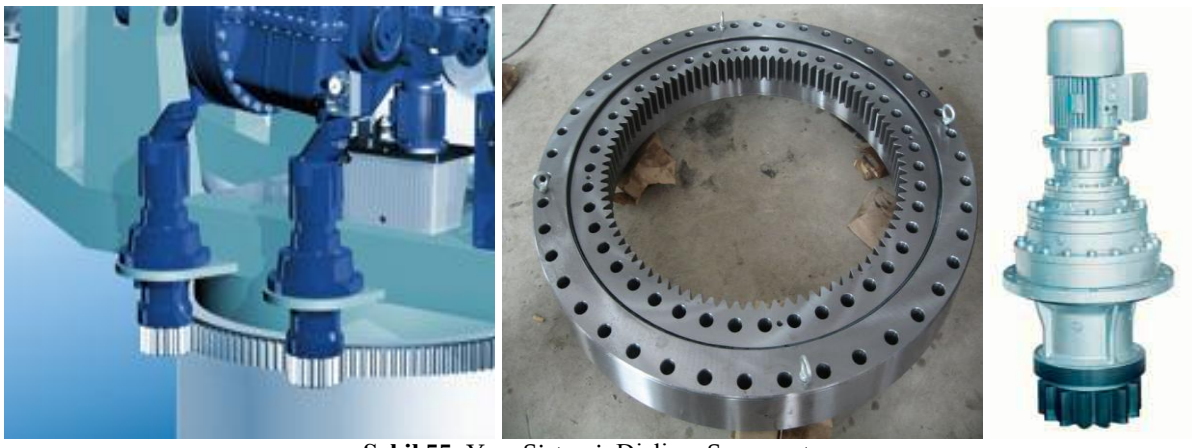
Sıvı soğutma: Küçük boyutlarda, kompakt ve yüksek verimlidirler. Karmaşık yapıları ve yüksek maliyetleri dezavantajlarıdır. Ayrıca nasel içine fazladan ağırlık oluştururlar.

Hava soğutma: Genelde büyük çaplı fanlardan oluşurlar. Basit ve hızlı bir yöntemdir. Ama büyük fanlarından dolayı yüksek elektrik tüketimleri vardır.

1.8.8. Dönen Yatak (Yaw-Sapma Sistemi)

Dönen yatak, türbinlerde rüzgarın sürekli rotora doğru yönelmesini sağlayan sistemdir. Böylece rüzgardan maksimum gücün elde edilmesini sağlar. Pervane ile birlikte naseli rüzgara karşı döndürmek üzere servomotorlarından yararlanılır. Büyük kapasiteli rüzgar türbinlerinde genelde 4 adet motor kullanılır. Sapma mekanizması, rüzgar yönünü algılayan bir elektronik kontrol ünitesi tarafından çalıştırılır. Aynı zamanda naseli kuleye bağlayan eleman olan yaw sistemi yüksek hızlarda kontrol mekanizmasından gelen sinyale göre türbin kanatlarını ve naseli rüzgara doksan derece dik hale getirerek üzerlerindeki gerilmeyi azaltır. Böylece sistemi korumaya alır.

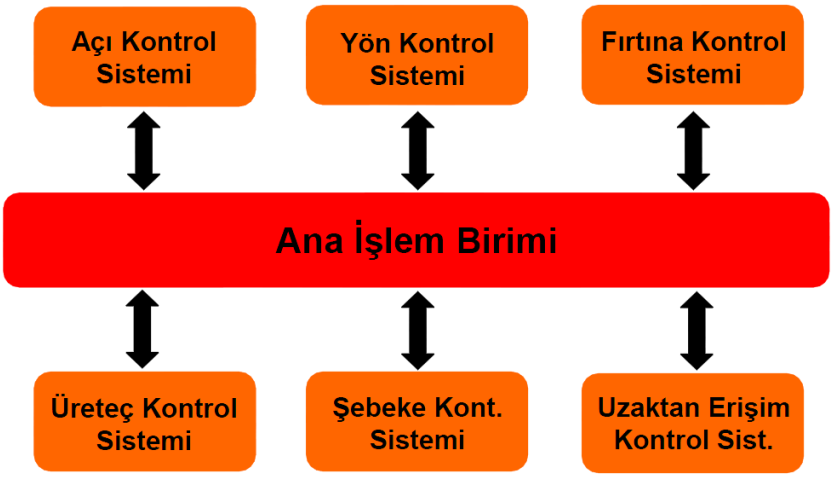
Üç kanatlı türbinlerin rotorları, rüzgara doğru konuşlanır. Rüzgarın hız değişimine göre, rotor kafasını, rüzgara dik tutacak tarzda ayarlayan mekanizmalardır, iki kanatlı rotorlar, kafalarını rüzgar doğrultusuna ters konuşlandırdıklarından, kuyruk kontrol mekanizmasına ihtiyaç duymazlar.



Şekil 55. Yaw Sistemi, Dişli ve Servomotor

1.8.9. Elektronik Kontrol Sistemi

Rüzgar türbinin durumunu sürekli izleyen bir sistemdir. Yön mekanizmasını kontrol eder. Herhangi bir arıza oluşması durumunda rüzgar türbinini otomatik olarak durdurur ve operatöre uyarı gönderir. Kontrol sistemi rüzgar türbinlerinin, saatte, 3 ile 5 m/s'lik rüzgar hızlarında, dönme hareketini başlatan, bu hareketi yöneten ve saatte 20-25 m/s'yi aşan yüksek hızlarda durduran beyin fonksiyonu icra eden kritik bir sistemdir. Bu yüksek hızlarda jeneratöre güç aktarımını engelleyerek, türbinin güvenliğini sağlar.



Şekil 56. Kontrol Ünitesisi Sistemi

Yaw mekanizmasını, hava ve sıcaklık durumunu rüzgar hızını ve yönünü, jeneratörün devreye girip çıkmasını, fren sistemini, aktif reaktif güç kontrolünü, acil durdurma ve optimum çalışma koşullarını kontrol eder. Kontrol sistemleri şöyledir.

Açı kontrol sistemi: rüzgar türbini kabinini rüzgar yönüne göre döndüren sistemdir.

Yön kontrol sistemi, çok yüksek hızlardaki rüzgarlarda -fırtınada - türbini güvenli bir şekilde devre dışı bırakmaya yarayan sistemdir.

Fırtına kontrol sistemi, elektrik şebekesinin durumunu algılayıp şebekeye giriş - çıkışı kontrol eden sistemdir.

Şebeke kontrol sistemi, üretecin ürettiği elektriğin voltaj, akım ve frekansını denetleyen sistemdir.

Üreteç kontrol sistemi, dünyanın herhangi bir noktasından denetim yapılmasını ve türbinlerin arıza bildirimlerinde kullanılır.

Uzaktan erişim kontrol sistemi ile bilgileri kontrol merkezine ileten birimlerinden oluşmaktadır (Enercon, 2006).

Bu işlemleri yapmak için kullandığı bazı sensörler şöyledir.

Anemometre*:* Rüzgar hızını ölçüp elektronik kontrol sistemine ileten bir ölçüm cihazıdır. Anlamı yunan dilinde rüzgardır. Türbin verimi hesaplanması için de kullanılır

Yön ölçüm Sensörü: Rüzgar esme yönünü belirleyerek kontrol sistemine bildirir.

Şekil 57. Anemometre ve Yön Sensörü

Sıcaklık Sensörleri: İç ortamın sıcaklığını kontrol ederler.

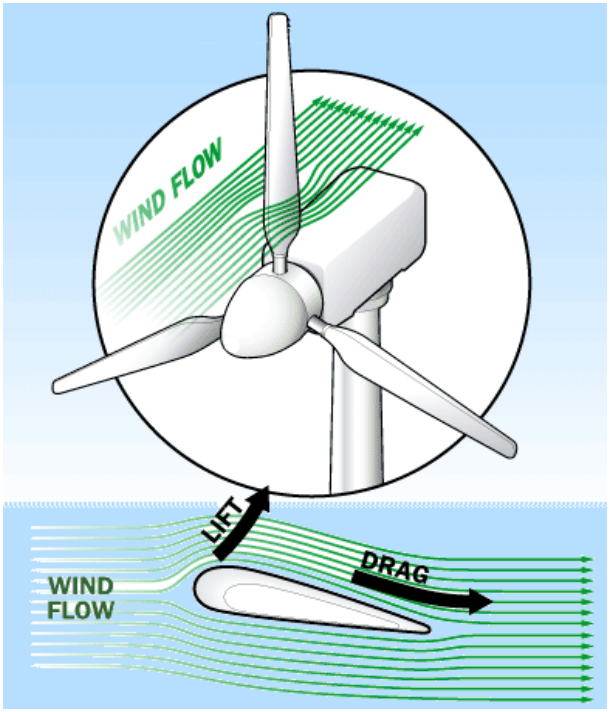
Titreşim Sensörü: İç aksamlarda titreşim durumlarını ölçer. Yüksek titreşimler oluşması durumunda sistemin durdurulmasını sağlarlar.

Bunların dışında türbinlerde titreşim sensörleri de kullanılır. Böylece titreşim belli aralığın dışına çıktığında türbin durdurularak güvenliği sağlanmış olur.

1.8.10. Kanatlar

Kanatlar hem maliyet hem de üretim teknolojisi açısından türbinlerdeki en önemli kısımdır. Bu yüzden bu bölümün üzerinde daha detaylı durulmuştur. Türbinlerin çoğu iki

veya üç kanatlı olarak tasarlanmaktadır. Kanatlara çarpan rüzgar, kanatları kaldırarak döndürmektedir. Kanat yapısı türbinin önden veya arkadan rüzgar almasına göre değişmektedir. Bu kısımda ticari olarak üretilen rüzgar türbinlerinin neredeyse tamamının tipi olan, 3 kanatlı rüzgar türbin kanatları değerlendirilmiştir. Kanat çapına göre rüzgar türbini gücü çizelge 11'de gösterilmiştir.



Şekil 58. Rüzgar türbini kanadına etki eden kuvvetler

Çizelge 11. Kanat çapı Güç İlişkisi

Kanat çapı (m)	Güç (kW)
10	25
17	100
27	225
33	300
40	500
44	600
48	750
54	1000
64	1500
72	2000
80	2500

Rüzgar türbini kanatlarından en büyük beklenti; uzun sürede dayanıklılığını koruması, aerodinamik olarak türbinin enerji verimliliğine ilave katkı sağlaması, tüm dış etkenlere karşı bütünlüğünü ve yüzey kalitesini kaybetmemesi gibi özelliklerdir. Bu özelliklerin sağlamak için de yapılan tüm çalışmalar ve denemeler sonucunda rüzgar türbinleri kanatlarının kompozit teknolojisi ile üretilmesinin en uygun yöntem olduğu görülmüştür (Karabağ 2011).

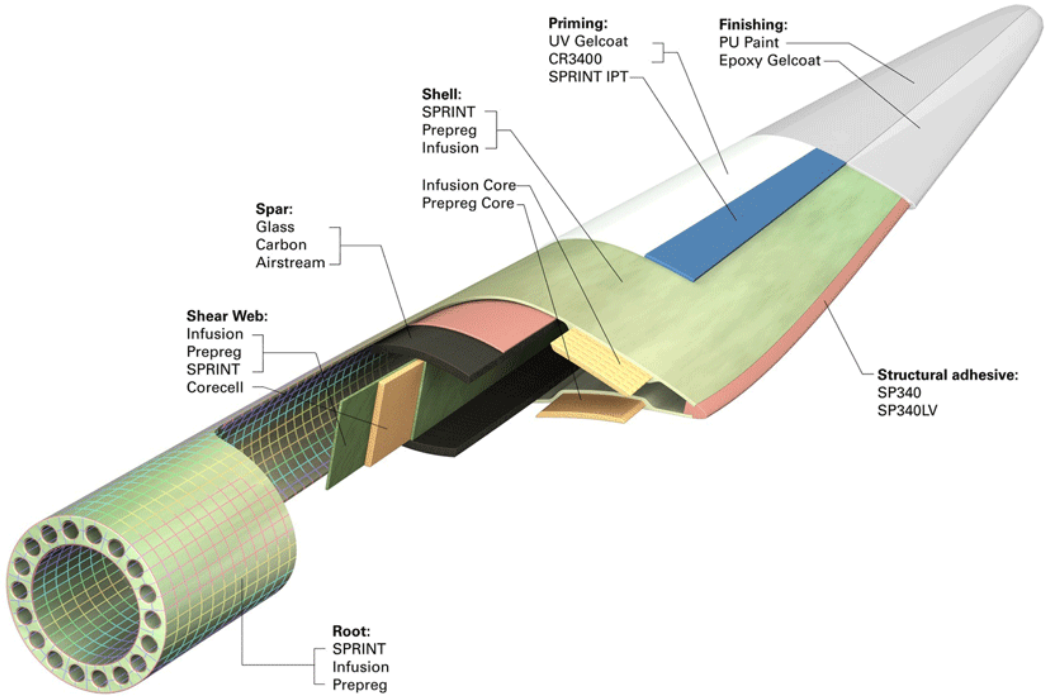
1.8.10.1. Rüzgar Türbini Kanat Üretiminde Kullanılan Temel Malzemeler

Polimer Matriks: Polimer matriksin kompozit yapı içinde gerçekleştirdiği temel görevler şunlardır;

- Fiber yapının bir arada kalmasını sağlamak,
- Fiber yapıyı dış etkenlere karşı korumak,
- Yapı üzerinde oluşan gerilimin fiberler arasında homojen bir şekilde transfer olmasını sağlamak.

Bu amaçla kanat yapımında genelde epoksi reçine kullanılır. Epoksi reçinelerin hacimsel çekme (% 1-3 arasındadır) ve boyutsal stabilite değerleri, diğer termoset reçinelerden daha iyi olduğu için amin (mukavemet arttıran) esaslı sertleştirici sistemleri ile birlikte büyük ölçekli rüzgar türbin kanatlarının üretiminde tercih edilmektedir.

Fiber takviye malzemeleri: Kompozit yapı içindeki temel yük taşıma elemanlarıdır. Lif takviyeli polimerik kompozit yapı içinde kullanılan fiberlerin etkinliği kullanılan fiber türüne, fiber yapının uzunluğuna, fiber hacmine ve fiber oryantasyonuna bağlıdır. Polimerik kompozit uygulamalarında takviye malzemesi olarak cam elyafı, karbon elyafı ve aramid elyafı kullanılmaktadır. Takviye malzemesinin seçimini son ürünün kullanım amacı, üretim yöntemi ve maliyeti belirlemektedir. Rüzgar türbin kanatları üretiminde çoğunlukla Epoksi camından üretilmiş cam elyafı ile dokunmuş çok yönlü kumaşlar tercih edilmektedir. Bir kumaşın mekanik özellikleri dokunma tarzından büyük ölçüde etkilenmektedir. Bu sebeple rüzgar türbin kanatlarının tasarımında öncelikle aerodinamik yapı üzerindeki kuvvet dağılımı hesaplanmakta ve daha sonra söz konusu dağılıma uygun dokumayı içeren kumaşlar seçilmektedir (Sevim, 2009). Kanat kesitindeki sandviç yapıların görüntüsü Şekil 59'da verilmştir.



Şekil 59. Kanat Kesitinde Sandviç Yapıların Görüntüsü (Sevim, 2009)

Ara (Core) Malzemeler: Ara malzemeler, sandviç yapıdaki kompozit ürünlerde kullanılan dolgu malzemeleridir. Özellikle eğilme dayanımını arttırmaları, kompozit ürünlerin kullanım yerlerinin artmalarına sebep olmuştur. Ara malzeme kullanımı nedeniyle, yaklaşık %3 oranında bir ağırlık artışı ile eğilme dayanımının 3,5 kat, rijitliğin ise 7 kat dolaylarında artırılması mümkündür. Rüzgar türbini kanatlarında, ara malzeme olarak yaygın şekilde PVC (Polyvinyl chloride), PET (Polietilen tereftalat) köpük ve balsa ağacından yapılma çeşitli kalınlıklardaki (5-50 mm arasında) levhalar kullanılmaktadır (Immerkjaer, 2003).

1.8.10.2. Rüzgar Türbini Kanatlarının Üretim Metodolojisi

Rüzgar türbini kanatları kompozit yapıda ürünler olduğuna için, üretim yöntemlerinde de büyük kompozit üretimlerin yapıldığı yöntemler kullanılır. Yakın geçmişte "El Yatırması Yöntemi" daha sonra geliştirilerek "Vakum Torbalama ile El Yatırması Yöntemi" ve "İnfüyon Yöntemi" olarak adlandırılan yöntemlerle kanatların üretimi yapılmaktadır.

1.8.10.2.1. El Yatırması Yöntemi

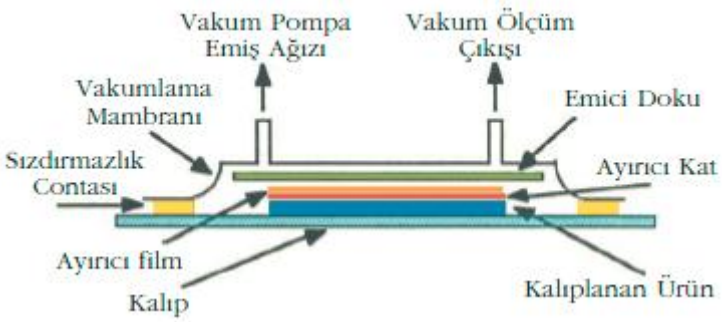
El yatırması yöntemi genel olarak takviye malzemelerinin kalıplara yatırılıp, açık kalıp üzerinde sıvı reçine uygulanması temel esasına dayanır. Düşük üretim düzeylerinde yaygın

kullanılan bir yöntemdir. Kompozit endüstrisi kalıplama yöntemleri arasında temel ve evrensel olarak en uygulanabilir yöntem olarak kabul edilmektedir. Bu proseste sıvı reçine, takviye malzemesi ile (genellikle cam elyafı veya kumaşı) beraberce açık kalıba uygulanır. Reçinede meydana gelen kimyasal reaksiyonlar malzemeyi yüksek dayanımlı ve hafif ürünler elde edilebilecek şekilde sertleştirir. Reçine, elyaf takviyeleri için matris görevindedir.

Üretimin başlangıç aşamasında, pigment katkılı jelkotlar kalıp yüzeyine sprey tabancası, fırça ya da rulo ile uygulanır. Jelkot yeterli derecede sertleştiğinde, takviye malzemesi tabakaları jelkot'un üzerine yerleştirilir ve reçine rulo ile üzeri uygulanır. Takviye malzemesi üzerine tatbik edilen reçine sertleşene kadar rulolama işleminin yapılması faydalıdır. Rulolama sayesinde laminat tabakaları arasında kalan hava kabarcıkları giderilmeye çalışılır. Bu rulolama işlemi, aralıklı olarak her kat takviye malzemesi uygulamasının ardından tekrarlanmaktadır. Takviye malzemesinin kalınlığı ve çeşidi tasarıma göre farklılık görterir (Karabağ, 2011).

1.8.10.2.2. Vakum Torbalama ile El Yatırması Yöntemi

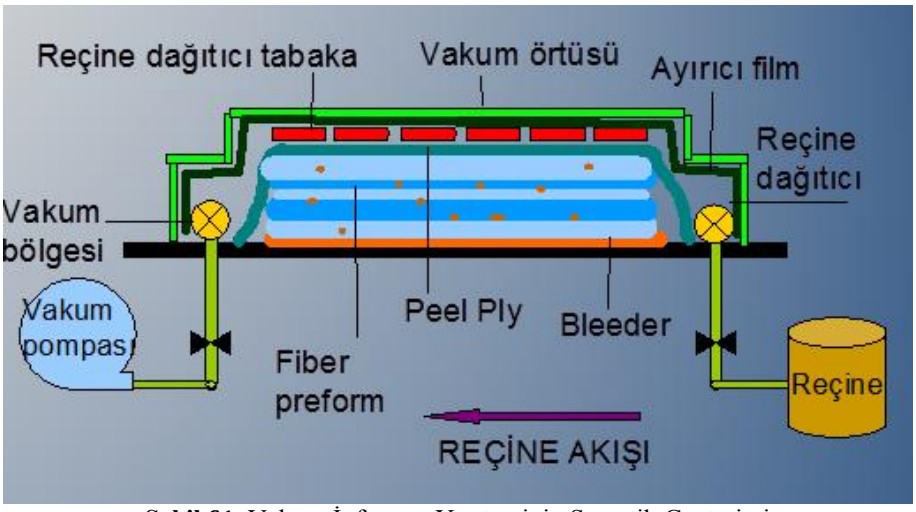
Bu yöntemin el yatırması yönteminden farkı; ürün yukarıda bahsedildiği şekilde el yatırması yöntemi ile yapıldıktan sonra reçine reaksiyonu hızlanıp jelleşme kıvamına gelmeden önce tüm kalıp içine sıcaklığa ve basınca dayanıklı plastik folyo ile kapatılıp, sızdırmazlığın sağlanmasından sonra sisteme vakum uygulanmasıdır. Vakum uygulanmasının en önemli sebebi, mamulün içinde rulolama ile alınamayan hava kabarcıklarının vakum sayesinde ürünün içinden uzaklaştırılması ve bu alanların da reçine ile dolmasının sağlanmasıdır. Bu şekilde üretilen ürünlerin yapılan çekme, basınç ve burkulma testlerinde serbest şekilde yapılan el yatırmasına göre çok daha iyi sonuçlar verdiği kanıtlanmıştır (Karabağ, 2011).



Şekil 60. Vakum Torbalama ile El Yatırması Yöntemi

1.8.10.2. 3. Vakum İnfüzyon Yöntemi

Bu yöntemin temel prensibi, vakum altına alınmış kuru takviye ve dolgu malzemelerinin basınç farkından yararlanılarak reçinenin ilerlemesi ile tamamen doyurulmasıdır (Şekil 61). 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. Reçine kendi başına oldukça kırılgan bir yapıdadır ve bu yöntem çoğunlukla serbest reçinenin üründe kalmasına engel teşkil eder. Diğer yöntemlere göre maliyetleri daha fazla olmasına rağmen iş güvenliği ve işçi sağlığı açısından riskleri daha azdır.



Şekil 61. Vakum İnfüzyon Yönteminin Şematik Gösterimi

Bu yöntemin rüzgar türbini kanatlarında kullanılmaya başlanması ile birlikte özellikle kalıp yapım teknolojileri de oldukça gelişmiş, kendinden ısıtmalı (su ya da elektrik ile), vakum girişleri hazır, izolasyonları yapılarak ısı kayıplarının en aza indirildiği kalıplar üretilerek ürün kalitesinin daha da artması sağlanmıştır (Gurit, 2011, Tangler, 2000).

Vakum İnfüzyon Yönteminin El Yatırması Yöntemine Göre Avantajları

- Polimer matriksin kompozit yapı içinde homojen dağılımı sağlanır.
- Zararlı kimyasal emisyonları önlenir.
- Vakum infüzyon yönteminde tüm yapı elemanları kuru bir şekilde kalıp içine yerleştirilmektedir.
- Kalıp içi ve dışı arasındaki basınç farkı ile gerekli miktardaki reçine kalıp içine transfer edilmektedir.

1.8.10.3. Rüzgar Türbin Kanatlarının Üretim Süreci

Kanadın Oluşturulması (Kalıplama): Kanadın her iki yüzey için iki farklı kalıp bulunmaktadır. Bu kalıplarda ayrı ayrı yüzeylerin kompozit imalatı yapıldıktan sonra ara perde şeklinde "omurgalar" yapıştırılır ve bu iki kabuk yukarıda belirtilen "yapıştırma

kepleri" de kullanılarak hamur kıvamdaki epoksi reçine karışımı ile bir araya getirilerek dışarıdan ısı verilerek kürlenir. Kanadın hem emme, hem de basınç yüzeyleri üretilmeye başlanmadan önce kalıpların yüzeylerine, "kalıp ayırıcı" denilen kimyasallar uygulanır. Sonrasında önceden set halinde hazırlanmış cam kumaşları kuru halde planlarına göre sırasıyla serilir, ana kuşak parçası yerleştirilir ve sonrasında dolgunluk ve eğilme rijitliği veren köpük ve/veya balsa plakları yerleştirilir. Tekrar üzerleri plandaki kumaşların uygulanması ile kumaş serme işlemi bitirilir Şekil (62-63).

Şekil 62. Bir Rüzgar Türbini Kanat Kalıbı Görünümü

Şekil 63. Kanadın Bir Yüzeyinde Köpük Yerleştirme İşlemi

Bundan sonrasında, infüzyon ile üretilen kanatlarda, reçinenin akışını sağlayan yardımcı malzemeler, vakumun homojen yayılması için gerekli malzemeler yerleştirildikten sonra vakum folyosu çekilerek vakum altına alınma işlemi gerçekleştirilir. Kabuklar tamamen reçine ile ıslanıp, doyurulana kadar reçine takviyesi yapılır ve işlem kesilmez. Ardından kalıbın ısıtma sistemi çalıştırılarak ürünün sertleşmesi beklenir. Sertleşmiş ürün, üzerindeki

yardımcı malzemeler sökülüp temizlendikten sonra omurga dediğimiz parçalar yüzeylerden birine yapıştırılır ve yine kullanılan reçinenin kürlenmesi beklenir.

Şekil 64. İnfüzyonu Bitirilmiş Bir Kanat Yüzeyinden Görüntü ve Yapılan Isıtma

Yapıştırma keplerinin de hazırlanması ile iki yüzey hamur kıvamdaki epoksi reçine ile bir araya getirilir. Bu bir araya getirilme sırasında ya hidrolik kalıp sistemi ile bir yüzey kalıbı diğerinin üzerine kapatılır ya da bu işlem için köprülü vinçler kullanılarak bir yüzey kalıbı ters çevrilerek üst üste getirilir (Şekil 65). Ardından yine ısıtma sistemleri ile reçinenin reaksiyonu hızlandırılıp kalıbın uygun zamanda sökülmesi sağlanır (Tangler, 2000).

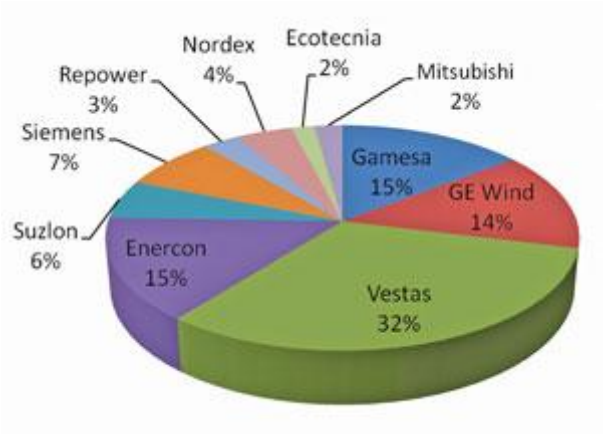
Şekil 65. Kalıbın Kapatılması

Taşlama İşlemi: Kanadın kalıptan çıkartılmasından sonra, kanadın yüzeylerinin birleşim noktalarında oluşan reçine artıklarının temizlenmesi gerekir.

Yüzey Kaplama İşlemleri: Kanadın üzerine eklenecek parçalar ve kompozit üretimlerin tamamı bitirildikten sonra kanadın dış etkenlerden korunmasını sağlayan kaplama sistemlerinin ve yüzey pürüzlülüğünü azaltan boya sistemlerinin uygulaması yapılmaktadır. Bu işlemler kanadın üzerine yapılacak son işlemlerdir. Kaplama sistemi dendiğinde; Kanadı güneşin zararlı ışınlarından (UV), rüzgarın, yağmurun ve karın yıpratmasından etkilerinden,

havadaki toz, gaz ve asitlerin aşındırıcı etkilerden kullanım süresi boyunca koruyan kaplama malzemelerinin uygulanması anlaşılmaktadır. Bu malzemeler genel olarak jelkot adı ile anılan Poliüretan esaslı kimyasal malzemelerdir. En son olarak da kanadın verimliliğine de etki eden yüzey kalitesini yakalamak için yine genelde poliüretan esaslı olan boya uygulaması yapılmaktadır. Önceleri rulo ile yapılan uygulamalar, daha sonra yerini sprey uygulamalarına ve son olarak günümüzde özel tasarlanan robot kollar ile yapılmaktadır. Bu gelişme, boyanın kanadın her bölgesinde homojen bir kalınlık ile uygulanmasını ve yüzey pürüzlülüğünün en alt seviyeye indirilmesini sağlamıştır. Bu da türbinin enerji üretme verimliliğine etki eden bir faktördür (Karabağ, 2011).

Şekil 66. Robot Kolları ile Kanat Yüzeyine Boya Uygulanması



Şekil 67. Rüzgar Türbini Kanat Üreticileri (REN, 2007)

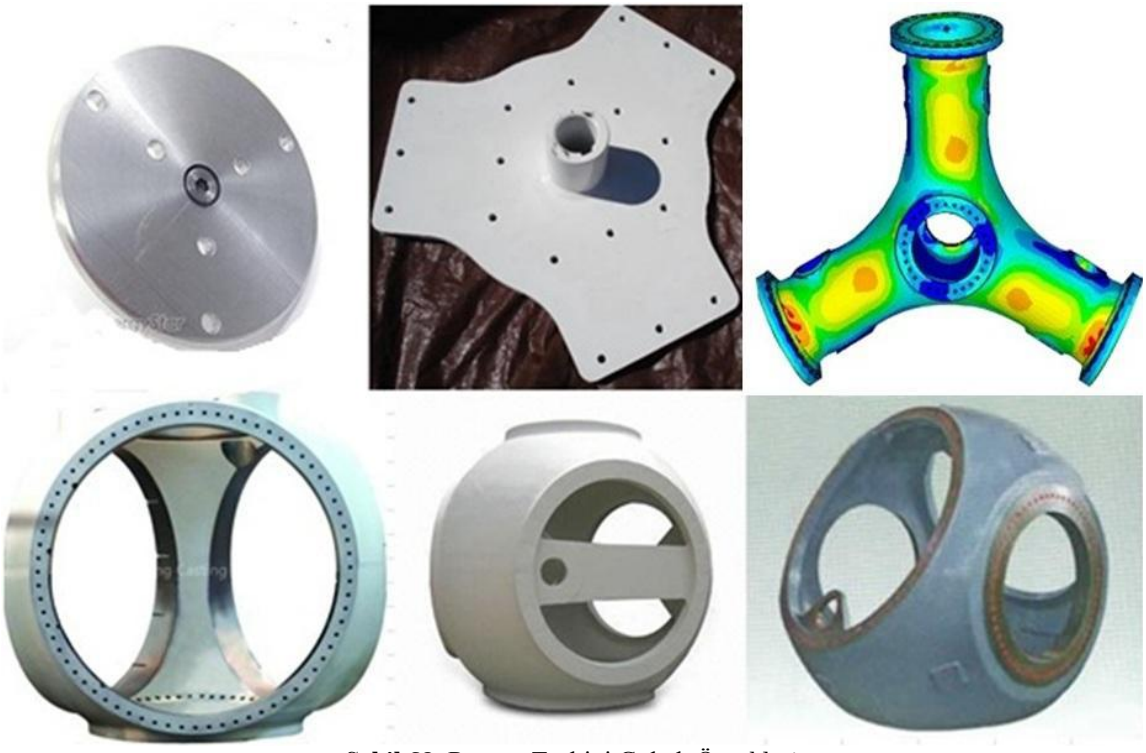
Büyük kapasiteli türbinler için kanat üretiminin firmalara göre dağılımı Şekil 67'de verilmiştir. Ayrıca dünyadaki 12 büyük kanat üreticisinden dördü bu pazarın %76 sına sahiptir. Bu firmalar Vestas (Danimarka), GE Wind, Gamesa (ispanya) ve Enercon (Almanya) firmalarıdır.

1.8.11. Pitch Sistemi

Bu sistem rüzgar hızı ve istenilen dönüş açısı elde etmek için kanatların duruş açılarını optimize eder. Pitch kontrollü türbinlerde kanatlar, göbeğe sabit bir açı ile sabitlenmiş değildirler. Kanat, pitch kontrol mekanizması sayesinde rüzgar hızına göre ekseni etrafında döndürülebilmektedir (Demirtaş, 2008). Bu türbinler, nominal hız üzerinde sabit güç üretimi sayesinde daha kaliteli bir güç çıkışı sağlamaktadırlar. Düşük rüzgar hızlarında düşük açı türbin kanatlarından elde edilen gücü artırır. Yüksek rüzgar hızlarında ise açı artırılarak yüzey alanı azaltılır. Böylece rotorun daha az devirde dönmesi sağlanır. Her bir kanat için bir servomotor kullanılır ve bu sistem kontrol sistemi tarafından kontrol edilir. Aşırı yüksek veya düşük hızlarda kanatların dönüşünü kontrol eden döndürme mekanizmasıdır. Hidrolik olarak çalışan sistemler de vardır.

1.8.12. Göbek (Hub)

Rüzgar türbininde kanatların bağlandığı parçaya göbek (hub) denir. Türbin göbeği kanatlardan aldığı gücü transmisyon mili aracılığıyla jeneratöre iletir. Şekil 68'de görüldüğü gibi plaka, boru ve küre gibi farklı geometrik şekillerde olabilmektedir.



Şekil 68. Rüzgar Türbini Göbek Örnekleri

1.8.13. Kule

Yuvarlak veya kafes seklinde tasarlanan, çelikten yapılmış, tepe düzlemine türbin gövdesinin yerleştirilmesini sağlayan direklerdir. Yerden yükseldikçe rüzgar hızlarının artmasından dolayı kulenin yüksek olması bir avantajdır. Kuleler, dairesel ve kafes biçiminde olabilirler. Halat destekli direk tipi kuleler genellikle küçük türbin uygulamalarında kullanılır. Dairesel kulelerde türbin gövdesine ulaşmak için bir iç merdiven bulunur. Türbin kulesinin oturduğu temel, betonarme inşaat olup 40–50 m kuleyi taşımak için 120 dairesel bir temel atılır. Büyük vinçler yardımıyla kuleler inşaat temeline yerleştirilir (Şekil 69).

Şekil 69. Boru ve kafes tipi kule

1.8.14. Şebeke Bağlantısı (Grid Connection)

Büyük rüzgar türbinlerinde (100 veya 150 kW üzeri) jeneratör tarafından üretilen voltaj, ekseriya 690 V ve 3 fazlı alternatif akımdır. Bu akım, lokal elektrik şebekesinde standarda bağlı olarak, sonradan dönüştürücü (transformer) vasıtasıyla yakınındaki rüzgar türbinine voltajı yükseltmek için (veya kule içine) 10.000 ve 30.000 V arasındaki bir yere gönderilir. Büyük üreticiler, 50 Hz lik rüzgar türbin modellerini (dünyanın büyük

çoğunluğundaki elektrik hatları için) ve 60 Hz lik modelini (Amerika'daki elektrik hatları için) desteklerler (Öger, 2006). Yükseltici harici tip trafo resmi Şekil 70'de gösterilmiştir.

Şekil 70. Yükseltici Harici Tip Trafo

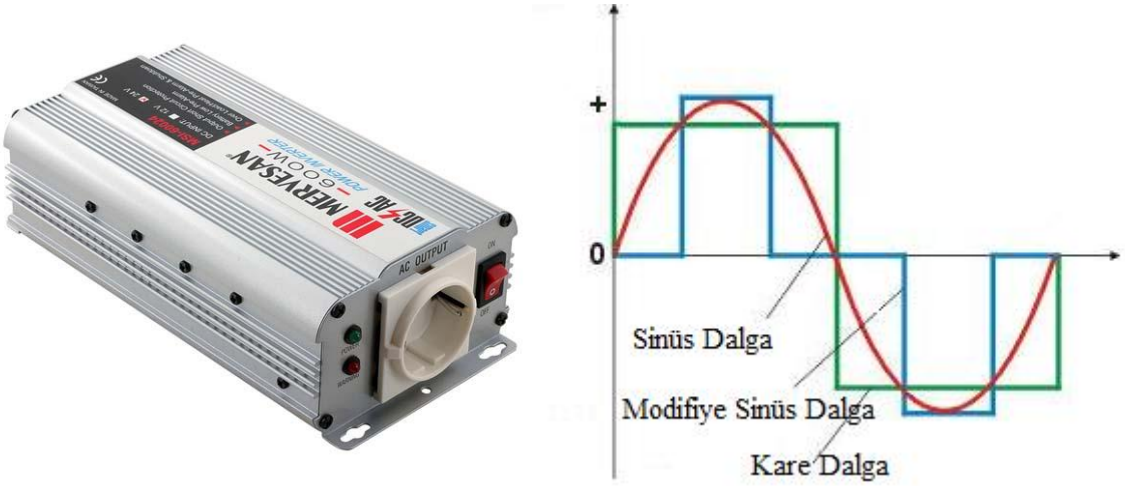
1.8.15. Küçük Kapasiteli Rüzgar Türbini Parçaları

Rüzgar türbinleri sadece şehir şebekesine elektrik sağlamak amacıyla kullanılmaz. Ev kullanımı için üretilen küçük türbinler de bulunmaktadır. Hatta bu türbinlerin kullanımı giderek yaygınlık kazanmaktadır. Bu türbinlerin yukarıdaki kısımlar haricinde aşağıda açıklanan invertör, iarj regülatörü ve akümülatörler elemanlarını da içermektedir.

1.8.15.1. İnvertör

İnvertörler doğru akımı alternatif akıma çeviren DC-AC dönüştürücülerdir. Bir invertörün görevi girişindeki bir doğru gerilimi, çıkışında istenen genlik ve frekansta simetrik bir alternatif gerilime dönüştürmektir. Çıkışta elde edilen gerilim ve frekans değerleri sabit veya değişken olabilir. Girişteki DC gerilim değiştirilmek ve invertör kazancı sabit tutulmak suretiyle, değişken bir çıkış gerilimi elde edilebilir (Yalçın, 2009). İnvertörler dönüştürdükleri akımın dalga şekline göre farklı isimler alırlar; Tam sinüs dalga, düzeltilmiş sinüs dalga, kare sinüs dalga. İnvertör dönüştürme işlemi yaparken elektrik gerilimde artış DA sağlamış olur. Rüzgar türbinleri 12-24 volt değerlerinde üretim yapmaktadır. Bu değerin 220 Volt ev gerilimine ulaşması invertörler yardımıyla gerçekleşir. İnvertörler sağladıkları güç

bakımından da çeşitli guruplara ayrılmaktadırlar. Piyasada 600 W kapasiteden 8000W'a kadar invertör bulmak mümkündür.



Şekil 71. Temel İnverter Yapısı ve Dalga Çeşitleri

1.8.15.2. Şarj regülatörü

Şarj regülatörleri rüzgar, güneş veya hibrit sistemlerde bir denetim mekanizması olarak çalışır. Sistem durumuna göre enerji dağılımı işlemini gerçekleştiren, yöneten, en ideal çalışma modunu otomatik olarak seçen akıllı elektronik devrelerdir. Denetim birimlerinin başlıca fonksiyonları; akülerin en uygun şartlarda şarj ve deşarj edilmesi, sıcaklık ayarları ve uygunluğu, yıldırım kontrolü, farklı koruma/sigorta sistemleri, merkeze farklı alarmların yollanması, rüzgar türbinleri ve güneş panellerinden gelen tüm verileri kaydetmesi veya modem aracılığı ile istenilen yere yollayarak takibinin yapılması olarak özetlenebilir. Şarj kontrolü sayesinde batarya ömrünün uzaması ve sistemin düzenli çalışması sağlanır.

1.8.15.3. Akümülatörler

Rüzgar türbini sadece rüzgarın olduğu saatlerde elektrik üretir. Fakat çoğu durumda üretimin olmadığı diğer zamanlarda da enerjiye ihtiyaç olabilir veya anlık üretilen elektrikten daha fazlasına ihtiyaç duyulabilir. Bu yüzden küçük kapasiteli rüzgar türbinlerinin çoğu elektrik enerjisini depolayabilen pillerle (akülerle) birlikte kullanılırlar. Hibrit sistemlerde enerji depolanması için en uygun olan elektrokimyasal akülerdir. Akülerdeki enerji deşarj anında kimyasal enerjiden elektrik enerjisine dönüşür. Şarj anında ise bunun tersi gerçekleşir. Aküler verecekleri çıkış gerilimine göre ve taşıyacakları akım kapasitesine göre bir veya birden çok hücreden oluşabilirler. Genellikle bir hücrelik akünün uç gerilimi 1,2 ile 2 volt arasında değişir. Taşıyacakları akım kapasitesine göre birkaç mili amper saatten (mAh) iki

bin, üç bin amper saate (Ah) kadar depolama yapabilirler (Devyaran, 2005). Bağlantılar ise genelde 12 veya 24 V olarak yapılır.

Aküler elektrot ve elektrolit tiplerine göre farklılık gösterirler. Bunlar da farklı elektriksel özellikler meydana getirirler. Örneğin farklı verim, kullanım ömrü, işletme sıcaklığı gibi. Nikel-kadmiyum (NiCd), kurşun-asit (Pb-Asit), nikel-metal hidrit (NiMH), lityum-iyon (Li-ion), Lityum-polimer (Li-poly), Çinko-hava (Zn-air) gibi türleri vardır. Kurşunlu akülerin en çok kullanım alanları yedek güç sistemleridir. Bakım ihtiyacı minimum olduğundan uygulama alanı olarak genellikle ulaşımı zor yerlerdeki komünikasyon ve katodik koruma sistemlerinde tercih edilirler. İhtiyaca ve/veya uygulamaya bağlı olarak aynı marka, model, tip ve imal tarihli aküleri, prensip olarak birbirleri arasında seri ve/veya paralel bağlanabilir. Bu sayede farklı gerilim ve kapasitede akü grupları oluşturmak mümkündür (Umut, 2008).

Bu çeşitler içerisinde en yaygın olarak kullanılan akü ise kurşun-asit akülerdir. Kurşun asit aküler 100 yılı aşkın süredir elektrik enerjisi depolamasında ticari olarak kullanılan akü tipidir. Akülerde bulunması gereken özellikler, yüksek verimlilik, düşük fiyat, düşük akımlarda yüksek şarj verimliliği, düşük bakım maliyeti, uzun kullanım ömrü, işletmede yüksek güvenilirlik, hızlı şarj yeteneği olarak düşünülürse en uygun akü tipi kurşun-asit olarak söylenebilir (Luque ve Hegedus, 2002). Son yıllarda ise uzun ömürleri ve bakım gerektirmedikleri için jel tipi aküler de kullanılmaktadır.

1.9. Hibrit Enerji Sistemleri

Hibrit kelimesi İngilizce "hybrid" kelimesinin Türkçesidir. Türk Dil Kurumuna göre sözlük anlamı "melez" demektir. İkinci bir anlamı ise "İki farklı güç kaynağının bir arada bulunması" anlamına gelmektedir. Hibrit sistemler çok çeşitli olabilirler. Güneş-rüzgar-hidroelektrik, güneş-hidrojen, güneş-rüzgar-hidrojen, güneş-rüzgar-dizel, rüzgar-dizel, rüzgar-hidrolik, güneş-rüzgar gibi bir çok tür farklı kombinasyon ile hibrit sistemler oluşturulabilmektedir.

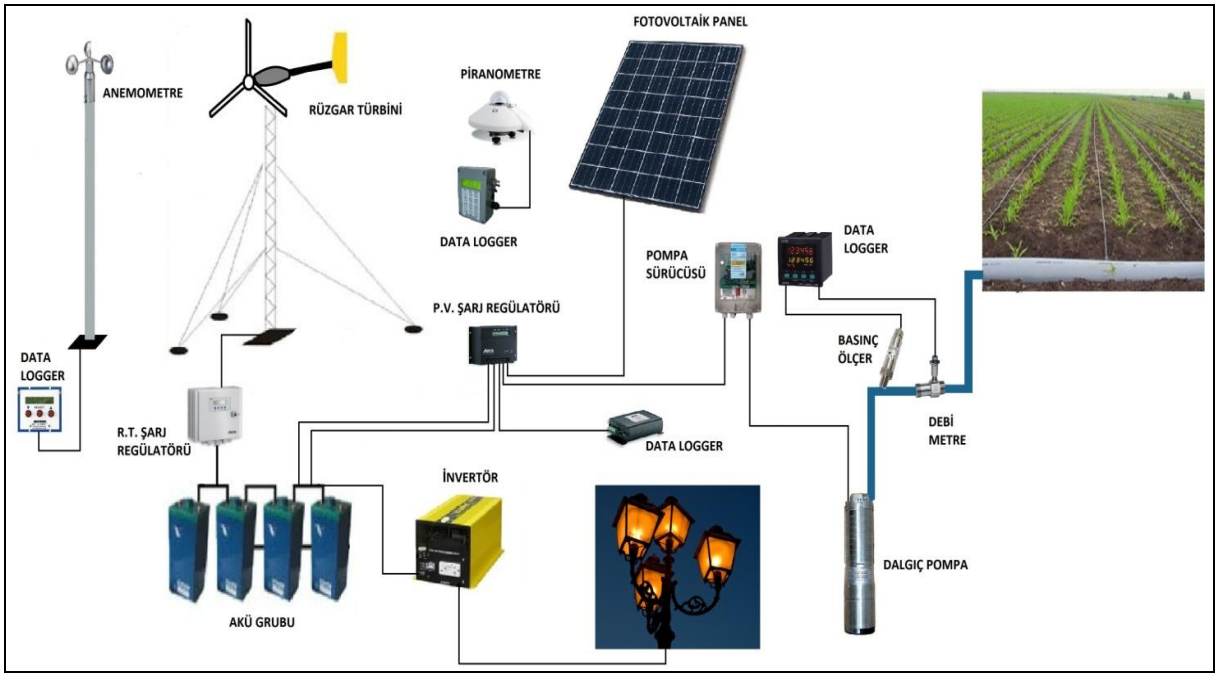
Dünya genelinde çok büyük miktarda alan elektrikten yoksun ve şebekeden uzak durumdadırlar. Bu nedenle; hibrit güç üretim sistemleri elektrik dağıtım şebekesinden oldukça uzakta bulunan küçük ve orta ölçekli tüketicilerin elektrik enerjisi taleplerine karşılık vermek amacıyla kullanılmaktadır. Hibrit güç sistemleri, elektrik enerjisi bakımından sıkıntılar yaşayan Türkiye için de alternatif bir sistem olarak önem taşımaktadır. Yenilenebilir enerji

kaynaklarından (güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, katı atık enerjisi, deniz kökenli enerjiler, vs.) elde edilebilecek enerjinin, tek başına enerji ihtiyacını tam anlamı ile karşılayabilmesi mümkün görünmemektedir. Ancak, bir depolama sistemi ile (batarya sistemi), enerjinin en çok kullanıldığı zaman diliminde veya enerji kesintisi olduğu zamanlarda, belirli bir süre de olsa ihtiyacı karşılaması oldukça yararlıdır. Hibrit güç sistemleri küçük yerleşim birimlerinde (çiftlik, köy, vs.) enerji ihtiyacını tamamen karşılamak amacı ile de kullanılır (Umut, 2008, Aksoy, 2011). Hibrit sistemler güvenilirlik noktasında ön plana çıkmakta ve enerji üretiminden sonra kullanılabilirlik kapasitesini ve süresini artırmaktadır.

Şekil 72. Konya Teknokent Hibrit Sistem (Aksoy, 2011)

Şekil 72'de Konya Teknokent bahçesinde kurulan su pompalama amaçlı hibrit sistem görülmektedir. Deney düzeneği için kurulan hibrit sistemde rüzgar türbini ve güneş panellerinden üretilen elektrik kendi regülatörlerinde düzenlendikten sonra türbin direği yanına kurulan pano içerisindeki akülerde depolanmıştır. Akülerde DC olarak depolanan

elektrik enerjisi, AC güç tüketen cihazlar için invertörle dönüştürülerek 220 Volt AC elektrik elde edilmiştir. DC güç tüketen pompada ise direk regülatörden çıkış alınarak kullanılmıştır. Pompa su borusunda debi ve basınç değerleri anlık olarak kaydedilmiştir. Ayrıca, rüzgar hızı ve güneş ışınımı değerleri de dakikalık ortalamalar ile kaydedilmiştir. Kurulan sistemin şematik gösterimi Şekil 73'de gösterilmiştir (Aksoy, 2011).



Şekil 73. Deney Düzeneğinin Şematik Gösterimi

1.10. Konya Sanayisinde Üretilebilirlik Analizi

Türkiye Cumhuriyeti, ülkelere göre GSYİH sıralamasında dünyanın 17. büyük ekonomisi konumundadır. Ekonomik büyüme hedefleri arasında 2023 yılında dünyanın ilk 10 ekonomisinden biri olmayı hedeflemektedir. Bu hedef, bütün sektörler itibariyle rekabet edebilen, katma değeri yüksek ürünler üreten, Ar-Ge ve inovasyona dayalı bir ekonomi öngörürken, aynı zamanda sektörler itibariyle de gerçekçi hedefler konulmasını ve uygulanmasını gerektirir. Bu bölümde bir yüksek teknoloji ürünü olan rüzgar türbini sistem parçalarının Konya'da üretimi değerlendirilmiştir. Konya sanayisi ile ilgili genel bilgiler ve yapılan anketlerin genel değerlendirilmesi bu raporun I.Giriş bölümünde verilmiştir.

Dünya pazarına türbin sağlayan bazı türbin üreticileri ve tedarikçileri Çizelge 12'de verilmektedir. Üreticiler türbinleri oluşturan bileşenleri ya kendileri üretmekte ya da tedarikçiler aracılığıyla sağlamaktadır. Tabloda koyu renk yazılarla belirtilen türbin üreticisi şirket tarafından üretilen veya türbin üreticisinin sahip olduğu tedarikçi firmayı

göstermektedir. Rüzgar türbin kuleleri genellikle projelerin yer aldığı yerli piyasada imal edilmektedir.

Türkiye'deki santrallerini oluşturan türbinler dünya piyasasına hakim olan türbin markalarıdır ve rüzgar türbin ve bileşenlerinin büyük bir kısmı (türbin, jeneratör, göbek (hub), dişli kutusu vb.) yurt dışından ithal edilmektedir. Üretici firmalar açısından değerlendirildiğinde genelde kanat ve kontrol ünitelerini kendileri yaptığı görülmektedir.

Çizelge 12. Ana Rüzgar Türbin Üreticileri ve Tedarikçileri (Wind Directions, 2007)

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

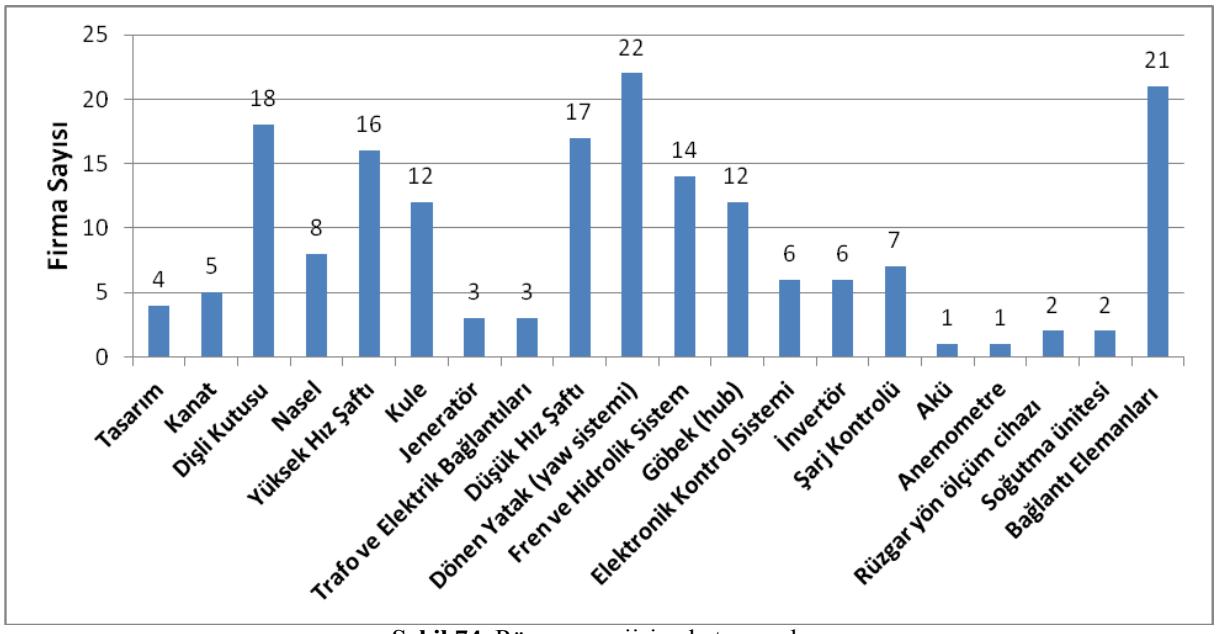
Çizelge 13. Türbinin Ana Bileşenleri ve Toplam Maliyet İçindeki Payları (EWEA, 2009)

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

*Çizgeldeki oranlar 45.3 m kanat uzunluğu ve 100 m kule yüksekliği olan REpower MM92 türbinine göre hazırlanmıştır.

Bir rüzgar santralinin toplam maliyetinin yüzde 75'ine karşılık gelen en büyük kalemini rüzgar türbinleri (kanatlar, kuleler, nakliye ve tesis dahil olmak üzere) oluşturur. Bir rüzgar türbini 8.000 farklı bileşenden oluşur. Rüzgar türbininin ana bileşenleri ve bunların türbin maliyeti içindeki payları Çizelge 13'de gösterilmektedir.

Burada üretilebilirlik açısından dikkat çeken bir nokta kule ve kanatların toplam maliyetinin yarısına yakın olmasıdır. Şekil 74'de rüzgar enerjisinden elektrik üretme amaçlı sistem parçaları ve Konya sanayisinde yapılan toplam 71 ziyarette firmaların bu parçaları üretebilecekleri sayısı gösterilmiştir. Konya sanayisinde rüzgar enerjisi sektörüyle ilgili olabilecek firmalar listelenmiş ve sistem parçalarını, teknik çizimlerini içerir bir döküman ve anketlerle ziyaret edilmiştir. Genel olarak dişli içeren elemanların ve bağlantı parçalarının üretiminin yapılabileceği belirtilmiştir.



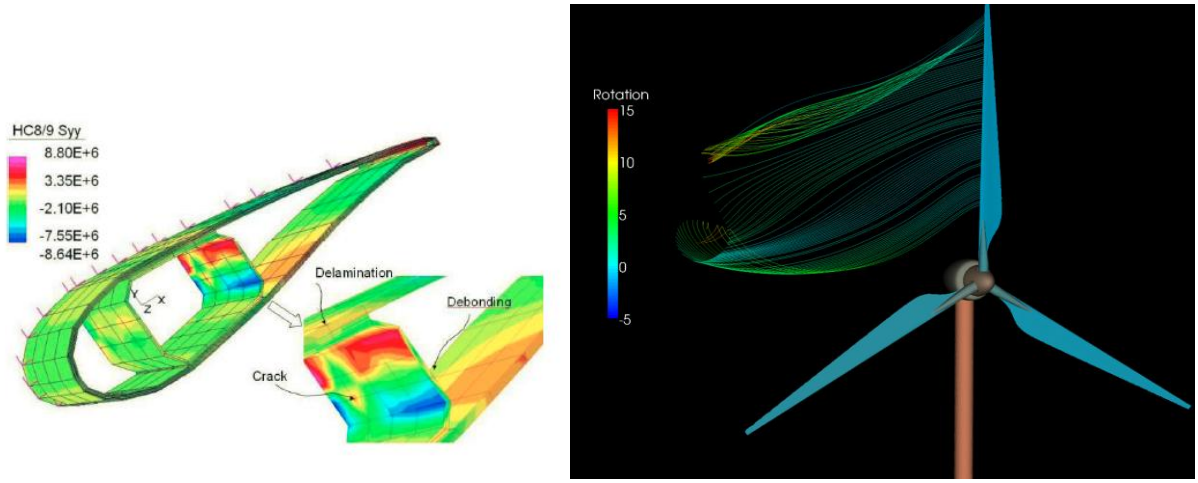
Şekil 74. Rüzgar enerjisi anket sonuçları

1.10.1. Rüzgar türbini tasarımı

Kanat profillerinde sürükleme ve kaldırma kuvvetlerinin özellikleri, rüzgar tünelinde yapılan testlerle belirlenmektedir. Bu testlerde farklı hücum açılarında birimsiz büyüklükler olan sürükleme katsayısı (C_D) ve kaldırma katsayısı (C_L) hesaplanır. Bu katsayılar yardımı ile türbin için en uygun kanat yapısı tasarlanır (Akbıyık, 2004). Kanat tasarımı programı arayüzleri şekil 74'de gösterilmiştir. Rüzgâr türbini pervane kanatlarında profil olarak daha çokNACA, LS ve LM profilleri kullanılmaktadır.

Bir türbin sistemi veya kanat tasarımı yapabilmek için hem malzeme hem de aerodinamik bilgisi sahibi olmak gerekir. Ayrıca bu alandaki tasarım ve simulasyon

programlarına da hakim olmak önemlidir. Konya'da bazı küçük rüzgar türbini üreten firmalar ve sahada tecrübesi olan firmalar tasarım yapabileceklerini belirtseler de bu alanda kalifiye eleman ve teknolojik altyapı oldukça eksiktir. Bu araştırma Üniversite-Sanayi işbirliği ile çalışılabilecek bir alandır.



Şekil 75. Kanat Tasarımı Programı Arayüzleri

Parçaların üretilmesi için bir çok firma detaylı teknik resimleri, tasarım parametleri, imalat yöntem aşamalarının detaylı bilgilerinin sağlanması gerektiğini belirtmişlerdir. Rüzgar türbini sistemlerinin tasarımını yapabilecek bir firma olduğunda tüm parçaları Konya sanayisinde üretilebilir. Rüzgar bu açıdan diğer yenilenebilir enerji sistemlerine göre mevcut teknolojik altyapı ile %100 yerli üretimine entegrasyonu en hızlı olabilecek enerji dönüşüm sistemidir. Ayrıca gerekli yatırımların fizibilitesinin en yüksek olduğu enerji kaynağıdır.

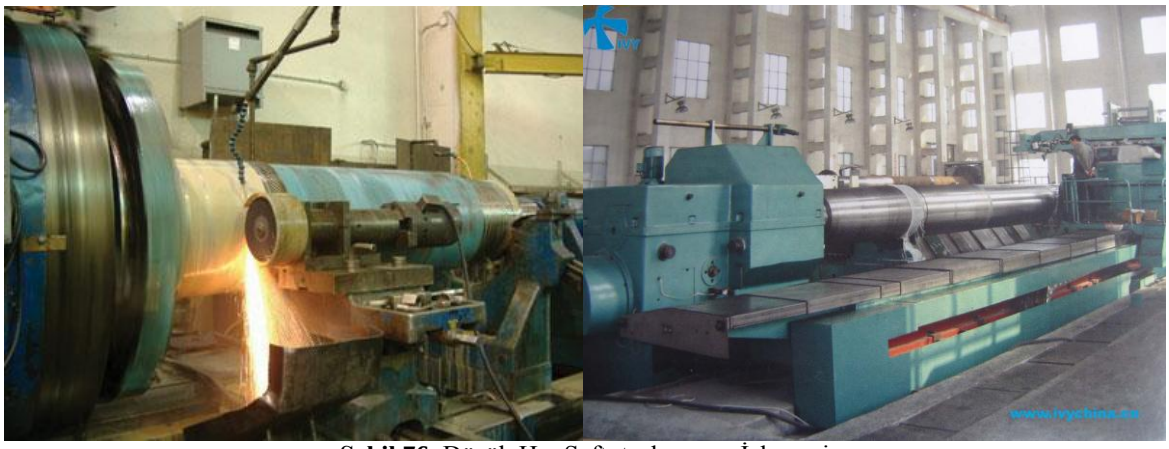
Konya sanayisi otomativ yedek parçalarının %90'ına yakınını üretse de bir otomobil üreticisi firma bulunmamaktadır. Bu alanda olduğu gibi rüzgar enerjisi alanında da riskleri üstlenecek, tasarımı yapacak firmalara ihtiyaç vardır. Bu alanda Konya'da çalışmalar yapan firmalar bulunmaktadır. Genel çalışma sistemleri orta ve büyük ölçekli türbin üreticileri ile birlikte veya know-how sistemi ile bu alanda yatırımlar için çalışmalar yapmaktadırlar.

1.10.2. Düşük Hız ve Yüksek Hız Şaftı (Main Shaft)

Rüzgar türbini ana mili genellikle sertleştirilmiş çelikten dövme yöntemi ile veya döküm yöntemi elde edilir. Ana yatağın istenen tokluk oranı, sertlik, nihai yapıya ulaşması ve iç gerilmelerin azaltılması için tamamen soğuması beklendikten sonra 1000 santigrat derece kadar ısıtılır ve yağ veya su içine daldırılarak soğutulur. Bu işlem yüzeyi istenilen sertliğe getirir fakat kırılgan bir yapı oluşur. Bunu da gidermek için tekrar 500°C dereceye kadar

tekrar ısıtılır. Burada kullanılan malzeme 34 CrNiMo6 benzeri çeliklerdir. 2MW bir türbin kullanılacak ana yatak boyu 12.000 mm'yi bulabilmektedir (Bonus Energy, 1999).

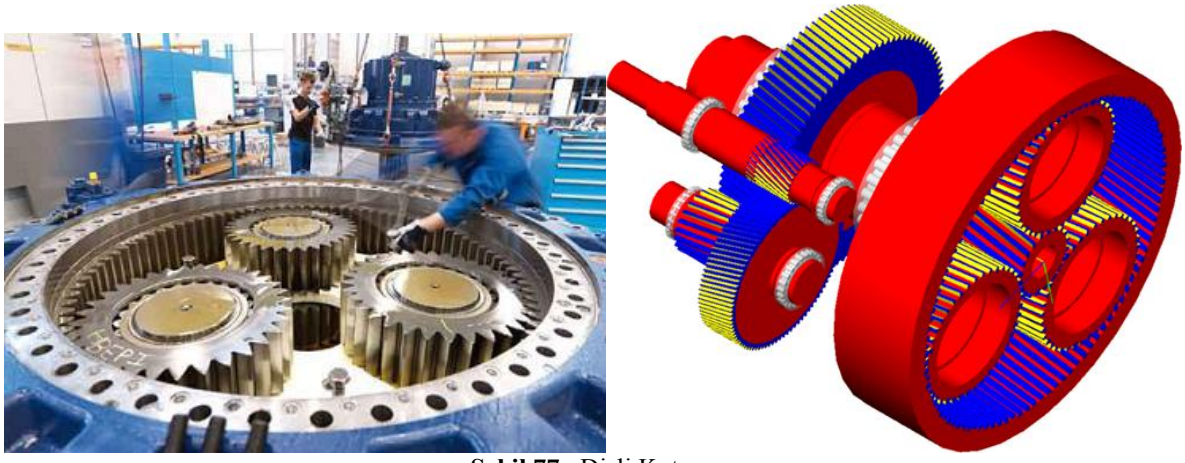
Konya Sanayisinde düşük hız şaftını üretebileceğini ve işleyebileceğini belirten firma sayısı 16 civarındadır. Bu parçaların hem üretim hem talaşlı imalat işlemleri yapılabilmektedir. İlave dingil alanında faaliyet gösteren firmalar için yakın bir sektördür. 1 MW kapasitesindeki bir türbin için düşük hız ve yüksek hız şartları üretilebilmektedir. Konya sanayisinin mevcut altyapısı değerlendirildiğinde 1-1,5 MW türbin için düşük hız şaftı yapabilecek ve işleyebilecek firmalar bulunmaktadır.



Şekil 76. Düşük Hız Şaftı taşlama ve İşlemesi

1.10.3.Dişli Kutusu

Otomotiv sanayisinde kullanılan dişli kutusundan boyut olarak oldukça farklı olan rüzgar türbinindeki sistemler genellikle planet dişli kutusudur.



Şekil 77. Dişli Kutusu

Kullanılan dişliler % 96-98 oranında düşük karbonlu paslanmaz çelik %1-2 alüminyum ve % 0-2 bakırdan yapılmaktadır. Ziyaret edilen firmalardan 18 tanesi dişli kutusu

üretebileceğini söylemiştir. Konya sanayisinde Türkiye'deki sayılı dişli üreticisi firma olduğu düşünüldüğünde bu parçanın yaklaşık 1 MW kapasiteye kadar rüzgar türbinleri için üretimi mümkün görünmektedir. Toplam maliyet içerisinde yaklaşık %13 paya sahip olan bu parçanın Konya'da üretimi, şehir ekonomisi ve proje sonuçları açısından kayda değerdir.

1.10.4 Kaplin

Rüzgar türbini sistemlerinde yatak ve mil bağlantılarını sağlayan kaplinler yapılan ankette bağlantı elemanları başlığı altında sunulmuştur. Bu ve benzeri bağlantı elemanlarını üretebilecek firma sayısı Konya'da oldukça yüksektir. Bu alanı sınırlandıran konu kaplin bağlantısı yapılacak şaftların üretimidir.

1.10.5 Mekanik Fren

Mekanik fren ve hidrolik tertibatlar bu alanda değerlendirilmiştir. Frenler güvenliği sağlamak için hidrolik tertibatlar ise pitch kontrol, frenleme, naseli sabitleme vb işler için kullanılabilmektedir. Konya sanayisi fren ve hidrolik sistemlerde uzmanlaşmış bir sanayi yapısına sahiptir. Bu alanda faaliyet gösteren firmalar dünya çapında üretim yapabilmektedir. Yapılan araştırma neticesinde 2 MW bir türbinin hidrolik ve fren sistemlerinin imalatı mümkün olduğu sonucuna varılmıştır.

1.10.6. Jeneratör

Jeneratör kısmı türbinde verim ve güvenilirlik değerinin en önemli olduğu yerdir. Bu alanda Konya sanayisinde faaliyet gösteren firmalar vardır. 3 firma küçük ve orta kapasitedeki jeneratörleri üretebileceğini belirtmiştir. Ancak büyük kapasiteli (300 kW ve üzeri) türbinlerde kullanılacak kadar büyük kapasiteli üretim için büyük firmaların bir araya gelmesi gerekmektedir. Ancak jeneratör üretimi aynı zamanda know-how bilgisine ihtiyaç duyulabilecek bir alandır. Türbin üretiminde yüksek kapasitelere çıkılması açısından engel teşkil eden bir alandır.

1.10.7 Soğutma Ünitesi

Soğutma Türkiye'de ve Konya'da oldukça yoğun çalışılan parçalar ve sistem açısından yüksek teknoloji gerektirmeyen sistemlerdir. 2 firma ziyaretlerde bu parçayı üretebileceğini belirtse de Konya'da soğutma sistem parçalarını üreten ve üretebilecek çok sayıda firma

vardır. Ayrıca ısı değiştirici yapan firmaların da pazar oluştuğunda değerlendirebilecekleri bir alandır.

1.10.8. Yaw (Sapma) ve Pitch Sistemi

Yaw ve pitch sistemleri de servomotorlardan ve dişlilerden oluşmaktadır. Bu alanda Konya'da 500kW kapasiteli türbinlere uygun büyüklükte sistemler üretilebilir. Dişli kutusu üreten firmalar bu parçaları da üretebilmektedir.

1.10.9. Elektronik Kontrol Sistemi

Konya sanayisi endüstriyel otomasyon ve elektronik kontrol sistemlerinde oldukça tecrübelidir. Birçok firma yalnızca rüzgar enerjisi için değil tüm sistemler için kontrol ve otomasyon yazılımları ve sistemleri geliştirilebileceği belirtilmiştir.

Şekil 78. Nasel içi kontrol ünitesi

1.10.10. Kanatlar

Kanat üretimi türbin sistemlerinin en önemli kısmıdır. Rüzgar Türbinlerinin modellerine ve kapasitelerine göre kanat boylarında ve dizaynlarında farklılıklar olmaktadır. Ancak hemen hemen her model için üretilen kanatlar benzer yöntemler kullanılarak kompozit teknolojisi ile üretilmektedir. Rüzgar türbinlerinin kanatları; alüminyum, titan, çelik, elyaf ile güçlendirilmiş plastik (cam elyafı, karbon elyafı, vs.) ve ağaçtan imal edilmektedir. Modern

rüzgar türbinlerinin kanatlarının hemen hemen tamamı, cam elyafı ile güçlendirilmiş polyester veya epoksi gibi, cam elyafıyla plastikten üretilirler.

Türkiye'de bazı türbinlerin kanatları Enercon Aero Kanat Fabrikası (Enercon trb) ve Alkeg (Fuji Heavy Industries için kanat imalatı) (Alkeg'in rüzgar türbinleri için kompozit kanat üretimi, çelik kule üretimi ve montaj da yapmaktadır) üretilmektedir. Gerekli teknolojik bilgiler sunulduğunda uygun üretim metodolojisi ile 15 metreye kadar olan üretilebileceği gözlemlenmiştir. Bu uzunluktaki kanat ta yaklaşık 250-300 kW kapasiteli bir türbin anlamına gelmektedir. Ancak gerekli bilgi birikimi ve tecrübe elde edildikten sonra 500 kW kapasiteye kadar kanat üretimi yapılabilecek altyapıya sahiptir. Bu da lisanssız rüzgar türbini uygulamalarında oluşacak pazar açısından Konya'nın üretim üssü olabileceğini göstermektedir. Bu alanda özellikle Beyşehir merkez ve bazı köylerinde faaliyet gösteren tekne imalatçıları da değerlendirilebilir. Küçük tipli uygulamalar için Konya'daki pek çok firma modelini ve kalıbını yapabilir. Aynı şekilde üretim işlemi de mümkündür. Küçük tip türbin üreten ve Ar-Ge çalışmalarını sürdüren firmalar da mevcuttur. Üretim metodolojisi sistem parçaları kısmında detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Şekil 79. Kanat üretimi aşamasından resimler

Kanatların tasarımı aerodinamik teorisine dayanılarak gerçekleştirilmektedir. Uçakların kanatlarının tasarımında da aynı teori esastır. Rüzgar türbini kanadının kök kısmından uç kısmına gidildikçe kesitte değişim olmaktadır. Kanadın nacele birleşim yerinde oluşacak momentte, yüzeyine etkiyecek yüklerde ve uca doğru gidildikçe oluşacak yüksek çevresel hızlara, kanat boyuna ve yüzey genişliğine ve kalınlık dağılımı vb. gibi daha birçok tasarım parametresine göre profil kesitinin değişimi gereklidir (Karabağ, 2011).

Kanat üretimi için Konya sanayisi know-how veya ortaklık sistemlerini değerlendirmesi önemlidir. Bu yöntemleri izleyerek yatırım yapmayı hedefleyen firmalar vardr.

1.10.11. Göbek (Hub)

Göbek kanatların türbine bağlandığı kısımdır. Küçük güçlü (1-10 kW) ev tipi türbinlerde plakadan imal edilirken büyük güçteki (>100 kw) sanayi tipi türbinlerde boru ve küre ve geometrileri ile bunların uygun birleşimlerinden imal edilmektedir. Türbin kanatları küçük güçlerde göbeğe vidalanırken daha büyük güçlerde flanşlı bağlantı veya yuvarlanmalı yatak kullanılmaktadır. Yuvarlanmalı yatak bağlantısı kanadın döndürülebilmesine izin verdiği için büyük türbinlerde yaygın bir biçimde kullanılmaktadır.

Türbin göbeği çalışması süresince pek çok değişken kuvvetin etkisinde kaldığından tasarım ve üretimine çok önemlidir. Türbin göbeğinin tasarımının yorulmaya göre yapılması gerekmektedir. Bu nedenle kaynaklı tasarımlar genellikle uygulanamamaktadır. Özellikle küresel geometrili göbeklerin karmaşık geometrileri ve kaynaklı tasarımların uygunsuzluğundan dolayı bu tür göbeklerde döküm işlemi tercih edilmektedir. Normal dökme demirlerlerde, artan karbon oranına bağlı olarak ergime sıcaklığının düşmesinin döküm işlemini kolaylaştırması ve ekonomikleştirmesi nedeniyle döküme katılmış olan karbon atomları, katılaşma sırasında demir içersinde yayılı grafit taneleri şeklinde kümelenmektedirler. Bu taneler demir içersinde süreksizliğe neden olmaktadırlar. Grafitin basma dayanımı çok iyi olduğundan dökme demirin de basma dayanımı çok iyi olmaktadır. Ancak dökme demirin çekme dayanımı çeliğe kıyasla çok düşük kalmaktadır. Bunu giderebilmek için gerilme yığılmalarını azaltmak gerektiğinden döküm işlemine ağırlıklı olarak silisyum olmak üzere çeşitli alaşım elementleri eklendikten sonra katılaşmayı takiben yaklaşık 24 saatlik bir ısıl işlemle grafit tanelerinin küreselleşmesi sağlanmaktadır. Bu malzemeye de küresel grafitli dökme demir denmektedir.

Konya sanayisinde döküm ve işlemesi yapılabilecek bir parçadır. Tek seferde 10 tona yakın döküm yapabilen firmalar mevcuttur. 1,5 MW Vestas marka bir türbinin işlenmiş hun ağırlığı 12 ton olduğu bilindiğine göre döküm yapılabilecek türbin kapasitesi 1 MW civarında olduğu belirlenmiştir.

Şekil 80. Göbek (Hub)

1.10.12. Kule

Kulelerde çelik ve beton malzeme kullanılır. Kule tasarımı boru veya kafes seklinde olabilir. Kule tasarımındaki temel sorun, dinamik yapısıdır. Değişik rüzgar hızı altında meydana gelen titreşim serisi, kule ve rotor kanatlarının yorulmasına, gerilmesine sebep olur. Değişik rüzgar hızı altında kule, rotor ve gövde elemanlarının titreşimlere uygun aralıkta tutmak için komple model analizleri yapılır. Genellikle haddelenmiş çelikten bükme işlemi ile elde edilir. Ağırlığı ve büyüklüğü nedeniyle kurulum yapılacak bölgede üretilmesi tercih edilir. 60-100 metre yüksekliğinde olanların ortalama ağırlığı 200-400 tondur. Türkiye'de yerli üretim olarak bazı türbinlerin kuleleri (Enercon, GE vb.) Çimtaş, Alkeg tarafından yapılmıştır. Büyük kapasiteli bükme tezgahları ve kaynak işlemleri Konya'da da üretilebilir. En büyük dezavantaj türbinin kurulacağı yere nakliye edilme zorluğudur.

Şekil 81. Kule İmalatı

1.10.13. Rüzgar Türbini Sistem Parçalarının Nace Kodları

Rüzgar türbini sistem parçalarının üretimi ve parçaların tanımlanması için uygun sektörler değerkendirilmiş ve Çizelge 13b'de verilmiştir.

Çizelge 13b. Rüzgar Türbini Parçalarının Nace Kodları ve Açıklaması

PARÇA	ALT PARÇALAR	NACE KODU	KOD AÇIKLAMASI
DİŞLİ KUTUSU	Dişliler	49.C.28.15.03	Dişliler/dişli takımları, bilyeli ve makaralı vidalar, şanzımanlar, vites kutuları ve diğer hız değiştiricilerin imalatı (motorlu kara taşıtlarında kullanılan vites kutuları ve diferansiyelleri hariç)
	Kaplin	49.C.28.15.02	Debriyajlar (kavramalar) ve mil (şaft) kaplinlerin imalatı (üniversal mafsallar dahil) (motorlu kara taşıtlarında kullanılan debriyajlar hariç)
	Rulman	49.C.28.15.01	Rulmanlar ve mekanik güç aktarma donanımları imalatı (bilyeli ve makaralı rulmanlar, aktarma milleri (şaftları), kam ve krank milleri, kranklar vb. ile rulman yatakları, düz mil rulmanları vb.)
KULE	Kule	49.F.42.22.01	Kısa mesafe (yerel) elektrik ve telekomünikasyon (iletişim) hatlarının inşaatı (anten dahil iletim kuleleri ve trafo istasyonları ve yerel sınırlar içerisinde dağıtım alt istasyonları vb.)
		46.C.25.11.06	Metalden köprü ve köprü kısımları, kule, kafes direk, yapı iskelesi, beton kalıplar ve maden ocağı için destekler, bent, havuz ve bent kapağı, dok, vb. yapı ve yapı parçalarının, yapılar için tabaka, çubuk, köşebent, yüksek fırın iskeleti, vb. imalatı
	Kule Bağlantısı, Flanş	42.C.24.55.20	Çelik dökümü (yarı mamul çelik ürünlerin dökümü, dökme çelik dökümü, dikişsiz çelik boru ve boru bağlantılarının santrifüjlü dökme yöntemi ile üretimi ve dökme çelik tüp veya boru bağlantılarının imalatı)
NASEL (KABİN)		31.C.29.20.02	Motorlu kara taşıtları için karoser, kabin, kupa, dorse ve damper imalatı (otomobil, kamyon, kamyonet, otobüs, minibüs, traktör, damperli kamyon ve özel amaçlı motorlu kara taşıtlarının karoserleri)
		52.C.27.12.02	Elektrik devrelerinin anahtarlanması, korunması ve

PARÇA	ALT PARÇALAR	NACE KODU	KOD AÇIKLAMASI
			elektriğin kontrol ve dağıtımına özgü cihazların parçalarının imalatı (kumanda panosu için tablo, konsol, kabin vb. diğer mesnetler dahil, elektrik düğmesi, fişi ve prizi hariç)
DÜŞÜK HIZ VE YÜKSEK HIZ ŞAFTI		49.C.28.15.01	Rulmanlar ve mekanik güç aktarma donanımları imalatı (bilyeli ve makaralı rulmanlar, aktarma milleri (şaftları), kam ve krank milleri, kranklar vb. ile rulman yatakları, düz mil rulmanları vb.)
KAPLİN		49.C.28.15.02	Debriyajlar (kavramalar) ve mil (şaft) kaplinlerin imalatı (üniversal mafsallar dahil) (motorlu kara taşıtlarında kullanılan debriyajlar hariç)
MEKANİK FREN		31.C.29.32.20	Motorlu kara taşıtları için diğer parça ve aksesuarların imalatı (fren, vites kutusu, jant, süspansiyon sistemleri, amortisör, radyatör, egzoz, debriyaj, direksiyon kutusu, rot, rotbaşı, rotil vb.) (traktör, itfaiye araçları, vb. için olanlar dahil)
		54.C.27.90.01	Bys. elektrikli diğer ekipmanların imalatı (elektromıknatıslar, elektromanyetik kaplinler, frenler ve vinç başları ile elektrikli parçacık hızlandırıcılar, sinyal jeneratörleri vb.)
JENERATÖR		52.C.27.11.01	Elektrik motorları, jeneratörleri ve transformatörlerin imalatı (deşarj ampulleri ve tüpleri için balastlar, statik konvertörler, endüktörler, güç kaynakları, redresörler, invertörler, akümülatör şarj ediciler, vb. dahil)
		52.C.27.11.03	Elektrik motorları, jeneratörler ve transformatörlerin aksam ve parçalarının imalatı
SOĞUTMA ÜNİTESİ	ISI DEĞİŞTİRİCİ	48.C.28.25.04	Isı değiştirici birimlerin (eşanjörler), hava veya diğer gazların sıvılaştırılmasında kullanılan makinelerin ve hava/gazların filtrelenmesi ve arıtılması için kullanılan makine ve cihazların imalatı
	FAN	54.C.27.51.08	Ev tipi buzdolabı, dondurucu, çamaşır makinesi ve kurutma makinesi, bulaşık makinesi, vantilatör, aspiratör, fan, aspiratörlü davlumbaz, fırın, ocak, mikrodalga fırın, elektrikli pişirme sacı, vb. imalatı
YAW (SAPMA) SİSTEMİ	DİŞLİ SİSTEMİ	49.C.28.15.03	Dişliler/dişli takımları, bilyeli ve makaralı vidalar, şanzımanlar, vites kutuları ve diğer hız değiştiricilerin imalatı (motorlu kara taşıtlarında kullanılan vites kutuları ve diferansiyelleri hariç)
	SERVO MOTOR	52.C.27.11.01	Elektrik motorları, jeneratörleri ve transformatörlerin imalatı (deşarj ampulleri ve tüpleri için balastlar, statik konvertörler, endüktörler, güç kaynakları, redresörler, invertörler, akümülatör şarj ediciler, vb. dahil)
ELEKTRONİK KONTROL SİSTEMİ		52.C.27.12.01	Elektrik devresinin anahtarlanması, korunması ile elektriğin kontrol ve dağıtımına özgü cihaz imalatı (sigorta, otomatik devre kesici, röle, yalıtım, devre ve yük ayırıcı anahtarlar, paratoner, voltaj sınırlayıcı, dalga bastırıcı, vb.)
		48.C.33.20.51	Elektrikli ekipmanların kurulum hizmetleri (elektrik motorları, jeneratörler ve transformatörlerin, elektrik dağıtım ve kontrol cihazları ile diğer elektrikli ekipmanların kurulumu (yollar, vb. için elektrikli sinyalizasyon ekipmanları hariç))
KANATLAR	KALIP	47.C.25.7.5.03	Plastikten kalıp ve döküm modeli imalatı (kek ve ayakkabı kalıpları hariç)

PARÇA	ALT PARÇALAR	NACE KODU	KOD AÇIKLAMASI
	MALZEME	51.C.20.6.0.01	Kardelenmemiş ve taranmamış suni elyaf imalatı
PITCH SİSTEMİ	DİŞLİ SİSTEMİ	49.C.28.1.5.03	Dişliler/dişli takımları, bilyeli ve makaralı vidalar, şanzımanlar, vites kutuları ve diğer hız değiştiricilerin imalatı (motorlu kara taşıtlarında kullanılan vites kutuları ve diferansiyelleri hariç)
	SERVO MOTOR	52.C.27.1.1.01	Elektrik motorları, jeneratörleri ve transformatörlerin imalatı (deşarj ampulleri ve tüpleri için balastlar, statik konvertörler, endüktörler, güç kaynakları, redresörler, invertörler, akümülatör şarj ediciler, vb. dahil)
GÖBEK (HUB)		42.C.24.5.1.13	Demir döküm (yarı mamul demir ürünlerin dökümü, gri demir dökümü, küresel grafit demir dökümü, dövülebilir dökme demir ürünleri dökümü, tüpler, borular ve içi boş profiller ile dökme demirden tüp ve borular ile bunların bağlantı parçalarının imalatı)
ŞEBEKE BAĞLANTISI		79.F.42.2.2.04	Kısa mesafe (yerel) elektrik ve telekomünikasyon (iletişim) hatlarının inşaatı (anten dahil iletim kuleleri ve trafo istasyonları ve yerel sınırlar içerisinde dağıtım alt istasyonları vb.)
İNVERTÖR		52.C.27.1.1.01	Elektrik motorları, jeneratörleri ve transformatörlerin imalatı (deşarj ampulleri ve tüpleri için balastlar, statik konvertörler, endüktörler, güç kaynakları, redresörler, invertörler, akümülatör şarj ediciler, vb. dahil)
AKÜMÜLATÖR		52.C.27.2.0.03	Akümülatör imalatı (kurşun asitli, nikel kadmiyum, nikel metal hidrit, lityum-iyon, lityum polimer, nikel demir ve diğer elektrik akümülatörleri)
ŞARJ KONTROLÜ		52.C.27.1.2.01	Elektrik devresinin anahtarlanması, korunması ile elektriğin kontrol ve dağıtımına özgü cihaz imalatı (sigorta, otomatik devre kesici, röle, yalıtım, devre ve yük ayırıcı anahtarlar, paratoner, voltaj sınırlayıcı, dalga bastırıcı, vb.)

1.10.14. Konya Sanayisinde Rüzgar Türbini Sistem Parçalarının Üretimi İle İgili Firmalar

Çizelge 14. Rüzgar Enerjisi Konya Üretim Yapabilecek Firmalar

	FİRMA ADI	SEKTÖRÜ
1.	Akdeniz Pano	Elektrik Elektronik kontrol
2.	Akkuşlar Otomativ	Fren Kampanası Ve Diski 100.000 Adet/yıl
3.	Aktif Akü	Akü imalatı
4.	Alçelik Profil Sanayii ve Ticaret Limited Şirketi	Profil İmalatı
5.	Altun Döküm Sanayi A.Ş.	Döküm
6.	Anka Kalıp Ve Üretim San. Aş.	CNC İşleme-Kalıp Talaşlı İmalat
7.	Asil Civata	Civata Bağlantı El. Kanca vs
8.	Aydınhan Kalıp	Kanat kalıbı
9.	Aydınlar Yedek Parça Otomotiv San.Tic. A.Ş.	İşleme, press hidrolik
10.	Ayetek Wind	Türbin Üretimi, Tasarımı
11.	Azim Gödeneli Döküm San. Ve Tic. Aş.	Büyük Döküm

	FİRMA ADI	SEKTÖRÜ
12.	BAF Enerji Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi	Türbin kanadı, Türbin
13.	Batuhan Cnc Makına Sanayı Ve Tıcaret Ltd Stı	Elektrik-Elektronik Kontrol
14.	Bilir Metalurji	Pik-Sfero Döküm Tek Parçada 2 Ton Döküm
15.	Bizcanlı Redüktör A.Ş.	Redüktör-Dişli Kutusu Motor 40.000 dişli Kutusu/Yıl
16.	Ceylan Freze Otomotiv	Hırdavat, işleme
17.	Çavuş Demir Metal İşleri Gıda İhtiyaç Mad. In. Taah. San. Ve Tic. Ltd. Şti.	Elektrik Direkleri
18.	Derman Akü	Akü imalatı
19.	Detay Elektronik	Elektrik Elektronik kontrol
20.	Erdiren Dişli	Dişli kutusu, dönen yatak
21.	FMC Hidrolik Sistemleri Mak. San. Ve Tic. Ltd. Şti.	Hidrolik Sistemler
22.	Genmot	Krank Mili
23.	Gülmez Makina	CNC İşleme
24.	Hantaş Hidrolik Makina Sanayi Ve Tic. A.Ş.	Büyük İşeme Tezgahları
25.	Hidrokon	Vinç Platform 60 Makina/Ay
26.	Kavas Elektronik	Elektrik-Elektronik Kontrol
27.	Kayahanlar Makina San.İc Ve Dıs Tic.A.Ş.	Hidrolik üretimi, Büyük kapasiteli işleme
28.	Kondöksan Döküm San. Ve Tic. Ltd. Şti.	5400 Ton/Yıl Izgara Çelik Döküm, Dişli, Hub
29.	Konya Bobinaj	Jeneratör
30.	Konya Metalurji	2500kg Kadar Tek Parça Pik Döküm 5000 Ton/Yıl
31.	Kys Kürkcüoglu Döküm Rulman Yatakları ve Oto. San. Tic. Ltd. Şti.	Döküm Sanayi
32.	Lukas Dış Ticaret Ltd. Şti. Süt Sağım Makineleri	Çelik Tank, Nasel
33.	Makkon Mühendislik Makine San. Tic. Ltd. Şti.	Akü Batarya
34.	Meram Kablo Sanayii	Kablo Sanayii
35.	Mert Makina San Ve Tic. A.Ş.	Konkasör
36.	Mesa Makine Döküm A.Ş.	Otomotiv, İş Makinesi ve Enerji Kampana Dişli Gövdeleri, Fren Diskleri 7500ton/Yıl
37.	Mirac Makina	Plastik Çekici Paletleri Havalı Kesici İmalatı
38.	Motus Döküm	Mekanik Güç Aktarma Sist.
39.	Mpg Makina İmalat San. Ve Tic. A.Ş.	Vinç İmalatı, türbin parçaları
40.	Örs Makina Ve Tesisat San. Tic. Ltd. Şti.	Havalandırma Egzoz Filtre
41.	Özaksa Şanzıman	Otomotiv Sanayi
42.	Özden Yem Makina Sanayi Ve Tic. Ltd. Şti.	Yem Makinaları
43.	Özgençoğlu Metal Alüminyum San. Tic. Ltd.	Metal Sanayi

	FİRMA ADI	SEKTÖRÜ
	Şti.	
44.	Özolgun Elektrik	Her Tür Pano Off-Grid sistemler
45.	Öztekfen Redüktör Motor Sanayi Ve Ticaret A.Ş.	Motor ve Jeneratör
46.	Santes Elektrik Bobinaj Motor	Elektrik Motor
47.	Sempa Ltd. Şti.	Pompa
48.	Sözsel Yatağanlı Tarım Mak. San. Ve Tic. Ltd. Şti.	Fren ve İşleme
49.	Şahin Bombe Makineleri	Sac Bükme
50.	Şakalak Tarım Makinaları San. Ve Tic. A.Ş.	Fren ve İşleme
51.	Şalt Otomasyon Elek. Elektronik San. Tic. Ltd.Şti	Otomasyon
52.	Tavsan Sac Bombe Üniteleri ve Aydınlatma San. Tic. Ltd .Şti	Sac Bükme
53.	Telefoncular Profil Sanayi Ticaret Ltd. Şti.	Profil Metal Sanayi, Saç bükme
54.	Tuncay Tabela Reklam. Tic. Ltd Şti.	Reklam Tabela, küçük tip rüzgar türbini imalatı
55.	Türköz Makina Sanayi A.Ş.	Sac işleme
56.	Üniversal Bobinaj	Elektrik Motor
57.	Yükselen Metal Kalıp Plastik Ve Mak. San. Tic. Ltd. Şti.	Kalıp Sanayi
58.	Zafer Dişli Sanayii	Dişli Sanayii

1.10.15. Rüzgar Türbinlerinde Malzeme Kullanımı

Rüzgar türbinlerinin yapımında çok çeşitli malzemeler kullanılmaktadır. Rüzgar türbinlerinden yüksek verim elde edilmesi, her birim için uygun malzemenin seçilmesiyle mümkündür. Bu nedenle, tüm koşullarda malzeme gelişim ve davranışları incelenmektedir. Türbin malzemelerindeki ekonomik ve teknolojik gelişimlerle beraber büyük rüzgar türbinlerinin kullanımı geniş oranda artmakta ve artmaya devam etmektedir. Küçük ve büyük türbinler arasında, kullanılan malzemeler açısından farklılıklar vardır. Ayrıca yeni malzeme teknolojileri ve üretim yöntemlerinde yapılan çalışmalarla dizayn değişikleri tasarlanmaktadır. Çizelge 14'de küçük ve büyük rüzgar türbinlerinde kullanılan malzemeler gösterilmektedir.

Küçük ve büyük türbinler arasındaki üretim ve tasarım eğilimleri farklıdır. Küçük türbinlerin yapımında, maliyeti azaltmak için daha hafif döküm malzemeler tercih edilir. Küçük türbinlerde birçok parçada basınçlı alüminyum döküm, büyük türbinlerde ise, dayanım ve yapısal yorulma nedeniyle, çelik dökümler veya dövme malzemeler kullanılmaktadır. Ancak büyük türbinlerde, özellikle kanat gövdesinin üretiminde, döküm boyutu çeşitli zorluklara neden olmaktadır. Malzemelerin yorulma özellikleri, rüzgar türbini tasarım ve

malzeme seçiminde önemli bir yer tutmaktadır. Rüzgar türbininin tahmin edilen 30 yıllık ömrü süresince, bileşenlerin çoğu $4x10^8$ yorulma gerilim çevrimlerine dayanabilmelidir.

Çizelge 14. Rüzgar Türbinlerinde Kullanılan Malzemeler

Büyük Türbinler (Küçük Türbinler)								
Parça/ Malzeme (Ağırlıkça %)	Kalıcı Manyetik Malzemeler	Baskı uygulanmış Beton	Metal	Aluminyum	Bakır	CTP	Ağaç Epoksi	Karbon lif Takviyeli Plastik
Rotor								
Göbek Kısmı			(95)-100	(5)				
Kanat			5			95	(95)	(95)
Nacelle	(17)		(65)-80	3-4	14	1-(2)		
Dişli Kutusu			98-(100)	(0)-2	(<1)-2			
Jeneratör	(50)		(20)-65		(30)-35			
Kapak, Ekipman ve Kasa			85-(74)	9-(50)	4-(12)	3-(5)		
Kule		2	98	(2)				

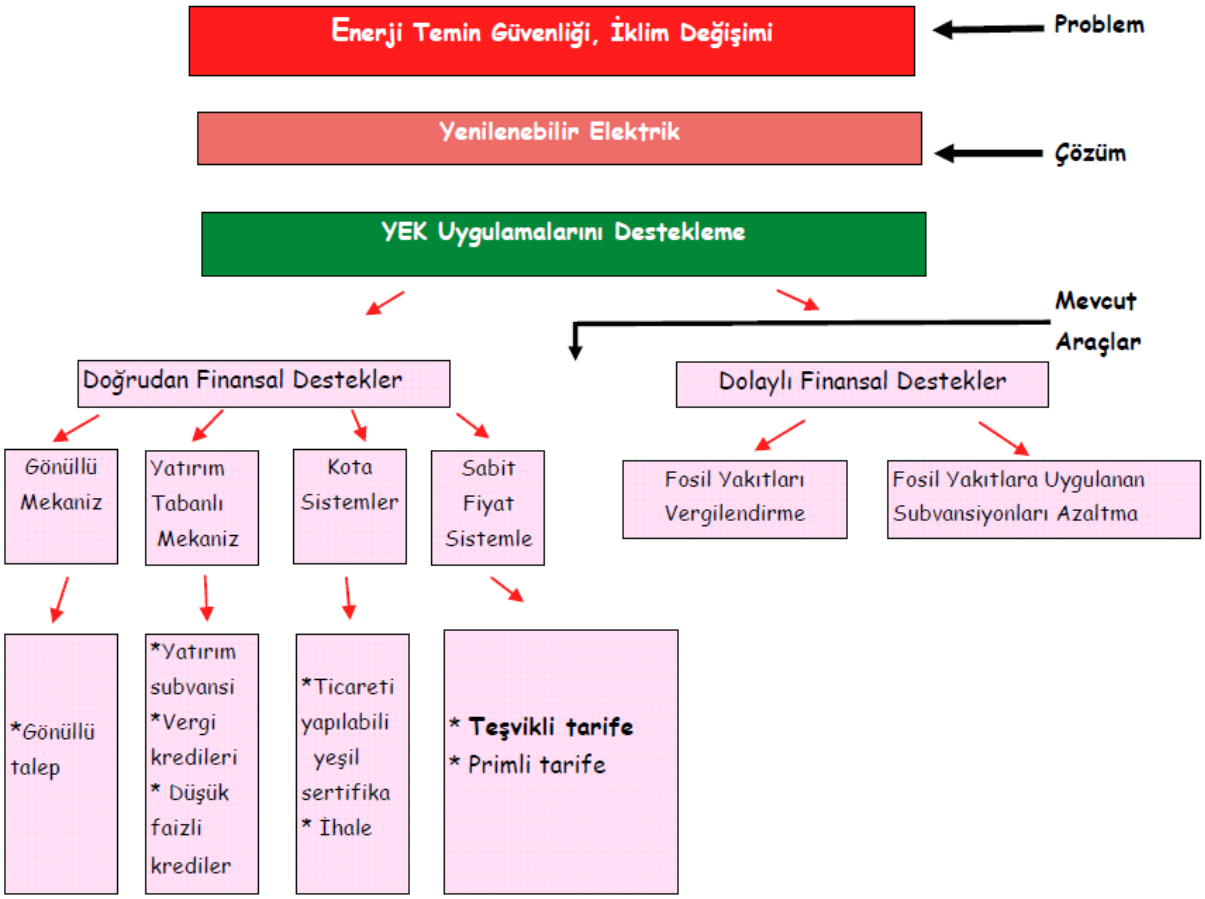
Notlar:

1. 100kW altındaki Türbinler Küçük Türbin olarak sınıflandırılmıştır. Parantez içindeki değerler Küçük Türbin içindir.
2. Nacelle; 1/3 Dişli Kutusu, 1/3 Jeneratör ve 1/3 Kapak ve diğer ekipmanlar olarak kabul edilmiştir.
3. Küçük Türbin pazarının yarısı, dişli kutusu olmayan direct-drive sistemli olarak kabul edilmiştir.
4. Rotor kanatları CTP, Epoksi veya karbon takviyeli plastiktir.

1.11.Dünyada Rüzgar Enerjisi Teşvikleri

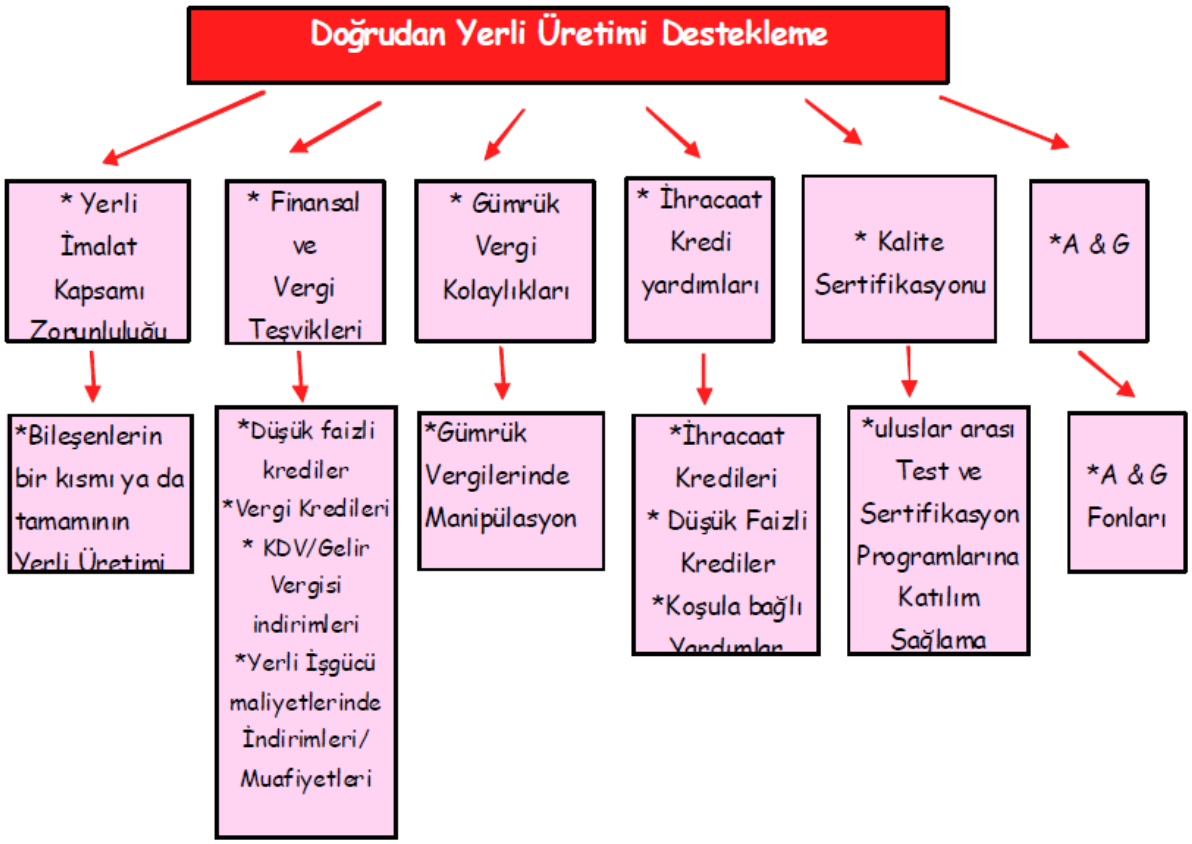
Avrupa Birliği'nin 2020 yılındaki hedefi sera gazı yayımını 1990 yılındaki değere göre %20 azaltmaktır. Bu nedenle de yenilenebilir kaynaklarının kullanımına, özellikle de rüzgar enerjisinin kullanımına büyük önem vermektedirler. Avrupa Birliği ülkelerinde rüzgar enerjisi kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik değişik oranlarda teşvikler uygulanmaktadır (EWEA, 2009; Salmanoğlu, 2009).

Sürdürülebilir enerjiye katkıları nedeniyle dünyada pek çok ülke rüzgar enerjisi başta olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimini desteklemektedir. Bu ülkeler bu kaynakların kullanımının yaygınlaşmasını teşvik etmenin yanı sıra oluşturulan bu talebi karşılamak için yerli teknoloji üretiminin gelişimi için de uygun politikalar geliştirmeye çalışmaktadır. 1980'ler ve 1990 yılların başlarında destek politikalarını uygulayan birkaç ülke varken 1998-2005 ve özellikle 2005-2011 yılları arasında bu tür politikaları benimseyen ve uygulayan ülke, eyalet, şehir vb. sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Rüzgardan elektrik üretiminin yaygınlaşmasında kullanılan destek türleri Şekil 82 ve 83'de gösterilmiştir.



Şekil 82. Rüzgardan elektrik üretiminin yaygınlaşmasında kullanılan destek sistemleri

Rüzgar enerjisinin yaygınlaştırılmasına kullanılan teşvik mekanizmaları temelde doğrudan finansal destek sağlama ve dolaylı finansal destek sağlama olarak iki ayrı kategoride incelenebilir. Doğrudan finansal destekler içerisinde en yaygın kullanılanlar sabit fiyat sistemleri uygulamaları olan teşvikli sabit fiyat ve prim garantili sistemler, kota uygulamalarına dayanan yeşil sertifika ve ihale sistemleri ile yatırım tabanlı sistemlerdir. Yaygınlaştırmada kullanılan dolaylı finansal destekler ise fosil yakıtları vergilendirme ve bu yakıtlara uygulanan subvansiyonların azaltılması şeklinde uygulanmaktadır. Yerli rüzgar gücü teknolojisinin doğrudan destekleyen mekanizmalar ise yerli üretim zorunluluğu, finansal ve vergi teşvikleri, ihracat kredi yardımları, kalite sertifikasyonu ile araştırma ve geliştirme destekleri şeklindedir. Yerli üretimi teşvik etmede kullanılan mekanizmaların bazıları hem uluslararası hem de yerli şirketlerin yerli üretimi için geniş kapsamlı destek sağlarken, diğerleri yerli rüzgar türbini veya türbin bileşen üreticilerine farklı destekler sağlar. Bugün rüzgar enerjisinde lider konumda olan birçok ülke (Almanya, Danimarka, İspanya, Çin vb.) bu destekleri karma bir şekilde kullanmış veya kullanmaktadır (Altuntaşoğlu, 2011).



Şekil 83. Yerli rüzgar teknolojisi üretimi destekleme sistemleri

Subvansiyonlar, özel şirketlerin yatırım için cazip bulmadığı alanlarda ilk yatırımların teşvik edilmesinde özellikle önemli bir mekanizmadır ve genellikle belirli bir süre için uygulanır. Bu süre, teknolojinin ortaya çıkması ve rekabet edebilir hale gelmesi için geçerli süredir. Bu tür destekler toplam maliyetin belli bir yüzdesi (Danimarka, İsveç ve Almanya'da uygulanmış olduğu gibi) veya kurulu gücün belli bir miktarı (Hollanda'daki gibi) olarak iki farklı şekilde uygulanabilir. Örneğin Danimarka, 1979 yılında bu tür sistemin kullanıldığı ilk ülkedir. Program, toplam yatırımın % 30 'una doğrudan destek verilmesi ile başlayıp 10 yıl süre ile gittikçe azalan oranlarda sürmüş ve 1989'da subvansiyon % 10 'a kadar düştüğünde sona ermiştir.

Vergi kredileri ve finansal teşvikler diğer politikaların yanında tamamlayıcı bir rol oynamaktadır. Vergi teşvikleri yatırımcının vergi yükünü, yatırım yapılan miktarın bir parçası olarak azaltır ve ekonomik güvenlik sağlar. Birçok ülke çok farklı tiplerdeki finansal teşvikleri rüzgar gelişmelerini özendirmek için kullanmaktadır.

Kota sistemi veya *Yenilenebilir Portföy Standardı (RPS)* sabit fiyat sistemlerinden sonra yaygın olarak kullanılan diğer bir sistemdir. Bu sistem "*Yenilenebilir Elektrik Standardı", "Yenilenebilir Zorunluluğu", "Zorunlu Piyasa Payları"* olarak da bilinir. Kota/RPS, tedarikçi, tüketici ya da üreticilere satış, tüketim ya da üretim portföylerinin belli bir yüzdesinin yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşması yönünde bir zorunluluktur. Kotanın sağlanamaması halinde ceza uygulaması öngörülebilir veya öngörülmeyebilir. Kota uygulamasının işleyebilmesi üretimin ilgili yasal düzenlemelerde belirtilen yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı olarak gerçekleştirildiğinin belgelenmesini (yeşil sertifika, yenilenebilir etiket veya yenilenebilir belgesi) gerektirmektedir. Sertifika sisteminin temeli yenilenebilir enerji tesisinin iki farklı ürün üretmesidir; ilki ticari mal olan elektrik diğeri sertifika. Bu iki ürününün ayrı ayrı alım-satımı yapılabilmektedir. Sertifikalar yenilenebilir enerji üreticilerine verilir, yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektrik ise "piyasa fiyatından" satılır. Bazı ülkelerde kaynağa göre farklılık gösterebilmekle beraber tipik olarak 1 MWh değerindeki yenilenebilir elektrik üretimi 1 yeşil sertifikaya karşılık gelmektedir. Günümüzde Fransa, Kanada, Çin, Hindistan vb ülkelerde ihale uygulamaları kullanılmaktadır.

Teşvikli sabit fiyat tarifesi yenilenebilir kaynaklara dayalı elektrik üreten ve sisteme veren üreticilere üretimlerinin belirlenen sürede belirlenmiş bir sabit fiyattan satın alınmasına güvence verilmesine dayanır. Doğrudan kararlı ve karlı bir piyasa sağladığı için yenilenebilir elektrik üretiminin yaygınlaştırılmasında en etkili yoldur ve üreticilere gerçek bir güven verir. Rüzgar enerjisinin yaygınlaştırılmasında en başarılı sistemdir. Almanya, Danimarka ve İspanya bu yöntemi kullanarak başarı sağlamış ve oldukça büyük ve kararlı rüzgar piyasası oluşturmuş ülkelerdir. 2011 yılı başlarında bu sistemi uygulayan ülke sayısı 61 ve eyalet/il sayısı ise 26 ya ulaşmıştır (REN21, 2011)

Gönüllü Mekanizmalar; yeşil enerji tüketenlerin bu enerjiye gönüllü olarak piyasa fiyatı üzerinde para ödemelerine dayanır. Yeşil enerji satın alma ve etiketleme de bu tür uygulamalardandır. Yeşil enerji satın almanın üç temel aracı vardır. Bunlar, Şebeke yeşil fiyatlandırma programları, yeşil piyasa ve yenilenebilir enerji sertifikalarının gönüllü ticaretidir. Halen Avrupa, ABD, Avustralya, Japonya ve Kanada'da 6 milyondan fazla yeşil enerji tüketicisi mevcuttur.

Yerli imalat kapsamı zorunluluğu yerli rüzgar üretim endüstrisi gelişimini doğrudan teşvik etmede en etkili yoldur. Bu mekanizmanın genel şekli, ülke içinde tesis edilecek rüzgar projelerinin tamamı veya bir kısmının yerli üretim olarak sağlanması zorunluluğudur. Bu tür

politikalar yerli pazara satış yapan şirketlerin üretimlerinin bu ülkeye kaydırılması veya dış pazarlardan sağlanan türbin bileşenlerinin yerli pazardan temin edilmesi için yollar aranmasına yol açar. İspanya'da 1995 yılında kurulmuş olan Gamesa ve diğer yerli türbin üreticilerin başarısı bu politikalarla yakından ilgilidir. Bugün bile yerli üretim zorunluluğu Castile ve Leon, Galicia ve Valencia'nın gibi birçok İspanyol özerk bölgesel hükümeti tarafından rüzgar gücünde yerel zenginlik yaratmak amacıyla uygulanmaktadır. Bu uygulama Kanada, Brezilya ve Çin'de de kullanılmakta. Örneğin Mayıs 2003'de Hydo-Quebec, 2006-2012 yıllarında yapılacak ve yerli üretim zorunluluğu içeren 1000 MW'lık rüzgar kurulu gücü için yaptığı ihale çağrısında yerli üretim ve istihdam yaratılması amacıyla kurulması planlanan rüzgar gücünün belli bir yüzdesinin bölgede harcanması zorunluluğu getirdiği bilinmektedir. Bu zorunluluk, ilk 200 MW'lık rüzgar kurulu gücünün toplam maliyetinin % 40'ı, sonraki 100 MW'ın toplam maliyetinin % 50'sinin ve geriye kalan 700 MW için ise toplam maliyetinin % 60'ının bölgeden sağlanması şeklinde uygulanmaktadır.

Finansal teşvikler; proje finansmanı için düşük faizli kredi oranları ile yerli üretim türbinleri seçen veya yerli türbinler kullanarak üretilen rüzgar enerjisine finansal sübvansiyon sağlayan girişimcileri ödüllendirme şeklinde uygulanmaktadır.

Vergi teşvikleri yerli şirketlerin rüzgar endüstrisine katılımını özendirmek için de kullanılır. Yerli rüzgar türbin teknolojisi alıcı ve satıcılarına uygulanacak KDV veya gelir vergisi indirimleri yerli üreticilerin rekabet etmesini kolaylaştırır. Yerli rüzgar endüstrisindeki işçilik maliyetlerine vergi indirimleri uygulamak kullanılabilecek diğer bir yöntemdir. Kanada büyük rüzgar türbin üreticilerinin üretimlerinin Kanada'ya çekilmesinin özendirilmesinde yerli işgücüne ödenen ücretlere vergi kredisi uygulamaktadır. Yerli üretime daha fazla teşvik sağlamak amacıyla, Quebec hükümeti programı bölgede yerleşmiş olan rüzgar endüstrisi işgücü maliyetlerine % 40 vergi kredisi ve 2010 yılına kadar tüm üretim sektörü için vergi muafiyetleri uygulamıştır. İspanya'da rüzgardan üretilen elektriğe verilen vergi üretim kredisi sadece yerli üretim zorunluluğunu sağlayan türbinlere verilmektedir. Yerli üretim için teşvik oluşturmanın diğer yolu tüm türbin yerine, türbin bileşenlerinin ithalatını desteklemek için **uygun gümrük vergileri** uygulanması yani gümrük vergilerinde manipülasyon yapılmasıdır. Bu mekanizma yapısına bakılmaksızın türbin bileşenlerini ithal eden firmalara tüm türbin ithal edenlerden daha düşük gümrük vergisi sağlayarak elverişli bir pazar oluşturur. Bu tür gümrük vergileri Danimarka, Almanya, Avustralya, Hindistan ve Çin'de kullanıldı. Bununla birlikte günümüzde bu tür bir politika, ticari bir engel oluşulması olarak görülebileceği ve bu

nedenle de Dünya Ticaret Örgütü üyesi bir ülkenin diğer üye ülkelere uygulamasında sakıncalar oluşturabilir.

İhracat kredi yardımları yerli rüzgar gücü endüstrisinin dış pazarlarda büyümesini yardımcı olmak amacıyla yerli üreticilere hükümet tarafından sağlanan yardımlardır. Bu tür ihracat yardımı, türbin üreticisinin bulunduğu ülkeler tarafından verilen düşük faizli krediler veya bir koşula bağlanmış yardımlar şeklinde olabilir ve kullanımı ülkelerin bu teknolojiyi bu ülkeden satın almasına dayanır. Yerli rüzgar teknolojisinin kullanımı koşuluna bağlanmış ihracat kredi yardımı ve gelişme yardım kredileri birçok ülke tarafından kullanılmakta. En yaygın olanlar Alman ve Danimarka teknolojilerinin özellikle gelişmekte olan ülkelerde yayılmasını teşvik eden Almanya ve Danimarka uygulamalarıdır. Örneğin Danimarka'da Danimarka Gelişim Ajansı (DANIDA) Danimarka türbini ithal eden ülkelere proje geliştirme kredileri ve doğrudan hibeler önermektedir. Yeni geliştirilen türbinlerin güvenilirliğini ve kalitesini teşvik etmenin temel yolu **uluslararası standartları yakalayan test ve sertifikasyon programlarına katılımını** sağlamaktır. Bu tür programlar yeni ortaya çıkan ürüne karşı tüketici güveninin oluşturarak yerli üretimi yapılan türbinlerin kalite ve güvenirliğini teşvik edebilir. Danimarka rüzgar türbin teknolojisinde standardizasyon ve kalite sertifikasyonu uygulayan ilk ülkedir ve halen bu alanda dünya lideridir. Kalite sertifikasyon ve standardizasyon programları Almanya, Japonya, Hindistan, ABD ve Çin'de de kullanılmaktadır (Modenca, 2009).

Araştırma ve Geliştirme rüzgar türbinleri için kamu araştırma desteğinin sürdürülmesi yerli rüzgar endüstrisinin başarısında gerekli bir araçtır. Araştırma ve Geliştirme fonları birçok ülke tarafından farklı oranlarda rüzgar türbin teknoloji gelişimlerine tahsis edilmektedir. Bugün lider konumda olan ve dünya pazarına rüzgar türbini sağlayan türbin üreticilerinin çoğu (Vestas, Siemens (Danimarka) Gamesa (İspanya), Enercon (Almanya), GE (ABD), Sinovel, Goldwind, Dongfang, United Power (Çin), Suzlon (Hindistan) vb) rüzgar enerji teknolojisi araştırma ve geliştirme çalışmaları sonucunda ortaya çıkmıştır.

Destek sistemleri uygulamalarının bir sonucu olarak dünya kurulu rüzgar gücü 1996 yılında 6,1 GW'tan 2010 yılı sonunda yaklaşık olarak 198 GW'a ulaşmıştır. (Altuntaşoğlu, 2011). Sonuç olarak dünyada denenen ve başarılı olmuş destek sistemleri içinde yerli üretimin artırılmasına yönelik destekler oldukça önemlidir. Çünkü yerli üretim olmadan yapılan teşvikler ülkenin dünya çapındaki üretici firmaları desteklemesi anlamına gelmektedir.

Çizelge 15. Dünyada RES Teşvikleri

Ülke	Temel Teşvik Mekanizmaları	Açıklama
Danimarka	Karadaki rüzgar santralleri (onshore) için sabit fiyat ve prim garantisi, denizdeki (offshore) santraller için ihale	**Karadaki rüzgar santralleri:** Piyasa fiyatına ilave 13 €/MWh prim (20 yıl), ayrıca dengeleme maliyetleri için 3 €/MWh iade edilmesi ile toplam tarife yaklaşık 57 €/MWh'e yaklaşır. **Denizdeki rüzgar santralleri:** 66-70 €/MWh (yani piyasa fiyatı artı 13 €/MWh prim). Gelecekte kurulacak denizdeki rüzgar santrallerine ihale sistemi uygulanıyor, dengeleme maliyetleri malikler tarafından karşılanıyor.
Almanya	Sabit fiyat garantisi	**Karadaki rüzgar santralleri:** en az 5 yıl için 83 €/MWh, geriye kalan 15 yıl için 52.8 €/MWh (tarifede yılda % 2 azalma) **Denizdeki rüzgar santralleri: :** en az 12 yıl için 91 €/MWh, geriye kalan 8yıl için 61.9 €/MWh (tarifede yılda % 2 azalma)
İspanya	Sabit fiyat garantisi ile primli tarife arasında seçim	Tavan ve taban fiyat uygulamasına sahip prim garantisi sistemi uygulanmakta. Sabit fiyat tarife: < 5 MW ve >5 MW için 68.9 €/MWh, Süre yok ancak sabit tarife 15, 20 ve 25 yıl içerisinde azalıyor. Primli Fiyat tarife: < 5 MW ve >5 MW için 38.4 €/MWh Toplam 6 oturuma sahip gün-içi piyasa sayesinde gün içinde oluşan dengesizlikler azaltılmakta ve rüzgar enerji üreticilerine avantaj sağlanmakta
İngiltere	Kota zorunluluğu olan Yeşil sertifika Vergi muafiyetleri	Elektrik tedarikçilerine yeşil sertifikaya dayanan zorunluluk var. YEK-e zorunluluğu 2015'e kadar artacak (2005: % 5.5, 2015: % 15.4) ve bu zorunluluk 2027 yılına kadar en az bu seviyede kalacak. Zorunluluğa uymayan şirketlere ceza uygulaması var (2005: 65.3 €/MWh) Ayrıca YEK-e üreticilerine vergi muafiyetleri var (iklim değişimi vergisinden muafiyet sağlayan vergi muafiyetleri sertifikaları)
İtalya	Kota zorunluluğu olan Yeşil sertifika	Yeşil sertifikalara dayanan zorunluluk elektrik üreticileri ve ithalatçılarına uygulanmakta. Biyokütle dışındaki YEK-e kapasitesinin ilk 12 yıllık işletme süresinin ilk 8 yılında üretilen elektriğin % 100'ü, geri kalan 4 yılında ise % 60'ı için sertifikalar verilmekte. 2005 yılında ortalama sertifika fiyatı 109 €/MWh
İrlanda	Sabit fiyat garantisi	2006'dan beri uygulanan 15 yıl garantili sabit fiyat tarifesi > 5 MW için 59 €/MWh, < 5 MW için 57 €/MWh
Finlandiya	Vergi Muafiyetleri ve Yatırım subvansiyonları	Vergi muafiyetleri ve subvansiyonlarının karışımı. Rüzgar için 6.9 €/MWh vergi iadesi, %40'a kadar yatırım subvansiyonu
Bulgaristan	Zorunlu satın alma fiyatı	1 Ocak 2006'dan sonra kurulan santraller için 12 yıl süre ile uygulanan fiyatlar: etkin işletme süresi > 2250 saat/yıl için 79.8 €/MWh, etkin işletme süresi < 2250 saat/yıl için 89.5 €/MWh

1.12.Rüzgar Türbinleri Alanında Uluslararası Standartlar

Rüzgar türbinleri ile ilgili uluslararası standartlar International Electrotechnical Commision'ın Technical Committe 88 tarafından 1988'den beri derlenmektedir. Technical Committee 88'in; standartları, teknik raporları ve teknik spesifikasyonları oluşturan veya revize eden çalışma grupları, proje takımları ve güncelleştirme takımları vardır. IEC tarafından oluşturulan standartlara ilave olarak, CENELEC'in Technical Committee 88'in

çeşitli Avrupa çalışma grupları tarafından derlenen kendi EN standartları vardır. Aşağıda listelenen dokümanlar, sadece başlıkları ile verilmiş olup, yayımlanma tarihleri belirtilmemiştir.

Çizelge 16. Rüzgar Enerjisi Alanındaki Uluslar arası Standartların Listesi

STANDART NUMARASI	İÇERİK
IEC 60050-45	International Electrotechnical Vocabulary-Part 415 : Wind turbine generator systems.
IEC 61400-1	Safety Requirements
IEC 61400-2	Safety Requirements of Small Wind Turbines
IEC 61400-3	(Committee Draft) Design Requirements for Offshore Wind Turbines
IEC 61400-4	Gears
IEC 61400-5	Wind turbine rotor blades
IEC 61400-11	Acoustic Noise Measurement Techniques
IEC 61400-12	Wind Turbine Power Performance Testing
IEC 61400-121	(Committee Draft) Power Performance Measurements of Grid Connected Wind Turbines
IEC 61400-13	Measurement of Mechanical Loads
IEC 61400-14	Declaration of apparent sound power level and tonality values
IEC 61400-21	Measurement and Assesment of Power Quality Characteristics of Grid Connected Wind Turbines
IEC 61400-22	Conformity testing and certification
IEC 61400-23	Full-scale Structural Testing of Rotor Blades
IEC 61400-24	Lightning Protection
IEC 61400-25	(Committee Draft) Communication Standard for Control and Monitoring of Wind Power Plants
DIN EN 61400-1	Safety requirements
DIN EN 61400-2	Safety of small wind turbines
DIN EN 61400-11	Acoustic noise measurement techniques
DIN EN 61400-12	Wind turbines power performance testing

STANDART NUMARASI	İÇERİK
DIN EN 61400-21	Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines.
DIN EN 50308	Labour safety
DIN EN 50373	Electromagnetic compatibility
DIN EN 50376	Declaration of sound power level and tonality values of wind turbines

IEC standartları www.iec.ch EN standartları www.cenelec.orf ve DIN standartları www.din.de internet sitelerinden elde edilebilir.

Rüzgar türbinleri ile ilgili Ulusal Standartlar Türk Standartları Enstitüsü tarafından hazırlanmıştır. Oluşturulmuş bulunan bu standartların listesi, TS numaraları ve başlıkları halinde verilmiştir Çizelge 16'da verilmiştir. TS standartları www.tse.org.tr internet sitesinden temin edilebilir. Türkiyede rüzgar türbinleri için standartlara uygun için tip onay işlemlerini ve belgelendirmelerini Türk Loydu gibi kuruluşlar yapmaktadır (www.turkloydu.org).

Çizelge 16. Rüzgar Enerjisi Alanındaki ulusal Standartların Listesi

STANDART NUMARASI	İÇERİK
TS EN 61400-1	Rüzgar türbinleri – Bölüm 1: Tasarım kuralları
TS EN 61400-2	Rüzgar türbinleri - Bölüm 2: Küçük rüzgar türbinlerinin tasarım kuralları
TS EN 61400-11	Rüzgar Türbini Jeneratör Sistemleri - Bölüm 11: Gürültü Ölçüm Teknikleri
TS EN 61400-3	Rüzgar türbinleri - Bölüm 3: Deniz üstü rüzgar türbinlerinin tasarım kuralları
TS EN 61400-25-6:2011	Rüzgar Türbinleri - Bölüm 25-6: Rüzgar güç santrallerinin kontrolü ve izlenmesi ile ilgili haberleşme - Durum izlemesi için mantık düğüm sınıfları ve veri sınıfları
TS EN 61400-22	Rüzgar türbinleri – Bölüm 22: Uygunluk deneyi ve belgelendirme
TS EN 61400-11/A1	Rüzgar Türbini Jeneratör Sistemleri - Bölüm 11: Gürültü Ölçüm Teknikleri
TS EN 61400-21	Rüzgar türbinleri - Bölüm 21: Şebekeye bağlı rüzgar türbinlerinde güç kalitesi karakteristiklerinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi
TS EN 61400-24:2010	Rüzgar Türbinli Jeneratör Sistemleri-Bölüm 24:Aydınltma koruması
TS EN 61400-25-1	Rüzgar Türbinleri - Bölüm 25-3: Rüzgar güç santrallerinin kontrolü ve izlenmesi ile ilgili haberleşme - Tüm modellerin ve prensiplerin tanımlanması
TS EN 61400-25-2	Rüzgar Türbinleri - Bölüm 25-3: Rüzgar güç santrallerinin kontrolü ve izlenmesi ile ilgili haberleşme - Bilgi modelleri

STANDART NUMARASI	İÇERİK
TS EN 61400-25-3	Rüzgar Türbinleri - Bölüm 25-3: Rüzgar güç santrallerinin kontrolü ve izlenmesi ile ilgili haberleşme - Bilgi değişim modelleri
TS EN 61400-25-5	Rüzgar Türbinleri - Bölüm 25-5: Rüzgar güç santrallerinin kontrolü ve izlenmesi ile ilgili haberleşme - Uygunluk deneyi
TS EN 61400-12-1	Rüzgar türbinleri - Bölüm 12-1: Elektrik üreten rüzgar türbinlerinin enerji performansının ölçülmesi
TS EN 61400-1:2005/A1:2010	Rüzgar türbinleri – Bölüm 1: Tasarım kuralları

1.13. Geleceğe Yönelik Projeksiyonlar

Dünya'da 2010 yılı sonu itibari ile rüzgar enerjisi sektörü 40 milyar dolarlık bir hacme ulaşmıştır. Dünya çapında rüzgar enerjisi sektöründe istihdam edilen kişi sayısı 2005 yılında 235.000 iken 2010 yılında 670.000 kişiye ulaşmıştır.

2010 yılı sonu verilerine göre rüzgar enerjisinden yıllık 430 TWh'den fazla elektrik elde edilebilmektedir. Bu miktar Dünyanın 6. büyük ekonomisi olan İngiltere'nin yıllık enerji ihtiyacından daha fazladır. Bu elektrik miktarı dünya elektrik tüketiminin %2,5'ine karşılık gelmektedir.

Japonya Fukisimadaki nükleer felaket ve Meksika'daki petrol faciası hükümetleri enerji politikalarını tekrar gözden geçirmeye itmiştir. WWEA'nın kısa vade projeksiyonlarına göre 2015 yılında rüzgar kurulu gücü 600.000 MW'ı, 2020 yılında ise 1.500.000 MW kurulu güç beklenmektedir.

Bazı ülkelerdeki rüzgar enerjisini toplam elektrik üretimine oranında lider Danimarka'dır. Kurulu güçlerde Danimarka'nın %21'i Portekiz'in %18'i İspanya'nın %16'sı ve Almanya'nın %9'u rüzgar enerjisidir. Bu ülkelerin aynı zamanda büyük rüzgar üreticisi şirketlere ev sahibliği yaptığı da göz ardı edilmemelidir.

Dünya Rüzgar Enerjisi Konseyi, 2013 yılında dünya kümülatif rüzgar enerjisi kurulu gücünün yıllık, ortalama %22 oranında büyüme sağlayacağını ve 332 GW seviyesine yükseleceğini öngörmektedir (GWEC, 2009).

Rüzgar enerjisinde üç aşamalı gelişme beklenmektedir:

Aşama 1: Kısa dönem (2020) – Batı Avrupa pazarı büyür, merkezi ve doğu Avrupa gelişir. İşçi maliyeti düşük ülkelerde daha hızlı bir gelişme olur. Büyük ölçekli deniz rüzgar

santralleri başlaması ile Avrupa Kurulu gücü 40 GW deniz rüzgar dahil olmak üzere 180 GW seviyesine ulaşması.

Aşama 2: Orta dönem (2020-30) – Kara, deniz ve rüzgar olmak üzere tüm rüzgar enerjisi uygulamaları büyümeyi sürdürür. Ana gelişmeler maliyet düşürme ve yüksek üretim teknolojilerinde olur. Endüstriyel ölçekli derin deniz rüzgar teknolojileri gelişir. Avrupa'nın ihracatı büyür. Avrupa kurulu güç kapasitesi 300 GW ve 7,5 GW mevcut santrallerde türbin yenileme olmak üzere yıllık kurulum 20 GW seviyesine ulaşması.

Aşama 3: Uzun dönem (2030-50) – Avrupa"da ana pazarlar deniz, rüzgar ve türbin yenileme olur.

Rüzgar enerjisi ilerleyen yıllarda kullanımı giderek yaygınlaşacak ve polülaritesi hiç düşmeyecek bir enerji türüdür. Yenilenebilir enerji kaynakları için Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın enerjide 2023 hedefleri şu şekildedir.

- Kurulu gücümüzü iki kat artırarak 100.000 MW'a çıkarmak
- Her yıl en az 5 milyar dolar enerji yatırımı yapmak
- Yenilenebilir enerjinin payını %30'a çıkarmak;
- Rüzgarda 20.000 MW
- Güneşte 3.000 MW
- Jeotermalde 600 MW
- Özel sektörün payını % 75'e çıkarmak
- Tüm termik ve hidroelektrik potansiyelimizi harekete geçirmek
- Petrol ve doğalgaz aramalarını sürdürmek
- Maden ihracatımızı 20 milyar dolara çıkarmak
- İki nükleer santrali üretime geçirerek, bir tanesinin daha inşaatına başlamak

Yakın vade Projeksiyonları ise Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından 2010 yılı içinde duyurulan 2010-2014 stratejik planda rüzgar enerjisi kurulu gücünün 2015 yılında 10.000 MW'a çıkarılması öngörülmektedir.

Türkiye önemli miktarda yenilenebilir enerji kaynaklarına sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynakları potansiyel olarak kömürden sonra ikinci sırada gelmektedir. Rüzgar enerjisinin toplam elektrik üretimindeki payı düşüktür. Ancak en hızlı büyüyen ve hedefleri konulmuş bir enerji kaynağıdır.

1.14. Sonuçlar ve Öneriler

Konvansiyonel kaynaklar olarak nitelendirilen fosil yakıtlar kontrol edilebilir ve kolay ulaşılabilir bir güç sağlamalarına karşılık sınırlı ömürlerinin kalması, artan fiyatları ve çevreye olumsuz etkileri enerji güvenliği için kaygılara neden olmaktadır. Bu alanda oluşacak boşluğu kapatacak ve kirlilik oluşturmayacak enerji kaynakları ise rüzgar, güneş, biyokütle, hidrolik ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Günümüzde enerji ihtiyacının karşılandığı kaynakların hızla artan enerji ihtiyacına cevap verebilmesi oldukça zor görülmemektedir. Bu bakımdan artan enerji ihtiyacını karşılamak için yenilenebilir enerji sistemlerinin üretimi ve kullanımı yaygınlaştırılmalıdır.

Gelişme düzeyi ile elektrik enerjisinin nihai enerji tüketimindeki payı arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. 2010 yılı itibarıyla son on yılın en yüksek artış oranı %7,9 gerçekleşerek Türkiye'nin toplam elektrik enerjisi tüketimi 209.390 GWh'e ulaşmıştır. 35 yıllık ortalama artış miktarı %8 olarak gerçekleşmiştir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının hazırladığı son elektrik talep tahmini rakamları (2010-2019), baz alındığında, 2019 yılında Yüksek Talep Senaryolarına göre elektrik tüketiminin 389,98milyar kWh, Düşük Talep Senaryolarına göre ise yaklaşık 367,35 milyar kWh düzeyine ulaşılacağını göstermektedir (Anonim, 2010). Düşük talep senaryosuna göre bile 9 yılda %75'in üzerinde bir talep artışı öngörülmektedir. Bu artışı karşılamak için de enerji ihracatından önce öncelikle yerli üretime ağırlık verilmesi gerekmektedir.

Rüzgar enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde günümüzde kullanılabilirliği açısından en fazla dikkat çeken enerji kaynağıdır. Dünya'da son yıllarda en hızlı gelişen enerji türü olan rüzgar enerjisi Türkiye'de de artma eğilimindedir. 2009 yılında yaşanılan global ekonomik krize rağmen, yeni rüzgar türbini yatırımları hem dünyada hem ülkemizde artmaya devam etti, ortalama artış ile % 42 civarındadır. 2010 yılı sonunda 1320 MW olan Türkiye rüzgar santralleri kurulu gücü 2011 yılında 1729 MW'a çıkmıştır. Lisansı onaylanan ve kurulum aşamasında olan rüzgar enerjisi santrallerinin ise toplam gücü ise Ocak 2012 itibari ile 5.815 MW seviyesindedir.

Yapılan potansiyel belirleme çalışmalarına göre Türkiye'nin Rüzgar gücü potansiyeli 83.000 MW civarında olup, bunun EİE tarafından yapılan Türkiye Rüzgar Potansiyeli Atlası (REPA)'na göre 47.849MW potansiyel mevcuttur. Konya bölgesi için Lisanslı ve Lisanssız kurulabilecek teknik potansiyel 3.400 MW civarındadır. EPDK ya yapılan başvurular sonucu 2011 sonu itibarı ile 7543 MW lisans verilmiş olup, sırada bekleyen incelemelerin bitirilmesi

ile önümüzdeki yıllarda yaklaşık kurulacak rüzgar santrali kapasitesi 15.000 MW kadardır. 1 MW rüzgar türbini 1 milyon ila 1.5 milyon Euro arası bir maliyetle satıldığına göre, 15.000 MW santral 19 milyar Euro (45 milyar TL) sadece lisanslı santraller için gerekmektedir. Lisanssız yönetmeliğin tamamlanması ile de toplam trafo güçlerinin %30'u kadar 500 kW ve dağa küçük güçte rüzgar türbinleri kurulacaktır. Bütün bu kapasitelerin oluşturduğu pazar yabancı türbin üreticisi firmaların dikkatini çekerek Türkiye pazarına girmeye çalışmaktadırlar. Bütün bu lisanslı ve bilhassa lisanssız küçük ve orta rüzgar türbinlerinin yurt dışından karşılanması ülkemiz için büyük bir kayıp oluşturacaktır. Konya sanayinde yapılan anket çalışmaları da göstermiştir ki sanayicimiz destek ve teşvik sağlanırsa bu sahaya girmek istemektedir. Bu konuda sanayi teknik destek başta olmak üzere maddi destek ve teşviklerle rüzgar elektrik santrali ve parçalarını imal etmeye yönlendirilmelidir.

Rüzgar enerji sistemleri Konya sanayisi mevcut potansiyeli ile 250-300 kW güce kadar bir çok parçası üretilebilecek düzeydedir. Bu kapasitenin üzerinde sistem parçalarının bazılarının üretimi yine mümkün olmakta ama birçoğunun üretimi için yatırımlar gerekmektedir. Üretici açısından en büyük eksik tasarım ve üretim konularında bilgi eksikliğidir. Firmalar tasarımı ve analizi yapılan uygun kriterlerdeki birçok ürünü üretebileceklerinin belirtmişlerdir. Bir dezavantaj ise ürün ve sistem parçalarında yeterli talebin henüz oluşamamasından dolayı uygun fiyata üretememe ve pazarlayamama kaygısıdır. Bu alanda üretici olabilecek firmalar bu yatırımlar için teşvikler beklemektedir.

Rüzgar enerjisi sistemlerini tek başına üretebilecek bir firma teknik olarak bulunmamaktadır. Bu alanda kümelenmeye, organizasyona ve bu organizasyonu sağlayacak yatırımcı firmalara ihtiyaç vardır. Gelecekte kullanımı ülkemizde aratacak rüzgar enerjisi sistemlerinde yerli üretime verilen teşvikler ve alım garantileri sektörün gelişmesine katkı sağlayacaktır. Konya bu alanda mevcut potansiyeli ve yapılabilecek yatırımlarla üretim üssü olmaya aday bir şehirdir.

REFERANSLAR

Agabus H., Palu I., 2007, Wind Energy Integration Impact on Power Quality in Estonia, European Wind Energy Conference & Exhibition, İtalya.

Akbıyık, B., 2004 "Türkiye'deki Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Değerlendirilmesi", Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Kırıkkale, 10-15,17-20,25.

Aksoy MH, 2011, Güneş ve Rüzgâr Enerjisi İle Çalışan Su Pompalama Sisteminin Deneysel İncelenmesi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği ABD.

Altuntaşoğlu Z,T, 2011, Türkiye'de Rüzgar Enerjisi, Mevcut Durum, Sorunlar Mühendis ve Makina Cilt: 52 Sayı: 617.

Altuntaşoğlu Zerrin Taç, 2011, Rüzgar Enerjisinden Elektrik Üretimine Sağlanan Teşvikler İzmir Rüzgar Sempozyumu Ve Sergisi / 23-24 Aralık 2011

Anonim, 2007a, http://www.eie.gov.tr/YEK.html, (Ziyaret Tarihi: 20 Şubat 2011).

Anonim, 2007b, http://www.eie.gov.tr/duyurular/YEK/YEKrepa/KONYA-REPA.pdf (Ziyaret Tarihi: 20 Haziran 2011).

Anonim, 2011, EPDK Stratejik Plan 2011-2015.

Anonim,2011,http://ec.europa.eu/energy/renewables/studies/doc/wind_energy/2011_wind_snapshot.pdf

Ayhan, M., 2007, Rüzgar Türbini ve Rüzgar Çiftliği Uygulamaları İçin Öneriler, Termodinamik 178: 68-80.

Bogalecka, E., 1993, Power Control of a Doubly Fed Induction Jeneratör without Speed or PositionSensor, in EPE 5th European Conference on Power Electronics and Application, Vol. 8, pp. 224–228.

Bonus Energy, 1999, The Wind Turbine Components and Operation.

Bonus, Bonus 600 Kw, Brochure, 4-19 (2004).

Burton,T., Sharpe, D.,Jenkins, N.,Bossanyi, E., 2001, Wind Energy Handbook, John Wiley&Sons Ltd.

Ceylan, M. 2006, Muğla Bölgesinde Mermer Endüstrisinin Elektrik Enerjisi Talebini KarŞılamak İçin, Matlab Paket Programı ile Rüzgar Çiftliği Tasarım Çalışması. Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.

Çengel, Y., 2003, Dünyada ve Türkiye'de Jeotermal, Rüzgar ve Diğer Yenilenebilir Enerjilerin Kullanımı, Yeni ve Yenilebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, s.1-14, Kayseri, 3-4 Ekim 2003.

Demir, F. N., 2007, Rüzgar Türbinleri, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, 6-18.

DemirtaŞ M. 2008, Güneş Ve Rüzgar Enerjisi Kullanılarak Şebeke ile Paralel Çalışabilen Hibrid Enerji Santrali Tasarımı Ve Uygulaması. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Deneysel İncelenmesi, Selçuk Üniversitesi FBE, Yüksek Lisans Tezi.

DeWind, "D4-Series", Brochure, 2-6 (2004).

Dubois, M. R., Polinder, H., Fereira, J. A., 2000, Comparison of Jeneratör Topologies for Direct-drive Wind Turbines, in IEEE NordicWorkshop on Power and Industrial Electronics, IEEE, New York, pp. 22–26.

Dursun, E, Kakilli A, 2010, Turkiye'de Kurulu Ruzgar Santrallerinde Kullanılan Jeneratörlerin Karşılaştırılması, Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü.

Dursun, E., Binark, A.K, 2008, Rüzgar Türbinlerinde Kullanılan Jeneratörler, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'2008, İstanbul, 667-673.

EİE, Elektrik İşleri Etüt İdaresi
Emniyetli, G., 2007, ,Evsel Elektrik İhtiyacının Karşılanması İçin Rüzgar Türbini Tasarımı,, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne s 16-24.
Enercon, 2006, E70 2,00 MW Technical Data Sheet, Enercon GMBH, Germany, pp 19-31.
EWEA (European Wind Energy Association), 2010, Wind in Power, European Statistics, Belgium, 1-9p.
EWEA, 2009, American Wind Energy Association, 2010, Wind Power Outlook 2009, Newyork, 1-6p.
EWEA, 2009, Wind Directions, January/February 2007, The Economics of Wind Energy, EWEA, March 2009.
Gurit, Blade Manufacturing Process, www.gurit.com
Hansen, L.H., Madsen, P.H., Blaabjerg, F., Christensen, H.C., Lindhard, U., Eskildsen,K., 2001, Generator and Power Electronics Technology for Wind Turbines, Industrial Electronics Society, IECON '01. The 27th Annual Conference of the IEEE 29 Nov.-2 Dec. 2001, Vol. 3, pp.2000 – 2005.
Hau, E. 2006, Wind Turbines Fundamentals Technologies Application Economics 2nd ed, Springer, Berlin.
Immerkjaer, N, 2003, Optimising of Reliability Large Wind Turbine Blades, LM Wind Power.
Irabu, K.,and Nath, R. J., 2006, Characteristics Of Wind Power On Savonius Rotorusing A Guide-Box Tunnel, Faculty of Mechanical Engineering University of the Ryukyus Experimental Thermal and Fluid Science, 32: 580-586.
Jackson, T., and Oliver, M., 1996, Centre for Environmental Strategy University of Surrey, Surrey, UK Wind energy comes of age: Paul Gipe John Wiley, New York, Energy Policy Volume 24, Issue 5, Pages 491-492.
Karadağ, H. İ., 2009, Yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgar enerjisinin önemi ve rüzgar türbini tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-50.
Karadağ, S, 2011, Rüzgar Türbini Kanadı İmalatı, İzmir Rüzgar Sempozyumu ve Sergisi / 23-24 Aralık 2011.
Köse F, 2008, Konya Bölgesinin Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi, Son Rapor, Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü 2004-121 nolu proje, Konya.
Köse F, 2011, Konya Bölgesi Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Ve Bunun Kullanılmasında Lisanslı Ve Lisanssız Üretimlerin Değerlendirilmesi, 1.Konya Kent Sempozyumu, Konya
Köse, F., Aksoy, M.H. ve Özgören, M., 2009a, Selçuk Üniversitesi Kampüsü Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi 17.Ulusal Isı Bilimi Kongresi, Bildiriler Kitabı, Sivas.
Köse, F., Özgören, M., 2005, Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Ölçümü Ve Rüzgar Türbini Seçimi, Mühendis ve Makina 551: 20-30.
Mallick, P.K., 1997, Compoaites Engineering Handbook, Marcel Dekker Inc. New York.
Mathew, S., 2006, Wind Energy Fundementals, Resource Analysis, and Economics, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
Mendonça M., Jacops D. 2009, Feed İn Tariffs Go Global. Policy İn Practice, Renewable Energy World,
Mergen, A.F. ve Zorlu, S., 2005, Elektrik Makineleri 2 Asenkron Makineler. Birsen Yayınevi.
Mergen, A.F. ve Zorlu, S., 2006, Elektrik Makineleri 3 Senkron Makineler. Birsen Yayınevi.
Muller, S. Deicke, M. De Doncker, R.W., 2002, Doubly Fed Induction Jeneratör Systems for Wind Turbines, IEEE Industry Applications Magazine, 8, 3, pp. 26-33.

Oğuz, Y., 2007, Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı Hibrid Güç Üretim Sisteminin Modellemesi, Analizi Ve Neuro-Fuzzy Kontrolör Kullanılarak Sistem Performansının İyileştirilmesi, doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Öger Ö, G, 2006, Pelton Tipi Rüzgar Türbini Kullanarak Elektrik Enerjisi Üretme, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi Elektrik Elektronik Mühendisliği.

Özyurt, M., 2005, Dönmez G., Alternatif enerji kaynaklarının çevresel etkilerinin değerlendirimesi, III. Yenilebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, Mersin, 39.

Patel, M. R., 1999, Wind and Solar Power Systems, Second Edition, CRC Press, Taylor&Francis Group.

Patel, M.R. 1999. Wind and Solar Power Systems. CRC Press, 35–41, 85–86, 93–98 Washington.

Piggot, H., 1997, Windpower Workshop Building Your Own Wind Turbine, British Wind Energy Association.

REN, 2007, Renewables Global Status Report

Renewables 2011, Global Status Report, REN 21, Version 1.1, 07/2011

REPP, 2004, Wind Energy Development Location of Wind Manufacturing.

Salmanoğlu, F., 2009, Rüzgar – Fotovoltaik Otonom Hibrid Güç Sistemlerinin Algoritmik Bir Yaklaşımla Optimal Tasarımı, İzmir, s17-20.

Sevim, C., 2009, Rüzgar Türbin Kanatları İçin Alternatif Polimerik Yapıların Karakterizasyonu, Ege Üniversitesi · Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Teknolojisi Anabilim Dalı, Doktora Tezi.

Stiesdal, H., 1999, Wind Turbine Components and Operation, Bonus Energy A/S, Bonus Info Special Issue.

Şahin, A., 2008, A Review On Research And Development On Wind Energy in Turkey, Clean-Soil Air Water, 36 (9): 734-742.

Şenkal A, 2010, Türkiye'de Kurulu Olan Büyük Güçlü Rüzgar Santrallerinin Genel Değerlendirilmesi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.

Şimşek V, 2007, Rüzgar Enerjisi Ve Sivas Şartlarında Bir Rüzgar Santrali Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi

Tangler,J.L., 2000, The Evolution of Rotor and Blade Design, American Wind Energy Assosiatiıon.

Taşgetiren, S., 1998, Çev-Kor, Cilt 8, sayı 29, 25-30.

Toprak, A., 2010, Elektrik Üretimi için Düşük Güçlü Rüzgar Enerji Sistemi Tasarımı Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens. Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.

Tureb, 2009, Http://www.ruzgarenerjisibirligi.org.tr Erisim Tarihi 5 Nisan 2009.

Uçar, S., 2007, Rüzgar Enerjisiyle Elektrik Üretimi ve Kayseri İli İçin Çevresel Etkilerin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Uyar, M., Gencoğlu, M.T., ve Yıldırım, S., 2005, Değişken Hızlı Rüzgar Türbinleri için Jeneratör Sistemleri, YEKSEM 2005, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Mersin, Sh.173-178.

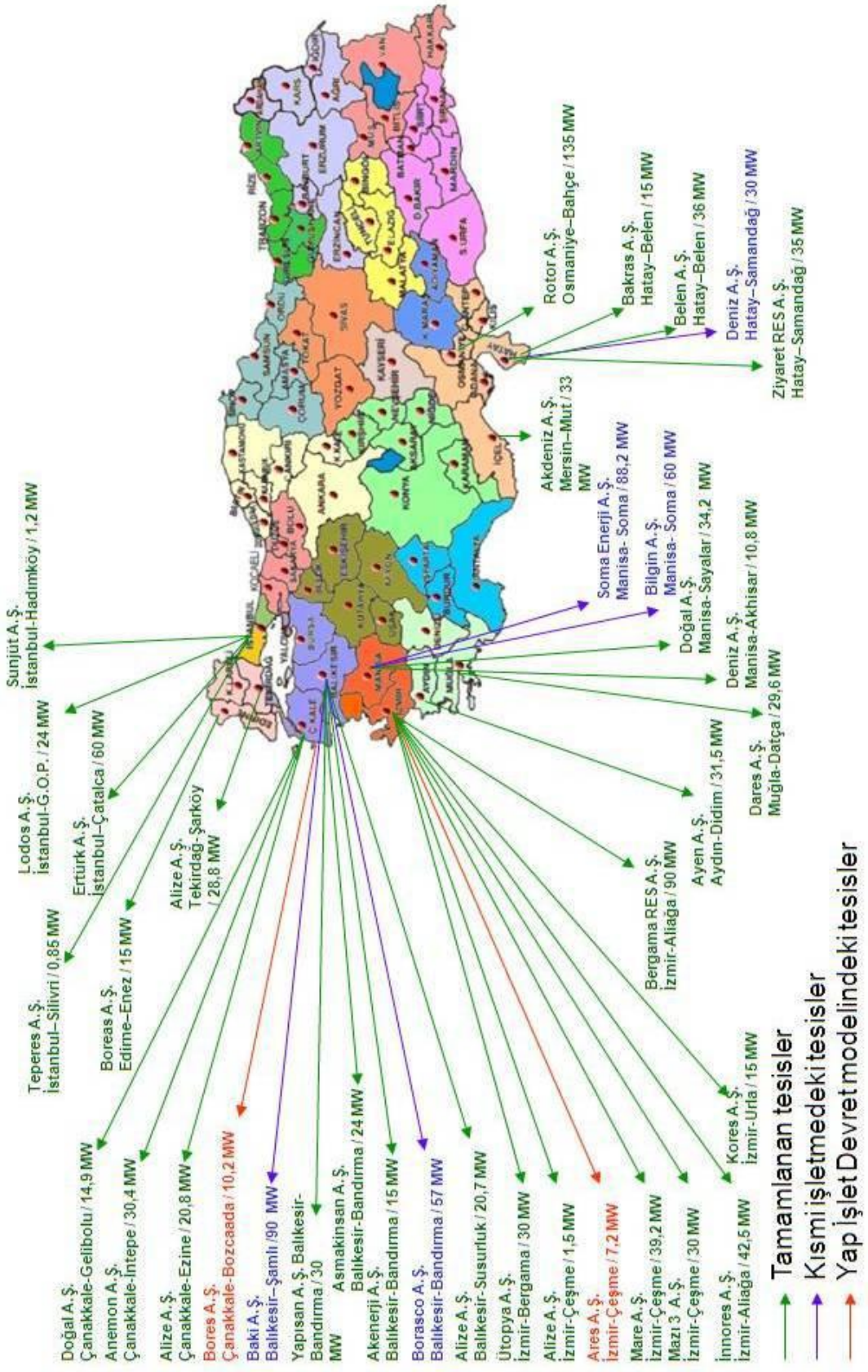
Varınca, K.B. ve Varank, G., 2005, Rüzgar Kaynaklı Enerji Üretim Sistemlerinde Çevresel Etkilerin Değerlendirilmesi ve Çözüm Önerileri, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları / Enerji Yönetimi Sempozyumu, Kayseri.

Wilson, R.E., 1999, Aerodynamic Behaviour of the Wind turbines, Spera, D.A., Asme Press, New York, 223-224.

Wind Directions, 2007, Supply Chain: To race to meet demand, Wind Directions-January/February 2007.

Yerebakan, M., 2001, Rüzgar Enerjisi, Su Matbaacılık, İstanbul.

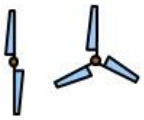
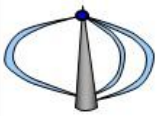
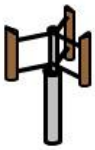
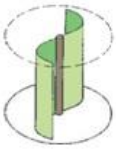
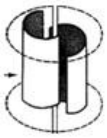
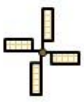
Yıldırım U, 2011, Yatay Eksenli Helezonik Rüzgar Türbini Tasarımı ve Prototip İmalatı, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.


Sunjüt A.Ş. İstanbul-Hadımköy / 1,2 MW
Lodos A.Ş. İstanbul-G.O.P. / 24 MW
Ertürk A.Ş. İstanbul-Çatalca / 60 MW
Teperes A.Ş. İstanbul-Silivri / 0,85 MW
Boreas A.Ş. Edirne-Enez / 15 MW
Alize A.Ş. Tekirdağ-Şarköy / 28,8 MW
Doğal A.Ş. Çanakkale-Gelibolu / 14,9 MW
Anemon A.Ş. Çanakkale-İntepe / 30,4 MW
Alize A.Ş. Çanakkale-Ezine / 20,8 MW
Bores A.Ş. Çanakkale-Bozcaada / 10,2 MW
Baki A.Ş. Balıkesir–Şamlı /90 MW
Yapısan A.Ş. Balıkesir-Bandırma / 30 MW
Asmakinsan A.Ş. Balıkesir-Bandırma / 24 MW
Akenerji A.Ş. Balıkesir-Bandırma / 15 MW
Borasco A.Ş. Balıkesir-Bandırma / 57 MW
Alize A.Ş. Balıkesir-Susurluk / 20,7 MW
Ütopya A.Ş. İzmir-Bergama / 30 MW
Alize A.Ş. İzmir-Çeşme / 1,5 MW
Ares A.Ş. İzmir-Çeşme / 7,2 MW
Mare A.Ş. İzmir-Çeşme / 39,2 MW
Mazı 3 A.Ş. İzmir-Çeşme / 30 MW
İnnores A.Ş. İzmir-Aliağa / 42,5 MW
Kores A.Ş. İzmir-Urla / 15 MW
Bergama RES A.Ş. İzmir-Aliağa / 90 MW
Ayen A.Ş. Aydın-Didim / 31,5 MW
Dares A.Ş. Muğla-Datça / 29,6 MW
Deniz A.Ş. Manisa-Akhisar / 10,8 MW
Doğal A.Ş. Manisa-Sayalar / 34,2 MW
Bilgin A.Ş. Manisa- Soma / 60 MW
Soma Enerji A.Ş. Manisa- Soma / 88,2 MW
Akdeniz A.Ş. Mersin–Mut / 33 MW
Rotor A.Ş. Osmaniye–Bahçe / 135 MW
Bakras A.Ş. Hatay–Belen / 15 MW
Belen A.Ş. Hatay–Belen / 36 MW
Deniz A.Ş. Hatay–Samandağ / 30 MW
Ziyaret RES A.Ş. Hatay–Samandağ / 35 MW
Tamamlanan tesisler
Kısmi işletmedeki tesisler
Yap İşlet Devret modelindeki tesisler

EK-2 İşletmedeki Lisanslı Rüzgar Santralleri					
Mevkii	**Şirket**	**Kurulu Güç (MW)**	**Mevkii**	**Şirket**	**Kurulu Güç (MW)**
İzmir-Çeşme	Alize Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	1,50	Hatay-Belen	Belen Elektrik Üretim A.Ş.	36,00
Çanakkale-İntepe	Anemon Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	30,40	Tekirdağ-Şarköy	Alize Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	28,80
Manisa-Akhisar	Deniz Elektrik Üretim Ltd. Şti.	10,80	İzmir-Urla	Kores Kocadağ Rüzgar Enerji Santralı Üretim A.Ş.	15,00
Çanakkale-Gelibolu	Doğal Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	14,90	Balıkesir-Bandırma	As Makinsan Temiz Enerji Elektrik Üretim San. ve Tic.AŞ	24,00
Manisa-Sayalar	Doğal Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	34,20	Mersin-Mut	Akdeniz Elektrik Üretim A.Ş.	33,00
İstanbul-Çatalca	Ertürk Elektrik Üretim A.Ş.	60,00	Edirne-Enez	Boreas Enerji Üretim Sistemleri A.Ş.	15,00
İzmir-Aliağa	İnnores Elektrik Üretim A.Ş.	52,50	İzmir-Bergama, Aliağa	Bergama RES Enerji Üretim A.Ş.	90,00
İstanbul-Gaziosmanpaşa	Lodos Elektrik Üretim A.Ş.	24,00	Hatay-Belen	Bakras Enerji Elektrik Üretim ve Tic. A.Ş.	15,00
İzmir-Çeşme	Mare Manastır Rüzgar Enerjisi Santralı San. ve Tic. A.Ş.	39,20	Hatay-Samandağ	Ziyaret RES Elektrik Üretim San. ve Tic. A.Ş.	57,50
İstanbul-Hadımköy	Sunjüt Sun'i Jüt San. ve Tic. A.Ş	1,20	Manisa-Soma	Bilgin Rüzgar Santrali Enerji Üretim A.Ş.	90,00
İstanbul-Silivri	Teperes Elektrik Üretim A.Ş.	0,85	Manisa-Kırkağaç	Alize Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	25,60
Balıkesir-Bandırma	Yapısan Elektrik Üretim A.Ş.	30,00	Çanakkale-Ezine	Garet Enerji Üretim ve Ticaret A.Ş.	22,50
Balıkesir-Şamlı	Baki Elektrik Üretim Ltd. Şti.	114,00	Aydın-Çine	Sabaş Elektrik Üretim A.Ş.	24,00
Muğla-Datça	Dares Datça Rüzgar Enerji Santralı Sanayi ve Ticaret A.Ş.	29,60	Çanakkale-Ezine	Enerjisa Enerji Üretim A.Ş.	29,90
Hatay-Samandağ	Deniz Elektrik Üretim Ltd. Şti.	30,00	Balıkesir-Susurluk	Alentek Enerji A.Ş.	45,00
Aydın-Didim	Ayen Enerji A.Ş.	31,50	Balıkesir-Havran	Alize Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	16,00
Çanakkale-Ezine	Alize Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	20,80	Balıkesir-Bandırma	Galata Wind Enerji Ltd. Şti.	93,00
Balıkesir-Susurluk	Alize Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	20,70	Manisa-Akhisar	Akhisar Rüzgar Enerjisinden Elektrik Üretimi Santralı Ltd. Şti.	43,75
Osmaniye-Bahçe	Rotor Elektrik Üretim A.Ş.	135,00	İzmir-Aliağa	Doruk Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	30,00
İzmir-Bergama	Ütopya Elektrik Üretim Sanayi ve Ticaret A.Ş.	30,00	Balıkesir-Bandırma	Bandırma Enerji ve Elektrik Üretim A.Ş.	3,00

İzmir-Çeşme	Mazı-3 Rüzgar Enerjisi Santrali Elektrik Üretim A.Ş.	30,00	Çanakkale-Ayvacık	Ayres Ayvacık Rüzgar Enerjisinden Elt. Üretim S. Ltd.	5,00
Balıkesir-Bandırma	Akenerji Elektrik Üretim A.Ş.	15,00	Tokat	PEM Enerji Anonim Şirketi	40,00
Balıkesir-Bandırma	Borasco Enerji ve Kimya Sanayi ve Ticaret A.Ş.	57,00	İzmir-Çeşme	Ares Alaçatı Rüzgar Enerjisi Sant. San. ve Tic. A.Ş.	7,20
Manisa-Soma	Soma Enerji Elektrik Üretim A.Ş.	116,10	Çanakkale-Bozcaada	Bores Bozcaada Rüzgar Enj. Sant. San. ve Tic. A.Ş.	10,20
İŞLETMEDEKİ TOPLAM KAPASİTE (MW)					**1728,70**

EK-3 Çeşitli rüzgar türbin modelleri için güç katsayıları

Rotor Tipleri		λ (Uç Hız Oranı)	C_p (Güç Katsayısı)	Devir Sayısı
	Pervane Tipi	6 10	0,42	Yüksek
	Darrieus Tipi	5 6	0,4	Yüksek
	Cyclogiro Tipi	3 4	0,45	Orta
	Çok Kanatlı Tip	3 4	0,35	Orta
	Yelken Kanat Tipi	4	0,35	Orta
	Fan Tipi	1	0,3	Alçak
	Savonius Tipi	1	0,15	Alçak
	Savonius Tipi	1	0,25	Alçak
	Hollanda Tipi	2 3	0,17	Alçak