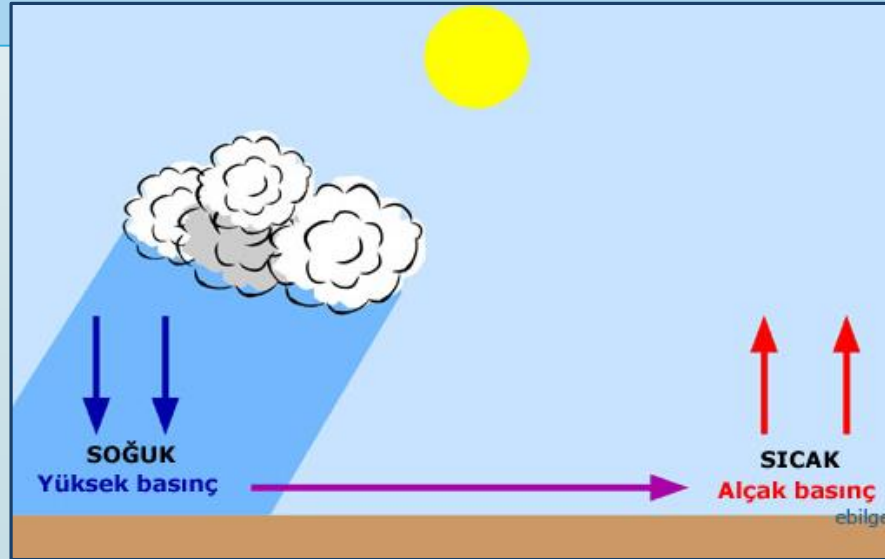


YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE TEKNOLOJİLERİ Dersi 6

- 5. RÜZGAR ENERJİSİ
- 5.1 Dünyada Rüzgar Enerjisi
- 5.2 Türkiye'de Rüzgar Enerjisi
- 5.3 Rüzgar Enerjisinin Olumlu ve Olumsuz Etkileri
- 5.4 Rüzgar Enerjisinin Kullanım Alanları
- 5.5 Rüzgar Türbinleri

Prof. Dr. Ayten ONURBAŞ AVCIOĞLU
E-mail: onurbas@agri.ankara.edu.tr
Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Tarım Makinaları Ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü
2017

- **Rüzgâr enerjisi, kaynağını güneşten alan bir enerji türüdür.** Güneş ışınlarının Dünyaya ulaşması yeryüzünü hem aydınlatmakta hem de ısıtmaktadır. Ancak güneş ışınları her noktaya aynı miktarda ısı ulaştırılmaz. Hava, fiziksel ve kimyasal özelliğinden dolayı ısındığı zaman atmosferin üst tabakalarına doğru yükselir yükselen hava kütesinin yerine aynı hacme sahip fakat soğuk olan yeni bir hava kütesi yerleşir. Dünya yüzeyinin farklı bölümlerinde ısı farklarıyla birlikte basınç farkları meydana gelir. Sıcak ve soğuk havaların yer değişmesinden dolayı meydana gelen hava akımı sonucu rüzgâr olayı meydana gelir (Şekil 5.1). Başka bir ifade ile **birbirine sınır olan ve aralarında basınç farkları bulunan iki bölgenin arasındaki potansiyel farktan dolayı oluşan hava akımına rüzgâr denir** (Gökkuş, 2014). **Rüzgâr, yüksek hava basıncı merkezinden alçak hava basıncı merkezine doğru hareket eden bir hava akımıdır** (Yapar, 2014). Rüzgâr, Dünya'nın dönüş yönü ve hızı ile yüzey sürtünmeleri, yerel ısı dağılımı ve yayılımı, atmosferik olaylar ve rüzgârın meydana geldiği arazinin topoğrafik yapısı gibi nedenlerden dolayı farklı şekillerde meydana gelebilmektedir (Gökkuş, 2014).
- Güneşten yeryüzüne bir saat boyunca 10^{17} Watt büyüklüğünde enerji gelmektedir. Bu enerjinin ise **%1 ila 2'si rüzgara dönüşmektedir.** **Rüzgâr enerjisi güneş enerjisinin kinetik enerjiye dönüşmüş şeklidir** (Bektaş, 2013). Rüzgâr enerjisi, kaynağının güneş olması sebebiyle doğal olaylar neticesinde kendiliğinden meydana gelen ve yenilenebilen bir enerji türüdür. Ayrıca kullanımı ile fosil yakıtlar gibi gaz ve atık madde salınımı yapmayan temiz ve sonsuz bir enerji türüdür (Gökkuş, 2014).



Şekil 5.1 Rüzgârın oluşumu

(http://www.ebilge.com/272496/Ruzgar_olusumu_fizik_bilimiyle_ilgili_hangi_kanun_veya_teorile_aciklanir.html)

5.1 Dünyada Rüzgar Enerjisi

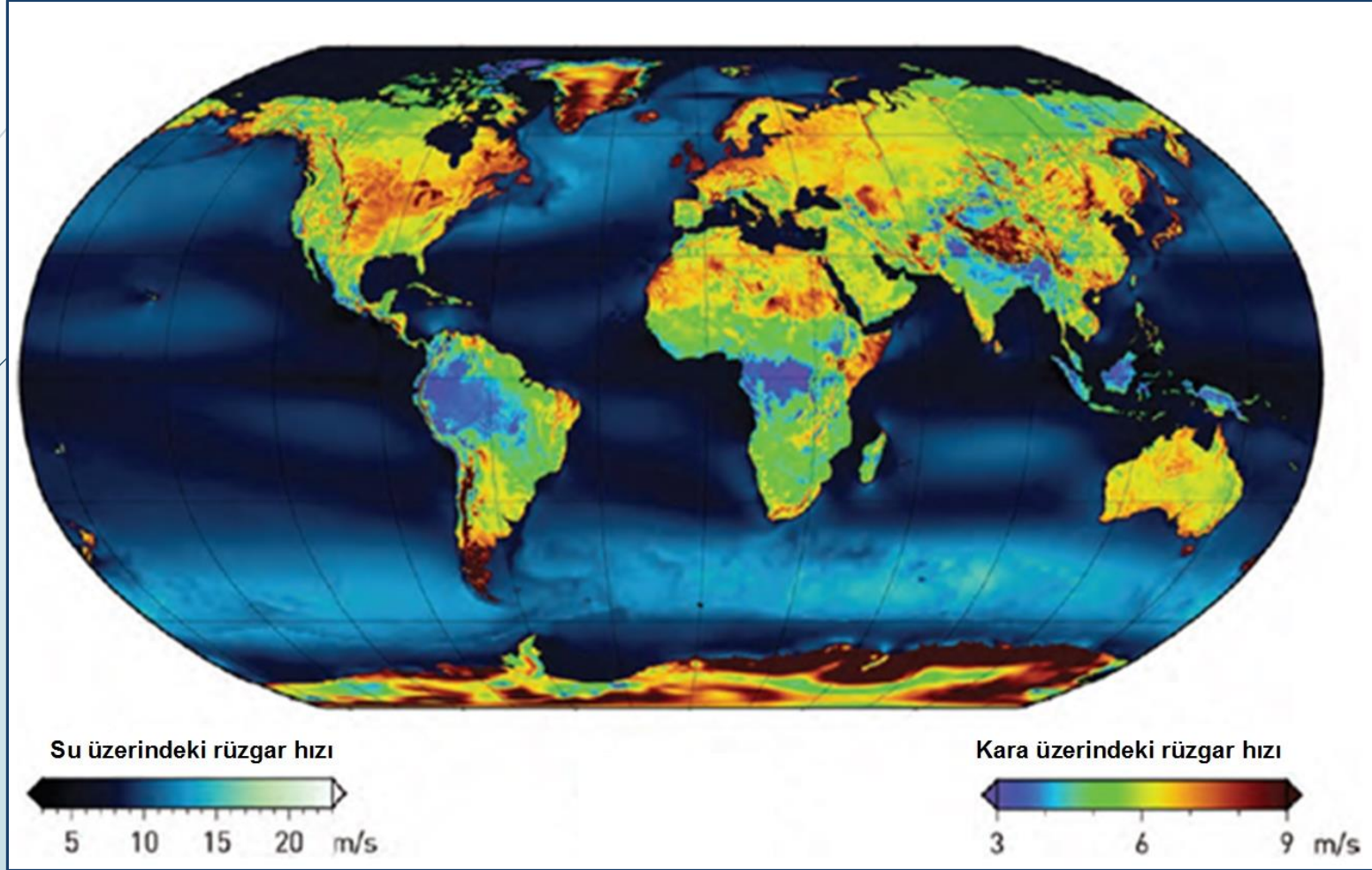
3

Rüzgar enerjisinden yararlanan en eski makine **yel değirmenidir** ve yaklaşık 3000 yıl kadar önce İskenderiye'de kurulduğu düşünülmektedir. 640 yılında Türklerin yel değirmenleri kurduğu ve Haçlı seferleriyle Avrupa'ya yayıldığı literatürlerde yer almaktadır. Afganistan ile İran arasında bulunan yel değirmeni yazılı belgesi olan ilk değirmendir (MS 644). 750-850 yılları arasında Çin'de değirmenlerin pirinç tarlalarını sulamak amacıyla kullanıldığı da bildirilmektedir. 1105'de Fransa'da 1143'de İngiltere'de yel değirmenlerinin kurulduğu da bildirilmektedir.

- Düşey eksenli olarak Doğuda kullanılan yel değirmenleri Batıda daha da geliştirilerek yatay eksenli olarak imal edilmişlerdir. Bunun ilk örneği 1180 yılında Normandiya Krallığında kullanılmıştır.
- Almanya'da 19. Yüzyılın sonlarında, Hollanda 'da ise 18. Yüzyılın başlarında rüzgar kuvvet makineleri kullanılmaya başlanmıştır. Almanya'da ayaklı Akdeniz ülkelerinde ve Alaçatı'da kule tipi, Hollanda'da da döner çatılı yel değirmenleri geliştirilmiş ve kullanılmıştır. 1850'de de çok kanatlı, rüzgar yönlendiricisi bulunan Amerikan yel değirmenleri kullanılmıştır.
- İlk elektrik santralının 1882'de New York'ta kurulması ve elektrik enerjisinin kullanılmaya başlanmasından sonra da **ilk rüzgardan elektrik enerjisi Danimarka'da 1891'de** üretilmiştir. 1910'lu yıllardan sonra büyük şehirlerin çoğunda elektrik enerjisi kullanımı yaygınlaşmış, fakat o dönemde petrol türevi yakıtların ekonomik olması nedeniyle rüzgar enerjisi göz ardı edilmiş ve bu durum II. Dünya Savaşı sırasındaki enerji sıkıntısına kadar devam etmiştir.
- Bu dönemde 50 kW'lık 17.5 m çaplı Smidth türbinleri (1942) ve 200 kW'lık 24 m çaplı Gedser türbinleri (1957) geliştirilmiştir (Özgener, 2002).
- **Rüzgar enerjisi 1990'lı yılların başından itibaren hızlı bir gelişme göstermiş Amerika ve Avrupa'da yaygınlaşmaya başlamış, son 2-3 yıl içinde Çin'deki yoğun kullanımın da etkisiyle Asya'da da yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır** (Bektaş, 2013).

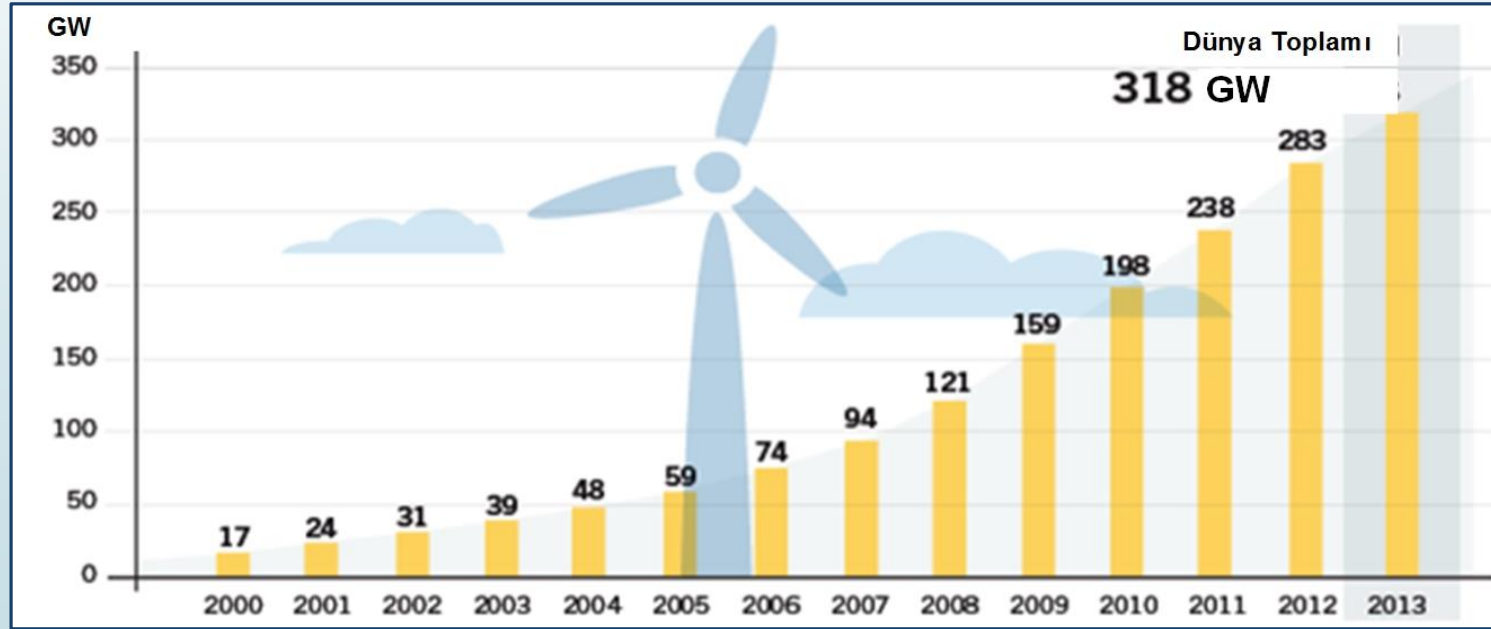


- Şekil 5.2'de Dünya rüzgar haritası görülmektedir. Haritada okyanus ve denizlerde açık maviden koyu maviye doğru (sol altta), karada ise maviden kırmızı renge doğru (sağ altta) rüzgar hızlarının arttığı görülmektedir.



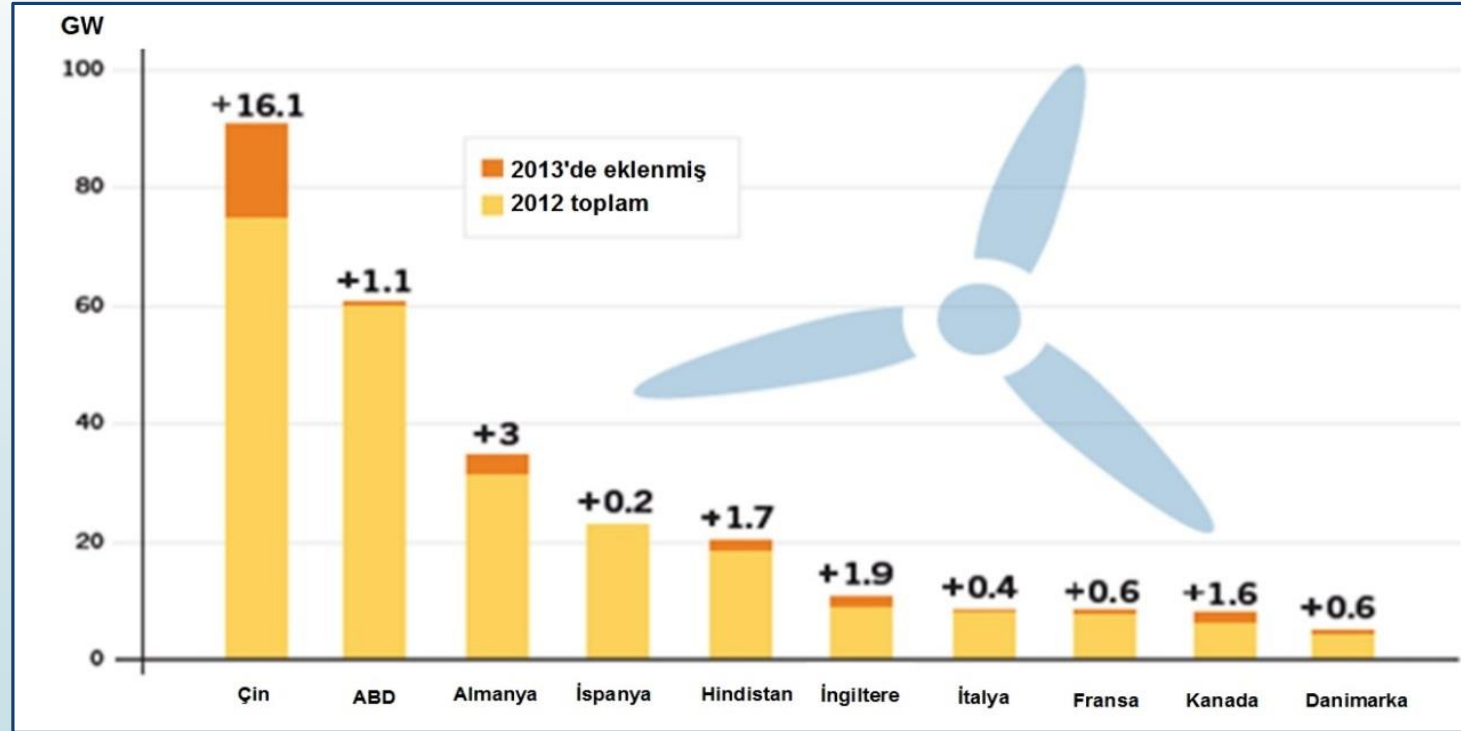
Şekil 5.2 Dünya rüzgar haritası (Turkenburg, 2013)

- Şekil 5.3'de 2000-2013 yılları arasında **Dünya rüzgar enerjisi kurulu güç değerleri** yer almaktadır. 2000 yılında 17 GW olan rüzgar gücü kapasitesi günümüze kadar çok hızlı bir artış göstermiştir. Bu kapasite 2013 yılında 318 GW'a yükselmiştir.
- Rüzgar enerjisinden elektrik üreticileri 2012 yılı içerisinde 44,711 MW elektrik üreterek toplam dünya kurulu gücünü 282,482 MW'a çıkartmıştır. 80 ülkede faaliyete geçen rüzgar enerjisi üretim tesislerinden elde edilen elektrik Avrupa seviyelerinde elektrik tüketimi yapan **380 milyon insanın konut elektrik giderlerini** sağlayabilecek kapasitedir. Bu değer oldukça yüksek bir değer olmasına karşın **Dünya'daki elektrik enerjisinin yaklaşık %2 sini** ancak karşılar durumdadır (Bektaş, 2013).



Şekil 5.3 Yıllara göre Dünya rüzgar enerjisinin kurulu güç değerleri (Anonymous, 2014b)

- Şekil 5.4'de 2013 yılı itibariyle **rüzgar enerjisi kurulu gücü en yüksek olan on ülke** verilmiştir. Grafikte çubukların üstünde yer alan (+) değerler 2013 yılındaki kapasite artışlarını göstermektedir.
- Dünyadaki toplam kurulu güçte uzun yıllar Almanya başı çekerken, 2008 yılında Amerika Almanya'yı geçmiş liderliğe yükselmiş, 2010 yılında da Çin büyük ölçüde bir gelişim göstererek 1. Sıraya yerleşmiştir. 2013 yılında rüzgar kurulu gücünde 91.4 GW'lık kapasite ile Çin Dünyada ilk sırayı almaktadır. Bu ülkeyi ABD, Almanya, İspanya, Hindistan, İngiltere, İtalya, Fransa, Kanada ve Danimarka takip etmektedir.
- 2013 verilerine göre Dünyada 71 ülke 10 MW'dan daha yüksek, 24 ülke de 1 GW'tan daha yüksek rüzgar kurulu gücüne sahiptir. Dünyada kişi başına düşen rüzgar kurulu gücü en yüksek olan ülkeler; 863 W ile Danimarka, 488 W ile İsveç, 421 W ile İspanya, 412 W ile Portekiz ve 381 W ile İrlanda'dır (Anonymous, 2014b).

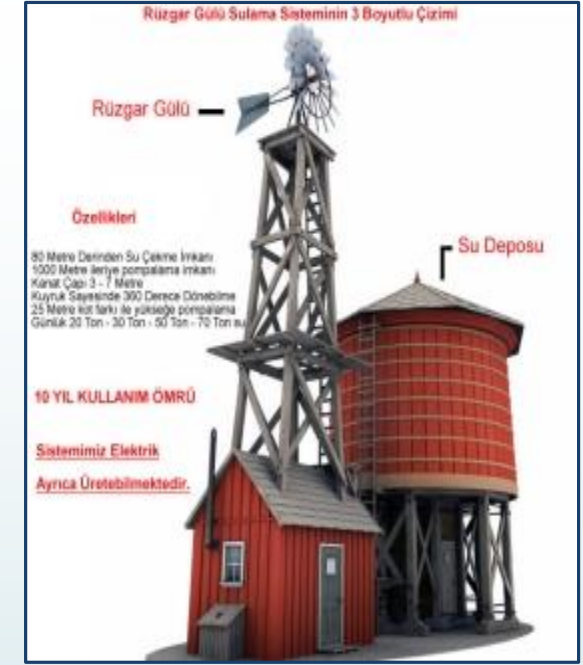


Şekil 5.4 Dünyada rüzgar enerjisi kurulu gücü en yüksek olan ülkeler ve bunların kapasiteleri (2013) (Anonymous, 2014b)

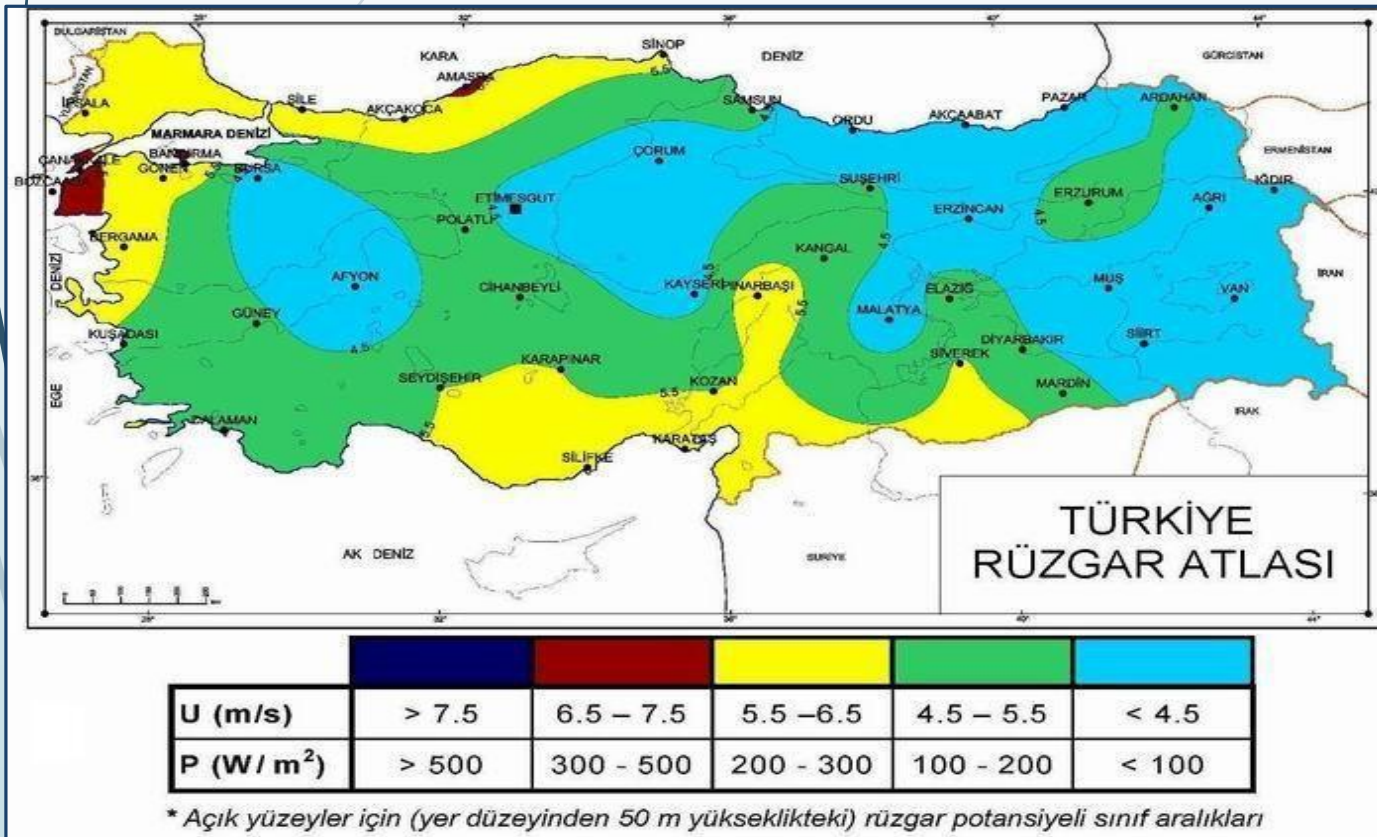
5.2 Türkiye'de Rüzgar Enerjisi

7

- Türkiye rüzgar enerjisi kapasitesinde kurulu güç bakımından dünyada ön sıralarda bulunmamasına rağmen **enerji potansiyeli açısından** çok daha ön sıralarda, **Avrupa'da ise ilk sıralarda** yer almaktadır.
- Türkiye'nin rüzgar enerjisi potansiyeli; yerden 50 m yükseklikte 7.5 m/s'den yüksek rüzgarın bulunduğu yerler dikkate alınarak 48 bin MW hesaplanmaktadır (Bektaş, 2013).
- **70'li yıllardaki petrol krizi sonrasında Tarım Bakanlığının kırsal kesimde yaptığı makine sayımında su çıkartmada kullanılan 871 ve elektrik enerjisi eldesinde kullanılan 23 rüzgar türbini belirlenmiştir. Bu makinelerin hepsi oldukça ilkel yapılı olup 1 kW'ın altında güce sahiptirler.**
- Rüzgar enerjisinin kullanımıyla ilgili Türkiye'de yapılan ilk çalışmaların hepsi akademik çalışmalar olup bunlar; 1960'da Ankara Üniversitesinde, 1970'de ODTÜ ve Ege Üniversitesinde 1980'de ise TÜBİTAK-MAM'da başlatılmıştır. **Türkiye Rüzgar Atlası** ile ilgili ilk çalışma MAM bünyesinde başlamış, ayrıca pompanın çalıştırılması için mekanik enerji ve elektrik eldesi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır.



- **Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı bünyesinde bulunan EİE (Elektrik İşleri Etüt İdaresi)** rüzgar enerjisi çalışmalarına 1981'de başlamış ve Şube Müdürlüğü 1989'da kurulmuştur. 1984'de Türkiye'nin rüzgar enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesi ve belirlenmesi amacıyla, **Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü** ölçümlerinden yararlanılmıştır. Bu amaçla; Bölgelere göre rüzgar güç yoğunluğu verileri toplanmıştır. 1990 yılında EİE İdaresi Türkiye'nin rüzgar potansiyelinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi amacı ile "Rüzgar Enerjisi Gözlem İstasyonu" projesini başlatmış ve 11 adet rüzgar gözlem istasyonu kurulmuştur. Bu istasyonlarda potansiyel bölgelerdeki rüzgar yönleri ve hızları ölçülmektedir. Daha sonraki yıllarda **Türkiye Rüzgar Atlası Projesi** kapsamında gözlem istasyonlarının sayısı artırılmış ve Türkiye Rüzgar Atlası çıkarılmıştır. Şekil 5.5'de Türkiye rüzgar atlası görülmektedir (Uçar, 2007; Bektaş, 2013).



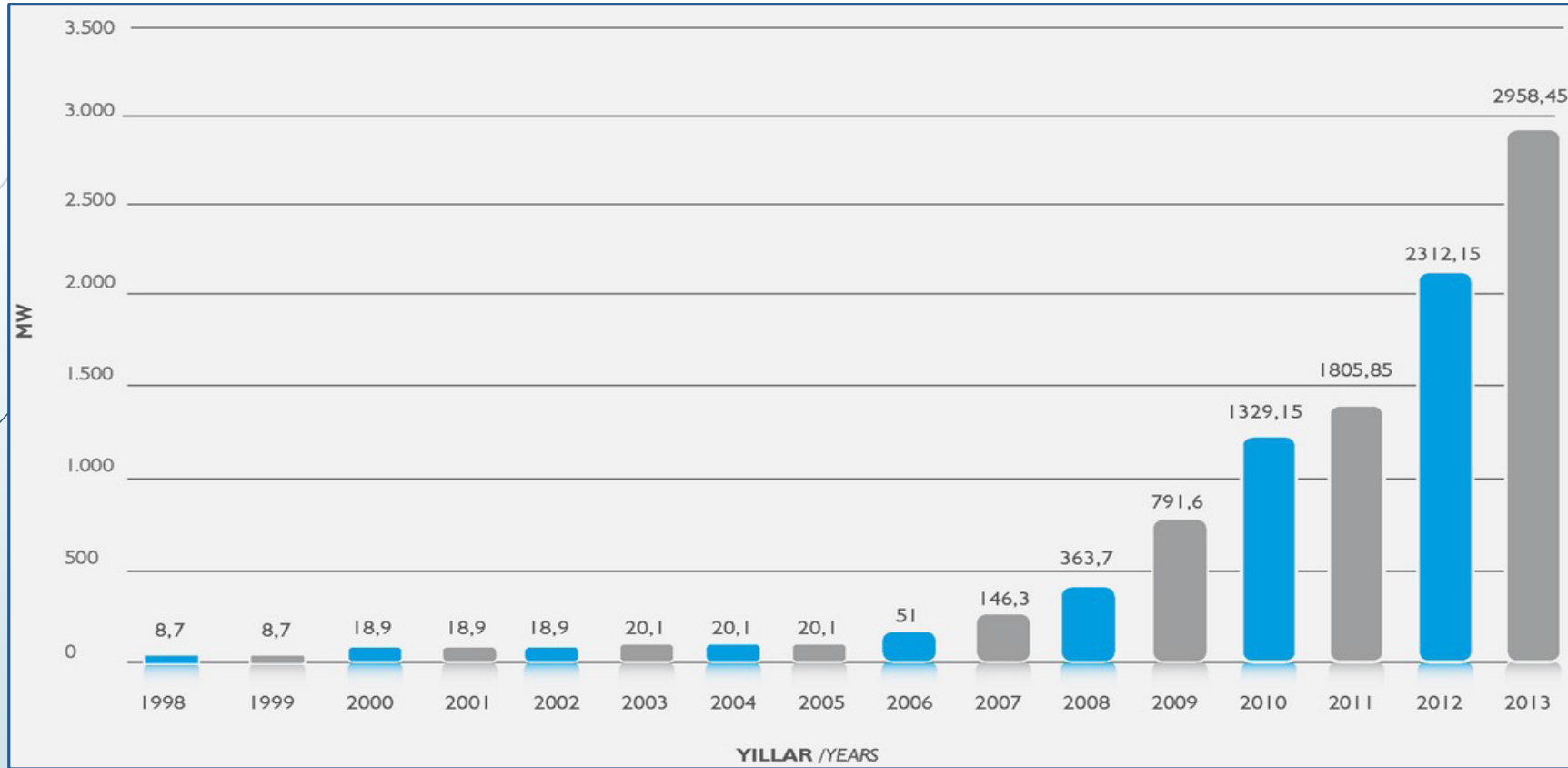
Rüzgar potansiyelleri incelendiğinde rüzgar enerjisi potansiyel sıralaması;

- Marmara Bölgesi,
- Ege Bölgesi,
- Batı Karadeniz Bölümü,
- İç Anadolu Bölgesi,
- Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve
- Doğu Anadolu Bölgesi olarak yapılabilir (Uçar, 2007).

Türkiye'de rüzgar enerjisi ile ilgili en önemli çalışma; halen işletilmekte olan ilk rüzgar çiftliğinin 1998 yılının Şubat ayında, İzmir ilinin Çeşme ilçesine bağlı Germiyan köyünde kurulmasıdır. Her biri 500 kW olan üç türbini bulunan bu santral 1.5 MW'lık güce sahiptir. Bunu takiben yine Çeşme ilçesine bağlı Alaçatı köyünde 12 türbinli 7.2 MW gücündeki ikinci santral Yap İşlet Devret sistemi ile çalışmaya başlamıştır (Bektaş, 2013).

- Türkiye rüzgar atlasındaki bölgeler renklere göre aşağıda açıklanmıştır (Bektaş, 2013):
-
- **Koyu Mavi Bölge:** Türkiye'de açık alanlardaki rüzgar hızı ortalaması 7.5 m/s'den büyük olan bölgeleri göstermektedir. Bu bölgeler Türkiye'de çok az olduğundan haritada bu ölçekte görülmemekte, il bazında olan Repa haritalarında bazı şehirlerde görülmektedir.
-
- **Kırmızı Bölge:** Bu bölge açık alanlardaki 50 m yükseklikteki rüzgar hızı ortalaması 6.5-7.5 m/s olan bölgeleri göstermektedir. Bunlar rüzgar enerjisi potansiyeli yüksek olan bölgelerdir. Örneğin Bandırma, Gökçeada, Bozcaada, Çanakkale, Amasra bu bölgede yer almaktadır.
-
- **Sarı Bölge:** Bu bölge rüzgar hızı ortalaması açık alanlarda 5.5-6.5 m/s olan yerleri göstermektedir. Sarı bölgeden ülkemizde birçok yer bulunmaktadır. Örneğin, Antakya, Bergama, Şile, Sinop, Edirne, Mersin bu bölgededir.
-
- **Yeşil Bölge:** Bu bölge rüzgar hızı ortalaması 50 m yükseklikte 4.5-5.5 m/s olan alanları göstermektedir. Türkiye'de yaygın bir dağılıma sahip olan bu bölge birçok şehri kapsamaktadır.
-
- **Açık Mavi Bölge:** Bu bölge rüzgar hızı ortalaması 4.5 m/s'den küçük olan alanları göstermektedir. Bu bölge de Doğu Anadolu, Doğu Karadeniz ve İç Anadolu'nun bazı kesimlerini kapsamaktadır. Bu bölge rüzgar türbini kurmak açısından verimsiz bölge olarak sayılmaktadır.

- Şekil 5.6'da **Türkiye'nin** 1998-2013 yılları arasında rüzgar enerjisi kurulu güç değişimi görülmektedir. **Rüzgar kurulu güç değeri** 1998'de 8.7 MW, 2005'de 20.1 MW iken 2013 yılı sonunda 2958 MW'a yükselmiştir.



Şekil 5.6 Yıllara göre Türkiye rüzgar enerjisinin kurulu güç değerleri (Anonim, 2014b)

- WWEA (The World **Wind** Energy Association) 2010 raporunda Türkiye, rüzgar sektöründe 2009 yılı için % 138.9, 2010 yılı için % 59.9'luk büyüme oranı ile dünyada en çok büyüme gösteren ilk 10 ülke arasında girmiştir (Öcal, 2012).
-
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın Strateji Belgesi çerçevesinde enerjide 2023 hedefleri rüzgar enerjisindeki kurulu gücü 20000 MW'a çıkarmak, güneş enerjisinde 3000 MW ve jeotermal enerjide 600 MW'a çıkarmak hedeflenmektedir. Bu oranlar Türkiye'de rüzgar enerjisinin tüm yenilenebilir enerji kaynakları arasında en çok faydalanılabilecek ve geliştirilebilecek enerji türü olduğunun göstergesidir.
-
- Kurulu gücü 20000 MW'a çıkarma hedefleri doğrultusunda yapılan çalışmalar arasında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, TÜBİTAK Uzay ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün ortak bir çalışma ile hazırladıkları Rüzgar Gücü İzleme ve Tahmin Merkezi (RİTM) bulunmaktadır. Bu proje kapsamında oluşturulan sistemin yaygınlaştırılması planlanmaktadır. Birçok rüzgar enerji santralinde ölçümüne başlanan projenin, tüm santrallere de yaygınlaştırılması beklenmektedir (Bektaş, 2013).
-

- **2016 Şubat** itibariyle Türkiye'de **124** adet rüzgar santrali bulunmaktadır. Bu santrallerin kurulu güç değeri **4542 MW'dir**. Santrallerin toplam kurulu güç oranı %6.19'dür. En büyük santral **240 MW** gücündeki **Soma Rüzgar Santrali**dir (<http://www.enerjiatlası.com/ruzgar/>).

Rüzgar Enerji Santralleri Profili

Aktif Santral Sayısı :	157
Kurulu Güç :	5.245 MWe
Kurulu Güce Oranı :	% 6,81
Yıllık Elektrik Üretimi :	~ 13.936 GWh
Üretimin Tüketime Oranı :	% 5,36
Lisans Durumu :	140 lisanslı, 17 lisanssız
Şebeke Bağlantısı :	157 var, 0 yok

S.	Santral Adı	İl	Firma	Kurulu Güç
1)	Soma Rüzgar Santrali	YEKDEM Manisa	Polat Enerji	240 MW
2)	Geycek Rüzgar Santrali	YEKDEM Kırşehir	Polat Enerji	168 MW
3)	Balıkesir Rüzgar Santrali	YEKDEM Balıkesir	Enerjisa Elektrik	143 MW
4)	Osmaniye Gökçedağ RES	YEKDEM Osmaniye	Zorlu Enerji	135 MW
5)	Bergama Rüzgar Santrali	YEKDEM İzmir	Bilgin Enerji	120 MW
6)	Karaburun Rüzgar Santrali	YEKDEM İzmir	Alto Holding	120 MW (223 MW)
7)	Dinar Rüzgar Santrali	YEKDEM Afyonkarahisar	Gürış Holding	115 MW
8)	Şamlı Rüzgar Santrali	YEKDEM Balıkesir	Aksa Enerji	114 MW (126.5 MW)
9)	Şah Rüzgar Santrali	YEKDEM Balıkesir	Doğan Enerji	93 MW (105 MW)
10)	Bilgin Enerji Soma Rüzgar Santrali	YEKDEM Manisa	Bilgin Enerji	90 MW (120 MW)

2016 Ekim

5.3 Rüzgar Enerjisinin Olumlu ve Olumsuz Etkileri

13

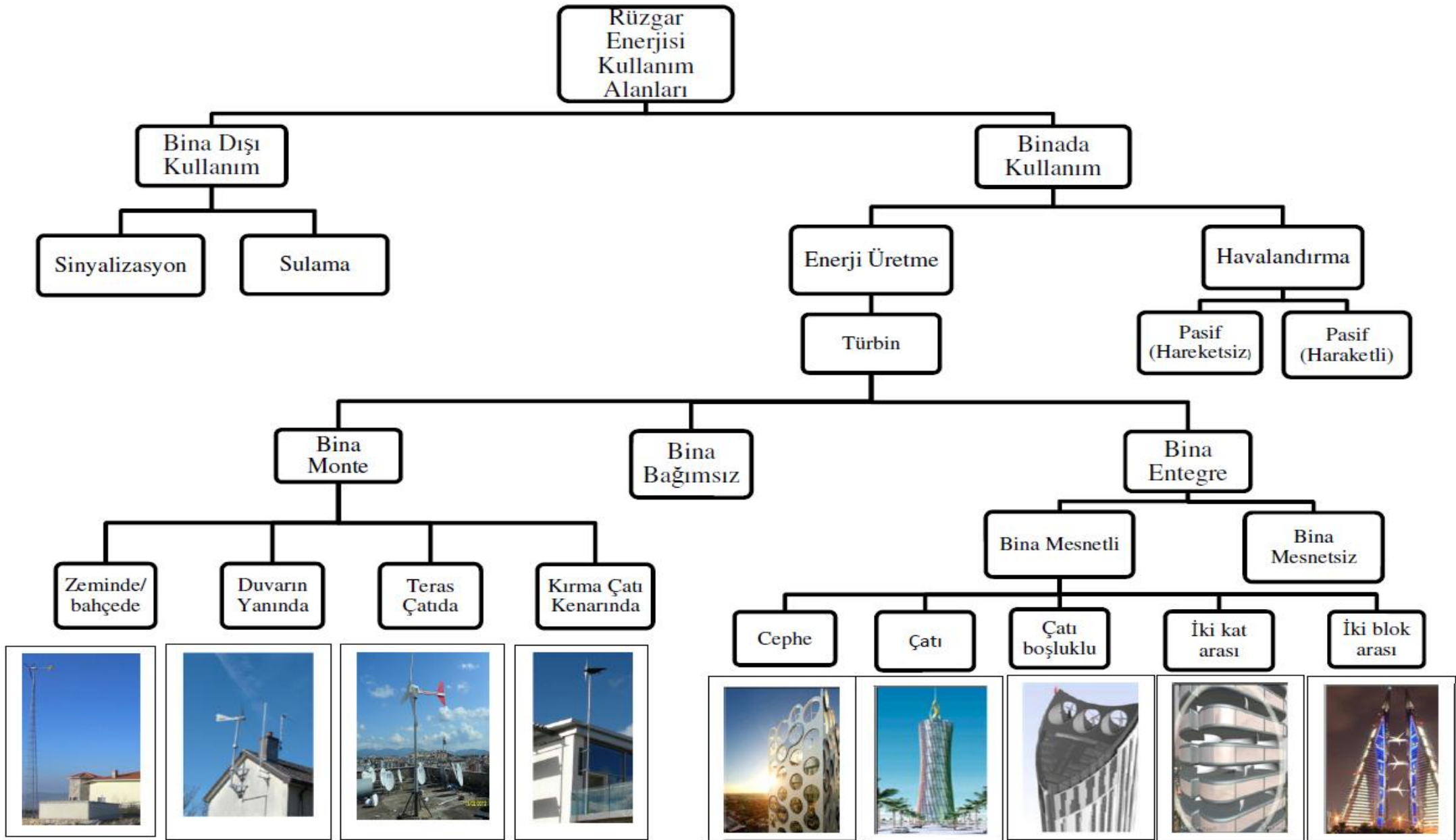
- Rüzgar enerjisi kullanımının olumlu ve olumsuz etkileri çokça tartışılan konulardandır. Rüzgar enerjisinden en önemli yararlanma alanı olan elektrik üretiminde yararlanan türbinlerin çevresel zararları olmasına rağmen olumlu etkilerinin daha fazla olması bir gerçektir.
- Rüzgar enerjisinin **olumlu özellikleri** aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Adıyaman, 2012; Çiçek, 2012; Öcal, 2012; Bektaş, 2013; Gökkuş, 2014):
- Rüzgarın **hammadde gereksinimi yoktur**, atmosferde serbest ve bol miktarda bulunmaktadır.
- **Yenilenebilir, sınırsız, temiz ve çevre dostu** bir enerji kaynağıdır. Rüzgar türbinleri çalışmaları esnasında herhangi bir gaz salımı yapmazlar ve kirlilik yaratmazlar. Sera gazı etkisini azaltır, böylece küresel ısınmayı engeller.
- **Sürdürülebilir** enerji kaynağıdır. Çevresel koşullar uygunsa sürekli bir enerjidir.
- Maliyet bakımından günümüzde kullanılan **diğer güç santralleriyle rekabet edebilir düzeydedir**.
- Konvansiyonel enerji santrallerine göre **daha az yer kaplamaktadır**.
- İhtiyaca göre **çeşitli büyüklüklerde üretilebilen bağımsız** sistemlerdir.
- **Bakım, onarım ve işletme maliyetleri giderek düşmektedir.**
- **İşletmeye alınma süreleri diğer santrallere göre kısa ve hızlıdır**
- **Rüzgar türbinlerinin kurulduğu arazi tarım alanı olarak da kullanılabilir.**

- Rüzgar enerjisinin **olumsuz özellikleri** ise aşağıdaki gibi sıralanabilir (Adıyaman, 2012; Çiçek, 2012; Öcal, 2012; Bektaş, 2013; Gökkuş, 2014):
- **İlk yatırım maliyeti yüksektir.**
- **Kapasite faktörleri düşüktür.**
- Rüzgâr hızının değişimi sonucunda **değişken enerji üretimi söz konusudur**. Rüzgâr enerji santrallerinin en önemli sorunlarından bir tanesi arz talep arasında oluşabilecek uyumsuzluklardır. Rüzgârın ne zaman eseceği belli olmadığı için istenilen zamanda istenilen miktarda enerji oluşturmak güçleşmektedir. Enerjiye talebin çok olduğu zamanlarda az enerji üretilebileceği gibi, talebin az olduğu dönemlerde çok enerji üretilebilmektedir.
- Rüzgâr türbinlerinin **gürültülü çalışması, kuşlara zarar vermesi, radarlarda parazit yapması, radyo ve televizyon alıcılarını olumsuz etkilemesi** benzeri çevresel açıdan olumsuzlukları da bulunmaktadır
- Genellikle **rüzgâr türbinlerinin kurulu olduğu alanlardaki ulusal elektrik hatlarının zayıf olması üretilen elektriğin taşınmasında sorun olabilmektedir**. Ulusal hatların bu bölgelerde zayıf olmasının nedeni, buralarda elektrik hatlarının toplama değil dağıtım amaçlı olarak kurulmasıdır.

5.4 Rüzgar Enerjisinin Kullanım Alanları

15

- Rüzgar enerjisi ilk çağlardan bu yana tarımsal ürünlerin kesilmesi, biçilmesi, öğütülmesi, sıkıştırılması, yağ elde edilmesi için mekanik enerji elde edilmesinde yararlanılmaktadır. **Rüzgar enerjisinin kullanım alanlarını** genel olarak üç grupta toplamak mümkündür. Bunlar;
- **Mekanik uygulama alanları (su çıkarma, öğütme gibi),**
- **Elektriksel uygulama alanları (Şebeke bağlantısız ve şebeke bağlantılı uygulamalar),**
- **Isı enerjisi uygulamalarıdır (Alkan, 2013).**
- **Rüzgar enerjisinin kullanım alanları bina içi kullanımı ve bina dışı kullanımı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Şekil 5.7).** Bina dışı kullanımı sulama ve sinyalizasyon iken yapılı çevredeki, özellikle de binalarda ve yerleşmelerde kullanımı, havalandırma ve enerji üretme (elektrik enerjisi) gibi alanlara hizmet etmektedir (Bektaş, 2013).

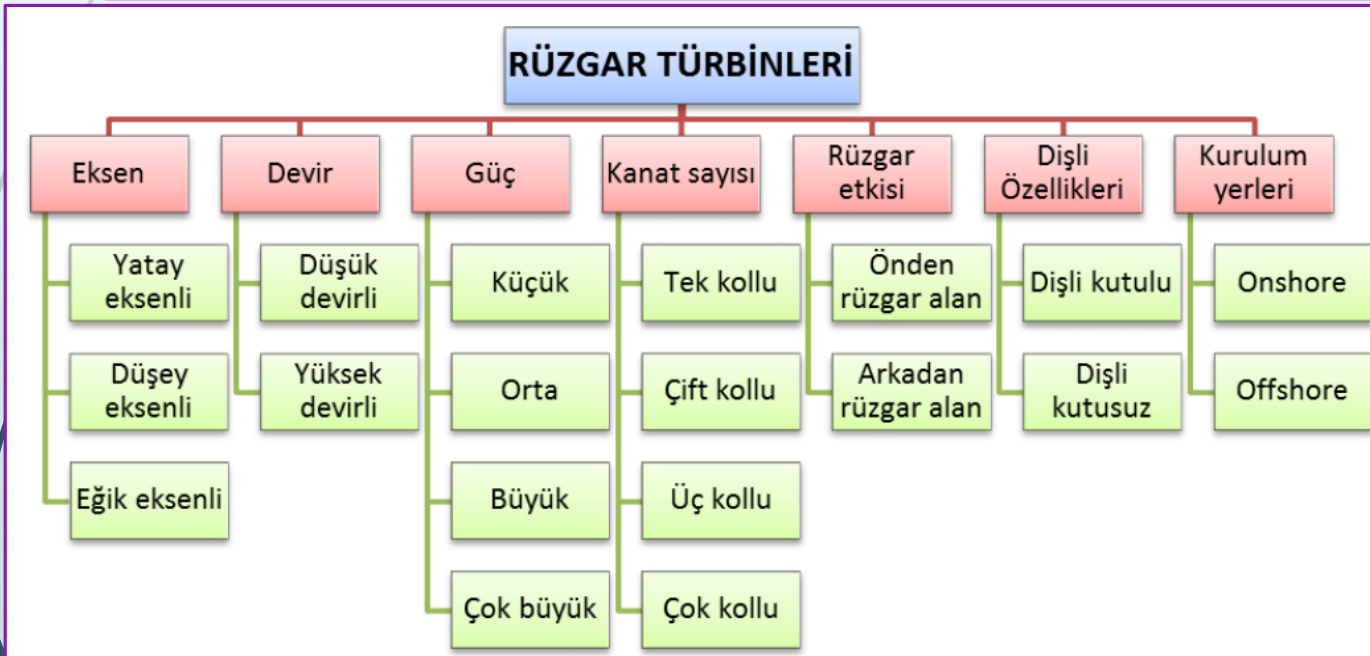


Şekil 5.7 Rüzgar enerjisinin kullanım alanlarının sınıflandırılması (Bektaş, 2013)

5.5 Rüzgâr Türbinleri

17

- Rüzgâr türbinleri, doğal bir kaynak olan rüzgâr enerjisini elektrik enerjisine dönüştürme işlevini yapan makinelerdir. Bu dönüşüm işlemi öncelikli olarak **kinetik enerjiye** sahip olan yani hareket halindeki rüzgâr enerjisi, kanatlar yardımıyla **mekanik enerjiye** yani dairesel harekete dönüştürülür. Sonrasında ise dairesel hareketi dolaylı yâda doğrudan **elektrik enerjisine** dönüştürmek için elektrik jeneratörlerine uygulamak suretiyle elektrik enerjisine dönüştürür (Gökkuş, 2014).
- Rüzgâr türbinleri; dönme eksenleri, devir sayıları, güçleri, kanat sayıları, rüzgâr etkisi, dişli özellikleri ve kurulum yerlerine göre sınıflandırılmaktadırlar (Şekil 5.8 Elibüyük ve Üçgül, 2014).



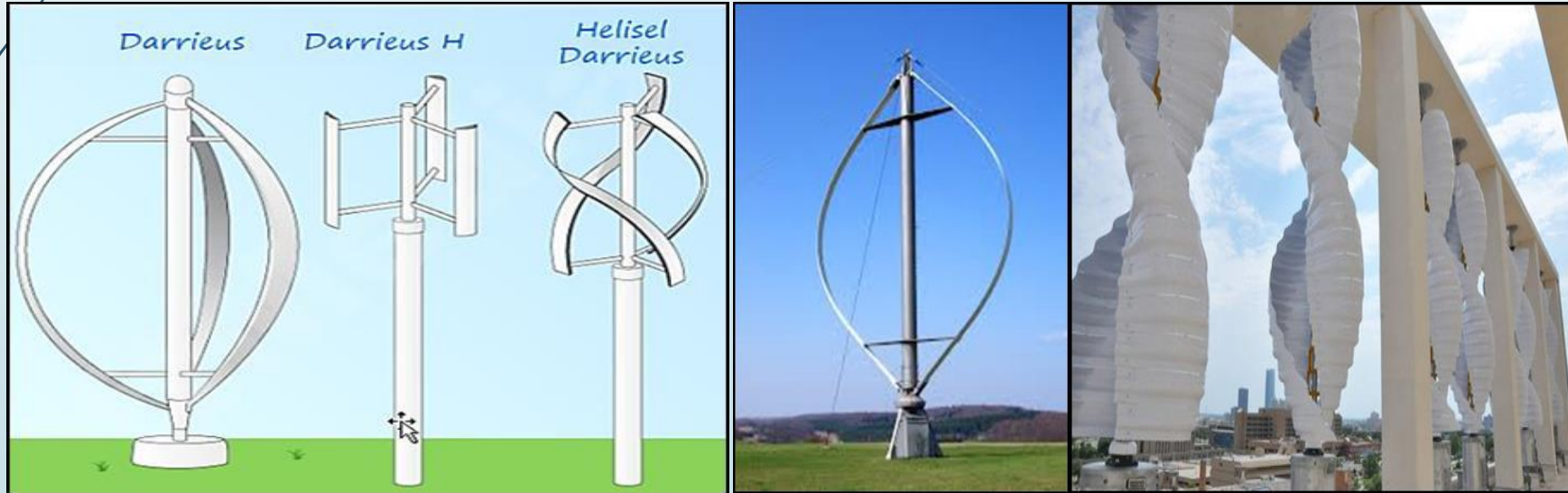
Rüzgâr türbinlerinin en karakteristik özelliği dönme eksenlerinin yeryüzüne göre konumlarıdır ve buna göre düşey, yatay ve eğik eksenli olmak üzere üçe ayrılırlar:

Şekil 5.8 Rüzgâr türbini sınıflandırılması (Elibüyük ve Üçgül, 2014)

5.5.1 Düşey eksenli türbinler

18

- Tarihteki **en eski rüzgar türbini tasarımları düşey eksenli rüzgar türbinleri** sınıfına girmektedir. Düşey eksenli rüzgar türbinleri sapma (yawing) sistemine ihtiyaç duymaması, kanatların sabit bir profile sahip olması ve kanat üretiminde alüminyum gibi daha basit malzeme kullanılabilmesi nedeniyle üretiminin kolay ve ucuz olması, redüktör, jeneratör ve dişli kutusu gibi ağır elemanların yere veya yere yakın ve sabit bir kuleye yerleştirilmesi açısından avantajlıdır. Ancak dönüşten kaynaklanan (cyclic) aerodinamik yüklerin genelde alüminyumdan üretilmiş düşey eksenli türbinlerin kanatlarında yorulmaya sebep olması, yapı ile kontrol arasındaki uyumsuzluklar, kanatların yere yakın bölgede olması nedeniyle düşük rüzgar hızlarında çalışması, genel kapasite değişkenlerinin ve veriminin yatay eksenli rüzgar türbinlerine göre düşük olması ve elektrik üretimi açısından en uygun tip olan Darrieus türbinlerinin dışarıdan bir kuvvetle başlatılma gereksinimi açısından dezavantajlıdır (Öcal, 2012).
- Düşey eksenli rüzgar türbinleri içinde en yaygın olarak bilinen üç tür Savanious türbinleri, Darrieus (Φ) türbinleri ve H-Darrieus türbinleridir (Şekil 5.9) (Öcal, 2012).



Şekil 5.9 Düşey eksenli rüzgar türbinleri (Öcal, 2012)

5.5.2 Yatay eksenli rüzgâr türbinleri

19

- Yatay eksenli türbinlerin dönme eksenleri, rüzgârın yönü ile paralel olmasına karşın kanatların konumu rüzgâr yönüne dik konumdadır. Bu tip rüzgâr türbinleri kurulduğu yere, üretici firmaya, yâda alana hâkim olan rüzgârın türüne göre **bir, iki, üç veya çok kanatlı** bir yapıya sahip olabilir (Şekil 5.10) (Gökkuş, 2014).
- Farklı kanat sayılarına göre karşılaştırma yapılırken performans, yükler, rotor maliyetine etkisi, gürültü ve görüntü gibi faktörler kullanılabilir (Öcal, 2012):



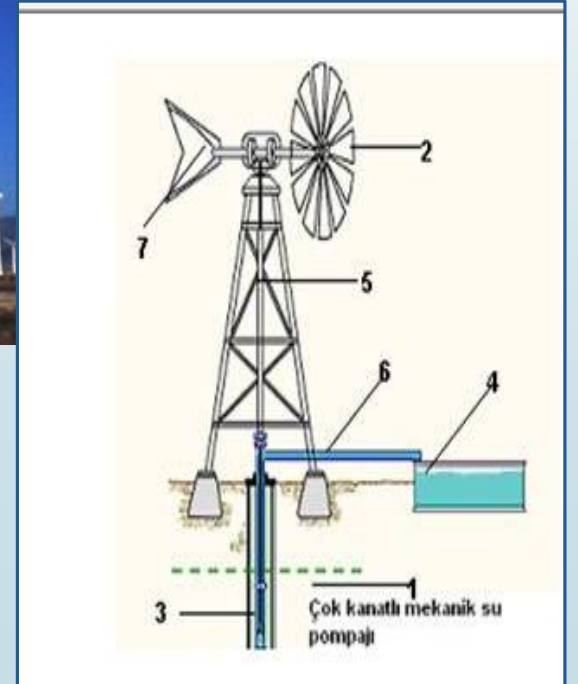
- **Tek kanatlı rüzgar türbinlerinin** güç katsayıları iki ve üç kanatlılara oranla % 5 ila % 10 oranında daha azdır. Bunun yanında tek kanatlı türbinler ekonomik ve hafif olmakla beraber yüksek rotasyonel hızda çalışırlar ve gürültü, görüntü etkisi sebebiyle daha **az tercih edilmektedir**. Tek kanatlı rüzgar türbinlerinin yüksek uç hız oranı ve düşük maliyeti avantaj oluşturmaktadır.



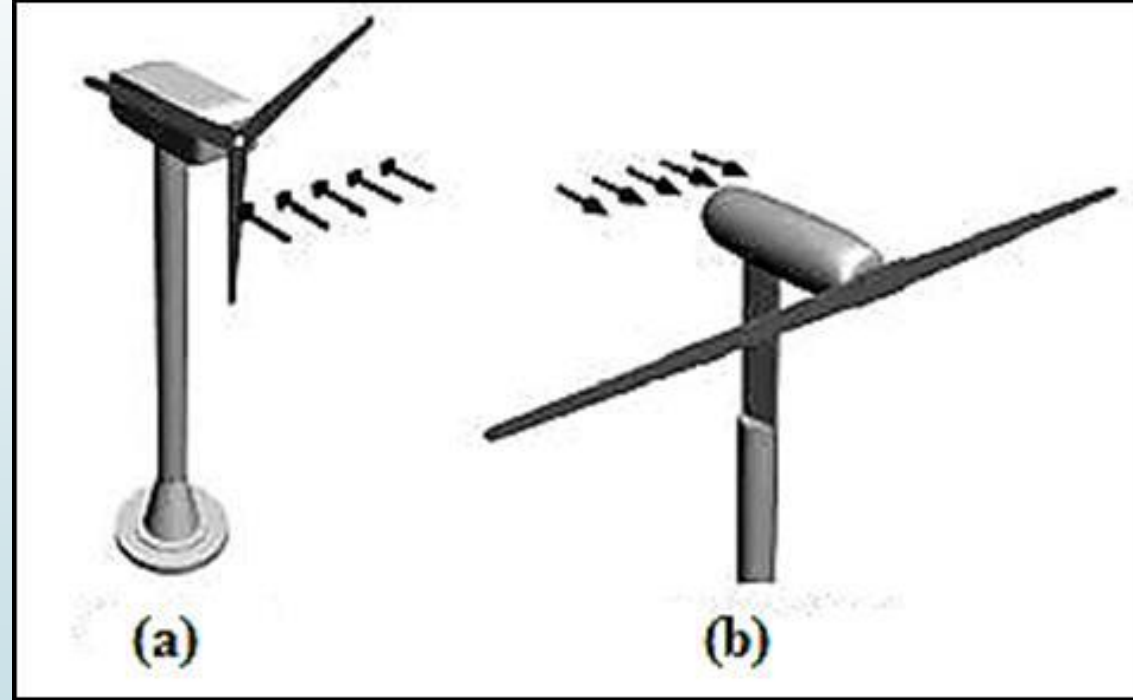
- **İki kanatlı rüzgar türbinleri** de tek kanatlı rüzgar türbinleri gibi **ekonomik ve hafiftir**. İki kanatlı rüzgar türbinlerinin eylemsizlik momenti düşey konumdayken yatay konuma göre daha düşüktür. Bu yüzden birçok iki kanatlı rüzgar türbininde tahterevallı yataklı pervane (teetering rotor) kullanılır İki ve tek kanatlı rüzgar türbinlerinin yüksek uç hızı oranlarından kaynaklanan yüksek ses tercih edilen bir durum değildir. Ayrıca bu türbinler görsel olarak da rahatsız edici bulunmaktadır.



- **Elektrik üretimi için kullanılan modern rüzgar türbinlerinin çoğu üç kanatlıdır.** Üç kanatlı rüzgar türbinleri sabit sapma açısına göre polar eylemsizlik momenti yönünden ve rotorun azimutal pozisyonundan bağımsız olması açısından diğer türbin çeşitlerini göre avantajlıdır. Üç kanattan fazlası maliyeti arttırdığı için elektrik üretiminde kullanılan modern rüzgar türbinlerinde kullanılmaz.
- **Çok kanatlı rüzgar türbinleri grubuna dört veya daha fazla kanattan oluşan dakikada 10-40 devir yapabilen klasik yel değirmenleri ve 12-24 kanattan oluşan genelde su pompalamak amacıyla kullanılan, 2-3 m/sn gibi hızlarda çalışabilen yüksek torka sahip türbinler sayılabilir.**



- Bunun yanı sıra **yatay eksenli rüzgâr türbinleri, rüzgârı yakalama durumlarına göre iki şekilde imal edilirler.** Rüzgârın önce rotora çarptığı ve sonra kuleyi yalayıp geçtiği duruma uygun tasarlanmış türbinlere ileriden veya **önden rüzgâr alan (up-wind)**, kuleye çarptıktan sonra rotora geldiği duruma uygun tasarlanmış türbinlere ise geriden veya **arkadan rüzgâr alan (down-wind)** türbin şeklinde tanımlanır (Şekil 5.11) (Gökkuş, 2014).

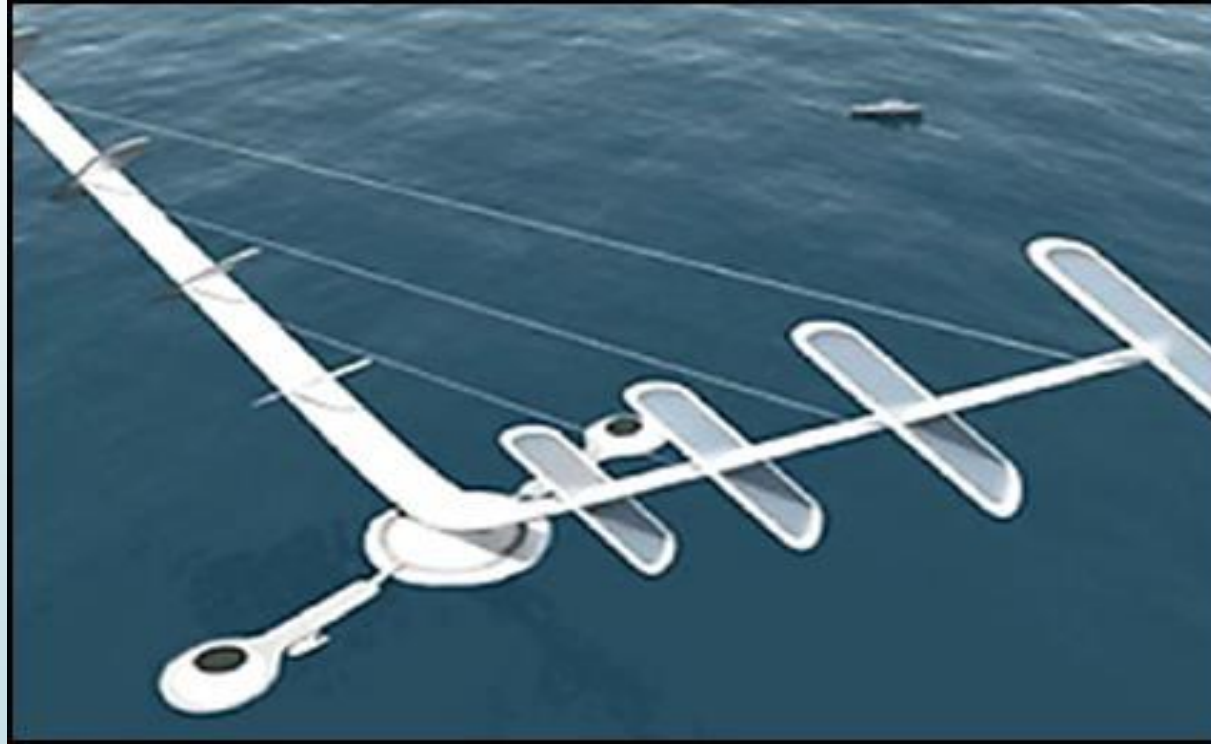


Şekil 5.11 Rüzgâr etkisine göre türbinler (a) Önden rüzgâr alan, (b) Arkadan rüzgâr alan (Elibüyük ve Üçgül, 2014)

5.5.3 Eğik eksenli rüzgar türbinleri

24

- Eğik eksenli rüzgar türbinleri; **düşey eksen ile türbin dönme eksenini arasında rüzgar yönünde açı olan türbin tipidir** (Şekil 5.12). Eğik eksenli rüzgar türbinleri kendilerine geniş bir uygulama alanı bulamamışlardır. Bununla birlikte ticari açıdan da tercih edilmemektedirler (Alkan, 2013).

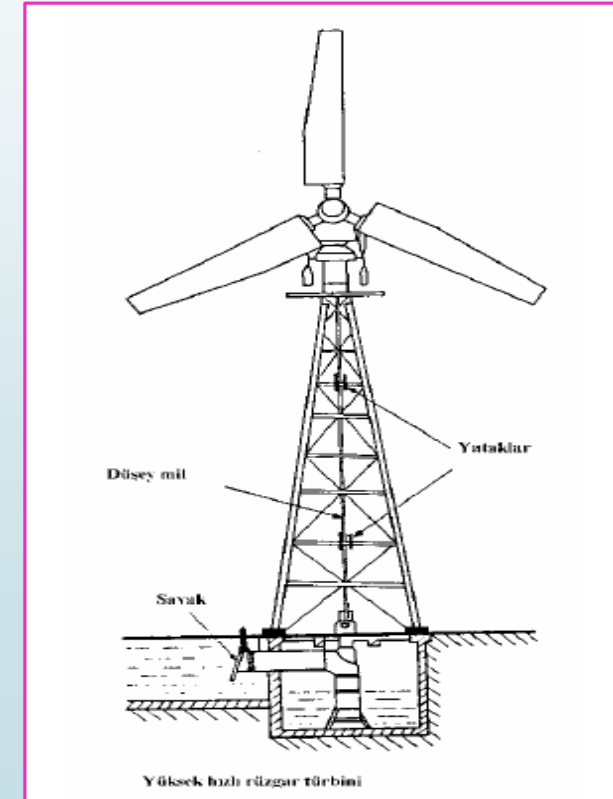
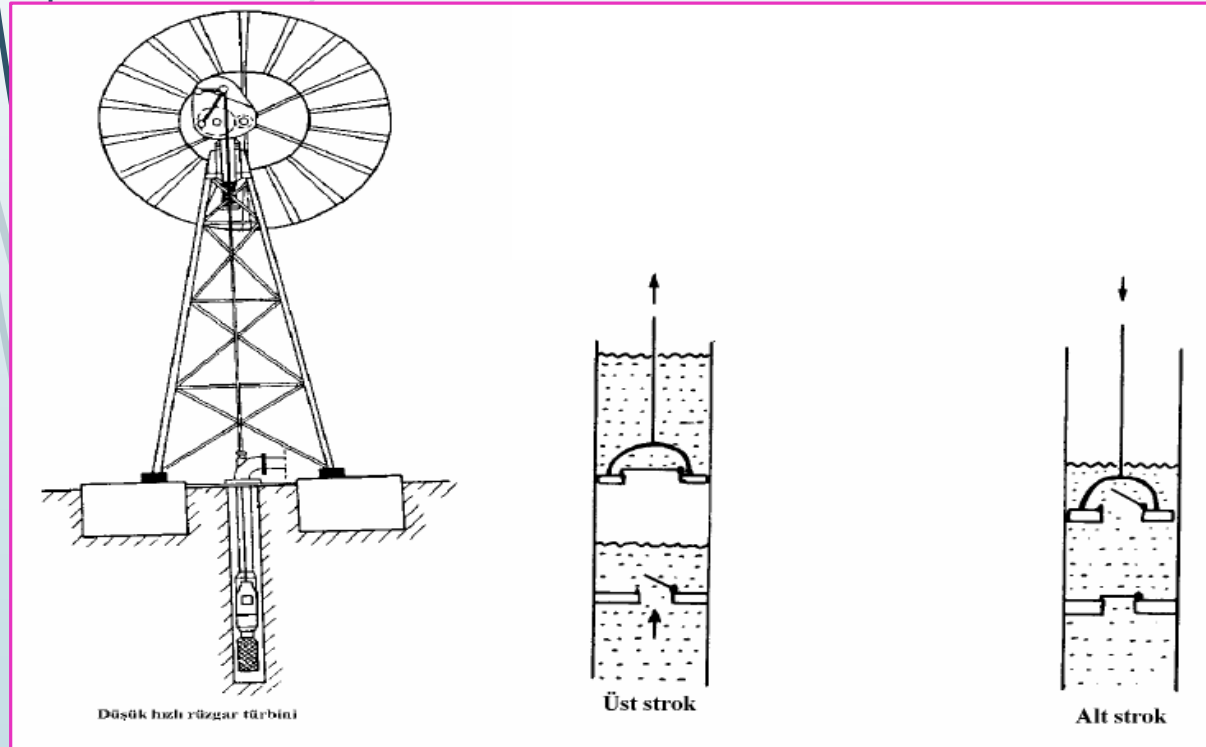


Şekil 5.12 Eğik eksenli rüzgâr türbinleri (Elibüyük ve Üçgöl, 2014)

5.5.4 Rüzgar gülleri

25

- **Rüzgar türbinlerinin ilk örnekleri ve gelişmemiş tipleri rüzgar gülleridir.** Bunlar çok kanatlı yapıda olup su pompalanmasında kullanılmaktadır. Rüzgar güllerinin düşük hızlı ve yüksek hızlı çalışan sistemleri bulunmaktadır.
- Düşük hızda çalışan rüzgar enerjili su çıkartma sistemi Şekil 5.13'de görülmektedir. Bu sistemde rüzgar enerjisi türbin milinde mekanik enerjiye dönüştürülmektedir. Milde elde edilen dönü hareketi bir krank biyel sistemiyle doğrusal harekete çevrilmiştir. Doğrusal hareket suyun çıkarılmasını sağlayan pompanın çalıştırılmasında ve suyun çekilmesinde kullanılmaktadır. Düşük hızlı sistemlerde tek yönde hareket eden pompalar kullanılmaktadır.
- Yüksek hızda çalışan sistemlerde helisel veya santrifüj pompalar kullanılmaktadır (Şekil 5.14).



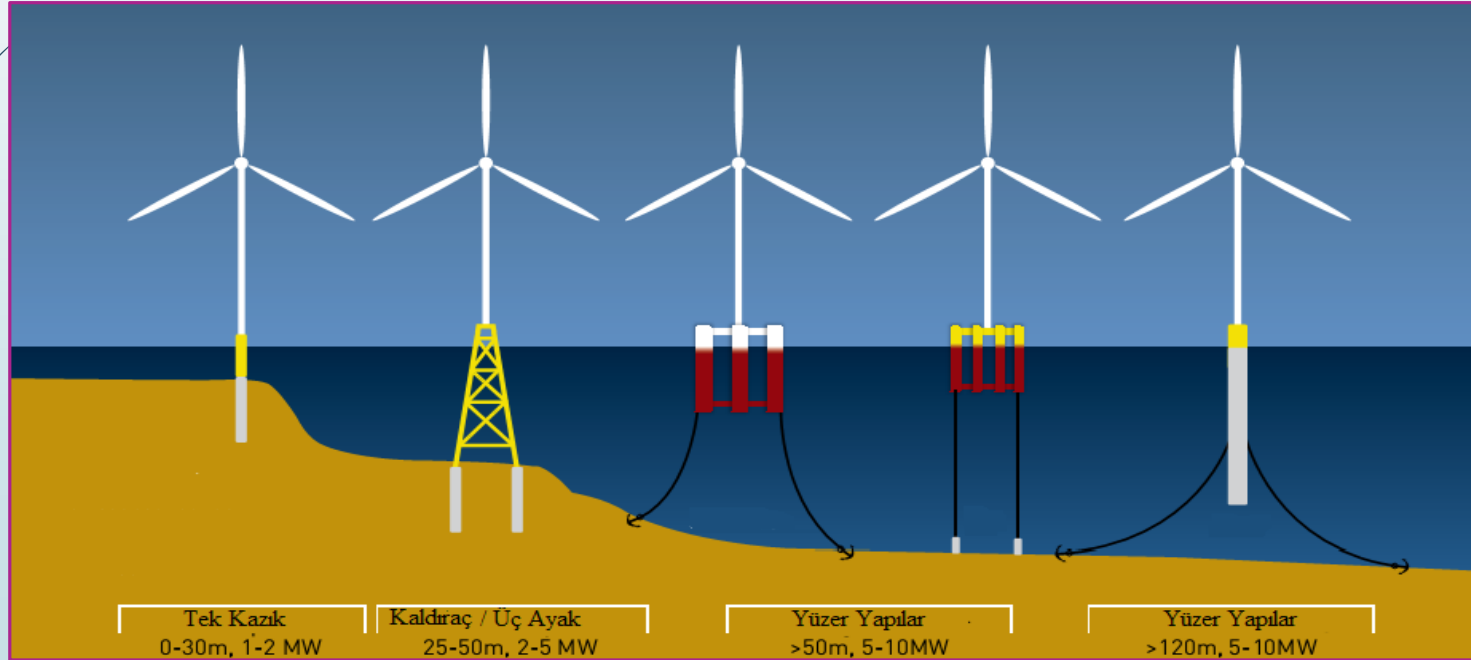
Şekil 5.13 Düşük hızlı rüzgar türbini ve su pompalama sistemi
(www.kimyamuhendisi.com)

Şekil 5.14 Yüksek hızlı rüzgar türbinine sahip su pompalama sistemi
(eng.harran.edu.tr/~ccetiner/ruzgar_enerjisi_4.pdf)

5.5.5 Açık deniz rüzgar türbinleri

26

- Açık denizlerdeki rüzgar enerjisinin verimliliğinden faydalanmak rüzgar enerjisi piyasası için oldukça önemlidir. Bugüne kadar yapılan çalışmaların özellikle yakın sahil bandına konumlandırılan deniz tabanına monte edilmiş rüzgar türbinlerinden (onshore) oluştuğu bilinmektedir. Ancak bu rüzgar çiftliklerinin gürültü, görüntü kirliliği, gemi trafiğini, radarları etkileme gibi problemlere yol açtığı değerlendirilmektedir. Yakın zamanda yürütülen çalışmaların rüzgar türbinlerini özellikle karadan daha uzak noktalara ve derinliklere taşıma konusunda yüzer platform sistemli rüzgar türbinleri (offshore) üzerine yoğunlaştığı görülmektedir (Alkan, 2013).



Şekil 5.15 Açık deniz rüzgar türbini kavramsal tasarımları (Rodier ve Weinstein 2010)

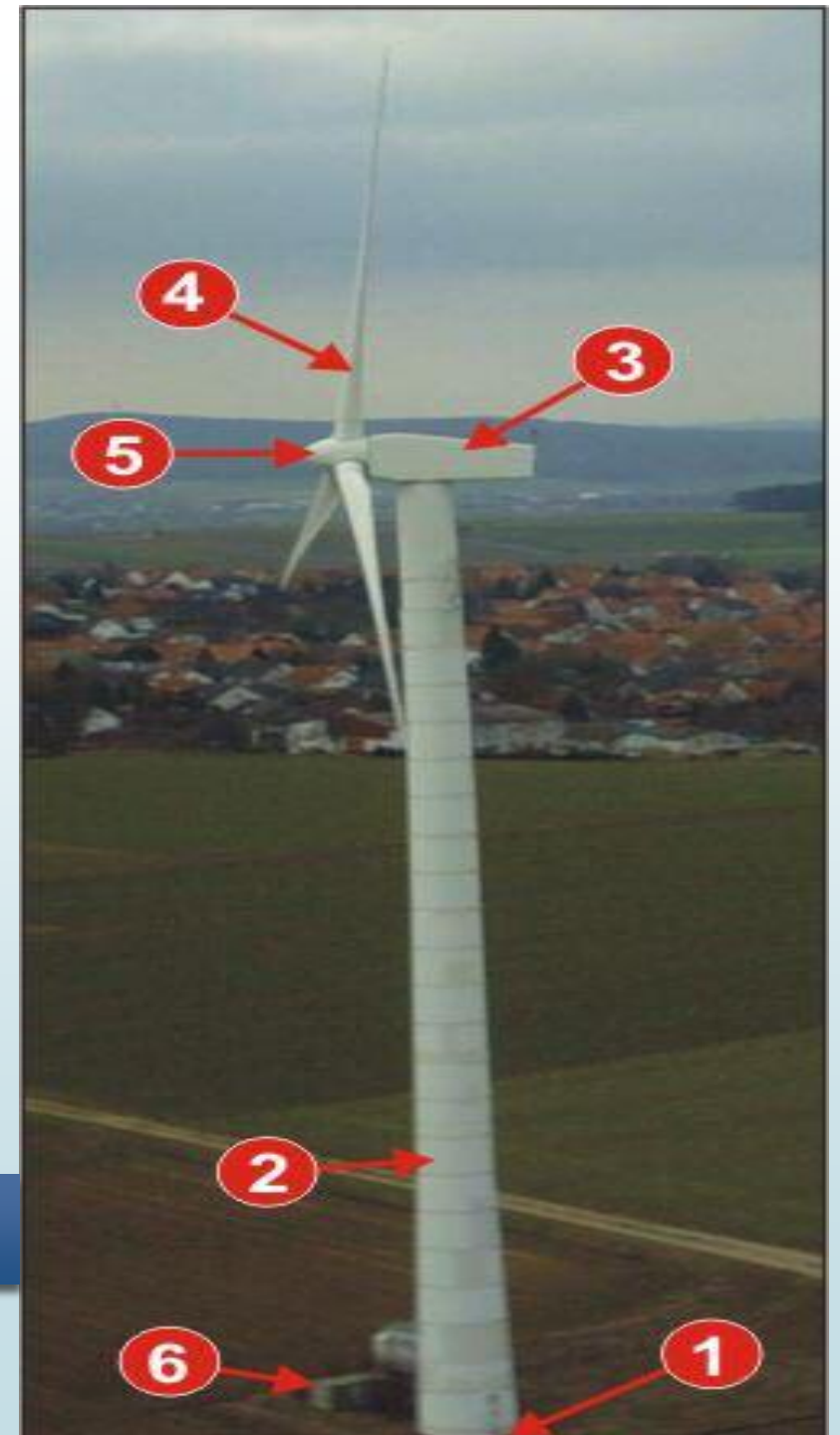
- Açık denizlerdeki rüzgarlar karaya göre daha az bir türbülansa sahiptir ve bu da karaya göre çok daha yüksek hız değerlerine ulaşmalarını sağlamaktadır. Yüksek hız değerleri de daha fazla elektrik üretimini mümkün kılmaktadır. Üretilen gücün rüzgar hızının küpüyle orantılı olarak arttığını düşünürsek karadan birkaç kilometre bile denizel alanlara doğru gitmek elektrik üretiminde ciddi bir artış imkanı sağlamaktadır. Örnek vermek gerekirse aynı rüzgar türbini ile ortalama rüzgar hızının 28 km/h olduğu bir yerden ortalama rüzgar hızının 22 km/h olan bir yere göre %60 daha fazla elektrik üretimi mümkündür. Bu rüzgar gücünden elektrik üretiminde hız faktörünün ne derece önemli olduğunu göstermektedir (Kurian ve Ganapathy 2010; Alkan, 2013). Şekil 5.15'de açık deniz rüzgar türbini kavramsal tasarımları gösterilmektedir.
- Günümüzde açık deniz rüzgar türbini tasarımları deniz şartlarını da göz önünde bulunduracak şekilde mevcut kara tabanlı türbinlerde bazı kayda değer değişiklikler yapılarak şekillendirilmektedir. Bu modifikasyonlar, dalga yüklerini karşılayacak şekilde kule yapılarının güçlendirilmesi, dişli sistemi ve elektriksels bileşenlerin korozyif etkilerden korunması, personelin bakım-tutum faaliyetleri için platforma kolayca ulaşımın sağlanması, acil durum şalteri eklenmesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunlara ek olarak deniz suyuna maruz kalacak en dış yüzeylerin korozyif etkilerden korunması için özel deniz tipi boyalarla boyanması gerekmektedir. Karadaki türbinlerde olduğu gibi hava araçlarına karşı bazı ikaz lambalarının konulması, özel parlak renklerin kullanılması ve ek olarak deniz araçlarının sisli havalarda türbinleri fark etmelerini sağlayacak ek tedbirlerin alınması gerekmektedir. Açık deniz rüzgar türbinleri 2 MW-5 MW değerleri arasında değişen güç kapasiteleri ile karadaki standart uygulamalardan fazla bir standart güç kapasitesine sahiptirler (Alkan, 2013).

5.5.6 Yatay eksenli rüzgâr türbinlerinin yapısı ve parçaları

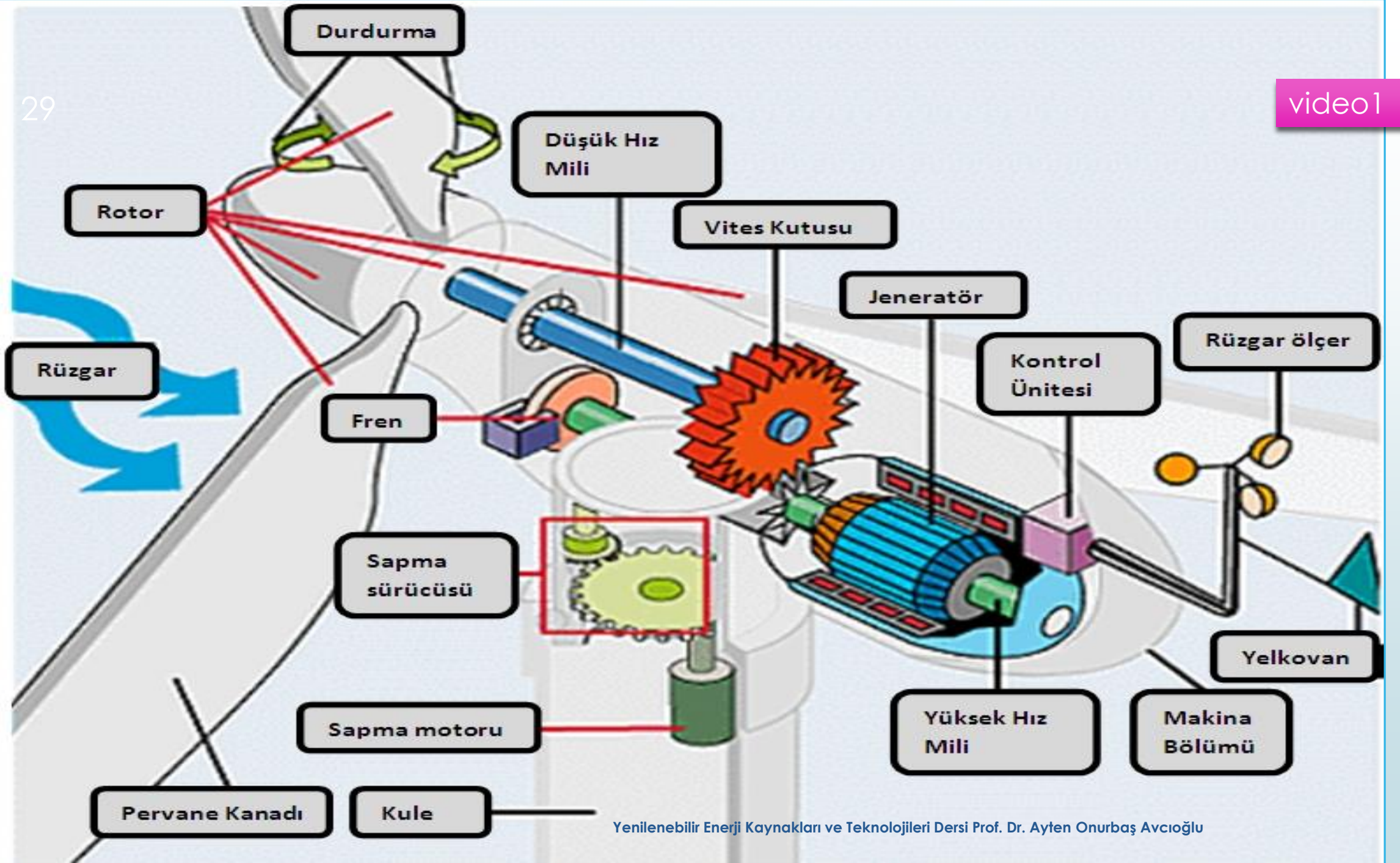
- Yatay eksenli rüzgâr türbinleri birden fazla parçadan meydana gelen bir sistemdir. Şekil 5.16'da yatay eksenli rüzgâr türbinini oluşturan parçalar görülmektedir.
- Rüzgâr türbin parçaları türbinin yapısına, kurulumu yapılacağı bölgeye, üretici firmaya, markaya ve modele göre değişiklik gösterse de genel olarak:
 - · Ana gövde (nacelle),
 - · Kanatlar (blades),
 - · Rotor,
 - · Dişli kutusu (gearbox),
 - · Fren sistemi (brake system),
 - · Kanat açısı kontrol mekanizması (pitch control),
 - · Gövde döndürme mekanizması (yaw control),
 - · Kule (tower),
 - · Jeneratör (generator),
 - · Diğerleri (anemometer, oil cooler)
- gibi temel parçalardan oluşmaktadır (Gökkuş, 2014).

Şekil 5.16 Yatay sistem bir rüzgar türbini (Gülay, 2008)

1 Temel, 2 Kule, 3 Gövde, 4 Kanatlar, 5 Pervane Göbeği, 6 Dönüştürücü (Trafo)



Şekil 5.17 Yatay eksenli rüzgâr türbinini oluşturan parçalar (Gökkuş, 2014)



► **Ana gövde (nacelle):**

- Kanatlar ve kule dışındaki bütün diğer parçaları (jeneratör, dişli kutusu, fren sistemi, yaw kontrol mekanizması ve elektronik kontrol ekipmanları) içerisinde barındıran dış gövdedir. Ana gövde rüzgâr türbininin elektrik, elektronik ve mekanik parçaların dış etkenlerden korunmasını sağlamaktadır. Yağmur yâda kar gibi doğa olaylarının meydana geldiği durumlarda bahsi geçen hassas bileşenlerin korunması bu yapı sayesinde gerçekleşir. Ana gövde aerodinamik yapısı sayesinde, rüzgârın sürtünme kuvvetinden doğacak fazladan kuvvetin önüne geçilmesinde ve rüzgâr tarafından oluşturulan girdaplarında etkisinin azaltılmasında kullanılır. Sistemin çalışması esnasında ortaya çıkan ve sistemden uzaklaştırılması gereken ısı enerjisini de güvenle sistemden uzaklaştırılmasını sağlar.

► **Kanatlar (blades):**

- Kanatlar kinetik enerji halinde olan rüzgârdan hareket enerjisine dönüşüm yapmayı sağlar. Aerodinamik yapısı sayesinde kanatlara çarpan rüzgâr kanatlar üzerinde bir kaldırma kuvveti meydana getirir ve kanatların hareket etmesini sağlar. Bu sayede kanatların bağlı bulunduğu milin döndürülmesi sağlanmış olur. Eski zamanlarda metal malzemeler kullanılarak üretilen kanatlar, günümüz teknolojisinin getirmiş olduğu yenilikler ile kanat teknolojisi farklı bir noktaya taşınmıştır. Kompozit ve nano teknoloji ürünleri ile çelikten güçlü fakat hafif kanatlar üretilmektedir. Ayrıca kanatlar üzerine yapılan kaplamalar ile sürtünme kuvveti en aza indirilebilmektedir.

► **Rotor:**

- Rotor, kanatlarına bağlı bulunduğu, rüzgârın kaldırma kuvvetinin dairesel harekete dönüştüğü kısımdır. Bu dairesel hareket rotorun bağlı olduğu mil sayesinde dişli kutusuna aktarılır.

► Dişli kutusu (gearbox):

- Dişli kutusu araçlardaki vites sistemi ile aynı görevi yerine getirmektedir. Rüzgâr türbinlerinin rotorları marka, model ve santralin kurulu olduğu yere göre değişmektedir. Ortalama en uygun rüzgâr hızı olan 7 m/s değerlerinden başlamak üzere 20 d/min ile 40 d/min arasında dönebilmektedir. Ancak bu dönüş sayısı istenilen oranda güç ve frekans değerini sağlayamamaktadır. Bu nedenle 20-40 d/min devir sayısının kullanılacak olan alternatif akım jeneratörü ise jeneratörün kutup sayısına bağlı olarak 750-3000 d/min değerine yükseltilmesi gerekmektedir. Bu gereksinimlerden dolayı dişli kutusu düşük devir mili ve yüksek devir mili olarak iki mile sahiptir ve bu miller üzerinden sisteme bağlanır. Düşük devir mili türbinin rotoruna, yüksek devir mili ise jeneratöre bağlıdır. Örneğin düşük devir miline uygulanan 25 d/min'lık döndürme etkisi, yüksek devir milinden 2500 d/min olarak alınabilmektedir. Bu sayede istenilen güç ve frekans değeri elde edilebilmektedir.

► Fren sistemi (brake):

- Rüzgâr türbinlerinin aşırı rüzgâr ya da kontrolden çıkması gibi durumlar karşısında zarar görmesini engellemek amacıyla fren sistemi kullanılmaktadır. Rüzgâr hızının istenilen değerleri aşması durumunda sistemi kontrol altına alabilmek için rotor devir sayısını düşürmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca sistemin periyodik bakımları ya da arıza giderme gibi durumlarda da türbinin devreden çıkarılması gerekmektedir. Bu gibi durumlarda fren sistemi devreye alınarak rüzgâr türbininin zarar görmesi engellenmektedir.

► Kanat açısı kontrol mekanizması (pitch control):

- Kinetik enerji durumundaki rüzgâr enerjisi dairesel harekete kanatlar ile çevrilmektedir. Kanatların aero dinamik yapıları sayesinde daha az rüzgâr hızlarından daha fazla kaldırma kuvveti, dolayısıyla daha güçlü döndürme kuvveti elde edilmektedir. Kanat açısı kontrolü günümüz teknolojisiyle üretilen rüzgâr türbinlerinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu yapı rotorlara bağlı olan kanatların kendi etrafında döndürülebilmesine olanak sağlamaktadır. Kanatları döndürmek suretiyle istenildiği durumda daha fazla rüzgâr yakalayıp daha fazla kaldırma kuvveti oluşturmasını sağlamaktadır. Yine istenilen durumda hiç rüzgâr yakalamaması için uygun pozisyona getirilebilmektedir.
- Kanat açısı kontrol mekanizmasında, gövde üzerinde bulunan sensörler sayesinde o anki rüzgâr hızı ölçülür ve bu hız değerinde elde edilebilecek enerji değeri hesaplanır. Hesaplanan enerjiyi üretebilmek için türbin kanatlarının açısı değeri belirlenir. Kanatları, belirlenen açı değerine getirmek için kanatların dönmesini sağlayan elektrik yada hidrolik motorlarına hareket verilerek döndürme işlemi gerçekleşir. İstenilen açı değerine gelindiğinde ise kanatlar kilitletlenir ve bir sonraki durum için ölçümlere devam edilir. Ayrıca istenildiğinde sistemin kontrolü manuel olarak da yapılabilmekte, türbin gerekli durumlarda devreden çıkarılabilmekte ya da o anki rüzgâr potansiyeline bağlı olarak tam kapasite ile çalıştırılabilmektedir.

► **Gövde döndürme mekanizması (yaw control):**

- Gövde döndürme mekanizması, rüzgâr türbinlerinin gövdesi olarak tanımlanan ve kule haricindeki diğer türbin parçalarını taşıyan bölümü hareket ettirmek için kullanılan kısımdır. Rüzgârı önden ve arkadan alan, düşük güçlü rüzgâr türbinlerinde bulunan bir kuyruk sayesinde rüzgâr yönü otomatik olarak tayin edilmekte ve gövde rüzgâra döndürülmektedir. Ancak büyük yapılı ve yüksek güçlü rüzgâr türbinlerinde bu işlemi gerçekleştirmek için “yaw kontrol” ya da gövde döndürme mekanizması olarak bilinen sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemde gövde üzerinde bulunan sensörler sayesinde rüzgârın yönü tespit edilir ve bir kontrolcü tarafından tasarıma bağlı olarak elektrik veya hidrolik motorlarla hareket verilir. Dişli yada diğer sistemler motorlardan almış olduğu hareketleri gövdeye uygularlar. Gövde rüzgârı en verimli biçimde karşılayacak konuma, kule etrafında kontrollü bir şekilde döndürülerek ulaştırılır.

► **Kule (tower):**

- Türbin kanatlarının ve elektrik enerjisine dönüşüm yapan jeneratörün yüksek noktalarda konumlandırılması ve bu noktalarda güvenle çalışabilmesi kule sayesinde gerçekleştirilir. Kule, genelde silindirik bir yapıya sahiptir. Çünkü rüzgâr enerjisinin potansiyeli, yükseklikle doğru orantılı olarak artacağı için, rüzgâra karşı direnç oluşumunun önüne geçilmeye çalışılır. Türbinin gövdesi ve kanatlar yüzünden sistem yeterince rüzgâr sürtünmesine ve rüzgâr tarafından beslenen bir kuvvete maruz kalmaktadır. Bu yapılar çoğunlukta kuvvete karşı dayanıklı çelik kullanılarak oluşturulurlar. Silindirik şeklinde olmaları sayesinde sistemle ilgili bakım-onarım işlerini yapabilmek için gövdeye ulaşım bu yapının içerisinde bulunan bir merdiven ya da yüksekliğe bağlı olarak bir asansör yardımıyla gerçekleştirilir. Ayrıca elde edilen elektrik enerjisinin taşınacağı elektrik kabloları da bu yapı içerisinde bulunan zemine aktarılır. Buradan gerek duyulursa trafo veya diğer dönüşüm sistemleri sayesinde şebekeye bağlanır.

► **Jeneratör (Generator):**

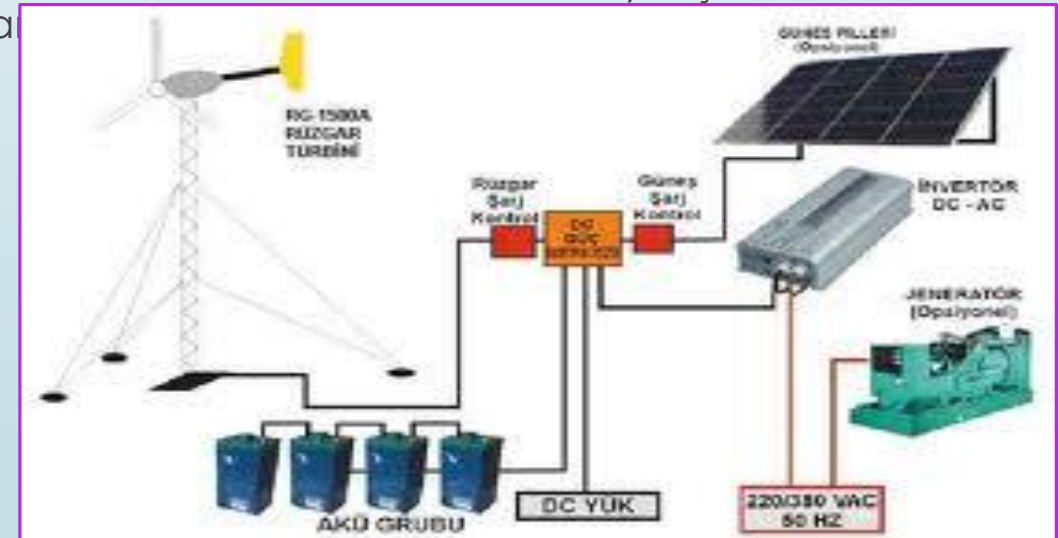
- Jeneratör kinetik haldeki rüzgâr enerjisinden elde edilen mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüştürüldüğü kısımdır. Jeneratör, miline uygulanan mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren elektrik makinesidir. Rüzgâr türbinleri kurulduğu bölgenin rüzgâr türüne bağlıdır. Bu durum sonucunda rüzgâr türbinleri değişken hızlı ve sabit hızlı olmak üzere iki başlıkta incelenir.
 - Sabit hızlı rüzgâr türbinlerinde çoğunlukla senkron jeneratörler kullanılmaktadır. Ancak bu jeneratörler rüzgâr türbinleri için rüzgâr hızı sürekli değiştiği için çok kullanışlı değildir.
 - Değişken hızlı rüzgâr türbinlerinde asenkron (indüksiyon) jeneratörler, fırçasız doğru akım jeneratörleri (FDAJ) ve DA jeneratörleri kullanılmaktadır. Komütatör yapılarına sahip olan DA jeneratörleri bakım gerektirmeleri ve sahip oldukları kalıcı mıknatıs yapılarının sağladığı düşük güç kapasitesi sebebiyle şebekeden bağımsız çalışan ve düşük güç gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadır. Asenkron jeneratörler ise az bakım gerektirmeleri, hareketli yapılarının az olması ve değişken rüzgârlara vermiş olduğu tepki sebebiyle en çok kullanılan jeneratör tipidir.
 - Jeneratörlerin, kullanılacağı yere ve gücüne bağlı olarak yatay çalışan, dikey çalışan, kapalı gövde, açık gövde, flanşlı tip gibi pek çok çeşidi vardır. Ayrıca bağlanacağı şebeke ya da besleyeceği yükün durumuna göre 3 fazlı, 2 fazlı ya da 1 fazlı olabilmektedir.
- ## ► **Diğer donanımlar:**
- Sistem için gerekli olan bilgilerin toplandığı kısımdır. Rüzgâr hızını ve yönünü ölçen sensörler, sistem içi ısı dengesini korumayı sağlayan havalandırma ve yağ soğutma sistemleri, alçak uçuş yapan uçaklar gibi hava araçlarını uyardırmaya yarayan ışıklı uyarı sistemleri, sistemin kontrolünü yapan kontrolcüler ve diğer elektronik yapılar bu kısımda ele alınır (Gökkuş, 2014).

5.5.7 Güneş ve rüzgar hibrit sistemler

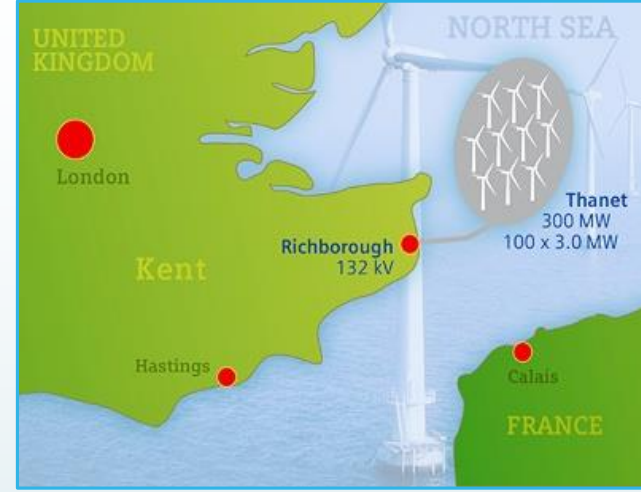
33

Günümüzde, şebekeden bağımsız fotovoltaik güneş enerjisi sistemleri ve rüzgar enerjisi sistemleri dünyada gün geçtikçe daha büyük ölçeklerde kullanılmaktadır. Özellikle şebekeden uzak ya da bölge özelliklerinden ötürü şebeke hattı çekmenin ekonomik olmadığı alanlarda bağımsız güneş ve rüzgar enerjisi sistemleri kullanılabilir.

- Bütün iyi özelliklerine karşın gerek rüzgar gerekse güneş enerjisi; günlük, aylık ve yıllık olarak değişken karakter göstermeleri ve düşük enerji yoğunlukları nedeniyle yoğun enerji kaynakları (fosil yakıtlar, fisil elementler v.b.) ile karşılaştırıldığında enerji üretim sürekliliği açısından yetersiz kalmaktadır. Örneğin, şebekeden bağımsız bir fotovoltaik güneş enerjisi sistemi güneşli olmayan bulutlu bir günde güvenilir bir şekilde güç sağlayamaz. Benzer biçimde, şebekeden bağımsız bir rüzgar enerjisi sistemi yıl içerisindeki saatlik rüzgar hızı dalgalanmalarından dolayı sabit yük talebini karşılayamaz. Bu nedenle, gerekli sabit enerji talebini karşılayabilmek için her iki bağımsız sistemde de enerji depolama sistemleri gerekmektedir.
- Rüzgarın enerji yoğunluğu kış aylarında, güneşinki ise yaz aylarında daha yüksek olmaktadır; diğer taraftan sadece rüzgar enerjisinin kullanımı durumunda yazın, sadece güneş enerjisinin kullanımı durumunda da kışın enerjiz günlerin sayısı önemli ölçüde artmaktadır. Bu nedenle bu iki enerji kaynağının birlikte kullanıldığı hibrit sistemler tek başına kullanılmaları durumuna göre daha fazla süreklilik arz ederler ayrıca sistemin kurulu gücünde anlamlı bir artış sağlanır. Bunun yanında birbirinden bağımsız ve kimi zaman birbirini tamamlayıcı şekilde ters karakter gösteren iki farklı enerji kaynağı kullanılması açısından (Öcal, 2012).



- **İngiltere-Kuzey Denizi**
- Sahilden 12 kilometre açıkta
- 35 kilometrelik bir alana yayılı 100 adet **rüzgar türbini** ile kurulan **Thanet Rüzgar Tarlası**
- **300 MW** elektrik üretebilen rüzgar tarlası 200.000 eve enerji verebilecek kapasiteye sahip.



E-126

Enercon tarafından Almanya'nın Emden
Türbinin rotor çapı 126 m-7 MW

ABD-Roscoe Teksas Rüzgar tarlası 627 rüzgar türbini, **299 MW**, 100,000 hektar alana yerleştirili
230,000 evin enerji ihtiyacı





TÜRKİYE'DEN ÖRNEK

Türkiye'de ilk rüzgar santrali İzmir Çeşme (1.5MW) (1995)

Datça Dares Rüzgâr Enerjisi Santrali: 2008 yılında üretime geçmiştir. Santral 29,6 MW'lık kurulu güce sahiptir

