



Rüzgâr Türbinleri, Çeşitleri Ve Rüzgâr Enerjisi Depolama Yöntemleri

Ufuk ELİBÜYÜK^{*}, İbrahim ÜÇGÜL^b

^b *Tekstil Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE*
^{*} *Sorumlu yazarın e-posta adresi: ufukeyk@gmail.com*

ÖZET:

Teknolojisi ve kullanımı en hızlı gelişme gösteren ve ekonomisi de fosil kaynaklı enerji kaynakları ile rekabet edebilir hale gelen yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlilerinden biri rüzgâr enerjisidir. Rüzgârdaki enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sistemler rüzgâr türbinleridir. Rüzgâr türbinleri dönme eksenlerine, devirlerine, güçlerine, kanat sayılarına, rüzgâr etkisine, dişli özelliklerine ve kurulum konumlarına göre sınıflandırılırlar. Rüzgâr türbinlerini büyüklüklerine, rüzgâr geliş yönüne, dönme eksenlerine ve kurulum yerlerine göre karşılaştırılmıştır. Ayrıca rüzgâr enerjisinin depolama yöntemleri ve yeni gelişmeleri hakkında da bilgi verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr Türbini, Rüzgâr Türbin Çeşitleri, Rüzgâr Türbinleri Sınıflandırılması, Rüzgâr Türbinlerinin Karşılaştırılması, Rüzgâr Enerjisi Depolama Yöntemleri

Wind Turbines, Types and Methods of Wind Energy Storage

ABSTRACT:

Showing the rapid development and use of technology and the economy can compete with fossil-based energy sources becomes one of the most important renewable energy source is wind power. Energy in the wind into electrical energy systems are wind turbines. According to the rotation axis wind turbines, according to speed, power, according to the number of blades, according to the effects of wind, according to the gear according to the specifications and are classified according to the installation location. To the size of wind turbines, wind upstream, according to the axis of rotation and installation location are compared. In addition, wind energy storage methods and new developments are given information about.

Keywords: Wind Turbine, Wind Turbine Types, Classification of Wind Turbine, Comparison of Wind Turbine, Wind Energy Storage Methods

1. GİRİŞ

Rüzgâr, yeryüzünün eşit olmayan ısınması ve soğuması sonucu ortaya çıkan kuvvetlerin etkisi ile oluşan hava hareketleridir. Rüzgâr enerjisi ise rüzgârı oluşturan hava akımının sahip olduğu hareket enerjisidir. Havanın dünya yüzeyi üzerinde hareket edebilmesini sağlayarak rüzgârı meydana getiren ve rüzgârın hızına etki eden atmosfer içindeki belli başlı kuvvetler ise; basınç gradyan kuvveti, Coriolis kuvveti, merkezkaç kuvveti ve sürtünme kuvvetidir. Basınç gradyan kuvveti, havayı yüksek basınçtan alçak basınca doğru akıtmaya çalışacak şekilde etki eden kuvvettir. Coriolis kuvveti ise, yer dönmesinin saptırıcı kuvveti olarak bilinmektedir. Rüzgârlar, genel olarak bir merkez etrafında dolanırlar. Bu hareketin neticesi olarak da, kendilerini dolanım merkezlerinden uzaklaştırmak isteyen bir kuvvet etkisi altında bulunurlar. Bu kuvvete, merkezkaç kuvveti denilmektedir. Rüzgârın meydana getirilmesinde etkili olmayan, rüzgâr hızını yavaşlatmaya çalışan kuvvete ise sürtünme kuvveti denir. Bu kuvvet, yer yakınında en büyüktür ve türbülanslar tarafından yukarıya taşınır. Rüzgârın sürtünmesinden doğan bu kuvvet, yer üstünde 450-600 m yüksekliğe kadar rüzgârı yavaşlatmaktadır[1].

Milattan önceki yıllarda kullanılmaya başlanılan rüzgâr enerjisi, denizlerde yelkenli gemilere, karalarda ise, yel değirmenlerine ve rüzgâr millerine ana güç kaynağı olmuştur. Özellikle buğday, mısır öğütme ve su pompalama gibi gereksinimler uzun yıllar bu yolla çözülmüştür. Rüzgâr enerjisi kullanımı, M.Ö. 2800'lü yıllarda Orta Doğu'da başlamıştır. M.Ö. 17. yüzyılda Babil Kralı Hammurabi döneminde Mezopotamya'da sulama amacıyla kullanılan rüzgâr enerjisinin, aynı dönemde Çin'de de kullanıldığı belirtilmektedir. Yel değirmenleri ilk olarak İskenderiye yakınlarında kurulmuştur. Türklerin ve İranlıların ilk yel değirmenlerini M.S. 7. yüzyılda kullanmaya başlamalarına

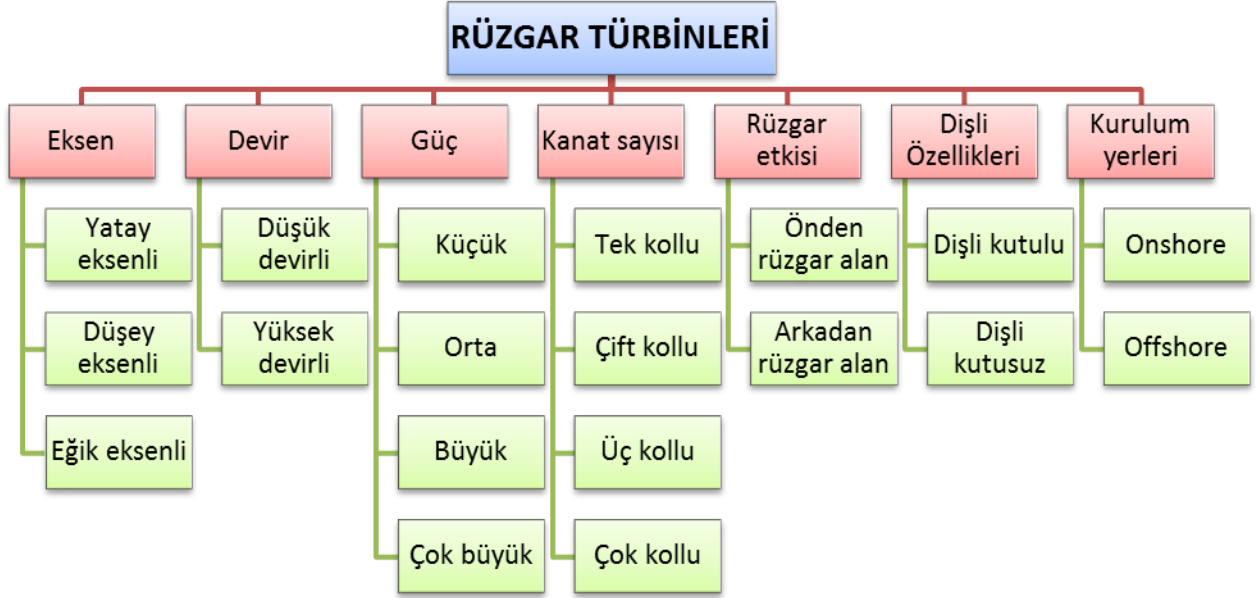
karşın, Avrupalılar yel değirmenlerini ilk olarak haçlı seferleri sırasında görmüşlerdir. Fransa ve İngiltere'de yel değirmenlerinin kullanılmaya başlaması ise, 12. yüzyılda olmuştur. Tarımsal ürünleri öğütme, su pompalamak, hızar çalıştırmak gibi amaçlarla geliştirilen yel değirmenleri; Avrupa'da Endüstri Devrimi'ne kadar hızla yayılmışlardır. 18. yüzyılın sonunda yalnızca Hollanda'da 10.000 yel değirmeni bulunuyordu. Buhar makinesinin yapılması ve odun, kömür gibi yakıtlardan kesintisiz enerji üretimine başlanması ile rüzgâr enerjisi önemini yitirmeye başlamıştır. Bununla beraber, rüzgâr türbini denilen ve elektrik üretiminde kullanılan ilk makineler, 1890'ların başlarında Danimarka'da yapılmıştır. Rüzgâr enerjisinden elektrik üreten ilk türbin ise 1891'de modern aerodinamiğin önemli mühendisi olan Paul la Cour tarafından Danimarka'da inşa edilmiştir[2].

2. RÜZGÂR TÜRBİNLERİ VE SINIFLANDIRILMASI

Rüzgâr türbini, rüzgârdaki kinetik enerjiyi önce mekanik enerjiye daha sonra da elektrik enerjisine dönüştüren sistemdir[3]. Bir rüzgâr türbini genel olarak kule, jeneratör, hız dönüştürücüleri (dişli kutusu), elektrik-elektronik elemanlar ve pervaneden oluşur. Rüzgârın kinetik enerjisi rotorda mekanik enerjiye çevrilir. Rotor milinin devir hareketi hızlandırılarak gövdedeki jeneratöre aktarılır. Jeneratörden elde edilen elektrik enerjisi aküler vasıtasıyla depolanarak veya doğrudan alıcılara ulaştırılır[3].

A. RÜZGÂR TÜRBİNLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Rüzgâr türbinleri dönme eksenlerine, devirlerine, güçlerine, kanat sayılarına, rüzgâr etkisine, dişli özelliklerine ve kurulum konumlarına göre sınıflandırılırlar.



Şekil 1. Rüzgâr Türbini Sınıflandırılması

A.1. Dönme Eksenlerine Göre Rüzgâr Türbinleri

Rüzgâr türbinleri dönme eksenine göre üç gruba ayrılırlar; yatay eksenli rüzgâr türbinleri, dikey eksenli rüzgâr türbinleri, eğik eksenli rüzgâr türbinleridir.

A.1.1. Yatay eksenli rüzgâr türbinleri (YERT)

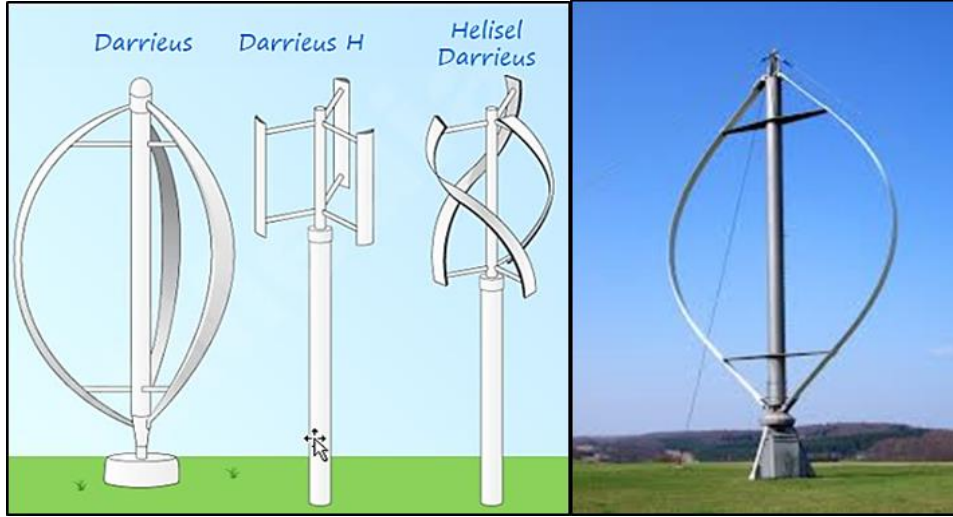
Bu türbinlerde; dönme eksenini rüzgâr yönüne paralel, kanatlar rüzgâr yönüne diktir. Bu türbinlerde rotor kanatların sayısı azaldıkça rotor daha hızlı dönmektedir. Bu türbinlerin verimi yaklaşık %45'dir. YERT genel olarak yerden 20-30m yüksekte ve çevredeki engellerden 10m yüksekte olacak şekilde yerleştirilmelidir. Rüzgâr hızının, rotor kanadı uç hızına bölünmesi ile elde edilen orana kanat uç hız oranı (λ) denir. Eğer;

- $\lambda= 1-5$ Çok kanatlı rotor
- $\lambda= 6-8$ Üç kanatlı rotor,
- $\lambda= 9-15$ İki kanatlı rotor,
- $\lambda > 15$ Tek kanatlı rotor kullanılır[4].

A.1.2. Düşey eksenli rüzgâr türbinleri (DERT)

Yatayda olduğu gibi bir pervane görünümüne sahip değildir çünkü mili düşey yapıya sahiptir. Ticari kullanımdan ziyade deneyler için üretilmektedir. Yere yerleştirilebildikleri için kule ihtiyacı ve maliyeti ortadan kalkmakta, sistem istenilen rüzgâr yönüne çevrilebildiği için dümen sistemine gerek kalmamaktadır verimlerinin düşük olduğu da bilinmektedir[5]. Kendi içlerinde de çeşitleri mevcuttur:

Darrieus tipi: Düz tip bir Darrieus rüzgâr türbini Darrieus tipi düşey eksenli rüzgâr türbininde, düşey şekilde yerleştirilmiş iki tane kanat vardır. Kanatlar, yaklaşık olarak rotor mili uzun eksenli olan bir elips oluşturacak biçimde yerleştirilmiştir. Kanatların içbükey ve dışbükey yüzeyleri arasındaki çekme kuvveti farkı nedeniyle dönme hareketi oluşur. Yapısı gereği Darrieus tipi rüzgâr türbinlerinde, devir başına iki kere en yüksek tork elde edilir. Rüzgârın tek yönden estiği düşünülürse; türbinin verdiği güç, sinüs şeklinde bir eğri oluşturur[6].



Şekil 2. Darrieus Tipi Rüzgâr Türbinleri[7,8]

Savonius tipi: Savonius türbinleri, iki ya da üç adet kepçeye benzer kesitin birleşimi şeklindedir. En yaygın 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

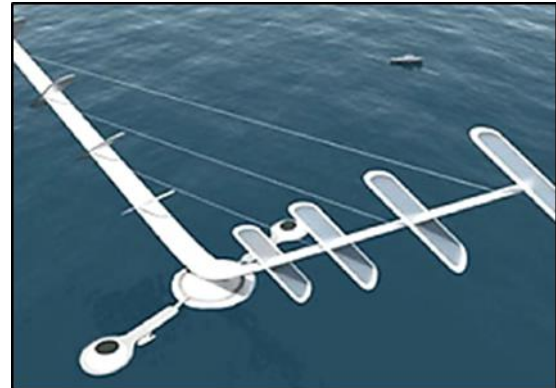
gelir. Bu dönel akışlar Savonius türbininin performansını düşürür, bu nedenle elektrik üretiminde pek fazla kullanılmazlar. Daha çok su pompalama amaçlı ve rüzgâr ölçümlerinde kullanılan anemometre olarak kullanılırlar[9].



Şekil 3. Savonius Tipi Rüzgâr Türbini[10,11]

A.1.3. Eğik eksenli rüzgâr türbinleri

Dönme eksenleri düşeyle rüzgâr yönünde bir açı yapan rüzgâr türbinleridir. Bu tip türbinlerin kanatları ile dönme eksenleri arasında belirli bir açı bulunmaktadır[12].



Şekil 4. Eğik Eksenli Rüzgâr Türbinleri [13]

A.2. Kanat Sayılarına Göre Rüzgâr Türbinleri

Kanat sayılarına göre rüzgâr türbinleri tek kanatlı, iki kanatlı, üç kanatlı ve çok kanatlı olmak üzere 4 çeşide ayrılır.

A.2.1. Tek kanatlı rüzgâr türbinleri

Tek kanatlı rüzgâr türbinlerinin kullanımının temel amacı, pervanelere etkiyen yüksek rotasyonel hızın düşürülmesidir. Diğer yandan, tek kanatlı rüzgâr türbini aerodinamik olarak dengesizdir ve bu durumda ek hareketler ile istenmeyen bazı yüklere sebep olur. Bu mekanizmayı kontrol etmek için, göbek kısmına ek yapılar yapmayı gerektirir. Diğer dezavantajlarından birisi de yüksek aerodinamik gürültü seviyesidir. Üç hız oranı, 120 m/s civarındaki üç kanatlı pervanelerle kıyaslandığında, üç hızı 2 kat daha yüksektir. Dolayısı ile üç kanatlı rüzgâr türbinlerinden daha gürültülüdür [14].

A.2.2. Çift kanatlı rüzgâr türbinleri

25 yıl öncesine kadar iki kanatlı rüzgâr türbinleri yaygın bir şekilde kullanılırdı. 10m'den 100 m'ye kadar değişen farklı pervane çaplarında Avrupa ve Amerika'da kullanılmıştır. İki kanatlı rüzgâr türbini, üç kanatlı rüzgâr türbininden daha ekonomik gibi görünmesine rağmen, iki kanatlı rüzgâr türbinleri dinamik etkilerden dolayı bir takım ek ekipmanlar gerektirdiğinden, üç kanatlı rüzgâr ile aynı maliyete gelmektedir. Üç kanatlı rüzgâr türbinden farklı olarak dönmeden meydana gelen ve kulenin yatay eksenine göre olan bir atalet momentine sahiptir. Bu durum rüzgâr türbini üzerinde ek bir yüklenme meydana getirir ve sadece sallanan göbek ile giderilebilir. Sallanan göbek kullanılmasının nedeni, dönen pervane üzerinde büyük atalet moment değişimlerinin etkilerini önlemektedir. Ayrıca düşük şiddetteki rüzgâr hızlarında (örneğin 3 m/s) pervane devreye girememektedir[14].

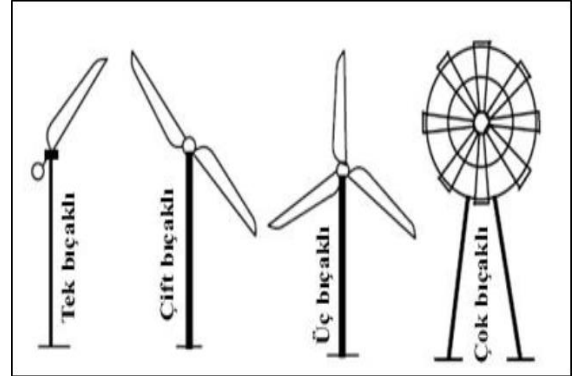
A.2.3. Üç kanatlı rüzgâr türbinleri

Modern rüzgâr türbinlerinde en çok kullanılan model üç kanatlı olmaktadır. Bunun temel nedeni, pervanenin tüm hızlarda sabit atalet momentine sahip olmasıdır. Üç veya daha

fazla kanada sahip olan tüm pervaneler bu avantaja sahiptir. Ayrıca, üç kanatlı pervane bu avantajından dolayı rüzgâr türbinleri üzerinde ek bir yük getirmemektedir[14].

A.2.4. Çok kanatlı rüzgâr türbinleri

Çok Kanatlı rüzgâr türbinleri (rüzgârgülleri), rüzgâr türbinlerinin gelişmemiş ilk örnekleridir. Yıllarca sadece su pompalamasında kullanılan bu türbinler, bu işlemdeki moment gereksiniminin karşılanabilmesi amacıyla, çok kanatlı olarak üretilmiştir. Çok kanatlı rüzgâr türbinleri düşük hızda çalışırlar. Türbin kanatlarının genişlikleri, pervane göbeğinden uçlara gidildikçe artım gösterir. Pervane mili, dişli kutusuna bağlanarak, jeneratör mili devir sayısı artırılır ve otomobillerde uygulama alanı bulan jeneratörler kullanılır. Rüzgârgülleri, rüzgârgülü pervane düzleminin rüzgâr hız vektörünü her zaman dik olarak alabilmesi için de, rüzgârgülü yönlendiricisi taşımaktadırlar[15].



Şekil 5. Kanat sayılarına göre rüzgâr türbinleri
[20]

A.3. Rüzgârın Geliş Yönüne Göre Rüzgâr Türbinleri

Rüzgârın geliş yönüne göre rüzgâr türbinleri, rüzgârı önden alan ve rüzgârı arkadan alan türbinler olarak ikiye ayrılır.

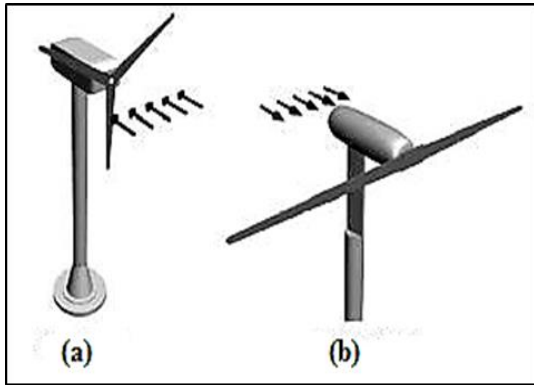
A.3.1. Rüzgârı önden alan türbinler

Yatay eksenli türbinlerde rotor yüzü rüzgâra yönlenmiş ise önden rüzgârlı türbinler adını alırlar. Bu türbinlerin en önemli üstünlüğü kulenin yapacağı gölgeleme etkisine maruz kalmamasıdır. Yıllardır yaygın olarak bu makineler kullanılmıştır. Öte yandan yine de

kulenin önünde, az da olsa, bir rüzgâr gölgelemesi vardır. Yani rüzgâr kuleye eğilerek gelir. Kule yuvarlak ve düz olsa bile, kanatın kule hizasından her geçişinde türbinin ürettiği güç biraz azalır. İşte bu nedenle rüzgâr çekilmesinden dolayı kanatların çok sert yapılması ve kuleden biraz uzakta yerleştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca önden rüzgârlı makineler, rotoru rüzgâra karşı döndürmek için yaw mekanizması ile donatılmışlardır[15,16].

A.3.2. Rüzgârı arkadan alan türbinler

Arkadan rüzgârlı türbinlerin rotorları kule arkasındadır. Bunların önemli üstünlüğü yaw mekanizmasına gerek olmayışıdır. Eğer nacelle ve rotor uygun tasarlanırsa nacelle rüzgârı pasif olarak izler. Bu rüzgâr türbinlerinde bu kesin bir üstünlük değildir. Rotor pasif olarak belirli bir periyotta her yöne dönebildiği için, bu tip türbinlerin üreteçlerinden inen kabloların dolanabilmesi söz konusudur. İşte "yaw" bu sorunu ortadan kaldırır. Daha önemli üstünlük kanatların esnek özelliğe sahip yapılmasıdır. Bu hem ağırlık hem de makinenin güç dinamiği açısından önemli bir üstünlük sağlar. Böylece kule yükü azalmış olur. Arkadan rüzgârlı türbinlerin temel üstünlüğü böylece önden rüzgârlı türbinlere göre daha hafif yapılması şeklinde ortaya çıkar. Ancak, kanat kule hizasından geçerken meydana gelen güç dalgalanması, türbine önden rüzgârlı makinelerden daha çok zarar verebilir[15,16].



Şekil 6. Rüzgâr Etkisine Göre Türbinler (a)Önden Rüzgâr Alan, (b)Arkadan Rüzgâr Alan[17]

A.4. Güç Bakımından Rüzgâr Türbinleri

- Küçük güçlü türbinler: Güçleri 30 kW'tan az olan türbinlerdir.

- Orta güçlü türbinler: Güçleri 30-100 kW arasında olan türbinlerdir.
- Büyük güçlü türbinler: Güçleri 100 kW-1 000 kW arasında olan türbinlerdir.
- Çok büyük güçlü türbinler: Bu türbinlerin güçleri 1 MW veya daha fazladır[18].

A.5. Dişli Özelliklerine Göre Rüzgâr Türbinleri

Tipik rüzgâr enerjisi sistemi; bir rüzgâr türbini, bağlantı ekipmanı (dişli kutusu), jeneratör ve kontrol sistemi içermek durumundadır. Rüzgâr türbin üniteleri sürücü sistemleri bakımından; dişli kutusu kullanılan ve dişli kutusu kullanılmayan türbin jeneratör sistemleri olarak iki sınıfa ayrılabilir[19].

A.5.1. Dişli kutusu kullanılan rüzgâr türbinleri

Jeneratörleri az kutuplu, yüksek devirlidir. Bu yüzden pervanenin devir sayısı ile jeneratör devir sayısını uygunlaştırmak için 1/50, 1/70 gibi oranlarda dişli kullanılır[18]. Bunlar:

- Sabit hızlı - sincap kafesli indüksiyon jeneratörü (SCIG)
- Değişken hızlı - çift beslemeli indüksiyon jeneratörü (DFIG)[19].

A.5.2. Dişli kutusuz kullanılan rüzgâr türbinleri

Jeneratörler çok kutuplu, düşük devirli olduğu için dişli sisteme gerek yoktur[18]. Bunlar:

- Direkt sürümlü - elektriksel uyartımlı senkron jeneratör (EESG)
- Direkt sürümlü - sürekli mıknatıslı senkron jeneratör (PMSG) [19].

Bunlar dışında kurulduğu yer bakımından rüzgâr türbinleri; kara üstü(onshore) ve deniz üstü (offshore) ,devir bakımından rüzgâr türbinler (yüksek devirli ve düşük devirli) olarak da sınıflandırılabilir.

3. RÜZGÂR TÜRBİNLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Rüzgâr çiftlikleri kurulumunda; rüzgâr şartları, kurulacak alan ve ciddi kayıplardan kaçınmak için rüzgâr türbinlerinin özellikleri

bilinmelidir. Rüzgâr türbinleri incelendiği üzere kanat çeşitleri, rüzgârı alış şekilleri ve

kullanım alanlarına göre birkaç çeşitte imal edilebilmektedir[2,15].

Tablo 1. Büyük Rüzgâr Türbinleri ile Küçük Rüzgâr Türbinlerinin Karşılaştırılması [2,15]

	Kullanım Alanı	Bir Tek Türbin Gücü	Üretilen Enerjinin Verildiği Yer	Akü İhtiyacı	Bakım Masrafı	Kurulum Masrafı
Büyük Rüzgâr Türbinleri	Endüstriyel	50 kW-2 MW	Şebeke	Yok	Var	Yüksek
Küçük Rüzgâr Türbinleri	Kişisel	50 W-10 kW	Seralar, çiftlik evleri, radyo kulesi vb.	Var	Yok	Düşük

Büyük rüzgâr türbinleri merkezi şebekeye bağlı rüzgâr çiftlikleridir. Bakım masrafları ve kurulum masrafları bulunmaktadır. Küçük rüzgâr türbinleri kişisel olarak kullanılan türbinlerdir. Bu türbinlerde üretilen enerjiler

aküye depolanmaktadır. Su pompalama, sera ısıtma, çiftlik evlerinin elektriği için kullanılırlar. Kapalı şebeke ya da ayrılmış şebeke olarak da iki çeşidi mevcuttur.

Tablo 2. Rüzgâr Alış Yönüne Göre Türbinlerin Karşılaştırılması[2,15]

	Yaw Mekanizma İhtiyacı	Kanat Malzeme Yapısı	Kuleye Binen Yük	Rüzgârın Türbine Verdiği Zarar
Rüzgârı Önden Alan Rüzgâr Türbinleri	Var	Sert	Ağır	Az
Rüzgârı Arkadan Alan Rüzgâr Türbinleri	Yok	Esnek	Hafif	Çok

Rüzgârı önden alan rüzgâr türbinlerde rüzgâr önce kanatlara geldiğinden dolayı üretim daha fazladır. Bu nedenle rüzgârı önden alan rüzgâr türbinleri, rüzgârı arkadan alan rüzgâr türbinlerine göre daha yaygın bir kullanıma

sahiptir. Rüzgârı arkadan alan rüzgâr türbinlerinde yaw mekanizmasının olmaması ve kuleye binen yükün hafif olması avantajları olsa da rüzgâr türbine verdiği zararın fazla olmasından dolayı da kullanımı azdır.

Tablo 3. Kanat Çeşitlerine Göre Türbinlerin Karşılaştırılması[2,15]

	YERT				DERT	
	Tek Kanatlı	Çift Kanatlı	Üç Kanatlı	Çok Kanatlı	Savonius	Darrierus
Maliyet	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük
Estetik Görünüm	Kötü	Kötü	İyi	İyi	İyi	İyi
Gürültü	Yüksek	Yüksek	Düşük	Az	Az	Az
Çalışma Hızı	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük
Kule İhtiyacı	Var	Var	Var	Var	Yok	Yok
Kullanım Amacı	Elektrik	Elektrik	Elektrik	Az elektrik ve su pompalaması	Az elektrik ve su pompalaması	Az elektrik ve su pompalaması
Günümüzde Kullanımı	Yok	Yok	Var	Var	Az	Az
Rotorun Dönmesi İçin Rüzgârı	Kaldırır	Kaldırır	Kaldırır	Kaldırır ve sürükler	Kaldırır ve sürükler	Kaldırır ve sürükler

Tek kanatlı ve çift kanatlı rüzgâr türbinleri estetik görünümlerinin kötü, gürültü oranlarının yüksek olması ve maliyetlerinin de fazla olmasından dolayı kullanılmamaktadır. Üç kanatlı rüzgâr türbinleri düşük maliyetli, estetik görünümlerinin iyi olması, düşük gürültü düzeyinde çalışması ve yüksek

çalışma hızlarından dolayı günümüzde en çok tercih edilen türbin çeşididir. Çok kanatlı rüzgâr türbinleri, Savonius ve Darrierus rüzgâr türbinleri ise düşük çalışma hızlarından dolayı günümüzde kişisel kullanımlarda (çiftliklerde elektrik üretimi ya da su pompalama) kullanılmaktadır.

Tablo 4. Onshore Ve Offshore Rüzgâr Santrallerinin Karşılaştırılması

	Kurulum Maliyeti	Çalışma Hızı	Enerji Üretimi	İşletme Maliyeti	Yaygın Kullanımı
Onshore (Kara üstü)	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Yüksek
Offshore (Deniz üstü)	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Düşük

Kara üstü rüzgâr santralleri, deniz üstü rüzgâr santrallerine göre kurulum ve işletme maliyetinin düşük olması ve kullanılan türbinlerin maliyetinin çok daha düşük olmasından dolayı yaygın bir kullanımı vardır. Ancak gün geçtikçe deniz üstü rüzgâr santrallerinin kurulumunun artacağı bilinmektedir. Özellikle Avrupa kıtasında onshore rüzgâr santrallerinin kurulum yerlerinin azalması ve verimlerinin düşük olmasından dolayı offshore rüzgâr santrallerinin kurulumuna hız verilmiştir[21].

4. RÜZGÂR ENERJİSİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ

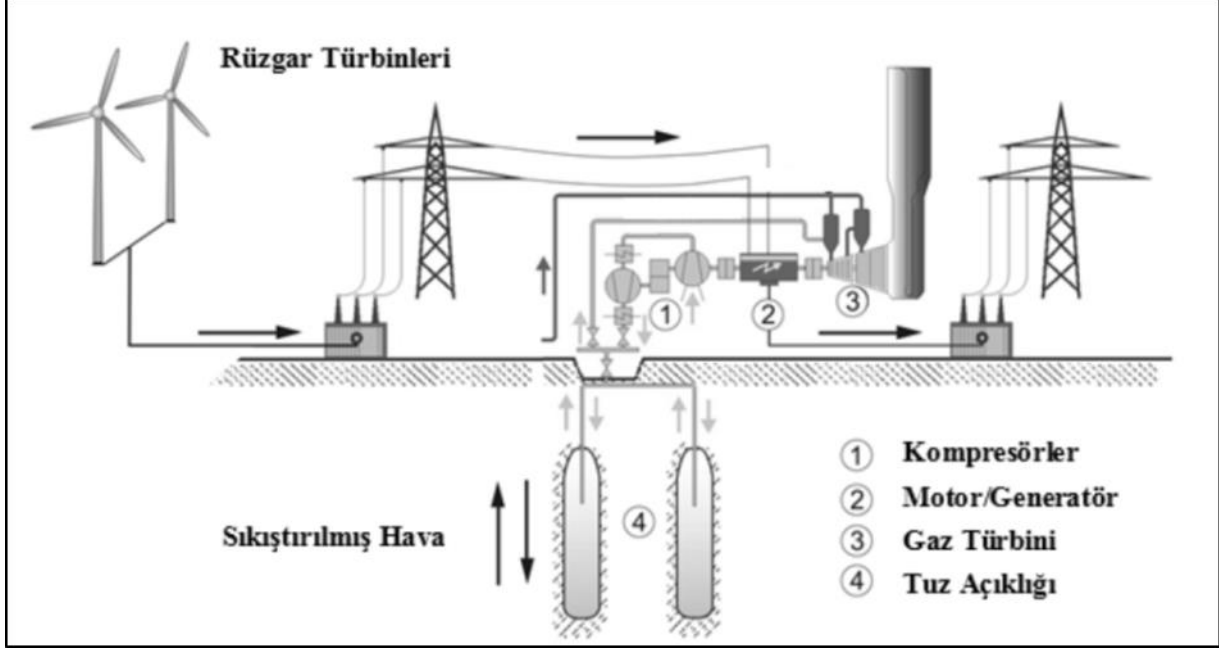
Rüzgâr gücü düzensiz bir enerji kaynağıdır. Bu nedenle enerji depolama gereklidir. Pek çok depolama yolu vardır, fakat hiç birisi mükemmel değildir.

A. SIKIŞTIRILMIŞ HAVA DEPOLAMA

Sıkıştırılmış hava enerji depolama yöntemi (compressed air energy storage-CAES) dalgalanmalı ve süreksiz yenilebilir enerji kaynaklarının (rüzgâr vb.) esnek bir enerji sisteminde daha verimli değerlendirilmesine

katkıda bulunabilen bir teknolojidir. Sıkıştırılmış hava depolama yöntemi mevcut gaz türbini teknolojisinin geliştirilmiş bir şeklidir. Bu yöntemde özellikle talep fazlası oluşan rüzgâr elektrik enerjisi havanın kompresörlerde sıkıştırılarak yeraltında depolanması için kullanılabilir. Elektrik şebekesinde oluşabilen pik talep

saatlerinde hava ısıtılmakta ve gaz yanma türbininde doğal gaz- basınçlı hava karışımı elektrik üretimi için beslenmektedir. Yeraltı tuz açıklıklarında sıkıştırılmış hava depolama tesisinin şematik görünümü şekil 7'de verilmiştir[22].



Şekil 7. Tuz açıklıklarında sıkıştırılmış hava depolama tesisinin şematik görünümü[22]

B. HİDROJEN GAZI DEPOLAMA

Bu tarz sistemlerde rüzgâr türbinlerinin ürettiği enerjinin yük talebinin haricinde kalan fazla kısmı bir elektrolizör ünitesi üzerinden hidrojen elde etmek için kullanılmaktadır. Elde edilen hidrojen, farklı yapılarıdaki hidrojen tanklarında depolanabilmekte ve ihtiyaç olduğunda bir yakıt hücresi sistemi tarafından elektrik enerjisine çevrilerek yük talebinin karşılanması açısından kullanılabilir. Ancak hidrojen depolaması çözümünün günümüzde bazı önemli sorunları mevcuttur. Hidrojen depolaması ile ilgili problemler, tercih edilen depolama yöntemine göre değişmektedir. Bilinen hidrojen depolama yöntemleri, yüksek basınçta sıkıştırma, sıvılaştırma, hidrokarbonlar, hidrürler ve karbon nano tüplerdir[23].

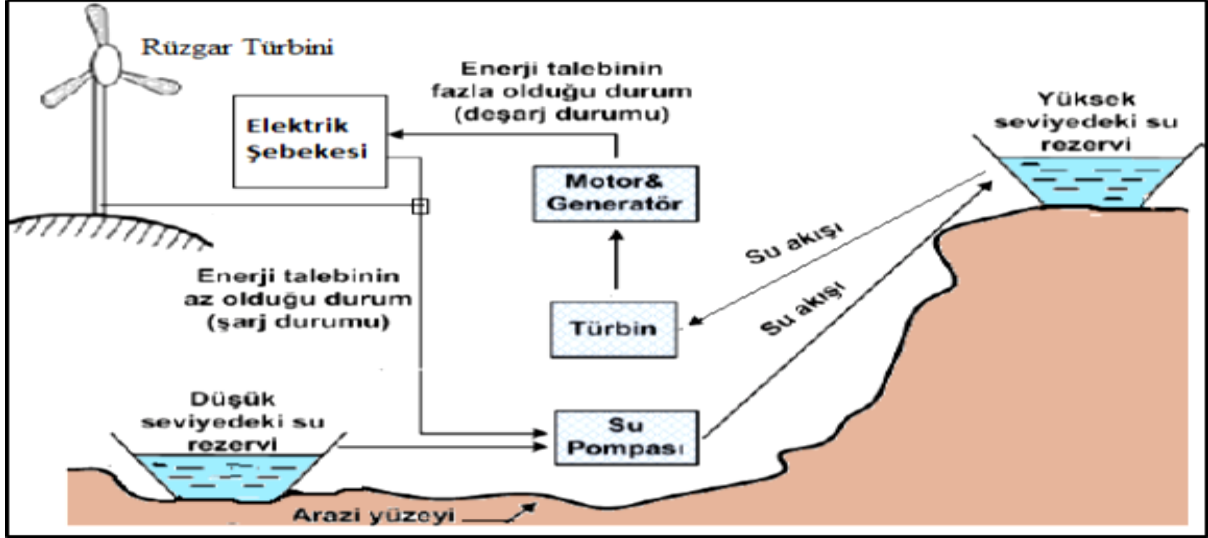


Şekil 8. Rüzgâr Türbini ile Hidrojen Enerjisi Depolama[24]

C. POMPALI HİDROELEKTRİK DEPOLAMA

Pompa hidroelektrik depolama yönteminde, suyun düşük seviyedeki bir rezervuardan daha yüksek seviyedeki rezervuara pompalanarak potansiyel enerjinin depolanmasıdır. Bu işlem; enerji tüketiminin düşük olduğu zamanlarda rüzgâr türbininin ürettiği veya şebekeden alınan elektrik enerjisinin su

pompalarını çalıştırmak üzere kullanımıyla gerçekleştirilir. Pompalanarak depolanmış su, elektrik enerjisi gereksiniminin fazla olduğu durumlarda su türbinine aktarılarak mekanik enerji elde edilir, elde edilen mekanik enerji jeneratör yardımıyla elektrik enerjine dönüştürülerek şebekeye aktarılır. Şekil 9'da pompa hidroelektrik enerji depolama akış diyagramı gösterilmiştir[25].

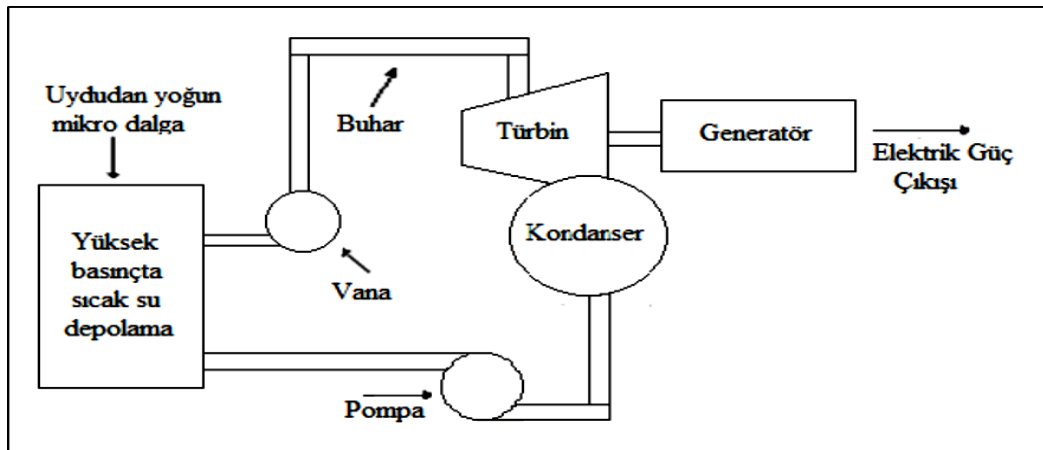


Şekil 9. Pompa hidroelektrik enerji depolama[25]

D. ISIL ENERJİ DEPOLAMA

Isıl enerji depolaması, enerjinin elde edilmesiyle, talep arasındaki fark ve yer-zaman arasındaki uyumsuzluğu gideren, hem ısıtma hem de soğutma için çözümler veren bir sistemdir. Bu sistem; konut, sanayi, tarım ve ulaşım sektörlerinde uygulama şansını bulup, elektrik enerjisi ve kömür, doğal gaz, petrol

gibi fosil yakıtlardan tasarruf sağlayarak enerji verimliliğini artırmaktadır. Rüzgâr, güneş ve su gibi doğal enerji kaynaklarından ve atık ısıdan yararlanmak için de ısıl enerji depolama gereklidir. Ucuz olan dönemde depolanan enerjinin, pahalı saatlerde kullanılmasıyla daha ekonomik enerji tüketimi sağlanabilir. Şekil 10'da ısıl enerji depolama blok diyagramı gösterilmiştir[25].

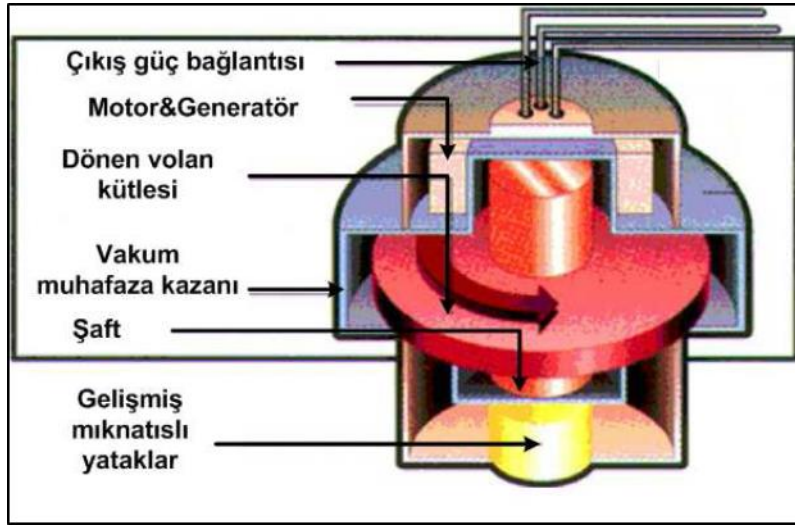


Şekil 10. Isıl enerji depolama blok diyagramı[25]

E. ATALET DEPOLAMA

Volan enerji depolama sisteminin temel bileşenleri, dönen ağır bir cisim, manyetik yataklama elemanları ve enerjinin depolanmasını ve tekrar geri alınmasını sağlayan iletim elemanı olup enerji, dönen ağır bir cisimde kinetik enerji formunda depolanır. Şekil 11'de temel bileşenleri görülen volan sistemleri 6000-50000d/dk hız aralığında üretilmektedir. Düşük hızlı volan sistemleri 5 Wh/kg civarında bir enerji yoğunluğuna sahipken yüksek hızlı volan sistemleri ile 100 Wh/kg'lık bir enerji yoğunluğuna ulaşabilmektedir. Volan temelli

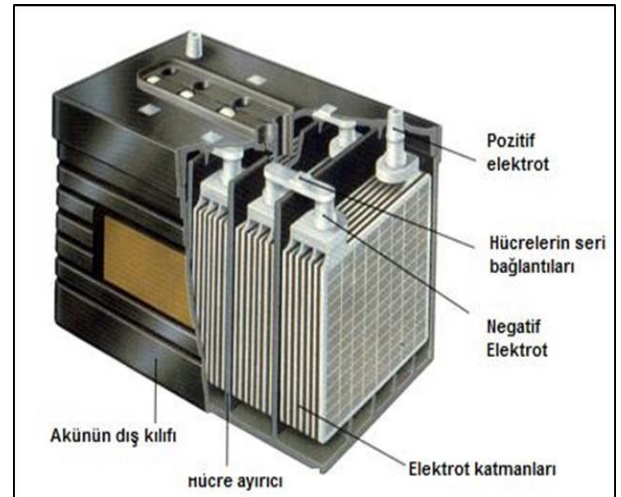
enerji depolama sistemlerinin temel avantajları uzun bir çevrim ömrüne sahip olmaları ve yüksek şarj-deşarj hızlarına uygun bir yapı içermeleridir. Volan sistemlerinin nominal güçteki verimleri %90 civarındadır. Günümüzde hızlı cevap verme yetenekleri sebebiyle endüstride kesintisiz güç kaynağı, güç kalitesi ve şebeke frekansının dengelenmesi gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Volan sistemlerinin en önemli dezavantajları ise fiyatlarının ve boştaki kayıplarının %20 gibi oldukça yüksek olmasıdır[26].



Şekil 11. Tipik volan enerji depolama sistemi[23]

F. AKÜMÜLATÖRLER

Enerji depolamak için yaygın olarak kullanılır. En iyi bataryalar kurşun asit akümülatörlerdir. Bunlar azar azar şarj için çok uygundur. Elektriksel çıkışın miktarı, verimliliği aşağı yukarı %80 -%90, enerji %70 -%80 arasındadır. Büyük tesisler için kalın plakalı bataryalar kullanılır. Küçük tesisler için traksiyoner akümülatörler yeterlidir. Akülerin çabuk bozulmasının ana nedenleri aşırı şarj, aşırıdeşarj ve uzun süre boş durumda bırakmaktır. Nikel kadmiyum bataryalar tavsiye edilmez çünkü küçük güçlerde verimleri çok düşüktür ve kurşun asit bataryalarınkinden daha azdır. Bunun yanında ne aşırı şarjdan ne de düzensiz aşırıdeşarjdan etkilenmezler, kendi kendinedeşarj olmazlar ve kurşun asit tipe göre soğuktan daha az etkilenirler[21].



Şekil 12. Kurşun Asit Akümülatör[27]

G. YENİ GELİŞTİRİLEN YÖNTEMLER

Nottingham Üniversitesi, rüzgâr enerjisini depolamak için ciddi araştırmalar yürütmektedir. Sualtındaki büyük, şişme saklama torbaları kuşkusuz bu alandaki en yaratıcı fikirlerden biri gibi gözükmektedir. Konsept, toplanan fazla enerjiyi İskoçya

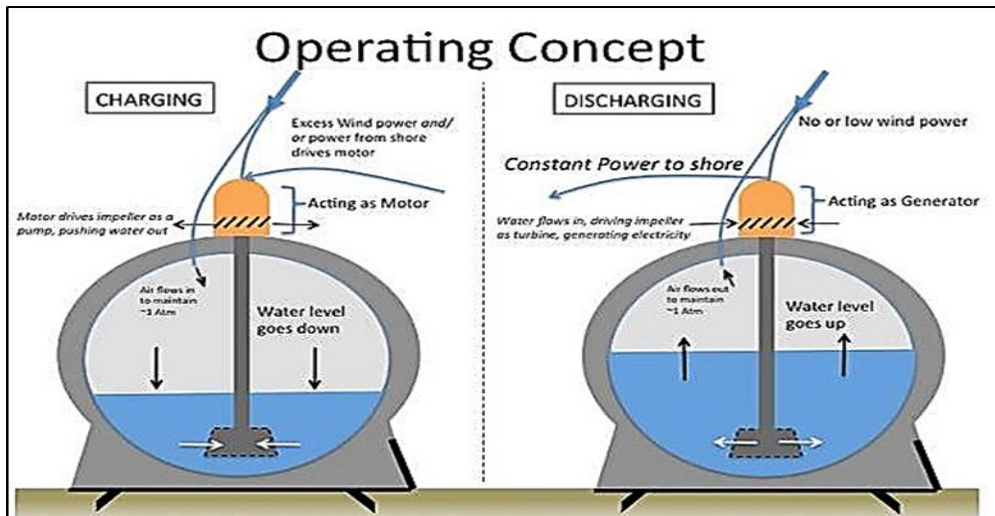
Orkney Adaları'nda demirlenmiş olan şişme hava torbalarında depolamayı öngörmektedir. Gün boyunca depolanan enerji, elektrik üretmek için enerji türbinlerine aktarılmaktadır. Yapılan testlere göre 600 m derinlikte, 20 m çapındaki torba, 700MWh'a kadar enerji depolayabilme kapasitesine sahiptir[28].



Şekil 13. Rüzgâr Enerjisini Depolayan Denizaltı Hava Torbası[28]

Massachusetts Teknoloji Enstitüsü(MIT)'nde bilim adamları açık deniz rüzgâr türbinlerinde üretilen enerjiyi depolamak için bir yöntem geliştirilmiştir. Okyanus Yenilenebilir Enerji Sistemi olarak adlandırılan bu sistem, sualtı pompası hidrolik teknolojisine dayanmaktadır. İçi boş beton küreler okyanus zeminine yerleştirilmekte ve rüzgârın yoğun olduğu zamanlarda, üretilen fazla enerjiyi kürenin

içindeki suyu boşaltmak için kullanılmaktadır. Rüzgâr şiddetinin yetersiz olduğu ve bu durumun birkaç gün sürdüğü dönemlerde enerji üretecek türbinleri çalıştırabilmek için küreler su ile doldurulmaktadır. Ayrıca araştırmacılar bu sistemin, insan gücü kullanılan platformlar fırtınalı havalarda tahliye olduğunda sualtı kuyularından yakıt depolama gibi amaçlar için de kullanılabileceğini söylenmektedir[28].



Şekil 14. Dalgaların Altına Rüzgâr Enerjisi Sakla Sistemi[28]

5. SONUC

Ülkemizin rüzgâr potansiyelinin yüksek olmasından ve üç kanatlı rüzgâr türbinlerinin avantajlarından dolayı kurulu olan kara üstü elektrik üreten rüzgâr santrallerinin hemen hemen hepsinde üç kanatlı rüzgâr türbini kullanılmaktadır. Ancak üç tarafı da denizlerle çevrili olan ülkemizde oldukça yüksek bir offshore potansiyeli olmasına karşın offshore rüzgâr türbinlerinin elektrik üretimi yaygınlaşmamıştır. Önümüzdeki yıllarda offshore rüzgâr türbinlerinin yaygınlaşması ile ülkemizin enerji ihtiyacının karşılanmasında tamamen yenilenebilir kaynak kullanılması sağlanacaktır ve depolama yöntemlerinin kullanılması ile de yenilenebilir kaynaktan üretilen enerji sürekli hale gelecektir.

KAYNAKLAR

1. Avcı, B., 2012. Rüzgar Türbini Kanat Tasarımı ve Analizi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bitirme Ödevi, 41s, İzmir
2. Mühendisbiz.net, 2014. Erişim Tarihi: 27.03.2014. http://www.muhendisbiz.net/uploadlar/92/rzgar_enerjisi.pdf
3. Wikipedia.org, 2014. Erişim Tarihi: 25.02.2014. http://tr.wikipedia.org/wiki/R%C3%B0Czg%C3%A2r_t%C3%BCrbini
4. Elektrikport, 2014. Erişim Tarihi: 12.04.2014. <http://www.elektrikport.com/haber-roportaj/ruzgar-turbinlerinin-cesitleri-ve-birbirleriyle-karsilastirilmasi/8178#ad-image-0>
5. Küçük Mucit, 2014. Erişim Tarihi: 20.09.2014. <http://www.kucukmucit.com/nasil-calisir/ruzgar-turbini-cesitleri/>
6. Free Enerji, 2014. Erişim Tarihi: 20.09.2014. <http://sunenerji.blogspot.com.tr/2013/10/ruzgar-turbin-cesitleri.html>
7. Hilal Hava Özkılınç, 2014. Erişim Tarihi: 27.09.2014. <http://hilalhavvaozkilinc.tr.gg/11--Hafta-Hava-Grubu.htm>
8. Academic, 2014. Erişim Tarihi: 27.09.2014.

- <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/302855>
9. Kısar, O.A., 2009. Rüzgardan Enerji Üretimi ve Rüzgar Türbinlerinin Evrimi. Erişim Tarihi: 26.09.2014. http://www.emo.org.tr/ekler/86f1c29518c700e_ek.pdf?dergi=571
10. UMUT Telekom, 2014. Erişim Tarihi: 27.09.2014. <http://umuttelekom.com.tr/telekom/hizmetlerimiz/enerj/ruezgar.html>
11. KarbonKale, 2014. Erişim Tarihi: 27.09.2014. <http://blog.karbonkale.com/uzerinde-ruzgar-turbini-olan-en-buyuk-bina.html>
12. Elektrik Üretimi, 2014. Erişim Tarihi: 27.09.2014. <http://www.elektrikuretimi.org/ruzgar-turbinleri-ve-siniflandirilmasi/>
13. METALdünyası, 2014. Erişim Tarihi: 27.09.2014. <http://www.metaldunyasi.com.tr/haber/detay/565>
14. Pikaçu, 2014. Erişim Tarihi: 27.09.2014. <http://gijmoo35.blogspot.com.tr/2013/12/ruzgar-turbinleri-ve-generatorleri.html>
15. Nurbay, N., Çınar, A., 2005. Rüzgar Türbinlerinin Çeşitleri ve Birbirleriyle Karşılaştırılması. Erişim Tarihi: 27.09.2014. http://www.emo.org.tr/ekler/4986d86a17424ee_ek.pdf
16. Emniyetli, G., 2007. Elektrik İhtiyacının Karşılansması için Rüzgar Türbini Tasarımı. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 102s, Edirne.
17. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2014. Erişim Tarihi: 27.09.2014. http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/ruzgar/ruzgar_turbin.html
18. Canpolat, Ş., 2013. Rüzgar Enerjisi ve Isparta Şartlarında Prototip Bir Rüzgar Türbini Tasarımı. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 66s, Isparta

19. Kurt, G., 2011. Dişli Kutulu ve Dişli Kutusuz Rüzgar Türbini-Generatör Sistemlerinin Karşılaştırılması. Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, 5-7 Ekim, Elazığ, 112-115.
20. Durdyev, S., 2010. Rüzgar Enerjisinde Uygun Türbin Seçimi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 71s, İstanbul.
21. Sevim, C., 2008. Offshore Rüzgar Enerjisi Santralleri. Erişim Tarihi: 27.09.2014.
<http://www.yenienerji.info/?pid=18716>
22. Özarslan, A., 2012. Yenilenebilir Enerji Kaynakları için Büyük Ölçekli Enerji Depolama Yöntemleri. Erişim Tarihi: 28.09.2014.
<http://www.dektmk.org.tr/upresimler/enerjikongresi12/69-Yrd.Doc.DrAhmetOzarslan.pdf>
23. Erdinç, O., Uzunoğlu, M., Vural B., 2011. Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, 5-7 Ekim, Elazığ, 116-121.
24. Donanım Haber, 2014. Erişim Tarihi: 28.09.2014.
http://forum.donanimhaber.com/m_46046831/mpage_57/tm.htm
25. Kocaman, B., 2013. Akıllı Şebekeler ve Mikro Şebekelerde Enerji Depolama Teknolojileri. Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, 2, 120-128.
26. Çaliker, A., Özdemir, E., 2013. Modern Enerji Depolama Sistemleri ve Kullanım Alanları. 5. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 23-24 Mayıs, Kocaeli, 175-179.
27. e-bisiklet dünyası, 2014. Erişim Tarihi: 28.09.2014. <http://www.e-bisiklet-dunyasi.com/elektrikli-bisiklet-aku-tipleri/>
28. Elektrik port, 2014. Erişim Tarihi: 28.09.2014.
<http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/fazla-ruzgar-enerjisini-depolamak-icin-temiz-cozumler/8112#ad-image-0>