

Elektrik Enerjisi Üreten Rüzgâr Değirmenleri The Windmills Producing Electrical Energy

Eren BAŞARAN

Elektronik Yüksek Mühendisi (İ.T.Ü.)

Boğazköy – Girne

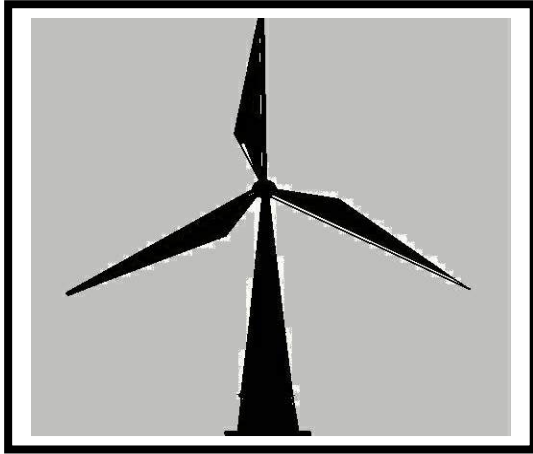
erenbasaran@yahoo.com

1. Özetçe :

Bu yazıda, elektrik enerjisi üreten rüzgâr değirmenleri veya bir başka deyişle rüzgâr türbinleri tanıtılmaktadır. Rüzgâr türbinlerinin bellibaşlı teknik özelliklerine değinilmektedir. Rüzgâr Enerjisi Gözlem İstasyonları hakkında da bilgi verilmektedir. Günümüzde kömür ve nükleer santraller, rüzgâr santrallerinden daha ucuza enerji üretebilmesine rağmen, rüzgâr enerjisinin tercih edilmesinin iki önemli sebebi, “Temiz” ve “Yenilenebilir” özelliklerde olmasıdır. Rüzgâr enerjisinin, atmosfere zararlı karbon dikosit ve nitrojen gazları salınımı yoktur. Rüzgârın bitip tükenmesi gibi bir durum söz konusu değildir.

Kabaca tahminde veya önkestirmede bulunabilmek için; Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinlerinde , rüzgâr hızı ve pervanenin süpürdüğü yüzölçümüne bağlı olarak elde edilebilecek güç miktarları, bu yazıda verilmiştir. Ayrıca, Yatay Eksenli Rüzgâr Türbininin “pervane çapı ile maksimum çıkış gücü” (Rotor Size and Maximum Power Output) arasındaki ilişki de sunulmuştur. Bu yazıda rüzgâr değirmenlerinin avantajlarından ve dezavantajlarından da bahsedilmiştir.

Şekil 1. Üç kanatlı rüzgâr değirmeni resmi
{ Çizen : Eren BAŞARAN - 10 . 10 . 2008 }



2.Öndeyiş :

Amerika’da yayımlanan, daha ziyade mühendislere hitap eden bir “**Lineer Devre Analizi**”¹ ders kitabı önsözünde, yeni bir konuya hemen derinliğine girmektense, yeni konu hakkında öğrencilerin daha önceleri, basit ve özlü temel bilgileri aldıktan sonra, derinliğine girilmesinin,

¹ Linear Circuit Analysis , B.James and Samuel G. Lutz, and Charles F. Rehberg , McGraw-Hill Book, Inc. U.S.A. 1959 , xvi+570 sayfa, Library of Congress C.C.No: 59-10719

didaktik bakımından çok daha yararlı olacağını yazıyorlardı.Yazının aslı şöyledir : { *Our experience in teaching circuit theory has led us to the belief that no single course can contain a treatment full and broad enough to achieve logical completeness. It is our conclusion that a student learns best by first having an introductory treatment of the subject matter, to be followed later by a more advanced treatment which is not just a rehash of the earlier coverage but an extension of the subject matter that probes more deeply into it.* }

İstanbul Teknik Üniversite’sinde 1967-1968 akademik yılında, “Yüksek Mühendislik Diploma Çalışmamı” Elektrik Makineleri Kürsüsünden, Prof. Dr. M.Kemâl SARIOĞLU yönetiminde yapmışım ve tam puan (=20/20) aldığım diploma çalışmamın konusu : “Regülâtörlü Çıkık Kutuplu Bir Senkron Generatör Sisteminin Stabilitesinin Routh Hurwitz Kriteri’ne göre incelenmesi” idi. O zamanlar, 1963 yıllarında İ.T.Ü. Makine Fakültesi hocaları tarafından verilen “Su Türbinleri” derslerini ve ayrıca “Mekanik I”, “Mekanik II” ve “Kinematik” derslerini de almak ve geçmek, Elektrik Fakültesinin Kuvvetli ve Zayıf Akım öğrencileri için zorunlu idi.Daha sonraki yıllarda “Kinematik” dersi kaldırılmıştı...

Öteyandan, , 1971-1972 yıllarında, 9 aylık bir süre Kanada’da Nova Scotia eyaletinin, Windsor adlı kasabasında “Eastech Ltd.” adlı bir dizel generatör sistemi tasarımı ve üretimi yapan şirkette “teknolog” unvanıyla çalışmışım. Genel Müdürümüz, Polonya asıllı bir Kanadalı mühendis idi... Şirketimiz; çeşitli firmalardan, generatör parçaları, röleler, ölçü aletleri vesaire ithal ederek, Kanada’nın kuzeyinde, buzullardaki LABRADOR bölgesi için “dizel generatör” sisteminin tasarımı ve montajını yapıyorduk.

Bu konulardaki birikim ve tecrübelerimden de yararlanarak, bu makaleyi olabildiğince sade, basit ve kolayca anlaşılır teknik bir dille hazırlamaya çalıştım. Dolayısıyla, böyle bir teknik makalenin, bu konularda derinleşmek isteyenlere de faydalı olacağını umuyorum.

3. Rüzgâr Türbinlerine Giriş

Rüzgâr türbinleri, rüzgârdaki kinetik enerjii önce mekanik enerjiye, ve daha sonra da elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Bir rüzgâr türbini genel olarak kule, generatör, hız dönüştürücüleri (dişli kutusu), elektrik-elektronik elemanlar ve pervaneden oluşur. Rüzgârın kinetik

enerjisi pervanede (rotorda) mekanik enerjiye dönüştürülür. Pervane milinin (şaftının) devir devinimi (hareketi) hızlandırılarak gövdedeki generatöre aktarılır. Generatörden elde edilen elektrik enerjisi, akümülatörler vasıtasıyla depolanarak veya doğrudan alıcılara ulaştırılır. **Generatör terimine, Türkçe’de konuşma dilinde çok yaygın olarak “jeneratör” denmektedir. Akademik çevrelerde ise “generator” denmektedir.**

Kullanımdaki rüzgâr türbinleri; boyut ve tip olarak çeşitlilik gösteriyor. Ne var ki, genelde rüzgâr türbinleri, dönme eksenine göre sınıflandırılıyor. Rüzgâr türbinleri dönme eksenine göre “Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri” (YERT) ve “Düşey Eksenli Rüzgâr Türbinleri” (DERT) olmak üzere iki sınıfa ayrılıyor.

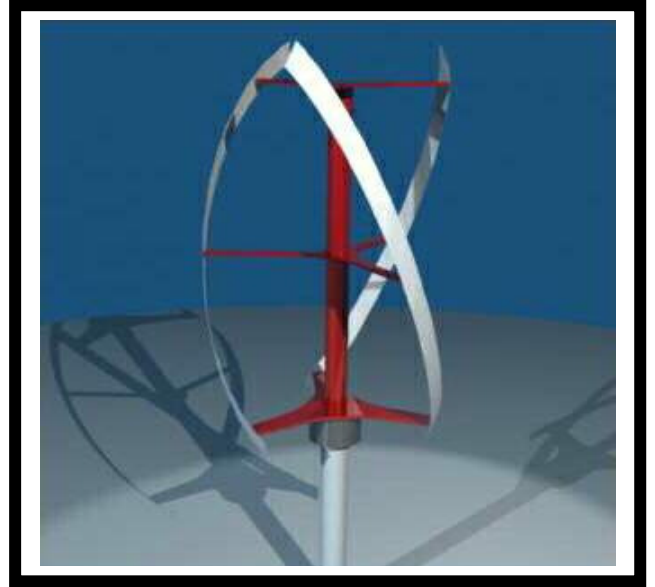
İngilizce’de, “Vertical Axis Wind Turbine” (Düşey Eksenli Rüzgar Türbini); kısaca VAWTs olarak adlandırılır.

Düşey eksenli yere dik olacak şekilde tasarlanmıştır. Daima rüzgârın geleceği yöne göre ayarlanır. Çok değişik çeşitleri vardır. (Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4, ve Şekil 5’de görülüyorlar.)

Yatay ekseninin rüzgâra göre ayarlanmasına gerek yoktur. Genelde ilk hareket olarak elektrik motoruna ihtiyaç duymaktadır. Türbin yardımcı tellerle ekseninden sabitlenmiştir. Deniz seviyesine yakın yerlerde daha az rüzgâr aldığından, cihazın verimi düşük olmaktadır.

Yatay Eksenli Rüzgâr Türbini “Horizontal Axis Wind Turbine” kısaca “HAWTs” olarak adlandırılır. Dönme eksenli yere paralel olarak gerçekleştirilmektedir. Bir elektrik motoru yardımıyla rüzgâr yönüne göre pervanenin yönü ayarlanabiliyor ...

Şekil 2. Düşey Eksenli Rüzgâr değirmeni (Darrius Lift-Type) aşağıda görülüyor.



Şekil 3. Düşey Eksenli Rüzgâr Değirmeni : Helical Blade VAWT : Helisel Kanatlı değirmen yukarıda görülüyor.

Şekil 4: Düşey Eksenli Rüzgâr Değirmeni : Vertical Axis Giromill : Düşey Eksenli Döner Değirmen aşağıda görülüyor.



Şekil 5. Düşey Eksenli Rüzgâr Türbini : Amerikan Alvesta firmasının ürettiği Düşey Eksenli Rüzgâr Türbini aşağıda görülüyor.



4. Yaygın Kullanılan Enerji Birimleri

Common Scientific Notation	Energy Units:
British Thermal Unit (Btu)	1.0
Millions of Btu	1.0E+06
Therm	1.0E+05
Billions of Btu	1.0E+09
Quad	1.0E+15
Calorie	1.0
Kilocalorie	1.0E+03
Thermie	1.0E+05

Teracalorie	1.0E+12
Megajoule	1.0E+06
Joule	1.0
Gigajoule	1.0E+09
Terajoule	1.0E+12
Kilowatthour (kWh)	1.0E+03
Watt hour	1.0
Megawatthour	1.0E+06
Gigawatthour	1.0E+09
Terawatthour	1.0E+12
1.0E+12=10 ¹² demektir.	

Çizelge 2. Bellibaşlı Birimlerde Enerji Dönüşüm çizelgesi

	J	KWh	BTU	kcal
1 Joule	1	2.77778x10 ⁻⁷	9.478x10 ⁻⁴	2.388x10 ⁻⁴
1 kWh	3.6x10 ⁶	1	3412.14	8559.845
1 BTU	1055.06	2.931x10 ⁻⁴	1	0.251 996
1 kcal	4186.8	1.163x10 ⁻³	3.968 32	1

5. Yatay Eksenli Rüzgâr Türbini İç Yapısı

5.1. Beşik (İng.Nacelle)

Beşik terimine;Türkçemizde, “*makine yuvası*”, veya “*makine yeri*” veya “*nasel*” de diyorlar.Beşik, rüzgâr türbininin dişli kutusu ve elektrik generatörü dahil kilit parçalarını içerir. Servis personeli, beşik yerine, türbin kulesinden girebilir. Beşiğin bir yanında , rüzgâr türbini pervanesi yani *pervane kanatları* ve *göbek* (İng. hub) bulunur.

5.2. Pervane Kanatları (İng. Rotor Blades)

Pervane kanatları, rüzgârı yakalar ve rüzgârın gücünü pervane göbeğine aktarır. Modern bir 600 kW rüzgâr türbininde, her pervane kanadının uzunluğu 20 metre kadardır ve bir uçak kanadı gibi tasarlanmıştır.

Rüzgâr estiği zaman, pervanenin kanatlarına çarparak onu döndürmeye başlar. Bu sayede rüzgâr enerjisi ile kinetik (hareket) enerjisi elde edilmiş olur. Pervaneler; rüzgâr estiğinde aynı yönde dönecek şekilde tasarlanmıştır

5.3. Göbek (İng. Hub)

Pervane göbeği, rüzgâr türbininin düşük hız miline bağlıdır.

5.4. Düşük Hız Mili (İng. Low Speed Shaft)

Pervanelerin dönmesiyle ona bağlı olan mil (şaft) da dönmeye başlar. Milin (şaftın)

dönmesiyle de motor içinde hareket oluşur ve motorun çıkışında elektrik enerji elde edilmiş olur. Rüzgâr türbininin düşük hız mili, pervane göbeğini dişli kutusuna bağlar. Modern bir 600 kW rüzgâr türbininde dişli nispeten yavaş, dakikada 19 - 30 devir hızı ile döner. Bu mil; aerodinamik frenlerin çalışması için hidrolik sisteme ait borular içerir.

5.5. Dişli Kutusu (İng. Gearbox)

Dişli kutusunda, bir yanda düşük hız mili bulunur. Diğer yandaki yüksek hız milinin, düşük hız milinden 50 kat hızlı dönmesini sağlar.

5.6. Mekanik Frenli Yüksek Hız Mili (İng. High Speed Shaft with its mechanical brake)

Mekanik frenli yüksek hız mili, dakikada yaklaşık 1500 devir hız ile döner ve elektrik generatörünü çalıştırır. Bir acil durum mekanik freni vardır. Mekanik fren, aerodinamik frenlerin çalışmaması durumunda veya türbin bakımdayken kullanılır.

5.7. Elektrik Generatörü (İng. Electrical Generator)

Elektromanyetik indüksiyon ile elektrik enerjisi üretilmiş olur. Küçük oyuncak arabalardaki elektrik motoruna benzer bir sistemdir. İçinde mıknatıslar bulunur. Bu mıknatısların ortasında da ince tellerle sarılmış bir bölüm vardır. Pervane mili (şaftı) döndüğü zaman, motor içindeki bu sarım bölgesi , etrafındaki mıknatısların ortasında dönmeye başlar. Bunun sonucunda da alternatif akım (AC) oluşur.

Günümüzde kullanılan rüzgâr türbinleri, eskiden kuyulardan su çekmek amacıyla tarlalarda kullanılan yel değirmenlerinden daha karmaşık bir yapıdadır.



Şekil 6. Eskiden tarlalarda kuyulardan su çekmek için kullanılan bir yeldeğirmeni

Elektrik generatörü, genelde bir senkron generatörü veya asenkron generatördür. Modern bir rüzgâr türbininde azami elektrik gücü genelde 500 - 1500 kW arasındadır.

5.8. Elektronik Denetleme Ünitesi (İng. Electronic Controller)

Elektronik kontrol ünitesi, rüzgâr türbininin durumunu sürekli izleyen ve yalpa (İng. yaw) mekanizmasını denetleyen bir bilgisayar içerir. Bir arıza halinde (örneğin, dişli kutusu veya generatörün fazla ısınması durumunda) rüzgâr türbinini otomatik olarak durdurur ve telefon modem hattı vasıtasıyla türbin operatörünün bilgisayarına uyarı verir.

5.9. Hidrolik Sistem (İng. Hydraulics System)

Hidrolik sistem, rüzgâr türbininin aerodinamik frenlerini içerir.

5.10. Soğutma Ünitesi (İng. Cooling Unit)

Soğutma ünitesi, elektrik generatörünü soğutmak için kullanılan bir soğutma ünitesi içerir. Ayrıca dişli kutusundaki yağın soğutmak için kullanılan bir soğutma ünitesini içerir.

5.11. Kule (İng. Tower)

Rüzgâr türbininin kulesi, makina yerini ve pervaneyi taşır. Genelde kulenin yüksek olması bir avantajdır. Zira zeminden uzaklaştıkça rüzgâr hızları artar. Modern bir tipik 600 kW rüzgâr türbininde, 40 - 60 metrelik bir kule bulunur. Kuleler, dairesel veya kafes biçiminde olabilir. Dairesel kuleler, türbinin tepesine ulaşmak için bir

iç merdiven olabildiğinden, personelin türbinlere bakması için daha güvenlidir. Kafes kulelerin başlıca avantajı daha ucuz olmasıdır. Büyüklüğüne göre 6 ile 24 m arasında galvaniz çelikten, ve statik yapısı sağlamlaştırılmış kuleler kullanılır

5.12. Yalpa Mekanizması (İng. Yaw Mechanism)

Yalpa mekanizması, pervane ile birlikte beşiği (makine yuvasını) rüzgâra karşı döndürmek üzere elektrik motorlarından yararlanır.Yalpa mekanizması, yelkovanı kullanarak rüzgâr yönünü algılayan elektronik denetleme (kontrol) ünitesi tarafından çalıştırılır. Rüzgâr, yön değiştirdiğinde, normalde türbin bir defada, sadece birkaç derece eğilir.

5.13. Açık Denetimi :

Pervane yüksek hızlara çıktığında, üretilen enerji de aşırı olmaktadır. Bu gibi durumlarda, güvenli bir çalışma için, açık denetimi ile pervanelerin açılarını değiştirip daha yavaş bir dönme hareketi sağlanır.

5.14. Pasif Yavaşlatıcı:

Genellikle pervaneler ve motor bloğu sabit bir açıyla ayarlanmışlardır. Ancak rüzgâr aşırı hızlı estiği zamanlarda, pervanelerin tepetaklak olmasını engellemek için geliştirilmiş bir sistemdir. Aerodinamik olarak rüzgârın tersi yönde pervanelerin açısını değiştirip hızın azaltılmasına çalışılır.

5.15. Aktif Yavaşlatıcı:

Açık kontrol sistemine benzer bir sistemdir. Üretilen gücün aşırı olması durumunda pervane ve motor bloğunun açısını değiştirmeye yarayan sistemdir.

5.16. Anemometre ve Yelkovan (İng. Anemometer and Wind Vane)

Anemometre (Rüzgâr ölçer) ve yelkovan, rüzgâr hızı ölçmek ve yönünü belirlemek için kullanılır.

Anemometreden gelen elektronik sinyaller, rüzgâr türbininin elektronik denetim ünitesi tarafından rüzgâr hızı yaklaşık 5 m/s'ye yaklaştığında, rüzgâr türbinini çalıştırmak için kullanılır. Bilgisayar, türbini ve çevresini korumak için, rüzgâr hızı 25 m/s'yi aştığında türbini otomatik olarak durdurur.

Yelkovan, sinyalleri rüzgâr türbininin elektronik denetleme ünitesi tarafından kullanılır.

6. Rüzgâr Türbinlerinin Çalışma İlkesi

Rüzgâr türbinleri bir kafanın üzerine oturtulmuş kanatları sayesinde rüzgâr enerjisini yakalarlar.

Kanatlar, bir uçak kanadı işlevi görürler. Alçak basınçlı hava, kanatları yukarı doğru iter,ve bu güç karşıdan gelen rüzgârın yarattığı güçten çok daha fazla olduğu için, bu iki gücün bileşkesi sayesinde kanatlar bir pervane gibi dönmeye başlar. Bu sayede oluşan kinetik enerji de elektrik

enerjisine dönüştürülür. İnsanlar, yüzyıllardan beri rüzgâr enerjisinden yararlanmaktadır. İlk örnekleri Hollanda'da olan yeldeğirmenleri su çekme ve un öğütme amaçlı kullanılmıştır. Bugün ise modern rüzgâr türbinleri elektrik üretiminde kullanılmaktadır.

Aynen bir yeldeğirmeni gibi rüzgâr türbinleri de bir kule üzerine monte edilmektedir. Yaklaşık 30 m ve daha yüksek uzunlukları ile daha hızlı ve daha az türbilanslı olan rüzgâr profillerini yakalamak mümkündür. Rüzgâr türbinleri bir kafanın üzerine oturtulmuş kanatları sayesinde rüzgâr enerjisini yakalarlar. Kanatlar bir uçak kanadı işlevi görürler, alçak basınçlı hava kanatları yukarı doğru iter, bu güç karşıdan gelen rüzgârın yarattığı güçten çok daha fazla olduğu için, bu iki gücün bileşkesi sayesinde kanatlar bir pervane gibi dönmeye başlar, oluşan kinetik enerji de elektrik enerjisine dönüşür.

7. Alternatif Enerji Kaynakları

Tek tükenmez ve kirlenmez alternatif enerji kaynağı güneş ve rüzgârdır. Güneş ve rüzgâr enerjisi hammadde tüketmeyen enerji kaynağıdır. Sürekli artan yakıt fiyatları, ve enerji verimliliği gözönüne alındığında, güneş ve rüzgâr enerji sistemlerine yapılan yatırım ileriye dönük olumlu bir yatırım sayılmaktadır.

Duman, karbonmonoksit, kükürt ve radyasyon artığı içermeyen, temiz enerji özelliklerine sahiptir. Enerji ihtiyacı duyulan her yerde kullanılabilir.

Nükleer Enerji Kaynakları da birçok yönlerden vazgeçilemeyen alternatif enerji kaynakları arasındadır.

Güneş panellerinin ömrü 80-90 yıl, rüzgâr türbinlerinin ömrü 30-35 yıldır. Rüzgâr enerjisinin kaynağı güneştir. Güneş enerjisinin karaları, denizleri ve atmosferi her yerde aynı derecede

8. Rüzgâr Enerjisi Gözlem İstasyonları (RGİ)

Rüzgâr enerji santralının projelendirilmesi ve ekonomisi, temel olarak seçilen santral sahasından üretilebilecek enerji miktarına bağlı olmaktadır. Bu enerji miktarının saptanması için seçilen proje sahasına ait arazinin topoğrafik yapısı da göz önüne alınarak uygun nokta veya noktalara rüzgâr gözlem istasyonu (RGİ) kurulmaktadır. RGİ'lerindeki bir ölçüm direği üzerine yerleştirilmiş ölçüm aletleri ile standartlara uygun olarak yapılan rüzgâr hızı, rüzgâr yönü gibi ölçümler, rüzgâr enerji santralı projesinin daha sonraki aşamaları olan verilerin değerlendirilmesi, enerji üretim miktarının belirlenmesi ve rüzgâr türbini seçiminde yol gösterici olacaktır. Özellikle enerji amaçlı rüzgar hız ve yön ölçümlerinde, ölçme hatasının çok düşük olması istenmektedir. Zira, ölçümlerde yapılabilecek küçük

ısıtmamasından dolayı oluşan sıcaklık ve basınç farkları, rüzgârı yaratmaktadır.

Güneşten gelen enerjinin %1-2'si rüzgâr enerjisine dönüşür. Rüzgâr enerjisi, rüzgârı oluşturan hava akımının sahip olduğu hareket (kinetik) enerjisidir. Bu enerjinin bir bölümü yararlı olan mekanik veya elektrik enerjisine dönüştürülebilir.

Rüzgâr enerjisinde; rüzgârın hızı, yönü ve esme saat sayısı gibi özellikleri gözönüne alınır. Rüzgâr hızı, bir rüzgâr türbininin, elektrige dönüştürebileceği enerji miktarı açısından önemlidir. Rüzgârın enerji içeriği, ortalama rüzgâr hızının küpü oranında değişir. Yani rüzgâr hızı 2 katına çıkarsa, 8 kat enerji içerir.

Sıvılardan farklı olarak hava, daha çabuk devinir (hareket eder). Bulunduğu ortamın her yerini kaplar. Havanın hızlı devintisi (İng. displacement) ile içindeki parçacıkların devinimi (hareketi) de hızlı olur. Havanın bu özelliğini kinetik enerjiye dönüştürme işlemine, Rüzgâr Enerjisi adı verilir.

Rüzgâr enerjisinden, elektrik üreten merkezlere Rüzgâr Santrali denilmektedir. Rüzgâr Santralleri kurulduktan sonra, pervaneler rüzgârın (havanın) devinimiyle (hareketiyle) bağlı oldukları mili (şaftı) döndürür. Uygun bir generatör ile de bu hareket enerjisi, elektrik enerjisine dönüştürülür.

Rüzgâr enerjisi güneşin doğmasıyla başlar. Gece oluşan soğuk hava tabakasının yere yakın bölümleri, güneşin ışınlarıyla hemen ısınmaya başlar. Isınan hava genişler ve yükselir. Bu anda atmosferdeki soğuk hava tabakası yere doğru iner. Sıcak ve soğuk havanın yer değiştirmesiyle de rüzgâr oluşur.

bir hata, enerji üretimine önemli oranda hata ve belirsizlik olarak yansır.

RGİ'undaki ölçüm aletleri tamamen doğal atmosferik şartlarda çalıştığından kapalı yerlerde çalışan diğer aletlere göre ekonomik ömürleri daha kısadır. Paslanma, korozyon, çürüme, aşınma, buzlanma gibi etkenler yüzünden rüzgâr aletlerinin ölçüm değerleri normalden hızla uzaklaşır. Bu yüzden rüzgâr ölçüm aletleri ve kayıt sistemleri ile elektrik devreleri sık sık kontrol edilmeli, bakımları ve kalibrasyonları, standartlarda ve aletlerin teknik elkitaplarında öngörülen zamanlarda mutlaka yapılmalıdır.

Bir RGİ kurulurken aşağıda sıralanan unsurlar da ayrıca gözönüne alınmalıdır:

- RGİ rüzgâr profilini değiştirecek engellerden uzak yerlere kurulmalıdır.
- Ölçüm aletleri kuzey-güney doğrultuda olacak şekilde monte edilmelidir.

- Ölçüm direğinin yerinden oynamaması için direği toprağa bağlayan betonun yüzeyi ve derinliği projelendirilmeli, yüksek rüzgâr hızlarında direğin devrilmesi önlenmelidir. Gerektiğinde çeşitli yüksekliklerde çelik halatlarla yere irtibatlandırılmalıdır.
- Sistemlerin uçuşlara engel olmaması için direk üzerine yanıp sönen kırmızı flaşör lamba bağlantıları ile çevrede direktan daha yüksek engel yoksa, direk üzerine paratoner tesisatı konmalıdır.
- Direk üzerine monte edilecek sistemlerin periyodik bakım, onarım ve kalibrasyonları için direklerin yatırılabilir olması sağlanmalıdır.
- Montaj esnasında algılayıcıların (sensörlerin) yerlerine uygun şekilde monte edilip edilmediği kontrol edilmeli, dış kapması veya aşırı sıkışmalara meydan verilmemelidir. Sistemlerde aşırı yağlama yapılmamalıdır. Zira fazla yağ çevredeki tozlarla birleşerek, sistem millerinin ve sistem yataklarının normal çalışmasına engel olur.
- Ölçüm âletlerinin kabloları direk üzerine bağlanmalı, hiçbir kablo sarkık durumda olmamalıdır.
- Montajı bitmiş bir ölçüm direği, yer düzlemine dik konumda olmalı ve ölçüm âletlerinin hepsi tek bir direk üzerine monte edilmelidir.
- Ara ölçüm aletlerini, ölçüm direğine bağlayabilmek için traversler (İng. traverse) kullanılmalıdır. Bu traverslerin taşıdığı ölçüm aletlerinin ölçüm direğine olan uzaklığı, ölçüm direğinin çapının, en az 7 katı kadar olmalıdır.
- Ölçüm direğinin en üst noktasına yerleştirilecek anomometre, ölçüm direğinin üst seviyesinden en az 800-900 mm yukarıya monte edilmelidir. Rüzgâr hızı ve yönünü belirlemek amacıyla yapılan ölçümler, ölçüm amacına göre değişir. Meteorolojik amaçlı (klimatolojik, sinoptik, hava kirliliği vb) yer rüzgârı ölçümlerinde Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) kurallarına göre standart ölçüm yüksekliği 10 metredir. Enerji amaçlı rüzgâr ölçümlerinde ise rüzgâr hızı, rüzgâr yönü ve çevre sıcaklığı gibi parametreler 30 metre ve mümkünse türbin gövde (hub) yüksekliğinde, en az bir yıl periyodik olarak

ölçülür ve bilgisayar ortamında değerlendirilebilecek şekilde veri paketi olarak saptanır. Rüzgâr hızı ve rüzgâr yönünün yanısıra diğer bazı meteorolojik parametrelerin de ölçülmesi son derece faydalı olacaktır. Özellikle rüzgâr enerjisi hesaplamalarında kullanılan bir değer olan hava yoğunluğunu hesaplayabilmek için basınç, çevre sıcaklığı ve nemlilik değerlerinin ölçülmesi gerekir.

Şekil 7. Üç kanatlı yatay eksenli küçük güçlü bir rüzgâr değirmeni aşağıda görülüyor.



9. Neden Rüzgâr Enerjisi Tercih Ediliyor ?

Tipik büyük bir rüzgâr türbini yıllık 5.2 milyon KWh elektrik enerjisi üretir. Yaklaşık 600 hanenin elektrik ihtiyacını karşılayabilir. Günümüzde kömür ve nükleer santraller, rüzgâr santrallerinden daha ucuza enerji üretebilmektedirler. O halde neden rüzgâr enerjisini kullanılıyor? Bunun iki önemli sebebi vardır. Rüzgâr enerjisinin “Temiz” ve “Yenilenebilir” özelliklerde olmasıdır. Atmosfere zararlı karbon dioksit ve nitrojen gazları salınımı yoktur. Rüzgârın tükenip bitmesi gibi bir durum söz konusu değildir.



Şekil 8. Yatay Eksenli Rüzgâr değirmeniine ait bir pervane kanatının uzun bir taşıt aracıyla taşınması

Rüzgâr santrallerinin bu yararlarının yanında olumsuz yönleri de vardır. Diğer enerji santralleri gibi her zaman yüksek verimle çalışmazlar. Çünkü rüzgâr hızı değişkenlik göstermektedir. Rüzgâr türbinleri şehirlere yakın bölgelerde oluşturdukları ses kirliliği sebebiyle; insanlara, hayvanlara ve doğal yaşama rahatsızlık vermektedir. Rüzgâr varolduğundan beri güvenilir enerji kaynağı değildir. Rüzgâr hızı düştüğünde yada kesildiğinde, geri dönüşümü olmayan enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Rüzgâr türbinleri elektrik hattından bağımsız olarak istenilen yerde elektrik üretebilirler. Bir fotovoltaik güneş paneli ile verimleri daha da artar. Bu tip uygulamalar daha çok telekomünikasyon sistemleri, su çekme, yat ve teknelerde, dağ veya çiftlik evlerinin elektrik ihtiyacını karşılamak içindir.

Daha büyük ölçekli rüzgâr türbinleri de dolaysız (direkt) olarak şebekeye bağlanabilmektedir. Birçok rüzgâr türbininin oluşturduğu rüzgâr çiftlikleri, bir elektrik santrali olarak hizmet verirler. Yurtdışında birçok elektrik şirketi tamamen rüzgârdan elde ettiği enerjiyi son kullanıcıya satmaktadır. Telekomünikasyon ve konut sistemlerinde 400W ile 3000W arasındaki saatlik üretim kapasiteli rüzgâr türbinleri 12/24/48V DC veya isteğe bağlı olarak 240V AC elektrik üretmektedirler. Bir rüzgâr türbininin ürettiği elektrik enerjisi, kanat çapının karesi ile ve rüzgar hızının küpü ile doğru orantılıdır. Üç kanatlı rüzgar türbini genelde 10-12 m/s bir rüzgâr hızında, maksimum gücüne ulaşmaktadır. 40 m/s hızına kadar da sorunsuzca üretime devam edebilirler.

Verimli olabilmesi için bölgede 3-4m/s rüzgâr hızına ihtiyaç duyulur. En önemli yan aksamlarından biri de, kullanılan kule yapısıdır.

10. Rüzgâr Enerjisinin Genel Uygulama Alanları

Şebekeden bağımsız rüzgâr enerjisi sistemlerinin genel uygulama alanları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Bina içi ya da dışı aydınlatılması
2. Dağ evleri ya da yerleşim yerlerinden uzaktaki evlerde TV, radyo, buzdolabı gibi elektrikli aygıtların çalıştırılması
3. Dağ evleri, çiftlikler ve deniz fenerleri
4. Deprem ve hava gözlem istasyonları
6. Haberleşme istasyonları, kırsal radyo, telsiz ve telefon sistemleri
7. İlk yardım, alarm ve güvenlik sistemleri
8. Orman gözetleme kuleleri
9. Tarımsal sulama ya da ev kullanımı amacıyla su pompajı vesaire...

11. Dünyada Ükelere Göre Kurulu Rüzgâr Enerjisi Sıralaması

Cizelge 3. Dünyada Kurulu Rüzgar Enerjisi

Rank (Sıra)	Nation (Ülke)	2005 (MW)	2006 (MW)
1	Germany	18415	20622
2	Spain	10028	11615
3	United States	9149	11603
4	India	4430	6270
5	Denmark (& Færoe Islands)	3136	3140
6	China	1260	2604
7	Italy	1718	2123
8	United Kingdom	1332	1963
9	Portugal	1022	1716
10	Canada	683	1459
11	France	757	1567
12	Netherlands	1219	1560
13	Japan	1061	1394
14	Austria	819	965
15	Australia	708	817
16	Greece	573	746
17	Ireland	496	745
18	Sweden	510	572
19	Norway	267	314
20	Brazil	29	237
21	Egypt	145	230
22	Belgium	167	193
23	Taiwan	104	188
24	South Korea	98	173
25	New Zealand	169	171
26	Poland	83	153
27	Morocco	64	124
28	Mexico	3	88
29	Finland	82	86
30	Ukraine	77	86
31	Costa Rica	71	74
32	Hungary	18	61
33	Lithuania	6	55
34	Turkey	20	51
35	Czech Republic	28	50

12. Üç Kanatlı Yatay Eksenli Rüzgâr Değirmeninin Bellibaşlı Özellikleri

Bir rüzgâr türbininin ürettiği enerjinin hesaplanması için rüzgârın hızına ve pervane çapına ihtiyaç vardır. Çoğunlukla büyük rüzgâr türbinleri saniyede 15 meter hızla dönmektedir. Üretilen enerjinin artması için pervane çapının artması gerekmektedir. Bu da rüzgâr türbininin yüksekliğinin de artması anlamına gelir. Bu sayede daha fazla rüzgâr alıp, daha hızlı bir dönme hareketi sağlanır.

Genellikle rüzgâr türbinleri saatte 33 mil (= 15 m/s) hızla döndüklerinde, tam kapasite olarak çalışmaktadırlar. Saatte 45 mil (20 metre / saniye) hızına çıktıklarında ise otomatik olarak sistem durmaktadır. Türbinin fazla hızlanması halinde sistemi durduracak birçok kontrol bulunmaktadır. En yaygın sistem fren sistemidir. Pervane 45 mil/saat (20 metre / saniye) hızına ulaştığında dönme işlemini durdurur. Burada, 1 mil/saat = 0.4469 metre/saniye'dir

Rüzgâr enerjisi ; a) Pervanenin alanına, b) Rüzgâr hızının kübüne ve c) Havanın yoğunluğuna, bağlıdır.

Elde edilecek enerji ise, pervanenin verimine bağlıdır. Pervanenin verimi de, pervanenin şekil ve dönüş hızına bağlıdır. Rüzgârın taşıdığı güç şu formülle hesaplanır:

$$P = (1/2) \rho A V_r^3$$

Burada, P (watt biriminde) güç, A pervanenin taradığı yüzölçümü (m^2) ($A = \pi R^2$, R pervane yarıçapı) ve V_r de (metre/saniye biriminde) rüzgâr hızıdır. 1 m/s = 3.6 km/saat ve 1 km/saat = 0.278 m/s olarak yazabiliriz. Burada $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$ havanın deniz seviyesindeki yoğunluğudur

Genelde, Betz kuramı çerçevesinde bu gücün %59'unun kullanılabilmesi varsayılır. Fakat daha ayrıntılı bir hesap ile bu enerjinin % 30 civarında bir kısmının kullanılabilmesini söylemek mümkündür.

Bu durumda kabaca, aşağıdaki çizelge ile istenilen güç için kaç metrelik pervane yarıçapı kullanılması gerektiğini kestirebiliriz.

Çizelge 4: Kabaca tahmin için rüzgâr hızı ve süpürülen yüzölçümüne bağlı elde edilebilecek güç miktarları

	Rüzgar hızı = 5 m/s	Rüzgar hızı = 10 m/s	Rüzgar hızı = 15 m/s
1 metre yarıçaplı pervane (A yaklaşık 3 m ²)	Güç ~ 75 watt	Güç ~ 600 watt	Güç ~ 2 kwatt
3 metre yarıçaplı pervane (A yaklaşık 27 m ²)	Güç ~ 700 watt	Güç ~ 6 kwatt	Güç ~ 20 watt
10 metre yarıçaplı pervane (A yaklaşık 300m ²)	Güç ~ 7.5 kwatt	Güç ~ 60 kw	Güç ~ 200 watt
30 metre yarıçaplı pervane (A yaklaşık 2700m ²)	Güç ~ 70 kwatt	Güç ~ 600 kw	Güç ~ 2 Mwatt

Çizelge 5. Rüzgâr Türbinlerinde Pervane Çapı ile Maksimum Çıkış Gücü İlişkisi

RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE PERVANE ÇAPI İLE MAKSİMUM ÇIKIŞ GÜCÜ İLİŞKİSİ			
PERVANE ÇAPI (metre)	Maksimum Çıkış Gücü (kW)	PERVANE ÇAPI (metre)	Maksimum Çıkış Gücü (kW)
10	25	48	750
17	100	54	1000
27	225	64	1500
33	300	72	2000
40	500	80	2500
44	600	Kaynaklar : Danish Wind Industry Association & American Wind Energy Association	

Pervanenin elektrik enerjisi üretiminde kullanılması

Bu kısımda pervanenin şeklinin ve dönüş hızının, rüzgâr enerjisini almada nasıl etkili olduğundan kısaca değinmeye çalışalım.

Rüzgâr değirmeni tasarımında problemlerden biri, rüzgârın hızının sürekli değişmesi, bu yüzden en fazla gücü çekebileceğimiz devrin sürekli farklı olmasıdır.

Bunun yanısıra pervane kanatlarına rüzgârın sürekli farklı açılarda gelmesi ve kanadın bir kısmının **İstal** (İng. **Stall**) durumuna girmesidir. Bunu kısmen düzelten şey, kanadın tamamını YALPA (İng. YAW) açısı denilen belirli bir açıda eğmektir.

Moment (T) = kuvvet x yol bağıntısından hesaplanır: **Moment** terimine günümüzde **Tork** da diyorklar.

Toplam güç $P=\omega T$ olarak bulunur.

13. Rüzgâr Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları

Jeotermal, güneş, rüzgâr ve modern biyokütle enerjisi teknolojileri, günümüzde dünya enerji pazarlarında yer almaya başlamışlardır. Enerji bitkileri, fotovoltaiik ve rüzgâr enerjisi teknolojilerindeki Araştırma-Geliştirme (Ar-Ge) çalışmaları sürmektedir. Yeraltında ısıl enerji depolaması, özellikle gelişmiş ülkelerde hızlı bir yaygınlaşma sürecine girerken, hidrojen enerjisi teknolojisinde de araştırmaların sürdüğü görülmektedir.

Rüzgârdan elektrik üretimi 100 yıl önce başlamıştır. 1950 yılı öncesinde daha çok 20-100kW'lık makinalar üzerinde durulmuş olmakla birlikte, 1250kW'lık türbinler de yapılmıştır. 1974-1978 yapay petrol krizine kadar 100-800 kWlık rüzgâr türbinleri üzerinde durulduğu görülmektedir. 1980li yıllarda yeni teknoloji ve malzemelerle yeniden gelişerek tasarımı yapılan (dizayn edilen) ve maliyetleri düşürülen rüzgâr türbinleri, rüzgâr enerjisine rağbeti artırmıştır.

Rüzgâr enerjisinin doğada bedava bulunmasına karşın, rüzgâr sistemlerinin pahalı olması üretilen enerjinin maliyetini artırmaktadır. Tesis maliyetinin fazla olmasına rağmen, kurulduktan sonraki masrafları çok az olduğu için ürettiği elektriğin birim maliyeti çok düşüktür. Rüzgâr enerjisi tükenmeyen, yakıt ihtiyacı olmayan, çevresel etkileri en az olan emniyetli, gelecek nesilleri olumsuz yönde pek etkilemeyen bir enerji kaynağıdır. Pek çok avantajları yanında kurulması sırasında, görsel ve estetik olarak kişileri ve çevreyi etkilemesi, gürültü oluşturması, kuş ölümlerine neden olması, haberleşmede parazitler oluşturması gibi dezavantajları vardır. Rüzgâr enerjisinin diğer bir dezavantajı ise mutlaka şebekeye bağlı olarak çalışması ve herbir türbine yükseltici transformatör konma zorunluluğudur.

Kapasite kullanım verimi de ancak % 30 kadardır. Rüzgâr esmediği zaman üretim duracağından, rüzgâr enerjisi ancak termik ve hidrolik santrallere ek olarak ya da birlikte (kombine) şekilde güvenilir elektrik enerjisi kaynağı olarak görülmelidir.

Rüzgâr Enerjisinin Avantajları

- Temiz bir enerji kaynağıdır. Atmosferi kirlenmeye sahip gazların salınması diye birşey yoktur. Karbon emisyonu yoktur.
- Bölgesel olması ve dolayısıyla kişilerin kendi elektriğini üretebilmesi bir avantaj sayılmaktadır.
- Enerji üretim maliyetlerini oldukça düşüktür. Ucuz bir enerji kaynağıdır.
- Yerel bir enerji kaynağıdır ve dışa bağımlılığı yoktur.
- Yatırım yüzölçümünün %1'ini kullanır, ve bu bölgelerde tarım ve hayvancılık sürdürülebilir.
- Atıl bölgeler kullanılabilir.
- Güneş, dünya ve atmosfer olduğu sürece, kaynağının tükenmesi söz konusu değildir.
- Rüzgâr tesislerinin kurulumu ve işletilmesinin diğer tesislere göre daha kolay olmaktadır.
- Yüksek istihdam yaratmaktadır.

Rüzgâr Enerjisinin Dezavantajları

- Fosil ve nükleer yakıtlardan elde edilen enerjiye oranla, enerji üretiminin düşük olmaktadır.
- Gürültü kirliliği oluşturabilir. Uzaktan göz manzarasını bozduğu için, yerel toplumun muhalefetiyle karşılaşmaktadır.
- Rüzgâr türbinlerinin büyük alan kaplamaktadır.
- Rüzgârın sürekliliği olmadığı için, enerji üretim değeri sabit olamamaktadır.
- Yatırım maliyetleri yüksek olmaktadır.
- Görüntü kirliliği yaratabilir.
- Radyo ve TV sinyallerini bozabilir.
- Çok yüksek kuleler, hava meydanlarındaki radarları olumsuz yönde etkileyebilir.
- Çok uzun kulelerin kurulması oldukça beceri isteyen külfetli ve masraflı bir iştir.
- Çok uzun kulelerin ve pervane kanatlarının taşınması, maliyetlerinin %20'sine kadar ulaşmaktadır. Kurulumlarında ise gayet yüksek ve pahalı vinçler kullanmayı zorunlu kılmaktadır.
- Rüzgâr çiftliği veya park yerleri kuş göç yollarında ise, kuşların yaralanmasına ve ölümlerine yol açabilir.

Şekil 09. Göçmen kuşlardan suda yüzen renkli ördek resmi aşağıda görülüyor.

{ Çizen : Amerikalı ressam : Severt ANDREWSON – 1985 }



Şekil 10. Türkiye’de, Çanakkale bölgesinde yer alan Bozcaada’daki rüzgâr değirmeni çiftliği veya (parkı) aşağıda görülüyor.



Şekil 11. Yatay eksenli rüzgâr değirmenleri çiftliği yukarıda görülüyor.

Şekil 12. Yatay eksenli bir rüzgâr değirmeni : (Gücü 900 watt olan değirmeni aşağıda görülüyor.)



14. Gücü 900 watt olan Rüzgâr Enerjisi Türbini

Türkiye piyasasında satılan 900 watt’lık Rüzgâr Türbininin, okuyucularımıza bir fikir versin diye, teknik özelliklerini aşağıya alıyorum. Fiyatı 2169 € (Euro)’dur. Gerek satışını yapan firmanın adını ve gerekse hangi ülke ürünü olduğunu, diğer üretici ülke ve satıcı firmalara haksızlık yapmamak için yazmadım. {Aşağıdaki İngilizce teknik özelliklerinin Türkçeye çevirisi tarafımdan yapılmıştır. Eren BAŞARAN}

Rotor Diameter (Pervane Çapı) : 7 feet / 2.1 meters
Weight (Ağırlığı) : 47 lbs / 21 kg box : 74lbs / 22.56 kg
Shipping Dimensions (Nakliye Boyutları) : 51 x 20 x 13 inch / 1295 x 508 x 330 mm
Mount (Ayaklık): 2.5 inch schedule : 40 / 6.35 cm pipe
Start-Up Wind Speed (Başlatıcı Rüzgar Hızı) : 7.5 mph / 3.4 m/s
Voltage (Gerilim) : 12, 24, 36, 48 VDC (Doğru Gerilim)
Rated Power (Nominal Güç) : 900 watts at 28 mph / 12.5 m/s
Turbine Controller (Türbin denetleyicisi) : Whisper controller (Fısıltı Denetleyicisi)
Body (Gövde) : Cast (döküm)
Blades (Kanatlar) : 3-Polypro / carbon glass reinforced (karbon camıyla pekiştirildi)
Overspeed protection (Aşırı Hız Korunması) : Patented side-furling
Kilowatt Hours Per Month (Kilowattsaat / ay) : 100 kWh/mo at 12 mph / 5.4 m/s
Survival Wind Speed (Diri-Kalış Rüzgar Hızı) ¶ : 120 mph / 55 m/s
Warranty 5 year limited warranty (5 yıl sınırlı garantili)

¶ *Survival için, “hayatta-kalış” veya “hayatta kalma” veya “yaşamda kalma” da denebilir.*

15. KAYNAKÇA

1. Wind Energy Handbook
January 20, 2004
By Tony Burton, David Sharpe, Nick Jenkins, Ervin Bossanyi
ISBN: 0-471-48 997-2, cloth, 642 pages, 2002
John Wiley & Sons, Baffins Lane ,
Chichester, West Sussex, PO198SQ, U.K.
2. Wind Energy Comes of Age
By Paul Gipe
John Wiley & Sons, Inc. New York (1995)
ISBN : 0-471-10924-X
3. Sci-Tech Dictionary. McGraw-Hill Dictionary of Scientific and Technical Terms.
Copyright © 2003, 1994, 1989, 1984, 1978, 1976, 1974 by McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved.
4. Sci-Tech Encyclopedia. McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology.
Copyright © 2005 by The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved.
5. Britannica Concise Encyclopedia. Britannica Concise Encyclopedia. © 2006
Encyclopædia Britannica, Inc.
6. Essay. History of Science and Technology,
edited by Bryan Bunch and Alexander

Hellemans. Copyright © 2004 by Houghton Mifflin Company. Published by Houghton Mifflin Company.

7. www.mototaksi.com
8. www.windturbine.net
9. www.ruzgarenerjisirli.org.tr
11. www.gormancontrols.com
12. www.joliet-europe.com
13. www.skystreamenergy.com
14. www.awea.org/projects
15. www.abundantre.com
16. www.cografya.biz
17. www.en.wikipedia.org
18. www.tr.wikipedia.org
19. www.windpower.org
20. www.windenergysolutions.ca
21. www.provenenergy.co.uk
22. www.wind-sail.com
23. www.avinc.com
24. www.bergey.com
25. www.endurancewindpower.com
26. www.entropywind.com
27. www.fuhrlaender.com
28. www.eng.src-vertical.com
29. www.answers.com
30. www.getamak.com
31. www.fen.bilkent.edu.tr/