

HELEZONİK SAVONİUS TÜRBİNİ İMALATI VE DENENMESİ

Faruk KILIÇ

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Ocak 2009**

FarukKILIÇ tarafından hazırlanan " HELEZONİK SAVONİUS TÜRBİNİ İMALATI VE DENENMESİ " başlıklı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd.Doç.Dr.Mehmet ÖZKAYMAK

Tez Danışmanı, Makina Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makina Anabilim Dalında. Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir./...../ 2009

Başkan: Prof.Dr.Kerim ÇETİNKAYA (KBÜ)

Üye : Yrd.Doç.Dr.Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)

Üye : Yrd.Doç.Dr.İbrahim ÇAYIROĞLU (KBÜ)

...../...../2009

Bu tez ile KBÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Süleyman
GÜNDÜZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HELEZONİK SAVONİUS TÜRBİNİ İMALATI VE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Faruk KILIÇ

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Eğitimi Anabilim Dalında**

**Tez Danışmanı :
Yrd. Doç. Dr Mehmet ÖZKAYMAK
Ocak 2009, 47 sayfa**

Bu çalışmada, rüzgâr enerjisinden faydalanılarak helezonik savonius türbini imal edilerek performans deneyleri ve elektrik enerjisi üretimi yapılmıştır. 0,8 m x 0,80 m x 1,5m ebatlarındaki tek kanatlı savonius türbini ile Karabük ilinde yüksek bir tepede (Öğlebeli) deneyler yapılmıştır. Rüzgâr hızları 2,5 m/s ile 4,5 m/s arasında iken türbinden 25 w ile 102 w arasında güç elde edilmektedir.

Anahtar Sözcükler : Rüzgar enerjisi, savonius rüzgar türbini,

Bilim Kodu : 626.11.01

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION AND MANUFACTURING OF HELICAL SAVONIUS WIND TURBINE

Faruk KILIÇ

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Education

Thesis Advisor :

Asst. Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

January 2009, 47 Pages

In this study, a helical savonius turbine to produce electricity from wind power was made and its performance was tested experimentally. The dimensions of the single wing savonius type turbine were 0,8m x 0,80m x 1,5m and it was founded and tested in a high altitude hill (Oglebeli) in Karabuk city. The turbine has produced 25 W and 102 W electric power when it was run at wind speeds of 2,5 m/s and 4,5 m/s respectively.

Keywords : Wind energy; savonius wind turbine

Science Code : 626.11.01

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin boyunca bana her türlü desteği sunan, kıymetli zamanını bana ayırmaktan çekinmeyen Öğr.Gör.Şafak ATAŐ'a, deneyler esnasında ve prototip imalatında desteğini esirgemeyen bilimsel bakış açımın gelişmesinde bilgilerinden sonsuz faydalandığım kıymetli hocam Yrd.Doç.Dr. Mehmet ÖZKAYMAK'a ayrıca öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
BÖLÜM 1	1
1.1.GİRİŞ.....	1
1.2. RÜZGAR ENERJİSİ.....	5
1.2.1. Rüzgar Nedir ?.....	5
1.2.2. Rüzgar Enerjisinin Tarihçesi.....	6
1.2.3. Dünyada Rüzgar Enerjisi.....	9
1.2.4. Türkiye’de Rüzgar Enerjisi.....	11
BÖLÜM 2 LİTERATÜR TARAMASI	13
BÖLÜM 3 SAVONIUS TÜRBİNLERİNİN SINIFLANDIRILMASI.....	17
3.1. Tek Kanatlı Savonius Türbini.....	17
3.2. İki Kanatlı Savonius Türbini.....	20
3.3. Üç Kanatlı Savonius Türbini.....	22
BÖLÜM 4 MATERYAL ve METOT	23
4.1. Kanat Modellemesi ve İmalatı.....	23
4.2. Rüzgar Ölçerler (Anemometre).....	31

	<u>Sayfa</u>
4.3. Alternatörlerin Çalışma Prensibi.....	33
4.4. Elektriksel Güç Hesabı	34
BÖLÜM 5 DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA.....	36
5.1. Deney Sonuçları	36
5.2. Tartışma.....	40
BÖLÜM 6 SONUÇ ve ÖNERİLER.....	42
KAYNAKLAR.....	44
ÖZGEÇMİŞ.....	46

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. 200 kW'lık Gedser Türbini (Danimarka).....	8
Şekil 1.2. Türkiye Rüzgar Atlası	11
Şekil 3.1. Tek Katlı Savonius Türbini.....	18
Şekil 3.2. Tek Katlı Savonius Türbini	18
Şekil 3.3. Tek Katlı Savonius Türbininin Değişik Açılardan Parça Tanecikli İzlenmesi.....	19
Şekil 3.4. Tek Katlı Savonius Türbininin Değişik Açılardan Parça Tanecikli İzlenmesi	20
Şekil 3.5. İki Katlı Savonius Türbini	21
Şekil 3.6. İki Katlı Savonius Türbini.....	21
Şekil 3.7. Üç Katlı Savonius Türbini	22
Şekil 4.1. Yatay Eksenli Savonius Türbini Kanat Tasarımı.....	23
Şekil 4.2. Dikey Eksenli Savonius Türbini Kanat Tasarımı.....	24
Şekil 4.3. Yatay Eksenli Savonius Türbini Kanat İmalat Aşamasından Bir Görüntü	26
Şekil 4.4. Yatay Eksenli Savonius Türbini Kanat İmalat Aşamasından Bir Görüntü	26
Şekil 4.5. Yatay Eksenli Savonius Türbini Kanat İmalat Aşamasından Bir Görüntü.....	27
Şekil 4.6. Yatay Eksenli Savonius Türbini Kanat İmalat Aşamasından Bir Görüntü	27

Şekil 4.7. Yatay Eksenli Savonius Türbini Kanat İmalat Aşamasından Bir Görüntü	28
Şekil 4.8. Yatay Eksenli Savonius Türbini Kanat İmalat Aşamasından Bir Görüntü	29
Şekil 4.9. Yatay Eksenli Savonius Türbini Kanat İmalat Aşamasından Bir Görüntü	29
Şekil 4.10. Yatay Eksenli Savonius Türbini Kanat İmalat Aşamasından Bir Görüntü	30
Şekil 4.11. Yatay Eksenli Savonius Türbini Kanat İmalat Aşamasından Bir Görüntü	31
Şekil 4.12. Yaygın Olarak Kullanılan Tipik Analog Rüzgar Ölçer (Anemometre)	32
Şekil 4.13. Elektronik Rüzgar Ölçer (Anemometre).....	32
Şekil 4.14. Alternatörün Çalışma Prensibi	33
Şekil 4.15. Üç Fazlı Bir Alternatörün Endüvi Ve Çıkıntılı Kutup Sargılarının Açılımları Ve Üç Fazlı Gerilim Eğrisi.....	34
Şekil 5.1. Yüksüz Kanat Devir Sayısı.....	36
Şekil 5.2. Yüklü Kanat Devir Sayısı.....	37
Şekil 5.3. Yüklü Ve Yüksüz Kanat Devir Sayıları.....	38
Şekil 5.4. Yüklü Kanat Devrinden Elde Edilen Güç.....	38
Şekil 5.5. Yüklü Kanat Devrinden Elde Edilen Güç.....	39
Şekil 5.6. Yüklü Kanat Devrinden Elde Edilen Güç.....	39
Şekil 5.7. Yüklü Kanat Devrinden Elde Edilen Güç.....	40
Şekil 5.8. Üç Katlı Savonius Türbininden Bir Görüntü.....	41

BÖLÜM 1

1.1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynakları çevreyi kirleten fosil kökenli yakıtların tükenme eğilimine girmesi ile daha da önem kazanmış ve bu konudaki çalışmalara hız verilmiştir. Dünya atmosferine salınan karbondioksit düzeyinde bir azalma sağlanması, rüzgâr enerjisi üretiminin en önemli çevresel yararlarıdır. Karbondioksit, felaket boyutlarındaki küresel iklim değişikliği etkilerine yol açan sera etkisinin büyük ölçüde artıran en önemli gazdır. Rüzgâr enerjisine geçmekle milyon tonlarca CO₂'in atmosfere salınımı önlenecektir. İklim değişikliğine neden olan sera gazlarının azaltmak için dünya ülkeleri 1997 yılı Kyoto Protokolünü imzalamışlardır [1].

Türkiye'de son yıllarda gittikçe artan enerji darboğazı, üretimin sabit kalması ya da çok az artması, tüketimin ise çok büyük bir hızla artması karşısında, gelecekte de büyüyecek bir sorun olarak karşımızda duruyor. Bu durum karşısında ülkemizin doğal kaynaklarından yararlanarak alternatif enerji sistemlerinin uygulanması, soruna genel ve kesin olmayan, ancak gelecek için umut verici bir çözüm olması nedeniyle gün geçtikçe artan bir önem kazanıyor. Bu enerji kaynaklarından rüzgâr, ülkemizde de çok iyi değerlere sahip olması, sınırsız, temiz, çevreyi kirletmeyen bir enerji kaynağı olması dolayısıyla öne çıkıyor. Rüzgâr enerjisi kullanımının dünyadaki örneklerine baktığımızda iki kısımda incelenmesi gerektiğini görüyoruz. Küçük türbinler olarak adlandırabileceğimiz, kişisel kullanıma yönelik sistemler ve büyük türbinler adını alan endüstriyel kullanıma yönelik sistemler.

Büyük türbinler, rüzgâr çiftliği olarak adlandırılan diziler halinde kurulur. Bir rüzgâr çiftliğinin toplam gücü 1–150 MW arasındadır. Tek bir türbinin gücü 50 kW'tan 2 MW'a kadar olabilir. Ancak günümüzde ekonomik şartlar açısından 500 kW'tan

küçük türbinler pek fazla kullanılmamaktadır. Büyük türbinler yatırım amaçlı olarak kurulurlar.

Üretilen enerji şebekeye verilir. Bu yüzden yatırımdan önce yapılması gerekli olan bazı çalışmalar vardır. Öncelikle bölgenin rüzgâr açısından durumunun belirlenmesi gerekir. Yapılan ayrıntılı ve en az bir yıl sürecek teknik rüzgâr ölçüleriyle, rüzgâr hızı ortalamaları, günlük, mevsimlik ve yıllık dağılımlar ile yaklaşık rüzgâr enerjisi değerleri belirlenir. Bunun ardından yapılacak olan fizibilite çalışmaları sonucunda, kurulacak olan santralin büyüklüğü, türbinlerin yerleri ve güçleri, üretilen enerjinin maliyeti gibi sonuçlara ulaşılır. Bu çalışmalarda, bölgesel elektrik kurumlarıyla ve devletle yapılacak olan anlaşmalar, alınacak özel izinler, çevre halkının yaklaşımı, bölgedeki konvansiyonel elektriğin maliyeti, yıllık harcama miktarı, arazinin fiziksel yapısı, finansman ve kredi politikası gibi parametreler önemli rol oynar.

Büyük türbinlerden elde edilen elektriğin maliyeti yukarıda da sayılan birçok parametreye bağlıdır. İyi rüzgâr sahalarında ortalama şartlarda, rüzgârdan elde edilen elektrik enerjisinin maliyeti 5 cent/kW-saat değerine kadar düşmektedir. Termik, hidroelektrik vs. konvansiyonel kaynaklardan elde edilen elektrik enerjisinin maliyetinin bu değerden yüksek olması ve yıllık harcamanın 100.000 kW-saat'i aşması durumunda rüzgâr enerjisi üretimi ekonomik bir çözüm olarak düşünülebilir. Ancak bunun için bölgedeki rüzgâr potansiyelinin uygun olması gerekir. Büyük türbinlerin üretime başlaması için gereken rüzgâr hızlarını bir yaklaşım olarak değerlendirirsek, bölgedeki ortalama rüzgâr hızının 5-7 m/s (18-25 km/saat) civarında olması gerektiğini söyleyebiliriz. Tabii ki bu kesin bir sonuç değildir. Yatırımın ekonomik olup olmadığının belirlenmesi için tüm yıla yayılan bir dağılımın çıkarılması şarttır.

Büyük türbinlerden oluşan rüzgâr çiftliklerinin yatırım maliyeti kabaca bir yaklaşımla 1000 \$/kW'dır. Yıllık bakım masrafı ise yatırımın % 1-1,5'i olarak gerçekleşir. Bu şartlar altında kurulacak türbinlerden elde edilen elektrik enerjisi, şebekeye; maliyeti düşük, çevreyi kirletmeyen, güvenli ve yenilenebilir bir kaynaktan üretilmiş olarak verilir.

Küçük Türbinler, genellikle şebekenin olmadığı ya da ulaştırmanın ekonomik olmadığı, ya da sorunlu olduğu yerlerde uygulanır. Şehir dışı yerleşimler, çiftlik evleri, telekomünikasyon aktarıcıları, radyo ve orman kuleleri, askeri tesisler, demiryolu sinyalizasyonu, balık çiftlikleri, seralar, maden ocakları, deniz vasıtaları ve bazı fabrikalarda küçük türbinler oldukça uygun kullanım alanları bulmaktadır. Üretilen enerjinin depolanmasıyla güvenilir enerji sağlanır. Küçük türbinlerin güç değerleri, 0,05-20kW arasındadır. En fazla 4 adet hareketli parçadan oluşan bu tip türbinler bakımsız, ya da çok az bakımlı olarak dizayn edilmişlerdir. İşletme giderleri neredeyse yoktur. Her türlü çevre şartlarına dayanabilecek şekilde dizayn edilirler. Otomatik kontrol mekanizmaları, sistemi aşırı şarjdan koruyan kontrol sistemleri vardır ve ayrıca çok yüksek rüzgâr hızlarında otomatik korunmalı dizayn edilmişlerdir.

Şebekeye elektrik enerjisinin verildiği büyük türbinlerin aksine, küçük türbinlerde bu sistem uygulanamaz. Akü şarjı esasına göre çalışan küçük türbinlerle, üretilen enerji, ihtiyaca göre seçilen akü bankasına şarj edilerek kullanılır. Güçleri 50 W ile 20 kW arasındadır. Bu güç değerleri, türbinin maksimum hızda dönmesi durumundaki gücü gösterir. Daha düşük hızlarda ise türbin elektrik üretmeyi daha düşük bir güçte sürdürür. Akü bankasının yeterli seviyede seçilmesi durumunda depolanmış enerji ihtiyaç duyulan güçte aküden çekilebilir.

Rüzgâr türbini jeneratörünün çıkışına bağlanan elektronik şarj kontrol ünitesi ile AC çıkışı, DC'ye çevrilerek aküler şarj edilir. 500 W'dan küçük türbinlerde bu ünite türbinin içine monte edilmiş olarak bulunur. Elektronik şarj kontrol ünitesi aküleri aşırı şarjdan korur. Bunun için akülerin tam dolu olması durumunda rüzgâr hala esmeye ve türbini döndürmeye devam ediyorsa, türbinden gelen fazla enerji yük direncine aktarılır. Bu direnç hava ısıtan bir dirençtir. İsteğe bağlı olarak aynı değerlerde su ısıtan dirençler de kullanılabilir.

Gerekli olan akü bankası sistemin kurulduğu yerin şartlarına bağlıdır. Akülerin uzun ömürlü olmaları için şarj akımı, akü kapasitesinin % 10'undan fazla olmamalıdır. Örneğin 600Ah bir akü bankası 60A'in üzerinde bir akımla şarj edilmemelidir. Ayrıca, kapasitenin % 40'ının altına incek kadar da aküler boşaltılmamalıdır (1.75

V/hücre). Akü bankasının büyüklüğü, rüzgâr sız geçecek 3-5 güne yetecek kadar olmalıdır. Bunun için günlük harcama miktarının iyi belirlenmesi ve seçimin buna göre yapılması gerekir. Daha az enerji harcayan cihazlar, örneğin elektronik dengeli ampuller kullanılarak güç ihtiyacının azaltılıp azaltılamayacağı değerlendirilmelidir.

Alternatif akım (AC) yükler için uygun kapasitede bir invertere gerek vardır. Piyasada mevcut olan inverterler genel olarak, 12, 24, 48, 96 ya da 120 VDC girişlidir. İnverterin gücü devamlı ihtiyaç duyulacak maksimum güç kadar olmalıdır. İnverter kendi maksimum gücünün 2-3 katı kadar anlık güçleri karşılayabilmelidir. En ucuz inverterler trapez dalga ile çalışırlar. Aşağı yukarı bütün ev aletleri bu dalga biçiminde elektrikle çalışır. Fakat bazı özel durumlarda, örneğin ölçme aletlerinde ve hassas ev aletlerinde tam sinüs akıma ihtiyaç duyulmaktadır. Doğru akımla çalışan cihazlar kullanmak daha verimlidir. Genel olarak, 12 veya 24 VDC ile çalışan ev aletleri bulunmaktadır. Fakat hem 220 VDC ile çalışanlara göre daha pahalıdırlar, hem de seçenek azdır.

Küçük rüzgâr türbinleri, çeşitli nedenlerle dizel sistemlerle birlikte kullanılabilirler. Mevcut bir dizel jeneratör varsa, yakıt sarfiyatını azaltmak için böyle bir çözüme gidilebilir. Ya da rüzgâr türbini ana ihtiyacı karşılamak için kullanılabilir; dizel jeneratör de arada bir devreye sokularak daha yüksek güç ihtiyaçlarında ya da düşük rüzgâr zamanlarında sisteme destek olmak amacıyla kullanılabilir.

Amerika Birleşik Devletleri'nde rüzgâr çiftliklerinin toplam kurulu gücü 1700 MW dolaylarındadır. Yıllık üretim miktarı ise 3 milyar kW-saat kadardır. İyi rüzgâr sahalarının bulunduğu Hollanda, Danimarka, Almanya gibi ülkelerde de rüzgâr enerjisi konusunda önemli atılımlar yapılmış, üretim ve kurulu güç açısından bu ülkeler dünya çapında öncü konumuna gelmişlerdir. Ülkemizin rüzgâr potansiyelleri göz önüne alındığında elimizdeki sınırsız ve dünya çapında oldukça iyi durumda olan rezervleri kullanamadığımızı görüyoruz. Özellikle kıyı bölgelerimiz olmak üzere rüzgâr ve arazi bakımından oldukça iyi bir durumda olan Türkiye'de ne yazık ki bugüne kadar rüzgâr enerjisi üzerinde yapılan çalışmalar çok düşük seviyede kalmış, böylece çok üstün bir teknoloji gerektirmeyen bir enerji kaynağından yıllardır mahrum kalmıştır. Avrupa Topluluğu tarafından öngörülen, gelecekte yenilenebilir

enerji kaynaklarından üretilen enerjinin toplam üretime oranı olan % 2'lik değere ulaşılması için hızlı bir şekilde çalışmaların ilerletilmesi gerekmektedir.

Ülkemizde henüz çok yeni ve tanınmamış bir kaynak olan rüzgâr enerjisinin tanıtımı ve yaygınlaştırılması için konuyla ilgili tüm kişi, kuruluş ve örgütler ile medyaya ve devlete de büyük iş düşüyor. Özellikle yerli kaynak, malzeme, teknik bilgi ve işgücü kullanılarak üretilecek türbinler, iç pazarda olduğu kadar dış pazarlarda da rekabet edebilecek düzeyde olacaktır. Yakın gelecekte bu tip çalışmaların artmasıyla, büyük yerleşim birimlerinin elektriğini sağlayan, büyük türbinlerden oluşan rüzgâr çiftliklerinin kurulması, Türkiye'nin enerji darboğazından kendi çabalarıyla kurtulup enerji ihraç eden bir ülke konumuna gelmesine yardımcı olacaktır [2].

1.2. RÜZGÂR ENERJİSİ

1.2.1. Rüzgâr nedir?

Rüzgâr enerjisi, güneş radyasyonunun yer yüzeylerini farklı ısıtmasından kaynaklanır. Yer yüzeylerinin farklı ısınması, havanın sıcaklığının, neminin ve basıncının farklı olmasına, bu farklı basınç da havanın hareketine neden olur. Güneş ışınları olduğu sürece rüzgâr olacaktır. Rüzgâr güneş enerjisinin bir dolaylı ürünüdür. Dünyaya ulaşan güneş enerjisinin yaklaşık % 2 kadarı rüzgâr enerjisine çevrilir. Dünya yüzeyi düzensiz bir şekilde ısınır ve soğur, bunun sonucu atmosferik basınç alanları oluşur, yüksek basınç alanlarından alçak basınç alanlarına hava akışı yapar.

Bir tropikal ada üzerindeki rüzgârlar (ticaret rüzgâr) gündüz ve gece boyunca hemen hemen sabit bir rüzgâr akışı sağlayarak oldukça bağımlıdır. Ne yazık ki, dünyanın her bölgesinde ticaret rüzgârları yoktur ve hava sistemleri her bir kaç gün süresinde hareket eder. Rüzgâr hızında, durgun bir havadan bir fırtınaya kadar çok farklı değişimler vardır. Elektrik enerjisi kullanımı zamana bağlı olduğu için rüzgârdaki günlük ve mevsimsel değişimler önemli bir göstergedir [3].

1.2.2. Rüzgâr Enerjisinin Tarihçesi

Rüzgâr enerjisi kullanımı M.Ö. 2800 yıllarında Orta Doğuda başlamıştır. M.Ö. 17. Yüzyılda Babil kralı Harrîmurabi 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 [4].

Rüzgâr enerjisinin ilk kullanımı denizciler tarafından deniz sandallarında olmuştur. Onlar bu durumun fiziksel çalışmasını, neyin nasıl çalıştığını bilmeseler de eski denizciler, rüzgârın kaldırma gücünü kullanabiliyorlardı. İlk rüzgâr türbininin geliştirilmesi, değirmen ve su pompalamak amacıyla yapılan dikey eksenli sistemdir. Bu sistem 500–900 yılları arasında İran'da geliştirilmiştir ve su pompalamakta kullanılmıştır. Fakat yapısı hakkında detaylı bir yazılı metin veya bilgi mevcut değildir. Çalışma şekli döküman olarak günümüze ulaşan ilk rüzgâr türbini İran rüzgâr türbinidir. Tahtadan ve de kanatları bezden yapılmıştır [5].

Fransa ve İngiltere'de yel değirmenlerini kullanılmaya başlanması 12.yüzyılda olmuştur. Avrupa, Haçlı Seferlerinde kazandığı bu teknoloji ile Roma İmparatorluğunun kaçırdığı bir serveti yakalamıştır. Roma İmparatorluğu gücünün zirvesindeyken para basmak için gereken altın ve gümüşü Avrupa dışındaki eyaletlerden sağlamaktaydı. Bu eyaletleri kaybettikten sonra Avrupa'daki fakir madenlerin işletilmesi denenmiş, ancak bu madenlerin yüzeysel kapasiteleri hızla tüketilip, derinlere inildikten sonra galerilerden su çıktığından, madenler terk edilmiştir. Giderek artan para ve ekonomik bunalımla birlikte, o dönemin yüksek hızlı enflasyonu Roma İmparatorluğunun sonunu getirmişti. Romalıların terk ettikleri madenlerin yeniden işletmeye açılması olduğu söylenir. Avrupalılar bunu yel

değirmenleri yardımı ile galeri diplerindeki suları dışarı pompalayarak, yani rüzgâr enerjisini kullanarak başarmışlardır.

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 yitiriyordu. Bununla beraber, rüzgâr türbini denilen ve elektrik üretiminde kullanılan ilk makineler 1890'larm başlarında Danimarka'da yapılmıştır. Aynı dönemde, bu makinelerin geliştirilmesi için Almanya'da da önemli çalışmalar yapıldığı bilinmektedir. Rüzgâr kuvvet makineleri yerlerini yakıtlı kuvvet makinelerine bırakırken, rüzgâr enerjisi kullanımının sürmesi için yeni bir teknoloji de başlıyordu. Ancak 19.yüzyılda geliştirilen ilk rüzgâr türbinlerin verimleri düşüktü.

1961 yılında Roma'da birleşmiş milletler tarafından düzenlenen "Enerjinin Yeni Kaynakları Konferansında ele alınan üç kaynaktan biri rüzgâr enerjisi idi. Böylece çok eskiden bu yana tanınan rüzgâr enerjisi, teknolojik gelişmelerle ele alınıyor, yeni ve yenilenebilir kaynaklar arasına sokuluyordu. 1961–1966 yılları arasında Almanya' da rotor çapı 35 m olan 100 kW'lık bir modelin geliştirilmesi üzerinde duruluyordu.

1970'lerde Danimarka'daki Gedser türbini, gücü 650 kW olan büyük türbinlerle değiştiriliyordu. Bu dönemde rüzgâr jeneratörleri üzerinde İsviçre, Avusturya ve İtalya'da da teknolojik çalışmalar yapılmıştır. Amerika'da 1970'lerde büyük tip yatay eksenli makineler üzerinde yeniden çalışılırken, dikey eksenli Darrieus tipi makineler üzerinde de çalışmalar başlatılmıştır. Ucuz petrol döneminde güncellik kazanamayan rüzgâr enerjisi, 1974–1978 yılları arasındaki yapay petrol bunalımlarının ardından, gündeme daha çok girmiştir [4].

Avrupa da rüzgâr enerjisindeki gelişmeler II. Dünya Savasından sonra olmuştur. Danimarka'da 200 kW'lık Gedser rüzgâr türbini inşa edildi. 1960'lara kadar başarı ile işletmede kalmıştır. Kompleks bir yapıya sahip olmamakla birlikte 3 kanatlı idi.



Şekil 1.1. 200 kW'lık Gedser türbini (Danimarka).

Elektromekanik dişli sistemli ve asenkron motor kullanmakta idi. Stall kontrol prensibine göre çalışan Gedser türbininde, ayrıca aerodinamik uç freni bulunmakta idi. Bu sistem günümüzde kullanılan stall kontrolü türbinlerinde hala bulunmaktadır [6].

Rüzgâr enerjisinin gelişimine, 1980'li yıllarda Uluslararası Enerji Ajansı eşgüdümünde yürütülen araştırma geliştirme çalışmalarının büyük etkisi olmuştur. Artık, eski tip rüzgâr jeneratörleri yerine modern ve çağdaş rüzgâr enerjisi çevrim sistemleri (WECS) kurulmaktadır. Ayrıca, rüzgâr türbini ile beraber, dizel motor ve güneş fotovoltaik jeneratörü içeren rüzgâr-dizel-PV hibrid sistemlerde geliştirilmiştir.

Bir tüketiciyi besleyecek tek makine yerine, birden çok türbin içeren rüzgâr çiftlikleri ile elektrik şebekeleri için üretim yapılır olmuştur. ABD, Danimarka, Hollanda, İngiltere ve İsveç'in katkıları sonucunda, deniz üstünde, kıyıdan uzakta rüzgâr santralleri kurulmuştur. Günümüzde şamandıra üzerine yerleştirilen rüzgâr türbinleri de vardır [4].

1.2.3. Dünyada Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerjisi yenilenebilir enerjiler arasındaki en gelişmiş ve ticari açıdan en elverişli enerji türüdür. Tamamıyla doğa ile uyumlu olup hem çevreye zarar vermeyen hem de tükenme ihtimali olmayan bir enerji kaynağıdır.

Çevresel avantajları açısından da pek çok ülke, resmi teşviklerle rüzgâr enerjisini desteklemektedirler. Tüm bunların amacı, pazarı harekete geçirmek, maliyetleri düşürmek ve resmi teşviklerle şu an fosil yakıtların sahip olduğu haksız üstünlüğü ortadan kaldırmaktır. Çeşitli ülkelerde pazarı harekete geçirmeye yönelik farklı politikalar izlenilmektedir. Rüzgâr teknolojisinin araştırma ve geliştirme girişimlerine verilecek destek bu teknolojinin elektrik enerjisi pazarında adil olarak rekabet edebilmesi ve son yıllardaki başarısını sürdürmesi için son derece önemlidir.

Dünyada rüzgâr santrallerinin kurulu gücü hızlı bir artış göstermektedir. 1995–2001 yılları arasında rüzgâr türbini satışlarında yıllık %40'luk bir büyüme gerçekleşmiştir. 1990 yılında dünyanın kurulu gücü 2160 MW iken 1994 yılında 3488 MW'a, 1995 yılında 4778 MW'a, 1996 yılında 6070 MW'a, 1997 yılında 7636 MW'a, 1998 yılında 10153 MW'a, 1999 yılında 13932 MW'a ve 2000 yılında 18449 MW'a çıkmıştır.

Dünya rüzgâr enerjisinin toplam kurulu gücünün yaklaşık % 74'ü Avrupa kıtasında, % 15'i Amerika kıtasında, % 9'u Asya kıtasında ve kalan yüzdeler dilimde diğer kıtalarda bulunan dünya ülkelerindedir.

Avrupa'da en büyük kurulu güç Almanya'da olup, onu İspanya, Danimarka, Hollanda, İngiltere, İtalya, Yunanistan ve İsveç izlemektedir. Amerika kıtasında en büyük kurulu güç Amerika Birleşik Devletleri'nde olup onu çok geriden Kanada takip etmektedir. Asya'da Hindistan, Çin ve Japonya rüzgâr santrallerine önem vermektedir.

Son on beş yıldır Amerika'da yeni bir rüzgâr endüstrisi doğmuştur. 1982–1992 yılları arası California'da yaklaşık 15000 rüzgâr türbini kurulmuştur. 370 MW gücündeki

Kenetech Rüzgâr Çiftliği dünyanın en büyük rüzgâr santralidir. 8160 hektar alan kaplayan bu çiftlikte 100 kW 'lık 3500 adet ve 300–400 kW 'lık 40 adet türbin bulunmaktadır. Ancak kısa zaman da bu türbinlerden daha modernleri geliştirilmiştir. Avrupa'da rüzgâr teknolojisi hızla gelişmektedir. 1995 yılında yeni türbinler 600 kW güçte iken bugün geliştirilen türbinlerin gücü 2 MW' tır. Almanya yaptığı atakla 1998 sonunda rüzgâr kurulu gücünü 2875 MW'a çıkarmış, kurulu gücü 1820 MW 'ta kalan ABD yi geçmiş ve birinciliği elde etmiştir.

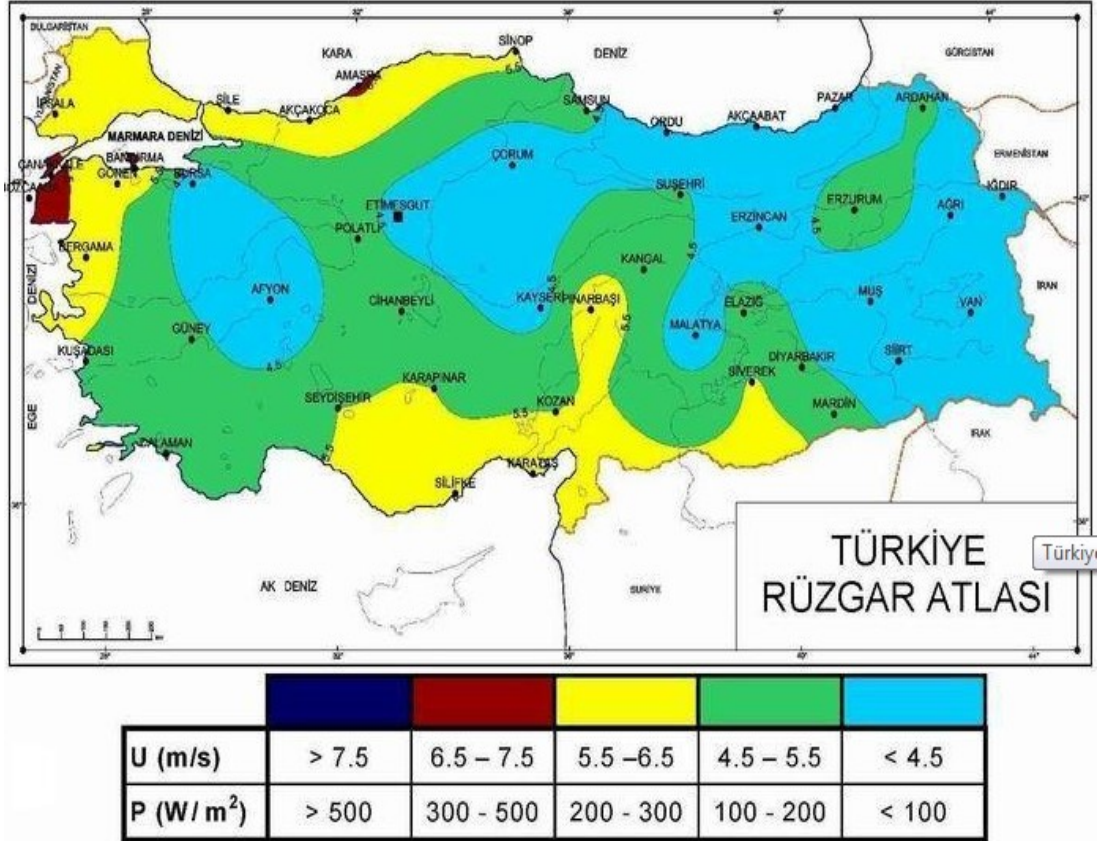
Avrupa'da şu anda 12 MW 'lık deniz üstü rüzgâr santrali çalışır durumdadır ve deniz üstü kurulu gücün kısa zamanda 180 MW 'a çıkarılması planlanmıştır. 2030 yılında rüzgâr kurulu gücünün deniz üstü payının % 25'den az olmayacağı beklenmektedir.

Teknolojik gelişimle rüzgâr türbinlerinin ünite güçleri arttırılırken son beş yıl içerisinde fiyatları düşürülmüştür. Karada kurulan türbinlerin birim fiyatları 1600–1800 dolar/kW'a kadar çıkabilmekte ise de ABD iç piyasasında 750 dolar/kW düzeyine inildiği belirtilmektedir.

Türkiye'deki rüzgâr enerjisi kaynakları teorik olarak Türkiye'nin elektriğinin tamamını karşılayabilecek yeterliliktedir. Fakat rüzgâr enerjisinin sisteme girişinin tutarlı bir biçimde gerçekleşmesini kolaylaştırmak üzere gerekli altyapı tasarımlanmalıdır.

Türkiye'nin teknik potansiyeli 83.000 MW dır. Bu, Türkiye'nin biran önce kullanması gereken önemli bir rüzgâr enerjisi potansiyeli olduğunu göstermektedir. Türkiye'nin Anadolu ve Rumeli kısımlarına dengeli bir dağılımla seçilen 20 meteorolojik istasyon çevresinde Türkiye Rüzgâr Atlası çalışmaları Dr. Tanay Sıdkı Uyar ve çalışma arkadaşları tarafından 1989 yılında tamamlanmıştır. Bu çalışma meteoroloji istasyonlarında toplanan verilerin rüzgâr enerjisinden yararlanmak amacıyla yapılacak çalışmalarda kullanılacak düzeyde temsili olmadığını kanıtlamıştır. Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği TÜREB' in kuruluşundan sonra yatırımcılar, akademisyenler, imalatçılar ve diğerleri Türkiye'de rüzgâr enerjisi gelişimini desteklemek üzere bir araya geldiler.1996 yılında da ETKB' nin Türkiye'de rüzgâr enerjisi kullanımına ilişkin politikası pek iyimser değildi. Resmi

açıklamalar Türkiye'de rüzgâr enerjisi gelişimine çok şans tanımıyorlardı. Son üç yıldır, Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği'nin çabaları ve ETKB ile Elektrik İşleri Etüt İdaresinin (EİEİ) TUREB çalışmalarına katılımı sonrası Türkiye'deki rüzgâr enerjisi potansiyeli kabul görmeye başlamıştır.



Şekil 1.2. Türkiye rüzgâr atlası [26].

1.2.4. Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi

1973–1978 yılları arasındaki petrol krizinden sonra Tarım Bakanlığı tarafından yapılan kırsal enerji makineleri envanterinde kullanılıp kullanılmadığına bakılmaksızın, 871 adet su çıkarma ve 23 adet elektrik üretim amaçlı rüzgâr türbini olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu rüzgâr makineleri güçleri 1 kW'ın altında güce sahip olup yerli olanları ilkel yapıydı. Türkiye'de rüzgâr enerjisi üzerinde yapılan bilimsel çalışmalar 1960'larda Ankara Üniversitesi, 1970'lerde Ege Üniversitesi daha sonraki yıllarda ODTÜ'de yapılmış olup, 1980'li yıllarda TÜB_TAK-MAM da

bünyesinde bazı çalışmalar yapılmıştır. MAM'da ilk rüzgâr atlası çalışması başlatılmıştır. Gebze-Özbek tepede pompa çalıştırma ve elektrik üretim amaçlı çeşitli rüzgâr türbinleri kurularak denenmiştir [10].

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na bağlı Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE), 1981 yılından bu yana, rüzgâr enerjisi çalışmaları yapmaktadır. 1989 yılında bu kurumda Rüzgâr Enerjisi Şube Müdürlüğü oluşturulmuştur. Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesi ve tespit edilmesi amacıyla Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü istasyonlarında yapılmış uzun dönemli ölçümlere dayalı istatistikler, EİE idaresi tarafından 1984'de tamamlanan "Türkiye Rüzgâr Enerjisi Doğal Potansiyeli" çalışmasında değerlendirilmiştir [7].

Son üç yıldır, Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği'nin çabaları ve ETKB ile Elektrik İşleri Etüt İdaresinin (EİEİ) TUREB çalışmalarına katılımı sonrası Türkiye'deki rüzgâr enerjisi potansiyeli kabul görmeye başlamıştır. Türkiye'de rüzgâr enerjisinin gelişiminin önündeki sorunları belirlemek üzere İber otel Sarıgerme Park Ortaca' da Kocaeli Üniversitesi Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Teknolojileri Araştırma Birimi tarafından 3 adet Uluslararası Rüzgâr Enerjisi Atölye Çalışması düzenlenmiştir. Bu atölye çalışmalarına katılanlar daha sonra uzun süreli ortaklıklar kurmuş ve Türkiye'de rüzgâr enerjisi kullanımı çalışmaları yaygınlaşmıştır. Kocaeli Üniversitesi YEKAB birimi tarafından İstanbul'da koordinasyonu ve tasarımı yapılan 2 adet uluslararası enerji teknolojileri fuarı kamuoyu ve karar vericilere modern rüzgâr türbinlerinin gelişmişliğini göstermiştir [4].

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

Menet, J.L., Elektriğin yerel üretimi için Aduble-adım Savonius rotoru : Bu çalışma elektriğin yerel üretimi için küçük bir savonius rotorunun(iki katlı) üretimi hakkında çalışma yapılmıştır [8].

Hannes Riegler, çalışmasında savonius ve darrieus tipi türbinlerin hibrit bir çalışması yapılmıştır. Bu çalışmalar büyük bir kitle tarafından tartışılabilir olsa bile bu hibrit çalışma en son bu haline getirilebileceği hakkında bir çalışma yapılmıştır [9].

Irabu, K., and Nath, Roy J., Bu çalışma çeşitli rüzgâr gücüne karşın savonius rotorunun çıktı gücünü geliştirme ve ayarlanması için yapılmış bir çalışmadır. Bu çalışmanın diğer çalışmalardan en önemli farkı kuvvetli rüzgâr felaketlerinden rotoru koruyor olmasıdır. Bu çalışmada uygun bir rehber – kutu tüneli de tasarlanmıştır [10].

Murai, Y., and Nakada, T., Bu çalışmada savonius türbininin etrafındaki hava akışına tanecik izlemesi yapılmıştır. Türbin etrafında ölçülen hız vektör alanı basınç alanını tahmin etmeye ek olarak tork performansını ölçebilecek şekilde farklı bir tasarım yapılmıştır. Türbin açısına göre basınç tahmin etme denklemlerinin üç farklı tipide yerine koyulup denenmiştir. Tasarımın en büyük özgünlüğü rüzgâr yönünün değişkenliğinden etkilenmemesidir [11].

Hayashit, T., Hara, Y. and Li, Y., Bir savonius rotorunun tork değişmesini azaltmak ve başlayan karakteristikleri geliştirmek için bitişik sahnelerin arasında 120 derece kova evre kaymasıyla üç kata sahip olan savonius rotorunun yeni bir tipi tasarlandı ve denendi. Hava tüneli testleri üç katlı rotorun her devriminde parazit ve dinamik

tork değişmeleri sıradan bir katlı rotoru ile mukayese edildiğinde çok daha düzenli olduğunu çok açık bir şekilde gösterir [12].

Eriksson,S., Bernhoff, H. and Leijon,M., Tüm dünyada en çok çalışma yapılan en önemli üç rüzgâr türbininin karşılaştırmalı çalışması yapılmıştır. Üstelik farklı türbinler için kürek alanları hakkında bir çalışma yapılmıştır. Dikey eksenli rüzgâr türbininin yatay eksenli rüzgâr türbinine birkaç yönle avantajları sunulmuştur [13].

Kishinamia,K. at all., Yatay eksenli rüzgâr türbininin aerodinamik performans karakteristikleri teorik olarak şerit öge metodu ile momentum bileşimini karıştıran analiz ile araştırıldı. Bu çalışmada itiş-tork ve itiş-enerji metotları karşılaştırılmıştır. Her iki metotta yaklaşık olarak aynı sonuçları vermiştir. Ölçek deneyleri özgür akarsu hızıyla farklı düzenlemeleri karıştıran kanat profiline üç tip ile yapılmıştır [14].

Charlier, R. H., Gelgite bağlı olarak oluşan akımlardan enerji elde edilmesi hakkında çalışma yapılmıştır. Gelişen teknolojinin global bir enerji üretim yeri olarak görülen okyanusları keşfetmesi ile bu enerji bölgelerinin tespiti hakkında inceleme yapılmıştır [15].

F. Köse ve M. Özgören, Rüzgâr enerjisi potansiyeli ölçümü ve rüzgâr türbini seçimi üzerine çalışma yapmışlardır. Ölçüm sonuçları, 2003 yılından Mayıs-Aralık arası 8 aylık, 2004 yılının tamamını ve 2005 yılının Ocak ayı olmak üzere toplam 21 aylık süreyi kapsamaktadır. Aynı sayıda rüzgâr yön değerleri de ölçülmüştür. 21 aylık ortalama rüzgâr hızı (5.52 m/s) değerinden daha yüksek hızlar elde edilmiştir. Göbek eksenindeki rüzgâr hızı Alwin ve Windpower programı kullanılarak 6.9 m/s olarak hesaplanmıştır. Kule tipi olarak da, konik boru tipi kuleler kullanılacağı düşünülmüştür [16].

K. Atik ve arkadaşları Kahramanmaraş'ta rüzgâr enerjisi potansiyeli ve yörede kurulan bir rüzgâr türbininden elde edilen mekanik enerji ve ısı enerjisinin karşılaştırılması ile ilgili bir çalışma yapmışlar. Bu çalışmada çark alanı 1,5 m² olan bir Savonius rüzgâr türbini kullanmışlardır. Türbinin yerden yüksekliği 8,5 m. Türbin

mili mekanik enerji ile bir hava kompresörünü tahrik edecek şekilde tasarlanmış ve su kaynaklı ısı pompası olarak kullanılmış. Bu bölgenin ortalama rüzgâr hızı 1,59 m/s ve 20 m türbin yüksekliği için enerji yoğunluğu Ağustos ayında 21,398 Wh/m² ay olarak bulunmuş. Isı pompası devredeyken sistemden elde edilen gücün dört katına çıktığı sonucuna varılmış [17].

M. Atılgan ve B. Dedealtan Savonius rüzgâr çarklarının performanslarının geliştirilmesi ve karşılaştırılması üzerine çalışma yapmışlardır. Düşük aerodinamik performanslarından dolayı çark hızı yüksek türbinler ile Darrieus tipi rüzgâr türbinlerine göre daha az kullanılan, Savonius tipi rüzgâr çarkı incelenmiş ve çark performansını arttırmak için yapılan çalışma tanıtılmıştır. Savonius rüzgâr çarkının orijinal şekli bozulmadan çark çevresine rüzgâr a göre yön değiştirebilen bir perde tasarlanarak negatif yönde oluşan moment ortadan kaldırılarak ve aynı zamanda çark önünde daralan bir giriş kesiti oluşturularak çark performansını artırma yoluna gidilmiştir. Savonius rüzgâr çarklarının aerodinamik performanslarının artırılması ile düşük rüzgâr hızlarında iyi başlangıç karakteristiklerine sahip olmasından dolayı, ülkemizin düşük rüzgâr hızı ortalaması (2.54 m/s) göz önüne alındığında, her geçen gün artan enerji ihtiyacının karşılanmasında rüzgâr enerjisinden daha iyi yararlanabilmek amacıyla iyi bir uygulama olacağı sonucuna varılmıştır [18].

O. Ozgener, Ege bölgesinde küçük rüzgâr türbini sistemlerinde kanat yapısının ve performanslarının incelenmesi üzerine çalışma yapmıştır. Bu çalışmada fiberden yapılmış kanatlarla çelikten yapılmış kanatlar arasındaki verim farklılıkları deneysel olarak incelenmiş ve Ege Üniversitesi güneş enerjisi enstitüsünde kurulu küçük rüzgâr türbini sisteminin performansını geliştirme çalışmaları yapılmıştır. Deneysel olarak kullanılan rüzgâr türbini 12 kanatlı ve kanat profili NACA 4415 kullanılmış. Sonuç olarak NACA profilli kanatların klasik profilli kanatlara oranla veriminin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [19].

M. Bilgili, vd. Antalya ve İskenderun bölgelerindeki rüzgâr enerjisi potansiyeli üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada doğu Akdeniz bölgesindeki bazı yerlerde rüzgâr enerjisi kaynaklarının kullanılabilirliği ve potansiyeli incelenmiştir. Antalya bölgesi için 1997–2001 saatli rüzgâr hızları kullanılmış. Hesaplamalarda

baskın rüzgâr yönü, rüzgâr hızları, rüzgâr potansiyeli ve rüzgâr dağılım yönleri sabit kabul edilmiştir. Yüksekliklere göre bölgenin rüzgâr haritası oluşturulmuştur [20].

BÖLÜM 3

SAVONIUS TÜRBİNLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

3.1. Tek Katlı Savonius Türbini

Yüksek hızlarda çalışan bu tip rüzgâr türbinlerinde kanat sayısı 1 ile 4 adet arasındadır. Düşük hızlarda çalışan çok kanatlı rüzgâr türbinlerinden çok daha fazla hafiftirler. En çok kullanılan tip üç kanatlı olanlardır [21].

İki kanatlı türbinler, üç kanatlılara göre % 2–3 daha az verimlidir. Tek kanatlı türbinler ise, iki kanatlı türbinlerden % 6 daha verimsizdirler. Ayrıca tek kanatlı türbinlerde dengeleyici olarak karşı ağırlık kullanılır. Yüksek rüzgâr hızlarında çalışan bu tip türbinlerde kanat sayısı arttıkça verim artar. Ancak 3 kanattan daha fazla sayıda kanat, maliyeti önemli ölçüde arttıracığından tercih edilmez. Bir ve iki kanatlı türbinler daha hızlı döndüklerinden, üç kanatlı türbinlere göre daha fazla gürültü yaparlar. Bütün bunların yanında, üç kanatlı türbinlerin estetik görünüşleri de % 70 bu tip türbinlerin daha çok tercih edilmesinde önemli bir etkidir [22].

Düşey eksenli rüzgâr türbinlerinde türbin mili düşey ve rüzgâr ın geliş yönüne diktir. Daha çok deney amaçlı üretilmişlerdir. Ticari kullanımı çok azdır. Dikey eksenli rüzgâr türbinleri her istikametlidirler. Değişen tüm rüzgâr yönlerinde dönerler. Böylece rüzgârı her bir yönden kabul ederler. Güç üretiminde tercih edilmezler.

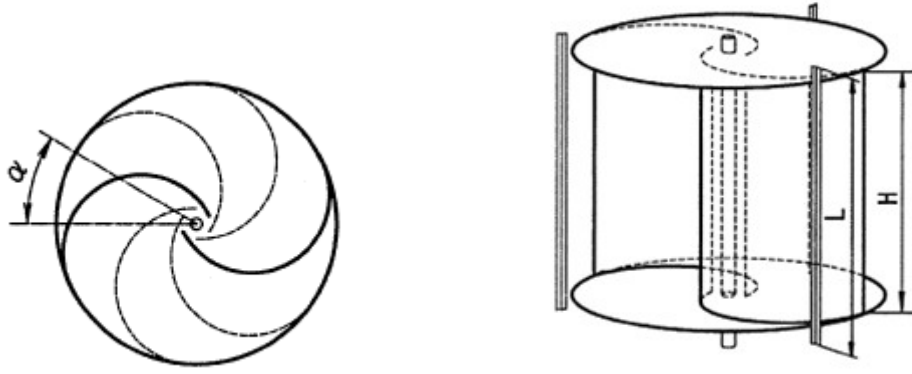
Bu türbinlerin iyi yönleri şöyle sıralanabilir:

- a) Türbini rüzgâr yönüne çevirmeye gerek yoktur. Yani dümen sistemine ihtiyaç yoktur.
- b) Türbin mili hariç diğer parçaların bakım ve onarımı kolaydır.

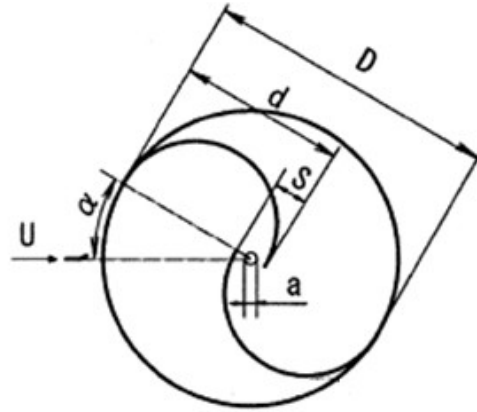
Dez avantajları ise şöyledir:

- a) Yere yakın oldukları için alt noktadaki rüzgâr hızları düşüktür.
- b) Verimi düşüktür.
- c) Çalışmaya başlaması için bir motor tarafından ilk hareketin verilmesi gerekir. İlk hareket motoruna ihtiyacı vardır.
- d) Ayakta durabilmesi için tellerle yere sabitlenmesi gerekir. Bu da pek pratik değildir.
- e) Türbin mili yataklarının değişmesi gerektiğinde, makinenin tamamının yere yatırılması gerekir [23].

Savonius türbinlerinin en ilkeli tek katlı savonius türbinidir. Çok katlı savonius türbinlerinin ana mantığı tek katlı savonius türbinleridir.



Şekil 3.1. Tek katlı savonius türbini [24].



Şekil 3.2. Tek katlı savonius türbini [24].

d : Yarıçapı [m]

H : Rotor yüksekliği [m]

B : Rehber kanadının genişliği

ρ : Havanın yoğunluğu [kg/m^3]

P : Güç [W]

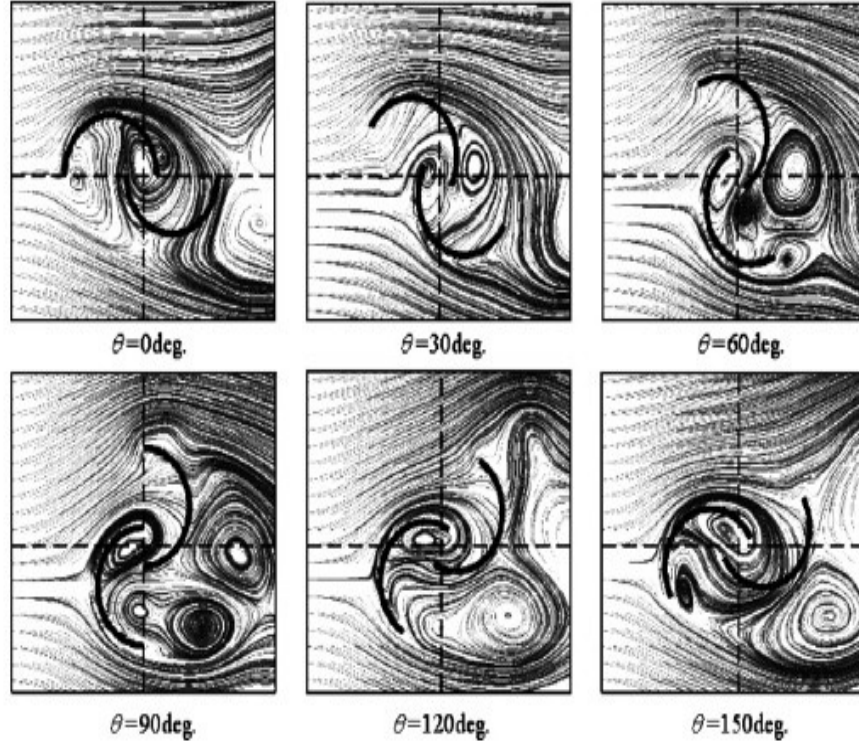
D : Rotor yarıçapı [m]

S : Rotor kaplaması [m]

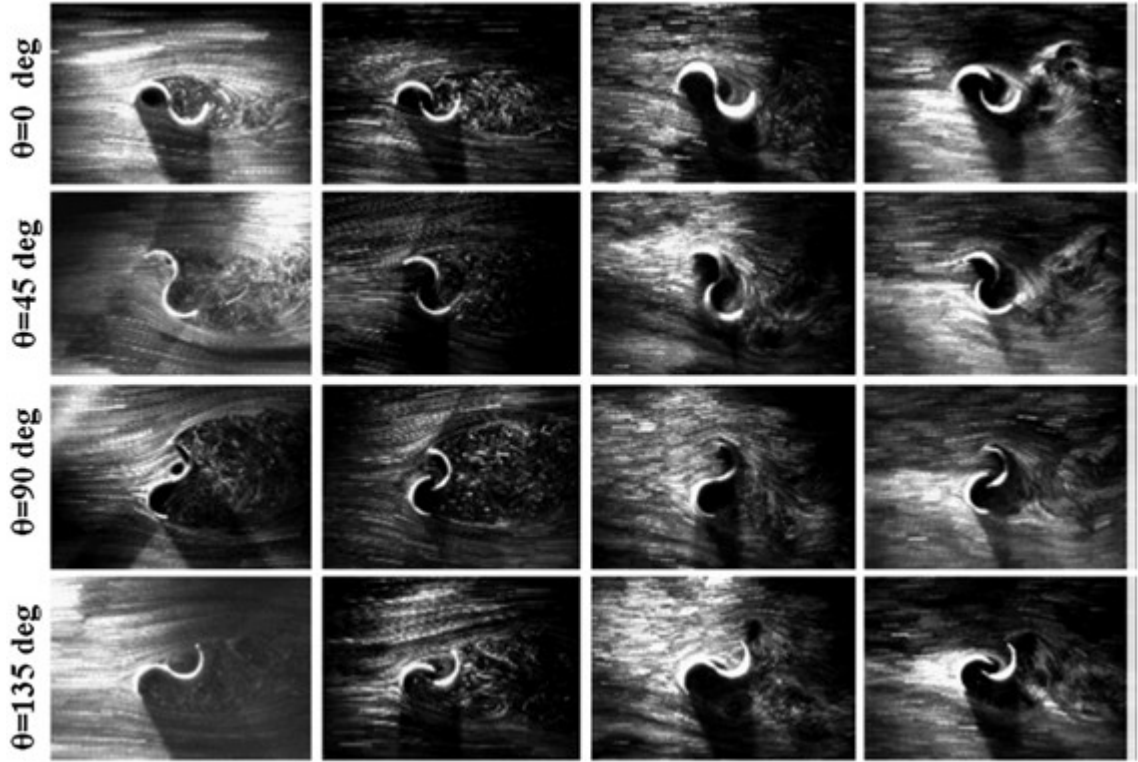
U : Rüzgâr hızı [m/s]

T : Tork [N.m]

Tek kanatlı savonius türbini tasarımında ki hava türbülansları değişik açılardan şekil 3.3. ve Şekil 3.4. de görülmektedir.



Şekil 3.3. Tek kanatlı savonius türbininin değişik açılardan parça tanecikli izlenmesi [24].

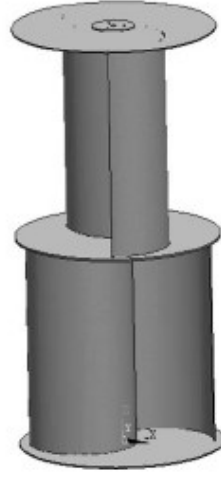


Şekil 3.4. Tek katlı savonius türbininin değişik açılardan parça tanecikli izlenmesi [24].

3.2. İki Katlı Savonius Türbini

Tek katlı savonius türbininin kanatlar arasındaki açısal kayma 90° dir. Eksenel olarak üst üste konulan tek katlı savonius türbinlerinin çift katlı savonius türbinini oluşturması, verim açısından daha kullanılabilir olduğu yapılan deneyler sonucu gözlenmiştir.

Şekil 3.5'te iki katlı savonius türbini AutoCAD 2008 programında katı model olarak çizilmiş ve Şekil 3.6. iki katlı savonius türbini tasarımı uygulaması görülmektedir.



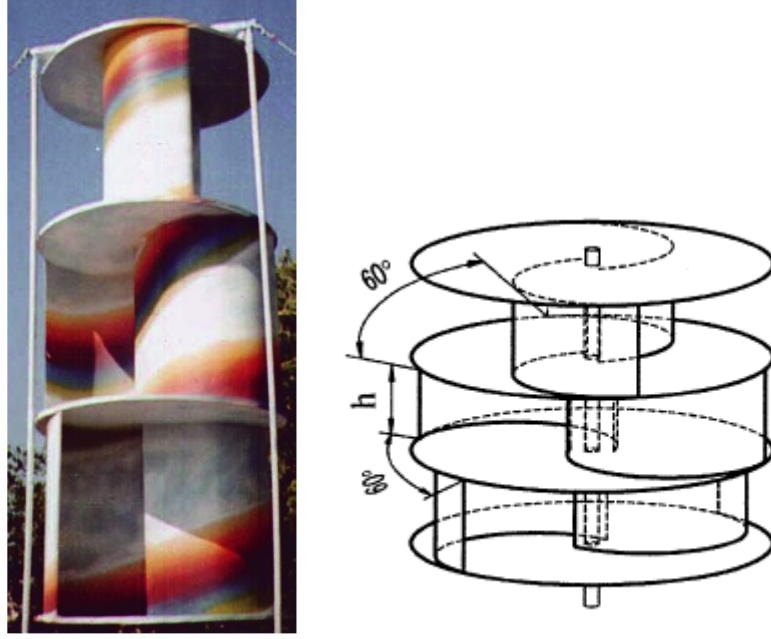
Şekil 3.5. İki katlı savonius türbini [8].



Şekil 3.6. İki katlı savonius türbini.

3.3. Üç Katlı Savonius Türbini

Tek, iki ve üç katlı savonius türbinleri içerisinde en verimli olan türbin çeşididir. Rotor eksenlerinin çakışık olmasına özenle dikkat edilmelidir. Kanatlar arasındaki açısal kayma şekilde de görüldüğü üzere 60° dir.



Şekil 3.7. Üç katlı savonius türbini [25].

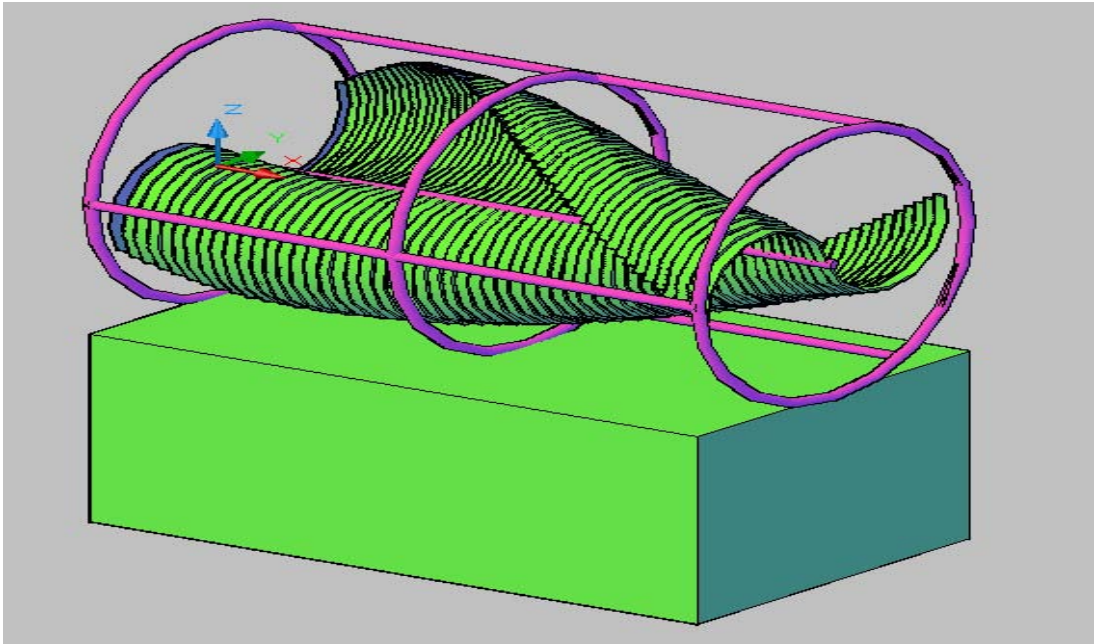
Şekil 3.7. ve Şekil 3.6'da dikey simetri ekseninin kanadın dönüş esnasında salınım yapmaması için halatla dışsal bir germe yapıldığına dikkat edilmelidir. Yüksek hızlarda kanat veya türbine çok büyük zararlar verir. Türbinin kanadının da genel bakımda, çıkartılıp takma maliyetinin de daha zor bir genel bakım olacağı bilinmektedir. Bu yüzden kanat salınım ve titreşim yapmamalıdır.

BÖLÜM 4

MATERYAL ve METOT

4.1. Kanat Modellemesi ve İmalatı

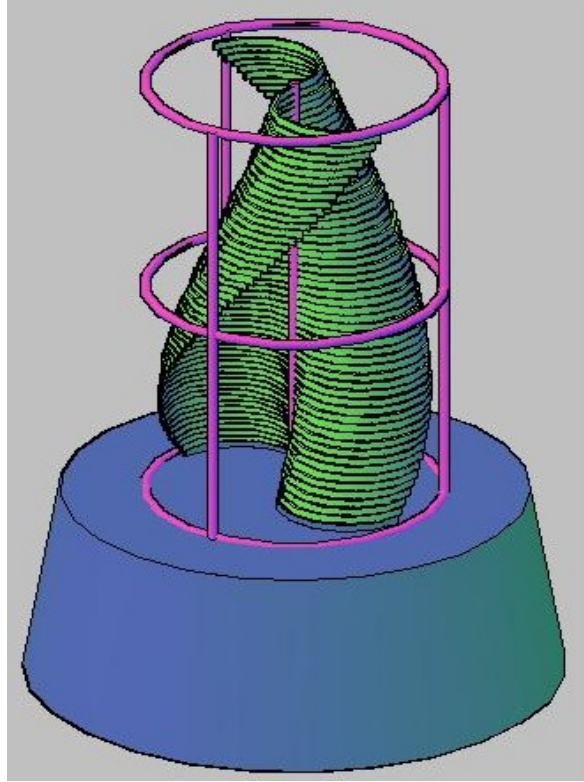
Yeni haliyle tasarımı yapılan savonius türbininde bu hava türbülansları en aza indirilmiş ve elektrik üretimindeki ivme sabitlenmiş sinüzoidal dalgalanması minimuma indirilmiştir. Kanat yatay ve düşey eksenli çalışabilecek şekilde tasarlandı. Ancak dikey eksenli savonius türbini imal edilecektir. Havanın dik bir şekilde kanat yüzeyiyle buluşmasını her yere yayabilmek için tasarımı klasik savonius türbinlerinden farklı helezonik şekilde tasarlandı.



Şekil 4.1. Yatay eksenli savonius türbini kanat tasarımı.

Bu kanat tasarımının avantajları kısaca şu şekilde özetlenebilir.

- a) Elektrik üretimindeki akım ve gerilim ivmelenmelerini elektronik değil mekanik olarak çözümlmek.
- b) İmalat işlemlerinin uzunluğundan kurtulup daha kısa sürede imalat gücü kazanmak.
- c) Kanat ağırlığını fiber katkı sayesinde minimuma indirmek.



Şekil 4.2. Dikey eksenli savonius türbini kanat tasarımı.

Kanat malzemesi seçiminde tahta, cam, sac ve fiber arasında tercih yapılırken dikkat edilen hususlardan bahsetmek gerekirse;

Sac malzemesinde sonradan şekillendirebilme esnekliği sağlaması yönünden fiberden üstün yönü vardır. Fakat darbelere karşı dayanım ve şekle sokma yönünden dezavantajlıdır.

Tahta hafifliği yönü ile sac ve cama göre üstündür. Ancak fiberle karşılaştırıldığında denk olduğu görülür. Tahta kanat üretimi oyma veya lazer ile yapılabilir. İstenilen

kanat hacmine sahip tahtanın bulunması ve lazer cihazının yüklü bir maliyetinin olmasından dolayı tahta kanat kullanımından vazgeçildi.

Cam malzemedeki üretim dayanım ve sonradan şekil verme yönünden düşünüldüğünde dezavantajı fazla olduğundan cam kullanımı kanat için uygun görülmedi. Korozyon üstünlüğü feda edildi. Ayrıca camın ağırlığının oluşturacağı sıkıntılarda deneyin gerçekleşmesini imkânsız kılacaktır.

Fiberin diğer malzemelere göre üstünlükleri kısaca şöyle sıralanabilir;

- a) Hafif olması.
- b) Darbelere dayanımının yüksek olması.
- c) Azda olsa değişiklik yapabilme imkanı sağlaması.
- d) Paslanmaz bir kimyaya sahip olması.

Kanat yapımında fiber ve bakalit kullanıldı. Kanat imalatı için önce bir kalıp yapılması gerekir. Bu kalıp oyma tahtadan olabileceği gibi yüzey kaplaması yapılabilecek dayanıma sahip başka malzemede kullanılabilir. İnşaat demirlerinden S şeklinde çubuklar dikey eksenli bir boruya uygun açılarda kaynak yapıldı.

Bu oluşan yüzeye ince aralıklı tel ızgara giydirilip alçı ile yüzey oluşturma denendi. Ancak ızgara yüzeyi alçının tutmadığı gözlemlendiğinden bu yöntemden vazgeçildi. Alçıyı emebilecek yapıda pamuk oranı yüksek özellikte kumaş S şeklindeki demir çubuklu yüzeye giydirildi.

Alçı yoğun bir kıvamda bu kumaşa yedirilip bir gün süre ile donması beklenildi. Ancak S çubuklar arasındaki kumaşın salınım yaptığı görüldü. Bu sorun yüzey istenilen hale gelinceye kadar alçı dolgu yapılarak aşıldı.



Şekil 4.3. Yatay eksenli savonius türbini kanat imalat aşamasından bir görüntü.



Şekil 4.4. Yatay eksenli savonius türbini kanat imalat aşamasından bir görüntü.



Şekil 4.5. Yatay eksenli savonius türbini kanat imalat aşamasından bir görüntü.

Daha sonra fiber alçı kalıp yüzeye bakalit ile birlikte giydirilip kuruyuncaya dek beklendi. Kuruyan fiber ve bakalit artık istenilen şekli ile kanadı oluşturmuş oldu. Helezonik şeklindeki demir kalıp jet taşı ile kesilerek kanat zedelenmeden alındı. Kanat üzerindeki kumaşa fiberden uygun bir şekilde birbirinden ayrıldı. Kanatın ortasına istenilen boya uygun içi boş boru, vida ile monte edildi.



Şekil 4.6. Yatay eksenli savonius türbini kanat imalat aşamasından bir görüntü .

Şekil 4.7. de görüldüğü üzere yatay eksenli Rüzgâr türbin kanadının esnek olduğu anlaşılmaktadır. Bu eksiklik kanatta uzun vadede değil kısa vadede bile kırılmaya ve düzensiz dönüşe sebebiyet vereceğinden bu konuda düzenlemeler düşünülüp imalat sürecinde giderilmiştir. En çok çarpma ihtimalinin olduğu kanat ucu fiber kalınlığı daha fazla imal edilmiştir. Daha önemlisi kanadın alt ve üst bölgelerine içi boş bakır boru takviyesi yapılmıştır. Böylelikle tüm yatırımların kar zarar ve amortisman değerlendirmesi yapılırken on yıl kullanılabilirlik göz ardı edilmemiş kullanım ömrü arttırılmıştır.



Şekil 4.7. Yatay eksenli savonius türbini kanat imalat aşamasından bir görüntü.

Kanat orta dikme bölgesine (simetri hattı) içi boş boru seçilmemesinin sebebi kanada ağırlık yapmaması istenmesindedir. Kanat ucu salınımını azaltmak ve gerekli dayanımı arttırmak için bakır boru S şekline getirilerek alt ve üstten kanada vida ile birleştirildi ve buda şekilde açıkca görülmektedir. Son halini alan kanat deney düzeneğine monte edildi. Rulmanların kanatta germe yapmaması için eksenlerine çok dikkat edilerek montaj yapıldı. Kaynak yerleri ilk başta punte edilip gerinim denendikten sonra kafese tam kaynak atılmıştır.



Şekil 4.8. Yatay eksenli savonius türbini kanat imalat aşamasından bir görüntü.



Şekil 4.9. Yatay eksenli savonius türbini kanat imalat aşamasından bir görüntü.

Rulman içindeki yağın buharlaşmaması için kaynak yapılırken rulmanların çok ısınmamasına dikkat edildi. Montajı tamamlanan rüzgâr türbini, bölgedeki en yüksek tepeye (Öğlebeli Tepesi) çıkarılarak yapılan deneylerde yeni kanadın veriminin ve çalışma diferansiyel aralığının daha büyük olduğu gözlemlendi.

Şekil 4.10. da görüldüğü üzere çarklı sistem yerine kayış kasnak sistemi uygulanmış ve bu yöntemin çok ciddi verim düşüklüğüne sebebiyet verdiği bilinmektedir. Bundan sonraki çalışmalarda çark ve dişli sisteminin uygulanması önerilmektedir. Burda en önemli şeylerden biride kasnakların yatay simetri eksenlerinin yere aynı mesafede olması çok büyük bir öneme sahiptir. Kanat devir sayısı arttıkça kayışta atmalar meydana geliyorsa bunun sebebi kasnak eksen kayması olabilir. Bir diğer sebep kanadın monte edildiği kafes sistemide olabilir. Montaj yapılırken bu istenilmeyen durumlara daha fazla dikkat edilmesi gerekmektedir.



Şekil 4.10. Yatay eksenli savonius türbini deney aşamasından bir görüntü.



Şekil 4.11. Yatay eksenli savonius türbini deney aşamasından bir görüntü.

Karabük iline hakim olan öğlebeli tepesinden çekilmiş bir fotoğraf. Öğlebeli tepesi her ne kadar şehir yerleşiminden yüksekte ise de yapılan deneylerde Rüzgâr hızının yetersiz olduğu gözlemlendi.

4.2. Rüzgâr Ölçerler (Anemometre)

Anemometre; Rüzgâr /hava hızını ölçen alettir. Rüzgâr ölçer de denilir. Havalandırma sistemlerinde ve Meteoroloji istasyonlarında kullanılır. Şekil 4.12’de de görüldüğü gibi, bir dikey eksene ve Rüzgârı tutan üç fincana sahiptir. Dakikadaki devir sayıları elektronik olarak kaydedilir. Anemometreler fincanlar yerine, pervanelerle de donatılabilirler, ama bu yaygın değildir. Bunların dışında, sesin fazla yükselmesi ve hava moleküllerinden yansıyan coherent ışığını tespit eden ses üstü ve lazer anemometreleri de vardır. Sıcak kablo anemometreleri, Rüzgâr ve Rüzgâr altına yerleştirilen kabloların arasında meydana gelen dakikalık sıcaklık farkından dolayı

Rüzgâr hızını tespit eder. Mekanik olmayan anemometrelerin avantajı, buzlanmaya karşı az hassas olmalarıdır. Bununla beraber uygulamada fincan anemometreleri her yerde kullanılmakta olup elektrikle ısıtılan mil ve fincanlı özel modeller kutuplarda da kullanılmaktadır.



Şekil 4.12. Yaygın olarak kullanılan tipik analog rüzgâr ölçer (anemometre).



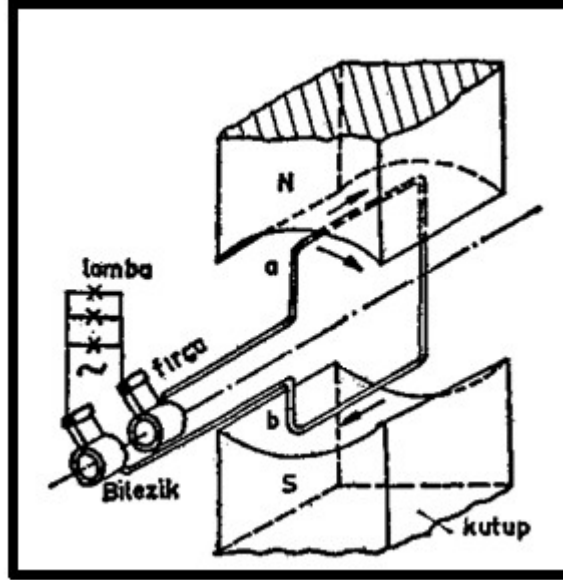
Şekil 4.13. Elektronik rüzgâr ölçer (anemometre).

Şekil 4.13’de bilgisayar girişli ve hafızalı elektronik bir anemometre yani Rüzgârölçer görülmektedir. Rüzgâr enerjisi üretiminde doğru Rüzgâr değerlerinin

elde edilmesi çok önemlidir. Çünkü enerji potansiyeli tespit edilecek bölgenin Rüzgâr karakteristikleri bu bölge için seçilecek türbin elemanlarının seçimini, yerleşimini önemli ölçüde etkiler.

4.3. Alternatörlerin Çalışma Prensibi

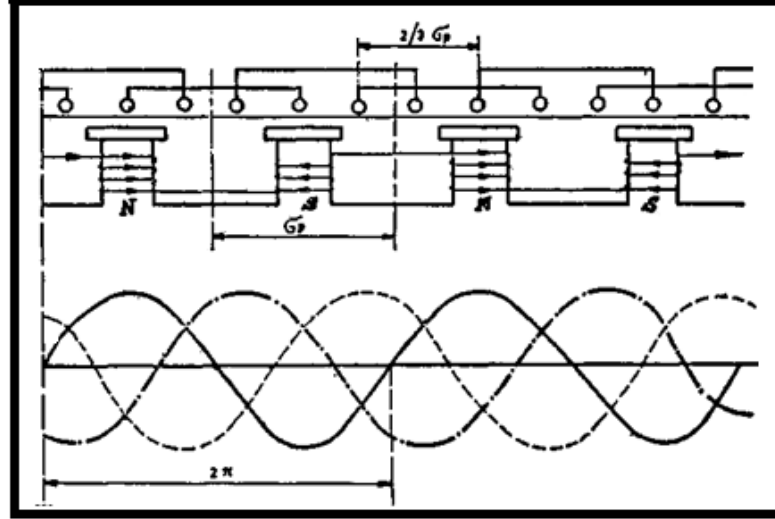
Alternatörler kendisine verilen mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren bir elektrik makinesidir. Mıknatıs alanı içinde dönen bir iletkende endüksiyon yolu ile bir emk. oluşması prensibine göre çalışır.



Şekil 4.14. Alternatörün çalışma prensibi.

Çalışması, bir doğru akım generatörünün çalışmasına benzer. Ancak kollektör kaldırılmış yerine bilezikler konulmuştur. Şekil 4.14'de alternatörün çalışma prensibi şematik olarak gösterilmiştir. Bu şekilde kutuplar sabit, endüvi hareketlidir. Bu prensip küçük güçlü alternatörlerde uygulanır. Büyük güçlü alternatörlerde kutuplar hareketli, endüvi ise sabittir. Döner kutuplardaki sargıların bir mıknatıs alanı oluşturması için bu sargılara fırça ve bilezikler yolu ile doğru akım uygulanır. Böylece endüvi sargılarında endüksiyon yolu ile bir emk. oluşması sağlanır. Endüvide oluşan bu emk. fırça ve bileziklere gerek kalmadan doğrudan doğruya dış devreye

alınır. Şekil 4.15’de üç fazlı bir alternatörün endüvi ve endüktör sargılarının açılımı ile bu alternatörde tam bir devirde endüklenen gerilimin şekli görülmektedir.



Şekil 4.15. Üç fazlı bir alternatörün endüvi ve çıkıntılı kutup sargılarının açılımı ve üç fazlı gerilim eğrisi.

4.4. Elektriksel Güç Hesabı

Birim [zamanda](#) yapılan [iş](#) miktarı [Enerji](#), iş yapabilme kabiliyeti, kapasitesi; güç ise, belli bir işi yapmanın hızıdır. Birimi Erg/s veya Newton.metre/saniye=Joule/s (J/s)dir. Yaygın olan güç birimleri ise, Watt (W) ve [beygir gücü](#) (Buhar Beygiri, BG, BB, PS, CV)'dür. Güç ile ilgili bağıntılar:

$$\text{Güç} = \text{İş/Zaman} = \text{Kuvvet.Hız}$$

$$1\text{W} = 1\text{J/s}$$

$$1\text{BG} = 736 \text{ W}$$

$$1\text{HP} = 1 \text{ İngiliz Beygir Gücü} = 746 \text{ W}$$

$$P = W / t$$

Elektrikte güç, akım ve gerilim (voltaj) çarpımından ibarettir. Bir doğru akım devresinden geçen akım amper, gerilim de volt cinsinden ölçüldüğünde, bunların çarpımıyla elde edilen güç, watt olarak elde edilir. 1000 watta eşit olan kilowatt ise daha sık kullanılan bir birimdir. Bir doğru akım devresinde güç P şu biçimde bulunabilir:

$$P=I \cdot V \quad \text{veya} \quad P = I^2.R \quad \text{veya} \quad P = (V^2 . R)$$

Alternatif akım devrelerinde güç hesabı ise farklıdır. Akım ve gerilim değerleri her an değişeceğinden, güç değeri de değişecektir. Bu yüzden alternatif akım devrelerinde “ortalama güç”ten bahsedilir. Bir alternatif akım devresinde akımın etkin değeri I_e , potansiyel farkının etkin değeri V_e , akım ile gerilim arasındaki faz farkı ϕ ise, güç:

$$P = I_e \cdot V_e \cdot \text{Cos}\phi$$

şeklinde ifade edilir. Burada ϕ voltaj ile akım arasındaki faz açısıdır.

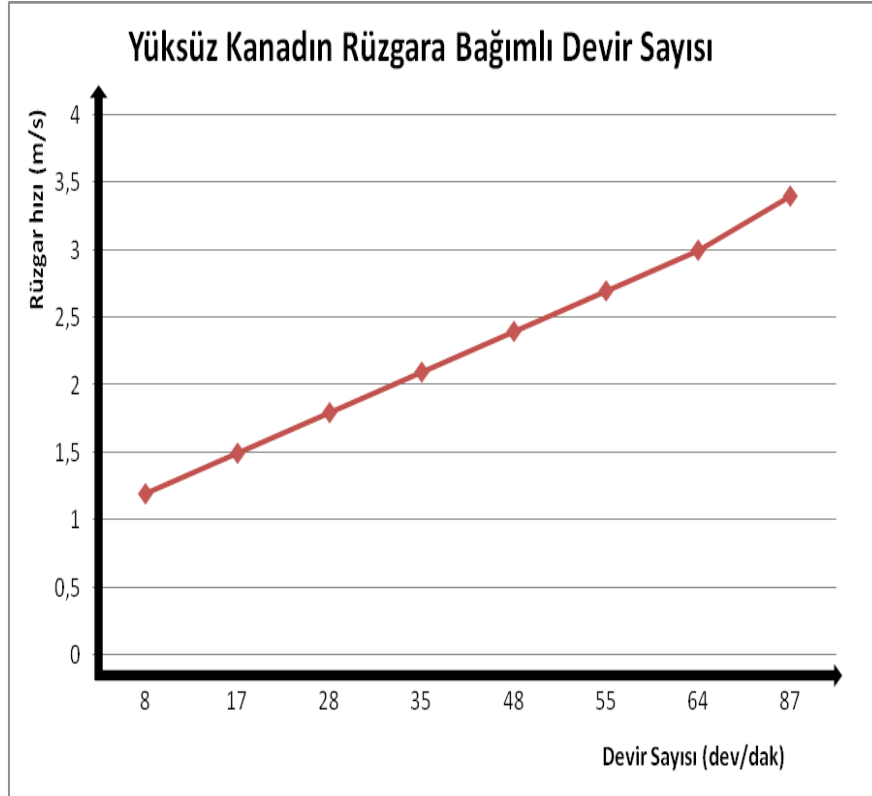
Evlerde kullandığımız elektrik sayaçları şehir şebekesinden çektiğimiz güçle orantılı olarak dönen bir disk esâsına göre çalışır. Böylece sonuç kilowatt-saat (kWh) olarak numaratörde görünür. Enerji değerleri; kilovolt-amper-saat (KVAh) olarak da verilebilir. Bu kWh’e eşit değildir.

BÖLÜM 5

DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

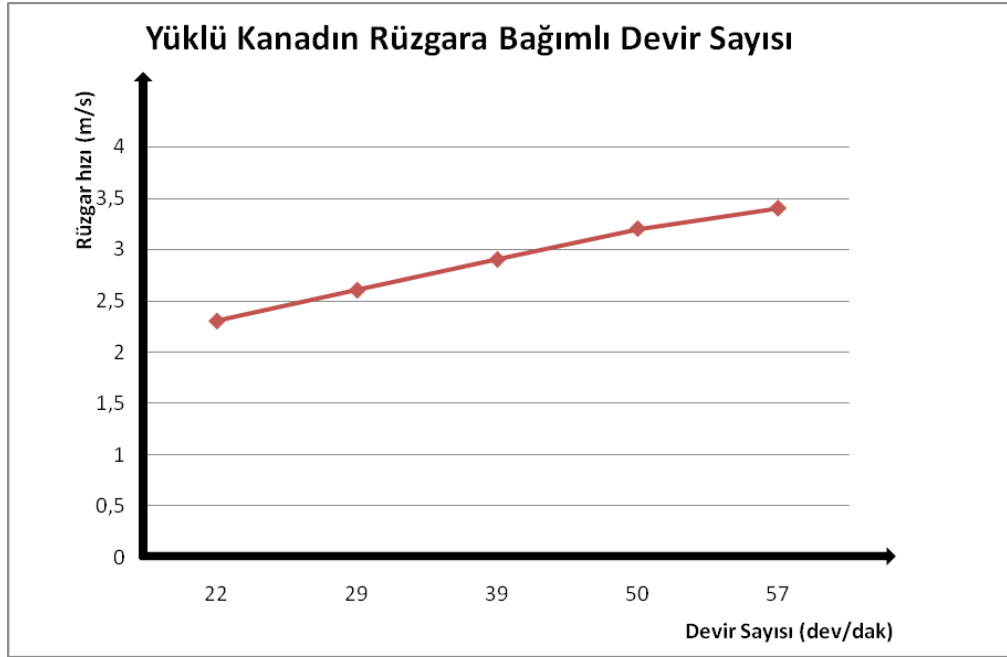
5.1. Deneysel Sonuçları

Deneysel düzeneği yapıldıktan sonra Karabük ilinin yüksek bir tepesine (Öğlebeli tepesi) çıkılarak deneyler yapılmıştır. Rüzgâr hızı değişken olduğundan, rüzgâr hızının en fazla olduğu anlarda sonuçlar kaydedilmiştir. Dolayısıyla tablolardaki sonuçların tamamı anlık değerlerdir. Yapılan deneysel sonuçları değerlendirildiğinde daha önce yapılmış sac kanatlı savonius türbinlerine göre daha iyi sonuç alındığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.1. Yüksüz haldeki kanat devir sayısının rüzgar hızına göre değişimi.

Şekil 5.1’de yüksüz haldeki kanat devir sayısının rüzgar hızına göre değişimi görülmektedir. Rüzgâr hızı 1,2 m/s den sonra kayda değer devir sayısı oluşmuştur. Daha az rüzgâr hızının olduğu anlardaki devir sayısının dikkate alınmadığı belirtilmelidir.

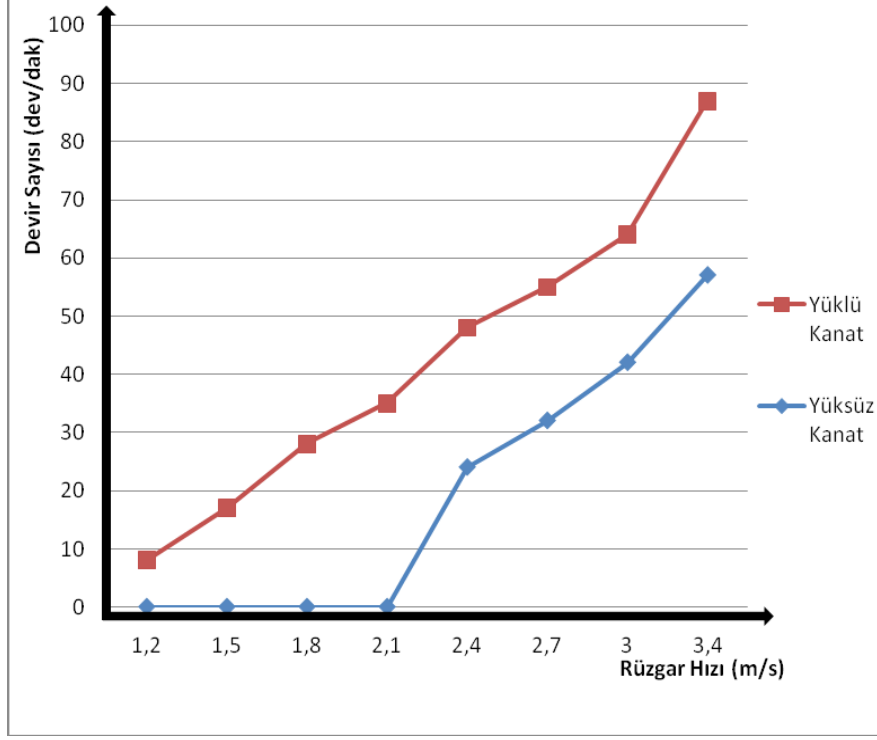


Şekil 5.2. Yüklü haldeki kanat devir sayısının rüzgar hızına göre değişimi.

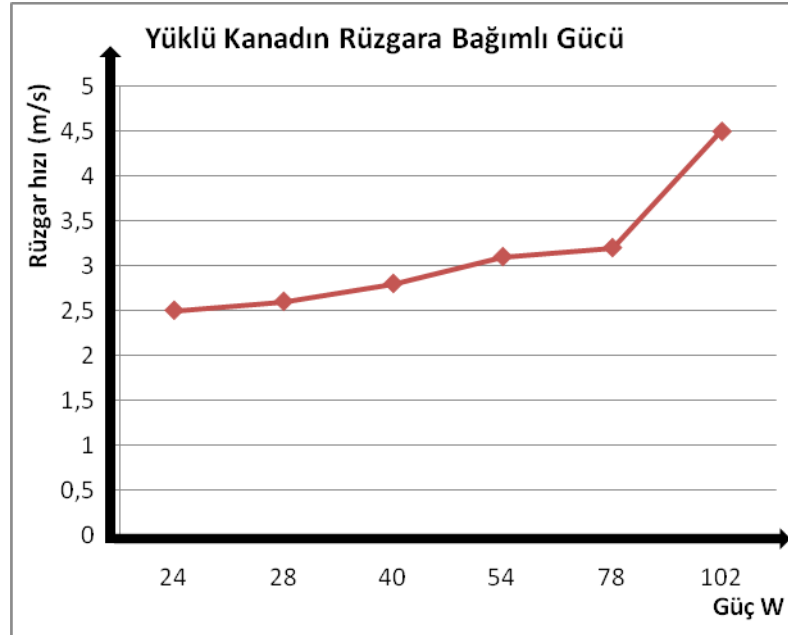
Şekil 5.2’de yüklü haldeki kanadın devir sayısının rüzgar hızına göre değişimi görülmektedir. Yüksüz halde 1,2 m/s rüzgâr hızında 8 d/d dönüş yapan türbin, Şekil 5.2’de görüldüğü gibi yüklü halde iken 2,3 m/s’ye kadar dönüş hareketi yapamamıştır. Bunun sebeplerinden biri kanat ağırlığı ve kayış - kasnak arasındaki sürtünmelerdir.

Şekil 5.3’de yüklü ve yüksüz haldeki kanat devir sayısının rüzgar hızına göre değişimi karşılaştırmalı olarak görülmektedir. Burada yüklü durumunda rüzgâr hızı 2,1 m/s’ye kadar ulaştığında kanat dönüşünün yavaş yavaş gerçekleştiği görülmektedir. Bu, kayış-kasnak arasındaki sürtünme ve elektrik üretimi esnasında

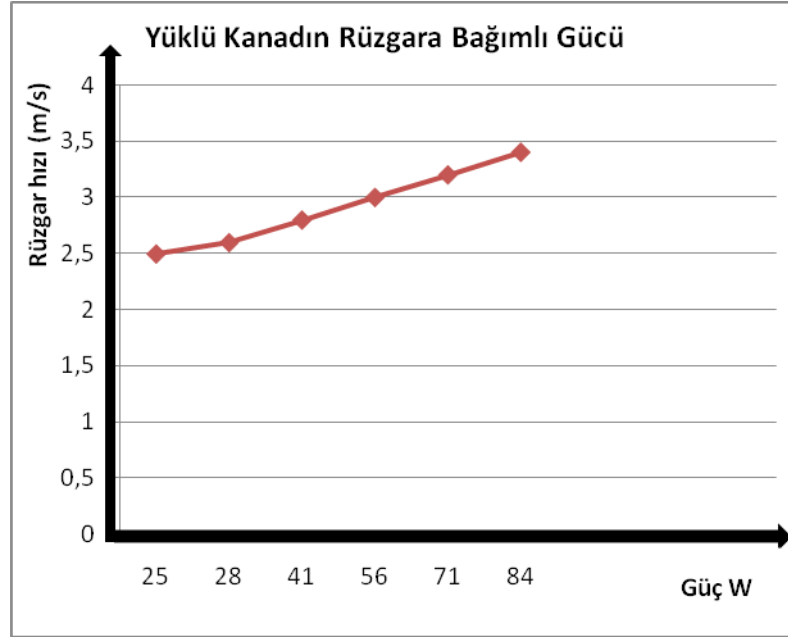
alternatördeki kutuplar ile gövde sargıları arasında bir çekim kuvveti olduğundan kaynaklanmıştır.



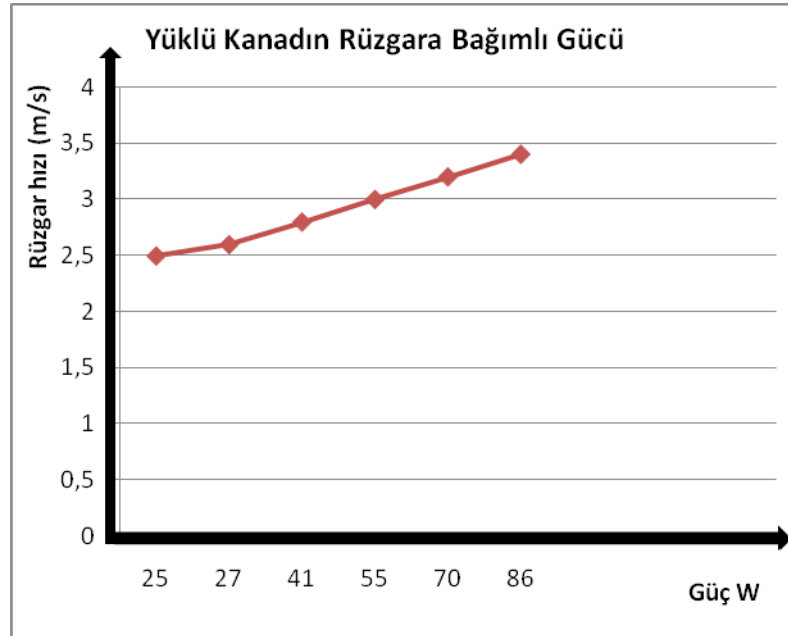
Şekil 5.3. Yüklü ve yüksüz haldeki kanat devir sayısının rüzgar hızına göre değişimi.



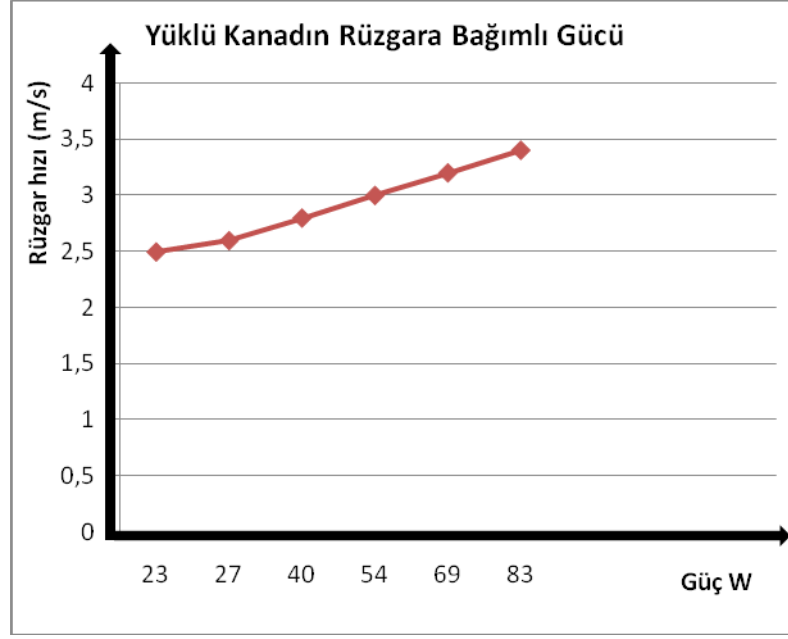
Şekil 5.4. Yüklü kanat devrinden elde edilen güç.



Şekil 5.5. Yüklü kanat devrinden elde edilen güç.



Şekil 5.6. Yüklü kanat devrinden elde edilen güç.



Şekil 5.7. Yüklü kanat devrinden elde edilen güç.

Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6. ve Şekil 5.7’de ise çeşitli Rüzgâr hızlarına göre yüklü durumdaki türbinden elde edilen güç üretimleri görülmektedir. Rüzgâr hızı 2,5 m/s iken maksimum güç 25 W elde edilirken, 4,5 m/s için 102 W olmaktadır.

5.2. Tartışma

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Rüzgâr Enerjisi Araştırma Merkezinde yapılan bir çalışma olan 3 katlı savonius türbininin tasarım ve imalatı yapılmıştır.

Havanın yoğunluğu için deniz seviyesindeki yoğunluk ($1,25 \text{ kg/m}^3$), ortalama rüzgâr hızı da 9 m/s olarak alınırsa türbinin üzerinden geçen havanın gücü 1640W olarak bulunur [27].

Helezonik rüzgar türbininde rüzgar hızı 4,5 m/s iken alınan güç 102 W ama burada 9 m/s iken 1640 W olarak bulunmuştur. Tasarlanan türbinin imalatında daha hafif olan bakalit katkılı fiber malzemesinin seçilmesi diğerlerine göre bir üstünlük sağlar.



Şekil 5.8. Üç katlı savonius türbininden bir görüntü.

Bu hafif malzeme ile rüzgâra karşı daha az statik mukavemet oluşturmaktadır. Bundan dolayı kalkış torku daha yüksektir. Bunun sebebi her konumda rüzgâr ile dik kesişen kanat açısının oluşudur. Bu özellik bize diğer savonius modellerine göre daha düşük hızlarda bile kanadın dönmeye başlayacağını gösterir. Tersinden düşünüldüğünde ise durma konumunun da daha geç olacağı görülmektedir.

BÖLÜM 6

SONUÇ ve ÖNERİLER

Savonius türbinleri hakkında tüm yabancı ve yerli literatür taraması yapılmış ve bu kanat tiplerinden farklı bir model tasarlanmıştır. Sarmal (helezonik) yapıda olan bu modelin diğer savonius kanat tiplerine göre avantajlı ve dezavantajlı durumları incelenmiştir. Kanat malzemesinin bakalit katkılı fiber malzemesinden olması hafifliğin sağlanması bakımından tercih edilmiştir. Yapılan deneylerde kanat tipinin sarmal yapıda olmasının diğer savonius kanat tiplerine oranla üstünlüklerini kısaca özetleyecek olursak ;

- a) Kanat malzemesi diğer sac ve ahşap v.s malzemelere göre daha hafif tasarlanmıştır.
- b) Yapılan deney sonuçları değerlendirildiğinde daha önce yapılmış sac kanatlı savonius türbinlerine göre daha iyi sonuç alındığı gözlemlenmiştir.
- c) İlk kalkış için diğer savonius türbin tiplerine göre daha az bir rüzgâr hızı yeterli olmaktadır.
- d) Kanat dönüş esnasındaki ivmelenme en aza indirilmiştir.
- e) Sarmal (helezonik) yapıda olan bu modelin şekil üstünlüğünden dolayı hava türbülansları en aza indirilmiş.
- f) Elektrik üretimindeki ivme sabitlenmiş ve sinüzoidal dalgalanması minimuma indirilmiştir.

- g) Rüzgâr hızı 2.5 m/s iken maksimum güç 25 W elde edilirken, 4.5 m/s için 102 W olmaktadır.

Bundan sonraki benzeri çalışma yapacaklar için önerilerimizi kısaca özetlenirse ;

- a) Rüzgâr hızına müdahale edilemeyeceğinden performansı arttırmak için, türbin boyutlarının büyütülmesi.
- b) Kanat yüzey alanlarının arttırılması.
- c) Rüzgâr hızlarının yüksek olduğu bölgelerde performansının daha fark edilir oranda yüksek olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Keskin, M., BTM Consult., “Rüzgâr gücü 12”, *Ewea ve Greenpeace*, Bruksel,7-21 (2004).
2. İnternet: Eski Gazete Yayını Arama Portalı <http://www.yalcinkucuk.net> (2009).
3. İnternet:Türkiye Elektrik Etüd İdaresi “2009 Türkiye Rüzgâr Atlası” http://www.eie.gov.tr/turkce/ruzgar/ruzgar_en_hak.html (2009).
4. İnternet: www.frmtr.com/fizik/997485 (2008).
5. Shepherd, D. G., “Historical Development Of The Windmill”, *Wind Turbine Technology*, Spera D, A., Asme Press, New York, 1-43 (1998).
6. Altındis, A., “Yenilenebilir enerji kaynaklarından; rüzgâr enerjisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-2, 25-27, (2001).
7. Ersoy, H., “Türkiye’nin yenilenebilir enerji kaynaklarının dünü bugünü incelenerek elektrik enerjisine olan katkının araştırılması”, *Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 50-53 (1997).
8. Menet, J.L., “Adouble-step Savonius rotor for local production of electricity: a design study”, *Renewable Energy*, 29 (2004).
9. İnternet: “www.re-focus.net” www.sciencedirect.com (2003).
10. Irabu, K. and Nath, Roy J., “Characteristics of wind power on Savonius rotor using a guide-box tunnel”, *Faculty of Mechanical Engineering University of the Ryukyus Experimental Thermal and Fluid Science*, 32: 580-586 (2006).
11. Murai, Y. and Nakada, T., Particle tracking velocimetry applied to estimate the pressure field around a Savonius turbine, *Meas. Sci. Technol* 2491–2503 (2007).
12. Hayashit, T., Hara, Y. and Li, Y., Wind tunnel tests on a different phase three-stage savonius rotor, *International Journal*, Series B 48(1) (2005).

13. Eriksson,S., Bernhoff, H. and Leijon,M., “Evaluation of different turbine concepts for wind power”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 28: 58-66, (2006).
14. Kishinamia,K., Taniguchib,H.,Suzukia,J., Ibanoc, H Kazunoud, T. and Turuhamie, M., “Theoretical and experimental study on the aerodynamic characteristics of a horizontal axis wind turbine”, *Energy*, 30: 2089–2100 (2005).
15. Charlier, R. H., A “sleeper” awakes: tidal current power,*Free University of Brussels Belgium Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 7: 515–529 (2003).
16. Köse, F. ve Özgören, M., Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Ölçümü ve Rüzgâr Türbini Seçimi, *Mühendis ve Makine*, 46: 548-551 (2005).
17. Atik, K., Aybek, A., Arslan, S. ve Yıldız, E., Kahramanmaraş'ta Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli ve Yörede Kurulan Bir Rüzgâr Türbininden Elde Edilen Mekanik Enerji ve Isı Enerjisinin Karşılaştırılması, *Fen ve Mühendislik dergisi*, 3 (2): 55-65, (2000).
18. Atılgan, M. ve Deda Altan, B., Savonius Rüzgâr Çarklarının Performansının Geliştirilmesi Ve Karşılaştırılması *Mühendis ve Makine*, 15: (533) 38-44, (2004).
19. Özgener, Ö., “A Review of Structures of SWTSS in The Aegean Region and Performance Analysis”, *Elsevier Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 5(12): 128-136, (2003).
20. Bilgili, M., Şahin, B. ve Kahraman, A., “Wind Energy Potential in Antakya and İskenderun Regions, Turkey”, *Renewable Energy*, 6:1733-1745 (2003).
21. Şen, Ç., “Gökçeada'nın elektrik enerjisi ihtiyacının rüzgâr enerjisi ile karşılanması”, *Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 57-71 , İzmir (2003).
22. İnternet: <http://www.windenergy.org> (2005).
23. Karadeniz, Z., “Rüzgâr Enerjisi ve Elektrik Üretimi Amaçlı Kullanımı”, *Bitirme Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi*, İzmir (2002).
24. Hayashi,T.,Li, Y., “Wind Tunnel on a Different Phase Three-Stage Savonius Rotor”, *JSME International Journal*, 48(1): 58-65, (2005).
25. Taşkın, S.,Güney, İ., “Rüzgâr ve Güneş Enerjisinin Karayollarında Kullanılmasına Yönelik Bir Değerlendirme”, *Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Bölümü* , İstanbul (2008).

26. İnternet: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü www.meteoroloji.gov.tr (2009).
27. İnternet: Gebze Yüksek Teknik Enstitüsü www.gyte.edu.tr/enerji/ (2009).

ÖZGEÇMİŞ

Faruk KILIÇ 1979 yılında Ankara'da doğdu; İlk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Sincan Teknik ve Endüstri Meslek Lisesinin Elektrik Bölümünden mezun olduktan sonra 1998 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Tesisat Öğretmenliği bölümünü kazandı. Mezun olduktan sonra Özel Öğretim kurumlarında Eğitim Uzmanı olarak görev yapmaktadır.

2007 yılında Z.K.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans a başladı. Halen Yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.

İLETİŞİM BİLGİLERİ

E-posta: geomar1979@hotmail.com

Tel : (505) 672 4670 (meb)