

T.C
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

RÜZGÂR ENERJİ SİSTEMLERİ VE
UYGULAMALARI

Muzaffer YÜCEL

Fizik Anabilim Dalı

Tezin Sunulduğu Tarih: 22.10.2009

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Serhat ÖZDER

ÇANAKKALE

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

Muzaffer YÜCEL tarafından Prof. Dr. Serhat ÖZDER yönetiminde hazırlanan ‘Rüzgâr Enerji Sistemleri ve Uygulamaları ‘ başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Serhat ÖZDER

Yönetici

Yrd. Doç. Dr. Kıvanç SEL

Jüri üyesi

Prof. Dr. Murat TÜRKEŞ

Jüri üyesi

Sıra no:.....

Tez Savunma Tarihi: 22 / 10 / 2009

Prof. Dr. Ahmet ERDEM

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

Hazırlanan bu Yüksek Lisans Tezi; Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) tarafından 2009/74 no’lu projeden desteklenmiştir.

İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasında yardımlarını esirgemeyen ve bu çalıőmanın bir uygulaması niteliğinde 1 kwh'lık rüzgâr türbinini hayata geçirebilmem için tüm desteğini ve gücünü ortaya koyan danışmanım Prof. Dr. Serhat ÖZDER hocama teşekkür ederim. Türbin kurulmasında yer belirlemede ve kurulma aşamasında benimle birlikte olan hocam Prof. Dr. İhsan YILMAZ' a ve alternatif enerjiler konusunda eğitim aldığım Prof. Dr. İsmail TARHAN 'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalıőmam süresince benden desteklerini esirgemeyen babam H.Hüseyin KAYA' ve her zaman yanımda olan eşim Sibel YÜCEL' e teşekkür ederim.

Muzaffer YÜCEL

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu tezde kullanılan kısaltmalar ve simgeler açıklamalarıyla birlikte aşağıda belirtilmektedir.

Simge	Açıklama
RS	Rüzgar Santrali
kWh	Kilowat saat
TWh	Terawat saat
MWh	Megawat saat
EPDK	Elektrik Piyasası Denetleme Kurulu
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
TUREB	Türkiye Rüzgâr Enerji Birliği
EİEİ	Elektrik İşlem İdaresi
EİKT	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı
(λ)	Kanat Uç Hız Oranı
C_L	Kanat Kaldırma Katsayısı
C_D	Kanat Sürüklenme Katsayısı
f	Frekans
AC	Alternatif Akım
DC	Doğru Akım
Hz	Hertz
SKAG	Sincap kafesli asenkron jeneratör
RSAG	Rotoru sargılı asenkron jeneratör
RSAG	Rotoru sargılı asenkron jeneratör
RSSG	Rotoru sargılı (alan sargılı) senkron jeneratör
SMSG	Sürekli mıknatıslı senkron jeneratör
DAG	Doğru akım jeneratör
m/sn	metre/saniye
W/m ²	watt/metrekare

ÖZET

RÜZGÂR ENERJİ SİSTEMLERİ VE UYGULAMALARI

Muzaffer YÜCEL

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Serhat ÖZDER

2009, 67 Sayfa

Günümüzde, enerji gereksinimi hızla artarken, buna bağlı yoğun olarak kullanılan fosil yakıtlar da hızla tükenmektedir. Diğer yandan fosil yakıtlar ve nükleer enerji gibi, enerji kaynakları çevreye zarar vermektedir. Dolayısıyla rüzgâr, güneş, jeotermal gibi alternatif enerji kaynaklarının kullanımına her geçen gün ihtiyaç artmaktadır. Uygun hızda ve süreklilikte rüzgârın sürekli olduğu bölgelerde, rüzgâr enerjisi sürekliliği, verimliliği, elektriğe dönüştürülme kolaylığı gibi sebepler açısından alternatif enerji kaynakları arasında ilk sıralarda yer almaktadır. Ülkemizin enerji ihtiyacının büyük bölümü(yaklaşık %85 lik kısmı) ithal edilen fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Bu sebeple enerji kaynakları bakımından ülkemizin dışa bağımlılığının artmasının yanı sıra elde edilen enerjinin maliyeti de artmaktadır. Bu durum ışığında, ülkemizin büyük bölümünde sahip olduğu rüzgâr potansiyeli, rüzgâr enerjisinin ülkemiz açısından değerini arttırmaktadır. Bu çalışmada, özellikle elektrik enerjisinin ulaştırılmadığı veya elektrik iletme maliyetinin yüksek olduğu yerlerde enerji ihtiyacını karşılamak için rüzgâr türbininin tasarlanması, üretilmesi, yerinde kurulması ve üniversitemiz Terzioğlu yerleşkesinde bir pilot uygulama yapılması amaçlanmaktadır. Bu türbinin çok küçük rüzgâr hızlarında da elektrik elde edilebilmesi, aynı zamanda elektriği depolayabilmesi ve rüzgârın olmadığı veya kısmen kesildiği durumlarda da enerji gereksinimini giderebilmesi hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr Enerjisi, Türbin, Jeneratör, Pervane

ABSTRACT

WIND POWER SYSTEMS AND APPLICATIONS

Muzaffer YÜCEL

Çanakkale Onsekiz Mart University

Graduate School of Science and Engineering

Chair for Physics Thesis of Master of Science

Advisor: Prof. Dr. Serhat ÖZDER

2009, Pages; 67

Recently, while demand on energy has been rapidly increasing, resultantly the fossil fuels which are often used, have been rapidly decreases. On the other hand, energy resources such as fossil fuels, nuclear energy also have harmful effects on environment. Consequently, the requirement for the alternative energy resources, such as wind, solar, geothermal... increases on very passing day. Among the alternative energy resources, the wind energy is one of the primary alternatives, due to its continuity, efficiency and convenience for transforming to electricity, at the regions, where the wind blows at sufficient speeds and continuity. Most of the energy requirement of our country has been supplied by which is imported fossil fuels. As a result of this, not only energy dependence of our country to foreign countries increases but also the costs of supplied energy increases. In the light of this state, the wind potential that our country possesses at most of its regions, increases the worth of the wind energy for benefits of our country. The aim of this work is to design, produce and set up, a wind turbine at its place, for covering the requirement of energy, specially at the regions, where the electricity could not be transported or at the regions where, the price of transportation is quite high; and practicing a pilot application at Terzioğlu Campus. Additionally, besides the generation of electricity even at very low wind speeds, it is also aimed that the wind turbine could be able to supply the required energy, by the storage of electricity, when these is no wind or it is partially stopped.

Keywords: Wind Energy, Generator, Türbin, Blade

İÇERİK	Sayfa
TEZ SINAV SONUÇ BELGESİ.....	ii
İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET	v
ABSTRACT.....	vi
1.BÖLÜM 1-GİRİŞ.....	1
1.1 Küresel Isınmanın Oluşumu ve Engellenmesi.....	2
1.2. İnsan Kaynaklı İklim Değişikliği ve Nedenleri.....	2
1.3. Türkiye'deki Sıcaklık Değişimleri.....	3
BÖLÜM 2- ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
BÖLÜM 3-METERYAL VE YÖNTEM.....	6
BÖLÜM 4-ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	7
4.1 Rüzgârın Oluşması ve Rüzgâr Türleri.....	7
4.1.1 Dünya Rüzgâr Haritası.....	8
4.1.2 Türkiye'deki Rüzgâr Çeşitleri ve Türkiye Rüzgâr Haritası.....	9
4.1.3 Avrupa'da Rüzgâr.....	10
4.1.4 Rüzgâr Enerjisi Küresel Durumu ve Türkiye Rüzgâr Enerji Çalışmaları.....	13
4.2 Türkiye'deki Enerji Türlerinin Değerlendirilmesi.....	13
4.3 Dünya Rüzgâr Enerjisi Durumu	15
4.4 Türkiye' deki Rüzgâr Enerjisi Kaynakları.....	16
4.5. Rüzgâr Türbin Çeşitleri	17
4.5.1.Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri.....	17
4.5.2. Düşey Eksenli Rüzgâr Türbinleri	19
4.5.3. Darrieus Tipi Rüzgâr Türbinleri	20
4.6. Rüzgâr Türbinin Verimi.....	21
4.7. Rüzgâr Türbinlerinde Kanatlara Gelen Enerjinin Dönüşüm Hesapları.....	23
4.8. Jeneratör Seçimi ve Şebeke Bağlantısı.....	27
4.8.1 Jeneratör.....	28
4.8.2. Fren sistemi(türbin kontrol sistemi).....	29
4.8.3. Rotor.....	30
4.8.4. Dişli Kutusu.....	30

4.8.5. Türbinde Kullanılan Jeneratör Çeşitleri.....	31
4.8.6. Sincap Kafesli Asenkron Jeneratör.....	33
4.8.7. Rotoru sargılı (bilezikli) Asenkron Jeneratör.....	34
4.8.8. Senkron Jeneratörler.....	35
4.8.9. Sürekli Mıknatıslı Senkron Jeneratörler(SMSG).....	35
4.9 Bir kws Rüzgar Türbini Tasarlanıp Yapılması ve Faaliyete Geçirilmesi.....	36
4.9.1 Amaca Yönelik Rüzgâr Türbini Seçimi.....	38
4.9.2 Jeneratör.....	40
4.9.2.1 Rotor.....	42
4.9.2.2 Stator.....	43
4.9.2.3 Statorda Bakır Tellerin Sarılması.....	45
4.9.3. Mıknatıs Flanşlarının Kalıp İçerisine Alınması.....	49
4.9.4. Stator ve Rotorun Bağlanması.....	50
4.9.5. Kanatların Yapılması.....	52
4.9.6. Ahşap kanatların yapımı ve ölçüleri.....	53
4.9.7. PVC kanatların yapılması.....	56
4.9.8 Rüzgâr türbininde kuyruk sistemi.....	57
4.9.9. Rüzgâr Türbininde Kule.....	58
4.9.10. Rüzgâr Direğinin(kule) Dikilmesi.....	58
4.9.11. Şarj Kontrol Sistemi.....	59
4.9.12. Rüzgâr Türbini Verimi.....	60
4.10. 5 kw/s Rüzgar Türbini Yapımı.....	62
4.10.1.Jeneratör.....	62
4.10.2.Kule.....	63
4.10.3.Kanatlar.....	64
BÖLÜM 5- SONUÇ VE ÖNERİLER.....	66
KAYNAKLAR.....	I
Ekler.....	II
Çizelgeler.....	III
Şekiller.....	IV
Özgeçmiş	VI

BÖLÜM 1**GİRİŞ**

Yıllar boyunca dünyanın birçok yerinde rüzgâr gücünden rüzgâr değirmenleri, su pompalama ve değirmen olarak tahıl ufalama işlemlerinde kullanılmıştır. Günümüzde ise rüzgâr çok farklı bir ihtiyaç olan elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır. Günümüzde enerji, çoğunlukla elektrikten elde edildiği için; ihtiyaç un değirmenleri, su pompaları gibi mekanizmaları rüzgâr ile çalıştırmak değil, elektrik ile çalıştırmaktadır. Bunun için elektrik üretmek zorunluluğu oluşmuştur. Rüzgâr türbinlerinde; gelen rüzgâr gücü kanatlar tarafından yakalanıp hareket enerjisine çevrilir ve daha sonra hareket enerjisi jeneratör yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Bunun için yüksek kuleler ve dönme meydana gelmesi için kanatlara ihtiyaç vardır. Şimdilerde bu kulelerin yükseklikleri 50metre yada daha fazla olabilmektedir. Bunun yanında kanat çapları 80metre ve üzeri yapılmaktadır. Kullanım açısından farklı tipleri olmakla beraber en fazla 3 kanat kullanılmaktadır. Kanat sayısının artırılması titreşimin azalmasına bunun yanında tork' un artmasına ve rüzgârdan elde edilen verimin düşmesine sebep olmaktadır. Çok kanatlı türbin sistemleri su pompalama işlerinde kullanılır. En düşük 1 adet pervane ve onun karşısında 1 adet dengeleyici topuzun olduğu sistemlerde vardır, ancak bunlar çok fazla titreşim yaptığından dolayı tercih edilmemektedirler. En çok tercih edilen kanat sayıları 2 veya 3 kanatlı olan tiplerdir. 2 kanatlı olanlar 3 kanatlı olanlara göre daha verimli ancak daha titreşimli olan tiplerdir. En ideal olan tipler 3 kanatlı olanlardır. Bunlar hem verimli hem de titreşimi az olan tiplerdir. Kanat sayısı artıkça döndürme gücü tork artmaktadır. Kanat sayısı azaldıkça tork azalır kanatların dönme hızı artmaktadır. Ticari amaçla üretilen türbinler bu tip türbin çeşitleridir. Bu pervaneler bir shaft denilen ana mil üzerine monte edilir. Bu kanatlar yapı bakımından ve şekil bakımından uçak kanatlarının hemen hemen aynısıdır. Rüzgâr estiğinde alttaki kanadın ucunda düşük basınçlı bir hava akımı meydana gelir. Sonra düşük basınçlı hava üst kanadı kendine doğru çeker böylece rotorun dönmesi sağlanır.(Rotor; kanatların bağlı olduğu kısma denir.) Bu olayın adına kaldırma kuvveti denir. Bu kaldırma kuvveti türbin kanatlarına önden çarpan rüzgârın kuvvetinden daha fazladır, rüzgârın fazla olması kanadı itirmeye başlar ve kanadın dönmesi, sürüklenmesine sebep olur. Kanatların dönmesinin gerçekleşmesine sürüklenme kuvveti denir. Kaldırma ve sürüklenme birlikte rotorun bir pervane gibi dönmesine sebep olur. Dönen ana mil elektrik üretmek için arkasında bağlı bulunan bir elektrik jeneratörünün milini döndürür (Mukund, Patel, 1998).

1.1 Küresel Isınmanın Oluşumu ve Engellenmesi

İklim bilimcilerine göre atmosferdeki değişikliklere bağlı olarak oluşan, Türkeş, (1997)'e göre hava; “yeryüzünün herhangi bir yerinde ve herhangi bir anda yaşanan ya da gözlenen atmosferik olayların tümüdür”. Buna bağlı olarak havaların değişim dönemlerine göre, hava olaylarının benzerlik taşıdığı durumlar sonucunda iklimler meydana gelmiştir. İklim; yeryüzünün herhangi bir yerinde uzun yıllar boyunca yaşanan ya da gözlenen tüm hava koşullarının ortalama özellikleri yanı sıra, bu olayların yaşanma sıklıklarının zamansal dağılımlarının, gözlenen uç değerlerinin, şiddetli olayların ve tüm değişkenlik tiplerinin sentezi biçiminde tanımlanır. Uzun yıllar insanlar gereksinimlerini iklimlere ve onun getirdiği sonuçlara bağlı olarak oluşturmuşlardır. İklim değişikliği insanlarda bazen salgın hastalıkların habercisi bazen açlık ve kıtlığın sebebi olmuştur. Türkeş, (1997)'e göre İklim değişikliği; “ Nedeni ne olursa olsun iklim koşulları ondaki büyük ölçekli (küresel) ve önemli yerel etkileri bulunan uzun süreli ve yavaş gelişen değişiklikler biçiminde tanımlanmıştır.” 4,6 milyar yıllık dünya jeoloji tarihi boyunca pek çok iklim değişikliğine uğramıştır. Dünya buzul çağı yaşamış ve sona ermiştir. Bu büyük bir iklim değişikliğidir. Ancak 19yy 'a kadar oluşan iklim değişiklikleri kendiliğinden meydana gelen iklim değişiklikleridir. Ancak bundan sonraki zaman da meydana gelen iklim değişikliği insan eliyle yapılan değişikliklerdir. Özellikle sanayi devrimin başlaması ve insanlığın fosil yakıtları aşırı yakması sonucunda atmosferde giderek artan sera gazlarının oluşmasına sebep olmuştur.

1.2. İnsan Kaynaklı İklim Değişikliği ve Nedenleri

Yeryüzündeki tüm canlılar için vazgeçilmez yaşam alanına atmosfer denir. Atmosferi oluşturan gazlar oran bakımından sırasıyla %78 azot, %20 oksijen ve geriye kalan az bir miktar sırasıyla argon, karbondioksit, neon, helyum, metan, kripton, hidrojen, diazotmonoksit olarak sıralanabilir. Atmosferde sera gazı etkisini azot ve oksijenden sonra havanın %1'lik bir kısmını oluşturmaya rağmen argon ve karbondioksit gazı oluşturmaktadır. Sera etkisi; bulutsuz ve açık bir havada kısa dalgalı güneş ışınımının önemli bir bölümü atmosferi geçerek yeryüzüne ulaşır ve orada emilir ancak, yerkürenin yüzeyinde salınan kızıl ötesi ışınım bir bölümü, uzaya kaçmadan önce çoğunluğu alt

atmosfer de bulunan sera gazları tarafından emilir. Sonra tekrar salınır ve bu doğal sera gazlarının en önemlileri su buharı, karbondioksit, metan, diazotmonoksit, ozon gazlarıdır. Bu olaya doğal sera etkisi denir. (Karakaya, 2008, s. 28)

Doğal sera etkisine bakıldığında karbondioksit miktarının sera gazlarında ne kadar etkili olduğu anlaşılmaktadır. Mauna Loa ölçümlerine göre son yıllarda atmosferdeki karbondioksit miktarının aşırı şekilde arttığı gözlemlenmektedir. Sera gazı birikimlerindeki bu artışlar yerkürenin uzun dalgalı ısınım yoluyla soğuma etkinliğini zayıflatarak, onu daha fazla ısıtma eğiliminde bir pozitif ısınım salınım zorlamasının oluşmasını sağlar. (Türkeş, 2003)'e göre sera gazlarının dünya üzerinde meydana getirdiği değişiklikler,20.yy başından günümüze sıcaklık yaklaşık olarak 0,7°C arttı. Küresel olarak aletli olarak yapılan ölçümlerde 1990, 2000 yılları arasında en sıcak yıl 1998 yılı +0,58°C ile en sıcak yıl olarak kayıtlara geçmiştir.

1.3. Türkiye'deki Sıcaklık Değişimleri

Dünyanın pek çok yerinde olduğu gibi Türkiye'de de özellikle ilkbahar yaz mevsiminde gece en düşük hava sıcaklıkları istatistiksel ve klimatolojik açıdan önemli bir ısınma eğilimi göstermektedir. Türkiye sıcaklık değişimlerini ortaya koyan yeni çalışmalara göre (Türkeş, 2002a, 2002b; Türkeş ve Sümer, 2004) aşağıdaki gibi özetlenebilir.

-Kış ve ilkbahar ortalama sıcaklıkları güney kesimlerde artma eğilimi göstermesine karşın kuzeyde ve karasal iç bölgelerde azalma eğilimi göstermiştir.

-Yaz mevsimi gece en düşük hava sıcaklıklarındaki ısınma ve sonbahar gece sıcaklıklarındaki ısınma oranları genel olarak daha büyüktür.

-Gece en düşük hava sıcaklıklarındaki belirgin ısınmayla karşılaştırıldığında da, gündüz en yüksek sıcaklıkların bazı istasyonlarda zayıf bir ısınma bazılarında ise zayıf bir soğuma görülmüştür.

Özellikle su kaynaklarındaki zayıflama sıcaklığın artması, orman yangınlarının artması, kuraklık erozyon çölleşme deniz yüzeyinin yükselmesi gibi sebepler küresel ısınmanın oluşturduğu ve bundan sonrada devam edeceği başlıca sebepleridir. (İPCC, 2001a) değerlendirme raporunda kullanılan iklim modellerine göre Türkiye yıllık ortalama sıcaklık 2050 yılına kadar yalnız sera gazlarındaki sıcaklık dikkate alındığında

1-3°C arasında; sera gazlarındaki ve sülfat parçacıklarındaki değişimler birlikte dikkate alındığında 1-2°C arasında artacağı öngörülüyor.

BÖLÜM 2

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yaşam için gerekli olan ihtiyaçların başında enerji ihtiyacı gelmektedir. Enerjinin çok farklı çeşitleri vardır. Bu enerji çeşitleri içerisinde en önemlilerinden biri elektrik enerjisidir. Elektrik enerjisi bu zamana kadar genellikle fosil yakıtlardan temin edilmekteydi, fakat son zamanlarda fosil yakıtların pahalılığı ve tükenmesi insanları farklı yollardan enerji elde etme yoluna zorlamıştır. Devletler enerji konusunda dışa bağımlılıktan kurtulmak için alternatif enerji bulma yoluna gitmişlerdir. Bu alternatif enerjilerin en önemlisi rüzgâr ve enerjisidir. Bu tezin amacı, rüzgârın özelliklerini, gücünü, rüzgâr türbinlerini ve uygulama alanlarını inceleyip, rüzgâr gücünden faydalanarak elektrik elde etmek için bir rüzgâr türbini tasarlayıp uygulamaya geçirildi. Günümüze kadar rüzgâr konusunda pek çok çalışmalar yapılmıştır. M.Ö. 18yy.'dan günümüze rüzgârdan farklı amaçlar için faydalanılmış ve bu konuda pek çok çalışma yapılmıştır. Farklı eksenlerdeki rüzgâr türbinleri, farklı kanat tipleri denenmiştir. Son yıllarda rüzgârdan elektrik elde etmek için farklı jeneratörler yapılmaktadır. Bunun yanında türbinlerin boyutları her geçen gün büyümüş ve günümüzde 4-5 MW/s seviyesine çıkmıştır, açık denizlere büyük rüzgâr türbinleri kurma çalışmaları yapılmaktadır. Karalarda da büyük rüzgâr çiftlikleri kurulmaktadır. Ülkemizde de son zamanlarda çok sayıda rüzgâr türbini kurma çalışmaları yapılmaktadır.

BÖLÜM 3
METERYAL VE YÖNTEM

Araştırmanın ana materyalini Çanakkale ili civarındaki rüzgâr türbin potansiyelinin belirlenip, bu potansiyelden nasıl yararlanılabileceği konusunda araştırma yapmak. Günümüzde rüzgârdan faydalanma yolu olarak ilk akla gelen elektrik elde etmektir. Bunun için ilk önce rüzgâr potansiyeli olan bölgelere türbin tasarlayıp elektrik elde etmektir. İlk olarak 1kw/saat gücündeki türbin üzerinde çalışıldı, daha sonra 5kw/saat üzerinde çalışma yapıldı.

BÖLÜM 4

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1 Rüzgârın Oluşması ve Rüzgâr Türleri

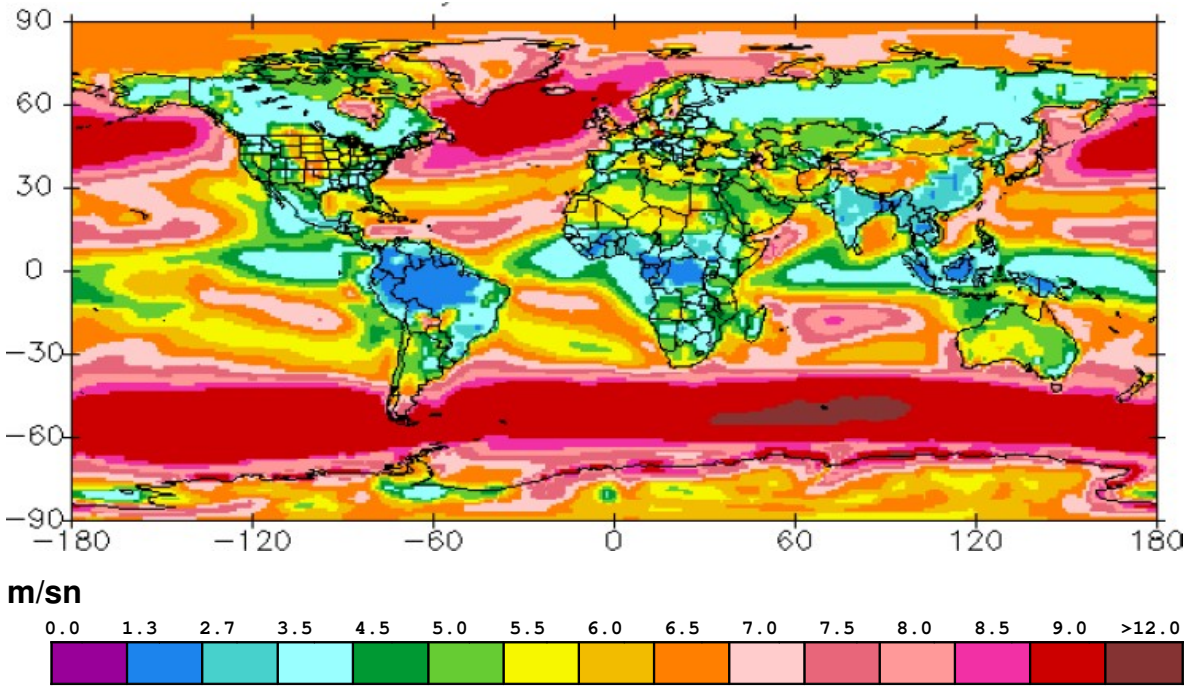
Gelgit enerjisi, nükleer enerji ve jeotermal enerji dışındaki bütün enerjilerin kaynağı güneştir. Güneş yeryüzüne bir saatte gönderdiği enerji miktarı güç olarak 10^{18} watt/saat olarak tahmin edilmektedir. Güneşten gelen enerji farklı tip enerji türlerine dönüşür, bir kısmı fotosentez için bitkiler tarafından kullanılır, bir kısmı yer atmosfer sistemi tarafından geri yansıtılır, bir kısmı ise fosil yakıtların oluşmasını sağlar. Güneşten gelen enerjinin çok az bir kısmı rüzgâr enerjisine dönüşmektedir. Ancak rüzgâra dönüşen enerji miktarı, yeryüzündeki bütün bitki enerjisinin yaklaşık olarak 100 katı civarındadır. Rüzgâr, atmosferdeki hava kütlelerinin dünya üzerinde, yatay yer değiştirmesi olayıdır. Bu yer değiştirme olayına etki eden en büyük sebep dünya yüzeyi üzerindeki sıcaklık farklılıklarıdır. Sıcaklık farklılıkları yatay ve dikine rüzgâr akımlarını meydana getirmektedir. Sıcak hava yoğunluğu soğuk havaya yoğunluğuna göre daha azdır ve ağırlık bakımından daha hafiftir. Isınan hava yaklaşık **10km**'ye ulaşıncaya kadar yükselir. (Yönenerji, 2009)

Bu sıcak hava kütlesi hareket ederek, Kuzey ve Güney Kutbuna yaklaştıkça aşağı çökecek ve yoğunluğu artan hava yüzeyden ekvatora geri dönecektir. İşte bu noktada havanın ısınıp kütleli olarak yer değiştirmesi, basınç farklarının oluşmasına sebep olur. Ancak atmosferin yaptığı basınç dünyanın her bölgesinde aynı değildir, bunun sebebi ise; kara ve denizlerin dağılımı, yerçekimine, sıcaklığa, kendi eksenini etrafında dönüşüne ve bulunulan yerin yüksekliğine bağlı olarak değişir. Bunun sonucunda da yüksek ve alçak basınç alanları oluşur. Atmosferdeki yüksek basınç alanları tepelere, alçak basınç alanları ise çukurlara benzetilebilir. Hava akıcı olduğundan, çekimin etkisi altında yüksek basınç alanlarından alçak basınç alanlarına doğru, sanki yamaçlardan akan su gibi hareket eder ve rüzgârları meydana getirir. Rüzgârın meydana gelmesine sebep olan hava akımlarının temel sebebi, atmosfer basıncının bölgeler arasındaki farklılıklarından meydana gelir. Rüzgâr yönü daima yüksek basınç alanından alçak basınç alanına doğrudur. İki bölge arasındaki basınç farkı ne kadar büyük olursa, hava akım hızı o kadar fazla olur. Rüzgâr sahip olduğu hıza göre meltem, fırtına, kasırga gibi isimler alır.

Coriolis Kuvveti ekvatorial bölge dışında meydana gelen, hava akımlarının yön değiştirmesi olayıdır. Dünyanın dönmesi sonucu Kuzey Yarım Küre sağa, Güney Yarım Kürede sola doğru bükülme meydana gelir bu bükülme olayına Coriolis kuvveti denir. Bunun sonucunda ekvatorial bölge dışında geniş alanlı basınç ve rüzgâr sistemleri tropikal siklonlar gibi fırtınalar oluşur.

4.1.1 Dünya Rüzgâr Haritası

Rüzgârın oluşmasında en temel etken bölgesel sıcaklık farklılıklarıdır, sıcaklık farklılıkları çeşitli etmenlere bağlı olarak alçak ve yüksek basınç merkezleri meydana getirir. Şekil 1'deki haritada görüldüğü gibi, ekvator bölgesinde genellikle yerel sıcaklık farklılıklarından ve yüzey ısınmasından kaynaklanan rüzgârlar oluşmaktadır. Ekvator bölgesinde rüzgârın daha az olmasının sebebi ısınan havanın ve Coriolis kuvvetin etkili olmamasındandır. Ekvatorda meydana gelen rüzgâr tiplerinin çoğu yerel sıcaklık farklılıklarından meydana gelen rüzgârlardır. Ekvatorda gece gündüz sıcaklık farklılıkları çok olduğundan dolayı genelde meltem rüzgârları hüküm sürmektedir. Dünyanın en rüzgâr alan bölgeleri orta enlemlerdir.



Şekil 1. Dünya Rüzgâr Haritası (Harita: NASA surface meteoroloji and solar energy).

Rüzgâr akımını yeryüzü şekilleri etkilemektedir. Açık denizlerde sürekli rüzgârlar bulunurken karalarda bu sürekli rüzgârlar bulunmayabilir bunun sebebi ise karalarda bulunan yükseltilerdir. Dağlar rüzgâr akışını azaltmakta veya yönünü değiştirmektedir. Bu yüzden rüzgâr türbinleri kurulurken tam dağların zirvelerine değil dağların boğaz kısımlarına kurulmaktadır. Buralarda rüzgâr yönü şiddeti sabittir, çünkü rüzgâr hızını engelleyebilecek alanlar yoktur.

4.1.2 Türkiye'deki Rüzgâr Çeşitleri ve Türkiye Rüzgâr Haritası

Karayel

Ülkemizde kuzey batıdan esen rüzgârdır, genellikle soğuk hava rüzgârı olarak bilinir. Beraberinde sıcaklığın düşmesine ve kar yağmasına sebep olur.

Keşişleme

İstanbul ve Bursa için geçerli olan bir rüzgârdır. İstanbul'un güneyinden esen ve adını da Uludağ'ın eski adından almıştır.

Kible

Güneyden esen çöl sıcaklarını kuzeye taşıyan rüzgârdır. Sıcaklığı artırıcı yönde etkisi bulunmaktadır.

Lodos

Güneybatıdan esen orta enlem ve alçak basınçlarına bağlı olarak oluşan rüzgârın adıdır. Genellikle sıcak hava dalgasını getirir. Türkiye de kış aylarında kıyı bölgelerinde sık görülen bir rüzgâr türüdür.

Poyraz

Ülkemizde kış mevsiminde sık görülür. Rusya ve Sibiryâ üzerinden soğuk kutup rüzgârlarını getirir. Sıcaklığın aşırı olarak düşmesine sebep olur. Bu rüzgâr yaz mevsiminde ise yüksek basınç bölgelerinden Basra üzerindeki alçak basınç alanına doğru ilerleyen deniz üstü hava kütlelerinin Ege ve Türkiye üzerinde sapmaya uğrayarak kuzey doğudan esen poyraza dönüşmüş şeklindedir. Yaz mevsiminde serinletici etkisi vardır.

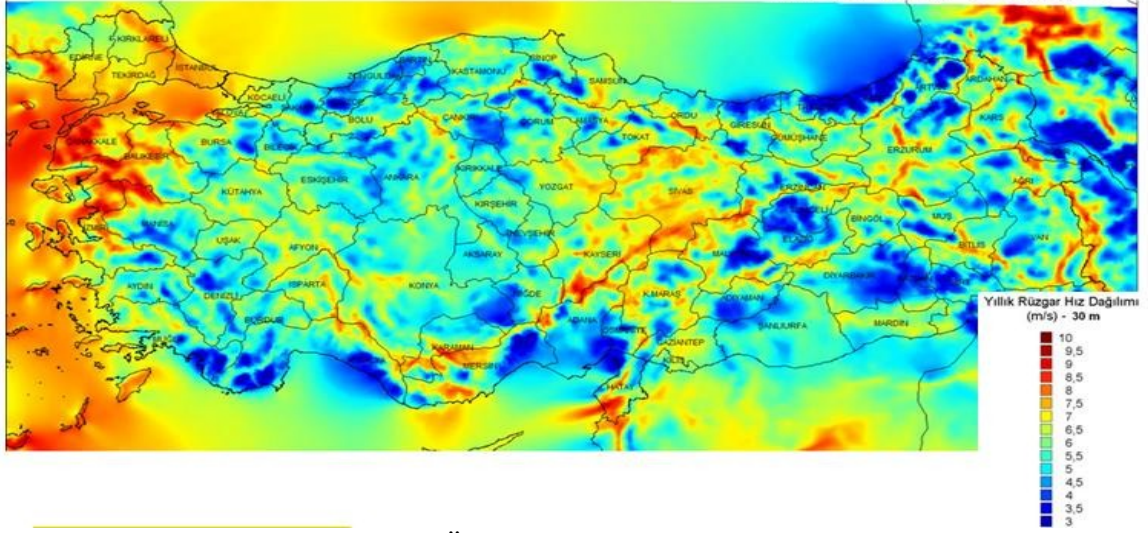
Yıldız

Genellikle Karadeniz tarafında ülkemize gelen rüzgâr çeşididir. Kuzeyden estiği için soğuk hava taşır.

Gün doğusu –gün batısı

Doğudan ve batıdan esen genellikle bölgesel sıcaklık farklılıklarından meydana gelen rüzgâr türüdür.

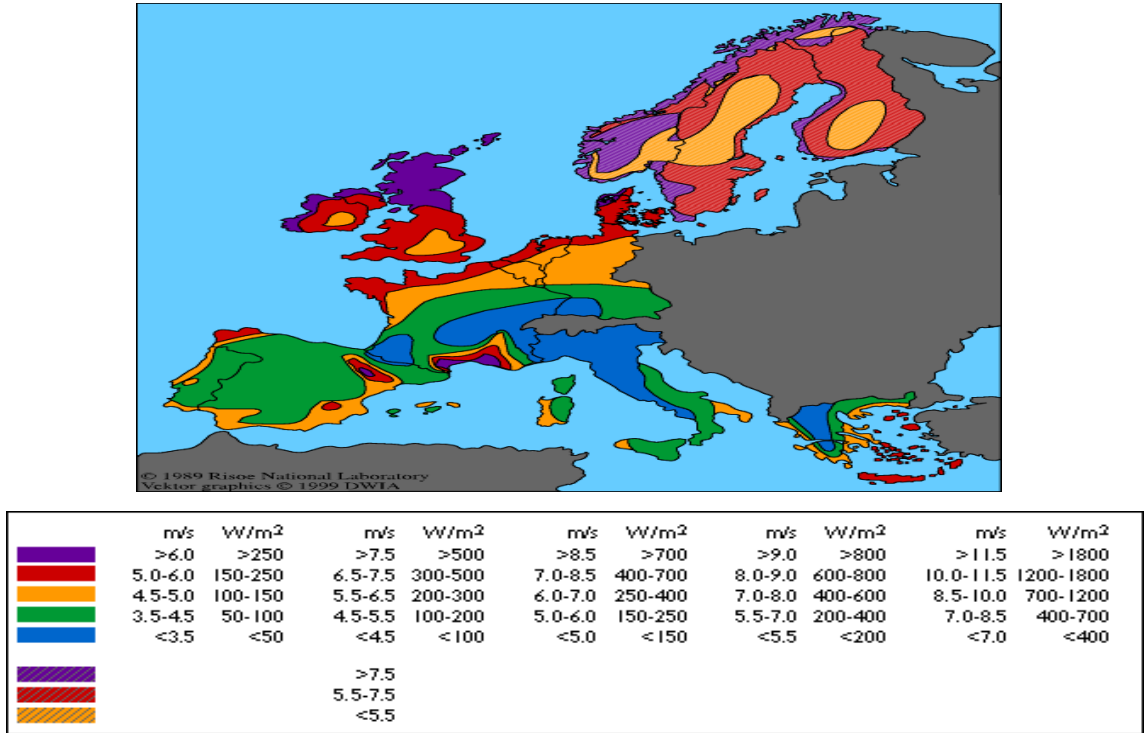
TÜRKİYE RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİ ATLASI
Rüzgar Hızı Haritası
100 m Yükseklikte Yıllık Ortalama



Şekil 2. Türkiye Rüzgâr Haritası (TÜREB, 2009).

Ülkemiz rüzgâr enerji potansiyeli konusunda Avrupa'daki çoğu ülkeden daha ileridedir. Bu potansiyeli değerlendirme konusunda ise Avrupa ülkelerinden geri konumdadır. Şekil 2'de görüldüğü gibi Ülkemizin batı kıyı bölgelerinde rüzgâr potansiyeli daha çok yoğunlaşmıştır. Haritadan Türkiye'nin en çok rüzgâr alan bölgesinin, hem alan bakımından hem de rüzgâr şiddeti bakımından Çanakkale ve çevresi olduğu görülmektedir. 100m yükseklikteki ortalama rüzgâr hızı 10 m/sn civarındadır.

4.1.3 Avrupa'da Rüzgâr



Şekil 3. Avrupa rüzgâr haritası (TÜREB, 2009).

Avrupa'nın rüzgâr potansiyeli Türkiye ile karşılaştırıldığında zaman Türkiye Çanakkale civarındaki rüzgâr çoğu Avrupa ülkesinden (Avrupa kıtası iç kısımlarında bulunan ülkeler) daha verimli konumdadır. Çanakkale yöresinde ortalama rüzgâr 7-8m/sn iken **şekil 3**'de görülen sarı, yeşil, mavi olan bölgelerdeki ortalama rüzgâr hızı daha düşük seviyelerdedir. **Şekil 3**'de görüldüğü gibi Avrupa'nın rüzgâr potansiyeli kuzeyde ve deniz kenarlarıdır. Rüzgâr İngiltere başta olmak üzere Almanya Hollanda Fransa İspanya rüzgâr potansiyeli konusunda verimli olduğu görülmektedir. Ortalama rüzgâr hızının 5,2 m/sn üzerindeki bölgeler türbin kurulma açısından verimli olduğu kabul edilmektedir, türbin yatırım maliyetini kurtarma açısından ekonomiktir. Avrupa ülkeleri bu potansiyeli önceden beri farkında olup değerlendirmiştir. Bu ülkeler geçen 20 yıl içinde kullandıkları elektriğin %30'lara varan kısmını rüzgâr gücünden faydalanarak üretmektedirler (TÜREB, 2009).

4.1.4 Rüzgâr Enerjisi Küresel Durumu ve Türkiye Rüzgâr Enerji Çalışmaları

Rüzgâr gücü, son zamanlarda alternatif enerjiler bakımından kullanımı en çok artan yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olmuştur. Hedef olarak dünya 2020 yılına kadar elektrik enerjisinin %12'sini rüzgâr enerjisinden karşılanması için planlar yapılmaktadır. Rüzgâr enerjisinden üretilen toplam güç 40,301 MW/saat civarındadır. Dünyada rüzgâr gücünden faydalanarak en fazla elektrik üreten ülke Almanya'dır. Almanya rüzgârdan ürettiği elektrik miktarı 14,612 MW/saat'tır. Bu üretim miktarı Almanya'nın elektrik enerjisi ihtiyacının %5,6'sını karşılamaktadır. Rüzgâr gücünden en çok yararlanan diğer ülkeler İspanya, ABD, Danimarka, Hindistan, Hollanda, İtalya, Japonya, Birleşik Krallık ve Çin'dir (TÜREB, 2009).

Rüzgâr enerjisi kullanım avantajları

- 1-Temiz bir enerji kaynağı olması
- 2-Dışarıya atık madde bırakmaz.
- 3-Herkese açık olması dolayısıyla herkes kendi elektriğini kendi üretebilmesi
- 4-Gittikçe güvenilirliğinin artması
- 5-Kurulum maliyetlerini gün geçtikçe azalması
- 6-Hammaddesinin devamlı olması
- 7-Enerjide dışa bağımlılığın ortadan kalkması
- 8-Ekonomik olması
- 9-İş sahalarının açılması
- 10-Uzun ömürlü olması
- 11-Sonsuz bir kaynağa sahip olması
- 12-Diğer enerji türlerine göre maliyetinin düşük olması
- 13- Türbin sahasının başka amaçlarla kullanılabilmesi(tarım-hayvancılık... vs.)

Rüzgâr enerjisi kullanımı dezavantajları

- 1- Rüzgârın devamlı esmemesi
- 2- Kanatların büyük alan kaplaması
- 3- Gürültü kirliliği oluşturması(giderek azalan etki)
- 4- Kuş sürüleri için tehlike arz etmesi
- 5- Her yerde rüzgâr potansiyelinin olmaması
- 6- Taşıma ve naklinin çok zor olması

4.2 Türkiye'deki Enerji Türlerinin Değerlendirilmesi

Türkiye elektriğini tamamına yakını fosil yakıtlarından sağlamaktadır. **Çizelge 1**'de gösterildiği gibi Türkiye 2008 yılı elektrik ihtiyacı 198.000 GWh olarak belirtilmektedir. Aylara göre Türkiye'nin ithal ve ihraç ettiği elektrik miktarı gösterilmektedir. İhraç ettiğimiz elektrik miktarı ithal ettiğimizden çok altında olduğu görülmektedir (Türkiye enerji, su ve gaz işçileri sendikası, 2009).

Çizelge 1. Türkiye'nin 2008 yılında aylara göre harcadığı elektrik miktarı

	Üretim (GWh)	İthalat (GWh)	İhracat (GWh)	Tüketim (GWh)
Ocak	17.888	65	5	17.947
Şubat	16.590	66	27	16.629
Mart	16.519	45	173	16.391
Nisan	15.700	68	125	15.644
Mayıs	16.217	125	80	16.263
Haziran	16.544	48	78	16.513
Temmuz	18.283	81	77	18.288
Ağustos	18.427	34	84	18.376
Eylül	16.074	67	92	16.048
Ekim	14.928	66	122	14.873
Kasım	15.409	66	96	15.380
Aralık	15.750	59	103	15.705
TOPLAM	198.329	790	1.062	198.057

Türkiye ürettiği elektriği jeotermal, rüzgâr ve hidroelektrik santralleri hariç diğer büyük çoğunluğunu fosil yakıtları kullanarak elde etmektedir. **Çizelge 2'**de bu fosil yakıtların başında doğalgaz gelmektedir. Doğalgaz çevrim santrallerinin tercih edilmesinin sebebi kurulumun çok çabuk olabilmesi gaz taşıma konusunda boru hatlarının olmasıdır. İkinci enerji elde etme yolu termik santralleri ile linyit kömürü yakılarak elektriğin elde edilmesidir, bu kirliliği en yüksek olan enerji türüdür. Türkiye kömür konusunda zengin yataklara sahiptir. Bu kömür kalori bakımından yüksek fakat kükürt oranı da yüksek olan kömürdür. Isınma amaçlı yıllarca kullanılmıştır, ancak son yıllarda doğalgaza geçilmeye çalışılmaktadır. Bu, yüksek kükürtlü kömür kireç taşıyla beraber yakılarak termik santrallerde kullanılmaktadır. Kireç taşı kullanmakta amaç dışarıya atılan kükürdü yakalamak ve kirliliği önlemektir. Üçüncü olarak üretim çeşidi hidroelektrik santrallerdir.

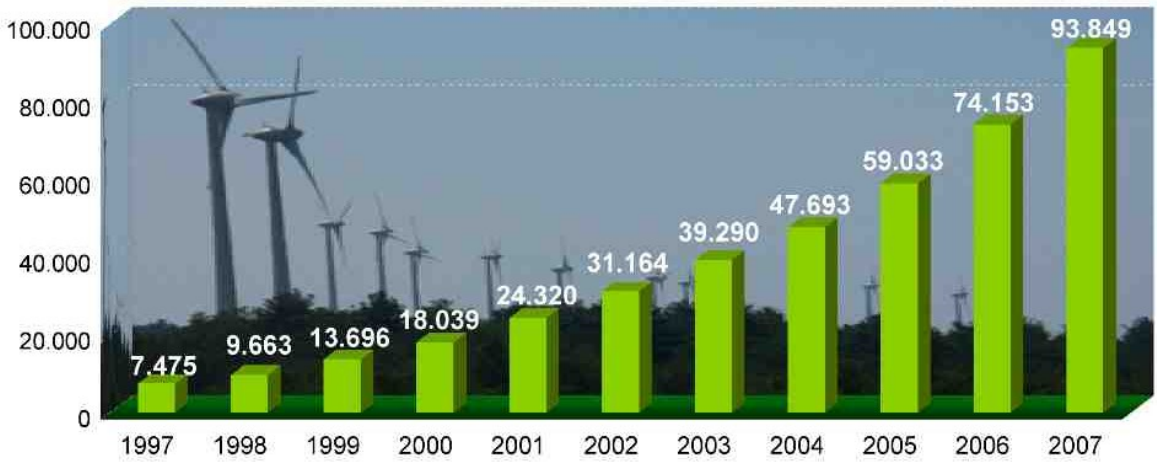
Çizelge 2. Türkiye enerji üretim çeşitliliği, Türkiye 2008 yılında üretmiş olduğu elektriğin, hangi kaynaklardan üretildiği ve bu kaynakların toplam üretimdeki yüzde oranlarını göstermektedir (Türkiye enerji, su ve gaz işçileri sendikası, 2009)

Kaynaklar	Üretim (GWh)	Üretimdeki Payı (yüzde)
Fuel-Oil	9.277	4,7
Motorin	496	0,2
Taş Kömürü	3.052	1,5
İthal Kömür	12.551	6,3
Linyit	41.865	21,1
Doğal Gaz	95.531	48,2
LPG	461	0,2
Nafta	687	0,3
Hidrolik	33.264	16,8
Rüzgâr	797	0,4
GENEL TOPLAM	197.981	99,7

Çizelge 2'de ifade edilen Türkiye elektrik enerjisini teminindeki farklı yöntemlerin oranları gösterilmektedir. Buna göre %50 ye yakını doğalgaz santrallerinden karşılanmaktadır. Dikkat çekici durum alternatif enerji türleri olan jeotermal ve rüzgâr enerjisinin çok az olmasıdır. Rüzgârdan elde edilen elektrik % 0,4 civarındadır.

4.3 Dünya Rüzgâr Enerjisi Durumu

Dünyada 2011 yılına kadar kurulması tahmin edilen rüzgâr santrali 86.000 MW/saat'tir. (2008 yılı sonunda 40.000 MW civarındadır) Sadece 2008 yılında sisteme kapasite ilavesi %26,6 olmuştur. Rüzgâr gücünden faydalanma gün geçtikçe daha da çoğalmaktadır. Yılda 200TWh/yıl ile elektrik enerjisinin %1,3'ü rüzgârdan sağlanmaktadır. 2008 sonunda dünyadaki 90 ülkede 100 000 MW/saat'ten fazla elektrik üreten rüzgâr türbinleri çalışmaktadır. 1990 yılından bu yana çok hızlı bir gelişme gerçekleşmiştir (Blaabjerg ve Chen, 2000).



Şekil 4. Dünya rüzgâr enerjisinin kullanımının yıllara göre değişimi (MW/saat) (TÜREB, 2009).

Türkiye de rüzgâr enerji türbinleri konusunda en yetkili kurumlardan biri Enerji Piyasası Denetleme Kurumu(EPDK)'dır. EPDK Türkiye enerji piyasasını düzenler ve lisans başvurularını kabul eder. Lisansı uygun olan şirketlerin lisansını onaylar. Türkiye de rüzgâr altyapısına uygun yerleri belirler. Türkiye'deki rüzgâr enerjisinin yoğunluk potansiyeli Türkiye'nin elektrik ihtiyacının yarısından fazla kısmını rüzgârdan karşılayabilecek durumdadır. (Türkiye toplam 2008 yılı toplam elektrik ihtiyacı 130,000MW/saat'tir) Fakat elektrik hatlarını uygunluğu konusunda büyük problemler mevcuttur. Rüzgâr türbini kurulması için rüzgâr potansiyeli uygun, saha santrale uygun fakat saha konvansiyonel şebekeye çok uzak veya şebeke santraldeki elektriği kaldıracabilecek durumda değildir. Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı (EİKT)' na

göre Türkiye'nin teknik potansiyeli 80.000 MW dır. Bu, Türkiye'nin kullanması gereken önemli bir rüzgâr enerjisi potansiyeli olduğunu göstermektedir.

4.4 Türkiye' deki Rüzgâr Enerjisi Kaynakları

Türkiye de kurulu olan Rüzgâr Santralleri rüzgâr haritasında gösterildiği gibi rüzgâr alan yerler Çanakkale bölgesi İzmir bölgesi ve Adana bölgesi uygun yerlerdir.. Kurulu olan santraller de buralarda bulunmaktadır. **Çizelge 3'**de 2008 yılına kadar santraller üretime geçiş yılı imalatçı firma türbin sayısı ile üretim miktarları gösterilmektedir.

Çizelge 3. Türkiye Kurulu Rüzgâr Enerjisi Santralleri (Türkiye Elektrik İdaresi Etüt İşleri Müdürlüğü, 2009)

YERİ	ŞİRKET	ÜRETİME GEÇİŞ	GÜÇ(MW)	İMALATÇI	TÜRBİN SAYISI
İzmir - Çeşme	Alize A.Ş	1998	1.5	Enercon	3
İzmir - Çeşme	Güç birliği A.Ş.	1998	7.2	Vestas	12
Çanakkale - Bozcaada	Bores A.Ş.	2000	10.2	Enercon	17
İstanbul - Hadım köy	Sün jüt A.Ş.	2003	1.2	Enercon	2
Balıkesir - Bandırma	Bares A.Ş.	I/2006	30	GE	20
İstanbul - Silivri	Ertürk A.Ş.	II/2006	0.85	Vestas	1
İzmir - Çeşme	Mare A.Ş.	I/2007	39.2	Enercon	49
Manisa - Akhisar	Deniz A.Ş.	I/2007	10.8	Vestas	6
Çanakkale - İntepe	Anemon A.Ş.	I/2007	30.4	Enercon	38
Çanakkale - Gelibolu	Doğal A.Ş.	II/2007	14.9	Enercon	18
Hatay - Samandağ	Deniz A.Ş.	I/2008	30	Vestas	15
Manisa - Sayalar	Doğal A.Ş.	I/2008	30.6	Enercon	38
İzmir - Aliağa	İnnores A.Ş.	I/2008	42.5	Nordex	17

Türkiye’de rüzgâr gücünden faydalanma karlı bir yatırım olarak görülmeye başlandı. Türbin kurmak için yeni sahalara keşfedildi. Bu sahalaraın şebekeye uygun ve rüzgâr potansiyel açısından verimli olanlar yatırımcılar tarafından değerlendirilmektedir. **Çizelge 3**’de Türkiye 2008 yılı sonuna kadar kurulmuş olan rüzgâr türbinlerin kuruldukları yerler, türbini kuran şirket, üretime geçiş tarihi, türbin gücü, türbin markası ve kurulan türbin sayısını vermektedir.

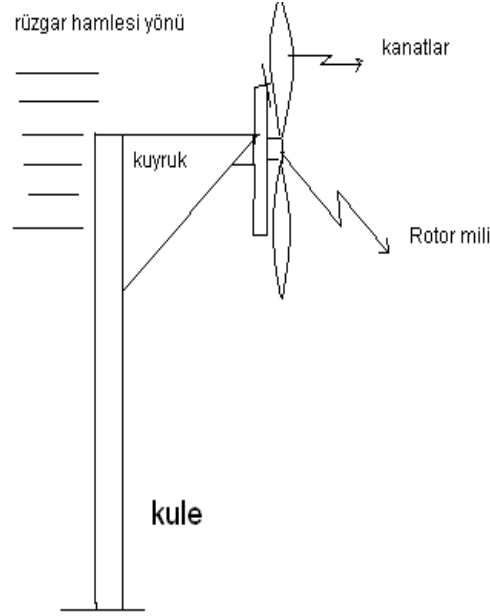
4.5. Rüzgâr Türbin Çeşitleri

Rüzgârdan elektrik elde etmek için türbinlerin kullanım yerlerine göre santrallerin iki grupta incelenmesi daha uygundur. Türbin seçimi rüzgârın özelliklerine göre seçimi yapılmaktadır. Buna en büyük neden rüzgârın esmesinin düzenli olduğu, anlık yön değişiminin (hamle) az olduğu yerlere yatay eksenli rüzgâr türbini kullanılmalıdır. Rüzgârın hamlesinin her zaman değiştiği bölgelerde, düşey eksenli rüzgâr türbini kullanılmalıdır.

4.5.1. Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri

Bu türbinlerde dönme eksenini rüzgârın esme yönüne paraleldir. Kanatları ise rüzgâra doğru dik durmaktadır. Ticari olan türbinler yatay eksenli olan türbinlerdir. Bu tip türbinlerde elektrik üretmek için kullanılan jeneratörün hareket eden kısma (rotor) bağlı olan kanatlar rotor miline dik konumdadır. Rotor mili ise bir dişli kutusuna veya direkt jeneratöre bağlıdır. Ancak dişli kutusu olmayan türbin çeşitlerinde rotor mili direkt jeneratöre bağlıdır. Burada dişli kutusunun işlevi jeneratör tasarım hızının yüksek olan çeşitlerinde devri jeneratörün çalışma hızına ulaştırmak için kullanılmaktadır. Dişli kutusu olan türbinlerin jeneratörlerin devri 1000dev/dk’nın üzerindedir. Rotor mili 40dev/dk dönerken arkadaki jeneratör dişli kutusundan dolayı 2000 dev/dk devir yapmaktadır. Yatay eksenli rüzgâr türbinlerin kuleleri 60m ve üzerinde olmaktadır. Kulenin rüzgârı iyi yakalayabilmesi için kuyruk sistemi veya kuleyi otomatik olarak döndürecek motorlar vardır. Kuyruk sistemi genellikle 10kW/saat altındaki rüzgâr türbinlerinde kullanılmaktadır. Küçük türbinlerde elektrik motoru ile kulenin döndürülmesi sisteminin kullanılmamasının sebebi motorların enerji kaybına neden olmasındandır.

Büyük türbinlerde ise kuyruk sisteminin kullanılmamasının sebebi ise çok büyük kuyruk sistemi uygulanmalı, bu durumda kuleyi hem ağırlık bakımından hem de titreşim bakımından tehlikeye sokmaktadır. Ancak rotor kanatlarının rüzgârı arkadan alan tipleri de vardır. Bu tiplerde kuyruk sistemi kanatlar ile kule arasında bulunmaktadır. **Şekil 5**'de rüzgârı arkadan alan rüzgâr türbinin şekli bulunmaktadır.



Şekil 5. Rüzgârı Arkadan Alan Türbin.

Kanatlar kulenin arkasında kalmaktadır, kule enerji kaybına neden olmaktadır. Bu enerji kaybı kulenin rüzgârın önüne geçmesinden dolayı bir kanadın türbine kattığı gücü yok etmektedir. Bu da %10 civarında enerji kaybına yol açmaktadır. Yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde kanat sayısı genellikle 3 adettir. Çok kanatlı olanları olduğu gibi sadece bir adet kanada sahip olanlarda vardır. Çok kanatlı türbinlerde tork fazla elde edilirken, kanatların birbirini perdelemesinden dolayı verim düşmektedir. Bu tip türbinler genellikle su pompalama işlerinde kullanılır. Kanat sayısı arttıkça tork artar verim düşer bunun yanında titreşimde azalır. Kanat sayısı azaldıkça verim artar ancak titreşimde artar. 3 kanatlı olanlar en idealdir. Titreşim normal seviyede olduğu durumdur. Titreşimin fazla olması istenmeyen bir durumdur. Kulenin rezonansa gelip yıkılmasına neden olmaktadır. Aynı zamanda kulenin yapım malzemesini yorarak ve çabuk deforme olmasını sağlar. Türbinlerde kanat tasarlanırken kant uç hızının bilinmesi gerekmektedir. Kanat uç hız oranı

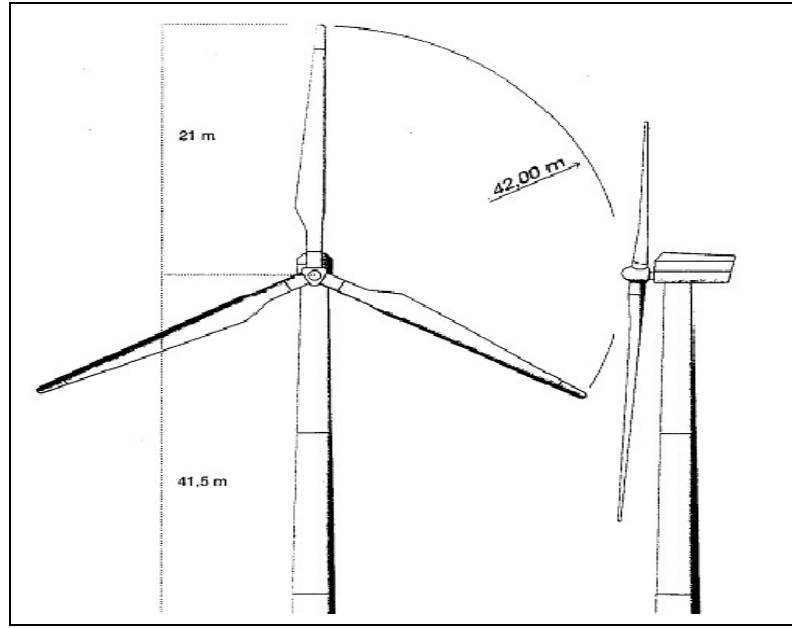
(λ); rüzgâr hızının rotor kanadının boyunun uç hızına bölünmesiyle elde edilen sonuca denilir. Genellikle kanat sayıları (λ)' ya göre belirlenir (Nurbay, Çınar, 2007).

$\lambda = 1-5$ arasında ise çok kanatlı

$\lambda = 6-8$ arasında ise 3 kanatlı

$\lambda = 9-15$ arasında ise 2 kanatlı

$\lambda \geq 15$ arasında ise tek kanatlı olarak rüzgâr türbinleri tasarlanır.



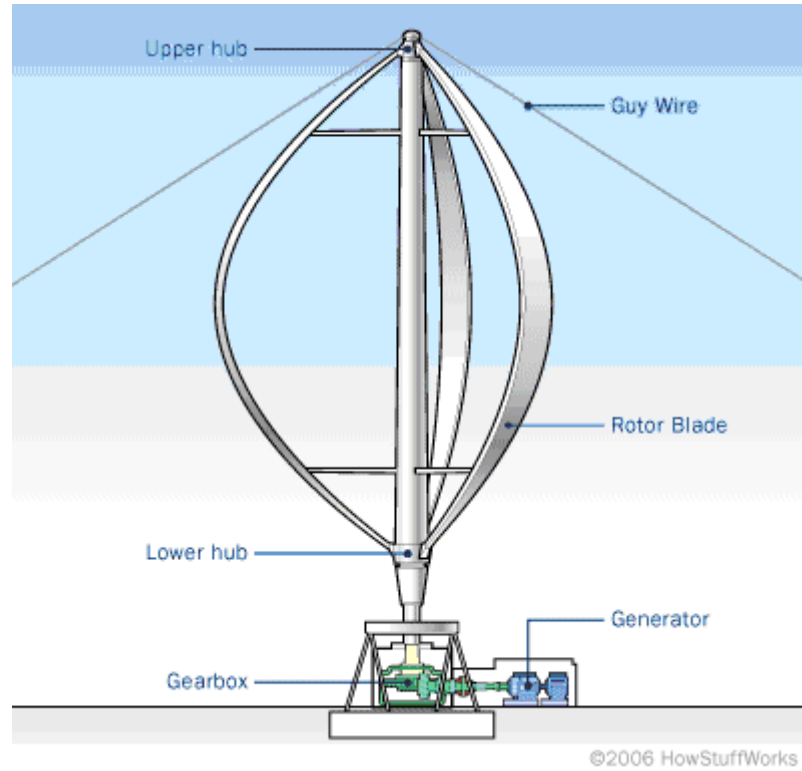
Şekil 6. Yatay eksenli rüzgâr türbinleri.

4.5.2. Düşey Eksenli Rüzgâr Türbinleri

Rotor kısmı rüzgâr yönüne doğru dik konumda olan türbinlerdir. Yani yere doğru düşey yöndedir. **Şekil 7'**de dönme eksenleri rüzgâr yönüne dik olan bu türbinlerin kanatları da rüzgâr yönüne diktir. Verim ise % 25 civarlarındadır. Bu tip rüzgâr türbinleri rüzgârın girdap yaptığı düzensiz olduğu bina aralarında ağaçlık alanlarda kullanılmaktadır. Büyük rüzgâr hızlarında rüzgârı sönmülediğinden dolayı rüzgâr hızına göre verimi yatay eksenlerdeki gibi artmamaktadır. Bunun için büyük rüzgâr türbinlerinde kullanılmamaktadır.

Avantajlı yönleri:

- Jeneratör ve dişli kutusu tabana yerleştirildiğinden dolayı türbin kule masrafı olmaz
- Rüzgâr yönüne döndürme olmadığından dolayı kuyruk sistemine ihtiyaç yoktur ve kuyruktan kaynaklanan enerji kaybı yoktur.
- Bütün parçalar yerde olduğundan bakımı kolaydır.
- Jeneratör yerde olduğundan dolayı enerjinin aktarılması kolaydır.



Şekil 7. Düşey Eksenli Rüzgâr Türbini.

4.5.3. Darrieus Tipi Rüzgâr Türbinleri

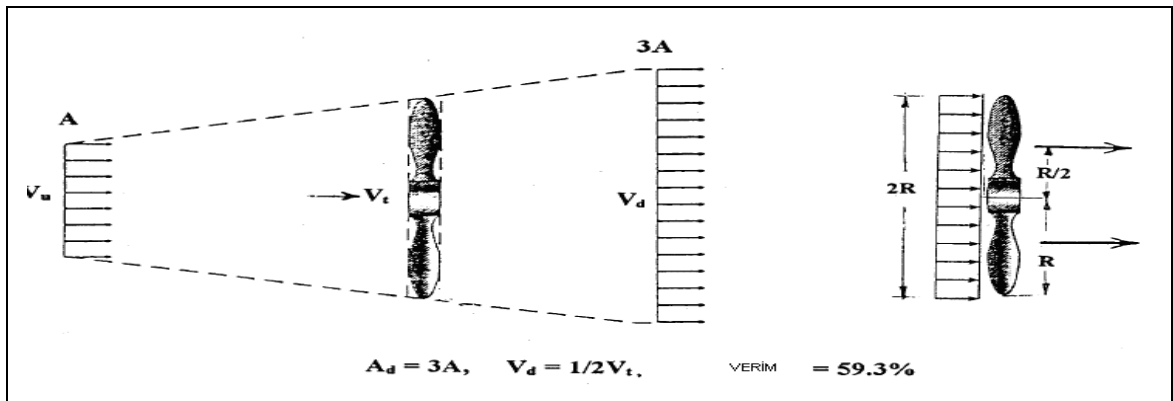
Bu tip rüzgâr türbinlerinde düşey eksenli olanlardan farkı **Şekil 8**'deki gibi kanatların yerden bir kule yardımıyla yükseltilmesidir. Diğer tiplere göre avantajlı gözükmemektedir. Kanatlar yaklaşık olarak türbin mili (Kule) uzunluğunda bir elips oluşturacak şekilde içe doğru tasarlanmıştır.



Şekil 8. Darrieus Tipi Rüzgâr Türbini. (Blaabjerg, Chen, 2000)

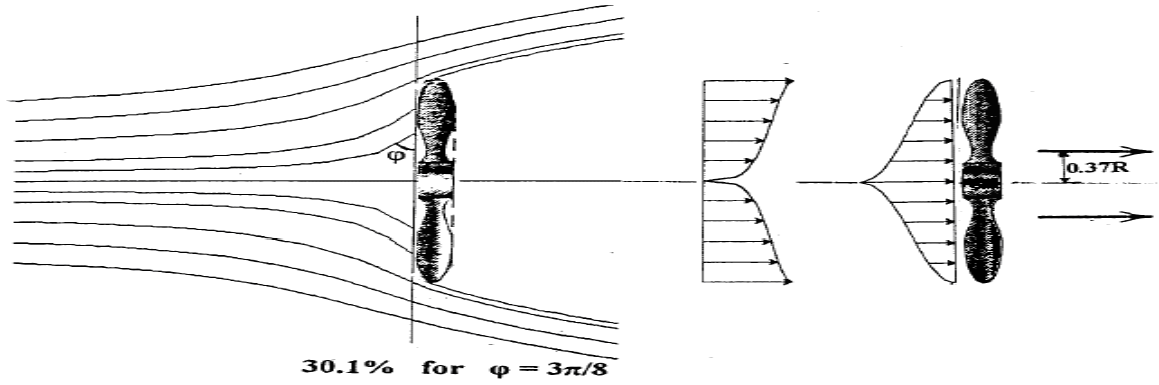
4.6. Rüzgâr Türbinin Verimi

2 türlü verim hesaplama yöntemi vardır. **Betz** kuralı ve **Cgs** kuralı, Betz kuralı verimi %59 olarak hesaplamaktadır, ancak pratikte durum böyle değildir. Rüzgârın taşıdığı gücün tamamı enerjiye dönüştürülememektedir. BETZ kuralındaki % 59 verim bile yakalanamamaktadır. Bunun sebebi kanatlardaki verim kaybıdır, bunun yanında tamamını yakalayabilecek kanat tasarımı da yoktur. En ideal verim hesabı CGS modelindeki verim hesabıdır. CGS modeli verimi % 30 civarında olacağını hesaplamaktadır (Burton, Sharpe, Jenkins, Bossany, 2000).



Şekil 9. Rüzgâr türbin kanadında verimi için BETZ modeli.

Betz kuramı ve CGS modeli arasındaki fark, CGS modelinde rüzgârın pervanede dışa doğru bükülmesinin hesaba katılmasıdır. Betz kuramı %59 verim tahmin ederken, CGS modeli %30 tahmin etmektedir. Genelde Betz kuramı çerçevesinde bu gücün %59'unun kullanılabilceği varsayılır. Fakat daha detaylı bir hesap ile bu enerjinin % 30 civarında bir kısmının kullanılabilceğini söylemek mümkündür. Betz kuramının gözden kaçırdığı hatası rüzgârın pervanenin etkisi ile bükülüp kaçmasını gerektiği gibi hesaba katmamaktadır (Burton, Sharpe, Jenkins, Bossany, 2000,).



Şekil 10. Rüzgâr türbin kanadında verimi için CGS modeli.

CGS modelinde hesaplama yöntemi pervanelerin rüzgâr itme gücü ile büküldüğünü ve bir açı yaptığı kanıtlanmıştır. Bu açının olması verimin düşmesine sebep olmaktadır. Bu açı yok edilmesi için yüksek mukavemette kanatlar yapılmalı fakat burada bir sorun vardır. Kanatlar esnek olmalıdır. Esnek olmayan kanat titreşim sonucunda çabuk kırılmaktadır. Bundan dolayı esnek kanatlar kullanılır ve verimden düşmesi düşünülmez. Bu kaçan verimi yakalamak için kanatların arkasına tersine dönebilecek pervaneler yerleştirilmektedir. Bu durum ağır nakliye helikopterlerinde de bulunmaktadır. Bu helikopterlerde 2 adet kanat gurubu bulunmaktadır. Altta olan kanat gurubu normal yönde dönerken 2.kanat gurubu üstte tersine doğru dönmektedir. Bu durum ağır yük kaldırması için idealdir. Tek kanatlı gurup olsaydı büyük kanatlara ihtiyaç olacaktı. Aynı durum rüzgâr türbinlerinde de vardır. Ancak pek yaygın değildir.

4.7. Rüzgâr Türbinlerinde Kanatlara Gelen Enerjinin Dönüşüm Hesapları

Türbinin farklı yönlerine rüzgâr tarafından farklı basınç kuvveti uygulamaktadır. Türbinler kurulmadan önce bu basınç mukavemet testlerine sokulurlar. Çok aşırı rüzgâr hızlarında yüksek titreşimler meydana gelmektedir. Türbinin rezonansa gelmemesi için kanat kendini korumaya alarak bu güçlerden korunmaya çalışır. Rüzgâr havanın yoğunluğuna bağlı olarak ağırlığının etkisiyle kuvvet uygulamaktadır. Dolayısıyla rüzgârın taşıdığı güç şu formül ile hesaplanır. Rüzgâr hava moleküllerinden meydana gelmektedir, bu hava molekülleri bir ağırlığa sahiptir. Bu hava molekülleri bir potansiyel enerjiye sahip olduğundan, hareket etmesi sonucunda kinetik enerjiye dönüşmektedir. Yoğunluğa sahip havanın hareketi sonucunda taşıdığı güç aşağıdaki formül ile hesaplanır (Burton, Sharpe, Jenkins, Bossany, 2000,).

$$P = \frac{1}{2} \rho A V_r^3 \quad (4.1)$$

P= güç,

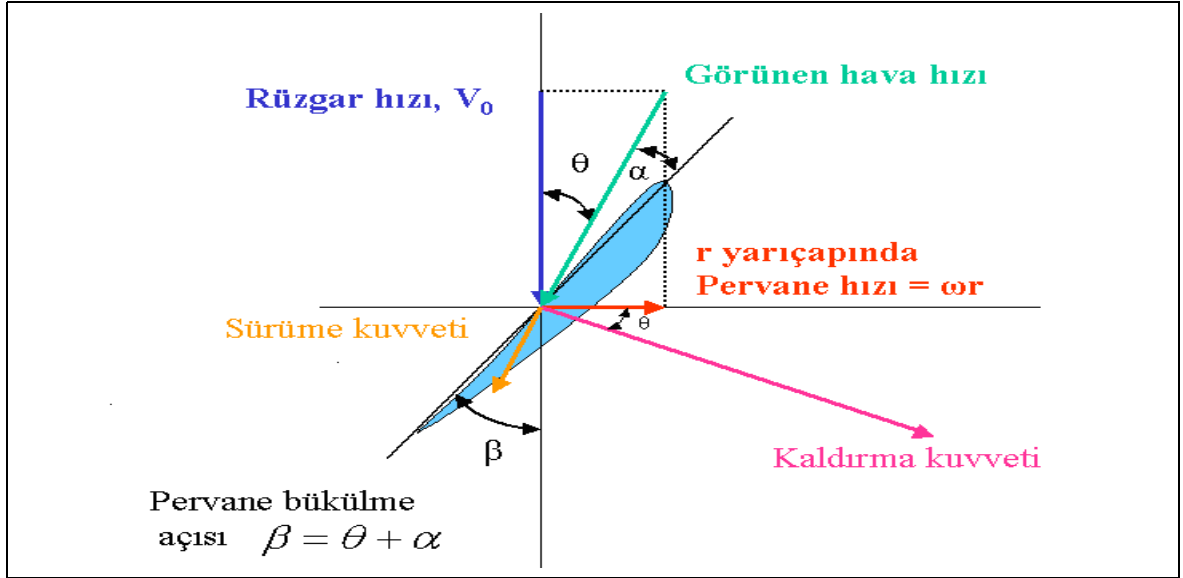
A=pervanenin taradığı alan (R pervane yarıçapı)

$$A = \pi R^2 \quad (4.2)$$

V_r = rüzgâr hızıdır.

ρ= 1.225 Kg/m³ havanın deniz seviyesindeki yoğunluğudur.

Rüzgâr türbinleri kış aylarında, soğuk havalarda daha verimli çalışmaktadır. Bunun sebebi ise havanın yoğunluğudur. Soğuyan hava daha yoğun hale gelmektedir. Sıcakta genişleyen havanın yoğunluğu azalmaktadır. Bir rüzgâr türbinin kanadına gelen rüzgârın kanatta etkilediği kuvvetler **şekil 11**'de gösterilmiştir.



Şekil 11. Türbin kanadına etki eden kuvvetler (F. N. DEMİR.2007).

Türbinde en önemli yer rotor kanatlarıdır. Çünkü gelen rüzgâr en verimli şekilde enerji dönüşümü yapılmalıdır. Bunun için çok değişik biçimde kanat dizaynları yapılmıştır. Kanat tasarımı yapılırken bilinmesi parametreler; kanat uç hız oranı, kaldırma ve sürüme katsayılarının bilinmesi gerekmektedir. Kaldırma ve sürüme katsayıları her kanat sitilinin belirleyici özelliğidir. Katsayı değerleri ne kadar yüksek olursa, o oranda verimlilik artmaktadır. Sürüme kaldırma kuvvetlerinin bileşke kuvveti kanatların dönmesini ve bir tork meydana getirmesini sağlamaktadır. Katsayı parametreleri bilindiği zaman yapılan kanadın ne kadarlık bir tork elde edileceği bilinir ve ona göre de jeneratör tasarımı yapılmaktadır. Kaldırma ve sürüme kat sayılarını iki farklı yöntemle hesaplanmaktadır. Bunlar kanadın minyatürünün hava tüneline hazırlanması ve hesaplarının yapılması, diğeri ise, akışkanlar mekaniği tekniğinin kullanılarak katsayıların hesaplanmasıdır.

C_L (kaldırma katsayısı) ve C_D (sürüme katsayısı) katsayıları kanat kesitinin şekline çok bağlıdır. Türbin kanatları bu yüzden keskin hatlara sahip değildir. Oval yüzeyler daha verim sağlamaktadır. Olay tamamen rüzgâr ile kanatların etkileşiminde momentum enerji aktarımıdır. Kaldırma kuvveti açısının tanjantı açılal hız ile pervane boyunun çarpılması ile rüzgâr

hızına bölünmesi ile bulunur.

$$\tan(\theta) = \frac{\omega r}{V_0} \quad (4.3)$$

$$\beta = \alpha + \arctan\left(\frac{\omega r}{V_0}\right) \quad (4.4)$$

$$C_L(\alpha) = \sin(2\alpha)$$

$$C_D(\alpha) = 2\sin^2(\alpha) \quad (4.5)$$

Kanatları döndürecek olan İtme kuvvet, kaldırma ve sürüme kuvvetlerinin bileşkesinin dönme düzlemine izdüşümü alınarak hesaplanır. Eşitlik (4.6)'de kaldırma kuvveti

$$D = \frac{1}{2} \rho A (V_0^2 + \omega^2 r^2) C_D(\alpha) \quad (4.6)$$

Eşitlik (4.7)'de sürüme kuvveti verilmiştir.

Eşitliklerde verilen (α) kanat ile gelen rüzgâr arasındaki eğimdir.

$$L = \frac{1}{2} \rho A (V_0^2 + \omega^2 r^2) C_L(\alpha) \quad (4.7)$$

Eşitlik (4.6) ve (4.7) 'den bileşke kuvvetleri alındığında pervaneye etki eden itme kuvvetini Eşitlik (4.8)'deki eşitlik bulunur. İtme kuvveti pervanenin dönmesini sağlayan kuvvettir.

$$F_{itme} = L \cdot \cos \theta - D \cdot \sin \theta \quad (4.8)$$

Açıya bağlı olarak C_L (Kaldırma katsayısı) ve C_D (Sürüme katsayısı) veren Eşitlikler(4.6) ve(4.7)'de verilmiştir.

Tork; kuvvet ile yolun çarpımından hesaplanır. Tork kuvvetin döndürmeye olan etkisi olarak hesaplanmaktadır. Burada rüzgâr kuvvetinin pervaneyi döndürme gücü olarak tanımlanabilir.

$$\tau = r \times F_{itme} \quad (4.9)$$

Trigonometri yardımı ile açıların sinüs ve cosünüs değerlerinin rüzgâr hızı ve yarıçapa bağlı olarak değişim formülü hesaplanır, Eşitlik (4.10) ve (4.11)'de bu formüller verilmiştir.

V_0 rüzgârın kanatlara gelmeden önceki hızını vermektedir.

$$\cos(\theta) = \frac{V_0}{\sqrt{V_0^2 + \omega^2 r^2}} \quad (4.10)$$

$$\sin(\theta) = \frac{\omega \cdot r}{\sqrt{V_0^2 + \omega^2 r^2}} \quad (4.11)$$

Bu durumda alan yerine (4.12)'deki eşitliği yazarsak $G(r)$ kanatın r yarıçapındaki genişliği olmak üzere.

$$A = G(r) dr \quad (4.12)$$

Toplam tork eşitlik (4.13) de verilen eşitlik ile elde edilir. İntegral alınmasının sebebi; (r) yarıçapındaki küçük bir kesit için kaldırma kuvvetini bulundu eğer pervane için 0- R uzunluğuna kadar hesaplama yapmak için, bu alanda tork kuvvetinin integral alınmalıdır.

$$T = \int_{r=0}^{r=R} \frac{\rho G(r) \sqrt{V_0^2 + \omega^2 r^2}}{2} [V_0 \sin(2\alpha(\omega, r)) - 2\omega r \sin^2(\alpha(\omega, r))] dr$$

(4.13)

Çözüm için eşitlik (4.14) deki çözüm için yarıçap fonksiyonunu alırsak, integralin çözümüne ulaşabiliriz. Eşitlik (4.14); eşitlik (4.13)'ün çözümü için verilen integral çözüm fonksiyonudur.

$$\alpha(\omega, r) = \beta - \arctan\left(\frac{\omega \cdot r}{V}\right)$$

(4.14)

Eşitlik (4.14) deki integralin çözülmesi sonunda rüzgâr gücünün bir kanadına etki eden gücünün eşitliği bulunur. Eşitlik (4.15) bir kanadın dönmeye karşı etki eden güçtür.

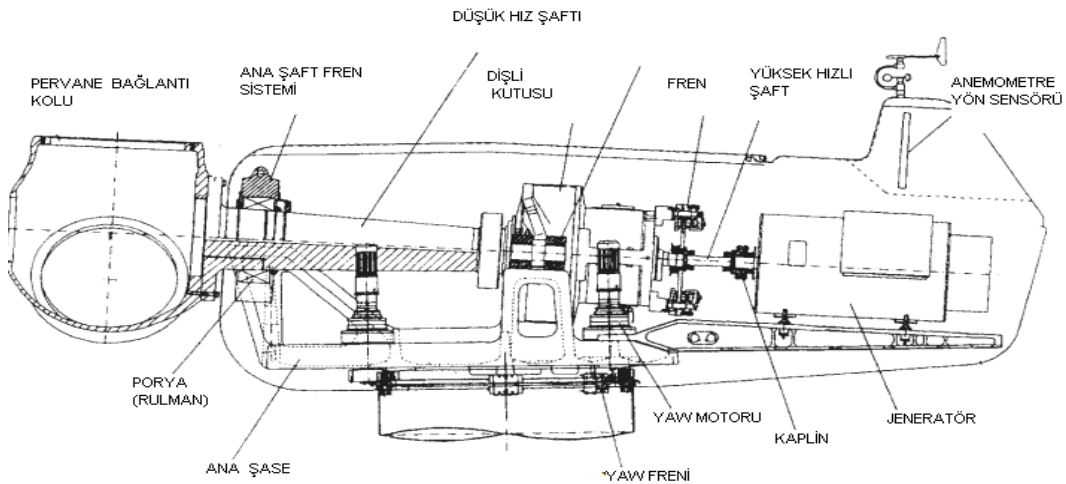
Toplam güç

$$P = \omega \cdot T$$

(4.15)

(Burton, Sharpe, Jenkins, Bossany, 2000)

4.8. Jeneratör Seçimi ve Şebeke Bağlantısı



Şekil 12. Bir rüzgâr türbininin jeneratör kabini şeması.

Yatay eksenli rüzgar türbini jeneratör kabini içerisinde aşağıdaki elemanlar bulunmaktadır.

- Jeneratör
- Dişli kutusu (olmayanlarda mevcuttur.)
- Fren sistemi
- Ana şaft
- Hızlı mil
- Kanat bağlantı elemanı
- Kanatlar
- Kabin
- Kontrol motorlarından oluşmaktadır.

4.8.1 Jeneratör

Rüzgâr enerji sistemlerinde kullanılan jeneratör, verdiği elektrik türüne göre alternatif veya doğru akım jeneratörleri olabilir. Alternatif jeneratör dalgalı volt, doğru akım jeneratörü ise sabit voltaj verir. Buradan elde edilen elektrik düzensiz voltaja sahip olsa bile, bazı elektronik devre elemanları sayesinde şebekenin kullanmış olduğu düzenli akım ve voltaja dönüştürülebilir. Doğru akım jeneratörleri, alternatif akım jeneratörlerine göre pahalı olduğundan dolayı büyük güçlerdeki rüzgâr enerji türbinlerinde kullanılmamaktadır. Bir başka doğru akım jeneratörü ise sadece küçük rüzgâr türbinlerinde kullanılmaktadır, burada amaç akülerin şarj edilmesinde doğru akım kullanılır ve bu yüzden doğru akım jeneratörleri kullanılmaktadır. Bu jeneratörlere örnek olarak elektrikle çalışan elektrikli motosikletlerin dinamoları aynı zamanda bir jeneratör görevi de yapabilirler, mili döndürüldüğü zaman doğru akım veren bir jeneratör görevi görmektedir. Direk şebekeye bağlı olan sistemlerde; alternatif akım jeneratörü kullanılmaktadır. Bunlarda da senkron ve asenkron olmak üzere 2 tip jeneratör kullanılabilir. Dişli sistemlerdeki kayıplar veya gürültünün önlenmesi amacıyla çok kutuplu jeneratör olan dişli sistemi olmayan jeneratörlerde kullanılmaktadır (Blaabjerg, Chen 2000).

Kutup: bir jeneratör manyetik alan içinde kalan bobin sarımların, her birinin artı ve eksi uçları bulunur bu uçlar jeneratör kutusu içerisinde bir biri ile bağlanabildiği gibi, ve bağlama sonucunda 2 veya 3 çıkış ucu alınabilir. Bunun yanında bu sarımların uçları

jeneratör kutusu dışına ayrı, ayrı çıkarılabilir. Dışarıya çıkarılan uç sayısı fazla olan jeneratörlere çok kutuplu, 2 veya 3 ucu çıkarılan jeneratörlere az kutuplu jeneratörler denir. Az kutuplu jeneratörler her kutupta bir büyük mukavemet gösterdikleri için büyük titreşim ortaya çıkarırlar buda gürültüye sebep olmaktadır. 2 ve 3 kutuplu jeneratörler çok gürültülü ve titreşimli jeneratörlerdir. Bu titreşimi önlemek için jeneratör içindeki kablo sarımlarını (bobinler) rotora göre eğik şekilde sarılmaktadır. (Gürültülü jeneratörlerde bobin sarımları manyetik alan yönüne dik sarılmaktadır). Bu da çok kutuplulara göre yinede titreşimli sayılırlar. Çok kutuplularda bu mukavemet 80 veya 90 kutuptaki bölüme ayrıldığından titreşim sönülmemiş olur. Bu kutuplar sonra köprü diyotlar aracılığı ile (artı, eksi) doğru akıma dönüştürülüp tekrar invertör denilen parça yardımıyla iki veya üç faza dönüştürülmektedir. Bunların stator kısmı diğerlerine göre çok daha büyük olmaktadır. (stator; jeneratörde hareketsiz parçaların bulunduğu kısma denir.)Sebebi ise frekansının saniyede 50hz ulaşmak için çizgisel hızlarının(çizgisel hız; manyetik alan içindeki sarımların geçiş hızlarıdır. Jeneratör dönme hareketi sonucunda elektrik ürettiğinden dolayı, bir çizgisel hız yapmaktadır.) ve kutup sayılarını büyük olması gerekmektedir. Buna örnek olarak Alman firması Enercon tarafından üretilen E-40 modelleri dişli kutusu olmayan ve 84 kutuplu olan rüzgâr jeneratörleridir. Bunlar direk olarak pervane miline bağlı olup 1dk da, 38 devirde 500 kw/saat güce ulaşmaktadırlar (Blaabjerg , Chen 2000)

4.8.2. Fren sistemi (türbin kontrol sistemi)

Rüzgârdaki gücün değişimi anlık olduğundan ve güç olarak rüzgar hızının küpü oranında arttığından dolayı düzenli hale getirilmesi gerekmektedir. Yüksek hız koşullarında belli başlı iki yöntem kullanılmaktadır.

1; Aerodinamik verimin değiştirilmesi

- Kanat açısını değiştirmek veya kanat uçlarını ters yönde döndürerek yavaşlatmak
- Sabit devirde çalıştırmak (otomatik şanzıman kullanılarak yapılmaktadır.)

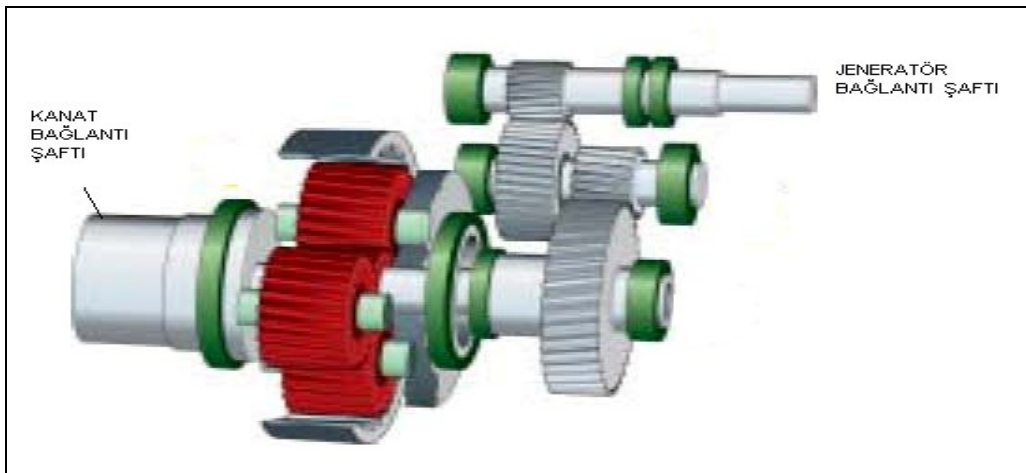
2; Kanatların rüzgâr ile etkileşim içinde olduğu alanı küçültmek

- Rotoru hakim rüzgâr yönüne dik konumdan uzaklaştırmak.
- Rotor geometrisini değiştirmek (kanatların verimli olan şeklinden verimliliğin azaltılması)

4.8.3. Rotor

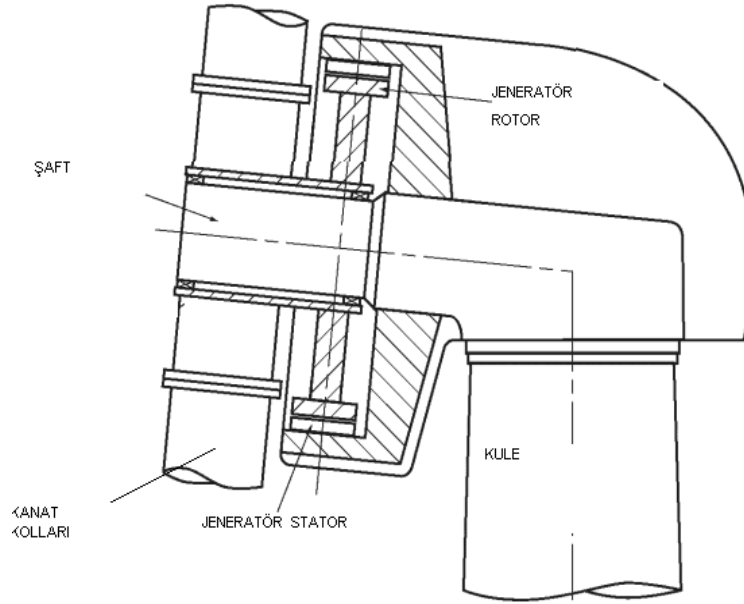
Rüzgâr türbinlerinin kanatları; alüminyum, titan, çelik, elyaf ile güçlendirilmiş plastik(cam elyafı, karbon elyafı ve aramid elyafı) ve ağaçtan yapılmaktadır. Modern rüzgâr türbinlerinin kanatlarının tamamına yakını cam elyafı ile güçlendirilmiş polyester veya epoksi ile, cam elyafıyla plastikten üretilirler. Çelikten üretilen kanatların bükülmeye dayanımı çok iyidir. Fakat çelik belli bir zaman çalıştıktan sonra özelliğini kaybetmektedir. Bu özelliğinin kaybolması olayına çeliğin yorulması olarak adlandırılmaktadır. Alüminyum kanatlar çeliğe göre daha hafiftir. Yorulma dayanımları daha iyidir ve korozyona(paslanmaya) daha dayanıklıdır. Alüminyum malzemenin zayıf noktaları; yüzeyi düz olan alüminyum malzemenin burkulması ve tekrar eski şekline dönmemesi, esnekliğinin zayıf olması, imalat tekniğinin zor olması ve diğer malzemelere göre pahalı olması gibi özellikler sıralanabilir. Cam elyafın kopma mukavemeti; 420 N/m² St52 çeliğin kopma mukavemeti 520 N/m²ye yakındır. Karbon elyafı ile güçlendirilmiş epoksi plastik malzemenin kopma mukavemeti ise 550 N/m² ile çelikten daha güçlüdür(1) Helikopter pervanesi ve uçak kanatları bu malzemeden yapılmaktadır. Fakat bu malzemenin de bir eksiği vardır, esneme olayının çok az olmasıdır, uzun pervanelerde esneme olayını olmaması kanatların kırılmasına sebep verebilir bunun yerine uzun ve büyük kanatlarda cam elyafı yerine daha elastik olan karbon elyafı ile güçlendirilmiş epoksi malzeme kullanılır. Fakat bu pahalı bir malzemedir. (Burton, Sharpe, Jenkins, Bossany, 2000)

4.8.4. Dişli Kutusu



Şekil 13. Bir rüzgâr türbininde devri artırıcı dişli kutusu.

Kanatlardaki enerji, jeneratöre bir dişli sistemi ile aktarılır bu dişli sistem pervane milinin devir sayısını jeneratörün gerek duyduğu devir sayısına çıkarır. Örneğin Nortex firması tarafından üretilen dişli kutusu (n 54) 1 MW gücündeki rüzgâr türbinlerinde dişli kutusunun kanat bağlantı şaftı ile jeneratör şaftı arasındaki devir oranı 1/70'dir. Kanatlar bir kez tur attığı zaman arkadaki jeneratör 70 kat daha hızlı dönmektedir. Bu türbinlerin jeneratörlerinde rüzgâr hızına göre otomatik olarak devreye giren 6 ve 4 kutup söz konusudur. 6 kutup devrede olması durumunda kanatlar dakikadaki devir sayısı 14 ve jeneratör milinin dakikada devir sayısı 1000 ve türbin gücü 200 kW/saat olurken; 4 kutubun devrede olması durumunda jeneratör milinin dakikadaki devir sayısı 1500 dev/dk ve türbin gücü 1000kW (1 MW) olmaktadır.



Şekil 14. Dişli kutusu olmayan bir rüzgâr türbininin içyapısı.

4.8.5. Türbinde Kullanılan Jeneratör Çeşitleri

Rüzgâr türbinleri jeneratör yapısına göre senkron veya asenkron jeneratörlerle ve bu jeneratörlerin şebekeye doğrudan veya dolaylı yoldan bağlanmasıyla tasarlanır. Türbinler jeneratörün şebekeye bağlantı şekline göre çeşitli şekillerde seçilir. Doğrudan şebeke bağlantılı sistemlerde 3 fazlı A.C jeneratörler kullanılır. Rüzgâr türbin jeneratörü gerekli voltaj ve frekans düzenlemesi yapıldıktan sonra konvensiyonel şebekeye (evlerde

kullanılan elektrik şebekesi) doğrudan bağlanır. Çünkü konvensiyonel şebekeyi havuz gibi düşünürsek şebekede olan elektrik 3 fazlı elektrik kabul etmektedir. Bu jeneratörlerde de volt ve faz ayarlama elemanları bulunur fakat bunlar AC akımı DC akıma çevirmeden direk olarak düzenleyerek şebekeye verirler. Endirekt şebeke bağlantılı sistemle de üretilen gerilim çeşitli ara birimlerden geçirildikten sonra şebekeye uyumlu hale getirilir. Bunlarda AC akım üreten jeneratör diyotlarla DC akıma çevrilip sonra tekrar şebeke ile aynı fazda ve genliğe dönüştürülerek AC voltaja çevrilir. Rüzgâr türbinlerinde kullanılan senkron jeneratörlerindeki doğru akım şebekeden alınan besleme ile sağlanır. Şebekeden alınan A.C doğrultularak D.C ye çevrilir. Daha sonra rotorun sargılarına fırçalar aracılığı ile iletilir. Jeneratörün kutup sayısına ve dönüş hızına bağlı olarak istenen frekansta gerilim üretilir. Aşağıda kutup sayısı ve dönüş hızına bağlı olarak frekans oluşumu tablosu verilmiştir.

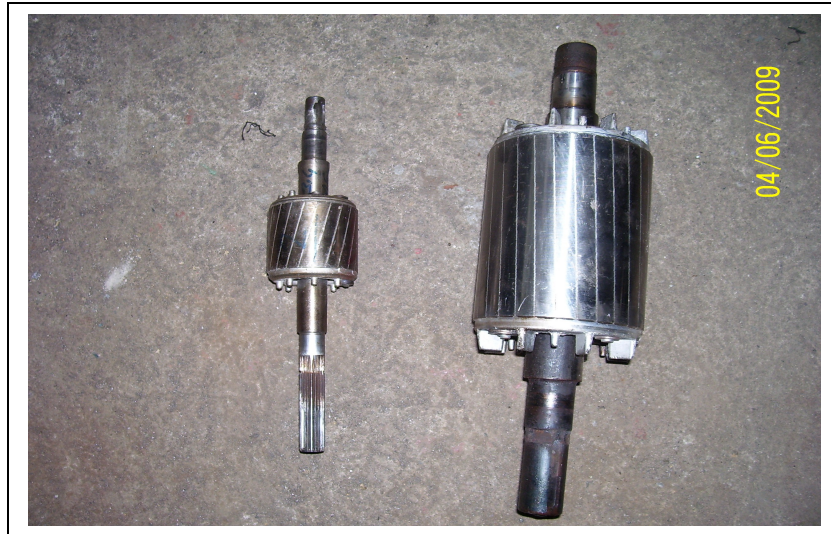
Çizelge 4. Jeneratör Devir ve frekans değerleri

Frekans	50 Hz	60 Hz
Kutup sayısı	dönüş hızı (rpm)	dönüş hızı (rpm)
2	3000	3600
4	1500	1800
6	1000	1200
8	750	900
10	600	720
12	500	600

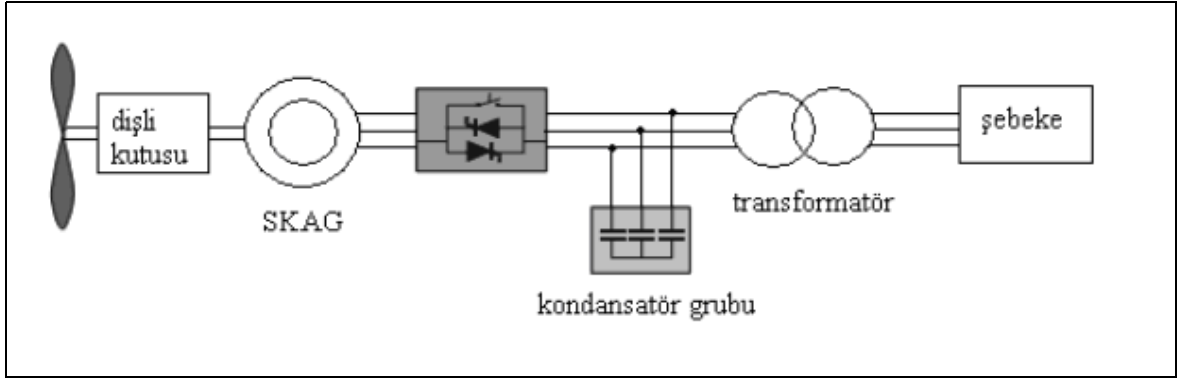
Jeneratör hızı terimi sadece şebekeye bağlanan senkron jeneratörler için geçerlidir. Asenkron jeneratörlerde böyle bir şey söz konusu değildir. Rüzgâr türbinlerinde genellikle altı kutuplu makineler kullanılır. Jeneratörün düşük yada yüksek hızlarda olması kullanılacağı türbinin büyüklüğüne ve maliyete bağlıdır. Büyük güçlü türbinlerde yavaş, küçük güçlülerde daha hızlı jeneratörler kullanılır. Jeneratörün şebekeye doğrudan bağlantısında jeneratörden elde edilen gerilim, üzerinde hiçbir değişiklik yapılmadan direk şebekeye verilir. Dolaylı şebeke bağlantısında ise elde edilen gerilim bir dizi elektrikselsel aygıt vasıtasıyla şebekeye uygun hale getirildikten sonra şebekeye verilir (Blaabjerg, Chen 2000).

4.8.6. Sincap Kafesli Asenkron Jeneratör

Sincap kafesli asenkron jeneratörler; türbinde kullanılan jeneratör devrinin hem sabit hızlı hem de değişken hızlı olan rüzgâr türbinlerinde kullanılabilir. Jeneratörler manyetik alan da elektrik üretirken bir güç ve zorlama meydana gelmektedir bu zorlama dışarıya titreşim olarak yansımaktadır. Bu titreşimi azaltmak için (Şekil15)'de görüldüğü gibi jeneratörün rotor miline açılı yapacak şekilde bağlanarak titreşim azaltılmaya çalışılmıştır. Bu jeneratörün sargıları sadece statorunda bulunmaktadır. Rotor alüminyum plakaların manyetik alana güç oluşturacak şekilde yerleştirilmiştir. Ticari olan jeneratörlerde en çok kullanılan çeşididir. Sebebi ise; üretiminin kolay olması, rotorda sargıların olmamasından dolayı, rotora elektrik aktaracak fırça sisteminin bulunmaması arızaları önlemektedir. (Bir başka çeşidinde fırça sistemi de bulunmaktadır.) Sincap kafesli asenkron jeneratörler elektrik üretme olayının gerçekleşmesi için ilk uyarıya ihtiyaç duymaktadırlar. Bu uyarım statordaki farklı bir sargı üzerinden verilmektedir. Uyarım verilmesinin amacı sargılar arasında elektrik üretmek için karşı bir manyetik alan meydana getirmek için verilmektedir (Dursun, Binark, 2002).



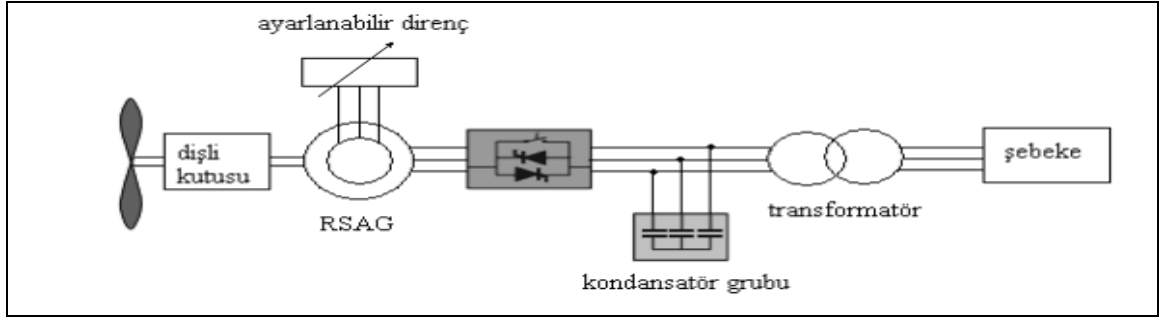
Şekil 15. Manyetik titreşimi azaltmak için rotor plakaları mile açılı şekilde dizilmiştir.



Şekil 16. Sincap kafesli asenkron jeneratörün (SKAG) bağlantı sistemi.

4.8.7. Rotoru sargılı (bilezikli) Asenkron Jeneratör

Bilezik ve Fırça; Bu tip jeneratörler rotoru sargılıdır. Rotor hareket eden kısım olduğundan dolayı bu sargılara elektrik ulaştırmak için dönene mil üzerinde bilezik diye tanımlanan milden yalıtımlı küçük bakır burçlar bulunmaktadır. Bu bakır burçların etrafında hareket eden fırçalar bulunur, bu fırçalar sayesinde dönen mil üzerinden elektrik geçirilmiş olur. Rotoru sargılı asenkron jeneratörlerin en önemli özelliği rotorun sargılı olmasındandır. Rotorun sargılı olmasının en büyük avantajı sargısız olana göre jeneratörün gerilim ve güç kontrolünde büyük kolaylıklar getirmiştir. Jeneratöre uyarım rotordaki sargılardan verilmektedir. Akım istenilen güç ise statordan alınmaktadır. Bu tip jeneratörlerde istenilen hıza göre voltaj ayarı yapılabildiğinden rotoru sargısız olanlara göre avantajlı gözükmemektedir, ancak rotor ve statorun sargılı olmasından dolayı daha karmaşık ve pahalıdır ve rotorunda sargılarına uyarım vermek için bilezik ve fırça kullanılmaktadır. Bu bilezik ve fırçalar sürtünmeden dolayı kısa zamanda deforme olmaktadır. Şekil 17’de rotoru sargılı asenkron jeneratörün şebeke bağlantısı ve uyarım sistemi gösterilmektedir. Bu jeneratör tipi isteğe bağlı gerilim ve hız ayarı yapılabildiğinden, bu işi ayarlanabilir direnç sayesinde yapılmaktadır. Kondansatör gurubu şebeke gerilimine paralel çalışır, şebeke gerilimi ile aynı değere sahip olduğundan jeneratör rotoruna ilk uyarım kondansatör tarafından verilir ve stator sargılarından şebeke gerilimine elektrik aktarılmış olur.



Şekil 17. Rotoru sargılı asenkron jeneratörün (RSAG) bağlantı sistemi

4.8.8. Senkron Jeneratörler

Rüzgâr türbinleri içinde çok yaygın olarak kullanılan bir jeneratör tipidir. Sağlamlık mekanik olarak basitlik, büyük boyutlarda üretilebilmesi, fiyatının düşüklüğü gibi avantajları vardır. En büyük dezavantajı duran kısım statorun devamlı manyetik alan meydana getirme gerilimine olan ihtiyacıdır, yani bu tip jeneratörler uyartım yardımıyla çalışırlar uyartımı da devamlı olarak şebekeden sağlarlar bunun için şebekeye paralel olan sistemlerde kullanılmaktadır. Şebeke gerilimi olmadığı zaman uyartım sağlanamaz ve bir elektrik akımı meydana getirmez. stator şebeke gerilimine karşı koyacak şekilde manyetik alan meydana getirir bu manyetik alana karşı rüzgâr tarafından hareket ettirilen rotor bu manyetik alana karşı iş yapar ve bunun sonucunda elektrik üretilir (Gencoğlu, Yıldırım, 2009).

4.8.9. Sürekli Mıknatıslı Senkron Jeneratörler (SMSG)

SMSG herhangi bir enerji kaynağına gereksinim duymadan kendinden uyarıtlı olması nedeniyle rüzgâr türbininde kullanımı en fazladır. En büyük avantajı her hızda elektrik üretmesidir, bakım maliyeti de çok düşüktür. Küçük ve hafif uygulamalar için uygundur. Jeneratör hızı dişli kutusuna gerek duymadan kontrol edilebilir. SMSG 'nin statoru sargılıdır ve rotoruna sürekli mıknatıslar yerleştirilmiştir. SMSG nin çok yaygın kullanılan tipleri; radyal akılı, aksiyal akılı ve çapraz akılı SMSG 'lerdir. SMSG harekete geçme anında senkrazisasyonda ve gerilim regülasyonunda bazı sorunlar çıkartabilir. Ayrıca sürekli mıknatısların fiyatı yüksektir. Bir diğer dezavantajı mıknatısların gücünün sıcaklıkla değişmesidir. Yüksek sıcaklıklarda mıknatısların manyetik özelliklerini kaybetmektedir. (Gencoğlu, Yıldırım, 2009)

4.9. Bir kw/s Rüzgâr Türbini Yapılması

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Terzioğlu Yerleşkesi içindeki Anfityatro yanında 1 kw/s türbin tasarlanıp kuruldu. Bu türbin üzerinde rüzgar hız değerlerine göre uygun olan türbin yapıldı. Bu türbin üzerinde rüzgar hızının değişimine göre yapılan türbinin verimi incelendi.



Şekil 18. (Çanakkale 18 Mart Ün. Terzioğlu yerleşkesi) Bir kw/saat Rüzgâr Türbini.

Rüzgâr türbini yapılma dan önce türbinin kurulacağı alanın en az bir yıllık rüzgâr verilerinin ölçülmesi gerekmektedir. Bunun için sahaya rüzgâr ölçüm istasyonları dikilmektedir. Bu rüzgâr ölçüm istasyonları standart olarak kule yüksekliği minimum 30metre olma şartı vardır.(meteoroloji standart veri ölçüsü) Maksimum yükseklik konusunda sınır yoktur. Ancak 50m yüksekliğindeki ölçüm direkleri en ideal olanlarıdır. Her 10m' de bir anemometre konmalı ve bunun yanında rüzgâr yön sensörü konulmalıdır. Bunların değerlerinin hassasiyeti % 0,5 civarında olmalıdır. Ölçüm direğinde olması zorunlu olan anemometre ve yön sensörüdür. Bunun yanında rüzgâr gücünün hesaplanmasında havanın yoğunluğunun bilinmesi için basınç ve sıcaklık değerlerinde aynı hassasiyette ölçülmesi gerekmektedir.

Rüzgâr güç formülü:

$$P = \frac{1}{2} \rho A V_r^3 \quad (4.16)$$

Hava yoğunluğu ρ 'nun hesaplanmasında sıcaklık ve nem ve basınç değerlerinin bilinmesi gerekmektedir.

İdeal gaz yasasına göre; kuru hava parseli için

$$PV = n \cdot R \cdot T \quad (4.17)$$

P basınç(kPa), R kuru hava gaz sabiti (287,053 J.K⁻¹.kg⁻¹) ve T parselin mutlak sıcaklığı (Kelvin) ve ρ ise yoğunluktur. İdeal gaz yasası denklemi kullanılarak havanın yoğunluğu aşağıdaki Eşitlik (4.18)'deki gibi bulunabilir.

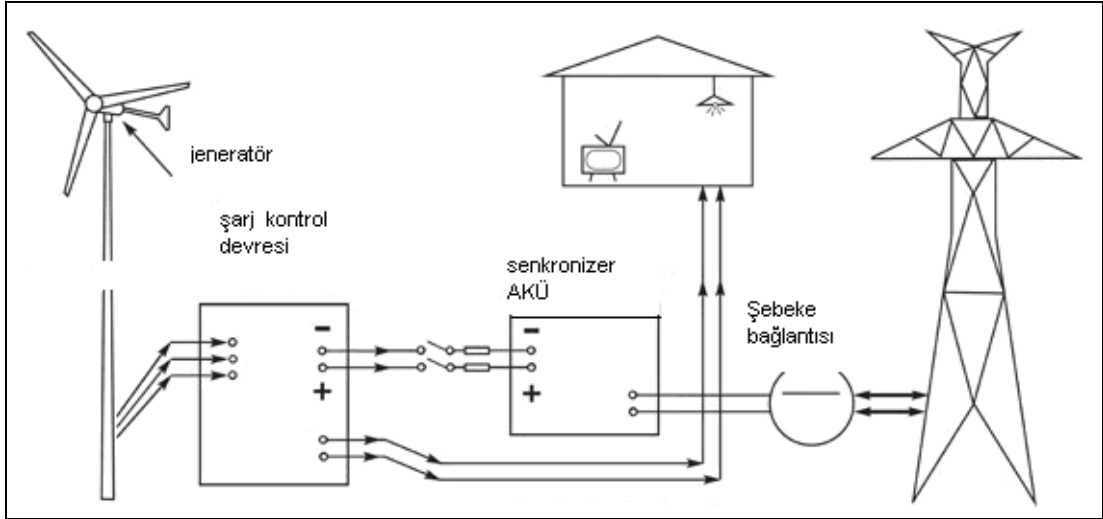
$$\left. \begin{array}{l} \frac{n}{V} = \frac{P}{RT} \\ n = \frac{m}{M} \end{array} \right\} \frac{m}{MV} = \frac{P}{RT} \Rightarrow \rho = \frac{m}{V} = \frac{PM}{RT} \quad (4.18)$$

Eşitlik 4.18' e göre havanın yoğunluğu P ve T' ye göre değişir. P sabit kaldığında T artarsa yoğunluk azalır. Bunun tersi P sabit T azalırsa yoğunluk artar. Kış aylarında soğuktan dolayı havanın yoğunluğu artar. Bu yüzden rüzgâr güç formülüne göre yoğunluğun artması ile rüzgâr gücünde artmaktadır. Bundan dolayı kış aylarında rüzgâr türbinleri daha verimli çalışmaktadır. Rüzgâr türbini kurulmadan önce hassas bir ölçüm yapılamadı ancak imkânlar dâhilinde Üniversite Kampüs sahasının belirli başlı rüzgâr alabilecek bölgelerinde el anemometresi ile birkaç kez ölçüm yapıldı ve uygun olan saha belirlendi. Sahanın belirlenmesin de rüzgârın yönünün fazla değişmemesi için açıklık alan seçildi. Türbinin kurulu olduğu yerdeki hâkim rüzgâr yönü genellikle Çanakkale Boğazına paralel Marmara Denizin den gelen soğuk rüzgârın Ege Denizine, Ege Denizin de esen

sıcak rüzgârı Marmara denizine doğru estiği yön poyraz ve lodos rüzgarının yönleridir. Fırtına durumu ise daha çok güneyden esen lodos rüzgârından meydana gelmektedir. Kuzeyden esen rüzgâr (yıldız) kuvvetli esmekte genellikle fırtına meydana getirmemektedir. Ölçülen en yüksek rüzgâr 76km/saat olarak ölçülmüştür. Bu da megavat seviyesindeki rüzgâr türbinlerinin kendini aşırı rüzgâra karşı kilitleme pozisyonuna geçtiği rüzgâr hızı seviyelerindedir. (ENERCON 800 KW/saat türbinleri için). Büyük türbinler 70km/saat üzerindeki rüzgârlarda türbine zarara vermemesi için kendini minimum pozisyonuna getirir (eğer açı kontrollü türbin ise kanat rüzgâr yönüne en küçük alan sahip olacak şekilde kapanır.) ve kendini böylelikle korumaya almaktadır. Ölçümlerden görüldüğü kadarıyla üniversite rüzgâr konusunda ortalamanın (5,3 m/sn) yukarisindedir. Üniversitenin yerleşke sahası kesin olmayan verilere göre rüzgâr hızı ortalaması 7m/sn civarındadır. Ancak üniversite yerleşke olarak türbin kurmaya elverişlilik konusunda, binalardan dolayı elverişli değildir. Üniversite Kampus sahasının yukarisında kalan su deposu (amfityatro) arazisi türbin kurma konusunda en elverişli yer olarak gözükmektedir.

4.9.1 Amaca Yönelik Rüzgâr Türbini Seçimi

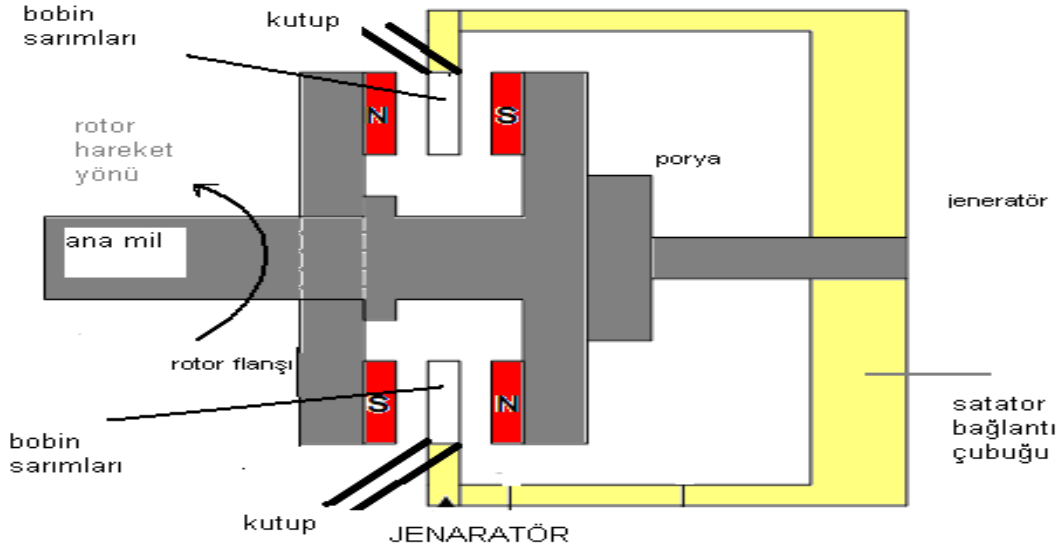
Bir bölgeye rüzgâr türbini kurmadan önce ne kadar bir enerjiye gereksinimiz olduğu bilinmelidir. Örnek olarak bir dağ evini verecek olursak. Evde gerekli olan elektrik ile çalışan bütün aletlerin maksimum ne kadar güç(elektrik) çektiği hesaplanmalıdır. Hesaplama yapıldıktan sonra 1 yıllık rüzgâr verilerini de hesaba katarak burada bulunan rüzgâr, evin çektiği elektriği karşılayabilecek mi? Bu sorunun cevabı aranmalıdır. Rüzgâr türbini için yıllık ortalama rüzgâr 5m/sn üzerinde olması gerekmektedir ve rüzgârında esme aralığın çok sık olması gerekmektedir. Anlık rüzgârlar çok fazla olması oranın rüzgâr konusunda verimli olduğunu göstermez. Türbinler için devamlı rüzgârlar tercih edilmektedir. Evin ihtiyacını karşılayacak rüzgâr var ise ve evin elektrik gücü biliniyor ise; evin gücünün en az 2 katı büyüklüğünde bir güç verebilecek türbin tasarlanmalıdır.



Şekil 19. Küçük tip rüzgâr türbinlerin kurulum şeması.

Kullanım amaçlı rüzgâr türbinleri 2 kısma ayrılmaktadır. Bunlar direk şebeke ile paralel çalışabilen senkronizeli sistemler, diğeri; önce enerjinin akülere depolanıp daha sonra invertör yardımıyla kullanıma geçirilen sistemlerdir, aynı zamanda bunların ikisini birlikte kullanılan sistemlerde vardır. Yukarıdaki **Şekil 19'** de gösterilen sistem şebeke ile paralel çalışabilen ve bunun yanında akü grubunun olduğu sistemdir. Bu sistemde rüzgâr dan gelen güç jeneratör ile elektrik enerjisine dönüştürülür. Jeneratörden gelen elektrik frekans açısından düzenli bir elektrik değildir, bu düzenleme işini şarj kontrol devresi veya voltaj regülâtörü akım ve voltajı düzenler sonuç olarak regülâtör voltajı akü şarjına uygun halde sabitler. Daha sonra senkronizer şebeke ile paralel çalışarak rüzgârın olmadığı durumlarda şebekeden gerekli olan enerjiyi çeker rüzgâr olduğu durumda ise şebekeyi kapatıp sadece rüzgâr'dan gelen elektriğe bağlanır. Aküler ise şebeke olmayan yerlerde şebeke görevi görür rüzgârdan gelen elektrik önce aküleri doldurur aküler ise rüzgâr olmadığı zaman gerekli enerjiyi sağlama görevi görür.

4.9.2 Jeneratör



Şekil 20. Jeneratörde Rotor ve Statorun Konumu.

Şekil 3.1.2 de gösterilen jeneratör stator ve rotor kısmı olmak üzere 2 bölümden meydana gelmiştir. Diğer kısımlar stator ve rotorun bağlantı parçalarıdır.

POYRA(RULMAN); Rotor milinin bağlı olduğu ve üzerinde dönme hareketinin gerçekleştiği parçanın adıdır. Bütün taksi ve benzeri araçların tekerlekleri poyra denilen parça üzerinde hareket eder.(tekerleğin dingile bağlandığı parça)

FLANŞ; genellikle çember biçiminde kesilmiş demir saçlara flanş denir. Sanayide kullanım alanı olarak, direk altlarında, boru ek yerlerinde kullanılmaktadır.



Şekil 21. Poyra (Rulman)

KUTUP: Mağnetik alan içindeki bobin sarımlarının (+) ve (-) uçlarına kutup denir. Burada kutuplar, oluşan elektrik akımını almak için kullanılır.

ROTOR FLANŞI: Şekil 22(a) jeneratörde rotor parçasının adıdır. 31cm çapında ve 1cm kalınlığında demir saçtır. Jeneratörde 2adet flanş kullanıldı. Şekil 22(b) bir flanş üzerine eşit aralıklar dizilmiş 12 adet neodyum mıknatıslar gösterildi.



(a)

(b)

Şekil 22. Sürekli mıknatıslı jeneratörün mıknatısların bağlantı elemanı

Jeneratör teknik olarak N ve S kutuplu mıknatıs arasında bobin sarımlarının geçirilmesidir. N ve S kutuplu mıknatıslar arasındaki uzaklık 18 mm olarak ölçüldü. Eğer uzaklık daha kısa olursa jeneratör daha verimli olmaktadır. Ancak arasına bobin sarımları geldiğinden dolayı ve ısınmaya karşı hava boşluğunun bırakılması zorunlu olduğundan dolayı aradaki uzaklık en uygun olan 18mm olarak ayarlandı. Karşılıklı mıknatıslar doğal manyetik alan meydana getirir, bu manyetik alan arasından geçen bobin sarımı elektrik akımı meydana getirir. Bütün jeneratörlerde temel prensip manyetik alana karşı yapılan işin elektrik enerjisi cinsinden verimin alınmasıdır. Bu uygulanacak olan jeneratörde N ve S kutuplu güçlü neodyum mıknatıslar arasında meydana gelen manyetik alan içinden geçen iletken telde bir elektrik akımı meydana gelmektedir. Bu FARADAY “ indüksiyon kanunudur” Manyetik alan arasından iletken bir tel geçirildiğinde bir akım meydana gelmektedir. Jeneratör yapımında dönen kısım mıknatıslar(rotor) duran kısım bobinler (stator) olarak belirlendi. Rüzgâr türbinlerinde kullanılan jeneratörler senkron ve asenkron olmak üzere iki çeşittir Ayrıca dişli sistemi

kullanılan veya kullanılmayan olarak ta ikiye ayrılırlar. Dişli sistemi rüzgâr türbininde jeneratörün devrini 1000dev/dk'nın üzerine çıkartmak için kullanılmaktadır. Dişli sistemi kullanılmayanlarda jeneratörde bulunan stator ve rotor çapları dişli sistemlerine göre çok daha büyüktür. Sebebi ise dişli sistemde kullanılan rotor ve stator kısmının çizgisel hızına ulaşmak içindir. Yeni nesil rüzgâr türbinlerinde dişli sistem yoktur. Bu çalışmada jeneratör olarak dişli sistemi kullanılmadı.

4.9.2.1 Rotor

Jeneratörümüzün dönen kısmına rotor denilmektedir. 2 adet 31 cm çapında ve 1cm kalınlığında demir plakadan (flanş) oluşmaktadır. **Şekil 22(a)** Rotor da 2 adet rotor flanşı bulunmaktadır, bunlar manyetik alan oluşturmak için, her birine 12 adet N35 mıknatıs yerleştirilmiştir. **Şekil 22(b)**Bunun için mıknatıs aralarının eşit olması için merkezden 12 eşit parçaya bölünecek şekilde çizim yapılır. Alınan flanşın merkezinde 7cm çapında bir çember şeklinde parça kesilir. Şekilde görüldüğü gibi iç çemberin etrafına poyra ya geçirmek için 4 adet cıvata deliği açılır. Bunların ölçüleri kullanılan poyranın cıvata ölçüleriyle aynı olmalıdır. 12 Eşit parçaya çizilen flanşın etrafın dikdörtgen prizma şeklindeki neodyum mıknatıslar yerleştirilir.



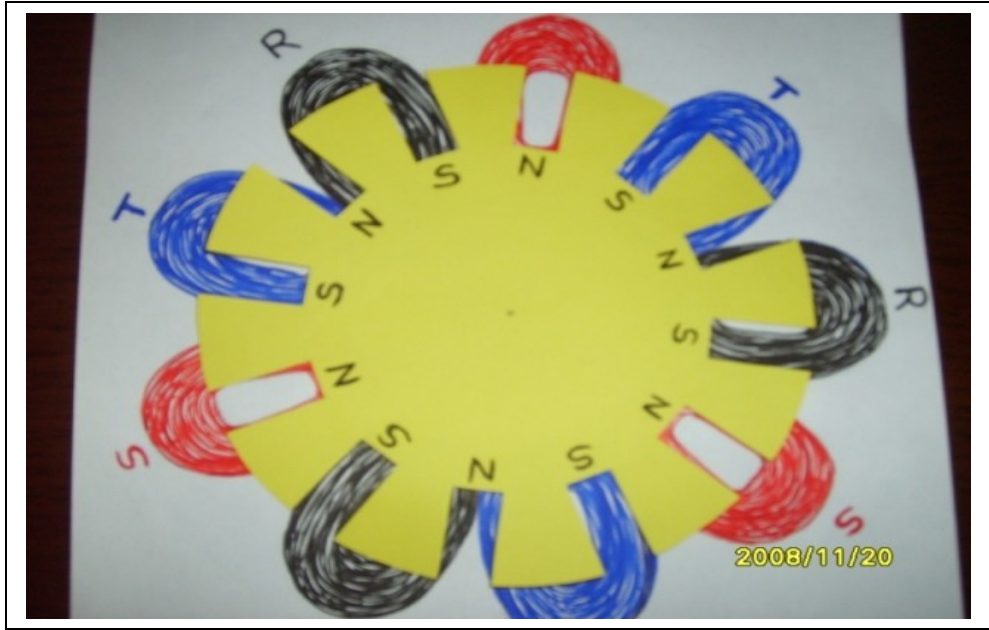
Şekil 23. Neodyum N35 mıknatısların arasının polyester ile doldurulması.

Mıknatısların yerleştirme işlemi yapıldıktan sonra, mıknatısların (rotorun) dönme hareketindeki merkezkaç kuvvetinden dolayı savrulmaması için aralarına polyester ile

doldurulmaktadır. **Şekil 23** Buradaki polyester mıknatıs aralarındaki uzaklıklarının değişmesini önler ve dış etkenler tarafından bozulmasını engeller. Polyester reçine sıvıdır. Bu sıvı polyester içine belli miktarda katılması için 2 adet karışım uygulanır, bu karışım sonucunda polyester demir ve benzeri malzemelere sıkı bir şekilde yapışır.

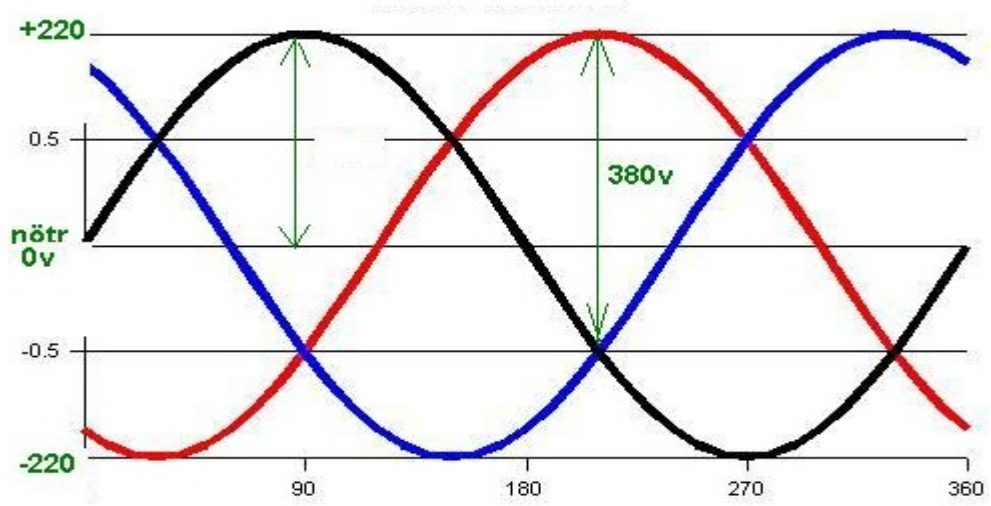
4.9.2.2 Stator

Jeneratörlerde sabit olan kısımdır. Genellikle bakır sargıların (BOBİN) olduğu kısma denilmektedir.

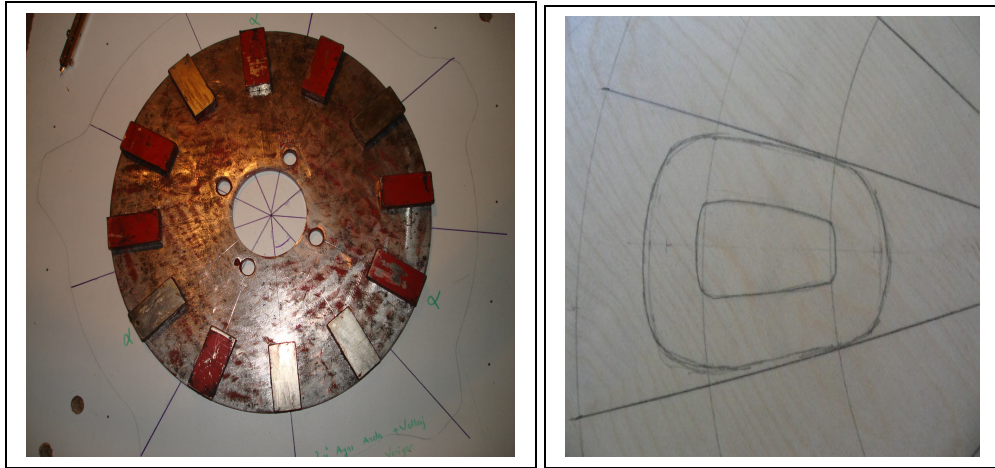


Şekil 24. Mıknatıs ve bobinlerin faz gösterimleri (Banderet, Bartmann, Fink, 2009).

Yukarıdaki **Şekil 24.** bobinler arası bağlantı yapıldı. Bağlantı şekli mavi renkli bobin sarımları birbirine bağlanarak birleştirildi. Kırmızı ve siyah renkli olan bobinlerde birbirine bağlandı ve her renkten kutup başı çıkarıldı bu çıkarılan kutuplara elektrik biliminde FAZ denilmektedir. Mavi kırmızı ve siyah renkli olarak gösterilen uçlar bizim elektrik üreten fazlarımızın sarımlarıdır. Jeneratörler genellikle 3 fazlıdır. ve bu fazların her biri adlandırmıştır. (R fazı, S fazı, T fazı) R-S-T bizim jeneratörümüzün faz uçlarıdır 1. faz-R, 2.faz-S, 3.faz-T şeklindedir. Şekil 24 deki gibi mıknatısların arasına gelecek şekilde dizilmeleri gerekmektedir. **Şekil 25.** 3 adet faz ve 3 faz arasındaki voltaj farkları gösterilmiştir.



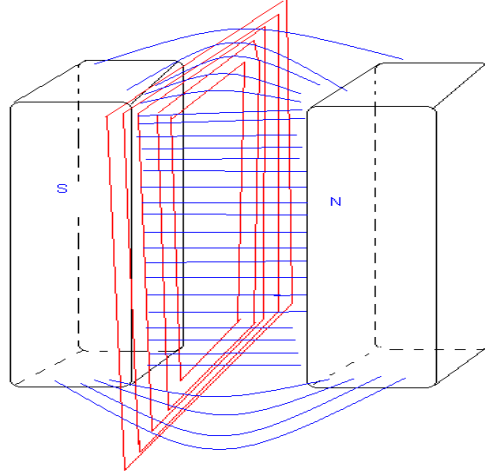
Şekil 25. jeneratör fazlar arasındaki volt ve genlik değerleri gösterilmektedir(dikey sütun gerilim değerleri, yatay satır fazlar arasındaki açı değerlerini verir).



Şekil 26. Mıknatısların bobin kalıp tahtası üzerinde nereye denk geldikleri gösterilmektedir.

2 mıknatıs arasında bobinlerin tam ölçüde yerleştirilmesi gerekmektedir. Karşılıklı her 2 mıknatıs arasında bir sarım gelmelidir. Şekil 26 'de ki gibi mıknatısların yerleşim yerlerinin tam ölçüleri bilinmelidir ve bobinler ona göre dizilmelidir. Çünkü bobinlerin yanlış yerleştirilmesi elektrik voltajında pik (kirli elektrik veya faz kayması) yapmasına yol açar.

4.9.2.3. Statorda Bakır Tellerin Sarılması



Şekil 27. Mıknatıslar arasında kalan bobin sarımına etki eden mağnetik alan kuvveti.

Sarım (bobin) telinin kalınlığı artarsa akım artar fakat bunun yanında volt düşer ancak elde edilen güç aynıdır. İstekler farklıdır şöyle ki;

- 1= Mağnetik alanımız sabit 2 mıknatıs arasında ki mesafe değışken
- 2= Bakır sargı telinin kalınlığı değışken
- 3= Bobin sarım sayısı değışken

Çıkış voltajı 12 volt mu?

24 volt mu?

48 volt mu?

220 volt mu?

380 volt mu?

Gücümüzü artıracak etmenler

1=2 mıknatıs arasındaki mesafenin azaltılması

2=jeneratör devir sayısının artırılması (jeneratör miline daha fazla güç vermek demektir)

Jeneratörler isteğe bağılı olarak yapılmaktadır. Eğer akü şarj etmek için jeneratör yapılacaksa maksimum 48 volt a kadar jeneratör yapılır. Eğer direk şebeke veya bir ev beslenecekse 220 veya 380 volta çıkış veren jeneratörler tasarlanmaktadır. 12 volt rüzgâr türbini jeneratörü yapıldı. Bakır sargı tel kalınlığı 1,65mm olarak seçildi bu tel ölçüsü piyasalarda zor bulunan ölçülerdir. Çünkü piyasada bulunan elektrik motorları sarımları

0,2-1,0mm civarında değişmektedir, 220 volt ve 380voltla çalışması için bu ölçülerde olmalıdır. Taksi alternatörleri 12 volt çıkış verdikleri için kalın bobinler kullanılmaktadır.



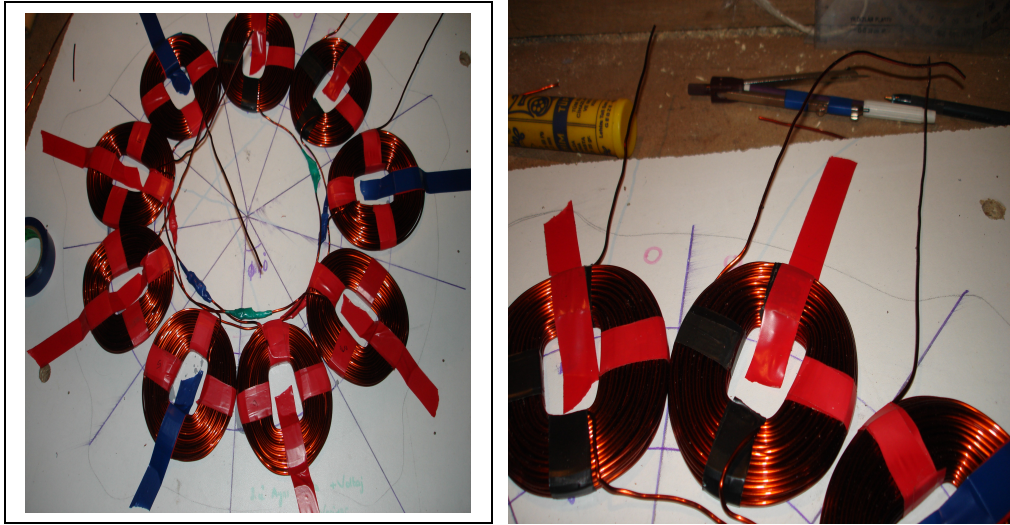
Şekil 28. Bobin sarma makinesi. (2 mıknatıs arasında kalan bobin kalınlığı 7.48mm olarak alındı 2 mıknatıs arası 18mm yapıldı. Bu 18mm'nin yaklaşık olarak 8mm si bobin sarımları,4 mm kalıp kalınlığı, geri kalan 6mm hava boşluğu olarak bırakıldı).

Bobin sarma makinesi ve sarım kalınlığı **şekil 28**'de gösterildiği gibi 7,48mm olarak seçildi ve sarım sayısı ise 100 sarım olarak yapıldı. Bobinlerin sarılması elle yapılmaktadır. Bobin sarma işlemi hassas ölçümler ile yapıldı. Bobin kalınlığı yani iki mıknatıs arasında kalacak kısım küçük olmasına dikkat edildi küçük olmasında amaç 2 mıknatıs arasında kalan magnetik alan ne kadar küçük yere ne kadar çok sarımda bobin sarımı yerleştirilirse o kadar küçük ve güçlü jeneratör elde edilmektedir.



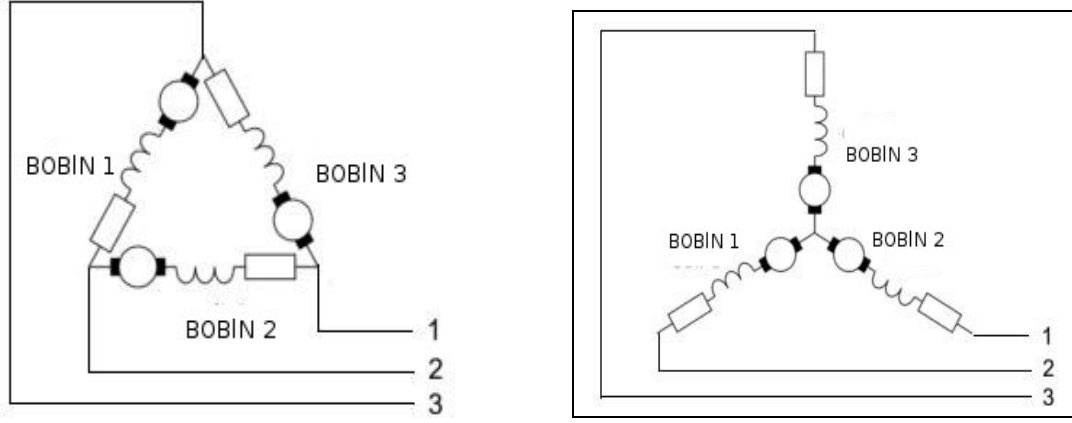
Şekil 29. Dokuz adet bobin sarımlarından bir tanesi.

Şekil 29’da 9 adet bobin sarımından bir tanesi ve bobinin nereye geleceği gösterildi. Bobinlerin özellikleri; 1.65mm kalınlığının da, sarım (dolanım) sayısı ise 100 tur olarak yapıldı. 100 tur yapılmasında ki amaç 9 adet bobinin yerleştirilmesi sorun olmaktadır. 2 mıknatıs arası 18mm olduğundan dolayı, bobin dolanım sayısı 100 sarımdan fazla olduğunda sarım mıknatıslar arasına sığmamaktadır. Sarımın kalınlığı ise 8mm olarak yapılmıştır. Bu kalınlık ne kadar az olur ve sarım sayısı ne kadar fazla olursa ve manyetik alan içine ne kadar fazla sayıda sarım yerleştirilebilirse jeneratör o kadar verimli olur. Fakat burada sarımları mıknatısların arasına sığdırmak büyük bir problemdir. Bunun için en uygun sarım ve kalınlık budur. 50cm x 50cm x 1,8cm ölçülerindeki bir mdf tahta üzerine merkezden yarıçapı 20cm, 30cm ve 38cm olmak üzere 3 adet daire çizilir. Bu dairelere merkezden açısı 40° açıyla düz 9 adet çizgi çizildi. Çizilen 20cm ve 30cm daire arasını sarılan bobinlerin orta noktasını şekildeki gibi yerleştirilir ve bunları birbirine baştaki uçları boş kalacak şekilde lehim ile eklenildi.



Şekil 30. Bobinlerin yerleştirilmesi bobinler arası bağlantılarının yapılması ve faz kablolarının ayrılması (3 adet faz kablosu çıkışı).

Şekiller 30'da gösterildiği gibi bobinler mdf tahta üzerine yerleştirilmekte ve en sonun da 3 faz ayrımı yapılmaktadır. Bobin sarımlarının birleştirme şekli olarak 2 farklı yöntem vardır



1: DELTA

2: STAR

Şekil 31. Bobinler arasındaki bağlantıların yapılmasında 2 bağlantı şekli bulunmaktadır.

Bağlantının yıldız veya delta olmasının güç konusunda hiçbir farkı yoktur sadece bobinlerin yerleştirilmesin de bağlantı kolaylığı vardır. Bu çalışmada faz çıkışlarını dışarıdan alındı ve yıldız bağlantı şeklini kullanıldı, eğer içeriden alınsaydı delta bağlantı şeklini kullanılacaktır. Bobinlerin bağlantısı bittikten sonra mıknatıslar arasında sabit kalması için kalıp içerisine alınması gerekmektedir. Bunun için protolin malzemesi ile birlikte cam yünü(elyaf) kullanıldı. Protolin: A ve B Kompanantleri vardır. Bunlardan biri sertleştiricidir, diğeri hızlandırıcı denilen kobalt malzemedir. İkisi karıştırıldığında 10-15dk içerisinde katılaşp donmaktadır. Şekillerde mıknatıs kalıbının derinliği 12 mm' dir. Bobinleri kalıbın içine güzelce yerleştirildikten sonra içine cam yünü ile beraber protolin denilen malzeme dökülüp kuramaya bırakılır. Kuruma veya donma sıcak bir havada 10dk içerisinde gerçekleşmektedir.



Şekil 32. 9 adet bobin sarımı yapıldıktan sonra kalıp içersine alımı (Banderet, Bartmann, Fink, 2009).

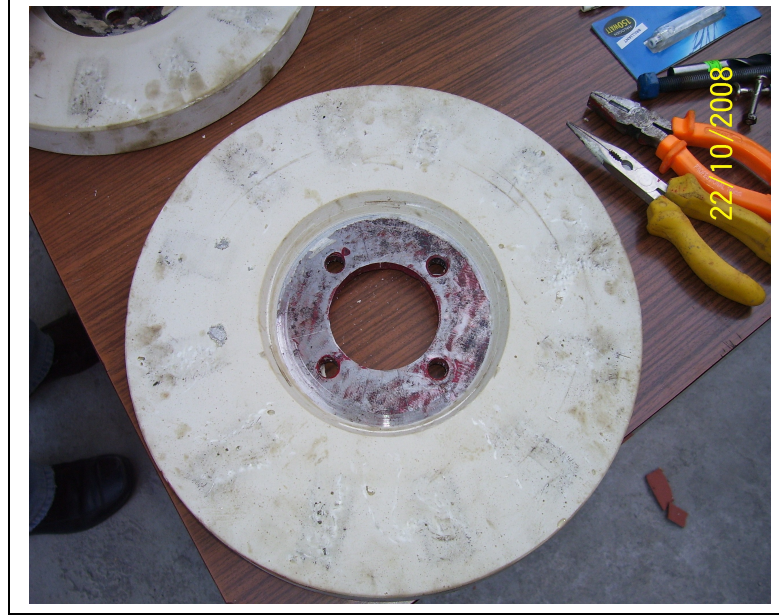
4.9.3. Mıknatıs Flanşlarının Kalıp İçersine Alınması

Bobinlerde yapılan işlemler aynı şekilde burada da yapılmaktadır mıknatısları dış etmenlerden zarar görmemesi için dış yalıtım sağlayacak kalıp içine alınması gerekmektedir.



Şekil 33. Bobinlerin ve mıknatısların kalıp içersine alınması.

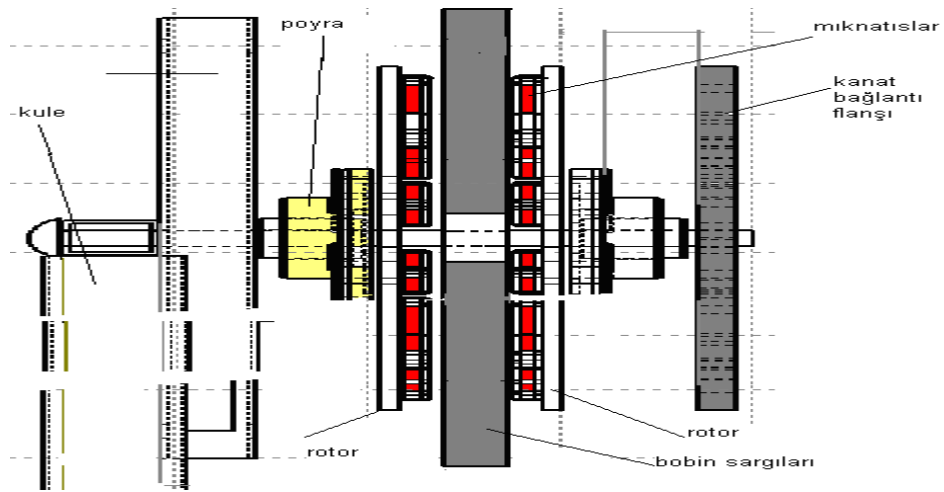
Şekil 34’de donma işlemi gerçekleştikten sonra çıkan kalıplar torna veya zımpara ile düzeltilmektedir.



Şekil 34. Kalıpların Sökülmesi (çapakların zımpara ile alınmış hali).

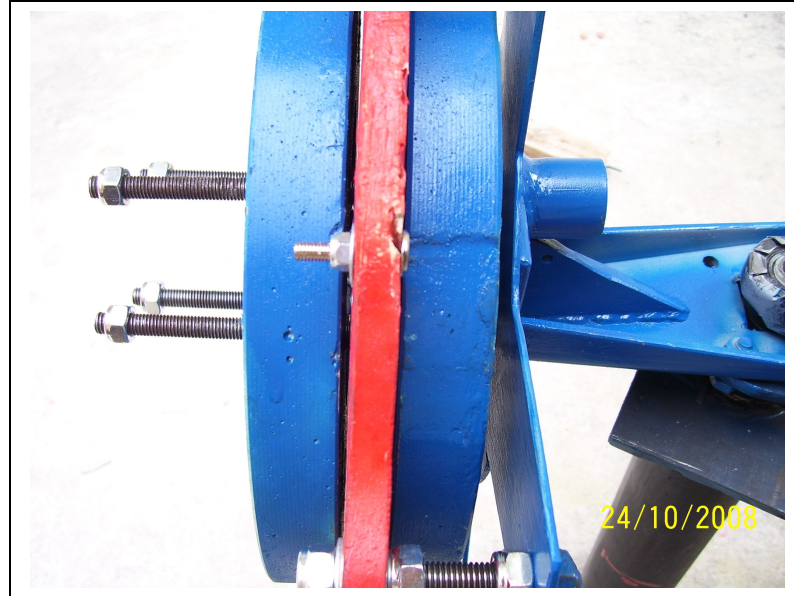
Son olarak kalıp içerisinden çıkartılan malzeme çıkıntıları veya kalıp dışına çıkan kısımları torna tezgâhında zımparalandı ve daha sonrada boyandı

4.9.4. Stator ve Rotorun Bağlanması



Şekil 35. Rüzgâr Jeneratörünün Stator ve Rotorun Bağlanma Şeması.

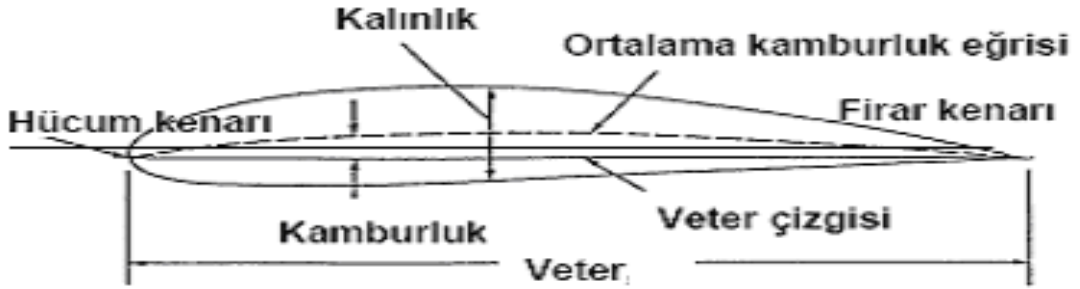
Rotor ve stator bağlanmasın da **şekil 35.** deki ana şema kullanıldı. Bu çizilen şemaya göre rotor ve stator bağlantıları yapıldı. Bobin sargıların etrafında hareket eden mıknatısların bağlı olduğu 2adet karşılıklı flanş bulunur. Bu flanşlar arasında stator sargıları sabit durur. Hareketli olan kısım karşılıklı aynı yönde aynı hızda hareket eden flanşlardır. Bu flanşlar bir poyra diye tanımlanan, rulman üzerinde dönme hareketini meydana getirir. Statordaki sargılardan çıkan 3 adet faz kablosu kule altında bulunan şarj kontrol cihazına bağlanır. Kabloların aktarımı ise kulede fırçalar ve bilezikler yardımıyla olmaktadır. Rotor doğrudan kanatlara bağlıdır. Rotor milinin kanatlar ile bağlanması için kanat bağlantı flanşı bulunmaktadır. Jeneratörün rotoru jeneratör rotor miline bağlıdır ve mil ile birlikte aynı devirde dönmektedir. Bu durum dişli kutusu olamayan sistemlerde kullanılır. Rotor, rotorun bağlı olduğu rotor mili ve milin bağlı olduğu kanatlar aynı hızda ve aynı yönde hareket etmektedir. Kanatlar rüzgâr yardımıyla dönme hareketi meydana getirir, bununla birlikte jeneratörün rotoru döner ve rotor arasında kalan manyetik alan hareketinden elektrik enerjisi meydana gelir.



Şekil 36. Rotor ve Statorun Bağlandıktan sonraki durumu (jeneratör).

Şekil 36'da gösterilen **şekil 35.** deki jeneratör şemasının yapılmış halidir. Burada kırmızı ile gösterilen kısım bobin sarımlarının bağlı olduğu statordur. Statorun sağında ve solundaki mavi kısım rotoru oluşturmaktadır. Rotorun önündeki 4 adet civata ve somunlar kanatların bağlanması için kullanılmaktadır.

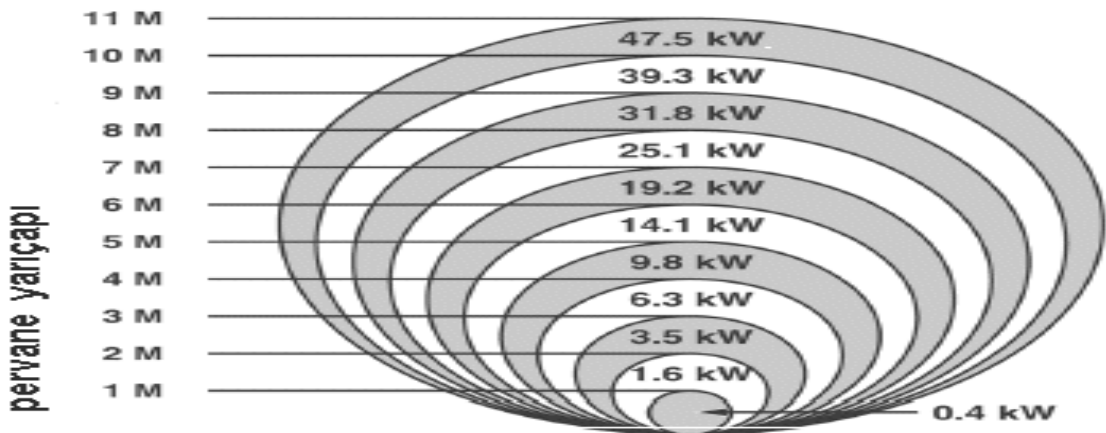
4.9.5 Kanatların Yapılması



Şekil 37. Rüzgâr türbini kanat kesiti.

Rüzgâr türbinlerin de kanat yapı malzemesi olarak çok çeşit malzeme kullanılmaktadır. Genellikle fiber ve cam elyaf kullanılmaktadır. Eğer plastik kullanılırsa; plastik malzeme olarak ısıca karşı çok zayıf bir malzemedir toprak altında yıllarca dayanabilmesine karşın güneş altında çok çabuk deforme olmaktadır. Bu yüzden plastik fazla kullanılmaz. Eğer ahşap kullanılırsa; ahşap işçilik ve ucuz olması bakımında iyidir ancak küçük pervanelerde kullanılabilir (maksimum 4m) Ahşap malzemenin üzerinde işçilik yapması kolaydır istenilen eğim verilebilir. Ancak: ahşap ilk başta balansı yapılabilir fakat daha sonra çevre şartları sonucunda çok çabuk balansı kaçar bunların en önemlisi yağmur suyunu her kanatta farkı ölçülerde içine alır ve şişer, balans bu şekilde bozulur. Balans ayarının bozulması titreşime sebep verir, sonunda türbin çok büyük zararlar görür.

pervane boyuna göre güç gösterimi



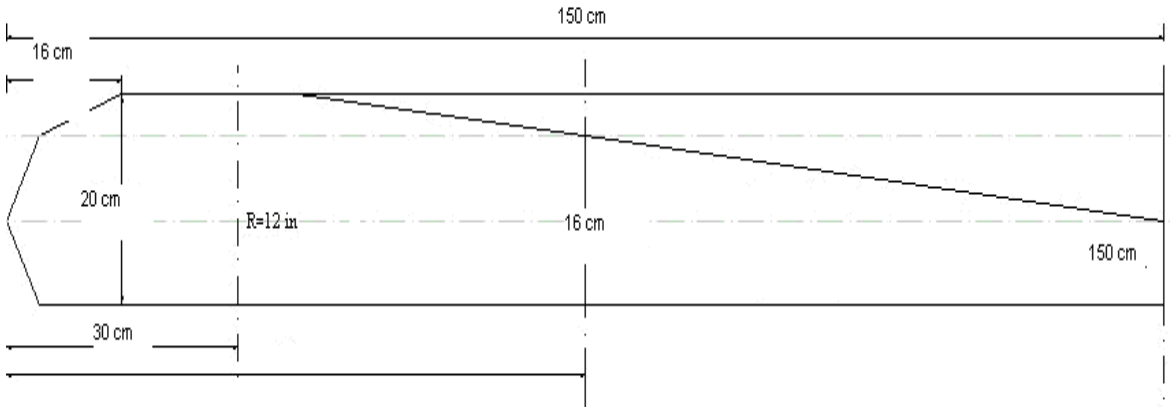
Şekil 38. Rüzgâr Türbinde kanat boylarına göre aktarılan güç (Blaabjerg, Chen. 2000).

Rüzgârın taşıdığı güç pervaneler yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Bu dönüştürme pervanelerin ne kadar kaliteli ve ne kadar verimli oldukları ile alakalıdır. Pervane açları pervane boyu pervanenin yapıldığı malzeme bununla alakalıdır. Yukarıdaki **Şekil 38** 'de kanat poyuna göre enerji dönüşümü gösterilmektedir. Şu an üzerinde bulunan pervaneler PVC plastik malzeme vardır. Bu plastik kanatların ömrünün ne kadar olduğu inceleniyor. Pervane yapımının asıl malzemesi sıcaklığa ve soğuğa(donmaya) dayanabilen fiber malzemedir bu malzeme büyük türbinlerin (MW gücünde) yapımında da kullanılmaktadır.

4.9.6. Ahşap kanatların yapımı ve ölçüleri

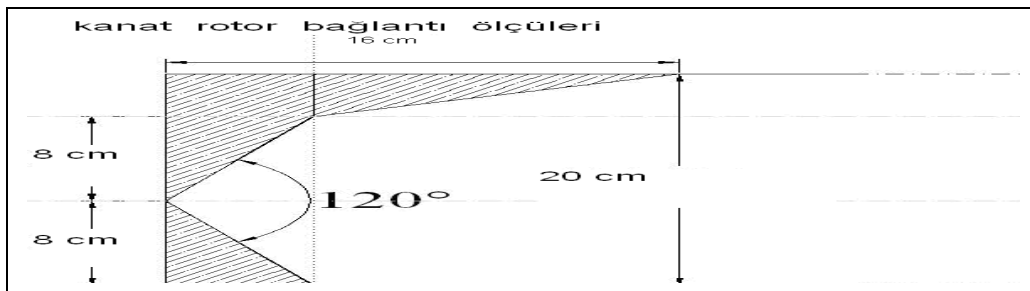
2m uzunluğunda 25cm genişliğinde 8cm kalınlığın da 3 adet ahşap kereste alındı.

kanat genel ölçüleri



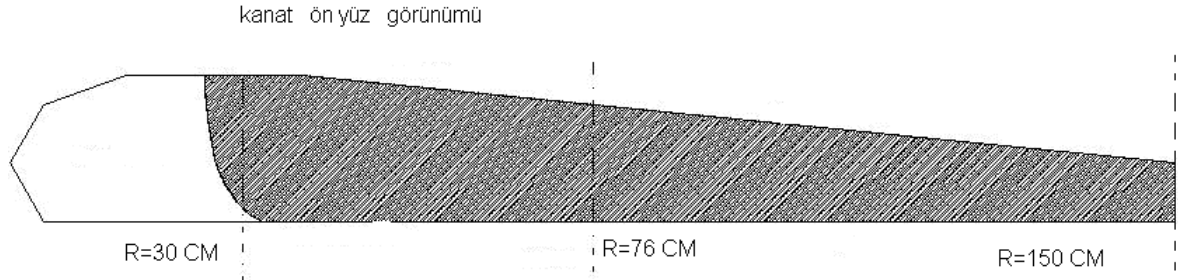
Şekil 39. Türbin kanadının en boy ölçüleri

Türbinimizin 1 kanat boyu 150cm olarak alınmıştır.

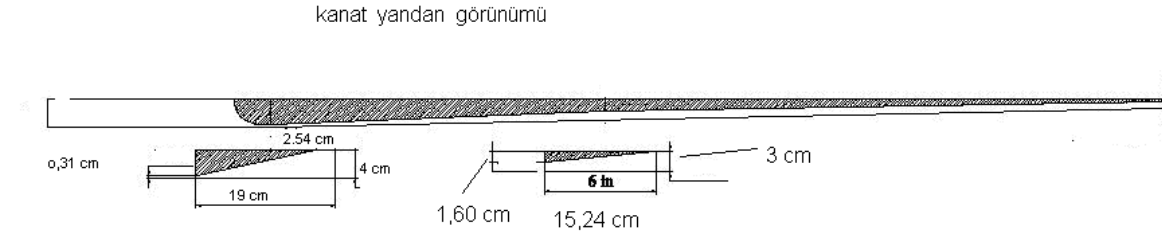


Şekil 40. Türbin Kanadının Rotor mili Bağlantı kısmı.

3 adet kanadı rotor miline bağlamak için bir flanş kullanıldı ve flanşa bağlanabilmesi için kanatların kesin ve açılı ölçüleri yukarıdaki gibi yapıldı.

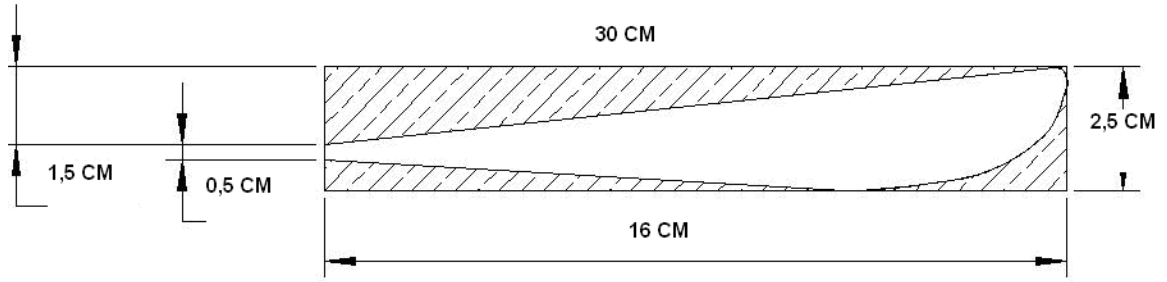


Şekil 41. Kanadın eğim vermek için yapılan kısmı (taralı olan kısım kanatların eğimin verilmesi için kesilip oyulacak olan bölgesi gösterilmektedir).

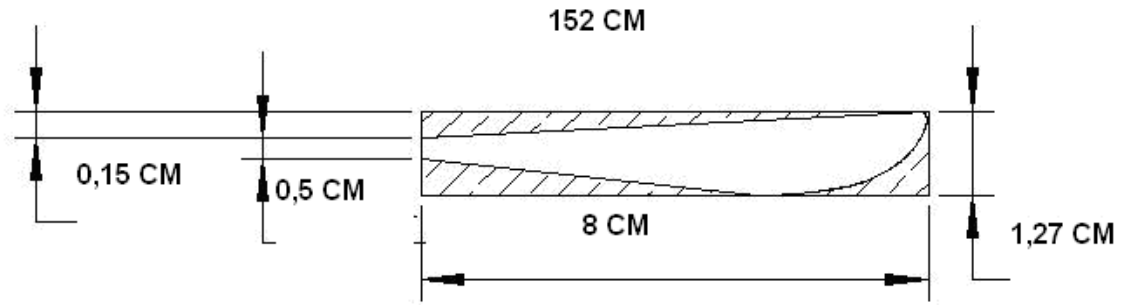


Şekil 42. Ahşap kanatlarının eğim ölçüleri (Banderet, Bartmann, Fink, 2009).

Şekil 40. ve şekil 41’de gösterilen şeklin, eğim verilirken bir tarafı kalınlığında iken karşı tarafa doğru gidildikçe eğimden dolayı kalınlık sıfıra kadar inmektedir. Şekil 42’in yandan gösterimi ve ölçüleri verildi. Bu şekilde kanatta bir rüzgara karşı açı verilmektedir. Ve bu açının ölçüsü rotor miline en yakın olan kısımda 20° iken kanat uçlarına doğru gidildikçe azalır ve en uçta 4° civarında olmaktadır. (Enerkon firmasını üretmiş olduğu MW/saat seviyesindeki türbinlerin rüzgara karşı açı değerleri budur).



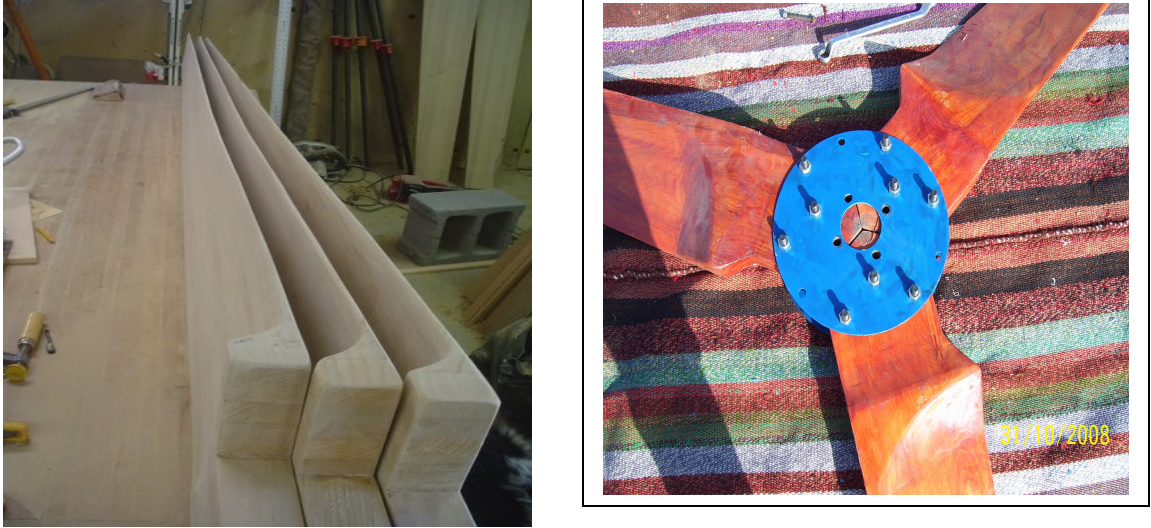
Kanat rotor miline 25cm mesafedeki kesiti



Kanat uç kısmı kesiti

Şekil 43. Pervanelerin açılar ve eğiminin kök kısmı, orta kısmı ve uç kısımdaki ölçüleri.

Şekil 43'de gösterilen çizimlerde kanatların rotor miline bağlandığı kısım ve kanadın en uç kısmının kesit ölçüleri yukarıdaki şekillerde verildi. Kanatlarda eğim önemlidir. Kanatta uç kısma doğru gidildikçe eğimin azalmasının sebebi, gelen rüzgâr kanadın rotor miline bağlandığı kısım ile orta kısma kadar güç aktarımı olmaktadır. Uçlara doğru gidildikçe bu oran sıfırlanmaktadır. Uçların görevi ise kanatlara aerodinamiklik kazandırmaktadır.



Şekil 44. Kanatların bir flaş yardımıyla rotor miline bağlanması.

Kanatlar rotora bağlanırken dikkat edilmesi gereken en önemli sorun balansının yapılmasıdır. Balans kanatları dönerken titreşim yapmaması için ağılıklarının ve ağılık merkezlerinin eşit olması gerekmektedir. Bunun için kanatlar bağlandıktan sonra kanatların ucuna metal çiviler çakılarak ağılık merkezleri eşitlenir. Bu olaya balans ayarı denir. Balansı yapılmayan kanatlar hızlı dönmelerde aşırı titreşime sebep olacağından türbine zarar verecektir.

4.9.7. PVC kanatların yapılması

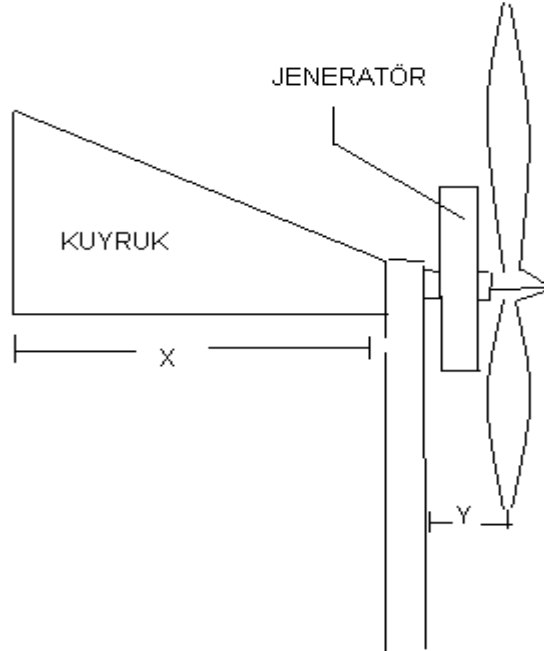
Ahşap kanatları ne kadar iyi olursa olsun, balansı ne kadar iyi yapılırsa yapılsın bir süre sonra ahşap malzemenin balansı bozulmaktadır kanatlardan biri diğerine göre daha çabuk sıcaktan zarar görebilir ve kanat ağırlık eşitliğinin bozulmasına sebep olmaktadır. Yağan ilk yağmur kesinlikle kanatların balansını bozacaktır. Çünkü her kanadın yağmur suyunu emme özelliği farklıdır. İşte bu sebeplerden dolayı ahşap kanatlardan vazgeçilmiş PVC kanatlar denenmiştir. PVC konusunda bilinen en önemli dezavantaj PVC türü malzemelerin güneş altında uzun süre dayanmamasıdır. Güneşten yanan PVC bir süre sonra esnekliğini kaybeder ve çatlama yapıp kırılır. Kanat için en uygun malzeme polyester ile yapılmış olan kanatlardır. Yalnız polyester cam elyaf ile güçlendirilmelidir.



Şekil 45. PVC kanatların yapılması.

4.9.8 Rüzgâr türbininde kuyruk sistemi

Pervaneleri rüzgârın yönüne dik konuma yönlendiren sistemdir. Büyük türbinlerde kuyruk sistemi yoktur. Rüzgâr yönüne içerideki dişli sistem ile otomatik olarak döndürülür. Yapılan türbinde kuyruk sistemi bulunmaktadır. Kuyruk 3 adet pervanenin yanıl alanlarından büyük olması gerekmektedir. Şekil 46'da türbinde rüzgâra kanatların dik olarak yönelebilmesi için, kuyruk sistemine çarpan rüzgârın basınç gücü kanatların yanıl alanına çarpan rüzgârın basınç kuvvetinden büyük olması gerekmektedir.



Şekil 46. Rüzgâr türbini kuyruk sistemi.

4.9.9. Rüzgâr Türbininde Kule

Türbinde kule olarak kafes direk kullanıldı. Mantık olarak kule yüksekliği kanatların uzunluğundan daha uzun olmalıdır. Kule yüksekliği rüzgârı verimli alabilecek şekilde olması uygundur. Yükseklik bakımından herhangi bir sınır yoktur malzeme bakımında ise genellikle demir yapı kullanılır. Beton direkler kullanılmaz çünkü türbin her zaman titreşim halindedir beton direkler titreşime dayanamazlar. Demir direkler şekil bakımından silindir yapıdadır ancak kafes diye tanımlanan direklerde kullanılmaktadır. Bizim türbinimiz de 5m yükseklikte kafes yapıda direk, diğer 2m ise, 1cm çapında silindir direk kullanılmıştır.

4.9.10. Rüzgâr Direğinin (kule) Dikilmesi

Rüzgâr türbini dikilmeden önce üniversite kampüs sahasının en çok rüzgâr alan yeri seçildi. **Şekil 47(a)** Direğin dikilmesinde taban çukuru kazıldı ve direk menteşe sistemi açılan çukura beton ile sabitlendi. Jeneratör ve kanatlar kuleye bağlandı ve dikildi. Kule tabanında menteşe sisteminin yapılması kulenin kaldırılırken ve bakımı yapılırken bir el vinci yardımıyla kaldırılabilmesi için kullanıldı. Menteşe sistemi uygulanabilmesi için atılan beton içerisine **Şekil 47(b)** de gösterilen demir iskelet konuldu. Daha sonra yapılan menteşeye bağlandı ve el vinci yardımıyla dikildi.



(a)

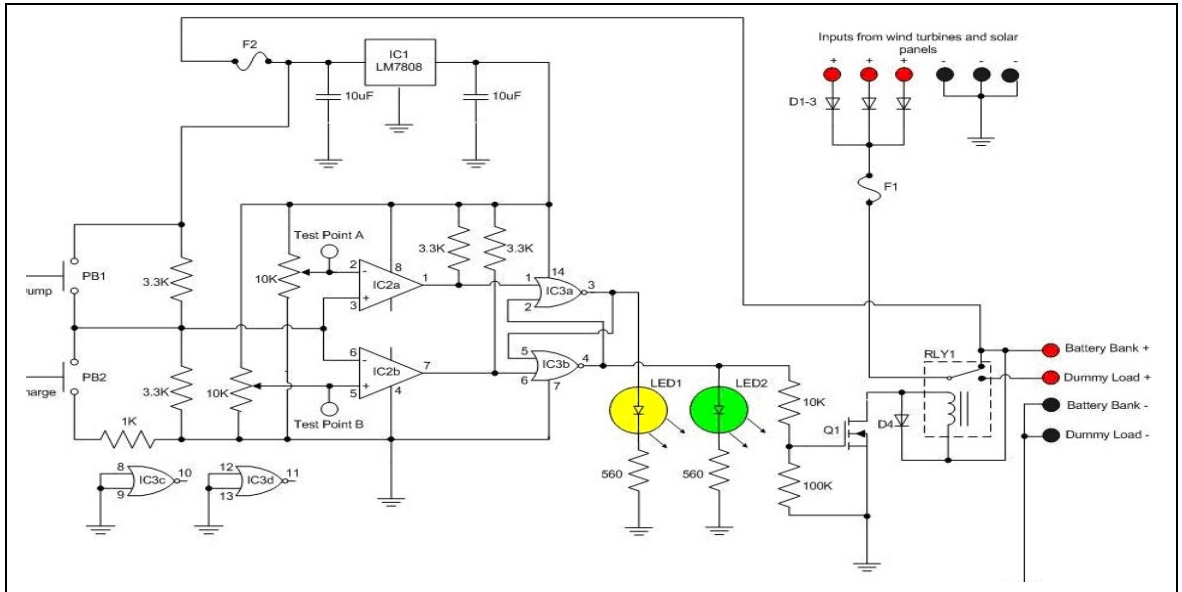
(b)

Şekil 47. Türbinin dikileceği yerin belirlenmesi ve çukurun kazılması.



Şekil 48. Türbin direğinin dikilmesi.

3.9.11. Şarj Kontrol Sistemi



Şekil 49. Şarj kontrol devresi şeması (Davis, 2009).

Şarj kontrol devresinin görevi akü şarjında gerekli olan voltajı düzenlemektir. 12 volt aküler şarj edilirken 13,8 V sabit voltaj ile şarj edilirler. Kontrol devresinin çıkış voltajı 13,8 volt'tur. Ayrıca kontrol devresi aküler şarj olduğunda, fazla şarjı engellemek için jeneratör akü bağlantısını otomatik olarak keser ve akü boşaldığında otomatik olarak tekrar şarj konumuna geçer.

4.9.12. Rüzgâr Türbini Verimi

Rüzgâr türbini kurulmadan önce hedef olarak 1kw gücünde bir türbin olarak düşünüldü ancak bu değer rüzgâr hızının 12m/sn olduğu zaman maksimum değeri olacaktır.

Türbinde 2 türlü değer ölçümü yapıldı

1: Boşta (türbine herhangi bir yükün bağlanmadığı durum)

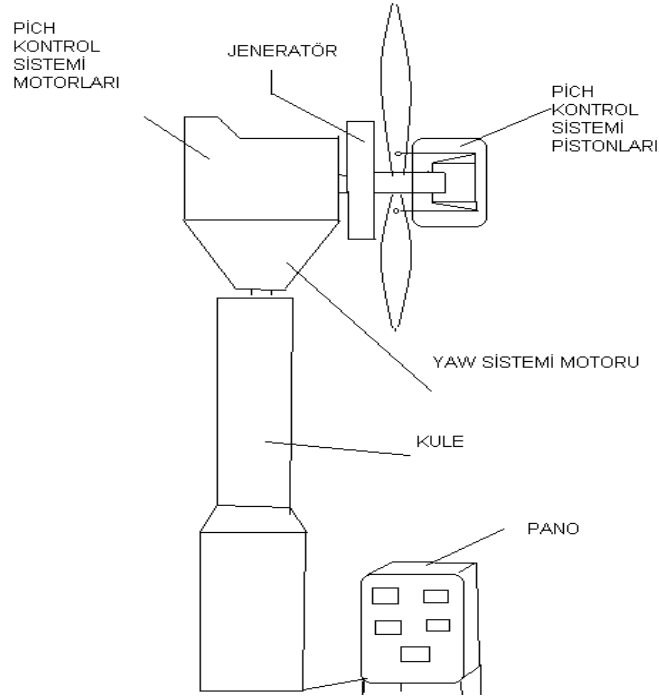
2: Yükte (türbine şarj aküleri ve lambaların bağlandığı durum)

Çizelge 5. Türbininin rüzgâr hızına göre voltaj akım güç çıkış verileri

Tarih	Rüzgar hızı (m/sn)	volt (BOŞTA)	volt (YÜKTE)	akım (amper)	güç (watt)	HAVA DURUMU
31.10.2008	2	0	0	0	0	Hafif rüzgarlı
31.10.2008	2,2	7	6	2	12	Hafif rüzgarlı
31.10.2008	2,5	7,5	6	2	12	Hafif rüzgarlı
31.10.2008	2,9	8	7	2	14	Hafif rüzgarlı
31.10.2008	3,3	8,5	7	2	14	Hafif rüzgarlı
31.10.2008	4,4	12,6	12	4	48	Hafif rüzgarlı
31.10.2008	6	16,7	15	10	150	Hafif rüzgarlı
31.10.2008	6,3	20	18	15	270	Hafif rüzgarlı
03.11.2008	9	28	26	20	520	Orta rüzgarlı
03.11.2008	7	25	22	18	396	Orta rüzgarlı
03.11.2008	5	19	16	15	240	Orta rüzgarlı
03.11.2008	5,9	20	18	17	306	Orta rüzgarlı
03.11.2008	6,4	24	20	18	360	Orta rüzgarlı
12.11.2008	10	34	21	25	525	Fırtınalı hava
12.11.2008	11	44	22	31	682	Fırtınalı hava
12.11.2008	11,5	48	22	36	792	Fırtınalı hava
12.11.2008	12	55	22	43	946	Fırtınalı hava
12.11.2008	13	60	22	45	990	Fırtınalı hava
12.11.2008	14	68	23	46	1058	Fırtınalı hava
12.11.2008	15	77	24	48	1152	Fırtınalı hava
12.11.2008	15,5	78	24	52	1248	Fırtınalı hava
12.11.2008	16	85	24	53	1272	Fırtınalı hava

Türbin üzerinde aralıklarla ölçüm yapıldı, rüzgâr hızını her değeri için voltaj ve amper(akım) verileri alındı ve jeneratörün rüzgâr hızına bağlı olarak volt ve amper akımının arttığı gözlemlendi. Bunun yanında yapılan jeneratör 1kw/saat olarak tasarlanmıştı. Jeneratörümüz bu güce 12-13m/sn rüzgâr hızında ulaştı. Şarj kontrol devresi türbinde voltaj ayarlarını yapmaktadır. Akü şarjında gerekli olan voltaj 13,8 volt olmalıdır. Şarj kontrol devresi bu voltajı 13,8 volt civarında sabit tuttu. Yükte voltaj ölçülürken şarj kontrol devresi girişinden voltajı ölçüldü. Çıkış voltajı sabit ve 13,8 voltur. Boşta voltaj ölçülürken şarj kontrol devresinin devreden çıktığı ve jeneratörün hiçbir yüke girmediği durumda ölçüm yapıldı.

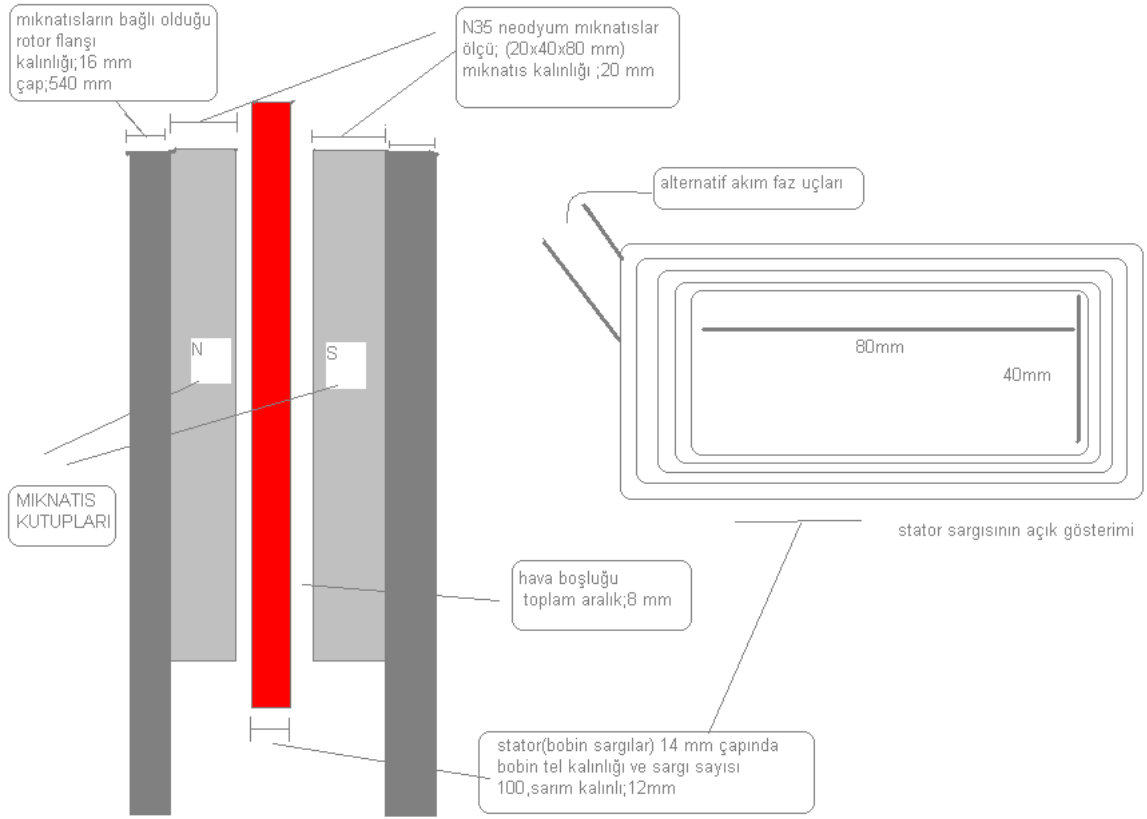
4.10. Beş Kw/s Rüzgar Türbini Yapımı



Şekil 50. 5kw/saat türbin yapım şeması.

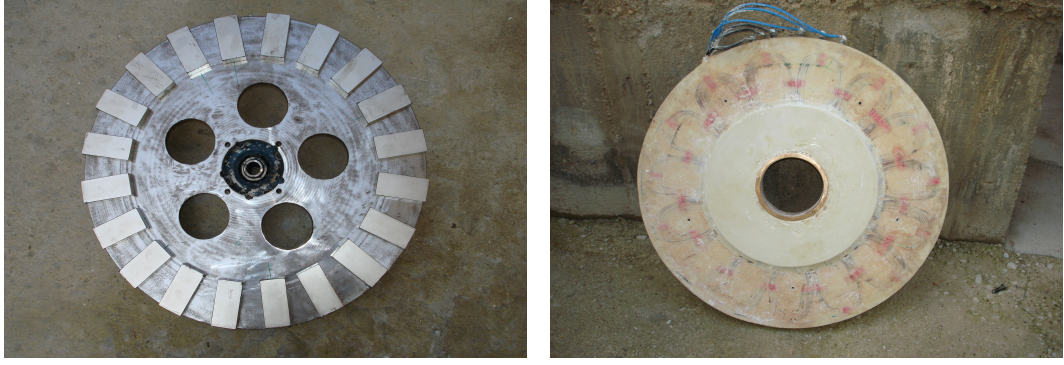
Şekil 50’de 5 KW/saat rüzgâr türbini yapımında 1 kw/saat türbinden farklı olarak kuyruk sisteminin bulunmaması ve pitch kontrol sisteminin bulunmasıdır. Türbin de pitch kontrol sistemi; türbinin bilgisayar veya bir kumanda kartı sayesinde, kanat açılarını değiştirerek kendini kontrol etme sistemidir. Türbin aşırı rüzgar da zarar görmemesi ve kanatların rüzgarı alamaması için açılarını rüzgara doğru 0°yaklaşacak şekilde ayarlar, 5 kw/saat gücündeki türbinde kanatları rüzgâra dik konumda yönlendiren kuyruk sistemi yoktur. Kanatları rüzgâra dik konumda yönlendiren YAW motoru bulunmaktadır.

4.10.1.Jeneratör



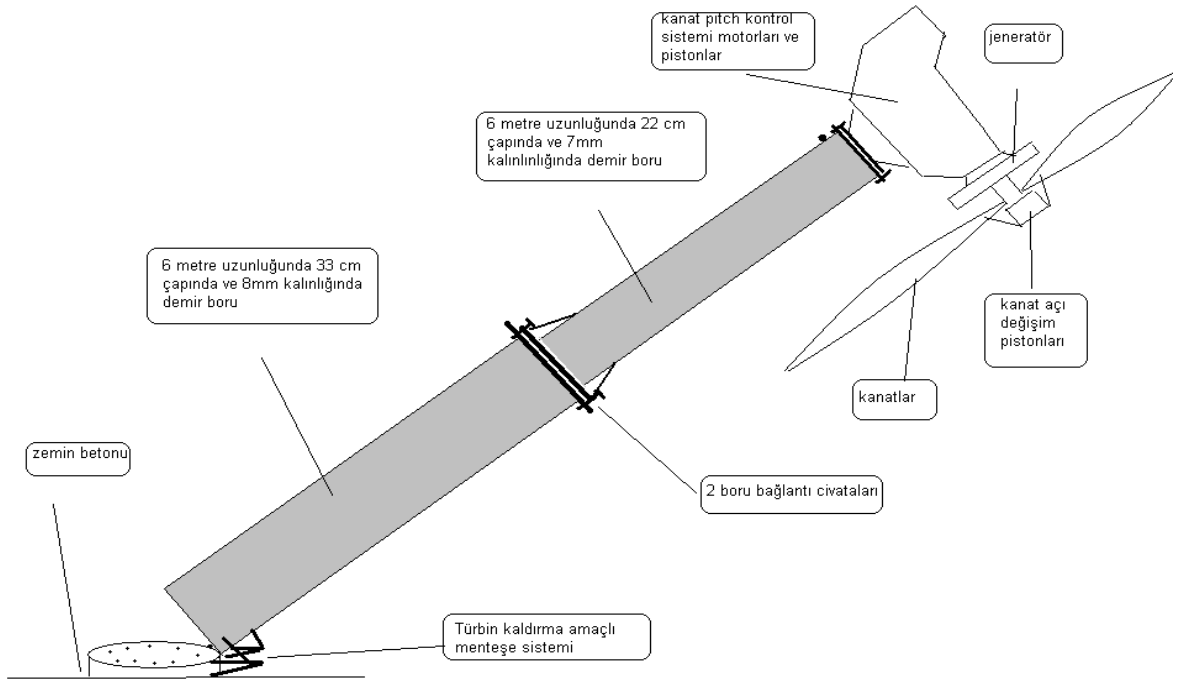
Şekil 51. Jeneratör yapımında kullanılan Neodyum (N35) mıknatıs ve sargıların yerleşim şekilleri.

Jeneratör yapımında 1 kw/saat türbinde olduğu gibi doğal mıknatıslı senkron jeneratör kullanıldı. Rotor fanşlarına bağlı olan iki mıknatıs arasında bobin sarımlarının geçirilmesiyle elektrik akımı elde edildi Şekil 4.1.1 de iki mıknatıs arasında bobin sargıları bulunmaktadır. Bu bobin sargıları toplam 15 adet olarak yapıldı ve bu bobin sargıların etrafından karşılıklı 20 çift mıknatıs rotor flanşına bağlanır (toplam 40 adet mıknatıs). Bobinlerin bağlı olduğu kısma stator denilmektedir, bu stator etrafında sürekli manyetik alana sahip mıknatıslar kuvvetli manyetik alan meydana getirmektedir. Bu manyetik alanın rotor flanşının dönmesiyle hareket etmektedir. Bu hareket sonucunda elektrik enerjisi elde edilmektedir.



Şekil 52. Rotor flanş ve stator, Türbin jeneratörü 2 adet rotor flanşından ve 1 adet stator sarımdan oluşmaktadır.

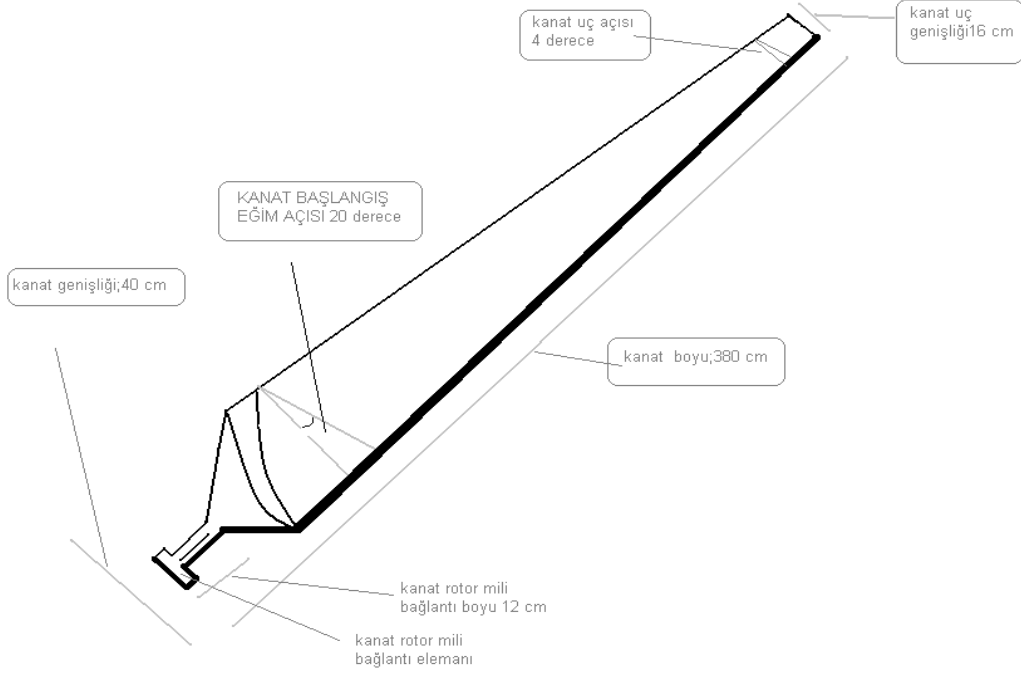
4.10.2 Kule



Şekil 53. Türbin kule sistemi

Türbinde kullanılan kule 12m toplam yüksekliğe sahip demir borulardan oluşmaktadır. Bu demir borular rüzgâr hareketlerine ve kanat titreşim güçlerine dayanabileceği tahmin edilmektedir. Kule tabanında 2metre derinliğinde ve 1metre genişlik ve 1metre uzunluğunda çukur kazıldı ve içine beton atılıp direk sabitlendi. Türbin bakım ve onarım için kule üzerine ulaşabilmek için kule altına menteşe sistemi yapıldı. Bu menteşe sistemi gerektiğinde kule yatırılıp, kaldırmak için daha avantajlı görünmektedir.

4.10.3 Kanatlar



Şekil 54. Türbin kanat ölçüleri.

Türbinde kullanılan kanat ve ölçüleri **şekil 54**'de gösterildiği gibidir. Kanat yapımında kullanılan malzeme polyester reçine cam yünü ile güçlendirildi. Polyester malzemeler hava şartlarındaki değişimlere (Sıcaklık, donma) karşı koymaktadır. MW/saat gücündeki türbinlerin kanatları da polyester ile yapılmaktadır.



Şekil 55. Kanat iç iskelet sistemi.

Kanat yapılmadan önce; kanat yapısının şeklini verecek **şekil 55'** deki iç iskelet sistemi yapıldı, bu iskelet kanadın sağlamlığını artırmak ve kanat tasarımının yapılabilmesi için yapıldı. Bu iskelet daha sonra polyester ile çevrelenerek iskelet şekline uygun olarak kaplandı. Polyesterden kalan bozukluklar zımpara ile kazınıp çukur kalan yerler polyester macun ile dolduruldu ve boyası yapıldı.

SONUÇ:

Üniversite BAP (bilimsel araştırma projesi) destekli 5 kws rüzgar türbin yapımı devam etmektedir. Yapılan türbinde kanat açılarının değiştirilmesi ile pitch kontrol sistemi sağlanarak türbine otomatik olarak kumanda edinilebilecektir. Ayrıca rüzgar yönüne kulenin döndürülmesi için kuyruk sistemi kullanılmadan YAW mekanizması kurularak rüzgar yönüne döndürülmesi sağlanacaktır. Ayrıca bu türbin şebekeye paralel çalışarak, elektrik saatinden sonra kullanılacak olan yere bağlanabilecektir. Bu türbinde istenilirse aküde şarj edilebilecektir.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bilindiği gibi enerji çağını yaşadığımız dünyamızda artık fosil yakıtlarımız bitmek üzeredir. Enerji gereksinimimizi sağlamak için ekonomimizin büyük kısmını enerji hammaddesi için dışarıya harcamaktayız. Bu yüzden dışa bağımlılığımız her geçen gün katlanarak artmaktadır. Bunun önüne geçmenin en mantıklı yolu alternatif enerji kaynaklarına yönelmektir. Son zamanlarda sıkça duyduğumuz kelime ‘‘küresel ısınma’’ tehlikeli boyutlara ulaşmıştır. Devletler çözümün sadece yenilenebilir enerji olduğunu vurgulamaktadır. Bu konuda çok hızlı tedbirler alınması gerekmektedir. Ülkemizde bir an önce enerjisini yenilenebilir enerjilerden sağlamak zorundadır. Son zamanlarda Türkiye de küresel ısınmanın etkileri kendisini göstermeye başlamıştır. Artan sıcaklıklar oluşan sel felaketleri iklim değişiklikleri tarım ürünlerinin azalması fosil yakıtların dünya sıcaklığını artırmasından kaynaklanmaktadır. Şu anda ülkemizde alternatif enerji potansiyeli bakımından iyi konumda olan ülkeler arasında bulunmaktadır. Ama bunu değerlendirme de geç kalmaktayız. Alternatif enerjilerde güneş, jeotermal, küçük hidroelektrik santraller, rüzgâr ön sırayı almaktadır. Bunların içerisinde kurulum maliyeti ve kurulduktan sonra en uzun yaşam ömrü olan ve bakımı en ucuz olan enerji rüzgâr enerji santralleridir. Ülkemizde rüzgâr enerji potansiyeli ülkemizin elektriğinin tamamını karşılayabilecek düzeydedir, bunu değerlendirmeliyiz. Rüzgâr enerji santralleri tamamen ithal olan yapılardır. Bunların yapılması çok zor olan sistemler değildir. Sadece güçlü ar-ge çalışması ile birlikte türbin üretim tesislerinin kurulması gerekmektedir. Yerli malı türbinler ülkemizin rüzgârlarını elektrik enerjisine dönüştürmesi gerekmektedir.

Yaptığımız 1kw/saatlik rüzgâr jeneratörü bir evin en ihtiyaç olan araçları çalıştırmak için tasarladık şimdi üzerinde çalıştığımız türbinin gücü 5kw/saat elektrik üretim kapasitesine sahip olacaktır. Bu türbini proje olarak 18 Mart Üniversitesi BAP(bilimsel araştırma projeleri) desteği ile gerçekleştirmekteyiz. Bu türbin güç bakımından daha güçlü, bunun yanında yaptığımız 1kw türbinden farklı olarak;

- Kuyruk sistemi içten motor ile döndürülecek arkada büyük kuyruk sistemi olmayacak
- Kontrol mekanizması olarak PLC kontrol sistemi olup türbin bilgisayar kontrollü olacak
- Kanatlar fren sistemi takılarak pitch kontrol sistemi kanatlarda uygulanmaya çalışılacak.

-Pitch kontrol sistemi türbin kanatlarının açılarını değiştirerek rotorun sabit hızda dönmesini sağlayacaktır. Sabit dönen rotor, sabit voltaj verecektir.

-Kanatlardaki pitch kontrol mekanizması türbini aşırı rüzgârda koruma konumuna alarak türbini zarar görmesini önleyecektir.

- Bu türbin ile üniversitemiz kampus sahası içinde bulunan Amfi tiyatronun aydınlatılması düşünülmektedir

-5kw /saat türbin yapıldıktan sonra 50kw/saat türbin üzerinde çalışma yapılacaktır. Bu 50kw türbin ile üniversite gece aydınlatmasının bir kısmının elektriğinin bu türbinden karşılanması hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

Mukund R. Patel., 1997. Wind and Solar Power Systems, 1999 by CRC pres. Merchant marine academy kings point., U.S

Blaabjerg F. , Chen Z, 2000. Power Elektroniks for Modern Wind Turbines
İnstute of Energy Technology, Aalborg unv.

Burton T , Sharpe D, Jenkins N, Bossany E., 2000. Wind Energy Handbook .

Richard c. Dorf., 2004. Wind Power in View. Üniversity of California

Demir F.N., 2007. Rüzgâr Enerjisi . Bitirme tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Makine Müh.

Köse F, Özgören M., 2005. Rüzgâr Enerji Potansiyeli Ölçümü ve Rüzgâr Türbin Seçimi,
mühendis makine yayınları s,549/46

Uyar M. Gencoğlu M.T. Yıldırım S., 2009. Değişken Hızlı Rüzgâr Türbinleri için
Jeneratör

Sistemleri. Fırat Ün. Teknik eğitim fakültesi

http://.perweb.firat.edu.tr/personel/yayilar/fua_612/612_22116.pdf

Nurbay N. Çınar A., 2007. Rüzgâr Türbinlerinin Çeşitleri ve Birbiriyle Karşılaştırılması

Kocaeli ün. Makine Eğitimi

http://www.emo.org.tr/ekler/4986d86a17424ee_ekpdf

Karakaya E., 2008. Küresel Isınma Kyoto Protokolü. Bağlam yayınevi (8/2008)

Taşgetiren, S., 1998. Rüzgâr enerjisi. s.29. Pamukkale Ün. Mühendislik fakültesi

<http://www.ekolojidergisi.com.tr/resimler/29-6pdf>

M. Türkeş., (02,09,2009). İklim değişikliği: Türkiye-iklim değişikliği çerçeve sözleşmesi
ilişkileri ve iklim değişikliği politikaları.

http://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/vizyon2023/csk/ek-7.pdf

Banderet T, Bartmann D, Fink D., (07 mayıs 2009), How made wind turbin generatör

Sytems, [http:// www.otherpower.com](http://www.otherpower.com)

Türkiye enerji, su ve gaz işçileri sendikası., (04 Nisan 2009), Rüzgar enerjisi,

www.tes-is.org.tr/dergiler/09,20mart/pdf/sektor.pdf

Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü., (12.Temmuz.2009), Yenilenebilir Enerji

Kaynakları, Rüzgar Enerjisi. www.eie.gov.tr/YEK.html

Yönenerji ., (22 Haziran 2009), Rüzgar Enerjisi Üzerine Notlar,

www.yonenerji.com/dosyalar/ruzgar_enerjisi.pdf

Türkiye rüzgar enerjisi birliği., 15.Ocak 2009). Türkiye ve Dünya da Rüzgar

Enerji Potansiyelleri (bilgi bankası), www.ruzgarenerjisibirliigi.org.tr

H.R. Köymen., (12 Aralık. 2009), Türkiye'nin elektrik üretim stratejisi

<http://www.ere.com.tr>

M. Davis., Wind turbine charge controller circuit. (12. Aralık. 2009), Rüzgar Türbinlerinde

Akü Şarj Kontrol Devresi, www.mdpub.com/wind_turbine/index.html

Çizelge 1. Türkiye'nin 2008 yılında aylara göre harcadığı elektrik miktarı.....	13
Çizelge 2. Türkiye enerji üretim çeşitliliği.....	14
Çizelge 3. Türkiye Kurulu Rüzgâr Enerjisi Santralleri.....	16
Çizelge 4. Jeneratör devir ve frekans değerleri.....	32
Çizelge 5. Türbininin rüzgâr hızına göre voltaj akım güç çıkış verileri.....	60

Şekil 1. Dünya Rüzgâr Haritası.....	8
Şekil 2. Türkiye Rüzgâr Haritası.....	10
Şekil 3. Avrupa rüzgâr haritası.....	11
Şekil 4. Dünya rüzgâr enerjisini kullanımının yıllara göre değişimi.....	15
Şekil 5. Rüzgarı Arkadan Alan Türbin Çeşidi.....	18
Şekil 6. Yatay eksenli rüzgâr türbinleri.....	19
Şekil 7. Düşey Eksenli Rüzgâr Türbini.....	20
Şekil 8. Darrieus Tipi Rüzgâr Türbini.....	21
Şekil 9. Rüzgâr türbin kanadında verimi için BETZ modeli.....	21
Şekil 10. Rüzgâr türbin kanadında verimi için CGS modeli.....	22
Şekil 11. Türbin kanadına etki eden kuvvetler.....	24
Şekil 12. Bir rüzgâr türbinin jeneratör kabınınin şeması.....	27
Şekil 13. Bir rüzgâr türbininde devri artırıcı dişli kutusu	30
Şekil 14. Dişli kutusu olmayan bir rüzgâr türbinin içyapısı	31
Şekil 15. Manyetik titreşimi azaltmak için rotor plakaları mile açılı şekilde dizilmiştir.....	33
Şekil 16. Sincap kafesli asenkron jeneratör.....	34
Şekil 17. Rotoru sargılı asenkron jeneratör.....	35
Şekil 18. Bir kw/saat Rüzgâr Türbini.....	36
Şekil 19. Küçük tip rüzgâr türbinlerin kurulum şeması	39
Şekil 20. Jeneratörde Rotor ve Statorun Konumu	40
Şekil 21. Poyra.....	40
Şekil 22. Sürekli mıknatıslı jeneratörün mıknatısların bağlantı.....	41
Şekil 23. Neodyum N35 mıknatısların arasının polyester ile doldurulması.....	42
Şekil 24. Mıknatıs ve bobinlerin faz gösterimleri	43
Şekil 25. Jeneratör fazlar arasındaki volt ve genlik değerleri gösterilmektedir.....	44
Şekil 26. Mıknatısların Bobin Kalıp Tahtası Üzerinde Nereye Denk Geldikleri.....	44
Şekil 27. Mıknatıslar arasında kalan bobin sarımına etki eden mağnetik alan kuvveti.....	45
Şekil 28. Bobin sarma makinesi.....	46
Şekil 29. Dokuz adet bobin sarımlarından bir tanesi.....	46

Şekil 30. Bobinlerin yerleştirilmesi bobinler arası bağlantılarının yapılması ve faz uçlarının ayrılması (3 adet faz kablosu çıkışı).....	47
Şekil 31. Bobinler arasındaki bağlantıların yapılmasında 2 bağlantı şekli bulunmaktadır. (STAR, DELTA).....	48
Şekil 32. 9 adet bobin sarımı yapıldıktan sonra kalıp içerisine alımı.....	49
Şekil 33. Bobinlerin ve mıknatısların kalıp içerisine alınması.....	49
Şekil 34. Kalıpların Sökülmesi(çapakların zımpara ile alınmış hali.....	50
Şekil 35. Rüzgâr Jeneratörünün Stator ve Rotorun Bağlanma Şeması	50
Şekil 36. Rotor ve Statorun Bağlandıktan sonraki durumu.....	51
Şekil 37. Rüzgâr türbini kanat kesiti	52
Şekil 38. Rüzgâr Türbin de kanat boylarına göre aktarılan güç.....	52
Şekil 39. Türbin kanadının en boy ölçüleri.....	53
Şekil 40. Türbin Kanadının Rotor mili Bağlantı kısmı.....	53
Şekil 41. Kanadın eğim vermek için yapılan kısmı.....	54
Şekil 42. Ahşap kanatlarının eğim ölçüleri.....	54
Şekil 43. Pervanelerin açılar ve eğiminin kök kısmı, orta kısmı ve uç kısımdaki ölçüleri.....	55
Şekil 44. Kanatların bir flanş yardımıyla rotor miline bağlanması.....	56
Şekil 45. PVC kanatların yapılması	57
Şekil 46. Rüzgar türbini kuyruk sistemi.....	57
Şekil 47. Türbinin dikileceği yerin belirlenmesi ve çukurun kazılması.....	58
Şekil 48. Türbin direğın dikilmesi.....	59
Şekil 49. Şarj kontrol devresi şeması.....	59
Şekil 50. 5kw/saat türbin yapım şeması.....	61
Şekil 51. Jeneratör yapımında kullanılan neodyum mıknatıs ve sargıların yerleşim şekilleri.....	62
Şekil 52. Rotor flanşı ve stator.....	63
Şekil 53. Türbin kule sistemi;.....	63
Şekil 54. Türbin kanat ölçüleri.....	64
Şekil 55. Kanat iç iskelet sistemi.....	64

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Muzaffer YÜCEL
Doğum Yeri : Çanakkale
Doğum Tarihi : 26.03.1980

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi : Konya Selçuk Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik, 2004
Yüksek Lisans Öğrenimi: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Fizik Anabilim Dalı, 2009
Bildiği Yabancı Dil : İngilizce

İŞ DENEYİMİ

2004-..... Kayalar İnşaat iş yönetimi

İLETİŞİM

myucel@comu.edu.tr