

152706

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARI, RÜZGAR
ENERJİSİ VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elk. Müh. Murat UĞURLU

**Enstitü Anabilim Dalı: ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜH.
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Şerafettin ÖZBEY**

HAZİRAN 2004

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

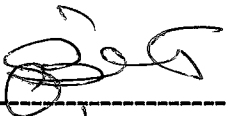
ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARI, RÜZGAR
ENERJİSİ VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elk. Müh. Murat UĞURLU

Enstitü Anabilim Dalı: ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜH.
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK

Bu tez 21./04/2004 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



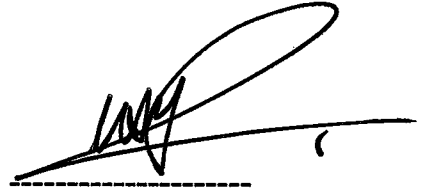
Jüri Başkanı

Dr. Serapettin ÖZBEY



Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÖZDEMİR



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Mehmet Ali YALÇIN

ÖNSÖZ

Enerji ihtiyaçlarımızın büyük bir bölümünün karşılanmasında kullanılan fosil yakıt kaynaklarının durumu göz önüne alındığında alternatif enerji kaynakları büyük önem kazanır. Bir alternatif enerji kaynağı olan rüzgar enerjisinin potansiyel ve çevre etkileri nedeniyle kullanımının artırılması insanlığın yararına olacaktır. Rüzgar enerjisinin kullanımının yaygınlaşmasına ve ülke ekonomisine katkıda bulunmak amacıyla bu tez konusunu seçmiş bulunmaktayım.

İnsanlar için vazgeçilmez olan elektrik konusunda yetişmemde emeği geçen tüm eğitimlere sonsuz saygılarımı sunuyorum.

Bu çalışmayı gerçekleştirirken yakın ilgi ve desteğini esirgemeyen değerli hocalarım ve danışmanım Prof. Dr. Şerafettin ÖZBEY'e teşekkürlerimi sunuyorum. Çalışmam sırasında yardımları esirgemeyen arkadaşlarım Serdar SERDAROĞLU, Elektronik Bilgisayar Öğretmeni Bülent ÇOBANOĞLU ve İngilizce öğretmeni Muhsin MUMCU'ya ayrıca uygulamamı gerçekleştirmem sırasında yardımcı olan babam İsmail UĞURLU'ya, oto elektrikcisi Mehmet BOZKURT'a ve tüm Erbaa Küçük Sanayi Sitesi çalışanlarına sonsuz teşekkür ediyorum.

Bugünlere gelmemde en büyük payı olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen anne ve babama sonsuz şükranlarımı sunuyorum. Ayrıca bana desteğini esirgemeyen ve sürekli motive eden eşime sonsuz teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER.....	vi
KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
ÖZET	ix
SUMMARY.....	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARI.....	5
2.1. Rüzgar Enerjisi.....	5
2.2. Güneş Enerjisi.....	7
2.2.1. Isıl güneş teknolojileri.....	9
2.2.1.1. Düşük sıcaklık sistemleri.....	9
2.2.1.2. Yoğunlaştırıcı sistemler.....	11
2.2.2. Güneş pilleri.....	11
2.2.2.1. Güneş pillerinin yapımında kullanılan malzemeler.....	14
2.2.2.2. Güneş pili sistemleri.....	15
2.3. Hidrojen Enerjisi.....	17
2.3.1. Hidrojen üretimi.....	20
2.3.2. Hidrojenin depolanması.....	20
2.3.3. Hidrojenin taşınması.....	22
2.3.4. Yakıt hücresiyle elektrik üretmek.....	23
2.4. Jeotermal Enerji.....	24

2.5. Biyokütle Enerjisi.....	27
2.6. Dalga ve Gel-Git Enerjisi.....	30
2.6.1. Dalga enerjisi.....	30
2.6.2. Gel-git enerjisi.....	31

BÖLÜM 3.

RÜZGAR ENERJİSİ VE RÜZGAR TÜRBİNLERİ.....	32
3.1. Rüzgar ve Rüzgar Enerjisi.....	32
3.2. Rüzgar Potansiyeli ve Rüzgar Potansiyelinin Belirlenmesi.....	33
3.3. Rüzgar Türbinleri.....	33
3.3.1. Şebekeye bakımından rüzgar türbinleri.....	37
3.3.1.1. Şebekeden bağımsız sistemler.....	37
3.3.1.2. Şebeke ile bağlantılı sistemler.....	38
3.3.2. Güçlerine göre rüzgar türbinleri.....	39
3.3.2.1. Mikro türbinler.....	39
3.3.2.2. Küçük rüzgar türbinleri.....	39
3.3.2.3. Büyük rüzgar türbinleri.....	39
3.3.3. Yapılarına göre rüzgar türbinleri.....	40
3.3.3.1. Yatay eksenli rüzgar türbinleri.....	40
3.3.3.2. Düşey eksenli rüzgar türbinleri.....	41
3.3.3.3. Eğik eksenli rüzgar türbinleri.....	44

BÖLÜM 4.

RÜZGAR TÜRBİNİ TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ.....	45
4.1. Rüzgar Türbinin Tasarımı.....	45
4.1.1. Türbin hesaplamaları.....	46
4.1.2. Türbin tasarımında dikkat edilecek hususlar.....	47
4.2. Rüzgar Türbininin Gerçekleştirilmesi.....	48
4.2.1. Türbin ana parçaları.....	49
4.2.1.1. Kanatlar ve kuyruk.....	49
4.2.1.2. Alternatör.....	50
4.2.1.3. Kule.....	51
4.2.1.4. Doğrultucu ve gerilim regülatörü.....	51

4.2.1.5. Akü	52
4.2.1.6. İverter	52
4.2.2. Türbin yardımcı parçaları	52
4.2.3. Parçaların montajı	52
4.3. Rüzgar Türbinin Çalışması	53
4.4. Rüzgar Türbininin Bakımı	54

BÖLÜM 5.

SONUÇLAR	55
----------------	----

BÖLÜM 6.

TARTIŞMA VE ÖNERİLER	56
----------------------------	----

KAYNAKLAR	57
-----------------	----

EKLER	58
-------------	----

ÖZGEÇMİŞ	59
----------------	----

SİMGELER LİSTESİ

- P : Türbin Gücü
 C_p : Güç Faktörü
 ρ : Havanın Yoğunluğu
 P : Kanat Alanı
 c_u : Rüzgar hızı
 π : Pi Sabiti
 d : Kanat Çapı

KISALTMALAR LİSTESİ

NASA	: National Aeronautics and Space Administration - Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
LPG	: Likit Petrol Gazı
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
HAWT	: Horizontal Axis Wind Turbine - Yatay eksenli rüzgar türbinleri
VAWT	: Vertical Axis Wind Turbine - dikey eksenli rüzgar türbinleri



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.Küçük Rüzgar Türbini Blok Diyagramı.....	3
Şekil 2.1.Güneşten Gelen Işınımın Dağılımı.....	8
Şekil 2.2. Güneş pilinin kesiti.....	13
Şekil 2.3. şebekeden bağımsız bir güneş pili enerji sisteminin şeması.....	16
Şekil 2.4. Yakıt hücresi şematik gösterimi.....	23
Şekil 3.1.Rüzgar hızının yükseklikle artışı.....	32
Şekil 3.2.Şebekeden bağımsız çalışan büyük güçlü rüzgar türbini.....	37
Şekil 3.3.Şebekeden bağımsız akü şarj prensibine göre çalışan rüzgar türbini.....	38
Şekil 3.4.Şebekeyle paralel bağlı rüzgar türbini.....	39
Şekil 3.5. Yatay eksenli rüzgar türbinlerinin kanat şekilleri.....	41
Şekil 3.6. Yel değirmeni yelpazesi tipi yatay eksenli rüzgar türbini.....	41
Şekil 3.7. Çok kanatlı yatay eksenli rüzgar türbini.....	42
Şekil 3.8. Üç kanatlı yatay eksenli rüzgar türbini.....	42
Şekil 3.9. Savonius çarkı dikey eksenli rüzgar türbini.....	43
Şekil 3.10. Darrieus çarkı dikey eksenli rüzgar türbini.....	43
Şekil 4.1. Kanat gücünün alternatöre iletimi.....	47
Şekil 4.2. Rüzgar türbini.....	48
Şekil 4.3. Kanatlar.....	49
Şekil 4.4. Kuyruk.....	50
Şekil 4.5. Alternatör.....	51
Şekil 4.6. Doğrultucu ve gerilim regülatörü elektrik devresi.....	52
Şekil 4.7.Küçük rüzgar türbini.....	53

ÖZET

Anahtar kelimeler: Alternatif enerji kaynakları, Rüzgar enerjisi, Rüzgar türbinleri

İnsanlar hayatlarını sürdürebilmeleri için sürekli enerjiye ihtiyaç duyarlar. Günlük hayatta çok kullanılan enerji kaynakları; elektrik, ısı, ışık, güneş ve kimyasal enerjilerdir. Elektrik enerjisi daha çok fosil yakıtlar kullanılarak elde edilir. Fosil yakıtların rezervleri azalmaktadır. Ayrıca bu yakıtlar çevreye çok fazla zarar vermektedir. Bu nedenle yeni enerji kaynakları kullanılması gerekir. Bu kaynaklara alternatif enerji kaynakları denir.

Bu çalışmada; alternatif enerji kaynakları ve bunlar içindeki rüzgar enerjisi üzerinde durulmuştur. Rüzgar enerjisinin alternatif enerji kaynakları içinde hem potansiyel hem de çevre koşulları yönünden önemli bir kaynak olduğu görülmüştür. Bunun yanında rüzgar enerjisinden elektrik üretimi incelenmiştir. Elektrik üretmek için kullanılan türbinler analiz edilerek bir rüzgar türbini uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Yapılan bu uygulama ile rüzgardan elektrik üretilerek bir çok ihtiyaca cevap verilmesi ve bundan sonra yapılacak çalışmalara ilham vermesi düşünülmüştür.

ALTERNATIVE ENERGY SOURCES, WIND ENERGY AND ITS REALIZATION

SUMMARY

Key Words: Alternative energy sources, wind energy, wind turbines

People needs energy to continue their lives. The most widely used energy sources in daily life are; electric, heat, light, sun and chemical energies. Electric energy is obtained generally by using fossil fuels. The reserves of the fossile fuels are becoming less. Besides this fuels are very harmful for the environment. For this reason new energy sources must be used. These sources are called alternative enery sources.

In this thesis; alternative energy sources and especially wind energy sources are studied. Among the alternative energy resources wind energy is regarded as an important source from the point of both being a potential energy source and being a friedly source to the environment. In addition the production of electric from the wind energy is studied. The turbines which are used to produce electric are analized and a wind turbine application is put into practice.

With this application it is thought to answer the needs and to inspire the future studies by producing electric from the wind energy .

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Enerji, varlıkların iş yapabilme yeteneğidir. İş, enerjinin ortaya çıkmış şeklidir. İnsanların hayatlarını sürdürebilmesi için sürekli enerjiye ihtiyaçları vardır. Örneğin insan, vücudu için gerekli olan enerjiyi besin kaynaklarından alır. Yeryüzündeki tüm canlılar güneşin ısı ve ışık enerjisine ihtiyaç duymaktadır. Günlük hayatımızda çok kullandığımız enerji kaynakları; elektrik, ısı, ışık, güneş ve kimyasal enerjilerdir.

Elektrik enerjisi, enerji kaynakları içinde önemli bir yere sahiptir. Bu enerjinin üretim ve tüketiminde kilowattsaat (kWh) enerji birimi olarak kullanılır.

İnsanoğlunun enerji ihtiyacı ilk çağlardan bu yana hayat standardına bağlı olarak sürekli artmıştır. Günümüzde ülkelerin gelişmişlik göstergelerinden birisi, o ülkede kişi başına tüketilen elektrik enerjisidir. Fosil kökenli yakıtlar enerji üretiminde özel bir yer tutar. Dünyanın enerji gereksinimi sürekli olarak yükselmekte, kömür, petrol ve doğal gaz %75 oranıyla temel enerji kaynağı olmayı sürdürmektedir.

Fosil yakıt kaynaklarının sınırlı oluşu ve hava kirliliği, asit yağmurları ile sera etkisi şeklinde ortaya çıkan çevresel sorunlar nedeniyle, alternatif enerji kaynakları tüm dünyada giderek artan bir ilgi ile karşılanmakta ve enerji gereksiniminin karşılanmasında önemli bir kaynak olarak görülmektedir.

Enerjinin yeterli, zamanında, kaliteli, ekonomik, güvenilir ve temiz olarak sunumu günümüzde ülkelerin gelişmişlik düzeylerini belirleyen en önemli göstergelerden biridir. Sanayinin olduğu kadar halkın günlük yaşantısının da en önemli girdilerinden olan enerjiye talep sürekli olarak artarken enerji kaynakları da hızlı bir şekilde tükenmektedir. Sürdürülebilir bir dengenin sağlanabilmesi için enerji kaynak çeşitliliğinin sağlanması ve konvansiyonel enerji kaynaklarının yanında, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıma sunulması büyük önem kazanmıştır.

Günümüzde petrol, kömür ve doğal gaz gibi kaynaklara alternatif olarak rüzgar, güneş, hidrojen, jeotermal, biyokütle ve dalga gibi yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde durulmaktadır. Bu bağlamda pek çok ülke 2010 yılında elektrik enerjisi gereksinimlerinin %10'unu rüzgar enerjisinden karşılamayı planlamaktadır. Çünkü rüzgar, güneş, jeotermal, biyokütle ve dalga gibi yenilenebilir enerji kaynakları arasında elektrik üretimi konusunda en fazla ümit veren yenilenebilir enerji kaynağıdır.

Bu nedenle, pek çok ülke ulusal programlar ve teşvikler uygulayarak rüzgar enerjisi teknolojisini geliştirmeye çalışmaktadırlar.

Ana kaynağı güneş olan rüzgar, hava tabakalarının farklı sıcaklıklarda ısınıyor olmasından oluşur. Güneş enerjisinin kayaları, denizleri ve atmosferi her yerde özdeş ısıtmaması nedeniyle oluşan sıcaklık ve basınç farkları rüzgarı oluşturmaktadır. Bir enerji kaynağı olarak kullanılan rüzgar enerjisi bol ve serbest halde bulunan güvenilir ve sürekli bir enerji kaynağıdır.

Binlerce yıldır insanlığın hizmetinde bulunan rüzgar enerjisinden elektrik üretimi ilk olarak 1891 yılında Danimarka'da gerçekleştirilmiştir. Bundan kısa bir süre sonra da Amerika Birleşik Devletleri'nde yel değirmenlerinin küçük güçteki rüzgar türbinlerine dönüştüğü ve elektrik enerjisi ürettiği bilinmektedir. Fosil yakıtların ucuzluğu nedeniyle yeterli seviyede benimsenmeyen rüzgar enerjisi, 1970'li yıllardaki petrol krizi nedeniyle yeniden hatırlanmış ve bundan sonra, rüzgar türbinlerinin seri üretime geçilmesi ile, bu alandaki yatırımlar gittikçe artan oranlarda gelişmiş ve rüzgar enerjisi santralleri oluşturulmaya başlanmıştır. Önceleri kara parçaları üzerinde oluşturulan bu santraller kıyı açıklarına yani deniz üzerine de kurulmaya başlamıştır.

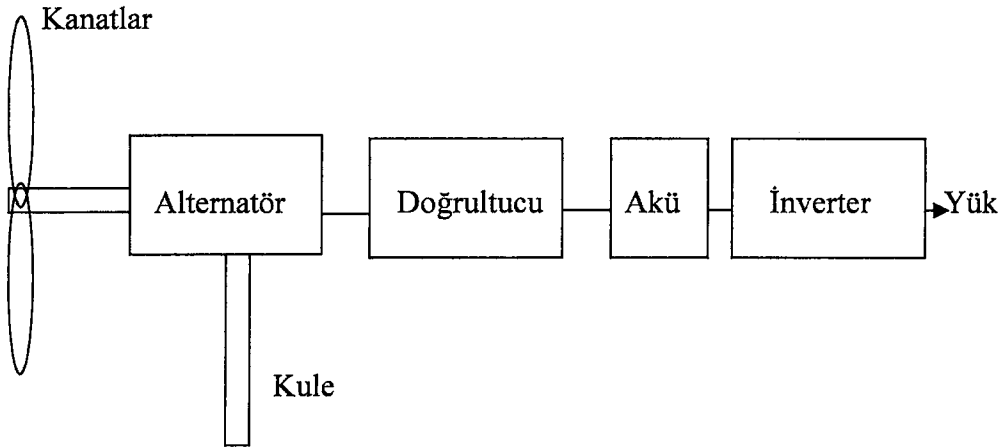
Rüzgar enerjisi sistemlerinin tasarımı, planlaması ve çalıştırılması için rüzgarın karakteristiklerinin tüm detaylarıyla bilinmesi gerekmektedir. Türbin yerleşimi ve rüzgar enerji potansiyelinin belirlenebilmesi için uzun süreli güvenilir verilere ihtiyaç duyulmaktadır.

Rüzgar enerjisi kullanımının dünyadaki örneklerine baktığımızda iki kısımda incelenmesi gerektiği görülür. Bunlar; küçük türbinler olarak adlandırılan, kişisel kullanıma yönelik sistemler ve büyük türbinler adını alan endüstriyel kullanıma yönelik sistemlerdir.

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

Küçük Türbinler, genellikle şebekenin ve ulaştırmanın ekonomik olmadığı, yada sorunlu olduğu yerlerde uygulanır. Şehir dışı yerleşimler, çiftlik evleri, telekomünikasyon aktarıcıları, radyo ve orman kuleleri, askeri tesisler, demiryolu sinyalizasyonu, balık çiftlikleri, seralar, maden ocakları, deniz vasıtaları ve bazı fabrikalarda küçük türbinler oldukça uygun kullanım alanları bulmaktadır. Üretilen enerjinin depolanmasıyla güvenilir enerji sağlanır. Küçük türbinlerin güç değerleri, 0.05-20kW arasındadır.

Küçük rüzgar türbinlerine ait blok diyagramı Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1. Küçük Rüzgar Türbini Blok Diyagramı

Bu tez çalışmasında, fosil yakıtlara karşı geliştirilen alternatif enerji kaynakları ve bu kaynaklar içinde rüzgar enerjisinin yeri üzerinde durulacaktır. Ayrıca rüzgardan elektrik enerjisi üretimi incelenecek ve küçük rüzgar türbini uygulaması yapılarak, bu türbinin kullanılabileceği yerler önerilecektir.



BÖLÜM 2. ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARI

2.1. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar, sıcak hava ile soğuk havanın yer değiştirmesiyle veya yeryüzünün coğrafi düzensizliklerinden ve güneşin atmosferi farklı ısıtmasından oluşur. Başka bir deyişle rüzgar enerjisi, güneş enerjisinin dolaylı bir şeklidir ve meteorolojik olarak atmosferde basınç farkları sonucu oluşur. Rüzgar enerjisi yüzyıllardan beri kullanılan bir enerjidir. Örneğin yel değirmenlerinin milini döndürmede, yelkenli gemilerin yüzdürülmesinde ve su pompalama sistemlerinde bu enerji kullanılmaktadır. Günümüzde ise klasik enerji kaynaklarının alternatifi olarak elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaya başlanmıştır[1].

Rüzgar enerjisi genel olarak iki farklı enerji türüne dönüştürülerek kullanılmaktadır. Bunlardan ilki çok eski çağlardan beri uygulanan rüzgarın enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürülerek kullanımı diğeri ise rüzgar enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesidir. Rüzgardan elektrik enerjisi üretimi özellikle son yıllarda kullanımı en hızla artan uygulama türü olup gerek kırsal kesimde elektrik enerjisinin yerel üretimi-tüketimi amacıyla ve gerekse de bir enterkonnekte bağlı büyük santraller şeklinde kullanılmaktadır.

Rüzgar türbinleri, rüzgar enerji santrallerinin ana elemanı olup hareket halindeki havanın kinetik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren makinelerdir.

Bir rüzgar türbini, çevredeki engellerin rüzgar hız profilini değiştirmeyeceği yükseklikteki bir kule üzerine yerleştirilmiş gövde ve rotordan oluşur. Kanatlar ve göbek rotor olarak adlandırılır. Rüzgarın kinetik enerjisi rotor tarafından mekanik enerjiye çevrilir ve düşük devirli ana milin dönü hareketi gövde içerisindeki iletim

sistemine, oradan generatöre aktarılır. Rotorun dönüş hızı sabit veya değişken olabilmektedir.

Rüzgar türbininin en önemli parçası mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren generatörlerdir. Orta ve büyük güçlü sistemlerde senkron ve asenkron generatörler yaygın olarak kullanılırlar[2].

Dünya üzerinde büyük potansiyeli bulunan rüzgar enerjisinin diğer enerji kaynaklarında olduğu gibi avantaj ve dezavantajları vardır.

Rüzgar enerjisinin avantajları;

- Bedava bir enerjidir. Ham maddeye gerek duyulmaz.
- Diğer enerji kaynaklarının sürekli fiyatları artarken, rüzgar enerjisi ile elektrik üretmenin 20 yıl sonrası için bile ne kadar olacağı şimdiden hesaplanabilir.
- Enerjide dışa bağımlılığı azaltır.
- Temiz bir enerji kaynağı olduğundan çevreye zarar vermez.
- Tükenmeyen yenilenebilir bir enerji kaynağıdır ve fosil yakıt tüketimini azaltır.
- Diğer santrallere göre daha kısa sürede kurulabilir.
- Güvenilirliği ve ucuzluğu sürekli artmaktadır.
- Sera gazı etkisi yapmaz.
- Santral arazisinin ikili kullanıma açık olması, yani rüzgar santrali çalışırken aynı zamanda ağaçlandırma ve tarımsal faaliyetler yapılabilir.
- Ömrü dolan türbinleri kaldırmak kolaydır. Arazi yeniden kullanılabilir.
- Rüzgar santrali projeleri basit ve türbinlerin bakımı kolaydır.
- Sadece kara parçaları üzerinde değil deniz kıyılarında ve kıyı ötelerinde de kurulabilirler[3].

Rüzgar enerjisinin dezavantajları;

- Büyük güçlü tesislerin büyüklükleri çok fazladır.
- Rüzgar hızları değişkendir.
- Rüzgarlı bölgelerin yerleri dağınıktır.
- Rüzgar türbinlerinin en önemli çevre etkisi gürültü olarak gösterilir.
- Rüzgar santrali havayı kirletmese bile büyük kulesi ve pervaneleri ile doğal manzarayı bozması, kuşların ölümüne sebep olması ve telsiz iletişimini bozması gibi dezavantajları vardır.

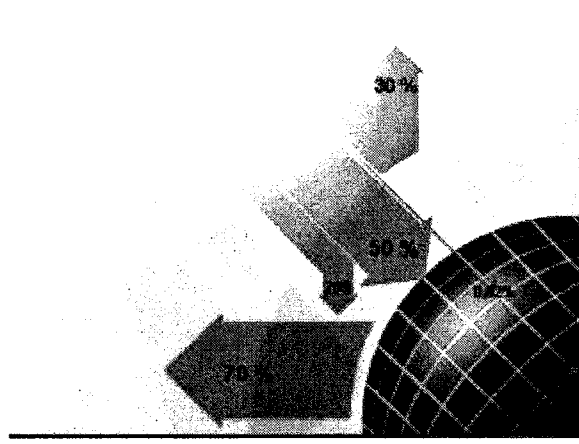
Sayılan sakıncalarından dolayı, rüzgar santrallerinin olabildiğince düzenli ve sürekli rüzgar alan bölgelerde kurulması gerekir[1].

2.2. Güneş Enerjisi

Büyük patlamadan bu yana evrendeki enerjinin ana kaynağı; yıldızların iç kısımlarındaki yüksek basınç ve sıcaklıklar altında çekirdeklerin, hidrojenden başlayarak kaynaştırılması suretiyle daha ağır elementlerin sentezlenmesi, yani füzyon sürecidir. Güneşimizde bu yıldızlardan birisi olarak, içinde barındırdığı füzyon fırınlarında her saniyede yaklaşık 10^{26} joule, yani yaklaşık 3 katrilyon ton kaliteli kömürün içerdiği kadar enerji üretir ve artık bir sıcaklık dengesine erişmiş bulunduğundan, ürettiği enerjinin tümünü radyasyon halinde uzaya ışınlar. Bu ışınlar, dünyamızın bulunduğu konuma, kayda değer bir kayba uğramaksızın ulaşıyor. Ancak dünyamız, güneşten yayılan toplam enerjinin yerkabuğunun yüzölçümüyle orantılı çok düşük bir kısmını alabiliyor. Bu da toplam enerjinin yaklaşık milyarda biri düzeyindedir.

Gelen bu ışınların bir kısmı geri yansıtılırken, bir kısmı atmosferde soğurulur ve ancak yarısına yakını yerkabuğuna ulaşır. Yine de güneşli bir günde yeryüzünün güneşe bakan yarısının her metrekaresine saniyede yaklaşık 1500 joule kadar enerji düşer. Bu varış hızı metrekare başına yaklaşık 1,5 kW'lık bir güce eşdeğer ve yerkabuğuna toplam olarak her saniye, yaklaşık 200 katrilyon joule enerji enjekte eder. İnsanlığın yılda tükettiği toplam birincil enerji miktarı 400 Hexa joule olduğuna

göre; güneş enerjisi bu tüketimin tamamını, güneşli bir günün yaklaşık 5 saatinde sağlayabilir.



Şekil 2.1.Güneşten Gelen Işınımın Dağılımı

Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir.

Güneş enerjisi teknolojileri yöntem, malzeme ve teknolojik düzey açısından çok çeşitlilik göstermekle birlikte iki ana gruba ayrılabilir:

- Isıl Güneş Teknolojileri : Bu sistemlerde öncelikle güneş enerjisinden ısı elde edilir. Bu ısı doğrudan kullanılabilceği gibi elektrik üretiminde de kullanılabilir.
- Güneş Pilleri: Fotovoltaik piller de denen bu yarı-iletken malzemeler güneş ışığını doğrudan elektriğe çevirirler[4].

2.2.1. Isıl güneş teknolojileri

2.2.1.1. Düşük sıcaklık sistemleri

Düzlemsel Güneş Kollektörleri: Güneş enerjisini toplayan ve bir akışkana ısı olarak aktaran çeşitli tür ve biçimlerdeki aygıtlardır. En çok evlerde sıcak su ısıtma amacıyla kullanılmaktadır. Ulaştıkları sıcaklık 70°C civarındadır. Düzlemsel güneş kollektörleri, üstten alta doğru, camdan yapılan üst örtü, cam ile absorban plaka arasında yeterince boşluk, metal veya plastik absorban plaka, arka ve yan yalıtım ve bu bölümleri içine alan bir kasadan oluşmuştur. Absorban plakanın yüzeyi genellikle koyu renkte olup bazen seçiciliği artıran bir madde ile kaplanır. Kollektörler, yörenin enlemine bağlı olarak güneşi maksimum alacak şekilde, sabit bir açıyla yerleştirilirler. Güneş kollektörlü sistemler tabii dolaşım ve pompalı olmak üzere ikiye ayrılır. Bu sistemler evlerin yanında, yüzme havuzları ve sanayi tesisleri için de sıcak su sağlanmasında kullanılır. Bu konudaki Ar-Ge çalışmaları sürmekte birlikte, bu sistemler tamamen ticari ortama girmiş durumdadırlar. Dünya genelinde kurulu bulunan güneş kollektörü alanı 30 milyon m²'nin üzerindedir. En fazla güneş kollektörü bulunan ülkeler arasında ABD, Japonya, Avustralya İsrail ve Yunanistan yer almaktadır. Türkiye, 7,5 milyon m² kurulu kollektör alanı ile dünyanın önde gelen ülkelerinden biri konumundadır.

Vakumlu Güneş Kollektörleri: Bu sistemlerde, vakumlu cam borular ve gerekirse absorban yüzeyine gelen enerjiyi artırmak için metal ya da cam yansıtıcılar kullanılır. Bunların çıkışları daha yüksek sıcaklıkta olduğu için (100-120°C), düzlemsel kollektörlerin kullanıldığı yerlerde ve ayrıca yiyecek dondurma, bina soğutma gibi daha geniş bir yelpazede kullanılabilirler.

Güneş Havuzları: Yaklaşık 5-6 metre derinlikteki suyla kaplı havuzun siyah renkli zemini, güneş ışınımını yakalayıp 90°C sıcaklıkta sıcak su elde edilmesini sağlar. Havuzdaki ısının dağılımını suya eklenen tuz konsantrasyonu ile düzenlenir, tuz konsantrasyonu en üstten alta doğru artar. Böylece en üstte soğuk su yüzeyi bulursa bile havuzun alt kısmında doymuş tuz konsantrasyonu bulunan bölgede sıcaklık yüksek olur. Bu sıcak su bir eşanjöre pompalanarak ısı olarak yararlanılabileceği gibi Rankin çevrimi ile elektrik üretiminde de kullanılabilir. Güneş havuzları

konusunda en fazla İsrail'de çalışma ve uygulama yapılmıştır. Bu ülkede 150 kW ve 5 MW gücünde iki sistemin yanında Avustralya'da 15 kW ve ABD'de 400 kW gücünde güneş havuzları bulunmaktadır.

Güneş Bacaları: Bu yöntemde güneşin ısı etkisinden dolayı oluşan hava hareketinden yararlanılarak elektrik üretilir. Güneşe maruz bırakılan şeffaf malzemeyle kaplı bir yapının içindeki toprak ve hava, çevre sıcaklığından daha çok ısınacaktır. Isınan hava yükseleceği için, çatı eğimli yapıлып, hava akışı çok yüksek bir bacaya yönlendirilirse baca içinde 15 m/sn hızda hava akışı-rüzgar oluşacaktır. Baca girişine yerleştirilecek yatay rüzgar türbini bu rüzgarı elektriğe çevirecektir. Bir tesisin gücü 30-100 MW arasında olabilir. Deneysel bir kaç sistem dışında uygulaması yoktur.

Su Arıtma Sistemleri: Bu sistemler esas olarak sığ bir havuzdan ibarettir. Havuzun üzeri eğimli şeffaf-cam yüzeylerle kapatılır. Havuzda buharlaşan su bu kapaklar üzerinde yoğunlaşarak toplanırlar. Bu tür sistemler, temiz su kaynağının bulunmadığı bazı yerleşim yerlerinde yıllardır kullanılmaktadır. Su arıtma havuzları üzerinde yapılan Ar-Ge çalışmaları ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin azaltılmasına ve verimin artırılmasına yöneliktir.

Güneş Mimarisi: Bina yapı ve tasarımında yapılan değişikliklerle ısıtma, aydınlatma ve soğutma gerçekleştirilir. Pasif olarak doğal ısı transfer mekanizmasıyla güneş enerjisi toplanır, depolanır ve dağıtılır. Ayrıca güneş kolektörleri, güneş pilleri v.b. aktif ekipmanlar da yararlanılabilir.

Ürün Kurutma ve Seralar: Güneş enerjisinin tarım alanındaki uygulamalarıdır. Bu tür sistemler ilkel pasif yapıda olabileceği gibi, hava hareketini sağlayan aktif bileşenler de içerebilir. Bu sistemler dünyada kırsal yörelerde sınırlı bir biçimde kullanılmaktadırlar.

Güneş Ocakları: Çanak şeklinde ya da kutu şeklinde, içi yansıtıcı maddelerle kaplanmış güneş ocaklarında odakta ısı toplanarak yemek pişirmede kullanılır. Bu yöntem, Hindistan, Çin gibi bir kaç ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.2.1.2. Yoğunlaştırıcı sistemler

Parabolik Oluk Kollektörler: Doğrusal yoğunlaştırıcı termal sistemlerin en yaygınıdır. Kollektörler, kesiti parabolik olan yoğunlaştırıcı dizilerden oluşur. Kollektörün iç kısmındaki yansıtıcı yüzeyler, güneş enerjisini, kollektörün odağında yer alan ve boydan boya uzanan siyah bir absorban boruya odaklarlar. Kollektörler genellikle, güneşin doğudan batıya hareketini izleyen tek eksenli bir izleme sistemi üzerine yerleştirilirler. Enerjiyi toplamak için absorban boruda bir sıvı dolaştırılır. Toplanan ısı, elektrik üretimi için enerji santraline gönderilir. Bu sistemler yoğunlaştırma yaptıkları için daha yüksek sıcaklığa ulaşabilirler. (350-400°C) Doğrusal yoğunlaştırıcı termal sistemler ticari ortama girmiş olup, bu sistemlerin en büyük ve en tanınmış olanı 350 MW gücündeki şimdiki Kramer&Junction eski Luz International santralleridir.

Parabolik Çanak Sistemler: İki ekseninde güneşi takip ederek, sürekli olarak güneşi odaklama bölgesine yoğunlaştırırlar. Termal enerji, odaklama bölgesinden uygun bir çalışma sıvısı ile alınarak, termodinamik bir dolaşıma gönderilebilir ya da odak bölgesine monte edilen bir Stirling makine yardımı ile elektrik enerjisine çevrilebilir. Çanak-Stirling bileşimiyle güneş enerjisinin elektriğe dönüştürülmesinde % 30 civarında verim elde edilmiştir.

Merkezi Alıcı Sistemler: Tek tek odaklama yapan ve heliostat adı verilen aynalardan oluşan bir alan, güneş enerjisini, alıcı denenen bir kule üzerine monte edilmiş ısı eşanjörüne yansıtır ve yoğunlaştırır. Alıcıda bulunan ve içinden akışkan geçen boru yumağı, güneş enerjisini üç boyutta hacimsel olarak absorbe eder. Bu sıvı, Rankine makineye pompalanarak elektrik üretilir. Bu sistemlerde ısı aktarım akışkanı olarak hava da kullanılabilir, bu durumda sıcaklık 800°C'ye çıkar. Heliostatlar bilgisayar tarafından sürekli kontrol edilerek, alıcının sürekli güneş alması sağlanır. Bu sistemlerin kapasite ve sıcaklıkları, sanayi ile kıyaslanabilir düzeyde olup Ar-Ge çalışmaları devam etmektedir.

2.2.2. Güneş pilleri

Güneş pilleri (fotovoltaik piller), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire

şeklinde biçimlendirilen güneş pillerinin alanları genellikle 100 cm² civarında, kalınlıkları ise 0,2-0,4 mm arasındadır.

Güneş pilleri fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Pilin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir.

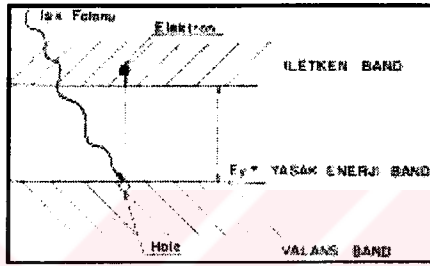
Günümüz elektronik ürünlerinde kullanılan transistörler, doğrultucu diyotlar gibi güneş pilleride, yarı-iletken maddelerden yapılırlar. Yarı-iletken özellik gösteren birçok madde arasında güneş pili yapmak için en elverişli olanlar, silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür gibi maddelerdir.

Yarı-iletken maddelerin güneş pili olarak kullanılabilmesi için "n" ya da "p" tipi katkıları gereklidir. Katkılama, saf yarıiletken eriyik içerisine istenilen katkı maddelerinin kontrollü olarak eklenmesiyle yapılır. Elde edilen yarı-iletkenin "n" ya da "p" tipi olması katkı maddesine bağlıdır. En yaygın güneş pili maddesi olarak kullanılan silisyumdan "n" tipi silisyum elde etmek için silisyum eriyiğine periyodik cetvelin 5. grubundan bir element, örneğin fosfor eklenir. Silisyumun dış yörüngesinde 4, fosforun dış yörüngesinde 5 elektron olduğu için, fosforun fazla olan tek elektronu kristal yapıya bir elektron verir. Bu nedenle V. grup elementlerine "verici" ya da "n tipi" katkı maddesi denir.

"P" tipi silisyum elde etmek için ise, eriyiğe 3. gruptan bir element (alüminyum, indiyum, bor gibi) eklenir. Bu elementlerin son yörüngesinde 3 elektron olduğu için kristalde bir elektron eksikliği oluşur, bu elektron yokluğuna hol ya da boşluk denir ve pozitif yük taşıdığı varsayılır. Bu tür maddelere de "p tipi" ya da "alıcı" katkı maddeleri denir.

"P" ya da "n" tipi ana malzemenin içerisine gerekli katkı maddelerinin katılması ile yarıiletken eklemler oluşturulur. "N" tipi yarıiletkende elektronlar, "p" tipi yarıiletkende holler çoğunluk taşıyıcısıdır. "P" ve "n" tipi yarıiletkenler bir araya gelmeden önce, her iki madde de elektriksel bakımdan nötrdür. Yani "p" tipinde negatif enerji seviyeleri ile hol sayıları eşit, "n" tipinde pozitif enerji seviyeleri ile elektron sayıları eşittir. PN eklem oluştuğunda, "n" tipindeki çoğunluk taşıyıcısı olan elektronlar, "p" tipine doğru akım oluştururlar. Bu olay her iki tarafta da yük dengesi

oluşana kadar devam eder. PN tipi maddenin ara yüzeyinde, yani eklem bölgesinde, "P" bölgesi tarafında negatif, "N" bölgesi tarafında pozitif yük birikir. Bu eklem bölgesine "geçiş bölgesi" ya da "yükten arındırılmış bölge" denir. Bu bölgede oluşan elektrik alan "yapısal elektrik alan" olarak adlandırılır. Yarıiletken eklem güneş pili olarak çalışması için eklem bölgesinde fotovolttaik dönüşümün sağlanması gerekir. Bu dönüşüm iki aşamada olur, ilk olarak, eklem bölgesine ışık düşürülerek elektron-hol çiftleri oluşturulur, ikinci olarak ise, bunlar bölgedeki elektrik alan yardımıyla birbirlerinden ayrılır.



Şekil 2.2. Güneş pilinin kesiti

Yarıiletkenler, bir yasak enerji aralığı tarafından ayrılan iki enerji bandından oluşur. Bu bandlar valans bandı ve iletkenlik bandı adını alırlar. Bu yasak enerji aralığına eşit veya daha büyük enerjili bir foton, yarıiletken tarafından soğurulduğu zaman, enerjisini valans banddaki bir elektrona vererek, elektronun iletkenlik bandına çıkmasını sağlar. Böylece, elektron-hol çifti oluşur. Bu olay, "pn" eklem güneş pilinin ara yüzeyinde meydana gelmiş ise elektron-hol çiftleri buradaki elektrik alan tarafından birbirlerinden ayrılır. Bu şekilde güneş pili, elektronları "n" bölgesine, holleri de "p" bölgesine iten bir pompa gibi çalışır. Birbirlerinden ayrılan elektron-hol çiftleri, güneş pilinin uçlarında yararlı bir güç çıkışı oluştururlar. Bu süreç yeniden bir fotonun pil yüzeyine çarpmasıyla aynı şekilde devam eder. Yarıiletkenin iç kısımlarında da, gelen fotonlar tarafından elektron-hol çiftleri oluşturulmaktadır. Fakat gerekli elektrik alan olmadığı için tekrar birleşerek kaybolmaktadırlar.

Güneş enerjisi, güneş pilinin yapısına bağlı olarak % 5 ile % 20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir.

Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir, bu yapıya güneş pili modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir. Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri yada paralel bağlanarak bir kaç Watt'tan megaWatt'lara kadar sistem oluşturulur.

2.2.2.1.Güneş pillerinin yapımında kullanılan malzemeler

Güneş pilleri pek çok farklı maddeden yararlanarak üretilebilir. Günümüzde en çok kullanılan maddeler şunlardır:

- **Kristal Silisyum:** Önce büyütülüp daha sonra 200 mikron kalınlıkta ince tabakalar halinde dilimlenen Tekkristal Silisyum bloklardan üretilen güneş pillerinde laboratuvar şartlarında %24, ticari modüllerde ise %15'in üzerinde verim elde edilmektedir. Dökme silisyum bloklardan dilimlenerek elde edilen Çokkristal Silisyum güneş pilleri ise daha ucuza üretilmekte, ancak verim de daha düşük olmaktadır. Verim, laboratuvar şartlarında %18, ticari modüllerde ise %14 civarındadır.
- **Galyum Arsenit (GaAs):** Bu malzemeyle laboratuvar şartlarında %25 ve %28 (optik yoğunlaştırıcı) verim elde edilmektedir. Diğer yarıiletkenlerle birlikte oluşturulan çok eklemli GaAs pillerde %30 verim elde edilmiştir. GaAs güneş pilleri uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcı sistemlerde kullanılmaktadır.
- **Amorf Silisyum:** Kristal yapı özelliği göstermeyen bu Si pillerden elde edilen verim %10 dolayında, ticari modüllerde ise %5-7 mertebesindedir. Günümüzde daha çok küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılan amorf silisyum güneş pilinin bir başka önemli uygulama sahasının, binalara entegre yarısaydam cam yüzeyler olarak, bina dış koruyucusu ve enerji üretici olarak kullanılabilceği tahmin edilmektedir.
- **Kadmiyum Tellürid (CdTe):** Çokkristal yapıda bir malzeme olan CdTe ile güneş pili maliyetinin çok aşağılara çekileceği tahmin edilmektedir.

Laboratuvar tipi küçük hücrelerde %16, ticari tip modüllerde ise %7 civarında verim elde edilmektedir.

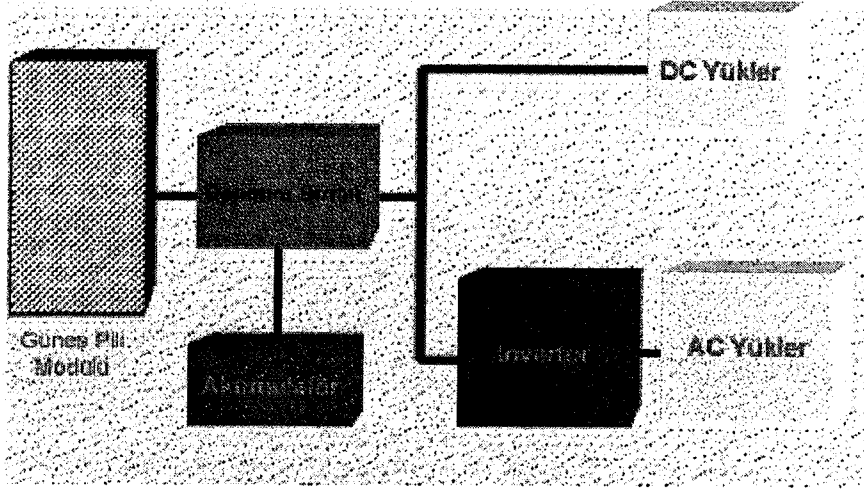
- Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe₂): Bu çokkristal pilde laboratuvar şartlarında %17,7 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde ise %10,2 verim elde edilmiştir.
- Optik Yoğunlaştırıcı Hücresel: Gelen ışığı 10-500 kat oranlarda yoğunlaştıran mercekli veya yansıtıcı araçlarla modül verimi %17'nin, pil verimi ise %30'un üzerine çıkılabilmektedir. Yoğunlaştırıcılar basit ve ucuz plastik malzemedir yapılmaktadır.

2.2.2.2. Güneş pili sistemleri

Güneş pilleri, elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilir. Güneş pili modülleri uygulamaya bağlı olarak, akümülatörler, inverterler, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir güneş pili sistemi (fotovoltaik sistem) oluştururlar. Bu sistemler, özellikle yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yörelerde, jeneratöre yakıt taşımamanın zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanılırlar. Bunun dışında dizel jeneratörler yada başka güç sistemleri ile birlikte karma olarak kullanılmaları da mümkündür.

Bu sistemlerde yeterli sayıda güneş pili modülü, enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere genellikle sistemde akümülatör bulundurulur. Güneş pili modülleri gün boyunca elektrik enerjisi üreterek bunu akümülatörde depolar, yüke gerekli olan enerji akümülatörden alınır. Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan denetim birimi ise akünün durumuna göre, ya güneş pillerinden gelen akımı yada yükün çektiği akımı keser. Şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir inverter eklenerek akümülatördeki DC gerilim, 220 V, 50 Hz'lik sinüs dalgasına dönüştürülür. Benzer şekilde, uygulamanın şekline göre çeşitli destek elektronik devreler sisteme katılabilir. Bazı sistemlerde, güneş pillerinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan maksimum güç

noktası izleyici cihazı bulunur. Şekil 2.3’de şebekeden bağımsız bir güneş pili enerji sisteminin şeması verilmektedir.



Şekil 2.3. şebekeden bağımsız bir güneş pili enerji sisteminin şeması

Şebeke bağlantılı güneş pili sistemleri yüksek güçte santral boyutunda sistemler şeklinde olabileceği gibi daha çok görülen uygulaması binalarda küçük güçlü kullanım şeklindedir. Bu sistemlerde örneğin bir konutun elektrik gereksinimi karşılanırken, üretilen fazla enerji elektrik şebekesine satılır, yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda ise şebekeden enerji alınır. Böyle bir sistemde enerji depolaması yapmaya gerek yoktur, yalnızca üretilen DC elektriğin, AC elektriğe çevrilmesi ve şebeke uyumlu olması yeterlidir.

Güneş pili sistemlerinin şebekeden bağımsız (stand-alone) olarak kullanıldığı tipik uygulama alanları aşağıda sıralanmıştır[4].

- Haberleşme istasyonları, kırsal radyo, telsiz ve telefon sistemleri ,
- Petrol boru hatlarının katodik koruması,
- Metal yapıların (köprüler, kuleler vb) korozyondan koruması,
- Elektrik ve su dağıtım sistemlerinde yapılan telemetrik ölçümler, hava gözlem istasyonları ,
- Bina içi yada dışı aydınlatma,

- Dağevleri ya da yerleşim yerlerinden uzaktaki evlerde TV, radyo, buzdolabı gibi elektrikli aygıtların çalıştırılması,
- Tarımsal sulama ya da ev kullanımı amacıyla su pompajı ,
- Orman gözetleme kuleleri ,
- Deniz fenerleri ,
- İlk yardım, alarm ve güvenlik sistemleri,
- Deprem ve hava gözlem istasyonları,
- İlaç ve aşısı soğutma.

Güneş enerjisinin avantajları şunlardır;

- Periyodik bir kaynaktır.
- Çevreye hiçbir zararı yoktur.
- Tükenmez bir kaynaktır.Güneş devam ettiği sürece enerjisi var ve yakıtı bedavadır.
- Tam bağımsız olarak çalışır.
- Tamamen sessiz çalışır.
- Sistem kurulduktan sonra hiçbir ek maliyeti yoktur.
- Tasarımı iyi yapılmış bir sistemde enerji ihtiyacına göre istenilen değişiklikler yapılabilir.
- Taşınabilir bir sistemdir. Sistemler kolaylıkla kısa bir süre içinde de monte edilerek yeni bir kullanım alanına taşınabilir.
- Hiçbir bakım olmadan 20-30 yıl gibi uzun bir ömürle çalışabilir.
- Güvenilirli bir sistemdir. Elektrik kesintisi, voltaj düşmesi gibi tüm problemlere tamamen çözüm bulur[1].

2.3. Hidrojen Enerjisi

Dünyada mevcut enerji tüketiminin hızla artmasına karşılık mevcut fosil yakıt rezervlerinin sınırlı olması ve çevresel problemler nedeniyle araştırmacıları esas olarak yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmaya itmiştir. Önerilen yakıt

kaynakları arasında hidrojen, hem elektro kimyasal kullanım imkanı hem de içten yanmalı motorlarda kullanım kolaylığı nedeniyle önem kazanmaktadır.

Yakıt hücresi, yakıt (hidrojen) ve oksitleyicinin (hava) kimyasal enerjisinin doğrudan elektrik ve ısı olarak kullanılabilen ve enerjiye çeviren güç üretim elemanıdır.

Hidrojenin üretimi, depolanması, taşınması ve kullanılması günümüzde teknik olarak uygulanabilmektedir. Diğer fosil yakıtların hem sonlu olması hem de çevreye verdiği zararlar nedeniyle yeni alternatif kaynaklardan olan hidrojenden elektrik enerjisi üretme çalışmaları başlamıştır. Elektrik ve hidrojen birbirine dönüştürülebilmektedir. Yakıt hücreleriyle verimli bir şekilde hidrojenden elektrik üretilmektedir. Elektrikten yine çok verimli bir proses olan suyun elektrolizi ile hidrojen elde edilmektedir[1].

Hidrojen 1500'lü yıllarda keşfedilmiş, 1700'lü yıllarda yanabilme özelliğinin farkına varılmış, evrenin en basit ve en çok bulunan elementi olup, renksiz, kokusuz, havadan 14.4 kez daha hafif ve tamamen zehirsiz bir gazdır. Güneş ve diğer yıldızların termonükleer tepkimeye vermiş olduğu ısının yakıtı hidrojen olup, evrenin temel enerji kaynağıdır. -252.77°C 'da sıvı hale getirilebilir. Sıvı hidrojenin hacmi gaz halindeki hacminin sadece 1/700'ü kadardır. Hidrojen bilinen tüm yakıtlar içerisinde birim kütle başına en yüksek enerji içeriğine sahiptir (Üst ısıl değeri 140.9 MJ/kg, alt ısıl değeri 120,7 MJ/kg). 1 kg hidrojen 2.1 kg doğal gaz veya 2.8 kg petrolun sahip olduğu enerjiye sahiptir. Ancak birim enerji başına hacmi yüksektir. Hidrojen doğada serbest halde bulunmaz, bileşikler halinde bulunur. En çok bilinen bileşiği ise sudur.

Isı ve patlama enerjisi gerektiren her alanda kullanımı temiz ve kolay olan hidrojenin yakıt olarak kullanıldığı enerji sistemlerinde, atmosfere atılan ürün sadece su ve/veya su buharı olmaktadır. Hidrojen petrol yakıtlarına göre ortalama 1.33 kat daha verimli bir yakıttır.

Hidrojenden enerji elde edilmesi esnasında su buharı dışında çevreyi kirletici ve sera etkisini artırıcı hiçbir gaz ve zararlı kimyasal madde üretimi söz konusu değildir.

Hidrojen gazı farklı yöntemlerle elde edildiği gibi su, güneş enerjisi veya onun türevleri olarak kabul edilen rüzgar, dalga, ve biyokütle ile de üretilebilmektedir.

Araştırmalar, mevcut koşullarda hidrojenin diğer yakıtlardan yaklaşık üç kat pahalı olduğunu ve yaygın bir enerji kaynağı olarak kullanımının hidrojen üretiminde maaliyet düşürücü teknolojik gelişmelere bağlı olacağını göstermektedir. Bununla birlikte, günlük veya mevsimlik periyotlarda oluşan ihtiyaç fazlası elektrik enerjisinin hidrojen olarak depolanması günümüz için de geçerli bir alternatif olarak değerlendirilebilir. Bu tarzda depolanan enerjinin yaygın olarak kullanılabilmesi örneğin toplu taşıma araçları için yakıt piline dayalı otomotiv teknolojilerinin geliştirilmesine bağlıdır.

Dünyanın giderek artan enerji gereksinimini çevreyi kirletmeden ve sürdürülebilir olarak sağlayabilecek en ileri teknolojinin hidrojen enerji sistemi olduğu bugün bütün bilim adamlarınca kabul edilmektedir.

Hidrojen enerjisinin insan ve çevre sağlığını tehdit edecek bir etkisi yoktur. Kömür, doğalgaz gibi fosil kaynakların yanı sıra sudan ve biyokütleden de elde edilen hidrojen, enerji kaynağından çok bir enerji taşıyıcısı olarak düşünülmektedir. Elektriğe 20. yüzyılın enerji taşıyıcısı, hidrojene 21. yüzyılın enerji taşıyıcısı diyen çevreler vardır. Hidrojen yerel olarak üretimi mümkün, kolayca ve güvenli olarak her yere taşınabilen, taşınması sırasında az enerji kaybı olan, ulaşım araçlarından ısınmaya, sanayiden mutfaklarımıza kadar her alanda yararlanacağımız bir enerji sistemidir.

Hidrojen içten yanmalı motorlarda doğrudan kullanımının yanı sıra katalitik yüzeylerde alevsiz yanmaya da uygun bir yakıttır. Ancak dünyadaki gelişim hidrojeninin yakıt olarak kullanıldığı yakıt pili teknolojisi doğrultusundadır. 1950'lerin sonlarında, NASA tarafından uzay çalışmalarında kullanılmaya başlayan yakıt pilleri, son yıllarda özellikle ulaştırma sektörü başta olmak üzere sanayi ve hizmet sektörlerinde başarı ile kullanıma sunulmuştur. Yakıt pilleri, taşınabilir bilgisayarlar, cep telefonları gibi mobil uygulamalar için kullanılabilirdiği gibi elektrik

santralleri için de uygun güç sağlayıcılarıdır. Yüksek verimlilikleri ve düşük emisyonları nedeniyle, ulaşım sektöründe de geniş kullanım alanı bulmuşlardır.

2.3.1. Hidrojen üretimi

Hidrojen enerji sisteminin yeni olmasına karşın hidrojen üretimi yeni değildir. Şu anda dünyada her yıl 500 milyar m³ hidrojen üretilmekte, depolanmakta, taşınmakta ve kullanılmaktadır. En büyük kullanıcı payına kimya sanayii, özellikle petrokimya sanayii sahiptir.

Ülkemizde Suni Gübre Sanayii (25.000m³), bitkisel yağ (margarin) üretimi (16.000m³), petrol arıtım evleri (rafineri) (1.200m³), petrokimya endüstrisi (30.000m³), hidrojene hayvansal yağ üretimi (200-300m³) ve çeşitli yerlerde kullanılmak üzere basınçlı silindirelerde gaz veya sıvı hidrojen üretimi (6.000m³) sadece sanayide kullanılmak üzere yapılmaktadır. Enerji üretimi amacıyla ticari boyutlu hidrojen üretimi mevcut değildir

Hidrojenin üretim kaynakları bol ve çeşitlidir. Fosil yakıtlardan elde edilebildiği gibi güneş, rüzgar, hidrolik enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ile suyun elektrolizi yolu ile üretimi, biyokütleden üretimi ve biyolojik proseslerle üretimi mümkündür. Günümüzde hidrojen ağırlıklı olarak doğal gazdan buhar reformasyonu sonucu elde edilmektedir. Suyun elektrolizi bilinen bir yöntem olmakla beraber ekonomik hale getirilmesi konusunda çalışmalar, gene benzer şekilde güneş enerjisinden biyoteknolojik yöntemlerle hidrojen üretimi konusunda araştırma-geliştirme çalışmaları devam etmektedir.

2.3.2. Hidrojenin depolanması

Hidrojenin belki de en önemli özelliği, depolanabilir olmasıdır. Bilindiği gibi, günümüzde büyük tutarlarda enerji depolamak için hala uygun bir yöntem bulunmuş değildir. Eğer bugün hidroelektrik santrallerinden elde edilen enerjinin depolanması mümkün olsaydı, enerji sorununu bir ölçüde çözmek mümkün olabilirdi. Ancak,

elektrik enerjisi için bilinen en iyi depolama yöntemi hala asitli akümülatörlerden başka bir şey değildir.

Hidrojen gaz veya sıvı olarak saf halde tanklarda depolanabileceği gibi, fiziksel olarak karbon nanotüplerde veya kimyasal olarak hidrür şeklinde depolanabilmektedir.

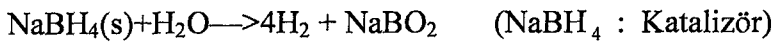
Hidrojen uygun nitelikli çelik tanklarda gaz veya sıvı olarak depolanabilir. Ancak gaz olarak depolamada yüksek basınç nedeniyle tank ağırlıkları problem yaratmaktadır. Hidrojen gazını depolamanın belki de en ucuz yöntemi, doğal gaza benzer şekilde yer altında, tükenmiş petrol veya doğal gaz rezervuarlarında depolamaktır. Maliyeti biraz yüksek olan bir depolama şekli ise, maden ocaklarındaki mağaralarda saklamaktır.

Hidrojen petrole göre 4 kat fazla hacim kaplar; hidrojenin kapladığı hacmi küçültmek için hidrojeni sıvı halde depolamak gereklidir. Bunun için de yüksek basınç ve soğutma işlemine ihtiyaç vardır. Sıvılaştırılmış hidrojen yüksek basınç altında çelik tüpler içinde depolanabilir. Bu yöntem orta veya küçük ölçekte depolama için en çok kullanılan yöntemdir. Ancak büyük miktarlar için oldukça pahalı bir yöntemdir. Çünkü hidrojen enerjisinin yaklaşık $\frac{1}{4}$ 'ü sıvılaştırma işlemi için harcanmalıdır. Bir diğer pratik çözüm ise, sıvı hidrojenin düşük sıcaklıktaki tanklarda saklanmasıdır. Uzay programlarında, roket yakıtı olarak sürekli şekilde kullanılan sıvı hidrojen bu yöntemle depolanmaktadır. Dünyadaki en büyük sıvı hidrojen tankı, Kennedy Uzay Merkezinde olup 3400 m³ sıvı hidrojen alabilmektedir. Bu miktar hidrojenin yakıt olarak değeri 29 milyon Mega Jule veya 8 milyon kW-saat'e karşılık gelmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar sonucu hidrojen karbon nanotüplerde de depolanabilmektedir. Karbon nanotüpler kısaca grafit tabakaların tüp şekline dönüşmüş halidir. Çapları birkaç nanometre veya 10-20 nanometre mertebesinde, boyları ise mikron seviyesindedir.

Hidrojen kimyasal olarak metallerde, alaşımlarda ve arametallerde hidrür olarak depolanabilmektedir. Metal hidrürler hidrojen depolamak için çok uygun bir yöntem olmasına karşın, kendi ağırlıkları ciddi sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Özellikle

son 10 yıldır yüksek depolama kapasiteleri nedeniyle alüminyum ve bor içeren kompleks hidrürler yoğun olarak çalışılmaktadır. Bor içeren kompleks hidrürler sıvı koşullarda kullanılması nedeni ile de önem taşımaktadır. Bor esaslı sistemler ana olarak sodyum bor hidrürü esas almaktadır. NaBH_4 , katı halde ağırlıkça %10,5 hidrojen içermektedir.

Çözelti halinde, sodyum bor hidrür, aşağıdaki reaksiyona göre hidrojenini vermekte ve sodyum metaborata dönüşmektedir.



H_2O ve NaOH ilavesi ile sodyum bor hidrürün sıvı içerisindeki miktarı ağırlıkça %20-35 arasında olabilmekte, bu da sistemde ağırlıkça % 4.4-7.7 arasında hidrojenin depolanmasına olanak vermektedir.

Sodyum bor hidrürde hidrojen depolamanın en önemli üstünlüğü depolanan hidrojenin oda sıcaklığında geri alınabilmesi ve geri alımın katalizör yardımı ile kolaylıkla kontrol edilebilmesidir. Sodyum bor hidrürün hidrojen amaçlı kullanımında en önemli darboğaz, oluşan metaboratın tekrar NaBH_4 dönüştürülmesidir.

2.3.3. Hidrojenin taşınması

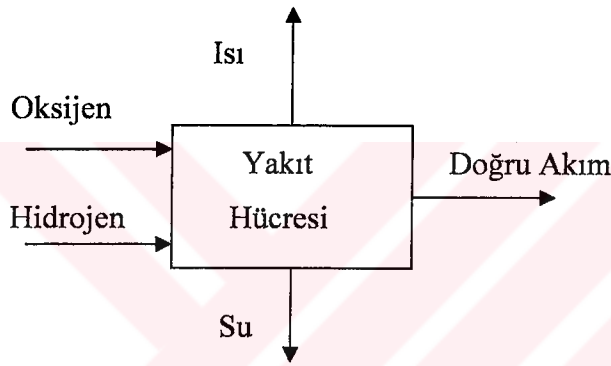
Hidrojen gazı, doğal gaz veya hava gazına benzer olarak borular aracılığıyla her yere kolaylıkla ve güvenli olarak taşınabilmektedir. Hidrojen boru ile taşınmasına, Texas'da petrol sanayi tarafından kullanılmakta olan ve 80 km uzunluğuna sahip boru şebekesi ile Almanya'da Ruhr havzasında 1938 yılında işletmeye açılan ve bugün 15 atmosfer basınç altında hidrojen taşımaya devam eden 204 km'lik boru hattı örnek olarak gösterilebilir.

Basıncılı hidrojenin, çelik tüpler içine yerleştirilerek taşınması, bu güne kadar geliştiren bir çok deneme amaçlı hidrojenle çalışan taşıtta kullanılan yöntem olmuştur. Burada görülen en büyük sorun çelik tüplerin kendi ağırlıklarıdır. Benzinli

bir otomobil ortalama olarak 65 litre (47kg) benzin almakta olup, bu da enerji olarak 17 kg hidrojene karşılık gelmektedir. Hidrojeni sıvı olarak depolamak ağırlık sorununu çözmekle birlikte, tank hacmi ve maliyet artmaktadır. Diğer bir sorun ise, hidrojenin gaz haline geçmesi ile oluşan kayıplar ve yakıt ikmali zorluğudur[4].

2.3.4. Yakıt hücresiyle elektrik üretmek

Her bir yakıt hücresi Şekil 2.4 'de görüldüğü gibi anot, elektrolit ve katottan meydana gelir[1].



Şekil 2.4. Yakıt hücresi şematik gösterimi

Burada oksijen ve hidrojen iyonları ile elektronların reaksiyona girmesiyle su elde edilir. Elektronların dış devre yoluyla akışı elektrik üretir. Yakıt kullanımındaki yüksek verim nedeniyle bu elektrokimyasal işlemde çıkan yan ürün su, ısı ve elektrik akımıdır. Yakıt hücrelerinde doğrudan hidrojen kullanılabileceği gibi, dönüştürme yapıldığı takdirde doğalgaz, LPG, metanol, nafta veya benzin gibi hidrojen içeren yakıtlarda kullanılabilir.

Bir hücrenin gerilimi 1 volttan az olduğundan gerekli elektrik enerjisini üretmek için birden fazla yakıt hücresini seri ve paralel bağlamak gerekir. Ayrıca sistemin tüm işleyişini denetleyen bir kontrol ünitesi ve yakıt hücresinden üretilen doğru akım gerilimi ticari kullanım için alternatif akım gerilime çeviren inverter kullanılır.

Yakıt hücrelerinin diğer santrallere göre bazı üstünlükleri vardır. Bunlar;

- Enerji üretim verimi yüksektir.(%40-60)
- Atık ısı geri kazanılabilir. Dolayısı ile toplam verim %85'e yaklaşmaktadır.
- Şebeke ile birlikte veya ayrı çalışabilir.
- Çok az yer kaplar.
- Güç yoğunluğu yüksektir.
- Çevresel kirlilik oranı düşüktür.
- Güvenilir bir sistemdir.
- Doğal gaz, metanol, nafta, LPG gibi farklı yakıtlarla çalışabilir.
- Egzoz gazı yeniden geri kazanılabilir.
- Katı atık ve gürültü problemi yoktur.
- Geleceğe yönelik gelişme potansiyeli yüksektir.
- İşletim karakteristiği uygulamada kolaylık sağlar.
- Çok yüksek miktarda soğutma suyu gerektirmez.

2.4. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji kısaca yer ısısidir. Yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu kimyasallar içeren sıcak su ve buhardır. Jeotermal enerji jeotermal kaynaklardan doğrudan veya dolaylı her türlü faydalanmayı kapsamaktadır.

Jeotermal enerji yeni, yenilenebilir, sürdürülebilir, ucuz, güvenilir, çevre dostu, yerli ve yeşil bir enerji türüdür. Jeotermal enerji ile;

- Elektrik enerjisi üretimi,
- Merkezi ısıtma, soğutma, sera ısıtması v.b.,
- Endüstriyel amaçlı kullanım, proses ısısı temini, kurutma v.b.,
- Kimyasal madde üretimi, mineral eldesi, karbondioksit, gübre, lityum, ağır su, hidrojen v.b.,
- Kaplıca amaçlı kullanım, termalizm,
- Çok düşük sıcaklıklarda kültür balıkçılığı,

gerçekleştirilmektedir.

İlk çağlardan yakın geçmişe kadar sadece sağlık amacıyla kullanılan jeotermal kaynaklardan günümüzde, ya doğrudan ısıtmada yada başka enerji türlerine dönüştürülerek yararlanılmaktadır.

20. yüzyıl başına kadar sağlık ve yiyecekleri pişirme amacı ile kullanılan jeotermal kaynakların kullanım alanları gelişen teknolojiye bağlı olarak günümüzde çok yaygınlaşmış ve çeşitlenmiştir. Bunların başında elektrik üretimi, ısıtmacılık ve endüstrideki çeşitli kullanımlar gelmektedir.

Hazne sıcaklığı 200 °C ve daha fazla olan jeotermal akışkandan elektrik üretimi gerçekleşmektedir. Ancak gündün güne gelişmekte olan yeni teknolojilere göre 150 °C'ye kadar düşük hazne çıkışlı akışkandan da elektrik üretilebilmektedir. Ayrıca son zamanlarda buharlaşma noktaları düşük gazlar (Freon, İzobutan vb.) kullanılarak 60-90 °C sıcaklıktaki sulardan da elektrik üretiminde (binary sistem) yararlanma çalışmaları sürdürülmektedir. Jeotermal enerjiden elektrik üretimi ilk olarak 1904 yılında İtalya'da olmuştur. Jeotermal akışkandan elektrik üretimi başta A.B.D. ve İtalya'da olmak üzere Japonya, Yeni Zelanda, El Salvador, Meksika, İrlanda, Filipinler, Endonezya, Türkiye v.b. ülkelerde yapılmaktadır.

Dünyada halen kurulu gücü 7974 MW olan jeotermal enerjiden elektrik üretimi gün geçtikçe artmaktadır.

Düşük sıcaklıktaki jeotermal akışkan (30-60 °C) doğrudan ısıtmacılıkta kullanılmaktadır. Yeni geliştirilen ısı pompaları yardımıyla suların sıcaklığı 5 °C'ye düşüncüye kadar akışkandan yararlanılabilmektedir.

Binaları ve kentleri merkezi sistemle ısıtmada ve de sıcak kullanma suyu olarak İzlanda, Fransa, Japonya, A.B.D., Türkiye, Yeni Zelanda, Macaristan gibi ülkelerde 40°C'den fazla sıcaklıktaki jeotermal akışkan kullanılmaktadır.

Seraların ısıtılması ile turfanda sebzeçilik, meyvecilik, çiçekçilik yapılmakta ve dünyada yaklaşık 17174 MW karşılığı jeotermal enerji bu amaçla kullanılmaktadır. Macaristan, İtalya, ABD, Türkiye, Japonya, Yeni Zelanda ve İzlanda'da 30 °C'den fazla sıcaklıktaki akışkan kullanılarak seraların ısıtılması sağlanmaktadır.

Tropikal bitki ve balık yetiştirmede Japonya'da kullanılmaktadır.

Tavuk vb. Hayvan çiftliklerinin ısıtılmasında Japonya, ABD, Yeni Zelanda, Macaristan, Rusya'da jeotermal akışkandan faydalanılmaktadır.

Toprak, cadde, havaalanı pistlerinin v.b. Isıtılmasında kullanılmaktadır.

Yüzme havuzu, fizik tedavi merkezleri ve diğer turistik tesislerde İtalya, Japonya, ABD, İzlanda, Türkiye gibi ülkelerde kullanılmaktadır.

Yer kabuğundaki çatlaklardan sızarak derinliklere inen su, yüzeye yakın olan sıcak katmanlardan geçerek ısınır. Jeotermal enerjinin doğrudan kullanım alanlarındaki yaklaşık sıcaklık değerleri aşağıdaki gibidir.

180 °C: Yüksek konsantrasyon solüsyonun buharlaşması, Amonyum absorpsiyonu ile soğutma

170 °C: Hidrojen sülfid yolu ile ağır su eldesi, diatomitlerin kurutulması

160 °C: Kereste kurutulması, balık v.b. Yiyeceklerin kurutulması

150 °C: Bayer's yolu ile alüminyum eldesi

140 °C: Çiftlik ürünlerinin çabuk kurutulması (Konserveçilikte)

130 °C: Şeker endüstrisi, tuz eldesi

120 °C: Temiz su eldesi, tuzluluk oranının arttırılması

110 °C: Çimento kurutulması

100 °C: Organik Madde kurutma (Yosun, et, sebze vb.) yün yıkama

90 °C: Balık kurutma

80 °C: Ev ve sera ısıtma

70 °C: Soğutma

60 °C: Kümes ve ahır ısıtma

- 50 °C: Mantar yetiştirme, Balneolojik banyolar (Kaplıca Tedavisi)
- 40 °C: Toprak ısıtma, kent ısıtması (Alt sınır) sağlık tesisleri
- 30 °C: Yüzme havuzları, fermentasyon, damıtma, sağlık tesisleri
- 20 °C: Balık çiftlikleri

Yeryüzüne çıkan su sıcaklığı ve buhar pratikte 150 °C ve daha üzeri durumlarda elektrik enerjisi üretimi için kullanılabilir. Bu şekilde ki buhar, buhar türbinleri yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülür.

Jeotermal elektrik santrallerinde çevre kirliliği sifıra yakındır. Yakıt yakılmadığından azot emisyonu oluşmamaktadır. Bunun yanında kükürtdioksit emisyonu ise çok düşüktür.

2.5. Biyokütle Enerjisi

Biyokütle enerjisi; bir biyokütlerdeki organik atıklar, bitkiler yada ağaç gibi organik maddelerden üretilen enerjidir.

Biyokütle ye örnek olarak, ağaçları, mısır, buğday gibi özel olarak yetiştirilen bitkileri, otları, yosunları, denizdeki algleri, evlerden atılan meyve ve sebze artığı gibi tüm organik çöpleri, hayvan dışkılarını, gübre ve sanayi atıklarını saymak mümkündür. Biyokütle, tükenmez bir kaynak olması, her yerde yetiştirilebilmesi, özellikte kırsal alanlar için sosyo-ekonomik gelişmelere yardımcı olması nedeniyle uygun ve önemli bir enerji kaynağı olarak görülmektedir. Petrol, kömür, doğal gaz gibi tükenmekte olan enerji kaynaklarının kısıtlı olması, ayrıca bunların çevre kirliliği oluşturması nedeni ile, biyokütle kullanımı enerji sorununu çözmek için giderek önem kazanmaktadır.

Bitkilerin ve canlı organizmaların kökeni olarak ortaya çıkan biyokütle, genelde güneş enerjisinin fotosentez yardımıyla depolayan bitkisel organizmalar olarak adlandırılır. Biyokütle, bir türe veya çeşitli türlerden oluşan bir topluma ait yaşayan organizmaların belirli bir zamanda sahip olduğu toplam kütle olarak da tanımlana bilir. Canlı kütle ve dikili ürün deyimleriyle eş anlama gelen biyokütle, çoğu kez

phytomass ve zoomass olmak üzere ikiye ayrılırlar. Ölçü birimi ise, belirli bir alana oranlanmış yaş yada kuru kütledir. Biyokütleyi aynı zamanda bir organik karbon olarak da kabul etmek olanaklıdır.

Bitkilerin fotosentezi sırasında kimyasal olarak özellikle selüloz şeklinde depo edilen ve daha sonra çeşitli şekillerde kullanılabilen bu enerjinin kaynağı güneştir. Güneş enerjisinin biyokütle biçimindeki depolanmış enerjiye dönüşümü, insan yaşamı için esastır. Canlı organizmaların fotosentez sonucu oluşması ve bütün yaşamın güneş enerjisinin depo edildiği oksijene bağlı olması yenilenebilir enerji oluşturan fotosentez olayının önemini açıkça göstermektedir. Fotosentez yoluyla enerji kaynağı olan organik maddeler sentezleşirken tüm canlıların solunumu için gerekli olan oksijeni de atmosfere verir. Üretilen organik maddelerin yakılması sonucu ortaya çıkan karbondioksit ise, daha önce bu maddelerin oluşması sırasında atmosferden alınmış olduğundan, biyokütleden enerji elde edilmesi sırasında çevre, CO₂ salımı açısından korunmuş olacaktır. Görüldüğü gibi bitkiler yalnız besin kaynağı değil, aynı zamanda çevre dostu tükenmez enerji kaynaklarıdır.

Kömür, petrol ve doğal gaz gibi yakıtlarda, yine canlı varlıkların milyonlarca yıl yer altında kalması ile oluşan fosil biyokütle olarak anılabilirler. Bitkilerin toprak altında milyonlarca yıl kalmasıyla oluşan fosil yakıtlar, aslında yukarıda tanımlanan biyokütle ile aynı özellikleri taşımalarına karşın yer altındaki sıcaklık ve basınçla değişime uğradıklarından, yakıldıklarında havaya bir çok zararlı madde atarlar. Ayrıca, milyonlarca yılda oluşan bu birikimin kısa süre içinde yakılması havadaki karbon dioksit dengesinin bozulmasına yol açmış, bunun sonucu olarak da küresel ısınma başlamıştır. Fosil yakıtların diğer zararları arasında asit yağmurları ile ormanların yanı sıra canlı varlıkların ve hatta binaların dış yüzeylerinin bozulmasını sayabiliriz.

Enerji kaynakları arasında en çok bilineni ve ilk kullanılanı ise, odundur. Biyokütle enerjisi olarak odun, yetişmesi uzun yıllar alan ağaçların kesilmesi ile elde edildiğinde, ormanların yok olmasına ve büyük çevre felaketlerine yol açmaktadır. Günümüzde biyokütle enerjisini klasik ve modern olarak iki sınıfa ayırmak olanaklıdır. Ağaç kesiminde elde edilen odun ve hayvan atıklarından oluşan tezeğin

basit şekilde yakılması klasik biyokütle enerjisi olarak tanımlanırken, enerji bitkileri, enerji ormanları, ve ağaç endüstrisi atıklarından elde edilen bio-dizel, atanol gibi çeşitli yakıtlar, modern biyokütle enerjisinin kaynağı olarak tanımlanır.

Dünyanın çoğalan nüfusu ve sanayileşmesi ile giderek artan enerji gereksinimi çevreyi kirletmeden ve sürdürülebilir olarak sağlayabilecek kaynaklardan belki de en önemlisi biyokütle enerjisi dir. Ayrıca, biyokütle içinde, fosil yakıtlarda bulunan kansorejen madde ve kükürt olmadığı için, çevreye zarar son derece azdır. Bütün bunların ötesinde, bitki yetiştirilmesi, güneş var olduğu süre süreceği için, biyokütle tükenmez bir enerji kaynağıdır. Biyokütlenin enerji kaynağı olarak kullanımındaki olumlu ve olumsuz yönleri aşağıda ki gibi özetlenebilir.

Olumlu yönler;

- Hemen her yerde yetiştirilebilmesi,
- Üretim ve çevrim teknolojilerinin iyi bilinmesi,
- Her ölçekte enerji verimi için uygun olması ,
- Düşük ışık şiddetlerinin yeterli olması ,
- Depolanabilir olması ,
- 5-35⁰C arasında sıcaklık gerektirmesi,
- Sosyo-ekonomik gelişmelerde önemli olması,
- Çevre kirliliği oluşturmaması ,
- Sera etkisi oluşturmaması ,
- Asit yağmurlarına yol açmaması.

Olumsuz yönler;

- Düşük çevrim verimine sahip olması,
- Tarım alanları için rekabet oluşturması,
- Su içeriğinin fazla olması .

2.6. Dalga ve Gel-Git Enerjisi

Denizlerden ve okyanuslardan elde edilecek enerji, deniz dalga enerjisi, deniz akıntıları enerjisi (boğazlarda) ve gel-git enerjisi olarak tanımlanabilmektedir[1].

2.6.1. Dalga enerjisi

Dalga enerjisi üreten makineler, enerjiyi ya okyanusun yüzeyindeki dalgalardan yada suyun altındaki dalgalanmalardan elde eder. Enerji uzmanları, okyanus dalgalarında trilyonlarca watt elektrik üretebilecek kadar potansiyel bulunduğunu söylemektedir. Tabi bu potansiyel her gün yenilenmektedir.

Dalga enerjisi, güçlü rüzgârların estiği bölgelerde daha çok bulunur. Güney Afrika, Avustralya ve Amerika'nın kuzeydoğu ve güneydoğu kıyılarının yanı sıra, California ve İngiltere kıyıları da oldukça büyük enerji potansiyeli taşımaktadır.

Sualtı dalgalarından enerji elde edebilmek için geliştirilen makinelerin suyun 40 metre altında kurulması planlanır. Bu yöntem için geliştirilmiş makineler, dalgaların düzensiz ve hızlı bir şekilde hareket etmelerinden yararlanarak elektrik üreten tulumbaları çalıştırır. Diğer bir yöntemde ise suda yüzen bidonların hareketlerinden faydalanılır. Dalgaların etkisiyle bidonlar hareket ettikçe, bidonlarla makineler arasında bulunan hortumlar gerilip gevşer, hortumlar gerilip gevşedikçe de makineler döner. Böylelikle dalgaların hareketindeki enerji elektrik enerjisine çevrilmiş olur. Okyanusun yüzey dalgalarındaki enerjinin ise kıyılara kurulan dalga enerjisi tesisleri vasıtasıyla çıkarılması planlanır. Meselâ Hindistan'da kıyı dalgalarından elektrik üreten bir makine Pico adalarına kurulmuştur ve denenmektedir. Yakın zamanda bu makinenin adadaki evlerin çoğuna yeterli elektrik sağlayabilmesi beklenmektedir.

Dünyanın çeşitli yerlerinde birçok dalga enerjisi çıkarma makineleri bulunmasına rağmen henüz hiçbiri kayda değer miktarda elektrik üretmemektedir. California'nın çeşitli yerlerinde dalga enerjisi hakkında birçok proje tasarlandıysa da hiçbir firmanın planları gerçekleşmemiştir. Avrupa ve İskandinavya ülkelerinde ise, devlet bu konudaki araştırmaları desteklemektedir.

2.6.2. Gel-git enerjisi

Gelgit hareketlerinin enerjiye dönüştürülme fikri 11. yüzyıla kadar dayanmaktadır. O zamanlar, değirmenciler tahıl öğütürken gelgit hareketlerinden faydalanmışlardır. Şimdi ise, gelgit hareketlerinden doğan enerji, gelişmiş makineler vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir.

Okyanus seviyesinin günlük alçalıp yükselmesi anlamına gelen gelgitler, Güneş ve Ayın çekimiyle ortaya çıkar. Gelgit hareketlerinden elektrik üretmek için, alçalan ve yükselen gelgit arasındaki farkın en az beş metre olması gerekir. Yeryüzünde bu büyüklükte gelgitlerin bulunduğu yaklaşık kırk bölge bulunur.

Körfezler, gelgit enerjisi üretmek için en ideal bölgeleri teşkil eder. Mühendisler gelgitlerden enerji elde etmek için bir halice veya körfeze boydan boya baraj veya barikat kurarak gelgitleri sıkıştırırlar. Gelgit barajın diğer tarafında yeterli su seviye farkını ürettiğinde geçitler açılır, su türbinlere doğru akar ve türbinler elektrik jeneratörleri vasıtasıyla elektrik üretir.

Bir diğer gelgit teknolojisi olarak da gelgit çitleri tasarlanmaktadır. Gelgit çitleri, dev turnikeleri andırır. Bu turnikeler gelgitler olduğunda dönerek enerji üretirler. Henüz dünyanın hiçbir yerinde gelişmiş gelgit çitleri yoktur, ancak Filipinler'de bu teknoloji için planlar yapılmaktadır.

Gelgit enerjisinden yararlanmak için tasarlanan bir diğer yöntem ise suyun altına yerleştirilecek gelgit türbinleridir. Avrupa Birliği yetkilileri Avrupa'da bu iş için uygun 106 bölge tespit etmişlerdir. Ayrıca Filipinler, Endonezya, Çin ve Japonya'da gelecekte geliştirilebilecek sualtı türbini alanlarına sahiptirler..

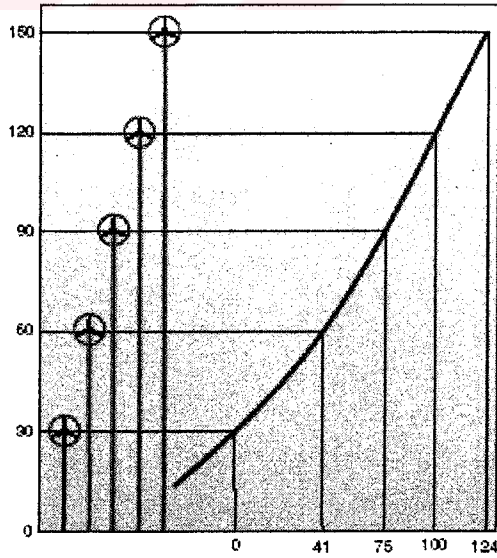
Gelgit enerjisinden, Rusya ve Fransa gibi ülkelerde, 400 kW'tan 240 milyon W'a varan kapasitelerde yararlanılmaktadır. Hesaplamalara göre yeryüzündeki okyanuslardaki gelgit hareketleri her gün devamlı olarak 3 bin milyar kW enerji kapasitesi taşımaktadır. Bu enerjinin yüzde 2'sinin (toplam 60 milyar watt) elektrik enerjisine dönüştürülebileceği sanılmaktadır.

BÖLÜM 3. RÜZGAR ENERJİSİ VE RÜZGAR TÜRBİNLERİ

3.1. Rüzgar ve Rüzgar Enerjisi

Ana kaynağı güneş olan rüzgar, hava tabakalarının farklı sıcaklıklarda ısınıyor olmasından oluşur. Güneş enerjisinin kayaları, denizleri ve atmosferi her yerde özdeş ısıtmaması nedeniyle oluşan sıcaklık ve basınç farkları rüzgarı oluşturmaktadır. Binlerce yıldır bir enerji kaynağı olarak kullanılan rüzgar enerjisi bol ve serbest halde bulunan güvenilir ve sürekli bir enerji kaynağıdır. Havanın öz kütlesi az olduğundan rüzgardan sağlanacak enerjinin miktarı hızına bağlıdır. Rüzgarın hızı yükseklikle, gücü ise hızının küpü ile orantılı olarak artar. Rüzgarın sağlayacağı enerji, gücüne ve estiği süreye bağlıdır.

Şekil 3.1'de Rüzgar hızlarının yükseklikle artışı verilmiştir. Düşey eksen kule yüksekliğini ft olarak verirken, yatay eksen de rüzgar gücünün artışını % olarak gösterir[5].



Şekil 3.1. Rüzgar hızının yükseklikle artışı

3.2. Rüzgar Potansiyeli ve Rüzgar Potansiyelinin Belirlenmesi

Rüzgar enerji sistemlerinin tasarımı, planlanması ve çalıştırılması için rüzgarın karakteristiklerinin tüm detaylarıyla bilinmesi gerekmektedir. Türbin yerleşimi ve rüzgar enerji potansiyelinin belirlenebilmesi için uzun süreli güvenilir verilere ihtiyaç duyulmaktadır.

Rüzgar enerjisinden yararlanmak amacıyla sürdürülen çalışmaların ilkinin potansiyel belirleme çalışmaları oluşturmaktadır. Türkiye’de genel amaçlı rüzgar ölçümleri diğer meteorolojik ölçümlerle birlikte D.M.İ tarafından yapılmaktadır. Ülke genelinde rüzgar enerjisi kaynağına dayalı plan ve programların yapılabilmesi, bu kaynağın potansiyelinin belirlenmesi ile mümkündür. Bu amaçla, D.M.İ.’ne ait istasyonların 1970-1980 yılları arasındaki kayıtları değerlendirilmiş ve ülke genelindeki doğal rüzgar enerjisi dağılımı genel olarak belirlenmiştir. Ancak, rüzgardan elektrik enerjisi üretimine yönelik çalışmalarda ayrıntılı rüzgar potansiyel değerlendirme çalışmaları gerekli olmaktadır. Bu amaç doğrultusunda ülkemizde, ilk aşamada belirlenmiş olan ve rüzgar enerjisi umut verici yerlerde yapılan etütler ile rüzgardan enerji üretimine elverişli olabilecek bölgelere Rüzgar Enerji Gözlem İstasyonları kurulup veri toplanmaya başlanmıştır. Bu istasyonlarda düşük güçlü mikro işlemci kontrollü veri toplama sistemleri kullanılmaktadır. Ölçümler çoğunlukla 10 metre yükseklikte alınmakla birlikte 30 metre yükseklikte alınan ölçümlerde mevcuttur. Veriler birer saatlik ve 10 dakikalık periyotlarla toplanmakta, yazılım programı kullanılarak işlenmekte ve arşivlenmektedir. EİE rüzgar enerjisi gözlem istasyonlarına ait aylık ortalama rüzgar hızları ve rüzgar yönleri güncellenmekte ve ücretsiz olarak yayımlanmaktadır.

E.İ.E.’nin ölçüm istasyonlarından elde edilen ortalama rüzgar hızları, bu istasyonların bulunduğu bölgelerin bir çoğunun rüzgar enerjisi uygulamaları için elverişli olduğunu göstermektedir[4].

3.3. Rüzgar Türbinleri

Rüzgar türbinleri, rüzgar enerji santrallerinin ana elemanı olup hareket halindeki

havanın kinetik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren makinelerdir. Rüzgar türbinleri dönüş eksenlerinin doğrultusuna göre yatay eksenli veya dikey eksenli olarak imal edilirler. Bu tiplerden en fazla kullanılanı yatay eksenli rüzgar türbinleridir. Günümüzde yaygın olarak 600-750 kW gücünde yatay eksenli rüzgar türbinleri kullanılmakla beraber teknolojik gelişmelere paralel olarak 2 MW kapasiteli rüzgar türbinleri de piyasaya girmiştir[2].

Bir rüzgar türbin-generatör sistemi kurmadan önce seçilen yörenin rüzgar enerjisi potansiyelinin ve buna ait teorik hesapların yapılması gerekmektedir. Sağlıklı bir hesaplama için; rüzgar hızı ölçümleri, türbin kanat çapı, kanat sayısı, türbinin yerden yüksekliği, kanat ucu hız oranı gibi parametrelerin bilinmesi gerekmektedir.

Bir rüzgar türbinin gücü aşağıdaki ifade ile hesaplanır[6].

$$P = C_p \frac{1}{2} \rho A c_u^3 \quad \text{watt} \quad (3.1)$$

Burada ρ havanın yoğunluğunu, A kanat alanını ve c_u ise rüzgar hızını göstermektedir.

Burada C_p , güç faktörü veya verim olup maksimum değeri %59.3 dür. Bu değere Lanchester Betz limiti denir. Bu limit değer, rüzgar enerjisi elektrik santrallerinin en fazla %59.3 verime sahip olacaklarını göstermektedir.

A kanat alanı ise şu şekilde bulunur[6].

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 \quad m^2 \quad (3.2)$$

Bir rüzgar türbini, çevredeki engellerin rüzgar hız profilini değiştirmeyeceği yükseklikteki bir kule üzerine yerleştirilmiş gövde ve rotordan oluşur. Kanatlar ve göbek rotor olarak adlandırılır. Rüzgarın kinetik enerjisi rotor tarafından mekanik enerjiye çevrilir ve düşük devirli ana milin dönüş hareketi gövde içerisindeki iletim

sistemine, oradan generatöre aktarılır. Rotorun dönüş hızı sabit veya değişken olabilmektedir. Modern rüzgar türbinlerinin rotor göbekleri yerden 30-80 metre yükseklikte bir kule üzerinde bulunur. Kuleler çelik kafes, çelik konik boru, çelik silindir, beton konik boru yada silindir biçiminde yapılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan yatay eksenli rüzgar türbinlerinin rotor kanat sayıları 1,2 veya 3, devir sayıları ise 16-30 dev/dk arasındadır. Rotor çapları 18-65 metre, rotor süpürme alanları ise 250-3320 m² dir.

Kanatlar polyester ile kuvvetlendirilmiş fiberglass veya epoxy ile güçlendirilmiş fiber karbondan yapılmakta ve çelik omurga ile desteklenmektedir. Kanatlardaki gücün kontrolü için iki farklı yöntem kullanılır. Kanat açısı kontrolü adı verilen ilk kontrol yönteminde kanat açıları makine kontrol sistemi tarafından ayarlanır ve frenleme veya durdurma gerçekleştirilir. Stall kontrol bazen de pasif kontrol olarak bilinen ikinci yöntemde ise ayarlanacak hareketli parçalar yoktur ve kanadın doğal aerodinamik özelliği ile rotor durdurulur.

Rüzgar türbininin en önemli parçası mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren generatörlerdir. Orta ve büyük güçlü sistemlerde senkron ve asenkron generatörler yaygın olarak kullanılırlar. Büyük güçlü rüzgar türbinlerinin şebekeye bağlantı gerilimi genellikle 690 V ve şebekeye bağlantı frekansı 50 Hz dir.

Rüzgar enerji teknolojisinin kapasite faktörü %25-40 arasında değişir. Bu faktör; Yıllık üretilen net enerji miktarının, bütün yıl tam kapasite ile çalışması durumunda üretilebilecek enerji miktarına oranı şeklinde tanımlanmaktadır.

Rüzgar türbinlerinin ömrü, türbin kalitesine ve yerel iklim özelliklerine göre değişmekle beraber ortalama 20-25 yıldır. Türbin yüksekliğindeki türbülans yoğunluğu ve bunun sonucu ortaya çıkan mekanik yorulma, türbin ömrünü birinci dereceden etkileyen faktördür.

Rüzgar enerjisinin maliyeti, teknolojisinin gelişmesine paralel olarak sürekli azalma eğilimindedir. Rüzgardan üretilen elektrik ile bir termik santralden üretilen elektriğin fiyatı arasındaki fark gün geçtikçe azalmaktadır. Günümüzde rüzgar santralleri

kullanımda olan konvansiyonel enerji teknolojileri ile rekabet edebilir bir duruma gelmektedir.

Rüzgar enerjisi uygulamalarında birim enerji maliyetini etkileyen temel faktörler santral sahasındaki ortalama rüzgar hızı ve rüzgar tarlasının büyüklüğü, faiz oranı ve çevresel maliyettir.

Rüzgar enerjisi çevre dostu bir enerji kaynağı olup enerji üretimi esnasında emisyon oluşturmaz dolayısı ile çevre ve insan sağlığına zarar vermez. Çevresel ve toplumsal maliyetler elektrik üretimi maliyet hesaplamalarına dahil edilirse rüzgar enerjisi teknolojisinin diğer üretim teknolojileri ile rekabet gücü artacaktır.

Fosil esaslı enerji kaynakları kaçınılmaz olarak CO₂ , SO₂ ve NO_x oluşumuna sebebiyet verirler. Günümüzde fosil kaynakların yanmasıyla oluşan CO₂ emisyonunu yaklaşık 6 milyar ton olduğu söylenmektedir. Bu artışın getirdiği sera etkisiyle dünya ısısı 1990 yılından beri 0.3-0.6 C° yükselmiştir. Bu değer 2010 yılında 2.0 C° ulaşacağı tahmin edilmektedir. Dünya ısısının artması neticesinde önemli iklim değişikliklerinin olacağı açıktır. SO₂ ve NO_x gibi gazların emisyonu kullanılan yakıtın kalitesine ve yakma ile filtreleme sistemine göre değişmekle beraber bölgesel asit yağmurlarına neden olmaktadır. Tipik bir konvansiyonel santral 1Kwh elektrik enerjisi üretimi esnasında atmosfere yaklaşık 860 gr CO₂ , 10 gr SO₂ ve 3gr NO_x yaymaktadır. Bu durum dikkate alındığında rüzgar enerjisi santrallerinin emisyonların azaltılması için kullanılabilecek önemli bir teknoloji olduğu açıktır[2].

Rüzgar potansiyeli, rüzgar enerji maliyeti ve rüzgarın çevreye etkileri düşünüldüğünde rüzgar türbinleri vazgeçilmez bir enerji kaynağı olarak görülür. Rüzgar türbinleri kara üzerinde olduğu gibi deniz veya okyanus kıyılarının ötesinde de kurulabilir.

Kıyı ötesi rüzgar türbinleri, aslında karada yer alan bir türbine çok benzer yapıdadır. Aralarındaki tek fark, kıyı ötesi türbinlerin boylarının yaklaşık 60 metre daha uzun olmasıdır. Kıyı ötesi rüzgar türbinininin rüzgar estikçe dönen ve her birinin boyu ortalama 35 metre olan kanatları, direğin tepesine yerleştirilmiş bir şaftta birleşir.

İçeride, bir dişli çark dönme hızını artırır. Ardından bir generatör bu enerjiyi elektriğe dönüştürmek için manyetik alanları kullanır. Türbinler genel olarak kıyıda 5 km açığa, derinliğin yaklaşık 30 metre olduğu alanlara yerleştirilir. Üretilen elektriğin kıyıya ulaşmak için yaptığı yolculukta, büyük bir kısmının ısı olarak kaybedilmesini önlemek için, denizde transformatörler kullanılarak 33000 V'luk gerilim oluşturulur. Bu elektrik denizin altına yerleştirilmiş kablolar yoluyla karadaki alt istasyonlara, buradan da ulusal elektrik şebekesine iletilir[3].

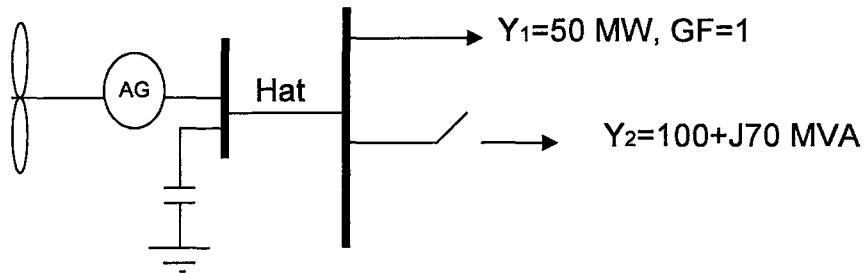
Bütün dünyada rağbet gören rüzgar türbinleri şebekeye bağlanıp bağlanmadığına, türbin gücüne ve türbin yapısına göre sınıflandırılırlar.

3.3.1. Şebekeye bakımından rüzgar türbinleri

3.3.1.1. Şebekeden bağımsız sistemler

Merkezi tüketim merkezlerinden uzaktaki yerleşim merkezlerinin elektrik enerjisi ihtiyacının merkezi şebekeden karşılanması pahalı bir tesis masrafı gerektirmektedir. Özellikle adalarda su altından yüksek gerilim kabloları ile enerji nakli söz konusu olduğunda bu durum daha da belirginleşmektedir. Rüzgar hızı ve sürekliliği yeterli olan bu tür yerleşim birimlerinin enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılabilen rüzgar santralleri genellikle şebeke ile herhangi bir bağlantı içerisinde değildir[7].

Şekil 3.2'de şebekeden bağımsız çalışan büyük güçlü rüzgar türbini gösterilmiştir.

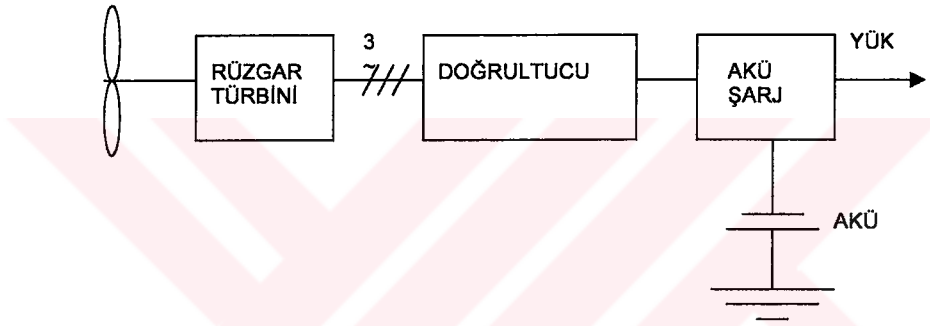


Şekil 3.2. Şebekeden bağımsız çalışan büyük güçlü rüzgar türbini

Büyük güçlü şebekeden bağımsız çalışan büyük rüzgar türbinlerinden başka küçük rüzgar türbinleri de mevcuttur.

Şebekeden bağımsız olarak çalışan küçük rüzgar türbinleri akü şarj etme prensibine göre çalışır. Akü şarj eden sistemler, genellikle şebekeden uzak bölgelerde kullanılmaktadır. Şehir dışı yerleşimler, çiftlik evleri, telekomünikasyon aktarıcıları, radyo ve orman kuleleri, askeri tesisler, demiryolu sinyalizasyonu, balık çiftlikleri, meteoroloji istasyonları, bilimsel ve diğer araştırma istasyonları gibi yerlerde elektrik ihtiyacını karşılar[8].

Şekil 3.3’de akü şarj prensibine göre şebekeden bağımsız çalışan rüzgar türbini gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Şebekeden bağımsız akü şarj prensibine göre çalışan rüzgar türbini

3.3.1.2. Şebeke ile bağlantılı sistemler

Rüzgar türbini şebekeye paralel olarak bağlanır. Bu sistemde öncelikle rüzgardan üretilen elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Rüzgar koşullarının az olması durumunda ise, rüzgar türbininden sağlanan elektrik dışında kalan ihtiyaç şebekeden sağlanmaktadır.

Şebekeye paralel bağlı rüzgar türbinleri büyük güçlü rüzgar türbinleridir.

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

Büyük türbinlerden oluşan rüzgar çiftliklerinin yatırım maliyeti kabaca bir yaklaşımla 1000 \$/kW dır. Yıllık bakım masrafı ise yatırımın % 1-1.5'i olarak gerçekleşir. Bu şartlar altında kurulacak türbinlerden elde edilen elektrik enerjisi, şebekeye; maliyeti düşük, çevreyi kirletmeyen, güvenli ve yenilenebilir bir kaynaktan üretilmiş olarak verilebilir[8].

3.3.3. Yapılarına göre rüzgar türbinleri

3.3.3.1. Yatay eksenli rüzgar türbinleri

Yer konumuna göre rotoru yatay ekseninde çalışan türbinlerdir. Yatay eksenli rüzgar türbinleri (Horizontal Axis Wind Turbine = HAWT) 'nin maksimum enerji tutabilmeleri için rotorları sürekli rüzgar akış yönünde olmalıdır. Bu da rotorun kule üzerinde dönmesi ile sağlanır. Rüzgarın yönüne dönme hareketi iki ayrı konstrüksiyonla sağlanır. Bunlar “öne-rüzgar” ve “arkaya-rüzgar” olarak adlandırılır. Eğer kanat, rüzgarı ön yüzünden alıyorsa rotorun arkasına bir kılavuz kanat takılır. Diğer durumda ise kanat rüzgarı arka kısımdan alır veya kanatlar biraz konik yapılıdır. Böylece sistem rüzgarı takip ederek maksimum fayda sağlanır.

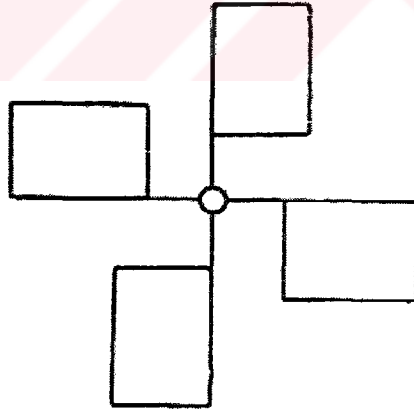
Teknolojik ve ticari olarak en yaygın kullanılan türbinler yatay eksenli rüzgar türbinleridir. Modern rüzgar türbinleri 2 veya 3 kanatlı ve kanat çapları yaklaşık 30 m'dir.

Şekil 3.5'de yatay eksenli türbinlerin kanat şekilleri gösterilmiştir.

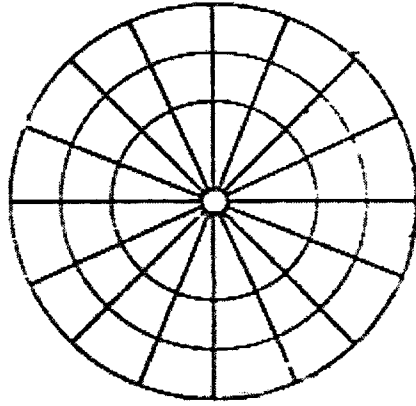


Şekil 3.5. Yatay eksenli rüzgar türbinlerinin kanat şekilleri

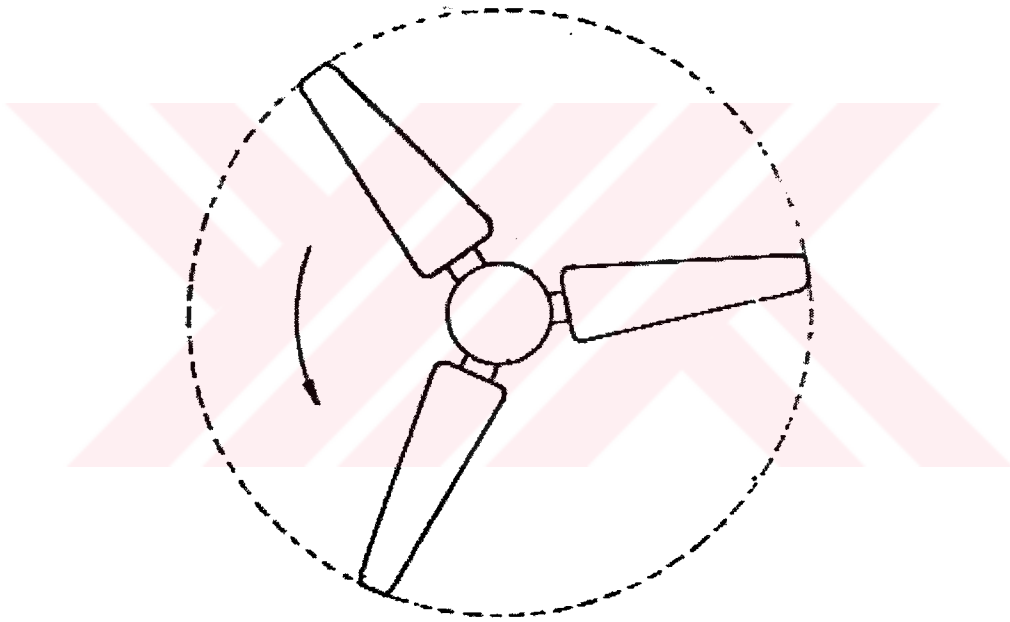
Bunların eksenlerini rüzgarın doğrultusuna koşturacak biçimde sürekli olarak yönlendirmek gerekir ki kanatlar sürekli rüzgar etkisinde kalsın. Yatay eksenli türbinlerde rotor, dişli çark, generatör ve fren bir kulenin bir kulenin üzerinde yatay şafta bağlanmışlardır. Ticari amaçlı kullanılan türbinlerin hemen hepsi bu guruba girmektedir. Yatay eksenli rüzgar türbin çeşitleri aşağıda verilen şekillerdeki gibi olabilir[6].



Şekil 3.6. Yel değirmeni yelpazesi tipi yatay eksenli rüzgar türbini



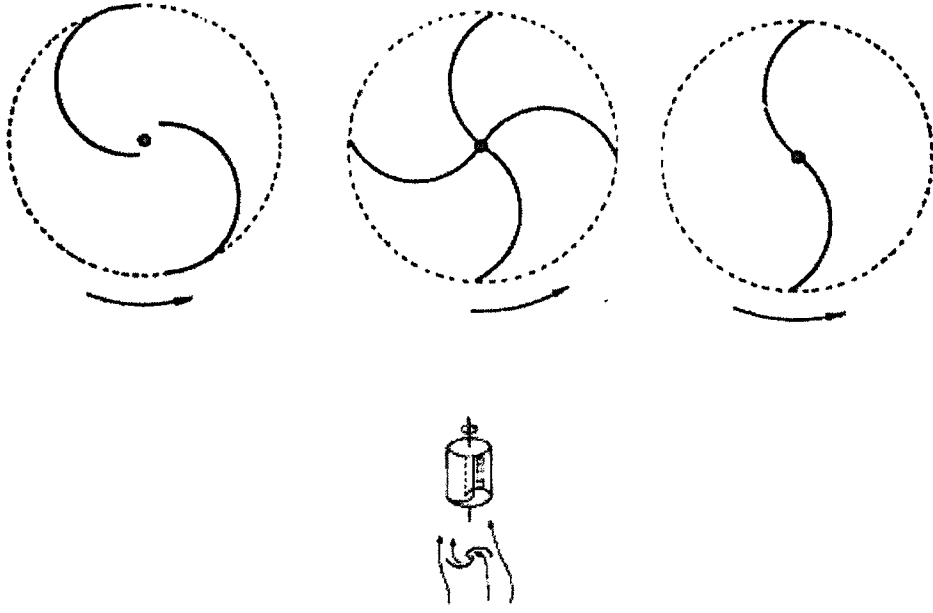
Şekil 3.7. Çok kanatlı yatay eksenli rüzgar türbini



Şekil 3.8. Üç kanatlı yatay eksenli rüzgar türbini

3.3.3.2. Düşey eksenli rüzgar türbinleri

Bu tip türbinlerde dönme eksenini rüzgar yönüne dik ve kanatları düşeydir. Bunların başlıcaları Darrieus ve Savonius tipinde olanlardır. Aşağıdaki şekillerde dikey eksenli rüzgar türbinleri gösterilmiştir (Vertical Axis Wind Turbine = VAWT) .



Şekil 3.9. Savonius çarkı dikey eksenli rüzgar türbini



Şekil 3.10. Darrieus çarkı dikey eksenli rüzgar türbini

Şekillerde de görüldüğü gibi dikey eksenli rüzgar türbinlerinde kanatlar dikey şafta bağlanmıştır. Bu türbinlerin yatay eksenli türbinlere göre bazı üstünlükleri ve eksikleri vardır.

Üstünlükleri;

- Rüzgar doğrultusundan etkilenmez, dolayısıyla yönlendiriciye ihtiyaç yok.
- Bütün elektro mekanik aksam yerde olduğu için yatırım ve bakım masrafları daha azdır.

Eksikleri;

- Türbin kanatları dizaynı nedeni ile verimleri düşüktür.

- Kanatların yere yakınlığı sonucu düşük rüzgar hızına maruz kalırlar, bu ise enerji üretimini azaltır.

Verim düşüklüğü nedeniyle dikey eksenli rüzgar türbinleri fazla uygulama alanı bulamamışlardır.

3.3.3.3. Eğik eksenli rüzgar türbinleri

Dönme eksenleri düşey ile rüzgar yönünde bir açı yapan rüzgar türbinleridir. Bu tip türbinlerin kanatları ile dönme ekseninde belirli bir açı bulunmaktadır. Eğik eksenli rüzgar türbinlerinin geniş bir uygulama alanı yoktur[1].



BÖLÜM 4. RÜZGAR TÜRBİNİ TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

4.1. Rüzgar Türbinin Tasarımı

Rüzgar türbininin tasarımına ve yapımına başlamadan önce, sistemin maksimum verimle çalışmasını sağlamak için; bu tez çalışması sırasında yapılan pratik ve teorik incelemeler sunucunda ortaya çıkan aşağıdaki verilerin belirlenmesi gerekir.

- Türbinin kurulacağı bölgenin rüzgar potansiyeli,
- Güç miktarı,
- Türbinin yapısı,
- Türbinin kanat sayısı,
- Üretilecek enerjinin nasıl kullanılacağı.

Yukarıdaki verilere karar verildikten sonra türbinin tasarımı gerçekleştirilebilir. Bu tez çalışmasında baz alınacak veriler aşağıdaki gibidir.

Türbinin kurulacağı bölgenin rüzgar potansiyeli; türbin tasarımında en önemli verilerden biridir. Rüzgar hızının yanında sürekliliğinin de olmasına dikkat edilmelidir. Devlet Meteoroloji İşleri genel Müdürlüğü'nün yakın bölgelerde yapmış olduğu ölçümler sonucu Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsündeki yıllık ortalama rüzgar verileri 45 km/h civarındadır. Bu rüzgar hızı rüzgardan elektrik üretilmesi için yeterlidir[9].

Türbinin gücü; gerçekleştirilecek olan rüzgar türbininin gücünün 1 kW olması kararlaştırılmıştır. 1 kW gücündeki bir alternatörün milinin rüzgar gücüyle döndürülmesine çalışılacaktır.

Türbinin yapısı; rüzgar türbininden maksimum verim alabilmek için türbin şeklinin rüzgarı karşısına alan yatay eksenli olmasına karar verilmiştir. Yatay eksenli rüzgar türbinleri pratikte en çok kullanılan rüzgar türbinleridir. Çeşitli özel uygulamalar ve bazı küçük rüzgar türbini firmalarının ürünleri incelenerek yatay eksenli rüzgar türbininin basit prensibi temel alınmıştır.

Türbin kanat sayısı; türbin kanat sayıları 1,2,3,4,5,6 veya çok kanatlı olabilir. Bu çalışmada rüzgardan daha iyi faydalanılmak üzere 6 kanatlı rüzgar türbini yapılması uygun görülmüştür.

Üretilen enerjinin kullanımı; Türbinin ürettiği enerjinin AC veya DC olmasına ve enerjinin depolanıp depolanmayacağına karar verilir. Burada öncelikle bilinmesi gereken beslenecek yükün ihtiyacıdır. Uygulamada, alternatör tarafından üretilen AC gerilim doğrultucularla doğrultulup aküleri şarj edecek ve istenildiği durumlarda tekrar AC gerilime dönüştürülüp yükü besleyecektir. Bu çalışma koşulu rüzgarsız zamanlarda bile enerji sürekliliği sağlayacaktır.

4.1.1. Türbin hesaplamaları

Rüzgar türbininin gücünün 1 kW çıkışlı bir alternatör olması kararlaştırıldığından, öncelikle alternatöre dönme hareketini sağlayacak olan türbinin kanat çapının hesaplanması gerekmektedir.

Hesaplamalar sırasında; rüzgar hızı 45 km/h[9], sistemin mekanik verimi %90, aerodinamik verim %75, alternatörün verimi %90 ve havanın yoğunluğunun da 1.125 kg/m³ olarak varsayılmasına karar verilmiştir[6].

Hesaplamalar için türbin kanat hesaplama ifadeleri kullanılır. (Bkz. formül 3.1 ve 3.2) Buna göre rüzgar türbininin kanat çapı;

$$c_u = 45 \text{ km/saat} = 12.5 \text{ m/s}$$

$$P=1=0.593*0.75*0.9*0.9\left(\frac{1}{2}\rho A c_u^3\right)*10^{-3}$$

$$\frac{1}{2}\rho A c_u^3 = 2775.86$$

$$\frac{1}{2}*1.125(12.5)^3 A = 2775.86$$

$$A = \frac{\pi}{4}d^2 = 2.52 \text{ m}^2$$

$$d = 1.79 \text{ m}$$

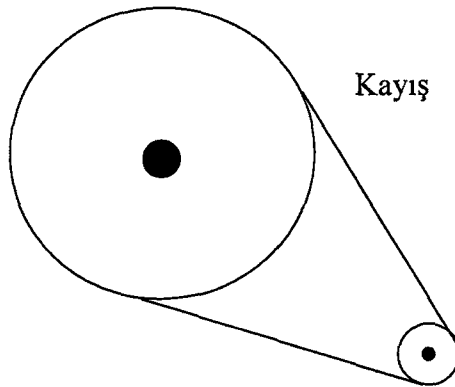
olarak hesaplanmıştır.

Kanat çapı 1.79 m bulunmuştur ancak rüzgar hızının sürekli değişimine dikkat edilirse bu çapın büyütülerek 2 m olması uygun görülmüştür.

4.1.2. Türbin tasarımında dikkat edilecek hususlar

Burada öncelikle kanatlarının gücünü alternatöre iletme problemi çözülmelidir. Kanatlarla alternatör aynı mil üzerinde olabileceği gibi dişli veya kayış-kasnak sistemiyle de bağlantı olabilir. Uygulamada, montaj ve bakım koşulları göz önüne alınıp kayış-kasnak sistemi kurularak dişli kayış kullanılmasına karar verilmiştir. Kullanılacak alternatörün devri dikkate alınarak, alternatörün kasnağı küçük, kanatların milindeki kasnak büyük tutulmuştur. Şekil 4.1'de kanat gücünün alternatöre iletimi gösterilmiştir.

Kanat mili kasnağı

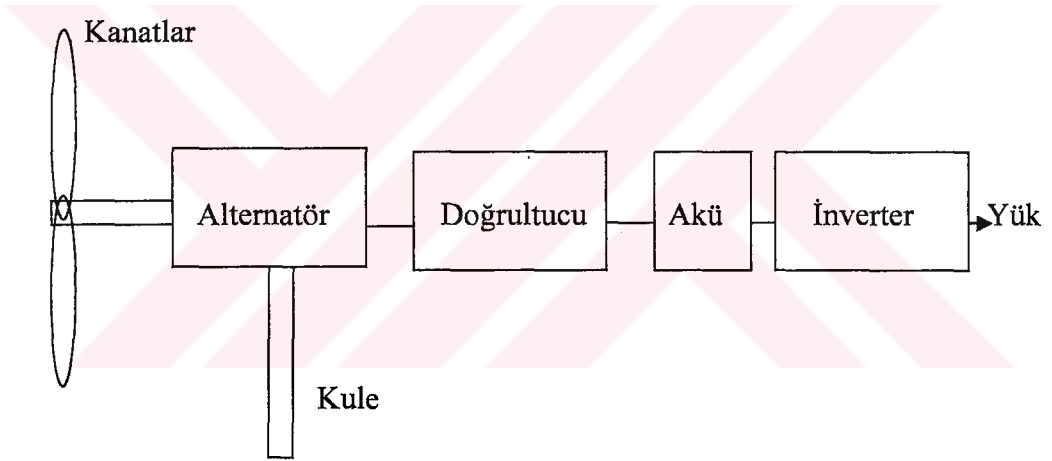


Alternatör kasnağı

Şekil 4.1. Kanat gücünün alternatöre iletimi

Uygulamadaki ikinci önemli problem de türbinin rüzgarın estiği yöne doğru konumlanması ve bu konumlanma sırasında akülere giden kabloların kendi etrafında dönüp, bükülerek zarar görmesinin engellenmesidir. Bu sakıncayı ortadan kaldırmak için kanat ve alternatör sistemi, iki ucu rulmanla sabitleştirilmiş bir boru üzerine yerleştirilir. Rüzgar yönünün tayini için kanatların bağlı olduğu mekanizmaya uygun kuyruk yapılır. Böylece kanatlar rüzgarın yönüne göre kolayca konumlanmış olur. Kablonun emniyetli bir biçimde iletiminin sağlanması için de fırça mekanizması kullanılmalıdır.

Türbinin mekanik kısmı için söz konusu olan problemler, yukarıdaki paragraflarda bahsedildiği gibi çözümlenerek türbin Şekil 4.2'deki gibi planlanır.



Şekil 4.2. Rüzgar türbini

4.2. Rüzgar Türbininin Gerçekleştirilmesi

Bir rüzgar türbini;

- Kanatlar ve kuyruk
- Alternatör
- Kule

- Doğrultucu ve gerilim regülatörü
- Akü
- İnverter

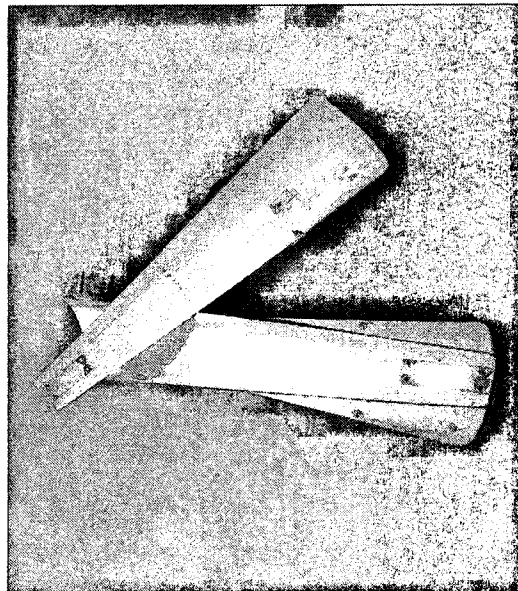
gibi ana parçalar ve bu parçaların birleştirilip bağlanmasında kullanılan yardımcı elemanlardan oluşur.

4.2.1. Türbin ana parçaları

4.2.1.1.Kanatlar ve kuyruk

Kanatlar; genellikle 1,2,3,4,6 veya çok parçadan yapılır. Malzeme olarak paslanmaya dayanıklı galvanizli sac, ahşap veya özel karbon ile karıştırılmış komposit malzemeler kullanılır.

Bu çalışmada kullanılacak alternatörün de gücü dikkate alınarak hesaplamalar sonucuna göre kanat çapı yaklaşık 2 m olarak hesaplanmıştır. Buna göre kanatlar, 1'er metrelik 6 adet galvanizli sacdan , rüzgardan en iyi şekilde faydalanılacak biçimde şekillendirilerek tasarlanmıştır. Şekil 4.3'de kanatlar gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Kanatlar

Küçük rüzgar türbinlerinde kuyruk, türbinin rüzgarı karşısına alıp konumlandırmak için kullanılır. Yamuk veya kare şeklinde bir levha olabilir. Şekil 4.4'de kuyruk gösterilmiştir.

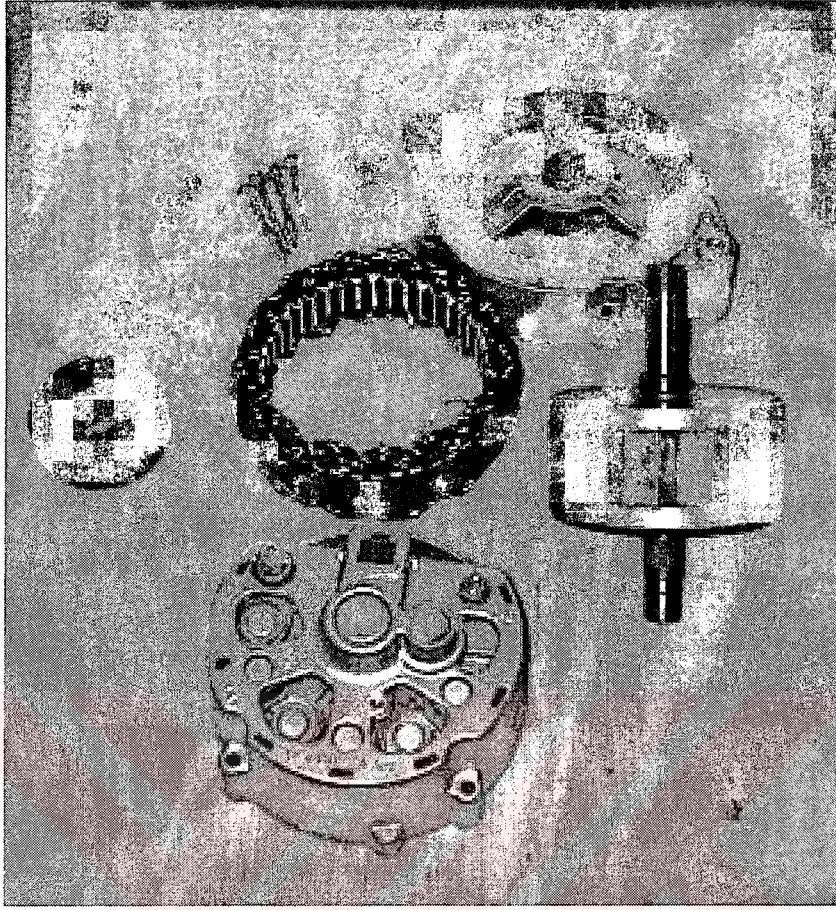


Şekil 4.4. Kuyruk

4.2.1.2. Alternatör

Fırçalı veya fırçasız 1 veya 3 fazlı alternatörler kullanılır.

Çalışmada 1kW gücünde, 3 fazlı, fırçalı bir alternatör kullanılmıştır. Alternatörün sargıları düşük rüzgar hızlarında da gerilim üretebilmesi için gücü düşürmemek kaydıyla yeniden sarılmıştır. Alternatörün sargılarının kesiti düşürülüp, sarım sayısı artırılmıştır. Şekil 4.5'de alternatör gösterilmiştir.



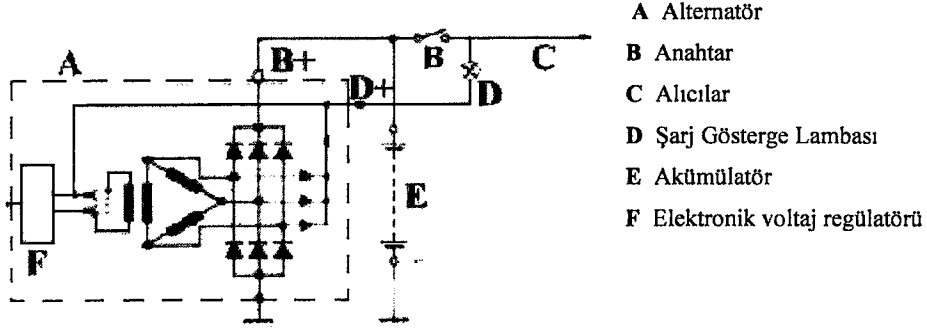
Şekil 4.5. Alternatör

4.2.1.3. Kule

Kule; rüzgar türbinin kullanılacağı yerin rüzgar durumu dikkate alınarak 6 ile 18 metre arasında 15-20 cm çapında kalın demir boru veya L demirlerinden bir direk olabilir.

4.2.1.4 Doğrultucu ve gerilim regülatörü

Kullanılan üç fazlı alternatörün, alternatif çıkış gerilimi 9 diyottan oluşan bir doğrultucuyla doğrultulur. Doğrultucunun çıkış gerilimi elektronik voltaj regülatörüyle regüle edilir. Doğrultucu ve gerilim regülatörü alternatörde dahili olarak bulunmaktadır ve elektrik devresi Şekil 4.6'da verilmektedir.



Şekil 4.6. Doğrultucu ve gerilim regülatörü elektrik devresi

4.2.1.5. Akü

Alternatörden çıkıp doğrultulan ve regüle edilen gerilim 24 V, 40 A'lik akümülatörü şarj eder. Bu uygulamada 12 V, 40 A'lik 2 adet akümülatör birbirlerine seri olarak bağlanmıştır.

4.2.1.6. İnverter

Alternatif akımla çalışan yüklerin ihtiyacını karşılamak için akü çıkışındaki 24 V DC'nin 220 V AC'ye çevrilmesi gerekir. Bunun için uygun güçte inverter kullanılır. Bu uygulama için gerekli en küçük güç 1 kW olmalıdır.

4.2.2. Türbin yardımcı parçaları

Türbin yapımında kullanılan ana parçalar dışındaki bütün parçalara yardımcı parçalar denilebilir. Bu parçalar; ana parçaları birbirlerine bağlayan bağlantı elemanları ve elektrik enerjisini taşıyıp kumanda eden malzemelerdir. Bunlar; cıvatalar, kanatları birbirine bağlayan demir lamalar, kablolar, enerji açma-kapama elemanlarıdır.

4.2.3. Parçaların montajı

Türbin için gerekli olan ana ve yardımcı parçalar birbirlerine cıvata ve somun yardımıyla bağlanır. Burada en çok dikkat edilmesi gereken husus kanatların

balansının iyi yapılmasıdır. Kanatlar gövdeye ve birbirlerine birleştirildikten sonra balans ayarına dikkat edilerek sıkıştırılır. Bunun önemi rüzgar etkisindeki kanatların dengeli dönmesidir. Şekil 4.7’de montajı yapılmış türbin gösterilmektedir. Ayrıca Ek A’da rüzgar türbininin başka bir kesiti gösterilmiştir.



Şekil 4.7.Küçük rüzgar türbini

4.3. Rüzgar Türbinin Çalışması

Montajı yapıp kuleye yerleştirilen türbinin çalışması için öncelikle rüzgar gereklidir. Türbine rüzgar çarpar ve kuyruk yardımı ile türbini konumlandırır yani rüzgarı karşısına alır. Rüzgar kanatları döndürür. Kanatlar döndükçe kanat miline dişli kayış ile bağlı olan alternatör döner. Akü ile uyarılan alternatör belirli bir devirin üzerine çıktığında gerilim indükler. İndüklenen bu alternatif gerilim doğrultucuya gider. Doğrultucu çıkışındaki doğru gerilim aküleri şarj eder. Akü çıkışına bir inverter bağlanarak 24 V DC 220 V AC’ye dönüştürülür. Böylece akülerde depo edilen enerji istenildiği zaman AC olarak kullanılır.

4.4. Rüzgar Türbininin Bakımı

Küçük rüzgar türbinlerinde, diğer mekanik sistemlerde olduğu gibi hareketli parçalarda bakıma ihtiyaç vardır. Türbinin muhtelif yerlerindeki rulmanlar zaman ve hava şartlarından dolayı yağsız kalır, tozlanır ve ses yapar. Bu yüzden 1'er aylık periyotlarla türbin üzerinde rulmanların bulunduğu noktalar kulakla muayene edilir. Uygun görüldüğü durumlarda rulmanlar kolayca temizlenir ve yağlanır. Ayrıca alternatörün içinde bulunan ve alternatörde üretilen gerilimi akülere ileten 2 adet fırça mekanizması belli aralıklarla kontrol edilmelidir. Fırçaların azalması veya bitmesi durumlarında değiştirilmesi gerekir.

Enerji depo eden aküler bakım gerektirmez fakat sürekli şarj-deşarj olmadan dolayı zamanla özelliğini kaybeder. Bu durumda aküler değiştirilmelidir.

Küçük rüzgar türbinini oluşturan parçalar zaman zaman kontrol edilerek özellikle hareketli parçaların bakımlarının yapılmasıyla türbin ömrü uzatılabilir.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR

Enerji, kuşkusuz milyonlarca yıldan bu yana insanlığın yaşamını devam ettirmesinde en önemli temel kaynaklardan birisi olmuştur. Günümüzde gelişme ve güçlenmede de en stratejik unsur konumundadır. 18. yüzyılın ikinci yarısında başlayan ve "Sanayi devrimi" olarak adlandırılan bilimsel ve teknolojik gelişmeler sonucunda, üretim sürecindeki hızlı makineleşme, beraberinde enerji ihtiyacını da gündeme getirmiştir. Bugün kullandığımız enerjinin büyük bir çoğunluğu petrol, kömür, doğal gaz gibi fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Enerjinin daha verimli ve tasarruflu kullanılması, bu yakıtların sınırlı rezervlerinin korunması anlamı taşımaktadır. Dünya enerji tüketimi; nüfus artışına, daha konforlu yaşam talebine bağlı sanayileşmeye ve teknolojik gelişmelere paralel olarak, baş döndürücü bir hızla artmaktadır. 21. Yüzyıla girerken adeta enerji soğuran bir dünya toplumu portresi ortaya çıkmaktadır. Günümüzde Dünya toplam elektrik enerjisi gereksinimi 15 trilyon kWh düzeyindedir, enerji gereksiniminin % 80'i kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlarla karşılanmaktadır.

Kullanılan bu yakıtlar hem rezerv olarak hem de çevresel koşullar olarak dikkate alındığında başka enerji kaynaklarını arayış kaçınılmaz olacaktır.

Bu tez çalışmasında; birincil enerji kaynaklarına alternatif olarak geliştirilen rüzgar, güneş, hidrojen, jeotermal, biyokütle, dalga enerjileri ve bu kaynaklardan elektrik enerjisi üretimi teorik olarak incelenmiştir.

İncelemeler sonucunun da gösterdiği gibi rüzgar enerjisi bu kaynaklar içinde çok önemli bir yere sahiptir. Rüzgar enerjisinin bu öneminden yola çıkarak rüzgarın oluşumundan elektrik enerjisine dönüşene kadar geçirdiği bütün evreler bu çalışmada görülmüştür. Ayrıca bir rüzgar türbinin tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilerek Sakarya Üniversitesi Esentepe kampüsüne kurulmuştur.

BÖLÜM 6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Alternatif enerji kaynakları bu çalışmada da görüldüğü gibi gelecekteki enerji açığını kapatmak için büyük bir potansiyeldir ve sürekli geliştirilmesi gerekir.

Bu tez çalışmasında üzerinde daha çok durulan rüzgar enerjisi konusu, bu konuyla ilgilenenler için bir kaynak teşkil edecektir. Ayrıca gerçekleştirilen şebekeden bağımsız akü şarj prensibine göre çalışan rüzgar türbini uygulaması bir çok ihtiyaca karşılık verebilecektir. Bunun yanında kurulan türbin kampus içindeki elektrik, makine, endüstri mühendislikleri için araştırma geliştirme amacıyla kullanılan bir deney düzeneği görevi görecektir.

Aşağıda gerçekleştirilen türbinin kullanılabileceği bazı yerler önerilmiştir.

- şehir dışı yerleşimler,
- çiftlik evleri,
- telekomünikasyon aktarıcıları,
- radyo ve orman kuleleri,
- askeri tesisler,
- demiryolu sinyalizasyonu,
- balık çiftlikleri,
- seralar, bahçeler,
- maden ocakları,
- deniz vasıtaları

Görüldüğü gibi bu türbinler bir çok kullanım alanı bulmaktadır ve rüzgar enerjisi alternatif enerji kaynakları içinde hem potansiyel hem de çevre koşulları göz önüne alındığında vazgeçilmez bir kaynaktır. Bu yüzden rüzgar enerjisiyle ilgili bütün çalışmalar desteklenmeli ve ilgililerin bu çalışmalara yönelmesine teşvik edilmelidir.

KAYNAKLAR

[1] KOCAMAN, B., “Elektrik Enerjisi Üretim Santralleri”, Birsen Yayınevi, s.157-252, Tatvan-Eylül 2003.

[2] DEMİRTOLA, M., “Yenilenebilir Enerji Kaynakları”, Enerji Dünyası Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Bülteni, Sayı 42-43, s.7-23, Haziran-Ağustos 2002.

[3] TOPÇUOĞLU AKMAN, A., “Rüzgar Enerjisi”, Bilim ve Teknik Dergisi, Sayı 436, s.74-77, Mart 2004.

[4] <http://www.eie.gov.tr>

[5] U.S. Department of Energy Wind Energy Program Produced for the U.S. Department of Energy by the National Renewable Energy Laboratory, a DOE national laboratory, DOE/GO-102002-1567 May 2002.

[6] YAHYA, S.M., “Turbines Compressors and Fans(SI Units)”, 1983 Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, Fifth Reprint 1993, s.598-622, New Delhi 1993.

[7] GELBERİ, H., YILMAZ, A.S., YILDIZ, M., YALÇIN, M.A., “Rüzgar Türbinlerinde Dinamik Kararlılık”, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 7, Sayı 2, s.199-204, Temmuz 2003.

[8] <http://yapsar.com.tr>

[9] <http://www.meteor.gov.tr>

**EK A UYGULAMADA GERÇEKLEŞTİRİLEN ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ
AKŰ ŐARJ PRENSİBİNE GÖRE ÇALIŐAN RŰZGAR TŰRBİNİ**



ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Elazığ'da doğdu. İlk okulu Erbaa Hakimiyet-i Milliye ilkokulu'nda, ortaokulu Erbaa Ortaokulu'nda bitirdi. 1990 yılında başladığı İstanbul Kabataş Erkek Lisesi'nden 1993 yılında mezun oldu. Aynı yıl Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümünü kazandı ve 1998 yılında mezun oldu. 1999 yılında askerlik görevini yerine getirdi. 2001 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans yapma hakkını kazandı.

Evli olup halen özel bir firmada çalışmaktadır.