



**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



# **RÜZGÂR TÜRBİNİ KULLANARAK SU AKINTILARINDAN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ İÇİN PROTOTİP TASARIMI**

---

**AYTAÇ UĞUR YERDEN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı

Elektrik Eğitimi Programı

**DANIŞMAN**

Doç. Dr. Ümit K. TERZİ

İSTANBUL, 2013



MARMARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



# RÜZGÂR TÜRBİNİ KULLANARAK SU AKINTILARINDAN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ İÇİN PROTOTİP TASARIMI

---

AYTAÇ UĞUR YERDEN  
(522306981)

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı  
Elektrik Eğitimi Programı

**DANIŞMAN**  
Doç. Dr. Ümit K. TERZİ

İSTANBUL, 2013

---

## **ÖNSÖZ**

İnsan popülasyonu arttığı sürece tüketim ihtiyacı da artacaktır. Artan bu ihtiyaçları karşılamak yine doğanın sınırları ile elverişli olacaktır. Günümüzde artan kirlilik ve küresel ısınmaya karşı önlemler alınmaz ise ihtiyaçların karşılanması konusunda insanoğlu büyük sıkıntılar çekmeye mahkûm kalacaktır. Bu çalışma bir parçada olsa bu konuda bir adım atma amacı ile yapılmıştır.

Çalışmalarım sırasında benden desteğini eksik etmeyen başta ailem olmak üzere bütün insanlara teşekkürlerimi bir borç bilirim.

**Haziran 2013**

**Aytaç Uğur YERDEN**

# İÇİNDEKİLER

	SAYFA
ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
SEMBOLLER	ix
KISALTMALAR	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xiii
TABLO LİSTESİ	xvii
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
1.1 Çalışmanın Amacı	1
1.2 Türkiye’de ve Dünya’da Enerji Kaynaklarının Durumu	2
1.3 Enerji Dönüşüm Sistemleri	4
1.3.1 Güneş Enerjisi	4
1.3.1.1 Güneş Enerjisinden Elektrik Üretilmesi	6
1.3.1.2 Fotovoltaik Sistemler	7
1.3.1.3 Fotovoltaik Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları	8
1.3.1.4 Parabolik Çanak Sistemler	10
1.3.2 Rüzgar Enerjisi	11
1.3.2.1 Rüzgar Türbinleri	12
1.3.3 Biyoenerji	19
1.3.3.1 Biyomasdan Enerji Üretiminde Kullanılan Teknolojiler	20
1.3.4 Hidrojen Enerjisi	21
1.3.5 Deniz Enerjisi	24
1.3.5.1 Kıyı şeridi ( shoreline) uygulamaları	26
1.3.5.2 Kıyıya yakın (near shore) uygulamalar	28
1.3.5.3 Kıyıdan Uzak (Offshore ) Uygulamalar	29
1.3.6 Hidrolik Enerji	31

1.3.7	Jeotermal Enerji	35
1.4	Hibrid Enerji Dönüşüm Sistemleri	38
1.5	Dalga ve Akıntılardan Elektrik Üretimi Üzerine Yapılan Çalışmalar	46
1.5.1	Su Altı Rüzgar Türbinleri	46
1.5.2	Tünel Dalga Enerjisi Dönüştürücüsü	47
1.5.3	Pelamis Dalga Enerji Dönüştürücüsü	47
1.5.4	Wave Dragon	49
1.5.5	Swingcat	50
<b>2.</b>	<b>MATERYAL VE YÖNTEM</b>	<b>51</b>
2.1	Prototip Tasarımın Çalışması	51
2.2	Fiziksel Dayanaklar	54
2.3	Tasarım Aşamaları	58
2.4	Sistem Bileşenleri	60
2.4.1	Doğru Akım Dinamoları	60
2.4.2	Evirici	61
2.4.3	Aküler	63
2.4.4	Şarj Denetim Ünitesi	64
2.4.5	Fotovoltaik Paneller	65
2.4.6	Savonius Rüzgar Türbinleri	65
2.4.7	Elektriksel Yük	67
2.4.8	Diğer Sistem Bileşenleri	67
2.5	Elektriksel Yapı	67
2.6	Montaj	68
2.7	Test Çalışmaları	71

<b>3. BULGULAR VE TARTIŞMA</b>	<b>73</b>
3.1. Deneysel Sonuçlar	73
3.2. Tartışma ve Yorumlar	75
<b>4. SONUÇLAR</b>	<b>77</b>
4.1. Sistemin Avantajları	77
4.2. Sistemin Dezavantajları	77
4.3. Uygulanabilirliği	77
4.4. Gelecek Çalışmalar	78
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>79</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	

## ÖZET

### RÜZGÂR TÜRBİNİ KULLANARAK SU AKINTILARINDAN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ İÇİN PROTOTİP TASARIMI

Yaşadığımız dünya üzerinde gün geçtikçe artan sorunlara yenileri eklenmektedir. Bunlardan en önemlilerinden birisi artan nüfusa bağlı olarak çoğalan enerji tüketimidir. Nüfus artışına rağmen var olan enerji üretim sistemlerinin kapasiteleri ihtiyacı karşılayamamaktadır. Bu ihtiyacı karşılama gereksinimi insanların önüne, ellerindeki üretim sistemlerinin kapasitesini artırmak, nükleer enerji santralleri kurmak ve yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üretmek gibi 3 seçenek sunmaktadır. Bu seçenekler karşılaştırıldığında yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmanın diğer alternatiflere göre daha uzun vadeli gelecek sunduğu görülmektedir.

Ülkemiz su kaynakları bakımından zengin bir ülkedir. Bununla birlikte enerji üretimine uygun iki tane de Boğazımız mevcuttur. Bu kaynakların elektrik enerjisine dönüştürülmesi konusunda dünyada birçok çalışma gerçekleştirilmektedir. Fakat genelde hidroelektrik santrallerdeki gibi barajlar oluşturularak elektrik üretimi yoluna gidilmiş, akış halindeki sudan direk elde edilmesi konusu yeterince incelenmemiştir.

Gerçekleştirdiğimiz bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanarak yüksek verimde elektrik enerjisi üretmek için rüzgâr türbini ile yükleme havuzu olmaksızın akış halindeki sudan elektrik elde etmek için bir hibrid elektrik üretim sistemi tasarlanmıştır.

Oluşturulan sistemde, yüzey akıntıları ve akışkanın yüzeyindeki rüzgâr ile dönen türbinlerde elde edilen mekanik güç temassız güç aktarma elemanları ile generatöre iletmıştır ve elektrik üretimi sağlanmıştır. Daha sonra oluşturulan sistemin çeşitli analizleri yapılmış ve prototipin hayata geçirilmesi ve bu sistem kullanılarak bir enerji çiftliğinin kurulması ile elde edilecek minimum enerji hesabı üzerine bir projeksiyon yapıldığında Led aydınlatma elemanları ile kıyı aydınlatmasına yetecek enerji elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Dalga Akıntı Enerjisi, Yenilenebilir Enerji, Savonius Rüzgâr Türbini, Hibrit Elektrik Enerjisi Üretimi



## **ABSTRACT**

### **DESIGN OF A PROTOTYPE SYSTEM TO GENERATE ELECTRICAL ENERGY FROM WATER CURRENTS USING A WIND TURBINE**

On our planet Earth, new problems are being added to the ever increasing problems. One of the most important problems is the growing energy consumption related to increasing population. Production capacities of existing energy producing systems are far from meeting the needs. The necessity of meeting the required energy production makes individuals think about three alternatives. These are: to increase the capacities of the current energy production systems, to establish nuclear power plants and to produce renewable energy types. Comparing these three alternatives, it is understood that renewable energy is presenting the solution for the long term.

Our country has rich water resources. Furthermore, we have two channels (Canakkale and Istanbul) which are suitable for energy production. In today's world, there are many studies aiming to produce energy from such channels. But so far, hydroelectric plants have been being preferred and the alternative of producing energy directly from water was not searched enough.

In this study, making use of renewable energy sources, the hybrid system of efficient electricity production from the running water using a wind turbine without building a water dam.

In this system, the mechanical power gained from the surface currents and the surface winds are transferred to the generator with the help of no-contact power transferring elements.

The Study shows that it is appropriate to make a prototype of this system and such as energy farm can light a shore with LED elements

Keywords : Wave Current Energy, Renewable Energy, Savonius Wind Turbine, Hybrid Electric Power Generation



## SEMBOLLER

$CO_2$	:	Karbondioksit
$SO_2$	:	Kükürtdioksit
$NO_x$	:	Azotoksit
$\lambda$	:	Kanat Uç Hız Oranı
$C_p$	:	Türbin Güç Katsayısı
$P$	:	Sudan elde edilen Güç
$kg/m^3$	:	Kilogram/metreküp
$m/s$	:	Metre/saniye
$\omega$	:	Rotor açısal hızı
$R$	:	Kanat Yarıçapı
$U$	:	Rotor Çevresel Hızı
$V$	:	Suyun Hızı
$A$	:	Rotorun yayılma alanı
$\beta$	:	Aşma Oranı
$H$	:	Rotor toplam yüksekliği
$d_i$	:	Kanatların nominal çapı
$a$	:	Şaft Çapı
$D$	:	Rotor Çapı



## **KISALTMALAR**

**YERT :** Yatay Eksenli Rüzgar Türbini

**DERT :** Dikey Eksenli Rüzgar Türbini

**RT :** Rüzgar Türbini

**ABD :** Amerika Birleşik Devletleri



## ŞEKİL LİSTESİ

	<b>SAYFA</b>
Şekil 1.1. 2010 Yılı Dünya Birincil Enerji Arzında Kaynakların Payı .....	2
Şekil 1.2. Türkiye Enerji Tüketim Grafikleri. ....	3
Şekil 1.3. Solar hücrenin içyapısı .....	8
Şekil 1.4. Parabolik Çanak Sistemler .....	11
Şekil 1.5. Bir Yatay Eksenli Rüzgâr Türbini.....	13
Şekil 1.6. Savonius Rüzgar Çarkı Modeli .....	15
Şekil 1.7. Darrieus Rüzgar Türbinleri .....	15
Şekil 1.8. Betz Teorisine Göre Rüzgar Enerjisinin %59,3'ü Kullanımı.....	18
Şekil 1.9. Kullanım ve depolamaya kadar hidrojen elde aşamaları.....	24
Şekil 1.10. Dalga gücü seviyesinin dünyada dağılımı.....	25
Şekil 1.11. Dalga türbinlerin gruplandırılması .....	26
Şekil 1.12. OWC Sistemi.....	27
Şekil 1.13. TAPCHAN Sistemi .....	27
Şekil 1.14. PENDULAR Sistemi.....	28
Şekil 1.15. OSPREYSistemi.....	28
Şekil 1.16. McCabe Dalga Pompası .....	29
Şekil 1.17. OPT WEC Sistemi.....	30
Şekil 1.18. Pelamis Sistemi. ....	30
Şekil 1.19. Archimedes Dalga SalınımSistemi.....	31
Şekil 1.20. Dünya'daki Su Potansiyelinin Dağılımı.....	32
Şekil 1.21. İdeal Jeotermal Sistemin Şematik Gösterimi .....	35
Şekil 1.22. Yenilenebilir enerji kaynaklarının oluşturduğu hibrid enerji sistemi....	39

Şekil 1.23. Yenilenebilir enerji kaynakları ile fosil yakıtların birlikte kullanıldığı hibrid enerji sistemi. ....	39
Şekil 1.24. Hibrid güç üretim sisteminin genel blok şeması .....	41
Şekil 1.25. Güneş – Rüzgar ve Hidroelektrik Hibrid Enerji Sistemleri .....	42
Şekil 1.26. SCHATZ projesinin genel görünüşü.....	43
Şekil 1.27. INTA projesinin genel görünüşü.....	43
Şekil 1.28. Güneş – Rüzgar – Hidrojen Hibrid Enerji Sistemi.....	44
Şekil 1.29. Güneş – Rüzgar Hibrid enerji sistemi .....	44
Şekil 1.30. Hidrojen – Doğal Gaz Hibrid Enerji Sistemleri .....	45
Şekil 1.31. Gaz türbini – yakıt pili hibrid enerji sistemi.....	45
Şekil 1.32. Termo fotovoltaik hibrid sistem.....	46
Şekil 1.33. New York’un Doğu Nehrine Yerleştirilen Gelgit Türbinleri.....	46
Şekil 1.34. Tünel Dalga Enerjisi Çalışma Prensibi .....	47
Şekil 1.35. Pelamis .....	47
Şekil 1.36. Pelamis Dalga Enerji Dönüştürücüsü.....	48
Şekil 1.37. Wave Dragon şematik görünüm.....	49
Şekil 1.38. Wave Dragon.....	50
Şekil 1.39. Swingcat .....	50
Şekil 2.1. Katamaran Platform .....	51
Şekil 2.2. 3 Katlı Savonius Türbin Ön Görünüm Tasarımı.....	52
Şekil 2.3. 3 Katlı Savonius Türbin Yandan Görünüm Tasarımı .....	52
Şekil 2.4. Yüzey akıntısı ile çalışan savonius türbin yerleşim modellemesi.....	53
Şekil 2.5. Rüzgar ile çalışan savonius türbin yerleşim modellemesi.....	53
Şekil 2.6. Savonius Türbin .....	54
Şekil 2.7. Savonius Türbin Su için Beklenen Güç-Hız Eğrisi.....	56

Şekil 2.8. Savonius Türbin Rüzgâr için Beklenen Güç-Hız Eğrisi .....	56
Şekil 2.9. Flotasyon Hızlandırıcı Barlar'ın Gösterimi.....	57
Şekil 2.10. Hibrit Platform Modellemesi.....	58
Şekil 2.11. Çalışma Alanı Modellemesi .....	59
Şekil 2.12. Rüzgar Türbini ile çalışan doğru akım dinamo bağlantısı .....	60
Şekil 2.13. Su Türbini ile çalışan doğru akım dinamo bağlantısı.....	61
Şekil 2.14. Evirici .....	62
Şekil 2.15. Şarj Denetim Ünitesi .....	64
Şekil 2.16. Fotovoltaik Paneller .....	65
Şekil 2.17. Yatay Savonius Türbin.....	65
Şekil 2.18. Dikey Savonius Türbin.....	66
Şekil 2.19. LED Projektör .....	67
Şekil 2.20. Tek Hat Şeması .....	68
Şekil 2.21. Platform üzerine yerleştirilen türbinler .....	68
Şekil 2.22. Su Kanalı .....	69
Şekil 2.23. Pano ve şarj sistemi .....	69
Şekil 2.24. Platformun su kanalı içinde yerleşimi.....	70
Şekil 2.25. Çalışma alanı genel görünüm.....	70
Şekil 2.26. PCMCIA DAQ Kart.....	71
Şekil 2.27. Akım Sensörü .....	71
Şekil 2.28. Akıntı motoru .....	72
Şekil 3.1. DAQ kart konfigürasyon .....	73
Şekil 3.2. Verialma Simulink Modeli.....	73
Şekil 3.3. Hibrit Sistemin eş zamanlı çalışma akım grafiği.....	74
Şekil 3.4. Hibrit sistemin kısa zaman aralığında akım grafiği.....	74

Şekil 3.5. Su Türbini Güç Zaman Eğrisi .....	75
Şekil 3.6. Birden fazla yatay türbinin kurulumunun gösterimi .....	76
Şekil 3.7. İstanbul Boğazı Akıntı Dağılım Haritası.....	76

## TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1. Fosil Yakıtların Tükenme Ömürleri	1
Tablo 1.2. Birincil Enerji Arzı (Tüketimi)	2
Tablo 1.3. Birincil Enerji Üretimi	3
Tablo 1.4. Enerji Kaynakları	3
Tablo 1.5. Tükenebilirliğe göre enerji türleri	4
Tablo 1.6. Piyasada bulunan PV tesislerin verimlilik oranları	8
Tablo 1.7. Büyüklüklerine Göre Türbinlerin Karşılaştırılması	16
Tablo 1.8. Rüzgarı Alış Yönüne Göre Türbinlerin Karşılaştırılması	16
Tablo 1.9. Kanat Çeşitlerine Göre Türbinlerin Karşılaştırılması	16
Tablo 1.10. Kıtalarda Su Dengesi	33
Tablo 1.11. Dünya Hidroelektrik Enerji Potansiyeli ve 2009 Gelişme Durumu	34
Tablo 1.12. Dünya’da Jeotermal Kurulu Elektrik Enerji Üretim Kapasiteleri	38
Tablo 2.1. Su için Savonius Türbin Değerleri	55
Tablo 2.2. Rüzgar için Savonius Türbin Değerleri	55



# 1. GİRİŞ

## 1.1 Çalışmanın Amacı

Günümüzde en önemli enerji kaynaklarının başında elektrik enerjisi gelmektedir. Elektrik enerjisinin önemi, bilim adamlarını elektrik enerjisi elde etmek için farklı metotlar geliştirmeye itmiştir. En önemli elektrik enerjisi üretim tekniklerinden birisi fosil yakıtlardan elektrik enerjisi elde etmektir. Fakat dünya fosil yakıt rezervinin her geçen gün azalması, yakıt maliyetlerinin fazla olması, bu yakıt türünün çevreye zarar vermesi gibi çeşitli etkenler bilim adamlarını yenilenebilir enerji kaynaklarından (güneş, rüzgar, vb..) elektrik enerjisi elde etmeye yönlendirdi. Ülkemiz yenilenebilir enerji kaynakları bakımından dünyanın en şanslı ülkelerinden biridir. Bu yüzden bu tür çalışmaların ülkemizde de hız kazanmaları gerekir.

**Tablo 1.1.** Fosil Yakıtların Tükenme Ömürleri [1].

<b>Bölge</b>	<b>Petrol</b>	<b>D. Gaz</b>	<b>Kömür</b>
Kuzey Amerika	14,8	12	231
Orta ve Güney Amerika	93,9	45,9	148
Avrupa&Asya	21,7	60,5	257
Ortadoğu	81,9	-	-
Afrika	35,8	70,5	127
Asya&Pasifik	14,8	32,8	57
<b>TOPLAM DÜNYA</b>	<b>46,2</b>	<b>58,6</b>	<b>118</b>
Avrupa	8,8	14	44
OECD	13,5	14,7	56
Eski Sovyet Ülkeleri	25,6	77,2	474

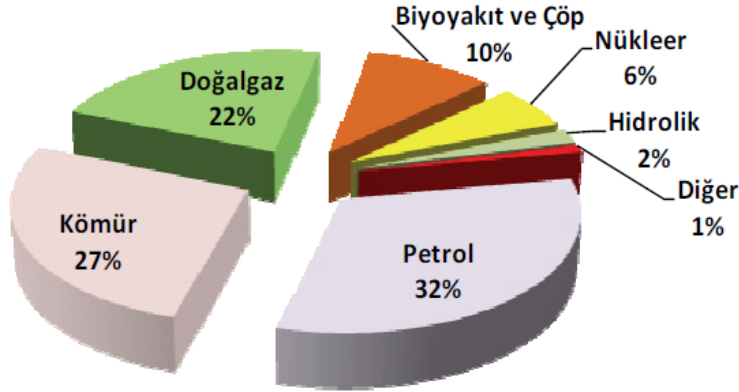
Bu çalışmanın amacı; rüzgâr türbini kullanarak yükleme havuzu olmaksızın suyun akışından elektrik elde etmek amacıyla bir elektrik üretim sistemi tasarlamaktır.

Elektrik üretiminde farklı bir metod kullanılacaktır. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak elektrik enerjisi elde etmek amacıyla rüzgâr türbiniyle hidroelektrik sistem birleştirilerek daha yüksek enerji elde etme çalışması yapılacaktır.

## 1.2 Türkiye’de ve Dünya’da Enerji Kaynaklarının Durumu

1990-2010 yılları arasında geçen yirmi yılda dünyada birincil enerjinin arzında ve dünya elektrik üretimindeki kaynakların paylarında önemli gelişmeler ve değişiklikler olmuştur. Bu gelişmelere göre, Dünyada enerji alanında gelecekteki talepleri karşılamak için senaryolar yapılmaktadır. Dünyadaki iklim değişikliği, kullanılan kaynakların giderek azalması, teknoloji ve enerji verimliliğindeki gelişmeler, ekonomik ve sosyal şartların getireceği zorunluluklar düşünülerek yapılan Yeni Politikalar ve 450 Senaryolarında, gelecekte Dünya birincil enerji arzı toplamında ve kaynakların kompozisyonunda mevcut trendin dışına çıkılacağı öngörülmektedir[2].

2010 Yılı Dünya Birincil Enerji Arzında Kaynakların Payı



Şekil 1.1. 2010 Yılı Dünya Birincil Enerji Arzında Kaynakların Payı [2].

2010 yılında Dünya Birincil Enerji arzında Petrol %32, Kömür %27, Doğal gaz % 22 ile toplam arzın % 81’ ini oluşturmuştur. Dünya birincil enerji arzı 1990 yılında 8.779mtep olan toplam birincil enerji arzı geçen 20 yıl sonra %45 artarak 2010 yılında 12.730 mtep olmuştur.

Tablo 1.2. Türkiye Birincil Enerji Arzı (Tüketimi) [3].

Yıl	Miktar
2009	106.138 bin tep
2010	109.266 bin tep
2011	114.480 bin tep (Doğal Gaz %32, Kömür %29, Petrol %27, Diğer Yenilenebilir %5, Hidrolik %4, Odun+Çöp %3)

Dünya'nın birincil enerji tüketimi 2011 yılında 12,3 milyar tep'dir. Türkiye birincil enerji tüketiminde Dünya'da 23. sıradadır [3].

**Tablo 1.3.** Türkiye Birincil Enerji Üretimi [3].

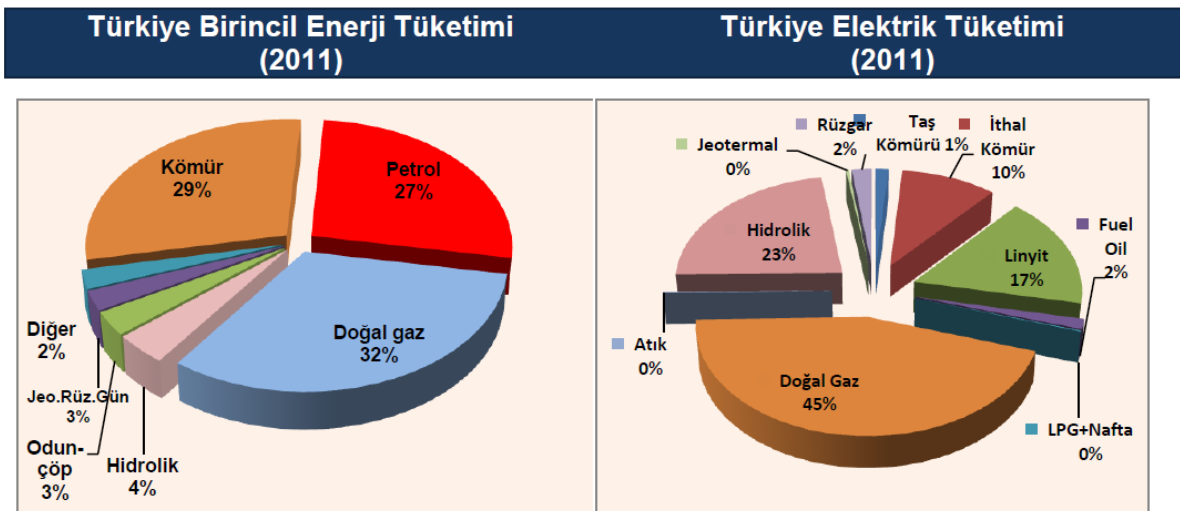
Yıl	Miktar
2009	30,2 milyon tep
2010	32,5 milyon tep
2011	32,2 milyon tep

Birincil enerji üretimi, tüketimin %28'ini karşılamaktadır. Enerjide dışa bağımlılık 1990'da %52, 2000 yılında %68 iken 2011 yılında %72 olmuştur. Enerjide dışa bağımlılık giderek artmaktadır [3].

**Tablo 1.4.** Türkiye Enerji Kaynakları [3].

Kaynak	Rezerv	2011 Yılı Üretimi
Bitümlü Kömür (Taşkömürü)	523 milyon ton	2,6 milyon ton
Linyit	12,1 milyar ton	72,5 milyon ton
Ham Petrol	44,4 milyon ton	2,4 milyon ton
Doğal Gaz	7,1 milyar m3	0,8 milyar m3
Hidrolik	170.000 Gwh/Yıl	57.472 Gwh/Yıl
Rüzgar (potansiyel; karasal %80, offshore %20)	48.000 MW	4.726 Gwh
Jeotermal (Potansiyel)	600 MWe	699 Gwh
Güneş (tahmini potansiyel)	380 Gwh	-

Biyokütle, kaya gazı ve diğer enerji kaynakları konusunda çalışmalar tamamlanamamıştır [3].



**Şekil 1.2.** Türkiye Enerji Tüketim Grafikleri [3].

### 1.3 Enerji Dönüşüm Sistemleri

Enerji kaynakları, niteliklerinin değiştirilip değiştirilmemesi açısından “birincil” ve “ikincil enerji kaynakları” olarak ikiye ayrılmaktadır. Birincil enerji kaynakları, doğada buldukları biçimde değiştirilmeden kullanılabilen kaynaklardır. Örneğin; taşkömürü, linyit, petrol, doğalgaz, jeotermal enerji, hidrolik enerji, güneş enerjisi, odun, hayvan ve bitki atıkları bu tür enerji kaynaklarıdır. İkincil enerji kaynakları ise, birincil kaynakların çeşitli işlemlerden geçirilmesi ile elde edilen enerji türleridir. Örneğin; elektrik enerjisi, motorin, benzin, fueloil, gazyağı vb. bu tür enerji kaynaklarıdır[4].

Birleşmiş Milletler ise enerji kaynaklarını, “yenilenebilir” ve “yenilenemez enerji kaynakları” olmak üzere iki ana grupta toplamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş, rüzgâr, biokütle, su gücü, dalga gücü, okyanus akıntıları, jeotermal enerjidir. Yenilenemez enerji kaynakları, maddenin tekrar kullanılmayacağı bir enerji kaynağı olarak tanımlanır. Böylece kömür, petrol, doğalgaz ve uranyum bu grup içinde yer almaktadır[4].

**Tablo 1.5.** Tükenebilirliğe göre enerji türleri[4].

<b>TÜKENEBİLİRLİĞİNE GÖRE ENERJİ TÜRLERİ</b>	
<b>Tükenebilen Enerji</b>	<b>Tükemeyen (Yenilenebilir) Enerji</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Kömür , Linyit , Petrol , Doğalgaz , Nükleer(Uranyum) gibi kaynaklardan elde edilen enerjidir.</li><li>- Çevreyi kirletir ve dünyanın varolma sürecinde tükenirler. Bunlara fosil kaynaklar da denir.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Su (Hidrolik) , Güneş , Rüzgar , Jeotermal , Biyomas , Gel Git olayı gibi kaynaklardan elde edilen enerjilerdir.</li><li>- Çevre dostudurlar ve dünya varoldukça tükenmezler.</li></ul>

#### 1.3.1 Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci(iki atom çekirdeğinin birleşmesi) ile açığa çıkan ışıma enerjisidir ve bu sistemde güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden ortaya çıkan enerjiden faydalanılır. Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin birim alanda(m<sup>2</sup>) şiddeti yaklaşık 1370 W/m<sup>2</sup> değerindedir fakat bu değer 0-1100 W/m<sup>2</sup> değerleri arasında bir değişim

göstermektedir. Bu değer, atmosfer tabakasının dışına yerleştirilen bir güneş alıcısının bir saatte teorik olarak 1370 Wh enerji üretebileceği anlamına gelir. Güneşten her saniye dünyaya ulaşan enerji miktarı yaklaşık 1731017 W' tır. Bu rakam güneşin yaydığı enerji miktarı karşısında küçük görünse de günümüzde tüm dünyanın enerji tüketiminin 15-16 bin katıdır. Güneşin bir yılda yaydığı enerji miktarı 3,371027kWh kadardır. 1 m<sup>2</sup> alanın öğle vaktinde direkt olarak maruz kaldığı güneş ışığı enerjisi 1 kW enerjiye eşittir[5, 6, 7]. Bölgeye bağlı olarak 1m<sup>2</sup> ye düşen enerji miktarı yılda 800-2600 kWh arasındadır. Deniz seviyesinde, güneşli bir günde güneş ışınımının şiddeti 1000W/m<sup>2</sup> civarındadır[8]. Dünyaya gelen enerjinin tamamı yeryüzünde kullanılmamaktadır. Yaklaşık olarak gelen enerjinin %30'luk bir kısmı dünya atmosferi tarafından yansıtılarak uzaya geri dönmekte, %20'lik bir kısmı ise atmosfer ve bulutlarda tutulur. Geri kalan %50'lik kısmı dünya yüzeyine ulaşır ve dünya enerji döngüsünün devamlılığını sağlamaktadır. Bu nedenle güneş dünyadaki tüm canlılara hayat veren ana enerji kaynağı konumundadır[6, 8, 10].

Güneş enerjisinin tarihte bilinen en eski kullanım yöntemi, evlerin güney cephelerinin yüksek ve açık, kuzey cephelerinin alçak yapılması ile güneşten azami faydalanmanın ve rüzgarlardan azami korunmanın sağlanmasını söyleyen Sokrat (M.Ö. 470-399) ile başlar. M.Ö. 214 yılında Arshimet binlerce gümüş levhadan yaptığı aynalarla Sirakuz'a'yı kuşatan düşman donanmasının gemilerini yakmıştır. Bu alandaki çalışmalar Galile'nin merceği bulması ile hız kazanmış, 1615 yılında Fransız Salomon de Caus ilk güneş enerjisi ile çalışan su pompasını icat etmiştir. 1770 yılında güneşle çalışan ilk ocak, 1868'de güneşle çalışan ilk motor yapılmıştır. Bu gelişmelerin yanında 1839 Fransız fizikçi Henry Becquerel, fotovoltajik etkiyi keşfetmiştir[7].

Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerji sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiştir. Güneş enerjisinin kullanılabilmesi için öncelikle toplanması gerekir. Bu toplama işlemi iki şekilde yapılmaktadır. Bunlar; elektrik üretebilmek için kullanılan güneş ısısından yararlanmak için kullanılan güneş ısı kolektörleri ve PV pillerdir.

□ Isıl Güneş Teknolojileri : Bu sistemlerde öncelikle güneş enerjisinden ısı elde edilir. Bu ısı doğrudan kullanılabilmesi gibi elektrik üretiminde de kullanılabilir.

Güneş Pilleri: PV piller de denen bu yarı-iletken malzemeler güneş ışığını doğrudan elektriğe çevirirler[6].

Özellikle sıcak su üretiminde kullanılan güneş ısıl toplama yönteminin yapımı basit ve ucuzken verimi oldukça yüksektir. Güneş enerjisini elektriksel olarak toplayan fotovoltaikler ise ışık özelliğinden yararlanmakta ve ışık enerjisinin elektromanyetik dalgalarının toplam enerjisini oluşturan enerji paketçiklerini fotoelektriksel olay gereğince elektrik enerjisine dönüştürmektedirler.

Güneş enerjisinin kullanım alanları özel amaçlara göre değişebilmektedir.

- Konutlarda ve iş yerlerinde,
- Kırsal yörelerde ve tarımsal teknolojide,
- Sanayide,
- Ulaşım araçlarında,
- İletişim araçlarında,
- Elektrik enerjisi üretiminde ( Büyük ve orta ölçekli santraller, evler v.b.)
- Askeri alanlarda özel amaçlarla kullanılabilir.

Güneş enerjisinin kullanım alanları çok çeşitli olmasına rağmen biz güneş enerjisinden elektrik üretilmesi konusu üzerinde duracağız. Dünyadaki tüm elektrik santrallerinin toplam gücü, güneşten gelen gücün 61000’de birinden azdır. Özellikle Fransa, İspanya, ABD ve İsrail basta olmak üzere birçok ülkede güneş enerjisinden elektrik üretimi amaçlı yararlanma yollarını araştırmak için yoğun çalışmalar yapılmaktadır. 2050 yılında dünya enerji tüketiminin %15’inin güneşten karşılanacağı tahmin edilmektedir[4].

### **1.3.1.1 Güneş Enerjisinden Elektrik Üretilmesi**

Güneş enerjisinden elektrik üretimi doğrudan dönüşüm ve dolaylı dönüşüm olmak üzere iki ayrı yöntemle gerçekleştirilir. Doğrudan dönüşüm, Fotoelektrik, Termoelektrik, PV dönüşüm olup günümüzde en yaygın teknolojisi PV dönüşümlü diğer ismi güneş pildir.

Dolaylı dönüşüm, Termodinamik dönüşüm olarak bilinen, güneş termik santrallerinde güneş enerjisinden yararlanılarak üretilen buhar ile buhar-güç çevrimidir. Bir başka dolaylı dönüşüm ise güneş enerjisiyle elde edilen hidrojen ve bunun kullanıldığı yakıt pildir[7,12].

### **1.3.1.2 Fotovoltaik Sistemler**

Fotovoltaik sistemler, güneş enerjisinden etkin olarak yararlanmada genelde elektrik enerjisi üretiminde kullanılan ve fotovoltaik modül, akü, çevirici (inverter), şarj denetim birimleri gibi bileşenlerden oluşan sistemlerdir. Fotovoltaik piller (Güneş pilleri), güneş ısılarını doğrudan elektriğe çeviren ve fotovoltaik modülleri oluşturan cihazlardır[10,11]. Isınların doğrudan elektriğe çevrimi üç ayrı cihazla olmaktadır. Bunlar; fotoemissif selüller, fotorezistans selüller, yarı iletken güneş pilleridir[12].

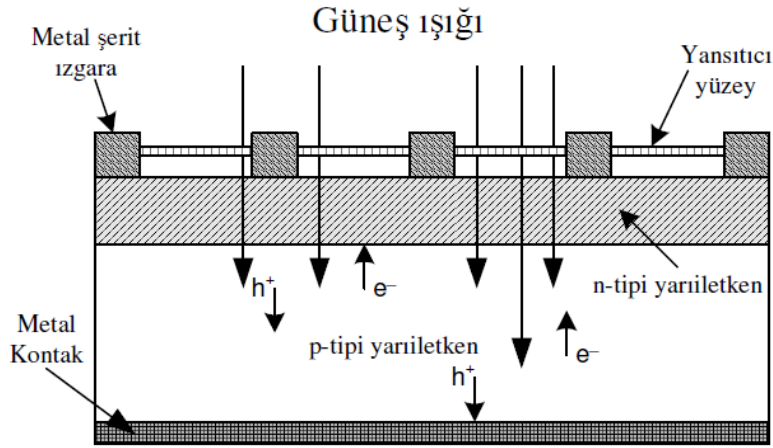
Modüllerde hücreler elektrik akımının sağlanabilmesi için birbirlerine paralel, seri ya da karma olarak bağlanmaktadır. Modüller alt ve üst kısımlarından camla kaplanarak bir metal çerçeve ile çerçevelenmektedir[12].

Güneş ısılarını elektrik ve ısı enerjisine dönüştüren fotovoltaik piller %5–30 arasında değişen verimleri ile değişik türlerde üretilebilmektedir. İlk güneş pilini Schottky, Lange ve Grondahl gerçekleştirmiştir. İlk güneş pili Bakır oksit ( $Cu_2O$ ) ve selenyumdan (Se) yapılmıştır. Ancak ilk esaslı güç elde edilen güneş pili 1954 yılında Bell Telephone laboratuvarında ABD G.L. Pearson, C.S. Fuller ve D.M. Chapin tarafından gerçekleştirilen P-N eklemli homoeklemli silisyum güneş pildir. Bu pilin verimi %6 bulunmuştu[12].

Dünyada ilk güneş pili santrali 1982 yılında Arco Solar Inc. tarafından ABD'nin Kaliforniya eyaletinde kurulmuş olan 1 MW gücündeki santraldir. Bir başka santral yine ABD'nin Los Angeles kentinin kuzey doğusunda 1 MW gücünde ve güneşi izleyebilen 108 adet güneş panelinden ve 90.000 adet mono kristal içeren santraldir[12].

**Tablo 1.6.** Piyasada bulunan PV tesislerin verimlilik oranları[12].

Hücre Türü	PV Tesisleri		
	Mono	Multi	Amorf
Modül verimliliği	% 14	% 12	% 6
Dönüştürücü verimliliği	% 92	% 92	% 92
Sistemin kulla. Verimliliği	% 10-11	% 9-10	% 4-5
Teknik uygulanabilirlik	% 95	% 95	% 95
Modül kapasitesi	2-20kW	2-20kW	2-20kW



**Şekil 1.3.** Solar hücrenin içyapısı[12].

### 1.3.1.3 Fotovoltaik Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları

- PV sistemlerin ömrü, maliyetini amorti edecek kadar uzundur,
- Bakımları kolaydır ve bakım masrafları çok azdır,
- Yakıt olarak güneş enerjisini kullandığı için yakıt satın alma ve nakliye maliyeti yoktur. Ayrıca yakıt piyasasına bağımlılığı olmadığı için maliyet değişimlerinden etkilenmez,
- Çevreye zararlı bir atık bırakmazlar ve sessiz çalışırlar,
- Sistem bileşenlerinin birçoğu taşınabilir bir yapıya sahiptir,

- 1 Watt dan birkaç kwatt'a kadar geniş bir güç bölgesinde uygulanabildiği gibi istenildiği takdirde sistemin genişletilebilme imkanı da vardır,
- Kırsal kesim gibi elektrik şebekesinin ulaşmadığı bölgelerde, binaların, arabaların, yatların üzerinde küçük birimler halinde kullanılabilme imkanları vardır,
- Hareket eden parçası olmadığı için bir jeneratöre göre daha az arıza yapar. Orta büyüklükteki bir sistemdeki bir modül yada batarya arızalandığı takdirde ise sistemin bütünü etkilenmez ve çalışmaya devam eder,
- Jeneratörlerle karşılaştırıldığında ilk yatırım maliyeti yüksek olmasına karşın uzun süreli kullanımlarda, yakıt ve bakım masraflarından dolayı onlardan daha az maliyetli olmaktadır,
- Üretilen elektrik bataryalarda depolandığı için istenildiği zamanda ve miktarda kullanılabilme serbestliği vardır oysa, bir tek ampül ihtiyacı için bile bir jeneratörün çalışması gereklidir,
- PV sistemlerde tesisat ve kablolama işlemlerinin elektrik kanunlarına uyma zorunluluğu olmadığı için maliyetleri düşüktür,
- Enerjinin üretildiği yerle tüketildiği yer arasında uzun mesafeler olmadığı için enerjinin taşınması sırasında oluşabilecek kayıp miktarı oldukça azdır,
- Mevcut sistemlerden farklı olarak en büyük yararı, herhangi bir fosil yakıt veya bağlantı gerektirmeden bağımsız olarak elektrik üretilebilmesidir,
- Diğer elektrik üretim sistemleriyle karşılaştırıldıklarında, belki de en büyük yararları güvenilir olmalarıdır. Şimşekler, güçlü rüzgarlar veya kum fırtınaları, nem ve ısı, kar veya buz gibi doğa olaylarına dayanıklıdırlar,
- Enerjiyi kullanmak istendiği yerde üretmek olasıdır. Böylece enerjiyi taşımak gerekmez. Şebekenin ulaşmadığı yerlerde enerji üretmek çok kolaydır,
- Enerji kaynağı ile kullanım yeri arasında, uzun kablolar ve bağlantı elemanları olmadığından arada oluşabilecek güç kaybından kaçınılmış olur,
- Modüler bir sistem olduğu için güç çıkışı kolaylıkla arttırılabilir,
- Sistem, istenildiği takdirde sökülüp kaldırılabilme imkanını verir. İlk yatırım maliyeti yüksektir,

- Yüksek güç gerektiren motorlar ve ısıtma sistemleri için ekonomik değildirler. Güneş enerjisini elektriğe dönüştürme oranı düşüktür bu nedenle geniş alanlara ihtiyaç duyar,
- Sistemin üretim potansiyeli mevsimsel ve günlük hava değişikliklerden etkilenmektedir,
- Şebeke bağlantısının olmadığı durumlarda depolama ihtiyacı vardır,
- Doğru akım ürettiklerinden, üretilen elektriğin kullanıma uygun hale gelmesi için alternatif akıma dönüştürülmesi gereklidir,
- Şebeke elektriğine göre pahalıdır[6,13].

#### **1.3.1.4 Parabolik Çanak Sistemler**

İki eksenle güneşi takip ederek, sürekli olarak güneş ışınlarını odak noktasına 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 çevrilir. Çanak-Stirling bileşimiyle güneş enerjisinin elektriğe dönüştürülmesinde % 30 civarında verime ulaşılmaktadır. Diğer teknolojilere göre avantaj ve dezavantajları;

- Noktasal odaklama yapan bu teknolojiye termik kayıp yoktur.
- Güneş yoğunlaştırma oranları yaklaşık olarak parabolik olukta 80 ve kule teknolojisinde 1000 iken, bu teknolojiye 15000'dir.
- Özel bir Stirling motor kullanılmaktadır. Az üretilen bu motor, içinde receiver ve içi helyum ve hidrojen dolu tüpleri bulundurmaktadır.
- 10 kW için 1 milyon €'luk yatırım maliyeti ile oldukça pahalı bir teknolojidir[6].



**Şekil 1.4.** Parabolik Çanak Sistemler[6].

### **1.3.2 Rüzgar Enerjisi**

Enerjisini güneşten alan ve atmosfer içerisindeki ısı potansiyel farklara sahip olan hava kütleleri, daha soğuk ve yüksek basınç alanı olan bir noktadan, daha sıcak ve alçak basınç alanı olan bir noktaya hareket ederler. Isı enerjisinin kinetik enerjiye dönüştüğü doğa olayındaki bu hava kütlesi hareketine rüzgar adı verilir. Başka bir deyişle hareket halindeki havanın kinetik enerjisidir ve güneş esaslı bir enerji kaynağıdır[10]. Güneş yeryüzüne her saat  $1 \times 10^{15}$  kWh'lik enerji yayar. Alınan bu enerjinin sadece %1-2 mertebesindeki miktarı rüzgâr enerjisine dönüşür[7].

Rüzgar enerjisinin M.Ö. 2000'li yıllardan itibaren Mezopotamya gibi en eski yerleşmelerden itibaren kullanıldığı bilinmektedir. 17. yüzyılda Babil Kralı Hammurabi rüzgardan faydalanarak Mezopotamya'yı sulamıştır. Bu enerjinin kullanımı hakkında elde edilen ilk yazılı dokümanlar 10. yüzyılda Persia(İran) da ortaya çıkmıştır. İran ve Afganistan bölgelerinde o yıllardan kalma rüzgar santrallerine rastlanmaktadır. M.S. 12. yüzyılda İngiltere ve Fransa yel değirmenlerini kullanmaya başlamışlardır. Avrupa'da Roma İmparatorluğu' nun terk ettiği maden yatakları galerilerindeki suların dışarı pompalanması yine rüzgâr gücüyle yapılmıştır[7,8].

Rüzgar gücünden etkin olarak pompaj sistemlerinde, ısı enerji elde edilmesin ve elektrik üretilmesinde faydalanılmaktadır. Günümüzde bu uygulamalardan yaygın olarak, rüzgar türbinleri yardımıyla elektrik üretimi yapılmaktadır. 1890'lı yıllarda Avrupa'da rüzgar gücünü elektrik enerjisine çeviren ilk rüzgar jeneratörü çalışmaları

önce Danimarka'da ardından da Almanya'da gerçekleşmiştir. İran ve Afganistan'da kullanılan ilk rüzgar makinesi yerden 10 m yükseklikte ve 5 m çapındaydı. 1918 yılında Danimarka'da başlatılan bir çalışma ile, 120 kırsal merkezde elektrik üretimi için 20kW-35 kW'lık rüzgar türbinleri kullanılmıştır. Ardından Rusya'da 1931 yılında 100 kW'lık rüzgar türbini üretilmiştir. 1941 yılında Amerika'da kurulan 1250 kW'lık türbin dönemin en büyük rüzgar kuvvet makinesi olmuştur. Ülkemizde ilk Rüzgar Enerjisi Santrali(RES) Demir Holding A.Ş. tarafından 1998 yılında kurulmuştur. Bu uygulamada 3 adet 600 kW'lık rüzgar türbini kullanılmıştır[7,14].

Rüzgar enerjisi, üretim kapasitesi açısından dünyada en fazla büyüyen enerji kaynağıdır. 1998 yılı sonunda 9.667 MW olan dünya rüzgar enerjisi santrallerinin kurulu gücü, 2008 yılı içerisinde eklenen 27.261 MW gücündeki rüzgar santralleri ile 2008 yılı sonunda 1998 yılına göre 12,5 kat artmıştır. 2008 yılı sonunda dünya genelindeki rüzgar enerjisi santrallerinin yıllık elektrik üretimi 260 TWh olmuştur. Bu da dünya elektrik tüketiminin % 1,5 inden daha fazlasına eşdeğerdir. Rüzgar enerjisi sektörü, 2008 yılı sonunda oluşan 40 milyar € cirosu ve 440000 kişiye yaratmış olduğu iş imkanı nedeniyle ekonomik anlamda da büyük fayda sağlamaktadır. Rüzgar enerjisi, bu hızla gelişmeye devam eder ve daha da fazla geliştirme politikaları uygulanırsa, 2020 yılında dünya kurulu gücünün 1500000 MW'ı aşması mümkün olabilecektir[15]. Rüzgar enerjisinde Türkiye'nin 2023 yılı hedefi yılda 10 GW enerji üretmektir. Bu hedefe ulaşırken 2 MW'ın üstünde elektrik üretebilen rüzgar türbin sistemlerin ülkemizde geliştirilip üretilmesi teknolojik hedef olarak belirlenmiştir[16,17].

Dünya üzerinde toplam kurulu RES gücü, Elektrik İşleri Etüt İdaresinin(EİE)'nin 2009 verilerine göre 115254 MW' a ulaşmıştır. Dünya yüzeyinin %27'sinde rüzgârdan elektrik elde etmek mümkün olduğu ve 2040 yılında tüm dünyanın, enerjinin %40'ını rüzgârdan elde etmesi öngörülmektedir[18].

### **1.3.2.1 Rüzgar Türbinleri**

Rüzgâr Türbinleri dönme eksenine göre iki gruba ayrılırlar:

- Yatay eksenli rüzgâr türbinleri
- Dikey eksenli rüzgâr türbinleri

## Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri (YERT)

Bu türbinlerde; dönme eksenini rüzgâr yönüne paralel, kanatlar rüzgâr yönüne diktir. Bu türbinlerde rotor kanatların sayısı azaldıkça rotor daha hızlı dönmektedir. Bu türbinlerin verimi yaklaşık %45'dir. YERT genel olarak yerden 20-30m yüksekte ve çevredeki engellerden 10m yüksekte olacak şekilde yerleştirilmelidir. Rüzgâr hızının, rotor kanadı uç hızına bölünmesi ile elde edilen orana kanat uç hız oranı ( $\lambda$ ) denir [19]. Eğer;

$\lambda = 1-5$  Çok kanatlı rotor,

$\lambda = 6-8$  Üç kanatlı rotor,

$\lambda = 9-15$  İki kanatlı rotor,

$\lambda > 15$  Tek kanatlı rotor kullanılır.

YERT, farklı sayıda rotor kanadına sahip olan ve rüzgârı önden alan veya rüzgârı arkadan alan sistemler olarak da çeşitlilik gösterirler.



Şekil 1.5. Bir Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinini

## Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri (DERT)

Dönme eksenleri rüzgâr yönüne dik ve düşey olan bu türbinlerin kanatları da düşeydir. DERT rüzgârı her yönden kabul edebilme üstünlüğüne sahiptir. Bu türbinler rüzgârı sürükler veya kaldırır. İlk harekete geçişleri güvenilir değildir. Bu türbinlerin verimi yaklaşık %35'dir. Türbinlerin üreteç ve vites kutusu toprak seviyesinde kurulabildiğinden kuleye gerek duymazlar. Bu yüzden düşük rüzgâr hızlarında çalışmak zorunda kalırlar ve "Yaw" mekanizmasına ihtiyaçları yoktur. Düşük rüzgâr hızları ve az miktarda su pompalamak için tasarlanmışlardır. Kanat sayısının artması malzeme ağırlığını da beraberinde getirdiğinden, yüksek rüzgâr hızlarında verimsiz çalışır. Rotor

çapı 5m olan türbinden yaklaşık 0,5kW güç elde edilir. Bu türbinleri yer yüzeyine bağlayabilmek için çelik halatlara gereksinim duyulmaktadır [19].

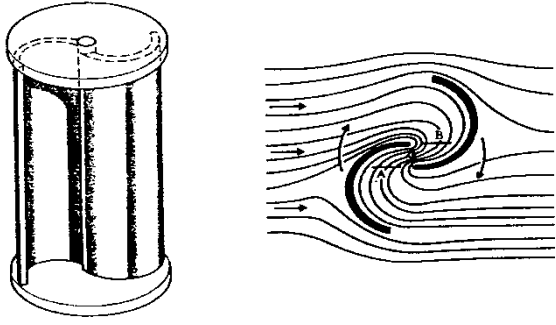
### **Savonius Rüzgâr Türbinleri**

Savonius RT, 1925 yılında Finlandiya'lı mühendis Sigurd J. Savonius tarafından keşfedilmiştir. İki yatay disk arasına yerleştirilmiş ve merkezleri birbirine göre simetrik olarak kaydırılmış, "kanat" adı verilen iki yarım silindirden oluşmaktadır. Belirli bir hızla gelen rüzgârın etkisiyle, çarkı oluşturan silindirin iç kısmında pozitif ve dış kısmında negatif bir momentin olmaktadır. Pozitif moment, negatif momentten daha büyük olduğundan, dönme hareketi pozitif moment yönünde sağlanır [19,20].

Diğer DERT'lere göre; düşük rüzgâr hızlarında iyi başlangıç karakteristiklerine sahip olması, yapımının kolay ve ucuz olması, rüzgârın yönünden bağımsız olması ve kendi kendine ilk harekete başlaması gibi birçok üstünlüklere sahip olan Savonius RT'lerinin, aerodinamik performansı düşük olduğu için ilk uygulama alanları; havalandırma, su pompalama gibi kısıtlı alanlar olmuştur. Savonius RT'nin birçok üstünlüğü bulunmasına rağmen, aerodinamik performanslarının düşüklüğü nedeniyle kullanılmamaktadır. Son yıllarda yapılan Savonius RT çalışmaları, aerodinamik performansın geliştirmesi yönünde olmuştur.

Aldoss ve Najjar, bu çarkın performansı üzerine; "sallanan kanatlı çark" kullanarak deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında Savonius RT'nin performansını, hem rüzgarın gerisinde hem de rüzgara doğru, çark kanatlarının bir optimum açı ile geriye doğru salınmasına müsaade ederek geliştirmişlerdir[21].

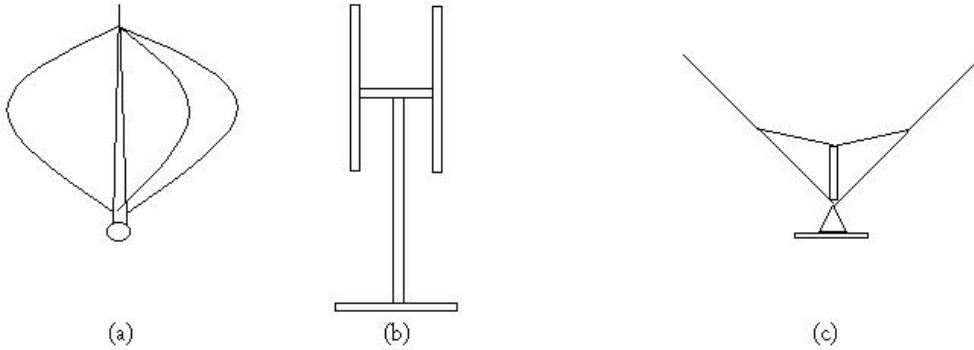
Reupke ve Probert, Savonius RT'nin çalışma etkinliğini arttırmak için, türbin kanatlarının kavisli kısımlarının yerine bir sıra menteşelenmiş kanatçıklar yerleştirmiştir. Kanatçıklar rüzgâra doğru ilerlerken, rüzgâr basıncının etkisinde otomatik olarak açılmış ve daha az akış direnci elde edilmiştir. Kanatçıkların ilk konuma gelirken, tekrar otomatik olarak kapandığını tespit edip, çok düşük uç hız oranlarında, düzeltilmiş parçalı kanatlı çarklardan, klasik Savonius RT'lerine oranla daha yüksek momentler elde edildiğini belirlemişlerdir.



Şekil 1.6. Savonius Rüzgar Çarkı Modeli [22].

### Darrieus Rüzgar Türbinleri

1931 yılında Fransız mühendis George J.M. Darrieus tarafından icat edilmiştir. 1970 ve 1980'lerde Amerika ve Kanada da Darrieus türbinlerinin kanat dizaynları üzerine geniş çalışmalar yapılmıştır. Kanatları geometrik formlu aerodinamik profile sahip olduğundan yüksek performanslıdır. Kanatlardaki hafif eğim sayesinde kanatlardaki çekme gerilimleri minimuma iner. Yüksek hızlarda çalışabilir ve türbin; 2 veya 3 kanatlı olur. İlk hareket için Savonius RT veya bir tahrik motoru gerekmektedir [19].



Şekil 1.7. Darrieus Rüzgar Türbinleri

(a) Darrieus, (b) H tipi, (c) V Tipi

### Rüzgar Türbinlerinin Birbirleri ile Karşılaştırılması

RT'ler incelendiği üzere kanat çeşitleri, rüzgarı alış şekilleri ve kullanım alanlarına göre birkaç çeşitte imal edilebilmektedir.

Aşağıdaki Tablo 1.7, Tablo 1.8 ve Tablo 1.9'da RT'lerin birbirleri ile çeşitli özellikleri ve tipleri dikkate alınarak kıyaslanması verilmiştir.

**Tablo 1.7.** Büyüklüklerine Göre Türbinlerin Karşılaştırılması [19].

	Kullanım Alanı	Bir Tek Türbin Gücü	Üretilen Enerjinin Verildiği Yer	Akü İhtiyacı	Bakım Masrafı	Kurulum Masrafı
<b>Büyük RT'ler</b>	Endüstriyel	50kW-2MW	Şebeke	Yok	Var	Yüksek
<b>Küçük RT'ler</b>	Kişisel	50W-20kW	Çiftlik evleri, Telekomünikasyon alıcısı, Radyo kulesi, Seralar Acil Telefonları vb.	Var	Yok	Düşük

**Tablo 1.8.** Rüzgarı Alış Yönüne Göre Türbinlerin Karşılaştırılması [19].

	Yaw Mekanizma İhtiyacı	Kanat Malzeme Yapısı	Kuleye Binen Yük	Rüzgarın Türbine Verdiği Zarar
<b>Rüzgarı Önden Alan</b>	Var	Sert	Ağır	Az
<b>Rüzgarı Arkadan</b>	Yok	Esnek	Hafif	Çok

**Tablo 1.9.** Kanat Çeşitlerine Göre Türbinlerin Karşılaştırılması [19].

	YERT				DERT	
	Tek Kanath	2 Kanath	3 Kanath	Çok Kanath	Savonius	Darrierus
Maliyet	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük
Estetik Görünüm	Kötü	Kötü	İyi	İyi	İyi	İyi
Gürültü	Yüksek	Yüksek	Düşük	Az	Az	Az
Çalışma Hızı	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük
Kule ihtiyacı	Var	Var	Var	Var	Yok	Yok
Kullanım Amacı	Elektrik	Elektrik	Elektrik	Az Elektrik & Su pompalama	Az Elektrik & Su pompalama	Az Elektrik & Su pompalama
Günümüzde	Yok	Yok	Var	Var	Az	Az
Rotorun Dönmesi İçin Rüzgarı	Kaldırır	Kaldırır	Kaldırır	Kaldırır & Sürükler	Kaldırır & Sürükler	Kaldırır & Sürükler

### Rüzgârın Gücü

Rüzgar dağınık bir enerji türüdür. Kolaylıkla toplanması ve depolanması her an her yerde mümkün değildir. Rüzgar gücü, bölgeden bölgeye, dakika dakika değişken özellikler gösterebilir olması gücünün özel ekipmanlar yardımıyla ölçülmesini gerektirir. Bu nedenle zamana bağlı olarak elde edilen yararlı güç her an değişiklik gösterebilir.

Rüzgar enerjisinden ekonomik olarak yararlanmak için rüzgarın yönü, esme devamlılığı(sıklık) ve hız değerlerine doğru bilmek gerekir. Rüzgarın enerjisini tanımlayan en büyük faktör, yükseklikle orantılı olarak değişen hızıdır. Rüzgardan yararlanmayı sağlayan kinetik enerji, rüzgar hızının, havanın özgül kütesinin, rotor alanının, rotorun bulunduğu yüksekliğin fonksiyonu olup, hızın üçüncü dereceden kuvvetiyle orantılı olarak değişmektedir. Yani bir bölgedeki rüzgar hızı iki katına çıkarsa, o bölgedeki rüzgar gücü sekiz katına çıkar. Rüzgar hızındaki küçük değişiklikler, rüzgar gücünde büyük değişikliklere neden olur. Örnek vermek gerekirse; aynı bölgede bir kişi rüzgar hızını 10 m/sn ölçsün, bir başka kişi 12,6 m/sn ölçsün. Bu iki ölçüm arasından %100 farklılık çıkacaktır. ( $10^3=1000$ ,  $12,6^3=2000$ ). Bu örnek sadece rüzgar hızı ölçümünde yapılan küçük bir hatanın neden olacağı güç farklılığını göstermektedir. Rüzgar gücünü etkileyen bir diğer faktör ise hava yoğunluğudur.

Topoğrafik koşullara bağlı olarak, yer seviyesinden 50 metre yukarıda ölçülen 3,5m/sn' den yavaş hızdaki bir rüzgar enerjisinden 50 W/m<sup>2</sup>'den az, 11,5 m/sn'den hızlı bir rüzgar enerjisinden 1800 W/m<sup>2</sup>'den fazla elektrik enerjisi üretmek mümkündür. Rüzgar gücünden etkin bir şekilde yararlanabilmek için rüzgar hızının 5-6 m/sn değerinden yüksek olması gerekmektedir.

Rüzgar gücü hesaplanırken kullanılan terimler ve açıklamaları şöyledir:

$W_p$  : Rüzgar Gücü (Watt)

$\rho$  : Hava Yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)

$A$  : Rüzgar Makinesinin Rüzgara Dik Alanı (Kanat Alanı) (m<sup>2</sup>)

$V$  : Rüzgar Hızı (m/sn)

$$W_p = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times V^3 \quad (1.1)$$

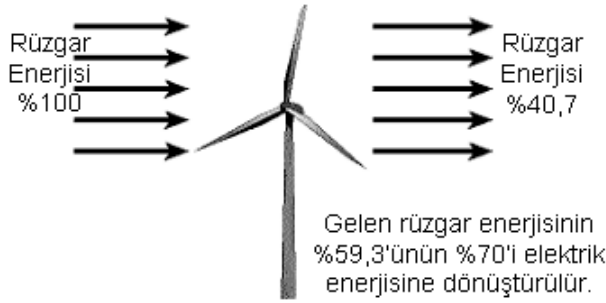
Bu denklemde hava yoğunluğu, hesaplama yapılacak yerin deniz seviyesinden yüksekliğine, hava sıcaklığına ve havanın durumuna bağlıdır. Hava yoğunluğunun birimi kg/m<sup>3</sup> olarak kullanılır. Hareket halindeyken belli bir kinetik enerjisi bulunan rüzgar, bir rüzgar makinesinin A süpürme alanlı çarkına dik yönde çarptığı zaman, çarpan hava kütlesi içindeki kinetik enerjinin bir kısmı frenlenir. Frenlenen bu enerji, enerjinin korunumu ilkesine göre, rüzgar jeneratörünün çalıştırılmasında kullanılır.

$$P_{k(\max)} = \left(\frac{8}{27}\right) \times \rho \times A \times V^3 \quad (1.2)$$

Sistemin verimini, maksimum gücü rüzgar gücüne bölerek bulmak olasıdır.

$$\eta_{\max} = \frac{P_{k(\max)}}{P_0} = \frac{16}{27} = 0,592592 \quad (1.3)$$

Bu sonuçtan da anlaşılacağı gibi, rüzgar jeneratörlerinin maksimum verimleri %59,3 olabilmektedir. Bu sonucun elde edildiği (16/27) oranına Lanchester-Betz limiti adı verilir. Bulunan bu değer, teorik olarak, maksimum sistem verimidir. Pratikte verim bulunurken, kanatların yüzey sürtünmeleri, aktarma organlarının sürtünmeleri, vites kutusu sürtünmeleri gibi diğer tüm mekanik aksamın etkileri dikkate alınmalıdır. Bütün bu ekipmanların verimlilikleri %100 olmadığı içinde sistemin genelinden alınabilecek toplam verim %30-%45 arasında olmaktadır. Bu nedenle bir bölgedeki rüzgar enerjisinin elektrik enerjisine çevrilmesi durumunda tüm sistemden alınacak toplam verim %10-%30 arasında olmaktadır[7]. Dünyadaki birçok saha uygulamasında türbinlerin kapasite faktörleri %25 civarındadır. Ülkemizde ise rüzgâr şiddetinin yüksek olmasından dolayı ortalama bu oran %30' a yaklaşmaktadır(Şekil 1.5)[23].



**Şekil 1.8.** Betz Teorisine Göre Rüzgar Enerjisinin %59,3'ü Kullanımı[23].

### **Rüzgar Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları**

Avantajları:

- Herhangi bir radyoaktif ışınımına sebep olmamaktadır,
- Enerjiyi kullanmak için ilk yatırım maliyeti dışında herhangi bir ücret ödenmemekte ve herhangi bir atık üretmemektedir,
- Atmosfere veya yakındaki denizlere herhangi bir ısı emisyonu

bulunmamaktadır,

Geçmişe bakıldığında güvenlik açısından başarılıdır ve

istenmediğinde rahatlıkla sökülebilmektedirler,

Yerli bir enerji kaynağı olması sebebiyle dünya enerji piyasalarından bağımsızdır,

Uygulamaları modüler şekilde tek veya grup olarak uygulanmakta ve herhangi bir büyüklükte üretilebilmektedir,

3 ay gibi kısa bir sürede kurularak işletmeye alınmakta ve elektrik üretilmektedir,

Rüzgar enerjisinden yararlanmak için kurulan türbinlerinin çevreye etkileri bakımından tek bir türbinin çevresel etkisi önemli olmamakla birlikte, büyük rüzgar tarlalarının belirli etkileri vardır. Fakat bunların büyük çevresel etkiler oluşturmadığı söylenmektedir. Bu etkiler şöyle sıralanabilir:

Görüntü ve estetik etki,

Dönen sistemlerin oluşturduğu elektromanyetik etki,

Gürültü,

Arazi kullanımı ve toprak kirliliğidir[8].

### **1.3.3 Biyoenerji**

Biyo enerjiye canlılık enerjisi de denebilir. Bütün canlılar güneş enerjisi kullanırlar. Bu nedenle her türlü biyolojik madde enerji içermekte, yakılınca bu enerji açığa çıkmaktadır. Bitkiler fotosentez yaparak güneş enerjisini kimyasal enerjiye çevirir ve depolar, böylelikle biyolojik kütle ve organik madde kaynağı oluşur, buna biyokütle denir[18]. Biyokütle, bitkisel ana kaynaklardan veya çöp ve hayvan gübresi gibi işlem görmüş bitkisel maddelerden sağlanmış olan ve karbon içeren tüm elemanlar için kullanılan genel bir tanım olarakta söylenebilir. Biyokütle yenilenebilir, her yerde yetiştirilebilen, sosyo-ekonomik gelişme sağlayan, çevre dostu, elektrik üretilen, taşıtlar için yakıt elde edilebilen stratejik bir enerji kaynağıdır[8,18]. Yeryüzünün 15

Milyar hektarlık bölümü biyokütle üretmekte olup, yıllık biyokütle verimliliği 75 x 109 ton olarak tahmin edilmektedir. Bu ise 1500 milyon varil petrole eşdeğerdir[8].

Dünya’da da birincil enerji tüketim kaynağı içinde %15’lik oranla biyokütle gelmektedir. Bu miktar gelişmekte olan ülkelerde % 38 düzeyindedir. Gelişmiş olan ülkelerde biyokütle enerjisinin birincil enerji kaynakları içerisindeki payı % 3’ün altındadır. Gelişmekte olan ülkelerde, biyokütle enerjisinin enerji kaynakları arasındaki payı daha yüksektir. Enerji tüketiminde Nepal’de %95, Kamboçya’da %83, Kenya’da %75, Hindistan’da %50, Vietnam’da %48, Çin’de %33, Endonezya’da %29 ve Mısır’da %20’lik pay biyokütle enerjisine aittir. Özellikle biyo enerji geliştirmekte olan ülkelerde kırsal bölgelerde enerji temin amacıyla kullanılmaktadır. Hindistan’da kırsal bölgelerde yemek pişirme enerjisi toplam enerjinin % 80’ini oluşturmaktadır[4]. Bazı çalışmalara göre biyokütle, 2050 yılına kadar dünyanın katı ve sıvı yakıt gereksiniminin %38’ini ve elektriğin %18’ini sağlayacaktır.

Biyokütle enerjisi klasik ve modern olmak üzere iki grupta ele alınır. Klasik biyokütle enerjisi ormanlardan elde edilen yakacak odun ve yine yakacak olarak kullanılan bitki ve hayvan atıklarından oluşmaktadır. Modern biyokütle kaynakları ise, enerji ormancılığı ürünleri ile orman ve ağaç endüstrisi atıkları, enerji tarımı, tarım kesimindeki bitkisel ve hayvansal atıklar, kentsel atıklar, tarıma dayalı endüstri atıkları olarak sıralanır[4]. Enerji üretimi açısından modern biyokütle kaynakları, Biyogaz, Biyodizel ve Biyoethanol olarak sınıflandırılmaktadır.

### **1.3.3.1 Biyomasdan Enerji Üretiminde Kullanılan Teknolojiler**

Biyomasın gelişme eğilimi ve teknolojik durumu, endüstrileşmiş ülkeler ve geliştirmekte olan ülkeler arasında değişme gösterir.

Temel olarak biyomas ayrışması aşağıdaki işlemlerden geçer:

- Yanma,
- Gazlaştırma,
- Biyogaz,
- Sıvı yakıtların oluşması.

Bu işlemlerden elde edilen biyogaz, metan ve karbondioksitin (CO<sub>2</sub>) bir karışımıdır. Biyomas maddelerinin oksijensiz ortamda ısı ile yumuşatılması veya dönüşüm yapılması ile biyogaz oluşturulur[24].

#### **1.3.4 Hidrojen Enerjisi**

Hidrojen 1500' lü yıllarda keşfedilmiş, 1700' lü yıllarda yanabilme özelliğinin farkına varılmıştır. Güneş ve diğer yıldızların termonükleer tepkimeye vermiş olduğu ısının yakıtı hidrojen olup, evrenin temel enerji kaynağıdır. Evrenin en basit ve en çok bulunan elementi hidrojendir. Havadan 14,4 kez daha hafif, renksiz, kokusuz ve tamamen zehirsiz bir gazdır. -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 petrolün sahip olduğu enerjiye sahiptir. Ancak birim enerji başına hacmi yüksektir. Hidrojen doğada serbest halde bulunmaz, bileşikler halinde bulunur. En çok bilinen bileşiği ise sudur[25]. 1m<sup>3</sup> sudan 108,7 kg hidrojen elde edilebilmekte bu da yaklaşık olarak 422 litre benzine eşdeğer bir enerji sağlamaktadır[8]. 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 %33 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[26].

Hidrojen birincil enerji çeşidi olmadığından bir başka enerji tüketilerek elde olunan sentetik yakıt durumundaki enerji taşıyıcısıdır. 21. yüzyılın yakıtı olarak varsayılmaktadır. Giderek ağırlaşan çevre sorunu ve küresel ısınma, tükenen hidrokarbon kaynakları hidrojen gibi sentetik yakıtları cazip duruma getirmektedir[12]. Hidrojen ile diğer sentetik yakıtlar (Amonyak, Ethanol, Methanol, Sentetik Doğal Gaz, Sentetik Petrol) karşılaştırıldığında, en hafif, en verimli, en temiz, en ekonomik, en fazla kullanım alanlı, en çok üretilen ve araçlar için en iyi yakıt olduğu ortaya çıkmıştır[27]. Hidrojen motor yakıtı olarak kullanılabilirdiği gibi sanayide, elektrik üretiminde, konutlarda güvenle kullanılabilir durumdadır. Uygulamaya aktarılacak

Üretim, taşıma, dağıtım, kullanım teknolojileri geliştirilmiş, uluslararası standartlar çıkarılmıştır[12].

Hidrojen elde edilebilecek kaynakların bol ve çeşitli olmasının yanı sıra üretilen hidrojenin gaz ve sıvı biçiminde saklanıp uzun mesafelere güvenli olarak taşınabilmekte ve taşınması sırasında enerji kaybı oldukça az olmaktadır.

Hidrojen retimi primer enerji dediğimiz; yenilenebilir enerji, fosil enerji ve nükleer enerjiden üretilir. Dönüşüm yöntemleri; elektroliz(DA), termokimyasal, biyolojik yöntemlerdir[27].

Hidrojenin retilildiği başlıca metotlar şunlardır;

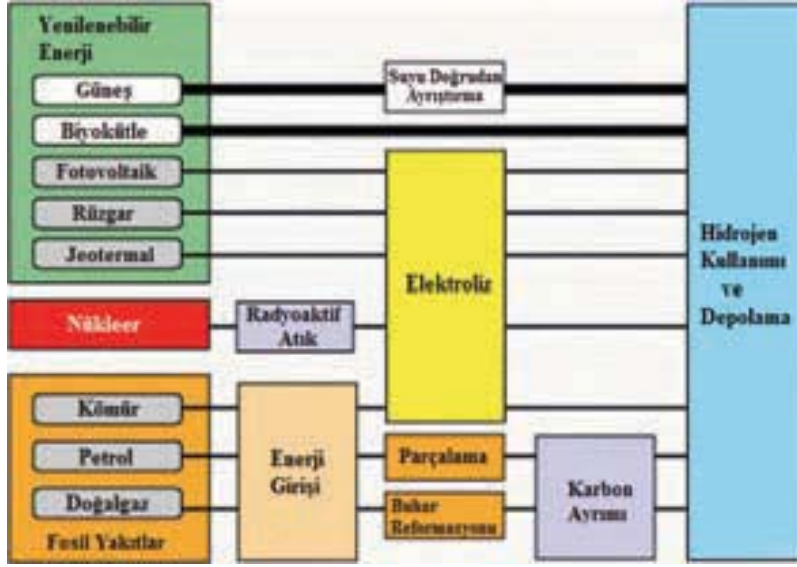
- Suyun direkt elektrolizinden üretilir,
- Suyun ısıl parçalanması ile üretilir,
- Doğalgazın ve gaz hidrokarbonlarının buhar reformasyonu ile üretilmektedir,
- Termokimyasal evrimlerle de sudan hidrojen elde edilebilir,
- Fotokimyasal işlemlerle hidrojen üretilir,
- Kömür gazifikasyonu teknolojisi ile de hidrojen üretilmektedir. Bu işlemlerde kükürt de elde edildiğinden tercih edilmektedir,
- Katı atıklar ve kanalizasyon materyalleri de hidrojen için hammadde olup, gazifikasyon işlemine bağlı olarak sentez gazının hava veya oksijenle reformasyonu da hidrojen vermektir.

Ayrıca biyolojik ve biyokimyasal hidrojen üretimi, foto elektrokimyasal hidrojen üretimi, denizlerde direkt güneş enerjisi çevrimi ile hidrojen üretimi ve uzay güneş g istasyonlarının enerjisiyle hidrojen üretimi gibi metotlar da mevcuttur[8].

Hidrojen enerji sisteminin yeni olmasına karşın hidrojen üretimi yeni değildir. şu anda dünyada her yıl 500 milyar m<sup>3</sup> hidrojen üretilmekte, depolanmakta, taşınmakta ve kullanılmaktadır[25]. Hidrojen retiminde, üretim maliyetlerinin düşük olması ve az

sermaye gerektirmesi nedeniyle buhar reformasyonu yöntemine devam edilebileceği sanılmaktadır. Enerji verimi buharlı metan reformasyonu için % 86 ve kömür gazlaştırma yöntemi ise % 59'dur. Doğal gazın buhar reformasyonunun maliyeti, kömür ya da su elektrolizi ile elde edilenden ucuzdur. Hammadde, doğalgazdan petrol, kömür ve katı atıklar gibi diğer kaynaklara kaydıkça üretim maliyeti artacaktır[4].

Bilindiği gibi, günümüzde büyük tutarlarda enerji depolamak için hala uygun bir yöntem bulunmuş değildir. Hidrojenin en önemli özelliğinden biri depolanabilir olmasıdır. 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[25]. Tüplere konulmuş alçak basınçlı gaz (12 bar) ve yüksek basınçlı gaz(150 bar) dışında sıvılaştırılmış biçimde, kriyojenik (dondurulmuş tanklarda(220 kPa) ve metalij hidrid biçiminde olabilmektedir. Gaz hidrojenin zeolit ortamlarda depolanması çalışmaları da vardır. Ancak, enerji içeriğinin yüksekliği açısından gaz yerine sıvı hidrojen depolama teknikleri üzerinde durulmaktadır[4]. 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. Dünyadaki en büyük sıvı hidrojen tankı, Kennedy Uzay Merkezinde olup 3400 m<sup>3</sup> sıvı hidrojen alabilmektedir. Bu miktar hidrojenin yakıt olarak değeri 29 milyon MJ veya 8 milyon kW-saat'e karşılık gelmektedir. Araştırmalar, mevcut koşullarda hidrojenin diğer yakıtlardan yaklaşık üç kat pahalı olduğu ve yaygın bir enerji kaynağı olarak kullanımının, hidrojen üretiminde maliyet düşürücü teknolojik gelişmelere bağlı olacağını göstermektedir[25].



Şekil 1.9. Kullanım ve depolamaya kadar hidrojen elde aşamaları [28].

### 1.3.5 Deniz Enerjisi

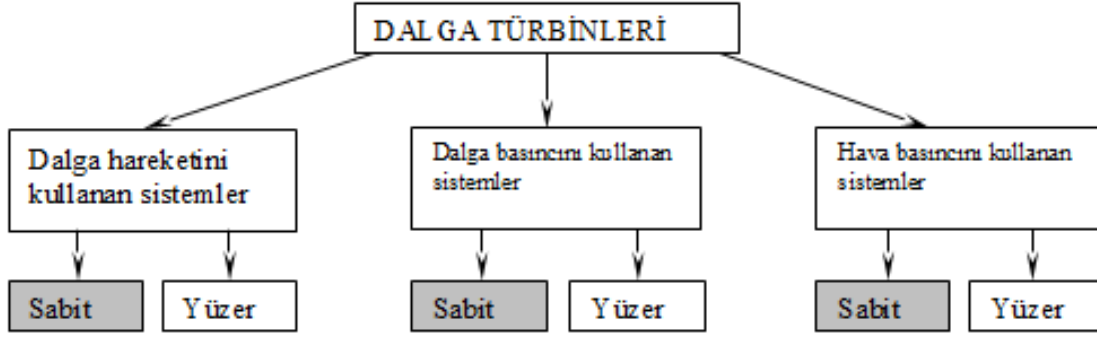
Archimedes prensibi ve yerçekimi arasında ortaya çıkan büyük güç dalga enerjisidir. Dalga enerjisi en çok önerilen yenilenebilir teknolojilerden biridir. Sadece büyük bir enerji kaynağı değildir, aynı zamanda bir çok yenilenebilir enerji kaynaklarından daha güvenilirdir. Güneş ve rüzgar zamanın %20-30'unda temin edilebilirken dalga gücü zamanın %90'ında elde edilebilir durumdadır. Temiz, ucuz ve doğal enerji kaynağı olan, doğal dengeyi koruyan, solunabilir temiz havayı sağlayan, ülke ekonomisine destek olan dalga enerjisi üç yanı denizlerle çevrili ülkemizde yararlanılması gereken yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir [24].

Dalganın gücü genliğinin karesi ve hareket periyodu ile orantılıdır. Uzun periyotlu (~7-10s), büyük genlikli (~2m) dalgaların metre olarak genişliğinin başına 40-50 kW enerji oluşur. Diğer yenilenebilir kaynaklar gibi dalga enerjisi de dünyada düzenli dağılıma sahip değildir. Dünyada yüksek dalga gücüne sahip birkaç bölge bulunmaktadır. Her iki yarıkürede ~30° ve ~60° enlemler arasında dalga hareketi batı rüzgarlarının hakimiyeti ile yüksektir. Şekil 1'de dalga gücünün dünyadaki dağılımı görülmektedir. Avrupa Ülkelerinin Akdeniz sahillerinde yıllık dalga gücü 4 ile 11 kW/m arasında değişmekte ve en yüksek değerler Ege Denizinin güney batı bölgesinde görülmektedir. Avrupa'nın toplam dalga enerji kaynağı 320 GW iken Avrupa'nın Akdeniz sahilleri boyunca derin su kaynağı yıllık 30 GW mertebesindedir [24].

**Şekil 1.10.** Dalga gücü seviyesinin dünyada dağılımı (kW/m tepe yüksekliği) [24].

Deniz enerjisinin sağladığı faydalar;

- Primer enerjiye bedel ödenmez.
- Temiz, sınırsız ve ucuz enerji üretir. İlk yatırımından başka hiçbir girdisi yoktur.
- Nüfus yoğunluğu kıyılarda toplanmış olan Ülkemizde, enerji, üretilen yerde tüketileceğinden; uzun iletim hattına gerek yoktur.
- Öngörülen enerji ihtiyacına göre boyutlandırılır. Büyük dalga boyutu maliyeti düşürür.
- Dalyan görevi görerek, denizlerdeki balık neslinin çoğalmasına yardım eder, ekolojik dengeye katkıda bulunur.
- Deniz üzerinde kurulduğu için, tarım arazilerini yok etmez.
- İleri teknoloji gerektiren, politik baskı ve ambargo malzemesi olabilecek, hiçbir girdisi yoktur. Tamamen yerli teknoloji ve yerli imalattır.
- Her zaman kesintisiz ve kaliteli enerji üretir.
- Dalgalardan elde edilen Ucuz Elektrik Enerjisi, yoğun nüfuslu büyük şehirlerimizde ısınma amaçlı kullanılacağından, soluduğumuz havanın kalitesini yükseltecektir.
- Dalga Elektrik Santrallerinin üzeri Otel, Sosyal Tesis, Disko, Gazino, Restaurant v.s. olarak kullanılabilir. Sistemde gürültü dahil, hiçbir kirlenici yoktur.
- Dalga Elektrik Santralleri, Adalar için ideal enerji santralleridir[11,24].



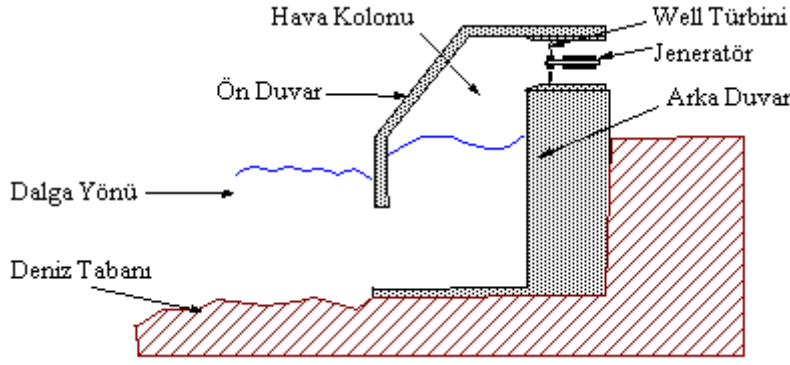
Şekil 1.11. Dalga türbinlerin gruplandırılması[24].

### 1.3.5.1 Kıyı şeridi ( shoreline) uygulamaları

Bu tür uygulamalarda enerji üretim yapıları kıyıda sabitlenmiş veya gömülü halde bulunurlar. Bakım ve inşası diğer uygulamalara göre daha kolaydır. Ayrıca, derin su bağlantılarına veya uzun su altı elektrik kablolarına ihtiyaç yoktur. Ancak, daha az güce sahip dalga rejimi nedeniyle elde edilen dalga enerjisi daha az olabilmektedir. Bu tür uygulamaların yaygınlaşması kıyı şeridi jeolojisi, gel-git seviyesi ve kıyı yapısının korunması gibi etkenlerle sınırlanmaktadır [24,29].

### Salımlı Su Kolonu (OWC:Oscillating Water Column)

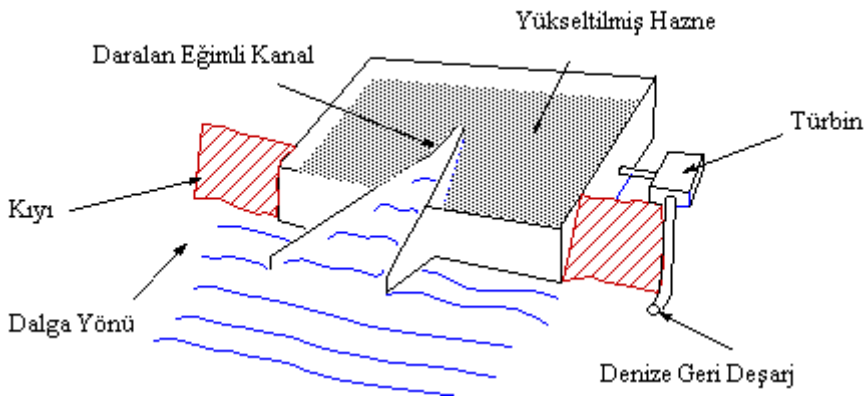
Bu yapılar kısmi olarak su altında bulunan, su seviyesinin altında denize açılan beton veya çelik, çukur yapılardır[30].Bu sistemlerde su kolonu ve onun üzerinde bir hava kolonu vardır. Dalgaların sisteme çarpması, su sütununun yükselip alçalmasına dolayısıyla hava sütununun sıkıştırılması veya basıncının düşürülmesine neden olur. Sıkıştırılmış havanın, elektrik jeneratörünü çalıştıran Wells türbinine doğru hareketi sağlanır. Bu yolla sistemden enerji elde edilir, bu enerji de elektrik üretiminde kullanılır. Şekil 3’de bu tür sistemlere ait bir örnek gösterilmektedir. Bu sistemlerin dünya genelinde birkaç çeşidi geliştirilmiştir. Bunlar; European Pilot Tesisi, Wavegen Limpet, Energetech OWC, Srilanka OWC’dir [24].



Şekil 1.12. OWC Sistemi [24].

### Daralan Kanal Sistemi (TAPCHAN: Taperated Channel Device)

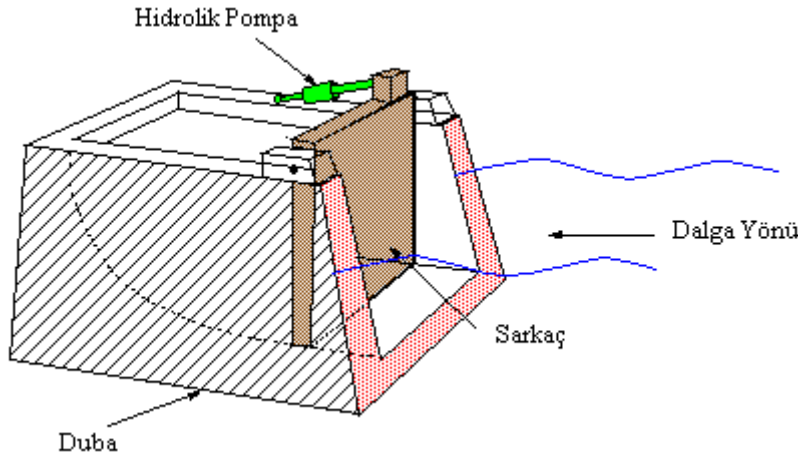
TAPCHAN sistemi geleneksel hidroelektrik enerji üretim sisteminin bir adaptasyonudur. Şekil 1.13 te görüldüğü gibi, bu sistemler su seviyesinin 3-5 m üzerinde duvar yüksekliğine sahip, uçurumun kenarına inşa edilmiş hazneyi besleyen, gittikçe daralan bir kanaldan oluşmaktadır. Kanalın daralması dalga yüksekliğinin artmasına neden olur ve yükselen dalgalar kanal duvarlarından haznenin içine boşalır. Su haznede depolandığı için hareketli dalganın kinetik enerjisi potansiyel enerjiye dönüşür. Depolanan su türbine verilir. Çok az hareketli parçası olduğundan düşük bakım maliyetine ve yüksek bir güvenilirliğe sahiptir. Bu sistemde ihtiyaç duyulana kadar enerji depolanabilmektedir. Ancak TAPCHAN sistemleri bütün kıyı kesimleri için uygun değildir [24].



Şekil 1.13. TAPCHAN Sistemi [24].

## Pendular

Pendular, bir tarafı denize açılan dikdörtgen bir kutu şeklindedir. Bu açıklık üzerine sarkaç bir kapak menteşelenmiştir. Kapak dalga hareketiyle ileri-geri hareket etmektedir. Bu hareket jeneratörün ve hidrolik pompanın çalışması için kullanılır [25].

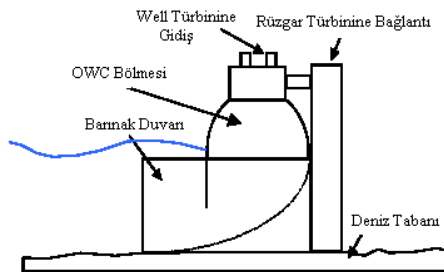


Şekil 1.14. PENDULAR Sistemi [24].

### 1.3.5.2 Kıyıya yakın (near shore) uygulamalar

Kıyıya yakın uygulamalar, 10-25 m su derinliklerinde gerçekleştirilmektedir. Bu tür sistemlerde OWC'nin değişik tasarımları uygulanmıştır [24].

Wavegen tarafından geliştirilen OSPREY'in gücü 1,5 MW'lık rüzgar türbininin dahil edilmesiyle 2 MW'a çıkarılmıştır. Bu sistemin ticari gösterimi için üzerinde oldukça çok çalışmalar yapılmıştır ve özellikle inşa maliyetinin düşürülmesi amacıyla çalışmalar devam etmektedir [24].



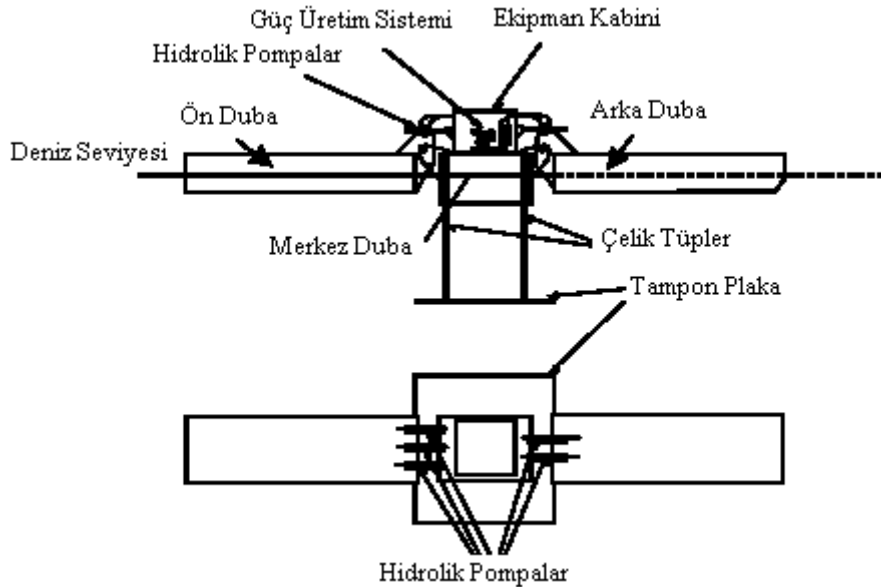
Şekil 1.15. OSPREY Sistemi [24].

WOSP (Rüzgar ve Okyanus Salınım Enerjisi) kıyıya yakın dalga ve rüzgar enerji istasyonunun birleştirilmiş halidir. Eklenen 1,5 MW'lık rüzgar üretim kapasitesi, tesis kapasitesini 3,5 MW'a yükseltir [24].

### 1.3.5.3 Kıyıda Uzak (Offshore ) Uygulamalar

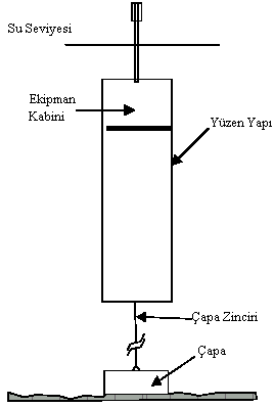
40 m'den daha derin sularda kıyıda uzak uygulanan cihazlar kullanılmaktadır. Bu tür sistemlerde uzun elektrik kablolarına gereksinim vardır. Geliştirilen çok çeşitli sistemlerden bir kaçını aşağıda anlatılmaktadır. Tanıtılan bu cihazlardan başka kıyıda uzak uygulanan bir çok sistem daha vardır. Bu sistemler: Salter Duck, Floating Wave Power Vessel, Mighty Whale, PS Frog, Wave Dragon, Swedish Housepump, DWP Float , Point Absorber Wave Energy Converter, SDE'den oluşmaktadır[24].

McCabe Dalga Pompası; birbirine menteşeli, düzenli bir şekilde sıralanmış ve birbirlerine bağlı hareket eden 3 adet dikdörtgen çelik (4 m genişliğinde) duba içermektedir. Ekstra bir kütle eklenmesiyle merkez dubanın ataletinin artması sağlanır. Enerji ise merkez duba ile diğer dubalar arasında monte edilen hidrolik tulumba vasıtasıyla menteşe noktalarındaki hareketten sağlanmaktadır. Örnek bir cihaz 40 m uzunluğunda Kilbaha, County Clare ve İrlanda'da kurulmuştur [24].



Şekil 1.16. McCabe Dalga Pompası [24].

OPT Dalga Enerji Dönüştürücüsü (WEC); Amerika'daki Okyanus Güç Teknolojisi (OPT) tarafından geliştirilen Dalga Enerji Dönüştürücüsü (WEC), 2-5 m çaplı üstü kapalı tabanı denize açık silindirik bir yapı içerir. Yapının tepesi ile yapı içerisinde yüzen çelik yüzücü arasında hidrolik pompa yerleştirilmiştir. Yapının yüzücüye göre hareketinden elektrik üretilir. Bu sistem Doğu Atlantik'de büyük ölçekte test edilmiştir ve ilk ticari yapılar Avustralya ve Pasifik'de kurulmak üzeredir [24].

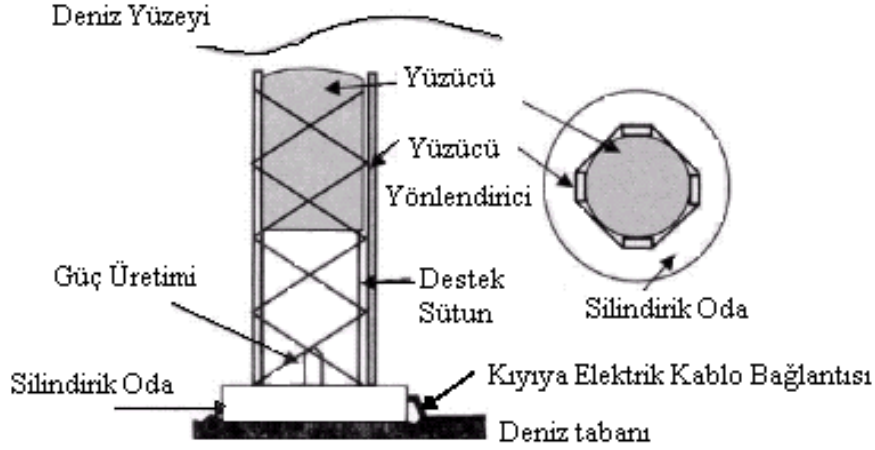


**Şekil 1.17.** OPT WEC Sistemi [24].

PELAMIS; bu yapı kısmi olarak su içinde yer alan, menteşeli noktalarla birbirine bağlı silindirik bölümlerden oluşan eklemliler bir yapıdır. Dalga ile birleşim noktaları hareket eder ve bu hareketle hidrolik pompalar elektrik jeneratörlerini çalıştırır. Günümüzde, 375 kW gücünde, 130 m uzunluğunda ve 3,5 m çapında bir sistemin geliştirilmesi için çalışmalar devam etmektedir [24].

**Şekil 1.18.** Pelamis Sistemi [24].

Archimedes Dalga Salınımı; bu sistem 10-20 m çapında silindirik, içi hava dolu bir yüzücü içermektedir. Sistemin üzerinden geçen dalga, yüzücü içindeki havanın basıncını yükseltir veya düşürür. Böylelikle yüzücünün zemine göre yükselip alçalma hareketi enerji üretimine neden olur [24,31].



Şekil 1.19. Archimedes Dalga Salınım Sistemi [24].

### 1.3.6 Hidrolik Enerji

Dünya'daki toplam su miktarı 1 400 milyon km<sup>3</sup>'tür. Bu suyun %97,5'i denizlerde ve okyanuslardaki tuzlu sulardan oluşmaktadır. Geriye kalan %2,5'lik pay, yani 35 milyon km<sup>3</sup>, tatlı su kaynağı olup, çeşitli amaçlar için kullanılabilir olduğu belirlenmiştir. Ancak tatlı su miktarının %68,7'si kutuplarda (Antarktika ve Greenland) buzul kütle, %0,8'i yeraltında fosil, %30,1'i yeraltı suyu ve nihayet sadece %0,4'ü yerüstü suyu ve atmosferik buharlardan oluşmaktadır [2].



**Şekil 1.20.** Dünya'daki Su Potansiyelinin Dağılımı [2].

Şekil 1.20'den de görüleceği üzere şu anda Dünya'daki kullanılabilen yerüstü su miktarı toplam potansiyelin sadece 0,001'idir.

Öte yandan bu kaynakların tümüne ulaşmakta kolay değildir. Nehirler ve göllerdeki su miktarından kat kat fazla su potansiyeline sahip yeraltı suları çoğu kez ulaşılması imkansız derinliklerde bulunmakta, yüzey sularının çoğu ise, ya insanların ihtiyaç duyduğu yerlerden çok uzaklarda bulunmakta, ya da kontrol altına alınamayan taşkınlar nedeniyle faydalanmadan denizlere boşalmaktadır.

Su, hidrolojik çevrim içerisinde; kıta, okyanus ve atmosfer ortamları arasında devamlı bir dönüşüm halindedir. Dünya yüzeyine yağışla düşen su miktarı yılda ortalama 800 mm, ya da yaklaşık 119 000 km<sup>3</sup> olup, bunun 72 000 km<sup>3</sup>'ü buharlaşarak atmosfere geri dönmekte ve 47 000 km<sup>3</sup>'ü akışa geçerek nehirler vasıtasıyla denizlere ve kapalı havzalardaki göllere ulaşmaktadır.

Denizlerden buharlaşan 505 000 km<sup>3</sup> suya karşın, denizlere yağış olarak dönen su miktarı 458 000 km<sup>3</sup> tür. Başka bir deyişle her yıl 47 000 km<sup>3</sup> lük bir su miktarı denizlerden karalara dönmektedir. Bu miktar su, Dünyanın yıllık toplam yenilenebilir tatlı su miktarıdır ve karalarda canlıların kullandığı tatlı su kaynaklarını besler. Toplam yıllık yenilenebilir su miktarı değişik kaynaklarda, farklı değerlerde, örneğin 40 000 km<sup>3</sup> veya 41 000 km<sup>3</sup> olarak verilmektedir. Karalara düşen toplam yıllık yağışın ancak

üçte birlik kısmı su kaynaklarını beslemektedir. Bu oran bölgelere göre değişmektedir. Akışa geçen miktarın bugün için ancak 9000 km<sup>3</sup>'ü teknik ve ekonomik olarak kullanılabilir durumdadır [2].

**Tablo 1.10.** Kıtalarda Su Dengesi [2].

Kıta	Yağış		Buharlaşma		Fark	Akış
	(mm)	(km <sup>3</sup> )	(mm)	(km <sup>3</sup> )	(mm)	(km <sup>3</sup> )
Avrupa	790	8290	507	5320	283	2970
Asya	740	32 200	416	18 100	324	14 100
Afrika	740	22 300	587	17 700	153	4600
Kuzey Amerika	756	18 300	418	10 100	339	8180
Güney Amerika	1600	28 400	910	16 200	685	12 200
Okyanusya	791	7080	511	4570	280	2510
Antartika	165	2310	0	0	165	2310
DÜNYA	800	119	485	72 000	315	47 000

Tablo 1.10. daki verilere göre, işletmede olan hidroelektrik santrallerin (HES) yıllık üretim kapasitesi dikkate alındığında, teknik ve ekonomik yapılabilir hidroelektrik potansiyelin bugün için sırasıyla, ancak %24,3'u ve %40,70'i değerlendirilebilmiş bulunmaktadır. Grafiklerden de görüleceği üzere kalan potansiyelin büyük bir kısmı Afrika ve Asya'da yer almaktadır[2].

**Tablo 1.11.** Dünya Hidroelektrik Enerji Potansiyeli ve 2009 Gelişme Durumu [2].

	BRÜT TEORİK HES POTANS.	TEKNİK HES POTANS.	EKONOMİK HES POTANS.	İŞLETMEDE		İNŞA HALİNDE	PLANLANAN
				K. GÜÇ	ORT. ÜRETİM		
	GWh/yıl	GWh/yıl	GWh/yıl	MW	GWh/yıl	MW	MW
AFRİKA	~ 2 461 967	~ 1 173 945	~ 769 297	~ 23 482	~ 97 519	> 5 222	~27 868-91 723
ASYA (Rusya ve Türkiye dahil)	~19 716 941	~ 7 680 910	~ 4 475 489	~ 401 626	~1 514 198	>125 736	>205156-340 453
AVUSTRALYA/ OKYANUSYA	~657 984	~185 012	~ 88 700	~ 13 370	~ 37 138	>67	> 420-2 768
AVRUPA (Rusya& Türkiye hariç)	> 2 817 477	~ 1 020 926	~ 776 656	~ 179 152	~ 541 908	> 3 028	>15 793-18 516
KUZEY VE ORTA AMERİKA	~7 600 775	~ 1 907 776	~ 1 063 014	~169105	~ 689 314	> 7 798	>34 784-52 001
GÜNEY AMERİKA	~ 6 639 000	~ 2 606 526	~ 1 536 794	~ 139 424	~670 780	> 19 555	>78 445-96 103
DÜNYA TOPLAMI	~ 39 894 392	~ 14 575 094	~ 8 709 948	~ 926 159	~3 550 856	> 161 406	~362 466- 601 565
TÜRKİYE	433 000	216 000	140 000	14 500	35 958	8 600	22 700
TÜRKİYE/DÜN YA	% 1,08	%1,48	%1,6	%1,56	%1,01	%5,33	% 6,26 - 3,77

En yüksek hidroelektrik üretimi sağlayan ilk 10 ülkenin toplamı, Dünya hidroelektrik üretiminde ~%70 paya sahiptir. Dünyada, hidroelektrik üretimde 1. sırayı koruyan Çin'de işletmede yüksekliği 30 m'nin üzerinde olan 5327 büyük baraj bulunmaktadır. Teknik HES potansiyelinin % 23'ü kullanılmaktadır. Ancak kurulu gücünü 2020 yılına kadar %50 artırarak 300 000MW'a çıkaracağını açıklamıştır. 2. Sırada yer alan Brezilya ise teknik potansiyelinin sadece %25'ini kullanmasına rağmen elektrik enerjisinin %83,9' unu hidroelektrikten karşılamaktadır. Buna rağmen inşaatı devam eden kurulu güçleri toplamı 9759MW olan 10 adet büyük HES 2011 yılında işletmeye alınacak olup, 29 364 MW kurulu gücünde 10 adet HES ise planlaması tamamlanmış ve 2019 yılına kadar inşa edilerek işletmeye alınması planlanmaktadır[2].

### 1.3.7 Jeotermal Enerji

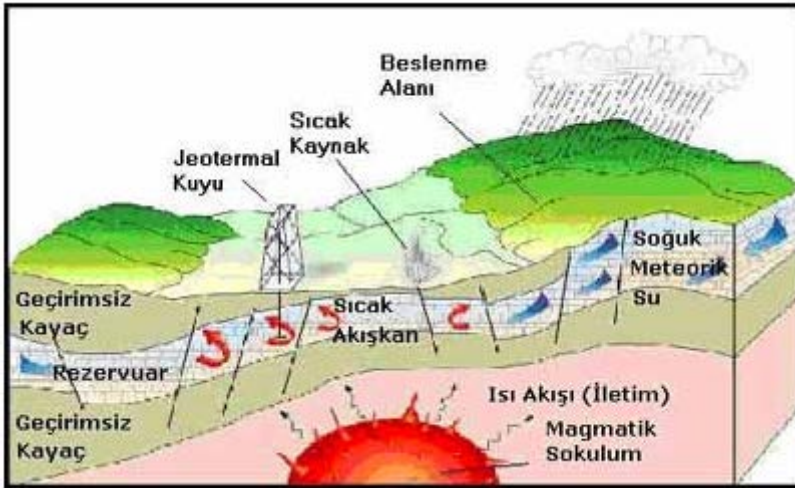
Jeotermal enerji yerkürenin iç ısısıdır. Bu ısı merkezdeki sıcak bölgeden yeryüzüne doğru yayılır.

Jeotermal kaynakların üç önemli bileşeni vardır:

1. Isı kaynağı,
2. Isıyı yeraltından yüzeye taşıyan akışkan,
3. Suyun dolaşımını sağlamaya yeterli kayaç geçirgenliği.

Jeotermal alanlarda sıcak kayaç ve yüksek yeraltı suyu sıcaklığı normal alanlara göre daha sığ yerlerde bulunur. Bunun başlıca nedenleri arasında:

- Magmanın kabuğa doğru yükselmesi ve dolayısıyla ısıyı taşıması,
- Kabuğun incelmesi yerlerde yüksek sıcaklık farkı sonucunda oluşan ısı akışı,
- Yeraltı suyunun birkaç kilometre derine inip ısındıktan sonra yüzeye doğru yükselmesi.



Şekil 1.21. İdeal Jeotermal Sistemin Şematik Gösterimi [32].

Jeotermal saha, sistem ve rezervuarı birbirlerinden ayırmak üzere aşağıdaki tanımlar yapılabilir.

Jeotermal Saha:

Yeryüzünde bir jeotermal etkinliği gösteren coğrafik bir tanımdır. Eğer yeryüzünde herhangi bir doğal jeotermal çıkış yoksa yeraltındaki jeotermal rezervuarın üstündeki alanı tanımlamakta kullanılır.

Jeotermal Sistem:

Yeraltındaki hidrolik sistemi bütün parçaları ile birlikte (beslenme alanı, yeryüzüne çıkış noktaları ve yeraltındaki kısımları gibi) tanımlamakta kullanılır.

Jeotermal Rezervuar:

İşletilmekte olan jeotermal sistemin sıcak ve geçirgen kısmını tanımlar.

Jeotermal sistemler ve rezervuarlar; rezervuar sıcaklığı, akışkan entalpisi, fiziksel durumu, doğası ve jeolojik yerleşimi gibi özelliklerine göre sınıflandırılırlar. Örneğin jeotermal rezervuarda 1 km derinlikteki sıcaklığa bağlı olarak sistemleri iki gruba ayırmak olasıdır.

a.) Rezervuar sıcaklığının 150°C' dan düşük olduğu, düşük sıcaklıklı sistemler: Bu tür sistemler genelde yeryüzüne ulaşmış doğal sıcak su veya kaynar çıkışlar gösterirler.

b.) Rezervuar sıcaklığının 200°C' dan yüksek olduğu yüksek sıcaklıklı sistemler: Bu tür sistemler ise doğal buhar çıkışları (fumeroller), kaynayan çamur göletleri ile kendini gösterir.

Jeotermal sistemlerin fiziksel durumlarına bağlı olarak sınıflandırılmaları durumunda, üç farklı rezervuar durumu tanımlanabilir.

Sıvının etken olduğu jeotermal rezervuarlar:

Rezervuardaki basınç koşullarında su sıcaklığının buharlaşma sıcaklığından daha düşük olduğu rezervuarları tanımlamakta kullanılır. Rezervuar basıncını sıvı su fazı kontrol etmektedir.

İki fazlı jeotermal rezervuarlar:

Rezervuarda sıvı su ve su buharı birlikte bulunmaktadır ve rezervuar basıncı ve sıcaklığı suyun buhar basıncı eğrisini izler.

Buharın etken olduğu jeotermal rezervuarlar:

Rezervuar basıncındaki akışkan sıcaklığının suyun buhar basıncı eğrisi sıcaklığından daha yüksek olması durumunda bu tür rezervuarlar oluşurlar. Rezervuardaki basıncı su buharı fazı kontrol etmektedir.

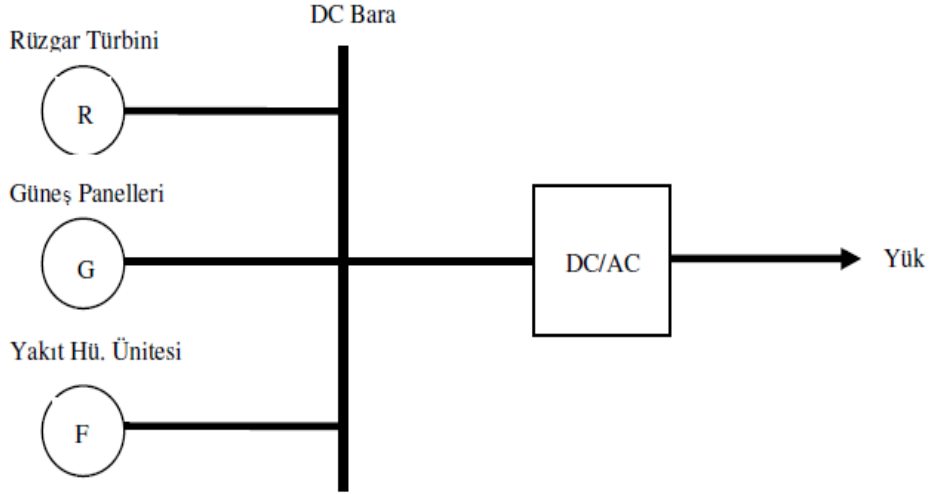
Bir jeotermal rezervuarın fiziksel durumu ve kimyasal özellikleri zamana bağlı olarak değişiklik gösterebileceği gibi aynı rezervuar içerisinde de bir noktadan diğerine farklılıklar gösterebilir. Örneğin sıvının etken olduğu bir rezervuar, üretim sonucu oluşan basınç düşümünden dolayı, zamanla iki fazlı bir jeotermal akışkan durumuna dönüşebilir. Jeotermal enerji, hava kirliliği yaratmayan ve dikkatli kullanıldığında çevre sorunlarını en aza indirmeye özelliği olan bir enerji kaynağıdır. Jeotermal enerji kaynağının sürdürülebilir projelerde kullanılması amaçlanmalıdır. Projelerin sürdürülebilir olması için jeotermal sistemlerin ve rezervuarların iyi bilinmesi ve varolan yeraltı özelliklerinin projelerin avantajına olacak şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

**Tablo 1.12.** Dünya’da Jeotermal Kurulu Elektrik Enerji Üretim Kapasiteleri [33].

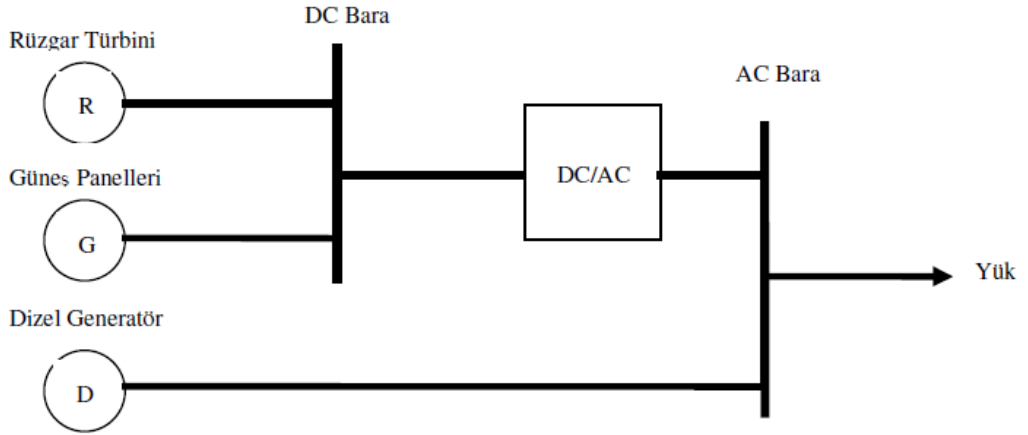
Ülke	1990 MWe	1995 MWe	2000 MWe	2005 MWe	2010 MWe
<b>USA</b>	<b>2774,6</b>	<b>2816,7</b>	<b>2228</b>	<b>2544</b>	<b>3093</b>
Argentina	0,7	0,6	0	0	0
Australia	0	0,2	0,2	0.2	1.1
Austria	0	0	0	1	1.4
China	19,2	28,8	29,2	28	24
Costa Rica	0	55	142,5	163	166
El Salvador	95	105	161	151	204
Ethiopia	0	0	8,5	7	7.3
France (Guadeloupe)	4,2	4,2	4,2	15	16
Germany	0	0	0	0.2	6.6
Guatemala	0	33,4	33,4	33	52
Iceland	44,6	50	170	322	575
Indonesia	144,8	309,8	589,5	797	1197
Italy	545	631,7	785	790	843
Japan	214,6	413,7	546,9	535	536
Kenya	45	45	45	127	167
Mexico	700	753	755	953	958
New Zealand	283,2	286	437	435	628
Nicaragua	35	70	70	77	88
Papua New Guinea	0	0	0	39	56
Philippines	891	1227	1909	1931	1904
Portugal (The Azores)	3	5	16	16	29
Russia (Kamchatka)	11	11	23	79	82
Thailand	0,3	0,3	0,3	0.3	0.3
Turkey	20,6	20,4	20,4	20.4	82

#### 1.4 Hibrid Enerji Dönüşüm Sistemleri

Hibrid enerji sistemi, enerji depolamada daha iyi denge, kararlılık ve verimlilik sağlamak amacıyla, en az iki yada daha fazla ham enerji kaynağından enerji üretimini gerçekleştiren sistemlerin ve paralel olarak birbirine katkıda bulunan ünitelerdir. Hibrid enerji sistemi mevcut farklı enerji kaynaklarının kullanımını kolaylaştırarak bu tür kaynaklardan sabit gücü sağlar. Hibrid sistemlerdeki amaç ise enerji kaynaklarının birlikte kullanımını sağlayarak hem verimi arttırmak hem de kaynaklardan birinin azalması veya olmaması durumunda diğerlerinin, sistemin enerji ihtiyacını karşılayabilmesini sağlamaktır.



**Şekil 1.22.** Yenilenebilir enerji kaynaklarının oluşturduğu hibrid enerji sistemi.



**Şekil 1.23.** Yenilenebilir enerji kaynakları ile fosil yakıtların birlikte kullanıldığı hibrid enerji sistemi.

Hibrid sistemler çok çeşitli olmasına rağmen dünyada rüzgar ve güneş enerjisinin yanı sıra, rüzgar santrallerinin içinde bulunduğu ve bunların fosil yakıtlı santrallerle kombine yapıldığı rüzgar – güneş, rüzgar – dizel, rüzgar – gaz ve rüzgar – hidrolik gibi sistemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Gerek güneş ve gerekse de rüzgar enerjisinden elektrik elde edilmesi üzerine yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları her iki teknolojiyi de günümüz teknolojilerinde elektrik üretimi için kullanılan kömür, doğalgaz, nükleer gibi santrallerle boy ölçüşebilir duruma getirmiştir.

Elektrik dağıtım şebekesinden uzak olan küçük yerleşim birimlerinde elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması durumunda genellikle rüzgar – güneş hibrid güç sistemlerine daha çok gereksinim duyulurken, orta ölçekli sanayi sitelerinde ve yerleşim birimlerinde

elektrik enerjisi rüzgar – mikro hidroelektrik üniteleri ile sağlanmakta ve devamlılık arzında dizel jeneratörler kullanılmaktadır.

Hibrid güç sistemlerinin yapı itibariyle hangi temel enerji kaynağı bileşenlerinden oluştuğunu görmüştük. Bu bileşenler bölgenin ve günün özelliklerine bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Örneğin rüzgarlar kışın daha güçlü eser, güneş yayılımı ise yazın daha üst seviyededir. Bunun yanında güneş ve rüzgar enerjisinin bulunmadığı yerlerde olabilir. Bu durumda enerjilerin mevcut oldukları zamanlarda depolanması zorunludur. Bu açıdan hidrojen enerjisi depolama açısından iyi bir yakittir. Ayrıca hibrid güç üretim sistemi mevcut kaynak çeşitliliğini dikkate alarak enerji tüketimini destekler. Örneğin enerji tüketimi gece esnasında yoğun olur. Bu yüzden güneş rüzgar hibrid kurulumunda rüzgar etkisi daha fazla yarar sağlayacaktır.

İşte bu gibi güç üretim ünitelerinde iki önemli nokta öne çıkmaktadır. Bunlardan birincisi; konvansiyonel üretim teknikleri nedeniyle daha yüksek emisyon, ikincisi ise yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji yakalama maliyetinin yüksek olmasıdır. Bu dezavantajlarının yanı sıra ilk kurulum maliyetini minimumda, güvenilirliği maksimumda tutacak boyutlandırılmanın yapılması gerekliliğidir.

Hibrid enerji sistemleri; dünya genelinde sayıları azımsanmayacak derecede çok olan merkezden uzak küçük ölçekli sanayi işletmeleri, yerleşim birimleri gibi alanların enerji ihtiyacını karşılama maksatlı dizayn edilmişlerdir. Bu nedenle hibrid güç üretim sistemi tasarım aşamasındayken bölgenin sahip olduğu alternatif enerji kaynaklarının kapasitesinin öncelikli olarak belirlenmesi gereklidir. Elde edilen bu veriler yıllık, aylık ve günlük olarak ele alınmalıdır. Ayrıca hibrid güç üretim sistemleri güç elektroniği ara yüzü sayesinde şebekeye bağlı veya şebekeden yalıtılmış biçimde işletilmesi için dizayn edilirler. Güç elektroniği ara yüzü ise farklı iki veya daha fazla kaynaktan elde edilen gerilim, frekans ve güç gibi parametrelerin arzu edilen değerde olması için kullanılır. Dikkat edildiyse burada önemli olan kaynakların hangi türden olduğu değil şebeke parametrelerinin düzgün ve istenilen sonuçta olması için uygulanacak kontrol teknikleridir. Hibrid sistemlerin kontrolünde genellikle iki önemli husus vardır. Bunlar ;

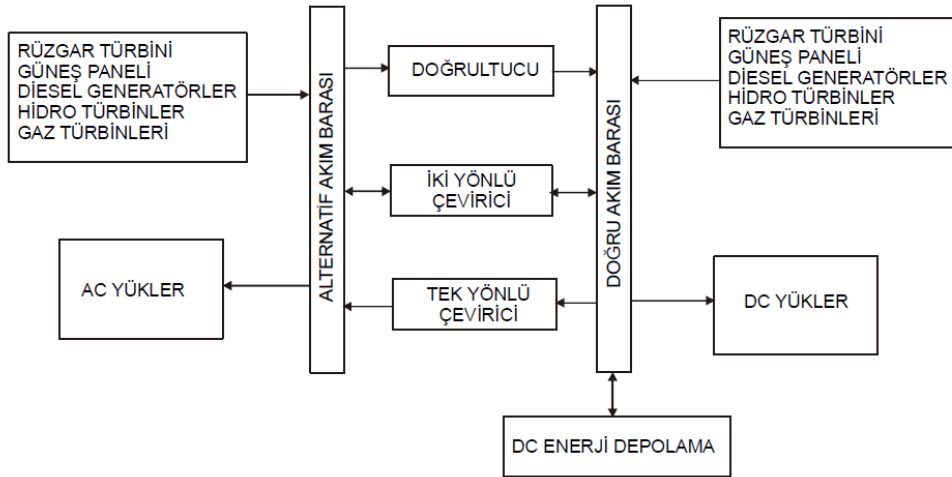
- Hibrid güç üretim sisteminde istenilen çıkış geriliminin, frekansının ve güç sistemi kararlılığının sürekliliğini denetim altına almak amacıyla yapılan dinamik kontrol,

- Güç sistemi işletimini daha iyi düzeye çıkarmak amacıyla tüketicilere farklı enerji kaynaklarından akan enerji akışını dengede tutmak için güç sistemi bileşenlerinin en iyi kombinasyon seçimini gerçekleştiren işletme stratejisidir.

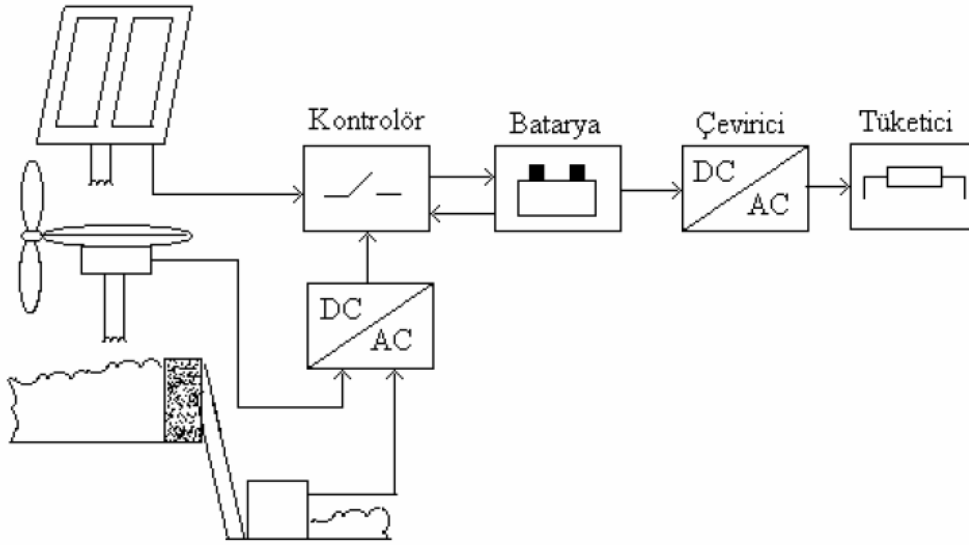
Güç üretim sisteminden en iyi performansı elde etmek için iki kontrol mekanizması aynı anda kullanılmalıdır.

Genel hatları ile bir hibrid güç üretim sistemleri;

- Alternatif akım generatörleri
- Doğru akım generatörleri
- AC ve DC dağıtım sistemleri
- Yükler
- Yenilenebilir enerji kaynakları
- Enerji depolama ünitelerei
- Güç dönüştürücüleri
- Yük denetim mekanizmaları
- Denetim amaçlı kullanılan kontrol mekanizmaları



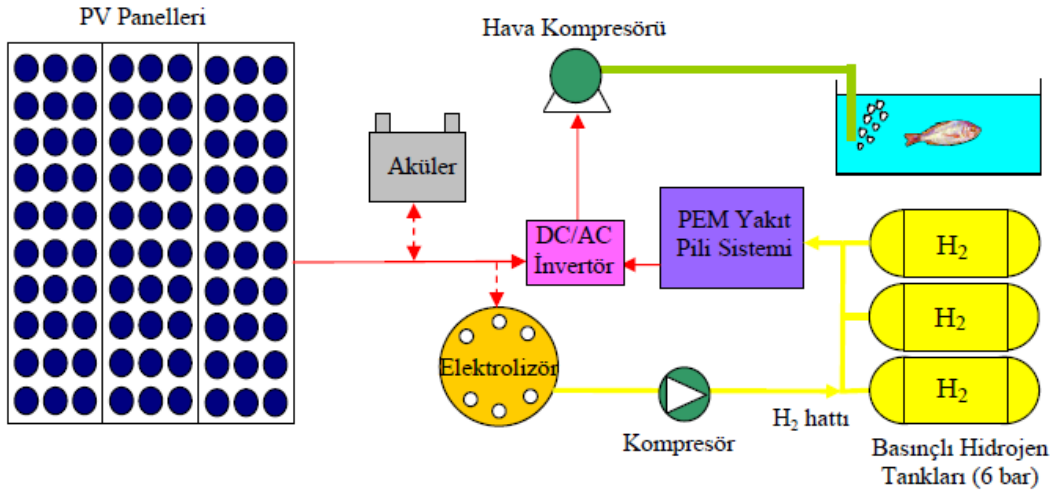
Şekil 1.24. Hibrid güç üretim sisteminin genel blok şeması



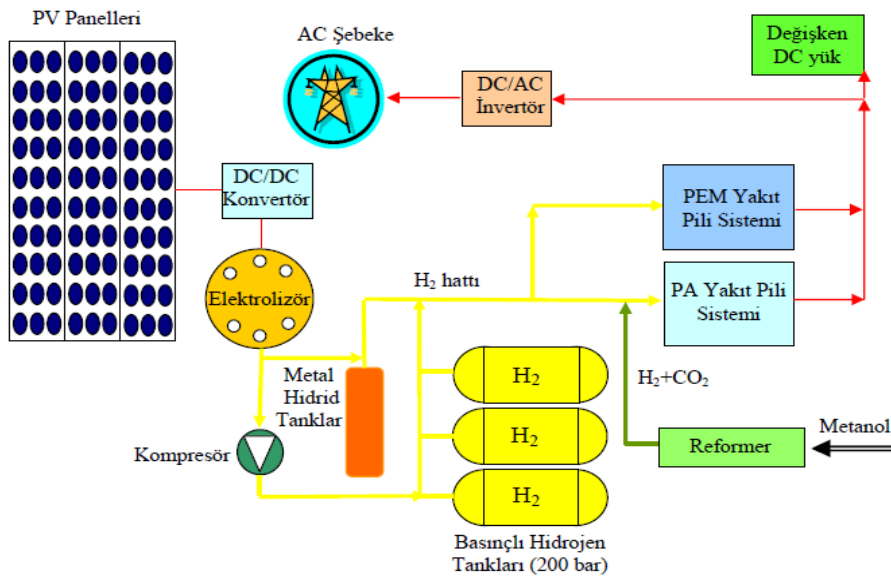
**Şekil 1.25.** Güneş – Rüzgar ve Hidroelektrik Hibrid Enerji Sistemleri

Burada rüzgar – hidro generatörlerden elde edilen AC güç sonradan bataryayı şarj etmek için DC ‘ye dönüştürülen güçtür. Kontrolör ise sistemi ani yük kayıpları veya aşırı yüklerden korur. Çevirici ise kullanılan bölgedeki yükün özelliğine göre üretilen gerilim ve frekansa bağlı olarak istenilen yük değerine gerilimi dönüştüren sistemdir.

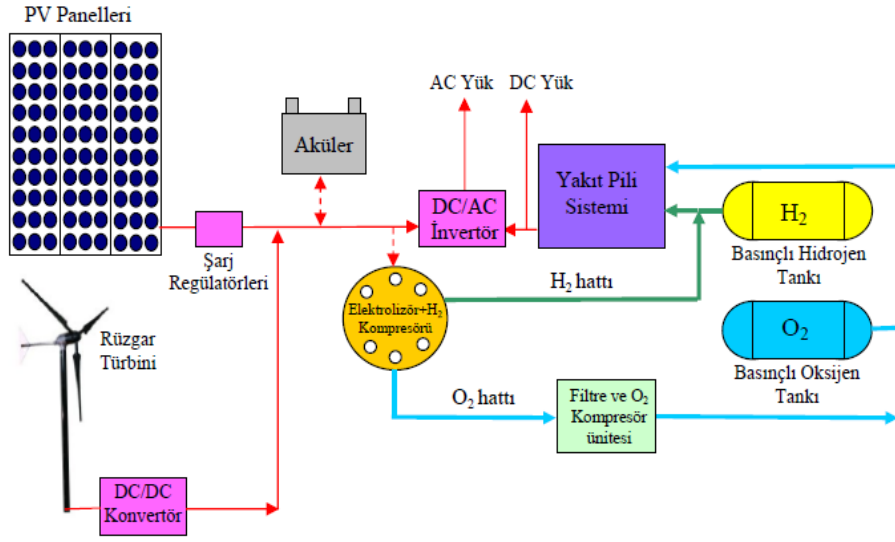
Güneş – hidrojen hibrid enerji sistemi güneş enerjisinin doğrudan veya dolaylı formlarını ucuz elektrik üretiminde kullanılması, bu elektrikle başta su olmak üzere çeşitli kaynaklardan hidrojen elde edilmesi ve üretilen bu hidrojenin ulaşım, konut, sanayi ve elektrik üretiminde kullanılması esasına dayanır. Elektroliz olayı esnasında elde edilen oksijen ya atmosfere bırakılır yada yakıt hücresinde depolanır. Güneş enerjisi açısından incelendiğinde faydalanma oranının  $\frac{1}{3}$  olduğu görülmektedir. Bu durumda güneşten maksimum fayda sağlamak öğlen saatlerine tekabül eder. Diğer taraftan hidrojen ise bu durumu bertaraf ederek sistemin verimli çalışmasına olanak sağlar.



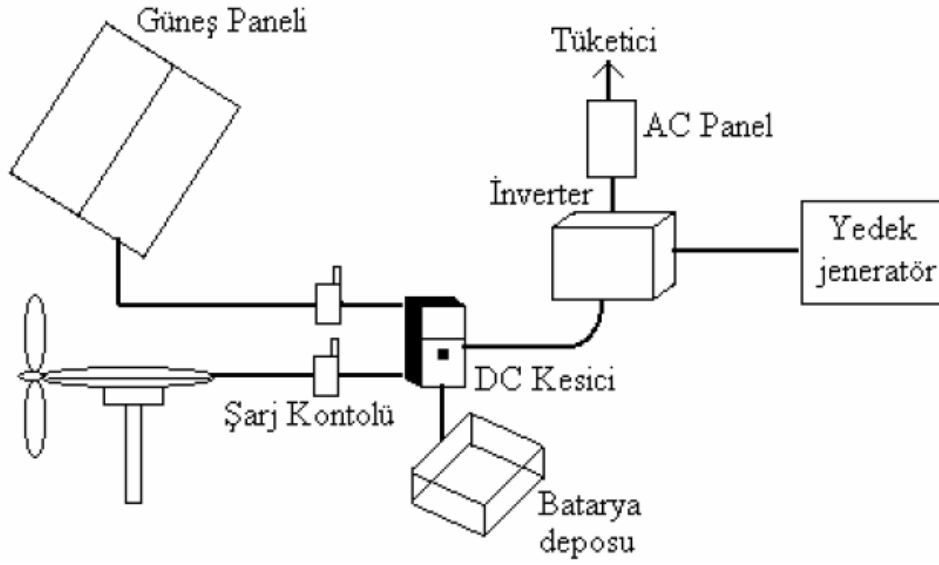
Şekil 1.26. SCHATZ projesinin genel görünüşü



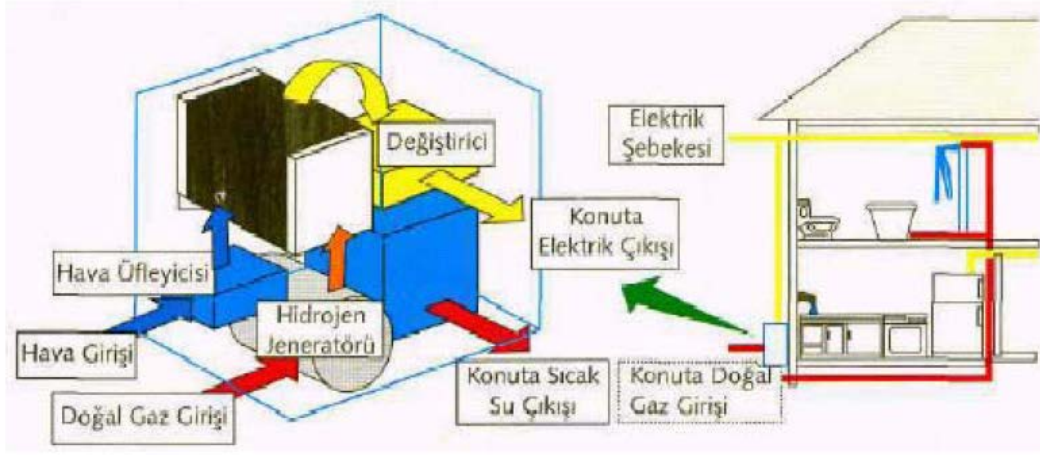
Şekil 1.27. INTA projesinin genel görünüşü



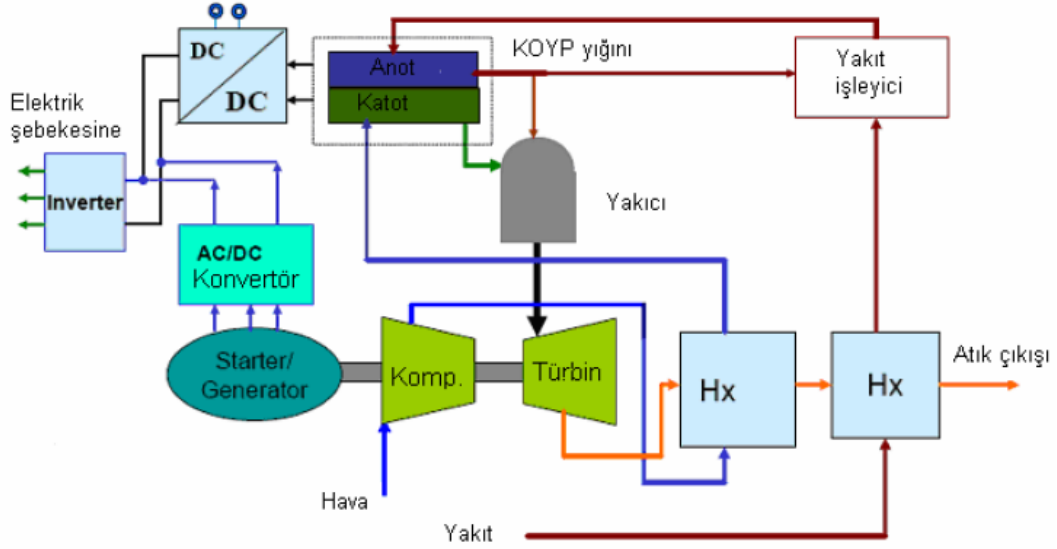
Şekil 1.28. Güneş – Rüzgar – Hidrojen Hibrid Enerji Sistemi



Şekil 1.29. Güneş – Rüzgar Hibrid enerji sistemi

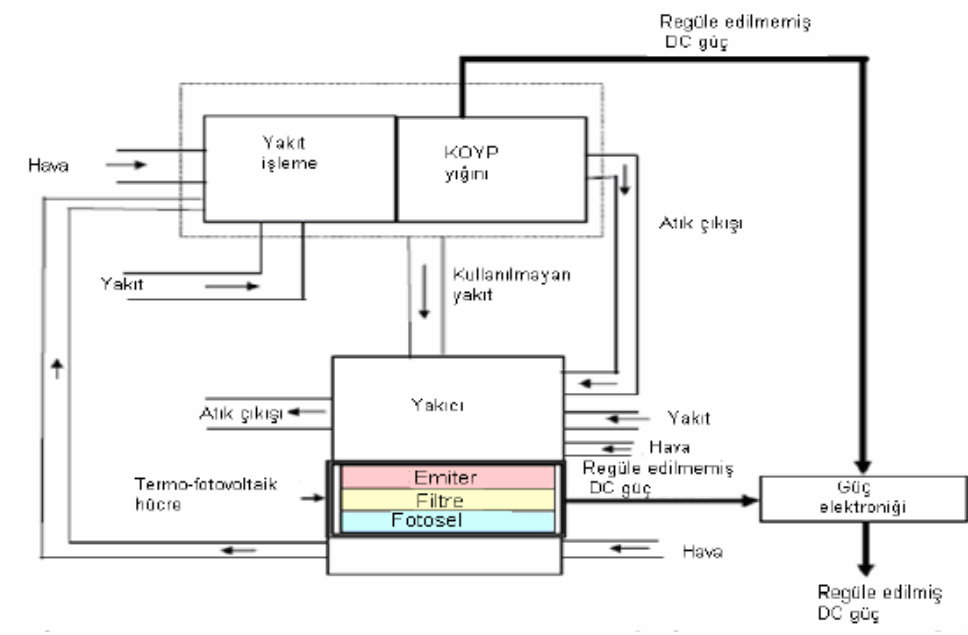


Şekil 1.30. Hidrojen – Doğal Gaz Hibrid Enerji Sistemleri



Şekil 1.31. Gaz türbini – yakıt pili hibrid enerji sistemi

Bu sistem sabit güç üretimi uygulamalarında kullanılır. Bunlar genellikle ticari uçaklarda tüm elektriksel yükler için ya da trenlerde tüm yardımcı güç ihtiyacını karşılamak maksatlı olabilir.

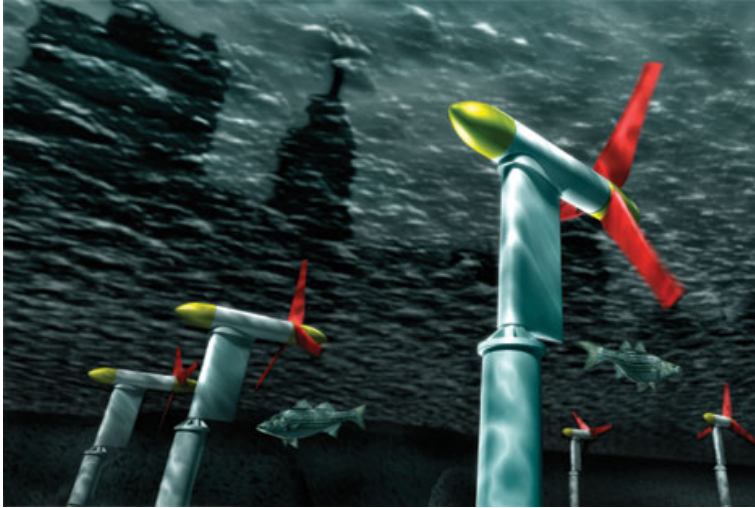


**Şekil 1.32.** Termo fotovoltaik hibrid sistem

Termo cisimler teknolojinin gelişimine paralel olarak elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaya başlanmıştır. Bu cisimler termal yada atık ısı enerjisini elektriğe dönüştürürler.

## 1.5 Dalga ve Akıntılardan Elektrik Üretimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

### 1.5.1 Su Altı Rüzgar Türbinleri



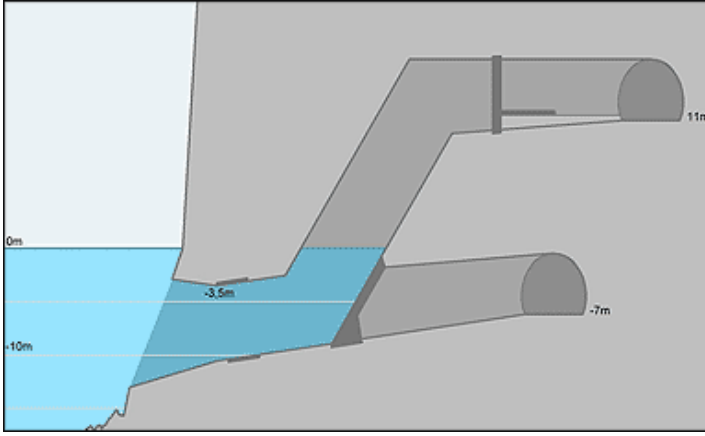
**Şekil 1.33.** New York'un Doğu Nehrine Yerleştirilen Gelgit Türbinleri[34].

Bu patenti alınmış bir fikirdir. Aslında, gelgit türbini olarak adlandırılrsa da onların rotoru rüzgarın gelgit akıntılarıyla tahrik edilir[34].

### 1.5.2 Tünel Dalga Enerjisi Dönüştürücüsü

Bir tünel dalga enerji santrali arazi ile bağlantılı diğer dalga enerji sistemlerinden daha fazla avantajlar sunmaktadır. Bunlar:

- Karada inşa edilir ve yüzeyin altındadır.
- Bu sistem hem görünmez hem de sessizdir.

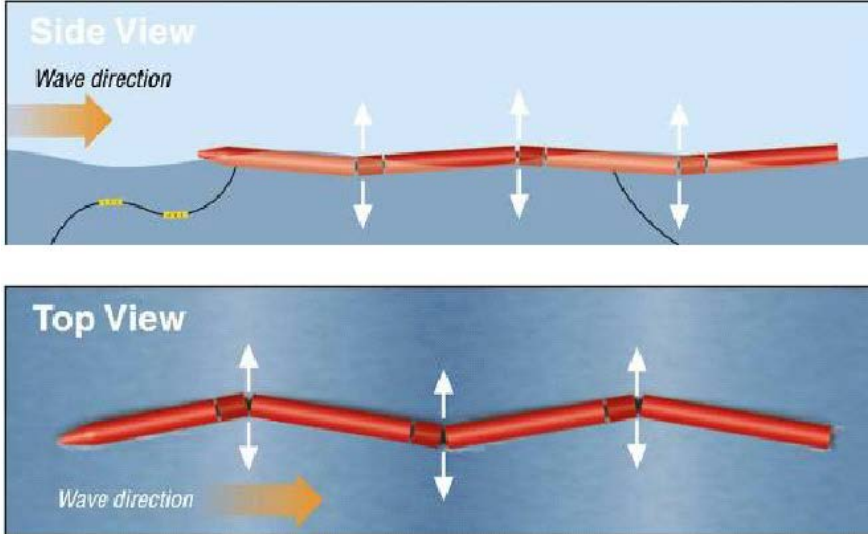


Şekil 1.34. Tünel Dalga Enerjisi Çalışma Prensibi [35].

### 1.5.3 Pelamis Dalga Enerji Dönüştürücüsü



Şekil 1.35. Pelamis [36].



Şekil 1.36. Pelamis Dalga Enerji Dönüştürücüsü [36].

Pelamis Dalga Enerji Dönüştürücüsü yarı dalmış, mafsallı yapı ile mafsallı bağlantılı silindirik yapının birleşimidir. Dalga indükleme prensibi döngüsel su motorlarının yüksek tazyikli hidrolik motorların yumuşatma akümülatörleri ile dengelenme esasına dayanır[36].

Hidrolik motorlar elektrik jeneratörlerinin elektrik üretmesini sağlarlar. Bütün bu bağlantılardan gelen enerji tek bir kablodan beslenen “deniz yatağını” besler. Birçok araç beraber çalışabildiği gibi bir diğerlerine de ayrı olarak kıyıya tek bir kablo ile bağlanabilir[36].

Pelamis dalga enerji dönüştürücüsü ekonomik, teknolojik, çevreye duyarlılık konusundaki avantajlarının yanı sıra:

- Tesisin uzun vadeli kullanılabilirliği
- %100 kolay elde edilebilir teknoloji
- Tadilatın deniz kıyısından dışarı taşınmamasını sağlar
- Kıyı işgali gerektirmeyen tadilat
- Makine gücü odaklı operasyon
- Piyasada ki en düşük kWh harcaması
- Yüksek kapasitede geri dönüş potansiyeli
- Ticari sicil kaydı imkânı
- Kanıtlanmış ve garantilenmiştir.

Mevcut üretim makineleri 140 m uzunluğunda 3,5m çapında ve her makinede 3 güç dönüştürücüsünden ibarettir. Her makine ortalama 750 kW harcar. Pelamis tarafından üretilen enerji bulunduğu çalışma sahasının koşulları ile ilişkilidir. Pelamis dalga

dönüştürücüsü dalga kaynağına göre diğer dönüştürücülere nazaran % 25 ile % 40 arasında daha düşük enerji harcar. Böylece her makine bize yaklaşık 500 evin elektrik ihtiyacını karşılayacak şekilde enerji tasarrufu sağlar[37].

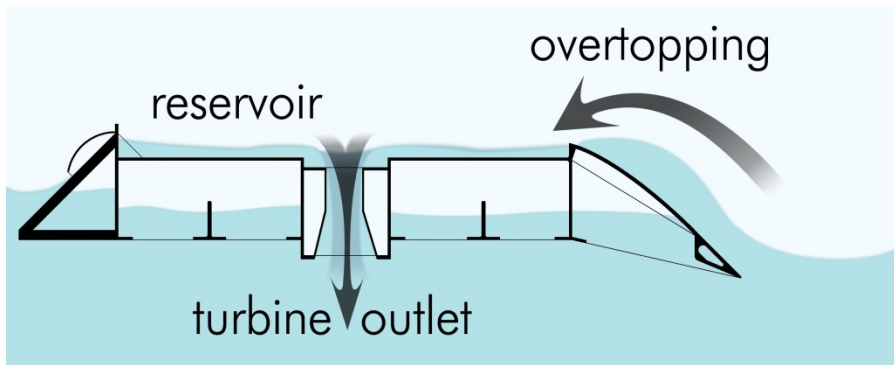
#### 1.5.4 Wave Dragon

Wave Dragon soğurma merkezli enerji dönüştürücüsü olarak diğer fosil temelli enerji kaynaklarından farklı olarak çeşitli deniz sahalarında ve üretim yerlerinde denenmiştir[38].

İlk prototipi güç kaynağı(grid) en son Nissum Bredning tarafından Danimarka'da geliştirilmiştir. Yapılan uzun süreli testler sistem performansının yanı sıra uzun vadeli kullanılabilirlik farklı deniz sahalarında enerji üretimi konusunda odaklanmıştır. Enerji emme performansı bağımsız olarak aşağıdaki web sitesinde ispatlanmıştır[38]. 2009 yılında gerçekleştirilen bu testler bizi aşağıdaki sonuçlara götürür.

Enerji üretim verimliliğine gelirsek bu sistemin başlıca 3 avantajı:

1. Wave Dragon konsepti var olan ve kullanılan kıyı ve su türbün teknolojisini en verimli şekilde kombine eder.
2. Wave Dragon enerji dönüştürme teknolojisi ölçeği serbestçe değiştirilebilir mevcut olan teknolojiler arasında tektir.
3. Alınan verime kıyasla tamir hatta büyük ölçekli tadilat işlemleri bu dönüştürücü ile denizin dışında da diğer teknolojilere nazaran daha düşük maliyetle gerçekleştirilebilir.

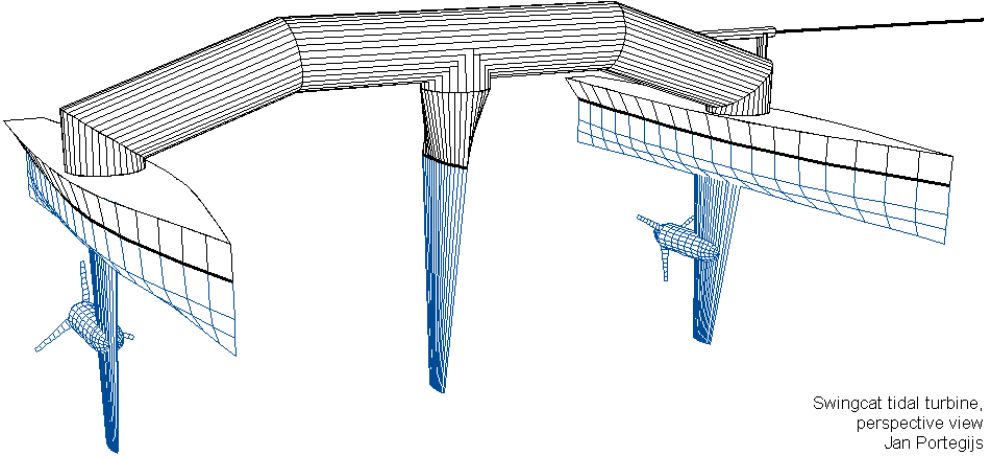


Şekil 1.37. Wave Dragon şematik görünüm [38].



Şekil 1.38. Wave Dragon [38].

### 1.5.5 Swingcat



Swingcat tidal turbine,  
perspective view  
Jan Portegijs

Şekil 1.39. Swingcat [39].

Swingcat uygulanmamış olsa da prototip tasarım olarak yapılmış bir çalışmadır.

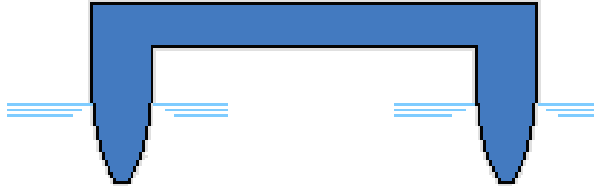
## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada elektrik enerjisi üretimi için yüzey akıntılarından, rüzgârdan ve güneşten yararlanılarak hibrid çalışan bir sistem oluşturulmaya çalışılmıştır.

Çalışma için en uygun türbin modelinin tespiti için öncelikle rüzgâr türbinleri karşılaştırılmıştır. Savonius Rüzgâr Türbini hangi yönden akıntı veya rüzgâr gelirse gelsin şaftı aynı yönde döndürmesi, basit tasarımı, bakım gerektirmemesi gibi özelliklerinden dolayı seçilmiştir.

### 2.1 Prototip Tasarımın Çalışması

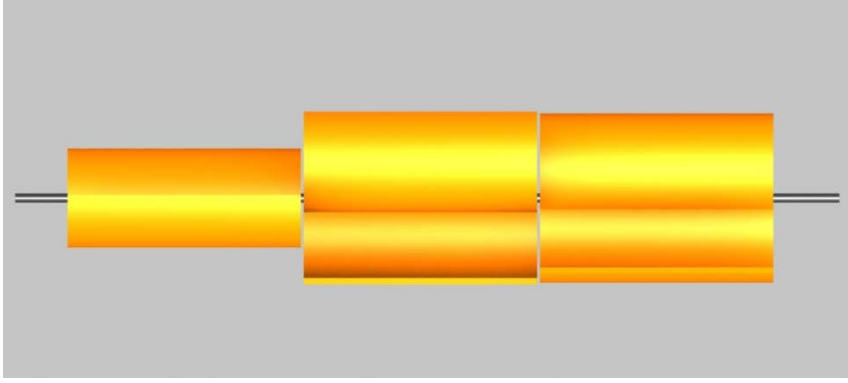
Bu çalışmadaki esas amaç rüzgâr türbini kullanılarak yüzey akıntısından elektrik enerjisi elde etme çalışması olduğu için çalışmalara başlarken öncelikle su yüzeyinde durabilecek yüzer platformun yapısı konusunda araştırma yapılmıştır. Araştırmalar sonucunda platformun yapısının katamaran şeklinde olması planlanmıştır.



**Şekil 2.1.** Katamaran Platform

Bu yapının seçilme amacı sistemin su yüzeyinde daha stabil durmasını sağlamaktır.

Platformun alt tarafında yüzey akıntılarından yararlanılarak döndürülmesi planlanan savonius rüzgâr türbini yatay olarak konumlandırılmıştır. Platformun üst tarafında ise savonius rüzgâr türbini dikey olarak konumlandırılmış ve platformun üst yüzeyi fotovoltaik paneller ile kaplanması planlanmıştır. Bu yapı sayesinde platformun konumlandırıldığı yerdeki su akıntısı, akıntının oluşumunu sağlayan yüzey rüzgârları ve güneşten faydalanılarak hibrid bir üretim sistemi oluşturulacaktır.

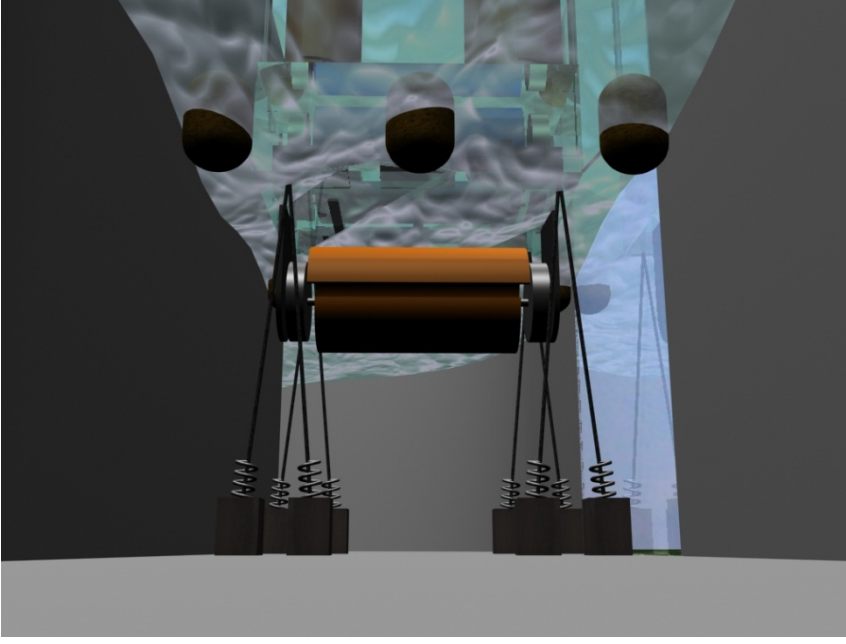


**Şekil 2.2.** 3 Katlı Savonius Türbin Ön Görünüm Tasarımı

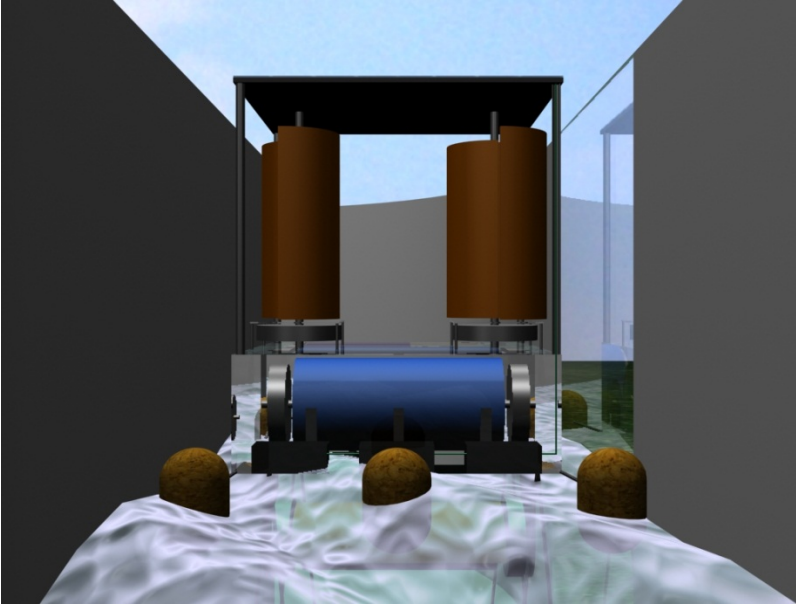


**Şekil 2.3.** 3 Katlı Savonius Türbin Yandan Görünüm Tasarımı

Yapılacak çalışmalar için seçilen savonius rüzgâr türbini Şekil 2.2. ve Şekil 2.3 te katlar arası ayrılmadan görülen 3 eşit katlı ve her kat birbirine 60 derece açı ile konumlandırılmış olarak yerleştirilmesi planlanmıştır. Böylece türbinin her konumda dönmesi sağlanmıştır.



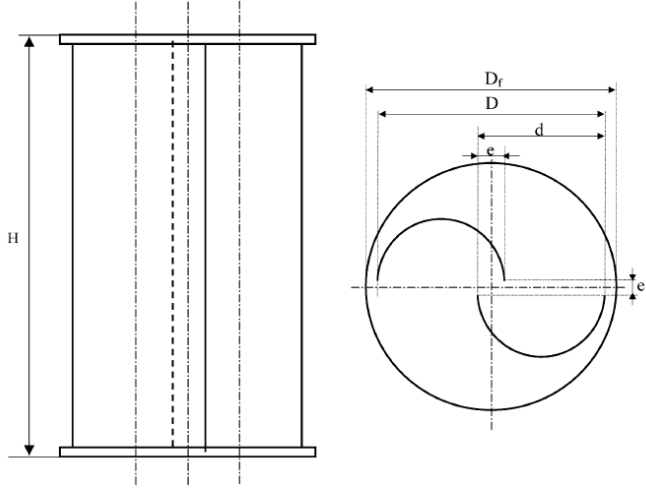
**Şekil 2.4.** Yüzey akıntısı ile çalışan savonius türbin yerleşim modellemesi  
Yüzey akıntısı ile çalışan savonius türbinin platform üzerinde yerleşim modellemesi  
Şekil 2.4. te verilmiştir.



**Şekil 2.5.** Rüzgar ile çalışan savonius türbin yerleşim modellemesi  
Rüzgar ile çalışan savonius türbinin platform üzerinde yerleşim modellemesi Şekil 2.5.  
te verilmiştir.

## 2.2 Fiziksel Dayanaklar

Savonius rüzgâr türbin boyutları, beklenen güç(P) ve beklenen moment(M) rüzgâr ve su için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Şekil 2.6 da görüldüğü üzere savonius türbinin yapısına uygun yükseklik ve çap değerleri belirlenmiştir.



Şekil 2.6. Savonius Türbin

Rüzgar türbinlerinin güç hesabı (2.1) ve moment hesabı (2.2) de verilen formüller ile hesaplanmıştır.

$$P=0.5*\rho*C_pAV^3 \quad (2.1)$$

$$M=0,25*\rho*C_m*D AV^2 \quad (2.2)$$

Bu formüllerden yola çıkılarak suyun ve havanın özgül yoğunlukları ( $\rho$ ) , beklenen maksimum hız (V) verileri hesaba katılarak tasarlanan türbinlerden elde edilmesi planlanan güç ve moment değerleri Tablo 2.1 ve Tablo 2.2. de gösterilmiştir.

$\rho$ hava	1,25	kg/m <sup>3</sup>
$\rho$ su	1000	kg/m <sup>3</sup>

Vsu	2,5	m/s
Vhava	10	m/s

**Tablo 2.1.** Su için Savonius Türbin Değerleri

W	<b>P</b>	341,7188	<b><math>\alpha = H/D</math></b>	<b>H</b>	<b>D</b>
	<b>Sabit</b>	0,5	4	1080	270
	<b>Cp</b>	0,15		mm	mm
kg/m <sup>3</sup>	<b><math>\rho</math></b>	1000	<b><math>\beta = e/d</math></b>	<b>e</b>	<b>d</b>
m <sup>2</sup>	<b>A</b>	0,2916	0,2	30	150
m/s	<b>V</b>	2,5		mm	mm
Nm	<b>M</b>	1845,281			
	<b>Sabit</b>	0,25			
	<b>Cm</b>	0,15			
Cm	<b>D</b>	27			
kg/m <sup>3</sup>	<b><math>\rho</math></b>	1000			
m <sup>2</sup>	<b>A</b>	0,2916			
m/s	<b>V</b>	2,5			

**Tablo 2.2.** Rüzgar için Savonius Türbin Değerleri

W	<b>P</b>	80,15625	<b><math>\alpha = H/D</math></b>	<b>H</b>	<b>D</b>
	<b>Sabit</b>	0,5	4	1500	570
	<b>Cp</b>	0,15		mm	mm
kg/m <sup>3</sup>	<b><math>\rho</math></b>	1,25	<b><math>\beta = e/d</math></b>	<b>e</b>	<b>d</b>
m <sup>2</sup>	<b>A</b>	0,855	0,1	30	300
m/s	<b>V</b>	10		mm	mm
Nm	<b>M</b>	228,4453			
	<b>Sabit</b>	0,25			
	<b>Cm</b>	0,15			
Cm	<b>D</b>	57			
Kg	<b><math>\rho</math></b>	1,25			
m <sup>2</sup>	<b>A</b>	0,855			
m/s	<b>V</b>	10			

P = Beklenen Güç (Watt)

M = Beklenen Kuvvet (Nm)

Cp = Güç Katsayısı

V = Hız

 $\rho$  = Özgül Yoğunluk

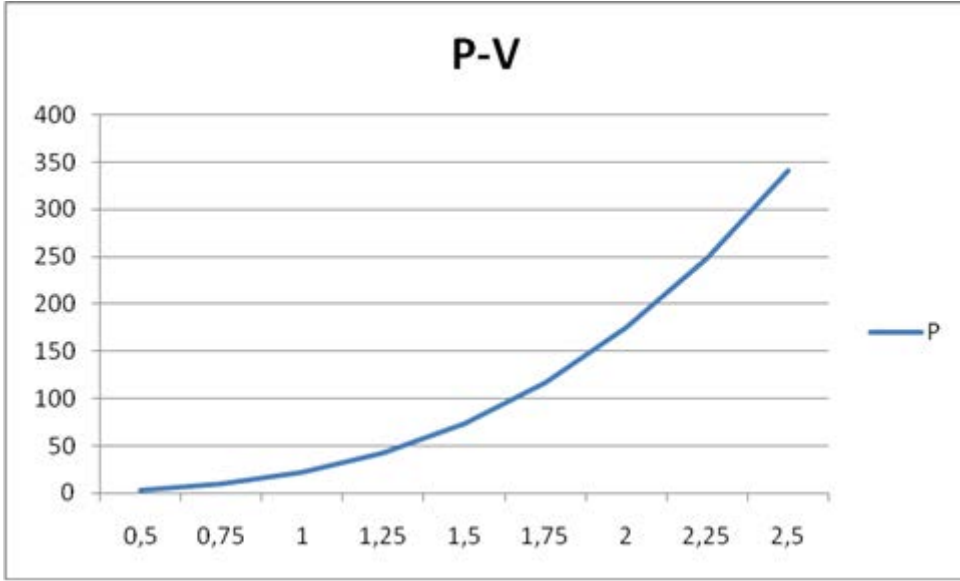
A= Süpürme Alanı

D = Çap

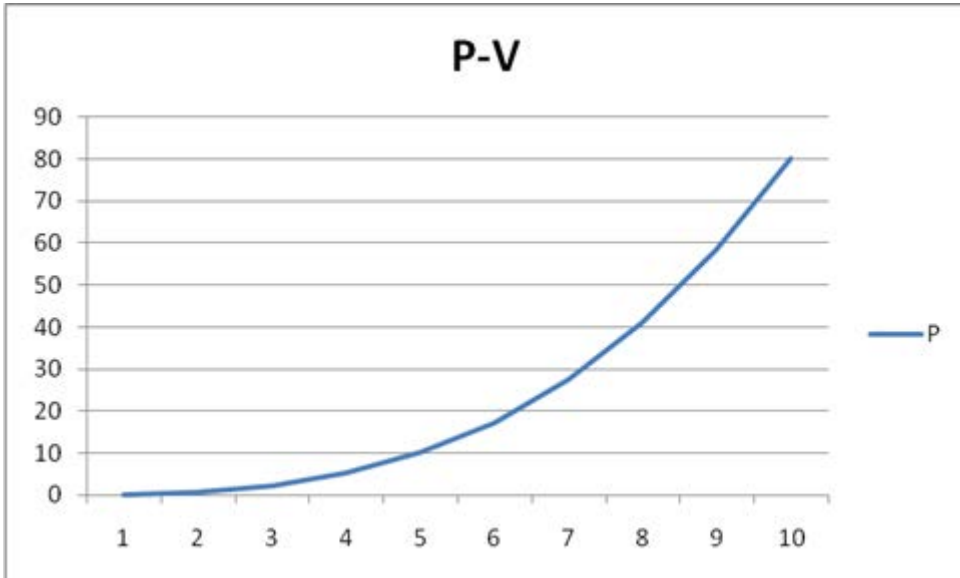
e = Mil çapı

d = Kanat çapı

Hesaplanan savonius türbinlerden beklenen hıza göre güç eğrileri oluşturulmuştur. Elde edilen eğriler watt / (m/s) cinsinden verilere göre çizilmiştir.

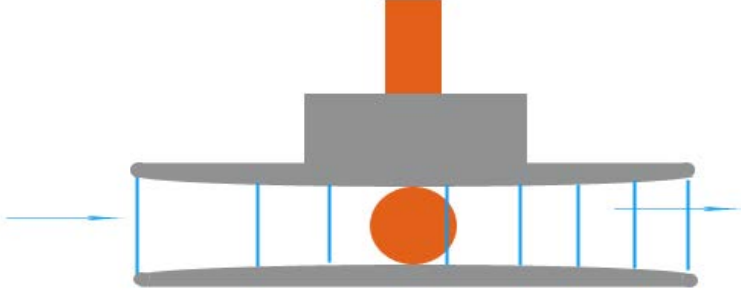


Şekil 2.7. Savonius Türbin Su için Beklenen Güç-Hız Eğrisi (W/(m/s))



Şekil 2.8. Savonius Türbin Rüzgâr için Beklenen Güç-Hız Eğrisi (W/(m/s))

Su akıntısından daha fazla yararlanabilmek için flotasyon hızlandırıcı barlar kullanılması planlanmıştır.



**Şekil 2.9.** Flotasyon Hızlandırıcı Barlar'ın Gösterimi

Bu barların hesaplanmasında aşağıdaki işlem yolu izlenmiştir. Burada suyun giriş kısmındaki kesiti “normal kesit” olarak ve suyun daraltılarak geçirildiği kesiti “büzülmüş kesit” olarak adlandırılmıştır.

$$B = \text{kanal genişliği} = 1,10 \text{ m}$$

$$h = \text{kanal yüksekliği} = 0,7 \text{ m}$$

$$\text{Normal kesit} = 1,10 \cdot 0,70 = 0,77\text{m}^2$$

$$\text{Büzülmüş kesit} = 1,10 \cdot 0,40 = 0,44\text{m}^2$$

$$\text{Normal Kesit} / \text{Büzülmüş Kesit} = 0,77 / 0,44 = 1,75$$

$$\text{Büzülmüş kesitte istenen hız} = 2,5 \text{ m/s}$$

$$\text{Normal kesitte hız} = 2,5 / 1,75 = 1,43 \text{ m/s}$$

$$V = 1,43 \text{ m/s}$$

Yukarıdaki hesaplamalar sonucunda su akıntı hızı 1,43 m/s olduğu durumda türbin üzerinden geçen akıntı hızı 2,5 m/s yani yaklaşık 5 knot olacaktır.

$k = \text{pürüzlülük katsayısı} = 100$

$A = \text{ıslak alan} = B \cdot h = 1,10 \times 0,7 = 0,77 \text{ m}^2$

$\text{Ç} = \text{ıslak çevre} = B + 2h = 1,10 + (2 \cdot 0,7) = 2,5 \text{ m}$

$R = \text{Hidrolik yarıçap} = A / \text{Ç} = 0,77 / 2,5 = 0,308$

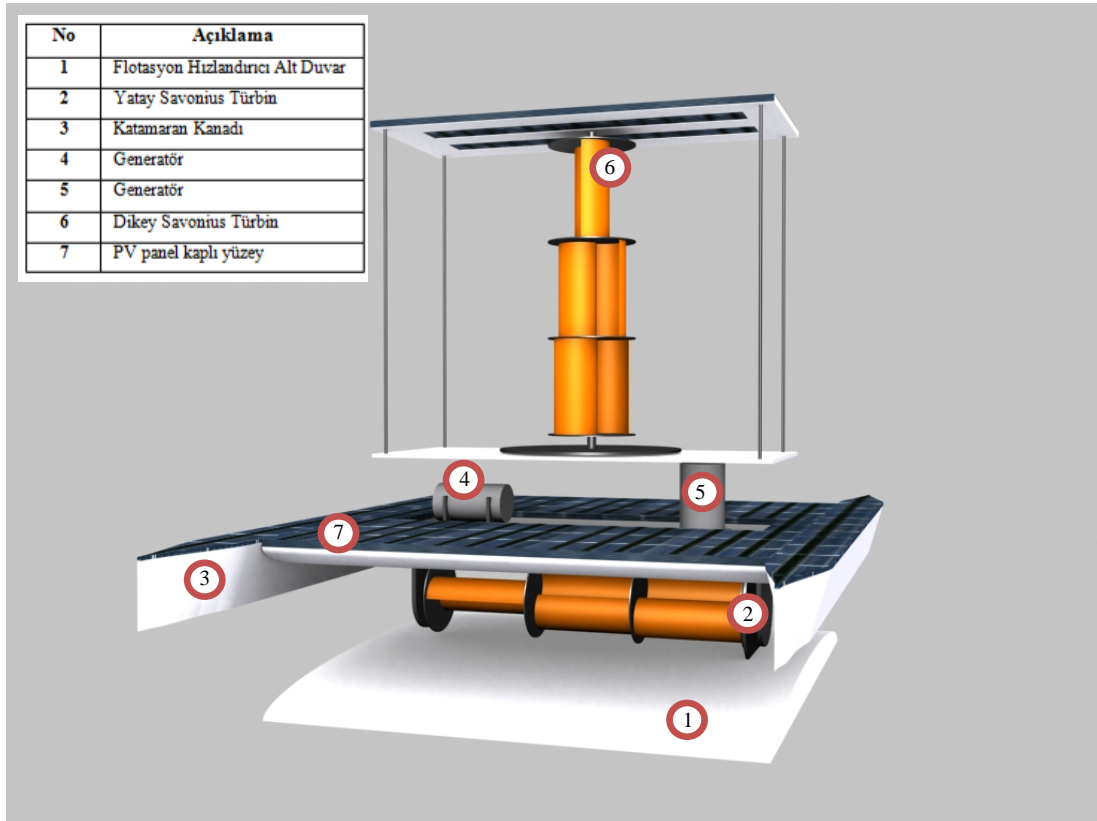
$V = \text{Hız} = k \cdot R^{2/3} \cdot s^{1/2}$

$s = \text{eğim} = 0,00098$

$Q = \text{debi} = V \cdot A = 1,43 \cdot 0,77 = 1,1 \text{ m}^3/\text{s} \approx 1 \text{ m}^3/\text{s}$

$Q = A \cdot k \cdot R^{2/3} \cdot s^{1/2}$

### 2.3 Tasarım Aşamaları



Şekil 2.10. Hibrit Platform Modellemesi



## 2.4 Sistem Bileşenleri

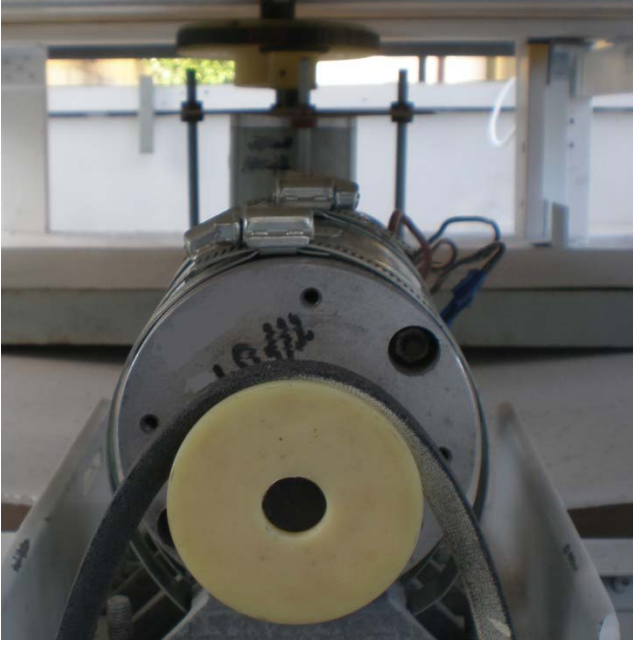
### 2.4.1 Doğru Akım Dinamoları

Rüzgâr türbinlerinde; senkron (alternatör), indüksiyon (asenkron) ve DA (şönt) tip üç değişik generatör kullanılmaktadır. Küçük güç sistemlerinde eskiden çok fazla kullanılan doğru akım generatörleri şimdi genellikle senkron veya indüksiyon generatörlerle değiştirilmektedir. Bu generatörler, çok pahalı olmayan doğrultucular yardımı ile kolayca doğru akıma dönüştürülebilen alternatif akım üretmektedir. Senkron ve asenkron generatörleri orta ve büyük güçlü sistemlerde yaygın olarak kullanılırlar [40].

Senkron generatörün doğru akım generatörüne göre avantajı veriminin yüksek olması ve bir doğru akım generatörüne göre daha düşük dönme hızında elektrik verebilme özelliğidir. Alternatif akım generatörlerinde maksimum dönme hızı ile elektrik üretimi için gerekli minimum hız arasındaki oran yüksektir. Böylece bir senkron generatörü süren bir rüzgâr türbini daha geniş rüzgâr hızı aralığında çalışabilecektir [40].



Şekil 2.12. Rüzgar Türbini ile çalışan doğru akım dinamo bağlantısı



**Şekil 2.13.** Su Türbini ile çalışan doğru akım dinamo bağlantısı

#### **2.4.2 Evirici**

İnvertörler doğru akımı, alternatif akıma çevirmek için kullanılan elektronik cihazlardır. Harici invertörler 12V veya 24V'luk bir akü bankasından aldıkları doğru akımı 220V alternatif akıma çevirmek üzere kullanılırlar.

Senkronize invertörler ise bir güneş paneli veya rüzgâr türbini çıkışına bağlanarak şebekeye enerji aktarma özelliğine sahiptirler. Eviriciler çıkış gücüne, çıkış dalga özelliklerine ve yapı tasarımlarına göre gruplara ayrılırlar. Şu anda dünyada 100Watt'tan 10 kW'a kadar farklı çıkış güçlerine sahip şebeke etkileşimli eviriciler mevcuttur.

Çıkış dalga özelliklerine göre eviriciler, kare dalga, düzeltilmiş sinüs dalga ve tam sinüs dalga olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Kare dalga ve düzeltilmiş sinüs dalga (Modified Sinüs) eviriciler daha ekonomik olmalarına rağmen lazer printer ve flüoresan lambalarda verim kaybına, müzik aletlerinde hışırtıya sebep olmaktadır. Buna karşılık tam sinüs eviriciler şebeke ile aynı kalitede hatta çoğu zaman daha yüksek kalitede çıkış verip hiçbir elektrikli aletin çalışmasında sorun çıkarmamaktadır. Şebekeye enerji aktarabilmek için tam sinüs evirici kullanılması gerekmektedir. Birçok motorlu alet ilk çalışma anında normal güç tüketiminin birkaç katı güç çektiği için kullanılan evirici

kısa süreler için bu güçte (Surge Kapasitesi/Anlık Çekim Gücü) çalışma özelliğine sahip olmalıdır.

Eviriciler ürettikleri gerilim değerini elde etme yapılarına göre transformatörlü ve transformatörsüz olarak iki gruba ayrılırlar. Transformatörlü invertörler girişlerine uygulanan düşük seviyeli DA gerilimi önce tam veya modifiye sinüs haline getirir, daha sonra da elde edilen düşük değerli AA sinyali bir transformatörden geçirerek istenilen AA gerilim seviyesine ulaştırırlar. Transformatörsüz invertörlerde ise giriş gerilim seviyesi yaklaşık olarak çıkışta istenilen gerilime yakın olmak zorundadır. Bu tür eviriciler daha hafif ve kullanışlı olmalarına rağmen, dezavantajları ise şebeke ile galvanik izolasyon sağlamazlar ve şebekeye DA bileşen enjekte ederler.

Kullanılan eviricinin verimi de bir başka önemli parametredir. Aküden aldığı enerjinin yüzde kaçını alternatif enerjiye çevirdiği verimi belirleyen unsurdur. Birçok eviricinin üzerinde akü şarj cihazının da entegre edilmiş olması sayesinde güneş panelleri ve rüzgar türbinleri veya şebeke direkt olarak akülerin şarjında kullanılır. Transfer hızlarının oldukça iyi olmasından dolayı bu sistemler UPS olarak da kullanılabilir. Bu uygulamalarda seçilen aküler uygun bir evirici vasıtası ile şebekeden şarj edilirler, elektrik kesintisi başladığı zaman otomatik veya manüel olarak devreye girerek evde veya işletmede istenilen elektrikli aletleri belirlenen sürede kesintisiz olarak çalıştırırlar [40].



**Şekil 2.14.** Evirici

### 2.4.3 Aküler

Az bakımlı tüplü sabit tesis (OPzS) aküleri, genel kurşun asitli sabit tesis akülerinin teknolojik olarak geliştirilmiş biçimidir. Kullanıcı için yüzdürme gerilimiyle çalışma sisteminde, minimum bakım ve düşük enerji maliyeti dikkate alınarak, özel şekilde tasarlanarak üretilmişlerdir. Temel özelliği, düşük antimonlu kursun alaşımı nedeniyle kendi kendine deşarj az olması dolayısıyla su kaybını büyük ölçüde azaltmış olmasıdır. Aktif maddeyi tutusu ve şarj deşarj kabiliyeti aynı seviyededir. Az bakımlı sabit tesis tüplü (OPzS) akümülatörleri; şeffaf, kutulu olarak imal edilmektedir. Kapasiteleri 150–5000 amper saat arasında olmaktadır. Bu akümülatörler aşağıda belirtilen alanlarda büyük avantaja sahiptirler[40].

Kolay montaj edilebilir ve tam şarjlı veya kuru şarjlı olarak sevk edilebilirler. Ucuz, çabuk, emniyetli ve fazla eğitim istemeyen montaj özelliğine sahiptirler. Az bakım gerektirirler. Normal yüzdürme şarjı altında 2–3 yıl veya daha fazla süre için saf su ilavesi gerektirmezler. Şeffaf plastiklerde elektrolit seviyesini gösteren min/max seviye çizgileri kutuların üzerindedir. Diğer kutular içinde bulunan hücreler için elektrolit seviye gösterge buşonları vardır. Asit sızdırmazlar ve akıtmazlar. Yapıştırarak monte edilmiş kapak ve özel şekilde yapılmış kapak buşonları sayesinde dışarıya asit sıçrama ve sızması olmaz. Uzun ömürlüdürler. 1200–1500 şarj deşarj işlemine dayanıklıdır. 10–15 yıl ve üzerinde ömürleri vardır. Bir saatten fazla deşarj zamanı isteyen bütün alanlarda, diğer tiplere göre daha ekonomiktirler[40].

VRLA aküler; Bu tip akülerin teknik özellikleri sıralanacak olursa:

- Tamamıyla kapalı, bakımsız tiptir.
- Çok geniş bir ısı yelpazesinde çalışabilir.
- Özel alçak basınçlı emniyet valfleri ile teçhiz edilmiştir.
- Tampon şarjda ya da çoklu döngü şarjda çalışmaya müsaittir.
- Tamamen oksijen rekombinasyonu ile çalıştığından gaz sızdırmazlar.

□İç direnci düşük olup, rafta beklemede kayıpları son derece düşüktür. Yatay, dikey herhangi bir pozisyonda çalıştırılabilir. Ters çevrilse bile asit sızdırmaz.

□Kullanılan özel kalsiyum alaşımlı ızgaralar uzun ömür ve yüksek performans sağlar.

□Tampon şarjda 5 yılın üzerinde, çoklu döngülü çalışmada 1000 döngünün üzerinde ömre sahiptir.

□Kullanılan özel "Glas Mat" seperatör sayesinde maksimum elektrolit ihtiva eder, yüksek performans sağlar.

□Stasyonier tip'tir.

Kullanım alanları ise, alarm sistemleri, kontrol cihazları, telefon santralleri, kablolu televizyon, haberleşme cihazları, kesintisiz güç kaynakları, yangın emniyet sistemleri, yedek aydınlatma sistemleri, tıbbi cihazlar, denizcilik donanımları, taşınabilir tv ve videolar, mikro işlemcili ofis makineleri, oyuncaklar, güneş enerji sistemleri, telekomünikasyon cihazları vb[40]

#### **2.4.4 Şarj Denetim Ünitesi**

Bu ünite ile üretilen enerjinin aküyü beslemesi ve yük besleme çıkışlarına verilmesi sağlanır. Şarj denetim ünitesi akünün nominal şarj gerilim değerleri arasında beslenmesi için devreyi açar yada kapatır.



**Şekil 2.15.** Şarj Denetim Ünitesi

#### 2.4.5 Fotovoltaik Paneller



**Şekil 2.16.** Fotovoltaik Paneller

Şekil 2.16 da görülen fotovoltaik panellerin teknik özellikleri şu şekildedir;

PMAX (WP) 90 ; MPP Gerilimi (V) 16.5 ;

MPP Akımı (A) 5.45 ; Açık Devre Gerilimi (V) 20 ; Kısa Devre Akımı (I) 6.20

#### 2.4.6 Savonius Rüzgar Türbinleri

Türbinler fiberglas kompozit malzemeden üretildi. Bu sayede hem dayanıklı hem de hafif olmaları sağlandı. Şekil 2.17' de görülen yatay savonius türbin, platform altına monte edildi. Bu türbin su altında suyun akıntısı ile dönecektir.



**Şekil 2.17.** Yatay Savonius Türbin



**Şekil 2.18.** Dikey Savonius Türbin

Şekil 2.18' de görülen dikey savonius türbin, platform üstüne monte edildi.

#### 2.4.7 Elektriksel Yük



Şekil 2.19. LED Projektör

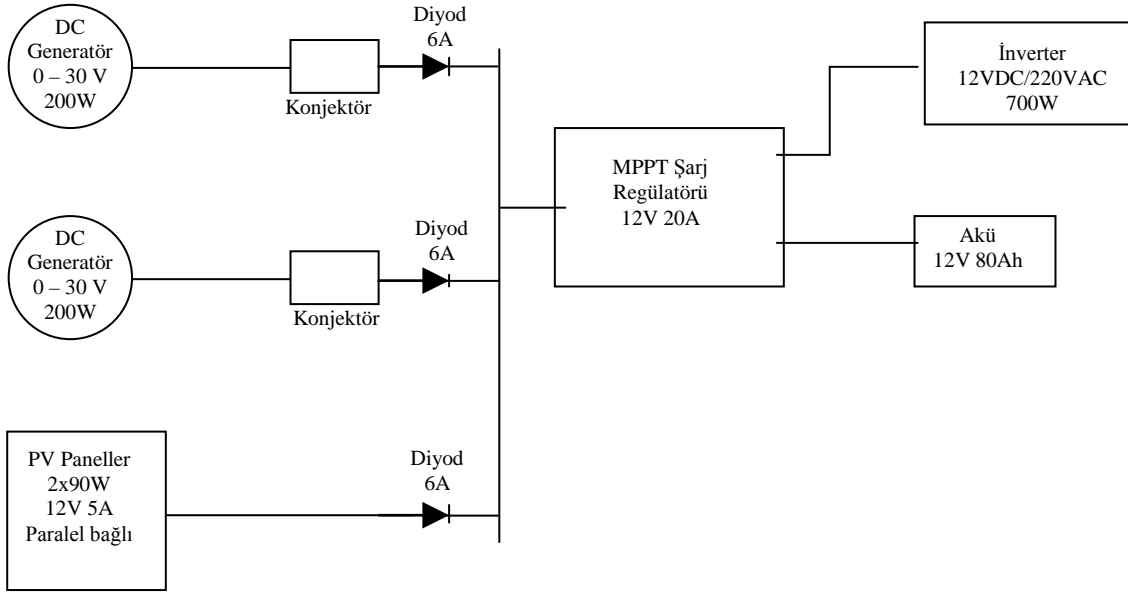
Depolanan enerjinin kullanılmasında ve ak deşarj sresinin hesaplanmasında LED projektör kullanılmıştır.

#### 2.4.8 Diğer Sistem Bileşenleri

Sistem bileşenleri dışında sisteme destek veren bu bileşenler arasında konjektrler, diyotlar, kablolama, bağlantı kesme elemanları, sigortalar, topraklama elemanları, aşırı akımdan koruma elemanları ve montaj parçaları yer alır.

#### 2.5 Elektriksel Yapı

Sistem modellemesine uygun olarak prototip yapım aşamasında sistemin enerji üretim yapısının tek hat şeması şekil 2.20'de görülmektedir. Bu yapıya göre 3 sisteminde aynı anda üretim yapması anında şarj regülatörünü korumak ve aküden geri beslenmeyi engellemek amaçlı diyot ve şarj gerilim değeri olan 14V'u geçmemesi için konjektr koruma elemanı olarak yerleştirildi.



**Şekil 2.20.** Tek Hat Şeması

## 2.6 Montaj

Platform üzerine yerleştirilen dikey savonius rüzgâr türbini, platform altına yerleştirilen yatay savonius rüzgâr türbini ve flotasyon hızlandırıcı barlar Şekil 2.21 de görülmektedir. Türbinler paslanmaz rulmanlar ile sabitlenmişlerdir.



**Şekil 2.21.** Platform üzerine yerleştirilen türbinler

Şekil 2.22 de fiberglas kompozit malzeme ile üretilen su kanalı görülmektedir. Bu kanal içerisinde oluşturulacak yapay akıntı ile doğal ortamlara yakın değerler alınmaya çalışılmıştır.



**Şekil 2.22.** Su Kanalı



**Şekil 2.23. Pano ve şarj sistemi**

MPPT şarj ünitesi, akü, inverter, konjektör, diyot ve bunların kablolanması pano yerleşimi şekil 2.23'deki gibi yapılmıştır.



**Şekil 2.24.** Platformun su kanalı içinde yerleşimi

Şekil 2.24 te platformun deney için hazırlanan su kanalı içinde yerleşimi görülmektedir. Şekil 2.25 te ise çalışma alanının genel görünümü mevcuttur.



**Şekil 2.25.** Çalışma alanı genel görünüm

## 2.7 Test Çalışmaları

Fotovoltaik panellerin ve türbinlere bağlı generatörlerin çıkış akım - gerilim bilgilerini kaydetmek amacı ile PCMCIA DAQ kart kullanıldı.



Şekil 2.26. PCMCIA DAQ Kart

DAQ kart üzerine verileri aktarmak amacı ile akım sensörü kullanıldı. Akım sensörlerinin çıkış uçları DAQ kart konnektör blok üzerinden bağlantısı sağlandı.



Şekil 2.27. Akım Sensörü

Şekil 2.28 da görüldüğü üzere akıntı elde etmek amacı ile sürücü kontrollü elektrik motoruna triger kayışı ile akuple edilen deniz motoru pervanesi kullanıldı.



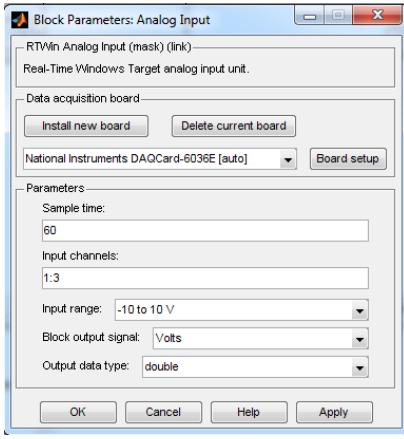
**Şekil 2.28.** Akıntı motoru

Test aşamasında kanal içerisindeki akıntıyı debimetre ile ölçtüğümüzde 1m/s lik hız ile oluşan bir akıntı mevcut idi. Bu da su içindeki türbin üzerinde oluşan akıntı hızının 1,75m/s olduğu anlamına gelmektedir.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

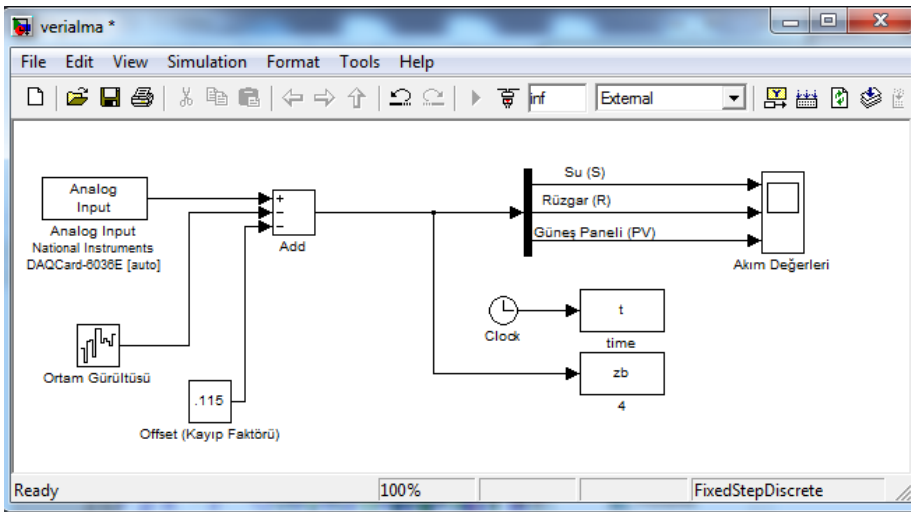
#### 3.1. Deneysel Sonuçlar

Deneysel sonuçların elde edilmesinde üretim sisteminin donanımsal platformundaki sensörlerden alınan sinyaller bir veri toplama birimi tarafından bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bu veri toplama birimi 16 kanal, 2 analog çıkış, 8 dijital giriş/çıkış ve 16 bit çözünürlüğe sahip (DAQ) kartı National Instruments marka 6036E modelidir. Bilgisayar ortamında verilerin analizinde MATLAB /Simulink platformu kullanılmıştır.



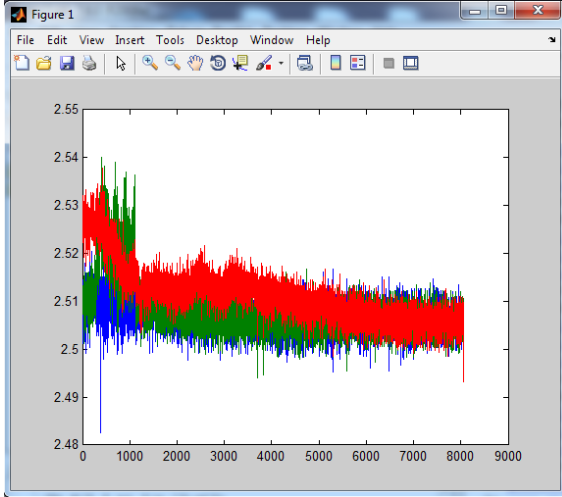
Şekil 3.1. DAQ kart konfigürasyon

Şekil 3.1 de DAQ kartına ait konfigürasyonlar görülmekte olup, örnekleme zamanı, giriş kanalları ve limitleri ayarlanabilmektedir. Ayrıca sinyal çıkış birimleri ve veri tipleri seçilebilmektedir.



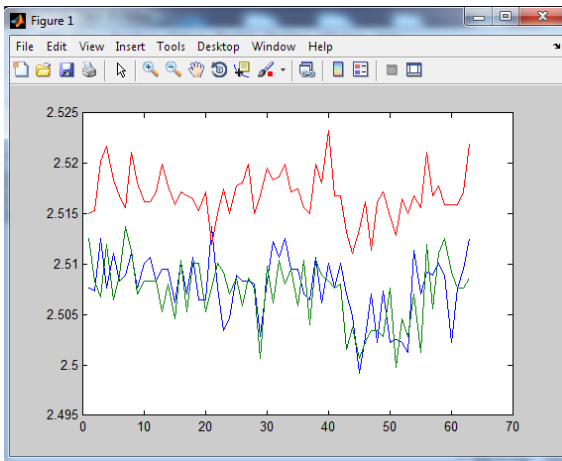
Şekil 3.2. Verialma Simulink Modeli

Şekil 3.2. de deneysel sonuçları almak amacı ile matlab simulink ortamında oluşturulan veri alma modeli görülmektedir. Deneysel platformdaki kayıpları simule etmek için sabit bir kayıp faktörü ve ortam gürültüsü hesaba katılarak değerlendirilmesi sağlanmıştır.



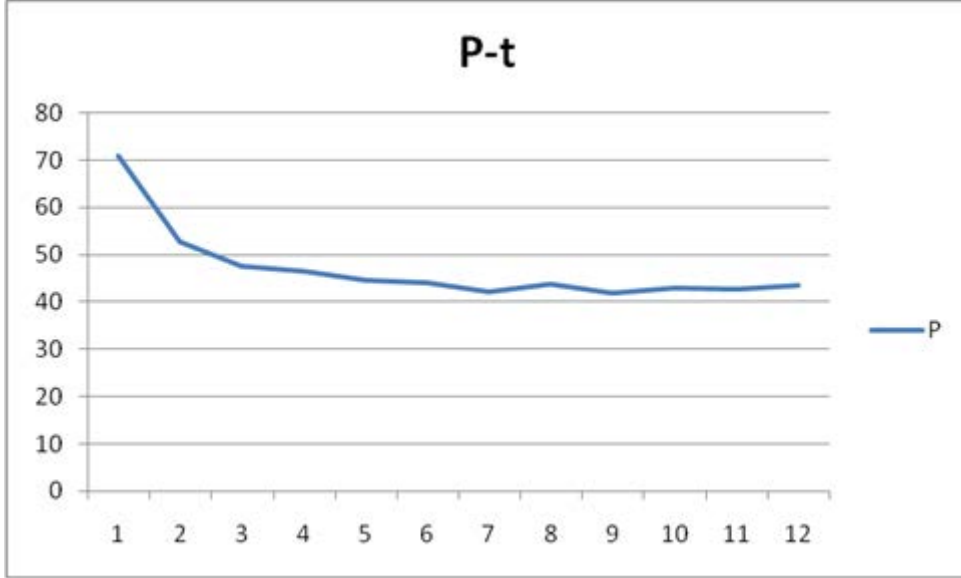
**Şekil 3.3.** Hibrit Sistemin eş zamanlı çalışma akım grafiği

Simulink modeline uygun olarak çalıştırılan sistemden alınan verilerin değerlendirilmesi Şekil 3.3. te gösterilmiştir. Burada hibrit sistemin eş zamanlı olarak üretiminde alınan akım değerleri izlenmiştir. Grafikte görülen kırmızı sinyal güneş panellerinden alınan akım değerlerini, yeşil sinyal su türbininden alınan akım değerlerini ve mavi sinyal ise rüzgar türbininden alınan akım değerlerini ifade etmektedir.



**Şekil 3.4.** Hibrit sistemin kısa zaman aralığında akım grafiği

Alınan akım gerilim değerleri değerlendirildiğinde Şekil 3.5 de elde edilen Güç-Zaman eğrisi elde edildi. Bu eğriye göre tasarımda hesaplanan güç ile elde edilen kıyaslandığında verimin %20 seviyelerinde olduğu görülmüştür.



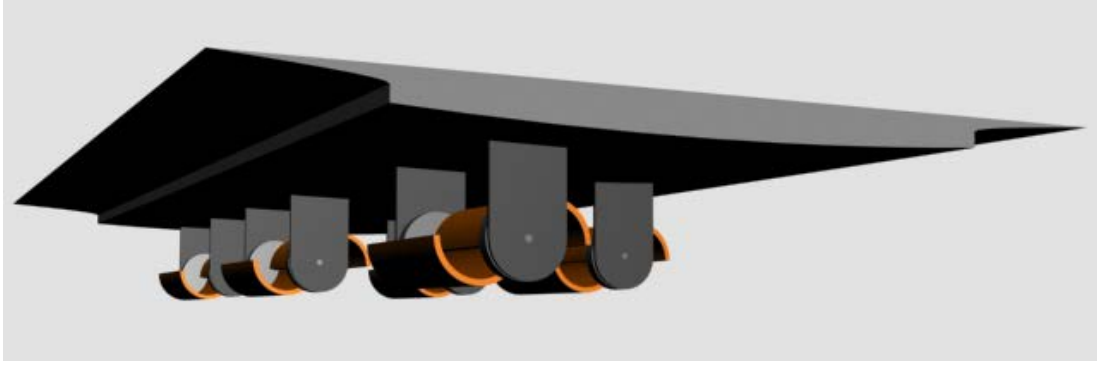
**Şekil 3.5.** Su Türbini Güç Zaman Eğrisi

Kurulan sistemde yalnız su türbini ile döndürülen generatör üzerinden 80Ah akü şarj edildiğinde %6 şarj/saat sonucuna ulaşılmıştır.

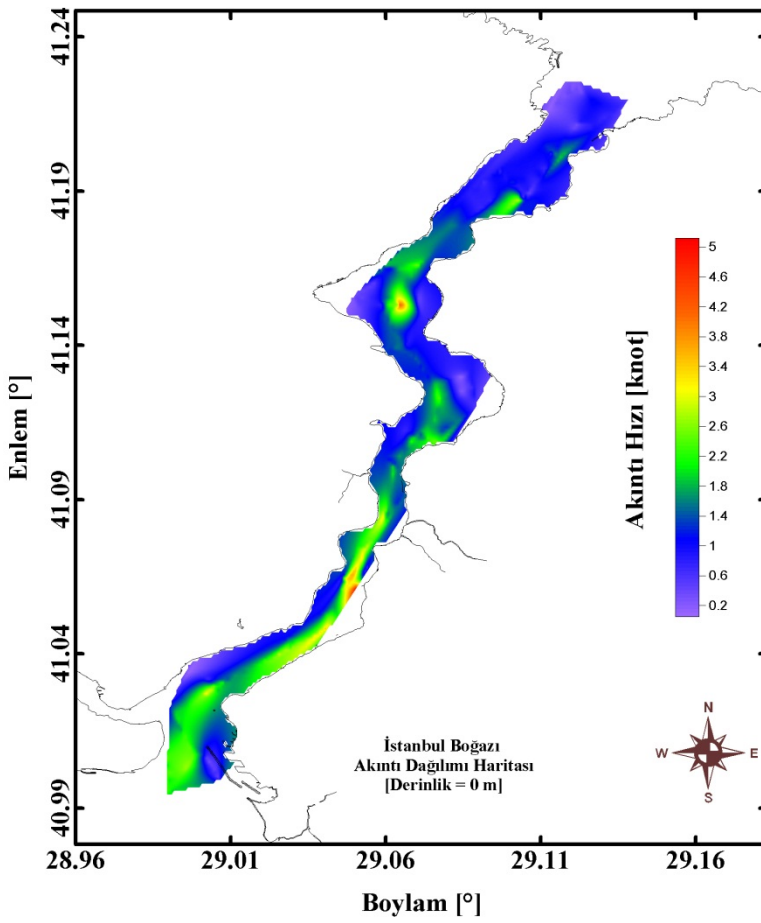
### 3.2. Tartışma ve Yorumlar

Savonius Türbinin su içinde yatay konumlandırılması ve aktarma elemanı olarak kayış kasnak sisteminin kullanılması verimin düşmesinde büyük etmen olduğu gözlemlenmiştir.

Kurulması planlanan sistem ile bir çiftlik kurulması durumunda sadece 5 adet yatay türbin ve 10 adet dikey türbinin bir platform üzerinde yerleştirilmesi ile elde edilecek enerji hesaplandığında yaklaşık 30km lik bir kıyı aydınlatmasının karşılanması söz konusudur. Bu sistem hem yer kaplamaması hem de ekolojik çevreye herhangi bir zarar vermemesi açısından desteklenmesi gereken geliştirmelerle daha iyi bir noktaya getirilmesi önerilmektedir.



Şekil 3.6. Birden fazla yatay türbinin kurulumunun gösterimi



Şekil 3.7. İstanbul Boğazı Akıntı Dağılım Haritası[57].

Bu hibrit sistemle İstanbul boğazı boyunca kıyı aydınlatması çok daha ucuz bir maliyetle sağlanabilir. 10 km uzunluğunda bir yolun aydınlatılması, 36W led armatürler kullanılıp, direkler 15 metre aralıklarla dikilirse yaklaşık olarak 2400W' lık bir enerji gerektirmekte. Bu da kıyı boyunca belli bölgelerde kurulacak ufak çiftliklerle bu enerji rahat bir şekilde sağlanabilir.

## **4. SONUÇLAR**

### **4.1. Sistemin Avantajları**

Bu sistemin avantajları:

1. Kullanılan malzemeler göz önüne alındığı zaman üretim maliyetinin ucuz olması,
2. Malzemelerin hafif ve dayanımının yüksek olması,
3. Hibrit olarak kurulması planlandığında düşük alan kaplaması,
4. Kurulacağı alandaki rüzgar, güneş ve su enerjisinden en efektif şekilde fayda alımını sağlayabilmesi,
5. Düşük bakım gerektirmesi,
6. Görsel açıdan rahatsız etmemesi,
7. Gürültü ve çevreye benzer olumsuz etkilerinin olmaması

olarak sıralanabilir.

### **4.2. Sistemin Dezavantajları**

Bu sistemin dezavantajları:

1. Aktarım elemanlarından dolayı oluşabilecek verim kayıplarının bulunması,
2. Kurulması planlanan yüzer alanda platformun sabit konumlandırılması sorunları,

olarak sıralanabilir.

### **4.3. Uygulanabilirliği**

Bu tez çalışmasında üretilen hibrit sistemden değişik sektörlerde de faydalına bilinir. Örneğin; boğaza yakın yâda akıntı debisi yüksek bir akarsu kenarına kurulan işyerinin gereksinim duyduğu elektriği, bu sistemin daha gelişmiş versiyonlarıyla sağlamak mümkündür. Günün belli zaman dilimlerinde eğer işyeri sistemin ürettiği enerjiden daha fazlasına ihtiyaç duyarsa elektrik şebekeden sağlanacak, eğer şirket, sistemin ürettiği elektriğin daha azına ihtiyaç duyarsa fazla üretilen elektrik şebekeye satılacaktır. Resmi gazetede yayınlanan 5784 no lu kanunun 2. maddesinde “Bir otoprodüktör ya da otoprodüktör grubu, bir takvim yılı içerisinde lisanslarına derç edilen yıllık ortalama

elektrik enerjisi üretim miktarının yüzde yirmisini piyasada satabilir” denmektedir [58]. Bu madde gereğince kurulacak Hibrit sistem için üretim lisansı alınmadan üretilen enerjinin % 20 si şebekeye satılabileceğinden üretimin fazla olduğu durumlarda ihtiyaç fazlası üretim şebekeye verilip üretimin düştüğü durumlarda gerekli olan güç şebekeden alınabilir. Bu sayede sistem daha verimli olarak kullanılabilir.

#### **4.4. Gelecek Çalışmalar**

Yapılan çalışmanın geliştirilmesi amacıyla yüzey akıntılarında daha yüksek verim elde etme çalışmaları yapılması gerekmektedir. Türbin dikey olarak konumlandırılacak şekilde bir çalışmanın yapılarak karşılaştırılması gereklidir.

Bu sistemin sadece mekanik açıdan geliştirilmesinin yanı sıra elektriksel açıdan yapılacak geliştirme çalışmaları ile veriminin kat ve kat artacağı faydalı bir model olarak kullanılabileceği kanaatindeyim.

Gelecek çalışmalarda temassız geçiş elemanları kullanılarak farklı çözüm noktaları sunulacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] Türkiye Taşkömürü Kurumu Genel Müdürlüğü, (2012) Taşkömürü Sektör Raporu, Mart, Zonguldak
- [2] Dünya Enerji Konseyi Türkiye Milli Komitesi, (2012) Enerji Raporu 2012, Aralık, Ankara
- [3] Dünya Enerji Konseyi Türkiye Milli Komitesi, (2012) Türkiye Enerji Verileri 2012, Ankara
- [4] Demirtaş, M. (2008) Güneş ve rüzgâr enerjisi kullanılarak şebeke ile paralel çalışabilen hibrit enerji santrali tasarımı ve uygulaması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ocak, Ankara
- [5] Akkaya, S. (2007) Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Açısından Önemi ve Bir Rüzgar Enerjisi Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 3-78.
- [6] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Güneş Enerjisi ve Teknolojileri, [http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g\\_enj\\_tekno.aspx](http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx) (12.12.2012)
- [7] Terzi, Ü.,K. (2009) Elektrik Üretimi İçin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı, Ders Notları, M.Ü.T.E.F., İstanbul.
- [8] Sayın, S. (2006) Yenilenebilir Enerjinin Ülkemiz Yapı Sektöründe Kullanımının Önemi ve Yapılarda Güneş Enerjisinden Yararlanma Olanakları, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 10-95.
- [9] Varlı, Ö.F., (2004) Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Enerji Verimliliği, YTÜ FBE Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- [10] Çelebi, G., (2002) Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fak. Der., 17 (3), 17-33.

- [11] Terzi, Ü.K.; Alkan, B. (2006) Dalga Enerjisi Sistemleri, Ekonomisi, Çevresel Etkileri Ve Ülkemiz İçin Ekonomik Açından Değerlendirmesi, Türkiye 10. Enerji Kongresi, 27-30 Kasım, İstanbul
- [12] Ertürk, F. (2006) Türkiye' nin Alternatif Enerji Üretim İmkanları ve Fırsatları, I. Ulusal Türkiye' de Enerji ve Kalkınma Sempozyumu, TESAM, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, 105-118
- [13] Çelebi, G. (2002) Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 17 (3), 17-33.
- [14] Yerebakan, M. ( 2001 ) Rüzgar Enerjisi, İTO yayınları, İstanbul
- [15] Uygun, C., Eker, K., M. (2009), “Rüzgar Enerji Santrallerinin Şebekeye Bağlanması Durumunda Enerji Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi”, Türkiye 11. Enerji Kongresi, İzmir
- [16] Kıyak, İ., Oral, B., Topuz, V. (2009) Yerleşim Bölgelerinde Rüzgar Enerjisi Kullanımının Yaygınlaştırılması : Bina Montajlı Rüzgar Türbinleri, Türkiye 11. Enerji Kongresi, 21-23 Ekim, İzmir
- [17] Şen, Ç., (2003) Gökçeada'nın Elektrik Enerjisi İhtiyacının Rüzgâr Enerjisi İle Karşılanması. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- [18] Yüksek, İ.; Esin, T. (2009) Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Yapılarda Kullanım Olanakları, 5. Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS' 09), 13-15 Mayıs, Karabük
- [19] Nurbay, N., Çınar, A., (2005) Rüzgar Türbinlerinin Çeşitleri ve Birbirleriyle Karşılaştırılması, 3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve sergisi Bildiriler Kitabı, 3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve sergisi, , 164-168
- [20] J. -L. Menet, (2004) A double-step Savonius rotor for local production of electricity: a design study, Renewable Energy, Volume 29, Issue 11, September, 1843-1862

- [21] Atılğan, M., Deda Altan B., (2004) Savonius Rüzgâr Çarklarının Performansının Geliştirilmesi ve Karşılaştırılması, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendis ve Makina , 45 (533), 30–34
- [22] Dursun, B., Gökçöl, C., Ertürk, E., (2005) GYTE Üç Katlı Savonius Rüzgâr Türbini Mekanik Tasarımı, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Rüzgar Enerjisi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu YEKSEM, 19-21 Ekim, Mersin
- [23] Kaymak, M., K.; Şahin, A.,D. (2008) İstanbul'da Konutlar için Rüzgar-Güneş Hibrit Sistemlerinden Elektrik Üretimi, İTÜ, Uçak-Uzay Bilimleri Fakültesi Meteoroloji mühendisliği Bölümü, Yeni Enerji Dergisi, Kasım-Aralık, İstanbul
- [24] Güney, İ., Terzi, Ü.K., Oğuz, Y. (2000) “Biyomas Enerjisinin İncelenmesi Ve Bir Uygulama Çalışması: İstanbul- Hekimbaşı Çöp Toplama Merkezi” , Türkiye 8. Enerji Kongresi, 8-12 Mayıs, Ankara
- [25] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Hidrojen Enerjisi, [http://www.eie.gov.tr/teknoloji/h\\_enerjisi.aspx](http://www.eie.gov.tr/teknoloji/h_enerjisi.aspx) (11.01.2013)
- [26] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Hidrojen Enerjisi, <http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=hidrojenenerjisi&bn=225&hn=225&nm=384&id=389>, (06.11.2012).
- [27] Tabakoğlu, Ö. (2007) Hidrojen Enerjisi ve Hidrojen Enerjisinin Binalarda Kullanımı, UNIDO-ICHET(Birleşmiş Milletler Sanayi Kalkınma Örgütü-Uluslararası Hidrojen Enerjisi Teknolojileri Merkezi), Enerji-Ekoloji Paneli, 27 Kasım, Diyarbakır
- [28] Terzi, Ü.K.; Altunbaş, B. (2011) Yeni Yüzyılın Favori Enerji Kaynağı Hidrojen ve Elde Etme Yöntemleri, 3e Electrotech ,2011, Mart, İstanbul
- [29] A. S. Bahaj, L. Myers (2004) Analytical estimates of the energy yield potential from the Alderney Race (Channel Islands) using marine current energy converters Renewable Energy, Volume 29, Issue 12, October, 1931-1945

- [30] Güney, İ.; Terzi, Ü.K., (1998) Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Dalga Enerjisinin Sistemleri ve Ülkemiz İçin Değerlendirilmesi, 4. Elektromekanik Sempozyumu, Mart, Bursa
- [31] Bahaj A. S., Myers L., (2004), “Analytical estimates of the energy yield potential from the Alderney Race (Channel Islands) using marine current energy converters”, Renewable Energy, Volume 29, Issue 12, October , 1931–1945
- [32] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Jeotermal, <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/jeotermal.aspx> (12.12.2012)
- [33] The International Geothermal Association (IGA), Installed Generating Capacity, [www.geothermal-energy.org/geothermal\\_energy/electricity\\_generation.html](http://www.geothermal-energy.org/geothermal_energy/electricity_generation.html) (15.01.2013)
- [34] Tidal stream turbine, <http://www.e-tidevannsenenergi.com>, (01.02.2007)
- [35] Sewave Ltd., Tunnelled Wave Energy Converter, [ec.europa.eu/research/energy/pdf/gp/gp\\_events/ocean\\_energy/1130\\_tunnelled\\_wave\\_energy\\_converter\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/gp/gp_events/ocean_energy/1130_tunnelled_wave_energy_converter_en.pdf) (05.05.2008)
- [36] Ocean Power Delivery, <http://www.oceanpd.com/>, (10.03.2007)
- [37] Ocean Power Delivery Ltd., The Pelamis Wave Energy Converter, [http://hydropower.inl.gov/hydrokinetic\\_wave/pdfs/day1/09\\_heavesurge\\_wave\\_devices.pdf](http://hydropower.inl.gov/hydrokinetic_wave/pdfs/day1/09_heavesurge_wave_devices.pdf) (12.12.2007)
- [38] Wavedragon, <http://www.wavedragon.net>, (01.02.2007)
- [39] Swingcat Tidal Turbine, [http://microhydropower.net/mhp\\_group/portegijs/humbird/humb\\_main.html](http://microhydropower.net/mhp_group/portegijs/humbird/humb_main.html) (10.10.2008)
- [40] U.K. Saha and M. Jaya Rajkumar, (2006) On the performance analysis of Savonius rotor with twisted blades, Renewable Energy, Volume 31, Issue 11, September, Pages 1776-1788

- [41] World Energy Council, “2010 Survey of Energy Resources” ,  
<http://www.worldenergy.org/publications/2010/survey-of-energy-resources-2010>  
(01.02.2013)
- [42] Bal, G., (2001) Özel Elektrik Makinaları, Nobel Yayınları, İstanbul
- [43] Özdamar A., (1999) Rüzgar Türbini Pervanesi Dizaynı Üzerine Bir Araştırma, Güneş Günü Sempozyumu 99, Kayseri, 25-27 Haziran, 151-160
- [44] Güney, İ.; Terzi, Ü.K., (1997) Ülkemiz Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi, Türkiye 7. Enerji Kongresi ODTÜ, 3-7 Kasım1997, Ankara.
- [45] Güney, İ.; Terzi, Ü.K., (1994) Rüzgar Enerjisi Teknolojileri ve Kullanımının Türkiye’deki Gelişimi, Türkiye 6. enerji Kongresi, 17-22 Ekim, İzmir.
- [46] Boduroğlu, Turgut, (1983) Elektromekanik Enerji Dönüşüm Prensipleri, İTÜ Yayınları, İstanbul
- [47] John W. Twidell, Anthony D. Weir, (1986) Renewable Energy Resources, Chapman and Hall, ISBN 0 419 12010
- [48] Volker Quaschnig, Carl Hanser Verlag, (2013) Regenerative Energiesysteme, ISBN 3-446-19369-3 , 8. aktualisierte und erweiterte Auflage 2013
- [49] Peşint, M. A., (1988) Elektrik Makinaları (Senkron Makinalar), Flaş Matbaacılık, İstanbul
- [50] Boduroğlu, Prof. Dr. Turgut, (1988) “Elektrik Makinaları Dersleri (Asenkron Makinalar)”, Beta basımevi, İstanbul
- [51] Çevre ve Orman Bakanlığı, Türkiye Çevre Atlası,  
[http://www.cedgm.gov.tr/CED/Files/cevreatlası/atlas\\_metni.pdf](http://www.cedgm.gov.tr/CED/Files/cevreatlası/atlas_metni.pdf) (09.06.2007)
- [52] Md. Nahidul Islam Khan, M. T. Iqbal, M. Hinchey, “Sea-Floor Power Generation System”, <http://necec.engr.mun.ca/ocs2007/viewpaper.php?id=11&print=1>  
(30.01.2008)

- [53] Wakui T., Tanzawa Y., Hashizume T. (2004) Hybrid Configuration of Darrieus and Savonius Rotors for Stand-alone Wind Turbine-Generator Systems, IEEJ Transactions on Power and Energy, February , Volume 124-B, 2 (259)
- [54] Ivanova, I.A., Bernhoff, H., Ågren, O., Leijon, M. (2005) Simulated generator for wave energy extraction in deep water, Ocean Engineering, Volume 32, Issues 14–15, October , 1664–1678
- [55] Nilsson, K., Segergren, E., Leijon, M., (2003) Simulation of Direct Drive Generators Designed for Underwater Vertical Axis Turbines, Presented at the Fifth European Wave Energy Conference, 17-20 September, Ireland
- [56] Demirdağ, S., “Gerilim Düşüren Dönüştürücü Tabanlı Mikrodenetleyici Destekli Bağımsız Güneş Enerji Sistemi Kontrol Kartı Tasarımı”, Gazi Üniversitesi, Ekim, 2007, Ankara
- [57] Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Daire Başkanlığı, İstanbul Boğazı Akıntı Dağılım Haritası, Aralık 2006
- [58] Elektrik Piyasası Kanunu ve Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun, Kanun No. 5784 (2008, 26 Temmuz), T.C. Resmi Gazete, 26948

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Aytaç Uğur YERDEN  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Mersin 1982  
**Yabancı Dili** : İngilizce, Almanca, İtalyanca  
**E-Posta** : aytacyerden@gmail.com

### Öğrenim Durumu

Derece	Bölüm/Program	Üniversite/Lise	Mezuniyet Yılı
Lise	Elektrik	Mersin Anadolu Meslek	2000
Üniversite	Elektrik Öğretmenliği	Marmara Üniversitesi	2006

### İş Deneyimi

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2011/2012	Altı Nokta Körler Vakfı	Yazılım Uzmanı
2013/...	Marmara Üniversitesi UZEM	Yazılım Uzmanı

Projelerde Yaptığı Görevler:

1. BAPKO – Yüzey Akıntularından Elektrik Enerjisi Üretimi - Araştırmacı
2. AB Projesi PYE176 – Bilgisayarla Görünürlük Kazanma Projesi – Yazılım Teknisyeni
3. AB Projesi PYE697 – Doğunun Yıldızları Projesi Erzurum – Web Eğitmeni