



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ENERJİ ÇEŞİTLİLİĞİ VE GÜMÜŞHANE İLİ SU
POTANSİYELİNİN HİDROELEKTRİK ENERJİ ÜRETİMİ
YÖNÜNDEN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Muhammet EROĞLU

**HAZİRAN 2011
GÜMÜŞHANE**

**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ENERJİ ÇEŞİTLİLİĞİ VE GÜMÜŞHANE İLİ SU
POTANSİYELİNİN HİDROELEKTRİK ENERJİ ÜRETİMİ
YÖNÜNDEN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammet EROĞLU

**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"İnşaat Yüksek Mühendisi"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 30/05/2011
Tezin Sözlü Savunma Tarihi: 17/06/2011**

**HAZİRAN 2011
GÜMÜŞHANE**

Doç.Dr. S.Serkan NAS danışmanlığında **Muhammet EROĞLU** tarafından hazırlanan **“ENERJİ ÇEŞİTLİLİĞİ VE GÜMÜŞHANE İLİ SU POTANSİYELİNİN HİDROELEKTRİK ENERJİ ÜRETİMİ YÖNÜNDEN İNCELENMESİ”** adlı çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği / oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. S.Serkan NAS



Üye (Danışman) : Doç. Dr. S.Serkan NAS



Üye : Yrd. Doç. Dr. Egemen ARAS



Üye : Yrd. Doç. Dr. Kemal KUVVET



ONAY

Bu tez.../.../... tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Temel BAYRAK
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ENERJİ ÇEŞİTLİLİĞİ VE GÜMÜŞHANE İLİ SU POTANSİYELİNİN
HİDROELEKTRİK ENERJİ ÜRETİMİ YÖNÜNDEN İNCELENMESİ**

Muhammet EROĞLU

Gümüşhane Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. S.Serkan NAS

2011, 104 sayfa

Jüri: Doç. Dr. S.Serkan NAS
Jüri: Yrd. Doç. Dr. Egemen ARAS
Jüri: Yrd. Doç. Dr. Kemal KUVVET

Bu araştırmada, enerji kaynakları hakkında bilgi verilmiş, Gümüşhane ili su potansiyelinin üretebilecek elektrik enerjisinin potansiyel-ihtiyaç değişimi ayrıntılı olarak belirtilmiştir. Gümüşhane ilindeki derelerin çeşitli kurumlardan alınan bilgiler ve

yaptığımız çalışmalarda elde ettiğimiz kot ve debi değerleri incelenerek enerji potansiyelleri üzerinde çalışma yapılmıştır.

Birinci bölümde; Enerji kaynakları ve Türkiye'nin potansiyel gelişimi genel olarak incelenmiştir.

İkinci bölümde; Gümüşhane ilindeki mevcut su potansiyelinin hidrolik ve hidrolojik özellikleri üzerinde araştırmalar yapılmış olup daha sonra elde edilen verilerden bu ilin akarsularının hidroelektrik potansiyelleri hesaplanmıştır.

Üçüncü bölümde; Gümüşhane ilinin bir önceki bölümde hesaplanmış olan akarsuların brüt hidroelektrik potansiyelleri ile bulunan toplam potansiyelin değişik oranlarda kullanılabilmesi halinde ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin karşılanabilirliği araştırılmıştır.

Dördüncü ve sonraki bölümde; yapılan çalışmaların sonuçları özetlenerek ileride alınması gereken önlemler konusunda bilimsel yaklaşımlar sunulmuştur. Gümüşhane ilinde brüt potansiyelin % 20-% 30 arasındaki oranlarda kullanıldığında kendi ihtiyaçlarını karşılamaktadır.

Türkiye gelişmekte olan bir ülke ve ihtiyaç duydukları büyük miktardaki enerjiyi kendi öz kaynaklarından sağlamanın önemi vurgulanmaya çalışılarak, fosil ve yenilebilir enerji kaynaklarının kullanımının ülkemizin enerji politikasını belirlemede teşkil ettiği önem üzerinde durulmuştur. Kullanılmakta olan konvansiyonel enerji kaynaklarının toplumsal maliyetlerine değinilip, yenilebilir kaynaklar da çeşitli yönleriyle değerlendirilmeye alınması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Enerji kaynakları, Gümüşhane havzası, Hidroelektrik enerji, Su potansiyeli

ABSTRACT
MS THESIS

**HYDROELECTRIC ENERGY PRODUCTION POTENTIAL ENERGY OF
WATER IN DIVERSITY AND GUMUSHANE INVESTIGATION**

Muhammet EROĞLU

Gümüşhane University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. S.Serkan NAS

2011, 104 pages

Jury: Assoc. Prof. Dr. S.Serkan NAS

Jury: Asst. Prof. Dr. Egemen ARAS

Jury: Asst. Prof. Dr. Kemal KUVVET

This research provides information on energy resources, water potential of the province of Gumushane-needed change in the potential of producing electrical energy expressed in detail. Streams of information received from various institutions in the

province of Gumushane and jeans and flow values obtained in our study by examining the work has been done on the potential energy.

In the first section, the Energy resources and potential development of Turkey in general are examined.

The second section, in the province of Gumushane hydraulic and hydrologic characteristics of the existing research on the potential of water is then obtained from the data that has been hydro-electric potential of rivers in this province were calculated.

The third section, calculated in the previous section of the rivers in the province of Gumushane with gross hydroelectric potential of the total electrical energy needed in case of potential use in different proportions were investigated affordability.

The fourth and the next section, the results of the studies summarized in the scientific approaches to be taken in the future are presented. Gross potential in the province of Gumushane 20% - 30% between the proportions used to meet their own needs.

Turkey is a developing country and they need to emphasize the importance of providing large amounts of energy by working in their own resources, the use of fossil and renewable energy sources that constitute important in determining our country's energy policy are emphasized. Değinilip social costs of conventional energy sources in use, the various aspects of renewable resources need to be evaluated.

Key Words: Energy sources, Gümüşhane basin, Hydroelectric energy, Water potential

TEŞEKKÜR

Yapılan yüksek lisans tezi çalışmasında Gümüşhane İlindeki Harşit ve Kelkit Çaylarının hidroelektrik enerji potansiyelleri analiz edilmiştir, bu analizler yapılırken akım gözlem istasyonu olan akarsuların hız ve debi değerleri bölgedeki Devlet Su İşlerinden alınmıştır. Gözlem istasyonu olmayan akarsuların hız ve debi değerleri çeşitli yöntemlerle tahmin edilmiştir.

Bu çalışmada Gümüşhane ilindeki Harşit ve Kelkit Çayının su potansiyelleri incelenmiş ve bu akarsuların ülkemiz elektrik ihtiyacının karşılanmasında yapabileceği katkının önemi vurgulanmıştır.

Çalışmalarım süresince benden desteğini esirgemeyen hidrolik anabilim dalı başta olmak üzere değerli hocalarıma ve gerek ders aşamasında, gerekse tez çalışmasını hazırlarken bana her konuda yardımcı olan her türlü desteği veren danışman hocam Doç.Dr. S.Serkan NAS'a teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin hazırlanması aşamasında manevi desteğini esirgemeyen aileme ve eşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Muhammet EROĞLU

Haziran 2011

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa No:

KABUL VE ONAY	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
TABLolar LİSTESİ	xii
SİMGELER LİSTESİ	xiv
KISALTMALAR LİSTESİ	xv
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Enerji Kaynakları	3
1.2.1.Enerjide Sahip Olduklarımız ve Enerji Tüketimimiz.....	3
1.2.2. Enerji Tüketim Miktarı ve Talep Tahmin Projeksiyonu.....	6
1.3. Termik Enerji.....	7
1.3.1. Termik Santralde Temel Sistemler-Çevrimler ve Elemanlar.....	8
1.3.2. Termik Enerjinin Türkiye’deki Potansiyeli.....	10
1.4. Nükleer Enerji.....	11
1.4.1. Nükleer Enerjinin Kullanım Alanları.....	12
1.4.2. Nükleer Santrallerin Yapısı ve İşleyişi.....	13
1.4.2.1. Termal (Ilık) Reaktör.....	13
1.4.2.2. Basıncılı Su Reaktörü.....	13
1.4.2.3. Kaynar Su Reaktörü.....	14
1.4.2.4. Ağır Su Reaktörü.....	14
1.4.2.5. Grafit Reaktörü.....	14
1.4.2.6. Epitermal (Sıcak) Reaktörler.....	15
1.4.2.7. Hızlı Reaktörler.....	15
1.4.3. Türkiye’de Nükleer Enerjideki Durum.....	15
1.4.4. Dünyada Nükleer Enerji Kullanımı ve Küresel Stratejiler.....	16
1.4.5. Nükleer Atıklar.....	20
1.5. Jeotermal Enerji.....	21
1.5.1. Elektrik Üretimi ve Diğer Kullanım Alanları.....	22
1.5.2. Jeotermal Enerjinin Türkiye’deki Potansiyeli.....	26
1.6. Güneş Enerjisi.....	27
1.6.1. Güneş Enerji Sistemleri.....	28
1.6.1.1. Termodinamik Sistemler.....	28
1.6.1.2. Fotovoltaik Sistemler.....	28
1.6.2. Güneş Enerjisinin Türkiye’deki Potansiyeli.....	29
1.7. Rüzgâr Enerjisi.....	30
1.7.1. Rüzgâr Türbinleri.....	31
1.7.1.1. Yatay Eksenli Sistemler.....	31
1.7.1.2. Dikey Eksenli Sistemler.....	32
1.7.1.3. Eğik Eksenli Sistemler.....	33
1.7.2. Rüzgâr Enerjisinin Türkiye’deki Potansiyeli.....	33
1.8. Hidrojen Enerjisi.....	34
1.8.1. Hidrojen Gazı ve Kimyasal Özellikleri.....	36
1.8.2. Hidrojenin Üretimi ve Kullanılan Yöntemler.....	38

1.8.2.1. Fosil Yakıt ve Biokütleden Hidrojen Üretimi.....	39
1.8.2.2. Nükleer Isı ve Alternatif Enerji Kaynaklarından Hidrojen Üretimi.....	40
1.8.2. Hidrojenin Depolama Sistemleri.....	41
1.8.3. Türkiye’deki Hidrojen Çalışmaları.....	42
1.9. Biyokütle Enerjisi.....	43
1.9.1. Biyokütle Çevrim Teknolojileri.....	44
1.9.2. Biyokütleden Enerji Üretim Teknolojileri.....	44
1.9.2.1. Fiziksel Prosesler.....	44
1.9.2.2. Biyolojik ve Kimyasal Prosesler.....	45
1.9.2.3. Termokimyasal Prosesler.....	47
1.9.3. Biyokütle Enerjisinin Türkiye’deki Potansiyeli.....	49
1.10. Dalga Enerjisi.....	51
1.10.1. Dalga Enerjisi Üretim Sistemleri.....	51
1.10.1.1. Kıyı Şeridi (Shoreline) Uygulamaları.....	52
1.10.1.2. Kıyıya Yakın (Near Shore) Uygulamalar.....	54
1.10.1.3. Kıyıdan Uzak (Offshore) Uygulamalar.....	56
1.10.2. Dalga Enerjisinin Türkiye’deki Potansiyeli.....	58
1.11. Hidroelektrik Enerji.....	60
1.11.1. Hidroelektrik Santrallerin Sınıflandırılması.....	62
1.11.1.1. Kapasitelerine göre.....	62
1.11.1.2. Düşülerine Göre.....	63
1.11.1.3. Ürettikleri Enerjinin Karakter ve Değerine Göre.....	64
1.11.1.4. Yapılışlarına Göre.....	64
1.11.1.5. Üzerinde Kuruldukları Suyun Özelliklerine Göre.....	64
1.11.2. Hidroelektrik Santrallerde Kullanılan Türbin Çeşitleri.....	67
1.11.2.1. Pelton Türbini.....	67
1.11.2.2. Turgo Türbini.....	68
1.11.2.3. Banki (Michell-Ossberger) Türbini.....	69
1.11.2.4. Francis Türbini.....	71
1.11.2.5. Kaplan Türbini.....	72
1.11.3. Türbin Seçimi.....	74
1.11.4. Su Kuvveti Tesisinin Yapı Elemanları.....	74
1.11.4.1. Derleme ve Su Alma Yapıları.....	74
1.11.4.2. İletim Yapıları.....	75
1.11.4.3. Yükleme Odası ve Denge Bacası.....	76
1.11.4.4. Vanalar ve Vana Odası.....	77
1.11.4.5. Cebri borular.....	78
1.11.4.6 Santral.....	79
1.11.4.7. Kuyruk Suyu Kanalı ve Eşiği.....	79
1.11.5. Hidroelektrik Enerjinin Avantajları ve Dezavantajları.....	79
1.11.5.1. Avantajları.....	79
1.11.5.2. Dezavantajları.....	80
1.11.6. Türkiye’nin Hidroelektrik Potansiyeli ve Dünyadaki Yeri.....	81
2. YAPILAN ÇALIŞMA.....	83
2.1. Çalışmanın Yapıldığı Alanın Tanıtılması.....	83
2.2. Hidroelektrik Enerji Potansiyeli Hesaplama Yöntemi.....	84
2.3. Gümüşhane İlinin Hidroelektrik Potansiyeli.....	85
2.3.1. Genel Bilgiler.....	85

Sayfa No:

2.3.2. Gümüşhane İlindeki Yüzeysel Su Kaynaklarının Brüt Hidroelektrik Potansiyel Değerleri.....	86
3. BULGULAR.....	87
4. İRDELEME.....	94
5. SONUÇLAR.....	97
6. ÖNERİLER.....	99
KAYNAKLAR.....	101
ÖZGEÇMİŞ.....	105

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No:</u>
Şekil 1. Tipik bir termik enerji santral krokisi	8
Şekil 2. Yıllar itibarıyla Türkiye ham petrol üretimi.....	10
Şekil 3. Yıllar itibarıyla Türkiye doğalgaz üretimi.....	11
Şekil 4. Dünyadaki nükleer santral dağılımı.....	17
Şekil 5. Nükleer gücün tarihsel gelişimi.....	19
Şekil 6. 2020 yılı için yapılan kurulu nükleer elektrik üretim kapasitesi.....	20
Şekil 7. Jeotermal sistem kaynağı.....	22
Şekil 8. Tipik bir entegre jeotermal değerlendirme sistemi	24
Şekil 9. Kuru buhar santrali.....	25
Şekil 10. Flash buhar santrali.....	25
Şekil 11. Çift çevrim (binary cycle) santrali.....	26
Şekil 12. Türkiye'deki mevcut jeotermal enerji uygulamalarının dağılımı.....	26
Şekil 13. Tipik bir yatay eksenli rüzgar enerji sistemi.....	32
Şekil 14. Tipik bir dikey eksenli rüzgar enerji sistemi.....	33
Şekil 15. Türkiye rüzgar enerji potansiyel atlası(REPA).....	34
Şekil 16. Tipik bir hidrojen enerji sistemi.....	36
Şekil 17. Hidrojen üretim kaynakları.....	37
Şekil 18. Hidrojen tüketim alanları.....	39
Şekil 19. Dalga enerjisi için mevcut sistemler ve işlemler.....	52
Şekil 20. Dalga gücü seviyesinin dünyadaki dağılımı.....	52
Şekil 21. Tipik bir salımlı su kolonu (OWC) sistemi.....	53
Şekil 22. Tipik bir daralan kanal (TAPCHAN) sistemi.....	54
Şekil 23. Tipik bir Pendular sistemi.....	54
Şekil 24. Tipik bir OSPREY sistemi.....	55
Şekil 25. Tipik bir WOSP3500 sistemi.....	55
Şekil 26. Tipik bir Mc Cobe dalga pompası.....	56
Şekil 27. Tipik bir OPT WEC sistemi.....	57
Şekil 28. Tipik bir pelamis sistemi.....	58
Şekil 29. Tipik bir archimedes dalga sistemi.....	58
Şekil 30. Hidrolik çevrim.....	61
Şekil 31. Tipik bir hidroelektrik sistemin çalışması.....	61
Şekil 32. Tipik bir nehir santral şeması.....	65
Şekil 33. Tipik bir kanal tipi santralin çalışma prensibi.....	66
Şekil 34. Tipik bir baraj tipi santralin çalışma prensibi.....	66
Şekil 35. Tipik bir pompaj tipi santralin çalışma prensibi.....	67
Şekil 36. Pelton türbin şekli ve çalışma prensibi	68
Şekil 37. Tipik bir turgo türbini.....	69
Şekil 38. Banki-Michell Ossberger su türbinin genel görüntüsü.....	70
Şekil 39. Banki türbininden suyun çarkta iki kez geçmesi.....	70
Şekil 40. Dikey eksenli Francis türbini.....	71
Şekil 41. Tipik bir kaplan türbin çarkı ve çalışma prensibi.....	72
Şekil 42. Debi ve düşü değerlerine göre kullanılacak türbin çeşitleri (50KW-2000MW)	73
Şekil 43. Debi ve düşü değerlerine göre kullanılacak türbin çeşitleri (10 KW-10 MW)	74
Şekil 44. Çalışma yapılan alan.....	83

Sayfa No:

Şekil 45. Gümüşhane ilinin 2010 yılı elektrik tüketiminin abonelere göre dağılımı.....	88
Şekil 46. Gümüşhane elektrik tüketiminin yıllara göre dağılımı.....	89
Şekil 47. Gümüşhane brüt hidroelektrik potansiyeli-yıl ilişkisi (% 5'in kullanılması hali)	90
Şekil 48. Gümüşhane brüt hidroelektrik potansiyeli-yıl ilişkisi (% 10'un kullanılması hali).....	91
Şekil 49. Gümüşhane brüt hidroelektrik potansiyeli-yıl ilişkisi (% 20'nin kullanılması hali).....	91
Şekil 50. Gümüşhane brüt hidroelektrik potansiyeli-yıl ilişkisi (% 40'in kullanılması hali)	92
Şekil 51. Gümüşhane brüt hidroelektrik potansiyeli-yıl ilişkisi (% 60'in kullanılması hali).....	92

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa No:
Tablo 1. Enerji kaynakları ve ispatlanmış rezervler.....	4
Tablo 2. Enerji tüketim miktarı ve talep tahmin izdüşümü.....	7
Tablo 3. Dünyada nükleer enerji dağılımı.....	17
Tablo 4. Jeotermal akışkanın sıcaklığına göre kullanılma yerleri.....	23
Tablo 5. Aylara göre Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi.....	29
Tablo 6. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerji potansiyelinin bölgelere göre dağılımı	30
Tablo 7. Hidrojenin bazı özellikleri.....	38
Tablo 8. Biyokütle çevrim teknolojileri.....	43
Tablo 9. Bölgesel ortalama dalga yoğunlukları.....	59
Tablo 10. Enerji kaynaklarının elektrik üretiminde yatırım ve birim maliyetleri.....	80
Tablo 11. Dünya ve Türkiye'de hidroelektrik potansiyel.....	82
Tablo 12. Gümüşhane su kaynakları potansiyeli.....	85
Tablo 13. Gümüşhane ilinin brüt hidroelektrik potansiyeli.....	86
Tablo 14. Gümüşhane ilinin yıllara göre kullanılan elektrik enerjisi miktarı.....	87
Tablo 15. Gümüşhane ilinin elektrik sarfiyatının yıllara göre dağılımı.....	93
Tablo 16. Türkiye'de havzalara göre yıllık akış ve brüt hidroelektrik potansiyeli.....	95

SİMGELER LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
CP	Güç katsayısı (verim)
C	Taranan birim alan başına rüzgâr santral grubunun yatırım maliyeti (cent/KWh)
D	Hava yoğunluğu (kg/m^3)
E	Taranan rotor alanı başına yıllık enerji çıktısı (cent/kWh)
$E_{\text{brüt}}$	Su kaynağının brüt enerjisi (kWh)
G	Elde edilen elektriğin birim maliyeti (cent/KWh)
H	Kot farkı (m)
H_0	Tünelde iç basıncı oluşturan su yüksekliği (m)
H_{ort}	Havzanın ortalama kotu (m)
n	Amortisman süresi
N	Güç (tm/sn)
$N_{\text{brüt}}$	Su kaynağının brüt gücü (KW)
O	Birim enerji çıktısı başına rüzgâr santrali işletme ve bakım maliyeti (cent/KWh)
P	Güç çıktısı (Watt/m^2)
R	Kapital geri ödeme faktörü
R	Geri dönüş oranı
Q	Debi (m^3/sn)
Q_{ort}	Su kaynağının ortalama debisi (m^3/sn)
V	Rüzgâr hızı (m/sn)
δ_{jen}	Jeneratörde enerji kaybı oranı
δ_{trans}	Transformatörde enerji kaybı oranı
$\delta_{\text{tür}}$	Türbinde enerji kaybı oranı
γ	Suyun birim hacim ağırlığı (t/m^3)

KISATMALAR LİSTESİ

Kısaltmalar	Açıklama
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
Btep	Bin Ton Petrol Eşdeğeri
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri
DSİ	Devlet Su İşleri
EİE	Elektrik İşleri Etüt
Kg	Kilogram
KW	Kilowatt
KWh	Kilowatt saat
GW	Gigawatt
GWh	Gigawatt saat
Mtep	Milyar ton petrol eşdeğeri
MW	Megawatt
MWh	Megawatt saat
PİGM	Petrol İşleri Genel Müdürlüğü
POAŞ	Petrol Ofisi Anonim Şirketi
REPA	Rüzgar eşdeğer potansiyel atlası
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TPAO	Türkiye Petrol Anonim Ortaklığı
TEK	Türkiye Enerji Kurumu
TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
TW	Terawatt
TWh	Terawatt saat
UEA	Uluslararası Enerji Ajansı
°C	Santigrat derece
H	Hidrojen
O	Oksijen
N	Azot
cm	Santimetre
m	metre
km	kilometre
gr	gram
t	ton
kg	kilogram
h	saat
s	saniye
L	litre
J	joule
CO ₂	Karbondioksit

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Enerji, özellikle de elektrik enerjisi, ekonomik ve sosyal hayatın, sanayileşmenin en önemli önceliğine sahiptir. Enerjisiz bir yaşam günümüz koşullarında neredeyse mümkün değildir. Dünyada nüfus artışı, kentleşme, sanayileşme olguları, küreselleşme sonucu gelişen teknoloji ve artan enerji açığı bütün ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de yeni enerji kaynakları üzerinde daha fazla düşünülmesini ve hızlı bir şekilde alternatiflerin üretilmesini gerekli hale getirmiştir. Elektrik enerjisi kullanım kolaylığı, istenildiği anda diğer enerji türlerine dönüştürülebilmesi, günlük hayattaki kullanılabilirliği ile günümüzde vazgeçilmez ihtiyaç maddesi haline gelmiştir [1].

Yılda kişi başına tüketilen enerji miktarı ülkelerin gelişmişlik durumunun saptanmasında birinci sırada kabul edilen bir ölçüt olmuştur. Her şeye rağmen büyümek zorunda olan ve kişi başına tüketilen yıllık enerji miktarı dünya ortalamasının çok altında olan ülkemiz, enerji krizini son yıllarda sürekli olarak yaşamaktadır. Türkiye'nin hızlı nüfus artışı ve sanayileşmesine paralel olarak enerjiye olan gereksinimi artırmakta olup, gelecek yirmi yılda üretimin tüketimi karşılayamayacağı düşünülmektedir. Buna karşılık var olan enerji üretimimizin büyük bir bölümü dışa bağımlı olup, fosil yakıtlardan sağlanmaktadır (URL-1, 2011).

Uluslararası Enerji Ajansı (UEA) tarafından yapılan tahminler, mevcut enerji politikaları ve enerji arzı tercihlerinin devam etmesi durumunda dünya birincil enerji talebinin 2010-2035 arasındaki dönemde % 36 oranında artacağına işaret etmektedir. Mevcut politikalarla devam senaryosu olarak adlandırılan ve yıllık ortalama % 1,2 düzeyinde talep artışına karşılık gelen bu durumda, dünya birincil enerji talebi 2010'daki 12,3 milyar ton petrol eşdeğeri (tep) düzeyinden 2035 yılında 16,7 milyar tep düzeyine ulaşacaktır. Fosil yakıtlar, 2010 ve 2035 arasındaki dönemde birincil enerji talebinde hâkim kaynaklar olmaya devam edecektir [1].

Dünya ekonomisinde küreselleşmenin ilk sonuçları olarak, dünya çapında (global) ve ulusal düzeyde ülkelerin enerji talepleri gün geçtikçe artmakta olup,

enerjide arama, üretim, kaynak geliştirme çalışmalarında amaca ulaşmak için uluslararası yatırım ve teknoloji transferinde dünya enerji ticaretinde büyüme görülmektedir. Enerji verimliliğinin artırılması, kesintisiz, güvenilir, ucuz, temiz ve çeşitlendirilmiş kaynaklardan sağlayabilmek ve verimli kullanmak önemlidir. Çevre konularında tüm dünyada duyarlılık artmıştır. Son dönemlerde gerek gelişmiş gerekse gelişmekte olan ülkelerde tasarruf, çevre, arz güvenliği ve sürdürülebilir enerji kavramlarının yanı sıra özelleştirme ve yeniden yapılanma enerji sektörünün gündemine ağırlıklı olarak girmektedir. Ülke politikalarında hemen hemen enerji en önemli potansiyeli belirlemektedir. Bir noktada bir ülkenin bağımsızlığı artık kendi enerjisini karşılayabilme potansiyeli ile belirlenmektedir. Enerji olmadan endüstri, endüstri olmadan refah ve mutlu toplum veya bağımsızlığını koruyabilme yeteneği olmayacağı için enerjisiz bir ülke siyaseti düşünülemez. Politikalar özel girişimcinin yatırımlara katkısını artırıcı ve uluslararası rekabeti sağlayıcı yönde formüle edilmelidir [1], (URL-1, 2011).

2001 yılından bu yana Türkiye enerji sektörü, sektörün serbestleştirilmesini hedefleyen reform çapında çok ciddi bir yeniden yapılanma sürecinden geçmektedir. Piyasalara ilişkin yasalar çıkartılmış, ilgili ikincil mevzuat düzenlemeleri büyük ölçüde tamamlanmıştır. Böylece, rekabetçi ve şeffaf bir enerji piyasası için atılabilecek adımların önemli bir bölümü atılmış bulunmaktadır.

Türk enerji politikası bugün yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi ve enerjinin üretimden tüketime kadar her safhasında verimliliğin artırılmasına önem ve öncelik veren, enerji kaynağı ve ithalatta kaynak ülke çeşitlenmesini ön plana çıkartan, 'enerji koridoru' rolüne özel bir vurgu yapan ve olmazsa olmaz olarak piyasa serbestleştirilmesinin altını çizen bir tutumu yansıtmaktadır.

Bölgeyle ilgili geliştirilen tüm uluslararası projelerde belirleyici bir tutumla rol alan Türkiye, kendisini enerji alanında bir aktör olarak kabul ettirmiş durumdadır. Özellikle petrol ve doğalgazın kaynak ülkelerden kaynakları yetersiz ithalata bağımlı Batılı ülkelere taşınmasını hedefleyen boru hattı projeleri, karşılıklı bağımlılığa da vurgu yapan bugünkü Türk dış politikasında destek bulduğu kadar ona destek de vermektedir.

1.2. Enerji Kaynakları

Günümüz dünyasında tüketilen enerjinin çok büyük bir bölümü; kömür, petrol ve doğal gaz gibi karbon esaslı (bazlı) enerji kaynakları ile karşılanmaktadır. Geriye kalan kısmında; nükleer enerji, hidroelektrik enerji, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, termik enerji, jeotermal enerji, hidrojen enerjisi, dalga enerjisi ve biyokütle enerjisi kaynakları karşılanmaktadır. Enerji bütçelerinin ağırlıkla fosil yakıtta dayanması nedeniyle, fosil yakıt üretici ve satıcı ülkeler ile fosil yakıt alıcı ülkeler arasındaki ilişkiler, dünya stratejik dengesinin önemli unsurları olmuştur (URL-1, 2011).

Küresel ısınma dünyanın en önemli çevre sorunlarından bir tanesidir. Küresel ısınmanın oluşmasındaki en önemli etkenlerden biri aşırı fosil yakıt kullanımınıdır. Fosil yakıt yanma sonucunda atmosfere dağılmasının (emisyonlarının) karbondioksit gibi sera gazlarını içermesi, atmosferin artan sera etkisi ile iklim değişikliklerine neden olabilecek bir küresel ısınma sürecini başlatmıştır. Enerjinin üretim, dönüşüm ve kullanımı yerel ve küresel düzeyde çevre sorunlarına neden olmakta, uluslar arası anlaşmalarla enerjiden kaynaklı emisyonlara sınırlar getirilmektedir. Çözüm nükleer enerji ile yenilenebilir alternatif enerji kaynaklarında aranmalıdır. Ancak bu kaynakların da belli ölçüde çevre sorunları olduğu unutulmamalı, bu sorunları azaltıcı ve giderici önlemler eksiksiz uygulanmalıdır. Tüm enerji kaynaklarından yapılan üretimlerde az ya da çok çevre ve sağlık riski vardır. Çağdaş bilim ve teknoloji ile bu sağlık riski ve çevre sorunları çözülebilir. Ülkelerin kendi vatandaşlarına ve dünya vatandaşlarına daha güzel bir dünya sunabilmek için, öz kaynaklarından daha fazla enerji üretmeye yönelmeleri kaçınılmazdır. Bu noktada doğanın adil ve eşitlikçi davrandığı yenilebilir enerji kaynakları tüm insanlığın hizmetinde olacaktır [1].

1.2.1. Enerjide Sahip Olduklarımız ve Enerji Tüketimimiz

Enerji kaynak potansiyelimizi ve ispatlanmış rezervlerimizi aşağıdaki tabloda özetlenmektedir.

Tablo 1. Enerji kaynakları ve ispatlanmış rezervler (Ocak 2011 itibariyle) [1]

Kaynak	Rezerv/Potansiyel	Açıklama
Rüzgâr	Çok verimli: 8.000 MW Orta verimli: 40.000 MW	Rüzgâr potansiyelimizin son veriler ve yeni değerlendirmeler ışığında verimlilik durumuna göre 48.000 MW'a kadar çıkabileceği tespit edilmiştir.
Kömür	Linyit: 12,4 Milyar ton Taş kömürü: 1,33 Milyar ton	Altı yıl öncesine kadar 8,5 milyar ton olarak ifade edilen linyit rezervimiz son yıllarda yapılan arama çalışmalarıyla artmış ve 2009 itibariyle 12,4 milyar tona ulaşmıştır. Arama çalışmaları yoğun bir biçimde sürdürülmekte olup kısa bir süre sonra bu rakamın daha da yükselmesi öngörülmektedir.
Jeotermal	650 MW	Bu miktar elektrik üretimine uygunluğu doğrulanmış jeotermal potansiyelimizi göstermektedir. Son yapılan bazı değerlendirmelerde toplam jeotermal potansiyeli içerisinde yer alan diğer bazı kaynakların da elektrik üretim amaçlı kullanılacağı ifade edilmektedir. Toplam jeotermal potansiyelimizse 31.500 MW olarak hesaplanmaktadır.
Hidrolik (Su)	130 Milyar KWh/yıl	Bu miktar tüm bilinen su kaynakları kullanıldığında normal şartlarda üretilebilecek yıllık elektrik miktarını göstermektedir.
Güneş	33 Milyon ton petrol eşdeğeri/yıl (mtep/yıl)	Bazı uzmanlarca 80 Mtep'e kadar çıkabileceği belirtilen bu miktar, son yıllarda yapılmış değerlendirmelere dayanarak tespit edilmiş yıllık güneş enerjisi potansiyelimizi milyon ton petrol eşdeğeri olarak vermektedir.
Doğal Gaz	6,2 Milyar m ³	Türkiye'de 2010 yılı dâhil toplam 12 milyar m ³ doğal gaz üretimi gerçekleştirilmiştir. 2010 yılı sonu itibarıyla kalan üretilebilir yurtiçi toplam doğal gaz rezervimiz ise 6,2 milyar m ³ 'tür.
Asfaltit	82 Milyon ton	Asfaltit Şırnak ve Silopi yöresinde yer almaktadır. Kalorisi yüksek, işlendiğinde gaz elde edilebilen, külünde nadir mineraller bulunan asfaltitin ısınmada kullanımının azaltılması, endüstriyel hammaddeler üretiminde (boya, vernik, otomobil lastiği, matbaa mürekkebi, zemin karoları, boyaların yapımında) hammadde olarak kullanılmaktadır.

Tablo 1. (devamı) Enerji kaynakları ve ispatlanmış rezervler

Petrol	43 Milyon ton	İspatlanmış üretilebilir rezerv (Son 5-6 yılda yoğunlaşmış arama çalışmalarının sonucu olarak bu rezerv değerinin de önümüzdeki 3-4 yıllık çalışma periyodunda önemli miktarda artış göstermesi beklenmektedir.)
Doğal uranyum	9.129 ton	Türkiye'nin bilinen doğal uranyum yatakları (Kara Deniz, Van Gölü ve değişik kömür yatakları) ile ekonomik uranyum üretimi günümüz teknolojisinde söz konusu değildir
Biyokütle	10,3 Milyon ton petrol eşdeğeri/yıl (mtep/yıl)	Türkiye hayvansal ve bitkisel artık miktarı 10,3 Mtep değerinde olup, bu değer ülkemiz enerji tüketiminin % 13'üne karşılık gelmektedir. Ülkemiz enerji ormancılığına uygun (kavak, söğüt, kızılğaç, okaliptüs, akasya gibi hızlı büyüyen ağaçlar) 4 Milyar Hektar devlet orman alanına sahiptir.

Tablo 1, enerji kaynak potansiyelimizi ve ispatlanmış rezervlerimizi göstermektedir. Tablodan da görüleceği üzere, ülkemizin doğal gaz, petrol ve kömür rezervleri oldukça sınırlıdır. Petrol ve doğal gaz rezervlerine sahip ülkeler sıralandığında Türkiye ilk 50 ülke arasında dahi yer alamamaktadır. Aynı şekilde diğer ülkelerdeki rezervlerle karşılaştırıldığında ülkemizin kömür rezervleri açısından da durumu daha parlak değildir. Dünya ispatlanmış kömür rezervlerinin yalnızca % 0,46'sı Türkiye'de bulunmaktadır. Dahası sahip olduğumuz rezervlerin büyük bölümünün kalitesi, ancak kömür yakıtlı termik santrallerde yakıt olarak kullanılabilir ölçüde düşüktür [2].

Zengini olduğumuzu düşünebileceğimiz kaynaklar ise su kaynakları ile rüzgâr ve güneş enerjisi potansiyelidir. Su kaynaklarımız zaten önemli ölçüde kullanılmaktadır. Daha fazla yararlanmayı amaçlayan büyük ve küçük ölçekte birçok proje ya inşa aşamasında ya da inşasına başlanmak üzeredir. Rüzgâr enerjisinde biraz gecikilmiş olsa da iyi bir başlangıç yapmış bulunmaktayız. Diğer yandan Güneş enerjisinin elektrik üretiminde değerlendirilmesi bağlamında ilk adımlar olarak değerlendirebileceğimiz girişimlere tanık olmaktayız. Bununla birlikte, bu girişimlerin gerçek anlamda

yaygınlaşan yatırımlara dönüşebilmesi için biraz daha zamana ve gelişime ihtiyaç olduğu yönünde ortak bir kanaat vardır.

Türkiye'nin enerji kaynakları açısından zengin bir ülke olmadığı ortadadır, bununla birlikte Türkiye'nin hem petrol hem de diğer yeraltı zenginliklerinin varlıkları açısından henüz yeterince aranmış olmadığı da söylenmelidir. Yukarıdaki tabloda görülmeyen bir başka potansiyeli ise Türkiye'nin coğrafi konumu sağlamaktadır. Petrol ve doğalgaz üreticisi ülkelerle, bu kaynaklara ihtiyacı giderek artmakta olan ülkeler (genellikle Avrupa ülkeleri) arasında yer alan coğrafi konumu, ülkeye 'enerji koridoru' rolü ile belli bir potansiyel sağlıyor. Bu rol artık Türk enerji politikasının temel bir parçası haline gelmiştir. Türkiye, petrol ve doğalgaz rezervleri açısından zengin olmasa da, coğrafi ve politik konumu itibarıyla petrol ve doğalgazın nakli için güvenli bir koridor sağlayan güvenilir bir ülke olarak görülmektedir. Avrupa Birliği (AB)'nin enerji açısından kaynak ülke ve güzergâhlarını çeşitlendirme politikası da Türkiye'nin bu pozisyonunu güçlendirmektedir. AB ülkelerine büyük ölçüde Rusya'dan sağlanan doğalgaz arzında geçen yıllarda yaşanan krizler, Türkiye üzerinden alternatif gaz arzının AB ülkeleri açısından ne kadar hayati bir konu olduğunu açıkça göstermiştir. Ancak AB otoritelerinin bu gerçeğin ne kadar farkında oldukları tartışmaya açıktır. Son yıllarda enerjiyle ilgili konuşmaların bir çoğunda vurgulanmakta olduğu gibi, enerji arzı güvenliği birçok ülkenin politik gündeminin ilk ve ana maddelerinden birisini oluşturmaktadır. Güvenli bir nakil yolu ya da koridoru ise arz güvenliğinin olmazsa olmaz bir parçasıdır. Potansiyel bir enerji koridoru olarak Türkiye, coğrafi ve politik olarak bölgede gerçekten de benzersiz bir konuma ve bu konumla örtüşen bir yapıya (vizyona) sahiptir [1], (URL-1, 2011).

1.2.2. Enerji Tüketim Miktarı ve Talep Tahmin Projeksiyonu

Elektrik enerjisi tüketim miktarı ve önümüzdeki yıllarda talep olunacak miktar aşağıda tabloda özetlenmiştir.

Tablo 2. Enerji tüketim miktarı ve talep tahmin izdüşümü (URL-3, 2011)

Yıl (Talep)	Enerji Talebi (Düşük Talep Senaryosu) (Milyar KWh)	Enerji Talebi (Yüksek Talep Senaryosu) (Milyar KWh)
2009	194,79	194,79
2010	209,39	209,39
2013	249,90	253,60
2016	303,20	314,80
2019	367,30	390,00

Elektrik enerjisi tüketim talebiyle ilgili olarak yukarıda verilen tabloda iki senaryodan biri olan düşük talep senaryosunda Türkiye'nin 2019 yılı tüketim talebinin 367 Milyar KWh olması öngörülmektedir. Buna karşılık, Türkiye Şubat 2011 tarihi itibarıyla 50.003 MW'a sahip bir kurulu güç kapasitesine ulaştı. 2019 yılı için öngörülen tüketim talebini karşılamak için kabaca 30.000–35.000 MW arasında ilave kurulu güce ihtiyaç olacaktır. Bu da önümüzdeki 10 yıllık dönemde, bu miktarda ilave kapasite meydana getirebilmek için çeşitli tiplerde elektrik enerjisi üretim tesisi için yaklaşık 60-65 milyar dolar arasında yatırım yapılması anlamına gelmektedir [1].

1.3. Termik Enerji

Termik santraller katı (kömür, linyit vb.), sıvı (petrol) ve buhar (doğal gaz) halindeki yakıtların yanması sonucu var olan kimyasal enerjii ısı enerjisine, ısı enerjisini hareket (kinetik) enerjisine, hareket enerjisini de elektrik enerjisine dönüştüren tesislerdir. Termik santrallerin içinde en karmaşık yapıya sahip olanları katı yakıtlı buhar santralleridir. Daha basit yapılardaki Gaz Türbinleri diğer bir termik santral örneğidir. Bu iki termik santralin bir araya getirilmiş haline de Kombine Çevrim Santralleri adı verilmektedir (URL-4, 2011).

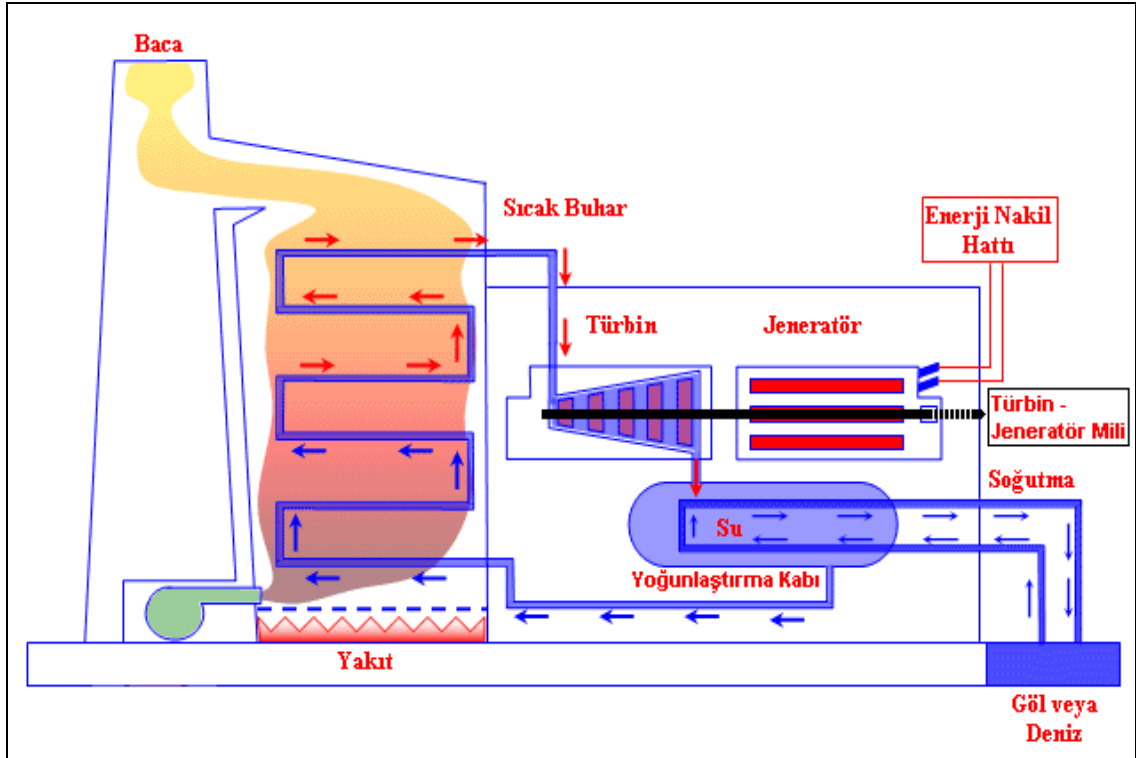
Termik enerji petrol, kömür, doğalgaz, linyit vb. gibi fosil yakıtların yanması sonucu açığa çıkan ısı ile elde edilen enerji türüdür. Termik enerji uygulamada termik santrallerdeki türbinlerin döndürülmesi ile elektrik enerjisi üretmede kullanılır.

Petrolün işlenmesi sonucu ortaya çıkan benzin, mazot, fueloil ve motorin termik santrallerde yakıt olarak kullanılmaktadır. Bazı bölgelerde topraktan çıkan sıcak ve kızgın buhar ile yine topraktan çıkan yer gazı termik kaynak olarak elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır (URL-4, 2011).

1.3.1. Termik Santralde Temel Sistemler-Çevrimler ve Elemanlar

Bir santralin temel elemanları şunlardır;

1. Kazan
2. Buhar türbini
3. Jeneratör



Şekil 1. Tipik bir termik enerji santral krokisi

Termik Santraller; yakıttaki kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren tesislerdir. Fakat santralde bu enerji değişimi tek kademede gerçekleşen bir olay değildir. Yakıtın kimyasal enerjisinin ısı enerjisi şeklinde açığa çıkması için kimyasal bir olay olan yakıtın yanma süresi (prosesi) gerçekleşmelidir. Bu sürenin (prosesin)

termik santrallerinde oluşturulduğu yere kazan denir. Kazanda açığa çıkan bu enerji kazanın içerisindeki borularda dolaşan suya verilir ve su buhar fazına geçer. Buhar fazına geçen bu suya ısı enerjisi verilmeye devam edilir. Enerji yüklü bu buhar, buhar türbini rotoruna verilir ve buhar türbin rotorunu harekete geçirerek buhardaki ısı enerjisi hareket (kinetik) enerjisine dönüştürülmüş olur. Bu hareket enerjisi bir döner alternatif makinesi olan senkron jeneratöründe elektrik enerjisine dönüşür. Böylece prostesten istenilen nihai hedef gerçekleşmiş olur. Yalnız olay burada anlatıldığı gibi termik santrallerde basit ve kolay olarak gerçekleşmez. Yanma, bir kazan ya da buhar üreticinde gerçekleştirilir ve suyun buhara dönüştürülmesini daha sonrada bunun yüksek basınç altında (170 bar) yüksek sıcaklıkta (540 °C) ısıtılmasını sağlar. Buhar önce türbinin yüksek basınçlı bölümünde ve daha sonra yeniden ısıtıldıktan sonra orta ve alçak basınçlı bölümlerde genişler. Birbirini izleyen bu genişlemeler sırasında ısı enerjisi mekanik enerjiye dönüşür. Kondensede soğutulan buhar tekrar su haline döner; türbinden çektiği buharla çalışan bir yeniden ısıtma bölümüyse suyun ısını yükseltip kazana gönderir. Buhar ve su bir kapalı devre halinde dolaştıkları için bu çevrim sonsuza kadar yenilenir. Duman kazan çıkışında büyük oranda ısı yitirir ve elektro filtreden sonra havaya verilir, böylece yanma olayı gerçekleşir. Kömürle çalışan santrallerde dumanın daha sonra elektrostatik düzenekler yardımıyla tozu alınır ve bacadan dışarı atılır. Bu arada türbinde yaratılan mekanik enerji bir alternatöre iletilir ve burada elektrik enerjisine dönüştürülür. Termik santrallerde kömür kullanımı için gerekli olan tesisler gaz ya da mazota oranla çok daha önemli ve büyüktür. Burada özellikle kömürün demiryolu, akarsu ya da deniz yoluyla santrale getirilmesi, boşaltılması, depolanması, santral alanı içinde dolaştırılması ve kazana verilmesi için gerekli tesisler yapılmalıdır. Kömür toz haline getirildikten sonra, önceden motorinle 500 °C'ye kadar ısıtılmış olan yanma odalarının brülörlerine kuvvetli bir hava akımıyla gönderilir. Bu odaların birkaç yüz metre küpü bulan bir hacmi ve birkaç bin metre kare büyüklüğünde bir ısıtma alanı vardır (URL-4, 2011).

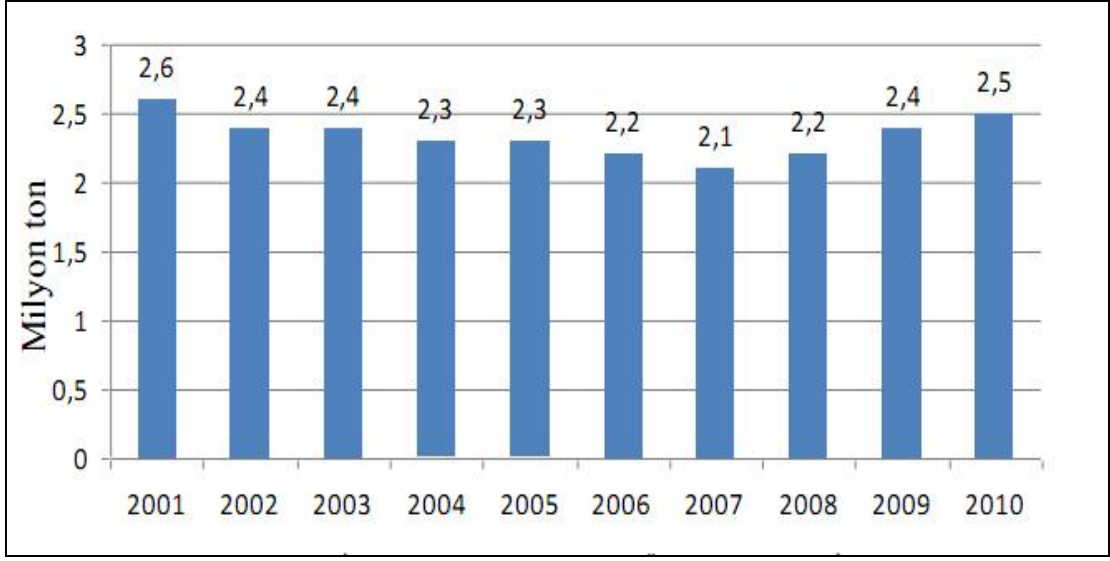
Termik santralleri büyük debili akarsu yakınında veya deniz kıyısına kurmak gerekmektedir. Böylece santralde üretilen ısının yarısını boşaltan yoğunlaştırma kabının (kondanse) suyla beslenmesi sağlanır. Sıcak su ırmağa doğrudan boşaltıldığı gibi (açık devre soğutma) büyük soğutma kulelerine yollanabilir. Burada havayla temas ederek kısmen buharlaştıktan sonra yoğunlaştırma kabına (kondanseye) basılır (URL-4, 2011).

1.3.2. Termik Enerjinin Türkiye'deki Potansiyeli

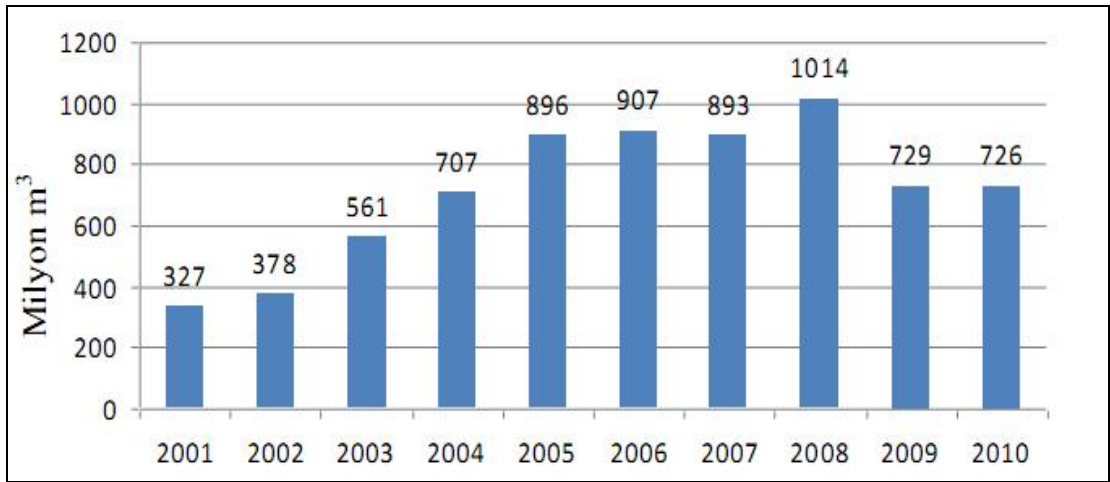
Türkiye'nin çok sınırlı doğal gaz ve petrol üretimine karşın yaklaşık 12,4 milyar ton'luk bir linyit, 1,33 milyar tonluk taş kömürü rezervi bulunmaktadır. İşletilebilir rezerv miktarı 3,9 milyar ton düzeyindedir. Ülkemiz rezerv ve üretim miktarları açısından linyitte dünya ölçeğinde orta düzeyde değerlendirilir. Toplam dünya linyit rezervinin yaklaşık % 1,6'sı ülkemizde bulunmaktadır. Bu linyit rezervinin yaklaşık %46'sı Afşin-Elbistan havzasında bulunmaktadır. Ülkemizin en önemli taş kömürü rezervleri ise Zonguldak ve civarındadır. Zonguldak Havzası'ndaki toplam taş kömürü rezervi 1,322 milyar ton, buna karşılık görünür rezerv 519 milyon ton düzeyinde bulunmaktadır [2], (URL-1, 2011).

Ülkemizde, çok sınırlı doğal gaz ve petrol rezervlerine karşın, 560 milyon tonu görünür olmak üzere, yaklaşık 1,3 milyar ton taşkömürü ve 12,4 milyar ton linyit rezervi bulunmaktadır. Linyit rezervleri ülke geneline yayılmıştır. Hemen hemen bütün coğrafi bölgelerde ve 37 ilde linyit rezervlerine rastlanılmaktadır. Linyit rezervlerinin % 21'i TKİ, geri kalan ise EÜAŞ, MTA ve özel sektör elindedir. Türkiye'de 2008 yılında 84 milyon ton linyit ve 1,3 milyon ton taşkömürü üretilmiştir [2].

2010 yılı üretimi ise; toplam 2,5 milyon ton petrol ve 726 milyon m³ doğal gaz olup, günümüze kadar toplam 135,6 milyon ton petrol ve 12 milyar m³ doğal gaz üretimi gerçekleştirilmiştir. 2010 yılı petrol üretiminin % 76'sı TPAO tarafından gerçekleştirilmiştir. Petrol ve petrol ürünlerine dayalı termik santrallerimizin kurulu gücü 2.300 MW olup bu değer toplam kurulu gücümüzün % 5,5'ini karşılamaktadır. Doğalgaza dayalı kurulu gücümüz ise 14.576 MW olup bu değer de toplam kurulu gücümüzün % 32,7'sini karşılamaktadır [3].



Şekil 2. Yıllar itibariyle Türkiye ham petrol üretimi [3]



Şekil 3. Yıllar itibariyle Türkiye doğal gaz üretimi [3]

1.4. Nükleer Enerji

Nükleer enerji genel tanımıyla; ağır çekirdeklerin parçalanması (filyon) veya hafif atom çekirdeklerinin birleşmesi (füzyon) sırasında, kütleinin bir kısmının ısı enerjisine dönüşmesiyle elde edilir [4].

Filyon (parçalanma), çok iri bir çekirdeğin daha küçük parçalar halinde kırılması demektir. Bu parçalar da atom çekirdekleridir ve çoğu ilk çekirdekten daha karardır.

Benzer çekirdekler değişik parçalar vererek parçalanabilir; ama pek çok durumda parçalanma, ayrıca belli sayıda nötron üretir. Bu nötronlar da bir atoma girerek yeni bir parçalanmaya yol açabilir. Bazı koşullarda bu olay zincirleme tepkimeler biçiminde denetlenebilir düzende (nükleer santraller ve atom pilleri) birbirini izleyebilir veya denetim dışında oluşarak patlama etkisi gösterebilir (atom bombası denen nükleer silahlar) [4].

Füzyon (birleşme), çok hafif iki çekirdeği birleştirerek çok daha ağır bir çekirdek oluşturmak ve bu şekilde açığa çıkan bağ enerjisini kullanmaktır. Elde edilen yeni çekirdek baştaki çekirdeklerden daha karardır. İlke olarak kaynaşma doğada oldukça yaygın olan çekirdekleri kullanarak büyük bir enerji elde edilebilir. Ama bu enerjiyi açığa çıkarmak oldukça zordur. Gerçekte çekirdekler pozitif yük taşır ve birbirlerine yaklaştırmaya çalıştığımızda çok büyük bir kuvvetle birbirlerini iter. Bunların kaynaşmasını sağlamak için bu kuvveti yenecek şekilde bir enerji vermek gerekir; bu enerjinin çekirdekleri çekirdeklerin çarpışmasını sağlayacak boyutlarda olması gerekir. Gereken enerji 20–30 milyon derecelik bir sıcaklığa eşdeğerdir. Kaynaşma tepkimelerine girecek maddeyi taşıyacak hiçbir katı madde bu sıcaklığı dayanamaz. Kaynaşma patlayıcı madde biçiminde çok daha kolay elde edilebilir; bu amaca ulaşmak için bir atom bombasını patlatarak hafif atomları ısıtmak yeterlidir. Buna hidrojen bombası denir. Denetimli kaynaşmaysa, büyük çaba harcanmasına rağmen henüz elde edilememiştir [4].

1.4.1. Nükleer Enerjinin Kullanım Alanları

Nükleer enerjinin kullanımı yeni, teknolojik gelişimi çok hızlıdır. Bu enerjinin pek çok kullanım alanları vardır. Bunlardan en önemlisi elektrik üretimidir. Bundan başka nükleer enerji tıpta, endüstride ve silah sanayisinde (kıtalar arası balistik füzeler gibi) önemli ölçüde kullanılmaktadır. Bugün dünyada mevcut nükleer silahlar birçok gezegeni yok edebilecek güçtedir. ABD, Rusya, Fransa, İngiltere, İsrail, Çin, Hindistan, Pakistan, G. Kore gibi ülkeler nükleer silaha sahip başlıca ülkelerdir. Bilindiği gibi bu silahlar yerel (lokal) değil, küresel öneme sahiptir. Çıkacak herhangi bir savaşta, sadece savaşan ülkeleri değil, tüm dünyayı tehdit edecektir [4].

1.4.2. Nükleer Santrallerin Yapısı ve İşleyişi

Nükleer reaktörler nükleer enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Temel olarak fisyon sonucu açığa çıkan nükleer enerji nükleer yakıt ve diğer malzemeler içerisinde ısı enerjisine dönüşür. Bu ısı enerjisi bir soğutucu vasıtasıyla çekilerek bazı sistemlerde doğrudan, bazı sistemlerde ise ısı enerjisini başka bir taşıyıcı ortama aktararak türbin sisteminde kinetik enerjiye ve daha sonra da jeneratör sisteminde elektrik enerjisine dönüştürülür. Malzemelerin çok çeşitli fiziksel, kimyasal ve nükleer özellikleri sebebiyle pek çok değişik nükleer reaktör tasarımı mevcuttur. Bu tasarımda reaktör kalbindeki yakıtlardan ısı enerjisi basınç altında tutularak kaynaması engellenen su ile çekilmektedir. Çekilen ısı enerjisi buhar üreteçlerinde ikinci devredeki suya aktarılmakta, böylece üretilen buhar ile türbin-jeneratör sistemi döndürülerek elektrik enerjisi üretilmektedir. Fisyon santrallerinin en çok kullanılanları; termal (ılık), Epitermal (sıcak) ve Hızlı reaktörlerdir [4].

1.4.2.1. Termal (Ilık) Reaktör

Günümüzde nükleer reaktörlerde ana yakıt olarak uranyum kullanılır. Uranyumun, nükleer yakıt olarak kullanılmasında önce diğer maddelerden ayırarak saflaştırma işlemi yapılır. Sadece bu işlemle yetinen, yani saf uranyumu doğal haliyle yakan reaktörler giderek azınlıkta kalmaktadır. Günümüz reaktörlerinin büyük bir çoğunluğu izotopik zenginleştirilmiş, daha açık deyimle U-235 oranı % 3 dolayına yükselmiş uranyum yakarlar. Termal reaktörlerde bugünün reaktör yakıtı uranyum dioksit (UO_2)'dir [4].

1.4.2.2. Basıncılı Su Reaktörü

% 2,5 ila % 3 oranında zenginleştirilmiş uranyum yakıtla çalışır. Üretilen enerji birincil devre soğutucusu (hafif su) vasıtasıyla reaktör kalbinden çekilir. Reaktöre giriş sıcaklığı $290\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve çıkış sıcaklığı $330\text{ }^{\circ}\text{C}$ civarında olan soğutucu, kaynamaması için atmosfer basıncının 150 katı basınç altında tutulur. Bu suretle çekilen enerji buhar üreticileri vasıtasıyla ikincil devreye aktarıldıktan sonra soğutucu birinci devre pompası tarafından reaktör kalbine geri gönderilir. İkincil devreye aktarılan ısı enerjisiyle

üretileb buhar türbin-jeneratör biriminde elektrik üretir. Yoğuşturucuda sıvı fazına dönen ikincil devre soğutucusu yeniden buhar üreticisine gönderilir.

Bugün dünyada ticari olarak en yaygın kullanılan reaktör sistemidir. Kurulmakta olan ve planlanmış olan nükleer santraller tamamlanınca bu reaktör tipinin dünyada kullanım oranı % 64'e yükselecektir [4].

1.4.2.3. Kaynar Su Reaktörü

Kaynar su reaktörleri birçok yönden basınçlı su reaktörüne benzemekle birlikte, temel fark reaktör kuru içinde kaynama olayına izin verilmesidir. Kaynar su tipi reaktörlerin diğer hafif sulu reaktörlere göre üstünlüğü reaktör kuru içinde doğrudan elde edilen buharın türbinlere gönderilmesidir. Bu nedenden dolayı kaynar su reaktörleri doğrudan çevrim ile çalışır. Böylece basınçlı su reaktörüne nazaran bir devre eksilmiştir. Daha az parça, işletme sırasında daha az sorun demektir. Bir başka özelliği ise basınçlı su reaktörlerinde uranyumun 3 yıl, kaynar su reaktörlerinde ise 4 yıl kullanılmasıdır [4].

1.4.2.4. Ağır Su Reaktörü

Bu reaktör hafif su yerine, ağır su kullanır. Bu değişiklik reaktör yapısında temel farklılıklara yol açar. Ağır su, ağır hidrojen'den (döteryum) oluşan sudur. Normal suyun içinde, fakat sadece onbinde 1,5 oranında bulunur. Bu reaktörün pahalı olmasına rağmen kullanılmasının ana sebebi ağır suyun hafif sudan sonra en etkin nötron yavaşlatıcı olmasıdır [4].

1.4.2.5. Grafit Reaktörü

Bu reaktör tipi yavaşlatıcı olarak grafit kullanır ve yakıt olarak ise doğal uranyum kullanır. Grafit saf karbondur ve kömürden elde edilir. Grafitin nötron yutması ağır sudan fazla, fakat hafif sudan azdır. Grafit-doğal uranyum ikilisi ile zincir reaksiyonu gerçekleştirilmektedir. Uranyumun doğal haliyle yakılabilmesi için, ağır sudan sonra ikinci ve son seçenek grafit yavaşlatıcı kullanılmaktadır. Üstelik grafit, ağır

suya oranla çok daha ucuz ve sanayinin yakından tanıdığı bir malzemedir. Doğal uranyum kullanması yüklenecek yakıt miktarını ve dolayısıyla reaktör kalbini büyütür. Bu sebeplerden reaktör aşırı büyük olur. Aynı gücü veren basınçlı su reaktörüne oranla bu reaktör tam 20 kat büyüktür, böylesine büyük yapının yatırım maliyetini de ona göre olacaktır. Bu reaktörler halen nükleer santral kurulu gücünün % 7'sini oluşturmakla beraber artık sivil sanayide terk edilmiş bir reaktör tipidir [4].

1.4.2.6. Epitermal (Sıcak) Reaktörler

Epitermal reaktör küçük ve hafif reaktör yapmak ihtiyacından doğmuştur. Bu sayede nükleer reaktör denizaltı ve gemilerin dar hacmine sığdırılabilmektedir. Yarı yavaşlatılmış (epitermal) nötronlarla çalışan bir reaktör tipidir. Termal reaktörler ile termalde aynıdır. Termal ve Epitermal reaktörler arasındaki farklar sadece yapısal ayrıntılardır.

Küçük ve hafif reaktör yapabilmeyen ilk koşulu U-238 safrasından arındırılmış saf-235 yakıt kullanmaktır. Nitekim nükleer tahrikli denizaltılar % 90'ın üzerinde zenginleştirilmiş (bomba kalitesinde) uranyum kullanırlar [4].

1.4.2.7. Hızlı Reaktörler

Hızlı sözcüğü bu reaktörün hızlı nötronlarla çalıştığını belirtir. Reaktör içinde nötronlar yavaşlatılmaz. Nötronlar fisyonun doğdukları enerjileri ile kullanılırlar. Fisyon zincir reaksiyonunun sürebilmesi için termal reaktörlerde olduğundan çok daha zengin yakıt kullanılması gerekir. Nitekim hızlı üretken reaktör ancak yüksek zenginlikte tipik bir değer olarak % 25 oranında U-235 izotopu (veya plütonyum) içeren uranyum yakılabilir [4].

1.4.3. Türkiye'de Nükleer Enerjideki Durum

Ülkemizin 1955 yılında başlayan nükleer enerji serüveni bir türlü başlamayan senfoni örneği gibidir. 1956'da Başbakanlığa bağlı Atom Enerjisi Komisyonu Genel Sekreterliği kurulmuş, 1957'de Türkiye, Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu'nun

kurucu üyesi olmuş, 1957'de İTÜ'de Nükleer Enerji Enstitüsü; 1970'de TEK'e bağlı Nükleer Enerji Dairesi kurulmuş, 1976'da Mersin-Akkuyu için yer lisans onayı alınmış, 1977'de ilk ihaleye çıkılmış, 1982'de Genel Sekreterlik TAEK olmuş; 1982'de Hacettepe Üniversitesi Nükleer Mühendislik Bölümü kurulmuş, 1983'te ikinci ihaleye çıkılmış; 1987'de TEK'teki Daire kapatılmış, TAEK boşaltılmış, 1996'da üçüncü ihale; 2004'te TAEK'te nükleer bilgi birimi kurulmuş; 2005'te saha belirleme çalışmaları başlamış, 2006'da teknik incelemeler neticesinde Sinop seçilmiş, 2008'de dördüncü ihaleye çıkılmış, 2009'da iptal edilmiştir. 21 Temmuz 2010 tarih ve 27648 sayılı resmi gazetede yayımlanarak, Türkiye ile Rusya Arasında Mersin-Akkuyu'da Nükleer Güç Santralini Tesisine ve İşletimine Dair İşbirliğine İlişkin Anlaşmayı Onaylanarak yürürlüğe girmiştir. Rusya Devlet Başkanlığı tarafından bu anlaşma 29 Kasım 2010 tarihinde onaylanmıştır. Bu kapsamda ruhsat ve lisans işlemlerinden sonra 2014 yılında santralin inşaat çalışmalarına başlanılabilecek ve yedi yıl içinde santralin birinci ünitesinin ticari işletmeye alınması öngörülmektedir. Kurulacak santral 1200 MW'lık dört üniteden oluşan santralin toplam kurulu gücü 4800 MW'tır (URL-1, 2011).

Ülkemizde Sinop'a kurulması planlanan ikinci nükleer santral için de Güney Kore ile işbirliği anlaşmasına varılmıştır. 11.03.2011 tarihinde Türkiye ile Güney Kore arasında Sinop'ta nükleer enerji santrali kurulmasına ilişkin işbirliği protokolü imzalanmıştır. Aynı santral içinde Japonya ile görüşmeler yapılmaktadır. Kurulması düşünülen santral, 1400 MW'lık dört üniteden oluşacak ve santralin toplam kurulu gücü 4800 MW olacaktır (URL-2, 2011).

1.4.4. Dünyada Nükleer Enerji Kullanımı ve Küresel Stratejiler

Bugün dünyada 1100 civarında nükleer santral çalışır durumdadır. Bunların yaklaşık 310 tanesi araştırma reaktörüdür. Sanayi ve ilaç için izotop üretiminde bulunmaktadır. 400'ü aşkın reaktör denizaltılarla ilgilidir. 438 reaktör ise elektrik enerjisi üretimine yönelik faaliyet göstermektedir (URL-3, 2011).



Şekil 4. Dünyadaki nükleer santral dağılımı

Dünyada elektrik üretimi içinde % 14 gibi önemli bir pay nükleer enerji tarafından karşılanmaktadır. Bu oran gelişmiş ülkelerde çok daha yüksek rakamlara ulaşmaktadır. Dünyanın en büyük nükleer enerji parkını ihtiva eden ABD, dünyadaki kurulu kapasitenin % 30,5'ine, ikinci olarak Fransa % 15,9'una ve üçüncü olarak Japonya % 12,1'ine sahiptir (URL-3, 2011).

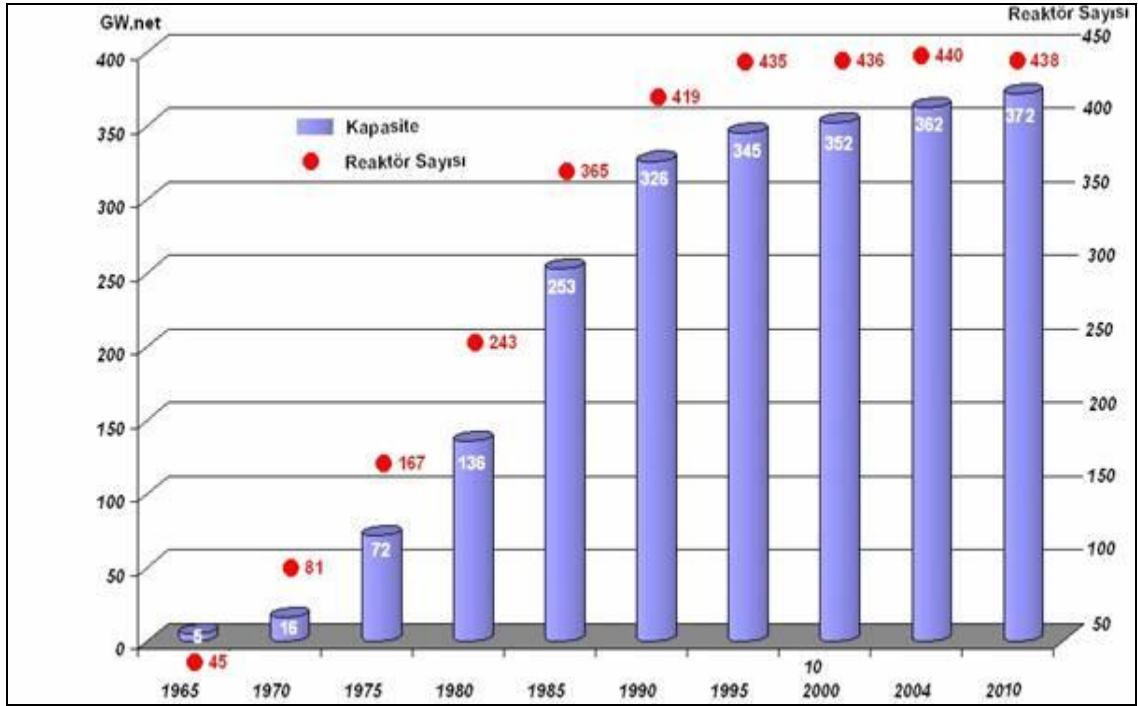
Tablo 3. Dünyada nükleer enerji dağılımı (Haziran 2010) (URL-3, 2011)

Ülkeler	Çalışır durumdaki nükleer reaktör sayısı	İnşaat halindeki nükleer reaktör sayısı	Kurulu gücü (MW)	Elektrik üretimindeki oranları (%)
Arjantin	2	1	935	6,18
Ermenistan	1	—	376	39,35
Belçika	7	—	5.824	53,76
Brezilya	2	—	1.766	3,12

Tablo 3.(devamı) Dünyada nükleer enerji dağılımı

Bulgaristan	2	2	1.906	32,92
Kanada	18	—	12.577	14,80
Çin	11	11	8.438	2,15
Ç.Cumhuriyeti	6	—	3.634	32,45
Finlandiya	4	1	2.696	29,73
Fransa	59	1	63.260	76,18
Almanya	17	—	20.470	28,82
Macaristan	4	—	1.859	37,15
Hindistan	17	6	3.782	2,03
Japonya	55	2	47.278	24,93
G.Kore	20	5	17.647	35,62
Litvanya	1	—	1.185	72,89
Meksika	2	—	1.300	4,04
Hollanda	1	—	482	3,80
Pakistan	2	1	425	1,91
Romanya	2	—	1.300	17,54
Rusya	31	8	21.743	16,86
Slovakya	4	—	1.711	56,42
Slovenya	1	—	666	41,71
G.Afrika	2	—	1.800	5,25
İspanya	8	—	7.450	18,27
İsveç	10	—	8.996	42,04
İsviçre	5	—	3.220	39,22
İngiltere	19	—	10.097	13,45
Ukrayna	15	2	13.107	47,40
ABD	104	1	100.683	19,66
İran	—	1	—	—
TOPLAM	438	42	371.562	17,71

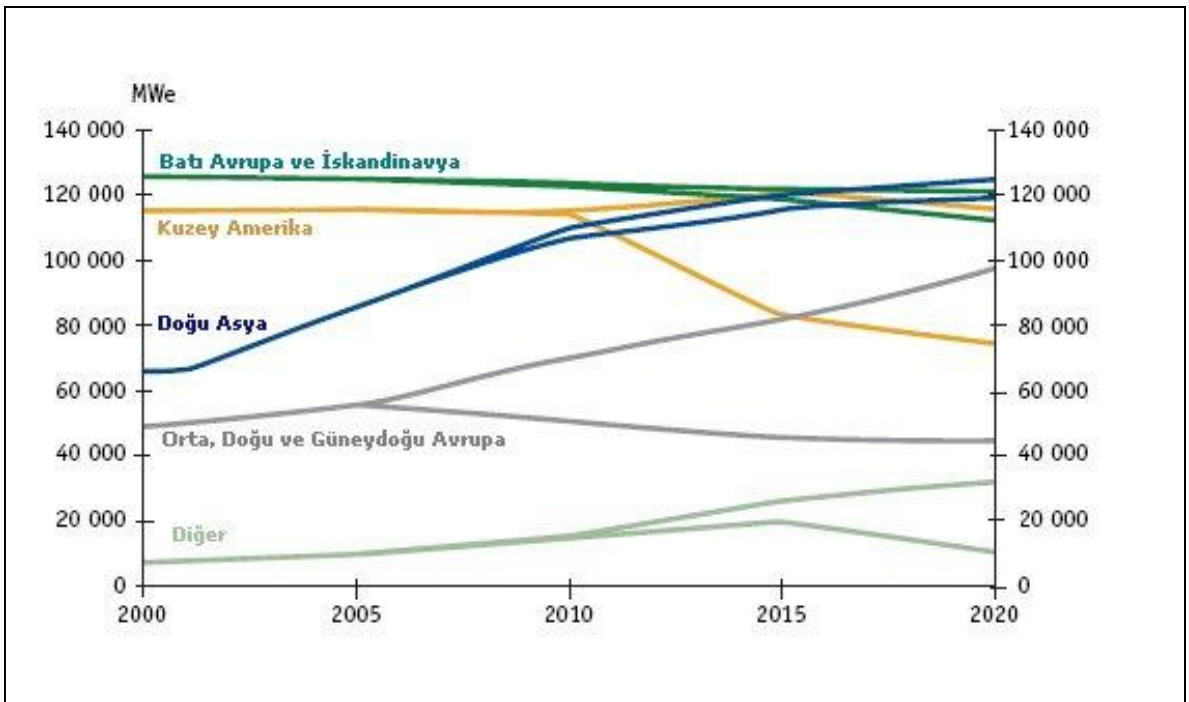
Haziran 2010 itibariyle çalışır durumda olan 438 nükleer reaktörün, 104'ü ABD'dir. Fransa'da 59, Japonya'da 55, İngiltere'de 19, Rusya'da 31, Almanya'da 17, Kanada'da 18, G. Kore'de 20, Ukrayna'da 15, İsveç de 10, Hindistan'da 17 santral bulunmaktadır. Halen küresel düzeyde 36 bin 988 MW gücünde 42 adet nükleer santral inşasına devam edilmektedir. Güney Kore'de 5 ve Hindistan'da 6 adet santralin yapımı sürerken, Çin'de 11 santral inşa halindedir. Çek Cumhuriyeti ve Ukrayna'da 2 santralin yapımı devam etmektedir. Arjantin, Brezilya, Fransa, İran, Japonya, Pakistan ve Slovakya da 1'er santral inşa halindedir. Bu ülkelerden yalnızca İran ilk kez santral inşa etmektedir. Diğer ülkelerde nükleer santral mevcuttur (URL-3, 2011).



Şekil 5. Dünyadaki nükleer gücün tarihsel gelişimi

Büyük bölümü 1990 yılından önce kurulmuş olan bu kapasiteye, mevcut tesislerden bir bölümünün ömrünü doldurması neticesinde, bazılarının kapatılması ve birkaç yeni santralin kurulması ile az miktarda yeni ilaveler yapılmıştır. 2020 yılı ve sonrası için yapılan projeksiyonlar, mevcut 372 GWe'lik kurulu kapasiteye karşın 334-446 GWe aralığında kararlı bir tablo ortaya koymaktadır. Bununla birlikte şekil 3'de bu projeksiyonlara yansımayan önemli bölgesel değişimleri göstermektedir. Mevcut eğilimler ve mevcut tesislerin ömründeki artışa karşın, en azından Batı Avrupa'da

kurulu kapasitenin yavaşça azalacağı beklenmektedir. Buna karşın, Uzak Doğuda yaşanan ve artacağı öngörülen hızlı büyüme sonucu Çin, Güney Kore ve Japonya çok sayıda nükleer santral inşa etmektedir. Doğu Avrupa'da, özellikle Rusya ve Ukrayna'da önemli büyüme yaşanmakla birlikte, diğer ülkelerdeki yaşlı tesislerin planlı olarak hizmetten alınmasına rağmen, kapasite artışları dengelenmektedir. Kuzey Amerika'da ise, mevcut tesislerin kullanım sürelerinin uzatılmasına yönelik lisanslama ve yenileme çalışmaları ile birlikte başta yeni nesil nükleer sistemler olmak üzere nükleer enerjiye ilişkin yeniden önemli değerlendirmeler yapılmaktadır (URL-3, 2011).



Şekil 6. 2020 Yılı için yapılan kurulu nükleer elektrik üretim kapasitesi (düşük ve yüksek projeksiyonlar)

1.4.5. Nükleer Atıklar

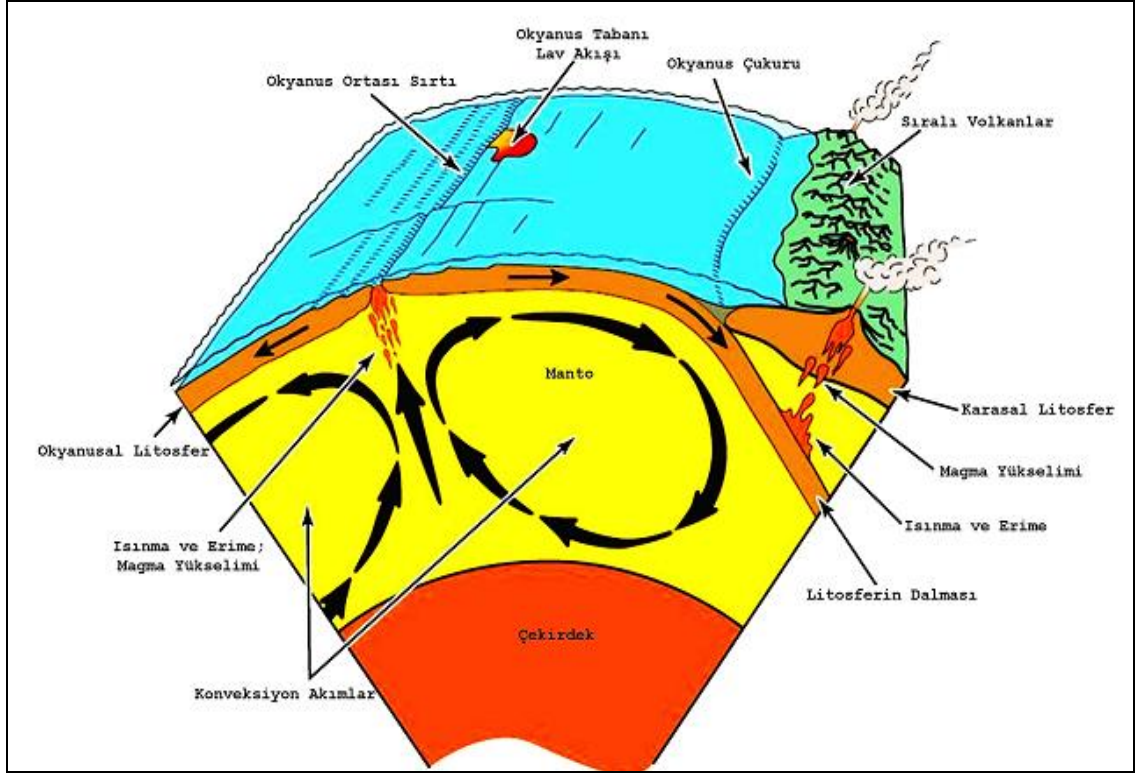
Kullandığımız yakıtları % 100 verimle enerjiye çeviremediğimiz için atık sorunu ortaya çıkar. 1000 MW elektrik gücündeki bir hafif-su soğutmalı nükleer reaktörden yılda yaklaşık 30 ton taze yakıtı ihtiyacı vardır. Bu reaktörden bir yılda çıkan kullanılmış yakıt miktarı 30 tondur (hacim 7,3 m³). Bunlardan, % 4 civarı orana sahip olan fisyon ürünleri ve uranyum ötesi elementler geri dönüşümü veya kullanım alanı

olmadığı için ve aşırı radyasyon barındırdığından doğadan yalıtılması gerekir. Bu atıklar yerin 500-1000 m derinliklerinde özel olarak seçilmiş yerlerde depo edilirler. Kullanılmış yakıtlar, içerdikleri uranyum ve plütonyumu geri kazanmak üzere işleme tabi tutulurlarsa, fisyon ürünleri ve uranyum ötesi elementlerden oluşan bir sulu atık çözeltisi elde edilir. Bu çözelti ayrışana kadar buharlaştırıldıktan sonra yüksek sıcaklıkta cam eriyiği ile karıştırılıp metal silindirler içine boşaltılır ve soğuduğunda katılaşıp camsı bir yapı oluşturur. Camlaştırılmış nükleer atık ile dolu silindirler, bir metal muhafaza içine konup yeraltı deposundaki deliklere yerleştirilmektedir [1, 5].

Bütün bu güvenlik önlemlerine rağmen bu işlerde büyük bir sorun ortaya çıkartmıştır. Örneğin günde 6 ton artışla 2015 yılına gelindiğinde ABD’de 101 bin ton yüksek düzeyli radyoaktif nükleer atık ve tükenmiş yakıt birikmiş olacağı tahmin edilmektedir. Bu atıkların saklanabilmesi için dünyada saha araştırmaları hızla sürmektedir. Fakat bu derinliklerde binlerce ton atık barındırabilecek yapıların yapılmasının nedeniyle atıkların çoğu santrallerde soğutma ve saklama işlemlerine tabi tutulmaktadır. Santrallerin ömrünü tamamladığında bunların nereye atılacakları hala çözülmüş değildir. Roketlerle uzaya gönderme gibi projelerde santralin maliyetinden daha pahalı olduğu için vazgeçilmiştir [1, 4].

1.5. Jeotermal Enerji

Jeotermal Enerji, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının akışkanlarca taşınarak rezervuarlarda depolanması ile oluşmuş sıcak su, buhar ve kuru buhar ile kızgın kuru kayalardan yapay yollarla elde edilen ısı enerjisidir. Sıcaklığı sürekli 20 °C den fazla olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yer üstü sularına oranla daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su ve buhar olarak tanımlanabilir. Düşük (20-70 °C), orta (70-150 °C) ve yüksek (150 °C'den yüksek) entalpili (sıcaklıklı) olmak üzere genelde üç gruba ayrılmaktadır. Yüksek entalpili akışkandan elektrik üretiminde, düşük ve orta entalpili akışkandan ise ısıtmacılıkta yararlanılmaktadır. Bunların yanı sıra jeotermal akışkanlardan, kimyasal madde üretimi, kültür balıkçılığı gibi çok değişik amaçlarla da yararlanılabilmektedir [6].



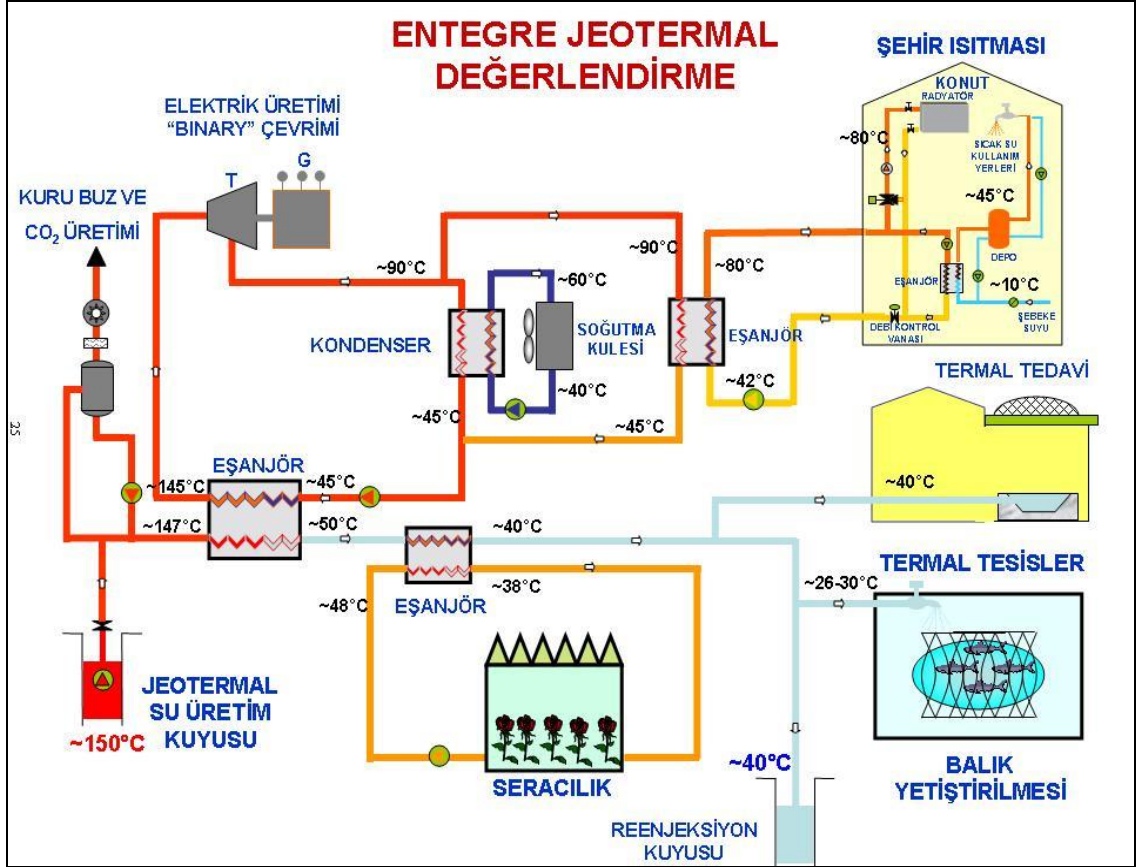
Şekil 7. Jeotermal sistemin kaynağı

1.5.1. Elektrik Üretimi ve Diğer Kullanım Alanları

Yüksek sıcaklıklı jeotermal kaynakların ($>150\text{ }^{\circ}\text{C}$) en önemli kullanım alanı elektrik üretimidir. Düşük ve orta sıcaklıklı jeotermal kaynaklar ($<150\text{ }^{\circ}\text{C}$) çok farklı kullanım alanlarına sahiptir. Klasik Lindal diyagramı farklı sıcaklıklara bağlı olarak jeotermal kaynağın kullanılabilir alanlarını göstermektedir. Bu diyagrama son yıllarda $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerindeki jeotermal kaynakların çift çevrim (binary cycle) santrallerinde elektrik üretiminde kullanılması da eklenebilir. Ayrıca, son zamanlarda buharlaşma noktaları düşük gazlar (Freon (CFC), İzobütan (C_4H_{10})) kullanılarak $60\text{-}90\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki sulardan da elektrik üretiminde yararlanma çalışmaları sürdürülmektedir. $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altındaki jeotermal kaynaklardan ise ısı pompaları ile ısıtma ve soğutmada faydalanılmaktadır [6].

Tablo 4. Jeotermal akışkanın sıcaklığına göre kullanılma yerleri
(Lindal Diyagramı)

Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)		Kullanım Alanı
	180	Yüksek yoğunlaşma (konsantrasyon) solüsyonun buharlaşması, amonyum absorpsiyonu ile soğutma
	170	Hidrojen sülfid yolu ile ağır su eldesi, diatomitlerin kurutulması
	160	Kereste kurutulması, balık vb. yiyeceklerin kurutulması
	150	Bayer's yoluyla alüminyum elde edilmesinde
	140	Konservecilikte, çiftlik ürünlerinin çabuk kurutulmasında
	130	Eker endüstrisi, tuz eldesi
Elektrik üretimi	120	Damıtık su eldesi, tuzluluk oranının artırılması
	110	Çimento kurutulması
	100	Organik maddeleri kurutma (yosun, et, sebze vb.), yün yıkama ve kurutma
	90	Balık kurutma
	80	Kent ve sera ısıtması
	70	Soğutma (alt sıcaklık sınırı)
	60	Kümes ve ahır ısıtma
	50	Mantar yetiştirme, balneolojik kullanımlar
	40	Toprak ısıtma, kent ısıtması (alt sınır), turistik tesisler
	30	Yüzme havuzları, mayalanma (fermantasyon), damıtma, sağlık tesisleri
	20	Balık çiftlikleri



Şekil 8. Tipik bir entegre jeotermal değerlendirme sistemi

Jeotermal akışkandan elektrik üretimi, başta A.B.D. olmak üzere İtalya, Japonya, Yeni Zelanda, El Salvador, Meksika, İzlanda, Filipinler, Endonezya ve Türkiye vb. ülkelerde yapılmaktadır.

Genelde elektrik üretimi, jeotermal kaynağın karakteristiğine bağlı olarak üç tip santralde yapılmaktadır.

1. Kuru Buhar Santralleri

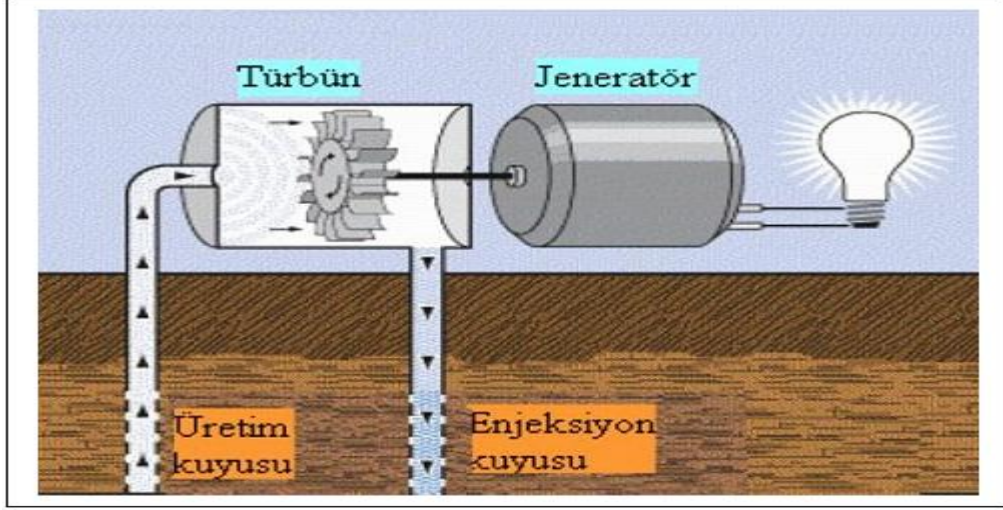
Türbünü döndürmek için kuyudan üretilen kuru buhar direk olarak kullanılır.

2. Flaş Buhar Santralleri

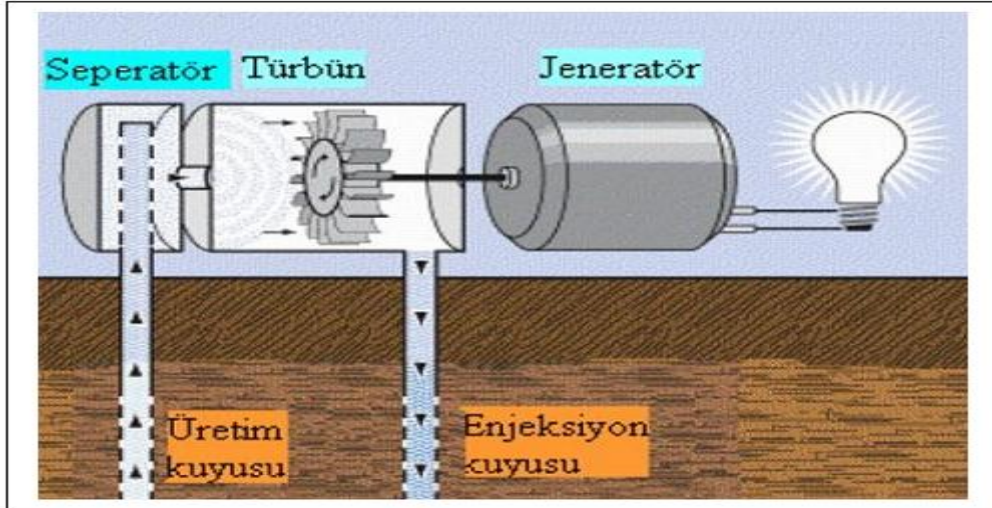
Yüksek basınçla kuyudan gelen akışkan düşük basınçlı separatörlerde su ve buhar olarak ayrılır ve ayrıştırılan buhar ile döndürülmesi sağlanır.

3. Binary cycle santralleri (çift çevrim)

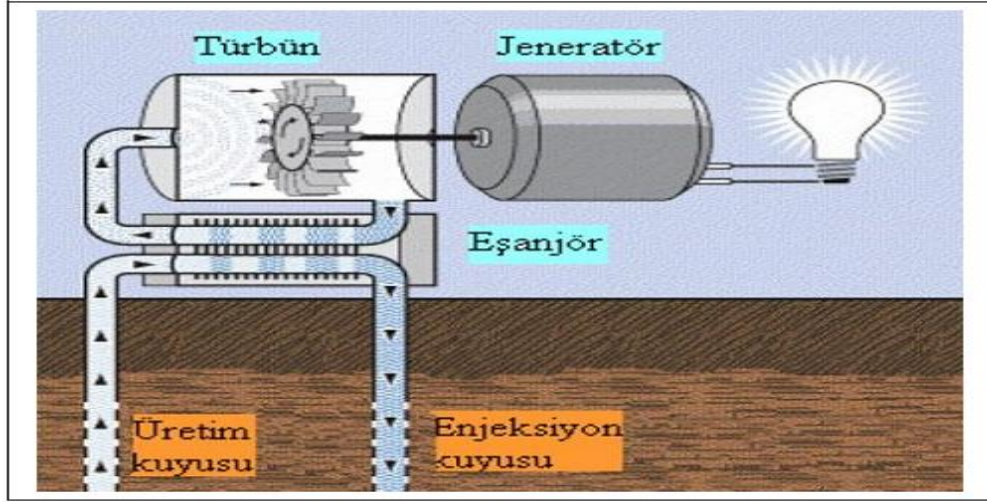
Jeotermal akışkanın sıcaklığından faydalanılarak sudan daha az buharlaşma sıcaklığına sahip akışkan eşanjörde (heat-exchanger) buharlaştırılır ve buharlaşan bu akışkan ile türbünün döndürülmesi sağlanır.



Şekil 9. Tipik bir kuru buhar santrali



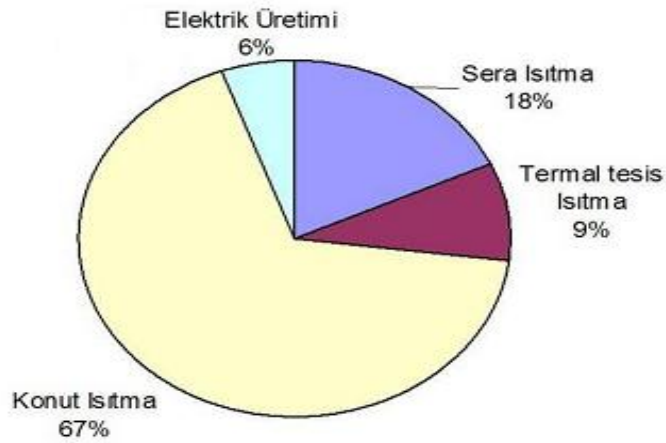
Şekil 10. Tipik bir flash buhar santrali



Şekil 11. Tipik bir çift çevrim (binary cycle) santrali

1.5.2. Jeotermal Enerjinin Türkiye'deki Potansiyeli

Türkiye'de Jeotermal elektrik üretimine uygun potansiyel içeren 17 adet saha bulunmaktadır ve bu sahaların tamamı Batı Anadolu'da yer almaktadır. Bu sahalarda üretim yapan kurulu güç 91,7 MWe'dir. Bu sahaların geliştirme çalışmaları tamamlandığında bu kapasite 630 MWe'ye çıkarılabilecektir. Bugün için bu sahalardan Denizli-Kızıldere'de 15 MW ve 5 MW, Aydın-Salâvatlı'da 7,4 MW ve 9,5 MW, Aydın Germencik'te 47,4 MW ve Çanakkale'de 7,5 MW kurulu güce sahip santralden elektrik üretilmektedir (URL-5, 2010).



Şekil 12. Türkiye'deki mevcut jeotermal enerji uygulamalarının dağılımı

1.6. Güneş Enerjisi

Yaşamın kaynağı olan Güneş, doğal sistem enerjisinin büyük bir bölümünü sağlar. Çapı yaklaşık 1,4 milyon kilometre (dünya çapının yaklaşık 109 katı), kütlesi 2×10^{30} kg (dünya kütlelerinin yaklaşık 330 katı) olan bir yıldızdır. İç çevresinde çok yoğun gazlar bulunur. Yeryüzünden yaklaşık 151.106 milyon km uzaklıktadır. Nükleer yakıtlar dışında, dünyada kullanılan tüm yakıtların ana kaynağıdır. İçinde, sürekli olarak Hidrojenin Helyuma dönüştüğü füzyon reaksiyonları gerçekleşmektedir ve oluşan kütle farkı, ısı enerjisine dönüşerek uzaya yayılmaktadır. Yaklaşık 10 milyar yıl sonra güneşteki Hidrojen yakıtı bitip reaksiyonların son bulması sonucu güneşin, çekim kuvveti etkisiyle büzülüp beyaz cüce adı verilen ölü bir yıldızla dönüşebileceği tahmin edilmektedir. Güneşte açığa çıkan bu enerjinin çok küçük bir kısmı yeryüzüne ulaşmaktadır. Atmosferin dış yüzeyine ulaşan enerji 173.104 KW değerindeyken, yeryüzüne ulaşan değer 1.395 KW'a düşmektedir. Yeryüzüne ulaşabilen ışınım değerinin bu kadar düşük olmasının nedeni atmosferdeki karbondioksit, su buharı ve ozon gibi gazların ışınımı absorbe etmelerinin yanı sıra kat etmesi gereken yolun uzunluğudur. Dış yüzey sıcaklığı $6000 \text{ }^{\circ}\text{K}$ ($5726,85 \text{ }^{\circ}\text{C}$) olarak kabul edilen ve bilinen en büyük siyah cisim olan güneşin yaydığı ışınımın yeryüzüne ulaşabilen miktarı % 70 kadardır. Bu eksilmeler ortaya çıkmadan önce, atmosferin dışında ışınım değeri ise 1367 W/m^2 'dir ve bu değer güneş sabiti olarak alınır. Pratik olarak yeryüzüne ulaşan güneş ışınım değeri 1000 W/m^2 olarak kabul edilmektedir (URL-6, 2011), [7].

Güneş enerjisi çevre açısından temiz bir kaynak özelliği taşıdığından da fosil yakıtlara alternatif olmaktadır. Yeryüzüne her sene düşen güneş ışınım enerjisi, yeryüzünde şimdiye kadar belirlenmiş olan fosil yakıt haznelerinin yaklaşık 160 katı kadardır. Ayrıca yeryüzünde fosil, nükleer ve hidroelektrik tesislerinin bir yılda üreteceğinden 15.000 kat kadar daha fazladır. Bu bakımdan güneş enerjisinin bulunması sorun değildir. Asıl sorun bunun insan faaliyetlerine uygun kullanılabilir bir enerji türüne dönüştürülebilmesindedir [8].

1.6.1. Güneş Enerji Sistemleri

Yüzeyine gelen güneş ışığından ısı ve elektrik üreten güneş enerjisi teknolojileri; tasarım, uygulama alanı, teknoloji düzeyi vb. bakımından büyük çeşitlilik göstermekle birlikte güneş enerjisi uygulamaları esas olarak termal sistemler ve fotovoltaik sistemler olarak iki gruba ayrılabilir [9,10].

1.6.1.1. Termodinamik Sistemler

Termodinamik sistemleri, güneş enerjisi kullanımı için geliştirilen sistemlerdir. Seraların ısıtılmasında, zirai (tarım) ürünlerin kurutulmasında, binaların kışın ısıtılmasında yazın ise ısınmayı önleyecek koşulların sağlanması için kullanılmaktadır. Bu enerji sistemlerinin başlıca tipleri şunlardır (URL-6, 2011).

1. Güneş Kolektörlü Sıcak Su Sistemleri
2. Güneş Havuzları
3. Güneş Bacaları

1.6.1.2. Fotovoltaik Sistemler

Bu sistemlerdeki voltaik (kimyasal elektrik meydana getiren) toplayıcılarda, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmek için kadmiyum sülfür (CdS) veya silikon maddelerinden güneş pili imal edilmektedir. Bu maddeler üzerine gelen güneş ışınlarını anında elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Bu sistemlerde güneş izleme düzeni ile her an mümkün olan en yüksek güneş enerjisinden yararlanılır. Bu enerji sistemlerinin başlıca tipleri şunlardır (URL-6, 2011).

1. Parabolik Oluk Kolektörler
2. Parabolik Çanak Sistemler
3. Merkezi Alıcı Sistemler
4. Güneş Pilleri

1.6.2. Güneş Enerjisinin Türkiye'deki Potansiyeli

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) Genel Müdürlüğünde mevcut bulunan 1966–2010 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışıma şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışıma şiddeti 1311 kWh/m²/yıl olduğu tespit edilmiştir. Güneş enerjisi potansiyeli 380 milyar kWh/yıl olarak hesaplanmıştır (URL-7, 2011).

Tablo 5. Aylara göre Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi (URL-7,2011)

Aylar	Aylık toplam güneş enerjisi KWh/m ² -ay	Güneşlenme süresi (saat/ay)
Ocak	51,75	103
Şubat	63,27	115
Mart	96,65	165
Nisan	122,23	197
Mayıs	153,86	273
Haziran	168,75	325
Temmuz	175,38	365
Ağustos	158,40	343
Eylül	123,28	280
Ekim	89,90	214
Kasım	60,82	157
Aralık	46,87	103
Toplam	1311	2640
Ortalama	3.6 KWh/m ² -gün	7,2 saat/gün

Ülkemizde kurulu olan güneş kolektörü miktarı yaklaşık 12 milyon m² ve teknik güneş enerjisi potansiyeli 76 TEP (883.576 KWh) olup, yıllık üretim hacmi 750.000 m²'dir. Bu üretimin bir miktarı da ihraç edilmektedir. Bu kullanım miktarı, kişi başına 0,15 m² güneş kolektörü kullanıldığı anlamına gelmektedir. Güneş enerjisinden ısı enerjisi yıllık üretimi 420.000 TEP civarındadır. Bu haliyle ülkemiz dünyada kayda değer bir güneş kolektörü üreticisi ve kullanıcısı durumundadır. Ülkemizde çoğu kamu kuruluşlarında olmak üzere küçük güçlerin karşılanması ve araştırma amaçlı kullanılan güneş pili kurulu gücü 1 MW'a ulaşmıştır (URL-1, 2011).

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 6. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı (URL-7, 2011)

Bölgeler	Toplam güneş enerjisi (KWh/m ² -yıl)	Güneşlenme süresi (saat/yıl)
Güney Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

1.7. Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerjisi, güneş radyasyonunun yer yüzeylerini farklı ısıtmasından kaynaklanır. Yer yüzeylerinin farklı ısınması, havanın sıcaklığının, neminin ve basıncının farklı olmasına, bu farklı basınç da havanın hareketine neden olur. Güneş ışınları olduğu sürece rüzgâr olacaktır. Rüzgâr güneş enerjisinin bir dolaylı ürünüdür.

Dünyaya ulaşan güneş enerjisinin yaklaşık % 2 kadarı rüzgâr enerjisine çevrilir. Dünya yüzeyi düzensiz bir şekilde ısınır ve soğur, bunun sonucu atmosferik basınç alanları oluşur, yüksek basınç alanlarından alçak basınç alanlarına hava akışı yapar (URL-8, 2011).

Bir tropikal ada üzerindeki rüzgârlar (ticaret rüzgâr) gündüz ve gece boyunca hemen hemen sabit bir rüzgâr akışı sağlayarak oldukça bağımlıdır. Ne yazık ki, dünyanın her bölgesinde ticaret rüzgârları yoktur ve hava sistemleri her bir kaç gün süresinde hareket eder. Rüzgâr hızında, durgun bir havadan bir fırtınaya kadar çok farklı değişimler vardır. Elektrik enerjisi kullanımı zamana bağlı olduğu için rüzgârdaki günlük ve mevsimsel değişimler önemli bir göstergedir (URL-8, 2011).

Geleneksel güç santrallerinin aksine, enerji güvenliği açısından yakıt maliyetlerini ve uzun dönemli yakıt fiyatı risklerini eleyen ve ekonomik, politik ve tedarik riskleri açısından diğer ülkelere bağımlılığı azaltan yerli ve her zaman kullanılabilir bir kaynaktır.

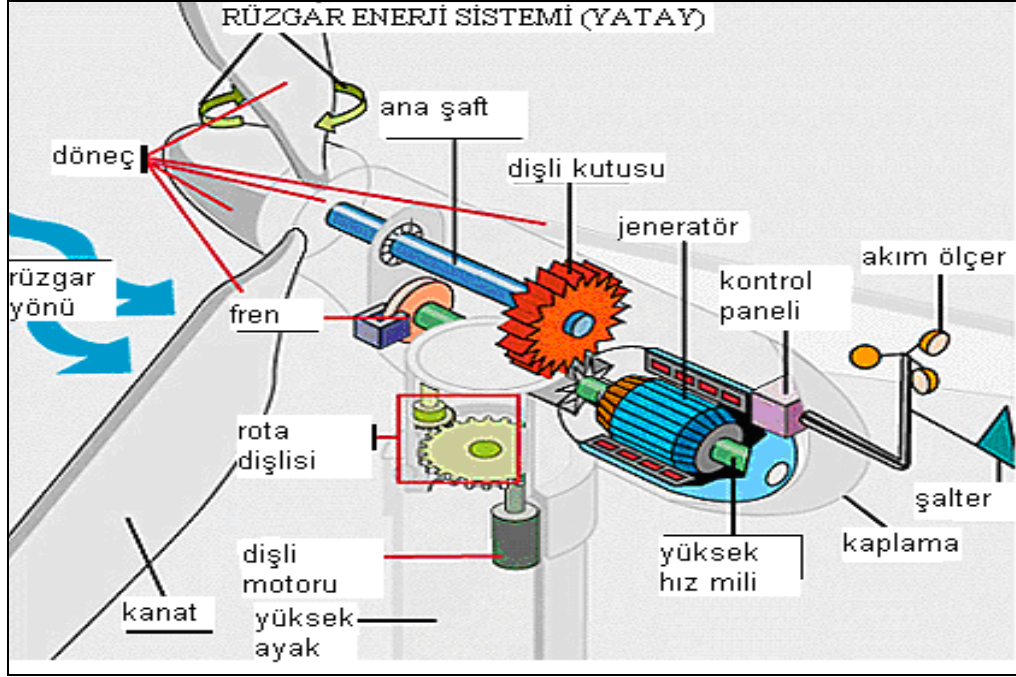
1.7.1. Rüzgâr Türbinleri

Rüzgâr türbinleri ürettikleri enerji büyüklükleri açısından bakıldığında bireysel kullanıma uygun küçük ünitelerin yanında şehir şebekesine elektrik veren devasa türbinler şeklinde de olabilir. İster büyük, ister küçük olsun rüzgâr türbinlerinde çalışma mekanizması aynıdır. Atmosferdeki hava hareketleri türbinin kanatlarında bir dönme hareketi oluşturur. Türbinin bağlı olduğu jeneratörler bu hareketi elektrik akımına dönüştürürler. Rüzgâr enerjisi türbin sistemleri yatay, dikey ve eğik eksenli sistemler olmak üzere üç kısma ayrılır [11].

1.7.1.1. Yatay Eksenli Sistemler

Dönme eksenini rüzgâr akımına paralel olan sistemlerdir. Rüzgâr enerjisi sistemlerinden en çok kullanılanıdır. Genellikle 3 kanatlıdır. Aslında kanat sayısı türbinin ne amaçla kullanılacağına bağlıdır. Elektrik üretmek için kullanılan sistemlerde 3 kanatlılar kullanılırken, su pompalama sistemlerinde yüksek bir moment sağlamak

amacıyla çok kanatlı türbinler kullanılır. Yatay eksenli sistemler rüzgârın yön değiştirmesine uyum sağlamak amacıyla kuyruk adı verilen bir düzeneğe sahiptir. Düzenek bir rüzgâr gülü gibi çalışarak kanatların sürekli rüzgâr almalarını sağlarlar [12].



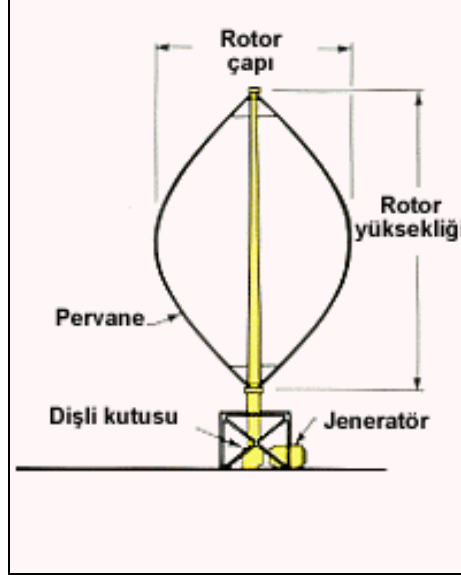
Şekil 13. Tipik bir yatay eksenli rüzgâr enerji sistemi

Rüzgâr türbinlerinin kurulacakları bölgeler rüzgâr rejimi bakımından dikkatli seçilmelidir. Ana parça çevredeki rüzgâr engelleyici bina, ağaç vb. etkilerini azaltmak amacıyla yüksek bir ayak üzerine monte edilir. Pervane rüzgâr akımıyla döner ve dönme hareketi ana şafta verilir. Şafttaki dönme hareketi dişli kutusuna iletilir. Dişli kutusu değişik çaplarda çarklardan olur ve devir sayısını artırır. Oluşabilecek aşırı hızı frenleyici dengeler. Son olarak jeneratöre gelen hareket elektrik enerjisine dönüştürülür.

1.7.1.2. Dikey Eksenli Sistemler

Dikey eksenli türbinlerde dönme eksenini ve rüzgâr akımı birbirlerine diktirler. Yatay eksenlilere göre yaygınlıkları çok azdır. İşlev bakımından önemli bir değişiklikleri yoktur. Rüzgârın yönüne göre, bir kuyruk yardımına ihtiyaç duymayan

dikey sistem her yönden gelen rüzgârı alabilecek yapıdadır. Sistem Fransız mühendis G.Darrieus tarafından geliştirilmiştir [12].



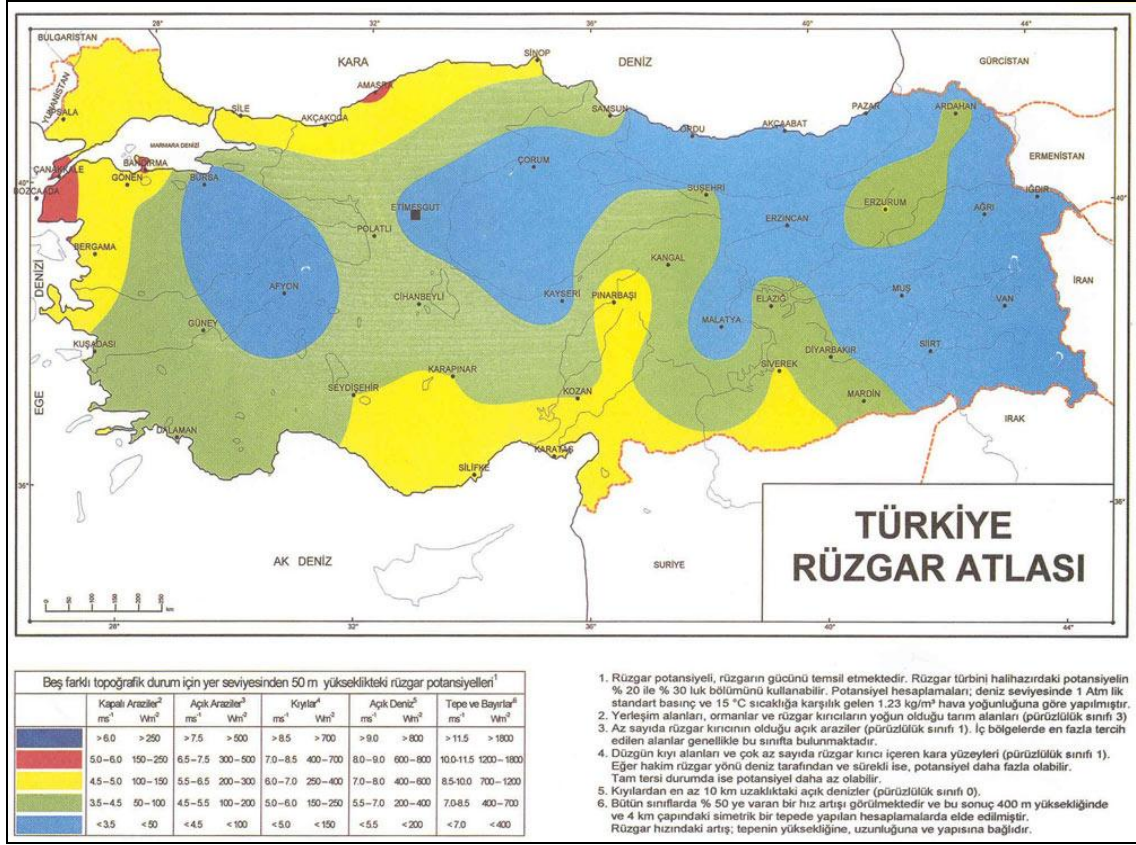
Şekil 14. Tipik bir dikey eksenli rüzgâr enerji sistemi

1.7.1.3. Eğik Eksenli Sistemler

Eğik eksenli türbinlerde dönme eksenleri düşeyle, rüzgâr yönünde bir açı yapan türbinlerdir. Bu tip türbinlerin kanatları ile dönme eksenleri arasında belirli bir açı bulunmaktadır. Yaygın bir kullanım alanı bulunmamaktadır [12].

1.7.2. Rüzgâr Enerjisinin Türkiye'deki Potansiyeli

2007 yılında gerçekleştirilmiş olan Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) ile ülkemizde yıllık rüzgâr hızı 8,5 m/s ve üzerinde olan bölgelerde en az 5.000 MW, 7,0 m/s'nin üzerindeki bölgelerde ise en az 48.000 MW büyüklüğünde rüzgâr enerjisi potansiyeli bulunduğu tespit edilmiştir (URL-9, 2011), [11].



Şekil 15. Türkiye rüzgâr enerji potansiyel atlası (REPA)

2004 yılı itibariyle sadece 18 MW düzeyinde olan rüzgâr enerjisi kurulu gücünün artırılmasında aşama kaydedilmiştir. 2010 yılı sonu itibariyle rüzgâr kurulu gücümüz 1265,6 MW düzeyine ulaşmıştır. Yenilenebilir Enerji Kanununun yürürlüğe girmesinden sonra 3.363 MW kurulu gücünde 93 adet yeni rüzgar projesine lisans verilmiştir. Bu projelerden yaklaşık 1.100 MW kurulu gücünde santrallerin yapımı devam etmektedir (URL-9, 2011).

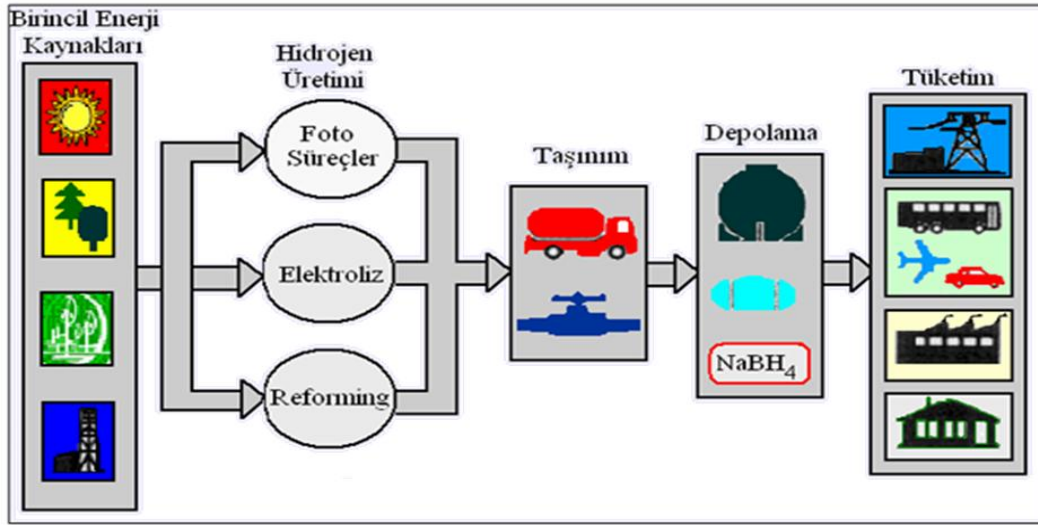
1.8. Hidrojen Enerjisi

Sudan elde edilebilirliği sayesinde sonsuz bir enerji olan hidrojen günümüz teknolojisi ile motorlu taşıtlarda yakıt olarak kullanılabilir. Hidrojenin çevre dostu olması ve geleneksel yakıtlara göre avantajlarının bulunması yakın gelecekte en gözde enerji kaynağı olmasını sağlamaktadır.

Hidrojenin en belirgin özelliği oksijen ile çabuk reaksiyona girmesidir. Bu özelliği ile hidrojen doğal bir reaktiftir. Düz cam üretiminde, elektronik mikroçip üretiminde olduğu gibi oksijenin temizlenmesi için azot atmosferlerine de hidrojen verilir.

evre kirliliğine sebep olan önemli etkenlerden birisi de içten yanmalı motorlardan kaynaklanan egzoz emisyonlarıdır. Fosil kaynaklı yakıtların aşırı kullanımı sonucu azalması ve artan evre kirliliği, evre bilincine uygun ve yenilenebilir alternatif yakıtların araştırılmasını gündeme getirmiştir. Araştırılacak alternatif yakıtın içten yanmalı motorun performansını fazla düşürmemesi ve egzoz emisyonlarını olumlu yönde etkilemesi gerekmektedir. Ayrıca bu yakıtın elde edilebilirliği, maliyetinin düşük olması, kullanılabilirliği, bulunabilirliği ve motorda fazla değişiklik gerektirmeden kullanılması da önem taşımaktadır. Yüksek verim, evre sorunları ve fosil yakıt rezervlerinin azalması gibi sorunlar 21.yy enerji tercihinin elektrik ve hidrojenden yana olması sonucunu doğurmaktadır. Bu iki alternatif yakıt birbirine dönüştürülebilmektedir. Ayrıca hidrojen elektrikten daha iyi depolanabilmekte ve uzun mesafelere taşınabilmektedir. Bu özelliği hidrojenin uçaklar ve motorlu taşıtlar içinde yakıt olarak kullanılabilmesini sağlamaktadır [14].

Elektroliz ile sudan elde edilebilmesi, fiziksel ve kimyasal, özellikleri, benzine göre motordan daha yüksek güç elde etme imkânı sağlaması ve çevreye olumlu etkileri hidrojeni önemli bir alternatif yakıt durumuna getirmektedir. Motor yakıtı olarak hidrojen kullanımı 1920’li yıllarda başlamış ve günümüze kadar yapılan çalışmalarla hidrojen kullanım sınırına ulaşmıştır. Uygulamanın yaygınlaştırılmasının önündeki engeller; ekonomik faktörler ve mevcut enerji sistemleri ile geleneksel motorların demodeleşmesinin getirebileceği sakıncalardır. Ancak evresel koşullar bir an önce kullanımın başlamasını zorunlu kılmaktadır [14].



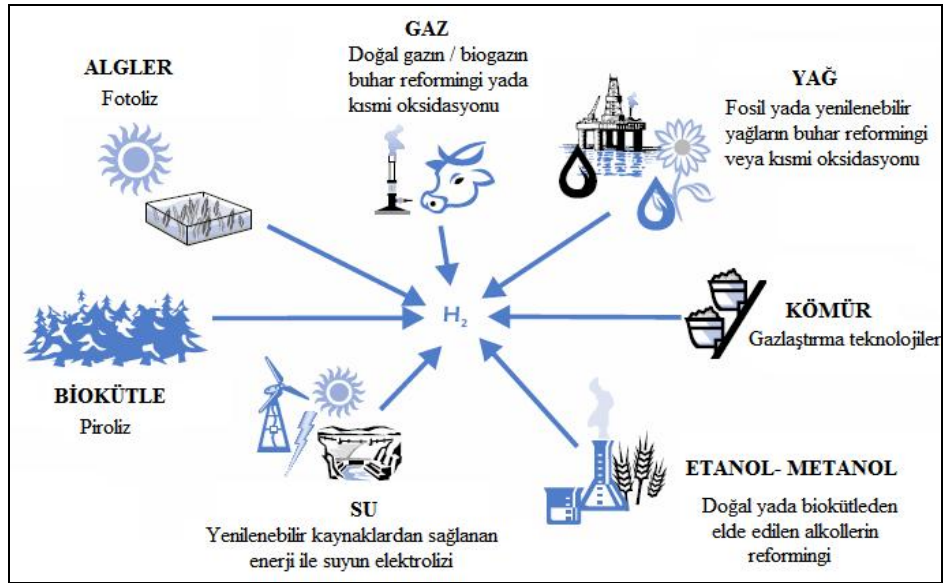
Şekil 16. Tipik bir hidrojen enerji sistemi

1.8.1. Hidrojen Gazı ve Kimyasal Özellikleri

Doğadaki en basit atom yapısına sahip hidrojen, günümüzde kabul gören evlerin oluşumu kuramında da belirtildiği gibi, bütün yıldızların ve gezegenlerin temel adresidir. Evrende % 90'dan fazla hidrojen bulunmaktadır. Güneş ve diğer yıldızların termonükleer tepkimeye vermiş olduğu ısının yakıtı da yine hidrojen olup, evrenin temel enerji kaynağıdır. Periyodik cetvelin en başında yer alan hidrojenin çekirdeğinde bir proton ve çevresinde yalnız bir elektron bulunur. Ancak 5.000 hidrojen atomunun birinin çekirdeğinde birde nötron bulunur. Bu durumdaki hidrojen atomuna döteryum adı verilir. Döteryum, hidrojenin önemli bir yerdeşi olup, bu izotopun zenginleştirilmesi ve oksijenle birleştirilmesinden elde edilen suya "ağır su" denir. Ağır su, nükleer reaktörlerde, uranyumun parçalanması sırasında çıkan nötronların yavaşlatılması için ılımlayıcı olarak kullanılır. Hidrojenin çok daha az bulunan bir başka izotopu da, çekirdeğinde iki nötron bulunan ve trityum adı verilen hidrojendir. Radyoaktif olan trityum, hidrojen bombası yapımında kullanılır. Normal sıcaklık ve basınç altında kokusuz ve renksiz olan bu gaz (H_2) oksijenle birleştiğinde yaşam için en önemli madde, yani su elde edilmektedir. Hidrojen çok hafif bir gaz olup, yoğunluğu havanın 1/14'ü, doğal gazın ise 1/9'u kadardır. Atmosfer basıncında $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye soğutulduğunda sıvı hale gelen hidrojenin yoğunluğu ise benzinin 1/10 kadar olmaktadır. Hidrojen gazının ısı değeri metreküp başına yaklaşık 12 milyon joule olarak verilmiştir. Sıvı

hidrojenin ısı değeri ise metreküp başına 8.400 milyon joule veya kg başına 120 milyon joule olarak bulunmuştur [14, 15].

Hidrojenin ilk bulunuşunun, 1500 yıllarında Paracelsus tarafında yapılmış olduğu söylenmekle birlikte, havayla karışarak patlama şeklinde yandığı 1700 yıllarında Lemory tarafından gösterilmiştir. 1781’de ise Cevendish hidrojenin havayla birleşerek yandığında atık ürünün su olduğunu deneyle saptamıştır. Bu dönemlerde hidrojen, metallerin asit ile tepkimesi sonucu elde edilmekteydi. Fakat daha sonra endüstri devriminin başlangıcı sayılan 19. yüzyılın ilk yarılarında, kömür-su-gaz tepkimeleri ve 20. yüzyıl da elektroliz başlıca hidrojen üretim şekli olmuştur. Doğalgazın 1940 yıllarında kullanılabilir olmasından önce buhar ve demir işlemleri hidrojen üretiminde yer alan önemli bir yöntemdi [11].



Şekil 17. Hidrojen üretim kaynakları

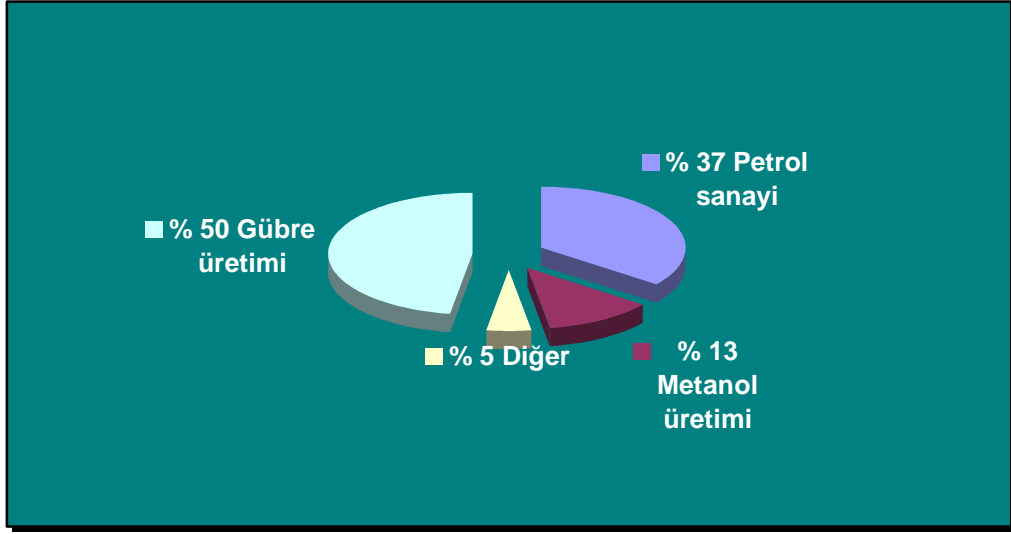
Kolaylıkla anlaşılacağı gibi, güneş enerjisi devam ettiği sürece, dünyanın enerji sorununu çözmek için kullanılacak bu enerji ile okyanuslardan elde edilecek hidrojen tutarı, milyarlarca yıl yetecek enerjiyi devamlı olarak üretebilecektir. Aşağıda ki tabloda hidrojenin fiziksel ve kimyasal özellikleri görülmektedir.

Tablo 7. Hidrojenin bazı özellikleri [14]

Molekül Ağırlığı	2,016 gr/mol
Kaynama Noktası (1 atm'de)	-252,87 °C
Yoğunluk (sıvı)	0,071 kg/l
Yoğunluk (gaz, 15 °C, 1 atm'de)	0,0852 kg/m ³
Spesifik Isı	3,41 J/gr °C
Isıl kapasite	14,32 J/kg.K
Spesifik Ağırlık (gaz)	0,07 m ³ /kg
Kritik Basınç	12,8 atm
Kritik Sıcaklık	-239,9 °C

1.8.2. Hidrojenin Üretimi ve Kullanılan Yöntemler

Hidrojene dayalı enerji sistemlerinin yeni olmasına karşın hidrojen üretimi yeni değildir. Şu anda dünyada her yıl 500 milyar m³ hidrojen üretilmekte, depolanmakta, taşınmakta ve kullanılmaktadır. Hidrojenin sadece % 5'nin ticari boyutlu enerji üretimi amacıyla üretildiği tahmin edilmektedir. En büyük kullanıcı payına kimya sanayi, özellikle petrokimya sanayi sahiptir. Hidrojen birçok endüstriyel uygulamalarında kullanılmaktadır, gübre amaçlı amonyak üretimi, petrol ürünlerinin yükseltilmesi ve metanol üretimi bunların en başlıcalarıdır [13, 17].



Şekil 18.Hidrojenin tüketim alanları

Hidrojenin diğer yakıtlardan en belirgin farkı ve avantajı, kendisinin var olan yakıtlardan elde edilmesinin yanı sıra elektrolizle de elde edilmesidir. Bu işlemde genellikle su kullanılmaktadır. Güneş, rüzgâr ya da su enerjisi gibi yenilenebilir kaynaklar kullanarak da suyun elektrolizi mümkündür. Günümüzde hidrojen ağırlıklı olarak doğal gazdan buhar reformasyonu sonucu elde üretilmektedir. Yöntemin ekonomik olması tercih edilmektedir. Hidrojen üretim yöntemlerinden başlıcaları aşağıda verilmektedir.

1.8.2.1. Fosil Yakıt ve Biokütleden Hidrojen Üretimi

Bu yöntemdeki temel prensip fosil yakıtları bazı kimyasal işlemlerden geçirerek hidrojen üretimi sağlamaktır. Fosil yakıtlardan hidrojen üretimi bilinen en eski ve maliyeti en az olan yöntemdir. Fosil yakıtların karbon bazlı olmasından dolayı ayrışmaları esnasında karbondioksitin (CO_2) yan ürün olarak elde edilmesi kaçınılmazdır. Biokütlenin de karbon bazlı olması ve hidrojen üretiminde CO_2 açığa çıkmasından dolayı bu yöntemler içine ilave edebilir [15, 17].

1. Metan Buhar Reformasyonu

Buhar reformasyonu günümüzde kullanılan en ekonomik yöntem olup dünyadaki hidrojenin yarısı bu yöntem ile elde edilmektedir. Bu yöntem 700-1100

$^{\circ}\text{C}$ 'deki su buharıyla metan gazının (doğal gaz) bir katalizör ortamında yüksek basınç altında karışmasından meydana gelmektedir [17].

2. Kısmi Oksidasyon ve Ototermal Reformasyon

Kısmi oksidasyon ve ototermal reformasyonu metan buhar reformasyonunun benzer alternatifleridir. Kısmi oksidasyonda metan tek aşamalı bir reaksiyonda oksitlenirken ototermal reformasyon da bu işlem kısmi ve reformasyon reaksiyonlarının bileşiminden meydana gelmektedir. Metanın kısmi oksidasyon işlemi ürünler CO ve H_2 'dir [17].

3. Kömürün Gazlaştırılması

Metan buhar reformasyonunda olduğu gibi kömürün gazlaştırılması işlemi de üç aşamadan meydana gelmektedir. Bunlar sırasıyla H_2 ve CO elde etmek için kömürün yüksek sıcaklıkta (1330°C) muamele görmesi, katalitik geçiş dönüşümü ve hidrojenin saflaştırılmasıdır [17].

4. Biokütle Pirolyzi ve Gazlaştırılması

Biokütle'ye örnek olarak ağaç, mısır, buğday gibi özel olarak yetiştirilen bitkileri, otları, yosunları, denizdeki algleri, evlerden atılan meyve ve sebze artığı gibi tüm organik çöpleri, hayvan dışkılarını, gübre, sanayi atıklarını ve kentsel katı atıkları saymak mümkündür. Biokütleden hidrojen üretimi iki şekilde yapılmaktadır. Bunlar biokütlenin direk gazlaştırılması ve biokütleden piroliz ile bio-yağ eldesini takip eden reformasyon aşamasıdır [14, 17].

1.8.2.2. Nükleer Isı ve Alternatif Enerji Kaynaklarından Hidrojen Üretimi

Nükleer ısı ve alternatif enerji kaynaklarını kullanarak hidrojen üretmede endotermik olarak suyun ayrıştırılması işlemi kullanılır. Bunlar fosil yakıt işlemlerine oranla daha yeni ve yüksek maliyetli teknolojilerdir. Fakat hem CO_2 gibi çevreye zararlı emisyonlara hem de yenilenemez enerji kaynaklarının tükenmesine neden olmazlar. Fotokatalitik ve fotobiyolojik işlemlerde güneş enerjisi, sülfür iyodine işleminde nükleer enerji ve suyun elektrolizinde ise elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Elektrolizdeki elektrik fosil yakıtlardan elde edilebileceği gibi nükleer ya da daha temiz

olan rüzgâr, güneş ya da su gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından da elde edilmesi mümkündür [15, 17].

1. Elektroliz

Elektroliz işleminde suyu diatomik moleküllerine (H_2 ve O_2) ayrıştırmak için elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Sulu çözelti ortamındaki iki elektrota potansiyel fark uygulanarak gerçekleştirilir. Elektrotlar tarafından absorplanan ve salınan elektronlar hidrojenin katotta oksijenin de anotta toplamasını sağlar [17].

2. Sülfür İyot Çevrimi

Sülfür-iyot üretim yönteminin çevrim ısısı genelde nükleer ısı kaynağından sağlanmaktadır. Bu ısı sayesinde bir dizi termal reaksiyonlar tetiklenerek, sisteme giren su ve sülfür-iyot, dışarıya serbest H_2 ve O_2 salınmasına yol açmaktadır [17].

3. Fotobiyolojik Hidrojen Üretimi

Foto sentetik organizmalar, güneş enerjisini bütün dünyada çok büyük miktarlarda depolayan bir enerji depolama mekanizması oluşturmaktadır. Normal olarak, fotosentetik sistemler CO_2 'i karbonhidratlara indirger fakat doğrudan hidrojen vermezler. Bugüne kadar H_2 veya O_2 üretebilen en verimli foto biyolojik sistemlerin, yeşil alg ve cyano-bakteria gibi algler olduğu anlaşılmıştır [17].

Bu yöntemde bir çözelti içindeki H^+ iyonlarının indirgenmesiyle H_2 üretimi sağlanmaktadır. Çözelti içinde bulunan yeşil su yosunlarının ürettiği hydrogenase katalizörü sayesinde indirgenme reaksiyonu gerçekleşmektedir. Sülfürden yoksun bir ortam olmasından dolayı normalde fotosentezin ilk aşamasında oluşan O_2 'nin oluşumu engellenmiş olup diğer yan ürünler $2H^+$ iyonu ve 2 elektron elde edilmektedir. Hydrogenase enziminin eşliğinde bu hidrojen iyonları H_2 molekülüne dönüşmektedir [17].

1.8.2. Hidrojenin Depolama Sistemleri

Hidrojen en hafif yakıt olmasından dolayı depolanması özellikle araçlarda önemli bir sorun oluşturmaktadır. Mobil uygulamalarda, hidrojen genellikle kriyojenik

(kaynama derecesi çok düşük) sıvı, düşük sıcaklıklarda veya ortam sıcaklıklarında sıkıştırılmış gaz olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda, hidrojenin bazı metal alaşımlar ile reaksiyona girip bileşik oluşturması ilkesine dayanan metal hidrür ve hidrojenin nano yapılarıdaki karbon tüp veya fiber ortamlarda depolanması yöntemleri geliştirmekte olan teknolojiler arasında yer almaktadır. Ancak metal hidrürlerin çok ağır olması ve depolama özelliği için birçok alaşımın nadir elementlerden meydana gelmesi nedeniyle çok pahalı olması kimyasal hidrürlere yönelik çalışmaları ön plana çıkarmıştır. Hidrojen kirliliğe sebep olmayan temiz bir yakıt olması, yüksek depolanabilme kapasitesi ve düşük sıcaklıkta % 70 verimlilikle elektriğe dönüştürülebilmesi gibi özelliklerinden dolayı tercih edilen bir enerji çeşididir [13, 15, 16].

Hidrojenin başlıca depolanma yöntemleri aşağıda verilmektedir [16].

1. Hidrojenin sıkıştırılmış gaz olarak depolanması
2. Hidrojenin kriyojenik sıvı olarak depolanması
3. Hidrojenin sodyum metaboratın (NaBH_4)'de depolanması
4. Hidrojenin kimyasal hidrürlerde depolanması
5. Hidrojenin metal hidrürde depolanması
6. Hidrojenin karbon absorpsiyon ile depolanması
7. Hidrojenin cam kürelerde depolanması

1.8.3. Türkiye'deki Hidrojen Çalışmaları

Türkiye geniş enerji kaynaklarına sahip olmasına rağmen, ciddi oranda enerji açığı bulunan bir ülke konumundadır. Bu durum enerji talebi için yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları arayışına yol açmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları güneş, rüzgâr, biomas, solar, hidrojen- sınırsızdır ve her bir yenilenebilir enerji kaynaklarının olumlu ve olumsuz yönleri mevcuttur. Bu enerji kaynakları arasında en iyi enerji kaynağı ise yukarıda da bahsettiğimiz birçok özelliğinden dolayı hidrojen enerjisidir [15].

Ülkemizde hidrojen enerjisine verilen önem diğer alternatif kaynaklarda olduğu gibi düşük düzeydedir. Ülkemizde hidrojen enerjisi (yakıt hücresi) konusunda üniversitemizde çalışmalar yapılmaktadır [15].

1.9. Biyokütle Enerjisi

Biyokütle terimi genel anlamda yaşayan organizmalardan üretilen madde anlamına gelmektedir. Biyokütle, temel bileşenleri karbonhidrat bileşikleri olan kısa sürede yenilenebilen bitkisel ve hayvansal kökenli tüm doğal maddeler olarak da tanımlanabilir. Bu kaynaklardan üretilen enerji ise “biyokütle enerjisi” olarak adlandırılmaktadır. Biyokütle, özellikle gelişmekte olan ülkeler için uygulama alanı geniş enerji kaynaklarından biri olup sadece yenilenebilir olması ile değil, her yerde yetiştirilebilmesi, sosyo-ekonomik gelişme sağlaması, elektrik üretimi, kimyasal madde ve özellikle taşıtlar için yakıt elde edilebilmesi nedenleri ile aynı zamanda stratejik bir enerji kaynağı da sayılmaktadır [18].

Biyokütle kaynakları, enerji üretmek amacıyla doğrudan veya çeşitli dönüşüm süreçleri ile değerlendirilmektedir. Termokimyasal bozundurma süreçleri ile biyokütle sıvı, katı ve gaz ürünlere dönüştürülmekte ve bu ürünler enerji üretiminde ve çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılabilir [18].

1.9.1. Biyokütle Çevrim Teknolojileri

Biyokütle kaynakları kullanılan çevrim teknikleri, bu teknikler kullanılarak elde edilen yakıtlar ve uygulama alanları aşağıda özetlenmektedir.

Tablo 8. Biyokütle çevrim teknolojileri [19]

Biyokütle	Çevrim Yöntemi	Yakıtlar	Uygulama alanları
Orman artıkları	Havasız Çürütme	Biyogaz	Elektrik üretimi, ısınma
Tarım atıkları	Piroliz	Etanol	Isınma, ulaşım araçları yakıtı
Enerji bitkileri	Doğrudan yakma	Hidrojen	Isınma
Hayvansal atıklar	Fermantasyon, havasız çürütme	Metan	Ulaşım araçları yakıtı, ısınma
Çöpler (organik)	Gazlaştırma	Metanol	Uçak yakıtı
Algler	Hidroliz		Sentetik yağ ve roket yakıtı

Tablo 8. (devamı) Biyokütle çevrim teknolojileri

Enerji ormanları	Biyofotoliz	Motorin	Ürün kurutma
Bitkisel ve Hayvansal yağlar	Esterleşme reaksiyonu	Motorin	Ulaşım araçları yakıtı, ısınma ve seracılık

1.9.2. Biyokütleden Enerji Üretim Teknolojileri

Çürümeye terk edilen biyokütle, yenilenebilir alternatif bir enerji kaynağıdır ve dünya ekonomisine kazandırılabilir. Modern çağda özellikle atık konumundaki biyokütle, bazı proseslerle işlenerek enerji yoğunluğu artırılarak kullanılmaktadır. Bu prosesler, aşağıda özetlenmektedir.

1.9.2.1. Fiziksel Prosesler

1. Kurutma

Kurutmanın en önemli amacı, biyokütlenin bozulmadan uzun süre depolanabilmesidir. Sıcak hava ile kurutma, güneşte kurutma, vakumla kurutma gibi kurutma işlemleri uygulanabilmektedir. Mikrodalga, rotari kurutma (rotary furnace) gibi gelişmiş teknolojileri kullanarak yapılan kurutma işlemleri de vardır [20,21].

2. Öğütme

Kuru biyokütlenin parçacık büyüklüğü, kullanıldığı proses öncesi miller, bıçaklar, bilyeler gibi çeşitli öğütme teknikleri kullanılarak istenilen büyüklüğe ayarlanmaktadır [22].

3. Pelletleme ve Biriktleme

Pellet, odun artıklarının kurutulup öğütülerek talaş haline getirildikten sonra yüksek basınçla sıkıştırılmasıyla çapı 6-10 mm boyutlarında oluşturulan maddedir. Briket ise 5-20 cm arasında değişen boyutlarda üretilmektedir.

Özellikle tarım ve orman artıklarının homojen olmamaları ve çok fazla hacim kaplamaları nedeniyle direkt yakıt olarak kullanılmaları oldukça zordur. Bu problem, bu tür biyokütlenin kompakt ve düzenli bir şekilde yoğunluğunun arttırılmasıyla yani pellet veya biriket haline getirilmesiyle çözülebilir. Bunun için kullanılan teknolojiler, bir piston veya vida yardımıyla basınç uygulanarak biyokütlenin istenilen şekil ve büyüklüklerde kesilmesine dayanır.

Odun pelletleri genellikle kimyasal bağlayıcı maddeler eklenmeden yüksek basınçla oluşturulurlar. Biyokütlenin içerisindeki doğal moleküller bağlayıcı görevi de görmektedir.

Pellet veya biriket haline getirilmiş biyokütlenin yakılarak enerjisinden faydalanılabilir. Odun briketi aynı ağırlıktaki yakacak oduna göre daha fazla ısı verir, daha temizdir ve daha uzun süre yanmaktadır. Biyokütlenin pellet veya biriket haline getirilmesinin yararları aşağıdaki şekilde sıralanabilmektedir [20, 21].

1. Odunsu artıkların ileri termo kimyasal dönüşümler için kullanımının sağlanması
2. Depolama alanının azaltılması
3. İşleme biçiminin ve taşımanın kolaylaştırılması ve masrafların azaltılması
4. Enerji yoğunluğu / hacim oranının arttırılması
5. Fermantasyon nedeniyle oluşan madde kaybının ortadan kaldırılması

1.9.2.2. Biyolojik ve Kimyasal Prosesler

1. Biyogaz

Doğal olarak oluşmuş bataklıklarda milyonlarca yıldır mikroorganizmalar oksijensiz veya sınırlı oksijenli ortamda kendi metabolik faaliyetleri için organik ve inorganik maddeler kullanarak metan, karbon dioksit ve eser miktarda hidrojen, azot ve hidrojen sülfür içeren bir gaz karışımı oluştururlar. Bu gaz bataklık gazı, gübre gazı veya biyogaz gibi isimlerle anılmaktadır. Bu proses, insanoğlunun çok sonra dikkatini çekmiş ve biyogaz üretim teknolojileri gelişmiştir. Biyogaz oluşumunda yaş biyokütle mikrobiyolojik bakteri faaliyetleri ile parçalanır ve oksijensiz ortamda biyokimyasal

fermantasyon gerçekleşir. Biyogaz üretimi sırasındaki aşamalar ise aşağıda verilmektedir [23].

a) Sıvılaşma Aşaması (Asitojen veya hidroliz): Yaş biyokütlerde bulunan lipitler, proteinler, karbonhidratlar, suda çözünen şeker, yağ asidi, amino asit, gliserin, alkol, karbonhidrat monomerleri gibi moleküllere parçalanır.

b) Asetojen Aşaması: Bu ikinci aşamada alkoller, uzun yağ asitleri ve asetatlar gibi bileşiklerin olduğu fermentasyon başlar. Bakteriler, sıvılaşma aşamasının ürünleriyle beslenerek uçucu yağ asitleri, sirke asidi, hidrojen ve karbon dioksit oluştururlar.

c) Metanojenesis Aşaması: Çoğunluğu metan ve karbondioksitten oluşan gaz ürünlerinden oluşur. 1 m³ lük biyogazın ortalama hacimsel bileşimi, % 54-80 CH₄, % 20-45 CO₂, % 0-1 N₂, % 1-10 H₂, % 0,1 CO, % 0,1 O₂ ve az miktarda H₂S şeklindedir.

Elde edilen biyogaz; gaz motoru ve jeneratör yardımıyla ısı ve elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Ancak kullanıma sunulmadan önce korozif etkisi olan ve motor için uygun olmayan H₂S, CO, CO₂ gibi gazlardan arındırılmalıdır. Biyogaz teknolojisi ile üretilen metan gazı yandığı zaman geleneksel fuel yakıtlara göre çok daha az miktarda CO₂ emisyonu yapar, dolayısıyla çevreye dost bir yakıttır. Ayrıca, biyokütlenin çürümeye terkedilmesi sırasında oluşacak metan gazının, CO₂'ye göre kat kat fazla olan sera gazı etkisi de ortadan kaldırılmış olur [23, 24].

Biyogaz teknolojisi; tarım atıkları, kanalizasyon atıkları, zirai atık sular, hayvan gübreleri, evsel biyolojik atıklar ve küspe gibi nem içeriği yüksek atıklar için daha uygundur. Hidrojen üreten bakteriler kullanılarak, biyogaz üretim yöntemleri ile çok önemli bir enerji kaynağı olan hidrojen de üretilebilmektedir [24].

2. Biyoetanol

Biyokütle içerisinde yüksek oranda şeker bulunuyorsa bu çeşit biyokütle, enerji kaynağı olan alkol üretimi için kullanılabilir. Oksijensiz ortamda fermentasyon yoluyla alkol üretimi yapılır. Biyoetanol üretimi için yapısında karmaşık karbonhidrat

polimerleri içeren biyokütle de kullanılabilir. Lignoselülozik (selüloz içeren) veya odunsu biyokütle; selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi polimer karbonhidratlarınca zengindir. Selüloz, glikoz birimlerinden oluşan bir polimerdir. Bu maddeler hidrolize olduklarında basit şekerleri oluştururlar ve daha sonra fermente olduklarında etanol üretirler. Hemiselüloz; faklı şeker birimlerinden oluşmuş dallanmış bir yapıya sahiptir ve hidrolizi selüloza göre daha kolaydır. Lignin ise alkol gruplarını da içeren çok daha karmaşık bir yapıya sahip olduğundan fermantasyonu oldukça zordur. Biyokütlenin çeşidine göre içerdiği selüloz, hemiselüloz ve lignin miktarları da çeşitlilik gösterir. Sonuç olarak hemiselüloz ve basit şeker içeriği yüksek olan biyokütleden etanol üretim verimi yüksektir. Biyokütle içerisinde basit şeker oranı ne kadar yüksek ise etanol üretimi için gereken teknoloji de o kadar basittir [23, 24].

3. Biyodizel

Bitkisel ve hatta hayvansal yağlar biyodizel olarak kullanılmaktadır. Yağlar, yağ asitlerinin gliserin ile oluşturduğu esterler ve trigliseritlerdir. Trigliseritlerin hidrolizinden elde edilen doymuş ya da doymamış yağ asitleri, metanol veya etanol ile transesterifikasyon işlemine tabi tutulur. Oluşturulan yağ asidi metil-etil esterleri doymuş ya da doymamış hidrokarbon zinciri içerir. İşte bu hidrokarbon zinciri kimyasal enerjinin çoğunu depolar. Bu amaçla kullanılan yağlar; ayçiçeği yağı, soya yağı, hurma yağı ve fındık yağı, kanola yağı, hayvansal yağlar gibi yağlardır. Atık mutfak yağlarının biyodizel olarak değerlendirilmesi mümkündür. Hatta yosunlar dahi biyodizel için kullanılmaktadır. Transesterifikasyon ile yağlar, mevcut araç motorları ve yakıt sistemleri için uygun yakıt durumuna getirilmektedir. Biyodizel, kendi başına yakıt olarak kullanılabilmesi gibi geleneksel olarak kullanılan dizel yakıtlarla beraber de kullanılarak enerji üretilebilmektedir [25].

1.9.2.3. Termokimyasal Prosesler

1. Yakma

Selülozik biyokütle, düşük kül ve düşük kükürt içeriği ile çevreci bir yakıttır. Ayrıca, geleneksel yakıtların yanmasıyla oluşan NO_x (azot oksitler), SO_x (kükürt oksitler) ve poliaromatik hidrokarbon emisyonları da düşüktür. Orman biyokütlesinin yakılmasıyla elde edilen enerji, ısı ve elektrik üretiminde kullanılabilir. Ancak enerji

değeri kömür ve petrole göre düşüktür. Bu yüzden diğer enerji kaynakları ile karıştırılarak da yakılabilir. Ağaç kabukları, tarımsal atıklar, kanalizasyon atıkları ve kâğıt sanayi atıkları, kömür gibi enerji değeri daha yüksek enerji kaynakları ile beraber yakılarak gereken enerjiye ulaşılabilir. Beraber-yakma teknolojisinin en önemli özelliği, fosil yakıt gereksinimini azaltmasıdır. Üstelik NO_x, SO_x ve CO₂ emisyonları da azalmaktadır. Biyokütle yakma teknolojisinde mekanizmalar tam olarak aydınlatılmadığı için kömür yakma teknolojisi bilgi birikiminden faydalanılmaktadır. Yine de en uygun yakma teknolojisi akışkan yatak olarak görünmektedir. Akışkan yatakta yakma sırasında parçacık kayıplarını önlemek için ise akışkan yatak teknolojisi modifiye edilmiştir. Yakma sonucu kalan kül gibi kararlı atıklar, erime ve katılaştırma, çimento ile katılaştırma, kimyasal kullanılarak kararlı hale getirme, asit veya diğer solventleri kullanarak ekstrakte etme işlemleriyle bertaraf edilebilmektedir. Bertaraf etmenin diğer bir yöntemi, çok yüksek sıcaklıklarda eritmek ve tekrar soğutarak katılaştırmaktır. Katılaştıran yakma atıkları, yollara parke taşı olarak döşenebilmekte, arazi alanlarının ıslahında kullanılabilmektedir [26].

2. Piroliz

Piroliz (Pyrolysis) kelimesi yunanca bir kelime olup Pyr = "ateş", "olysis" ortaya çıkmak anlamına gelmektedir. Piroliz, biyokütleden oksijensiz ortamda organik moleküllerin parçalanmasıyla gaz elde etme işlemidir. Kimyasal bağlar, oksijensiz ortamda termal olarak bozunurlar. En tanınmış piroliz prosesi odun kömürü üretimidir. Bu bir yavaş pirolizdir ve degazifikasyon olarak da bilinir. İlk defa, dünyada petrol krizi olduğunda biyokütlenin ve talaşın sıvılaştırılması ve gazlaştırılması ile piroliz, önemli hale gelmiştir. Piroliz sonucunda katı, sıvı ve gaz ürünler oluşur. Genellikle piroliz yöntemi ile biyokütle sıvılaştırılarak biyo yağ'a çevrilir. Bu sıvı yağ, organik bileşiklerin bir karışımıdır. Biyokütlenin sıvılaştırılmasıyla elde edilen bu sıvı, türbin veya motorlarda direkt olarak kullanım için uygun değildir. Elde edilen bu sıvı, petrol naftası gibi işlemlere tabi tutularak kullanılabilir hale getirilir. Biyo yağ, kömürün gazlaştırılmasında kullanılan tekniklerle geride kül ve cürufan başka bir şey bırakmayacak şekilde hidrojen ve karbon monoksit yönünden zengin olan sentez gazına dönüştürülebilir. Sentez gazından Fischer-Tropsch sentezi ile etanol, metanol gibi değerli kimyasallar üretilebilir. Biyo yağın kalori değeri, aynı miktardaki biyokütleden çok daha fazladır. Depolanması ve taşınması daha kolaydır. Daha az kükürt içerir.

Pirolizde elde edilen katı, sıvı ya da gaz ürünlerden hangisinin veriminin en fazla olacağı, biyokütlenin çeşidine, süreç parametrelerine ve reaktör tipine bağlıdır. Yakma proseslerinden farklı olarak pirolizde gereken enerji dışarıdan karşılanmaktadır [27].

Üç çeşit piroliz vardır:

- a) Torrefaksiyon (Torrefaction)
- b) Yavaş Proliz
- c) Hızlı Proliz

3. Gazlaştırma ve Hidrotermal Prosesler

Biyokütle iki grupta incelenir; ıslak biyokütle (melas (şekerli posa), nişastalı, gübre, meyve sanayi atıkları) ve kuru biyokütle (odun, zirai atıklar gibi). Biyokütle gazlaştırılması hem yaş hem de kuru biyokütle için uygulanan termokimyasal bir teknolojidir. Kuru biyokütle için genellikle yukarıda anlatıldığı gibi piroliz edilir. Daha sonra elde edilen kondensat (yoğuşuk) aşırı ısıtılır. Sıcak yağa su püskürtülmesi ile kömür gazlaştırmada olduğu gibi gazlaştırma gerçekleştirilir ve çok değerli olan sentez gazı elde edilir [28].

1.9.3. Biyokütle Enerjisinin Türkiye'deki Potansiyeli

Biyokütle enerjisi Türkiye'de klasik yöntemle dayanılarak daha çok ticari olmayan yakıt biçiminde kullanılmakta ve yerli enerji üretiminin dörtte birini karşılamaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, odun ile hayvan ve bitki atıklarını kullanan klasik biyokütle enerji üretiminin 2020 yılında 7530 bin ton eşdeğer petrol (Btep) olmasını planlamaktadır. 2000 yılında 17 bin ton eşdeğer petrol (Btep) ile başlayan modern biyokütle üretimi ise hiç öngörülmemiştir. Oysa ticari olmayan klasik biyokütle enerji üretiminin giderek azaltılması ve modern biyokütle enerji üretimine başlanarak bu üretimin artırılması gerekmektedir [29].

Modern biyokütle enerjisi kullanımına geçilmesi ülke ekonomisi ve çevre kirliliği açısından önem taşımaktadır. Birçok ülke bugün kendi ekolojik koşullarına göre en uygun ve en ekonomik tarımsal ürünlerden alternatif enerji kaynağı sağlamaktadır. Türkiye'de bu potansiyele ve ekolojik yapıya sahip ülkeler arasındadır. Türkiye

biyokütle materyal üretimi açısından, güneşlenme ve alan kullanılabilirliği, su kaynakları, iklim koşulları gibi özellikleri uygun olan ülkedir. Modern biyokütle teknikleri kapsamında, enerji ormancılığı ve enerji bitkileri tarımından yararlanılması gerekmektedir. Biyokütle enerji kapsamında, çöp termik santralleri de yaygınlaştırılmalıdır [30].

Modern biyokütle için enerji bitkileri tarımı, enerji planlaması ve tarımsal üretim planlaması kapsamında birlikte ele alınmalıdır. Türkiye' de kültürel yetiştiriciliğe ve gıda üretimi dışında fotosentezle kazanılabilecek enerjiye bağlı olarak biyokütle enerji brüt potansiyeli teorik olarak 135-150 milyar ton eşdeğer petrol/yıl (tep/yıl) kadar hesaplanmakla birlikte, kayıplar düšüldükten sonra net değerin 90 milyar ton eşdeğer petrol/yıl (tep/yıl) olacağı varsayılmaktadır. Ancak, ülkenin tüm yetiştiricilik alanlarının yıl boyu yalnızca biyokütle yakıt üretim amacıyla kullanılması olanaklı değildir. Olabilecek en üst düzeydeki yetiştiriciliğe göre teknik potansiyel 40 milyar ton eşdeğer petrol/yıl (tep/yıl) düzeyinde bulunmaktadır. Ekonomik sınırlamalarla 25 milyar ton eşdeğer petrol/yıl (tep/yıl) değeri, Türkiye'nin ekonomik biyokütle enerji potansiyeli alınabilir [30].

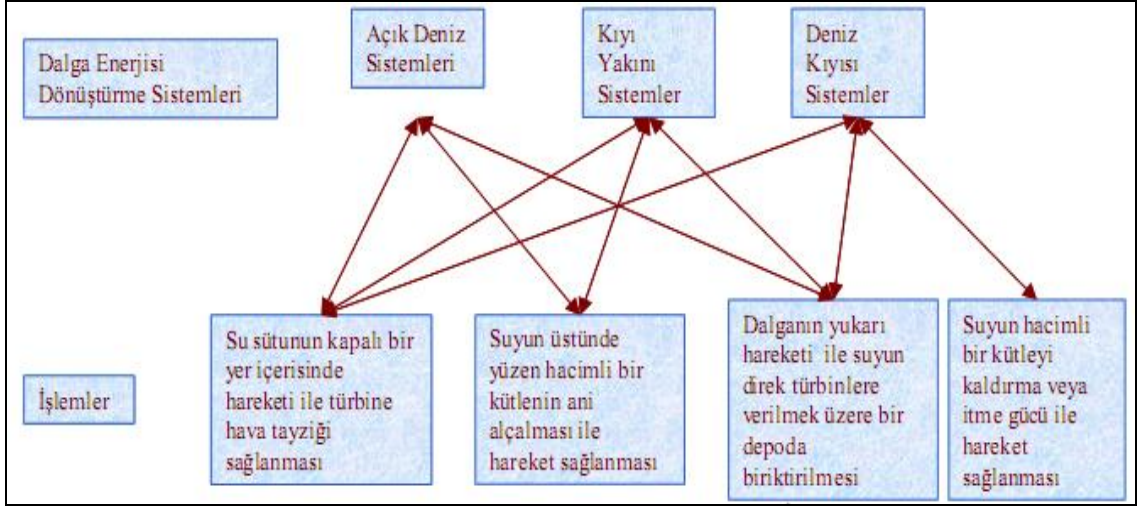
Türkiye'nin ilk ticari motor biyoyakıtı uygulaması 2005 yılında başlamıştır. Yerli kaynaklardan üretilen biyoetanol (Tarkim ürünü: kapasite: 30 milyon litre/yıl) kurşunsuz benzine % 2 oranında katılarak piyasaya (POAŞ ürünü BioBenzin) sunulmuştur. Türkiye'de 3 milyon tonu benzin tüketimi olmak üzere toplam 22 milyon ton akaryakıt tüketimi olan ülkemizde 160 bin ton biyoetanol kurulu kapasitesi bulunmaktadır. Türkiye'nin hayvansal atık potansiyeline karşılık gelen üretilebilecek biyogaz miktarının 1,5-2 mtep olduğu tahmin edilmektedir. Biyokütle kaynaklarımız; tarım, orman, hayvan, organik şehir atıkları gibi maddelerden oluşmaktadır. Atık potansiyelimiz yaklaşık 8,6 milyon ton eşdeğer petrol (mtep) olup bunun 6 milyon ton eşdeğer petrol (mtep)'i ısınma amaçlı kullanılmaktadır. 2008 yılında biyokütle kaynaklarından elde edilen toplam enerji miktarı 66 bin ton petrol eşdeğeri (btep)'tir (URL-1, 2011), [31].

1.10. Dalga Enerjisi

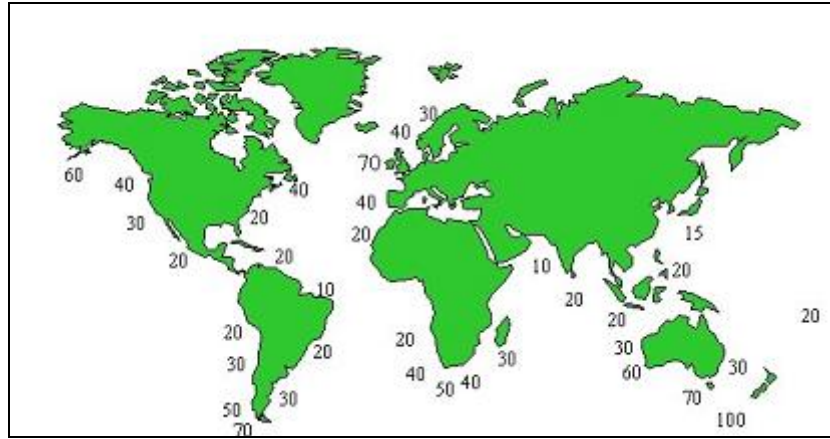
Hava hareketlerinin ve ısı değişimlerinin sonucu meydana gelen rüzgârların, su kütlesi üzerinde sürtünmeden dolayı meydana getirmiş olduğu hareket sonucu ortaya çıkan enerjiye dalga enerjisi denir. Deniz enerjileri; deniz-dalga, boğaz akıntıları, med-cezir ve deniz sıcaklık gradyenti olarak da tanımlanmaktadır. Bütün dünyada dalgalardan 200 milyon ton taş kömürünün vereceği enerjiyi karşılayacak enerji elde edilebileceği düşünölmektedir. Okyanusların kıyı şeridi yaklaşık 100.000 km'dir. Bu kıyı şeridinin yıllık bazda ortalama potansiyel gücü 4 milyar KW/h'i bulmaktadır. Bu da dünyadaki bütün su gücünden 7 kat fazladır. Dünya Enerji Konseyi dünya genelinde dalga enerjisini teorik olarak 2 TW olarak hesaplamıştır. Ülkemizin Marmara Bölgesi hariç açık deniz kıyısı uzunluğu 8210 km olup, bu rakamın turizm ve balıkçılık gibi nedenlerle en fazla beşte birlik kısmı enerji amaçlı olarak kullanılabilir. Bu enerji miktarı da yıllık olarak 18,5 TWh/yıl düzeyinde hesaplanmaktadır (URL-12, 2011).

1.10.1. Dalga Enerjisi Üretim Sistemleri

Dalga enerjisi dönüştürme teknolojileri kıyı boyunca, kıyıya yakın ve kıyıda uzak bölgelerde uygulananlar olmak üzere üç grupta toplanmaktadır. Oluşan dalga yüksekliği ve periyodu o bölgede elde edilecek dalga enerjisinin ana unsurlarıdır. Her dalga yüksekliğinden istenilen enerjinin alınabilmesi, dalga enerjisinin önemli avantajlarından biridir. Bu nedenle dünyada dalga enerjisi elde etmek için çalışmalar hızla artmaktadır.



Şekil 19. Dalgı enerjisi için mevcut sistemler ve işlemler



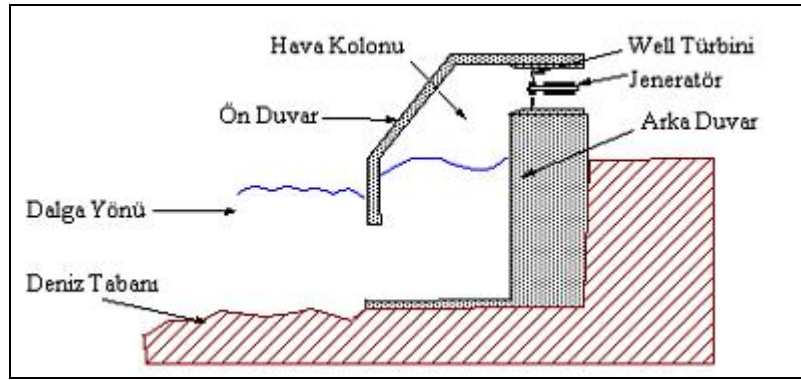
Şekil 20. Dalgı gücü seviyesinin dünyada dağılımı (KW/m) [27]

1.10.1.1. Kıyı Şeridi (Shoreline) Uygulamaları

Bu tür uygulamalarda enerji üretim yapıları kıyıda sabitlenmiş veya gömülü halde bulunurlar. Bakım ve inşaatı diğer uygulamalara göre daha kolaydır. Ayrıca, derin su bağlantılarına veya uzun su altı elektrik kablolarına ihtiyaç yoktur. Ancak, daha az güce sahip dalgı rejimi nedeniyle elde edilen dalgı enerjisi daha az olabilmektedir. Bu tür uygulamaların yaygınlaşması kıyı şeridi jeolojisi, gel-git seviyesi ve kıyı yapısının korunması gibi etkenlerle sınırlanmaktadır [32, 33].

1) Salınlı Su Kolonu (Oscillating Water Column:OWC)

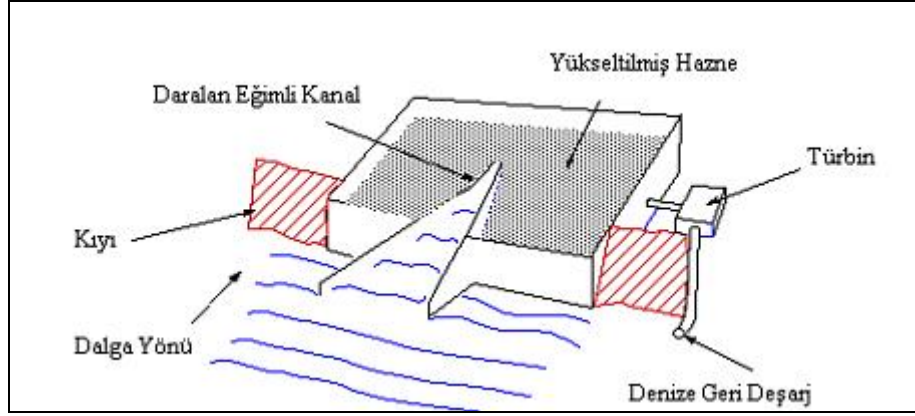
Bu yapılar kısmi olarak su altında bulunan, su seviyesinin altında denize açılan beton veya çelik çukur yapılardır. Bu sistemlerde su kolonu ve onun üzerinde bir hava kolonu vardır. Dalgaların sisteme çarpması, su sütununun yükselip alçalmasına dolayısıyla hava sütununun sıkıştırılması veya basıncının 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. Aşağıda bu tür sistemlere ait uygulama gösterilmektedir [32, 33].



Şekil 21. Tipik bir salınlı su kolonu (OWC) sistemi

2) Daralan Kanal Sistemi (**T**apered **C**hannel Device:TAPCHAN)

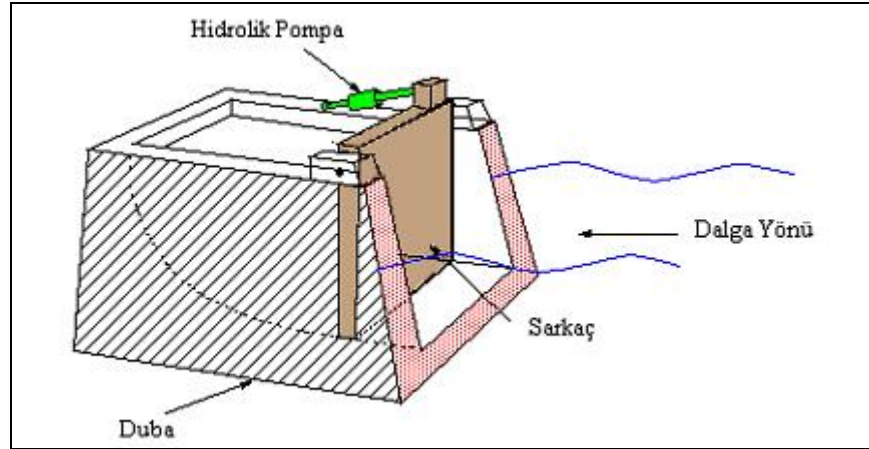
TAPCHAN sistemi geleneksel hidroelektrik enerji üretim sisteminin bir adaptasyonudur. Bu sistemler su seviyesinin 3-5 m üzerinde duvar yüksekliğine sahip, uçurumun kenarına inşa edilmiş hazneyi besleyen, gittikçe daralan bir kanaldan oluşmaktadır. Kanalın daralması dalga yüksekliğinin artmasına neden 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 [33].



Şekil 22. Tipik bir daralan kanal (TAPCHAN) sistemi

3) Pendular Sistemi

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 [33].



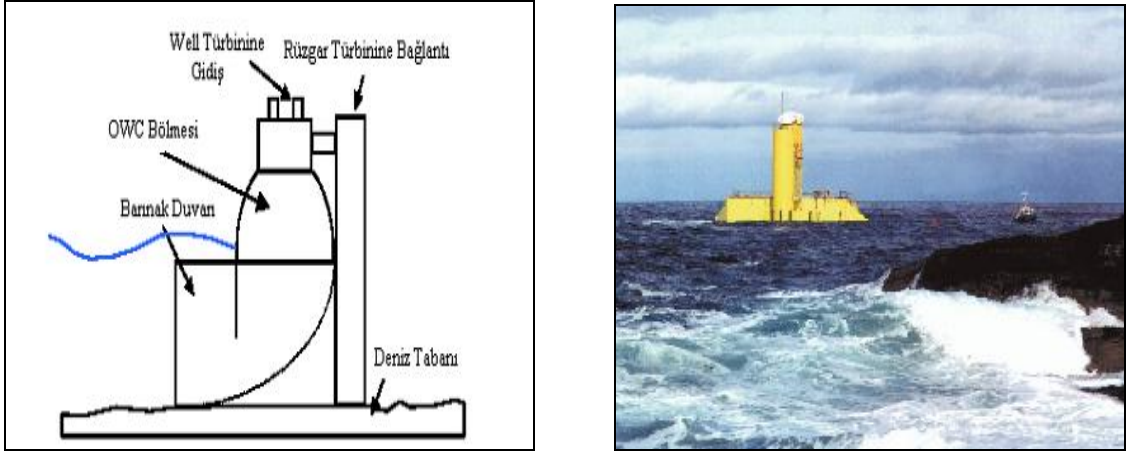
Şekil 23. Tipik bir pendular sistemi

1.10.1.2. Kıyıya Yakın (Near Shore) Uygulamalar

Kıyıya yakın uygulamalar 10-25 m su derinliklerinde gerçekleştirilmektedir. Bu tür sistemlerde salınımlı su kolonunun (OWC)'nin değişik tasarımları uygulanmıştır.

1) OSPREY Sistemi

Wavegen tarafından geliştirilen OSPREY'in gücü 1,5 MW'lık rüzgâr türbininin dâhil edilmesiyle 2 MW'a çıkarılmıştır. Bu sistemin ticari gösterimi için üzerinde oldukça çok çalışmalar yapılmıştır ve özellikle inşa maliyetinin düşürülmesi amacıyla çalışmalar devam etmektedir [33, 34].



Şekil 24. Tipik bir OSPREY sistemi

2) WOSP 3500 Sistemi

WOSP (Rüzgâr ve Okyanus Salınım Enerjisi) kıyıya yakın dalga ve rüzgâr enerji istasyonunun birleştirilmiş halidir. Eklenen 1,5 MW'lık rüzgâr üretim kapasitesi, tesis kapasitesini 3,5 MW'a yükseltebilmektedir (URL-13, 2011).



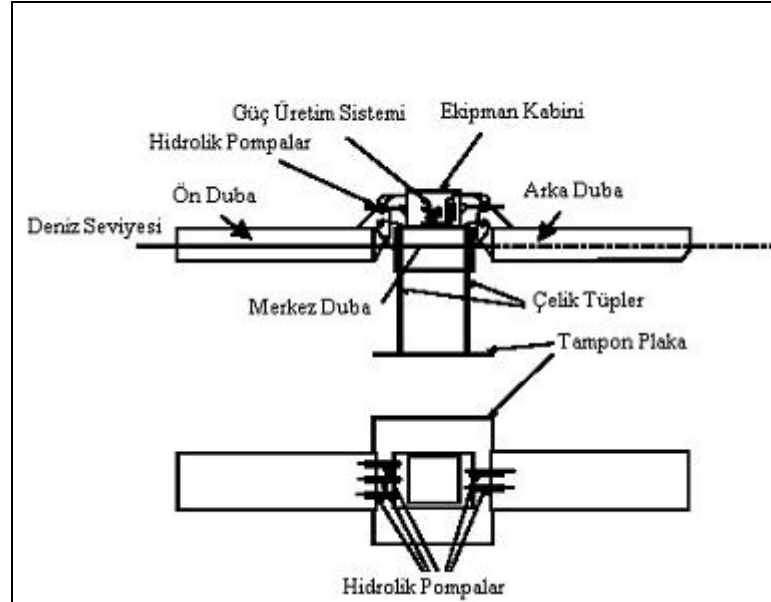
Şekil 25. Tipik bir WOSP 3500 sistemi

1.10.1.3. Kıydan Uzak (Offshore) Uygulamalar

40 m'den daha derin sularda kıydan uzak uygulanan cihazlar kullanılmaktadır. Bu tür sistemlerde uzun elektrik kablolarına gereksinim vardır. Geliştirilen çok çeşitli sistemlerden bir kaçı aşağıda anlatılmaktadır. Tanıtılan bu cihazlardan başka kıydan uzak uygulanan birçok 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 (URL-14, 2011), [34].

1) Mc Cabe Dalga Pompası Sistemi

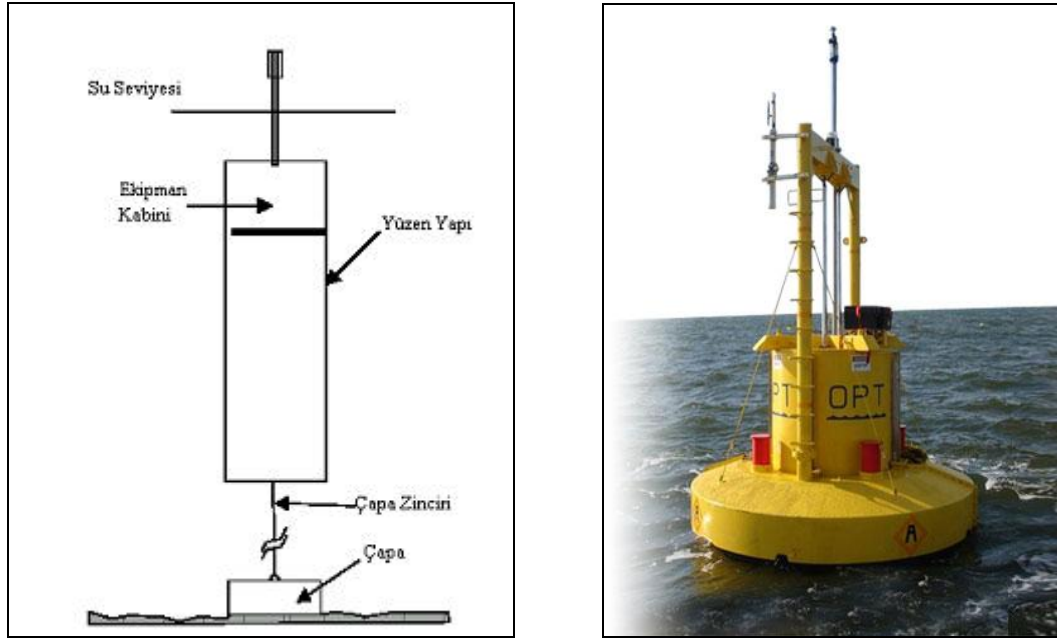
Bu cihaz, birbirine menteşeli, düzenli bir şekilde sıralanmış ve birbirlerine bağlı hareket eden 3 adet dikdörtgen çelik (4 m genişliğinde) duba içermektedir. Ekstra bir kütle eklenmesiyle merkez dubanın ataletinin artması sağlanır. Enerji ise merkez duba ile diğer dubalar arasında monte edilen hidrolik tulumba vasıtasıyla menteşe noktalarındaki hareketten sağlanmaktadır. Örnek bir cihaz 40 m uzunluğunda Kilbaha, County Clare ve İrlanda'da kurulmuştur [35].



Şekil 26. Tipik bir Mc Cabe dalga pompası sistemi

2) OPT WEC Dalga Enerji Dönüştürücüsü

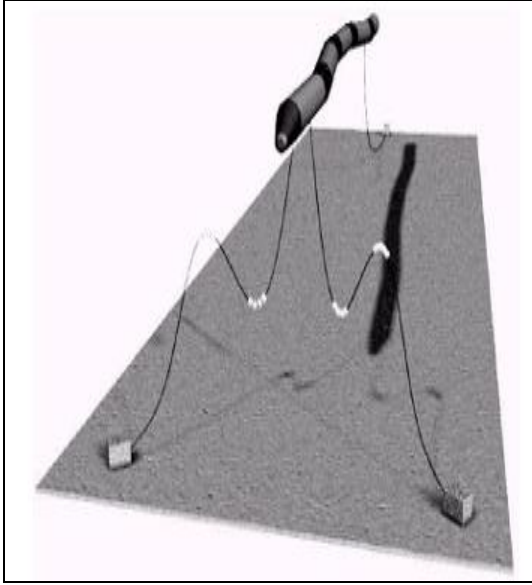
Amerika'daki Okyanus Güç Teknolojisi (OPT) tarafından geliştirilen Dalga Enerji Dönüştürücüsü (WEC), 2-5 m çaplı üstü kapalı tabanı denize açık silindirik bir yapı içerir. Yapının tepesi ile yapı içerisinde yüzen çelik yüzücü arasında hidrolik pompa yerleştirilmiştir. Yapının yüzücüye göre hareketinden elektrik üretilir. Bu sistem Doğu Atlantik'de büyük ölçekte test edilmiştir ve ilk ticari yapılar Hawaii ve New Jersey kıyılarında çalışan 40 KW'lık dalga enerjisi santralleridir [33].



Şekil 27. Tipik bir OPT WEC sistemi

3) PELAMIS Sistemi

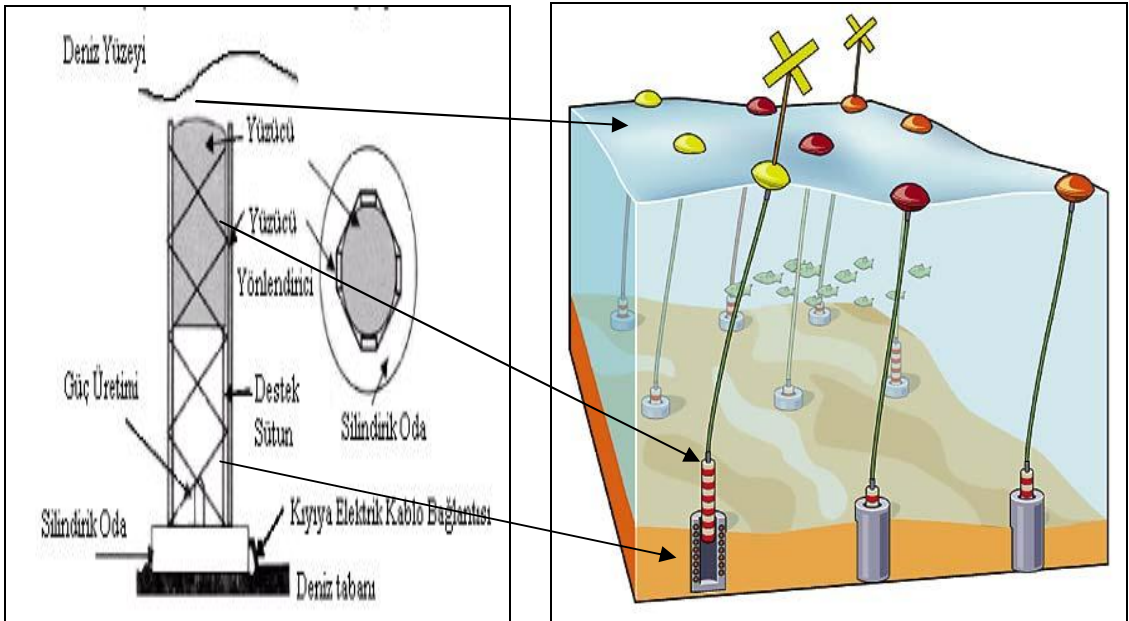
Bu yapı kısmi olarak su içinde yer alan, menteşeli noktalarla birbirine bağlı silindirik bölümlerden oluşan eklemlili bir yapıdır. Dalga ile birleşim noktaları hareket eder ve bu hareketle hidrolik pompalar elektrik jeneratörlerini çalıştırır. Günümüzde, 375 KW gücünde, 150 m uzunluğunda, 700 ton ağırlığında ve 3,5 m çapında dört parçalı gövdeden oluşan uygulamalar mevcuttur. İlk dalga çiftliği 2008 yılında kurulmuş üç tane Pelamis platformundan oluşmakta ve Portekiz açıklarında yer almaktadır. Ancak Kasım 2008'de iki aylık enerji üretim süreci sistemde oluşan bir sızıntı sebebiyle üretim sekteye uğramış ve sistem karaya çekilmiştir (URL-15, 2011), [35].



Şekil 28. Tipik bir pelamis sistemi

4) Archimedes Dalga Salınım Sistemi

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 [33, 35].



Şekil 29. Tipik bir archimedes dalga salınım sistemi

1.10.2. Dalga Enerjisinin Türkiye'deki Potansiyeli

Kıyı mühendisliğinde pek çok kıyı ve deniz etkinliği için gereken rüzgâr dalgalarının spektral özelliklerine ilişkin mevcut bilgi Karadeniz için son derece sınırlıdır. Çalışmada NATO TU-WAVES Projesi (1994-2001) kapsamında Sinop, Hopa ve Gelincik (Rusya) açıklarına yerleştirilen yönsel dalga ölçer şamandıralardan elde edilen oldukça uzun süreli derin deniz dalga ölçümleri kullanılmıştır. Öncelikle, dalga ölçümleri tek tepeli veya çok tepeli olarak tanımlanmış ve oluşma yüzdeleri hesaplanmıştır. Tepelerin belirlenmesinde güvenlik aralığı kavramı kullanılmış ve tepeler arasında en küçük frekans farkı aranmıştır. Gözlenen spektrumlar için JONSWAP ve PM spektrumlarının model parametreleri en küçük kareler yöntemi ile tahmin edilmiştir [36].

Karadeniz'in diğer denizlere göre daha dalgalı olduğu iddialarının aksine, güneybatı Anadolu yönünde hâkim olan Ege Denizi ve Akdeniz üzerindeki rüzgâr potansiyeli 4-17 KW/m'lik yıllık ortalama dalga gücünde bir yoğunlaşmaya neden olur. Dalga enerjisinden yararlanmak, daha doğrusu çalışmalara başlamak için en uygun yer İzmir-Antalya arası veya tam olarak belirtmek gerekirse Dalaman-Finike arasına karşılık gelen denizlerdir. Bölgesel ortalama dalga yoğunlukları Tablo 9'da verilmektedir.

Tablo 9. Bölgesel ortalama dalga yoğunlukları

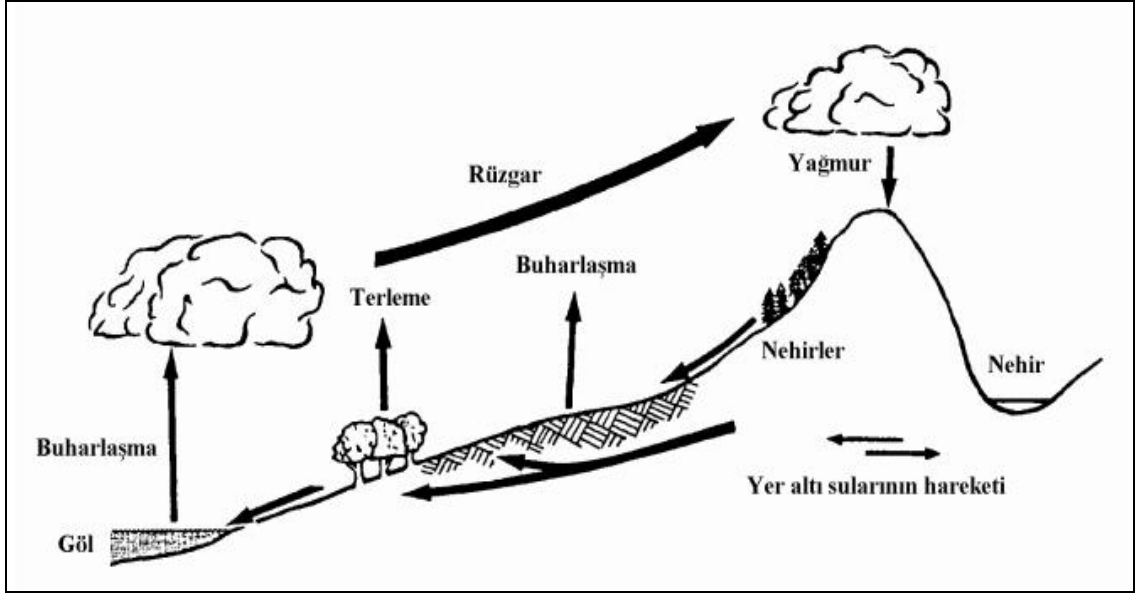
Bölge	Güç
Karadeniz	1,96-4,22 KWh/m
Marmara Denizi	0,31-0,69 KWh/m
Ege Denizi	2,86-8,75 KWh/m
Akdeniz	2,59-8,26 KWh/m
İzmir-Antalya	3,91-12,05 KWh/m

Derin sulardaki toplam ortalama dalga enerji kaynakları, Türkiye kıyı şeridi boyunca dalga güçlerinin birleştirilmesiyle değerlendirilebilir. Eğer gemi rotaları, denizaltı tatbikat sahaları, Marmara Denizi'nin kıyı yerleşim yerleri dışarıda bırakılır, dalga gücü düzeyleri ticari tüketim için düşük olan Anadolu'nun kuzeydoğusundaki ve güneyindeki dalga kaynaklarının pek çoğu göz ardı edilirse, Türkiye'nin toplam kıyı uzunluğunun (8210 km) beştebiri kadarının denizden dalga enerjisi elde etmede kullanılabileceği varsayılabilmektedir. Sadece bir dizi küçük ölçekli dönüştürücüden, yıllık 4-17 KW/m arasında dalga gücü olan sularda yaklaşık 10 TWh/yıl enerji elde edilebilmektedir. Bu rakam ekonomik olarak üretilebilir Türkiye hidroelektrik enerji potansiyelinin %12,5'ine karşılık gelmektedir (URL-16, 2011), [31].

Türkiye'de ilk dalga enerjisi sisteminin patenti 15.03.2001 tarihinde alınmıştır. Proje uygulamalarına ise 2004 yılında başlanmıştır. Yapımına başlanan proje çalışmaları için yeterli desteğin gelmemesi nedeniyle tamamlanamamıştır. Bir başka çalışma ise 15 Şubat 2008 tarihinde gerçekleştirilmiş deneme amaçlı proje ilk denemelerinde başarıyla geçmiştir. Sakarya'nın Karasu ilçesinde kıyından 100 metre açıkta kurulan dalga enerjisi santrali günde 5 KWh elektrik üretebilmektedir. Denize yerleştirilen 5 platformun dalgaların dikey hareketlerini bir jeneratöre iletmesiyle çalışan bir sistemdir (URL-17, 18, 2011).

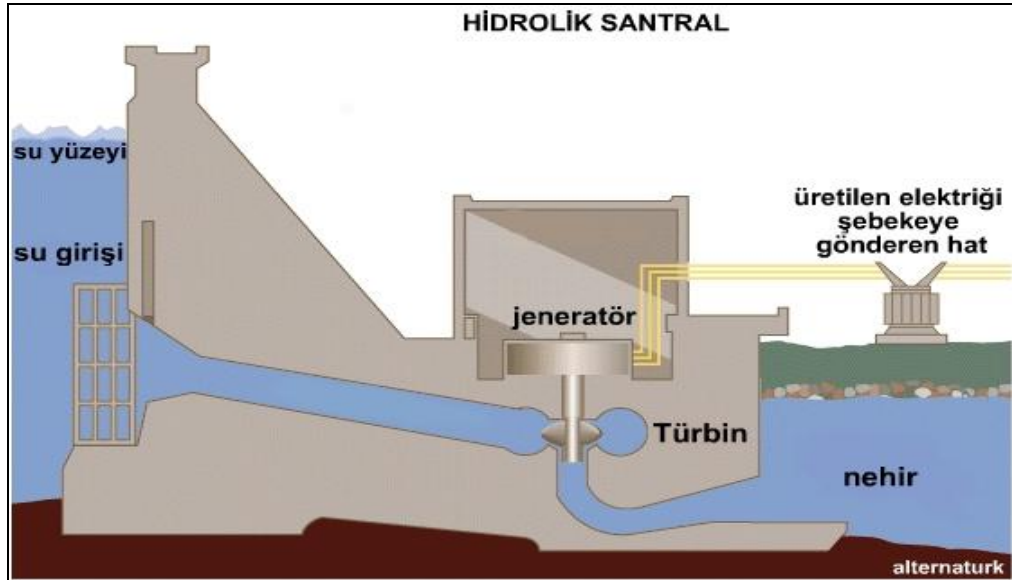
1.11. Hidroelektrik Enerji

Hemen hemen bütün enerji kaynakları, güneş ışınımının maddeler üzerindeki fiziksel ve kimyasal tesirinden meydana gelmektedir. Hidrolik enerji de güneş ışınımından dolayı olarak oluşan bir enerji kaynağı olup hidrolik çevrimi Şekil 18'de verilmiştir. Deniz, göl veya nehirlerdeki sular güneş enerjisi ile buharlaşmakta, oluşan su buharı rüzgârın etkisiyle de sürüklenerek dağların yamaçlarında yağmur veya kar halinde yeryüzüne ulaşmakta ve nehirleri beslemektedir. Böylelikle hidrolik enerji kendini sürekli yenileyen bir enerji kaynağı olmaktadır. Enerji üretimi ise suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi ile sağlanmaktadır [37].



Şekil 30. Hidrolik çevrim

Hidroelektrik sistemlerde suyun akım enerjisinden faydalanmak için, su bir cebri boru veya kanal yardımıyla yüksek bir yerden alınarak türbine verilmekte ve mekanik enerjiye çevrilmektedir. Türbinlere tahrik ettiği jeneratörlerin dönmesi ile de elektrik enerjisi üretilmektedir. Şekil 31’de hidroelektrik santral sistemi gösterilmiştir [38].



Şekil 31. Tipik bir hidroelektrik sistemin çalışması

Bir su türbininden su kuvveti yardımıyla enerji üretebilmek için gerekli olan su hızını elde etmek üzere mutlaka bir düşme yüksekliğine (hidrolik düşüye) ve bu su düşüsüne uygun bir basınç farkının bulunmasına gerek vardır. Türbinden elde edilen güç, suyun düşü (üst ve alt kotlar arasındaki düşey mesafe) ve debisine (türbinlere birim zamanda verilen su miktarı) bağlıdır [37, 38].

1.11.1. Hidroelektrik Santrallerin Sınıflandırılması

Hidroelektrik santraller, kapasitelerine göre, düşülerine göre, ürettikleri enerjinin karakter ve değerine göre, yapılarına göre, depolama ve üzerinde kuruldukları suyun özelliklerine göre olmak üzere beş kısımda incelenebilmektedir.

1.11.1.1. Kapasitelerine Göre

1. Büyük Ölçekli Hidroelektrik Santraller

Bu sistemlerinin gücü 50 MW'ın üzerindedir. 50 MW güç, her biri 100 W olan 500.000 ampulün gerektireceği enerjiyi karşılar. Diğer bir deyişle bir ev için gereken elektriksel güç 5 KW olarak kabul edilirse 10.000 evin gereksinimi karşılanabilmektedir. Bir evde ortalama 5 kişinin yaşadığı kabul edilirse 50.000 nüfuslu bir kasabanın elektrik ihtiyacını karşılamaya yetecek bir güçtür. Büyük ölçekli hidroelektrik santraller kömür ve doğalgaza dayalı termik santraller gibi konveksiyonel güç santralleri sınıfında değerlendirilir. Üretilen elektrik enerjisi diğer santrallerden üretilen elektrik enerjisiyle birlikte merkezi enerji nakil hatları ile bir ülkenin birçok bölgesine dağıtılabilmektedir (URL-19, 2011).

2. Küçük Ölçekli Hidroelektrik Santraller

Güç bölgeleri için maksimum sınır 10-50 MW arasında kabul edilmektedir. Enerji nakil hatları ile ulusal enerji şebekesine bağlanabildiği gibi yerel olarak bir kasabanın, bir yerleşim bölgesinin veya büyük bir fabrikanın enerji ihtiyacını karşılamak içinde kullanılabilir. Ülkemiz küçük hidroelektrik santraller bakımından oldukça zengindir (URL-19, 2011).

3. Mini Ölçekli Hidroelektrik Santraller

Güç bölgeleri 101 KW ile 10.000 KW arasındadır. Bu sistemler ulusal enerji şebekesine daha az katkıda bulunurlar. Genellikle balık çiftliklerinin, akarsu kenarlarındaki küçük yerleşim bölgelerinin elektrik ihtiyacını karşılamak üzere yerel olarak tasarlanırlar (URL-19, 2011).

4. Mikro Ölçekli Hidroelektrik Santraller

Mikro hidroelektrik sistemler çok daha küçük ölçekte olurlar ve ulusal enerji şebekesine elektrik enerjisi sağlamazlar. Ana yerleşim bölgelerinden uzaktaki alanlarda yani ulusal enerji şebekesinin ulaşmadığı bölgelerde kullanılır. Güçleri, genellikle sadece bir yerleşim yeri veya çiftlik için yeterlidir. Güç bölgeleri, 200 W'tan başlayarak bir grup evin veya çiftliğin yeterli aydınlanma, pişirme ve ısınma enerjisini sağlayacak şekilde 100 KW'a kadar çıkabilir. Küçük fabrikaların veya balık çiftliklerinin enerji ihtiyacını karşılayacak şekilde ve ulusal enerji sisteminin bir parçası olmaksızın çalışabilirler (URL-19, 2011).

1.11.1.2. Düşülerine Göre

1. Alçak Düşülü Santraller

Düşü yüksekliği 15 m'den az olan santrallerdir. Genellikle debisi büyük, düz arazilerde akan, yatak eğimi az nehirler üzerinde kurulan ve çoğunlukla Kaplan türbini kullanılan santrallerdir [39].

2. Orta Düşülü Santraller

Düşü yüksekliği 15-50 m arasında olan santrallerdir. Çeşitli debilerdeki nehirler üzerinde kurulan Kaplan veya Francis türbini kullanılan santrallerdir. Bu santrallerin uzunca bir cebri boru sistemi yoktur [39].

3. Yüksek Düşülü Santraller

Düşü yüksekliği 50 m'den fazla olan santrallerdir. Genellikle engebeli veya dağlık araziden akan nehirler veya barajlar üzerinde kurulan santrallerdir. Debiler değişken olup bir yaklaşım kanalı veya tüneli ile bir cebri borsu vardır. Bu santrallerde genellikle Francis veya Pelton türbinleri kullanılır [39].

1.11.1.3. Ürettikleri Enerjinin Karakter ve Değerine Göre

1. Baz Santraller

Devamlı olarak % 30'un üzerinde kullanma faktörü ile enerji üreten santrallerdir [39].

2. Pik Santraller

Enerjinin en çok ihtiyaç duyulduğu sürelerde çalışan santrallerdir [39].

1.11.1.4. Yapılışlarına Göre

1. Yer Altı Santrali

Topoğrafik, jeolojik, ekonomik veya emniyet nedenlerinden dolayı yeraltında yapılan santrallerdir [39].

2. Yarı Gömülü veya Batık Santraller

Santral dar veya kayalık bir vadide yapılacaksa ve açıkta yer yoksa santralin yarısı yeraltında, yarısı açıkta yapılan santrallerdir [39].

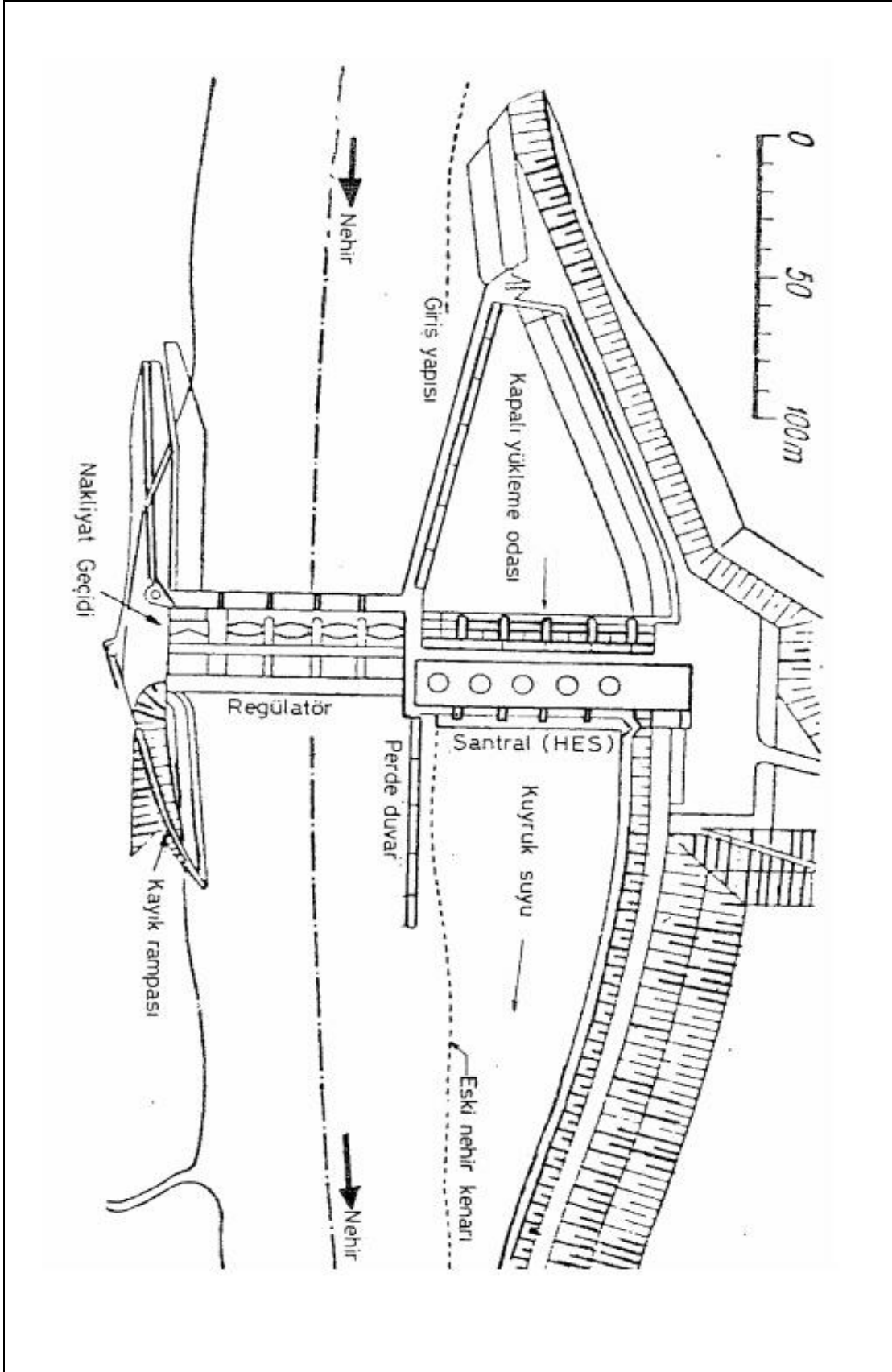
3. Yer Üstü Santrali

Jeneratör katı ve üst yapı yer üstünde olan santrallerdir [39].

1.11.1.5. Üzerinde Kuruldukları Suyun Özelliklerine Göre

1. Nehir Tipi Santraller:

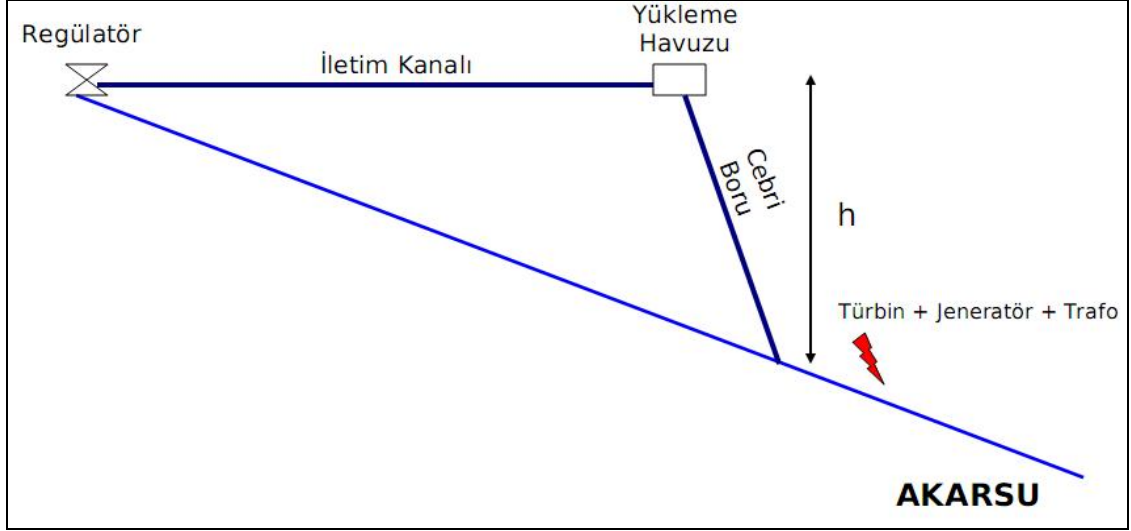
Nehir tabanı yeterince geniş ise bütün yapı bu genişliğe yerleştirilir, değilse o kesit kazılarak genişletilir ve bütün tesisler aynı en kesit üzerine yerleştirilir. Nehir santral yapıları; regülatör (voltaj düzenleyici) ve ilgili yapılar, eşik (nehir nakil araçları geçiş yeri, tomruk yolu, balık geçişleri), ızgara, perde ve benzeri duvar, servis köprüsü, dalgıç perde (yüzer buzlar için deflektör), giriş yapısı ve bölme ayakları, santral binası, kuyruk suyu kanalı, koruyucu yan duvarlarından (istinat duvarlarından) ibarettir [39].



Şekil 32. Tipik bir nehir santral şeması

2. Kanal Tipi Santraller:

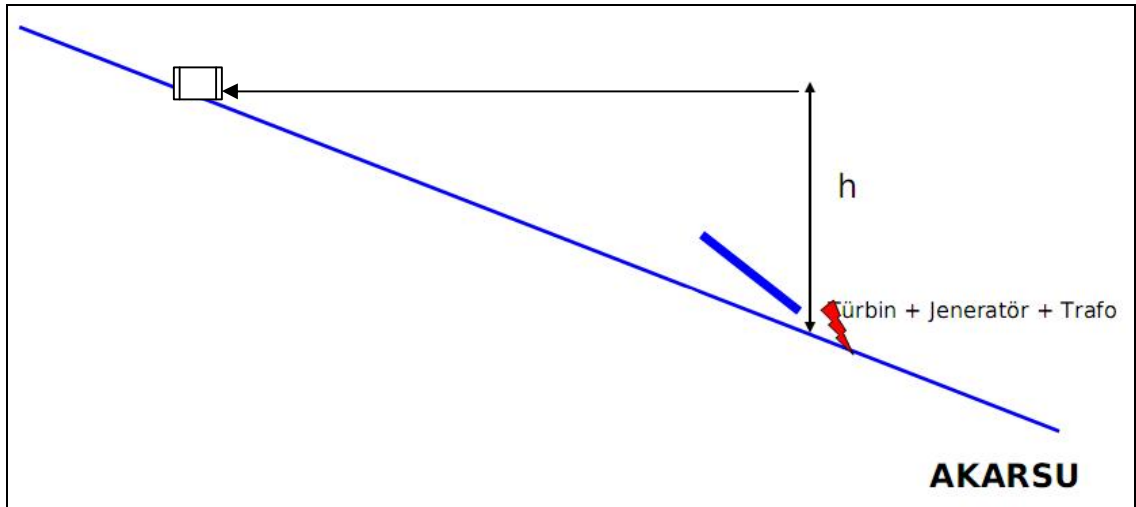
Bu tip santralleri yapabilmek için su, bir çevirme yapısı ile bir kanala (veya tünele) çevrilerek santraller ve ilgili yapılar bu kanalın üzerine yapılabilir. Ya da bu kanal düşü kazanmak için epeyce uzatılarak topografyanın ve jeolojinin en uygun olduğu bir yerden cebri boru ile santrale bağlanır [39].



Şekil 33. Tipik bir kanal tipi santralin çalışma prensibi

3. Baraj Tipi Santraller:

Bir bent arkasında suyun birikmesi sağlanarak yükseklik kazandırılmasıyla oluşan potansiyel sayesinde elektrik enerjisi üreten santrallerdir.

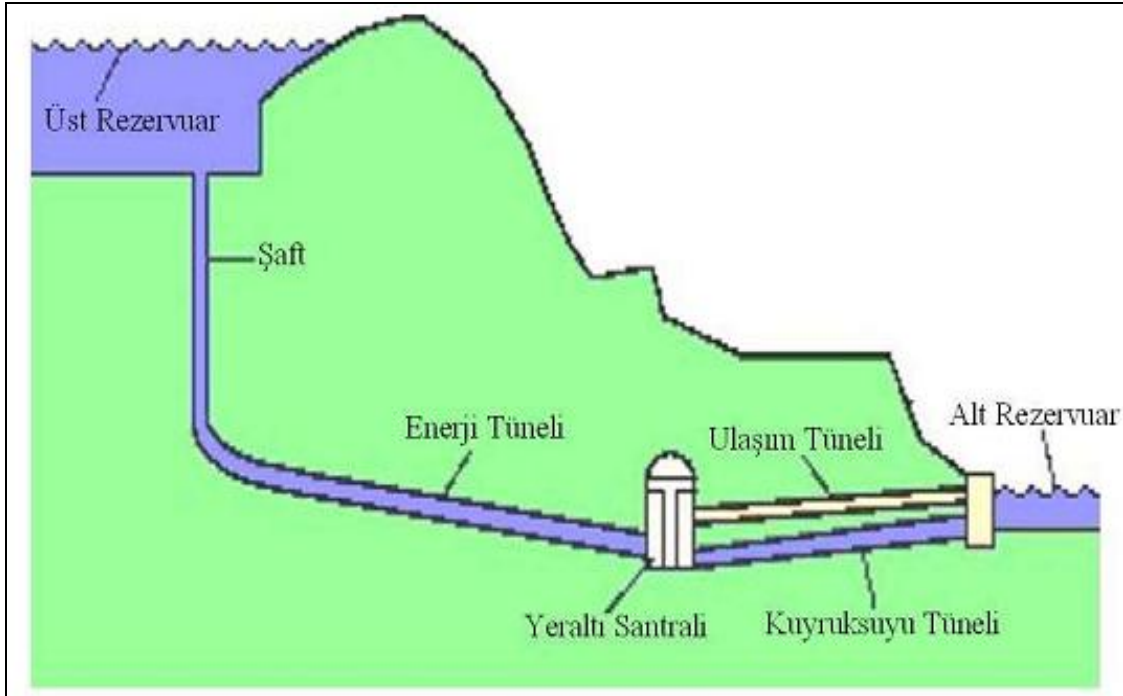


Şekil 34. Tipik bir baraj tipi santralin çalışma prensibi

Tipik bir baraj santraline ait yapılar su alma yapısı, kuvvet tüneli, denge bacası, vana odası, cebri borular, santral binası, çıkış suyu kanalı şalt sahası ve iletim hatlarıdır.

4. Pompaj Rezervuarlı Santraller

Bu santraller, enerjiye ihtiyaç azaldığı saatlerde şebekeden aldıkları enerji ile rezervuara su pompalarlar. Günün enerjiye en çok ihtiyaç olduğu saatlerde (pik saatlerde) birikmiş suyu türbinleyerek enerji üretirler. Böyle bir santralin tükettiği enerji ürettiğinden daha fazla olmaktadır. Bu tip tesislerde üretilen enerjinin harcanan enerjiye oranı (randıman katsayısı) 0,5 ile 0,6 arasında bulunmaktadır [39].



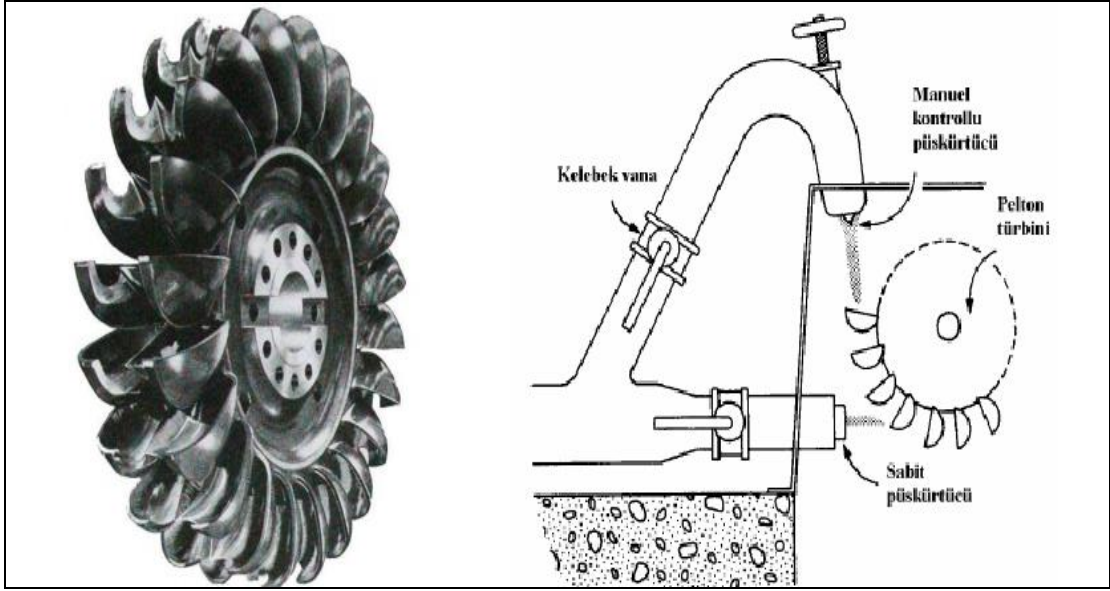
Şekil 35. Tipik bir pompaj rezervuarlı santralin kesiti

1.11.2. Hidroelektrik Santrallerde Kullanılan Türbin Çeşitleri

1.11.2.1. Pelton Türbini

Bu türbinlerde akışkan, kepçelere veya çarka atmosfer basıncında girip yine atmosfer basıncında çıkar. Bu yüzden bu tip türbinlere eş basınçlı türbinler (aksiyon) adı verilmiştir. Büyük hidroelektrik sistemlerde 150 m brüt düşünün üzerinde pelton tipi

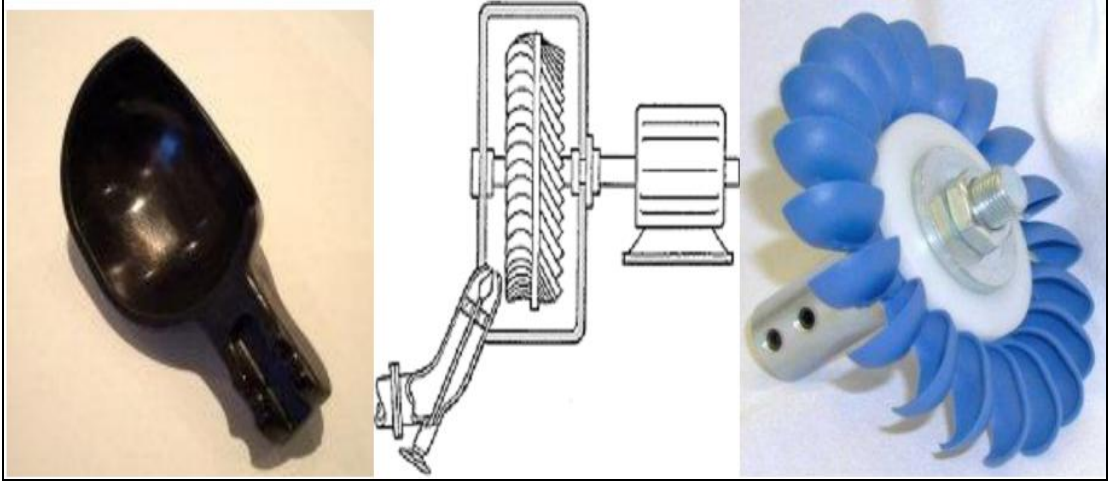
türbinler kullanılır. Pelton türbinleri yüksek basınçlı suyu atmosfer basıncına püskürtürerek potansiyel enerjiyi kinetik enerjiye çevirir. Elde edilen yüksek hızlı su jetinin kinetik enerjisi bir çark vasıtasıyla türbin miline iletilir. Çark kelepçelerin verim üzerinde tesiri büyüktür. Pelton türbinlerinde su rotorun belirli bir kısmına çarpar [39].



Şekil 36. Tipik bir pelton türbini şekli ve çalışma prensibi

1.11.2.2. Turgo Türbini

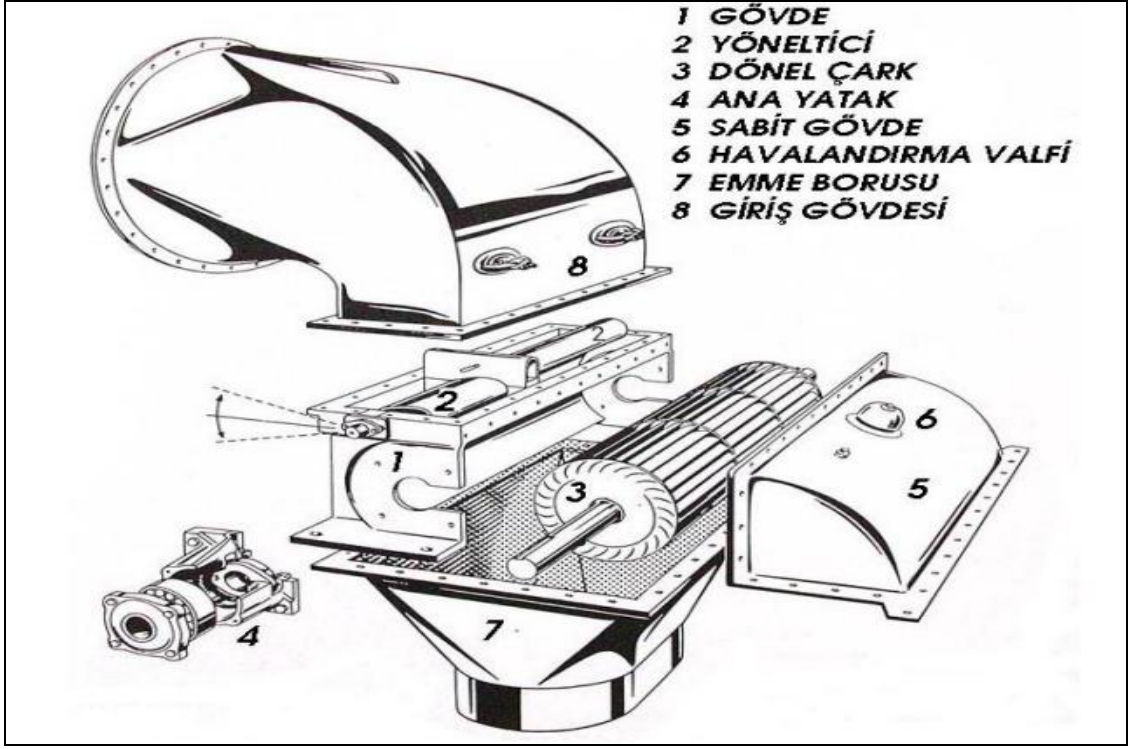
Çalışma prensibi bakımından Pelton türbinlerle aynı sayılabilecek Turgo tipi türbinlerin kepçe yapıları farklılık göstermektedir (Şekil 37). Ayrıca daha ucuz maliyet, daha hızlı devir sayısı ve aynı boyuttaki bir Pelton türbinden daha fazla su tutabilme gibi daha üstün özellikleri de vardır. Aynı güçteki bir Pelton türbinin çark çapının yaklaşık bir buçuk katıdır. Bu da daha yüksek devir sayılarına çıkmasını sağlar (URL-19, 2011).



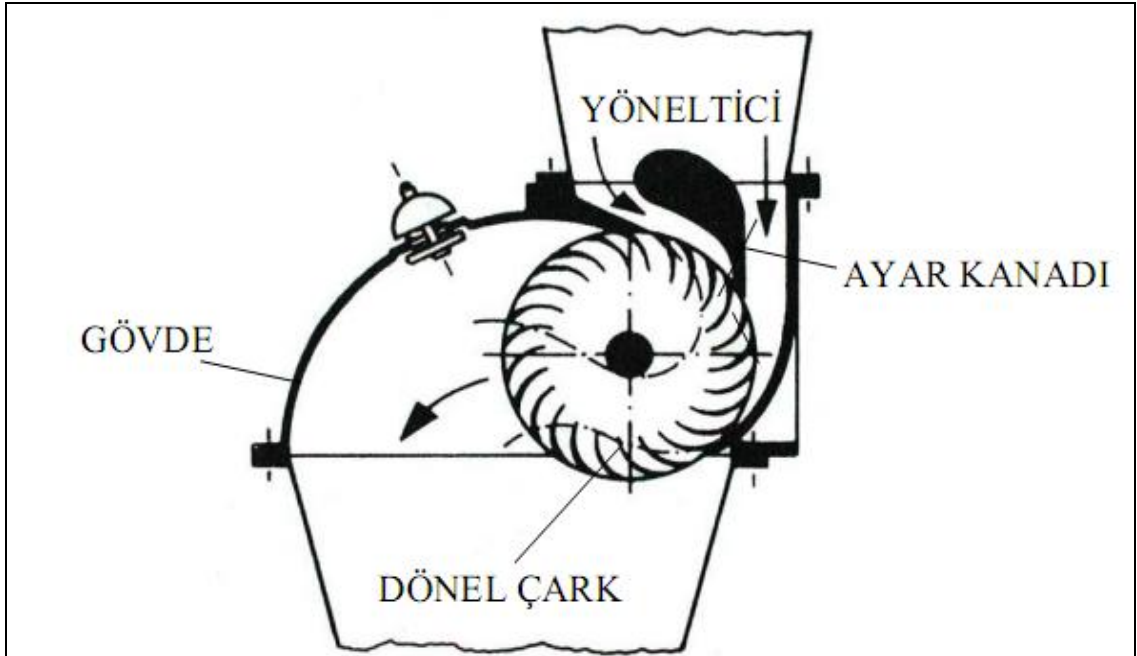
Şekil 37. Tipik bir turgo türbini

1.11.2.3. Banki (Michell-Ossberger) Türbini

Banki türbin tipini Macar asıllı Banki ile İngiliz asıllı Michell bulmuştur. Genel olarak Banki (Michell-Ossberg) su türbini olarak adlandırılır. Avrupa bu türbinlerden binlerce imal etmiştir. Küçük ve orta güçlü su kuvvetlerinde rahatlıkla kullanılır. Yapısı çok basittir. 20 Lt/s ila 9 m³/s debiler için 1 m ile 200 m düşülerde 1.000 KW güce kadar çıkabilirler. Verimleri genel olarak % 80 civarındadır. Dönme sayıları ise 50 ila 200 devir/dakika arasında değişir. Su türbini ise gövde, tambur tipi dönel çark ve yönleticiden oluşur (Şekil 38). Banki-Michell Ossberger türbininin en büyük özelliği suyun dönel çarktan iki kez girip çıkmasıdır (Şekil 39) [38, 39].



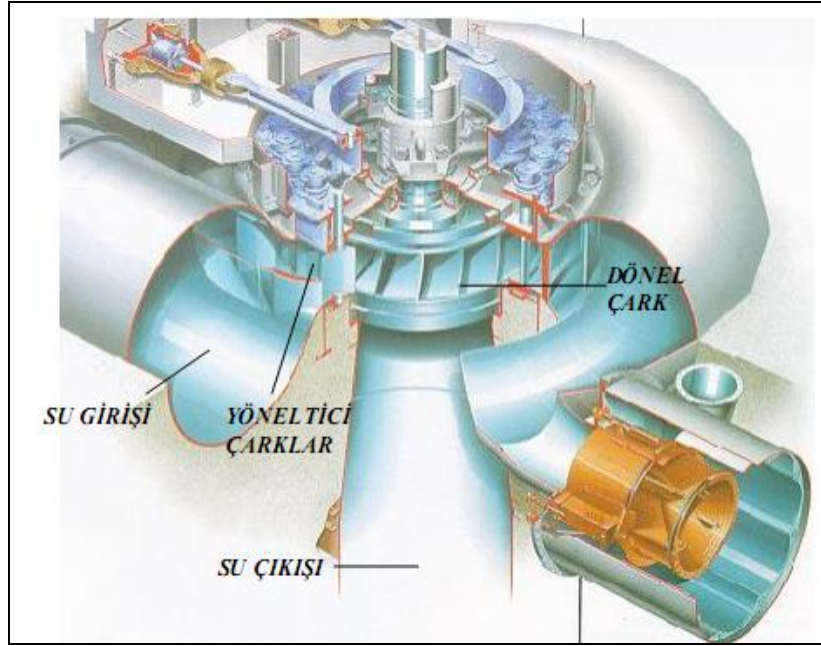
Şekil 38. Banki-Michell Ossberger su türbininin genel görünüşü



Şekil 39. Banki türbininde suyun çarktan iki kez geçmesi

1.11.2.4. Francis Türbini

Bu türbin tipini ilk kez 19. yüzyılda Amerikalı Howd ile Francis geliştirdiklerinden Francis adı verilmiştir. Francis türbinine su, yöneltici çarktan dönel çarka dıştan girip, çark kanatları boyunca aşağıya doğru giderek çarkı terk eder. Türbin tipi karşı basınçlıdır (reaksiyon tipi). Şekil 40'da tipik bir Francis türbini görülmektedir.

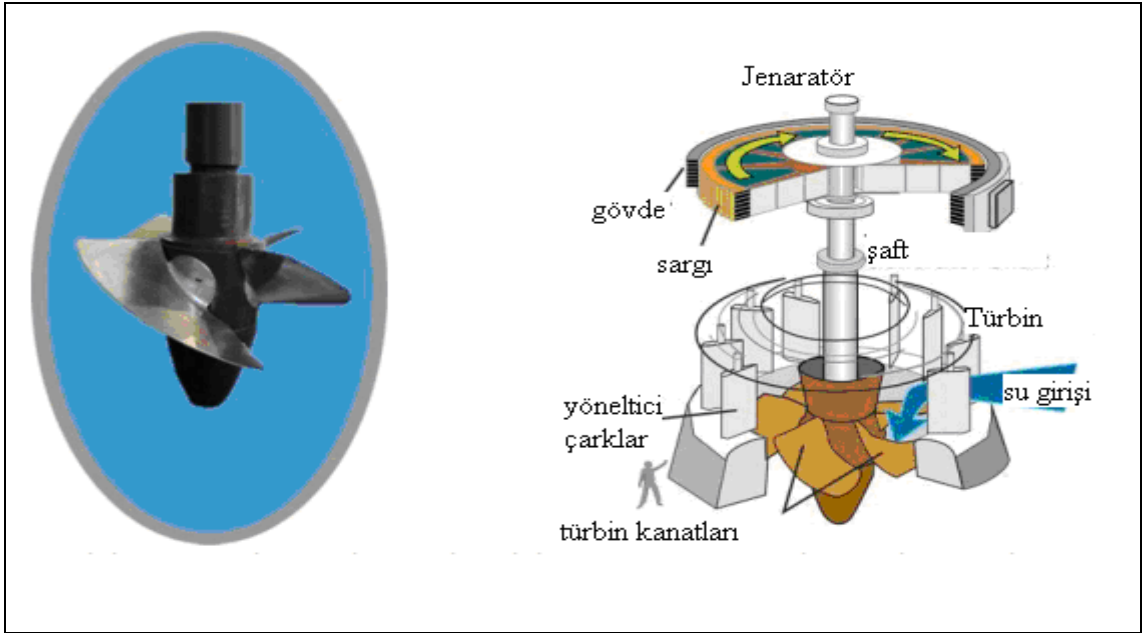


Şekil 40. Tipik bir dikey eksenli Francis türbini

Francis tipi türbinleri 600 m düşüye kadar çalışırlar ve 500 MW'a kadar güç elde edilebilmektedir. Bu türbin tipinin Pelton türbinine göre avantajı, daha küçük boyutlarda imal edilerek, daha yüksek dönme sayılarında çalıştırılmasıdır. Bu şekil üretiminde bir hayli ekonomi sağlanır. Yurdumuzda Devlet Su İşlerinin denetiminde bulunan su türbini tesislerin büyük çoğunluğunda Francis tipi türbin kullanılmaktadır. Küçük güçlerde (örnek olarak 200 KW'a kadar olan) ve 5 m düşüden daha az yerlerde kamara tipi denilen ve düşey eksenli Francis türbini kullanılır [39].

1.11.2.5. Kaplan Türbini

1913 yılında Prof. Victor Kaplan tarafından patenti alınan bu türbin tipi aksenel olarak dönmekte ve etki türbinleri sınıfına girmektedir. Yani suyun girişi ile çıkışı arasında basınç farkı vardır. Bu çarkların özgül hızları büyük olup, yüksek debilerde ve buna karşılık düşük düşülerde çalışırlar. Bu tip türbinlerin verimli olabildiği ortalama düşü değerleri 80 m'nin altındadır. Kaplan türbinleri ya salyangoz gövdeli veya boru tipi olarak imal edilirler. Bugüne kadar imal edilen en büyük kaplan türbininde elde edilen güç 100 MW olup, dönel çark çapı 10 m'nin üstündedir. Kaplan tipi türbinler klasik nehir türbinleri olarak ta ifade edilirler. Propeller (Uskur), Bulb, Tube (Boru), Straflo diye adlandırılan türbinlerde kaplan türbininin çeşitleridir. Bu türbinlerde su girişi ve çıkışı aynı eksendedir. Çevre boyunca yerleştirilmiş yönlendirici kanatlardan geçen su türbin çarkına gönderilir (Şekil 41) (URL-19, 2011), [39].



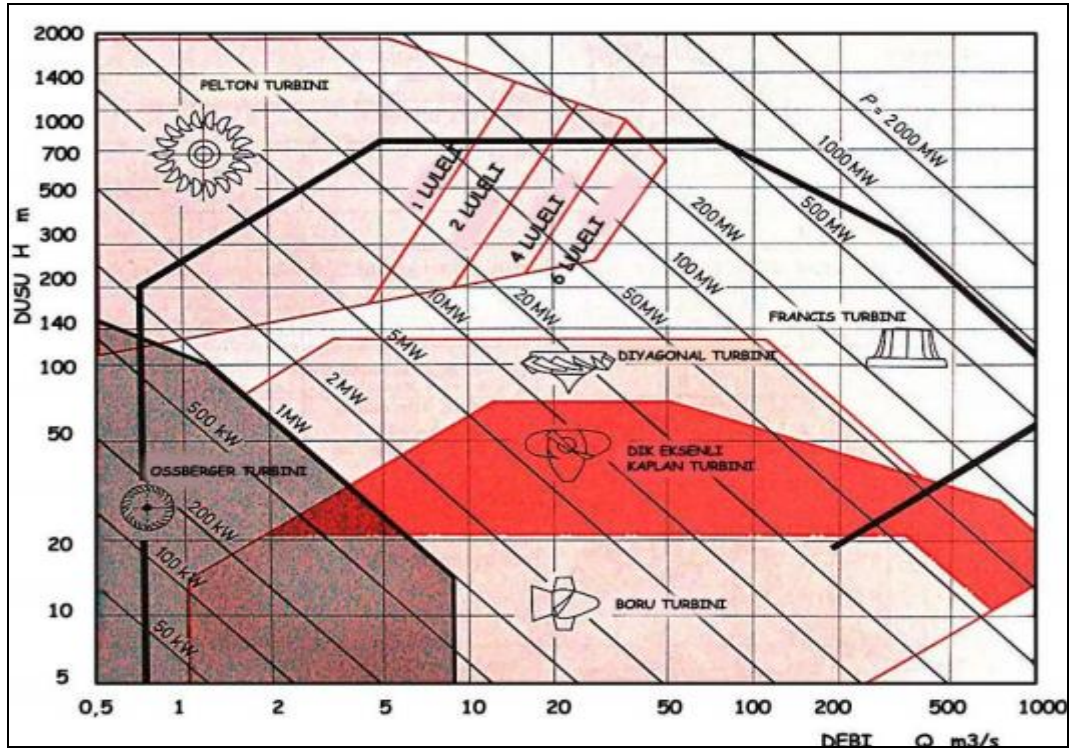
Şekil 41. Tipik bir kaplan türbin çarkı ve çalışma prensibi

Kaplan türbinleri Francis türbinlerine nazaran daha hızlı dönerler. Bu büyük avantaj nedeniyle jeneratöre arada kayış, kasa veya dişli olmadan da direkt bağlanabilir. Francis türbinleri orta düşüler için, Kaplan türbinleri ise alçak düşüler için daha ekonomiktir. Yapımları aksiyon türbinlerine (Pelton, Turgo, Banki) göre daha

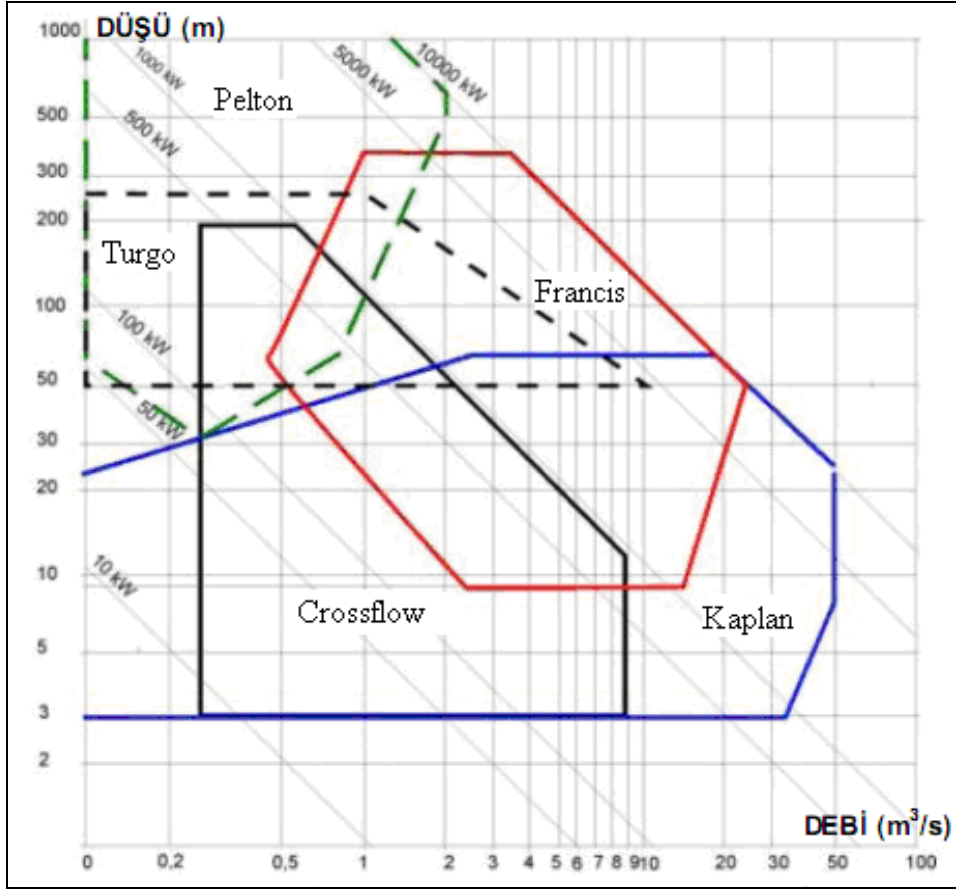
zordur, bu nedenle mikro hidrolik sistemlerde daha az kullanılmaktadır. Ayrıca bu türbinlerde buhar dolu kabarcıkların oluşup sönümleşme (kavitasyon) tehlikesi de vardır. Değişken debilerde de düşük verimlidirler (URL-19, 2011).

1.11.3. Türbin Seçimi

Hidroelektrik sistemlerde kullanılan türbin tipleri yüksek, orta ve alçak düşü makineleri olarak sınıflandırılır. Şekil 41'da 50 KW-2.000 MW güç bölgesi için, Şekil 31'de ise 1KW-10MW güç bölgesi için farklı düşü ve debi bölgelerinde hidroelektrik santrallerde kullanılan türbinler gösterilmiştir. Aşağıdaki şekillerden türbin seçimi yapabilmek için öncelikle kuracağımız hidroelektrik güç tesisinin debi ve düşü değerlerinin bulunması gerekir. Ardından bu değerlerin keştiği noktayla türbinden elde edilecek güç miktarını gösteren doğrunun keştiği veya yaklaşık olarak keştiği nokta hangi türbin bölgesinde kalıyorsa, kuracağımız hidroelektrik güç tesisimizde o türbinin kullanılması verimlilik ve işletme şartlarının iyileştirilmesi bakımından en uygun seçim olacaktır (URL-19, 2011).



Şekil 42. Debi ve düşü değerlerine göre kullanılacak türbin çeşitleri (50 KW-2.000 MW)



Şekil 43. Debi ve düşü değerlerine göre kullanılacak türbin çeşitleri (10kW-10MW)

1.11.4. Su Kuvveti Tesisinin Yapı Elemanları

Su kuvveti sistemlerinde derleme yapısı, su alma yapısı, iletim tesisi (açık kanal, galeri, basınçlı boru), denge bacası veya yükleme odası, kuvvet santrali (türbin, jeneratör), boşaltım kanalı veya galerisi ve şalt sahası başlıca yapı elemanlarıdır. Yerel şartlara ve tesisin özelliğine bağlı olarak yukarıdaki kısımlardan bazıları kullanılmayabilir [37, 39].

1.11.4.1. Derleme ve Su Alma Yapıları

Akarsuyun derlenmesi, genellikle bentlerle kabartılması ve özel bir su alma yapısıyla suyun iletim mecralarına aktarılması esasına dayanır. Suyun barajla derlenmesi halinde, büyük bir su biriktirme haznesi oluşmaktadır. Baraj haznelinde

çöküntü ve tortular (rüsubat) çökeceğinden ayrıca çökeltim havuzu yapılması gerekmemektedir [37, 39].

Bir hidroelektrik tesiste, enerji amacı için kullanılacak suyun kaynağından alınarak iletim kanalı, kuvvet tüneli veya cebri boruya geçişini sağlayan yapıya su alma yapısı denir. Su alma yapıları, su alınacak yerin nehir, dere, sulama kanalı veya baraj (rezervuar) olmasına göre değişik özellikler gösterir. Bununla beraber su alma yapılarının fonksiyonları bakımından ortak özellikleri vardır. Bu özellikler şunlardır:

1. Bir su alma yapısı, bağlandığı iletim yapısına (iletim kanalı, kuvvet tüneli veya cebri boru) gerekli suyu istenilen miktarlarda kontrollü olarak verebilmelidir.

2. İstenilen suyu sedimentten (silt, kum, çakıl) ve yüzer haldeki türbine kadar girebilecek zararlı maddelerden (tomruk, kütük, buz) ayırarak verebilmelidir.

3. En az düşü kaybıyla çalışacak şekilde ve ekonomik olarak projelendirilmiş olmalı ve belirtilen ömrü süresince işlevlerini yerine getirebilmelidir.

1.11.4.2. İletim Yapıları

Kuvvet santralının baraj gövdesinde veya hemen eteğinde yer alması halinde kısa bir basınçlı boru ile su iletilir. Derleme noktası ile kuvvet santrali arasındaki mesafe büyükse, özel iletim yapılarının (açık kanal, galeri, basınçlı akışlı tünel) yapılması gerekir. Serbest yüzeyli akıştan basınçlı borudaki akışa emniyetle geçişi sağlamak için yükleme havuzu, basınçlı tünelden basınçlı boruya geçişi sağlamak için ise denge bacası yapılır [37, 39].

1. Kanallar

Enerji tesislerine ait iletim kanalları da sulama kanalları gibidir. Genellikle eğimleri sulama kanallarından daha küçük seçilerek düşü kaybı önlenir.

2. Tüneller

İletim yolunu kısaltmak için yüksek bir tepenin veya dağın altından geçmek gerektiği durumlarda su alma yerinden denge bacasına kadar tüneller kullanılır. Tüneller iki grupta sınıflandırılır.

a) Basıncısız Tüneller

Demiryolu ve karayolu tünelleri, servis tünelleri, yeraltı tünelleri ve maden ocağı tünellerinde iç basınç yoktur. Kanal vazifesi gören tüneller de bu gruba dâhildir.

b) Basıncılı Tüneller

Enerji maksatlı tüneller bu gruba girer. Basıncılı tüneller 3 kısma ayrılır;

- Alçak basınçlı tüneller: $H_0 < 5m$
- Orta basınçlı tüneller: $5 < H_0 < 100m$
- Yüksek basınçlı tüneller: $H_0 > 100m$

Tüneller kaplamalı veya kaplamasız olabilirler. Tünelde kaplamanın fonksiyonu yük taşımak, sızdırmazlığı sağlamak ve düzgün bir yüzey sağlayarak sürtünme kayıplarını azaltmaktır. Alçak basınçlı tünellerde kaplamaya gerek olmayabilir. Üstelik tünel sağlam bir kaya formasyonundan geçiyor ise sadece su kaçabilecek çatlakları kapatmak yeterlidir. Orta basınçlı tünellerde su sızdırmazlığını temin için ince demirsiz bir beton kaplama yeterli olabilir. Zemin sağlam kaya değil ise kaplama yapılmalıdır. Hatta iç basınç arttıkça çatlaklar büyür ve su kaçağına yalıtım (enjeksiyon) bile yeterli olmayabilir. Yüksek basınçlı tünellerde, grobeton kaplama ve hatta betonarme kaplama çatlamaı önleyemez. Bu takdirde tünelde çelik kaplama uygulanır. İç basıncın tamamı çelik kaplama olacaksa, çeliğin akma gerilmesine göre hesap yapılabilir [37, 39].

1.11.4.3. Yükleme Odası ve Denge Bacası

1. Yükleme Odası

Tünel veya açık kanal gibi serbest yüzeyli akım ile cebri borudaki basınçlı akım arasında geçişi sağlamak ve türbinlerin debi ihtiyaçlarındaki değişimleri karşılamak için yükleme odası tesis edilmektedir [37, 39].

2. Denge Bacası

Denge bacası basınçlı boru sistemlerindeki basınç değişimlerini düzenleyerek cebri boruların en ekonomik boyutlarda kalmalarını ve verimli çalışmalarını sağlayan yapıdır. Şu amaçla hizmet eder;

a) Bir hidroelektrik santralde türbinlerin ani kapanması, diğer bir deyimle “yük atması” ile cebri boru veya tünel içinde hareket halinde olan su kütlesi aniden yavaşlar. Belirli bir ivmeye sahip bu su kütlesi, cebri boruların alt ucunda büyük basınç artışlarına sebep olur. Buna su darbesi veya su koçu denir. Denge bacası, bu basınç dalgalarını kendi serbest su yüzeyinde keserek membaya gitmesine engel olur ve bu suretle de tünelin denge bacasının çıkış kısmı aşırı basınçtan korunmuş olur.

b) Eğer santrale basınç düşürücü bir sistem ilave edilmemişse veya herhangi bir nedenle bu vana çalışmaz ise denge basıncı cebri borunun kendisini de kısmen bu aşırı basınçtan korumuş olur.

c) Denge bacası türbinde regülasyonu sağlar. Türbin çalışmaya başlarken veya çalışırken aniden yük ihtiyacı artarsa türbinin de fazla suya ihtiyacı artar. Yataya yakın eğimli tünelin içindeki su kütlesine yeterli ivme sağlanamazsa, çok eğimli cebri boru ile tünelin birleştiği yerdeki su akımında bir kesiklik olabilir. Bu suretle türbin çalışmaz veya verimi düşer.

Denge bacası mümkün mertebe santrale yakın olmalıdır. Hatta denge bacası, çok az meyilli olan kuvvet tüneli ile aniden dikleşen cebri borunun kesiştiği kurb civarında olmalıdır. Denge bacasının üst kotu zemin kotundan biraz yukarda olmalıdır. Denge bacası sağlam bir zemin içine shaft olarak yapılmalıdır [37, 39].

1.11.4.4. Vanalar ve Vana Odası

Hidroelektrik tesislerde kullanılan vana tipleri; sürgülü vana, küresel vana, konik vana ve basınç düşürücü vana olarak sayılabilir. Yerleri ve fonksiyonları şöyledir:

1. Cebri Boru Emniyet Vanası

Amacı; cebri boruda arıza, çöküntü veya yarıma ve kayma olursa hız artışı sebebi ile otomatik olarak bu vana kapanır ve bu suretle cebri boru ve ilgili tesisler daha fazla zarara girmeden kurtulmuş olurlar. Tünel çıkışına veya cebri boru baş tarafına konulur. Genellikle üzerindeki düşü az olduğu için kelebek tipi vana kullanılır.

2. Türbin Vanası

Gerektiğinde cebri boruyu kapayarak türbine su girişini engeller. Türbinin hemen mansabına konulmalıdır. Kelebek, sürgülü veya küresel vana tipi olabilir.

3. Dip Savak Vanası

Türbin durduğunda, mansaba sulama veya başka amaç ile su vermek gerekiyorsa veya rezervuar dolu savak eşik kotu altındaki herhangi bir kota kadar boşaltılacak ise bu vana kullanılır. Derivasyon tüneli veya santral içinde bir yer olabilir. Konik vana kullanılır ve bu vananın çıkışına da bir adet sürgülü vana (emniyet vanası) konulur.

4. Basınç Düşürücü Vana

Yüksek düşümlü santrallerde basınç artışı (su darbesi) çok yüksek çıkıyorsa ve bu basınca göre cebri boru projelendirmek ekonomik olmuyorsa, türbinin hemen yanına özel bir vana konulur ve türbin aniden durunca bu vana çalışarak basınç dalgalarının cebri boru içinde yükselmesi önlenerek belirli bir oranda tutulur [37, 39].

1.11.4.5. Cebri Borular

Türbin ile santral arasındaki basınçlı borulardır. Genellikle çelikten yapılırlar. Bununla beraber iç basınç fazla değilse veya sızdırmazlık sorun teşkil etmiyorsa, açık cebri borularda ve tünellerde beton malzeme kullanılabilir. Yüksek düşümlü hidroelektrik tesislerde maliyetin büyük bir kısmını cebri borular oluşturur. Bundan dolayı ilk etütler ve kesin proje hesapları çok iyi yapılmalıdır [37, 39].

Cebri boru güzergâhı kesinlikle heyelan bölgesinden, yamaç molozu, kil veya benzeri zayıf zeminlerden geçirilmemelidir. Cebri borular en kısa yoldan santrale indirilmelidir. Cebri boru uzarsa hem maliyeti hem de düşü kayıpları artar. Düşü kaybı ise enerji kaybı demektir. Ayrıca soğuk bölgelerde cebri borular kapalı galeriler içinde götürülebilir [37, 39].

1.11.4.6 Santral

Santral yapısı genelde betonarme kısmen de çelik yapılabilir. Cebri borulardan gelen su santral içindeki jeneratörde elektrik enerjisine dönüştürülür [37, 39].

1.11.4.7. Kuyruk Suyu Kanalı ve Eşiği

Boşaltma borusu çıkışı ile kuyruk suyu kontrol eşiği arasındaki yapıdır. Genellikle beton kaplamalı ve tabanı 1/6 eğimle yapılır. Bu kanalın sonunda, kuyruk suyu seviyesinin belirlenen düzeyde tutulabilmesi için bir de kontrol eşiği yapılır. Bu eşik ile santral çıkış suyunun boşaldığı nehir yatağı veya deredeki su seviyesi alçalınca, kuyruk suyu kanalındaki su seviyesini minimum işletme kotunda tutabilmektedir [37, 39].

1.11.5. Hidroelektrik Enerjinin Avantajları ve Dezavantajları

Hidroelektrik santrallerin avantaj ve dezavantajları aşağıdaki şekilde sınıflandırılır.

1.11.5.1. Avantajları

1. Taşkından ve erozyondan korumada etkilidir
2. Çevreye dost, temiz ve yenilenebilirdir.
3. Balıkçılığın destekler.
4. Diğer enerji kaynaklarına göre çok daha az yabancı kaynağa ihtiyaç duyulur.
5. Kullanılan bir yakıt olmadığından çevreye, sera gazı kirliliğine neden olmaz.
6. Çok kısa sürede devreye alınıp devreden çıkarılabildiklerinden pik saatler denilen 18-22 saatleri arası büyük öneme sahiptir. Ani bir talep durumunda birkaç saniyede devreye sokulur.
7. Yüksek verimlidir (% 80).

1.11.5.2. Dezavantajları

- 1.Biriktirmesiz santrallerde kurak yıllarda çok az elektrik üretilmesi ve su rejimine bağlı olarak değişken olması.
- 2.Biriktirmeli santrallerin ilk yatırım maliyeti çok fazladır.
- 3.Biriktirmeli santraller suyun kalitesini bozabilir.
- 4.Biriktirmeli santrallerde baraj yüzeyi nehre göre daha geniş alan kapladığından buharlaşma artar ve havadaki nem oranı fazlalaşır. Bu yüzden bölgenin iklimini etkiler ve ekolojik dengenin bozulmasına neden olur.
- 5.Biriktirmeli santrallerinde kurulan barajlar çok büyük alanların sular altında kalmasına sebep olduğundan toprak kaybı da olasıdır.
- 6.Yapım aşamasında kamulaştırmaya bağlı olarak büyük nüfus göçü ile karşı karşıya kalınabilir.
- 7.Biriktirmeli santrallerin toplam inşaat süresi uzundur.
- 8.Nehir çevresindeki bitki gelişimini olumsuz etkiler.

Tablo 10'da enerji kaynakları arasında elektrik üretiminde maliyet karşılaştırması yapılmıştır. Aşağıdaki tablo incelendiğinde hidroelektrik enerjinin diğer kaynaklara göre işletme maliyeti en uygun olan enerji kaynağı olduğu görülmektedir.

Tablo 10. Enerji kaynaklarının elektrik üretiminde yatırım ve birim maliyetleri

Enerji Kaynağı	Kurulu Maliyet \$/ KW	Birim Maliyet cent / KWh
Nükleer	2000–2500	3,63
Taş Kömürü	1200–1400	4,55
Linyit	1000–1500	3,43
Fuel-Oil	1100–1250	4,22
Doğal Gaz	800–1000	4,33
Jeotermal	1000–1500	4-6
Güneş	1500–2000	8,5
Rüzgâr	800–1200	4,5
Hidroelektrik	1200–1500	0,5

Tablo 10. (devamı) Enerji kaynaklarının elektrik üretiminde yatırım ve birim maliyetleri

Biyokütle	800–1200	5,5
Dalga	1200–2000	6-8

1.11.6. Türkiye'nin Hidroelektrik Potansiyeli ve Dünyadaki Yeri

Ekonomik olarak yararlanılabilir hidroelektrik potansiyel, bir akarsu havzasının hidroelektrik enerji üretiminin ekonomik olarak en uygun (optimizasyonunun) sınır değerini gösteren, gerek teknik açıdan geliştirilebilmesi mümkün, gerekse ekonomik yönden tutarlı olan tüm hidroelektrik projelerin toplam üretimi olarak tanımlanabilir. Brüt potansiyel ise mevcut düşü ve ortalama debinin oluşturduğu potansiyeli ifade etmektedir. Ülkemizdeki brüt hidroelektrik potansiyel 433.000 GWh/yıl, teknik potansiyel 216.000 GWh/yıl ve ekonomik potansiyel ise 129.900 GWh/yıl mertebesindedir. Bu potansiyelin % 35'i işletmede, % 8'i inşa halinde ve geri kalan % 57'si çeşitli proje seviyelerindedir. Ekonomik potansiyel değeri ise, Türkiye'nin yıllık elektrik enerjisi üretiminin %74'ünü tek başına karşılayacak düzeydedir. Türkiye'nin 433.000 GWh/yıl olan brüt potansiyeli Dünya'nın toplam potansiyelinin % 1'i, Avrupa'nın toplam potansiyelinin % 16'sı civarındadır. Ülkemizdeki elektrik tüketimi her yıl % 8-10 arasında artış göstermektedir [40].

Ülkemizde küçük hidroelektrik santraller enerji üretiminde önemli bir potansiyele sahiptir. Türkiye'nin teorik olarak brüt küçük hidroelektrik potansiyeli 50.000 GWh/yıl, teknik ve ekonomik yapılabilir küçük hidroelektrik potansiyelleri ise 30.000 GWh/yıl ve 20.000 GWh/yıl'dır [41].

Türkiye'de yıllık ortalama yağış yaklaşık 643 mm olup, yılda ortalama 501 milyar m³ suya tekabül etmektedir. Bu suyun 274 milyar m³'ü toprak ve su yüzeyleri ile bitkilerden olan buharlaşmalar yoluyla atmosfere geri dönmekte, 69 milyar m³'lük kısmı yeraltı suyunu beslemekte, 158 milyar m³'lük kısmı ise akışa geçerek çeşitli büyüklükteki akarsular vasıtasıyla denizlere ve kapalı havzalardaki göllere boşalmaktadır. Yeraltı suyunu besleyen 69 milyar m³'lük suyun 28 milyar m³'ü pınarlar vasıtasıyla yerüstü suyuna tekrar katılmaktadır. Ayrıca, komşu ülkelere

gelen yılda ortalama 7 milyar m³ su bulunmaktadır. Böylece ülkemizin brüt yerüstü suyu potansiyeli 193 milyar m³ olmaktadır [40, 41].

Tablo 11. Dünya ve Türkiye'deki hidroelektrik potansiyel

	Brüt HES Potansiyeli (GWh/yıl)	Teknik HES Potansiyeli (GWh/yıl)	Ekonomik HES Potansiyeli (GWh/yıl)
Dünya	40.150.000	14.060.000	8.905.000
Avrupa	3.150.000	1.225.000	0
Türkiye	433.000	216.000	127.381

Ülkemizde, yenilebilir enerji kaynağı olan su kaynaklarında bu güne kadar değerlendirilmeyen kaynaklar üzerinde özel sektörün de devreye sokulmasıyla yapılan çalışmalarla 1516 adet proje üretilmiştir. Devlet Su İşlerine yapılan müracaatlarda kurulu güç toplam değerleri Kasım 2007'de 16.643 MW iken, Aralık 2010'da bu değer 32.309,7 MW'a ulaşmıştır. Enerji ihtiyacı dışa bağımlı bir şekilde karşılayan ülkemiz için yerli ve yenilebilir enerji kaynağı olan hidroelektrik enerjinin geliştirilmesi son derece önemlidir [40, 41].

2. YAPILAN ÇALIŞMA

2.1. Çalışmanın Yapıldığı Alanın Tanıtılması

Doğu Karadeniz Bölgesinin sınırları içerisinde yer alan Gümüşhane, 38° 45' - 40° 12' doğu boylamaları ile 39° 45' - 40° 50' kuzey enlemleri arasında olup, doğusunda Bayburt, batısında Giresun, kuzeyinde Trabzon, güneyinde Erzincan illeri bulunmaktadır. Toplam alanı 6575 km², 2005 verilerine göre toplam nüfusu 186793 olan ilin deniz seviyesinden yüksekliği ortalama 1400 m'dir. İlinin en yüksek noktası 3.331 metre ile Abdal Musa tepesidir. Doğu Karadeniz ile Doğu Anadolu Bölgesini birbirine bağlayan karayolu üzerinde doğrusal (lineer) bir durumda bulunan Gümüşhane ili Merkez, Torul, Kürtün, Kelkit, Şiran ve Köse olmak üzere 6 ilçeden oluşmaktadır. Arazinin % 60'ını dağlar, % 29'unu platolar, % 11'ini ovalar teşkil etmektedir (URL-20, 2011)



Şekil 44. Çalışma yapılan alan

2.2. Hidroelektrik Enerji Potansiyeli Hesaplama Yöntemi

Bu bölümde Gümüşhane ilinin hidroelektrik potansiyeli hesaplanmıştır. Gümüşhane ilindeki mevcut yüzeysel su kaynaklarının enerji potansiyelleri üzerinde çalışma yapılmıştır. Hidroelektrik potansiyelin belirlenmesinde iki ana parametre etkin rol oynamaktadır. Bunlardan biri düşü H (m), diğeri ise debi Q (m³/s) değeridir. Hidrolik kapasite, hidroelektrik santralin enerji üretebilmesi için gereken maksimum akış miktarıdır. Bir hidroelektrik santralde güç (2.1) ifadesiyle hesaplanmaktadır.

$$N = \gamma \cdot \eta \cdot Q \cdot H \text{ (t.m/s)} \quad (2.1)$$

Güç, (2.1) ifadesinden açıkça görüldüğü gibi debi ile düşüm yüksekliğinin çarpımından ibarettir. Q, akarsuda zamanla değişen bir büyüklüktür. Akarsu içerisindeki su seviyeleri zamanla değiştiği için H düşüm yüksekliğinde de değişiklikler olacaktır. Bu yüzden bir akarsu üzerinde zaman, debi ve seviye bağıntılarının her an için bilinmesi zorunluluğu vardır.

(2.1) ifadesinde;

γ = Suyun birim hacim ağırlığı (t/m³)

H = Kot Farkı (m)

Q = Debi (m³/s)

Hidroelektrik santraldeki enerji kaybı oranları;

Türbinde: $\delta_{tür}$, Jeneratörde: δ_{jen} , Transformatörde: δ_{trans} ise

$\delta_{tür} \cdot \delta_{jen} \cdot \delta_{trans} = 0.85$ oranında santralde güç kaybı oluşur. Bundan dolayı;

$N = \gamma \cdot H \cdot Q \rightarrow N = 9.81 \cdot H \cdot Q \cdot 0.85 \rightarrow N = 8 \cdot H \cdot Q$ olarak hesaplanılır.

Su kaynağı potansiyel hesabında;

$$N_{brüt} = 8 \cdot H_{ort} \cdot Q_{ort} \quad (2.2)$$

$$E_{brüt} = N_{brüt} \cdot 24 \cdot 365 \quad (2.3)$$

(2.2) ifadesinde;

$N_{brüt}$ = Su kaynağının brüt gücü (KW)

H_{ort} = Havzanın ortalama kotu (m)

Q_{ort} = Su kaynağının ortalama debisi (m^3/s)

(2.3) ifadesinde;

$E_{brüt}$ = Su kaynağının brüt enerjisi (KWh)

H_{ort} karelej yöntemi ile hesaplanmıştır. H_{ort} hesaplanırken DSI'nin 1/25.000'lik haritaları kullanılmıştır. İlk olarak akarsuyun güzergâhı ve bu güzergâh üzerindeki paftalar birleştirilerek havza alanı tespit edilmiştir. Daha sonra paftalar üzerindeki 2 cm* 2 cm ebadındaki kareler dörde ayrılarak her bir karenin ortalama kotu bulunmuştur. Membadan mansaba kadar bulunan tüm karelerin ortalama kotları toplanıp kare sayına bölünerek ortalama kot hesaplanmıştır.

2.3. Gümüşhane İlinin Hidroelektrik Potansiyeli

2.3.1. Genel Bilgiler

Gümüşhane ilinin alanı $6.575 km^2$, 1970-2010 yıllık yağış ortalaması 460,9 mm kadardır. Yıllık ortalama akış (yerüstü) hacmi değeri $1329,82 hm^3$ 'dir. Yıllık ortalama akış verimi 20,8 L/s başka bir ifadeyle $0,0208 m^3/s$ 'dir. Tablo 10'da Gümüşhane ilindeki yüzeysel su kaynaklarının toplam uzunluğu, alanı, debisi ve ortalama kotları verilmiştir. Bu tablodaki derelerin ortalama kotları ise karelej yöntemiyle bulunmuştur.

Tablo 12. Gümüşhane su kaynakları potansiyeli

Akarsu adı	İl sınırları içindeki uzunluğu	Yağış alanı	Yıllık ortalama su	Yıllık ortalama debi	Ortalama yıllık verim	Ortalama kot
	(km)	(km^2)	(hm^3)	(m^3/s)	($L/s/km^2$)	(m)
Harşit Çayı	127	2.830	850	27,0	300,4	1.477
Kelkit Çayı	105	3.105	464,82	14,7	149,7	1.352
Yer altı suyu	—	—	15	—	—	—
Toplam		5.935	1.329,82	41,7		

2.3.2. Gümüşhane İlindeki Yüzeysel Su Kaynaklarının Brüt Hidroelektrik Potansiyel Değerleri

Brüt hidroelektrik potansiyel hesaplanırken Bölüm 2.1 deki hidroelektrik enerji potansiyeli hesaplama yöntemi kullanılmıştır. 2.2 denkleminde, H_{ort} ve Q_{ort} değerleri yerlerine konularak derelerin brüt güç ve enerjisi aşağıdaki tabloda hesaplanmıştır. Tablo 13. de Gümüşhane ilindeki yüzeysel su kaynaklarının brüt hidroelektrik güç ve enerji potansiyelleri ile bu ilin toplam hidroelektrik güç ve enerji potansiyeli hazırlanmıştır.

Tablo 13. Gümüşhane ilinin brüt hidroelektrik potansiyeli

Akarsu adı	Ortalama debi	Ortalama kot	Brüt hidroelektrik güç	Brüt hidroelektrik enerji
	Q_{ort}	H_{ort}	$N_{brüt}$	$E_{brüt}$
	(m^3/s)	(m)	(KW)	(KWh* 10^6)
Harşit Çayı	27,0	1.477	319.032	2.794,72
Kelkit Çayı	14,7	1.352	158.995,2	1.392,79
Toplam			478.027,2	4.187,51

3. BULGULAR

Bu bölümde Gümüşhane ilinin hesaplanan brüt hidroelektrik potansiyellerin değişik oranlarda kullanılabilmesi halinde ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin karşılanabileceği yıllar bulunmuştur.

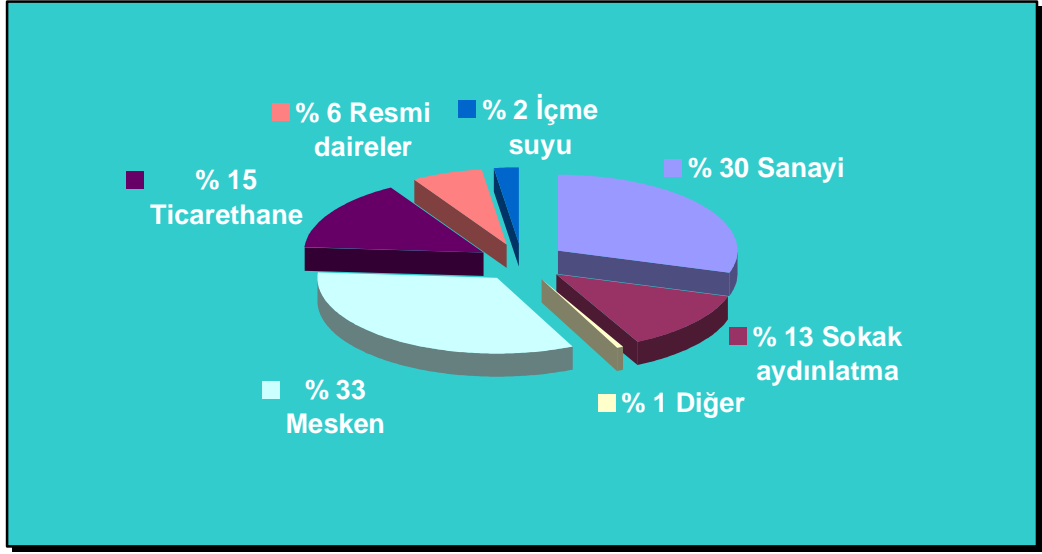
İlk olarak ilin yıllara göre kullandıkları elektrik enerjisi sarfiyatlarının grafikleri çizilmiş ve bu grafiklerdeki değerlere göre ortalama eğimler çıkarılmıştır. Ortalama eğimler istatistiksel zaman serisi analizi yöntemine göre yapılmıştır. Çizilen ortalama eğim ile ileriki yıllarda ilin elektrik ihtiyaç değeri tahmin edilebilir. Ayrıca çizilen elektrik enerjisi sarfiyatı grafikleri ile potansiyel-ihtiyaç dengesi analizleri yapılmıştır.

Gümüşhane ilinin 2006-2010 yıllarına ait kullanılan elektrik miktarları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 14. Gümüşhane ilinde yıllara göre kullanılan elektrik enerjisi miktarı

Yıllar	Kullanılan elektrik enerjisi (KWh)
2006	73.288.176
2007	79.209.339
2008	89.273.144
2009	118.929.448
2010	157.668.900

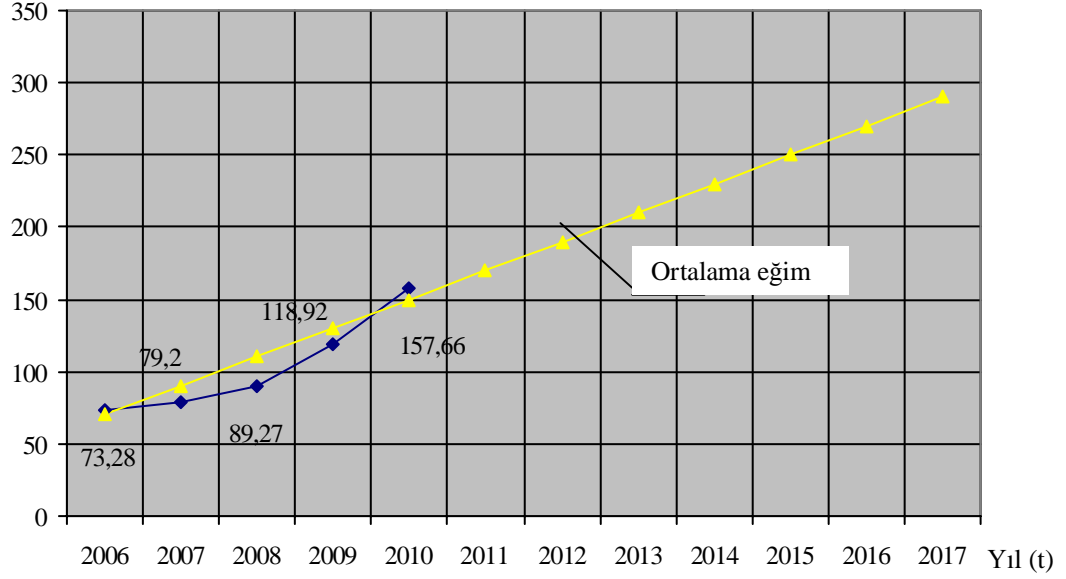
Tablo 14'de Gümüşhane ilinin 2006'dan 2010'a kadar kullanılan elektrik enerjisi değerleri gösterilmiştir. Bu değerler ildeki TEDAŞ Müdürlüğünde bilgi işlem merkezi servisinden alınmıştır. 2006 yılından önceki değerler serviste kayıtlı olmadığından toplam 5 yıllık veriler kullanılarak ihtiyaç-potansiyel grafikleri çizilmiştir.



Şekil 45. Gümüşhane ilinin 2010 yılı elektrik tüketiminin abonelere göre dağılımı (KWh)

Şekil 45’de Gümüşhane ilinin elektrik sarfiyatının abonelere göre dağılımı gösterilmektedir. Şekil 46’da ise Gümüşhane ilinin elektrik sarfiyatının yıllara göre dağılımı gösterilmektedir. Bu grafik çizilirken ilk olarak 2006’dan 2010’a kadar kullanılan elektrik enerjisi miktarları ile yıl değerleri kesiştirilmiştir. Kesişen noktalar arasında bir eğim çizilmiştir. Daha sonra bu eğime en yakın değerde olan ortalama eğim çizilmiştir. Ortalama eğim çizilirken istatistiksel zaman serisi yöntemi kullanılmıştır. Ortalama eğim bize Gümüşhane ilinde önümüzdeki yıllarda kullanılacak elektrik enerjisi değerini tahmin etmekte yardımcı olacaktır.

Kullanılan enerji
(KWh*10⁶)



Şekil 46. Gümüşhane elektrik tüketiminin yıllara göre dağılımı (KWh)

Gümüşhane ilinin toplam brüt hidroelektrik potansiyel değeri $4.187,51 \cdot 10^6$ KWh olarak hesaplanmıştır. Bu brüt potansiyelin tamamının kullanılması mümkün değildir. Brüt potansiyelin belli oranlarda kullanılması halinde Gümüşhane ilinin gelecek yıllardaki potansiyel - ihtiyaç ilişkisi incelenebilir.

1. Toplam Brüt Enerjinin % 5'inin Kullanılabilmesi Durumunda:

$$E_1 = \sum E_{Brüt} \cdot 0.05 \quad E_1 = 4.187,51 \cdot 10^6 \cdot 0.05 \quad E_1 = 209,38 \cdot 10^6 \text{ KWh}$$

2. Toplam Brüt Enerjinin % 8'inin Kullanılabilmesi Durumunda:

$$E_2 = \sum E_{Brüt} \cdot 0.08 \quad E_2 = 4.187,51 \cdot 10^6 \cdot 0.08 \quad E_2 = 335 \cdot 10^6 \text{ KWh}$$

3. Toplam Brüt Enerjinin % 10'unun Kullanılabilmesi Durumunda:

$$E_3 = \sum E_{Brüt} \cdot 0.10 \quad E_3 = 4.187,51 \cdot 10^6 \cdot 0.10 \quad E_3 = 418,75 \cdot 10^6 \text{ KWh}$$

4. Toplam Brüt Enerjinin % 15'inin Kullanılabilmesi Durumunda:

$$E_4 = \sum E_{Brüt} \cdot 0.15 \quad E_4 = 4.187,51 \cdot 10^6 \cdot 0.15 \quad E_4 = 628,13 \cdot 10^6 \text{ KWh}$$

5. Toplam Brüt Enerjinin %20'sinin Kullanılabilmesi Durumunda:

$$E_5 = \sum E_{Brüt} \cdot 0.20 \quad E_5 = 4.187,51 \cdot 10^6 \cdot 0.20 \quad E_5 = 837,50 \cdot 10^6 \text{ KWh}$$

6. Toplam Brüt Enerjinin % 30'unun Kullanılabilmesi Durumunda:

$$E_6 = \sum E_{\text{Brüt}} * 0.30 \quad E_6 = 4.187,51 * 10^6 * 0.30 \quad E_1 = 1.256,25 * 10^6 \text{ KWh}$$

7. Toplam Brüt Enerjinin % 40'ının Kullanılabilmesi Durumunda:

$$E_7 = \sum E_{\text{Brüt}} * 0.40 \quad E_7 = 4.187,51 * 10^6 * 0.40 \quad E_1 = 1.675 * 10^6 \text{ KWh}$$

8. Toplam Brüt Enerjinin % 50'sinin Kullanılabilmesi Durumunda:

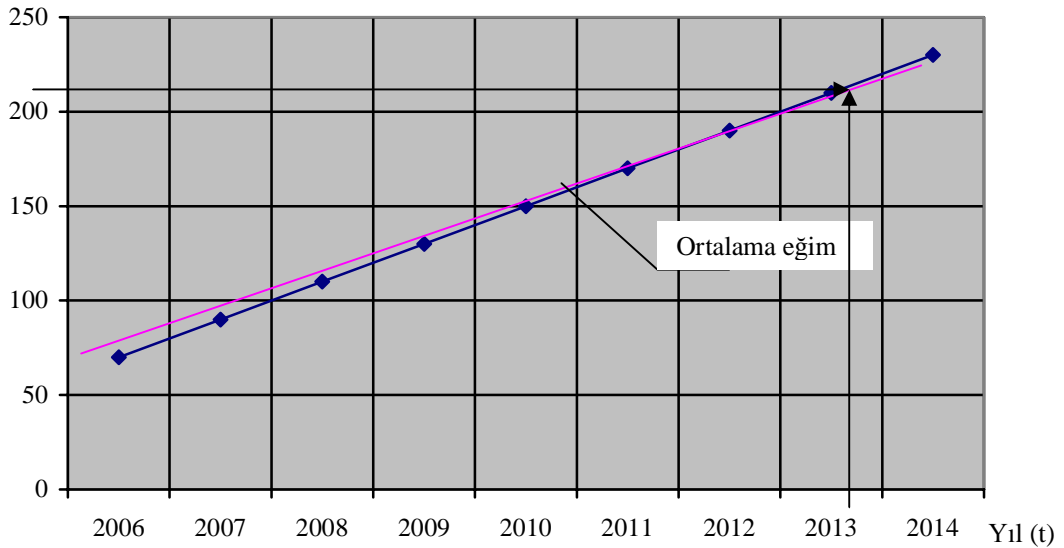
$$E_8 = \sum E_{\text{Brüt}} * 0.50 \quad E_8 = 4.187,51 * 10^6 * 0.50 \quad E_1 = 2093,75 * 10^6 \text{ KWh}$$

9. Toplam Brüt Enerjinin % 60'ının Kullanılabilmesi Durumunda:

$$E_9 = \sum E_{\text{Brüt}} * 0.60 \quad E_9 = 4.187,51 * 10^6 * 0.60 \quad E_1 = 2512,50 * 10^6 \text{ KWh}$$

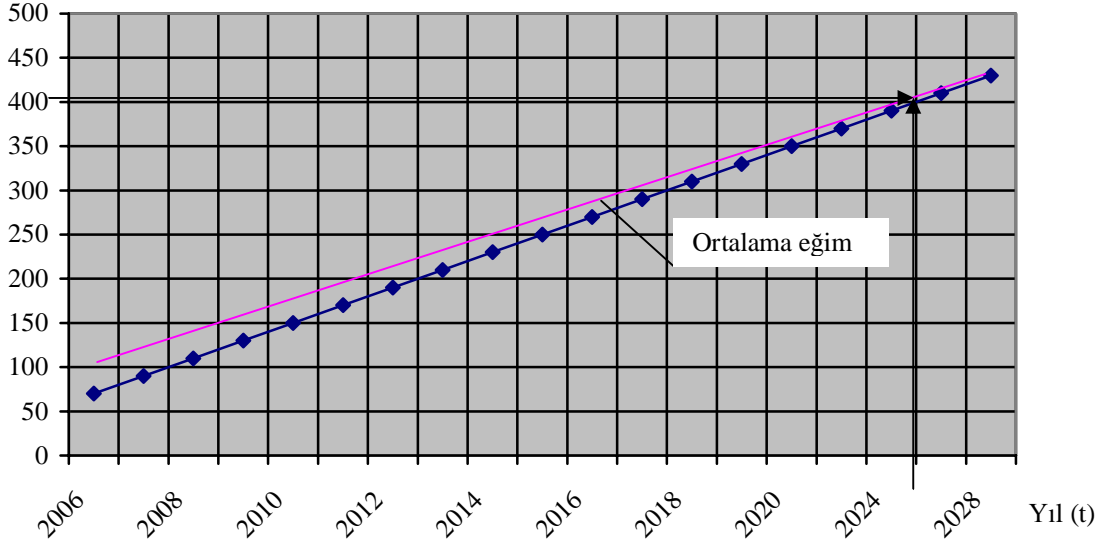
Yukarıda hesaplanan brüt potansiyel değerlerine göre Gümüşhane ilindeki gelecek yıllardaki potansiyel-ihtiyaç ilişkisi zamana bağlı olarak Şekil 47-51'de belirtilmiştir.

Kullanılan enerji
(KWh*10⁶)



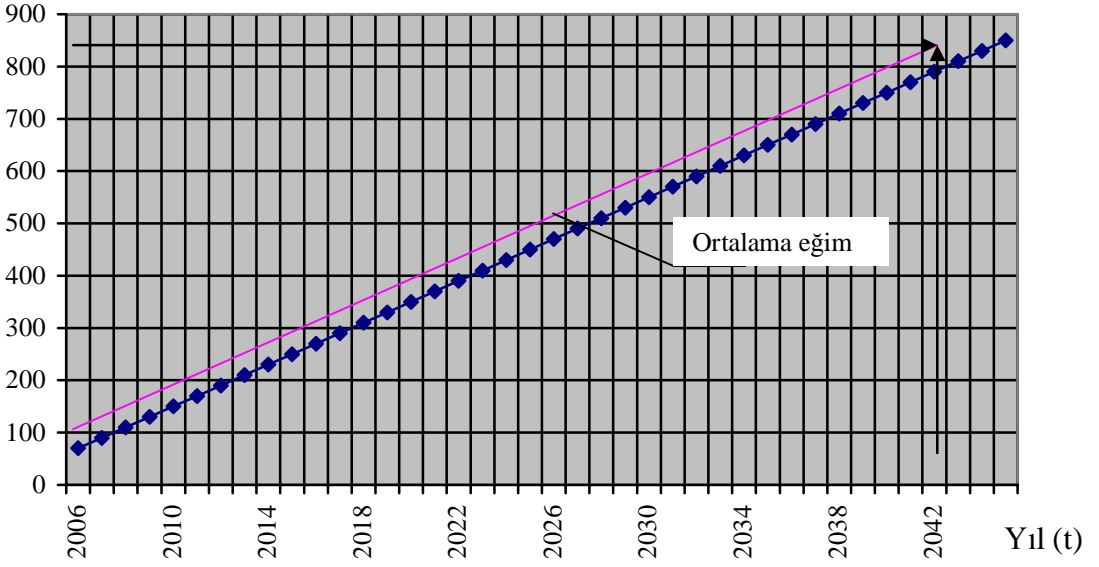
Şekil 47. Gümüşhane brüt hidroelektrik potansiyeli-yıl ilişkisi (% 5'inin kullanılması hali)

Kullanılan enerji
(KWh*10⁶)



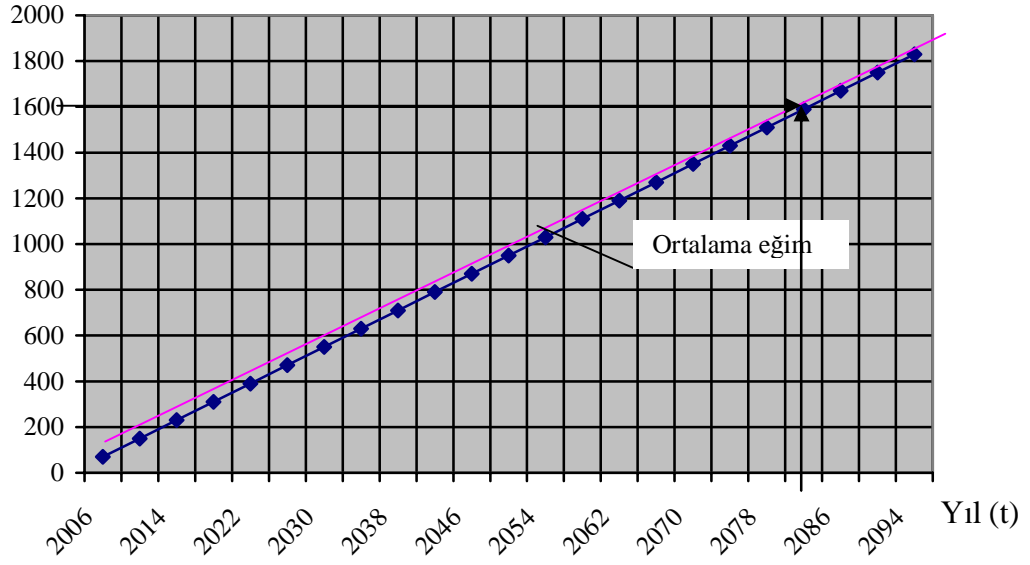
Şekil 48. Gümüşhane brüt hidroelektrik potansiyel-yıl ilişkisi (% 10'un kullanılması hali)

Kullanılan enerji
(KWh*10⁶)



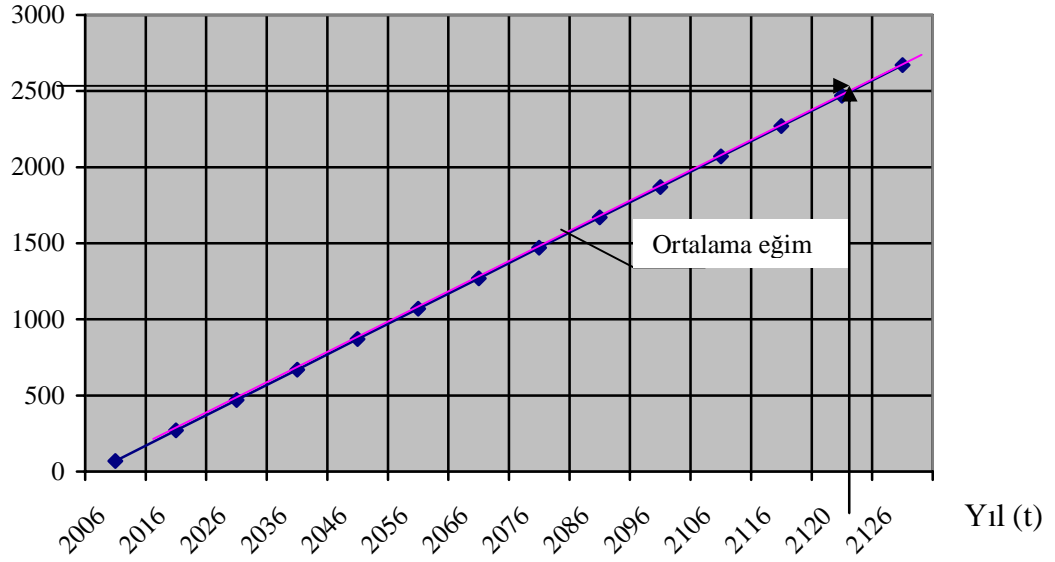
Şekil 49. Gümüşhane brüt hidroelektrik potansiyeli-yıl ilişkisi (% 20'nin kullanılması hali)

Kullanılan enerji
(KWh*10⁶)



Şekil 50. Gümüşhane brüt hidroelektrik potansiyeli-yıl ilişkisi (% 40'ın kullanılması hali)

Kullanılan enerji
(KWh*10⁶)



Şekil 51. Gümüşhane brüt hidroelektrik potansiyeli-yıl ilişkisi (% 60'ın kullanılması hali)

Tablo 15. Gümüşhane ilinin elektrik sarfiyatının yıllara göre dağılımı

	Toplam brüt hidroelektrik enerji	Brüt potansiyelin kullanılabilir değeri	Enerji miktarı	İhtiyacın karşılandığı yıl
	(KWh*10 ⁶)	(%)	(KWh*10 ⁶)	
Gümüşhane	4187,51	5	209,38	2013
		10	418,75	2026
		20	837,50	2042
		40	1.675,00	2082
		60	2.512,50	2120

Gümüşhane ilinin 2010 yılı elektrik sarfiyatı 157,67 GWh değerindedir. Bu ilimizin toplam brüt hidroelektrik enerji potansiyeli 4.187,51 GWh'dir. Bu demek oluyor ki toplam brüt potansiyelin yaklaşık % 3,76'sı kullanılmaktadır. Grafiklerdeki değerler itibariyle toplam brüt hidroelektrik enerji potansiyelin % 5'i kullanılır ise 2013 yılı, % 10'u kullanılır ise 2026 yılı, % 20'si kullanılır ise 2042 yılı, % 40'ı kullanılır ise 2082 yılı, % 60'ı kullanılır ise 2120 yılına kadar Gümüşhane ilinin mevcut elektrik ihtiyacı karşılanabilir. Bir hidroelektrik santralin bir yılda ortalama 4000 h/yıl çalıştığı kabul edilirse % 60 brüt kapasiteye erişmek için bu ilde 628 MW'lık toplam güce sahip hidroelektrik santraller kurulması gerekmektedir.

Grafiklerdeki değerler incelendiğinde önümüzdeki 100 yıl içinde Gümüşhane ilinin elektrik enerjisi ihtiyacı, toplam brüt potansiyellerinin % 40-% 50 arasındaki oranlarda kullanıldığında kendi ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Bu oranlardan daha fazla miktarda brüt hidroelektrik enerjiden yararlanılırsa, fazlalık enerji enterkollektör sisteme verilir.

4. İRDELEME

Bir ülkenin elektrik enerjisi tüketimi o ülkenin kalkınmışlığının bir göstergesidir. Son yıllarda Türkiye’de kişi başına yıllık elektrik tüketimi yaklaşık 2.850 KWh iken, dünya ortalaması 2.500 KWh’dir. Gelişmiş Avrupa ülkelerinde 7.000-8.000 KWh iken, Norveç, ABD’de gibi ülkelerde 12.000-20.000 KWh civarındadır. Ülkemizin ekonomik ve sosyal bakımdan kalkınmasının sağlanması için endüstrileşme bir hedef olduğuna göre bu endüstrinin ve diğer kullanıcı kesimlerin ihtiyacı olan enerjinin, yerinde, zamanında ve güvenilir bir şekilde karşılanması gerekmektedir.

Türkiye günümüz şartlarında enerji sıkıntısı içerisinde. Kendi mevcut öz kaynaklarının elektrik üretimindeki payı % 38 civarındadır. Doğalgaz ise elektrik üretiminin % 48,6’sını karşılamaktadır. Bilindiği gibi ülkemiz fosil kaynaklar itibarıyla fakir bir ülkedir. Petrol ve doğalgazın büyük bir kısmı dış ülkelere alınmaktadır. Bundan dolayı elektriğin üretimde KWh başına düşen birim miktarı yüksek miktarda olmaktadır. Tablo 16.da Türkiye’nin brüt hidroelektrik potansiyeli 433.000 GWh/yıl olarak verilmiştir. Fakat üretimde 129.900 GWh’i kullanılacağı tahmin edilmektedir. Bugünkü durumda hidroelektrik kapasitenin ancak % 38’i kullanılmaktadır. Aralık 2010 kurulu gücümüz 32.309,7 MW’ ulaşmıştır. DSİ 2020 yılına kadar toplam hidroelektrik potansiyeli üretime geçirmeyi planlamaktadır. Yıllık enerji ihtiyaç artışı % 8 olarak tahmin edilmektedir. Bundan dolayı 2015 de 403 milyar KWh, 2020 de 544 milyar KWh enerji tüketimi tahmin edilmektedir. Bu rakamlara göre hidroelektrik enerji 2020 yılında tüketimin % 24’ünü karşılayabilmektedir.

Ayrıca Türkiye diğer yenilenebilir enerji kaynakları yönünden zengin bir ülkedir. Rüzgâr, güneş, jeotermal gibi yenilenebilir kaynaklarından yeterli derecede yararlanılmamaktadır. Ayrıca zengin linyit yataklarına sahip olduğundan termik enerji olarak kullanılabilir. Öz kaynaklar yeteri derecede kullanılır ise ülkenin dışa bağımlılığı azalır ve elektrik üretimindeki birim maliyet daha asgari miktarlara indirgenebilir. Fakat yenilenebilir kaynaklar tüketim miktarını karşılayamayabilir. Bu sebeple 2014 ve ötesi yıllarda nükleer enerjiye geçiş olabilir. Ayrıca geleceğin en büyük ve en temiz enerji kaynaklarından biri hidrojenidir. Ülkemizde enerji politika ve planlamaları

yapılırken hidrojen enerjisi kaynaklarının da göz önünde tutulması gerekir. En azından bu konuda araştırma ve geliştirme çalışmalarına destek verilmelidir.

Tablo 16. Türkiye’de havzalara göre yıllık akış ve brüt hidroelektrik potansiyeli [11]

Havza	Ortalama yıllık akış (Milyar m ³)	Toplam akışa oranı (%)	Hidroelektrik potansiyel		
			GWh/yıl	MW	%
Fırat	31,61	17	84.122	9.603	19,4
Dicle	21,33	11,5	48.706	5.560	11,2
Doğu Karadeniz	14,9	8,0	48.478	5.534	11,2
Doğu Akdeniz	11,07	6,0	27.445	3.133	6,3
Antalya	11,06	5,9	23.079	2.634	5,3
Batı Karadeniz	9,93	5,3	17.914	2.045	4,1
Batı Akdeniz	8,93	4,8	13.595	1.552	3,1
Marmara	8,33	4,5	5.177	591	1,2
Seyhan	8,01	4,3	20.875	2.383	4,8
Ceyhan	7,18	3,9	22.163	2.530	5,1
Kızılırmak	6,48	3,5	19.552	2.232	4,5
Sakarya	6,4	3,4	11.335	1.294	2,6
Çoruh	6,3	3,4	22.601	2.580	5,2
Yeşilırmak	5,8	3,1	18.685	2.133	4,3
Susurluk	5,43	2,9	10.573	1.207	2,4
Aras	4,63	2,5	13.114	1.497	3,0
Konya-Kapalı	4,53	2,4	1.218	139	0,3
Büyük Menderes	3,03	1,6	6.263	715	1,4
Van Gölü	2,39	1,3	2.593	296	0,6
Kuzey-Ege	2,09	1,1	2.882	329	0,7
Gediz	1,95	1,1	3.916	447	0,9
Meriç-Ergene	1,33	0,7	1.000	114	0,2
Küçük Menderes	1,19	0,6	1.375	157	0,3
Asi	1,17	0,6	4.897	559	1,1

Tablo 16. (devamı) Türkiye’de havzalara göre yıllık akış ve brüt hidroelektrik potansiyeli

Burdur-Göller	0,50	0,3	885	101	0,2
Akarçay	0,49	0,3	543	62	0,1
Toplam	186,05	100	432.981	49.427	100

5. SONUÇLAR

1. Gümüşhane ilinin hidroelektrik potansiyeli incelendiğinde önümüzdeki 100 yıl içinde ilin elektrik enerjisi ihtiyacı, toplam brüt potansiyellerinin % 40-% 50 arasındaki oranlarda kullanıldığında kendi ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Bu oranlardan daha fazla miktarda brüt hidroelektrik enerjiden yararlanılırsa, fazlalık enerji enterkollektör sisteme verilmektedir.
2. Türkiye'nin brüt hidroelektrik potansiyeli 432.981 GWh olup, ekonomik potansiyeli 129.000 GWh olarak tahmin edilmektedir. Gümüşhane ilinin brüt potansiyeli 4.187,51 GWh olup ülke potansiyelinin yaklaşık % 1 değerindedir.
3. Türkiye'nin 2010 yılı içinde ürettiği toplam elektrik enerjisi 210.181,6 GWh'dir. Gümüşhane ili 4.187,51 GWh'lik brüt potansiyeli ile bu rakamın % 2'sini karşılayabilmektedir.
4. 2020 yılındaki elektrik talebi 544 milyar KWh olarak tahmin edilmektedir. Bu ihtiyacın ithal kömür ve ithal doğal gaz ile kapatılması önemli mali problemleri ortaya çıkaracaktır. Bu nedenle önümüzdeki 20 yıl içinde Türkiye hidroelektrik potansiyelini en iyi şekilde değerlendirmesi zorunlu hale gelmiştir.
5. Gümüşhane ilinin brüt hidroelektrik potansiyeli 478.027 KW değerindedir. Mart 2011 tarihi itibariyle 103,5 MW işletmede, 15,83 MW santralin inşaatına başlanmış, 69,37 MW'lık santralin inşaatı başlayabilir durumda, 57,91 MW'lık santralin su kullanım anlaşması yapılmış, 75,21 MW'lık santral projesinde fizibilite aşamasında ve 94,8 MW'lık kısmıda ön rapor aşamasındadır. Bu projeler tamamlandığında Gümüşhane ilinde toplam 416,62 MW'lık hidroelektrik santral tesisi kurulmuş olup toplam 1.165,52 GWh'lik enerji üretimi gerçekleşecektir.
6. Giderek artan enerji tüketimi dünyada ve Türkiye'de yeni, yenilenebilir ve alternatif enerji kaynaklarından yararlanılmasını zorunlu hale getirmiştir. Hidroelektrik enerji, Türkiye'nin kullanılabilir en önemli yerli ve yenilenebilir enerji kaynağını oluşturmaktadır. Hidroelektrik enerjinin payının artan bir şekilde Türkiye'nin enerji politikasında yer alması, termik enerji kaynakları açısından büyük ölçüde dışa bağımlı olan Ülkemiz için oldukça önemlidir.
7. Gümüşhane ilinin ortalama güneşlenme süresi 6,44 saat/yıl'dır. Toplam güneş enerjisi miktarı 1.496,2 KWh/m²-yıl düzeyindedir.

8. Gümüşhane ilinde 50 m'de rüzgâr gücü 300-400 W/m²'dir. Bu yükseklikteki rüzgar hızı 6,8-7,5 m/s arasındadır. Gümüşhane ilinde kurulabilecek rüzgar enerji santral güç kapasitesi 1,04 MW enerji düzeyindedir.
9. Gümüşhane il sınırları içinde biyogaz ham maddelerinden enerji üretimi de yapılabilir. Toplam büyük ve küçükbaş hayvan sayısı 2010 verilerine göre 113.500 civarındadır.

6. ÖNERİLER

1. Henüz gerektiği gibi değerlendirilemeyen yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının en kısa zamanda enerji arzına katkısının sağlanması gereklidir.
2. Enerji sektöründe özel sektör yatırımlarının teşvik edilmesi ve özelleştirme faaliyetlerine hız verilmesi gerekmektedir.
3. Kaliteli ve güvenilir elektrik enerji arzının sağlanması amacıyla mevcut iletim ve dağıtım hatları iyileştirilmelidir.
4. Türkiye üretim yatırımı ile birlikte tasarruf ve enerjinin etkin kullanımını da göz ardı etmemelidir.
5. Enerji hammaddelerinin çıkarılmasında, birincil ve ikincil olmak üzere enerji üretiminin her kademesinde, enerjinin taşınması, depolanması, dağıtımı ve tüketimi aşamalarında çevreye en az zarar verecek, ekolojik dengeyi bozmayacak enerji teknolojilerinin kullanımına özen gösterilmelidir.
6. Enerji teşvik politikaları tüketiciler açısından fayda/maliyet analizleri gözetilerek uzun vadeli planlanıp, uygulanmalıdır.
7. Türkiye Avrupa Birliği'ne üye olmayı hedeflemiş bir ülkedir. Enerji politikalarında, yönetsel enerji işlerinin yapılandırılmasında ve enerji ile ilgili yasal düzenlemelerde, Avrupa Birliği koşul standartları göz önüne alınmalıdır.
8. Türkiye nükleer enerji konusunda geri kalmış bir ülkedir. Gelişmiş ülkelerin büyük bir kısmı enerji ihtiyacının büyük bir kısmını nükleer enerjiden temin etmektedir. Nükleer enerji tesisleri yapılırken atıkların çevreye zarar vermemesi için gerekli önlemler alınmalıdır. Yinede yenilenebilir kaynaklar nükleer enerjiye alternatif olmamalı, kendi öz kaynaklarımız en iyi ve en cazip halde üretime katkısı sağlanmalıdır.
9. Enerji ihtiyacının karşılanmasında kendi öz kaynaklarımıza öncelik vererek, yenilenebilir kaynaklara yönelmek geleceğe dönük planlarda büyük önem arz edecektir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim, aynı zamanda çevrenin korunması açısından da önemlidir. Çevrenin korunması ve çevre sorunlarının çözümlenmesine yönelik harcamaların yapılması; ancak bu harcamaların işlemlere girdi olarak katılmaması, verimlilik oranının göreceli olmasına ve hesaplama kargaşasına sebep olmaktadır. Oysa verimlilik oranının paydasında yer alan girdilerin, üretim sürecinin özelliklerine göre değişiklik gösterdiği bilinmektedir.

10. Büyük hidroelektrik santral uygulamaları, Türkiye’de başarı ile yürütülmektedir. Ancak, küçük hidroelektrik santraller yoluyla üretilen enerji uygulamaları son derece azdır. Güçleri 10 MW’ın altında kalan ve çoğunlukla birkaç MW’ı aşmayan bu tür potansiyellerin değerlendirilmesi de son zamanlarda büyük önem arz etmektedir. Bütünü ile yerli teknoloji kullanılarak değerlendirilebilecek bu tür olanakların araştırılması ve hayata geçirilmesi gerekir. Bu araştırmada, Gümüşhane iline ait hidroelektrik enerji potansiyeli araştırılmıştır. Gümüşhane havzasına ait su kaynaklarının geliştirilmesi ve sürdürülebilir bir kalkınma için, mevcut akarsu potansiyellerinin yeniden değerlendirilmesi, su potansiyellerinin daha efektif olarak kullanılması amacıyla, Harşit ve Kelkit Çayı ve yan kolları üzerinde yeni planlaması yapılabilecek Küçük Hidroelektrik Santrallerin yapılabilir olup olmadıkları konusu araştırılmalı ve elektrik üretme imkânının bulunup bulunmadığı tespit edilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Yazar, Y., Türkiye'nin Enerjideki Durumu ve Geleceği. Seta Vakfı Yayınları, 2010.
- [2] Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Genel Müdürlüğü kömür sektör raporu, 2009.
- [3] Türkiye Petrol Anonim Ortaklığı (TPAO), ham petrol ve doğalgaz raporu, 2010.
- [4] Kibaroğlu, S., Nükleer Enerji, Net Bilim dergisi, Aralık/2007.
- [5] Zabunoğlu, O., Yüksek Aktiviteli Nükleer Atıklar, Hacettepe üniversitesi, Nükleer Enerji Mühendisliği Bölümü, Makale-2009.
- [6] Özdemir, A., Jeotermal Enerji ve Elektrik Üretimi. Jeofizik Bülteni, 55, 300-310, 2007
- [7] Karamanav, M., Güneş Enerjisi ve Güneş ve Güneş Pilleri , Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi Mayıs 2007.
- [8] Varınca, K.B., Gönüllü, M.T., Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi Eskişehir, Haziran 2006.
- [9] Oktik, S., Fotovaltoik Güneş Pilleri, Temiz Enerji Vakfı İstanbul 2009.
- [10] Yılmaz, A., Türkiye Yenilebilir Enerji Kaynakları Potansiyelinin Değerlendirilmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi 2005.
- [11] Şimşek, V., Rüzgar Enerjisi ve Sivas Şartlarında Rüzgar Santral Tasarımı, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi 2007.
- [12] Nurbay, N., Çınar, A., Rüzgar Türbinlerinin Çeşitleri ve Birbirleri ile Karşılaştırılması. Kocaeli Üniversitesi Makine Eğitim Bölümü, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildirileri 2005.
- [13] Koca, A., Hidrojen Üretimi ve Enerji Olarak Kullanımı, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi 1998.
- [14] Kılıç, N., Hidrojen Enerjisinin ve Hidrojen Teknolojilerinin Ekonomideki Yeri Pazar Gelişimi ve Pazar Payı Üzerine Bir Araştırma, Sakarya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2008.
- [15] Nuralin, L., Kontrollü Hidrojen Üretimi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi 2008.
- [16] Kantürk, A., Pişkin, S., Alternatif Enerji Taşıyıcısı: Hidrojen ve Yıldız Teknik Üniversitesinde Gerçekleştirilen Çalışmalar İstanbul 2007.

- [17] Çimen, T., Sıvı Hidrojen Tanklarının Isıl Analizi ve Optimum Tasarım, İstanbul Teknik Üniversitesi enerji Enstitüsü, Yüksek Lisan Tezi 2006.
- [18] Özçimen, D., Ersoy, A., Fındık Kabuğu Karbonizasyon Sonuçlarının İstatistiksel Değerlendirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi Şubat 2009.
- [19] Ar, F.F., Akdağ, F.N, Malkoç, Y., Çalışkan, Biyokütle Enerjisi ve Biyomotorin, EİE İdaresi Genel Müdürlüğü 06520 Ankara.
- [20] Harris, G.A., Torgovnikov, G., Vinden, P., Brodie, G. I., Shaginov, A. Microwave Pretreatment of Backsawn Messmate Boards to Improve Drying Quality: Part 1. Drying Technology, 26, 2008, 579-584
- [21] Xu, Q., Pang, S. Mathematical Modeling of Rotary Drying of Woody Biomass. Drying Technology, 26, 2008, 1344-1350
- [22] Masuda, H., Higashitani, K., Yoshida, H. Powder Technology Handbook, third edition, 2006, 401-503
- [23] Gülen, J., Arslan, H., Biyogaz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 4, 121-129, 2005
- [24] Hallenbeck, P.C., Fermentative Hydrogen Production Principles, Progres, Progres and Prognosis. International Journal of Hydrogen Energy, 1-11, 2009.
- [25] Vijayaraghavan, K., Hemanathan, K., Biodiesel Production From Freshwater Algae Energy Fuels, 23, S448-S453, 2009.
- [26] Üçgel, İ., Akgül, G., Biyokütle Teknolojisi Süleyman Demirel Üniversitesi, Yenilebilir Enerji Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi, Yekarum Dergisi-1, 3-11, 2010.
- [27] Onay, Ö., Kaçkar, O., M.Slow, Fast and Fast Pyrolysis of Rapeseed Energy, 28, 2417-2433, 2003.
- [28] Wang, Y., Kirashita, C.M. Experimental Analysis of Biomass Gasification With Steam and Oxygen. Solar Energy, 49, 3-4, 2007.
- [29] Topal, M., Arslan, I.E., Biyokütle Enerjisi ve Türkiye Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, Utes, İstanbul, 2008.
- [30] Ültanır, M.Ö., 21. Yüzyıla Girerken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi. TÜSİAD- T/98-/2/239.
- [31] Karaosmanoğlu, F., Biyokütle Enerjisi, Türkiye'de Enerji ve Geleceği, İstanbul Teknik Üniversitesi Görüşü 105-113 Nisan 2007.

- [32] Thorpe, T.W., “Current Status and Developments in Wave Energy”, Proc. Of Conference on Marine Renewable Energies, pp.103-110, 2001.
- [33] Clement, A., McCullen, P., Falcao, A., Fiorentino, A., Gardner, F., Hammarlund, K., Lemonis, G., Lewis, T., Nielsen, K., Petroncini, S., Pontes, M.T., Schild, P., Sjöström B.O., Sorensen, H.C., Thorpe, T., “ Wave Energy in Europe: Current Status and Perspectives”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 6, pp.405-431, 2002.
- [34] Ün,Tezcan, Ü., Dalga enerjisi Teknoloji Ekonomisi, evresel Etkisi ve Dünyadaki Durumu Anadolu Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü Makale-2004
- [35] Thorpe, T.W., “The Wave Energy Programme in the UK and the European Wave Energy Network”, Fourth European Wave Energy Conference, Denmark, 2000.
- [36] Sağlam, M., Uyar, S.T., Dalga Enerjisi ve Türkiye'nin Dalga Enerjisi Teknik Potansiyeli. Marmara Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Makale-2003.
- [37] Nas.S.S., Su Kaynakları-1 Ders Notları Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi-2007
- [38] Akdoğan, M., Enerji Kaynakları ve Doğu Karadeniz'in Hidroelektrik Potansiyel Dengesi Etüdü. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi Mayıs-2006.
- [39] Berkün, M., Su Yapıları (Barajlar, Savaklar ve Su Kuvvetler Tesisleri) Kitabı,Birsen Yayınevi, 2007.
- [40] Acar, E., Doğan, A.,Potansiyel ve Çevresel Etkilerin Değerlendirilmesi. Osman Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü-2008.
- [41] Günay, A., Yenilebilir Enerji Kaynakları Açısından Türkiye'nin Geleceği ve Avrupa Birliği ile Karşılaştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi 2008.

URL-1, http://www.enerji.gov.tr/yayınlar_raporlar/2011

URL-2, <http://www.taek.gov.tr/haberler/205>

URL-3, http://www.uzmanportal/dünyada_nükleer_santraller_nükleerenerjikullanımı.20
Mart 2011

URL-4, http://www.bilgişehri.net/termik_santral_nedir. 24 Nisan 2010

URL-5,http://www.mta.gov.tr/enerji/jeotermal_enerji.2011

URL-6,http://www.günesenerji.blogcu.com/günes_enerji_nedir_nasil_çalışır.2011

- URL-7,<http://www.eie.gov.tr/türkce/yek/güneş/tgüneş/html>.2011
- URL-8,http://www.eie.gov.tr/türkce/yek/rüzgar/rüzgaren_hak.html.2011
- URL-9,http://www.enerji.gov.tr/yayınlar_raporlar/2011_genel_kurul_konuşması.2011.
- URL-10,<http://www.besir.com.tr/pdf/H%C4%b0drojen%28GAZİ.doc>.2011
- URL-11,http://www.kku_ils.com/slayt.ppt#256,1slayt13.2011
- URL-12,http://www.limitsizenerji.com/haberler/yabancı_haberler/316-dünyanın-ilk-dalga-enerji-tarlası
- URL-13,<http://www.wavegen.co.uk/what-we-after-project-development.html>.
- URL-14,[http://www.wavedragon.net/index.php?option=com_content&task=view&id=42 &Itemid=67/2011](http://www.wavedragon.net/index.php?option=com_content&task=view&id=42&Itemid=67/2011)
- URL-15,<http://www.hepgüncel.net/pelamishtm>.2011
- URL-16,<http://www.kay.mk.metu.edu.tr/yayınlar/türkiye08.html>.
- URL-17,<http://www.dalgaenerjisi.com/tr/sayfafotogaleri/2011>
- URL-18, <http://www.yerbilimleri.com/boren-ve-tems-an-isbirligi-ile-dalga-enerjisinden-elektrik-uretimi-projesi-gercekleştirildi/2011>
- URL-19,http://www.teknotasarım.com/ürünkatoloğu/hidroelektrik_enerji-türbinler.pdf.
- URL-20,http://www.uydukurdu.com/forum/showthread.pht/gümüşhane_coğrafi_konum_75128.html/2011

ÖZGEÇMİŞ

Adı: Muhammet

Soyadı: EROĞLU

Doğum yılı, yeri: Trabzon-Arsin, 1983

Baba adı: Osman

Trabzon/Arsin/Yeşilyalı'da 1995 yılında İbni Sina İlkokulu'ndan, 2001 yılında Arsin İmam Hatip Lisesinden mezun oldu. 2001 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Rize Meslek Yüksek Okulu, Teknik Programlar, İnşaat Teknikerliği Bölümüne kayıt yaptırdı. Bu bölümden 2003 yılında mezun oldu, aynı yıl Yeşilyalı Belediye'sinde Fen ve İmar işlerinde göreve başladı. 2004 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Gümüşhane Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği bölümüne kayıt yaptırdı. Bu bölümden 2007 yılında mezun oldu. Trabzon'da özel inşaat firmasında İnşaat Mühendisi olarak göreve devam etmektedir.

İletişim Bilgileri:

Koru Mah Rize cad.

Yeşilyalı/Arsin/Trabzon

İş Tel: 0462 717 62 43

Cep Tel: 0532 480 99 52

e-posta adresi: erogluins61@hotmail.com