

**ESM-103**

**ENERJİ  
MÜHENDİSLİĞİNE  
GİRİŞ**

**DERS NOTLARI**

Ankara-2014

# 1. GİRİŞ

1.1. Enerji Sistemleri Mühendisliği Nedir? Çalışma Alanı, İş İmkanları Nelerdir? Enerji Mühendisleri Kimlerdir?

1.2. Enerji Nedir? Enerji Türleri Nelerdir?

1.3. Birimler, Boyutlar

1.4. Emre amadelik, Kapasite kullanım faktörü

## 2. ENERJİ KAYNAKLARI

2.1. Birincil Enerji Kaynakları

2.2. İkincil Enerji Kaynakları

## 3. FOSİL YAKITLAR

3. 1. Kömür

3. 2. Petrol

3. 3. Doğalgaz

## 4. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

4. 1. Rüzgar Enerjisi

4. 2. Güneş Enerjisi

4. 2. 1. Güneş Kolektörleri

4. 2. 2. Yoğunlaştırılmış Güneş Kolektörleri

4. 2. 3. Isıl Depolar

4. 2. 4. Fotovoltaik Paneller

4. 3. Jeotermal Enerji

4. 4. Dalga, Gel-Git Enerjileri

4. 5. Bio-Kütle ve Teknolojileri

4. 6. Hidrolik Enerji

## **5. NÜKLEER ENERJİ**

5. 1. Fizyon

5. 2. Füzyon

5. 3. Nükleer Santraller

## **6. ENERJİ VERİMLİLİĞİ**

6. 1. Binalarda Enerji Verimliliği

6. 2. Sanayide Enerji Verimliliği

## **7. TERMAL ENERJİ DÖNÜŞÜM SİSTEMLERİ**

7. 1. Rankine Çevrimi (Termik Santraller)

7. 2. Brayton Çevrimi (Gaz Türbin Santralleri)

7. 3. Bileşik Gaz-Buhar Güç Çevrim Sistemleri

7. 4. Kojenerasyon Sistemleri (Bileşik-Isı Güç Üretimi)

## **8. FOSİL YAKITLAR VE ÇEVRE**

8. 1. Uçucu Küller

8. 2. Asit Yağmurları

8. 3. Sera Etkisi ve Küresel Isınma

## **9. NÜKLEER ENERJİ VE ÇEVRE**

9. 1. Radyasyon nedir

9. 2. Nükleer Silahlar

## **10. ENERJİ DEPOLAMA**

10. 1. Enerji Depolama Türleri

10. 2. Yakıt Hücreleri (Fuel-Cells)

## **11. HİDROJEN VE HİDROJEN EKONOMİSİ**

11. 1. Hidrojen Üretim Teknolojileri

11. 2. Hidrojen Depolama

## **12. ENERJİ GÜVENLİĞİ (ARZ GÜVENLİĞİ)**

## **13. İLERİ TEKNOLOJİLER**

13. 1. Kömürlerin Gazlaştırılması

13. 2. Karbon Tutma Tekniği (Carbon Capture and Storage (CCS))

## **14. ENERJİ EKONOMİSİ VE YÖNETİMİ**

# 1. GİRİŞ

Mühendislik, bilimi ve matematiksel prensipleri, tecrübe ile, karar alma becerisiyle ve grup çalışmaları sonucu ortaya konulan ortak fikirleri kullanarak insanoğlunun gelişen ve bitmeyen ihtiyaçlarına faydalı ürünler ortaya koyma sanatıdır. Bir mühendisi pratik olarak şöyle tarif edebiliriz (kalitekontrol.net).

- Mühendis içinde bulunduğu kuruma pozitif ivme kazandıran insandır. Örneğin, ayda 1000 ürün üreten bir kuruluş çatısı altına giren mühendis üretimi 1100'e 1200'e çıkartmayı hedef olarak benimseyip başarmalıdır. Ücretini de bu üretim artışından pay olarak almalıdır.
- Mühendisin kendine güveni tam olmalı ve cesur kararlar verebilmelidir. Kararsız ve zayıf karakterli insanlardan, iyi bir mühendislik eğitimi almış olsalar bile mühendis olamaz. Uygulamada asla başarılı olamazlar.
- Mühendisler sürekli büyük yatırım projelerinin içinde karar mercii olarak bulduklarından ulusal çıkarları daima her türlü çıkarın üstünde tutmalıdırlar.
- Mühendisler riski sevmişler ve risk ile birlikte yaşamayı bir yaşam biçimi olarak kabul etmişlerdir. Cephedeki bir asker gibi kendilerini, ulusunun yapmış olduğu teknolojik bağımsızlık savaşının bir cephe komutanı olarak gören kişilerdir.
- Mühendisler makinelerden başka insanların sevk idaresinden de sorumlu oldukları için insanlar ile iyi iletişim içinde olmalıdırlar.

## 1. 1. Enerji Sistemleri Mühendisliği nedir? Çalışma alanı, İş imkanları nelerdir? Enerji Mühendisleri kimlerdir?

Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, enerji konusunun her alanında araştırma, geliştirme, planlama, üretim, dağıtım, kullanım, iç ve dış politika geliştirme ve uygulama konularında bilgi ve donanıma sahip mühendisler yetiştirmeyi amaçlayan bir programdır.

Enerji Sistemleri Mühendisleri, yenilenebilir enerji sistemleri üzerine yeni yatırımlar yapabilecek veya ülkemizde yakın gelecekte kurulacak olan Nükleer Santralde aktif rol oynayabileceklerdir. Bir diğer alan olarak ise, ENVER (Enerji Verimliliği) Kanunu çerçevesinde kanunca gerekli olan işyerlerinde enerji uzmanı veya enerji yeterlik belgesi olan bir Mühendis çalıştırma mecburiyeti getirilmiştir. Bu da mezunlarımızın özel sektörde iş bulma imkanını arttıracaktır.

Enerji Sistemleri Mühendisi; Her türlü enerjinin yeterli, kaliteli, sürdürülebilir, düşük maliyetli ve çevreyle uyum içerisinde üretilmesi, tüketiciye sunulması ve ekonomik olarak kullanılması süreçlerini planlayan, projelendiren, uygulayan, bu konuda yeni stratejiler geliştiren ve enerji verimliliği bilinci oturmuş kişidir.

## Enerji Sistemleri Mühendisi' nin Görevleri:

- Enerji kaynaklarının tüm çeşitlerinin tanımlanması, üretimi, işletilmesi, iletimi, dağıtımı, tüketimi aşamalarında görev alır.
- Temiz ve tükenmez enerji kaynaklarının ekolojik ve mali açıdan önemi üzerine çalışmalar yürütür.
- Üreticinin yükünü azaltmak amacıyla enerji tasarrufu, enerji üretiminde verimliliğin artırılması, enerji imkanlarının iyileştirilmesi amacıyla enerji analizi alanında danışmanlık yapar.
- Ülkemizin enerji stratejisi ve politikalarının belirlenmesine katkıda bulunur.

### 1. 2. Enerji nedir? Enerji türleri nelerdir?

Enerji, değişikliklere neden olma yeteneği olarak ifade edilebilir (Çengel, 2008). Böyle düşünüldüğünde evimizin sıcaklığını değiştiren sistemler, canlı ve cansız varlıkların konumlarını değiştiren yapılanmalar, potansiyel enerjiyi ısıya veya ışık gibi faydalanılabilir duruma getiren tesisler tümü enerji mühendisliği kavramının konularına örnek olarak gösterilebilir. Enerjinin dönüşümünü sağlayan sistemler ve enerjiyi belirli bir amaç için kullanan sistemler en genel anlamda enerji mühendisliğinin ilgi alanına girmektedir. Burada önemli bir hatırlatma yapmakta fayda vardır. **Enerji tüketimi diye bir kavram yoktur. Enerjinin dönüşümü veya kullanımı kavramı vardır.** Herkesin bildiği temel bir yasa; “Enerji yoktan var edilemez ve var olan enerji yok edilmez” olduğunu belirtir. Bu durumda “enerji tüketimi arttı veya azaldı” şeklinde alışlagelmiş ifadelerden kaçınılmalıdır. **Enerjinin yalnızca kalitesi tüketilebilir.** Okyanuslardaki suyun bir sıcaklığı vardır ve dolayısıyla okyanusların bir *iç enerjisi (internal energy)* vardır. Fakat bu enerji bize bir litre suyu kaynatma imkanı verebilir mi? Bu soruya cevap verebilmek için enerjinin bilimi olarak tanımlanan Termodinamiğin yasaları bilinmelidir. Burada anahtar kelime 2.yasa veya kullanılabilirlik veya ekserjidir.

Bir önceki paragrafta iç enerji kavramı kullanılmıştı. Önce bunu tanımlayalım. Bir sistemin veya cismin toplam enerjisi içinde yer alan iç enerji, sistemin moleküler yapısı ve moleküler hareketliliği ile ilgilidir. İç enerji mikroskopik enerjilerin tümünün toplamıdır. Daha açık bir ifade ile moleküllerin kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamıdır. Sistemin iç enerjisinin, moleküllerin kinetik enerjisi ile ilgili bölümüne duyulur enerji, sistemin fazıyla ilgili bölümüne ise gizli enerji adı verilir (Çengel, 2008). Bu konuda daha geniş bilgi sahibi olabilmek için Termodinamik kitaplarına başvurulmalıdır.

Enerjinin kısa bir tanımını yaptıktan sonra enerjinin biçimlerini kısaca sıralayabiliriz. Enerjinin ısı, mekanik, kinetik, potansiyel, elektrik, manyetik, kimyasal, nükleer gibi değişik biçimleri vardır. Bu enerji biçimlerinin toplamı, sistemin toplam enerjisini oluşturduğu bilinmelidir. Bu enerji biçimlerine daha geniş kapsamlı olarak açıklamalar yapmadan önce bazı temel kavramları da açıklamak gerekir.

### 1. 3. Birimler ve Boyutlar

Herhangi bir fiziksel büyüklük **boyutları** ile tanımlanır. Boyutlara verilen büyüklükler ise **birimler** olarak ifade edilir. Kütle, uzunluk, zaman ve sıcaklık gibi bazı temel boyutlar **birincil boyutlar** olarak bilinir. Temel boyutları kullanarak hız (U), enerji (E) ve alan (A) gibi bazı türetilmiş boyutlarda vardır. Bunlara da **ikincil** veya **türetilmiş boyutlar** denir. Temel boyutlar, birimleri ile beraber aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

<b>Yedi Ana Boyut ve SI Birimleri</b>	
<b>Boyut</b>	<b>Birim</b>
Uzunluk	Metre (m)
Kütle	Kilogram (kg)
Zaman	Saniye (s)
Sıcaklık	Kelvin (K)
Elektrik Akımı	Amper (A)
Işık Şiddeti	Candela (cd)
Madde Miktarı	Mol (mol)

Türetilmiş boyutlara ilişkin bazı örnekler de aşağıdaki tabloda verilmiştir.

<i>Büyükük</i>	<i>Tanımı</i>	<i>Sembolü</i>	<i>Birimi (SI)</i>
<b>Kütle</b>		m	<b>kg</b>
<b>Uzunluk</b>		l	<b>m</b>
<b>Zaman</b>		t	<b>s</b>
<b>Sıcaklık</b>		T	<b>K</b>
<b>Alan</b>	Uzunluk x uzunluk	A	<b>m<sup>2</sup></b>
<b>Hacim</b>	Alan x uzunluk	V	<b>m<sup>3</sup></b>
<b>Hız</b>	Uzunluk/zaman	U veya V	<b>m/s</b>
<b>İvme</b>	Hız/zaman	a, g (yerçekimi ivmesi)	<b>m/s<sup>2</sup></b>
<b>Açısal hız</b>	Açı/zaman	w	<b>rad/s</b>
<b>Açısal ivme</b>	Açısal hız/zaman	$\alpha$	<b>rad/s<sup>2</sup></b>
<b>Kuvvet</b>	Kütle x ivme	F	<b>N</b>
<b>Birim ağırlık</b>	Ağırlık/hacim	$\gamma$	<b>N/m<sup>3</sup></b>
<b>Yoğunluk</b>	Kütle/hacim	$\rho$	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Basınç</b>	Kuvvet/yüzey	P	<b>Pa = (N/m<sup>2</sup>)</b>
<b>Mutlak viskozite</b>	Kayma geril./hız gradyanı	$\mu$	<b>Pa.s</b>
<b>Kinematik viskozite</b>	Mutlak vis./yoğunluk	$\nu$	<b>m<sup>2</sup>/s</b>
<b>Birim deformasyon</b>	Uzama/uzunluk	$\epsilon$	<b>---</b>
<b>Elastisite modülü</b>	Gerilme/birim defor.	E	<b>N/m<sup>2</sup></b>
<b>Güç</b>	İş/zaman	$\dot{W}$ veya P	<b>Watt = (N.m/s)</b>
<b>Moment</b>	Kuvvet x uzunluk	M	<b>N.m</b>
<b>Hacimsel debi</b>	Hacim/zaman	$\dot{V}$	<b>m<sup>3</sup>/s</b>
<b>Kütleli debi</b>	Kütle/zaman	$\dot{m}$	<b>kg/s</b>
<b>Kayma gerilmesi</b>	Kuvvet/alan	$\tau$	<b>N/m<sup>2</sup></b>
<b>Yüzey gerilmesi</b>	Kuvvet/uzunluk	$\sigma$	<b>N/m</b>
<b>Ağırlık</b>	Kütle x ivme	W	<b>N</b>
<b>Lineer momentum</b>	Kütle x doğrusal hız	mV	<b>N.s</b>
<b>Açısal momentum</b>	Moment x zaman	H	<b>N.m.s</b>
<b>Frekans</b>	Devir/zaman	f	<b>1/s</b>

Boyutu belirlenen büyüklüklere birim verilmesi ve verilen birimlerin de birbirileri uyumlu olması gereklidir. SI birim sistemi (Le Systeme International d'Unites) adı verilen



birim sistemi, ülkemizde ve Avrupa'da yaygın olarak kullanılmaktadır. İngiltere ve Amerika'da İngiliz sistemi (United States Customary System) yaygın olarak kullanılmaktadır.

SI sistemi, değişik birimlerin kendi aralarında onlu sisteme göre düzenlendiği, basit ve mantıklı bir sistem olup, İngiltere dahil bir çok sanayileşmiş ülkede bilim ve mühendislik çalışmalarında kullanılmaktadır (Çengel, 2008). Uluslararası sistem olarak tanımlanan SI sisteminde değişkenlere birim verilirken, aynı ast ve üst değerleri kullanmaya özen gösterilmelidir. Elde edilen sonuçların doğruluğu açısından bu hususa dikkat edilmelidir.

### Birim Dönüşümleri

İş, bir cismin hareket ettirildiği mesafe ile bu cismi hareket ettiren kuvvetin çarpımı olarak ölçülür.

- $W = F \times s$                        $1 \text{ J} = 1 \text{ N.m}$

Newton'un II. Hareket kanunu (kuvvet = kütle x ivme)

- $F = m \times a$                        $1 \text{ N} = \text{kg} \frac{m}{s^2}$

Birimlerden farklı olarak elektrik enerjisi kilowattsaat (kWh) olarak ölçülür.

- $1 \text{ kWh} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$

Mekanik enerjinin iki önemli biçimi kinetik ve potansiyel enerjidir. Kinetik enerji, bir cismin belirli bir hızda hareketiyle ortaya çıkar. Potansiyel enerji ise, bir cismin yer çekiminden kaynaklı, belirli bir yükseklikteki enerjisidir.

- $KE = \frac{1}{2}mU^2$  (J)

- $PE = mgh$  (J)                      (g:yerçekimi ivmesi, h:yükseklik)

Isıl enerji genellikle kalori (cal) olarak ölçülür. Bu tanımdan hareketle, bir kalori, 15 °C'deki suyun 1 gr'ının sıcaklığını 1 °C artırmak için gerekli olan ısı enerjisinin miktarıdır. Isıl enerji literatürde genellikle kilokalori (kcal) olarak kullanılmaktadır.

- $1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$

Isıl enerjinin İngiliz Birim Sistemindeki (British thermal unit) karşılığı Btu'dur.

- $1 \text{ Btu} = 1.055 \times 10^3 \text{ J} = 0.252 \times 10^3 \text{ cal}$

Güç, birim zamanda yapılan işin bir ölçüsüdür. Alternatif bir tanımla güç, enerjinin zamanla değişim oranıdır.

- $P = \frac{dW}{dt} = \frac{dw}{dt}$                        $1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}}$                       (W:İş, w:Enerji)

Gücün, özellikle elektrik motorlarında, başka bir ifade şekli daha vardır. Bu da beygirgücü (horsepower)'dir.

- 1 hp = 745.7 W
- 1 lbm = 0.45359 kg (İngiliz ve SI birim sisteminde kütle)
- 1 ft = 0.3048 m (İngiliz ve SI birim sisteminde uzunluk)
- 1 m = 39.37 inch (İngiliz ve SI birim sisteminde kütle)
- 1 lbf = 32.174 lbm (İngiliz ve SI birim sisteminde kuvvet)

**Örnek:** 1986 yılında Amerika için enerji gereksinimi yaklaşık  $2.82 \times 10^6$  GWh olarak belirlenmişti. Bu gerekli enerjinin Btu'daki karşılığını bulunuz.

$$1 \text{ GWh} = 10^6 \text{ kWh ise}$$

$$2.82 \times 10^6 \text{ GWh} = 2.82 \times 10^{12} \text{ kWh}$$

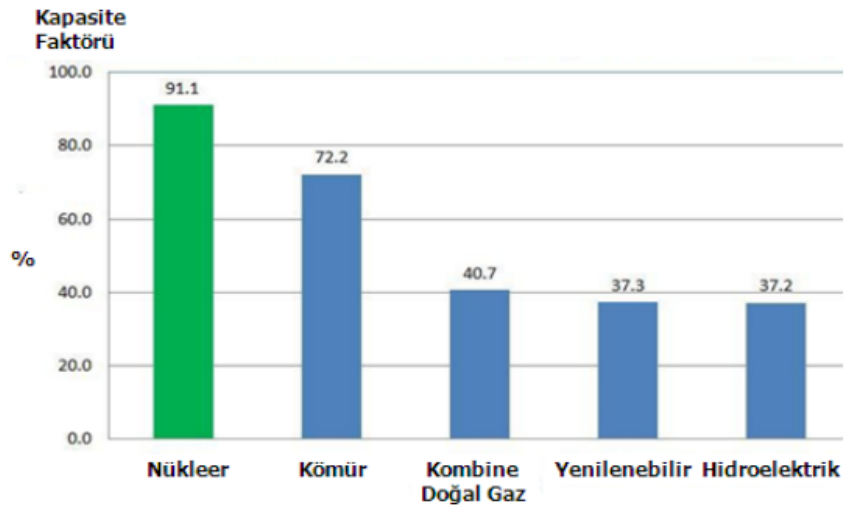
$$2.82 \times 10^{12} \text{ kWh} = 3.6 \times 10^6 \times 2.82 \times 10^{12} \text{ J} = 10.152 \times 10^{18} \text{ J}$$

$$10.152 \times 10^{18} \text{ J} = \frac{10.152}{1.055} \times 10^{15} \text{ Btu} = 9.623 \times 10^{15} \text{ Btu}$$

#### 1. 4. Emre amadelik, Kapasite Kullanım faktörü

Emre amadelik; herhangi bir zaman aralığında bir santralin çalışabilir olduğu yani şebekenin elektrik ihtiyacına göre ya işletmede olduğu ya da işletmeye alınabilir olduğu sürenin seçilen zaman aralığına yüzdece olan oranıdır.

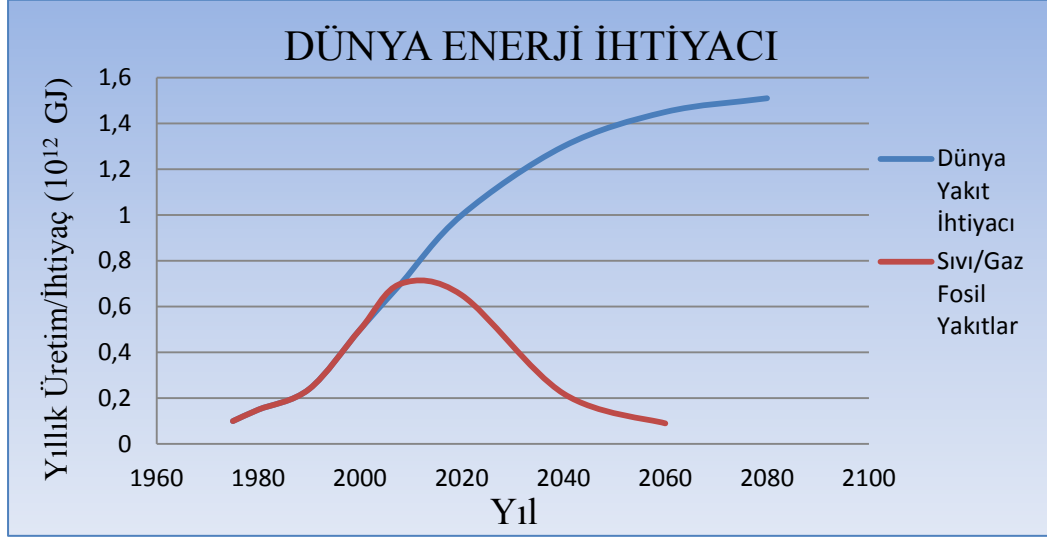
Kapasite Kullanım Faktörü ise; belirli bir zaman aralığında bir santralin üretmiş olduğu elektrik enerjisinin aynı zaman diliminde üretebileceği maksimum (teorik) elektrik enerjisine yüzdece oranıdır. Santral emre amade olmadığı zaman işletilemeyeceğinden, elektrik talebindeki değişimler ve enerji fiyat dengelemesi nedeniyle her zaman tam güçte çalışmayacağından kapasite faktörü emre amadelikten küçük veya emre amadeliğe eşit olmalıdır.



Kapasite Kullanım Faktörleri (Tuğrul, 2010)

## 2. ENERJİ KAYNAKLARI

Teknolojinin gelişimi ve dünya nüfusunun artması ile enerji gereksinimi gittikçe artmakta, fosil enerji kaynaklarının rezervleri azalmakta ve kısa bir zaman içerisinde insanlığın ihtiyaçlarını karşılayamaz hale geldiği görülmektedir. Bu da insanları farklı enerji kaynakları bulmaya ya da tükenmez bir enerji kaynağı olarak enerji verimliliği çalışmalarına itmektedir.

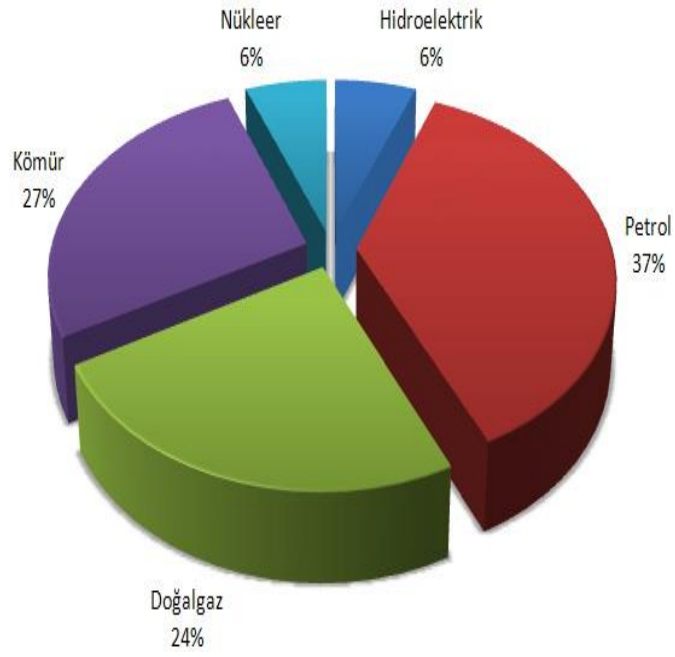


Dünya Enerji İhtiyacı (Yamaç, 2005)

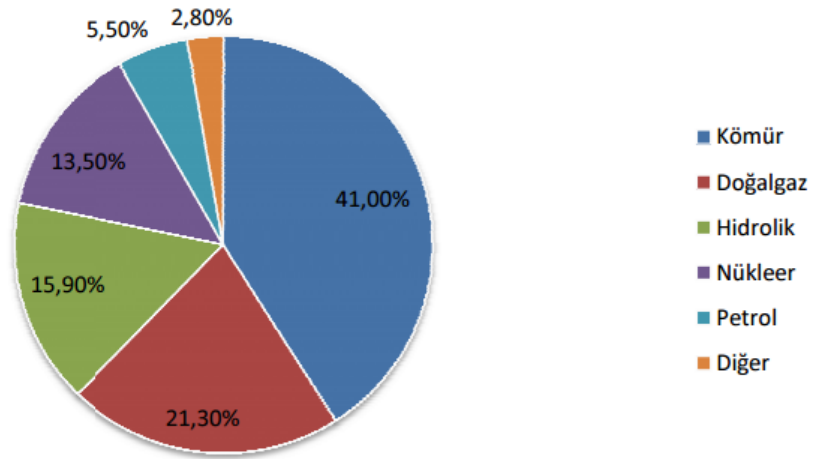
### 2.1. Birincil Enerji Kaynakları

Taş kömürü, ham petrol, doğalgaz, jeotermal, güneş, linyit ve uranyum gibi direkt olarak enerjiye dönüşebilme özelliği olan ve ticari özellik taşıyan enerji kaynaklarıdır. Diğer bir tanımlamaya göre ise birincil enerji kaynakları olan kömür, petrol, doğalgaz, uranyum, toryum ve hidrolik enerji sayılmaktadır. Bunlardan ilk üçüne soğuk enerji taşıyıcıları, diğerlerine de sıcak enerji taşıyıcıları denilmektedir (Köse, 2002).

Dünya genelinde tüketilen enerjinin %88'i fosil kaynaklardan karşılanmaktadır. Bunlar; % 37 Petrol, % 27 Kömür, % 24 Doğalgaz'dır. Enerjinin diğer bölümü ise % 6 nükleer enerji ve % 6 hidroelektrik (% 3 hidrolik ve % 3 yenilebilir kaynaklar dediğimiz rüzgar, güneş, jeotermal, bio-kütle, vb.) kaynaklardır.



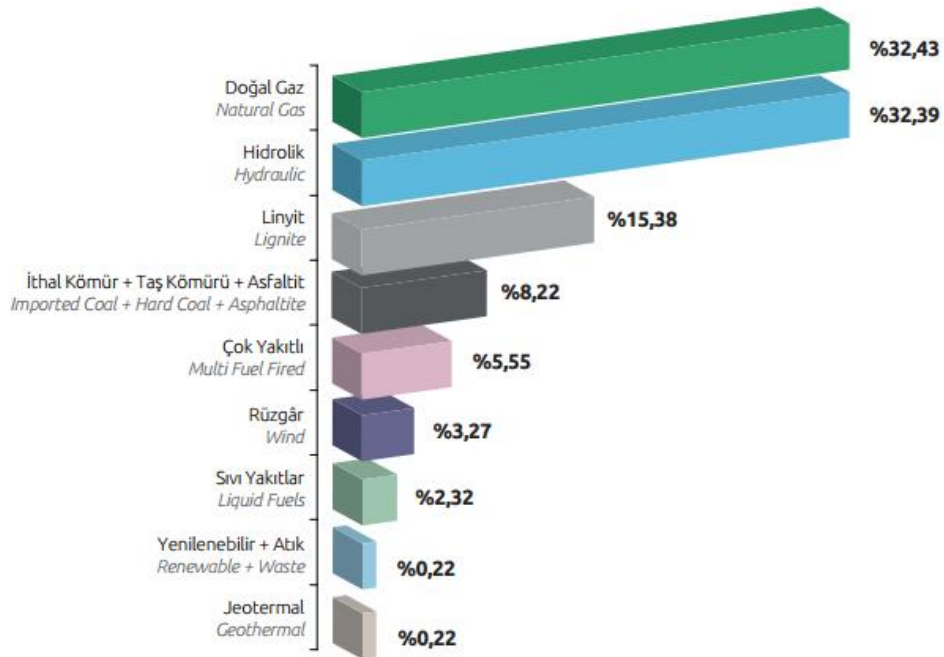
Dünya Birincil Enerji Kaynakları Dağılımı



Dünya Elektrik Üretimine Kaynaklara Göre Dağılımı (EPDK, 2010)

KAYNAKLAR Resources	KURULU GÜÇ Installed Capacity MW
Doğal Gaz/ Natural Gas	17.158,9
Hidrolik/Hydraulic	17.137,1
Linyit/Lignite	8.139,7
İthal Kömür + Taş Kömürü + Asfaltit Imported Coal + Hard Coal + Asphaltite	4.351,0
Çok Yakıtlı /Multi Fuel Fired	2.936,9
Rüzgâr/ Wind	1.728,7
Sıvı Yakıtlar/ Liquid Fuels	1.229,2
Yenilenebilir + Atık/ Renewable + Waste	115,4
Jeotermal/Geothermal	114,2
<b>TOPLAM / TOTAL</b>	<b>52.911,1</b>

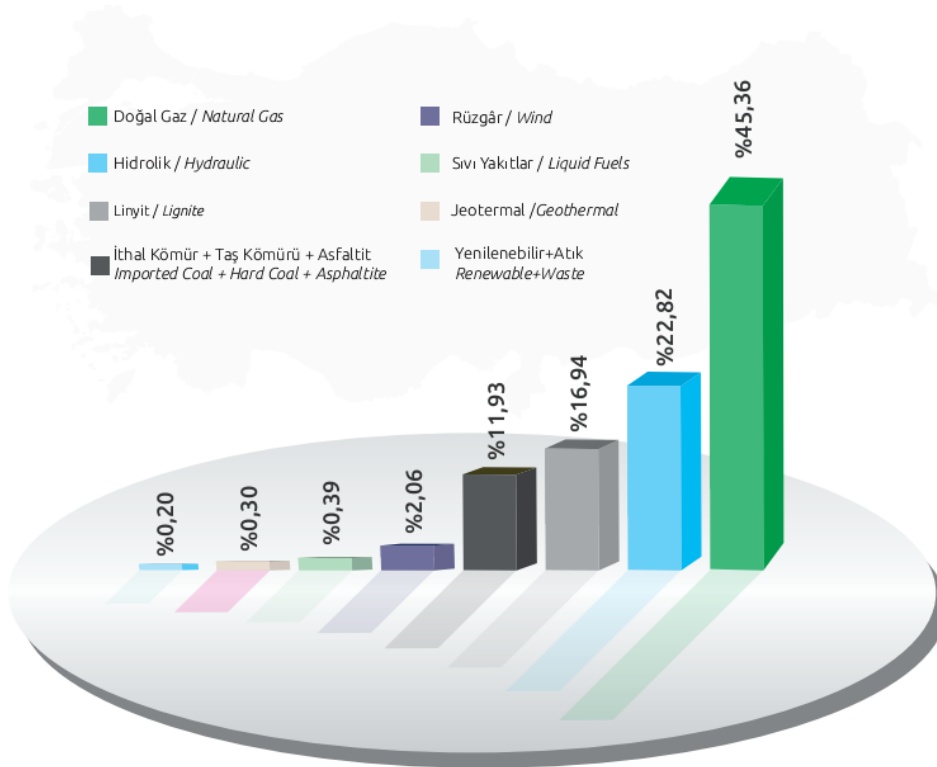
Türkiye Kurulu Gücünün Kaynaklara Göre Dağılımı (EÜAŞ, 2011)



Türkiye Kurulu Gücünün Kaynaklara Göre Dağılımı (EÜAŞ, 2011)

KAYNAKLAR Resources	ÜRETİM / Generation GWh
Doğal Gaz/ Natural Gas	104.047,6
Hidrolik/Hydraulic	52.338,6
Linyit/Lignite	38.870,4
İthal Kömür + Taş Kömürü + Asfaltit Imported Coal + Hard Coal + Asphaltite	27.347,5
Rüzgâr/ Wind	4.723,9
Sıvı Yakıtlar/ Liquid Fuels	903,5
Jeotermal/Geothermal	694,4
Yenilenebilir+Atık / Renewable+Waste	469,2
<b>TOPLAM / TOTAL</b>	<b>229.395,1</b>

Türkiye Elektrik Üretimine Kaynaklara Göre Dağılımı (EÜAŞ, 2011)



Türkiye Elektrik Üretimine Kaynaklara Göre Dağılımı (EÜAŞ, 2011)

## 2.2. İkincil Enerji Kaynakları

İkincil enerji kaynakları elektrik, hidrojen vb. gibi direkt olarak enerjiye dönüşebilme özelliği olmayan enerjinin depolandığı veya taşınabildiği enerji kaynaklarıdır.

### 3. FOSİL YAKITLAR

Fosil yakıtlar, kimyasal reaksiyonlar yoluyla ısı enerjisi üreten ve tüketiminden sonra geri döndürülemeyen yakıtlardır. Bunlar,

- Kömür,
- Petrol
- Doğalgazdır.

Bölge	Petrol	D.Gaz	Kömür (Milyar Ton)	
	Milyar Ton	Trilyon m <sup>3</sup>	Taş kömürü	Linyit
Kuzey Amerika	9,7	8,87	113,3	132,8
Orta ve Güney Amerika	17,6	7,31	6,9	8,0
Avrupa ve Avrasya	19,2	62,89	102,1	170,2
Ortadoğu	102,0	75,91	1,3	-
Afrika	16,6	14,65	33,2	0,17
Asya ve Okyanusya	5,6	15,39	155,8	103,4
<b>TOPLAM DÜNYA</b>	<b>170,8</b>	<b>185,02</b>	<b>411,3</b>	<b>414,6</b>

Dünya Fosil Yakıt Rezervleri (BP Statistical Review of World Energy, 2009)

#### 3. 1. Kömür

18. yüzyılda Sanayi devrimi ile birlikte kömür enerjinin tahtına oturmuştur. Kömür, diğer birincil enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında tartışmasız çok fazla olan rezerv ömrü ve yeryüzündeki geniş dağılımı nedeniyle özellikle 2030 yılından sonra çok daha büyük önem kazanacaktır. Dünyada toplam kanıtlanmış kömür rezervi 909 milyar ton olup günümüzdeki üretim düzeyi dikkate alındığında, kömür rezervlerinin ömrü 160-220 yıl olarak hesaplanmaktadır. Dünya kömür üretiminin yaklaşık % 69 u elektrik enerjisi üretimi amacıyla yapılmakta olup bu oranın 2030 yılında % 79 düzeyine yükseleceği öngörülmektedir (Şengüler, MTA).

Kömürler, eski jeolojik devirlerdeki (100-300 milyon yıl önceki) bitkilerin ve kısmen de hayvan artıklarının yüksek basınç altında, sıcaklığın etkisiyle bozunmaları sonucu oluşmuşlardır. Bu bozunmada, mikroorganizmaların da önemli rolü olduğu ileri sürülmektedir (Telli, 1984). Bünyesinde çoğunlukla Karbon (C), az miktarda Hidrojen (H), Oksijen (O), Kükürt (S) ve Azot (N) elementlerinin bulundurlar. Kömürler yakıt hammaddesi oldukları gibi (termik santraller), kok yapımı, kimyasal madde üretimi gibi değişik alanlarda da kullanılırlar.

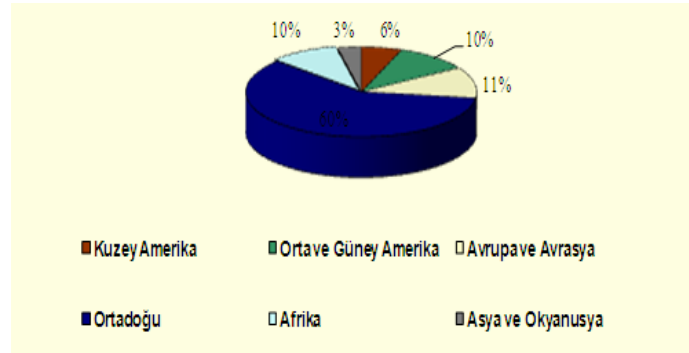
Kömürden elektrik üretiminde Güney Afrika % 94 ile başta yer almaktadır. Onu Polonya, Çin, Avustralya, İsrail izlemektedir. Bu oran komşumuz AB üyesi Yunanistan'da % 55 ve linyit rezervi bakımından dünyada ilk 10 içerisinde olan ülkemizde ise maalesef % 25 düzeyindedir (Şengüler, MTA).

Ülkemizde yaklaşık 1.3 milyar ton taşkömürü ve yeni bulunan rezervler ile 12 milyar ton civarında linyit bulunmaktadır. Özellikle Doğu Anadolu Bölgesinde ısınma amaçlı kullanılan asfaltit rezervi yaklaşık 82 milyon ton, yine fosil katı yakıtlar grubu içerisinde yer

alan ve ülkemizde genellikle linyit sahalarında bulunan bitümlü şeyl (oilshale) rezervimiz ise 1.6 milyar tondur(Şengüler, MTA).

### 3. 2. Petrol

19. yüzyılın sonlarına doğru dünyada yeni bir enerji kaynağı olarak petrol keşfedilmiş ve kömüre olan ilgi kaybolmaya başlamıştır. 20. yüzyılın başlarında ticari üretime geçişle önemli bir enerji kaynağı haline gelen ve tüm dünyada birincil enerji kaynakları arasında ilk sırada yer alan ham petrolün stratejik konumunu uzun yıllar sürdürmesi beklenmektedir. Dünya enerji kaynaklarından petrol %33,6'lık bir tüketim oranı ile dünyanın lider enerji kaynağı olmayı sürdürmekle birlikte, tüketim oranı son 11 yıldır düşüş trendi göstermektedir (Türkiye Petrolleri A.O. Genel Müdürlüğü, 2010).



Dünya Petrol Rezervleri (BP Statistical Review of World Energy, 2009)

Yüz milyonlarca yıl önce, denizlerde yaşayan ya da suların denizlere sürüklediği hayvan ve bitki kalıntıları anaerobik bir ortamda, gerekli şartlar altında (ısı basınç ve mikroorganizmaların etkisiyle), ham petrole benzer kerojeni meydana getirmiştir. Kerojen sonradan, yukarı tabakalara doğru göç etmesi esnasında gittikçe değişmiş ve ham petrolü meydana getirmiştir. Bu yüzden de hiçbir sahanın ham petrolü, tam olarak öteki bir sahanın ham petrolüne uymaz; muhakkak az çok farklar bulunur. Hatta bu durum, aynı bir petrol sahasında bile, çoğu zaman görülür. Petrol, denizlerdeki bitki ve hayvanların çürüdükten sonraki kalıntılarından oluşur. Bu kalıntılar deniz yatağında milyonlarca yıl boyunca çürüdükten sonra, geriye yalnızca yağlı maddeler kalır. Çamur ve büyük kaya katmanları altında kalan yağlı maddeler de petrol ve gaza dönüşür.

Petrol çeşitli hidrokarbonların karışımıdır. Bütün petrolerin esas bileşenleri parafinler, naftenler ve aromatik hidrokarbonlardır. Ortalama bir petrolü, % 30 parafinler, % 40 naftenler, % 25 aromatik hidrokarbonlar oluşturur. Geriye kalan % 5' lik kısmı ise oksijen, azot ve kükürt bileşikleridir (Telli, 1984).

En çok bilinen petrol ürünü benzindir. Benzin parafinlerin (doymuş hidrokarbonlar), naftenlerin (doymamış hidrokarbonlar), ve C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>, C<sub>8</sub>H<sub>10</sub>, C<sub>9</sub>H<sub>12</sub>, C<sub>10</sub>H<sub>14</sub>, C<sub>11</sub>H<sub>16</sub>, C<sub>12</sub>H<sub>18</sub> formülleriyle belirli aromatik hidrokarbonların karışımıdır. Motor benzininin buharlaşma sıcaklığı 40 °C ile 150 °C arasındadır (Telli, 1984).

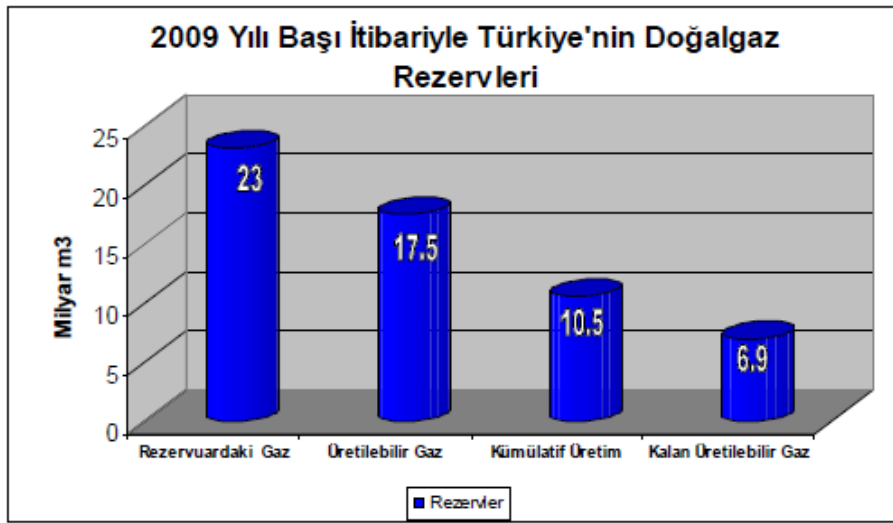
Benzinin mukavemeti oktan sayısı ile ölçülür. Benzinin oktan sayısı ne kadar yüksek ise tutuşması da o kadar geç olur. Motor benzinlerinde uygun olan oktan sayısı 85'tir ve bunu elde etmek için benzine litre başına 0.84 gr kurşuntetraetil katılır. Uçak benzininde oktan sayısı 100, süper benzinde ise 95'tir.



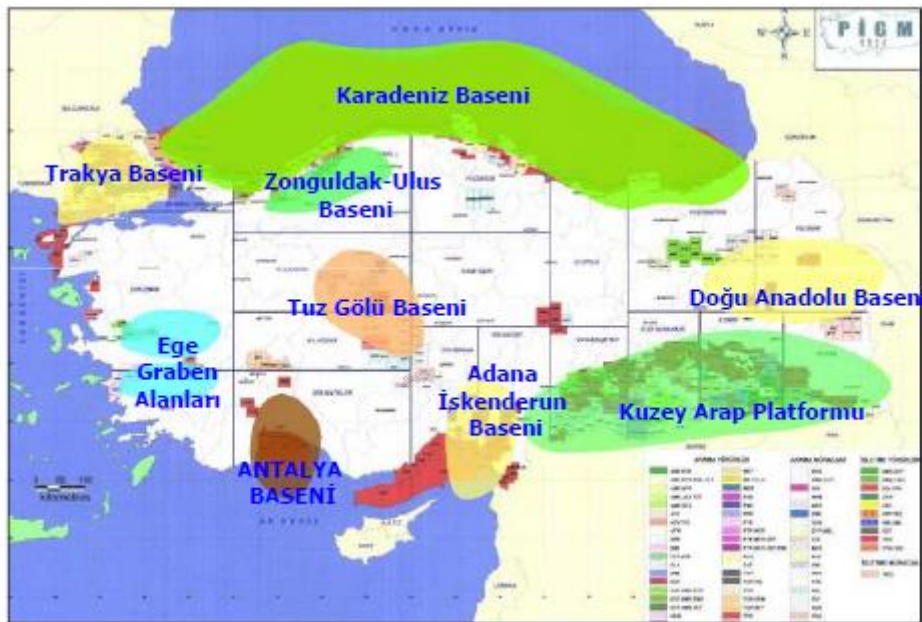
### 3. 3. Doğalgaz

Doğalgazın bileşiminin çoğunluğunu metan (CH<sub>4</sub>) teşkil eder ve bunun yanısıra doğalgazın bünyesinde homolog parafinler, karbondioksit (CO<sub>2</sub>), hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S) ve azot (N<sub>2</sub>) gibi anorganik bileşiklerde bulunur. Doğalgazın bileşimi çıkarıldığı yere göre değişir. Genellikle doğalgazdaki CH<sub>4</sub> oranı % 56 ile % 99 arasında, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> oranı % 0.7 ile % 20 arasında, CO<sub>2</sub> oranı ise % 0 ile % 10 arasında değişim göstermektedir (Telli, 1984).

Kömür ve petrolün oluşumuyla doğalgazın oluşumu arasında bağlantı görülmektedir. Doğalgazı yataklarının çoğu petrol yataklarının yakınında veya aynı yatakta bulunmaktadır. Kömürleşme safhalarında ortaya çıkan uçucu bileşenlerin yatak değiştirip toplandığı, dolayısıyla doğalgaz halinde bulunduğu düşünülmektedir (Telli, 1984).



Türkiye'nin Doğalgaz Rezervleri (Bursa, Zorlu Holding, 2010)



Türkiye'deki Potansiyeli Kanıtlanmış ve Muhtemel Doğalgaz Havzaları (Bursa, Zorlu Holding, 2010)

Türkiye’de sınırlı bir miktarda doğalgaz çıkmakta ve kullanıma sunulmaktadır. Türkiye doğal gazı esas olarak Rusya ve İran’dan boru hatlarıyla, Cezayir ve Nijerya’dan sıvılaştırılmış (LNG)olarak deniz yoluyla satın almaktadır. Ayrıca Azerbaycan ve Türkmenistan ile doğalgaz temini için anlaşmalar yapmıştır.

Doğalgaz ısınmak için kullanılır. Eğer ülke olarak elektrik üretiminde doğalgaz kullanırsak elimizdeki enerjinin % 65-70’ini atmosfere atıyoruz demektir. Doğalgaz konutlarda ve sanayide ısı amaçlı kullanılmalıdır. Doğal gaz elektrik üretimi için ekonomik olmadığı gibi aynı zamanda bir ülkenin güvenliği ve emniyeti açısından da elektrik üretiminde uygun değildir (Şahin, 2009).

## 4. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Klasik enerji kaynaklarına alternatif olarak sunulan enerji kaynaklarıdır. Güneş, rüzgar, hidroelektrik, jeotermal, dalga ve gel-git enerji kaynakları buna örnektir. Aslında temel olarak 3 çeşit yenilenebilir enerji kaynağı vardır. Bunlar; Güneş, jeotermal (toprak) ve Ay (Dünya ile arasındaki etkileşim gel-gitlere neden olur)'dır. Diğer yenilenebilir enerji türleri bu kaynaklar vasıtasıyla olur. Doğada sürekli var olan faktörlere dayalı olan bu kaynakların en önemli özellikleri ise yenilenebilir olmaları (tükenmez enerji kaynakları) ve doğaya zarar vermemeleridir (zararlı emisyonlarının olmaması).

### 4.1. Rüzgar Enerjisi

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

Bir tropikal ada üzerindeki rüzgarlar(ticaret rüzgarları) gündüz ve gece boyunca hemen hemen sabit bir rüzgar akışı sağlayarak oldukça bağımlıdır. Ne yazık ki dünyanın her bölgesinde ticaret rüzgarları yoktur ve hava sistemleri her birkaç gün süresinde hareket eder. Rüzgar hızında, durgun bir havadan bir fırtınaya kadar çok farklı değişimler vardır. Elektrik enerjisi kullanımı zamana bağlı olduğu için rüzgardaki günlük ve mevsimsel değişimler önemli bir göstergedir.

### Rüzgar Kullanım Alanları

- Elektrik üretme
- Pilleri şarj etme
- Su depolama
- Taşımacılık
- Su pompalama
- Tahılların öğütülmesi
- Soğutma

### Enerji Üretiminde Rüzgar Kaynağının Üstünlükleri

- Temiz
- Bedava
- İklim değişikliği sorununa çözüm
- Hava kirliliğini azaltır
- Enerji güvenliği sağlar
- Enerji arzını çeşitlendirir
- Yakıt ithalini önler
- Yakıt maliyetleri yoktur
- Ulusal kaynaklar için devletler arası anlaşmazlıkları önler
- Kırsalda elektrik ağını geliştirir

- İstihdam ve bölgesel kalkınma sağlar
- Fosil yakıtların fiyat değişkenliğinden kaynaklanan karmaşıklığı önler
- Modülerdir ve çabuk kurulur
- İthalat bağımlılığı yoktur
- Yakıt fiyatı riski yoktur
- Karbon emisyonu yoktur
- Kaynak tükenmesi yoktur (küresel rüzgar kaynağı küresel enerji talebinden daha büyük)
- Arazi dostudur (rüzgar santrali içinde veya etrafında tarım/sanayi faaliyetleri yapılabilir)
- Uygulama esnekliği(büyük ölçekli ticari santraller veya ev tipi uygulamalar mümkün)
- Ulusal yarar (geleneksel yakıtların aksine enerji güvenliği açısından yakıt maliyetlerine ve uzun dönemli fiyatı risklerini eleyen ve ekonomik, politik ve tedarik riskleri açısından diğer ülkelere bağımlılığı ortadan kaldıran yerli ve her zaman kullanılabilir bir kaynaktır.)

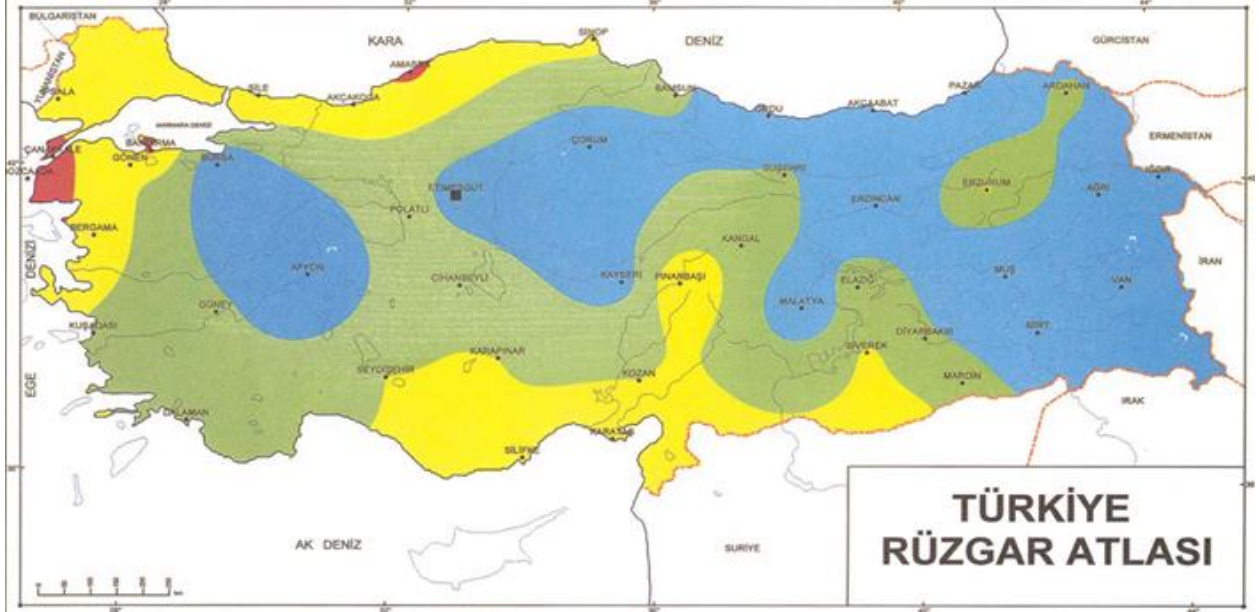
## Rüzgar Potansiyeli

Dünyada rüzgar gücünde liderlik yapabilir piyasalar şunlardır: Avustralya, Fransa, Hindistan, İtalya, ABD, Filipinler, Polonya, Türkiye ve İngiltere. Bu piyasalar başlangıç safhasında fakat gelişme aşamasındadır. *(Teknik olarak kullanılabilir toplam hazır küresel kaynağı tahmin edilen toplam dünya elektrik talebinin iki mislinden daha büyüktür.)*

Dünya rüzgar kaynağı 53 TWh/yıl olarak hesaplanmakta, 2020 yılında dünya elektrik talebi artışının 25,579 TWh olacağı öngörülmektedir. 2020 yılına kadar dünya elektrik tüketiminin %12 miktarını rüzgar enerjisinden karşılama senaryosuna göre yatırımlar, maliyetler ve istihdamlar 2020 yılında 1,245 GW dünya rüzgar gücü hedefine ulaşmak için gerekli yatırım miktarı 692 milyardır. Bu süre içinde üretim maliyetlerinin 3,79 cent/kWh'dan 2,45 cent/kWh'a düşmesi beklenmektedir. Yine bu süre içinde dünya çapında rüzgar endüstrisinde imalat, kurulum ve diğer iş kollarında 2,3 milyon iş imkanı sağlanacaktır.

50 m'de Rüzgar Hızı (m/s)	50 m'de Rüzgar Gücü (W/m <sup>2</sup> )	Toplam Alan (km <sup>2</sup> )	Rüzgarlı Arazi Yüzdesi	Toplam Kurulu Güç (MW)
7,5 – 8,0	400 – 500	5 851,87	0,80	29 259,36
8,0 – 8,5	500 – 600	2 598,86	0,40	12 994,32
8,5 – 9,0	600 – 800	1 079,98	0,10	5 399,92
>9,0	>800	39,17	0	195,84
<b>TOPLAM</b>		<b>9 569,89</b>	<b>1,30</b>	<b>47.849,44</b>

Türkiye' nin Toplam Rüzgar Enerjisi Potansiyeli (EİEİ, 2010)



Beş farklı topografik durum için yer seviyesinden 50 m yükseklikteki rüzgar potansiyelleri<sup>1</sup>

	Kapalı Araziler <sup>2</sup>		Açık Araziler <sup>3</sup>		Kıyılar <sup>4</sup>		Açık Deniz <sup>5</sup>		Tepe ve Bayır <sup>6</sup>	
	ms <sup>-1</sup>	Wm <sup>-2</sup>	ms <sup>-1</sup>	Wm <sup>-2</sup>	ms <sup>-1</sup>	Wm <sup>-2</sup>	ms <sup>-1</sup>	Wm <sup>-2</sup>	ms <sup>-1</sup>	Wm <sup>-2</sup>
Dark Blue	> 6.0	> 250	> 7.5	> 500	> 8.5	> 700	> 9.0	> 800	> 11.5	> 1800
Red	5.0-6.0	150-250	6.5-7.5	300-500	7.0-8.5	400-700	8.0-9.0	600-800	10.0-11.5	1200-1800
Yellow	4.5-5.0	100-150	5.5-6.5	200-300	6.0-7.0	250-400	7.0-8.0	400-600	8.5-10.0	700-1200
Green	3.5-4.5	50-100	4.5-5.5	100-200	5.0-6.0	150-250	5.5-7.0	200-400	7.0-8.5	400-700
Blue	< 3.5	< 50	< 4.5	< 100	< 5.0	< 150	< 5.5	< 200	< 7.0	< 400

Türkiye Rüzgar Atlası

## Rüzgar Özellikleri

Rüzgar tesirleri bakımından üç özelliği olan bir iklim elemanıdır;

- Rüzgarın Hızı
- Rüzgarın Yönü
- Rüzgarın Esmeye Sıklığı (Frekans)

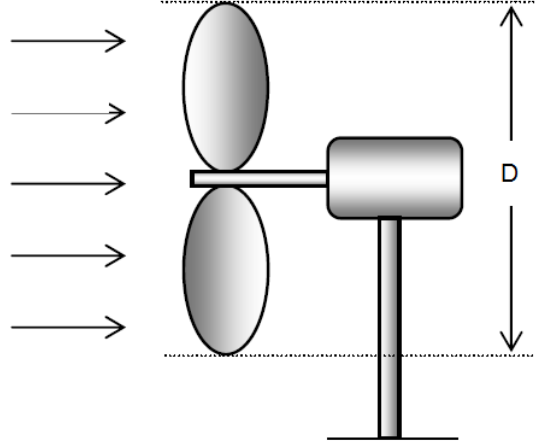
Rüzgar hızını etkileyen faktörler şunlardır;

- Coğrafi durum,
- Yerel Yüzey Yapısı,
- Yeryüzünden Olan Yükseklik

## Rüzgar Enerjisi ve Gücü

$V_{gelen}$

$V_{çıkan}$



### Betz Yasası

$$P_{gelen} = \frac{1}{2} \dot{m} V_{gelen}^2 = \frac{1}{2} \rho A V_{gelen}^3$$

$$\dot{m}_{ort} = \rho A V_{ort}$$

$$V_{ort} = \frac{V_{gelen} + V_{çıkan}}{2}$$

$$P_{elde edilen} = \frac{1}{2} \dot{m}_{ort} (V_{gelen}^2 - V_{çıkan}^2)$$

$$P_{elde edilen} = \frac{1}{2} \rho A V_{ort} (V_{gelen}^2 - V_{çıkan}^2) = \frac{1}{2} \rho A \frac{(V_{gelen} + V_{çıkan})}{2} (V_{gelen}^2 - V_{çıkan}^2)$$

$$P_{elde edilen} = \frac{1}{4} \rho A (V_{gelen} + V_{çıkan}) (V_{gelen}^2 - V_{çıkan}^2)$$

$$P_{elde edilen} = \frac{1}{4} \rho A (V_{gelen}^3 - V_{gelen} V_{çıkan}^2 + V_{çıkan} V_{gelen}^2 - V_{çıkan}^3)$$

$$P_{elde edilen} = \frac{1}{4} \rho A V_{gelen}^3 \left( 1 - \frac{V_{çıkan}^2}{V_{gelen}^2} + \frac{V_{çıkan}}{V_{gelen}} - \frac{V_{çıkan}^3}{V_{gelen}^3} \right)$$

$$x = \frac{V_{çıkan}}{V_{gelen}} \quad \text{olsun.}$$

$$P_{elde edilen} = \frac{1}{4} \rho A V_{gelen}^3 (1 + x - x^2 - x^3) = \frac{P_{gelen}}{2} (1 + x - x^2 - x^3)$$

$(1 + x - x^2 - x^3)$  şeklinde x'e bağlı bir fonksiyon olarak yazılır. Bu fonksiyonun maksimum ve minimum değerlerini bulmak için

$$\frac{d(P_{elde edilen})}{dx} = 0 \text{ eşitliği yazılır.}$$

$$\frac{d}{dx} \left( \frac{P_{elde edilen}}{2} (1 + x - x^2 - x^3) \right) = \frac{P_{elde edilen}}{2} (1 - 2x - 3x^2) = 0$$

$(1 - 2x - 3x^2) = 0$  olur. Bu denklemin kökleri bulunur. Denklemin küçük kökü, en az gücü, büyük kökü ise en fazla gücü bulmak için kullanılır. Bu denklemin kökleri 1/3 ve -1'dir. Maksimum güç için  $x=1/3$  değeri alınır ve

$$\frac{P_{gelen}}{2} (1 + x - x^2 - x^3) \text{ denkleminde } x \text{ yerine yazılırsa;}$$

$$P_{elde edilen, maksimum} = \frac{P_{gelen}}{2} \left( 1 + \frac{1}{3} - \left( \frac{1}{3} \right)^2 - \left( \frac{1}{3} \right)^3 \right)$$

$$P_{elde edilen, maksimum} = P_{gelen} \left( \frac{16}{27} \right)$$

$P_{elde edilen, maksimum} = 0.593 P_{gelen}$  ifadesi elde edilir. Bu eşitlik **Betz yasası** olarak bilinir. Bu eşitliğe göre, rüzgar türbinine gelen havanın kinetik enerjisinin ( $P_{gelen}$ ) maksimum 0.593 katı kullanılabilir enerjiye dönüştürülebilir.

Burada,

$P_{gelen}$ : Türbine gelen havanın kinetik enerjisi, (W)

$P_{elde edilen}$ : Türbinin üreteceği güç, (W)

$P_{elde edilen, maksimum}$ : Türbinin üretebileceği maksimum güç, (W)

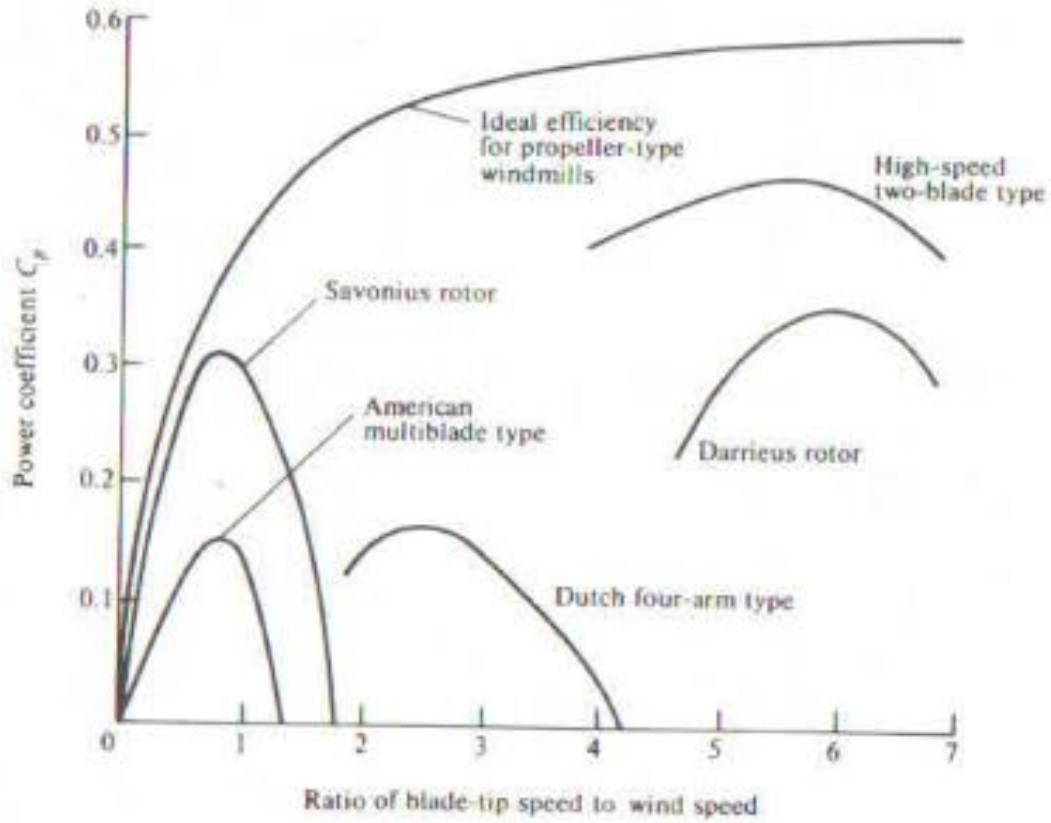
$\dot{m}$ : Havanın kütleli debisi, (kg/s)

$V$ : Havanın hızı, (m/s)

$A$ : Türbin kanadının taradığı ve hava akışına dik olan kesit alanı, ( $m^2$ ) ( $A=\pi D^2/4$ )

$\rho$ : Havanın yoğunluğu, ( $kg/m^3$ )

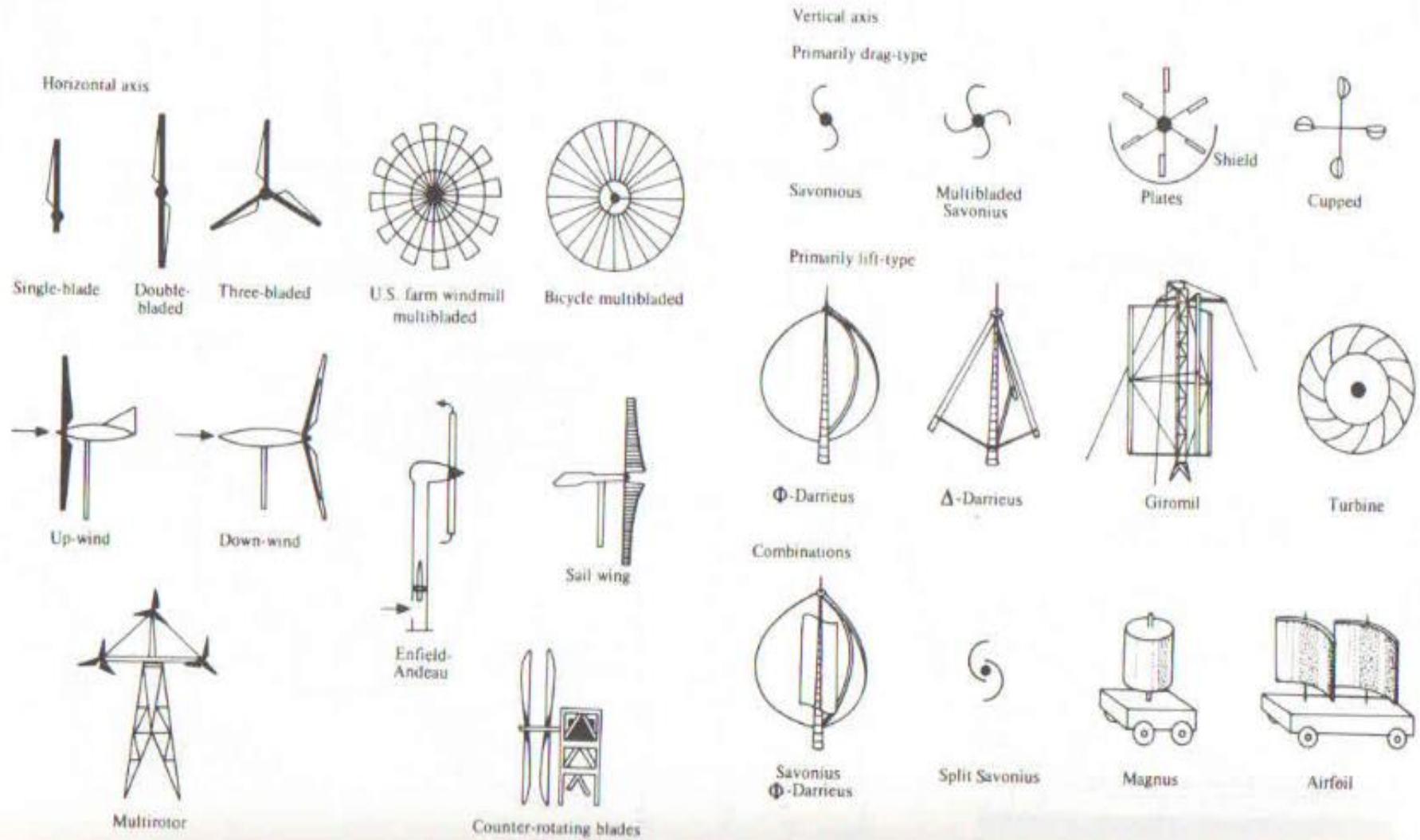
$D$ : Kanat çapı, (m)



Rüzgar Hızı ve Türbin Tipine Göre Verim Grafiği (Archie W. Culp, Jr., 1991)

Şekil’de görüldüğü gibi, maksimum güç ancak gelen enerjini 0.59’una karşılık gelmektedir. Bu ideal durum için rüzgar hızı ne kadar arttırılırsa arttırılsın güç katsayısı Betz kriterini geçmemektedir. Grafikte ayrıca farklı tipteki türbinlerin, farklı rüzgar hızları için güç katsayıları da bulunmaktadır.





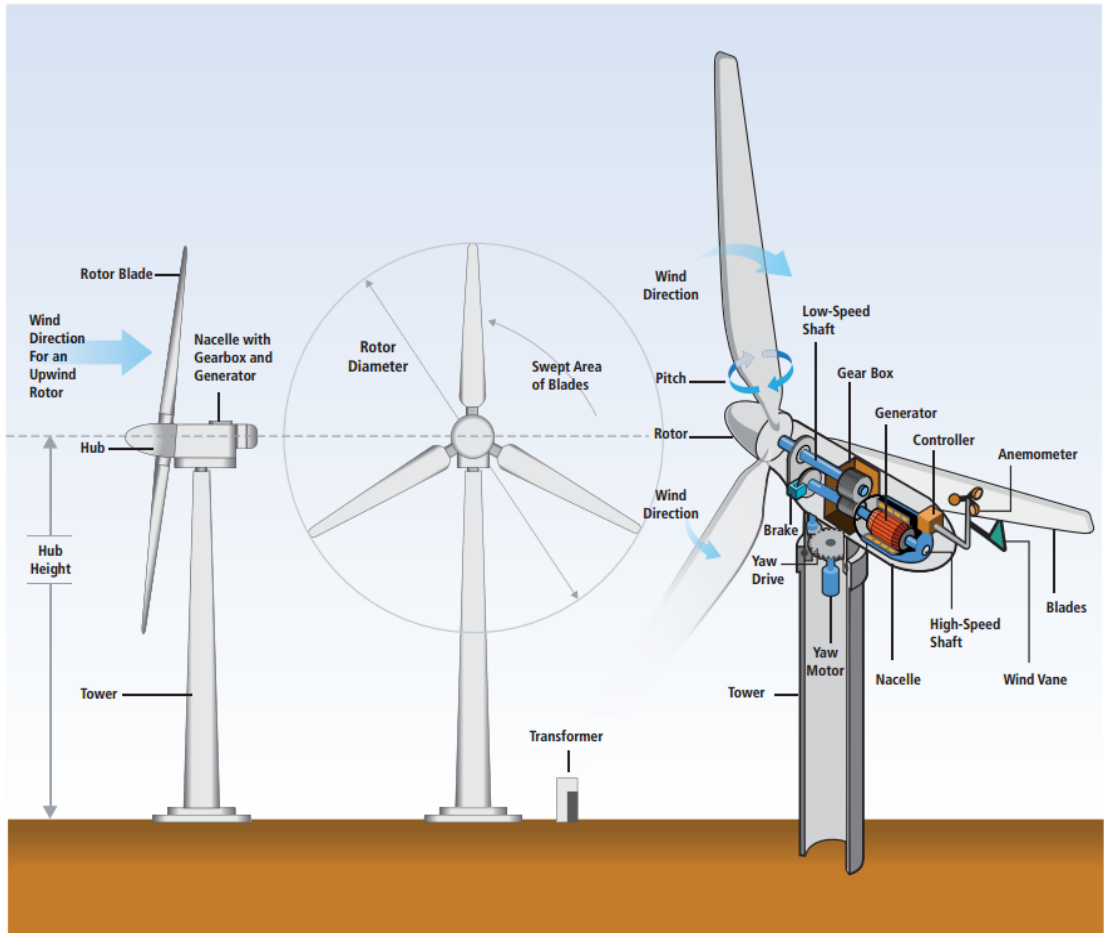
Rüzgar Türbin Tipleri (Archie W. Culp, Jr., 1991)

## Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması

Rüzgar türbinleri çeşitli kriterlere göre sınıflandırılabilirler. En önemli sınıflandırma biçimi, rotor ekseninin yeryüzüne göre konumunu dikkate alan sınıflandırmadır (Köse,2002).

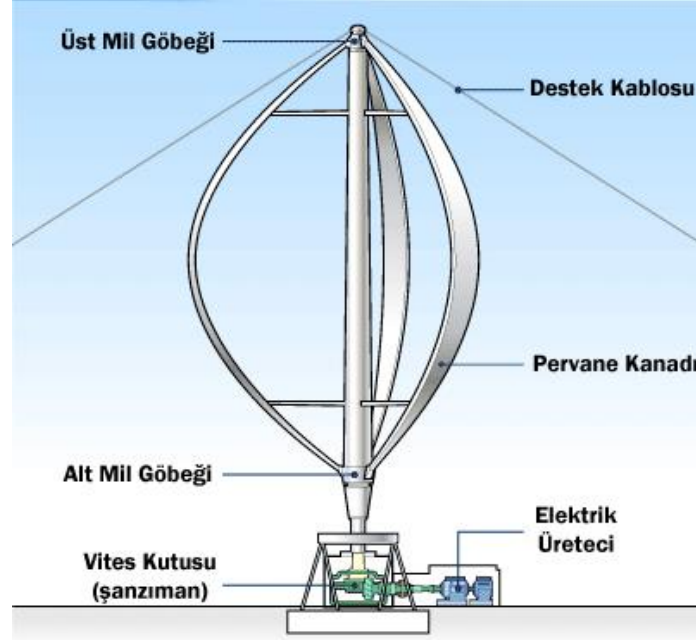
- Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri
- Düşey Eksenli Rüzgar Türbinleri

Yatay eksenli rüzgar türbinlerinin rotorları, maksimum enerjiyi tutabilmek için rüzgar akışına dik olarak durur. Rüzgarı önden alan sistemlerde kılavuz kuyruk vasıtası ile rotor rüzgara karşı yönlendirilir. Kanatlardaki kaldırma kuvvetleri rotorun dönmesini sağlar (Köse, 2002).



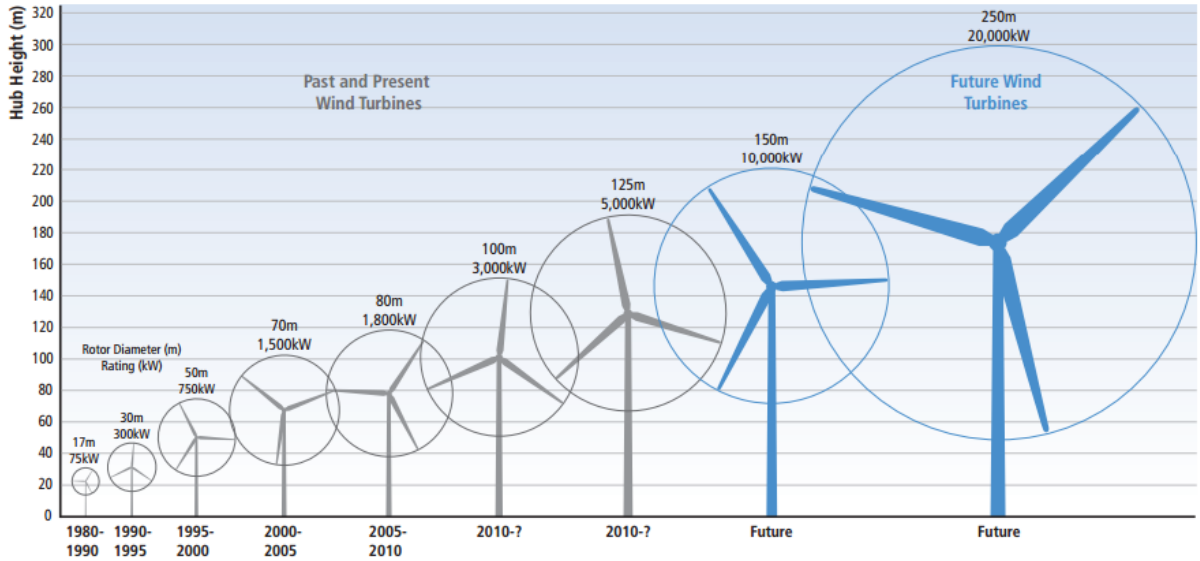
Yatay Eksenli Rüzgar Türbini (Wiser, Y. ve Yang, Z., Wind Energy)

Düşey eksenli rüzgar türbinlerinin rüzgarı her yönden kabul edebilme üstünlükleri vardır. İlk hareket geçişleri güvenilirdir. Bu makinelerin diğer bir üstünlüğü ise, makine aksamının (hız yükseltici, jeneratör vb.) toprak seviyesine kurulabilmesidir.



Dikey Eksenli Rüzgar Türbini

Rüzgar türbinlerinin gelişim sürecini ilişkin durum da Şekil 17’de gösterilmiştir. Şekil 17’den de görüleceği gibi rüzgar türbinlerindeki güç üretimi, türbinin taradığı alan ile doğrudan ilişkilidir.



Rüzgar Türbinlerinin Gelişim Süreci (Wiser, Y. ve Yang, Z., Wind Energy)

## 4. 2. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi güneş ışığından enerji elde edilmesine dayalı teknolojidir. Güneşin yaydığı ve dünyamıza da ulaşan enerji, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışınım enerjisidir. Güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden kaynaklanır. Dünya atmosferinin dışında güneş ışınımının şiddeti, aşağı yukarı sabit ve  $1370 \text{ W/m}^2$  değerindedir, ancak yeryüzünde  $0-1100 \text{ W/m}^2$  değerleri arasında değişim gösterir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, güneş enerjisi çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir. Dünyada kullanılan en eski enerji kaynağı güneş enerjisidir. Güneş enerjisinin de diğer enerjiler gibi kullanım sorunları ve koşulları vardır. Güneş enerjisi her tüketim modelinde kolaylıkla kullanılamaz. Her tüketim dalında kullanılabilmesi için bu sorunlarının tüketim modellerine göre çözülmesi gerekmektedir. Güneş enerjisinin depolanması ya da diğer enerjilere dönüşebilmesi, ısıl, mekanik, kimyasal ve elektrik yöntemlerle olur.

Güneş ışınımı yeryüzüne iki şekilde gelir. Direkt ışınım; hiçbir dağılım ve emilmeye uğramadan atmosferi geçebilen ışınım. Difüz (yaygın) ışınım; güneş ışınımı hava molekülleri aerosoller gibi parçacıklar ve su damlacıkları nedeniyle atmosferde dağılır. Dağılarak yere ulaşabilen ışınım difüz ışınım denir. Yüzeğe gelen toplam ışınım miktarına global ışınım denir. Bir Güneş enerjisi tasarımında sistemin kurulacak bölgenin güneş ışınım bilgileri yapılan ölçümler ile elde edilir. Güneş ışınım ölçümleri yer ölçümleri ve uzaydan yapılan ölçümler diye ikiye ayrılır.

Yer ölçümlerinde;

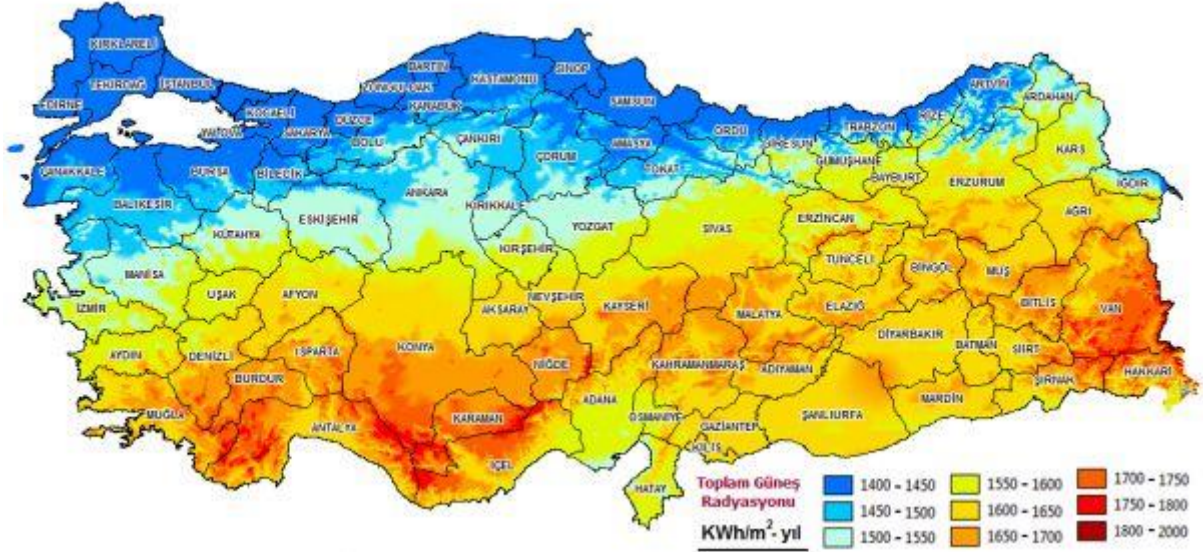
- toplam ışınımı ölçmek için pironometre,
- doğrudan ışınımı ölçmek için pirheliometre kullanılır.

Avantajları;

- Güneş bol ve tükenmeyen bir enerji kaynağıdır.
- Temiz enerji türüdür.
- Yerel uygulamalar için elverişlidir. Enerjiye ihtiyaç duyulan hemen her yerde yararlanmak mümkündür.
- Dışa bağımlı olmadığından doğabilecek ekonomik bunalımdan bağımsızdır.
- Birçok uygulaması için karmaşık teknolojiye ihtiyaç yoktur.
- İşletme masrafları çok azdır.

Dezavantajları;

- Birim düzleme gelen güneş ışınımı az olduğundan büyük yüzeylere ihtiyaç olmaktadır.
- Güneş ışınımı sürekli olmadığından depolama gerekir. Depolama imkanları ise sınırlıdır.
- Enerji ihtiyacının fazla olduğu kış aylarında güneş ışınımı az ve geceleri de hiç yoktur.
- Güneş ışınımından faydalanan sistemin güneş ışığını sürekli alabilmesi için çevresinin açık olması, gölgelenmemesi gerekir.
- Güneş ışınımından yararlanılan birçok tesisatın ilk yatırım masrafları fazla ve henüz ekonomik değildir.



Türkiye' nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ		GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/ay)
	(Kcal/cm <sup>2</sup> -ay)	(kWh/m <sup>2</sup> -ay)	
OCAK	4,45	51,75	103,0
ŞUBAT	5,44	63,27	115,0
MART	8,31	96,65	165,0
NİSAN	10,51	122,23	197,0
MAYIS	13,23	153,86	273,0
HAZİRAN	14,51	168,75	325,0
TEMMUZ	15,08	175,38	365,0
AĞUSTOS	13,62	158,40	343,0
EYLÜL	10,60	123,28	280,0
EKİM	7,73	89,90	214,0
KASIM	5,23	60,82	157,0
ARALIK	4,03	46,87	103,0
TOPLAM	112,74	1311	2640
ORTALAMA	308,0 cal/cm <sup>2</sup> -gün	3,6 kWh/m <sup>2</sup> -gün	7,2 saat/gün

**Kaynak: EİE Genel Müdürlüğü**

### Türkiye'nin Aylara Göre Güneşlenme Süreleri

Güneş ışınları ile dünya üzerindeki yüzeyler arasında belirli açılar vardır. Bu açılar hakkında doğru bilgiler elde edilerek güneş enerjisinden en verimli şekilde yararlanılabilir.

**Yükseklik açısı:** güneş ışınımı ile yatay yüzey arasındaki açıdır.

**Güneş azimut açısı:** güneş ışınlarının kuzeye göre, saat dönüş yönünde sapmasını gösteren açıdır. Örneğin saat 12.00 de 180° dir.

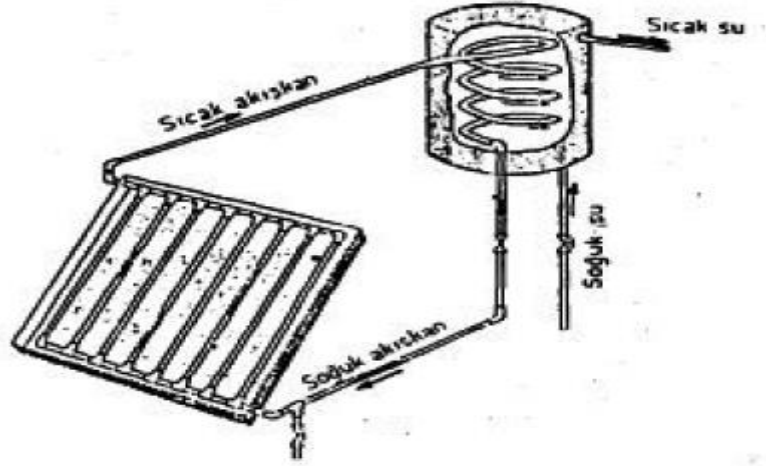
**Yüzey azimut açısı:** Yüzeyin dikeyinin, yerel boylama göre, sapmasını gösteren açıdır. -180° ile 180° arasında değişebilir. Güneye bakan yüzey için sıfır olur. Doğuya yönelen yüzeyde artı, batıya yönelen yüzeyde ise eksi değer alır.

**Deklasyon açısı:** Dünya-Güneş doğrultusunun yerin ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Kuzey yarımküre için artı değerlidir. Deklasyon açısı – 23,45° (21 Aralık kış

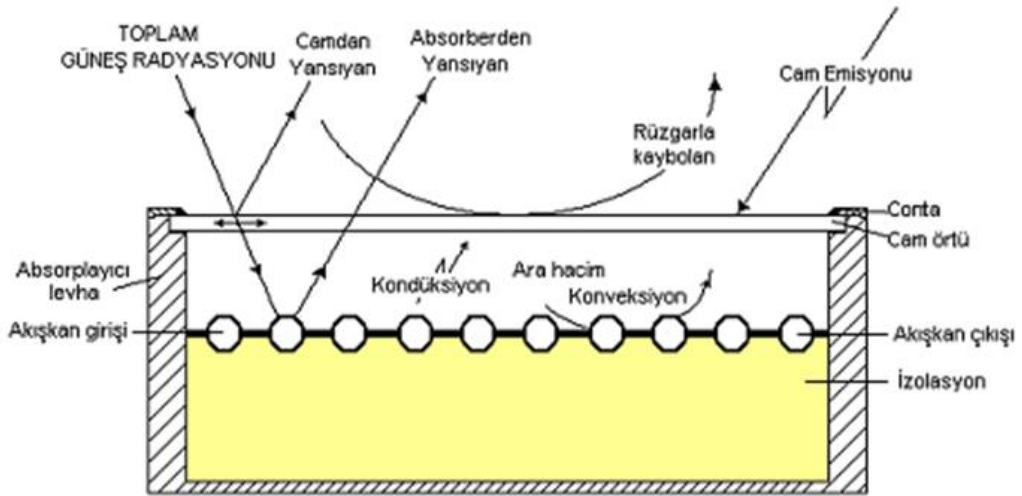
gündönümünde) ile + 23,45° (21 Haziran yaz gündönümünde) arasında değişir. İlkbahar ekinoksunda (21 Mart) ve sonbahar ekinoksunda (21 Eylül) deklinasyon açısı sıfır olur.

#### 4. 2. 1. Güneş Kolektörleri

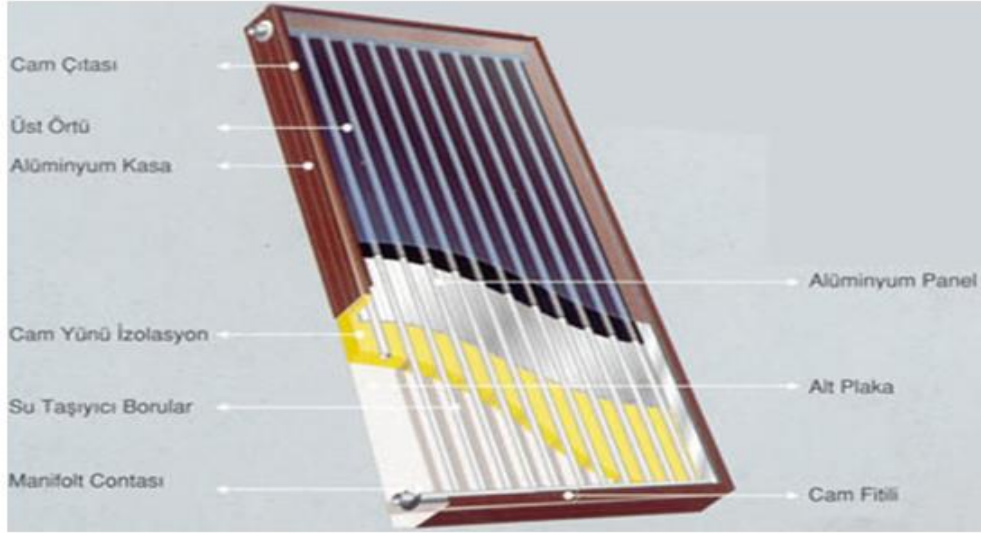
Sıcak su eldesinde kullanılan Güneş kolektörlü sistemler, dolaşım tipine göre Tabii Dolaşimli ve Zorlanmış Dolaşimli, devre şekline göre de Açık Devreli ve Kapalı Devreli olarak sınıflandırılabilir. Kapalı devre sistemlerde birbirinden bağımsız çalışan iki ayrı devre bulunmaktadır. Kolektör devresinde bulunan su, güneşten aldığı enerjiyi şehir şebekesinden gelen kullanım suyuna ısı eşanjörü vasıtasıyla transfer eder. Kolektör devresinde bulunan akışkan, kış aylarında donma riskine karşı hava sıcaklıklarına bağlı olarak uygun orandaki antifriz ile su karışımından oluşur. Açık devrede kullanım suyu kolektör içerisinde dolaşarak direkt olarak ısınır. Kapalı devrede olduğu gibi ilave bir ısı transfer akışkanına ihtiyaç yoktur. Bu sistemlerle kapalı sistemlere nazaran daha yüksek sıcaklıklara ulaşırlar. Fakat bu sistemlerin dezavantajlarından biri dış ortam sıcaklığı 0'ın altına düşen bölgelerde dört mevsim kullanılamaz. Kış aylarında sistemdeki suyun boşaltılması gerekir. Günümüzde açık sistemler pek kullanılmamaktadır.



Kapalı Devreli Tabii (Doğal) Dolaşimli Sistem



Güneş Kolektörü (Toplayıcı)



Güneş Kolektörü (Toplayıcı)

a) Üst Örtü (Şeffaf Örtü = Saydam Örtü) : Isıl kayıpları önlemek ve toplayıcıyı yağmur, kar ve tozdan korumak için kullanılır. Üst örtü, malzeme olarak cam ya da plastik olabilir. Cam örtüler tek veya çift camlı olabilir. Genellikle 3 ve 4 mm kalınlığındaki pencere camları kullanılır. Cam düşük dalga boyundaki ışınları geçirebilmesi için düşük demirli olmalıdır.

b) Toplayıcı Plaka ve Borular: Toplayıcı plaka demir, bakır, alüminyum veya plastik saç ve borulardan oluşur. Isıya dayanıklı mat siyah boya ile boyanır. Yutucu plakada enerji toplamayı en üst düzeye çıkarmak için yükseltici tüpün yüzeyi düşük dalga boylu güneş ışınlarını yutmak için yutuculuk özelliği yüksek materyalle kaplanmalıdır. Bu yüzeye aynı zamanda seçici yüzey denir. Günümüzde ticari olarak seçici yüzeyler siyah kromdan yapılmaktadır. Yutucu kanatlar tüpler arasında ısı transferini sağlarlar.

c) Yalıtım (İzolasyon) : Toplayıcının arkadan ve yandan ısı kayıplarını önlemek için cam yünü ya da benzeri yalıtım malzemesi kullanılır. Toplayıcı plaka altına konulan cam yününün 7 cm den; yanlara konulan cam yünlerinin de 2 cm den az olmaması gerekir.

d) Muhafaza (Şasi = Kasa) : Yukarıda ifade edilen parçalar dış etkenlere dayanıklı bir saç ya da plastik bir kasa içerisinde toplanarak güneşli su ısıtıcısını oluşturur. Muhafaza yanlardan profilden, altta da genellikle 1 mm kalınlığındaki galvanizli saçtan oluşur.

## Isıl güneş kolektörleri

Hareket Sistemi	Kolektör Tipi	Alıcı Tipi	Yoğunlaştırma Oranı	Sıcaklık Aralığı (°C)
Durgun	Düzlemsel	Düz	1	30-80
	Vakum tüplü	Düz	1	50-200
	Birleşik parabolik	Tüp	1-5	60-240
5-15			60-300	
Tek Yönlü Takip	Lineer fresnel yansıtıcı	Tüp	10-40	60-250
	Silindirik oluk	Tüp	15-50	60-300
	Parabolik oluk	Tüp	10-85	60-400
	İki Yönlü Takip	Parabolik çanak	Noktasal	600-2000
Heliostat		Noktasal	300-1500	150-2000

## Isıl güneş kolektörleri

### 4. 2. 2. Yoğunlaştırılmış Güneş Kolektörleri

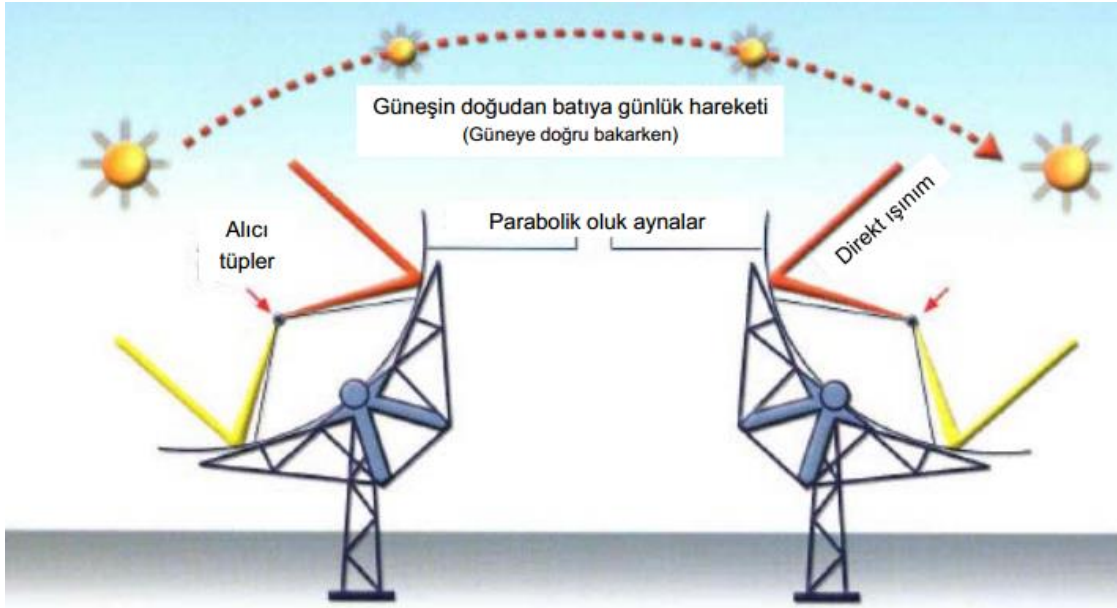
Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi teknolojilerinde birden çok ve farklı özelliklerdeki güneş panellerinden farklı amaçlarda enerji elde edilmektedir. Bunlardan bazıları şu şekildedir.

Yoğunlaştırma oranı kolektör açıklığının alanın alıcının alanına oranı olarak tanımlanmaktadır. Yoğunlaştırma miktarı normal şartlarda belli bir teorik maksimum değere kadar ulaşabilmektedir. Düz güneş kolektörlerinin yoğunlaştırma oranları genellikle 1 kabul edilebilir. Ancak bazı kaynaklarda 0.5 olarak verilmektedir. Çünkü sadece alıcının üst yüzeyi ışınımı alır, alt yüzey gölgede kaldığından ısı kaybına neden olur.

$$\text{Yoğunlaştırma oranı } C = \frac{\text{Kolektör Açıklık Aralığının Alanı}}{\text{Alıcının alanına oranıdır.}}$$

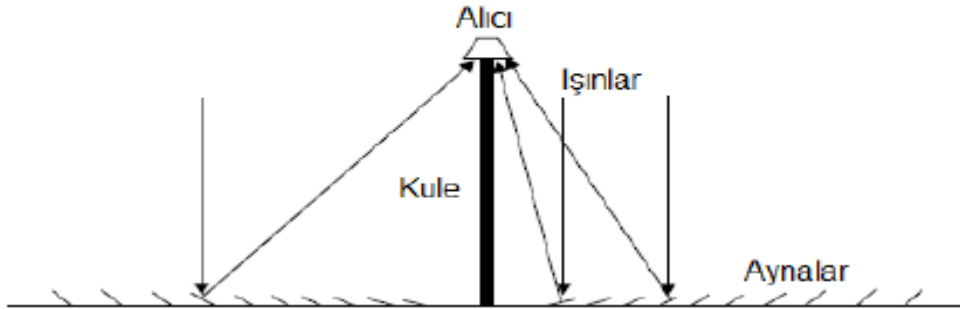


## Parabolik Oluk Kolektörler



Parabolik Oluk Kolektörler (Livatyalı, 2011)

## Lineer Fresnel Kolektörler



Lineer Fresnel Kolektörler

Lineer Fresnel güneş kolektörleri yüzeyde sabit aynalar ve bunların odak noktasında bulunan ince uzun alıcı kuleden oluşmaktadır. Bütün aynalar belli bir eğimle alıcıya odaklanmaktadır. Böylece yüksek yoğunlaştırma oranı elde edilir. Sistemin en büyük sorunu aynaların birbirini gölgelendirmesidir. Gölgelendirmenin önlenmesi için aynaların arası açılmalıdır. Bunun sonucunda alıcı kulenin boyu artmaktadır ve maliyetler artmaktadır. Aynı zamanda geniş alanlar gerekmektedir. Bu alandaki çalışmalar günümüzde özellikle Avustralya devam etmektedir.

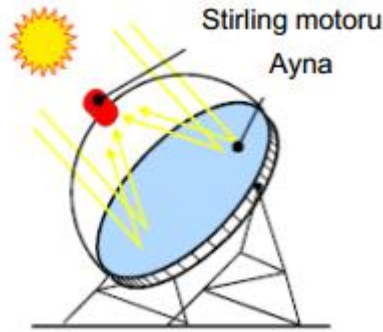
## Heliostat



Merkezi Alıcılar (Güneş Kulesi) (Livatyalı, 2011)

Bu tip kolektörler dairesel eğimli yerleştirilmiş düz aynaların ortasında ki bir hedeften oluşur. Aynalara gelen ışınlar ortadaki silindirik alıcı kule hedefe ulaşır. Aynalar bilgisayar sistemi ile iki eksende hareket ederek ortadaki hedefe ışınları odaklarlar. Heliostatlar genellikle elektrik üretimi amacıyla kullanılırlar ancak bazı ülkelerde güneş fırını olarak da kullanılmaktadır. Bu sistemin bir örneği İspanya'da bulunmaktadır.

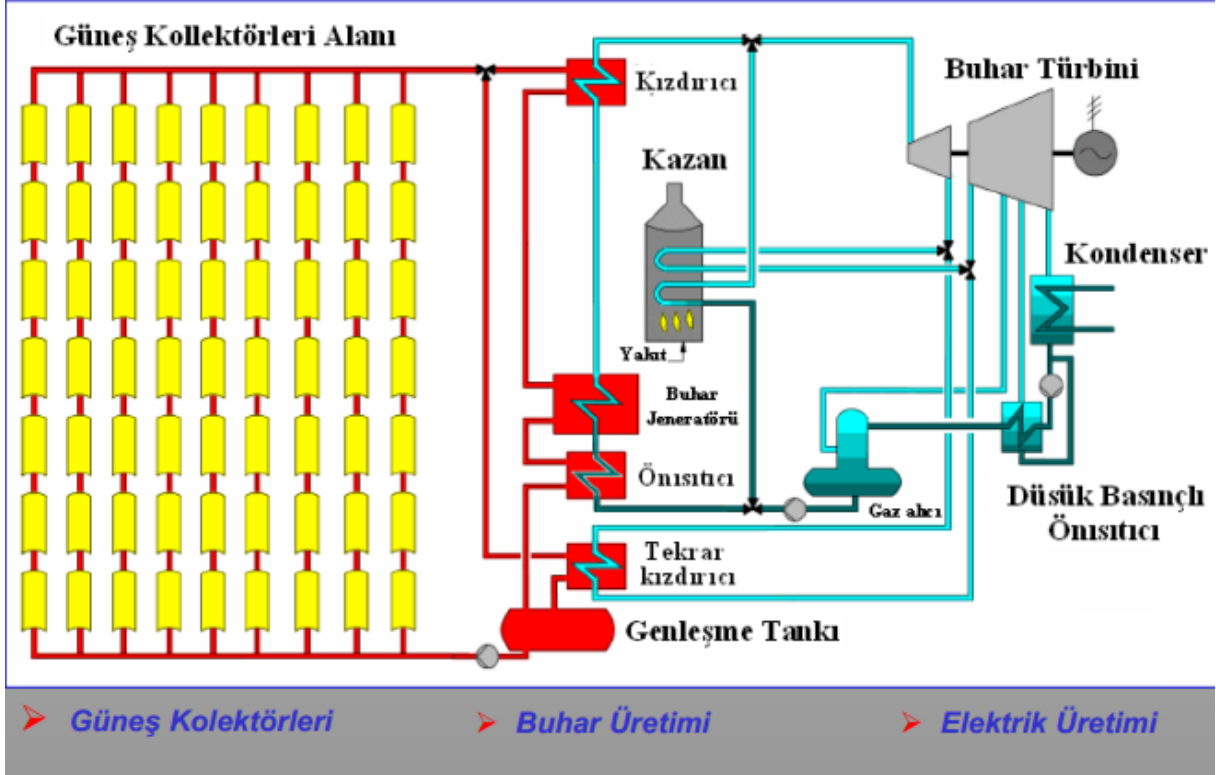
## Parabolik Çanak



Parabolik Çanak Sistemi

Bu sistemde de güneş ışınları parabolik bir çanak vasıtası ile merkeze toplanmakta ve elde edilen enerji ile bir Stirling motoru çalıştırılmaktadır. Parabolik çanak kolektörler parabolik bir kürenin içine gelen ışınları odak noktasına toplamasıyla enerji elde eder. Bu tip kolektörler güneşi takip edebilmek için iki yönlü hareket ederler. İki yönlü hareket çanakta meydana gelen yansıma kayıplarını azaltmayı da sağlar. Parabolik çanak tipi toplacılar çok yüksek yoğunlaştırma oranına sahip olduğundan yüksek sıcaklıklara ulaşırlar. Bundan dolayı elektrik üretiminde kullanılırlar.

## • Sistem Çevrimi



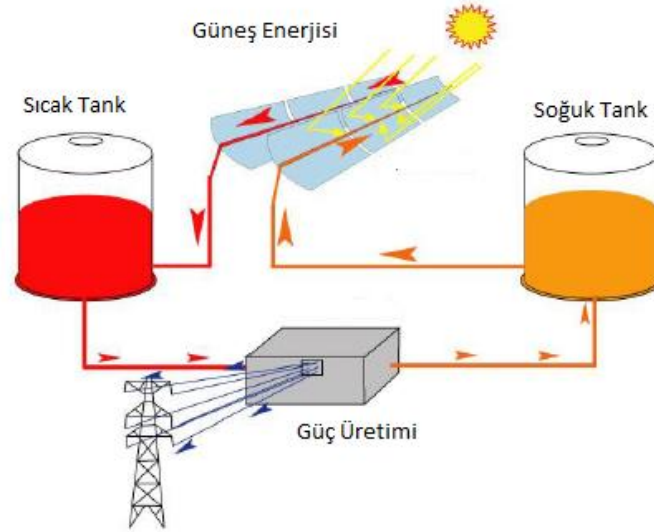
Sistem Çevrimi (Livatyalı, 2011)

Tip	Sıcaklık (°C)	Basınç (bar)	Malzeme	İşlev
Düşük sıcaklık	150	6-10	Bakır boru	Sıcak su üretimi
Yüksek sıcaklık yağ veya tuz çevrimi	400	25-100	Paslanmaz çelik / Kovar boru	Min 5-7 saat ısı depolamalı veya Fosil yakıt ile hibrit
Doğrudan su çevrimi	350	70	Paslanmaz çelik / Kovar boru	Geliştirilmekte olan tesisler
	500	100		

Sistemin Çalışma Prensipleri (Livatyalı, 2011)

### 4. 2. 3. Isıl Depolar

Bilindiği gibi, güneş sürdürülebilir bir enerji kaynağı değildir. Yani güneş gün boyunca bir enerji kaynağı iken, gece bir enerji kaynağı olamamaktadır. Dolayısıyla, gündüz güneşten elde edilen enerjinin sürdürülebilir olması için depolanması gerekmektedir. Bu nedenle, içerisinde tuz eriyiği (molten salt) bulduran depolar kullanılmaktadır. Böylece, ısıl enerji uzun süre kullanılabilir olmaktadır. Isıl depoların kullanıldığı basit bir çevrim Şekil'de gösterilmiştir.



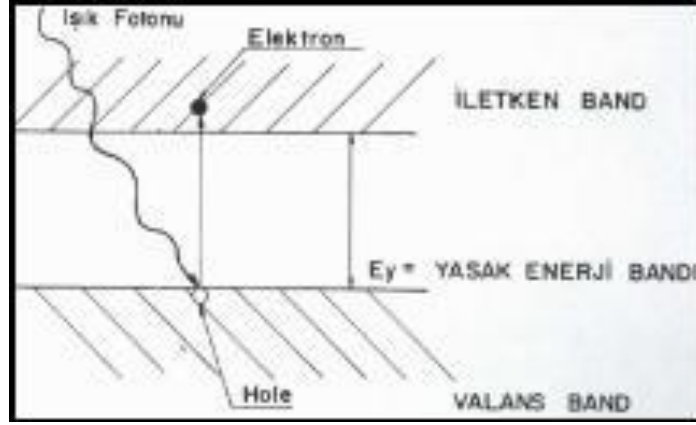
Güneş Enerjisinin Depolandığı Isıl Depolu Basit Bir Çevrim (Falchetta, 2014)

#### 4. 2. 4. Fotovoltaik Paneller

Fotovoltaik toplayıcı, güneş ışınlarını doğrudan elektrik enerjisine ve ısıya dönüştürür. Işın toplayan selüller için üç ayrı kimyasal madde kullanılır. Bunlar; Kadmiyum Sülfür, Silikon, Alüminyum Galium Arsenit' tir.

Fotovoltaik toplayıcılar için 'Güneş Pili veya Güneş Gözesi' deyimi de kullanılır. Uygulamada ilk olarak sülfür denendi, sonra silikon daha geniş kullanılma alanı buldu. Selüller üzerine cam örtü konularak fotovoltaik toplayıcı dış etkilerden korunur. Selül üzerine gelen ışınların taşıdığı enerjinin küçük bir kısmı anında doğru akım elektrik enerjisine dönüşür ve büyük bir bölümü ısı olur. Selüllerin arka kısmında bulunan kanaldan geçen hava ısınarak yararlı enerji olarak kullanılır. Bu sayede selül soğutulur ve ömrü uzar. Isı kayıplarını önlemek için toplayıcının arkası yalıtılır (Köse, 2002). Fotovoltaik toplayıcıların en büyük sorunu sıcaklık arttıkça verimi düşer.

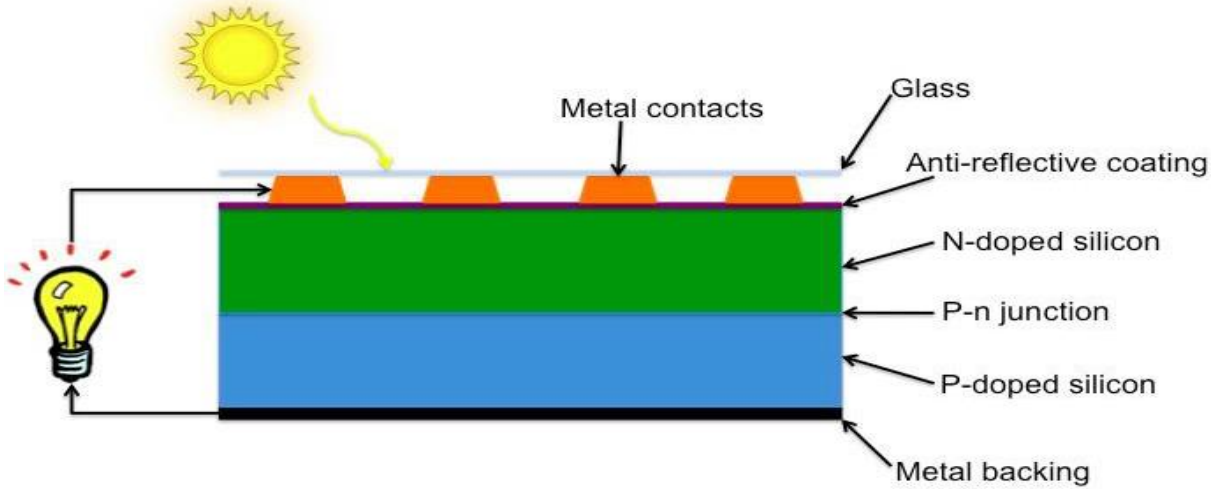
Yarı iletkenler, bir yasak enerji aralığı tarafından ayrılan iki enerji bandından oluşur. Bu bandlar valans bandı (p bölgesi) ve iletkenlik bandı (n bölgesi) adını alırlar. Bu yasak enerji aralığına eşit veya daha büyük enerjili bir foton, yarıiletken tarafından soğurulduğu zaman, enerjisini valans banddaki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



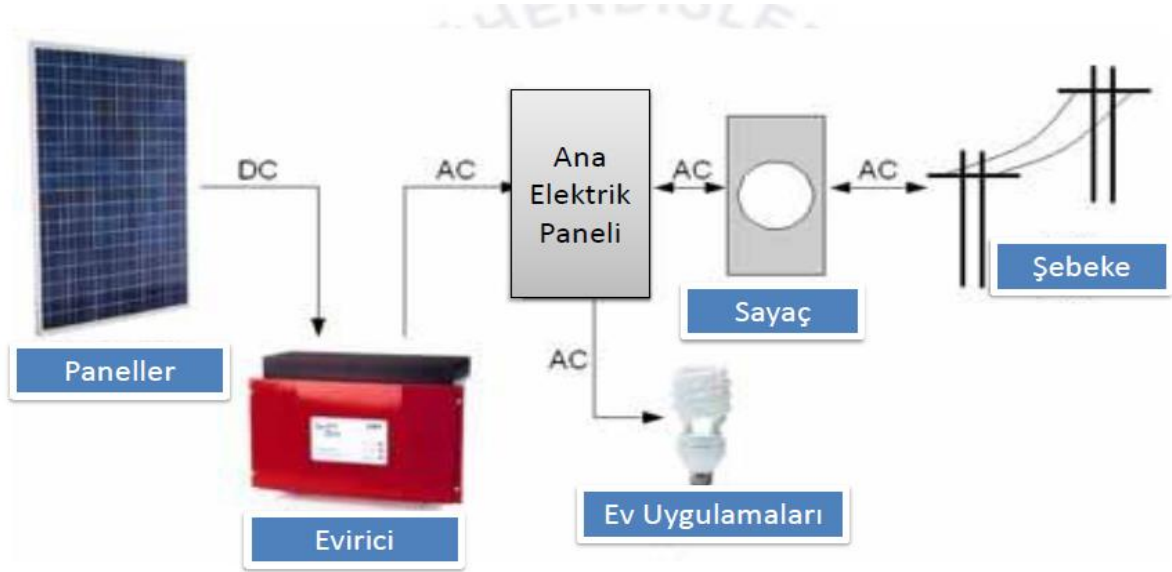
Fotovoltaik Panel Çalışma Prensibi

Fotovoltaik sistemler; şebeke bağlantılı (on-grid) sistemler ve şebekeden bağımsız (off-grid) sistemler olarak ikiye ayrılır.

1. Şebekeden Bağımsız Sistemler (OFF-GRID): Bu sistemlerde fotovoltaik paneller ile üretilen elektrik enerjisi akülerde depolanır ve kullanıcı enerji ihtiyacını (gece-gündüz) bu akülerden sağlar.
2. Şebeke Bağlantılı Sistemler (ON-GRID): Şebeke Bağlantılı Sistemlerde, kullanıcının enerji tüketimi, fotovoltaik sistemin ürettiği enerjiden karşılanır. Tüketimin üretimden fazla olduğu durumlarda kullanıcı tüketim fazlası enerjiyi şebekeden alır; buna karşılık, kullanıcının tüketimi üretiminden az olduğu durumlarda ise üretim fazlası enerji ile şebeke beslenir.



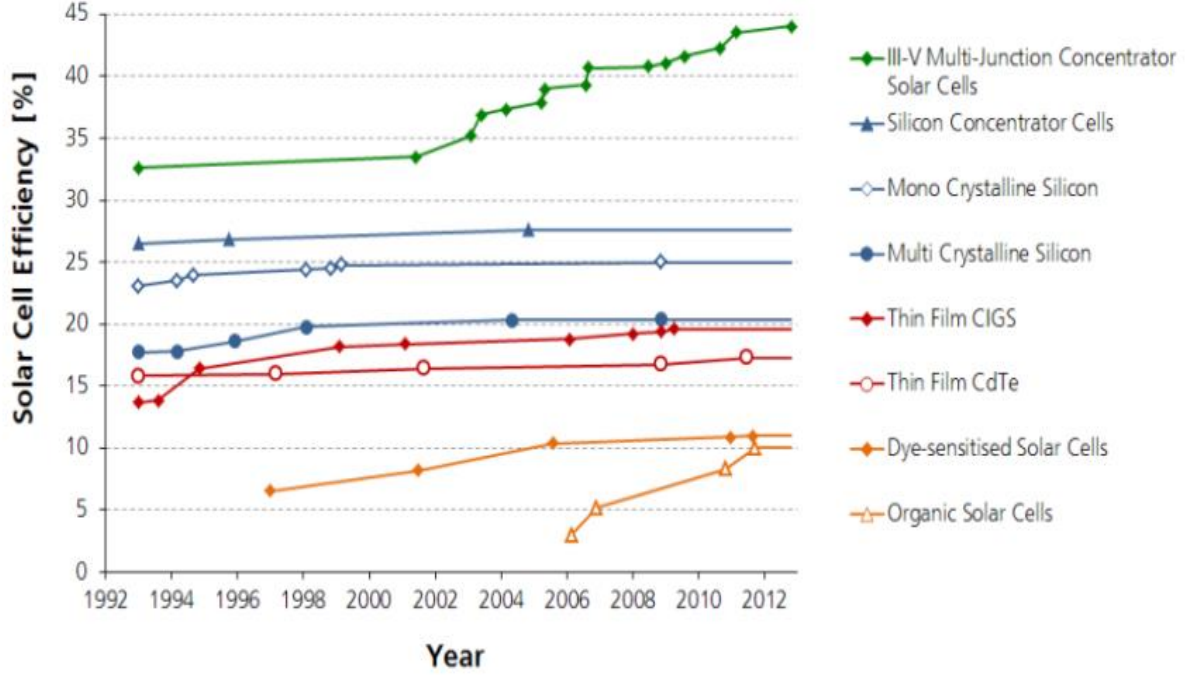
Güneş Gözesi kesiti



Fotovoltaik Panel ve Elektrik Enerjisi Üretimi

Fotovoltaik toplayıcıların tarihsel gelişimine baktığımızda;

1. Nesil Güneş Gözeleri
  - Monokristal Güneş Gözeleri
  - Multikristal Güneş Gözeleri
2. Nesil Güneş Gözeleri
  - Amorf Silikon Güneş Gözeleri
  - Mikrokristal Silikon Güneş Gözeleri
  - CdTe İnce Film Güneş Gözeleri
  - CIS ve CIGS İnce Film Güneş Gözeleri
3. Nesil Güneş Gözeleri
  - Nanokristal tabanlı Güneş Gözeleri
  - Polimer tabanlı Güneş Gözeleri
  - Boya duyarlı Güneş Gözeleri
  - Yoğunlaştırılmalı Güneş Gözeleri



Laboratuvar ölçekli güneş gözelerinde yıllara göre verimin değişimi

Fotovoltaik toplayıcılar günlük hayatta farklı uygulamalarda (saat, hesap makinesi vb.), araştırmalar için bazı taşıtların (otomobil, uçak vb.) tahriklerinde, binaların elektrik ihtiyaçlarında ve günümüzde yaygın olarak trafik ışıklarının elektrik ihtiyaçlarının karşılanmasında kullanılmaktadır.

#### 4. 3. Jeotermal Enerji

Tarih içinde jeotermal akışkanın ısıtma ve yıkanma amaçlı kullanıldığı kayıtlarda yer almaktadır. Endüstriyel ve ticari amaçlı kullanımı ise ancak 20. yüzyılın ilk yıllarında başlamıştır. 1904'te Larderello-İtalya'da jeotermal buhardan ilk elektrik üretimi sağlandı. O günden bugüne Kaliforniya'daki Geysers sahası, Wairakei-Yeni Zelanda, Cerro-Prieto-Meksika, Reykjavik-İzlanda, Endonezya, Filipinler, Kızıldere-Türkiye ve diğer sıcak su sistemleri Dünya jeotermal elektrik üretim kapasitesini yaklaşık olarak 9 bin MWe'a ve elektrik-dışı doğrudan kullanım kapasitesini de 28 bin MWt'a çıkarmış durumdadır (Satman, mmo.org.tr).

Jeotermal enerji, yerin altında (derinliklerde) bulunan ısı enerjisidir. Belli bir dereceye kadar yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağıdır. Bir jeotermal kaynağın ömrü 30-50 yıl arasındadır. Bu ömür, kullanılan jeotermal akışkanı yer altına enjekte etmekle uzatılabilir. Isı, yeryüzüne yakın derinliklere, termal kondüksiyon ve eriyik haldeki magmanın sokulumu ile nakledilir. Bu olaylar sonucu, anormal ısınmış bölgelerdeki yer altı suları hidrotermal kaynaklar olarak sıcak su veya buhar çıkışları şeklinde yüzeyde görülür (Köse, 2002).

Jeotermal enerji, yer altında oluşan bu doğal ısı kaynağının yer üstünde insanlara yararlı bir duruma getirilmesi olarak tanımlanır.

Jeotermal biriktirici, yer kabuğunda bulunan ve içerisinde yüksek sıcaklıkta sıkıştırılmış su veya doymuş su-buhar karışımı ya da kızgın buhar depolanmış olabilen geçirgen oluşumlara denir (Köse, 2002).

## Jeotermal Alanlar

### a) Kuru Buhar Alanları

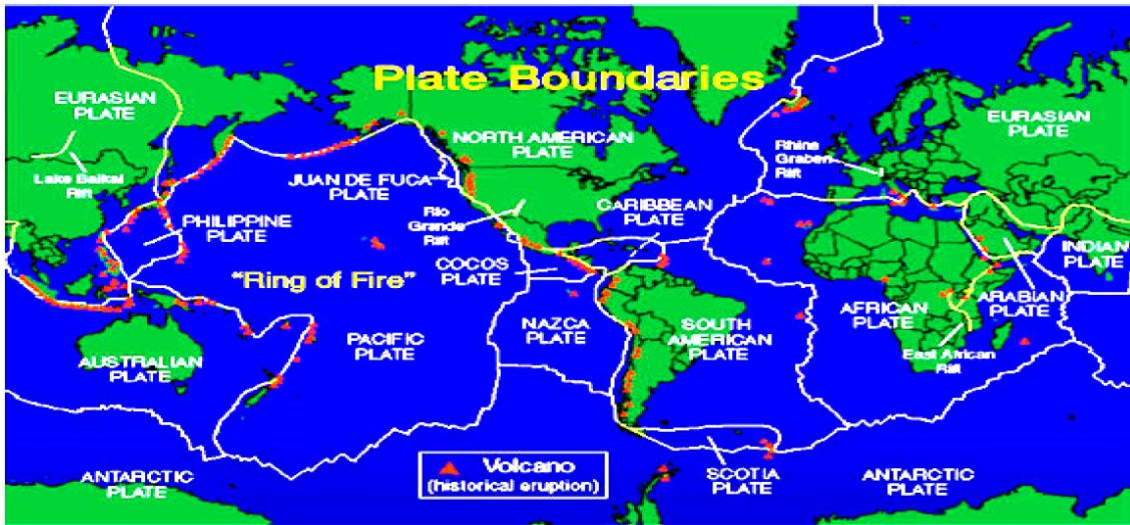
Bunlar kuyu başı basıncı atmosfer basıncından büyük olan ve aşırı ısınma derecesi 0-50 °C arasında değişen buharın elde edildiği alanlardır.

### b) Islak Buhar Alanları

Biriktirici içerisinde sıcaklığı 100 °C' yi geçen sıkıştırılmış su bulunan alanlara denir. Basınç fazlalığından buharlaşmayan su kuyu açıldığında basıncın düşmesiyle su-buhar karışımı akışkan elde edilir.

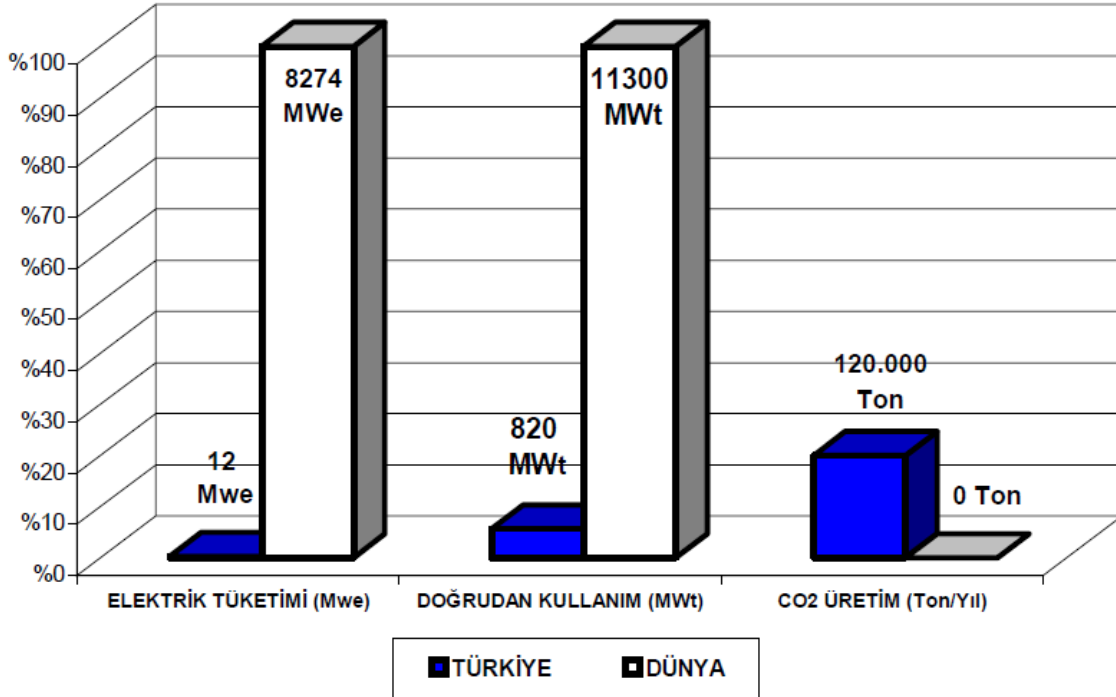
## Dünya' da Jeotermal Enerji Potansiyeli

Dünyadaki jeotermal sistemler, levhaların çarpışması sonucu aktif kıta kenarlarında, okyanus ortası sirtlarında, aktif kıta yarıklarında (riftlerde) ve volkanik adalar üzerinde bulunurlar. Zayıflık zonlarına bağlı olarak oluşan tektonik ve aktif volkanik kuşaklar boyunca kuzey ve güney Amerika kıtasının batkıyılarında (Amerika, Meksika, El Salvador, Nikaragua, Kostarika, Arjantin) Akdeniz ülkelerinde(Türkiye, Yunanistan, İtalya) doğu ve güneydoğu Asya ülkelerinde (Çin, Tayland, Filipinler, Endonezya), Yeni Zelanda, Japonya, Portekiz'in Azor adalarında, Afrika kıtasında (Kenya, Etopya) ve İzlanda da jeotermal kaynaklar bulunmaktadır (Arslan, Darıcı ve Karahan).



Dünya'daki Önemli Jeotermal Kuşaklar Levha (plaka) Sınırları (Arslan, Darıcı ve Karahan).





Jeotermal Enerjinin Dünya’da ve Türkiye’de Değerlendirilmesi ve Karşılaştırılması (Yörükoğlu, 2007)

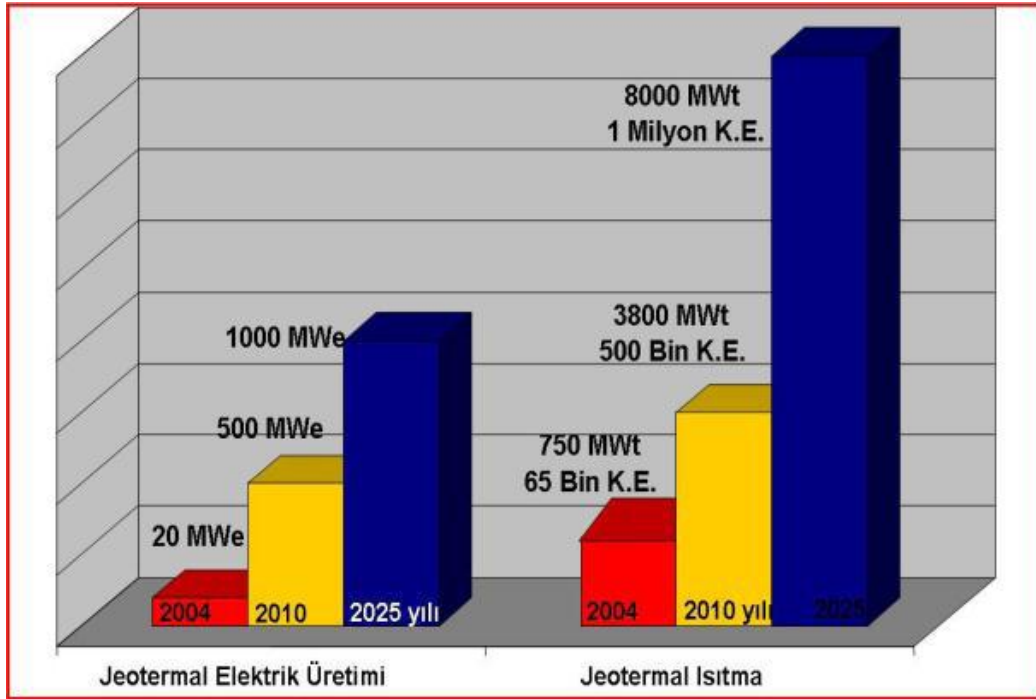
### Türkiye’ de Jeotermal Enerji Potansiyeli

Ülkemiz jeotermal enerji potansiyeli açısından dünyadaki zengin ülkeler arasında yer almaktadır. Türkiye’ de toplam 1000 dolayında sıcak ve mineralli su kaynağı ve jeotermal akışkan çıkan kuyu noktası vardır. Bilinen jeotermal alanların %95’i ısıtmaya uygundur. Türkiye’de az sayıda da olsa yüksek entalpili jeotermal alanlar da keşfedilmiştir. Ancak ülkemizde jeotermale dayalı elektrik üretimi düşük seviyede kalmıştır. Halen 20.4MWe brüt kurulu güce sahip (242 °C rezervuar sıcaklığı olan) Denizli-Kızıldere santrali günümüzde zaman zaman 15 MWe çıkmasına rağmen net ortalama 12 MWe elektrik üretmektedir.

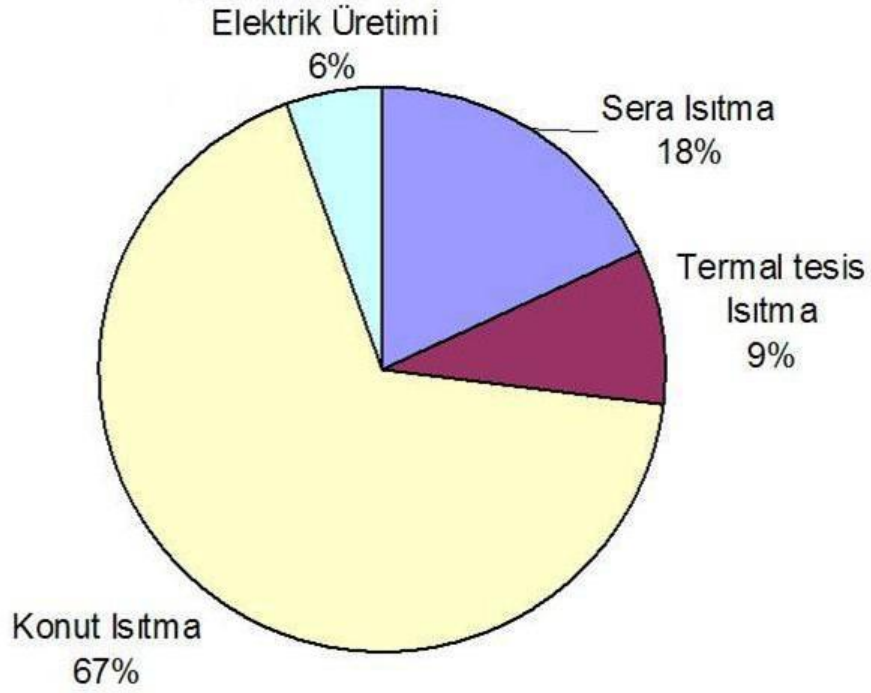


Türkiye’ nin Jeotermal Enerji Kaynakları (mta.gov.tr)

Aydın-Germencik'te (232°C rezervuar sıcaklığına sahip) ise aşamalı olarak yaklaşık 100 MWe gücüne ulaşacak taşınabilir üniteler için Yap-İşlet modeline göre işlemler sürdürülmektedir. Ayrıca 2002 yılında varlığı ortaya konan Salihli-Göbekli jeotermal sahası da rezervuar sıcaklığı (182 °C) itibariyle elektrik üretimine uygun bir sahadır. Balneolojik amaçlı kullanımlar için sıcaklık alt sınırı 20°C olarak kabul edilmekte olup 600 kaynak grubuyla (1000 adet kaynak) ülkemiz Avrupa'da birinci sırayı almaktadır. Isı enerjisi olarak yararlanmak için 35°C sınırı kabul edildiğinde ise karşımıza 170 adet jeotermal alan çıkmaktadır. Sadece kaynakların boşalımları değerlendirildiğinde potansiyel 600 MWt civarındadır. MTA Genel Müdürlüğü'nün 40 yıllık süre içerisinde açtığı toplam 172.773.70 m. derinliğindeki 424 kadar jeotermal amaçlı sondaj ile bu potansiyele yaklaşık 3042,91 MWt (Eylül 2005) katkı sağlanmıştır. Yukarıda verilen değerler, ülkede bulunan 600' den fazla kaynak çıkışının, yaklaşık 124'ünün üzerinde yer aldığı alanlarda yapılan sondajlardan ve kaynaklardan elde edilen değer olup, potansiyel oluşturan diğer alanlarda da sondajlar yapılması halinde, bu potansiyelin önemli ölçüde artacağı beklenmektedir. Ayrıca son yıllarda özel firmalar tarafından yapılmış sondajlı çalışmalar bilinmediği için bu değere dahil edilmemiştir (Koçak, MTA Genel Müdürlüğü).



Türkiye' de Jeotermal Enerjinin Mevcut Durumu ve Geleceği (Özdemir, b.t)



Türkiye’deki Mevcut Jeotermal Enerji Uygulamalarının Yüzde Dağılımı (Özdemir, b.t)

	Saha Adı	Rezervuar sıcaklığı °C Temperature	Uygulanabilecek Santral tipi
1	Kızıldere(Denizli)	212-242	Single Flash (-Binary-Multi flash-Hybrid sys)
2	Tekkehamam	210	Flash -Binary-Multi flash-Hybrid sys
3	Germencik-Ömerbeyli (Aydın)	232	Flash -Binary-Multi flash-Hybrid sys
4	Tuzla (Çanakkale)	174	Flash -Binary-Multi flash?-Hybrid sys
5	Kurudere-Salihli	213	Flash -Binary-Multi flash?-Hybrid sys
6	Göbekli (Salihli)	182	Flash -Binary-Multi flash?-Hybrid sys
7	Salavatlı (Aydın)	171	Flash -Binary-Multi flash?-Hybrid sys
8	Simav (Kütahya)	162	Flash -Binary- Hybrid sys
9	Caferbeyli (Salihli)	155	Flash -Binary-Hybrid sys
10	Seferihisar (İzmir)	153	Flash -Binary-Hybrid sys
11	Dikili (izmir)	130	Binary-Hybrid sys
12	İmamköy (Aydın)	142	Binary-Hybrid sys
13	Balçova	136	Binary-Hybrid sys

Türkiye’ de Elektrik Üretilen ve Üretilebilecek Jeotermal Enerji Sahaları (Koçak, MTA Genel Müdürlüğü).

Jeotermal enerjinin avantajları;

- Yenilenebilir ve çevre kirliliği oluşturmaması,
- Diğer enerji kaynaklarına kıyasla ucuz oluşu,
- Gerekli teknoloji düzeyinin çok yüksek olmayışı,
- Aynı anda yararlanma imkanının oluşu (Köse, 2002)

### *Jeotermal Isıtma Sistemleri*

Jeotermal merkezi ısıtma sistemleri, fosil (fuel-oil, kömür, doğalgaz gibi) yakıt kullanılan ısıtma sistemlerinden prensipte farklıdır. Bundan dolayı klasik ısıtma sistemlerinde olduğu gibi standart bir uygulama yoktur. Her sahaya göre farklı dizaynlar yapılmakta ve uygulanmaktadır (Köse, 2002).

Jeotermal ısıtma sistemlerinde  $\Delta T=20$  °C değil 30-40 °C' dir. Bundan dolayı sistemde dolaşan debi azalmakta, dolayısı ile boru çapı ve pompalar küçülmektedir. Ayrıca pompalar frekans konverteri ile kontrol edilerek, şebekede sabit sıcaklık, değişken debi sistemi uygulanmaktadır.

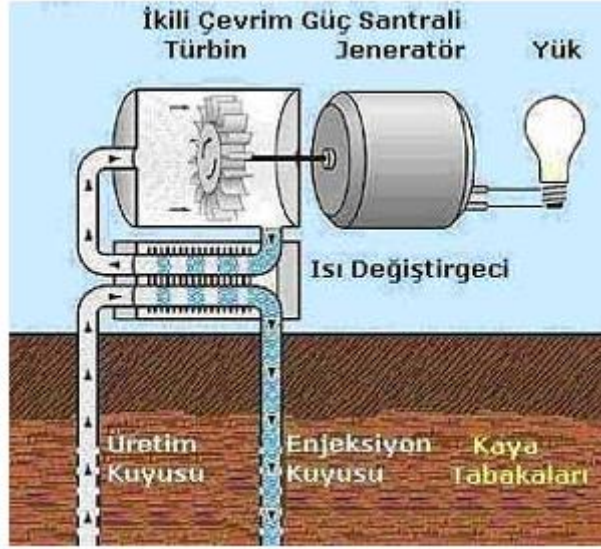
Jeotermal akışkanın kabuklaştırıcı ve korozif özelliğinden ısıtma sisteminin zarar görmemesi için ısı değiştiricilerine (eşanjör) ihtiyaç duyulmaktadır ve sistem kapalı devre yapılmaktadır. Jeotermal akışkandan sistem zarar görmeyecekse, jeotermal akışkan ısı eşanjörüne gerek duyulmadan direkt olarak ısıtma sisteminde dolaştırılır (Köse, 2002)

*Jeotermal ısıtma sistemleri aşağıdaki dört ana bölümden oluşur (Köse, 2002)*

- 1- Kuyu Başı (Jeotermal Su Üretimi) : Dozajlama, üretim, pompalama (kuyu içi ve kuyu başı) ve gaz seperasyonu kısımlarını kapsamaktadır. Pompalama kuyunun artezyenik olup olmamasına ve kuyu başı basıncına bağlıdır.
- 2- Jeotermal Su Nakil (İletim) Hatları: Toprağa gömülü özel borularla 0.1-0.5 °C/km sıcaklık kaybı ile, teknik ve ekonomik şartlar uygun olduğu durumda, jeotermal su 150-200 km mesafeye taşınabilmektedir.
- 3- Jeotermal Merkez ve Dağıtım Şebekesi: Merkezde jeotermal suyun enerjisi özel olarak dizayn edilmiş 1-1.5 °C yaklaşım sıcaklığına sahip yüksek verimli eşanjörlerle kapalı çevrimde sirküle eden temiz suya aktarılmaktadır. Şartlara göre kuyu içi eşanjörü de uygulanmaktadır.
- 4- Jeotermal Suyun Reenjeksiyonu: Böylece rezervuar ömrü artmakta ve bor ve/veya tuzluluktan oluşabilecek muhtemel çevre kirliliğine engel olunmaktadır.

### *Jeotermal Elektrik Üretim Sistemleri*

Jeotermal elektrik santrallerinde kullanılan akışkanın yüksek veya orta entalpili olması gerekmektedir. Yüksek entalpili jeotermal akışkandan seperatörde elde edilen yüksek basınçlı buhar yanında dışarı atılan sıcak suyun daha düşük basınçta tekrar buharlaştırılmasıyla ek termal güç sağlanabilmektedir (Köse, 2002).



Jeotermal Enerji ile Elektrik Üretimi (EİE)

Jeotermal enerjiden ekonomik olarak elektrik üretimi aşağıdaki şartların sağlanması ile mümkündür (Köse, 2002);

- Jeotermal akışkanın yüksek sıcaklık ve entalpiye sahip olması (150 °C ve 150 cal/gr dan büyük),
- Jeotermal rezervuarın ekonomik derinlikte olması (3000 m'den az derinlik),
- Rezervuar hacminin yeterli olması ( $5 \times 10^9 \text{ m}^3 = 5 \text{ km}^3$  ten büyük olmalı),
- Kuyulardan yeterli akışkan üretimi için kuyularda yeterli permeabilitenin (jeotermal sızıntı, akış) olması,
- Yeter kalınlıkta örtü tabakanın bulunması ve rezervuarın meteorik sularla beslenmesi.

Çıkarılan jeotermal akışkanın haline bağlı olarak elektrik üretmek için farklı çevrimler kullanılır. Bunlar;

- 1- Kondensersiz ve Kondenserli Kuru Buhar Çevrimleri
- 2- Tek ve Çift Püskürtmeli Çevrimler
- 3- İkincil Çevrim
- 4- Birleşik Püskürtmeli İkincil Çevrim

#### 4. 4. Dalga, Gel-Git Enerjileri

##### *Gel-Git (Med-Cezir) Enerjisi*

Dünyamızın uydusu olan Ay dünyamız etrafında dönmektedir. Ay'ın, Dünya'mızın ve Güneş'in kendilerine özgü özel çekimleri vardır. Bu çekimler sonucu Dünya'daki deniz suları Ay'ın, Dünya'nın ve Güneş'in konumuna göre yörünge dengesini sağlamak için bu çekime uyarak yükselmekte ve alçalmaktadır. Bu yükseliş ve alçalış tonlarca suyu kapsamına almaktadır. Bu açıklamadan yola çıkarak gel-git ve akıntı enerjisi 'gel-git veya okyanus akıntısı nedeniyle yer değiştiren su kütlelerinin sahip olduğu kinetik veya potansiyel enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesidir' diyebiliriz.

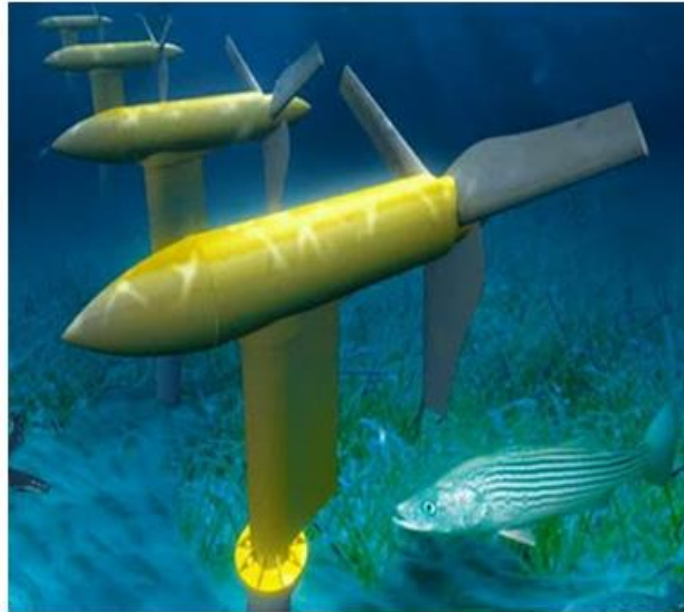
Bilinen en büyük gel-git Kanada'daki Fundy Körfezi'nde oluşur; burada 21 metre yüksekliğe kadar kabarmalar gözlenmiştir. Dünyanın belirli kesimlerinde bu yükseliş 15

metreyi bulmaktadır. İngiltere'deki Thames nehriindeki bu olay 4 metreye erişmektedir. Yeryüzünde bu büyüklükte gel-gitlerin bulunduğu yaklaşık kırk bölge vardır. Bilim adamları bu güçten yararlanarak suyun yükselmesinden dolayı meydana gelen akıntıdan ve yine alçalmasından meydana gelen ters yöndeki akıntıdan yararlanmışlar ve çok büyük kapasiteli elektrik jeneratörleri kurmuşlardır.

Gel-git (Med-Cezir) enerjisinin %8–25'i faydalı hale dönüştürülebilir. Med-cezir enerjisinden yararlanmak için sahillerin okyanusa açık olması gerekmektedir. Dolayısıyla Türkiye'de bu enerjiden faydalanma imkanı yok denecek kadar azdır. Çanakkale ve İstanbul boğazlarında deniz akıntıları mevcutsa da, boğazlardaki yoğun deniz trafiği bu enerjinin kullanılma imkanını ortadan kaldırmaktadır.

Gel-gitlerden enerji elde etmek için birkaç farklı yöntem vardır. Bunları şöyle sıralayabiliriz.

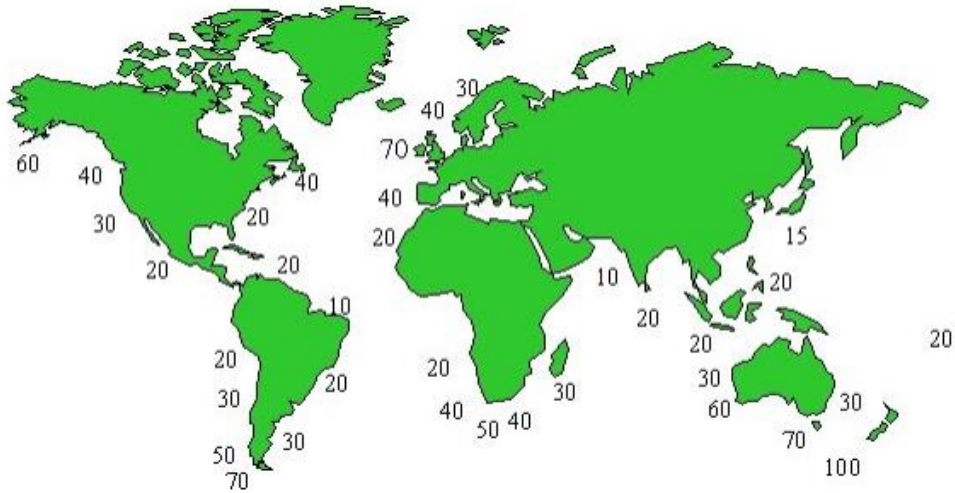
- Körfeze boydan boya baraj veya barikat kurarak gel-gitler sıkıştırılır. Gel-git, barajın diğer tarafında yeterli su seviye farkını ürettiğinde geçitler açılır ve su türbinlere doğru akarak türbinlerin elektrik jeneratörleri vasıtasıyla elektrik üretmesi sağlanır.
- Bir diğer gel-git teknolojisi olarak da gelgit çitleri tasarlanmaktadır. Gel-git çitleri, dev turnikeleri andırır. Bu turnikeler gel-gitler meydana geldiğinde dönerek enerji üreteceklerdir. Henüz dünyanın hiçbir yerinde gelişmiş gel-git çitleri yoktur, ancak Filipinler'de bu teknoloji için planlar yapılmaktadır.
- Gel-git enerjisinden yararlanmak için tasarlanan bir diğer yöntem ise suyun altına yerleştirilecek sualtı türbinleridir. Avrupa Birliği yetkilileri Avrupa'da bu iş için uygun 106bölge tespit etmişlerdir. Ayrıca Filipinler, Endonezya, Çin ve Japonya'da gelecekte geliştirilebilecek sualtı türbini alanlarına sahiptirler.



Basit Bir Sualtı Türbini

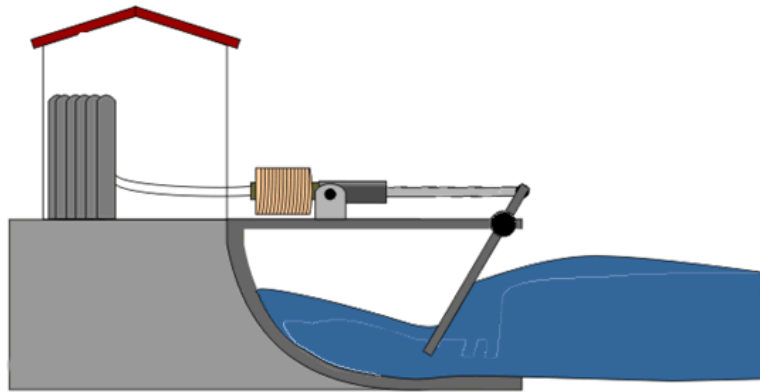
## Dalga Enerjisi

Archimedes prensibi ve yerçekimi arasında ortaya çıkan büyük güç dalga enerjisidir. Dalga enerjisi en çok önerilen yenilenebilir teknolojilerden biridir. Sadece büyük bir enerji kaynağı değildir, aynı zamanda birçok yenilenebilir enerji kaynağından daha güvenilirdir. Güneş ve rüzgar zamanın %20-30'unda temin edilebilirken dalga gücü zamanın %90'ında elde edilebilir durumdadır. Temiz, ucuz ve doğal enerji kaynağı olan, doğal dengeyi koruyan, solunabilir temiz havayı sağlayan, ülke ekonomisine destek olan dalga enerjisi üç yanı denizlerle çevrili ülkemizde yararlanılması gereken yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir (Pelc et al., 2002).



Dalga Gücü Seviyesinin Dünyada Dağılımı (kW/m Tepe Yüksekliği) (Thorpe, 2001)

Dalga enerjisi dönüştürme teknolojileri kıyı boyunca, kıyıya yakın ve kıyıdan 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 artmıştır (Tezcan, DALGA ENERJİSİ).



Basit Bir Dalga Enerjisinden Elektrik Üretim Sistemi

## *Dalga Enerjisinin Dünya ve Türkiye'deki Durumu*

Dünya genelinde, elektrik üretiminde dalga enerjisi potansiyeli 2000 TWh/yıl olarak tahmin edilmektedir. Dünya elektrik tüketiminin %10'nuna karşılık gelen bu değerın yatırım maliyeti 820 milyar EURO'dur (Wave Energy Utilization in Europa, 2003).

Dünya'da ilk ticari dalga enerji tesisi Limpet 500, 2000 yılında İskoçya'nın İsla adasında kurulmuştur ve Kasım 2000'in sonlarından beri de İngiltere'nin şebekesine güç sağlamaktadır. Limpet 500 0,5MW kapasiteli ve Wavegen tarafından tasarlanmış bir tesistir. Ayrıca İskoçya'nın Edinburgh Okyanus Güç Dağıtım Şirketi İslay'da küçük (200 evin gücünü karşılayacak), kıyıdan uzak uygulanan dalga enerji sistemi inşa etmiştir. İnşaat 2002 yılında bitmiştir. Tesisin yılda 2,5 milyon kWh elektrik üretmesi hedeflenmiştir. Bu şirket ayrıca İskoçya'nın desteği ile toplam kapasitesi 700 MW olan 900 cihazı kurarak 2,5 milyon kWh/yıl'dan fazla üretim yapmayı planlamaktadır (Pelc et al., 2002).

Türkiye'de Marmara denizi dışında açık deniz kıyıları 8210 km'yi bulmasına rağmen dalga rasatları ve bunlara ilişkin ölçüm verileri yoktur. Dalga cephesinin gücü, Akdeniz kıyıları için ortalama 13 kW/m olarak verilmektedir. Türkiye dışında Akdeniz'de yapılmış ölçümler, bu gücün yıl boyu 8,4-15,5 kW/m arasında değiştiğini göstermiştir. İç denizlerde daha da düşebilmektedir. Türkiye kıyılarının beşte birinden yararlanılarak sağlanabilecek dalga enerjisi teknik potansiyeli 18,5 milyar kWh olarak kestirilmektedir. Ancak dalga enerjisinin kullanılması, Türkiye'nin gündemine henüz girmemiştir (Tezcan, DALGA ENERJİSİ).

## *Dalga Enerjisi ve Çevresel Etkileri(Tezcan, DALGA ENERJİSİ)*

Dalga enerjisi üretim sistemlerinin çevresel etkileri şu şekilde verilebilir:

- Bu sistemler hidrodinamik çevre üzerinde etkili olabilmektedir. Özellikle sedimentlerin akış yollarının değişmesine neden olabilirler. Dalga ve akımlardaki değişim yüzeye yakın yaşayan türleri doğrudan etkiler. Bu durum dikkatli yer seçimi gerektirmektedir (Wave Energy).
- Özellikle kıyı şeridi ve kıyıya yakın uygulamalarda Wells türbinlerinden kaynaklanan gürültü kirliliği söz konusu olabilir. Bu yüzden yapılar ses geçirmez özellikte olmalıdır.
- Kıyıdan uzak uygulamalar denizcilik için tehlike oluşturabilirler. Ancak, uygun görsel ve radar uyarı sistemlerinin enerji sistemine yerleştirilmesi ile tehlike azaltılabilir.
- Kıyı şeridi ve kıyıya yakın uygulamalar estetiksel açıdan olumsuz etki yaratabilir. Ayrıca kıyıya ve şebekeye elektrik iletim hatları da birtakım çevresel ve estetiksel etkiler yaratabilir.
- Su yüzeyinin büyük bir kısmının dalga enerji sistemleri ile kaplanması deniz yaşamına zarar verirken, aynı zamanda atmosferle teması engellediği için daha büyük etkiler de yaratabilir (Pelc, 2002).



- Dalga enerji tesisleri, dalgakıran gibi davrandığı için denizi durgunlaştırır. Bu birçok limanda istenen etki olmasına rağmen denizin üst tabakasının karışımını yavaşlatması deniz yaşamını ve balıkçılığı ters yönde etkiler. Bu olay yüzeyin çok altında yaşayan balıkları doğrudan etkilemese de azalan karışımdan dolayı yüzeydeki üretim değişir ve otçul popülasyonun yiyecek temini azalır (Pelc, 2002).

Bu olumsuz etkilerin yanı sıra dalga enerji sistemleri birçok çevresel avantajlara sahiptir. Bunlar;

- Temiz ve sonsuz bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Denize bıraktığı hiçbir fiziksel, kimyasal ve organik kirleticisi yoktur. Ancak sistemlerin inşası sırasında bir miktar emisyon açığa çıkmaktadır.
- Dalga enerji sistemleri durgun su oluştururlar ve böylece kano ve dalma gibi su sporları yapılabilir.
- Birçok ülkede denizlerdeki canlıların saklanabileceği ve üreyebileceği yerler oluşturmak için ekonomik ömrü dolmuş gemiler batırılarak, barınaklar oluşturmaktadır. Dalga enerji sistemleri çeşitli deniz canlıları için yapay bir habitat oluşturur ve deniz içinde değişik türdeki canlı popülasyonlarının gelişmesini destekleyebilir.
- Ayrıca, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltacak yüksek bir potansiyele sahiptir ve aynı zamanda çevresel olarak daha zararsızdır.
- Deniz üzerinde kurulduğu için tarım alanlarının korunmasını sağlar, ormanların kesilmesini önleyerek ekolojik dengeye olumlu yönde katkı sağlar.

#### 4. 5. Bio-Kütle ve Teknolojileri

Biyokütle terimi, bir türe veya çeşitli türlerden oluşan bir topluma ait yaşayan organizmaların belirli bir zamanda sahip oldukları toplam kütle miktarı olarak tanımlanabilir. Orman alanlarında yer alan ağaç ve ağaççıkların kök, gövde ve dal odunu ile birlikte odunsu olmayan kabuk ve yapraklarından oluşan bütüne orman biyokütlesi adı verilmektedir. Böylece biyokütle, ormanın ölçülen zamandaki kapasitesini ifade etmektedir (Alemdağ, 1980). Dünya üzerinde yer alan biyokütlenin yaklaşık %90'ının ormanlardaki gövdeler, dallar, yapraklar ve döküntü maddeleri ile yaşayan hayvanlar ve mikroorganizmalardan oluştuğu ve dünya ormanlarının yıllık net biyolojik üretiminin yaklaşık  $50 \times 10^{19}$  ton olduğu tahmin edilmektedir. Bu üretim miktarı; ziraat alanları, çayırıklar, otlaklar, stepler, tundralar ve geri kalan vejetasyon formlarında fotosentez ile oluşan bütün birincil biyokütle miktarlarından daha fazladır (Saraçoğlu, 2006).

Biyokütleden elde edilen enerjiye ise biyokütle enerjisi denilmektedir. Biyokütle enerjisini klasik ve modern anlamda olmak üzere iki grupta ele almak mümkündür. Birincisi; konvansiyonel ormanlardan elde edilen yakacak odun ve yine yakacak olarak kullanılan bitki ve hayvan atıklarından (tezek gibi) oluşur. İkincisi yani modern biyokütle enerjisi ise; enerji ormancılığı ve orman-ağaç endüstrisi atıkları, tarım kesimindeki bitkisel atıklar, kentsel atıklar, tarıma dayalı endüstri atıkları olarak sıralanır. Günümüzde enerji tarımı adını verdiğimiz bir tarım türü oluşmuştur. Bu tarım türünde C4 adı verilen bitkiler (Şeker kamışı,

mısır, tatlı darı, vb.) yetiştirilmektedir. Bu bitkiler suyu ve karbondioksiti verimli kullanan, kuraklığa dayanıklı verimi yüksek bitkilerdir (Anonim, 2011b).

Biyokütleden enerji yanında, mobilya, kağıt, yalıtım maddesi yapımı gibi daha bir çok alanda yararlanılmaktadır. Enerji olarak kullanılmasında ise, katı, sıvı ve gaz yakıtlar elde etmek için çeşitli teknolojiler kullanılmaktadır. Biyo-etanol, biyo-gaz, biyo-dizel gibi yakıtların yanı sıra, yine biyokütleden elde edilen, gübre, hidrojen, metan ve odun briketi gibi daha birçok yakıt türü saymak olanaklıdır. Bu yakıtların elde edilmesinde termokimyasal ve biyokimyasal olarak sınıflanabilen yeni teknikler geliştirilmiş ve yıllar içinde verimlilikleri artırılmıştır. Önümüzdeki yıllarda bu teknolojilerde yeni gelişmelerin yanında, yalnız biyokütle kaynağıyla çalışan büyük termik santrallerin yapımı planlanmaktadır. İsveç ve Finlandiya gibi ülkelerde bölgesel biyokütle santralleri ile elektrik üretimi yapılmakta olup yeni santrallerin yapımı sürmektedir ( Anonim, 2011c).

Halen elde edilmekte olan biyokütle enerjisinin; % 64'ü orman bakım ve üretim çalışmalarında ortaya çıkan ince çaplı materyaller, orman endüstrisinde oluşan talaş ve yongalar, kullanılmayan (hurda) odunlar olmak üzere, orman ve odun atıklarından,% 24'ü belediye katı atıklarından (çöplerden),% 5'i tarımsal bitki ve artıkları, sert meyve kabukları (zeytin çekirdeği ve posası, fındık v.b. kabukları) gibi tarımsal atıklardan, % 5'i ise deponigazlardan üretilmektedir (OGM, 2009). Şekil 41' de biyokütlenin elde edildiği yerler, çevrim teknikleri, bu teknikler sonucu elde edilen yakıtlar ve bunların kullanım alanları verilmiştir.

Biyokütle	Çevrim Yön.	Yakıtlar	Uygulama alanları
• Orman artıkları	Havasız Çürütme	Biyogaz	Elektrik üretimi, ısınma
• Tarım atıkları	Piroliz	Etanol	Isınma, ulaşım araçları
• Enerji bitkileri	Doğrudan yakma	Hidrojen	Isınma
• Hayvansal atıklar	Fermantasyon, havasız çürütme	Metan	Ulaşım araçları, ısınma
• Çöpler (organik)	Gazlaştırma	Metanol	Uçaklar
• Algler	Hidroliz		Sentetik yağ Raketler
• Enerji ormanları	Biyofotoliz	Motorin	Ürün kurutma
• Bitkisel ve Hayvansal yağlar	Esterleşme reaksiyonu	Motorin	Ulaşım araçları, ısınma, seracılık

Biyokütle kaynakları kullanılan çevrim teknikleri, bu teknikler kullanılarak elde edilen yakıtlar ve uygulama alanları (Anonim, 2011a).

### *Türkiye'nin Biyokütle Potansiyeli*

Türkiye'nin orman alanı %27 oranı ile 20,7 milyon hektar alan kapsamaktadır. Orman alanlarının tamamı verimli orman niteliğinde olmayıp, ürün verebilen orman alanı 9,9 milyon hektar (%48) dır. Geriye kalan 10,8 milyon hektar (%52) orman alanı ise verim gücü düşük ormanlardan ya da tamamen verimsiz bozuk, makilik ve çalılıklardan oluşmaktadır. Ülkemizde orman varlığının %31'ine karşılık gelen 6,4 milyon hektarlık alan baltalık

(normal, bozuk, çok bozuk) ormandır. Bunun 4 milyon hektarlık çok bozuk baltalık orman alanının enerji ormancılığına konu olabileceği söylenebilir (Saraçoğlu, 2001).



Orman Bölge Müdürlükleri Bazında Biyokütleye Konu Edilebilecek Odun Üretim Miktarı (m<sup>3</sup>) (Orman Genel Müdürlüğü)

Ülkemizde yakacak odun sorununa çözüm olarak enerji ormancılığı konusuna el atılmış, enerji ormanı oluşturmaya elverişli 4 milyon hektar bozuk, 1 milyon hektar verimli olmak üzere 5 milyon hektarlık alan varlığı resmi raporlara geçmiştir. Bununla beraber, bazı pilot çalışmaların dışında enerji ormancılığı geliştirilememiştir. Hayvan gübresinin tezek olarak yakılmasının önüne geçmek için, biyogaz projesi başlatılmış, pilot uygulamalar yapılmış, 2,8-3,9 milyar m<sup>3</sup> ile 1,4-2 MTEP (milyon ton eşdeğer petrol) kadar enerji sağlayabilecek biyogaz potansiyeli belirlenmiş, ama bu proje 1984 yılından sonra terk edilmiştir. Benzine alkol katılması, 1970'li yıllarda petrol krizlerinin ardından gündeme gelmişse de enerji tarımı üzerinde hiç durulmamıştır. Modern biyokütle teknikleri ile sentetik yakıt konusuna el atıldığı söylenemez (Anonim, 2011d).

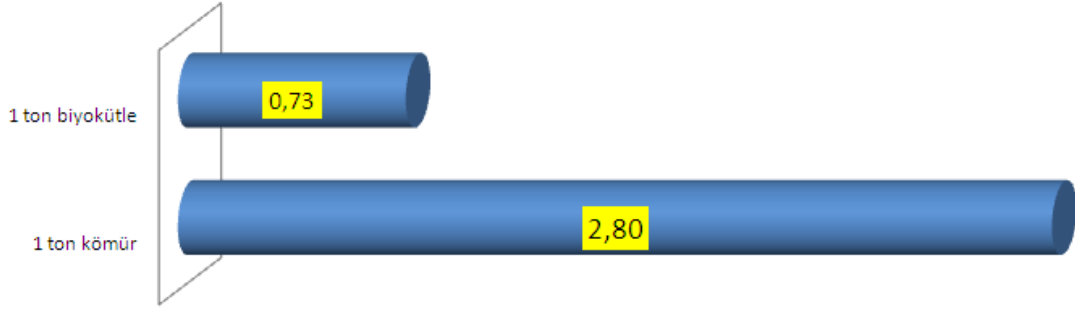
Türkiye'de yılda 50-65 MTEP (milyon ton eşdeğer petrol) tarımsal atık ve 11,05 MTEP hayvansal atık üretilmesine rağmen, üretilen bu atıkların sadece %60'ı enerji üretimi için kullanılabilir niteliktedir. Bu tarımsal ve hayvansal atıklardan elde edilecek enerjinin Türkiye'nin yıllık enerji tüketiminin %22-27'sine eşit olduğu bilinmektedir (Doğan, 2000). Buna rağmen ülkemizde enerji politikalarında yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek ve bu konularda teknolojiler geliştirmek yerine, enerji ihtiyacını ithalatla karşılama yoluna gidilmektedir (Karayılmazlar ve ark., 2011).

Tesis Adı	Yeri	Yakıt Cinsi	Isıl Kapasite (MW)	Üretilen Elektrik Miktarı (MW)	Yakıtın ort.alt ısı değeri (Kcal/kg)	Yakıt Tüketimi (kg/h)	Yapım Yılı
Paymar Yağ Sanayi A.Ş.	Hatay	Pamuk şifti, Asitli yağ, Kömür	8,3	-	2.500	3.800	2006
Trakya Birlik A.Ş.	Bursa	Ayçiçeği kabuğu, Kömür	5,5	-	2.800	2.140	2004
Çaykur-Pazar Çay Fabrikası	Rize	Çay çöpü, Kömür	10,4	-	2.000	5.650	2006
Akfa Çay Fabrikası	Giresun	Çay çöpü, Kömür	10,4	-	2.000	5.650	2007
Meray Yağ Fabrikası	Merzifon	Ayçiçeği kabuğu, Kömür	6,9	-	2.800	2.650	2008
Veziroköprü Orman Ürünleri	Samsun	Ağaç kabuğu, Talaş, Zımpara tozu, Kömür	2 x 12,5	-	3.200	2 x 4.100	2008
Oyka Kağıt Ambalaj A.Ş.	Çaycuma	Ağaç kabuğu, Talaş, kek, Kömür, Doğalgaz	28	6	3.200	8.850	2008
Gitaş Yağ Fabrikası	Konya	Ayçiçeği kabuğu, Kömür	6,6	-	2.800	2.250	2009
Marmara Tarımsal Yağ Fabrikası	Bandırma	Ayçiçeği kabuğu, Kömür	8,4	-	2.800	3.210	2007
Bat Oil Factory	Gürcistan	Ayçiçeği kabuğu	8,4	-	2.800	3.210	2008

MİMSAN Firması Tarafından Türkiye’de Kurulan Biyokütle Santralleri (Saraçoğlu, 2010).

Biyokütlenin Avantajları (Karayılmazlar ve ark., 2011);

- Hemen her yerde yetiştirilebilmesi
- Üretim ve çevrim teknolojilerinin iyi bilinmesi
- Her ölçekte enerji verimi için uygun olması
- Düşük ışık şiddetlerinin yeterli olması
- Depolanabilir olması
- 5-35 °C arasında sıcaklık gerektirmesi
- Sosyo-ekonomik gelişmelerde önemli olması
- Çevre kirliliği oluşturmaması



1 Ton Biyokütle ile 1 ton Kömürün CO<sub>2</sub> Salınımları (ton) (Orman Genel Müdürlüğü)

Biyokütlenin Dezavantajları (Karayılmazlar ve ark., 2011);

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

#### *Şehir Çöplerinden Biyogaz Üretimi ve Çöplük Tesisleri*

Ülkemizde yıllık kişi başına çöp miktarı 250-400 kg'dır. Bu değere göre yılda ortalama 28 milyon ton çöpün % 95'i çöplüklerde birikmektedir. Çöplüklerin biyogaz üretilebilir şekilde düzenlenmesiyle 1 ton çöpden 15-20 yıllık bir süreçte 150-200 m<sup>3</sup> gaz üretilebilecektir. Buna göre 1 ton çöpden yılda yaklaşık 10 m<sup>3</sup> biyogaz ve ülkemizdeki toplam çöplerden 266 milyon m<sup>3</sup> biyogaz üretilebilecektir (Köse,2002).

Çöplük tesislerinden üretilen biyogazın birleşimi % 40-50 metan (CH<sub>4</sub>) % 35-40 CO<sub>2</sub> ve % 5-10 N<sub>2</sub> ve gazın alt ısıl değeri ise 14400 kJ/Nm<sup>3</sup> olmaktadır (Köse, 2002).

Türkiye' de Bazı Çöp Biyogazı ve Elektrik Üretimi

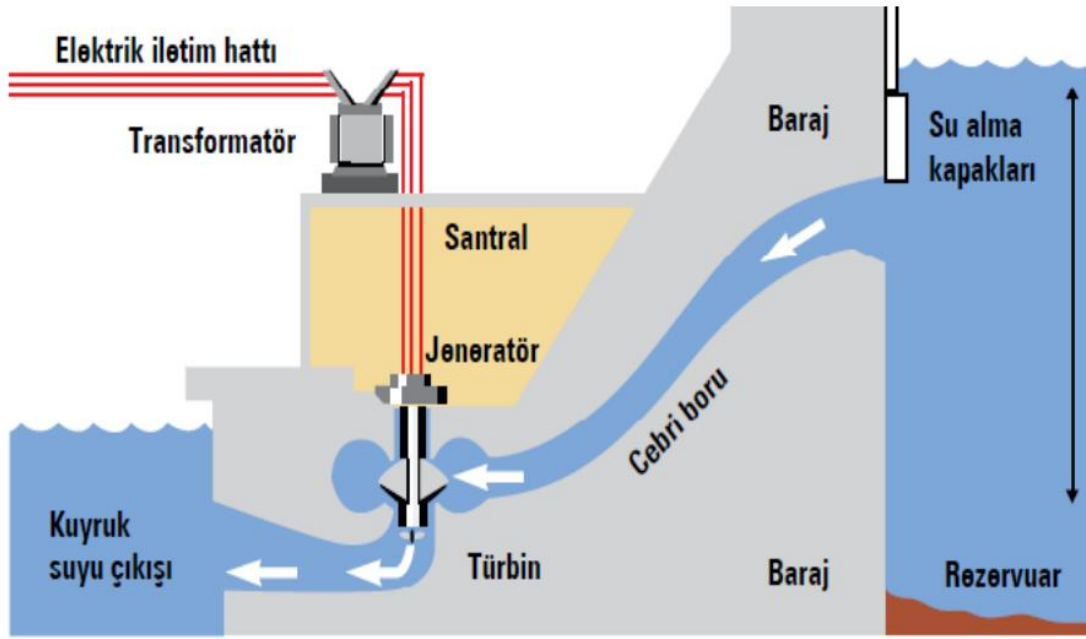
- Bursa Demirtaş çöp sahasından biyogaz üretimi
- Mamak çöp sahasından elektrik üretimi
- Konya çöp sahasından elektrik üretimi
- Afyon çöp sahasından elektrik üretimi
- Bolu çöp sahasından elektrik üretimi
- Kemerburgaz çöp sahasından elektrik üretimi vb.

#### 4. 6. Hidrolik enerji

Hidrolik enerji suyun basınç ve hız etkisinden faydalanarak su türbinleri vasıtası ile mekanik enerji elde edilmesidir. Hidrolik su enerjisi tarih öncesi devirlerden bu yana insanlar tarafından su çarkları ve su değirmenlerinde kullanılmıştır. 19. y.y.'dan itibaren su türbinleri geliştirilerek, günümüzde modern su türbinleri ile suyun hidrolik gücü daha yüksek verimle mekanik ve elektrik enerjisine dönüştürülmektedir (Köse, 2002).

Deniz, göl veya nehirlerdeki sular, güneş enerjisi ile buharlaşmakta, oluşan su buharı rüzgârın etkisiyle de sürüklenerek atmosferik şartlarda yoğunlaşarak yağmur veya kar halinde yeryüzüne yağış olarak düşmekte ve nehirleri beslemektedir. Böylelikle hidrolik enerji

kendini sürekli yenileyen bir enerji kaynağı olmaktadır. Hidroelektrik enerji üretimi ise suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi ile sağlanmaktadır.

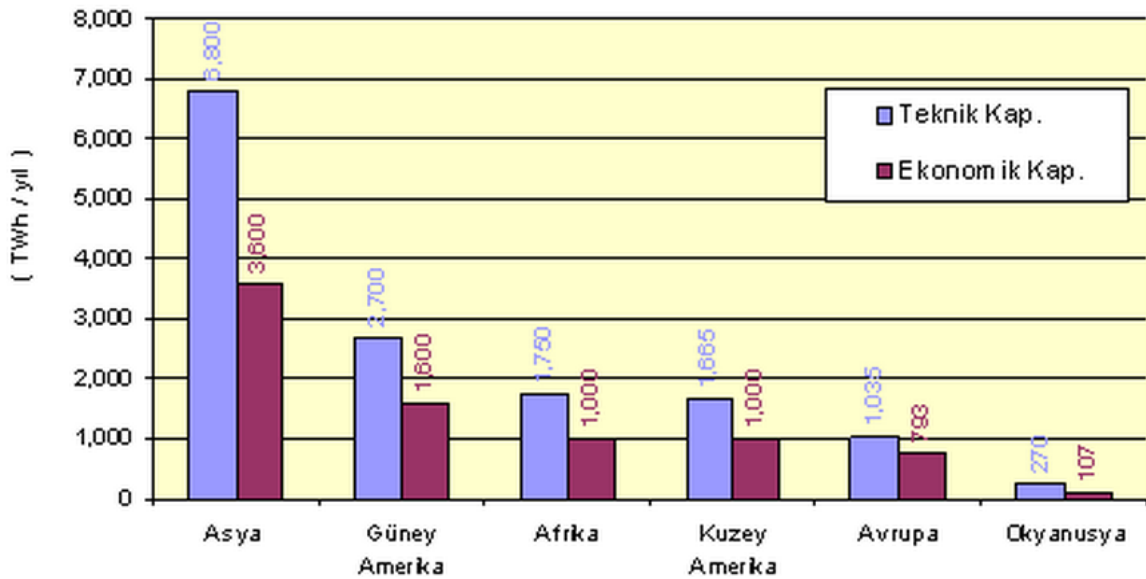


Hidroelektrik Enerji Üretimi (HES Raporu)

### Dünya'daki Hidroelektrik Potansiyel

International Hydropower Association (IHA)'nın çalışmalarında, Dünyanın teknik hidroelektrik kapasitesi 14,2 trilyon kWh/yıl olarak hesap edilmektedir. Ekonomik hidroelektrik kapasite ise 8,1 trilyon kWh/yıl dır.

( Dünya Toplamı 14,220 / 8,100 TWh/yıl )



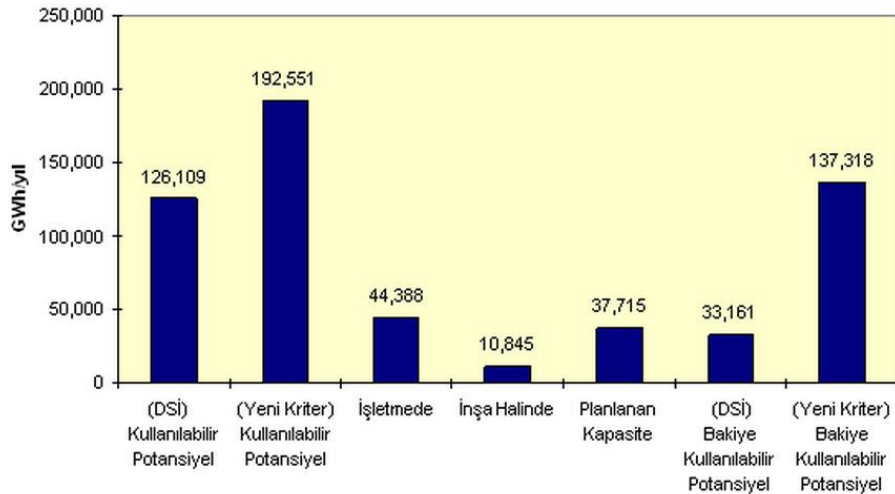
Dünya'nın Teknik ve Ekonomik Potansiyeli (ARMAN, Hidroelektrik Potansiyel ve Sorunları)

KITA	İşletmedeki Kurulu Güç		İnşa Halindeki Kurulu Güç		Planlanmış Kurulu Güç	
	MW	%	MW	%	MW	%
Asya	241,600	33.5%	68,600	78.0%	154,000	53.3%
Avrupa	175,600	24.4%	2,000	2.3%	8,400	2.9%
Kuzey Amerika	158,000	21.9%	4,000	4.5%	12,200	4.2%
Güney Amerika	111,500	15.5%	11,400	13.0%	38,500	13.3%
Okyanusya	13,300	1.8%	200	0.2%	900	0.3%
Afrika	20,600	2.9%	1,800	2.0%	74,800	25.9%
<b>TOPLAM</b>	<b>720,600</b>		<b>88,000</b>		<b>288,800</b>	

Dünya’da Mevcut, İnşa Halinde ve Planlanmış Hidroelektrik Santrallerin Kurulu Güç Dağılımı (ARMAN, Hidroelektrik Potansiyel ve Sorunları)

#### Türkiye’deki Hidroelektrik Potansiyel

Türkiye’ nin, deniz seviyesinden ortalama yüksekliği 1300 metre civarındadır. Yurdumuza düşen yıllık ortalama yağış 501 milyar m<sup>3</sup> ve bunun akarsulara dönüşen kısmının 186 milyar m<sup>3</sup> olduğu bilinmektedir. DSİ ve EİE tarafından, Türkiye’ nin mevcut 25 havzasında yapılan çalışmalar ve stokastik hesaplamalar neticesinde Türkiye’ nin teorik Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyeli brüt 433 milyar kWh/yıl, teknik potansiyel 250 milyar kWh/yıl, ekonomik elektrik enerji üretim potansiyeli 126 milyar kWh/yıl olarak belirlenmektedir. Bu rakamlarla, Türkiye, Dünya hidroelektrik potansiyeli içinde %1 payı ile sekizinci sırada gelmektedir. Teknik yapılabilir potansiyel olan 250 milyar kWh/yıl ile Avrupa potansiyelinin yaklaşık %20 si mertebesinde hidroelektrik potansiyele sahip bulunmaktadır. Bir başka açıdan baktığımızda Türkiye Avrupa hidrolik potansiyelinde Rusya ve Norveç’ ten sonra üçüncü sırada gelmektedir.



Türkiye’ nin Hidroelektrik Potansiyelinin Dağılımı (ARMAN, Hidroelektrik Potansiyel ve Sorunları)

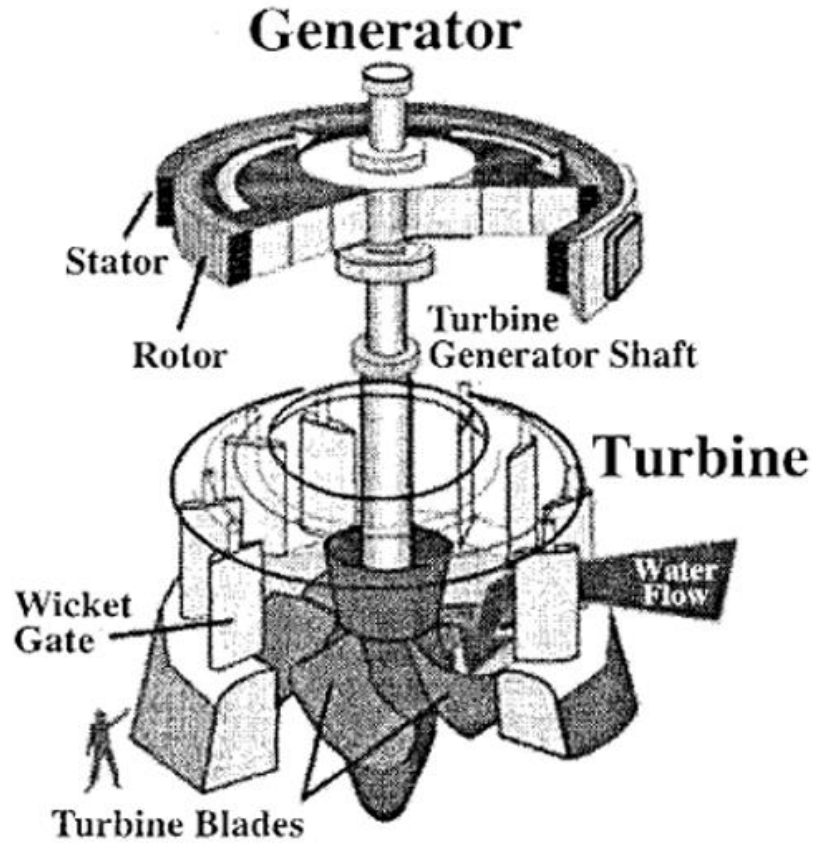
HAVZA	ORTALAMA AKIM	STOKASTİK HESAPLAŞMA (DSİ)				YENİ KRİTERLERLE HESAPLAMA			
		Teknik Potansiyel	Ekono Kullanılır Potansiyel	KURULU GÜÇ	Teknik Potans. Kullanma Oranı	Ekono. Kullanılır Potansiyel	KURULU GÜÇ	Teknik Potans. Kullanma Oranı	
		miyar m <sup>3</sup> /yıl	GWh/yıl	GWh/yıl	(MW)	%	(MW)	%	
Fırat	31.61	84,112	37,961	9,648	45.13%	46,267	11,713	55,00%	
Dicle	21.33	48,706	16,751	5,051	34.39%	24,353	6,165	50,00%	
Doğu Karadeniz	14.90	48,478	11,062	3,037	22.82%	24,239	6,136	50,00%	
Doğu Akdeniz	11.07	27,445	5,029	1,390	18.32%	12,350	3,127	45,00%	
Antalya	11.06	23,079	5,163	1,433	22.37%	9,231	2,337	40,00%	
Batı Karadeniz	9.93	17,914	2,176	624	12.15%	7,166	1,814	40,00%	
Batı Akdeniz	8.93	13,595	2,534	674	18.64%	6,118	1,550	45,00%	
Marmara	8.33	5,177	.....	.....	.....	.....	.....	.....	
Seyhan	8.01	20,875	7,571	2,001	36.27%	9,394	2,378	45,00%	
Ceyhan	7.18	22,163	4,652	1,413	20.99%	9,973	2,525	45,00%	
Kızılırmak	6.48	19,552	6,320	2,094	32.32%	7,821	1,980	40,00%	
Sakarya	6.40	11,335	2,373	1,096	20.94%	4,534	1,133	40,00%	
Çoruh	6.30	22,601	10,540	3,134	46.64%	12,431	3,108	55,00%	
Yeşilirmak	5.80	18,685	5,297	1,259	28.35%	8,408	2,129	45,00%	
Susurluk	5.43	10,573	1,602	507	15.15%	2,643	669	25,00%	
Araş	4.63	13,114	2,287	588	17.44%	5,901	1,494	45,00%	
Konya Kapalı Havz.	4.53	1,218	104	32	8.54%	104	32	8,54%	
Büyük Menderes	3.03	6,263	831	221	13.27%	831	221	13,27%	
Van Gölü Kap. Havz.	2.39	2,593	257	62	9.91%	257	62	9,91%	
Kuzey Ege	2.09	2,882	42	16	1.46%	42	16	1,46%	
Gediz	1.95	3,916	243	94	6.21%	243	94	6,21%	
Meriç Ergene	1.33	1,000	.....	.....	.....	.....	.....	.....	
Küçük Menderes	1.19	1,375	143	48	10.40%	143	48	10,40%	
Asi	1.17	4,897	102	37	2.08%	102	37	2,08%	
Burdur Göller Böl. Havz.	0.50	885	.....	.....	.....	.....	.....	.....	
Akarçay	0.49	543	.....	.....	.....	.....	.....	.....	
<b>Türkiye Toplamı</b>	<b>186.06</b>	<b>432,976</b>	<b>126,109</b>	<b>35,529</b>	<b>29.13%</b>	<b>192,551</b>	<b>48,768</b>	<b>44,47%</b>	

Türkiye'nin Hidroelektrik Potansiyelinin Havzalara Dağılımı (ARMAN, Hidroelektrik Potansiyel ve Sorunları)



## Hidroelektrik Santrallerde Kullanılan Türbinler

Hidroelektrik santrallerde türbinlerin ayrı bir önemi vardır. Türbinlerin bir çok çeşidi vardır. Türbinler; **impuls** ve **reaksiyon** türbinler olarak iki kategoride toplanmaktadır. İmpuls türbinler de kendi aralarında; Pelton, Turgo, Çapraz-akış, ve multi-jet Pelton olmak üzere dört kategoride incelenmektedir. Reaksiyon türbinleri de kendi aralarında; Francis, Pervaneli ve Kaplan türbinleri olmak üzere üç ayrı grupta incelenmektedir. Türbinler su yüksekliğine ve debisine göre tasarlanmaktadır. Yüksek su düşümlü projelerde Turo veya Pelton türbinleri seçilirken, orta yükseklikteki kaynaklar için; çapraz akış, multi-jet veya Francis türbinleri tercih edilmektedir. Düşük su düşüşüne sahip kaynaklar için çapraz-akış, pervaneli veya Kaplan su türbinleri tercih edilmektedir. Çapraz akışlı türbinler de Pelton ve Turgo'dan farklı olarak yatay şaftlı türbinlerdir. Çok yüksek düşük debili düşümlerde çapraz-akışlı türbinlerin özel uygulaması olan Ossberger türbinleri tercih edilmektedir. Ossberger türbinleri yatay konfigürasyonlu olup aşağıda gösterilmiştir. Su türbinleri, su kuvveti ile çalışan suyun potansiyel enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren dönel bir makinedir. Türbinler, akışkanın hidrolik enerjisini mekanik enerjiye çeviren makinelerdir. Tipik bir su türbini Şekil'de gösterilmiştir (Yerebakan, 2008).



Su türbini bileşenleri

## Hidroelektrik Santraller

Hidroelektrik santraller, ürettikleri güce göre aşağıdaki şekillerde isimlendirilmektedir.

Hidroelektrik Santral		Gücü (kW)
Büyük H.E.S.	>	10.000
Küçük H.E.S.		1001-10.000
Mini H.E.S.		101-1000

Mikro H.E.S.  $\leq$  100  
*Hidroelektrik Santral Tesisleri*

1. Depolamalı, yani yapay göllü (barajlı) veya tabii göllü santraller,
2. Depolamasız kanal veya nehir üzerine inşa edilmiş santraller şeklindedir.

Bu santraller aşağıdaki kısımlardan oluşurlar

- Baraj gövdesi ve su alma tesisleri
- Su iletim tesisleri (kanal, tünel, cebri boru gibi)
- Santral binası ve tesisleri (türbin, jeneratör, kontrol ünitesi)
- Santral akış suyu tesisleri ile boşaltma su tesisleri

## 5. NÜKLEER ENERJİ

Nükleer enerji, atomun çekirdeğinden elde edilen bir enerji türüdür. Kütlelerin enerjiye dönüşümünü ifade eden, Albert Einstein'a ait olan  $E=mc^2$  formülü ile ilişkilidir.

Bununla beraber, kütle-enerji denklemi, tepkimenin nasıl oluştuğunu açıklamaz, bunu daha doğru olarak nükleer kuvvetler yapar. Nükleer enerjiyi zorlanmış olarak ortaya çıkarmak ve diğer enerji tiplerine dönüştürmek için nükleer reaktörler kullanılır.

Nükleer enerji, üç nükleer reaksiyondan biri ile oluşur:

1. Füzyon: Atomik parçacıkların birleşme reaksiyonu.
2. Fizyon: Atom çekirdeğinin zorlanmış olarak parçalanması.
3. Yarılanma: Çekirdeğin parçalanarak daha kararlı hale geçmesi. Doğal (yavaş) fisyon (çekirdek parçalanması) olarak da tanımlanabilir.

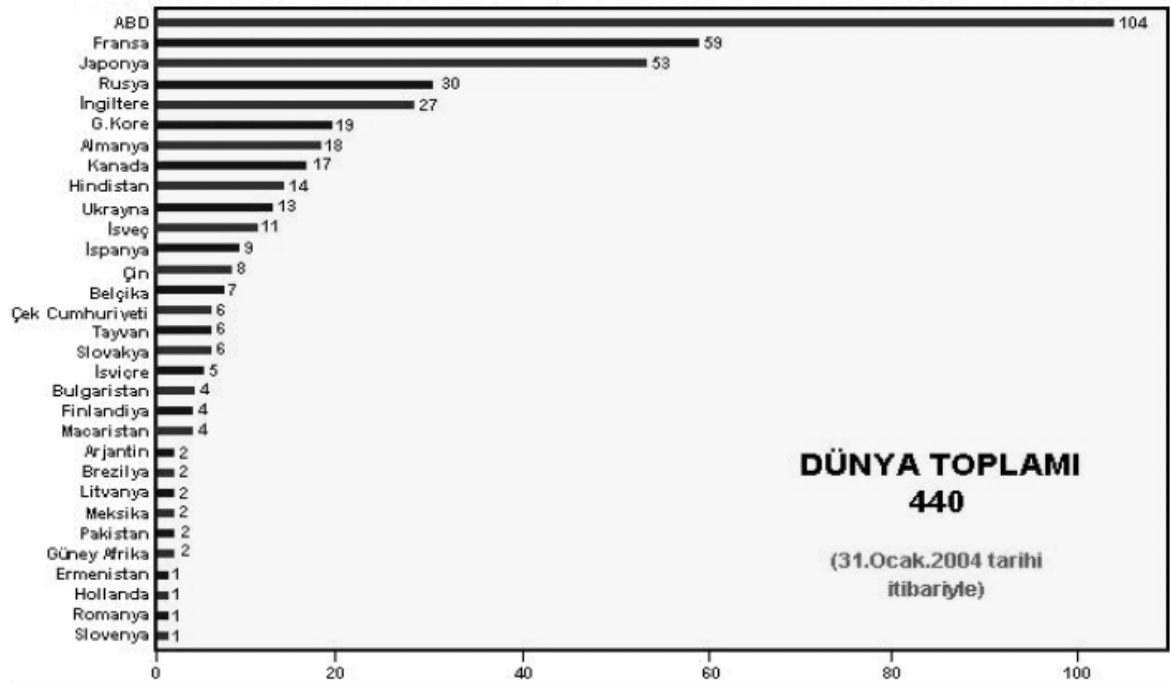
Nükleer enerji, 1896 yılında Fransız fizikçi Henri Becquerel tarafından kazara, uranyum maddesinin fotoğraf plakaları ile yan yana durması ve karanlıkta yayılan X-Ray ışınlarının farkedilmesi ile keşfedilmiştir (wikipedia.org).

Nükleer enerjinin elde edilmesi sırasında çeşitli maddeler açığa çıkmaktadır. Bunları; sıcaklık(termonükleer üniteyi çalıştırır), uranyum olmayan reaktör maddeleri, uranyum bileşikleri (bunlar sonradan işlenebilir), atıklar, parçalanma ürünleri ve radyasyon olarak sıralamak mümkündür (Temurçin ve Aliğaoğlu, 2003).

Nükleer enerjiyi önemli kılan parametreleri özetlemek gerekirse;

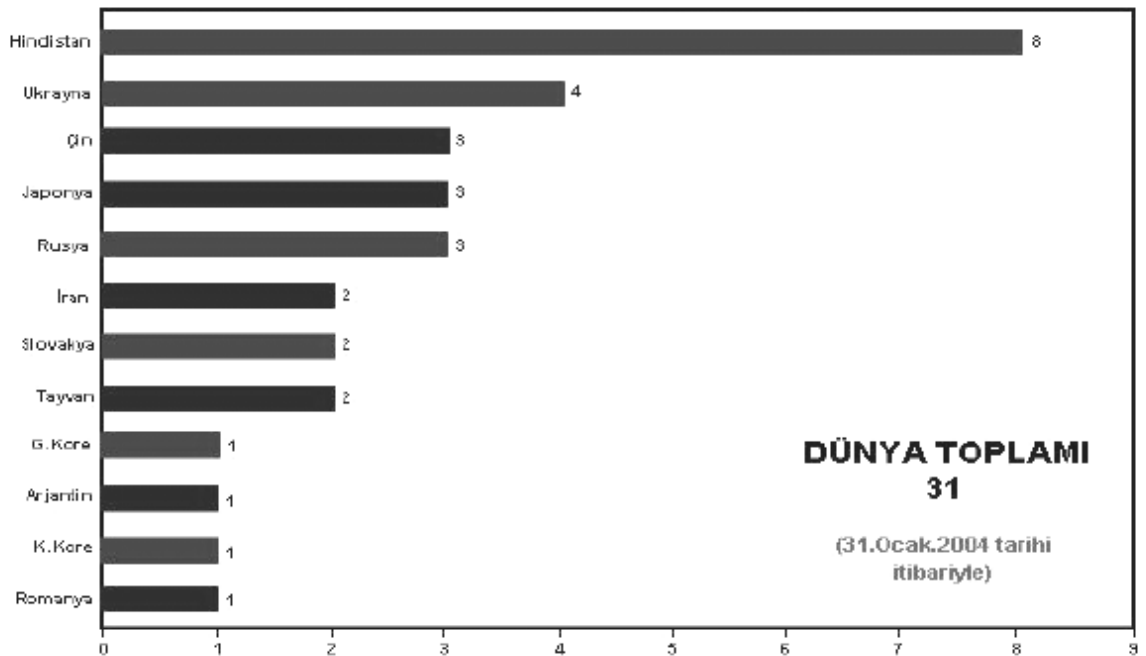
- 1 kg Nükleer Yakıt aynı miktardaki kimyasal yakıttan 100 milyon kat daha fazla enerji içerir
- Çevre dostu ve çevreye zararlı emisyonlar içermez ( $CO_2$ )
- Binlerce yıl tükenmeyecek yakıt mevcut (Şahin, 2010)

Nükleer enerji Dünya'nın gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerinde, planlamacıların ısrarla üzerinde durdukları ciddi bir seçenek olmayı sürdürmektedir. Bütün karşıt görüşlere rağmen Dünya'da nükleer santrallere olan eğilim artmaktadır. 1998 yılı sonunda dünya çapında 434 adet olan nükleer santrallerin sayısı 2003 yılı sonunda 440 olmuştur. Bunun en güzel örneğini Fransa, İsveç ve Belçika'da görmekteyiz. Fransa elektrik enerjisinin %76'sını nükleer santrallerden sağlamaktadır. Bugün Avrupa'da nükleer santraller her ne kadar durmuş veya kapatılıyor gibi gözükse de nükleer santrallerden elde edilen enerji göz ardı edilemeyecek kadar fazladır. Bugün Avrupa'da elektriğin %35'i nükleer santrallerden sağlanmaktadır. Dünya'da üretilen elektrik enerjisi miktarının %17'si nükleer santrallerden üretilmektedir. Bir başka deyişle yanan her 5 lambadan birinin enerjisi nükleer güç reaktörlerinden sağlanmaktadır. Mevcut işletmede bulunan nükleer santrallerin sayısı da hiç azımsanacak kadar değildir. 440 adet nükleer santral 31 ülkede faaliyet göstermektedir. Bu ülkelerin basını 1. sıra ile Amerika çekmektedir. Amerika'da nükleer enerjinin toplam üretilen enerjiye katkısı % 20'dir. Gerek duyulduğu takdirde nükleer santral inşa etmeğe de yasaları müsaittir (Serteller, 10. Enerji Kongresi).



Dünya'da İşletmedeki Nükleer Santraller

Halen kurulum aşamasında olan ülkelerin başında ise Hindistan 1. sırayı almaktadır. Bunun yanında Japonya nükleer enerjiyi en çok kullanan ve inşa halinde üç nükleer santrali bulunan bir ülke olarak bulunmaktadır. Özellikle 3. dünya ülkelerinin artan enerji talebini karşılamak için nükleer enerjiyi seçtiklerini ve kullandıklarını göstermektedir.

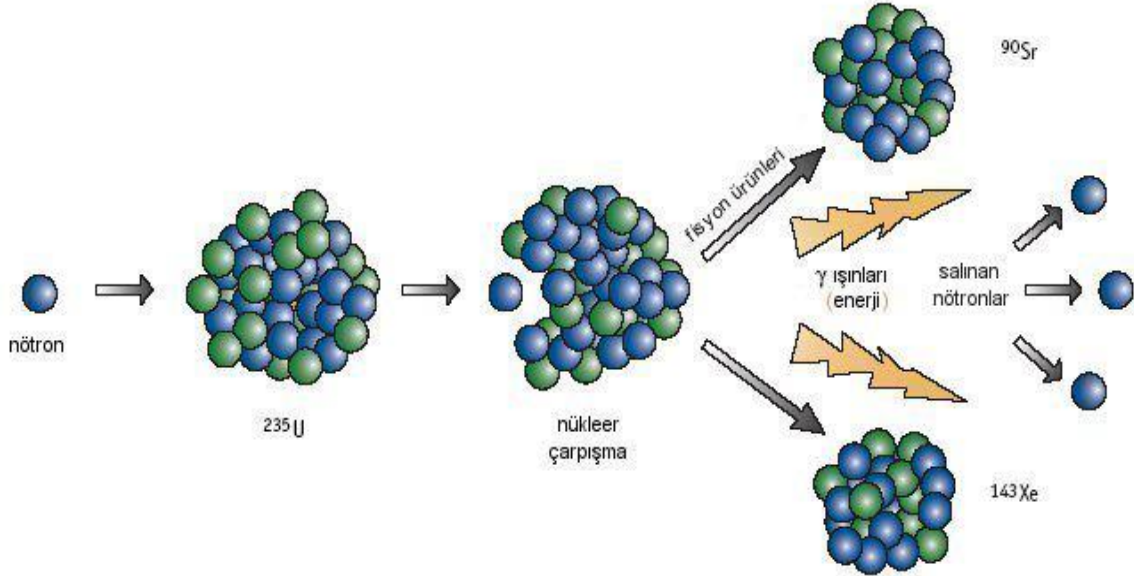


Dünya'da İnşaat Aşamasındaki Nükleer Santraller

## 5. 1. Fisyon

Fisyon adı verilen tepkime, evrendeki en kuvvetli güç olan ‘Güçlü Nükleer Kuvvet’ ile bir arada tutulan atom çekirdeğinin parçalanmasıdır. Fisyon tepkimesi deneylerinde kullanılan ana madde uranyumdur. Çünkü uranyum atomu en ağır atomlardan biridir. Diğer bir deyişle çekirdeğinde yüksek miktarda proton ve nötron bulunur.

Fisyon deneylerinde bilim adamları uranyum çekirdeğine, büyük bir hızla nötron göndermişler ve bunun sonunda çok ilginç bir durumla karşılaşmışlardır. Nötron, uranyum çekirdeği tarafından soğurulduktan sonra, uranyum çekirdeği çok kararsız duruma gelmiştir. Burada çekirdeğin kararsız olması demek, çekirdek içindeki proton ve nötron sayıları arasında fark oluşması ve bu nedenle çekirdekte bir dengesizliğin meydana gelmesi demektir. Bu durumda çekirdek, meydana gelen dengesizliği gidermek için belirli bir miktarda enerji yayarak parçalara bölünmeye başlar. Ortaya çıkan enerjinin etkisiyle de çekirdek, büyük bir hızla içinde barındırdığı parçaları fırlatmaya başlar. Deneylerden elde edilen bu sonuçlardan sonra ‘reaktör’ adı verilen özel ortamlarda nötronlar hızlandırılarak uranyum üzerine gönderilir. Fakat, nötronlar uranyum üzerine gelişigüzel değil, çok ince hesaplar yapılarak gönderilmektedir. Çünkü, uranyum atomu üzerine gönderilen herhangi bir nötronun uranyuma hemen ve istenilen noktada isabet etmesi gerekmektedir. Bu yüzden bu deneyler belli bir olasılık göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmektedir. Ne kadar büyük bir uranyum kütlesi kullanılacağı, uranyum üzerine ne kadarlık bir nötron demeti gönderileceği, nötronların uranyum kütlesini hangi hızla ve ne kadar süre bombardıman edeceği çok detaylı olarak hesaplanmaktadır.



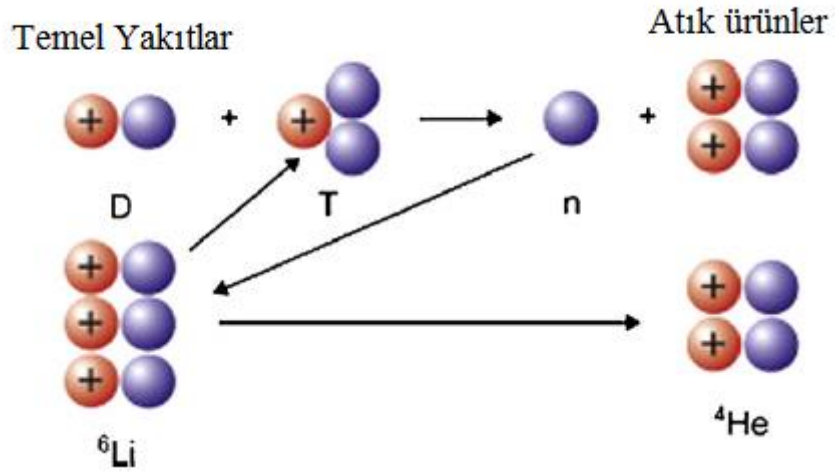
Bir Fisyon Tepkimesi (Önemli fisyon ürünleri: **Brom (Br), Sezyum (Cs), İyot (I), Kripton (Kr), Stronsiyum (Sr) ve Ksenon (Xe)**)

Tüm bu hesaplar yapıldıktan ve uygun ortam hazırlandıktan sonra hareket eden nötron, uranyum kütlesindeki atomların çekirdeklerine isabet edecek şekilde bombardıman edilir ve bu kütledeki atomlardan en azından birinin çekirdeğinin iki parçaya bölünmesi yeterlidir. Bu bölünmede çekirdeğin kütlesinden ortalama iki ya da üç nötron açığa çıkar. Açığa çıkan bu nötronlar kütledeki diğer uranyum çekirdeklerine çarparak zincirleme reaksiyon başlatırlar. Her yeni bölünen çekirdek de ilk baştaki uranyum çekirdeği gibi davranır. Böylece zincirleme çekirdek bölünmeleri gerçekleşir. Bu zincirleme hareketler sonucu çok sayıda uranyum çekirdeği parçalandığı için

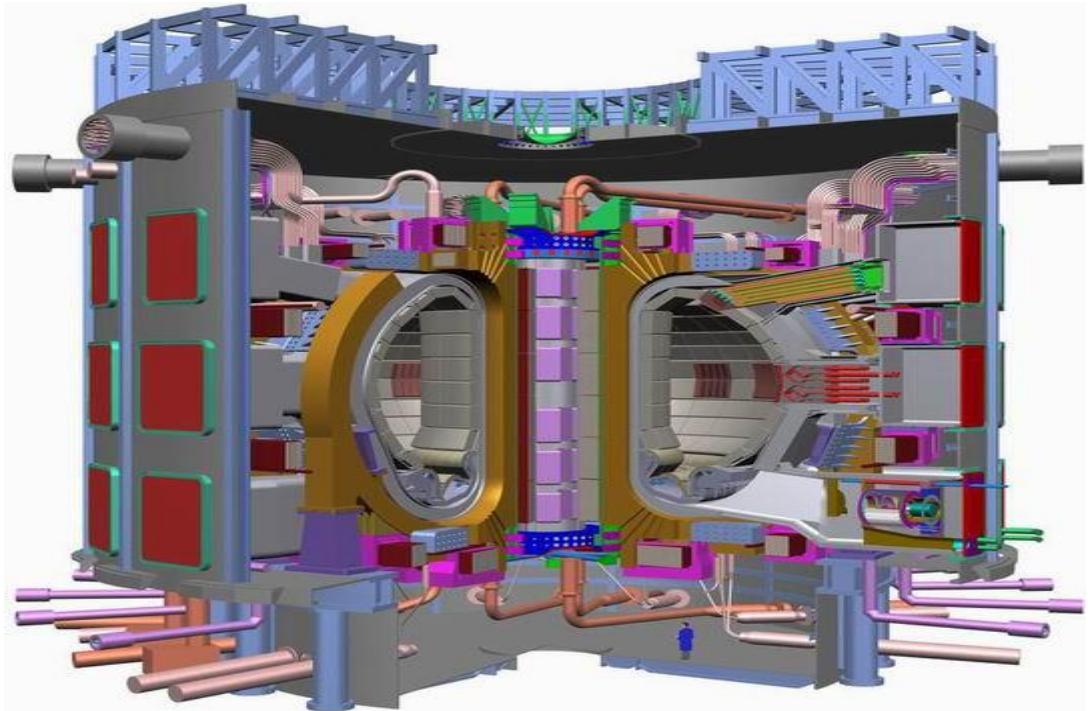
olağanüstü bir enerji açığa çıkar.

## 5. 2. Füzyon

Füzyonun temel aldığı nokta iki atom çekirdeğinin birleşerek çok çok büyük miktarda enerji çıkarmasıdır. Her atom çekirdeğinin öyle rastgele füzyon yapmamasının nedeni ise bu çekirdek birleşmesi için çok yüksek sıcaklıkların gerekmesidir. Zaten o sıcaklıklarda maddeler **plazma** halinde bulunmaktadır. Normal şartlarda plazma halinde bulunan atomlar bulunmadığına göre hayli zor bir enerji kaynağı olduğu anlaşılmaktadır. Reaksiyonun çok yüksek sıcaklık gerektirmesi ve sonucunda da çok büyük enerji üretmesi normal koşullarda füzyon'u gerçekleştirebilmek için **soğuk füzyon** kavramının ortaya atılmasına neden olmuştur. Fakat şu ana kadar reaktör kurulacak düzeyde hiçbir "soğuk füzyon" çeşidi geliştirilememiştir. O yüzden de mevcut tüm reaktörler füzyon ile çalışmaktadır.

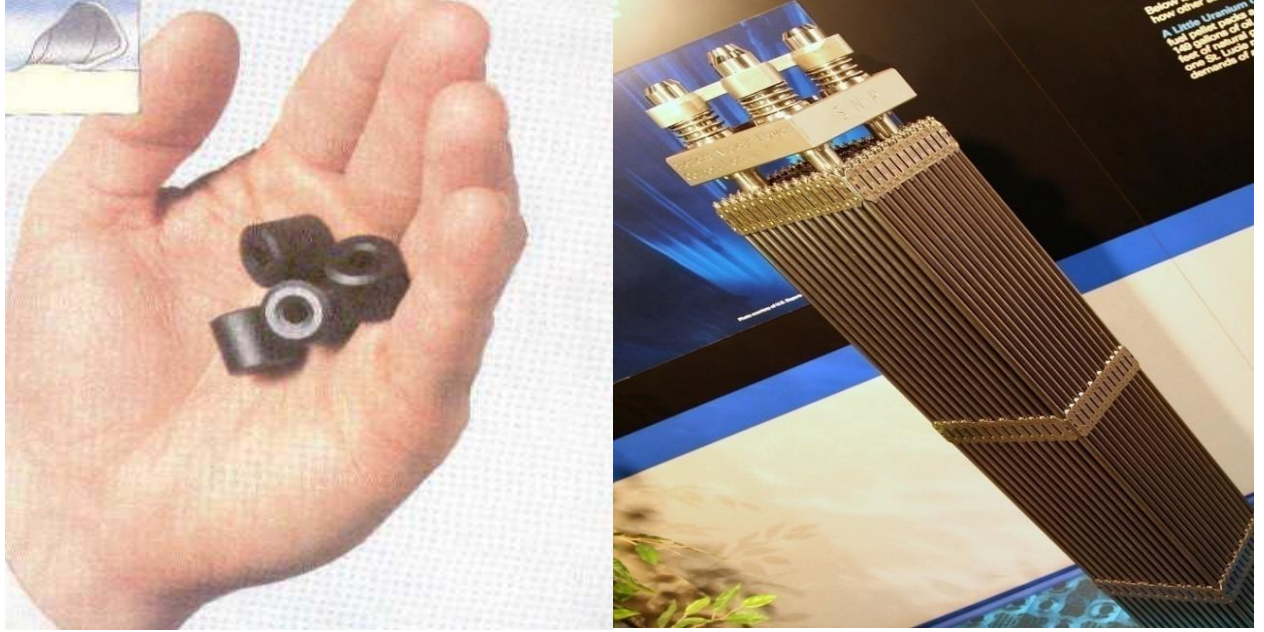


Bir Füzyon Tepkimesi (Döteryum ve Tritiyum)



Uluslararası Termonükleer Füzyon Deneysel Reaktörü (ITER)

### 5. 3. Nükleer Santraller



Yakıt Çubuğu

Kullanım amacına göre reaktörler

- Güç reaktörleri: Isı ve/veya elektrik elde etmek için
- Araştırma reaktörleri: Araştırma amacıyla ısı veya nötron akısı elde etmek için
- Üretim reaktörleri: Üretilen akı ile izotop üretimi yapmak için

Nötron enerjisine göre reaktörler

- Hızlı Reaktörler
- Termal Reaktörler

Soğutucusuna göre reaktörler

- Su soğutmalı reaktörler
  - Hafif sulu
  - Ağır sulu
- Gaz soğutmalı reaktörler
- Sıvı metal soğutmalı reaktörler

Yavaşlatıcısına (moderatör) göre reaktörler

- Su
- Ağır su
- Grafit
- Yavaşlatıcı gerektirmeyenler

## Kullanılan yakıtta göre reaktörler

- Doğal yakıt kullanan
- Zenginleştirilmiş yakıt kullanan

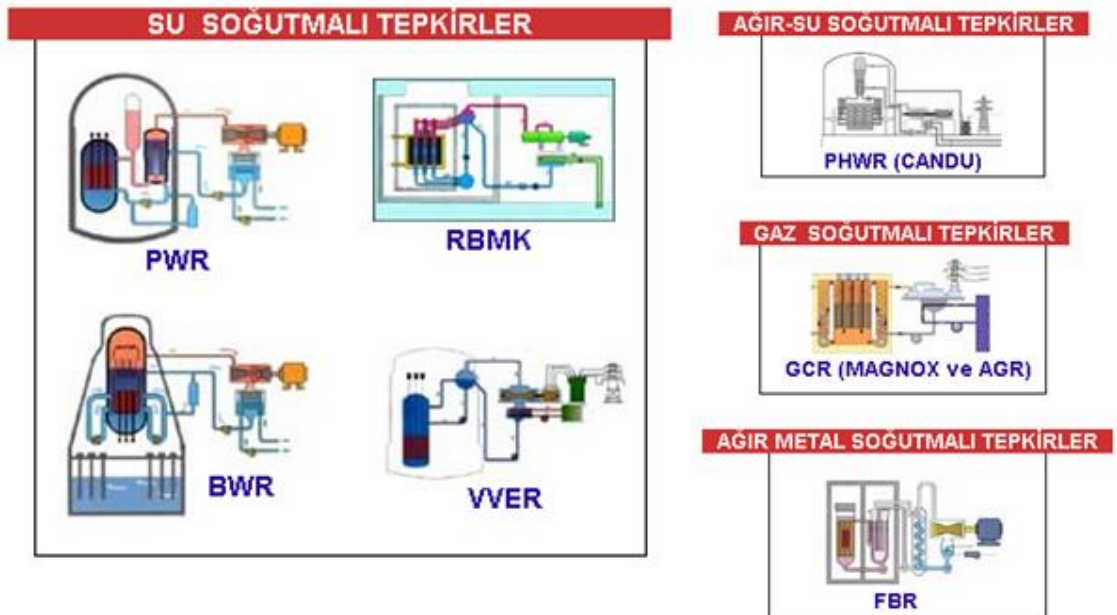
## Yaygın Güç Reaktörü Tipleri

- Basınçlı su reaktörü  
Pressurized water reactor (PWR)
- Kaynar sulu reaktör  
Boiling water reactor (BWR)
- CANDU basınçlı ağır su reaktörü  
CANDU Pressurized heavy water reactor (PHWR)
- Gaz soğutmalı reaktör  
Gas cooled reactor (GCR)
- Hafif su soğutmalı grafit yavaşlatıcılı reaktör  
Light water cooled graphite moderated reactor (LWGR)
- Hızlı üretken reaktör  
Fast breeder reactor (FBR)

## Ticari Santrallerin Dağılımı

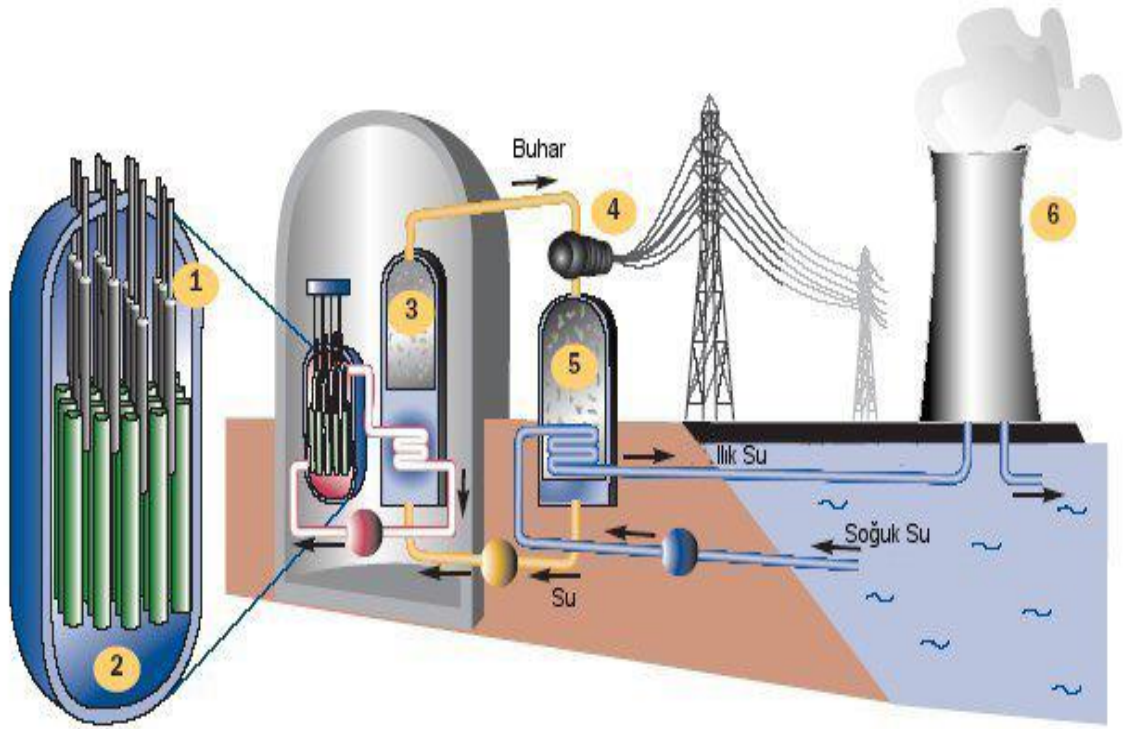
Uluslararası Atom Enerjisi Ajansının verilerine göre 5 Nisan 2012 tarihi itibarıyla dünyada ticari olarak kullanılan reaktörlerin tür olarak dağılımı aşağıda verilmiştir.

Reaktörleri kullanılan soğutucu tipine göre ayırmak yaygın ve faydalı bir yöntemdir. Dünyada kullanılmakta olan ticari reaktörlerin %80'ini soğutucu ve yavaşlatıcı olarak normal su kullanan reaktörler teşkil etmektedir. Bunlara hafif sulu reaktörler (light water reactor, LWR) denir ve Rusların VVER modelini de içeren basınçlı su reaktörleri (pressurized water reactor, PWR) ile kaynar sulu reaktörler (boiling water reactor, BWR) olmak üzere iki tip şeklinde sınıflandırılmışlardır. Geriye kalan yaklaşık %20 oranındaki reaktörlerin çoğu ağır su ve gaz soğutmalı reaktörlerdir.





## Dünyada kullanılmakta olan ticari reaktör tipleri



Bir Nükleer Reaktörün (Basınçlı) Temel Bileşenleri

### *Basınçlı Su Reaktörü*

Yakıt: Zenginleştirilmiş UO<sub>2</sub> (%2-%4)

Soğutucu: Su

Moderatör: Su

Ayrıt edici özellikleri

- İki aşamalı soğutma sistemi
- 150 atm. Sistem basıncı ile soğutucu su sürekli sıvı formda

PWR: Avantajları

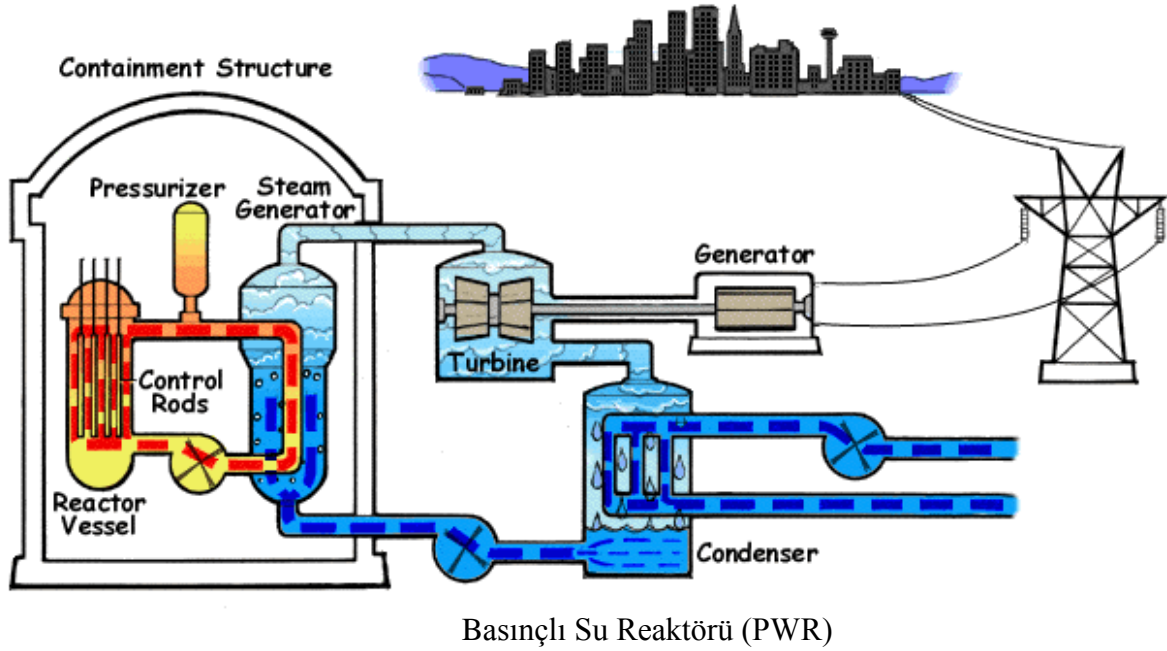
- Çok yaygın kullanım sayesinde daha çok tecrübe
- Hafif ve ucuzdur ve özellikleri iyi bilinmektedir
- Daha küçük bir kalp
- Filyon ürünleri birinci soğutma devresi içerisinde kalmaktadır

PWR: Dezavantajları

- Yüksek sistem basıncı güçlü ve daha pahalı borulama ve basınç kabı gerektirir
- Yakıt yükleme için reaktörün kapatılması gerekir
- Zenginleştirilmiş yakıt

Çoğunluğu Fransa, Japonya ve ABD'de olmak üzere Dünya'da en yaygın olarak çalışan reaktör tipi basınçlı su reaktörüdür (Pressurised Water Reactor, PWR) VVER tipi reaktörler Rusya ve Ukrayna'nın yanı sıra Ermenistan, Bulgaristan, Çek Cumhuriyeti, Finlandiya, Macaristan ve Slovak Cumhuriyeti'nde de çalıştırılmaktadır. Reaktörün adı, su soğutmalı ve su yavaşlatıcılı nükleer enerji reaktörlerinin Rusça ifadelerinden oluşmuştur. VVER tipi reaktörler aslında Rus tasarımı PWR tipi

reaktörlerdir.



#### *Basınçlı Ağır Su Reaktörü (CANDU)*

Yakıt: Doğal UO<sub>2</sub>

Soğutucu: Ağır su

Moderatör: Ağır su

Ayrırt edici Özellikleri;

- Doğal uranyum yakıt
- Çalışırken yakıt yükleme
- Ağır su moderatör ve soğutucu

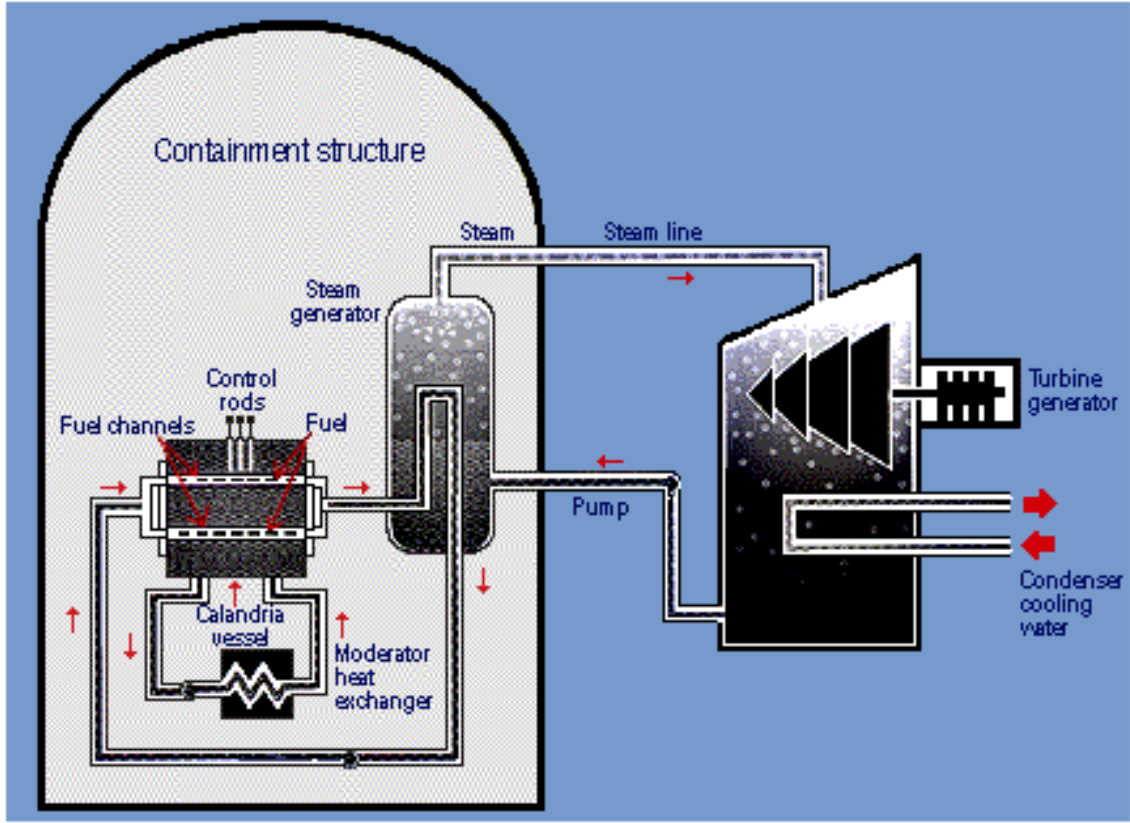
CANDU: Avantajları

- Ağır su mükemmel bir moderatördür
- Doğal uranyum dahil herhangi bir yakıt kullanılabilir
- Fisyon ürünleri birinci soğutma devresi içerisinde kalmaktadır
- Çalışırken yakıt yükleme yapılabilir
- Soğutucu kaybı durumunda moderatör fazla ısıyı çekmek için kullanılabilir

CANDU: Dezavantajları

- Ağır su maliyeti büyüktür
- Yakıt yükleme işlemleri sırasında ağır su kaybına karşı sistem sızdırmazlığının sağlanması gerekmektedir.
- Yüksek birinci soğutma devresi basıncı
- Büyük kalp

*Basınçlı ağır su reaktörleri (Pressurised Heavy Water Reactor, PHWR)* başta Kanada olmak üzere Arjantin, Hindistan, Pakistan, Güney Kore ve Romanya'da kullanılmaktadır. Soğutucu ve yavaşlatıcı olarak ağır su (D<sub>2</sub>O, hidrojenin döteryum izotopundan oluşan su) kullanılan bu reaktörler Kanada tarafından geliştirildiği için CANDU reaktörleri (CANadian Deuterium Uranium) diye tanınır.



CANDU Reaktörü

#### Kaynar Sulu Reaktör (BWR)

Yakıt: Zenginleştirilmiş UO<sub>2</sub> (~%3)

Soğutucu: Su

Moderatör: Su

Ayırt edici Özellikleri

- Tek döngülü soğutma sistemi
- Kalp içinde kaynama

#### BWR: Avantajları

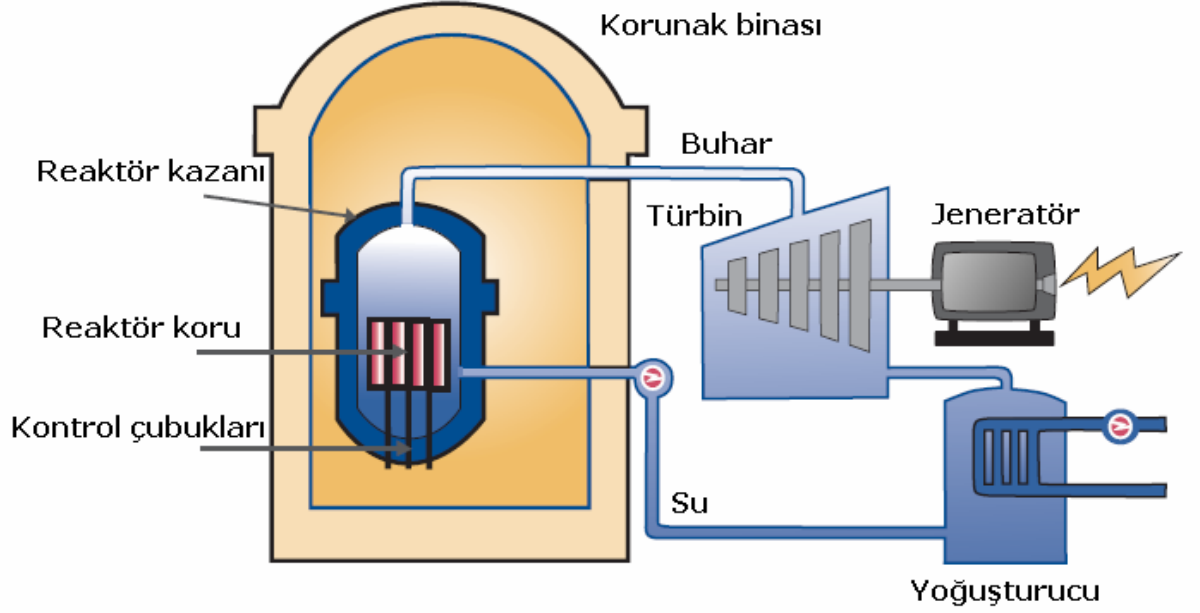
- Hafif su ucuzdur ve özellikleri iyi bilinmektedir
- Bazı ara ısı aktarma araçlarına gerek yoktur
- Daha düşük sistem basıncı
- Soğutucu akış hızı değiştirilerek kaynama miktarı ve dolayısıyla güç seviyesi ayarlanabilir

#### BWR: Dezavantajları

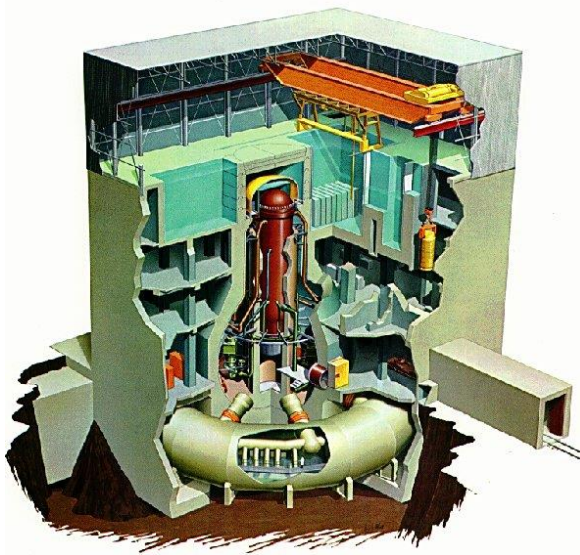
- İki gazlı akıştan dolayı daha zor işletim mühendisliği
- Kaynamadan dolayı düşük güç üretim yoğunluğu
- Daha büyük kalp basınç kabı
- Türbinin fisyon ürünleri tarafından kontamine olması, türbin odasının radyasyon zırhlaması gereği
- Yakıt yükleme için reaktörün kapatılması gerekir

- Zenginleştirilmiş yakıt

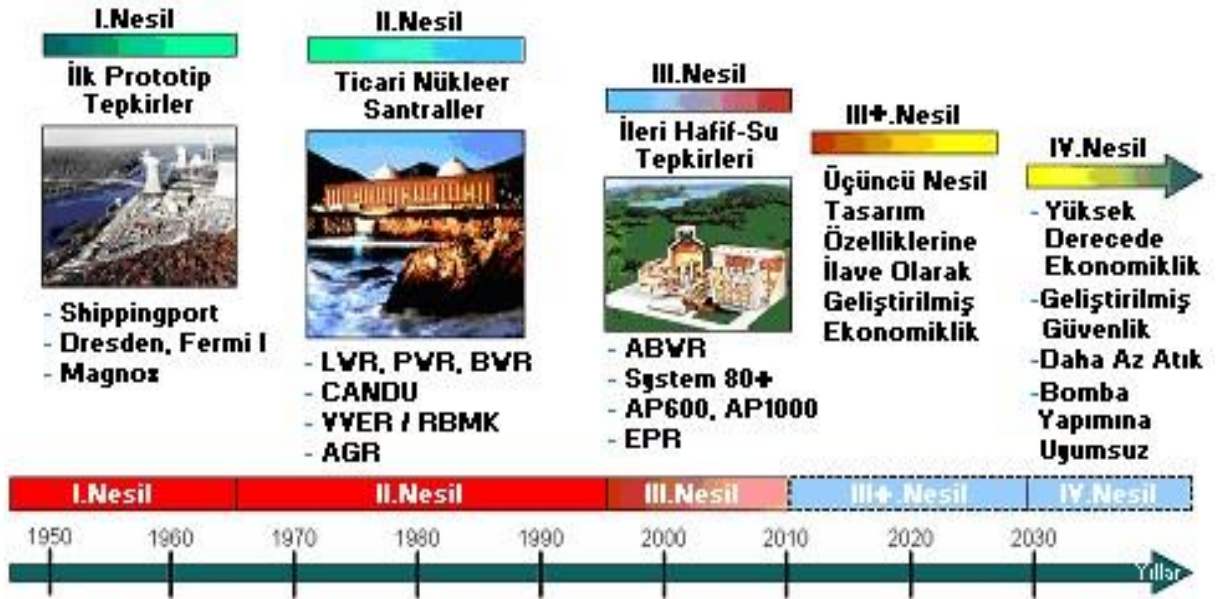
Japonya ve ABD gibi ülkelerde kullanılmaktadır. Kaynar su reaktörleri (BWR) dünyada PWR'dan sonra en yaygın olarak kullanılan reaktör türüdür. Bugün işletme halinde 84 adet kaynar su reaktörü bulunmaktadır. Bunların da büyük kısmı Japonya ve ABD'de bulunmaktadır.



Kaynar Sulu Reaktörü



Fukushima Daiichi Santral Dizayını;



Nükleer Reaktörlerin Gelişimi

## 6. ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Enerji verimliliği, binalarda yaşam standardı ve hizmet kalitesinin, endüstriyel işletmelerde ise üretim kalitesi ve miktarının düşüşüne yol açmadan, birim hizmet veya ürün miktarı başına enerji tüketiminin azaltılmasıdır. Başka bir tanımla verimlilik, doğru işi, doğru kişilerle, doğru zamanda yapmaktır. Enerjiyi üretmek ne kadar önemli ise verimli tüketmek de o kadar önemlidir. Enerji kaynakları arasında 5. Yakıt olarak değerlendirilebilir.

0. Petrol (ulaşım için)
1. Kömür
2. Doğalgaz
3. Nükleer
4. Yenilenebilir enerji (Hidro, rüzgar, güneş, jeotermal, ...)
- 5. Enerji verimliliği**

Dünya genelinde tüketilen enerjinin %88'inin fosil kaynaklardan (Bunlar; % 37 Petrol, % 27 Kömür, % 24 Doğalgaz'dır),diğer bölümünün ise % 6 nükleer enerji ve % 6 hidroelektrikten karşılanmakta olduğunu (% 3 hidrolik ve % 3 yenilenebilir kaynaklar dediğimiz rüzgar, güneş, jeotermal, bio-kütle, vb.)daha önce söylemiştik. Bu verilerden hareket edildiği zaman fosil kökenli yakıtların hızla tükeniyor olması, ülkemiz açısından düşündüğümüzde ise bu yakıtların rezervi olarak düşük kaliteli kömürler dışında öz varlığımızın bulunmuyor oluşu (yani enerjide dışa bağımlılığımız), Dünya'da ve ülkemizde enerji verimliliğini vazgeçilmez kılmaktadır.

Enerji verimliliği gerekliliğinin bir diğer nedeni ise başlıca enerji kaynağı olan fosil yakıtların bünyesinde karbon (C) ve bileşiklerini ihtiva etmesi ve enerji üretmek için yakılmaları gereken bu yakıtların yanma sonu ürünlerinin (emisyonlarının) çevreye zararlı olmasıdır. Fosil kökenli yakıtlar yakıldıklarında 1 kg C başına 3.66 kg karbondioksit (CO<sub>2</sub>) üretilir ve diğer zehirli gazlarla atmosfere salınırlar. Bu gazlar başta sera etkisine ve küresel ısınmaya neden olurlar. Fosil yakıtların kullanımı önemli ölçüde azaltılıp durdurulmadığı sürece, küresel ısınma Dünya için pek yakın bir gelecekte başa çıkılması çok güç sonuçlar doğuracaktır. Bunlar; sıcaklığın artması, buzulların erimesi, deniz seviyesinin yükselmesi ve pek çok yerleşim yerinin sular altında kalması, tarım alanlarının ve yağmur ormanlarının ortadan kalkması, çölleşmeye ve pek çok canlı türünün yok olması olarak sayılabilir. Ayrıca, fosil kaynakların yeryüzünde homojen dağılmamış olması, her geçen gün bu kaynaklara olan talebin artması ve rezervlerinin sınırlı olması nedeniyle devletlerarasında uyuşmazlıklar ve savaşlar baş göstermesi de enerji verimliliğinin başka bir boyutudur (Şahin, 2012).

ABD'de 1974'te tipik bir buzdolabı yılda 1800 kWh elektrik tüketmekteydi. Bu gün ki uygulamalarda bu rakam motor ve kompresör sistemlerinde verimlilik artışlarıyla, ayrıca daha etkili izolasyonlarla ve de iyileştirilmiş kontrol sistemleri sayesinde %75 azaltılarak 450 kWh'e indirilmiştir. Yani ABD'de ortalama bir evin buzdolabı şimdi 1974 yılında tükettiği elektriğin sadece 4'te 1'ini tüketmektedir. Bu da yılda ortalama 1350 kWh elektrik tasarrufu demektir. ABD'deki toplam buzdolabı sayısı 140 milyon ve konutlardaki elektriğin ortalama birim fiyatı 9 cent/kWh olduğuna göre; buzdolaplarındaki verimlilik çalışmaları ABD'ye yılda 189 milyar kWh tasarruf sağlamaktadır. Bu tasarruf yaklaşık olarak Türkiye'nin yıllık toplam elektrik tüketimine eşittir. Buna göre de her yıl 17 milyar dolar, elektrik faturaları yerine halkın cebinde kalmaktadır.

EİE tarafından yapılan eğitim, etüt ve bilinçlendirme çalışmaları sonucunda ülke olarak bina sektöründe %30, sanayi sektöründe %20 ve ulaşım sektöründe %15 olmak üzere dört Keban Barajı inşaa edebilecek yaklaşık 7,5 milyar TL değerinde enerji tasarruf potansiyelimiz olduğu tespit edilmiştir. Isıtma, aydınlatma ve ulaşım gibi temel ihtiyaçlarımızı karşılarken, elektrikli ev

eşyalarımızı kullanırken, kısacası günlük yaşantımızın her safhasında enerjiyi verimli kullanmak suretiyle, ihtiyaçlarımızdan kısıtlama yapmadan aile bütçesine, ülke ekonomisine ve çevremizin korunmasına katkı sağlamamız mümkündür (EİE). Enerji verimliliğini mühendis olarak düşündüğümüzde, elektrik üretim santrallerindeki üretim proseslerinde (kojenerasyon vb.) sağlanabilecek iyileştirmeler, fabrikalarda alınabilecek tedbirler (bakım yönetim sistemleri, hava perdesi uygulamaları, verimli elektrik motorları kullanımı vb.) olarak sıralanabilir.

#### Niçin Enerjiyi Verimli Kullanmalıyız?

- En önemli enerji kaynağı olan kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtlar hızla tükeniyor.
- Enerji üretim ve tüketim süreçlerinde ortaya çıkan sera gazı emisyonları küresel ısınma ve iklim değişikliğinin en önemli nedenleri arasındadır.
- Kullandığımız enerjinin %70'ini yurtdışından döviz ödeyerek satın alıyoruz.
- Enerji tasarrufu aile bütçesine katkıyla başlar devlet bütçesine katkıya kadar gider.

## 6. 1. Binalarda Enerji Verimliliği

Türkiye'nin binalarda yalıtımla enerji tasarrufu potansiyeli 10 milyar TL/Yıl olarak hesap edilmektedir. Bu gün yapı stokunun % 80'niyalıtımsız. Yapılacak yalıtımla en az % 50 tasarruf sağlanırken, yapılan harcamanın geri ödemesi 3-5 yılda arasındadır.

Ülkemizde binalarda ısı yalıtımı kuralları, uzun yıllardır TS 825 standardı ile belirlenmektedir. 2008 yılında TS 825 standardının revize edilmesi ile birçok yenilikler getirilmiştir. Özellikle yalıtım malzemelerinin tanımlanması, ısı kaybı hesabında uyulması gereken kurallar başlıca dikkat çeken yönleridir.

### *Binalarda Enerji Verimliliği Zorunlu mudur?*

Bu konuda devletimiz; Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğini çıkararak bir nevi zorunlu hale getirmiştir. Resmi Gazetede 05.12.2008 tarihinde yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu Yönetmeliğin amacı, binalarda enerjinin ve enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılmasına, enerji israfının önlenmesine ve çevrenin korunmasına ilişkin usul ve esasları düzenlemektir. Bu Yönetmelik mevcut ve yeni yapılacak binalarda; mimari tasarım, mekanik tesisat, aydınlatma, elektrik tesisatı gibi binanın enerji kullanımını ilgilendiren konularda bina projelerinin ve enerji kimlik belgesinin hazırlanmasına ve uygulanmasına ilişkin hesaplama metotlarına, standartlara, yöntemlere ve asgari performans kriterlerine, enerji kimlik belgesi düzenlenmesi, bina kontrolleri ve denetim faaliyetleri için yetkilendirmelere, enerji ihtiyacının, kojenerasyon sistemi ve yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmasına, ülke genelindeki bina envanterinin oluşturulmasına ve güncel tutulmasına, toplumdaki enerji kültürü ve verimlilik bilincinin geliştirilmesine yönelik eğitim ve bilinçlendirme faaliyetlerine, korunması gerekli kültür varlığı olarak tescil edilen binalarda, enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik önlemler ve uygulamalar ile ilgili, Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulunun görüşünün alınarak bu görüş doğrultusunda yapının özelliğini ve dış görüntüsünü etkilemeyecek biçimde enerji verimliliğini artırıcı uygulamaların yapılmasına ilişkin iş ve işlemleri kapsamaktadır (Şahin, 2012).

Sanayi alanlarında üretim faaliyetleri yürütülen binalar, planlanan kullanım süresi iki yıldan az olan binalar, toplam kullanım alanı 50 m<sup>2</sup>'nin altında olan binalar, seralar, atölyeler ve münferit olarak inşa edilen ve ısıtılmasına ve soğutulmasına gerek duyulmayan depo, cephanelik, ardiye, ahır, ağıl gibi binalar bu Yönetmeliğin kapsamı dışındadır.

Binalarda yapılacak mantolama (yalıtım) sayesinde % 50 'ye varan enerji tasarrufu sağlanabilecektir. Özellikle ülkemizde kullanılan toplam enerjinin yaklaşık % 30 'u binalarda harcanmaktadır. Bu istatistikten yola çıkıldığında yapılacak mantolama işlemlerinin ülkemiz açısından ne denli önemli olduğu ortaya çıkmaktadır.

### *Binalarda Enerji Kimlik Belgesi Uygulaması*

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğine göre; Enerji Kimlik Belgesi bir zorunluluk haline gelmektedir. Enerji Kimlik Belgesinde, binanın enerji ihtiyacı, yalıtım özellikleri, ısıtma verimi veya soğutma sistemlerinin etkenliği ve binanın enerji tüketim sınıflandırması ile ilgili bilgilerle birlikte; bina ile ilgili genel bilgiler, düzenleme ve düzenleyen bilgileri, binanın kullanım alanı (m<sup>2</sup>), binanın kullanım amacı, binanın ısıtılması, soğutulması, iklimlendirmesi, havalandırması ve sıhhi sıcak su temini için kullanılan enerjinin miktarı (kWh/yıl), tüketilen her bir enerji türüne göre yıllık birincil enerji miktarı (kWh/yıl), binaların kullanım alanı başına düşen yıllık birincil enerji tüketiminin, A ile G arasında değişen bir referans ölçeğine göre sınıflandırılması, nihai enerji



tüketiminin oluşturduğu sera gazlarının kullanım alanı başına yıllık miktarı ( $\text{kg CO}_2/\text{m}^2\text{-yıl}$ ), binaların kullanım alanı başına düşen yıllık sera gazı salınımının, A ile G arasında değişen bir referans ölçeğine göre sınıflandırılması ( $\text{kg CO}_2/\text{m}^2\text{-yıl}$ ), binanın aydınlatma enerjisi tüketim değeri, birincil enerji tüketimine göre, enerji sınıfı, nihai enerji tüketimine göre,  $\text{CO}_2$  salımı sınıfı, binanın yenilenebilir enerji kullanım oranı gösterilmelidir.

<b>ENERJİ KİMLİK BELGESİ</b>			
Belge No : Bina tipi : İnşaat yılı : Kapalı Kullanma alanı: Ada, Parsel : Adres :	Tarih : Belgeyi Düzenleyen : Oda Sicil No : Belgenin Son Geçerlilik Tarihi : İmza :		
<b>Mülk sahibi:</b> İsim: Adres:	<b>Müşterek tesisatların sahibi (gerekliyse):</b> İsim: Adres:		
<b>Enerji tipine göre yıllık tüketimler</b>			
	<b>Nihai Enerji tüketimleri</b>	<b>Birincil Enerji tüketimleri</b>	
<b>Enerji Kullanım Alanı</b>	<b>kWsaat</b>	<b>kWsaat</b>	
Isıtma :			
Sıhhi sıcak su :			
Soğutma :			
Aydınlatma :			
<b>TOPLAM :</b>			
<b>Isıtma, sıhhi sıcak su üretimi, soğutma ve aydınlatma için enerji tüketimleri (birincil enerji olarak)</b>		<b>Isıtma, sıhhi sıcak su üretimi, soğutma ve aydınlatma için sera etkisi gazı (SEG) emisyonları</b>	
<b>Nihai tüketim:</b> .....kWsaat/ m <sup>2</sup> .yıl		<b>Emisyon salımı:</b> .....kg <sub>esd</sub> .CO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> .yıl	
<b>Tasarruflu Bina</b>	<b>Bina</b>	<b>SEG Emisyonu Düşük Bina</b>	<b>Bina</b>
<b>Enerji Tüketimi Yüksek Bina</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup>.yıl</b>	<b>SEG Emisyonu Yüksek Bina</b>	<b>kg<sub>esd</sub>CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.yıl</b>

Enerji Kimlik Belgesi

## 6.2. Sanayide Enerji Verimliliği

Sanayide verimlilik adına birçok çalışmaya rastlamaktayız. Bunlardan bazıları kojenerasyon, trijenerasyon ve bileşik-ısı güç sistemleri, endüstriyel yalıtım, kazanlarda, türbinlerde, pompalarda ve kompresörlerde verimlilik uygulamaları, bakım yönetim sistemlerinin devreye alınması vb. birçok alanda verimlilik çalışmaları yapılmaktadır.

Kojenerasyon sistemleri sanayide kullanılan en önemli ve yüksek verimlilik sağlayan sistemlerdir. Bu sistemler ısı ve elektriğin birlikte üretildiği sistemler olduğu için bileşik üretim anlamına gelen kojenerasyon adını almıştır. Aynı yakıt kaynağından daha fazla enerji üretebildiği için tek amaçlı üretim sistemlerinden daha avantajlıdır. Bir diğer avantajı ise çevreye daha duyarlı olmasıdır. Çünkü sistemde atık ısı kullanılmakta ve böylece doğaya daha az CO<sub>2</sub> salınımı yapılmaktadır. Kojenerasyon sistemleri ile ilgili daha detaylı bilgi kojenerasyon sistemleri bölümünde verilecektir.

Sanayide kullanılan elektrik motorlarında da ciddi verimlilik çalışmaları yapılmaktadır. Örneğin 20 BG gücündeki standart bir motorun verimi % 88 civarındadır. Fakat aynı güçteki yüksek verimli motorun verimi ise % 91'e ulaşmaktadır. En yüksek verimli motorlarda da % 93'e çıkmaktadır. Ortalama yük faktörü % 75 olan ve yılda 6000 saat çalışan 20 BG'lik bir motorun % 88 verimli standart motor yerine % 93 verimli bir motorun seçilmesiyle yılda 4102 kWh elektrik enerjisi tasarrufu verebilmektedir. Türkiye'de her kWh elektrik üretiminde ortalama 0.65 kg CO<sub>2</sub> salındığı dikkate alınırsa bu yüksek verimli motor ile yılda yaklaşık 3 ton sera gazı atmosfere atılmamış olacaktır.

Pompa, fan, kompresör, konveyör gibi yükün değişken olduğu uygulamalarda motorlara değişken hız sürücüleri (DHS) takmak suretiyle elektrik tüketimini % 50'ye hatta bazı durumlarda % 70'e varan oranlarda düşürmek mümkündür.

### Enerji Verimliliği Uygulamalarına Bir Örnek (Çengel, 2009):

75-kW (100-hp)'lık %75 yük faktörü ile yılda 6000 saat çalışan eski bir motor, fiatı 4210 TL olanyeni bir %93.6verimliEFF2 standart veya fiatı 5240 TL olan %94.8verimli EFF1 motor ile değiştirilecektir. Eğer elektriğin fiatı 0.16 TL/kWh ise, yüksek verimli motorun sağlayacağı yıllık enerji ve maliyet tasarrufu nedir?

$$\begin{aligned}\text{Enerji Tasarrufu} &= \text{kW} \times \text{Yükfaktörü} \times \text{işletme saati} \times (1/\eta_{\text{std}} - 1/\eta_{\text{ver}}) \\ &= 75 \times 0.75 \times 6000 \times (1/0.936 - 1/0.948) = \mathbf{4564 \text{ kWh/yıl}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Maliyet Tasarrufu} &= \text{Enerji tasarrufu} \times \text{Enerji fiatı} \\ &= (4564 \text{ kWh/yıl})(0.16 \text{ TL/kWh}) = \mathbf{730 \text{ TL/yıl}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Geri Ödeme Süresi} &= (\text{Yatırım maliyeti})/(\text{Enerji maliyet tasarrufu}) \\ &= (5240 - 4210)/730 = 1.4 \text{ yıl} = \mathbf{17 \text{ ay}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Toplam Enerji Maliyeti} &= (\text{kW} \times \text{Yükfaktörü} \times \text{işletme saati} / \eta_{\text{std}}) \times \text{Enerji fiatı} \\ &= (75 \times 0.75 \times 6000 / 0.936) \times 0.16 = \mathbf{57,700 \text{ TL/yıl}}\end{aligned}$$



Şekil 69. Elektrik Motoru

**NOT 1:** Motorun yıllık enerji maliyeti (57,700 TL) fiyatının (4210 TL) **14 katıdır.**

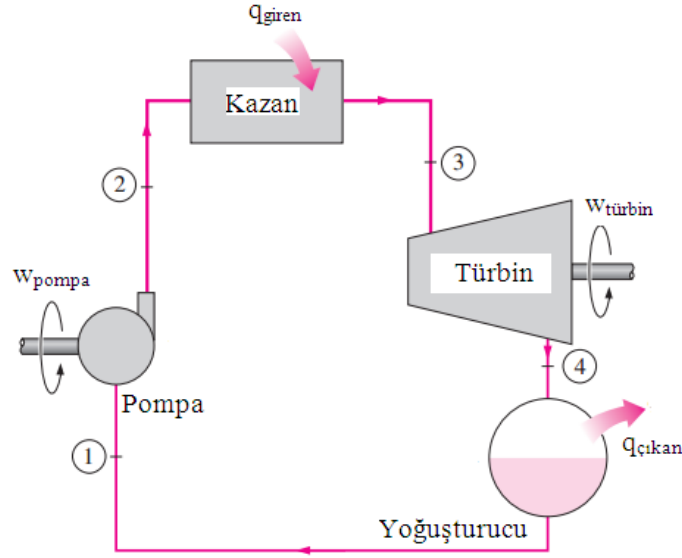
**NOT 2:** Yüksek verimli motor, maliyet farkını **17 ayda** ödemektedir.

### 3. TERMAL ENERJİ DÖNÜŞÜM SİSTEMLERİ

Enerji dönüşüm sistemi denince akla gelen ilk tanım, enerji potansiyeli olan bir enerji kaynağından (kömür, petrol, doğalgaz, güneş, rüzgar vb.) farklı enerji türlerin dönüşümü gerçekleştiren sistemler akla gelmektedir. Bu sistemler, genellikle elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Çünkü elektrik enerjisi kaliteli bir enerji türüdür. Yenilenebilir enerji dönüşüm sistemlerinden daha önce bahsetmiştik. Bu bölümde bazı enerji dönüşüm sistemlerinden olan termal enerji dönüşüm sistemlerinden (thermal energy conversion systems) bahsedeceğiz.

#### 7. 1. Rankine Çevrimi

Günümüzde birçok termik santral elektrik üretimi için faaliyetini sürdürmektedir. Bu santraller belirli bir termodinamik çevrimine göre çalışmaktadır. Bu çevrim Rankine çevrimidir.



Basit Rankine Çevrimi (Çengel, 2011)

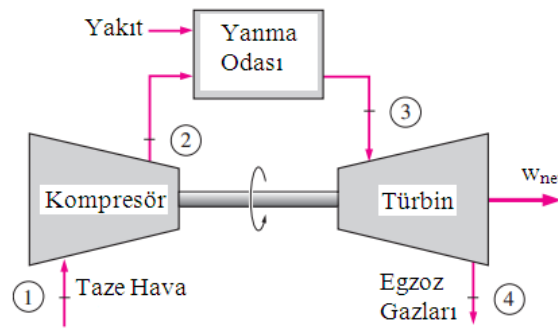
Su pompaya 1 halinde girer ve burada sıkıştırılarak kazana gönderilir. Kazan gelen su, kazandaki kömür yanması sonucunda açığa çıkan ısıyı kullanarak kızgın buhar haline gelir ve buradan türbine gönderilir. Türbine gelen kızgın buhar genişlerken türbin milini döndürerek iş üretir ve 4 haline gelir. Yoğuşturucuya gelen doymuş sıvı-buhar karışımı ısısını atarak 1 haline gelir ve çevrim tamamlanmış olur (Çengel, 2011).



Bir Termik Santralin Genel Görünümü

## 7. 2. Brayton Çevrimi

Bugün Brayton çevrimi kullanımı, sıkıştırma ve genişleme işlemlerinin aksel kompresörler ve türbinlerde gerçekleştirildiği gaz türbinlerinde kullanılmaktadır. Günümüzde kullanılan gaz türbinleri bir çok sanayi kuruluşunda enerji dönüşüm sistemi olarak elektrik üretmek için kullanılmaktadır. Gaz türbinlerinde yakıt olarak doğalgaz kullanılmaktadır. Ayrıca uçaklarda kullanılan jet motorları da bazı farklılıkları ile beraber temel olarak Brayton çevrimine göre çalışmaktadır.



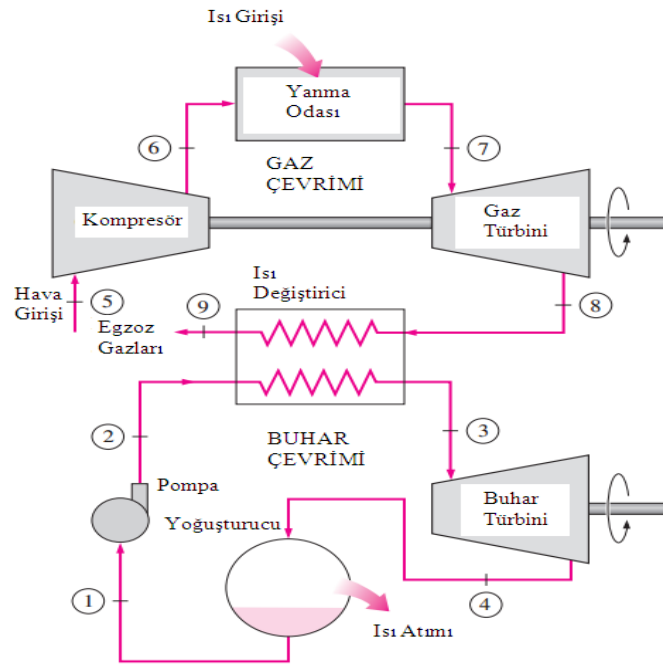
Basit Brayton Çevrimi (Çengel, 2011)

Brayton çevriminde taze hava 1 durumunda kompresöre gelir ve 2 durumuna sıkıştırılır. Sıkıştırılmış hava ile yakıt yanma odasında yanarak yanma ürünleri olarak türbine geçerler ve türbinde enerji üretirler. Daha sonra da atık gazlar 4 durumunda dışarı atılarak açık bir çevrim tamamlanmış olur.

### 7. 3. Bileşik Gaz-Buhar Güç Çevrim Sistemleri

Daha yüksek ısıl verim sağlayabilmek için süregelen çalışmalar, alışılmış güç santrallerinde yeni düzenlemelerin yapılmasına yol açmıştır. Bu düzenleme birleşik gaz-buhar çevrimi veya kısaca birleşik çevrim olarak adlandırılır. En çok ilgi duyulan birleşik çevrim, gaz türbini (Brayton) çevrimiyle buhar türbini (Rankine) çevriminin oluşturduğu birleşik çevrimdir. Bu birleşik çevrimin ısıl verimi, birleşik çevrimi oluşturan çevrimlerin ısıl verimlerinden daha yüksek olmaktadır (Çengel, 2011).

Gaz türbini çevrimlerinin yüksek sıcaklıklarda çalışmasının sağladığı kazançlardan yararlanmak ve sıcak egzoz gazlarını, buharlı güç çevrimi gibi bir alt çevrimde ısı kaynağı olarak değerlendirmek, mühendislik yaklaşımının gereğidir (Çengel, 2011).



Bileşik Gaz-Buhar Çevrimi (Çengel, 2011)

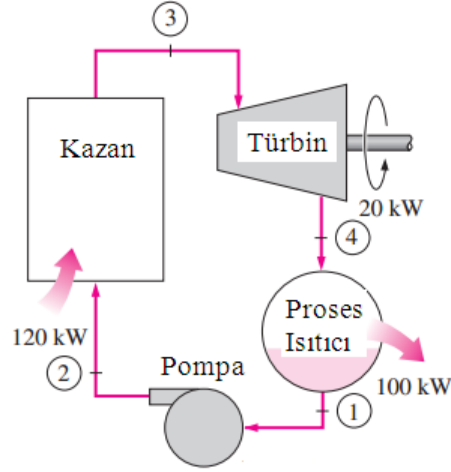
Alman Siemens firması tarafından 1988 yılında Türkiye Ambarlı'da kurulan 1350 MW güç üreten birleşik çevrimli güç santrali, tasarlanan çalışma koşullarında % 52.5 gibi yüksek bir verime sahip dünyadaki ilk termik santral olmuştur. Bu santralde her biri 150 MW güç üreten altı adet gaz türbini ve her biri 173 MW güç üreten üç adet buhar türbini bulunmaktadır (Çengel, 2011).

### 7. 4. Kojenerasyon Sistemleri

Enerji dönüşüm sistemlerindeki tek amaç, iş akışkanına (Rankine'de su) verilen ısının bir bölümünün, enerjinin en değerli biçimi olan işe dönüştürülmesiydi. Isının geri kalan bölümü, uygulamada herhangi bir amaç için kullanılmayacak kadar düşük nitelikte olduğundan akarsulara, göllere, okyanuslara veya atmosfere, atık ısı olarak verilmekteydi (Çengel, 2011)

Fakat mühendislik sistemlerinin büyük bir bölümü, enerji girdisi olarak, enerjinin ısıl enerji biçimine gereksinim duyar. Bu ısıya proses ısısı denir. Kimya, kağıt, petrol, çelik, gıda ve tekstil endüstrisi gibi bazı endüstri dalları ağırlıklı olarak ısıl işleme dayanır. Fakat ısıl işlemlerin yoğun olduğu bu endüstriler aynı zamanda büyük miktarlarda elektrik gücü de

tüketirler. Bu bakımdan mühendisliğin olduğu kadar ekonominin de gereği olarak, varolan iş potansiyelini atık ısı olarak atmak yerine, güç üretimi için kullanmak yerinde olur. Bu düşüncenin sonucu olarak, belirli endüstriyel işlemler için proses-ısı gereksinimlerini karşılarken, aynı zamanda elektrik de üreten santraller geliştirilmiştir. Bu santrallere bileşik ısı-güç (kojenerasyon) santralleri denir. Genel olarak kojenerasyon, enerjinin birden fazla yararlı biçiminin (proses ısı ve elektrik gücü gibi) aynı enerji kaynağından üretilmesidir (Çengel, 2011).



Basit Bir Kojenerasyon Sistemi (Çengel, 2011)

## 8. FOSİL YAKITLAR VE ÇEVRE

Bilindiği gibi en temel ve en büyük enerji kaynağı fosil yakıtlardır. Bu yakıtlar sayesinde ısınma, elektrik vb. enerji ihtiyaçlarımızı karşılamaktayız. Fakat bu fosil yakıtların yanmasıyla istenmeyen bazı yan ürünler (emisyonlar) de meydana gelmektedir. Bu bölümde bu istenmeyen yan ürünleri ve çevreye olan etkilerini ele alacağız.

### 8. 1. Uçucu Küller (FlyAsh)

Uçucu kül, termik santrallerde pulverize kömürün yanması sonucu meydana gelen baca gazları ile taşınarak siklon veya elektro filtrelerde toplanan önemli bir yan üründür. Kömürün yüksek sıcaklıklarda yanması sonucu meydana gelen ergimiş malzeme soğuyarak, gaz akışı ile kısmen veya tamamen küresel şekilli kül taneciklerine dönüşmektedir. Bu kül tanecikleri çok ince (0.5-150 mikron) olup, baca gazları ile sürüklenmeleri nedeniyle, uçucu kül olarak adlandırılmaktadır.

Uçucu külde bulunan başlıca bileşenler  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve  $\text{CaO}$  olup, bunların miktarları uçucu külün tipine göre değişmektedir. Ayrıca  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3$ , alkali oksitler de minör bileşen olarak bulunmaktadır. Uçucu küldeki temel oksitlerden  $\text{SiO}_2$  %25- 60,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  %10-30,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  %1-15 ve  $\text{CaO}$  %1-40 oranında bulunmaktadır (Türker, 2004).

Termik santrallerde yakıt olarak, ülke kaynaklarına göre taş kömürü veya linyit kömürü kullanılmaktadır. Bu yüzden uçucu küller orijinlerine göre iki ana gruba ayrılırlar;

- 1) Taş kömürü uçucu külleri,
- 2) Linyit kömürü uçucu külleri,

Kimyasal yapıları bakımından ise uçucu küller 4 ana sınıfa ayırmak mümkündür.

- 1) Süikat-Alümina esaslı uçucu küller: Bunlar taş kömürü uçucu külleridir. Yapılarının büyük kısmını kuvars ( $\text{SiO}_2$ ) ve bir miktar alümina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) meydana getirmektedir. Bu uçucu küller normal sıcaklıkta ve hidrolik bağlayıcı gibi priz yaparlar.
- 2) Silikat-Kalsit esaslı uçucu küller: Yapılarındaki ana oksitler kuvars ( $\text{SiO}_2$ ) ve kalsit'tir ( $\text{CaCO}_3$ ). Fakat kalsit miktarı oldukça yüksektir.
- 3) Sülfür-Kalsit esaslı uçucu küller: Yapılarının büyük bir bölümünü kükürt trioksit ( $\text{SO}_3$ ) ve kalsit'ten ( $\text{CaCO}_3$ ) meydana gelmiştir. Bu sınıfa genellikle linyit kömürü uçucu külleri girmektedir.
- 4) Sınıflandırılmayan uçucu küller: Termik santrallerde ki yanma sisteminin homojen olmamasından dolayı belirli bir kimyasal yapıya sahip olmayan küllerdir. Kimyasal yapıları sürekli değişebilmektedir.

Uçucu küller, gözenekli veya dolu camsı küresel taneler ile yanmamış mineralleri içeren süngerimsi ve köşeli aglomere tanelerden meydana gelir. Genellikle bir uçucu külde  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  ve  $\text{TiO}_2$  gibi oksitlerin hemen hemen tamamına rastlanmaktadır. Ancak bu oksitlerin küldeki yüzdeleri külün tipine bağlı olarak



değişmektedir. TSE ve ASTM göre uçucu küllerin kimyasal özellikleri şunlardır: (Yılmaz, 1992)

Kimyasal Bileşik	% Ağırlıkça	Kimyasal Bileşik	F % Ağırlıkça	C % Ağırlıkça
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	70 (Min)	SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	70 (Min)	50 (Min)
MgO	5 (Max)	MgO	0	0
SO <sub>3</sub>	5 (Max)	SO <sub>3</sub>	5 (Max)	5 (Max)
Nem	3 (Max)	Nem	3 (Max)	3 (Max)
Kızdırma Kaybı	10 (Max)	Kızdırma Kaybı	12 (Max)	6 (Max)
TSE		ASTM		

### Uçucu Küllerin Kimyasal Özellikleri

#### 8. 2. Asit Yağmurları

Asit Yağmurları kükürt ve azot dioksitlerin atmosferdeki nemle birleşerek sülfürik ve nitrik asitli yağmur, kar ya da dolu oluşturması biçiminde kirliliğe yol açmasıdır. Bu tür yağmurda tanecikler siste asılı olarak süspansiyon oluşturabilir ya da en kuru halde birikebilirler. Kirliliğe yol açan tanecikler, kaynaklarından binlerce kilometre uzağa rüzgarla taşınabilir. Sözgelimi A.B.D'nin kuzey doğusundaki asit yağmurlarına, Kanada'dan yayılanlar da katılmış, Kanada'nın doğusundaki kükürt içeren yağış, A.B.D 'den kaynaklanmıştır.

Bilim adamlarının tümü asit yağmurlarının denetlenmesi için bir an önce yasalar çıkarılmasını istemektedirler. Ne var ki söz konusu yasaların yol açacağı harcamalar çok yüksektir, bu yüzden de sorunun çözülmesi sürekli ertelenmektedir.

Ekonomik faaliyet, kıtlığa karşı yapılan bir savaştır. İnsan bu savaşta bir takım değerleri üretip tüketirken başka bir değer olan kaliteyi ÇEVRE 'yi de tüketmektedir. Hava, su, yeşil ve toprak gibi. Biri kirlendiği zaman beraberinde, zincirleme olarak, diğerleri ve bunlardan yararlanan insanlar da kirlenmekte ve yok olmaktadır.



Çek Cumhuriyeti'nin Jizera Dağlarında Asit Yağmurunun Etkisi

Görüldüğü gibi hava doğal ve yapay etmenlerce kirlenmektedir. Yapay etmenlerin temelinde insan bulunmaktadır. Fabrikadan, evlerden ve araçlardan çıkan dumanlar tarafından atmosfer durmadan kirlenmektedir. Bu kirlilik doğrudan olduğu gibi asit yağmurları yoluyla da bitkiye, insana, suya, toprağa ve taşa etki etmektedir.

Termik santrallerde, ısıtmada ve endüstri kurumlarında kullanılan kömür atmosfere kül (kadmiyum, arçelik, kurşun) CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> yaymaktadır. Dünyada olduğu gibi Türkiye’de kömür ve petrol tüketimi giderek artmaktadır. Artan taşıt sayısı da petrol tüketimini dolayısıyla atmosferdeki karbon monoksit gazını yükseltmektedir. Yanardağlar da havadaki SO<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> gibi gazların miktarını arttırmaktadır. Bu gazlar havadaki su buharı ile birleşirler.

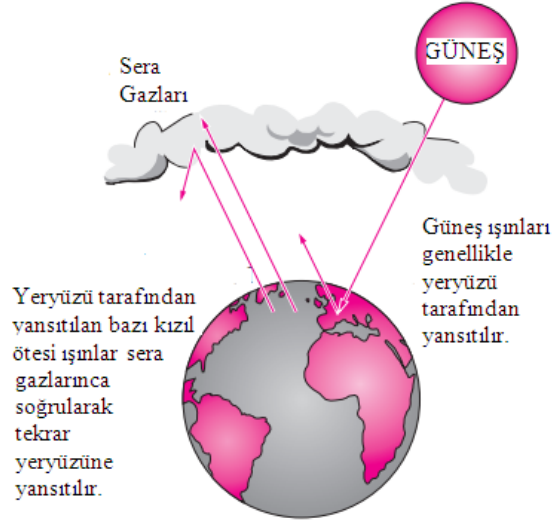
Çeşitli endüstriyel faaliyetler, konutlarda ısınma amaçlı olarak kullanılan yakıtlar, fosil yakıtlara dayalı olarak enerji üreten termik santraller ile egzoz gazları havayı kirletmekte ve kükürtdioksit (SO<sub>2</sub>), azotoksit (NO), hidrokarbon ve partikül madde yaymaktadırlar. Havada 2-7 gün asılı kalabilen bu kirleticiler, su partikülleri ile tepkimeye girerek asit meydana getirmekte ve yağmurlarla birleşerek yeryüzüne asit yağmurları olarak inmektedir.

### *Asit Yağmurlarına Karşı Alınabilecek Önlemler*

- Hava kirliliği ve asit yağışlarının çevreye, özellikle bitkilere olan etkisinin kesin sonucu ve buna karşı isabetli önlemler alınmak isteniyorsa, çok sayıda bilimsel denemenin yapılması gerekir.
- Yakıtların (araç ve meskenlerde) kalitesi kontrol edilmelidir.
- A) Hava kirliliğine dayanıklı bitkiler (böğütlen, ıspanak, kızılıçık,...) ekilmeli,  
B) Kışın yaprak döken bitkiler ekilmeli,
- Kentlerin kurulma yerleri topografik açıdan iyi saptanmalıdır. Başka bir anlatımla yerleşmeleri (kent, köy,...) çanak şeklindeki alanlardan uzaklarda kurulmalıdır.
- Bacalara filtre takılmalı,
- Araçların bakımı zamanında yapılmalı,
- Alternatif enerji kaynakları kullanılmalı (Güneş, rüzgâr, gelgit, akıntılar, biyokütle, end. ve evsel atıklar gibi.)
- Tüketim toplumu olduğumuz sürece yeni üretimlere yeni kirlenmelere neden olmamız kaçınılmazdır. Onun için tüketim çılgınlığı yerine mevcutlardan haz almayı öğrenmeliyiz.
- Yakıtlardaki kükürt oranı azaltılmalı,
- Çevre insanlara öğretilmemeli; insanoğlu çevreyi içselleştirecek şekilde bizzat kendisi öğrenmelidir.

### 8. 3. Sera Etkisi ve Küresel ısınma

Uçucu küllerin oluşumu ve asit yağmurlarında olduğu gibi sera etkisi ve sonucunda küresel ısınmanın oluşumunun da yegane sebebi fosil yakıtlardır. Sera etkisini tanımlayacak olursak örneğin; arabanızı güneş altında bıraktığınızda, arabanın iç sıcaklığının dışarıdaki havadan çok daha sıcak olduğunu mutlaka fark etmişsinizdir. Bunun nedeni belli bir kalınlıktaki camın ışınımın % 90'ını görülebilir aralıkta geçirmesi ve pratik olarak uzun dalga boyundaki kızılötesi ışınları geçirmez olmasıdır. Bu nedenle cam, güneş ışınımı geçişini sağlamakta ancak iç yüzeylerin kızıl ötesi ışınım yansımalarını engellemektedir. Bunun sonucu olarak araba içindeki enerjinin artması ile iç sıcaklık artmaktadır. Bu ısı etkisi genellikle seralarda kullanıldığı için sera etkisi olarak bilinmektedir (Çengel, 2011).



Yeryüzündeki Sera Etkisi (Çengel, 2011)

Sera etkisi dünyanın büyük bir kısmında görülmektedir. Güneş enerjisinin soğrulması ile gün boyunca yeryüzü ısınmakta ve gece boyunca soğrulan enerjinin, kızılötesi ışınım şeklinde derin boşluklara gönderilmesinden dolayı soğuma meydana gelmektedir. Karbondioksit, su buharı, metan ve azot oksit gibi diğer gazların bir kısmı battaniye gibi davranırlar. Böylece yeryüzünden ısı ışınımını engelleyerek gece dünyanın ılık kalmasını sağlarlar. Bunun için temel bileşeni CO<sub>2</sub> olan bu gazlar sera gazları olarak adlandırılırlar. Su buharı genellikle, yağmur ve kar olarak su çevriminin bir parçası olarak tekrar yeryüzüne gelir. Ayrıca insanların yaptıklarından dolayı (fosil yakıtların yanması gibi) su açığa çıkar ve atmosferdeki su konsantrasyonunda bir değişme olmaz (nehirlerin, göllerin ve okyanusların buharlaşması ile). Ancak CO<sub>2</sub> farklıdır. İnsanların gerçekleştirdiği faaliyetlerden dolayı atmosfer miktarındaki CO<sub>2</sub> konsantrasyonu değişiklik gösterir (Çengel, 2011).

Sera etkisi yeryüzünü ılık (yaklaşık 30 °C) tutarak yeryüzü üzerindeki yaşamı mümkün kılmaktadır. Ancak sera gazlarındaki aşırı artış, çok fazla enerji birikmesine ve böylece hassas dengenin bozulmasına neden olmaktadır. Yeryüzü ortalama sıcaklığı artmakta ve bazı bölgelerde iklim değişikliğine neden olmaktadır. Sera etkisinin arzu edilmeyen bu sonuçları küresel ısınma veya küresel iklim değişikliği olarak bilinmektedir (Çengel, 2011).



Elektrik Güç Santrallerinin Soğutma Kuleleri

Elektrik güç santrallerinde, kmr gibi fosil yakıtları, petrol ürünleri ve doğalgazın aşırı kullanımı, taşımacılık, yapılaşma ve sanayileşme son yıllarda küresel iklim değişikliğini büyük bir sorun haline getirmiştir. 1995 yılında yaklaşık 6.5 milyar ton karbon, CO<sub>2</sub> olarak atmosfere bırakılmıştır. Atmosferde řu anki CO<sub>2</sub> konsantrasyonu yaklaşık 392 ppm'dir. Bu rakam 20 yıl önce 360 ppm değerlerindedir. Bu rakamın 2100 yılında 700 ppm olacağı düşünülmektedir (Çengel, 2011).

## 9. NÜKLEER ENERJİ VE ÇEVRE

Enerji-çevre ve ekonomi birlikte incelenmelidir. Böylece çevre sorunları yaratmayan, ekonomik ve güvenilir enerji kaynakları ön plana çıkar. Dünyanın enerji ihtiyacının büyük kısmı, özellikle elektrik enerjisi, ancak bilinen temiz teknolojiler dikkate alındığında, yalnız nükleer enerji ile sağlanabilir. Dünya genelinde, özellikle teknolojik gelişimini tamamlamış ülkelerin tamamında, elektrik üretiminde nükleer enerji kullanımı %16'dır. Enerji sorununu çok doğru stratejiler kullanarak çözmüş ve endüstride hızlı gelişme sağlamış ülkeler, fosil yakıt santralleri, hidrolik santraller, Kyoto protokolüne çok uygun olan nükleer santraller ve alternatif enerji kaynaklarını beraberce kullanarak enerji çeşitliliğini sağlamış ülkelerdir (Şahin, Nükleer Enerji Kullanımı ve Çevre).

Tarihte ilk önce hidrolik enerjiyi kullanan insanoğlu daha sonra kimyasal enerjiyi keşfetmiş ve bu şekilde sanayi devrimini yaparak önemli bir gelişme sağlamıştır. Atomun yapısının araştırılması ile başlayan yeni nükleer teknolojiler, insanoğlunu hidrolik ve kimyasal enerjiden daha yoğun olan nükleer enerjiyi kullanma imkânına kavuşturmuştur. ABD'de Manhattan Projesiyle geliştirilen atom bombası ile talihsiz bir şekilde halk tarafından duyulan nükleer enerji, yaklaşık 60 yıldan beri dünya enerji ihtiyacının önemli bir kısmını karşılamış ve aynı zamanda esaslı bir endüstri kolu haline gelmiştir. Nükleer enerjinin barışçıl amaçlı kullanımı için Türkiye'nin de üyesi olduğu Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) 1957 yılında kurulmuş, nükleer enerjinin dünya elektrik ihtiyacına maksimum seviyede katkı sağlaması ve nükleer silahların yayılmasını önlemek için faaliyetini sürdürmektedir. Böyle son derece stratejik önemi olan ve uluslararası desteklenen bir bilim dalının Ülkemizde nükleer santraller vasıtasıyla elektrik üreterek geleceğimize olumlu katkılar yapması gerekmektedir (Şahin, Nükleer Enerji Kullanımı ve Çevre).

### 9. 1. Radyasyon Nedir?

Kararsız atomların enerji ve parçacık fırlatarak daha kararlı hale gelmesi olayıdır. Nasıl fazla kiloları olan bir insan kendisini rahatsız hisseder ve fazla kilolarından kurtulmaya çalışır, atomlar da çekirdeklerinde bulunan fazla kilolar nedeniyle kararsız hale gelirler. Doğa kanunları gereği bu kararsızlıklarından kurtulup kararlı atomlar haline gelmek isterler. Bu amaçla dışarıya kendilerini kararsız yapan fazlalığı küçük parçacıklar ve/veya enerji paketçikleri olarak atmaya çalışırlar (nukleer.web.tr). Kararsız yapıdaki atomların çekirdeğindeki nötronlar alfa, beta, gama gibi çeşitli ışınlar yayarak parçalanırlar. Alfa, beta, gama, X ışınları ile kozmik ışınlar ve nötronlar çok yüksek frekanslarda olduğundan, elektromanyetik parçacıklar kimyasal bağları kırabilecek enerjiye sahiptir. Bu bağların kırılması sonucu oluşan radyasyona iyonlaştırıcı radyasyon denir. Alfa, beta, gama, X ışınları ile kozmik ışınlar ve nötronlar çok yüksek frekanslarda olduğundan iyonlaştırıcı radyasyona örnektirler. İyonlaştırıcı radyasyonun farklı türlerinin farklı biyolojik etkileri gözlemlenmiştir ve yüksek biyolojik zararlar verebilirler. İyonlaşma derecesi ve niteliği, onların sayısına (yoğunluk) ve taneciklerin (fotonlar dahil olmak üzere) her birinin enerjilerine bağlıdır. Bu enerji, elektromanyetik dalgalar halinde yayılan yüksek frekanslı ultraviyole ışınlarında ve ötesinde (X-ışınları ve gama ışınları) bulunur. Ancak, en iyonlaştırıcı radyasyonlar Dünya'nın atmosferi tarafından filtre edilir. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon, iyonlaşabilen atomlardan veya iyonlaşabilen moleküllerden elektron koparmak için yeterli enerji taşıyan kuantumlara sahip olmayan herhangi bir elektromanyetik radyasyon türüdür. Bununla birlikte, İyonlaştırıcı olmayan radyasyonun farklı türlerinin farklı biyolojik etkileri gözlemlenmiştir. Ultraviyole ışınlar, kızılötesi ışınlar, radyo dalgaları, mikrodalgalar, görünür ışık iyonlaştırıcı olmayan radyasyon örneklerindedir.

Alfa parçacığı iki proton ve iki nötrondan oluşmuş bir helyum çekirdeğidir ve parçacık ışınları arasında yüksek derecede iyonlaştırıcı bir ışın formudur. Çekirdeğin, alfa çıkararak parçalanması olayı atom numarası büyük izotoplarda görülür ve genellikle doğal radyoaktif atomlarda rastlanır. Yükleri ve büyük kütleleri sebebiyle alfa tanecikleri cisimler tarafından kolayca emilir ve havada sadece birkaç santimetre ilerleyebilir. Dokulu kâğıt ve insan derisinin dış tabakaları tarafından emilebilir ve kaynak yutulmaz veya solunmazsa sağlığa çok zararlı değildir. Bu büyük kütle ve emilebilirlik sebebiyle alfa ışınları vücuda girerlerse (kaynağın yutulması, solunması, vs.)iyonize edici radyasyonun en yıkıcı özelliklerini gösterirler. Yüksek dozlarda, radyasyon zehirlenmesinin bazı ya da tüm semptomlarının görülmesine sebebiyet verebilir. Alfa taneciğinin sebep olduğu kromozomal hasar, diğer radyasyon tiplerinin eşit dozlarda sebep oldukları hasardan yaklaşık 100 kat daha fazladır. Çekirdekteki enerji fazlalığı çekirdek civarında bir kütle oluşturur. Bu kütle çekirdekteki fazla yükü alır ve dışarıya bir beta ışını olarak çıkar. Bunlar pozitif veya negatif yüklü elektronlardır.

Beta parçacıkları da alfa parçacıkları gibi belli bir yük ve kütleyle sahip olduklarından madde içerisinden geçerken yolları üzerinde iyonlaşmaya sebep olurlar. Ancak bu iyonlaşma, alfa parçacıklarının oluşturduğu iyonlaşmadan daha azdır. Çünkü bu parçacıklar alfa parçacıklarına göre daha hafif ve yüz kere daha giricidirler. Yine de bunlardan korunmak için ince alüminyum levhadan yapılmış bir zırh malzemesi yeterlidir.

Gama ışını atom çekirdeğinin enerji seviyelerindeki farklılıklardan meydana gelir. Çekirdek bir alfa veya bir beta parçacığı çıkarttıktan sonra genellikle kararlı bir durumda olmaz. Fazla kalan çekirdek enerjisi bir elektromanyetik radyasyon halinde yayınlanır. Gama ışınları, beta ışınlarından daha yüksek enerjili ve dolayısıyla daha girici (nüfuz edici) ışınlardır. Gama ve x ışınlarının, alfa ve beta parçacıklarına göre madde içine nüfuz etme kabiliyetleri çok daha fazla, iyonlaşmaya sebep olma etkileri ise çok daha azdır. Ancak birkaç santimetre kalınlığındaki kurşun tuğlalarla ve sadece belli bir kısmı durdurulabilir. (TAEK)

Bir canlının maruz kaldığı radyasyon dozunun ölçüsü Sievert birimiyle ölçülür. Sievert = Gray x Biyolojik etki katsayısı (eşdeğer doz birimidir)

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ Rem} = 1000 \text{ mSv}$$

İnsanlar ort. 2.4 mSv/yıl doğal çevre radyasyonu alırlar.

Uluslar arası Radyasyon Koruma Komitesinin izin verdiği max.doz 5 mSv/yıl

Bazı gıdalarda bulunan potasyum ve radyum bu besinleri radyoaktif yapar. Muzda bu besinlerden biridir. Muz, eşdeğer dozu bakımından radyoaktif maruziyet düzeyini karşılaştırmak için kullanılır. Yapısındaki potasyum ve radyumdan dolayı 150 gram muz  $9.82 \times 10^{-8}$  sieverts veya yaklaşık 0.1  $\mu\text{Sv}$  radyasyon içermektedir. Örneğin, bir muz tükettiğimizde maruz kaldığımız radyasyon dozu yaklaşık olarak günlük ortalama maruz kalınan dozun 1%'ine eşittir ve buna 100 muz eşdeğer doz (BED) denir. Nükleer santrallerde sızıntılardan dolayı maksimum kabul edilen doz 2,500 BED (250  $\mu\text{Sv}$ ), bilgisayarlı tomografide maruz kalınan 70,000 BED (7 mSv). Three Mile Island nükleer reaktörünün 10 mile uzaklığında oturanların maruz doz miktarı 700 BED, bu değer yılda her gün iki muz yenildiğinde alınan değere eşittir.



Muz Sayısı	Eşdeğer maruz kalma
100,000,000	Ölümcül Doz
20,000,000	Bir kez radyoterapi alındığında
70,000	Bilgisayarlı tomografi (CT)
20,000	Mamogram (Bir kez)
200 - 1000	X-Ray
700	Evin içerisinde bir yılda maruz kalınan doz
400	Londra'dan New York'a yapılan uçuş
100	Günlük alınan ortalama doz
50	Diş filmi çekirme
1 - 100	Bir nükleer santral etrafında yaşanaların maruz kaldığı yıllık doz

Eşdeğer maruz kalma tablosu

## Ortalama olarak her insanın ilave aldığı radyasyon miktarı

<b>Tıpta kullanılan radyasyon aletlerinden</b>	<b>0.4-1.0 mSv/yıl</b>
<b>Nükleer silah denemeleri serpintilerinden</b>	<b>0.04 mSv/yıl</b>
<b>Nükleer santral yakınında yaşayanlara</b>	<b>0.01 mSv/yıl</b>
<b>Her gün 1 saat televizyon seyrettiğimizde</b>	<b>0.01 mSv/yıl</b>
<b>Çektirdiğimiz her diş filminden</b>	<b>0.01 mSv/yıl</b>
<b>Akciğer filminden</b>	<b>0.02 mSv/yıl</b>
<b>Tuğla, beton, ve sıva topraklarından</b>	<b>0.1 mSv/yıl</b>

Maruz Kalınan Doz Oranları

Bölge	Radyasyon (mSv/yıl)
Akkuyu	0.4
Ankara	0.68
Erzurum	1.04
Uludağ	1.23
Ağrı dağı	2.08
Karaormanlar (Almanya)	18.00
Hindistan	26.00
Brezilya (Atlantik kıyıları)	87.00

Bölgelere Göre Maruz Kalınan Doz Oranları

Görevi gereği radyasyonla çalışanlar için	mSv/yıl	Halk için (mSv/yıl)
Bütün vücut (Ardışık 5 yıl)	20	1
Bütün vücut (tek bir yıl)	50	5
Göz	150	15
El, ayak, cilt	500	50 (cilt)

Kişisel Doz Sınırları



<b>Doz eşdeğeri (mSv)</b>	<b>Muhtemel etkiler</b>
<b>0-250</b>	<b>Belirgin bir hasar yok</b>
<b>250-500</b>	<b>Kan tablosunda hafif bir değişim var, fakat ciddi bir hasar yok</b>
<b>500-1000</b>	<b>Kan hücrelerinde değişim, bazı hasarlar, sakatlık yok</b>
<b>1000-2000</b>	<b>Hasar var, sakatlık olabilir</b>
<b>2000-4000</b>	<b>Muayyen hasar ve sakatlıklar, ölüm olabilir</b>
<b>4000-5000</b>	<b>30 gün içerisinde % 50 ölüm</b>
<b>6000- üstü</b>	<b>% 100 ölüm</b>

Radyasyon dozları ve muhtemel biyolojik etkileri

## 9. 2. Nükleer Silahlar

Atom çekirdeğinin fisyon, füzyon ya da her ikisinin karışmasıyla oluşan bir kimyasal reaksiyon ile enerji açığa çıkması sonunda oluşan patlamayı yaratan her türlü silah nükleer silah olarak isimlendirilmiştir. Nükleer reaksiyon sonucunda enerji açığa çıkartan silahlar için farklı isimler kullanılmaktadır; atom bombası, hidrojen bombası, nükleer silah, fisyon bombası, füzyon bombası, termonükleer silah gibi... Bu tür silahlar ilk olarak 'atom bombası' olarak adlandırılmıştır. Nükleer silahlar, yok edici etkilerini sağlayan nükleer reaksiyonlara ve tasarımlarındaki ayrıntılara göre çeşitli biçimlerde gruplandırılabilirler. Fisyon ve füzyon silahlarının genel özelliği atom çekirdeğinin dönüşümü sonucu çevreye enerji bırakmalarıdır. Bu yönden bütün bu tip patlayıcı araçlar için en uygun genel terim 'nükleer silah'tır (Bozbıyık, Nükleer Silahlar).

## 10. ENERJİ DEPOLAMA

Enerjinin istenilen yerde ve istenilen zamanda kullanıma hazır olması beklenir. Bu işlemin gerçekleştirilebilmesi içinse üretilen enerji fazlasının depolanması ve gerekli durumlarda iletilmesi ve dağıtılması gerekir. Bu depolama çeşitli şekillerde olabilmektedir. Örneğin doğada biokütle, hayvanlar ve parazitler için doğal bir enerji deposudur (Boztepe, 2006).

*Bir Enerji Deposunda Aranılan Özellikler Şöyledir;*(Boztepe, 2006)

- Yüksek depolama kapasitesi,
- Yüksek şarj/deşarj verimi,
- Kendiliğinden boşalmanın ve kapasite kaybının az olması,
- Uzun ömür,
- Ucuzluk,
- Enerji yoğun olması. Yani enerjiyi en az hacimde ve ağırlıkta depolayabilme.

### 10. 1. Enerji Depolama Türleri(Boztepe, 2006)

- Biyolojik Depolama
- Kimyasal Depolama
- Isıl Depolama
- Elektriksel Depolama

#### *1. Biyolojik Depolama*

Bitkiler fotosentez yaparak büyürler ve gelişirler. Bu güneş enerjisinin bir depolanma şeklidir. Daha sonra bu bitkiler yakılarak depoladıkları enerji ısı enerjisi olarak açığa çıkarılabilir. Fosil yakıtlar da bir biyolojik depolama türüdür. Binlerce yıl boyunca oluşan kömür, petrol ve doğalgaz gibi yakıtlar enerji dönüşüm sistemlerinde kullanılarak enerjilerini açığa çıkarmaktadırlar (Boztepe, 2006).

#### *2. Kimyasal Depolama*

Enerji kimyasal bileşiklerin oluşturduğu bağlarda depolanabilir ve ekzotermik reaksiyonlarla tekrar kazanılabilir. Bunun için bazen bir katalizör kullanmak gerekebilir. En çok kullanılan kimyasal depolama yöntemleri hidrojen ve amonyaktır Hidrojenle depolamadan ilerde bahsedeceğiz. Amonyak uygun sıcaklıklarda ayrışabilir.

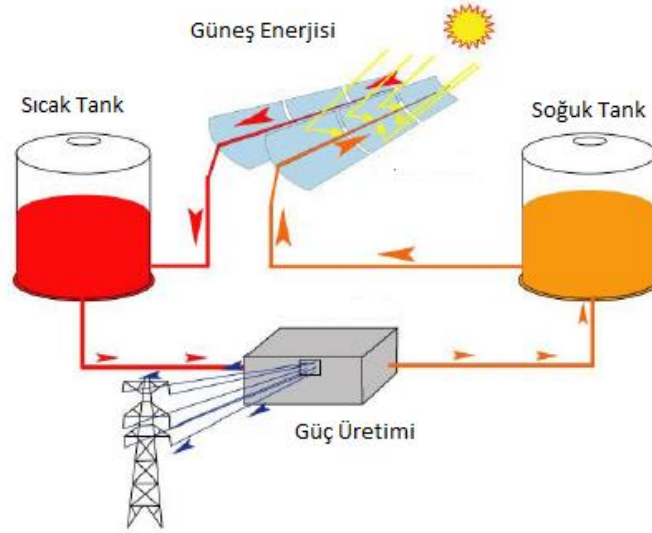
$(N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3)$  Bir ısı çevrimi ile birlikte bu yöntemle güneş enerjisinden sürekli olarak ısı elde etmek mümkün olabilmektedir (Boztepe, 2006).

#### *3. Isıl Depolama*

Isıl depolamanın kullanıldığı bir çok alan mevcuttur. Bunlardan birisi gece ve gündüz arasındaki enerji talebinin dengelenmesinde ki rolüdür. Gün içerisinde güneşin devreye girmesiyle ısı enerjisi ihtiyacının aza inmesine karşın gece bu ihtiyacın maksimum düzeye çıktığı düşünüldüğünde bu depolanan ısı enerjisinin kullanımı söz konusu olmaktadır. Isıl enerji konutlarda yalıtılmış sistemlerde ya da güneş kolektörlerinde depolanabilir. Sanayi

açısından düşünüldüğünde ise örneğin kombine ısı-güç santrallerinde elektrik üretimiyle beraber üretilen ısı enerjisinin depolanması söylenebilir.

İçerisinde tuz eriyiği (molten salt) bulunduran depolar bu işlem için kullanılmaktadır. Böylece, ısı enerjisi uzun süre kullanılabilir olmaktadır. Isıl depoların kullanıldığı basit bir çevrim Şekil’de gösterilmiştir.



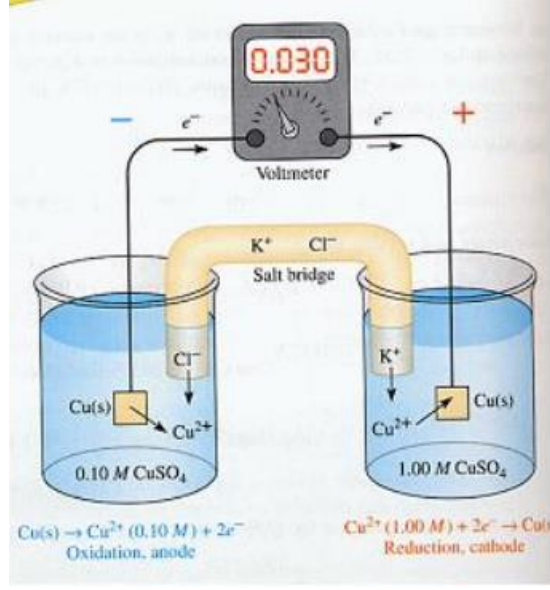
Güneş Enerjisinin Depolandığı Isıl Depolu Basit Bir Çevrim (Falchetta, 2014)

#### 4. Elektriksel Depolama

Elektrik, enerjinin çok kaliteli bir formudur. Dolayısıyla onu verimli ve ucuz bir şekilde depolamak için çok fazla araştırma yapılmaktadır. Teoride bir çok elektrokimyasal reaksiyon tersinir olmasına karşın içlerinden sadece birkaçı pratik uygulamaya uygundur. Çünkü 1-100 A arasındaki şarj/deşarj akımlarında yüzlerce kez çevrim yapmaları beklenir. En çok kullanılan batarya tipi ise Plante'nin 1860'ta keşfettiği kurşun-asit bataryadır ve o günden beri sürekli geliştirilmektedir (Boztepe, 2006).

#### Kurşun-Asit Akü

Primer bataryalar şarj edilemez. Şarj edilebilir olanlara sekonder bataryalar denir. Bataryanın çalışma prensibinin temelini oksitleme ve indirgeme oluşturur ve bu proselerin gerçekleştiği yerlere anot ve katot denilir. Oksitleme de reaksiyonda olan malzemenin valans durumu artar ve ekstra elektron üretir. İndirgeme de reaksiyonda olan malzemenin valans durumu azalır ve ekstra elektron kullanır. Buna kısaca redox reaksiyonu da denilir. Redox reaksiyonunda kısaca elektron bir reaksiyondan diğerine transfer edilir. Her reaksiyonda fiziksel olarak birbirine yakındır (Boztepe, 2006).



Kurşun-Asit Bataryası (Boztepe, 2006)

### Bataryalar

Starter aküler veya otomobil bataryaları PV uygulamalarının ihtiyaç duyduğu derin boşalma işlevini yapamadıklarından uygun değildir. RV veya ‘marine’ bataryaları bir starter bataryasından daha iyi derin deşarj oldukları için başlangıç sistemlerde kullanılabilirler. Derin boşalma yapabilen DeepCycle bataryalar PV sistemler için iyi bir seçimdir ve % 80 oranında deşarj olabilirler. Örneğin golf arabalarının bataryaları 3-5 yıl kullanılabilir. Bazı büyük kapasiteli deepcycle bataryalar 7-10 yıl, endüstriyel chloride bataryalar ise 15-20 yıl dayanabilmektedirler. Kurşun bazlı olmayan Ni-Cd gibi bataryalar pahalı olmasına karşın, aşırı deşarj yapılmadan kullanılırsa uzun yıllar hizmet verebilmektedirler. Yeni tip fiber-Ni-Cd batarya % 25 deşarj oranında oldukça uzun süre çalışabilmektedir. Yalnız Ni-Cd bataryaların şarj durumunu ölçmede, kurşun bazlı akülere göre zorluklar vardır. Batarya seçiminde, doğru bir deepcycle tip ve çalışma koşullarına uygun olmasına dikkat edilmelidir (Boztepe, 2006).

### Süper Kapasitör

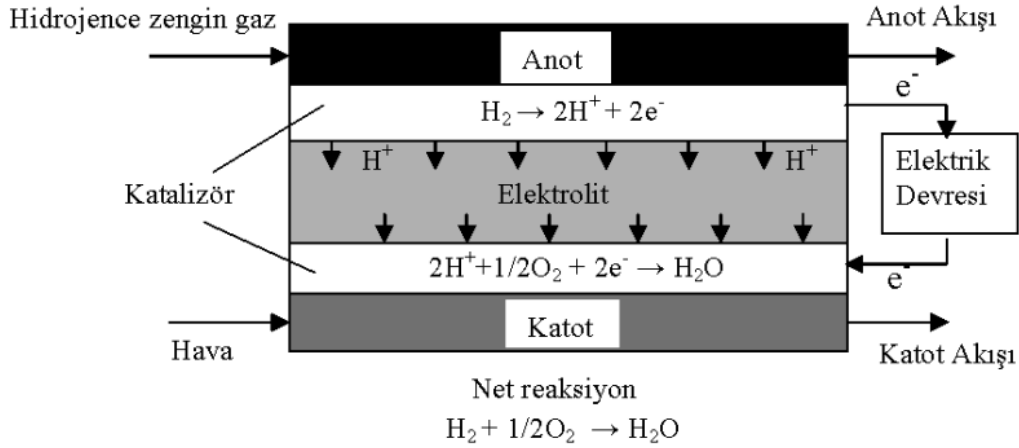
Elektrik enerjisini iki yüzeyli elektrot ve elektrolit iyonları içinde depolar. Şarj yüzeylerindeki ayırım birkaç angstrom civarında olur. Bu tür ürünlerdeki enerji depolama yoğunluğu elektrolitik kapasitörlerin binlerce katına çıkar. Elektrotlar genelde gözenekli karbon malzemedendir. Kurşun-asit akülerle karşılaştırıldığında, bu kapasitörler daha düşük enerji depolama yoğunluğuna sahip olmalarına rağmen şarj/deşarj çevrim sayılarının kurşun-aside göre binlerce kat fazla olması ve çok yüksek akımlarla şarj ve deşarj edilebilmeleri gibi avantajlara da sahiptirler. Küçük uygulamalar için bir çok tipinin üretilmiş olması ile birlikte 20 kWh/m<sup>3</sup> enerji depolama yoğunluğuna sahip tiplerinin tasarımı halen devam etmektedir (Boztepe, 2006).

### 10. 2. Yakıt Hücreleri (Fuel-Cells)

İleri teknoloji görünümünün yanı sıra yakıt hücreleri, aslında bilim tarafından 150 seneden beridir bilinmektedir. 1800’lerde gelip geçici bir heves olarak düşünülmesine karşın,

yakıt hücreleri, özellikle II. Dünya Savaşı'ndan bu yana yoğun bir araştırma ve geliştirme çalışmasının konusu olmuştur (Bıyıkoğlu, 2003).

Yakıt hücresi denilince akümülatör veya pil akla gelmektedir. Her ikisi de kimyasal enerjiyi doğrudan elektriğe çevirmektedir. Aralarındaki en önemli fark ise; akümülatörde, kimyasal enerji kullanımdan önce depolanmış durumda iken yakıt hücresinde ise dış kaynaklardan enerji sağlandığı sürece elektrik üretilebilmektedir. Yakıt hücresinin temel çalışma prensibi su-hidroliz reaksiyonunun ters çevrilmesiyle meydana gelmektedir (Bıyıkoğlu, 2003).



Yakıt Hücresinin çalışma Prensibi (Bıyıkoğlu, 2003)

Anottaki hidrojenin katalitik oksitlenmesi ve katottaki oksijenin indirgenmesi elektrotlar arasında potansiyel farkı meydana getirir. Eğer elektrotlar arasında yalıtımı sağlayan elektrolit, iyonik kütle ve şarj aktarımına izin verirse, bu potansiyel farkı dış bir devrede de kullanılabilir. Eğer kullanılırsa, ürün olarak su elde edilecek ve bu reaksiyonun kimyasal enerjisi, kutuplaşma ve direnç kayıpları nedeniyle, elektrik ve ısı olarak serbest bırakılacaktır. Bu işlem 'Carnot' ilkesine ve getirdiği sınırlamaları kapsamında değildir. Sonuç olarak toplam verimin yanı sıra elektriksel verim de yüksek olabilir. Yakıt hücrelerinde yakıt olarak hidrojen gazı, doğalgaz, metanol veya etanol, oksidan olarak oksijen gazı veya hava kullanılabilir. Eğer, hidrojen ve oksijen gazları yakıt-oksitleyici çifti olarak kullanılırsa ürün olarak saf su elde edilmektedir. Yakıt hücrelerinde, hidrojen içeren herhangi bir gaz karışımından üretilebilen yakıt kullanılabilir. Bununla beraber, hidrojene dönüşüm bazı verim kayıplarına sebebiyet vermektedir. Bu yolla elde edilen yakıtın ise temizlenmesi gerekebilir. Yakıtın işleyiciye ve hücreye girmeden önce gaz temizleme işlemine ihtiyaç duyması ve hücredeki elektro-kimyasal reaksiyonların çok temiz olması, yakıt hücre santrallerinin oldukça düşük emisyon değerlerine sahip olması sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Yakıt hücrelerinde hareketli kısımların olmayışı, gürültü ve titreşim seviyelerinin minimuma çekilmesini kolaylaştırılmasının yanı sıra güvenilirliğini artırmış ve ürün maliyetini azaltmıştır (Bıyıkoğlu, 2003).

# 11. HİDROJEN VE HİDROJEN EKONOMİSİ

Hidrojeni ilk kez, 1783'te suyun bileşimini bulan LAVOISIER ortaya çıkarmıştır ve söz konusu maddeye "Hidrojenyum" adını vermiştir. Koksuz, renksiz, tatsız ve saydam bir yapıya sahip olan hidrojen doğadaki en hafif element olma özelliğine sahiptir. Bir litresi 0 °C'de ve 1 atm basınç altında 0,0898 gramdır. H<sub>2</sub> biçiminde 2 atomlu moleküller halinde bulunur. Bu renksiz ve koksuz gaz, hava veya oksijenle kolayca tepkimeye girer ve su oluşturur (Köse, 2002).

Hidrojen, bilinen tüm yakıtlar içerisinde birim kütle başına en yüksek enerji içeriğine sahiptir (Üst Isıl Değeri:140.9 MJ/kg ve Alt Isıl Değeri 120.7 MJ/kg). Yani başka bir deyişle 1kg hidrojen, 2.1 kg doğalgaz veya 2.8 kg petrolün sahip olduğu enerjiye sahiptir. Hidrojen petrol yakıtlarına göre ortalama 1.33 kat daha verimli bir yakıttır. Hidrojenden enerji elde edilmesi esnasında su buharı dışında çevreyi kirletici ve sera etkisinde artışa yol açan hiçbir gaz ve zararlı kimyasal madde üretimi söz konusu değildir (Görkem, Hidrojen enerjisi ve geleceği).

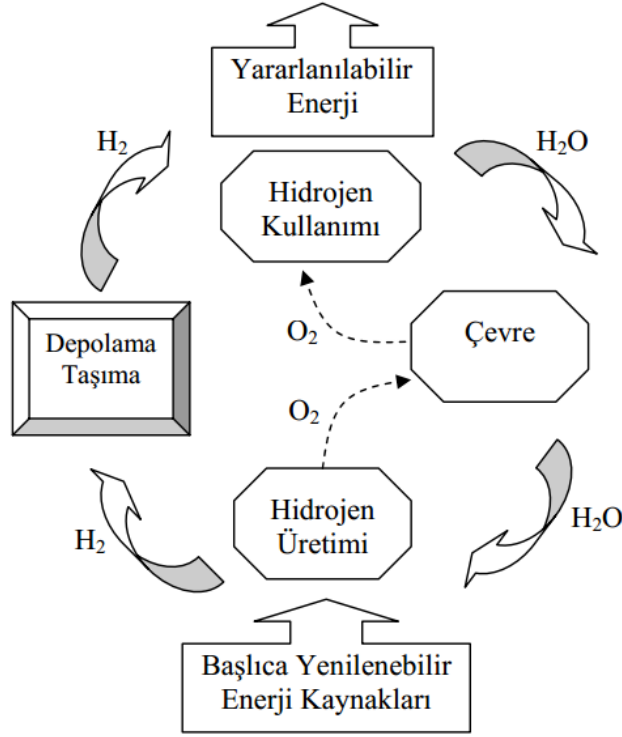
## *Hidrojenin Özellikleri*

Hidrojen atomik ve fiziko-kimyasal özellikleri bakımından diğer bütün elementlerden farklıdır. Bunlar şöyle sıralanabilir: (Bentor, 2003)

Atomik Sembolü	: H
Atom Numarası	: 1
Atom Ağırlığı	: 1.00794akb
Elektron Konfigürasyonu	: 1s <sup>1</sup>
Ergime Noktası	: -259.14°C
Kaynama Noktası	: -252.87°C
Sınıflandırma	: Ametal
Kristal Yapısı	: Hekzagonal
Yoğunluk (293 K)	: 0.08988 g/cm <sup>3</sup>
Buharlaştırma Isısı	: 0.44936kJ/mol
Füzyon Isısı	: 0.05868kJ/mol
Özgül Isı	: 14. 304 J/gK
Atom yarıçapı	: 0.79 Å
Bağ Yarıçapı	: 0.32 Å
İzotopları	: H-1 (Kararlı) H-2 (Döteryum) H-3 (Tritiyum)

## *Hidrojen Enerji Sisteminin Avantajları (Polat, 2012)*

- Küresel ısınmaya çözüm oluşturacak,
- Kirlilik ve asit yağmurları problemini ortadan kaldıracak,
- Temiz ve sürekli bir enerji sistemini yerleştirecek,
- İstihdam sağlayacak,
- Yeni bir enerji teknolojisi için ihracat potansiyeli meydana getirecek,
- Petrol ithalatını azaltacak,
- Ticaret açığını azaltacak,
- Çevreyi koruyarak ekonomiye destek olacaktır.



Hidrojen Yaşam Çevrimi (Erbaş, 2008)

### 11. 1. Hidrojen Üretim Teknolojileri

Hidrojen doğada tek olarak bulunmamaktadır. Su, petrol, doğalgaz, hidrokarbonlar, kömür, biokütle, metanol, amonyak vs.'nin bileşiminde bulunmaktadır. Bu nedenle hidrojenin bu bileşiklerden ayrıştırılması gerekir ve ayrıştırma işlemi için de enerji (elektrik, ısı, güneş, rüzgar, dalga, nükleer ya da jeotermal enerji) gerekmektedir (Erbaş, 2008).

Metandan kimyasal prosesler yardımı ile hidrojen üretimi en yaygın ve en ucuz ve en bilinen yöntemdir. Metan, 800-900 °C sıcaklık aralığında buhar ve bir katalizörle genel olarak kararlı, yüksek aktivitede bir element olan nikel ile reaksiyona girer. Bu reaksiyon sırasındaki hidrojen oluşumu metan ( $CH_4$ ) ve sudan ( $H_2O$ ) gelmektedir. Reaksiyon endotermik yani ısı gerektiren bir reaksiyon olup gerekli olan enerjinin bir kısmı metan gazının yanmasıyla elde edilmektedir. Bu reaksiyon sonucunda CO ve  $H_2$ 'den oluşan bir sentez gazı elde edilir. Hidrojen konsantrasyonunun artması adına meydana gelen sentez gazı su buharı ile tekrar yer değiştirme reaksiyonuna girer, yani bir önceki aşamada meydana gelen CO, su buharı ile reaksiyona girerek  $CO_2$  oluşturur (Erbaş, 2008).

Kömürün gazlaştırılması yöntemi de hidrojen üretiminde kullanılan en eski yöntemlerden biridir. Bu yöntemde kömürün, yaklaşık 900°C sıcaklıkta ve yine yüksek basınç altında, sınırları dikkatlice kontrol edilmiş miktarda oksijenle ya da havayla ve buharla teması sağlanır. Bu koşullarda reaksiyon sırasında kömürden karbon molekülleri ayrılmaya başladığı sırada, CO,  $H_2$  ve diğer gaz bileşenlerin oluşmasını sağlayan bir dizi reaksiyon da ardı ardına devam eder. Hidrojen içeriğinin zenginleştirilmesi için su,  $CO_2$  yer değiştirme reaksiyonları gelişmiş reaktörlerde gerçekleştirilir. Prosesteki  $CO_2$ ,  $NO_x$ ,  $SO_2$  emisyonları metandan hidrojen üretimine göre daha fazla olmaktadır. Meydana gelen CO emisyonlarının tamamına yakını  $CO_2$ 'e dönüştürüldüğünden  $CO_2$  emisyonu çok daha fazla olmaktadır. Ardından oluşan sentez gazı arındırılarak saf hidrojen elde edilmiş olur (Konstantopoulou, 2005).

Biyokütlenin (odun, ot, tarımsal ve hayvansal atıklar vb.) gazlaştırılma işleminde de aynı kömür teknolojilerinde olduğu gibi belli bir miktarda oksijenle yüksek basınçta ve sıcaklıkta karıştırılarak CO<sub>2</sub>, CO ve CH<sub>4</sub>'den oluşan bir sentez gazı elde edilir. Arındırma işlemlerinin ardından reformasyon ile hidrojen elde edilir. Bu yöntem çok düşük maliyetli bir üretim metodu olup hammaddesi ucuz ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır (Konstantopoulou, 2005).

Elektrokimyasal hidrojen üretim yöntemlerinden en bilineni suyun elektrolizi ile hidrojen üretimi yöntemidir. Bu yöntem şu an için en pahalı yöntemdir ancak ileride bu üretim metodunda ilerleyen teknoloji ile maliyetler düşeceği düşünülmektedir. Yöntemin en temiz hidrojen üretim yolu olabilmesi adına elektrolizde kullanılan elektrik enerjisinin güneş, rüzgar, dalga, jeotermal, hidrolik vb. alternatif enerji kaynaklarından üretilmesi sağlanmalıdır (Erbaş, 2008).

Son yıllarda kapalı çevrim yolunu kullanarak suyun termo kimyasal ayrıştırılması yöntemi de dikkatleri çekmektedir. Bu çevrim suyu bileşenlerine ayırmak için 3 aşamalı reaksiyondan meydana gelir. Bu reaksiyonlardan birincisi çevrimi için gerekli asitlerin üretimini içermektedir. Diğer ikisi ise bu asitlerin parçalanmasını sağlamaktadır. Bu reaksiyonlardan en fazla enerji gerektiren ve teknolojik zorlukları en fazla olan birinci reaksiyondur. İleri hidrojen üretim yöntemlerinden olan fotobiyolojik yöntemlerin bir çoğunda bakterilerin ve yeşil alglerin doğal aktiviteleri ile hidrojen üretilmektedir. Klorofil güneş ışınlarını emer ve enzimler hidrojeni sudan ayırmak için bu enerjiyi kullanır. Böyle sistemlerin en temel problemi verimsiz dönüşümdür. % 5-6 civarında güneş enerjisi hidrojen enerjisine dönüştürülebilmektedir (Rebecca, 2005).

Organik atıklarda bulunan (meyve, sebze, diğer yeşil atıklar) bakteriler vasıtasıyla da hidrojen elde etmek mümkündür. Bu bakteriler ile kullanılan hammaddeden belirli koşullar altında hidrojen üretimi gerçekleştirilir. Buna biyofotoliz denilmektedir (Macdonald, 2000). Güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesiyle ve elektroliz hücrelerinde kullanılma işlemi yerine, iki aşama yarıiletkenler kullanılarak birleştirme yapılabilir. Fotovoltaik hücreler, bir elektrolit gibi çalışan katalizör yardımı ile, hücre yüzeyinde güneş ışığına maruz kalan suyun ayrıştırılmasıyla hidrojen ve oksijen birikmesini sağlar. Bu metod düşük maliyetli ve yenilenebilir hidrojen üretimi için mükemmel bir potansiyel teşkil etmektedir. Verim yaklaşık %25 civarındadır (Hijikata, 2002).

Işık kullanılarak suyun ayrıştırılması metodu, düşük maliyetli bir hidrojen üretim metodudur. Belirli şartlar altında güneş ışınlarının taşıdıkları fotonlar su moleküllerince soğurulabilmekte ve bu fotonların enerjisi belli bir değere ulaştığında hidrojen ve oksijen açığa çıkmaktadır. Bu olaya fotoliz denilmektedir. Mor ötesi ışınlar, suyun fotolizi için daha uygun olup ancak güneşten yeryüzüne gelen mor ötesi ışınlar çoğunlukla atmosferin üst katmanlarında soğurulmakta ve yeryüzüne gelene kadar şiddeti azalmaktadır. Bu nedenle ayrıştırma işlemi için katalizörler kullanılmaktadır. Işığa duyarlı bir bileşik, görünen bir ışığa maruz bırakılarak redoks reaksiyonları başlatılır ve suyun indirgenmesi için elektron açığa çıkmış olur (Konstantopoulou, 2005).

Yüksek sıcaklık reaktörlerin, en ideal uygulaması, termokimyasal metotlar yardımıyla sudan hidrojen üretebilmeleridir. Son yıllarda kapalı çevrim yoluyla suyun termokimyasal ayrıştırılması yöntemi dikkati çekmektedir. Termokimyasal proseslerde, ısıl enerji, ilk olarak mekanik enerjiye dönüşmeksizin kimyasal enerji (hidrojen) formuna dönüşmesi yöntemidir.



Birincil enerji kaynağı olarak yüksek sıcaklık reaktörleri veya güneş enerjisi ısı yoluyla hidrojen üretimini sağlamaktadırlar. Burada birincil enerjiden alınan ısıyla hidrojen üretimi ya elektroliz ya da termokimyasal süreçlerde yapılmaktadır. Termokimyasal süreç elektroliz yöntemine göre daha yüksek verimlidir (Polat, 2012)

## 11. 2. Hidrojen Depolama

Hidrojen en hafif yakıt olmasından ötürü depolanması özellikle araçlarda ciddi sorun oluşturmaktadır. Mobil uygulamalarda, hidrojen genellikle kriyojenik sıvı, düşük sıcaklıklarda veya ortam sıcaklıklarında da sıkıştırılmış gaz olarak değerlendirilmektedir. Son yıllarda, hidrojenin bazı metal alaşımlar ile reaksiyona girip bileşik meydana getirmesi ilkesine dayanan metal hidrürde ve hidrojenin nano yapılarıdaki karbon tüp veya fiber ortamlarda depolanması yöntemleri geliştirilmekte olan yeni teknolojiler arasında yer almaktadır. Fakat metal hidrürlerin çok ağır olması ve depolama özelliği için birçok alaşımın az bulunan elementlerden meydana gelmesi nedeniyle çok pahalı olması kimyasal hidrürlere yönelik çalışmalarını ön plana çıkarmıştır (Mat, 2003).

### *Hidrojenin Sıkıştırılmış Gaz Olarak Depolanması*

Hidrojenin sıkıştırılmış gaz olarak depolanması yüksek basınçlı tanklarda yapılmaktadır. Çoğunlukla 50 litrelik silindirik depolarda 200–250 bar'lık basınçta depolama işlemi gerçekleştirilmektedir. 50 litrelik tanklarda depolanmasına rağmen hidrojenin çok hafif olmasından dolayı hacimsel enerji yoğunluğu çok düşüktür. Ayrıca yüksek basınçtan ötürü kullanılan tanklar çok ağır olmaktadır çıkarmıştır (Mat, 2003). Sıkıştırılmış gaz depolamada tankın ağırlığına ve tankın tipine bağlı olarak ağırlıkça % 1–7 hidrojen depolanması yapılabilmektedir. Daha hafif, daha dayanıklı ve ağırlıkça daha fazla hidrojen depolayabilen tanklar daha pahalıdır. Doldurma istasyonunda hidrojen gazının sıkıştırılması adına yakıtın enerji içeriğinin % 20'si kadarı harcanarak verimliliği düşmektedir (Dinçer, 2002).

### *Hidrojenin Kriyojenik Sıvı Olarak Depolanması*

Bu depolama yöntemi sıvı hidrojen uzay teknolojilerinde ve yüksek enerjili nükleer fizik uygulamalarında sıkça kullanılmaktadır (Sherif, 2005). Bu depolama tekniğinde hidrojen atmosfer basıncında, 20K'de yalıtımı iyi gerçekleştirilmiş tankta depolanmaktadır. Sıvılaştırma işleminin 20.25K'de meydana gelmesinden dolayı sıvı depolarının ısı yalıtımının ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca hidrojenin bu sıcaklığa kadar soğutulması için ciddi zaman ve enerji gerektirmektedir (Mat, 2003). Tank ve izolasyonda dahil toplam ağırlığın en fazla % 16'sı kadar hidrojen depolanabilmektedir. Sıvılaştırma için yakıt enerjisi miktarının % 40'ı kadarı harcanmaktadır (Dinçer, 2002).

### *Hidrojenin Karbon Absorbsiyon İle Depolanması*

Bu depolama yönteminde hidrojen, geniş yüzey alanına sahip aktif karbonun makroskopik gözenekleri arasında depolanmaktadır. Fakat bu gözeneklerin sadece belli bir kısmında hidrojen atomu absorbeedilemeyecek kadar küçük olmasından ötürü genellikle depolama için dış basınç şarttır. Düşük sıcaklıklarda ve 45–60 bar basınç aralığında grafit yapıya % 5.2 kadar hidrojen depolanabilmektedir (Poirer, 2001).

### *Hidrojenin Cam Krelerde Depolanması*

Bu depolama tekniğinde ise küçük, içi boŐ, çapları 25 ile 500  $\mu\text{m}$  arasında değişen ve kalınlıkları 1 $\mu\text{m}$  olan cam küreler kullanılmaktadır. Bu küçük (mikro) küreler 200-400 $^{\circ}\text{C}$ 'de hidrojen gazı ile doldurulmakta veyksek sıcaklıkta cam duvarlar geirgenleŐtike de gaz kürelerin içine dolmaktadır. Hidrojen cam oda sıcaklığına soğuduğunda kürelerin içine hapsolmaktadır. Kullanılacağı zaman kürelerin ısıtılması ile hidrojen tekrar açığa çıkarılmaktadır (Dinçer, 2002).

## 12. ENERJİ GÜVENLİĞİ (ARZ GÜVENLİĞİ)

En basit ifadesiyle enerji güvenliği, ekonomide ihtiyaç olarak bulunan enerji hizmetlerinin sürdürülebilir olmasıdır. Bu hizmetlerin arzı sırasında yaşanabilecek kesinti risklerine karşı ciddi önlemler alınmalıdır. Bu durumda, çeşitlendirme diye tabir edilen kavramın gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Öz kaynakları sınırlı olan ülkelerin ekonomik kalkınmalarını sürdürmedeki enerji ihtiyaçlarını sağlarken izledikleri çeşitlendirme politikasının önemi çok büyüktür. Bu politikaların en sık görünenlerini şöyle sıralayabiliriz (Gülen, enerji güvenliği nedir?).

- Enerji portföyünde yer alan yakıt ve teknolojilerinin sayısının artırılması,
- Her yakıt için farklı ve birçok ülkeden alım yapılması,
- Enerji verimliliği bilincinin oluşturularak tasarrufun artırılması,
- Farklı yakıt türleri için değişik depolama tekniklerinin geliştirilmesi,

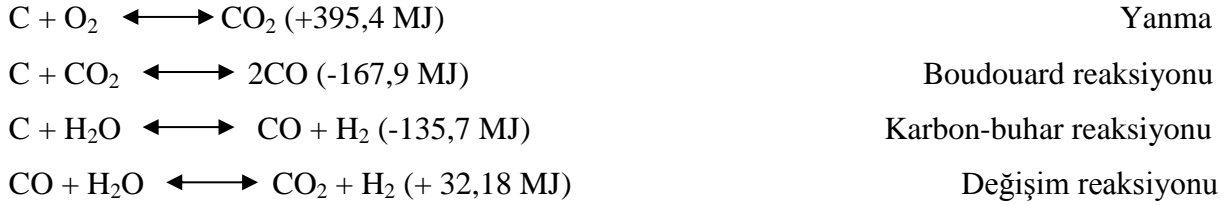
## 13. İLERİ TEKNOLOJİLER

Teknolojinin gelişimi ile birlikte farklı enerji kaynaklarının ortaya konulması ve bunun yanında çevreyi kirletici emisyonların en aza indirgenmesi için farklı çalışmalar devam etmektedir. Bunlardan bazıları temiz kömür teknolojisi ve karbon tutma tekniğidir.

### 13. 1. Kömürlerin Gazlaştırılması (Sentetik Gazlar)

Kömür gazlaştırma teknolojisi çok uzun zamandan beri devam eden bir teknolojidir. Özellikle ülkemiz için düşünüldüğünde, yerli kaynak bakımından ülkemiz için en zengin fosil yakıt kömürdür. Bu özelliğimiz sebebiyle de bu teknoloji üzerinde ülkemizde daha fazla durulmalı ve yeni çalışmalar yapılmalıdır.

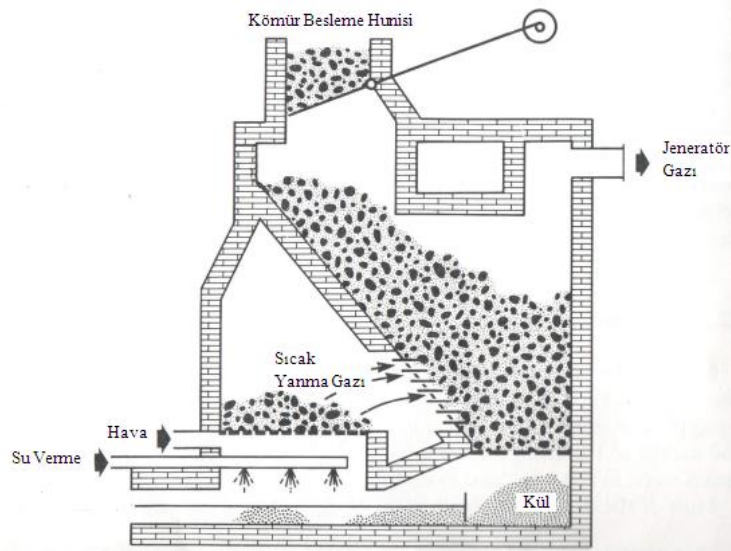
Farklı kapsamlarda ve çeşitli kombinasyonlarda meydana gelen kimyasal reaksiyonlar kömürü gazlaştırır. Bu işlem 1500 °F (815 °C)'nin üzeri bir sıcaklıkta yalnızca belirli oranlarda devam eder. Burada gerçekleşen reaksiyonlar şu şekildedir (Berkowitz, 1979):



Yakıt yatağına havanın yanı sıra buhar girişine de izin verilirse, karbon-buhar reaksiyonu (3), ürün gazı olarak CO ve H<sub>2</sub> oluşmasını sağlayacak ve buna bağlı olarak ısı değeri daha yüksek olan su gazı (watergas) oluşacaktır. Fakat bu prosesin fazlasıyla endotermik ve düşük yakıt yatak sıcaklığına meyilli olmasından dolayı, değişim reaksiyonunun (4) gerçekleştirilmesi kolaylaştırılacak ve buhar oranı dikkatli bir şekilde kontrol edilmedikçe, bunun bir sonucu olarak CO harcandıkça sentetik gazın CO<sub>2</sub> oranı artacaktır. Fakat, aynı reaksiyon, hava ve buharla yapılmaktansa *oksijen* ve buharla gerçekleştirilirse daha yararlı sonuçlar elde edilir. Böylece ürün gazları azotsuz sentez gazları olacaktır. Bu sentez gazları tamamıyla CO<sub>2</sub>, CO ve H<sub>2</sub>'den oluşacak, CO<sub>2</sub> kaldırıldıktan sonra, kimyasal sentezlerin geniş bir çeşitliliği için temel hammadde sağlanacaktır (Berkowitz, 1979).

#### *Eski ve şimdiki Ticari Gazlaştırıcılardan Bazıları*

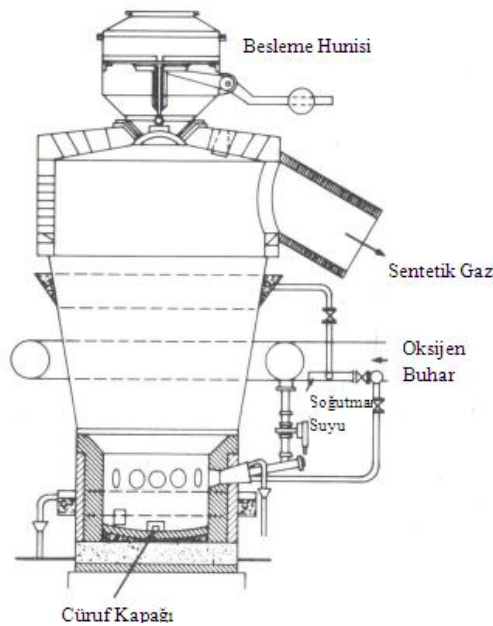
İngiltere'de inşa edilen ilk fabrikaların çoğu K. W. (sonra Sir William) tarafından tasarlanmıştır. İlk çalışmalardan birisi Siemens tarafından gerçekleştirilmiştir. Jeneratör gazı üretmek için, kül bir ızgara içeren aşırı şekilde eğimli köşesiyle tuğladan bir oda düşünülmüştür (Berkowitz, 1979).



Şekil 87. Eski Tip Sentetik Gaz Jeneratörü (Berkowitz, 1979)

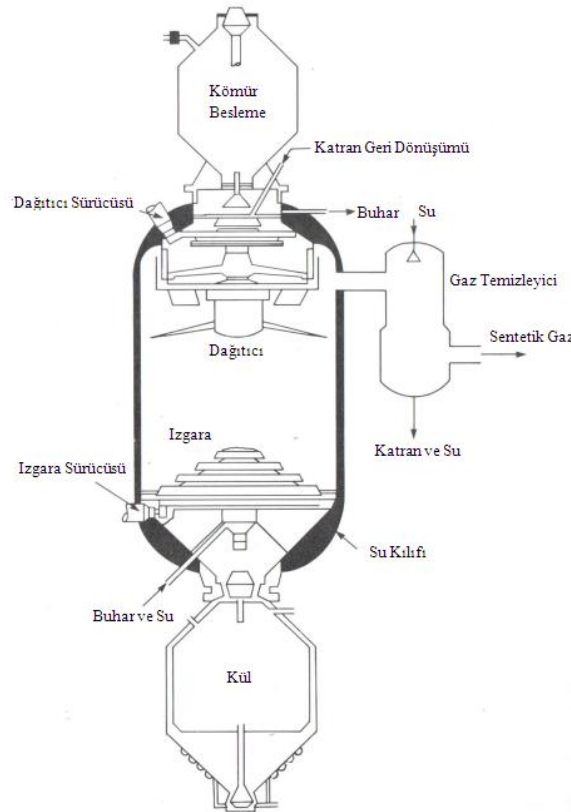
Bu sistemde kömür, eğime karşı dirençli bir bunkerden dibe doğru durmaksızın doğal akışlı bir besleme ile beslenmektedir. Proses ısısı, odanın altında yer alan bir fırından sağlanmaktadır ve gaz jeneratördeki yeterli çekişi sağlayan bir baca boyunca çıkabilmektedir(Berkowitz, 1979).

2 modern gazlaştırıcıdan daha eski olanı, 1920'lerde uygulamaya konulan basınçlı sentetik gaz üreticilerinde (pressure producer) görülmektedir. Bunlar genellikle, hava ve buhar enjekte edebilen ızgaralar boyunca sabitlenmiş 4.5-6 m yükseklikteki silindirik çelik sistemlerdir. Bu sistemde kül, ergimiş cüruf olarak ya da kül kolonunun altından kesilmiş cürufların, ayarlı kaselerin içine döndürülmesiyle boşaltılır. Önemli özellikleri, yakıt yatağının buharlaşmasını döngüsel yapmaktansa süreklilikle biriktiren yüksek yayılma kapasiteleridir. Bir diğer özellikleri ise su cidarlarından kendilerine ait tüm buharı kendilerine sağlayabilme kapasiteleridir. Bu tip bazı basınçlı gazlaştırıcılar 1960'larda bile hala kullanılmaya devam edilmiştir (Berkowitz, 1979).



Şekil 88. Basınçlı gazlaştırıcı (Berkowitz, 1979)

Basınçlı gazlaştırıcıların en dikkat çekenlerinden birisi 1936'da ortaya çıkan sabit yataklı modern *Lurgi* tipi gazlaştırıcıdır (Şekil 64). *Lurgi* gazlaştırıcısı sentetik gaz üretimi için günümüzde bile kullanılmaktadır. Bu sistem yukarıdaki kapalı besleme bölümünden aralıklı olarak kömür beslenen dikey su soğutmalı basınçlı gazlaştırıcıdır. Sistemde, buhar ve oksijen (ya da hava), reaktörün alt kısmında kapalı bir şekilde bulunan ve kül toplanan bölümüne sürekli olarak cüruf da dökülen dönel bir ızgara boyunca enjekte edilmektedir. Gazlaşma yaklaşık 950-1035 °C sıcaklıkta, 3-3,5 MPa basınç altında gerçekleşmektedir. Gazlaşmanın bu koşullarda rahatlıkla gerçekleşmesinden dolayı üretilen gaz CO<sub>2</sub>'siz olup oksijen ve buhar üflemeli reaktörden üretilen sentetik gaz bileşimi % 50 H<sub>2</sub>, % 35 CO ve % 15 CH<sub>4</sub>'ten oluşmaktadır (Berkowitz, 1979).



Şekil 89. Modern Lurgi Tipi Gazlaştırıcı (Berkowitz, 1979).

### 13. 2. Karbon Tutma Tekniği (Carbon Capture and Storage (CCS))

Karbon yakalama ve depolama teknolojileri **CCS** (carbon capture and storage) olarak adlandırılmaktadır. Sistem; fosil yakıtlı termik santraller ve diğer endüstriyel tesislerin bacalarından çevreye yayılan CO<sub>2</sub> emisyonlarını tecrit edip atmosfere salınımını önleyerek yer altı mağaraları veya depolarında güvenli olarak depolanmasını temin etmektedir. Karbon yakalama ve depolama teknolojileri petrol ile kimya endüstrisi sektörlerinde uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Ancak bir kaç küçük pilot tesis dışında CCS teknolojisini endüstriyel ölçekte kullanan fosil kaynaklı termik santraller bulunmamaktadır. Elektrik üretiminde CCS teknolojileri kullanan termik santraller klasik olan cinslerine kıyasla büyük yatırımlar gerektirmesi ve aşırı pahalı olması nedeni ile bu teknoloji tercih edilmemektedir. CCS teknolojisi bir termik santralin ilk yatırım maliyetini artırmakta, üretilen elektrik birim fiyatı da yüksek olmaktadır. CCS teknolojilerini tonlarca karbondioksitin tutulması için çok pahalı bir yöntem kabul edilmektedir. Bu olumsuzlukları gidermek için yeni kurulacak termik

santrallere uluslar arası düzeyde ekonomik destekler ve sübvansiyonlar verilmelidir. Temiz enerji teknolojileri yatırımları uluslar arası fonlar tarafından desteklenmelidir. ABD CCS teknolojilerini teşvik yasası çerçevesinde bir kaç milyar dolarlık bir fon tahsis etmiş, Avrupa Birliği sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik olarak CCS teknolojisi için büyük teşvikler verileceğini ilan etmiş, İngiltere, Avustralya ve diğer batılı ülkeler CCS teknolojili pilot tesislere mali destek fonları taahhüt etmektedir (Şahin, Termik Santraller ve Çevre).

## 14. ENERJİ EKONOMİSİ VE YÖNETİMİ

Diğer yönetim faaliyetlerine benzer şekilde enerji yönetimi; planlama, koordinasyon ve kontrol gibi birbirinden bağımsız olduklarında anlamsız olabilecek işlevlerin, bir araya gelerek oluşturduğu bir bütündür. Bu açıdan bakıldığında sanayide 'Enerji Yönetimi' ürün kalitesinden, güvenlikten veya diğer tüm koşullardan fedakarlık etmeksizin ve üretimi azaltmadan enerjinin daha verimli kullanımı doğrultusunda yapılandırılmış ve organize edilmiş disiplinli bir çalışmadır. Enerji tasarrufu yönetimi uygun ve iyi tasarlanmış bir yönetim yaklaşımına ihtiyaç duyar.

Enerji yönetimi yönünden değerlendirildiğinde, bir fabrikadaki üretim maliyetleri, hammadde, işçilik, işletme ve enerji maliyetlerinin hepsi dikkate alınmalıdır. Genellikle enerji, basit bir şekilde toplam üretim maliyetlerine dahil edilir ve asla ayrı şekilde düşünülmez. Enerji maliyetleri, fabrikanın özelliğine bağlı olarak toplam üretim maliyetlerinin bir kısmını ve bazen de oldukça önemli bir kısmını kapsamakla beraber bu durum çoğu zaman fabrika yöneticileri tarafından dikkate alınmaz. Enerji maliyetleri sanayi sektörünün çalışma alanına göre, kullanılan proseslere, ham maddelere ve imal edilen son ürüne bağlı olarak çoğu kez toplam üretim maliyetlerinin % 50'sinin üzerine çıkabilir.

Çoğu enerji tasarrufu projesinin az bir masrafla veya masrafsız uygulanmasına olanak vardır. Bazı projeleri uygulamak için ise büyük miktarda sermayeye gereksinim duyulabilir. Enerji tasarrufu için uygulanabilecek yatırımlar fabrikada yapılmış olan gerekli başka yatırımlar gibi benzer şekilde değerlendirilmelidir. Genel olarak enerji tasarruf yatırımları mali açıdan değerlendirildiğine diğer yatırımlara göre daha caziptir. Bazı enerji tasarrufu yatırımları şu andaki enerji fiyatlarına göre cazip olmasa bile gelecekte enerji fiyatlarının artması ile karlı hale dönüşecektir.

Enerji yönetimi, enerji verimliliğinin uygulanmasının yanı sıra, fabrika bölümlerinin cihazlar olarak incelenmesi sonucunda, diğer alanlarla da ilgili olan maliyetlerin azaltılmasına yardımcı olabilmektedir. Çünkü enerji yönetimi; mühendislik, yönetim, insan ilişkileri gibi çok değişik disiplinleri içerisinde barındırır ve çoğu zaman hammadde, iş gücü ve ekipmanların daha iyi kullanımına yardımcı olur.