ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARI

Ders Notları

2011

Yrd.Doç.Dr. Muhammet KAYFECİ

BÖLÜM 1: ENERJİ VE ENERJİ KAYNAKLARININ SINIFLANDIRILMASI

ENERJİ

Enerji: Bir sistemin kendisi dışında etkinlik üretme yeteneğidir.

Ekserji: Enerjinin dönüşebilirliğinin ölçümünü ifade edilir.

Anerji: Belirli termodinamik koşullarda, belli bir miktar enerjinin diğer bir enerji biçimine dönüştürülemeyen enerjiye de anerji denir.

Enerjinin Sınıflandırılması

1.Kaynaklarına göre: Katı, sıvı ve gaz yakıtlar, hidrolik, nükleer, güneş, biyokütle (biyomas), rüzgar, jeotermal.

2. Fiziksel ve ekonomik: Mekanik (potansiyel ve kinetik), termik, kimyasal, fiziksel, elektromanyetik, elektrik.

3. Dönüşüme uğramasına göre:
a) Birincil (primer) eneerjiler: Doğal enerjilerdir, doğadaki enerjilerin herhangi bir değişim ya da dönüşüm göstermemiş biçimidir. Örnek: Güneş, rüzgar, hidrolik, petrol, kömür, jeotermal.
b) İkincil (sekonder) enerjiler: Türetilen enerjiler olarak adlandırılan bu enerjiler, birincil veya diğer ikincil enerjilerin dönüştürülmesi sonucu elde edilir. Örnek: Elektrik, termik, ısı, mekanik, kimyasal, elektromanyetik, ışık.

4. Enerji hammaddelerinin enerji içeriklerine göre:
a) Yoğun enerjiler: Petrol ve ürünleri, kömür, hidrolik enerji, atom enerjisini veren uranyum ve toryum.
b) Yoğun olmayan enerjiler: Güneş ve rüzgar enerjileri.

5. Depolanabilirliğine göre:
a) Tam olarak depolanabilen: Kömür, petrol ve ürünleri, atom enerjisi
b) Kısmen depolanabilen veya depolanamayan: Doğalgaz, hidrolik, güneş, rüzgar.

6. Çevresel Etkisi:
a) Temiz enerjiler: Güneş, rüzgar, biyokütle ve hidrolik enerjiler
b) Çevreyi kirleten: Petrol, kömür vb. fosil yakıtlar.

7. Alternatif olup-olmamasına göre:
Alternatif enerji: Doğal çevreden sürekli veya tekrarlamalı olarak akan enerjiden elde edilen enerjiye denir.
Yenilenemeyen enerji: İnsan müdahalesi olmadıkça salınmayan, statik enerji depolarından elde edilen

BÖLÜM 2: GÜNEŞ ENERJİSİ

GÜNEŞ ENERJİSİ

- Güneş, hidrojen ve az miktarda helyum gazından oluşan orta büyüklükte bir yıldızdır.
- Güneş, yakıtı hidrojen ve ürünü helyum olan çok büyük bir fırın olarak düşünülebilir. Güneş fırının içinde sıcaklık 20 000 000 °C, yüzeyinde ise 6000 °C'dir.
- Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yüksek basınç ve sıcaklıkta hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklinde meydana gelen nükleer füzyon işlemi sonucu ortaya çıkan ışıma enerjisidir.
- Güneşin bir saniyede ürettiği enerji miktarı, insanlığın şimdiye kadar kullandığı enerji miktarından fazladır. Güneşten ışın olarak çıkan ve uzaya yayılan enerji çeşitli dalga boyları halinde dünyaya ulaşır.
- Dünya, güneşten gelen enerjinin sadece milyarda birini alır.
- Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti aşağı yukarı sabit ve 1370 W/m² şiddeti, değerindedir, ancak yeryüzünde yatay düzlem için toplam güneş ışınımı 0-1100 W/m² değerleri arasında değişim gösterir.

GÜNEŞ ENERJİSİ UYGULAMALARI

Güneş enerjisi uygulamaları, yöntem, malzeme ve teknolojik düzey açısından çok çeşitlilik göstermekle birlikte iki ana grupta incelenebilir:

1- Güneş Enerjisi Isıl Uygulamalar: Bu sistemlerde öncelikle güneş enerjisinden ısı elde edilir. Bu ısı enerjisi doğrudan kullanılabileceği gibi elektrik üretiminde de kullanılabilir.

2- Güneş Enerjisi Elektrik Uygulamaları- Güneş Pilleri: Fotovoltaik piller de denen bu yarı-iletken malzemeler güneş ışığını doğrudan elektriğe çevirirler.

Güneş enerjisi uygulamaları elde edilen sıcaklık değerlerine göre;

- Düşük sıcaklık (20-100°C) uygulamaları,
- Orta sıcaklık (100-300°C) uygulamaları
- Yüksek sıcaklık (>300°C) uygulamaları

Düşük Sıcaklık Uygulamaları

- Kullanım sıcak suyu eldesi
- Bina ısıtılması-soğutulması
- Sera ısıtılması
- Tarım ürünlerinin kurutulması
- Yüzme havuzu ısıtılması
- Güneş ocakları ve fırınları
- Deniz suyundan tatlı su eldesi
- Tuz üretimi
- Sulama
- Toprak solarizasyonu
- Güneş pilleri (PV) sistemler

Orta Sıcaklık Uygulamaları

- Endüstriyel kullanım için buhar üretimi ve elektrik üretimi
- Büyük ısıtma-soğutma sistemleri

Yüksek Sıcaklık Uygulamaları

- Parabolik çanak ve merkezi alıcılarla elektrik üretimi

Güneş enerjisinden yararlanmada kullanılan yöntem, malzeme ve teknolojik çeşitlilik bulunmakla birlikte bu sistemleri üç ana grupta toplamak mümkündür.

I- Güneş Enerjisiyle Düşük Sıcaklıkların Elde Edilmesinde Kullanılan Sistemler

Düşük sıcaklıkların elde edilmesinde güneş kolektörleri olarak isimlendirilen ve birkaç tipi bulunmaktadır.

1. Vakum borulu kolektör:

Bu sistem vakum borulu cam borular ve borular içinde bulunan absorberden meydana gelir. Güneşten gelen ışık enerjisini ısı enerjisine çeviren ve bu ısı enerjisini maksimum düzeyde muhafaza eden iç içe geçmiş iki silindirik tüp şeklinde borosilikat camdan oluşmuş kollektördür. Vakum tüpün içerisindeki ısıyı kaybetmeme mantığı, hava yoluyla oluşan ısı transferini (konveksiyon) ortadan kaldırmaktır. Çift cam pencere ve termosların ısı yalıtım mantığıyla aynıdır.





Bu sistemlerle yaklaşık 100-120 °C sıcaklığa kadar sıcak su üretilebilmektedir. Sistem -30 °C sıcaklıklara kadar donmadan su ısıtabilmektedir.

2. Düz Kolektörler:

Düzlemsel güneş kolektörleri ile yaklaşık 80 °C ye kadar sıcaklık elde edilebilmekte ve özellikle evlerde sıcak su temin etme amacıyla kullanılmaktadır. Bunun yanında kalorifer yoluyla iç mekanların ve seraların ısıtılması, tarım ürünlerinin kurutulmasında, yüzme havuzlarının ısıtılması gibi uygulamalarda da kullanılmaktadır.

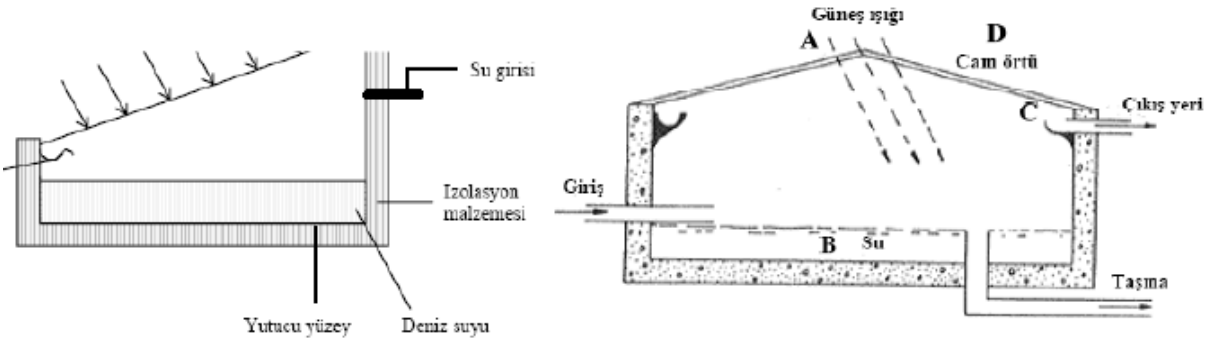
Güneş radyasyonu kolektörün şeffaf camından geçerek, emici tabaka tarafından soğrulur. Bu tabaka ısıyı taşınım ve iletim yoluyla sistem akışkanına iletir. Sistem akışkanı su, hava veya özel bir akışkan olabilir. Emici tabakanın başlıca görevi güneş ışınımını mümkün olduğu kadar tutması ve ısıya dönüştürmesidir. Bu tabaka ısıyı daha fazla absorbe edebilmesi için siyah mat boya veya seçici yüzey kaplamalarıyla kaplanmıştır. Bu yüzeyin ısı yutma oranı %90-98 seviyesindedir. Basit düzlem toplayıcılarıyla %40-60 çevrim verimi ile 40-80 °C' yi bulan sıcaklıklar elde edilebilir.



Düzlemsel güneş kolektörü

3. Güneş Enerjisiyle damıtma

Güneş enerjisinden yararlanarak deniz suyundan tatlı su üretimi yapılmaktadır. Sera tipi güneşli damıtıcılarda havuzda ısınan su buharlaşır ve cam örtüye çarpınca tekrar yoğuşur, camın altındaki yoğuşan su oluklardan alınarak filtrelerden geçirildikten sonra kullanılır.

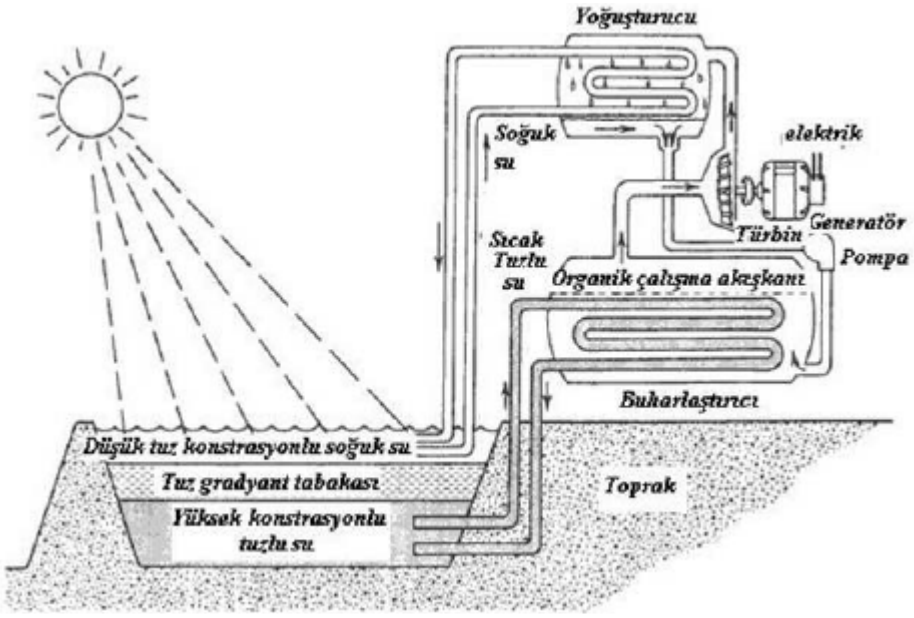


Güneş enerjisiyle damıtma sistemi

4. Güneş Havuzları

Güneş havuzları, büyük miktarda güneş enerjisini, düşük maliyetle doğrudan depolayan tuzlu su havuzlarıdır. Güneş havuzları, ısı üretme, elektrik üretme, sudan tuzun giderilmesi ve ısıl enerji depolama amaçlı kullanılmaktadır.

Güneş havuzu, yapı olarak bahçe havuzlarına benzemekle beraber alt kısmı güneş ışınımını absorbe etmesi için siyah boya ile boyanmakta ve etrafı iyi yalıtımlıdır. Sıcaklık ve tuz konsantrasyonu alt kısımdan üst kısma doğru azalmaktadır. Havuzdaki ısının dağılımı suya eklenen tuz konsantrasyonu ile düzenlenir, tuz konsantrasyonu en üstten alta doğru artar. Böylece en üstte soğuk su yüzeyi bulunsa bile havuzun alt kısmında doymuş tuz konsantrasyonu bulunan bölgede sıcaklık yüksek olur. Bu sıcak tuzlu su bir eşanjöre pompalanarak doğrudan ısı olarak yararlanılabileceği gibi Rankine çevrimi ile elektrik üretiminde de kullanılabilinir.

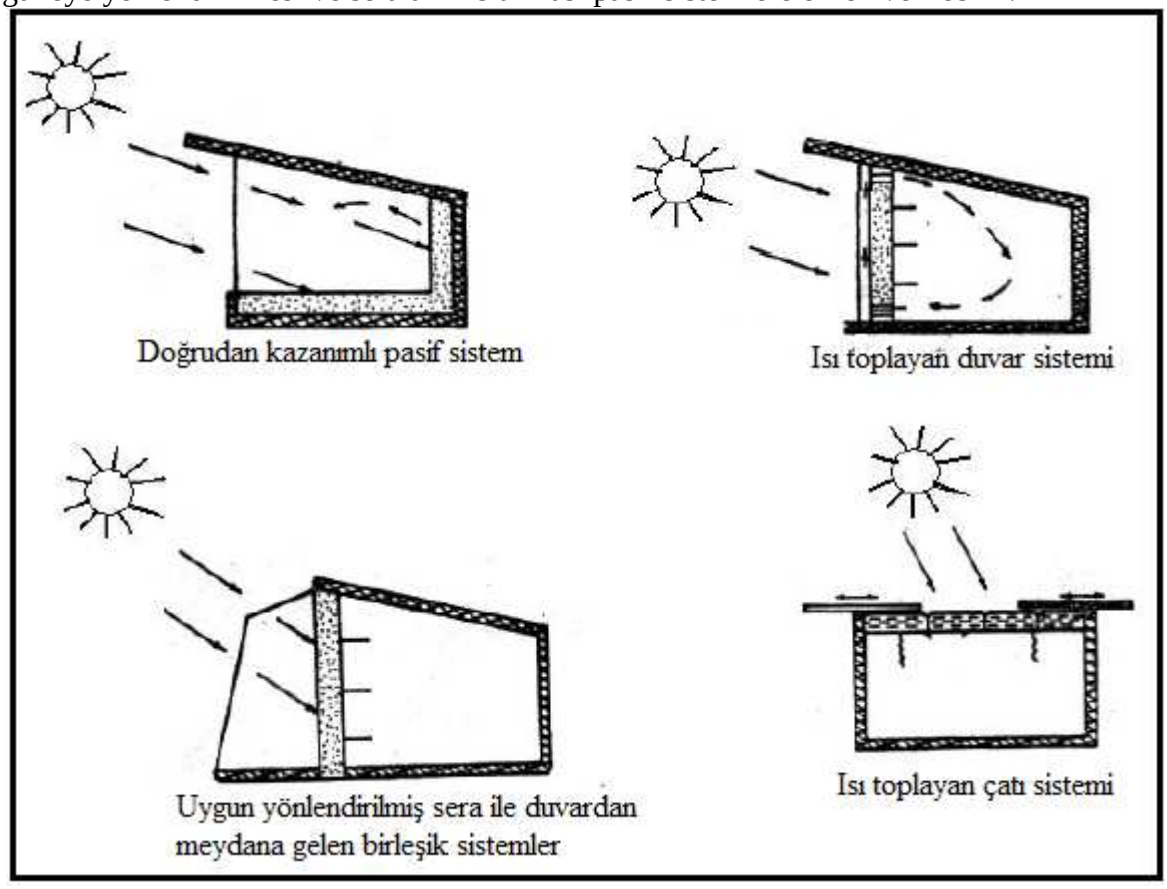


Güneş Havuzu

5. Güneş enerjisiyle konutların ısıtılması

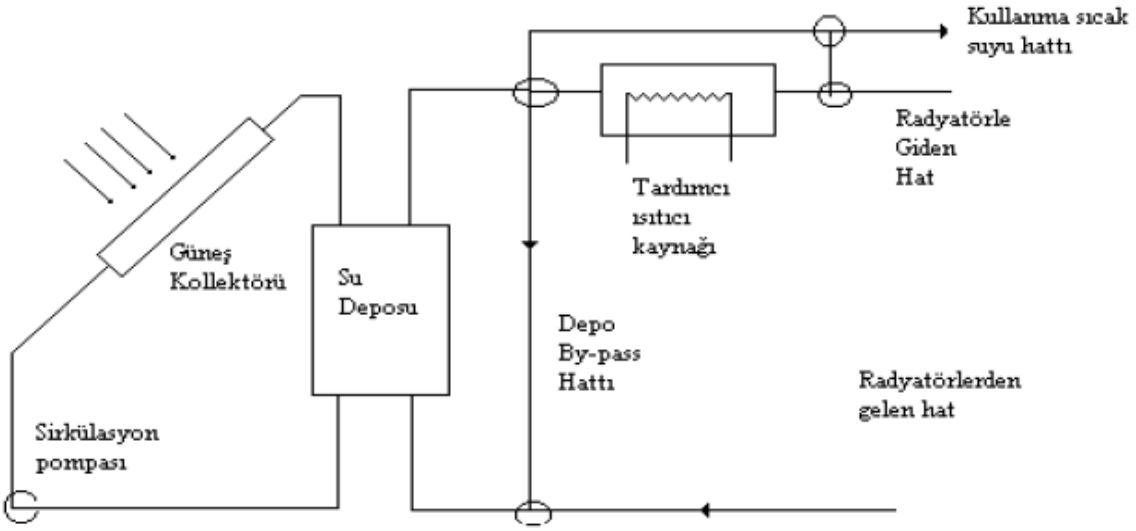
a) Güneş enerjisiyle konutların pasif ısıtılması:

Pasif sistemlerde güneş ışınları doğrudan kullanılır. Güneş ışınımı ara bir işlemden geçmez, enerjinin alınışı doğaldır. Fan ve pompalar gibi yardımcı ekipmandan yaralanılmayan güneş toplama yöntemlerinin hepsi pasif sistem olarak kabul edilmektedir. Binanın pencerelerinin güneye yönlendirilmesi ve seraların ısıtılması pasif sistemlere örnek verilebilir.



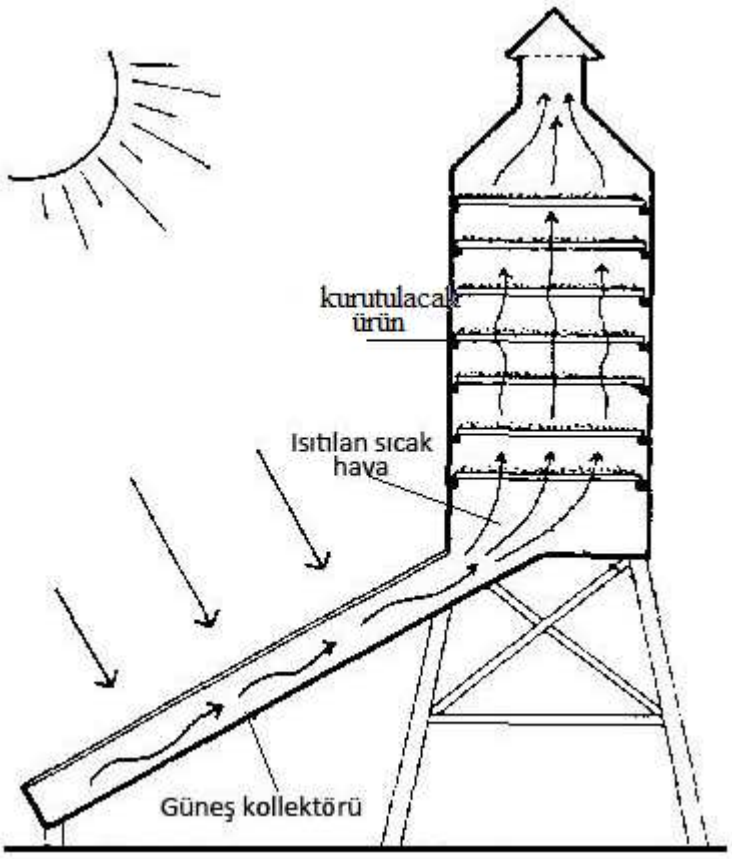
b) Güneş enerjisiyle konutların aktif ısıtılması:

Aktif sistemlerde güneş enerjisi kollektörler vasıtasıyla başka bir akışkana aktarılmakta ve bu sıcak akışkan hacim ısıtılmasında kullanılmaktadır. Aktif sistemlerde kollektör, pompa veya fan gibi mekanik elemanlar bulunur.



- Güneş enerjisi ile hacimlerin ısıtılması, kollektörlerden elde edilen sıcak suyun kalorifer sistemine gönderilmesi ile yapılabilir.
- Güneş enerjisi ile yerden ısıtma daha çok tercih edilmektedir.
- Binaların yüksek ısıtma yüklerinden dolayı büyük kollektör alanlarına ihtiyaç duyulur.

6. Güneş Enerjisiyle Kurutma:



Kurutma özellikle gıda, kimya, seramik, kağıt, sanayilerinin temel işlemlerinden birisidir.

Gıda endüstrisinde kurutma ile, meyve ve sebzelerin besin değerlerini kaybetmeden uzun süre saklanabilmesi ve korunabilmesi amaçlanmaktadır.

Güneş enerjisi ile kurutma, kurutulacak malzemeyi direkt güneş ışınımı etkisinde bırakarak veya güneşle ısıtılan havayı doğal veya zorlanmış dolaşımla malzemenin üzerinden veya içinden geçirerek sağlanır.

Güneş enerjili kurutucular gıda ve orman ürünlerin kurutulmasında kullanılmaktadır.

7. Güneş Fırınları ve Güneş Ocakları

Güneş enerjisinin kullanıldığı uygulamalardan biri de yemek pişirilmesidir. Daha çok gelişmekte olan ülkelerdeki araştırıcılar tarafından geliştirilen modeller ticari olarak da kullanım potansiyeli bulmuştur. Ayrıca kamplarda ve pikniklerde kullanılmak üzere katlanabilir, yansıtıcılı, kolay taşınabilir yapıda güneş ocakları geliştirilmiştir. Çin, Hindistan ve Pakistan'da yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yapı olarak üç farklı güneş ocağı vardır.
1- Isı kutulu tip
2- Parabolik tip
3- Katlanabilir levhalı





II. Güneş Enerjisinden Yararlanarak Elektrik Üretimi

Güneş enerjisinden faydalanarak elektrik enerjisi üretmede yöntemleri iki grupta incelenebilir.

1.Yoğunlaştırıcı Sistemlerle Elektrik Üretimi

Güneş enerjisi uygulamalarında düzlemsel güneş kollektör sistemlerinin yanı sıra daha yüksek sıcaklıklara ulaşmak için yoğunlaştırıcı kollektör sistemleri kullanılmaktadır. Düzlemsel güneş kollektörleri için kullanılan kavram ve tarifler, yoğunlaştırıcı kollektörler için de geçerlidir. Bununla birlikte yoğunlaştırıcı kollektör teknolojisinin daha karmaşık olması nedeniyle, yeni tariflerin yapılması gereklidir.

Kollektörlerde güneş enerjisinin düştüğü net alana "açıklık alanı" ve güneş enerjisinin yutularak ısı enerjisine dönüştürüldüğü yüzeye "alıcı yüzey" denir. Düzlemsel güneş kollektörlerinde açıklık alanı ile alıcı yüzey alanı birbirine eşittir. Yoğunlaştırıcı kollektörlerde ise güneş enerjisi, alıcı yüzeye gelmeden önce optik olarak yoğunlaştırıldığı için alıcı yüzey, açıklık alanından daha küçük olmaktadır.

Güneş enerjisini yoğunlaştıran kollektörlerde en önemli kavramlardan biri "yoğunlaştırma oranı" dır. Yoğunlaştırma oranı; açıklık alanının alıcı yüzey alanına oranı şeklinde tarif edilir. Yoğunlaştırma oranı, iki boyutlu yoğunlaştırıcılarda (parabolik oluk) 300, üç boyutlu yoğunlaştırıcılarda (parabolik çanak) 40000 mertebesindedir.

Bu tür kollektörlerde güneş enerjisi, yansıtıcı veya ışın kırıcı yüzeyler yardımı ile doğrusal ya da noktasal olarak yoğunlaştırılabilir.

a) Doğrusal Yoğunlaştırıcılar (Parabolik oluk kollektörler)

Parabolik oluk kollektörler, doğrusal yoğunlaştırma yapan ve kesiti parabolik olan dizilerden oluşur. Oluğun iç kısmındaki yansıtıcı yüzeyler, güneş enerjisini paraboliğin odağında yer alan ve boydan boya uzanan siyah bir absorban boruya yansıtır. Orta derecede sıcaklık isteyen uygulamalarda kullanılan bu sistemlerde, güneş enerjisi bir doğru üzerinde yoğunlaştırılacağından tek boyutlu hareket ile güneşi izlemek yeterlidir.



Parabolik oluk kollektör

b) Parabolik çanak sistemler

İki eksende güneşi takip ederek, güneş ışınlarını odaklama merkezinde yoğunlaştıran sistemlerdir. Termal enerji, odak merkezinde uygun bir sıvıya aktarılarak, yüksek sıcaklık ve basınçta buhar elde etmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu sistemlerde 600-700 °C sıcaklıklar elde edilebilmektedir.



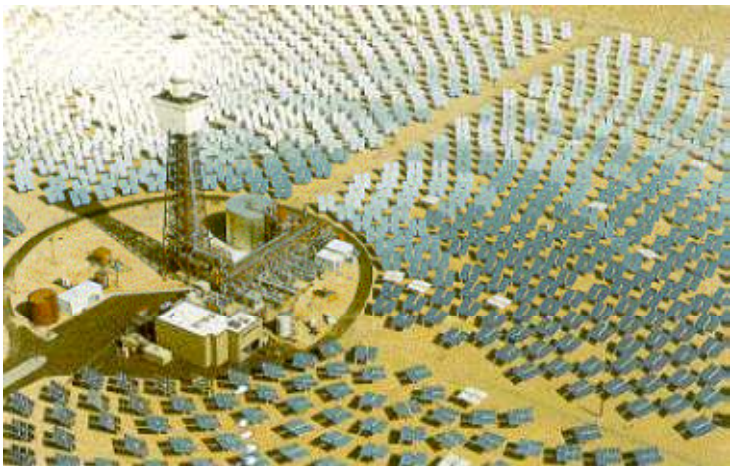
Parabolik çanak kollektör

c) Merkezi alıcı sistemler

Merkezi alıcı sistemde, tek tek odaklama yapan ve heliostat adı verilen düzlemsel aynalardan oluşan bir alan, güneş enerjisini, bir kule üzerine monte edilmiş ve alıcı denilen ısı eşanjörüne yansıtır.

Bu yöntem çok sayıda hareketli aynalar sisteminden ibaret olup merkezi toplayıcı güneş kulesi vasıtasıyla güneşten sağlanan enerjiyle sıcaklık 350 °C'den 6000 °C'ye kadar ulaşabilir. Bu

sistemlerde ısı taşıyıcı akışkan olarak havada kullanılabilir, bu durumda sıcaklık 800 °C'ye kadar yükselebilir.



Merkezi alıcı sistemler

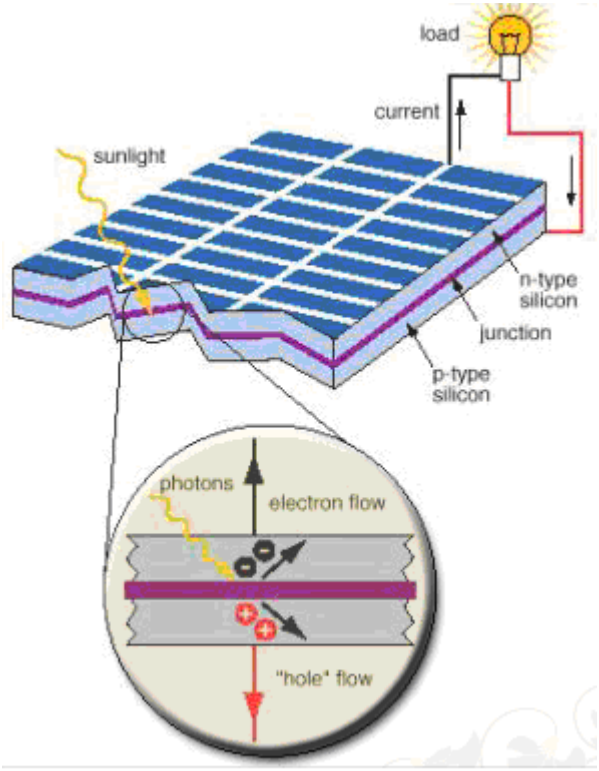
Günümüze kadar tesis edilmiş olan merkezi alıcı sistemlerin işletilmesi sonucunda, büyük sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu sistemlerden 2'si ekonomik olmadığından parçalara ayrılarak ve 3 tanesi de kapatılarak proje çalışmalarına son verilmiştir. Dünyada mevcut merkezi alıcı sistemlerin özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Teknoloji Türü	Sistem Verimi %		Maks. Çıkış Sıcaklığı °C	İlk Yatırım Maliyeti $	Enerji maliyeti	
	Elekt.	Isı			Elekt. $/kWh	Isı $/kWh
Düzlemsel Koll.	-	50-70	80	250-1000	-	0.0013-0.004
Parabolik Oluk	14	46	380	2800 kWe	0.15	0.0053
Parabolik Çanak	24	79	700	5000 kWe	0.28	-
Merkezi Alıcı	15	46	600-700	3000 kWe	0.16	0.004
Tek Kristal Silisyum	12	-	-	6000 kWe	0.29	-
Çok Kristal Silisyum	10	-	-	6000 kWe	0.29	-
Tek İnce Film	4	-	-	5000 kWe	0.25	-
Çoklu İnce Film	7	-	-	5000 kWe	0.24	-

III. Güneş Pilleriyle Elektrik Üretmek

Güneş pilleri (fotovoltaik piller), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş pillerinin alanları genellikle 100 cm² civarında, kalınlıkları ise 0,2-0,4 mm arasındadır. Güneş pilleri fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar. Yani üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Pilin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Güneş pilinde mekanik olarak elektrik üreten cihazların aksine hareketli parçalar olmadığından teorik ömürleri sonsuzdur. Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir. Bu yapıya güneş pili modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir. Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak bir kaç mW'tan megaWatt' lara kadar sistem oluşturulur.





Güneş pili

Güneş pillerinin verimi, yapımında kullanılan malzemenin cinsine göre değişiklik göstermektedir. Verimler;

Tek kristalli yapılarda %15-17,5.
Çok kristalli yapılarda %12-14
Silisyumlu yapılarda %5-8 arasında değişmektedir.

Güneş enerjisi sistemlerinin avantajları;

- Tükenmeyen ve temiz bir enerji kaynağı olması
- Bol miktarda bulunması
- Dışa bağımlılığın olmaması
- İlk yatırım maliyetleri dışında ucuz bir kaynak olması
- Enerjinin nakil problemi olmadığından ihtiyaç duyulan yerlerde kolayca elde edilebilmesi
- Her türlü krizlerin etkisinden uzak olması
- Basit teknolojilerle bile yararlanılabilmesi
- Ucuz bir kaynak olması

Güneş enerji sistemlerinin kullanımındaki problemler;

- Birim yüzeye gelen güneş ışınımı az olduğundan geniş yüzeylere ihtiyaç duyulmaktadır.
- Güneş ışınımı sürekli olmadığından depolanma gerekmektedir ve depolama imkanları sınırlıdır.
- Enerji ihtiyacının fazla olduğu kış aylarında güneş ışınımı az ve geceleri ise hiç yoktur.
- Güneş ışınımından faydalanan sistemin güneş ışığını sürekli alabilmesi için çevrenin açık olması, gölgelenmemesi gerekmektedir.
- Güneş enerjisi için kullanılacak birçok tesisatın ilk yatırım masrafları fazladır ve hali hazırda ekonomik değildir.

BÖLÜM 3: RÜZGÂR ENERJİSİ

Rüzgar türbünleri de rüzgâr milleri gibi enerjinin çoğunu yakalamak için bir kule üzerine monte edilir. 30 m ya da daha fazla yükseklikteki kuleler, daha hızlı ve daha az türbülanslı rüzgâr sağlar. Türbünler rüzgar enerjisini dönen kanatları ile yakalar. Ekseriya bir rotor için bir şaft üzerine iki yada üç kanat monte edilir. Bir kanat bir uçak kanadı gibi davranır. Rüzgar estiği zaman aşağıdaki kanatın alt ucunda düşük basınçlı bir hava paketi oluşur. Sonra düşük basınçlı hava paketi üst kanatı kendine doğru çeker, böylece rotorun dönmesi gerçekleşir. Buna kaldırma denilir. Kaldırma kuvveti, türbin kanatlarına önden çarpan rüzgâr kuvvetinden daha fazladır. Buna sürüklenme denir. Kaldırma ve sürüklenme birlikte rotorun bir pervane gibi dönmesine sebep olur. Dönen şaft elektrik üretmek için bir jeneratörü döndürür.

Meteorolojik açıdan rüzgar aşağıdaki yerlerde oluşabilir:

- Basınç değişiminin fazla olduğu yerler,
- Yüksek, engebesiz tepe ve vadiler,
- Güçlü jeostrofik rüzgarların etkisi altında kalan bölgeler,
- Kıyı şeritleri,
- Kanal etkilerinin meydana geldiği dağ silsileleri, vadiler ve tepeler.

Hareket halindeki hava kütlesi, dünyanın dönüşünden dolayı kuzey yarım kürede sağa, güney yarım kürede sola doğru sapar. Sapmaya neden olan kuvvete “corriolis kuvveti” denir. Bu şekilde oluşan rüzgara da “jeostrofik rüzgar” denir. Aslında jeostrofik rüzgar, basınç gradyanı ve corriolis kuvvet arasındaki dengeden oluşan ve yer yüzeyi ile etkileşmeyen kuramsal bir rüzgardır.

TÜRKİYE VE DÜNYA'DA RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİ

Türkiye'de yer seviyesinden 50 metre yükseklikte ve 7.5 m/s üzeri rüzgar hızlarına sahip alanlarda kilometrekare başına 5 MW gücünde rüzgar santralı kurulabileceği kabul edilmiştir. Bu kabuller ışığında Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli 48.000 MW olarak belirlenmiştir. Bu potansiyele karşılık gelen toplam alan Türkiye yüz ölçümünün %1.30'una denk gelmektedir.

Türkiye rüzgar enerjisi kurulu gücü

Santral adı	**Yeri**	**Kurulu gücü (MW)**	**Tarih**
Delta plastik	İzmir-Çeşme-Germiyan	1.74	1997
Çeşme alaçatı	İzmir-Çeşme	7.2	1998
Bozcaada	Çanakkale-Bozcaada	10.2	2000
Sunjüt	İstanbul-Hadımköy	1.2	2003
Toplam kurulu güç		20.34	

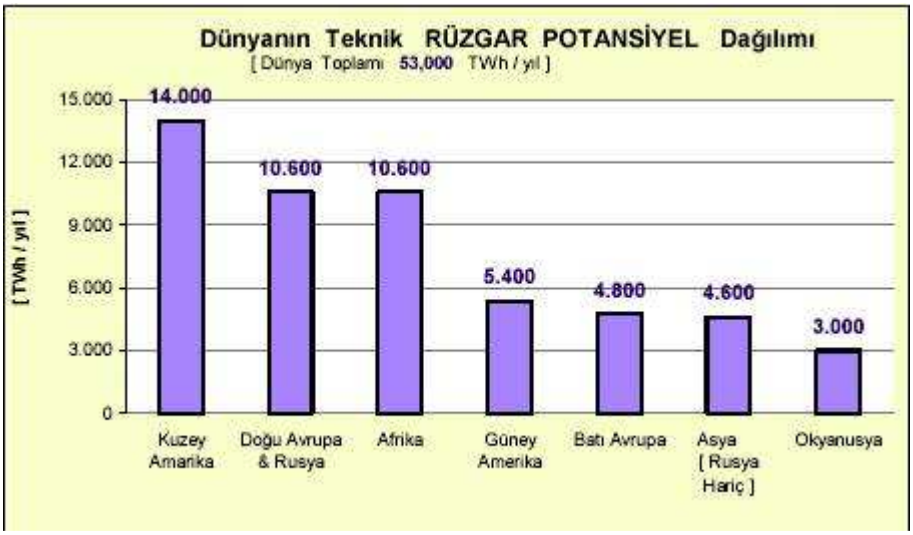
World Energy tarafından yayınlanmış çalışmaya göre; **5.1** m/s üzeri rüzgar hızlarına sahip bölgelerin uygulamaya dönük ve toplumsal kısıtlar nedeni ile **%4** 'nün kullanılacağı kabuledilerek, dünya rüzgar enerjisi teknik potansiyeli **53.000 TWh/yıl** olarak hesaplanmıştır. Bu değerin dünyadaki dağılımı, Şekil lerde verilmektedir.

Rüzgar gücünden yararlanarak üretilebilecek enerji miktarının hesaplanmasında kullanılan en önemli parametre rüzgar hızıdır. Bu hesaplamada kullanılan formül şu şekilde ifade edilir;

$$P = \frac{1}{2}\rho.A.V^3$$

P= Üretilebilecek enerji miktarı (W) A=Rotor süpürme alanı

m= Hava kütlesinin yoğunluğu V= Rüzgar hızı



Dünya rüzgar enerjisi teknik potansiyelin ülkelere göre dağılımı



Dünya rüzgar enerjisi teknik potansiyelin ülkelere göre dağılımı (%)

RÜZGAR ENERJİSİNİN KULLANIM ALANLARI

Rüzgar enerjisi, ilkçağdan beri türbinin şaft gücünden yararlanılarak su pompalama, çeşitli ürünleri kesme, biçme, öğütme, sıkıştırma, yağ çıkarma gibi mekanik enerjiye gerek duyulan yerlerde kullanılmaktadır. Rüzgar enerjisinin en etkin kullanım biçimleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

A-Mekanik uygulamalar (su pompalama sistemi)
B-Elektriksel uygulamalar (şebeke bağlantılı ve şebeke bağlantısız-stand alone sistemler)
C-Isıl enerjisi uygulamaları

Rüzgardan elde edilen enerji, üretildiği yerde tüketilmek veya enterkonnekte şebekeye verilmek zorundadır. Rüzgar enerjisi çevrim sistemlerinin (rüzgar türbini) enerji üretimleri, tamamıyla rüzgara bağımlı olduğundan bu sistemler, sadece rüzgarlı yörelere kurulabilirler. Rüzgar enerjisinin en önemli sorunlarından biri üretim ve tüketim zamanları arasındaki farktır. Bu

problem ancak enerjinin depolanmasıyla çözülebilmektedir. Depolanma yöntemlerinin en önemlileri şunlardır;

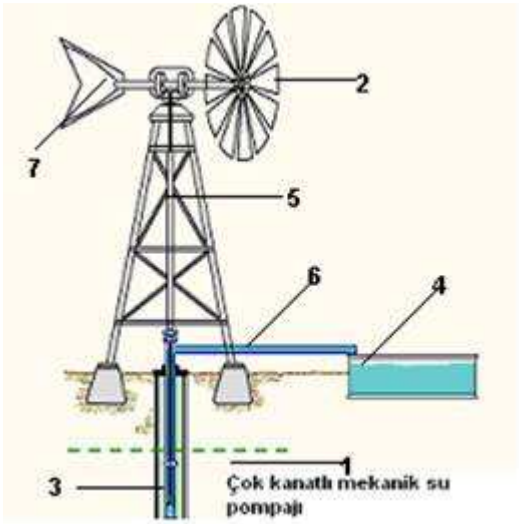
- Enerjinin akümülatörlerle depolanması yöntemdir. Ancak küçük işletmelerde, başka bir çözüm olmadığı zaman kullanılır. Çünkü akümülatörler maddi açıdan ek bir maliyettir.
- Suyu elektroliz yolu ile ayrıştırıp, elde edilen hidrojen depolanması yöntemidir.
- Suyu pompalayarak potansiyel enerjisi artırılabilir. Enerjinin sıkıştırılmış havada depolanması mümkündür.
- Enerjinin ısıl enerji şeklinde suda depolanması da bir başka yöntemdir.

A-Mekanik Uygulamalar

Rüzgar enerjisi verimli ve ekonomik olarak su pompajında kullanılabilmektedir. Rüzgar türbinlerinde kanat sayısı arttıkça, dönüş hızı azalır. Kanat sayısının fazla olduğu sistemler çoğunlukla su pompalama amaçlı kullanılmaktadır. Bu nedenle enerji üretiminde üçten fazla kanatlı sistemler kullanılmamaktadır.







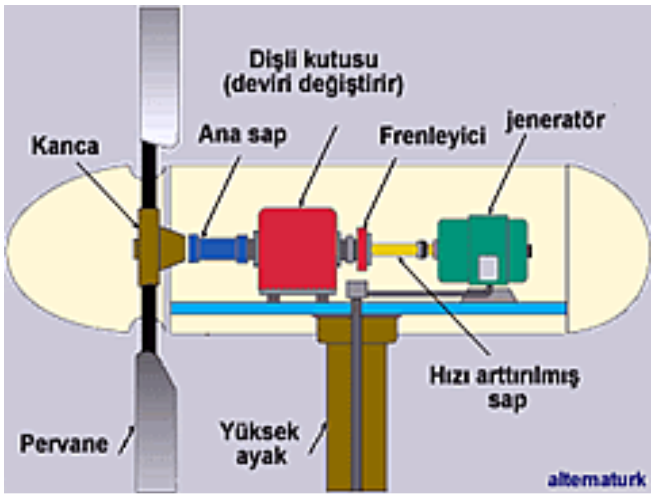
1-Su kaynağı (kuyu, nehir, göl vs.)
2- Rüzgar türbini
3-Pompa
4-Su depolama tankı
5- Güç aktarma organları
6-Su dağıtım sistemleri
7- Yönlendirici

B- Elektriksel Uygulamalar

- Şebeke Bağlantılı Sistemler: Elektrik şebekesine bağlı bir ve/veya birden fazla büyük güçlü rüzgar türbini içeren rüzgar tarlalarından (santralı) oluşan sistemlerdir.

- Şebekeden Bağımsız (Stand Alone) Sistemler: Elektrik sistemlerine bağlı olmayan kırsal kesimlerde kullanılırlar. Kendi başlarına veya bir dizel genaratör ve PV güneş paneli ile birlikte enerji üretirler. Bu uygulamada şebekeye hiç enerji vermeden bir veya bir kaç yük beslenir. Tarımsal amaçlı su pompalama, ürünlerin kurutulması veya soğutulması, ısıtıcıların işletimi, su arıtma, havalandırma işlemleri ve küçük çapta konutların elektrik ihtiyacının karşılanması için kullanılır.





C- Hacim veya Su Isıtılmasında Kullanılan Sistem: Bu sistemler uzak bölgelerde ya da rüzgâr enerjisinin daha ekonomik olabildiği bölgelerde su ısıtılmasında ya da sera gibi büyük hacimlerin ısıtılmasında kullanılmaktadır. Kullanılan türbin kapasitesi 5-10 kW arasındadır.

Rüzgar Enerjisinin Diğer Enerji Kaynakları ile Karşılaştırılmalı Maliyeti

Enerji Kaynağı	**Dengelenmiş Birim Enerji Maliyet Aralığı ($ cent/kWh)**
Kömür	4,8 - 5,5
Doğal Gaz	3,9 - 4,4
Hidroelektrik	5,1 - 11,3
Biyokütle	5,8 - 11,6
Nükleer	11,1 - 14,5
Rüzgar (*)	4,0 - 6,0

Türkiye rüzgar enerjisi haritası



Rüzgar Enerjisi ve Çevre

Fosil esaslı enerji kaynakları sera gazlarının (CO_2, SO_2 ve NO_x) oluşumuna sebebiyet verirler. Atmosferdeki CO_2 oranı sanayi çağı öncesine göre şimdiden %25 artmış ve 2050 yılında iki katına çıkacağı tahmin edilmektedir. Günümüzde CO 2 emisyonunun yaklaşık 6 milyar ton olduğu söylenmektedir. Ayrıca, SO_2 ve NOx gibi asit gazlarının emisyonu kullanılan yakıtın kalitesine ve yakma ile filtreleme sistemine göre değişmekle beraber bölgesel asit yağmurlarına neden olmaktadır.
Fosil esaslı enerji kaynakları birim elektrik enerjisi (kWh) için atmosfere yaklaşık olarak 860 gr. CO_2, 10 gr. SO_2 ve 3 gr. NO_x yaymaktadır. 600 kW gücündeki bir rüzgar türbininin %30 kapasite faktörüyle çalışması durumunda yılda yaklaşık olarak 1356 ton CO_2, 16 ton SO_2 ve 5 ton NO_x tasarruf edilmiş olunacaktır.

Rüzgar Enerjisinin Olumlu Yönleri

- Atmosferde serbest olarak bulunur.
- Yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağıdır, çevre dostudur.
- Kaynağı güvenilirdir, tükenme ve zamanla fiyat artma riski yoktur.
- Maliyeti günümüz güç santralarıyla rekabet edebilecek düzeye gelmiştir.
- Bakım ve işletme maliyetleri düşük ve kolaydır.
- İstihdam yaratır.
- Rüzgar enerji santralları; toplam santral sahasının %1'ini işgal ederler. Geri kalan kısım tarımsal ve hayvansal faaliyetler için kullanılabilir.
- Yakıt maliyeti yoktur, büyük ölçüde yerli kaynak kullanımı olacağından, ithale dayalı diğer fosil yakıtların (doğal gaz ve ikincil ithal kömür ve petrol ürünleri) hemen tümüne karşı temin güvenliği avantajına sahiptir.
- İthal kömür her ne kadar temiz olarak kabul edilse de karbon dioksit ve az oranda da diğer kirleticilerin üretimine neden olmaktadır. Buna karşın yenilenebilir enerji kaynaklarının atmosferik emisyonları yok denecek kadar az olacağından kirliliğe sebep olmayacak ve sera etkisi azalacaktır.
- Yenilenebilir enerji kaynakları, dağlık yöreler gibi kırsal ve gelişmemiş alanlarda yarattıkları iş ve altyapı imkanları sayesinde sosyo-ekonomik gelişmeye katkıda bulunacaktır.

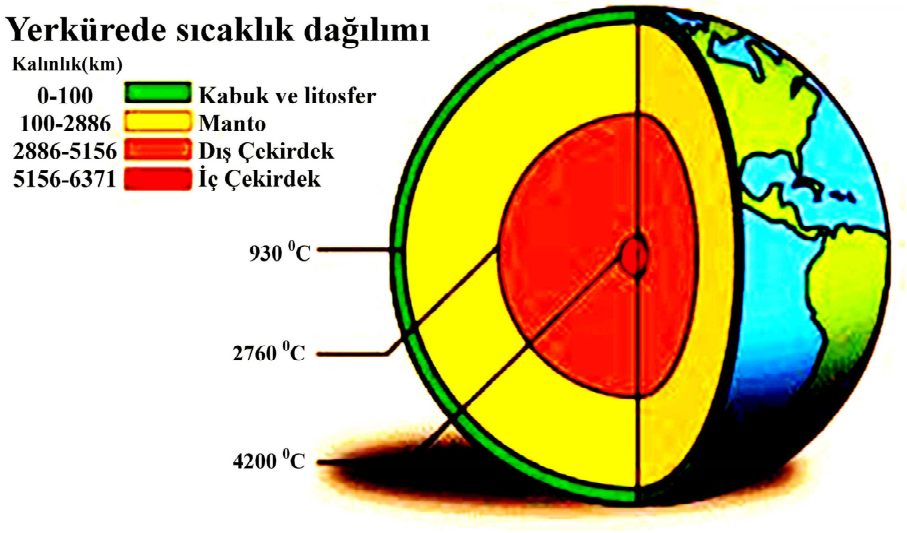
Rüzgar Enerjisinin Olumsuz Yönleri

- İlk yatırım maliyetleri yüksektir,
- Arz-talep uyumsuzluğu
- Zayıf ulusal sistemler
- Gürültü
- Kapasite faktörü düşüktür (%25-40 arasındadır),
- Kesintili bir enerji kaynağıdır,
- Yenilenebilir enerji kaynakları projelerinin işletmeleri daha ucuz olmakla beraber ilk yatırım maliyetleri fosil kaynaklı teknolojilere göre daha yüksektir.

BÖLÜM 4: JEOTERMAL ENERJİ

Jeotermal kaynak kısaca yer ısısı olup, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, kimyasallar içeren sıcak su, buhar ve gazlardır.

Jeotermal enerji ise jeotermal kaynaklardan doğrudan veya dolaylı her türlü faydalanmayı kapsamaktadır.



Yerküredeki Sıcaklık Dağılımı

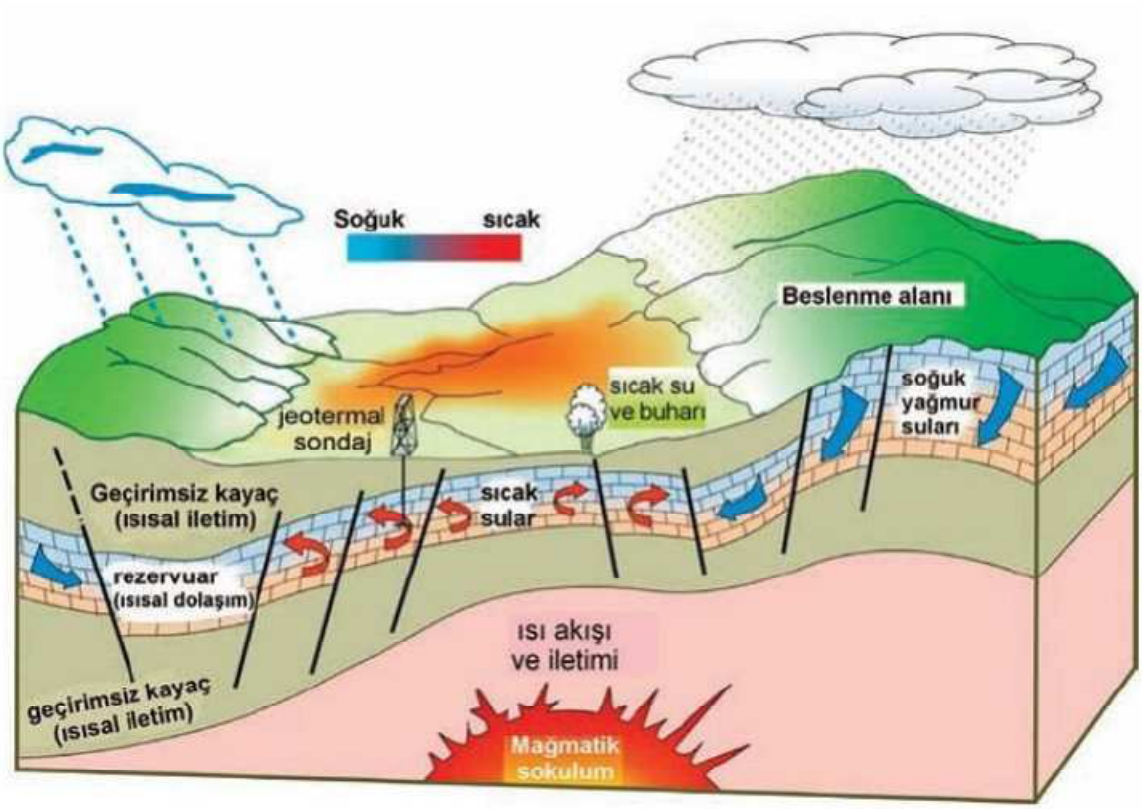
Jeotermal sistem üç ana unsurdan oluşmaktadır: Isı kaynağı, rezervuar ve ısıyı taşıyan akışkan.

Isı kaynağı yüksek sıcaklıklı (>600 °C) ve yüzeye yakın kısımlara ulaşabilen (5-10 km) magmatik sokulumlar olabileceği gibi, düşük sıcaklıklı sistemlerde de derinlikle birlikte artan normal sıcaklık (jeotermik gradyan -ortalama 2,5-3 °C/100 m) olabilir.

Rezervuar ise ısıyı taşıyan sıvının devirdaim edebileceği çatlaklı (geçirgen) kayaçlardır. Rezervuarların üzerinde genellikle geçirimsiz tabakalar bulunmaktadır.

Jeotermal akışkan ise çoğu durumda meteorik sudur ve rezervuarda sıcaklık ve basınca bağlı olarak buhar veya sıvı haldedir. Bu su genellikle bazı kimyasal maddeler ve gazlar (CO_2, H_2S gibi) içerir.

Ülkemizin jeotermal enerji potansiyeli, alp tektonik kuşağı üzerinde yer almasından kaynaklanmaktadır. Batıda açılma tektoniğine bağlı olarak gelişen derin kırık zonlarıyla sınırlandırılmış bulunan grabenler (Bu kırılma yerlerine fay hattı (kırık hattı) denir. Fay hattı boyunca yükselen yerlere horst, çöken yerlere ise graben denir) içinde; kuzeyi kuzey Anadolu fay hattı, doğusu ise, ağırlıklı olarak volkanik faaliyelere dayanan jeotermal enerji potansiyeline sahiptir.



İdeal bir jeotermal sistem modeli

Jeotermal Enerjiden Faydalanmayı Gerektiren Faktörler

1- Enerji üretim maliyetinin az olması: Jeotermal enerjiden elde edilen birim enerji gücünün maliyeti, hidroelektrik dışında termik ve diğer enerji santrallerine göre düşüktür.

2- Temiz enerji kaynağı olması: Jeotermal kaynağın içinde erimiş halde birçok mineral ve gaz bulunmasına karşın, uygun kullanım şekilleriyle daha az çevre sorunlarına yol açmaktadır. Uygun kullanım şekli ise jeotermal suyun geri basım şekliyle rezervuara iade edilmesidir.

3- Elektrik üretilebilmesi: Yüksek sıcaklık değerlerine sahip kaynaklardan elektrik enerjisi üretilebilir.

4- Verimli olması: Doğrudan kullanıldığında veya elektrik üretimiyle entegre olarak geliştirilen sistemlerle, jeotermal sudan daha fazla termal güç elde etmek olanaklıdır.

5- Uluslar arası krizden etkilenmemesi: uluslar arası siyasi ve ekonomik krizlerden etkilenmezler veya çok az etkilenirler.

6- Yenilenebilir olması: Kullanılan jeotermal su geri basım yoluyla rezervuara geri gönderildiği durumlarda yenilenebilir bir kaynaktır.
7- Kullanım alanının genişliği: Konutların ve seraların ısıtılması, tarım, endüstri, turizm, sağlık ve kimya gibi sektörlerde kullanılabilir.

8- Kısa süreli meteorolojik şartlardan etkilenmemesi: Güneş, rüzgar, yağmur ve ya kar gibi anlık değişebilen atmosferik olaylardan etkilenmezler.

9- Santral inşa süresinin kısa olması ve güvenilir bir kaynak olması tercih edilmesini gerektiren faktörlerdir.

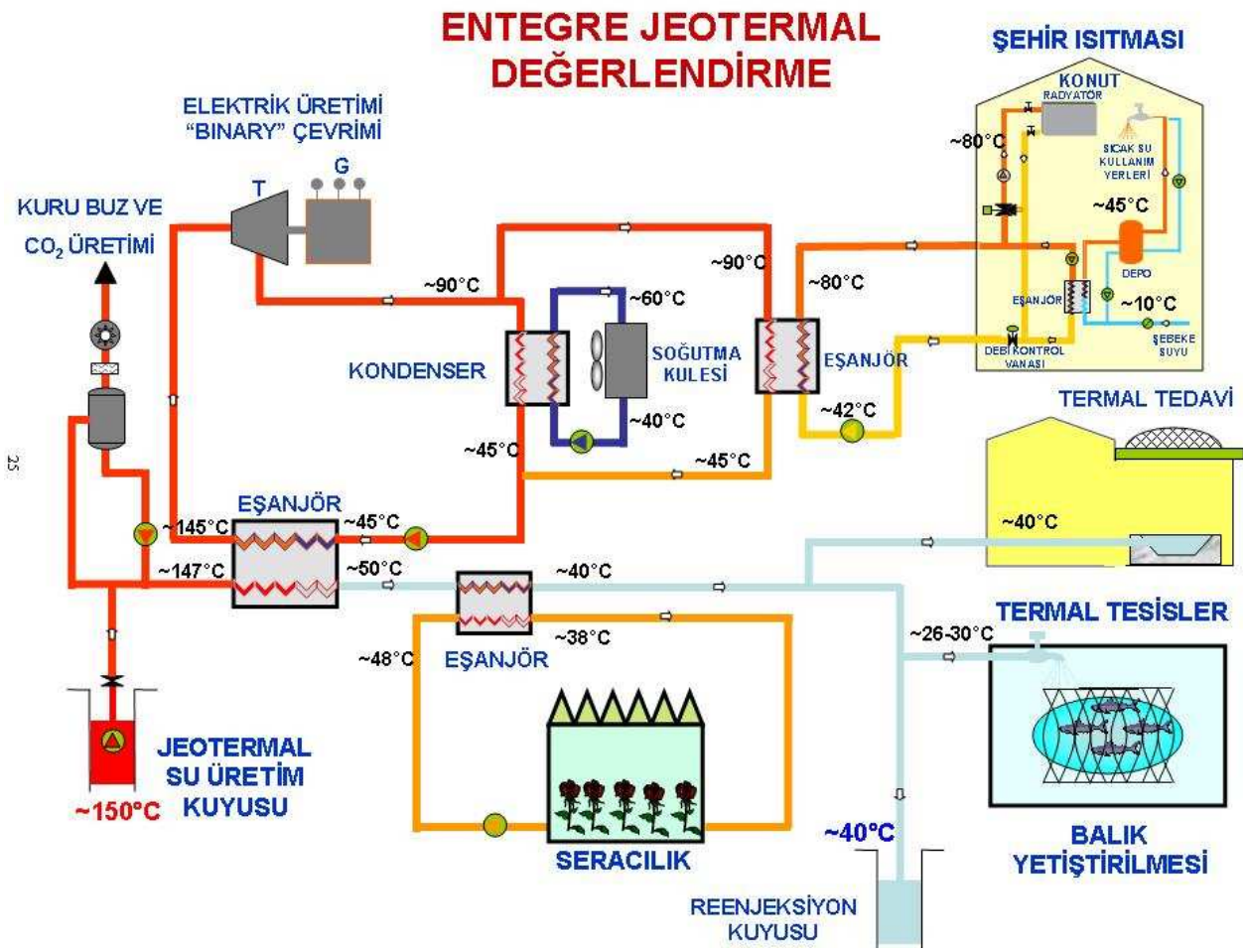
Jeotermal Enerji Kaynaklarından yararlanma alanları

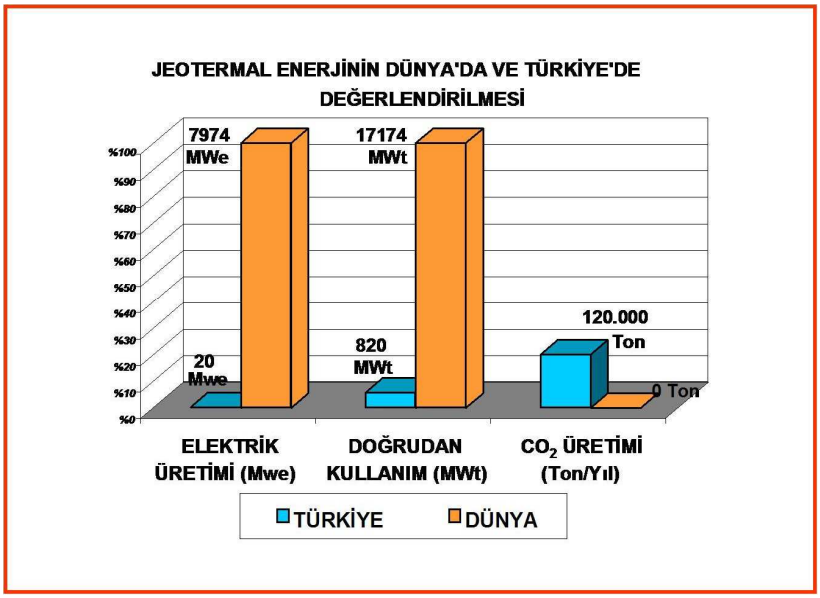
Yüksek sıcaklıklı jeotermal kaynakların (>150 °C) en önemli kullanım alanı elektrik üretimidir. Düşük ve orta sıcaklıklı jeotermal kaynaklar (<150 °C) çok farklı kullanım alanlarına sahiptir. Klasik Lindal diyagramı farklı sıcaklıklara bağlı olarak jeotermal kaynağın kullanılabilir alanlarını göstermektedir. Bu diyagrama son yıllarda 85 °C'nin üzerindeki jeotermal kaynakların binary cycle santrallarında elektrik üretiminde kullanılması da eklenebilir. 20 °C'nin altındaki jeotermal kaynaklardan ise ısı pompaları ile ısıtma ve soğutmada faydalanılmaktadır.

Sıcaklık(°C)			Kullanım Alanı
	180		Yüksek konsantrasyon solüsyonun buharlaşması, amonyum absorpsiyonu ile soğutma
	170		Hidrojen sülfit yolu ile ağır su eldesi, Diyatomitlerin kurutulması
	160		Kereste kurutulması, balık vb. yiyeceklerin kurutulması
	150		Bayer's yoluyla alüminyum eldesi
	140		Konservecilikte, çiftlik ürünlerinin çabuk kurutulmasında
	130	Isıtma	Şeker endüstrisi, tuz eldesi
Elektrik üretimi	120		Damıtık su eldesi, tuzluluk oranının artırılması
	110		Çimento kurutulması
	100		Organik maddeleri kurutma (Yosun, et, sebze vb.), Yün yıkama ve kurutma
	90		Balık kurutma
	80		Kent ve sera ısıtması
	70		Soğutma (Alt sıcaklık sınırı)
	60		Kümes ve ahır ısıtma
	50		Mantar yetiştirme, balneolojik kullanımlar
	40		Toprak ısıtma, kent ısıtması (alt sınır), turistik tesisler
	30		Yüzme havuzları, fermentasyon, damıtma, sağlık tesisleri
	20		Balık çiftlikleri

1- Doğrudan kullanım

En eski ve en yaygın kullanım alanı konutların ısıtılması ve kaplıcalarda değerlendirilmesidir. Sıcaklığı 30-60 °C arasında değişen jeotermal su konutların ısıtılmasında kullanılmaktadır. Bu sistemlerin ilk yatırım maliyetleri yüksek olmasına karşın işletme maliyetleri düşüktür. Bu sistemlerde suyun kimyasal bileşimine dikkat edilmesi gerekir. Su içerisindeki silikat ve kalsitler ısıtma tesisatı boru ve radyatörlerinin tıkanmasına neden olabilir. Bu durumda eşanjörle kullanılarak ısıyı başka bir akışkana aktarmak gerekir.





Dünyada ve Türkiye'de Jeotermal Kullanımı



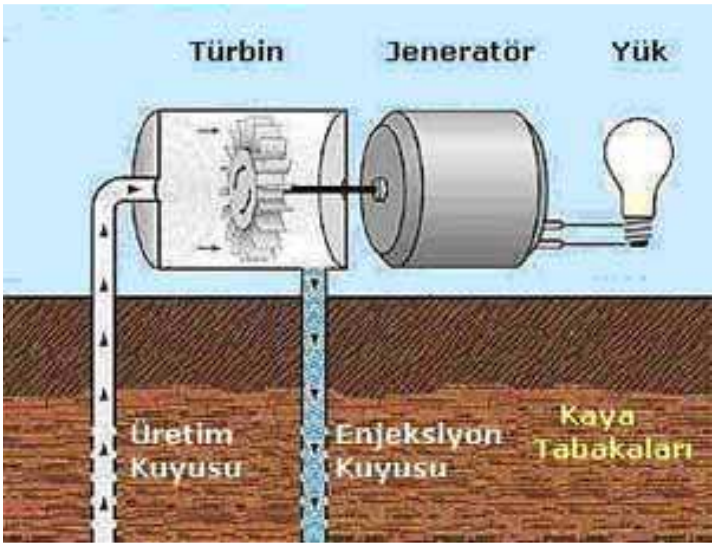
Dünyada doğrudan jeotermal ısı kullanımının sektörlere göre dağılımı

2- Elektrik Üretimi:

Rezervuar sıcaklığı 200 °C ve daha fazla olan jeotermal akışkandan elektrik üretimi gerçekleşmektedir. Ancak günden güne gelişmekte olan yeni teknolojilere göre 150 °C'ye kadar düşük hazne çıkışlı akışkandan da elektrik üretilebilmektedir. Son yıllarda geliştirilen ve ikili (binary) çevrim olarak adlandırılan bir sistemle, buharlaşma noktaları düşük gazlar (freon, izobütan vb.) kullanılarak 70°C<T<80°C'ye kadar sıcaklıktaki sulardan elektrik üretilebilmektedir. Jeotermal enerjiden elektrik üretimi ilk olarak 1904 yılında İtalya'da olmuştur. Jeotermal akışkandan elektrik üretimi başta A.B.D. ve İtalya' da olmak üzere Japonya Yeni Zelanda, El Salvador, Meksika, İrlanda, Filipinler, Endonezya, Türkiye vd. ülkelerde yapılmaktadır.

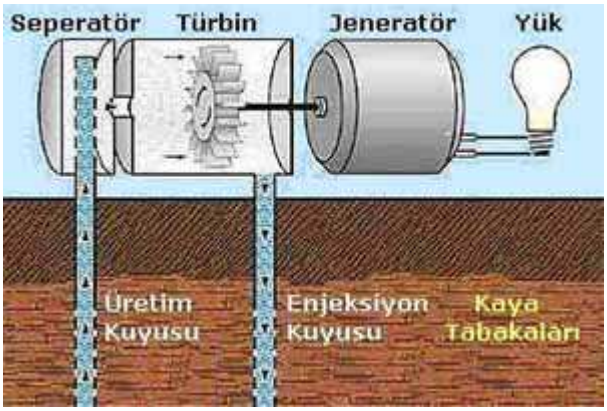
a) Kuru buharlı jeotermal santraller:

En basit sistemdir. Doymuş veya kızgın jeotermal buhar bulunan bölgelerde kullanılır. Kuyudan alınan buhar filtreden geçirilerek bir yoğuşturmalı türbine gönderilir. Kondensere ilave olarak doğal ya da mekanik soğutma kulesi kullanılır.



b) Buhar ayırmalı sistemler:

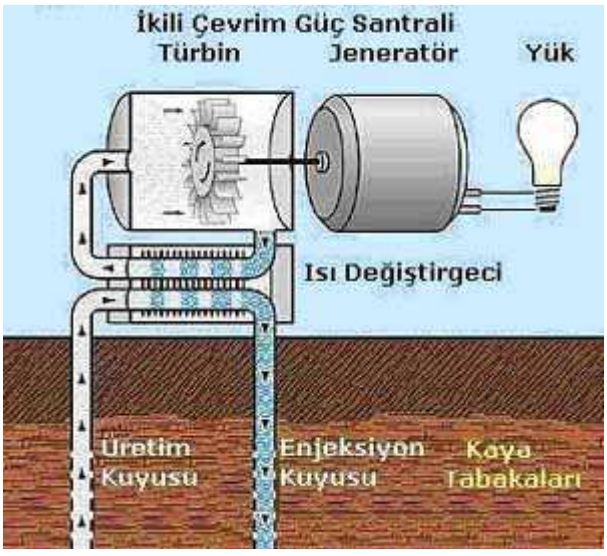
Yüksek basınçlı rezervuardan gelen jeotermal suyun, kuyu çıkışında basıncın azalmasına bağlı olarak bir kısmı sıvı formuna dönüşür. Su+Buhar karışımı seperatörde su ve buhar olarak ayrıldıktan sonra buhar doğrudan bir türbine gönderilerek elektrik üretiminde kullanılır.



c) Binary (İkili) Çevrim santraller:

Düşük sıcaklıktaki jeotermal suyun sıcaklığından yararlanarak, kaynama noktası suya göre daha düşük olan freon veya hidrokarbon gibi başka bir sıvının buharlaştırılması ile elde edilen buharın, elektrik üretiminde kullanılmasıyla gerçekleştirilen yöntemdir.

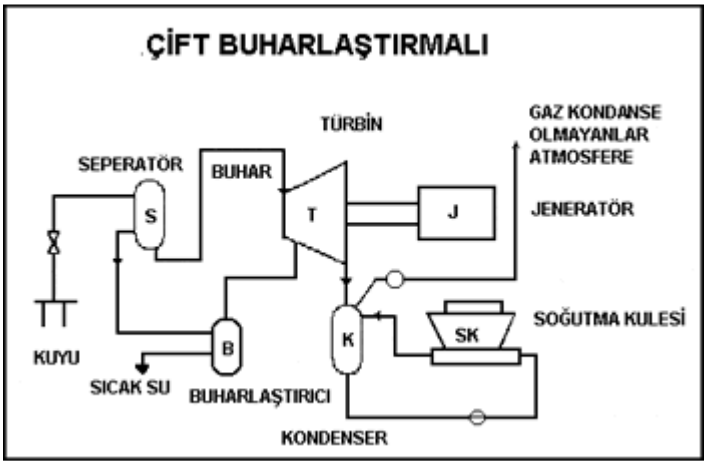
Binary sistemlere ait basitleştirilmiş şematik gösterim aşağıda verilmiştir. Binary sistemler, düşük kaynama sıcaklıklı ve düşük sıcaklıklarda yüksek buhar basıncına sahip ikincil bir çalışma akışkanı kullanırlar. Bu ikincil akışkan, konvansiyonel bir Rankine çevrimine uygun olarak çalışır. Uygun bir çalışma akışkanı ile binary sistemler, 80-170°C aralığındaki giriş sıcaklıklarında çalışabilirler.



d) Çift kademeli (double flash) santraller:

bu sistemde jeotermal sıvının bünyesindeki buhar ayırıcıdan geçirilerek, buhar elektrik üretimi için jeneratöre gönderilir. Geriye kalan sıcak su, başka bir ayrıştırıcıda tekrar su ve buhar olarak ikinci kez buharlaştırılarak, tekrar üretilen buhardan ikinci kez elektrik üretilir. Bu tip santrallerin verimi flash buhar santraline kıyasla %15-20 arasında daha fazla olduğu gibi

maliyeti de %10-20 oranında daha düşüktür. Böylece aynı kaynaktan yararlanarak daha fazla elektrik üretilmiş olur.



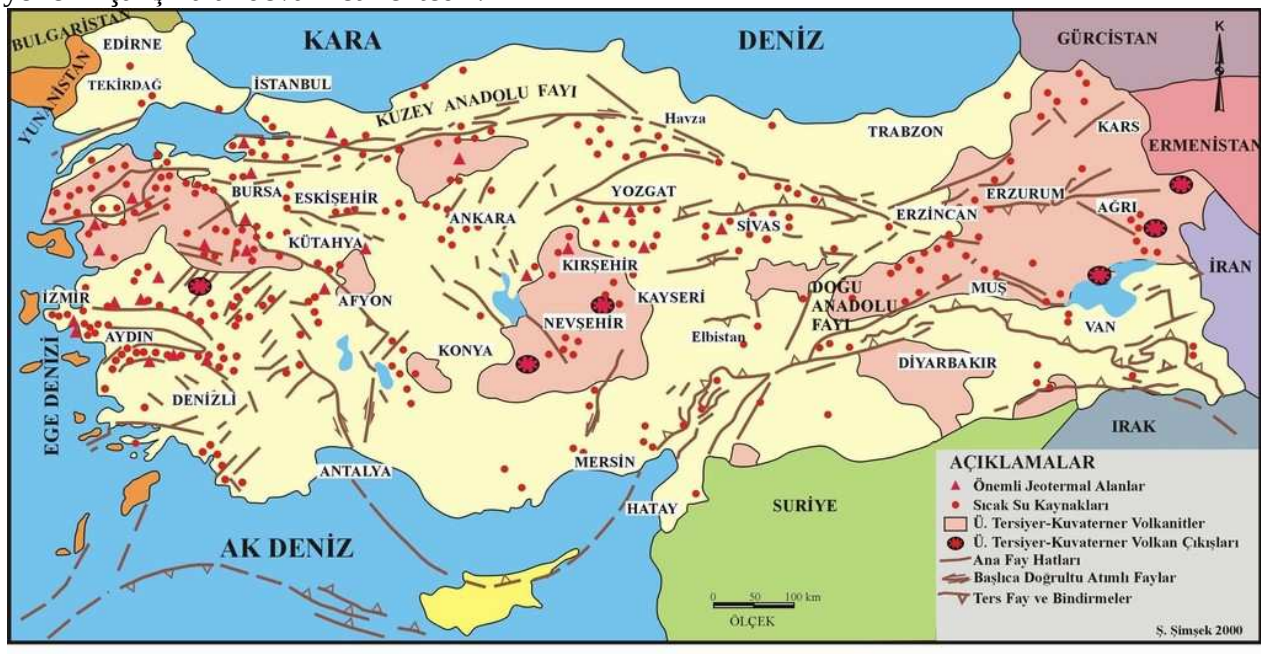
e) Hibrid sistemler:

Jeotermal suyun sıcaklığının yeteri kadar yüksek olmadığı durumlarda jeotermal enerji, ya ön ısıtıcı olarak, ya da kızgın buhar eldesin de kullanılır.

Türkiye'de jeotermal enerjiden elektrik üretimi

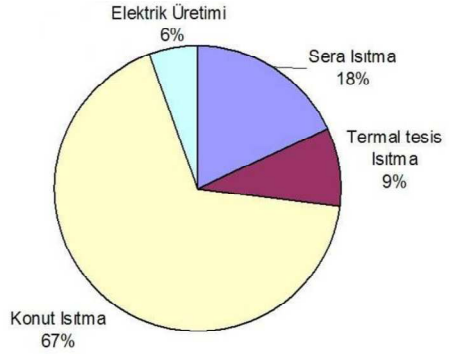
Türkiye, jeotermal enerji potansiyeli yönünden dünyanın önemli ülkeleri arasındadır. Türkiye'de 40 °C'nin üzerinde jeotermal akışkan içeren 170 adet jeotermal saha ortaya çıkarılmıştır. Bu sahaların % 95'i düşük ve orta sıcaklıklı jeotermal sahalardır.

Türkiye'nin jeotermal potansiyeli 31.500 MWt olarak tahmin edilmektedir. Fakat bu büyük jeotermal enerji potansiyeline göre konut ısıtmacılığı, seracılık ve sağlık amaçlı kullanım olarak Türkiye'de toplam kurulu kapasite 867 MWt'dir. Ayrıca 20.4 MWe elektrik üretme gücüne sahip Kızıldere jeotermal sahasında 1985 yılından bu yana elektrik enerjisi üretimi sürmektedir. Aydın- Germencik, Aydın-Salavatlı ve Denizli-Tekkehamam sahasında ise elektrik üretimine yönelik çalışmalar devam etmektedir.

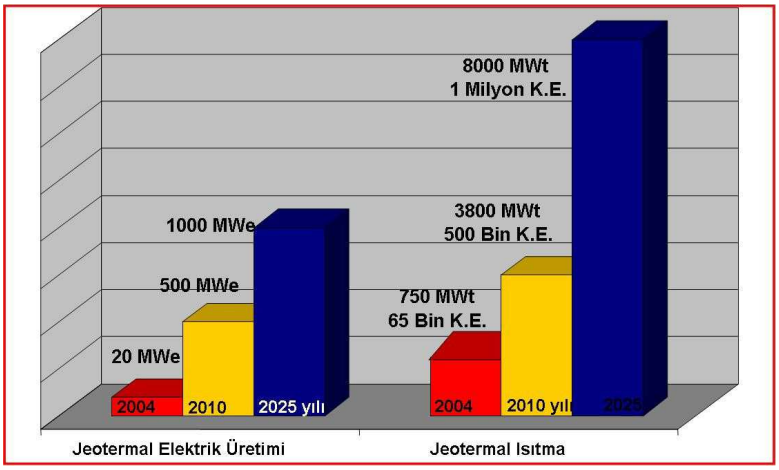


Türkiye'de neotektoniği-volkanik etkinliği ve jeotermal alanlar

Türkiye'de 130-242 ^{o}C sıcaklıklarda elektrik üretimine uygun olduğu söylenen 13 saha bulunmakta olup mevcut şartlarda sıcaklıkla ilgili ekonomik olarak elektrik üretimine uygun 150 ^{o}C'nin üzerinde 5 saha bulunmaktadır.



Türkiye'deki mevcut jeotermal enerji uygulamalarının yüzdesel dağılımı



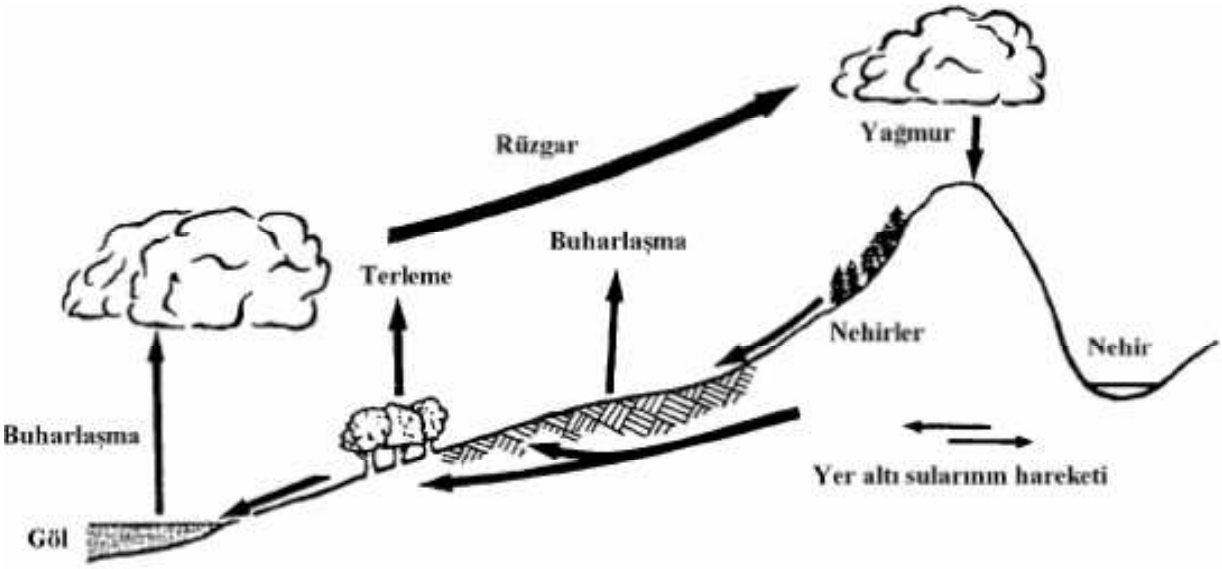
Türkiye'de jeotermal enerjinin mevcut durumu ve geleceği

Jeotermal enerji kullanımının avantajları

- Yenilenebilir, sürdürülebilir, tükenmeyen enerji
- Özvarlığımız olan doğal bir kaynak
- Temiz, çevre dostu (Yanma teknolojisi kullanılmadığı için ve sıfıra yakın emisyon)
- Çok amaçlı ısıtma uygulamaları için ideal (konutta, tarımda, endüstride, sera ısıtmasında)
- Meteorolojik koşullardan bağımsız (Rüzgar, Yağmur, Güneş v.b.'den bağımsız)
- Fosil ve diğer alternatif enerji kaynaklarına göre çok daha ucuz
- Arama kuyuları üretim ve bazen reenjeksiyon kuyularına dönüştürülebilir
- Güvenilir (Yangın, patlama, zehirleme riski yok)
- Hazır enerji kaynağı ve verimlilik %95'in üzerinde
- Minimum alan ihtiyacı (Hidro, Güneş vb'nin tersine)
- Kolay ve hızlı devreye alma, işletme ve bakım (6 ay – 1 yıl), uzun tesisat ömrü
- Jeotermal lokal bir enerji olduğu, ithali ve ihracı ve uluslararası bir fiyatı olmadığı için savaşlara ve uluslar arası problemlere neden olmaz.
- Jeotermal ısıtma evlere fuel-oil, mazot, kömür, odun atıklarının taşınmasını ortadan kaldıracağı için şehir içerisindeki trafiğin yükünü azaltır.

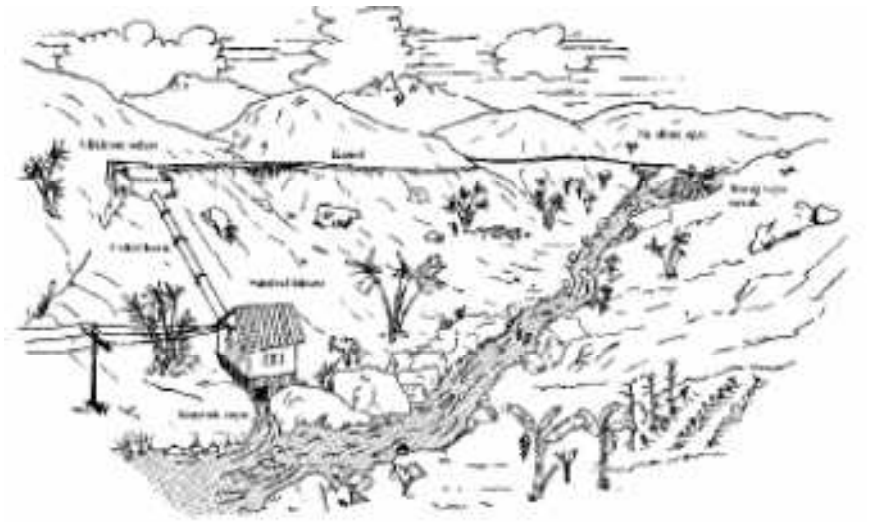
BÖLÜM 5: HİDROLİK ENERJİ

Deniz, göl veya nehirlerdeki sular güneş enerjisi ile buharlaşmakta, oluşan su buharı rüzgarın etkisiyle de sürüklenerek dağların yamaçlarında yağmur veya kar halinde yer yüzüne ulaşmakta ve nehirleri beslemektedir. Böylelikle hidrolik enerji kendini sürekli yenileyen bir enerji kaynağı olmaktadır. Enerji üretimi ise suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi ile sağlanmaktadır.

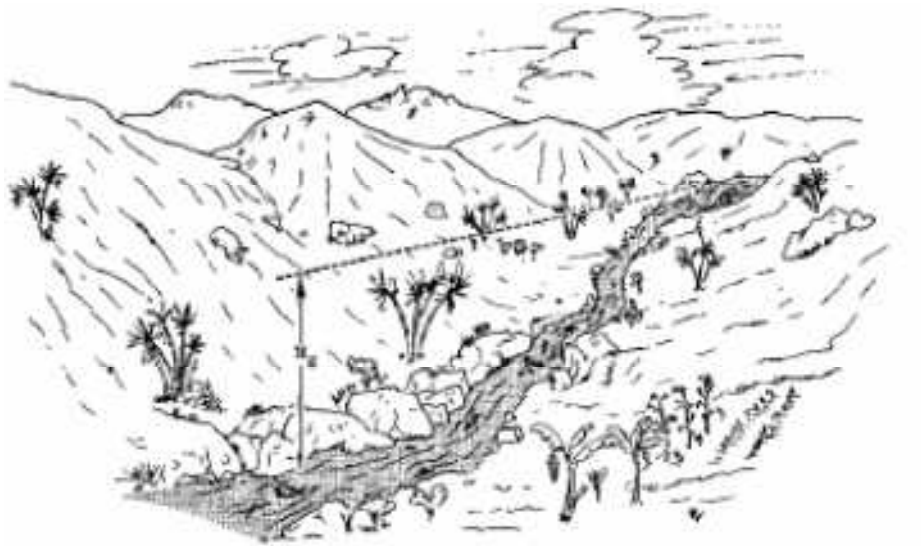


Şekil: Hidrolik çevrim [Harvey, 1998]

Hidroelektrik sistemlerde su, bir cebri boru veya kanal yardımıyla yüksek bir yerden alınarak türbine verilmektedir. Türbinlere bağlı jeneratörlerin dönmesi ile de elektrik enerjisi üretilmektedir. Üretilen elektrik enerjisi direkt olarak kullanılabildiği gibi bataryalarda da depo edilebilir. Türbinden elde edilen güç, suyun düşü (üst ve alt kodlar arasındaki düşey mesafe) ve debisine (türbinlere birim zamanda verilen su miktarı) bağlıdır.



Şekil: Hidroelektrik sistemlerin çalışması



Şekil: Düşü

Hidroelektrik sistemlerin sınıflandırılması ve tasarımı

A) Santral gücüne göre sınıflandırma;

a) Büyük ölçekli hidroelektrik sistemler: Bu sistemlerinin gücü 50 MW'ın üzerindedir. 1 MW' lık bir güç yaklaşık 20.000 elektrik lambasının ihtiyacı olan enerjiyi üretir. 1 KW' lık bir güç ise 4 lambalı (50 watlık) 5 evin aydınlanma için gerekli olan enerjiyi verir. 50 MW'lık bir güç 250.000 evin ışık ihtiyacı olan enerjiyi verir.

b) Küçük ölçekli hidroelektrik sistemler: Güç bölgeleri 10-50 MW arasındadır.

c) Mini ölçekli hidroelektrik sistemler: Bu sistemler ulusal enerji şebekesine daha az katkıda bulunurlar. Bunlar 101 kW ile 10.000 kW güç bölgesinde çalışırlar.

d) Mikro ölçekli hidroelektrik sistemler: Mikro hidroelektrik sistemler çok daha küçük ölçekte olurlar ve ulusal enerji şebekesine elektrik enerjisi sağlamazlar. Ana yerleşim bölgelerinden uzaktaki alanlarda yani ulusal enerji şebekesinin ulaşmadığı bölgelerde kullanılır. Güçleri, genellikle sadece bir yerleşim yeri veya çiftlik için yeterlidir. Güç bölgeleri, 200 W'tan başlayarak bir grup evin veya çiftliğin yeterli aydınlanma, pişirme ve ısınma enerjisini sağlayacak şekilde 100 kW'a kadar çıkabilir. Küçük fabrikaların veya balık çiftliklerinin enerji ihtiyacını karşılayacak şekilde ve ulusal enerji sisteminin bir parçası olmaksızın çalışabilir. Mikro hidroelektrik sistemlerde elektrik enerjisi üretimi de şart değildir. Bir çok uygulamada, mekanik enerjisinden de yararlanılarak değirmen sistemlerinde kullanılabilir. Her iki kullanım için de sistem özellikleri aynıdır.

B) Düşüye göre yapılan sınıflandırmada;
2-20 m alçak düşü,
20-150m orta düşü ve
150 m ve yukarısı yüksek düşü olarak kabul edilir.

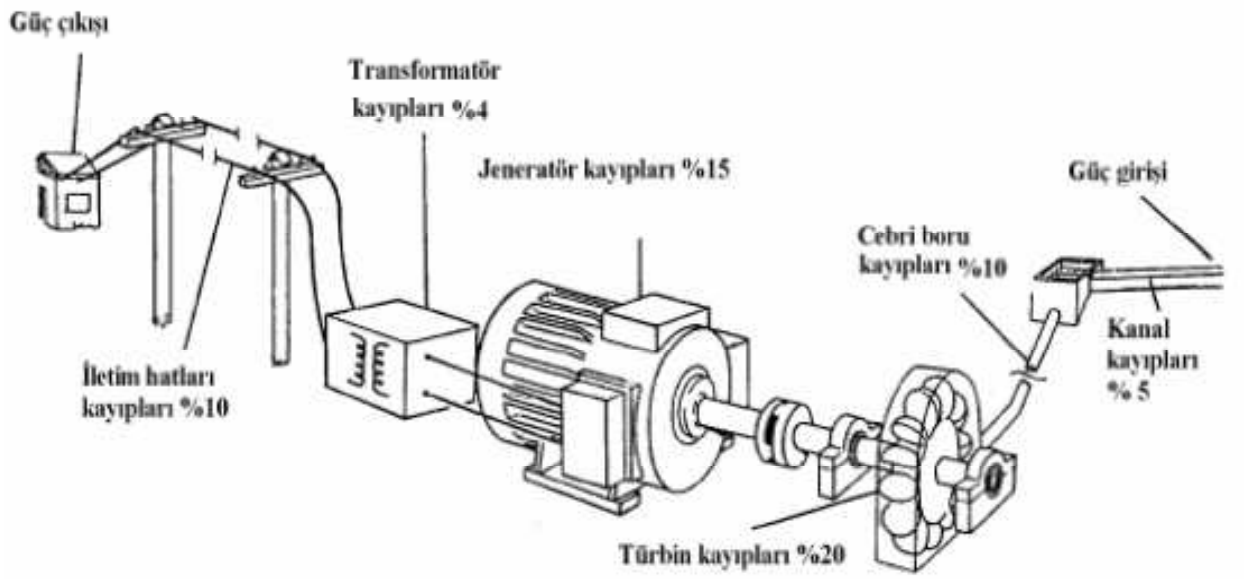
Genellikle düşük birim maliyeti nedeniyle orta ve yüksek düşülü sistemlerin yapılması tercih edilir. Düşü, debi ve güç arasındaki bağıntı şu şekilde verilmektedir:

$$PE = \rho\, g\, Q\, Ho\, \eta türbin$$

Burada;
PE: türbin milinden alınan gücü (W),
ρ: suyun yoğunluğunu (1.000 kg/m^3),
g: yerçekimi ivmesini (9.81 m/s^2),
Ho: net düşüyü (giriş ağzı ile kuyruk suyu arasındaki kot farkından toplam düşü kayıplarını çıkartarak bulunur, m),
Q: türbine gelen debiyi (m^3/s),
η_g: genel verimi göstermektedir.

Bir hidroelektrik güç sisteminde toplam güç çıkışı ve kayıpların oluşumu şu şekilde gösterilmiştir

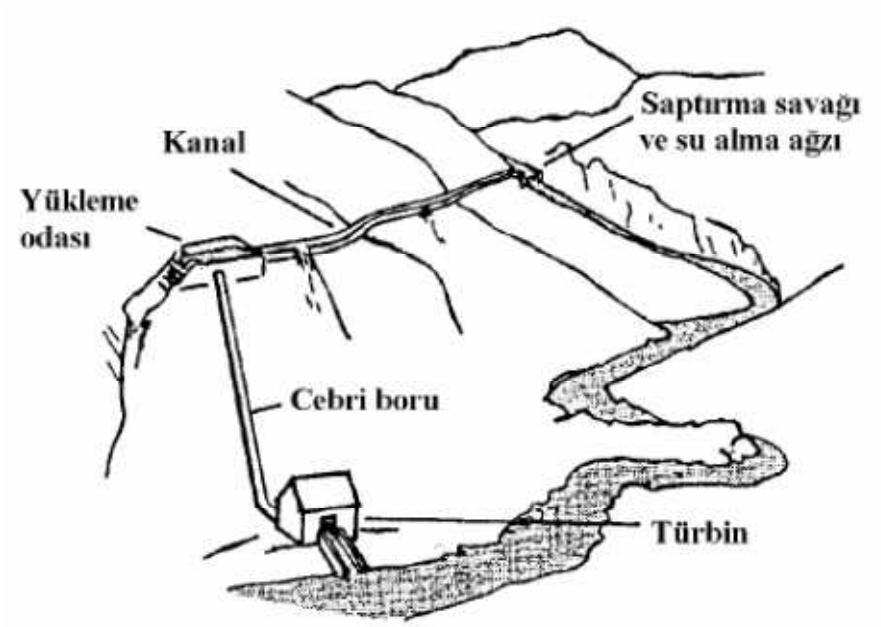
$$\text{Güç çıkışı} = \eta_{\text{inşaat}} \cdot \eta_{\text{cebri boru}} \cdot \eta_{\text{türbin}} \cdot \eta_{\text{jeneratör}} \cdot \eta_{\text{transformatör}} \cdot \eta_{\text{nakil hattı}} \cdot \text{Güç girişi}$$



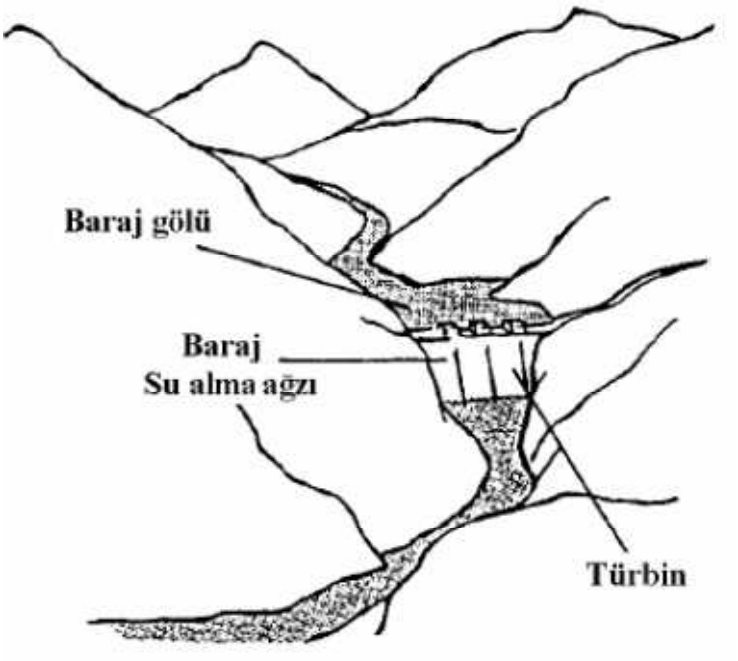
Şekil: Bir hidroelektrik santralde toplam güç çıkışı ve kayıplar

Diğer bir sınıflandırma suyun depolanması ile ilgilidir. Mini hidroelektrik sistemler depolamalı veya depolamasız olarak yapılmaktadır. Aşağıdaki şekillerde depolamasız ve depolamalı bir sistem görülmektedir. Depolamasız sistem ‘’run of the river’’ olarak adlandırılmaktadır. Burada bir saptırma savağı ve su alma ağzından kanala verilen su, bir yükleme odasına kadar getirilmektedir. Yükleme odasındaki fazla su için bir taşkın savağı bulunmaktadır. Su bir cebri borudan geçirilerek türbine verilmekte ve burada hidrolik enerjisi mekanik enerjiye çevrilmektedir. Depolamalı sistemde ise suyun önü bir baraj sistemi ile kapatılmaktadır. Bu sistemin avantajı yağışlı sezonda su barajda tutulur. Böylece yağışsız ve kuru sezonda da gerekli potansiyel enerji sağlanmış olur. Depolamasız sistemde suyun önü kesilmez, sadece bir kısmı bir kanal içerisine alınır. Mikro hidroelektrik sistemler genellikle depolamasız sistemlerdir. Bu sistemlerin en büyük dezavantajı kurak sezonda türbin için gerekli debiyi verememeleridir. En büyük avantajı ise lokal olarak çok düşük bir maliyetle yapılabilmeleridir. Akarsu yatağına en az zararı verirler. Yükleme odasında günlük bazda yapılan ayarlarla da su debisi kontrol edilir. Depolamalı sistemler daha karmaşık ve pahalıdırlar. Zaman içerisinde çeşitli problemlerle

karşılaşırlar. Örneğin baraj gölü belirli bir zamandan sonra kum ve kil ile dolmaktadır. Böyle durumda boşaltılması hem pahalı hem de çok zordur. Bir süre sonra baraj ömrünü tamamlar.

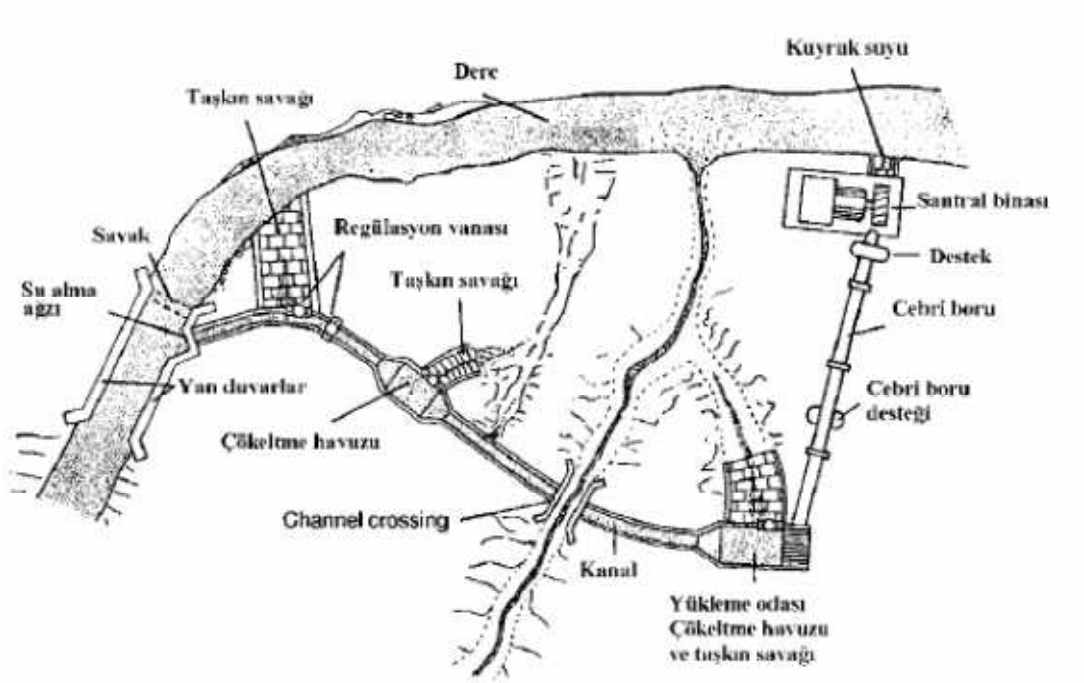


Şekil: Depolamasız hidroelektrik güç sistemi

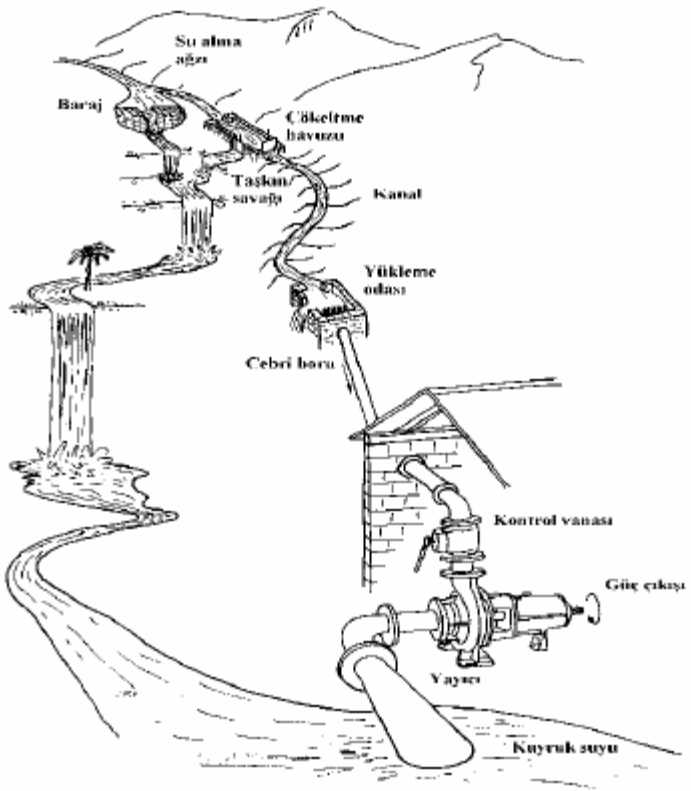


Şekil: Depolamalı hidroelektrik güç sistemi

Aşağıdaki şekillerde depolamalı bir hidrolik güç sisteminin ana bileşenleri görülmektedir. Burada; set savağı suyu akarsu yatağından bir açık kanala yönlendirir; çökeltme havuzu su içerisindeki kum parçalarının çökmesini sağlar; kanal, suyu yamaç boyunca ve gerekli yerlerde su kemerlerinden geçirerek yükleme odasına kadar getirir. Burada bir cebri boru içinden geçen su türbin veya bir çarka ulaşır. Türbin mili mekanik bir aletle birleştirilir. Bu bir jeneratör veya bir değirmen olabilir.



Şekil: Depolamasız bir hidroelektrik santralin kısımları



Şekil: Depolamalı bir hidroelektrik santralin kısımları

Mini hidroelektrik sistemlerin diğer bir sınıflandırma şekli de enerjinin kullanım tarzı ile ilgilidir. Burada üretilen elektrik ya merkezi enerji sistemini besler ya da bağımsız olarak küçük kasabaların ve yerleşim bölgelerinin enerji ihtiyacını karşılar.

2.4 Türkiye'nin hidroelektrik potansiyeli

Türkiye'nin yağış rejimi zaman ve yer bakımından oldukça düzensiz ve dengesizdir. Meteorolojik koşullara bağlı olarak her yıl önemli ölçüde değişim gösterme niteliğine sahiptir.

Bu durumda hidroelektrik üretimin de yıllara göre farklılıklar göstermesi kaçınılmazdır. Uzun yılları kapsayan meteorolojik gözlemlere göre yılda ortalama 643 mm olan yağışlar 501 milyar m^3 suya karşılık gelmektedir. Bu ortalama değerin ancak 186 m3 'nün çeşitli büyüklükteki akarsular aracılığı ile denizlere ve kapalı havzalardaki göllere doğru akışa geçtiği kabul edilmektedir. Akarsularımızın düzenlenmesi ve maksimum faydanın sağlanabilmesi için bugünkü etütlere göre 702 adet barajın inşa edilmesi gerekmektedir [TÜBİTAK-TTGV]. Topografyası ve morfolojik yapısı göz önüne alındığında ülkemiz hem düşü hem de debi açısından şanslı sayılabilecek ülkeler arasında yer almaktadır. Türkiye'nin kaynak varlığı ve mevcut durumuna göz atmadan önce teknik yapılabilirlilik ve ekonomik yapılabilirlilik kavramlarının açıklamasını yapmak gerekecektir.

Teknik yapılabilirlilik: Teknik açıdan söz konusu projenin gerçekleşmesine engel oluşturacak düzeyde herhangi bir mühendislik sorununun olmaması halidir.

Ekonomik yapılabilirlilik: Bir projenin toplam yıllık gelirinin toplam yıllık giderinden fazla olması halidir. Türkiye'deki hidroelektrik kaynak varlığını üç kısımda incelemek gerekir.

Brüt potansiyel: Ülkemizde mevcut hidroelektrik kaynakların üretim potansiyelinin teknik ve ekonomik yapılabilirlilik koşulları göz önüne alınmadan teorik olarak mevcut tüm düşü ve ortalama debi kullanılarak hesaplanmasıdır. Türkiye'nin brüt hidroelektrik enerji potansiyeli 430 milyar kWh civarındadır.

Teknik potansiyel: Ekonomik yapılır olması koşulu göz önüne alınmadan, ülkenin hidroelektrik kaynaklarından "Teknik yapılabilir" olanlarının tümünün değerlendirilmesi durumunda ulaşılacak üretim miktarıdır. Ülkemizin teknik hidroelektrik potansiyeli 215 milyar kWh mertebesindedir.

Teknik ve ekonomik potansiyel : Ülkenin brüt hidroelektrik potansiyelinin hem "teknik" hem de "ekonomik" olarak değerlendirilebilir bölümüdür. Yıldan yıla farklılıklar göstermekle birlikte bugün için Türkiye'nin teknik ve ekonomik hidroelektrik potansiyeli 124.5 milyar kWh ' dır. 1997 yılı başı itibarıyla mevcut duruma bir göz atıldığında Türkiye'de 124.5 milyar kWh olarak bulunmuş olan teknik ve ekonomik potansiyelin şimdiye kadar sadece 36.341 milyar kWh'lık bölümünün kullanıldığı görülmektedir. Gelişmiş olan ülkelerin bir çoğunda bu potansiyelin büyük bir bölümünün değerlendirilmiş olmasına rağmen Türkiye'de işletmeye açılmış tesislerle söz konusu potansiyelin ancak % 29'luk bölümü hizmete sunulmuş durumdadır. Ülkemizde gerçekleşme oranının istenen düzeyde olmamasının başlıca nedeni olarak, hidroelektrik santral projelerinin ilk yatırım maliyetlerinin diğer kaynaklarla kıyaslandığında yüksek olmasıdır. Dünyada hidroelektrik üretim 1925 yılında 78.7 TWh iken, 2000 yılında 4000 TWh'e ulaşacaktır. 2000 yılında hidroelektrik üretimin toplam enerji üretimi ve birincil enerji üretimindeki payının sırasıyla %14 ve %5.5 olacağı tahmin edilmektedir.

Hidroelektrik enerji için ilk yatırım maliyetinin yüksek oluşu ve inşa süresinin uzunluğu olumsuz faktörler olarak ileri sürülmektedir. 1995 yılı sonu itibarıyla tesislerin birim yatırım maliyetleri şu şekildedir :

Doğal gaz santralleri 680 $/kW
Linyit santralleri 1600 $/kW

İthal kömür santralleri 1450 $/kW
Hidrolik santraller 1200 $/kW
Nükleer santraller 1800-2700 $/kW

Görüldüğü gibi sadece doğal gaz santralleri hidroelektrik santral maliyetinden daha ucuzdur. Hidroelektrik santrallerin inşa süreleri uzun olmasına karşılık ekonomik ömürleri termik santrallerden daha uzundur. Kömür yakıtlı santraller ile kombine çevrimli santrallerin ömürleri 25 yıl iken baraj ve hidroelektrik santrallerin ekonomik hizmet süresi 40-50 yıldır. Bu değerler fizibilite çalışması değerleridir. Bazı rehabilitasyon çalışmaları ile hidrolik santrallerin ömürleri 75-100 yıla çıkartılabilmektedir. Ayrıca termik santraller doğal kaynakları tüketir. Buna karşılık hidrolik potansiyelin gelişmesi ile barajlarda meydana getirilen yapay göller vasıtasıyla ortamda oluşan buharlaşma havzanın daha fazla yağış almasına yol açmakta diğer bir deyişle kaynak artırıcı olarak işlev görmektedir. Hidroelektrik santrallerin teknik bazda en büyük avantajı diğer santraller kıyasla (özellikle pik saatlerde) çok çabuk devreye girme özelliğidir. Gerçekten bir hidroelektrik santralin ani talep durumunda devreye girmesi için sadece birkaç saniyeye gereksinim varken bu süre termik santraller için birkaç saati almaktadır. Türkiye'nin en fazla kullanılan alternatif enerji kaynağı olmasına rağmen potansiyelin %29 'luk kısmı kullanılmaktadır. Türkiye'nin geliştirilen projelere göre öngörülen ekonomik hidroelektrik potansiyeli 125 milyar kWh/yıl dır. Bu potansiyelin 1997 yılına kadar ancak % 29'u (36 milyar kWh/yıl) üretilebilmiştir. İnşa halindeki 33 adet santralin devreye alınması ile ekonomik potansiyelin %38'i değerlendirilmiş olacaktır. Potansiyelin değerlendirilmemiş %62 lik bölümü en az ön inceleme aşamasında etüdü tamamlanmış 363 hidroelektrik santralin yapımını kapsamaktadır [TÜBİTAK-TTGV].

- Hidrolik enerji tüm Dünya’da sahip olduğumuz enerji ihtiyacının 5′te 1′i gibi oldukça büyük bir bölümünü sağlamaktadır.

- Hidrolik enerji aynı zamanda Dünya’da var olan yenilenebilir enerji kaynaklarının da 10′da 7′si gibi bir kısmı kapsayarak yenilenmekte olan enerjilerinden yarısından çoğunu kapsamaktadır.

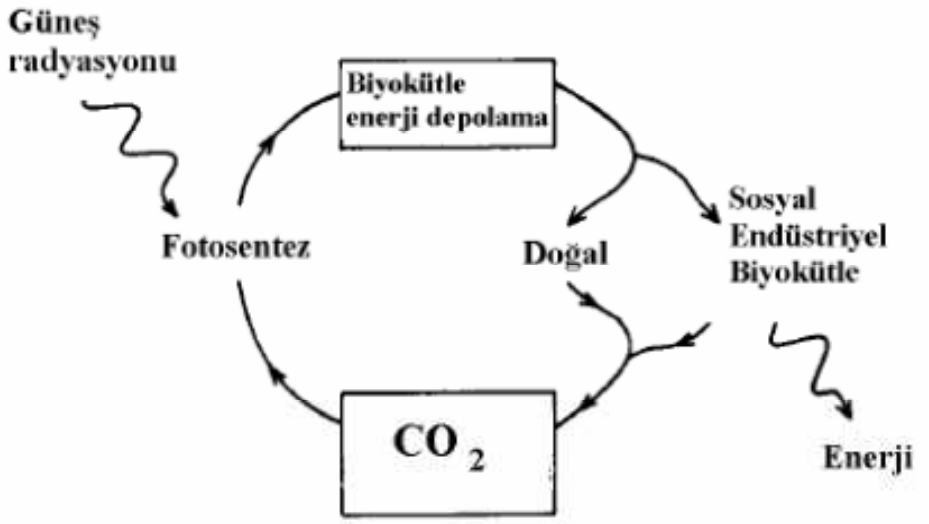
Avantajları: Hidrolik santraller sayesinde üretilen enerjinin maliyeti düşüktür ve kirlilik oluşturmaz. Aynı zamanda yüksek verimlidir (% 80).

Dezavantajları: Barajlar, çevrelerindeki bölgenin ekolojisini değiştirir. Örneğin, barajlarda toplanan su her zaman için, nehirlerden akan durumda olan suya göre daha soğuktur ve bu durum bazen balık ölümlerine neden olur. Barajlardan dolayı, nehirlerdeki su seviyesi doğal ortamından daha aşağıda veya yukarıda olduğunda nehir çevresindeki bitki gelişimini olumsuz etkiler.

BÖLÜM 6: BİYOKÜTLE ENERJİSİ

Giriş

Biyokütle, yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yolu ile kimyasal enerjiye dönüştürerek depolaması sonucu meydana gelen biyolojik kütle ve buna bağlı organik madde kaynakları olarak tanımlanmaktadır. Karbon içeren organik maddeler oksijenle reaksiyona girdiklerinde ısı açığa çıkartırlar. Şekilde doğal biyokütle çevrimi görülmektedir.



Şekil: Doğal biyokütle çevrimi

Tablo:Dünya biyokütle potansiyeli (%)
(Karasal alan 510 milyon km^2- biyokütle üretimi 2880 EJ)

	Alan (%)	Biyokütle üretimi (%)
Ormanlar	11	44
Koruluklar	5	1
Otlak-çayır	5	9
Tarıma uygun alanlar	3	5
Çöl	5	0
Göl ve nehirler	1	3
Okyanuslar	70	38

EJ: egzajoule (10^{18} J)

Tablo: Dünya biyokütle potansiyeli

	Biyokütle potansiyeli uzun süreli (EJ)
Büyük tarımsal alanlarda biyokütle	0-988
Küçük tarımsal alanlarda biyokütle	8-110
Tarımsal artıklar	10-27
Ormancılık artıkları	10-16
Hayvansal artıklar	9-25
Organik artıklar (+biyomateryal artıkları)	1-3 (+31)
Biyo materyal	(-) azalma 79-115
TOPLAM	100-1130

Biosferdeki kuru maddenin biyokütlesel çevrimi yaklaşık 250X109 ton/yıl olup bunun karbon miktarı 100X109 ton/yıl 'dır. Enerji içeriği ise 2X1021 J/yıl (0.7 X 1014 W)' dır [Twidell, 1990]. Üretilen toplam biyokütlenin ağırlıkça %0.5 'i insan yiyeceğinden sağlanmaktadır.

Organik madde ihtiva eden artıkların mikrobiyolojik yönden değerlendirilmesi hem çevre kirliliğine yol açmaması, hem de temiz enerji üretimi sağlaması bakımından önem taşımaktadır. Özellikte gelişmekte olan ülkelerde kullanımı en yaygın olan kaynak biyokütledir. Dünya enerji tüketiminin yaklaşık % 15'i, gelişmekte olan ülkelerde ise enerji tüketiminin yaklaşık %43'ü biyokütleden sağlanmaktadır. Biyokütle; her yerde yetiştirebilmesi, çevre korunmasına katkısı, elektrik üretimi, kimyasal madde ve özellikle taşıtlar için yakıt olabilmesi nedeni ile stratejik bir enerji kaynağı olarak sayılmaktadır. Biyokütle kaynakları arasında yer alan odun, hayvan ve bitki artıkları ülkemizde uzun yıllardan beri (özellikle kırsal kesimdeki konutlarda) alan ısıtma ve yemek pişirme amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bu geleneksel enerji kaynağı konutlardaki enerji tüketiminin % 40 kadarını oluşturmaktadır.

Biyokütle kaynakları

Enerji üretiminde kullanılabilecek biyokütle kaynaklarını; bitkisel kaynaklar, hayvansal atıklar, şehir ve endüstri atıkları şeklinde sınıflandırabiliriz.

a) Bitkisel kaynaklar

Bitkisel kaynaklar olarak; orman ürünlerini, 5-10 yıl arasında büyüyen ağaç türlerini içeren enerji ormanlarını, bazı su otlarını, algleri ve enerji (C_4) bitkilerini sayabiliriz. Enerji bitkileri olan tatlı sorghum, şeker kamışı, mısır gibi bitkiler; diğer bitkilere göre CO_2 ve suyu daha iyi kullanmakta, kuraklığa karşı daha dayanıklı olmakta ve fotosentetik verimleri daha yüksek bulunmaktadır. Bu bitkilerden alkol ve değişik yakıtlar üretilmektedir. Türkiye'de; bitki artıkları, fındık ve ceviz kabuğu, prina, ayçiçeği kabuğu, çiğit ve mısır gibi artıklar enerji amacıyla değerlendirilmektedir.

Kuru biyokütlenin ısıl değeri 3800-4300 kcal/kg arasında değişmektedir. Biyokütleden yakma yolu ile enerji elde edilmesinde yanma verimi orta kaliteli bir kömüre eşittir. Biyokütlenin çoğu kömürden daha az miktarda kül ve kükürt içermektedir.

Biyokütlenin enerji üretimi amacıyla geniş oranda kullanımını engelleyen bazı problemler vardır.

Bunlar; biyokütle kaynağının yoğunluğu nedeni ile nakliye ve depolama maliyeti ve bu mahsullerin hektar başına verimliliğinin düşük olmasıdır. Türkiye'de odun ve bitki artıkları yıllardır ısınma amaçlı olarak kullanılmaktadır. 1997 yılı sonuçlarına göre birincil enerji kaynaklarının toplam enerji tüketimi içindeki odunun payı % 8.1 iken hayvan ve bitki artıklarının payı % 2.3 ile sınırlı kalmıştır.

Odunun (odun ve benzeri selüloz ihtiva eden maddelerin) biyokütle kaynağı olarak değerlendirilmesinde izlenen yollardan birisi oksijensiz ortamda ve yüksek sıcaklıklarda (350-800°C) piroliz yapmaktır. Piroliz sırasında odun kömürü ile birlikte asetik ve formik asit metonol, aseton ve formaldehit gibi ürünler de elde edilmektedir. Hızlı ve verimli bir piroliz için odunun tamamen kurutulması ve 150-200°C'a kadar ön ısıtmaya tabi tutulması gerekmektedir. Katı yüzdesi fazla olan atıklardan piroliz ile gaz yakıt ve aktif karbon üretimi yapılmaktadır.

Bitkisel kaynaklı biyokütleden elde edilen etil alkol ve metil alkol, alternatif yakıt çeşitleri olarak özellikle gelişmekte olan ülkelerde, petrol ürünleri yerine kullanılmaya başlamıştır. Metil alkolün üretimi ve kullanılmasında bazı sorunlar olduğu için etil alkol tercih edilmektedir. Etil alkol; alkollü içkilerde, kimya sanayiinde, fuel-oil yanında kazan yakıtı ve ya benzin yakıtı olarak kullanılmaktadır. Etonal üç farklı biyokütleden üretilmektedir.

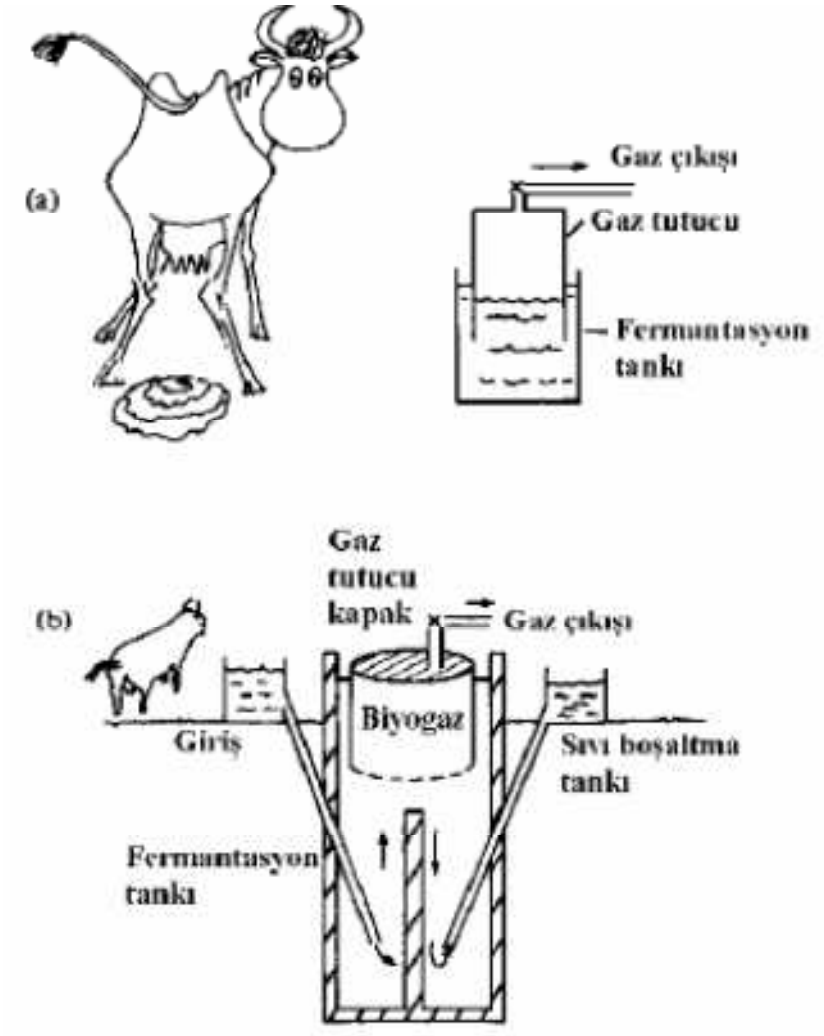
- Şekerli karbonatlardan (şeker kamışı, melas, sorgum)

- Nişastalar (mısır,patates.)
- Selülozlu bitkiler(odun,zirai artıklar)

Şekerli karbonhidratlarından etonal üretiminde karbonhidratın basit şeker formunda ve fermente edilebilir durumda olması ve elde edilen artık elyaf veya küspenin tekrar süreç içersinde enerji hammaddesi olarak kullanılabilmesi gerekmektedir. Nişastalar ise daha kompleks yapıya sahip olmalarından dolayı şekerleşme süreci ile ihtiva ettikleri karbonhidratlar basit şeker formuna dönüşmektedir. Bu ilave bir sürece ihtiyaç duyduğundan yatırım ve işletme masraflarını artırmaktadır. Selülozlu bitkilerin ihtiva ettikleri karbonhidratlar gerek moleküler yapı ve gerekse fermente edilebilir şekere dönüşüm süreçleri açısından önceki gruplara nazaran daha karmaşık yapıya sahip olduğundan alkol dönüşüm verimleri düşüktür. Etanolun otomobil yakıtı olarak en yaygın kullanıldığı ülke Brezilyadır. Etanol, şeker kamışından fermantasyon ve damıtma sonucunda % 94-96 saf alkol alınacak şekilde üretilmektedir. Biyokütle kökenli sentetik akaryakıt kapsamında yer alan alkol karışımlı benzin ve bitkisel yağ karışımlı motorin dışında, bazı enerji bitkilerinden elde edilen yağlar dizel yakıtı yerine kullanılabilmektedir.

b) Hayvansal Atıklar

Hayvansal gübrenin samanla karıştırılıp kurutulması suretiyle elde edilen tezeğin köylerde yakıt olarak kullanımı oldukça yaygındır. Hayvansal gübrenin oksijensiz ortamda fermantasyonu ile üretilen biogazın dünyada kullanımı da oldukça yaygındır. Herhangi bir atıktan metan meydana gelişi, bakteriler tarafından iki kademede gerçekleştirilir. Önce kompleks organikler, asit bakterileri tarafından uçucu yağlı asitlere dönüştürülür. Sonra üreyen asitler metan bakterileri tarafından metan haline getirilir. Elde edilen gaz % 55-70 metan, %30-45 karbondioksit, az miktarda hidrojen sülfür ve su bileşimine sahiptir. Biyogazın ısıl değeri, karışımdaki metan yüzdesine bağlı olarak 1900 ile 27500 kJ/m^3 arasında değişmektedir. Biyogaz üretiminde genel olarak kesikli besleme metodunda, fermantasyon tankına taze çiftlik gübresi verilir ve tank hava almayacak şekilde kapatılır. Gübrenin havasız ortamda fermantasyonu sonunda meydana gelen biyogaz, bir boru ile gazometre denilen ikinci bir kapta toplanır. Kesikli besleme yönteminde, tanka ilk gübre beslemenin yapılmasından yaklaşık 15 gün sonra biyogaz üretimi başlamakta ve gazın sürekliliği 60 gün sürmekte, bu sürenin sonunda gaz verimi düşmektedir. Bu durumda fermantasyon tankı boşaltılarak tekrar taze çiftlik gübresi doldurulur. Biyogaz üretiminden sonra elde edilen fermente gübrenin, fermente olmamış gübreye oranla %20-25 daha verimli olduğu belirtilmektedir. Ülkemizde biyogaz üretim potansiyeli 2.8 – 3.9 milyar m^3 olarak belirlenmiştir. Şekilde iki farklı biyogaz üretim sistemi verilmiştir.



Şekil: İki farklı biyogaz üretim sistemi

c) Şehir ve endüstri Atıkları

Çöp depolanan yerlerinde ve evsel atık su arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurları eğer önceden stabilize edilmemiş ve biyokimyasal aktivitileri durdurulmamışsa aerobik organizmalar tarafından ayrıştırılarak metan gazına dönüştürülecektir. Metan gazı aynı zamanda sera etkisinin oluşmasında en az karbondioksit ve su buharı kadar etkili olduğundan oluşumu kontrol altına alınarak değerlendirme yoluna gidilmiştir. Bu amaçla çöp toplanan alanında oluşan gazları toplayacak şekilde sondaj boruları belirli bir düzene göre yerleştirilerek oluşan gazlar toplanmaktadır. Çıkan gazlar arıtılarak gaz jeneratörüne gönderilmekte ve gaz jeneratöründe elektrik elde edilmektedir. Diğer uygulama alanları ise doğal gaz sisteminde ve araçlarda yakıt olarak, kimya sanayinde saf metan haline getirilerek kullanma olarak sıralanabilir. Elde edilen biyogazın doğal gaz dağıtım sisteminde kullanılması, gaz temizleme işleminin pahalı olması nedeniyle fazla uygulanmamaktadır.

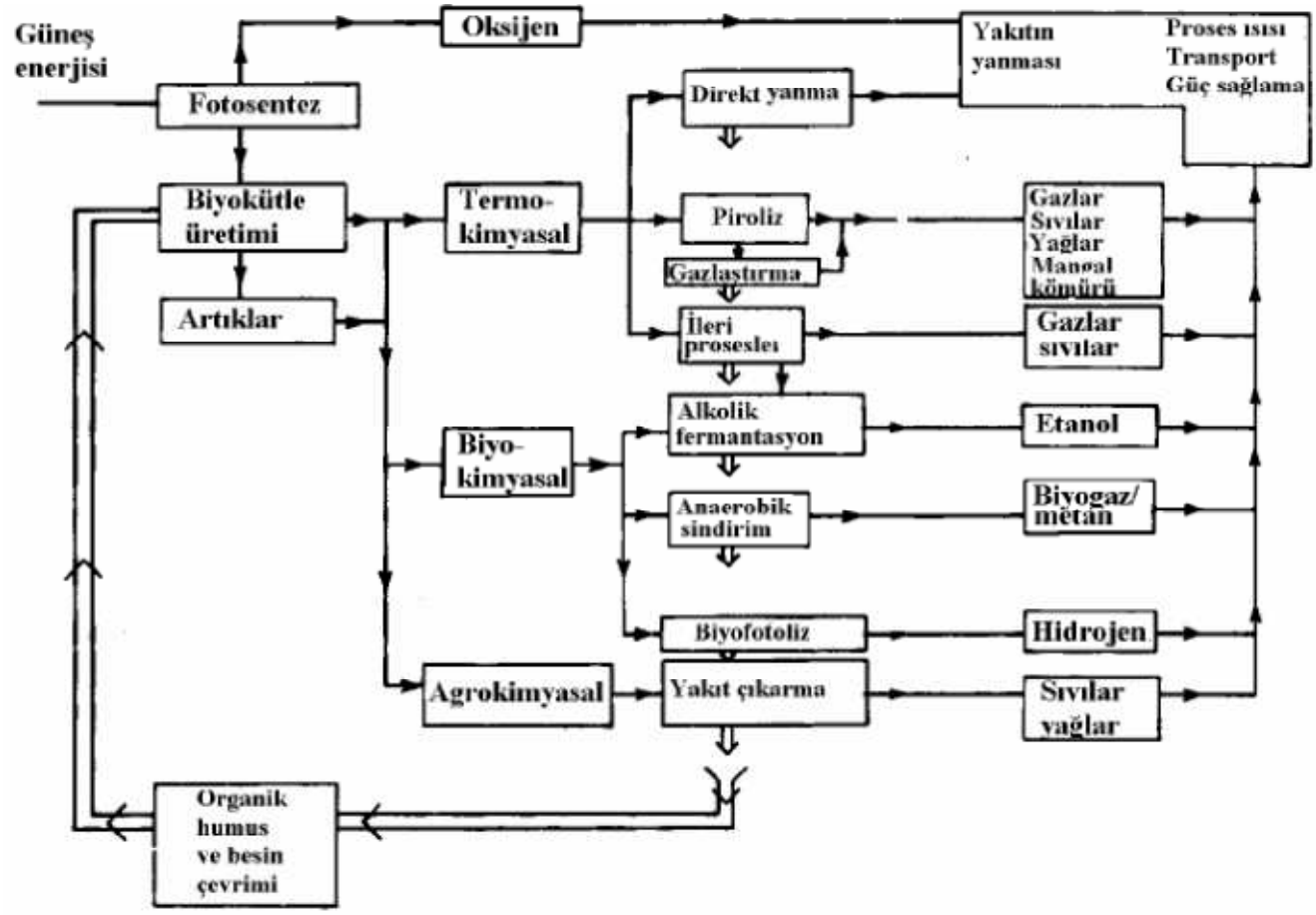
Toplanan çöpün bileşimine bağlı olarak oluşan gaz içindeki bileşenler; metan % 35- 60, karbondioksit % 35-55, nitrojen % 0-20 arasında değişmektedir. Depolama alanından oluşan 1 metreküp gazın ısıl değeri ise yine çöpün bileşenlerine bağlı olarak 18- 27 MJ/Nm^3 arasında değişmektedir.

Türkiye'nin ilk çöp gaz santralı AKSA jeneratör tarafında Bursa Demirtaş'ta kurulmuştur. 1.4 MW gücünde ve 2 milyon dolara mal olan santralden yılda 10 milyon kW/h elektrik üretimi planlanmaktadır.

Çöp ve katı maddelerin enerji elde etmenin diğer bir yolu ise piroliz ve yüksek sıcaklıklarda yakılmasıdır. Çöp ve katı atıkların uygun yakma tesislerinde havayla yakılması ile elde edilen enerji ısı enerjisinde veya elektrik üretiminde değerlendirilmektedir.

Biyokütlenin enerjiye dönüştürülmesi

Biyokütle organik madde ve sudan meydana gelmiştir. Şekil 6.3'de biyokütleden biyoyakıt üretime işlemleri görülmektedir.



Şekil: Biyokütleden biyoyakıt üretme işlemleri

Biyokütlenin enerjiye dönüştürülmesinde göz önüne alınması gereken faktörleri sıralarsak;

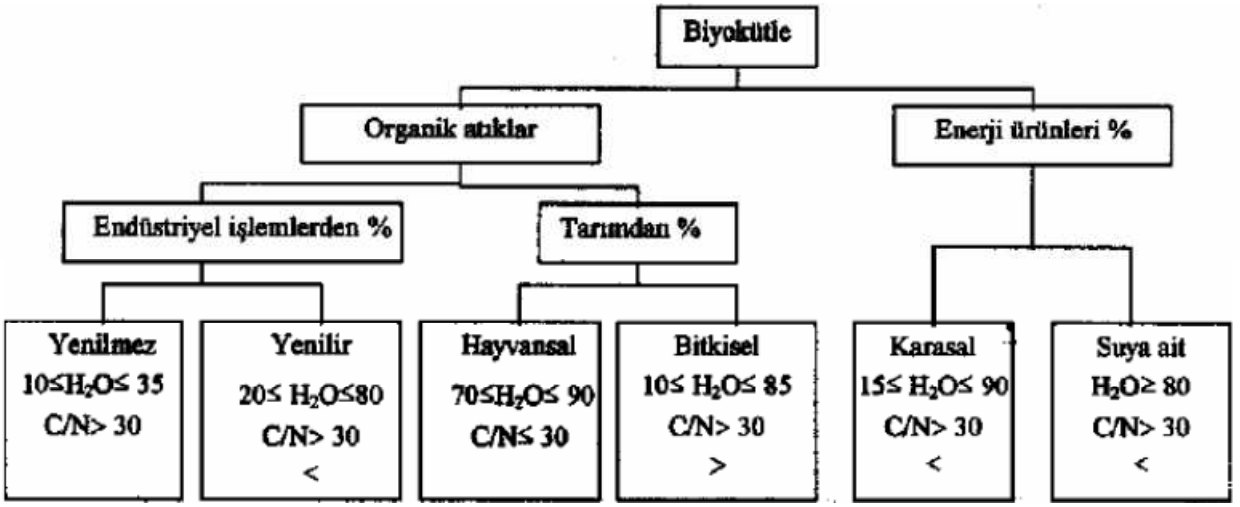
- Enerjinin az masrafla dönüştürülmesi,
- Ekonomik olması,
- Yenilenebilir kaynaklara dayalı olması,
- Doğadaki dengeyi bozmaması,
- Su, hava ve çevre kirliliğine yol açmaması olarak sıralanabilir.
- Enerji dönüştürülmesinde kullanılan teknolojinin basit ve çabuk uygulanabilir olması, yeterince eğitilmiş personele ihtiyaç duyulması da önemli bir faktördür.

Bu nedenlerle katı organik atıklardan özellikle orman ve tarım artıklarından en basit şekilde enerji dönüşümü, onları direkt yakmakla mümkün olmaktadır. Bu şekilde yalnız hava kirliliğine yol açan enerji elde edilmiş olur. Bu tip direkt yakma sisteminde enerji dönüştüren ünitenin enerji tüketen merkezlere uzaklığı çok büyük ekonomik rol oynamaktadır. Ayrıca istenilen enerjinin devamlılığı da çok önemlidir. Büyük hacimdeki orman ve tarımsal ürünlerin uzak yerlere taşınması kapsadıkları önemli miktarda su nedeniyle ekonomik değildir.

Direkt yakmanın en büyük alternatifi ise piroliz veya gazlaştırmadır. Bu yöntemler sayesinde katı yakıttan sıvı ve gaz yakıtlar üretilmektedir. Biyokütlenin geride kül ve curüftan başka bir şey bırakmayacak şekilde hava ile belirli bir basınç altında ısıtılması sonucunda yanar nitelikte gaz üretilir.

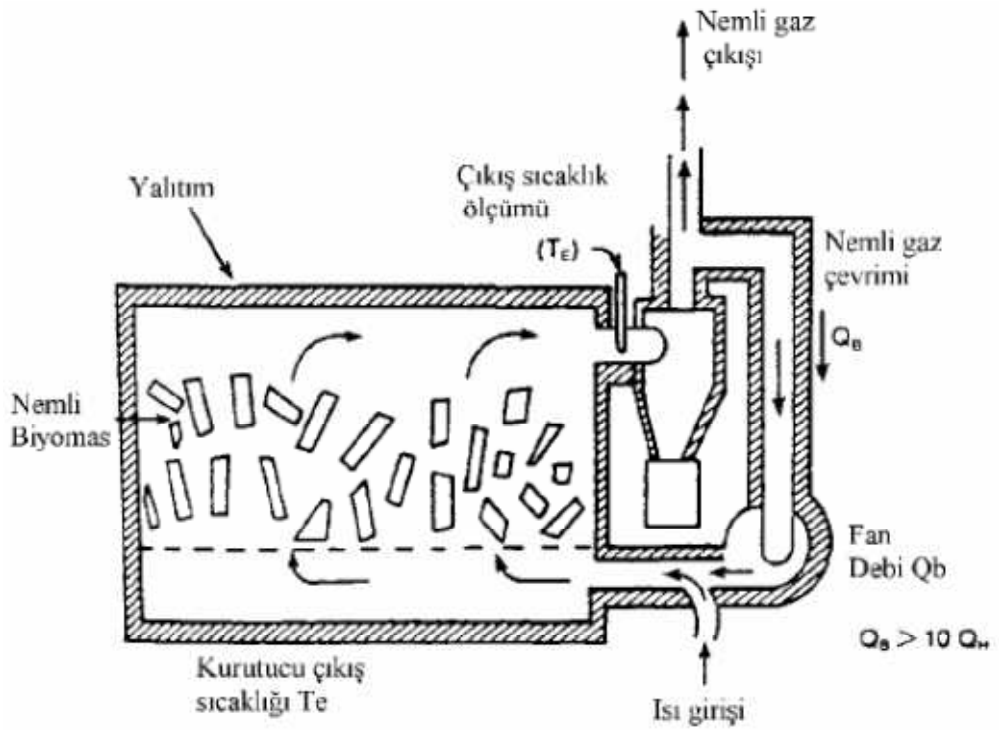
Üretilen bu gaz hidrojen ve karbon monoksit yönünden zengin olduğundan kimya sanayiinde ana madde olarak ta kullanılabilmektedir. Teknolojide, biyokütlenin en uygun şekilde kullanılabilmesi için onun bazı özelliklerinin bilinmesi gerekir.

Bunlar, nem oranı (% olarak su miktarı), karbon/nitrojen oranı (C/N), kimyasal ve fiziksel özellikleridir. Enerji dönüşümünde kullanılacak biyokütleler için bu değerlerin bilinmesi son derece önemli olmaktadır. Şekilde enerji amaçlı kullanılan biyokütlenin fiziksel kimyasal özellikleri görülmektedir.



Şekil: Enerji amaçlı kullanılabilen biyokütlelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri

- İçinde % 35'den daha fazla su ihtiva eden biyokütle termokimyasal dönüşüm sonucu elektrik üretimi için uygun değildir.
- Biyokütle içersinde yüksek oranda şeker bulunuyorsa bu ürün alkol fermantasyonu ve anerobik fermentasyon için uygundur.
- Nem oranının yanında parça boyutu da uygun dönüşüm sisteminin seçiminde önemli bir parametredir. Direk yakma için %8-15 arası nem oranı uygun olup, ocak ateşinde yakmada 50-100 cm arası parça boyutu idealdir. Bu boyut, pişirme sobasında 15-35 cm'e kadar düşer. Karbonlaştırma işlemi %8-15 arası nem oranları tercih edilir.
- Odunun gazlaştırma sistemde kullanılabilmesi için odun içindeki nemin ayarlanması gerekir. Bu da ancak kurutma işlemi ile gerçekleşir. Enerji yoğunluğunu birim hacim başına artırmak için briketleme işlemi yapılır. Böylece daha kolay taşıma ve stoklama sağlanır. Şekil de basit bir bir biyokütle kurutma sistemi verilmiştir.



Şekil: Biyokütle kurutma sisteminin şematik görünümü.

Biyokütlenin termal parçalanması

Biyokütlenin termal parçalanmasında üç farklı yöntem uygulanmaktadır.

a) Piroliz

Organik maddeler oksijensiz ortamda ısıtılırsa ortaya çıkan termal parçalanma sürecine piroliz adı verilir. Şekilde iki farklı oksijen ortamında odunun termal parçalanması görülmektedir. Oksijensiz ortamda 500-600 ^oC' a kadar yapılan ısıtmada; gaz bileşenleri, uçucu yoğuşabilir maddeler, mangal kömürü ve kül açığa çıkar. Yüksek sıcaklığa çıkıldığında ise gaz bileşenleri ve odun gazı açığa çıkar.

Piroliz süreci şu şekilde gerçekleşmektedir:

- Oksijensiz ortamda karmaşık organik moleküller 400-600 ^oC sıcaklık bölgesinde parçalanarak yanabilir, yanamaz gazlar, 200^oC'a kadar olan sıcaklık bölgesi olup burada su, CO_2, formik asit ve asetik asit açığa çıkar.
- İkinci bölge 200-280 ^oC sıcaklık bölgesi olup; su buharı, formik asit, asetik asit, bir miktar CO ve glioksal açığa çıkar, reaksiyon hala endotermik olup gazların büyük bir kısmı yanamaz niteliktedir.
- Üçüncü bölge 280-500 ^oC arasında olup yoğun bir eksotermik reaksiyon başlar. 280-400^oC arasında yaklaşık 880 kJ/kg ısı açığa çıkar. Yanabilir gazlar her şeyden önce CO ve CH_4 olup formaldehid, formik ve asetik asit, metanol ve sonraki aşamada bir miktar H_2 açığa çıkar. Küçük katran damlacıkları gaz akımıyla nakledilir.
- Dördüncü bölge 500^oC'in üstü olup burada reaksiyonlar yoğun bir şekilde devam eder. Yüksek düzeyde yanabilir maddeler, CO, H_2, metanol ve aseton oluşur. Karbonla su buharının temasından CO ve H_2 elde edilir.

b) Karbonlaştırma

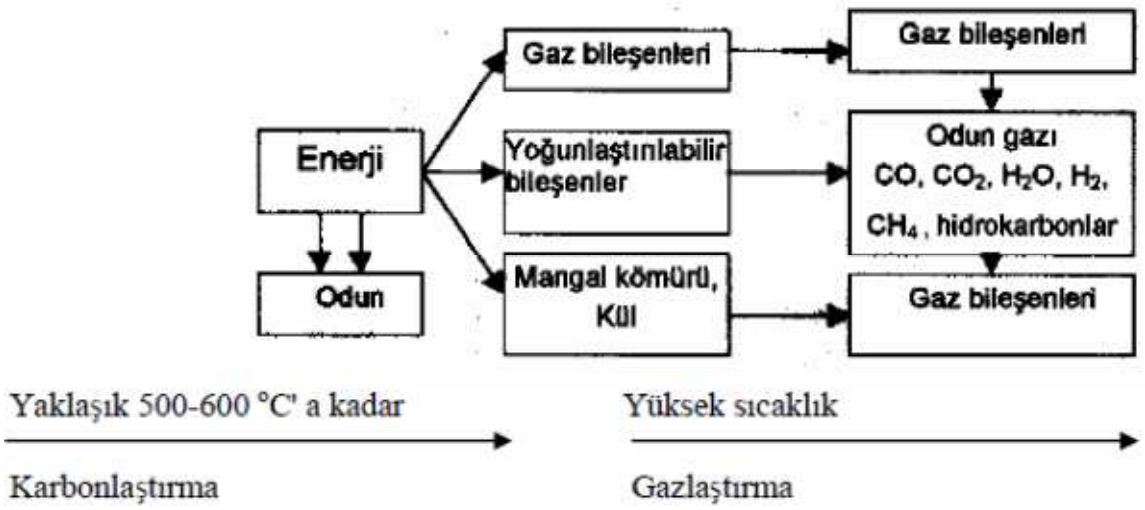
Karbonlaştırmada; odun, turba, maden kömürü gibi organik maddeler havasız ortamda kimyasal parçalanmaya uğrarlar. Bu işlem de farklı sıcaklık bölgelerinde gerçekleşir.

- Yaklaşık 170^{o}C'a kadar suyun buharlaşması tamamlanır.
- 180^{o}C den yüksek sıcaklıklarda odun polimerlerinin parçalanma tepkimeleri açığa çıkmaya başlar.
- 200-350 ^{o}C sıcaklıklar arasında ekzotermik boşalma reaksiyonları meydana gelerek metanol, asetik asit, katran, CO ve su açığa çıkar.
- 350^{o}C' nin üzerindeki sıcaklıklarda ek katran ürünleri oluşur.
- 500^{o}C dan daha yüksek sıcaklıklarda çatlama süreci ve dehidrasyon tepkimeleri oluşur. Odun tipine ve karbonlaştırma işleminin son sıcaklığına bağlı olarak elde edilen odun kömürü kuru odunun yaklaşık %28-38'i arasında değişir.

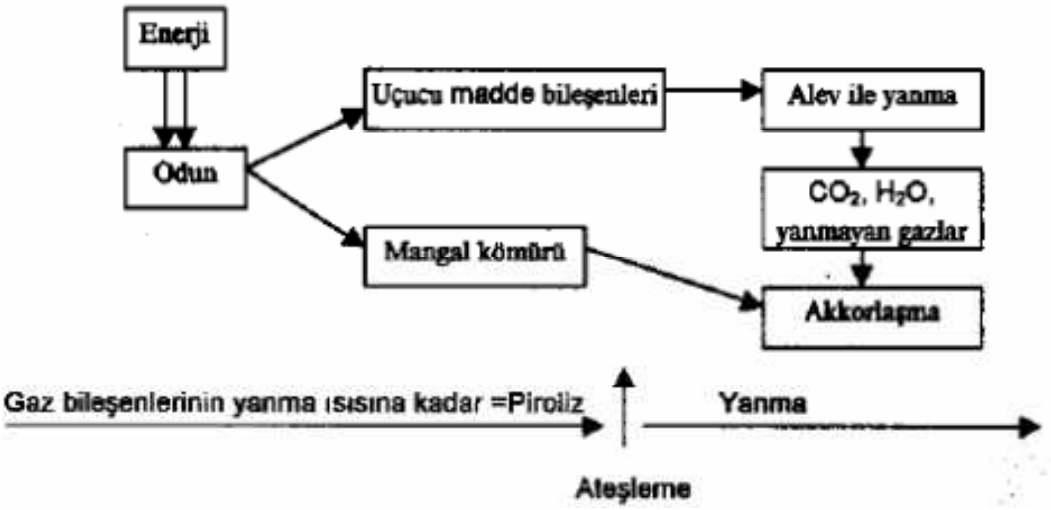
Odun kömürünün kalori değeri ise 30 kJ/kg' dır. Karbonlaşma işlemi sonucu açığa çıkan gaz bileşenleri ise yaklaşık olarak %50CO_2, %35 CO, %10 CH_4 ve %5 diğer hidrokarbon ve H_2 dir. Gaz karışımının yaklaşık kalori değeri 8.9 MJ/m^3 'dır. Odunun karbonlaştırılmasındaki sıvı ürünler ise sulu kısım ve katrandır.

c) Gazlaştırma

Organik maddelerin gazlaştırılmasında yaklaşık 500 ^{o}C sıcaklığa kadar olan süreç piroliz safhası olup burada; karbon, gazlar (kalorifik değeri 20 MJ/m^3 e kadar çıkabilir) ve katran elde edilir. Isıtma 1000 ^{o}C' a kadar çıkıldığında karbon da su buharıyla tepkimeye girerek CO ve H_2 üretilir. Ham maddedeki değişken oksijen oranına bağlı olarak gasifikasyon işlemi için ilave oksijen girdisi gerekmeyebilir. Şekillerde iki farklı oksijen ortamında odunun termal parçalanması görülmektedir. Gasifikasyonda önemli olan biyokütlenin nem oranının % 30'u geçmemesidir. Nem oranı arttıkça gazın kalorifik değeri düşmektedir. Ayrıca hacimsel olarak yanabilir gaz olan CO miktarı düşerken CO_2 miktarı da artmaktadır.



Şekil: Odunun oksijensiz ortamda termal parçalanması



Şekil: Odunun oksijen ortamında termal parçalanması

Tablo: Katı biyokütle yakıtların nitelikleri

Yakıt tipi	% Analiz						
	C	H	O	N	S	Kül	Hu (MJ/kg)
Biyokütle kaynağı							
Buğday samanı	46.70	6.30	41.20	0.40	0.10	5.30	18.40
Arpa samanı	46.30	6.40	43.40	0.30	0.10	3.50	17.10
Çavdar samanı	47.80	6.00	41.20	0.40	0.10	4.50	17.70
Yulaf samanı	46.30	6.02	43.47	0.13	0.11	3.97	17.70
Çeltik samanı	41.78	4.63	36.57	0.70	0.08	16.24	15.30
Mısır samanı	45.60	5.40	43.36	0.30	0.04	5.30	16.80
Mısır koçanı	46.58	5.87	45.46	0.47	0.01	1.61	17.60
Mısır sapı	43.65	5.56	43.31	0.61	0.01	6.86	16.50
Pamuk sapı	47.05	5.35	40.77	0.65	0.21	5.97	17.20
Miscanthus giganteus	47.20	6.50	42.90	0.30	0.13	2.70	17.80
Kolza samanı	48.30	6.30	37.50	0.80	0.20	6.50	17.00
Kolza pres artığı	47.80	5.90	32.20	6.20	0.67	0.03	18.80
Şeker pancarı (kıyıntı)	43.90	6.70	44.20	1.40	0.43	3.40	16.10
Söğüt	49.80	6.50	42.00	0.30	0.03	1.40	18.40
Ceviz kabuğu	49.98	5.71	43.35	0.21	0.01	0.56	18.99
Badem ağacı artığı	51.30	5.29	40.90	0.66	0.01	1.63	18.91
Alfalfa (yonca) samanı	46.76	5.40	40.72	1.00	0.02	7.25	17.33
Aspir samanı	41.71	5.54	46.58	0.62		4.65	18.08
Sudan otu	44.58	5.35	39.18	1.21	0.08	8.65	16.28
Zeytin çekirdeği	48.81	6.23	43.48	0.36	0.02	3.16	10.10
Yer fıstığı kabuğu	45.77	5.46	39.56	1.63	0.12	5.89	17.51
Kavak	49.80	6.50	41.60	0.30	0.03	1.80	18.40
Triticale	46.60	6.90	41.20	1.30	0.10	3.60	17.00
Arundo donax	49.80	6.00	39.80	0.60	0.20	3.50	17.80
Bakım artığı ot	45.00	6.20	44.30	1.00	0.08	5.80	16.90
Ağaç Kabukları	52.00	5.00	39.40	0.40	0.05	3.20	19.50
Üzüm artıkları (sap)	48.20	5.89	41.93	0.86	0.07	2.51	17.91
Okaliptüs grandis	48.33	5.89	45.00	0.15	0.01	0.52	18.13
Sorghum (tüm bitki)	44.00	5.60	38.00	2.00	0.05	6.30	16.83
Sorghum (sap)	40.00	5.20	40.70	1.40	0.20		14.32
Kamış (genel)	45-50	5.5-6.5	--------	1.00	0.2-0.3	3.0-5.0	16.30 (Ho)
Switchgrass	47.51	5.80	43.60	0.36	0.04	2.69	19.90 (Ho)
Cynara cardunculus	46.70	4.80	47.70	0.70	0.10	8.40	18.20 (Ho)
Türkiye Linyitleri							
Elbistan	47.36	3.57	13.28	1.78	5.82	28.19	11.30
Kangal	41.61	2.78	9.77	1.71	5.63	38.50	11.50
Seyitömer	54.07	3.53	14.34	1.74	1.45	24.87	15.20
Soma	28.51	2.50	12.03	0.65	0.80	55.51	5.50
Tunçbilek	63.74	4.58	9.25	2.47	1.37	18.59	14.50
Yatağan	48.79	3.12	18.41	1.22	5.11	23.35	13.70

Odun Enerjisi

- Fosil yakıt fiyatlarındaki dalgalanmalar,
- Güvenliolmayanbölgelerdenyapılanfosilyakıtithalatınabağımlılığınartması,
- İklimdeğişikliğiveçevresorunlarıgibi,toplumunvepolitikacılarınçeşitliönlemlerleçıkışyolua radığısorunlarnedeniylefarklıenerjikaynaklarınadoğrubiryönelişbaşlamıştır.
- Yenilenebilirvefosilyakıtlaragörenispetendahatemizbiryakıtolanodunsubiyokütleninenerji kaynağıolarakkullanılmasıgünümüzdeyenidennemkazanmıştır.

Yanma Özellikleri

Odun kısa zamanda yanma ve çabuk ısı verme özellikleriyle üstünlük taşımaktadır.
1 kg taş kömürü veya linyit için 15-17 m^3 havaya, 1 kg kuru odun için ise 7- 9 m^3 havaya ihtiyaç vardır. Yanma sonunda, odunun bıraktığı kül miktarı daha az olup ağırlığının % 1'i kadardır. Bu değer linyit için %15, kok ve antrasit için %5 tir.

Odunun ısıl değerini etkileyen başlıca etmenler,

- ağaç türü,
- özgül ağırlık,
- rutubet, kül ve Ekstraktif madde miktarlarıdır.

Rutubet miktarının artmasıyla kalori değeri azalmaktadır.

Ekstraktif madde miktarının artmasıyla da kalori değeri artmaktadır.

Odunda ve kabukta kül miktarı arttıkça kalori değeri azalmaktadır.

- İğne yapraklı ağaçların gövde odun kalori değerleri ortalaması yaklaşık 5.000 kCal/kg. Yapraklı ağaçların ise 4.660 kCal/kg. dır.
- İğne yapraklı ağaçların gövde-odun kalori değeri yapraklılardan yaklaşık %7 daha fazladır. Bunun nedeni iğne yapraklı ağaç odunlarındaki ekstraktif madde miktarının yüksek olmasıdır.
- Türkiye'de yetişen orman ağaç türleri arasında en yüksek kalori değeri 5.274 kCal/kg. ile sarı çama aittir. Geniş yapraklı ağaçlarda ise en yüksek değer 4.894 kCal/kg ile okaliptüsün, en düşük değer ise 4.500 kCal/kg. ile çınarındır.

İğne yapraklı ağaçlarda dal odununun ortalama kalori değeri 5.018 kCal/kg., geniş yapraklılarda ise 4.620 kCal/kg. olup iğne yapraklı ağaçların dal odunlarının kalori değeri geniş yapraklı ağaçlardan % 8 daha fazladır.

Biyokütle Kaynakları

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 deponi gazlardan üretilmektedir.

Özellikle Orta ve Kuzey Avrupa ülkeleri biyoenerji kullanımında lider durumdadır. Toplam enerji gereksiniminin;

Finlandiya % 22'sini,
İsveç % 18'ini,
Avusturya % 14'ünü biokütle santrallerinde odun ve bitki atıklarını yakarak /gazlaştırarak karşılayan ilk üç ülkedir.

TÜRLER	**Nemsiz tabana göre üst kalori değerleri (kCal/kg)**			
İğne Yapraklılar	**Gövde-Odun**	**Dal-Odun**	**Gövde Kabuk**	**Dal-Kabuk**
Sarıçam	5274	5181	5310	4989
Karaçam	5266	5266	5252	5227
Kızılçam	5096	5067	5087	4531
Servi	5010	4933	4410	4250
Sedir	4933	4898	4561	4456
Ardıç	4828	-	4500	-
Göknar	4803	4981	4772	4969
Ladin	4758	4796	4913	4602
ORTALAMA	**4996**	**5018**	**4851**	**4718**
Yapraklılar	**Gövde-Odun**	**Dal-Odun**	**Gövde Kabuk**	**Dal-Kabuk**
Okaliptus	4894	4767	3380	3472
Kayacık	4828	4658	4132	4312
Ormangülü	4759	4690	4937	4976
Akçaağaç	4746	4517	4327	4270
Kayın	4738	4783	4476	4637
Kavak	4689	4758	5233	4804
Fındık	4688	4419	4721	4506
Dişbudak	4636	4624	4219	4264
Meşe	4620	4692	3768	4287
Karaağaç	4617	4503	3318	3879
Kızılağaç	4602	4626	5122	4951
Gürgen	4578	4605	4424	4446
Ihlamur	4551	4811	4538	4576
Kestane	4533	4512	4445	4523
Çınar	4506	4470	3737	4116
ORTALAMA	**4664**	**4620**	**4252**	**4372**

TÜRLER	Nemsiz tabana göre alt kalori değerleri (kCal/kg)			
İğne Yapraklılar	**Gövde-Odun**	**Dal-Odun**	**Gövde Kabuk**	**Dal-Kabuk**
Sarıçam	4959	4866	4995	4674
Karaçam	4950	4951	4937	4911
Kızılçam	4781	4752	4771	4216
Servi	4695	4618	4095	3935
Sedir	4617	4583	4246	4141
Ardıç	4513	-	4185	-
Göknar	4488	4666	4456	4654
Ladin	4443	4481	4598	4287
ORTALAMA	**4681**	**4702**	**4535**	**4403**
Yapraklılar	**Gövde-Odun**	**Dal-Odun**	**Gövde Kabuk**	**Dal-Kabuk**
Okaliptus	4579	4451	3030	
Kayacık	4513	4343	3817	3997
Ormangülü	4444	4375	4622	4661
Akçaağaç	4430	4202	4012	3955
Kavak	4374	4443	4918	4489
Fındık	4373	4104	4405	4191
Dişbudak	4321	4309	3904	3949
Meşe	4304	4377	3453	3972
Karaağaç	4302	4188	3002	3564
Kızılağaç	4287	4311	4807	4636
Gürgen	4262	4290	4108	4131
Ihlamur	4236	4496	4222	4261
Kestane	4218	4196	4130	4208
Çınar	4194	4155	3412	3801
ORTALAMA	**4349**	**4305**	**3935**	**4058**

BÖLÜM 7: BİYOGAZ ENERJİSİ

Biyogaz terimi temel olarak organik atıklardan kullanılabilir gaz üretilmesini ifade eder. Diğer bir ifade ile Oksijensiz ortamda mikrobiyolojik floranın etkisi altında organik maddenin karbondioksit ve metan gazına dönüştürülmesidir.

Biyogaz elde edinimi temel olarak organik maddelerin ayrıştırılmasına dayandığı için temel madde olarak bitkisel atıklar ya da hayvansal gübreler kullanılabilmektedir. Kullanılan hayvansal gübrelerin biyogaza dönüşüm sırasında fermante olarak daha yarayışlı hale geçmesi sebebiyle dünyada temel materyal olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda tavuk gübrelerinden de oldukça verimli biyogaz üretimi sağlanabilmektedir. Tavuk gübresinin kullanımı tarım için önemlidir. çünkü bu gübre topraklarda verim amaçlı kullanılamaz. Topraklarda tuzlulağa sebep olurlar. Kullanılamayan bu gübre biyogaza dönüştürüldüğünde yarayışlı bir hal almış olur. Günümüzde biyogaz üretimi çok çeşitli çaplarda; tek bir evin ısıtma ve mutfak giderlerini karşılamaktan, jeneratörlerle elektrik üretimine kadar yapılmaktadır.

Biyogaz'ın Isıl Değeri

1 m^3 Biyogazın Sağladığı Isı Miktarı: 4700-5700 Kcal/m^3

- 0,62 litre gazyağı
- 1,46 kg odun kömürü
- 3,47 kg odun
- 0,43 kg bütan gazı
- 12,3 kg tezek
- 4,70 kWh elektrik enerjisi eşdeğerindedir.
- 0,66 litre motorin
- 0,75 litre benzin
- 0,25 m^3 propan

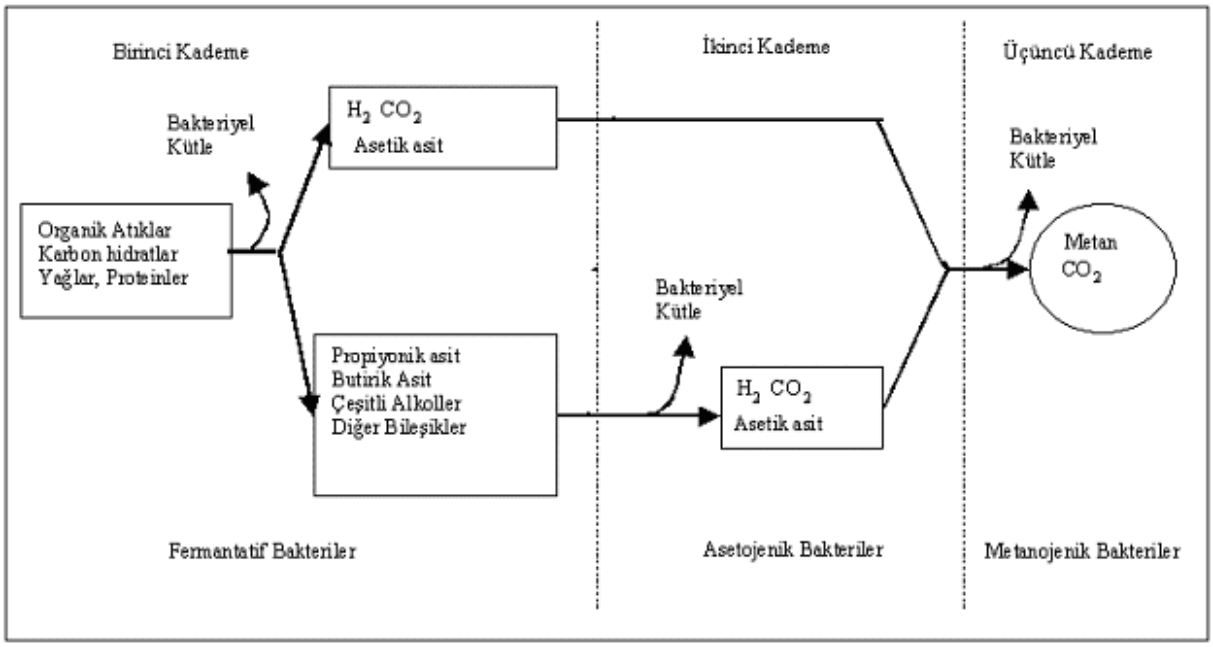
Biyogazın oluşumu

Biyogaz üç evrede oluşur. Bunlar;
1.Hidroliz
2.Asit oluşturma
3.Metan oluşumu dur.

Birinci aşama atığın mikroorganizmaların salgıladıkları enzimler ile çözünür hale dönüştürülmesidir. Bu aşamada polisakkaritler monosakkaritlere, proteinler peptidlere ve aminoasitlere dönüşür.

Bundan sonraki aşamada asit oluşturucu bakteriler devreye girerek bu maddeleri asetik asit gibi küçük yapılı maddelere dönüştürürler. Asit oluşumu üretim esnasında pH'nın düşmesine neden olabilir bu durum metan oluşumunu sağlayacak bakteriler üzerinde olumsuz etki yaratabilir.

Son aşamada ise bu maddeleri metan oluşturucu bakteriler biyogaza dönüştürürler. Görüldüğü gibi biyogaz oluşumu mikrobiyolojik etmenler ile gerçekleşmekte ve doğal olarak bu mikrobiyolojik organizmaların etkileneceği her türlü koşul biyogaz üretimini de etkilemektedir.

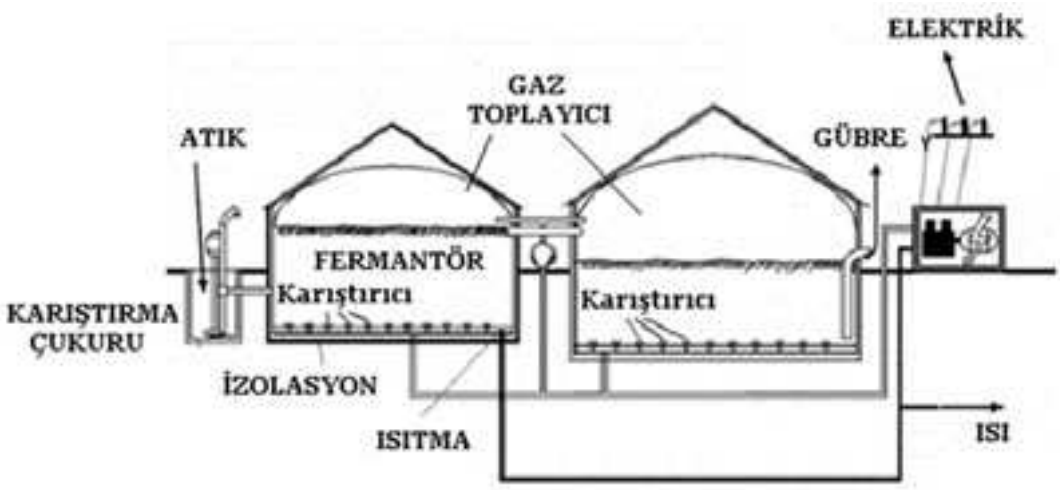


Şekil: Organik maddelerin anaerobik şarlarda sindirilmesi.

Hidroliz aşaması: İlk aşamada mikroorganizmaların salgıladıkları selular enzimler ile çözünür halde bulunmayan maddeler çamur içerisinde çözünür hale dönüşürler. Uzun zincirli kompleks karbonhidratları, proteinleri yağları ve lipidleri kısa zincirli yapılara dönüştürürler. Bu basit organiklere dönüşüm sonucunda birinci aşama olan hidroliz tamamlanmış olur.

Asit oluşturma aşaması: Çözünür hale dönüşmüş organik maddeleri asetik asit, uçucu yağ asitleri, hidrojen ve karbondioksit gibi küçük yapılı maddelere dönüşür. Bu aşama anaerobik bakteriler ile gerçekleştirilir. Bu bakteriler metan oluşturucu bakterilere uygun ortam oluştururlar.

Metan oluşumu: Bakterilerin asetik asiti parçalayarak veya hidrojen ile karbondioksit sentezi sonucunda biyogaza dönüştürülmesi işlemdir. Metan üretimi diğer süreçlere göre daha yavaş bir süreçtir. Metan oluşumundaki etkili bakteriler çevre koşullarından oldukça fazla etkilenirler.



Şekil: Biyogaz üretim prosesi

Biyogaz üretiminde kullanılan materyaller

Biyogaz üretimi için kullanılan materyaller, hayvansal gübreler, organik atıklar ve endüstriyel atıklar olarak üç başlık altında incelenebilir. Bu bağlamda kullanılan materyaller,

1.Hayvansal atıklar

Hayvancılık ile elde edilen atıklar,
Hayvan gübreleri,

2.Bitkisel atıklar

Bahçe atıkları,
Yemek atıkları,

3.Endüstriyel atıklar

Zirai atıklar,
Orman endüstrisinden elde edilen atıklar,
Deri ve tekstil endüstrisinden ele edilen atıklar,
Kağıt endüstrisinden elde edilen atıklar,
Gıda endüstrisi atıkları,
Sebze, tahıl, meyve ve yağ endüstrisinden elde edilen atıklar,
Şeker endüstrisi atıkları,
Evsel katı atıklar,
Atık su arıtma tesisi atıkları.

Biyogaz üretimi tarımsal atıklardan yararlanılarak yapılabileceği gibi endüstriyel atıklardan yararlanılarakta yapılabilmektedir. Kentsel atıkların ayrı ayrı toplanılması ve kanalizasyon atıklarının arıtma tesislerinde toplanılmasıyla önemli ölçüde biyogaz üretim imkânı vardır. Bu çerçevede Türkiye'de İzmir Büyükşehir Belediyesi'nin Büyük Kanal Projesi çerçevesinde yaptığı bazı çalışmalar bulunmaktadır.

Biyogaz üretimini etkileyen faktörler

Genel olarak biyogaz oluşumuna etki eden mikrobiyolojik bakterilerin etkileneceği her faktör biyogaz üretimini de etkiler. Bir bakterinin yaşamsal faaliyetlerini devam ettirebilmesi için belirli sıcaklık ve pH değerlerine ihtiyacı vardır. Aynı zamanda toksisite de bakterilerin faaliyetlerini direk olarak etkiler. C/N oranı (Karbon / Azot) bir bakterinin ayrıştırma hızına etkisi bulunduğu için önemlidir. C/N oranın dar olması bakterilerin o atığı daha hızlı ayrıştırması anlamına gelir. Son olarakta biyogaz üretiminin yapıldığı reaktörde organik yükleme hızı ve hidrolik bekleme süreside biyogaz üretimine direk olarak etkiler.

Sıcaklığın biyogaz üretimine etkileri:
Metanojenik bakteriler çok yüksek ve çok düşük sıcaklık değerlerinde aktif olmamaktadır. Bu yüzden biyogaz üretiminin gerçekleşeceği reaktör sıcaklığı biyogazın üretimine veya hızına direk olarak etki etmektedir. Bu bakteriler sıcaklık değişimlerine karşıda oldukça hassastırlar. Reaktörün içerisindeki sıcaklık bekleme süresini ve reaktör hacmini de belirler. Sıcaklığın düzeyine göre sınıflandırılması üç şekilde yapılabilir.

1.Psikofilik sıcaklık aralığı = 12-20 Derece
2.Mesofilik sıcaklık aralığı = 20-40 Derece
3.Termofilik sıcaklık aralığı = 40-65 Derece

pH'nın biyogaz üretimine etkileri:
Metan oluşturucu bakteriler için en uygun pH değerleri nötr veya hafif alkali değerlerdir. Anaerobik şartlarda fermantasyon işlemi devam ederken 7-7.5 arasında değişir. pH değerinin 6.7 düzeylerine düşmesi durumunda bakteriler üzerinde toksit etki yapar. Asit oluşturucu bakterilerin ise sayısı artarak pHnın düşmesine ve metan oluşumunun durmasına sebep olabilirler. Bu gibi durumlarda reaktöre organik madde yüklenmesi kesilerek asit oranının düşmesi sağlanır. pH'nın kararlı bir hale gelebilmesi için kimyasal da kullanılabilmektedir. Bu kimyasallardan bir tanesi sönmüş kireç olarak bilinen kalsiyum hidroksittir.

Toksisite'nin biyogaz üretimine etkileri:
Mineral iyonları, ağır metaller ile deterjan gibi maddeler bakterilerin gelişimi üzerinde olumsuz etkiler oluştururlar. Bu maddelerin biyoreaktörlere sızması ile üretimin yavaşlaması veya durması söz konusu olabilmektedir. Tavuk yetiştiriciliğinde yemlere antibiyotik katılması, gaz üretiminde tavuk gübrelerinin kullanıldığı sistemlerde toksisite etkisi yapmaktadır. Bu şekildeki yemlerle beslenen tavukların gübrelerinde de antibiyotikler bulunmakta ve bu antibiyotikler metan oluşturucu bakteriler üzerinde olumsuz etki yapmaktadır.

C/N oranı'nin biyogaz üretimine etkileri:
Anaerobik bakteriler karbonu enerji elde edebilmek için kullanmaktadırlar. Azot ise bakterilerin büyümesi ve çoğalması için gerekli olan diğer maddedir. C/N oranı biyogaz elde edilecek olan atık için uygun değerlerde olmalıdır. Oran 23/1 düzeyinden fazla ve 10/1 oranından az olmamalıdır. Azot oranının fazla olması amonyak oluşumu sebebiyle biyogaz üretimini olumsuz etkilemektedir.

Organik yükleme hızı'nın biyogaz üretimine etkileri:
Organik yükleme hızı, birim hacim(m^3) bioreaktörlere günlük olarak beslenen organik madde miktarıdır. Organik yükleme hızının mümkün oldukça optimumda tutulması gereklidir Aksi halde pH seviyesi düşerek gaz oluşumunu tamamen durabilmektedir.

Tablo: Mesofilik şartlarda çalışan reaktörler için optimum organik yükleme hızı.

Atık materyali	Yükleme miktarı/gün
Sığır gübresi	2.5-3.5 kg UM/m^3 gün
İlave besin maddeli sığır gübresi	5-7 kg UM/m^3 gün
Domuz gübresi	3-3.5 kg UM/m^3 gün

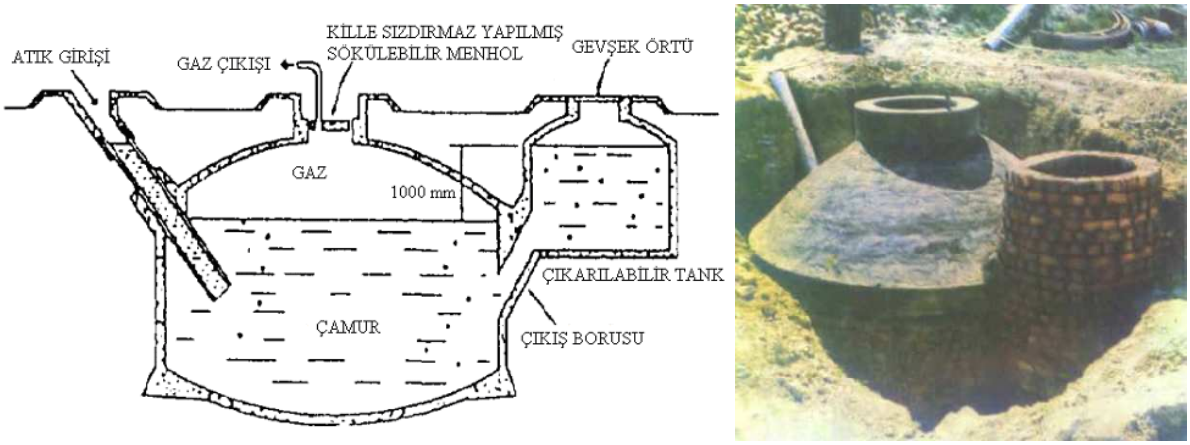
Biyogaz Üretiminde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

- Fermantörde (üretim tankı-sindireç) kesinlikle oksijen bulunmamalı,
- Antibiyotik almış hayvansal atıklar üretim tankına alınmamalı,
- Deterjanlı organik atıklar üretim tankına alınmamalıdır,
- Ortamda yeni bakteri oluşturulması ve büyümesi için yeterli miktarda azot bulunmalı,
- Üretim tankında asitlik 7,0 - 7,6 arasında olmalı,
- Metan bakterileri için substratta (S) sirke asidi cinsinden organik asit konsantrasyonu 500 - 1500 mg/litre civarında olmalı,
- Fermantör sıcaklığı 35 ºC veya 56 ºC de sabit tutulmalı,
- Üretim tankına ışık girmemeli ve ortam karanlık olmalı,
- Üretim tankında minimum %50, optimum %90 oranında su olmalı,
- Ortamda metan bakterilerinin beslenmesine yetecek kadar organik madde arçalanmış-öğütülmüş olarak bulunmalıdır.

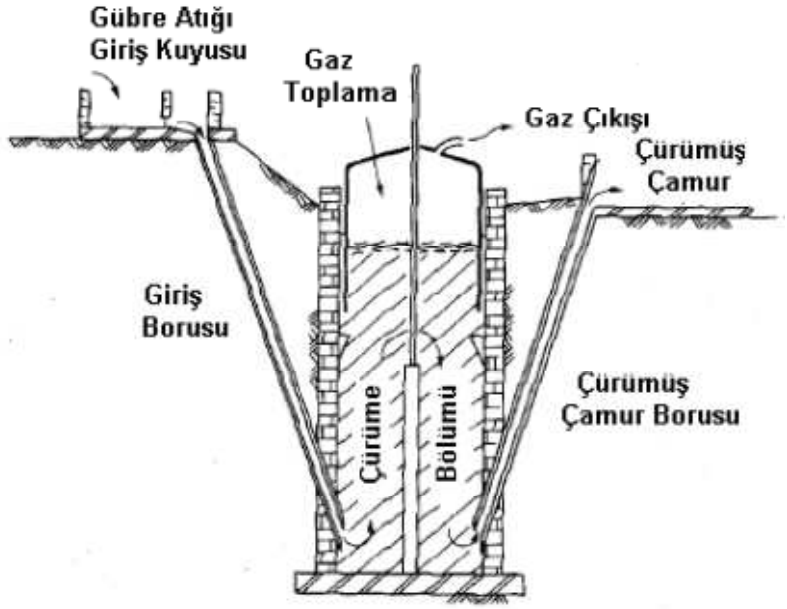
Biyoreaktörler

Biyogazın üretimi için tasarlanmış yapıların genel ismidir. Küçük hacimli ve büyük hacimli olarak ikiye ayrılabilir. Küçük hacimli reaktörler hacim olarak 3 ton a kadar olabilmektedir. Ancak yapılan araştırmalarda 10 tonun altında istenilen verimlilikte olmamaktadır. Biyoreaktörün tasarımında üretimin kesik kesik mi yoksa sürekli mi olacağı da belirleyici bir unsurdur. Dünyada biyoreaktörü ve biyogazı en çok kullanan ülke Çin dir. Bu ülkenin kendine has küçük kapasiteli reaktörleride vardır. Son dönemlerde ucuz maliyeti nedeniyle torba tipi ya da balon tipi reaktör modelleride yaygınlaşmaktadır. Ancak bu model reaktörlerin verimli hizmet süreleri takriben 2 - 3 yıl kadardır. Biyogaz üretiminde ise kullanılan en yaygın üç reaktör aşağıdaki gibidir,

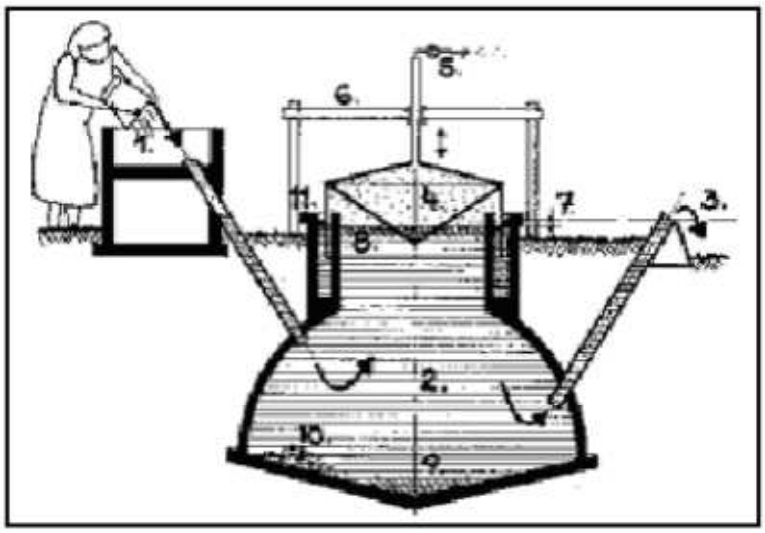
1.Sabit kubbeli (Çin tipi) reaktörler,
2.Hareketli kubbeli (Hint tipi) reaktörler
3.Torba tipi (Tayvan tipi) reaktörler



Şekil: Sabit Çatılı Çin Tipi Reaktörleri

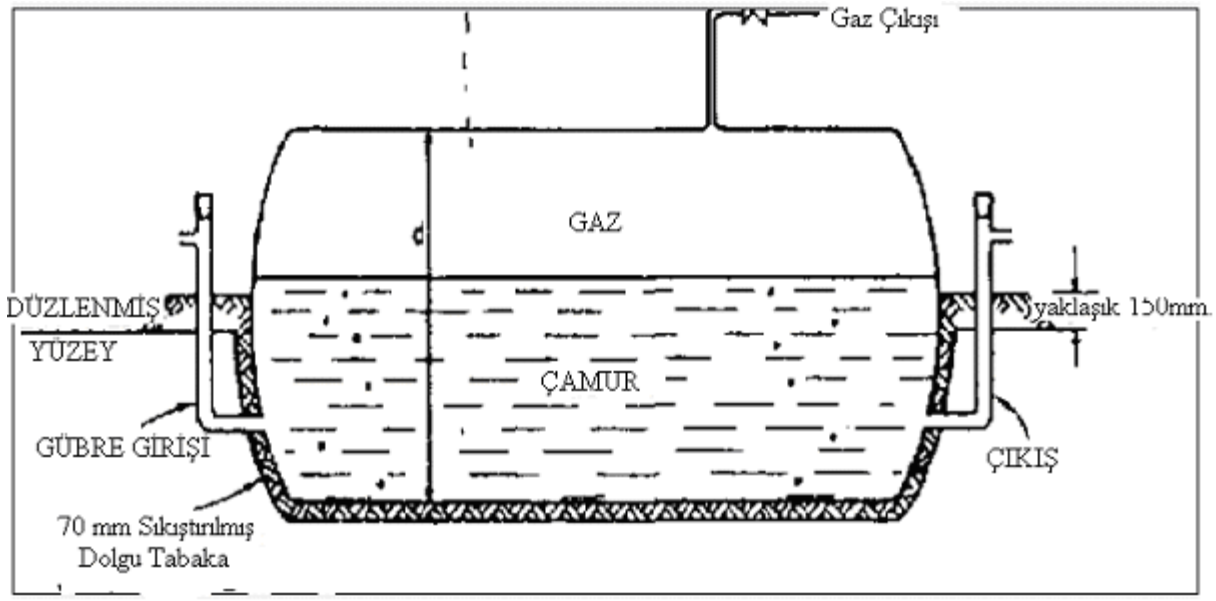


Şekil: Yüzer Çatılı Hindistan Tipi Bio Reaktörler



1.Çamur karıştırma ve çamur girişi,
2.Reaktör,
3. Çürümüş çamur çıkışı,
4. Gaz depolama bölümü,
5. Vanalı gaz çıkış borusu,
6. Gaz hücresi destek yapısı,
7. Gaz basıncındaki fark,
8. Yüzebilir atıklar,
9. Çamur birikintisi,
10. Taş, kum birikintisi,
11. Yağ filmli su ceketi)

Şekil: Hareketli Kubbe Tipi Reaktör





Şekil: Torba Tipi (Tayvan-Çin) Reaktörler

Büyük Kapasiteli Reaktörler

Büyük kapasiteli organik atıkların arıtılmasında genel olarak dört tür reaktör kullanılmaktadır. Bunlar;

1. Tam karışımlı reaktörler

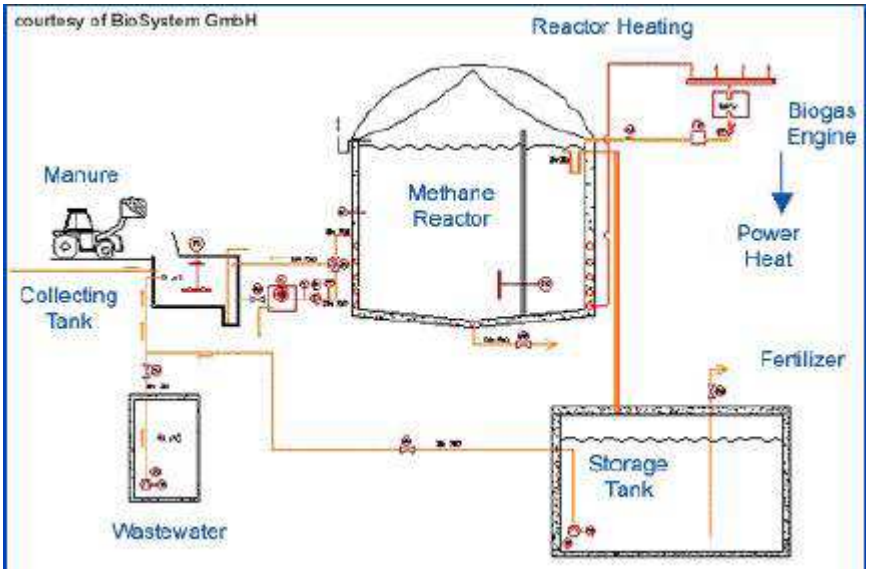




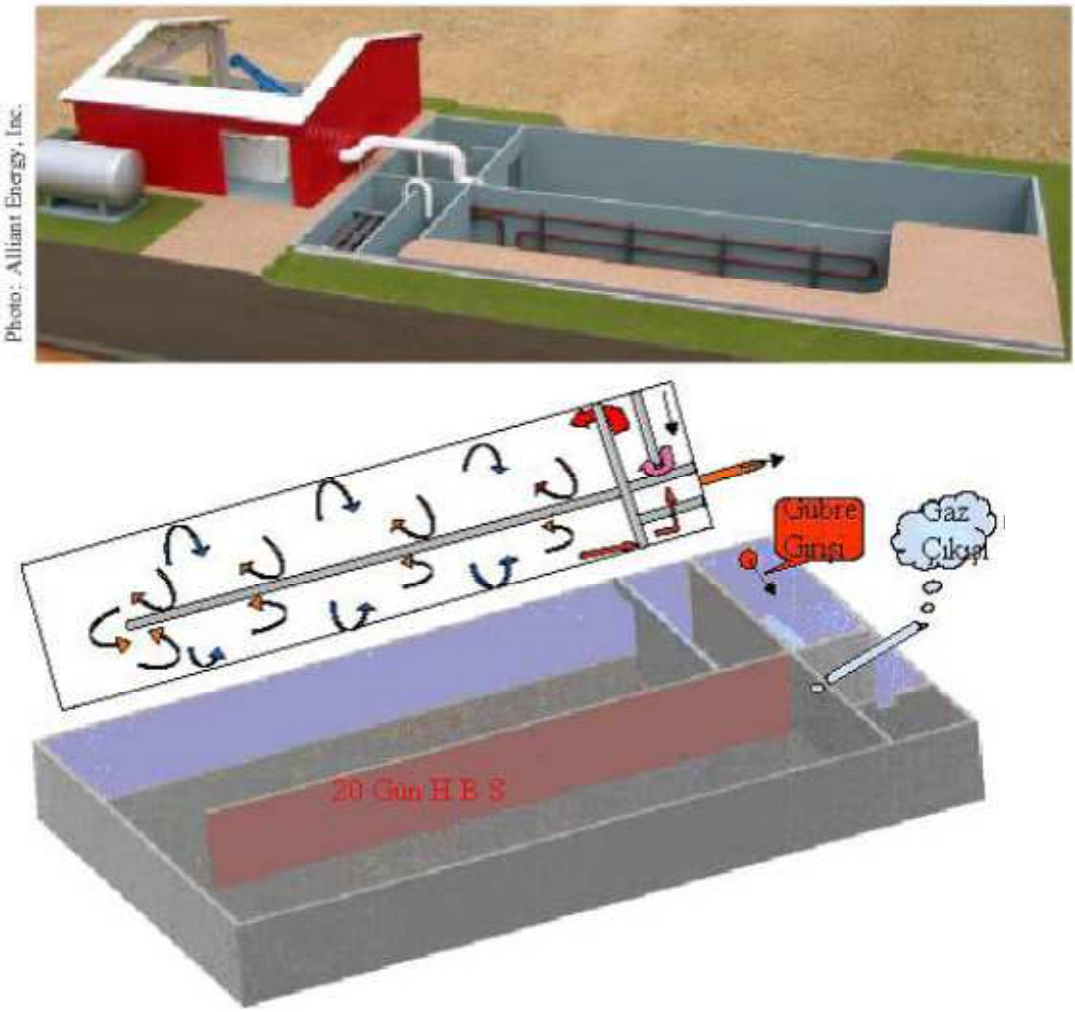
Tam karışımlı 2 831 684 L biogaz ve 135 kW enerji üretim kapasiteli reaktörün görüntüsü



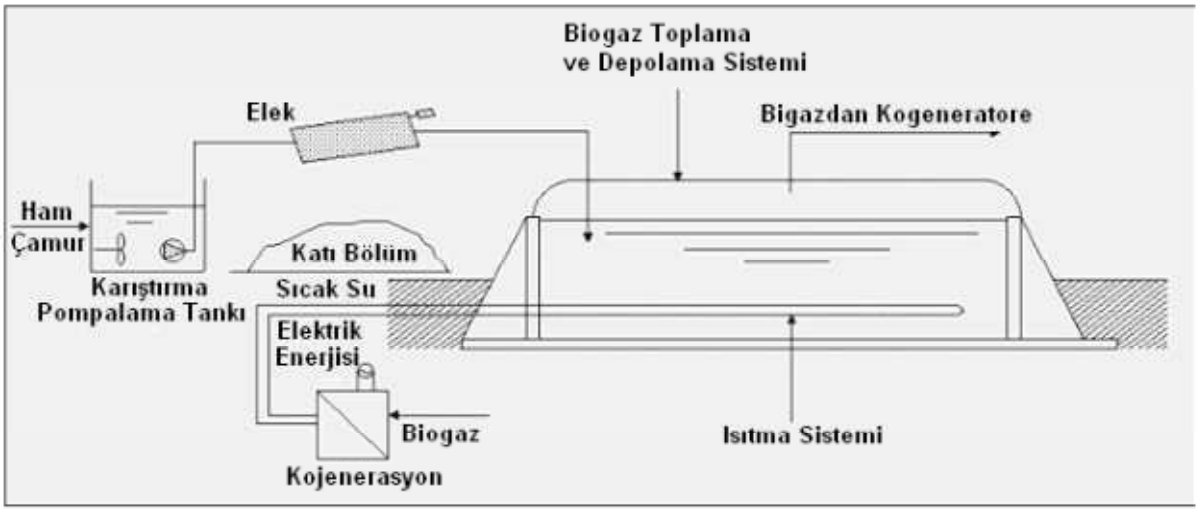
Tam karışımlı reaktör, Çin



2. Piston akımlı reaktörler

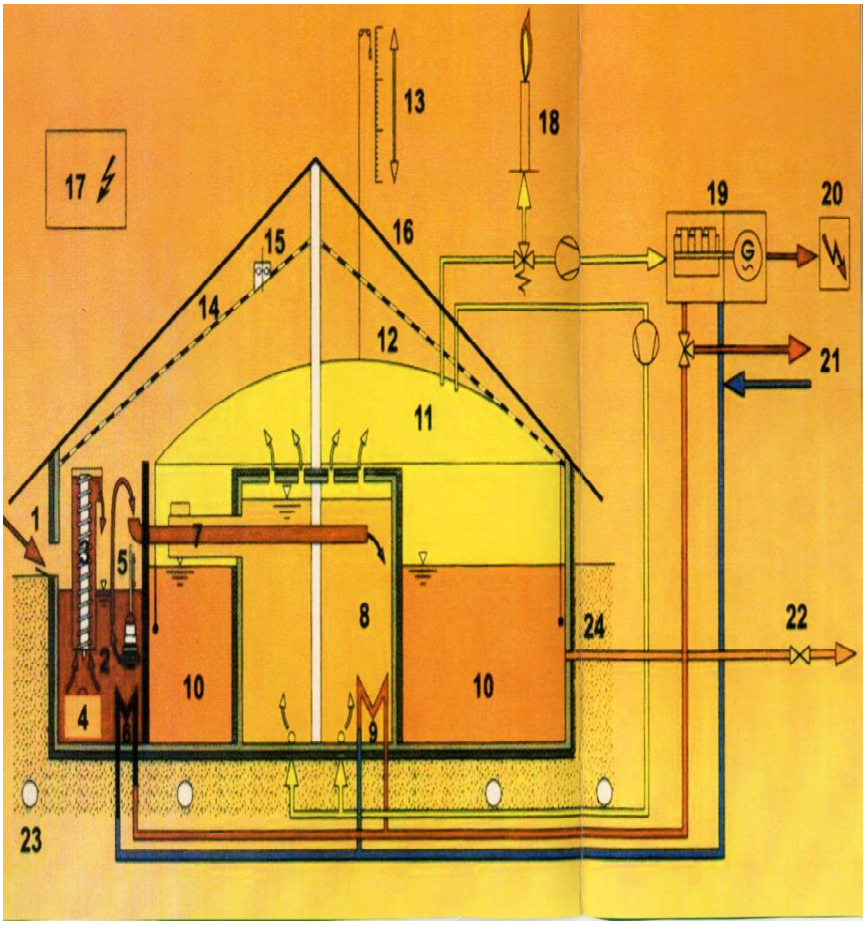


3. Lagun tipi reaktörlerdir.



Şekil: Isıtmalı ve Çatısı Örtülü Lagundan

4. CENTRİGAS Sistemi



1.Ayarlanabilen madde girişi
2.Prosesi ile ön asitlendirme
3.Ön asitlendirmenin sirkülasyonu
4.Taş ve kum tutucu
5.Doldurma pompası
6.Ön asitlendirme ısıtıcısı
7.Isı eşanjörlü fermantasyon tankı besleyicisi
8.Fermantasyon tankı
9.Fermantasyon tankı ısıtıcısı
10.İkincil fermantasyon tankı ve gaz depolama
11.Gaz tankı
12.Gaz brandası
13.Gaz brandasının doluluk seviyesi ölçümü
14.iç izolasyon
15.Vantilatör
16.Fırtına ve UV ışınlarına dayanıklı çatı
17.Merkezi kontrol ünitesi
18.Basınçsız meşale
19.Entegre ısı ve güç istasyonu (jeneratör)
20.Elektrik çıkışı
21.Isı enerjisi dağılımı
22.Gübre çıkışı
23.Drenaj
24.Dış izolasyon

Türkiye'de biyogaz

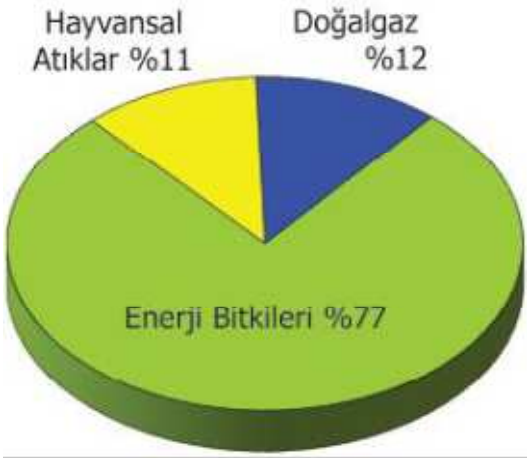
Türkiye Tahmini: Türkiye gerek yüzölçümü gerekse tarım ülkesi olması dolayısıyla büyük bir potansiyele sahiptir. Türkiye'nin 2005'teki doğalgaz tüketimi takriben=274 TWh,

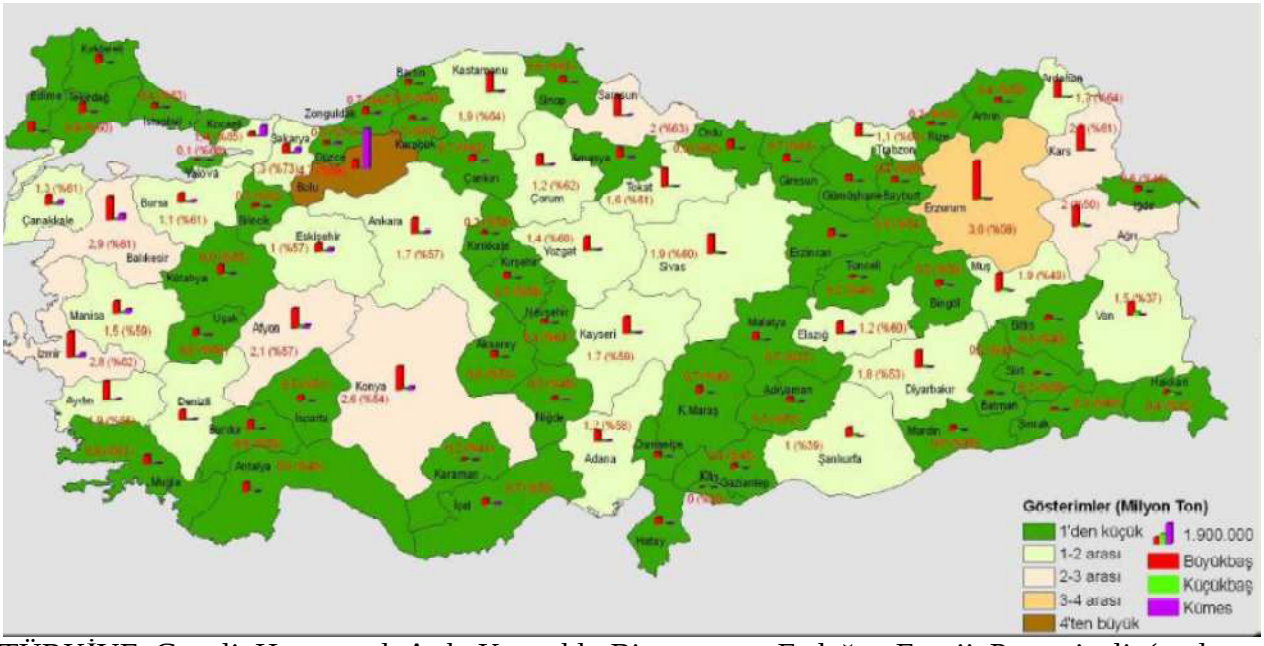
Türkiye'nin alan potansiyeli:
Yüzölçümü: 77.945.200 hektar **Ekim alanı**: 26.423.422 hektar

Ekim alanlarının yüzde 20'sinde enerji bitkisi ekilirse:5.284.684 hektar x 40.000 kWh/hektar= 211,4 TWh enerji elde edilebilmekte.

Hayvan atıklarının biyogaz potansiyeli:12.728.462 GV x 0,3 kW/GV x 8000 saat max. üretim = 30,5 TWh

Toplam Biyogaz'dan Enerji kazanımı = **241,9 TWh**
Bu hesaplama gösteriyor ki, Türkiye 2005 doğalgaz ithalatının takriben **% 88**'ini ulusal kaynaklardan karşılayabilme gücüne sahip.

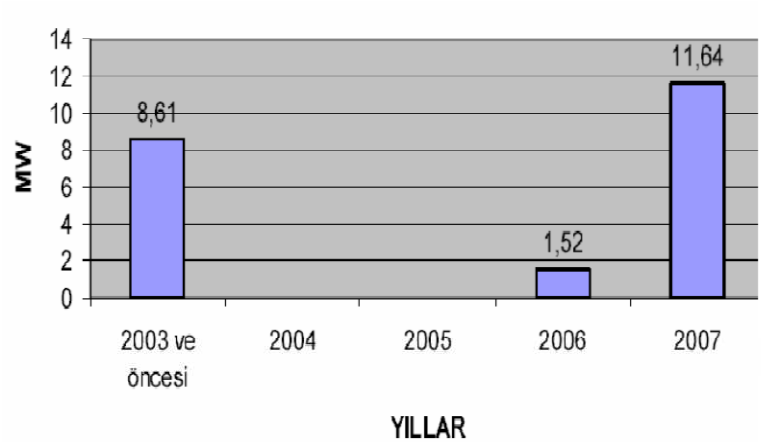




TÜRKİYE Geneli Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz ve Eşdeğer Enerji Potansiyeli (toplam kullanılabilir atık)



TÜRKİYE Geneli Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz ve Eşdeğer Enerji Potansiyeli (toplam ton eşdeğeri petrol)



Şekil: Türkiye'de yıllara göre işletmeye giren biyogaz enerjisine dayalı üretim tesisleri

10 m^3 Kayseri (Biyogaz)
15 m^3 Kayseri (Biyogaz) 5 Adet
22 m^3 Kayseri (Biyogaz) 2 Adet
15 m^3 Konya (Biyogaz)
22 m^3 Gediz Gölcük Köyü (Biyogaz)
280 m^3 Elazığ (Biyogaz) Tavuk Çiftliği ve Sera Isıtması

Dünya'da biyogaz

Dünyada biyogaz üretim ve kullanımı giderek gelişmektedir. Hayvan gübresinden elde edilen biyogazın tesis oranları dikkate alınırsa dünyadaki tesislerin %80'i Çin'de %10'u Hindistan'da, Nepal ve Tayland'ta bulunmaktadır.

Avrupa'nın hayvan gübresi ile elde ettiği biyogaza ve tesis sayısına bakılacak olursa bu noktada Almanya 2,200 tesis ile en fazla üretim yapan ülke konumundadır. Bu ülkeyi 70 tesis ile İtalya takip etmektedir. Almanya'da biyogaz tesislerinin yapımı 1993 yılından itibaren artmış ve yine aynı yıldan günümüze kadar 139 tesisten 2,200 tesise kadar artmıştır.

Biyogazın kullanım alanları

Biyogaz doğalgazın kullanım alanlarıyla parelel olarak kullanılabilen bir enerji kaynağıdır. Biyogaz kullanım alanları aşağıdaki gibi sıralanabilir,

1.Doğrudan yakarak ısınma ve ısıtma,
2.Motor yakıtı olarak kullanımı suretiyle ulaşım,
3.Türbin yakıtı olarak kullanımı ile elektrik üretimi,
4.Yakıt pillerinde kullanımı,
5.Mevcut doğalgaza katılarak maliyetlerin düşürülmesi,
6.Kimyasal maddelerin üretimi sırasında biyogaz kullanımı.

Tüm bu kullanım alanlarının yanı sıra biyogaz çevreye karşı duyarlı bir enerji kaynağıdır. Bu yüzden gelişen koşullarda çevre kirliliğinin önlenmesinde yeşil yakıt olarak bilinen organik madde kökenli biyogaz kullanımı daha önemlidir. Biyogaz üretimi için kullanılan ham maddeler tarımsal arazilerde üretildiği için, tarımsal işletmelerde gerek seraların ve iskan yapılarının ısıtılmasında gerekse traktörlerin yakıtı olarak kullanılmasında önemli bir fayda sağlayabilmektedir. Bu şekilde kullanılan biyogaz işletme maliyetlerini önemli ölçüde azaltmaktadır.

Tablo: Çeşitli Kaynaklardan Elde Edilebilecek Biyogaz Verimleri ve Biyogazdaki Metan Miktarları

KAYNAK	BİYOGAZ VERİMİ (litre/kg)	METAN ORANI (Hacim %'si)
Sığır Gübresi	90-310	65
Kanatlı Gübresi	310-620	60
Domuz Gübresi	340-550	65-70
Buğday Samanı	200-300	50-60
Çavdar Samanı	200-300	59
Arpa Samanı	290-310	59
Mısır sapları ve artıkları	380-460	59
Keten & Kenevir	360	59
Çimen	280-550	70
Sebze artıkları	330-360	Değişken
Ziraat atıkları	310-430	60-70
Yerfıstığı kabuğu	365	---
Dökülmüş ağaç yaprakları	210-290	58
Algler	420-500	63
Atık su çamuru	310-800	65-80