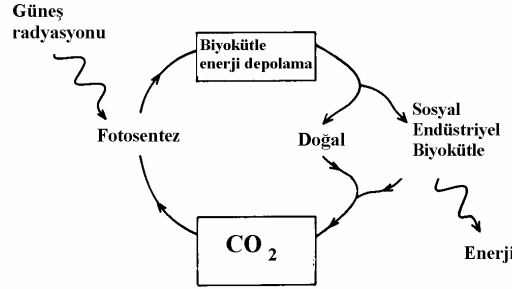


6. Biyokütle enerjisi

6.1 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. Şekil 6.1'de doğal biyokütle çevrimi görülmektedir.



Şekil 6.1 Doğal biyokütle çevrimi

Biosferdeki kuru maddenin biyokütlesel çevrimi yaklaşık 250×10^9 ton/yıl olup bunun karbon miktarı 100×10^9 ton/yıl'dır. Enerji içeriği ise 2×10^{21} J/yıl (0.7×10^{14} 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. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde kullanımı en yaygın olan kaynak biyokütledir. Dünya enerji tüketiminin yaklaşık % 15'i, gelişmekte olan ülkelere 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.

6.2 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, çığit ve mısır gibi artıklar enerji amacıyla değerlendirilmektedir. Kuru biyokütlenin ısı 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

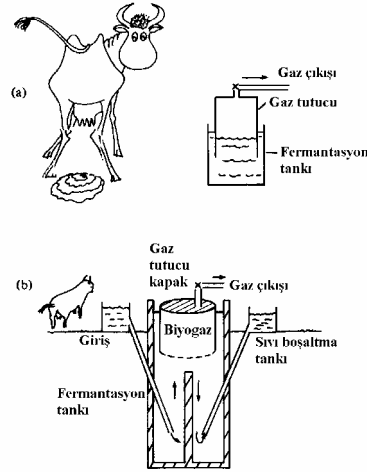
(odun ve benzeri selüloz ihtiva eden maddelerin) biyokütle kaynağı olarak değerlendirilmesinde izlenen yollardan birisi oksijensiz ortamda ve yüksek sıcaklıklarda (350-800°C) piroliz yapmaktır. Piroliz sırasında odun kömürü ile birlikte asetik ve formik asit metanol, aseton ve formaldehit gibi ürünler 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 içerisinde 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 fermentasyon ve damıtma sonucunda % 94-96 saf alkol alınacak şekilde üretilmektedir. Biyokütle kökenli sentetik akaryakıt kapsamında yer alan alkol karışumlu benzin ve bitkisel yağ karışumlu motorin dışında, bazı enerji bitkilerinden elde edilen yağlar dizel yakıtı yerine kullanılabilir.

(b) Hayvansal Atıklar: Hayvansal gübrenin samanla karıştırılıp kurutulması suretiyle elde edilen tezeğin köylerde yakıt olarak kullanımı oldukça yaygındır. Hayvansal gübrenin oksijensiz ortamda fermentasyonu ile üretilen biogazın dünyada kullanımı da oldukça yaygındır. Herhangi bir atıktan metan meydana gelişi, bakteriler tarafından iki kademedeyle 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 ısı değeri, karışımdaki metan yüzdesine bağlı olarak 1900 ile 27500 kJ/m³ arasında değişmektedir. Biyogaz üretiminde genel olarak kesikli besleme metodunda, fermentasyon tankına taze çiftlik gübresi verilir. Ve tank hava almayacak şekilde kapatılır. Gübrenin havasız ortamda fermentasyonu 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 fermentasyon tankı boşaltılarak tekrar taze çiftlik gübresi doldurulur. Biyogaz üretiminden sonra elde edilen fermente gübrenin, fermente olmamış gübreyle oranla %20-25 daha verimli olduğu belirtilmektedir. Ülkemizde biyogaz üretim potansiyeli 2.8 – 3.9 milyar m³ olarak belirlenmiştir. Şekil 6.2.'de iki farklı biyogaz üretim sistemi verilmiştir.

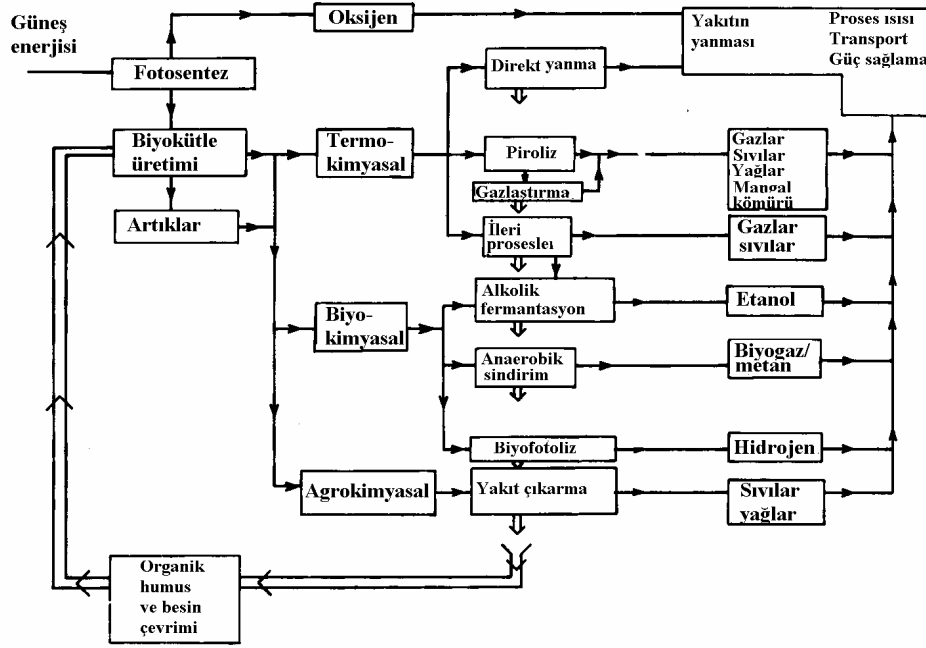


Şekil 6.2 İki farklı biyogaz üretim sistemi

(c) Şehir ve endüstri Atıkları: Çöp depolanan yerlerinde ve evsel atık su arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurları eğer önceden stabilize edilmemiş ve biyokimyasal aktiviteleri 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 ısı değeri ise yine çöpün bileşenlerine bağlı olarak 18- 27 MJ/Nm³ arasında değişmektedir. Türkiye'nin ilk çöp gaz santrali 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.

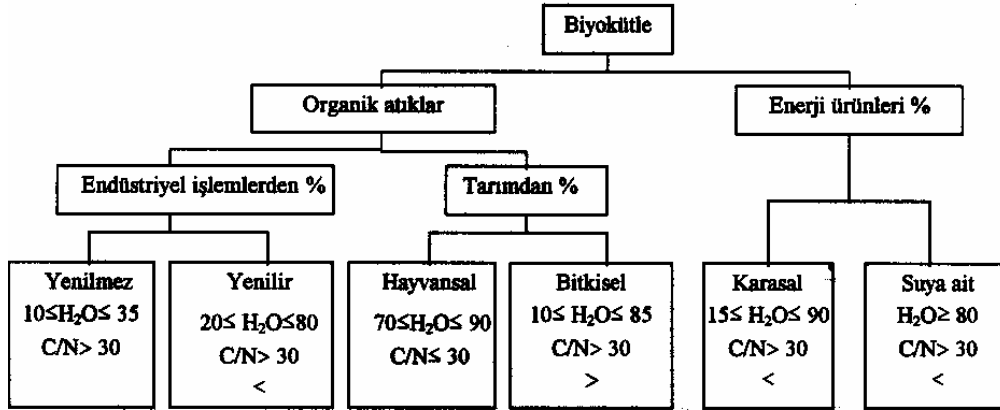
6.3. Biyokütlenin enerjiye dönüştürülmesi

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



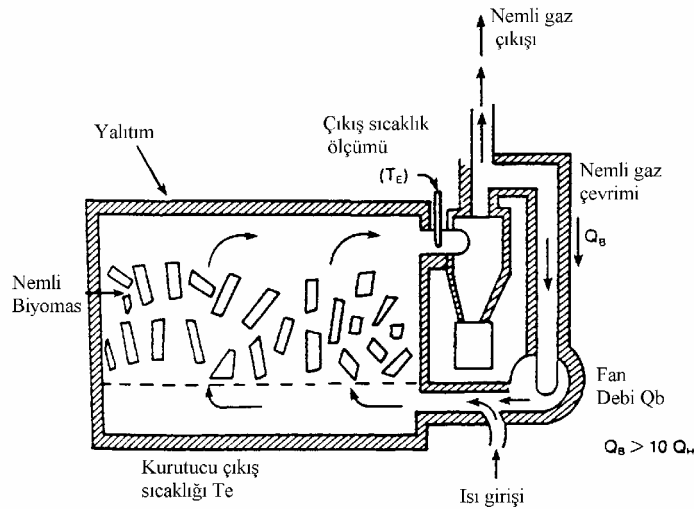
Şekil 6.3 Biyokütleden biyoyakıt üretme işlemleri

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 curuftan 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 kullanılabilir. 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. Şekil 6.4'de enerji amaçlı kullanılan biyokütlenin fiziksel kimyasal özellikleri görülmektedir.



Şekil 6.4 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 fermentasyonu 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 6.5'de basit bir biyokütle kurutma sistemi verilmiştir.



Şekil 6.5 Biyokütle kurutma sisteminin şematik görünümü.

6.4. Biyokütlenin termal parçalanması

Biyokütlenin termal parçalanmasında üç farklı yöntem uygulanmaktadır.

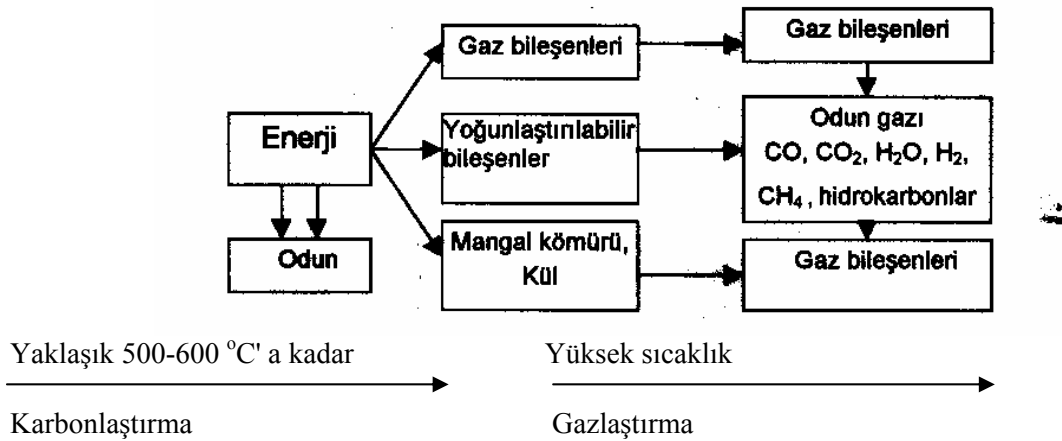
(a) **Piroliz:** Organik maddeler oksijensiz ortamda ısıtılırsa ortaya çıkan termal parçalanma sürecine piroliz adı verilir. Şekil 2'de iki farklı oksijen ortamında odunun termal parçalanması görülmektedir. Oksijensiz ortamda 500-600 °C' a kadar yapılan ısıtmada; gaz bileşenleri, uçucu yoğunlaşabilir 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 °C sıcaklık bölgesinde parçalanarak yanabilir, yanamaz gazlar,

katran ve zift açığa çıkar. Odunun pirolizi 4 karakteristik bölgeye ayrılmaktadır. Birinci bölge 200°C'a kadar olan sıcaklık bölgesi olup burada su, CO₂, formik asit ve asetik asit açığa çıkar. İkinci bölge 200-280 °C 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 °C arasında olup yoğun bir eksotermik reaksiyon başlar. 280-400°C arasında yaklaşık 880 kJ/kg ısı açığa çıkar. Yanabilir gazlar her şeyden önce CO ve CH₄ olup formaldehid, formik ve asetik asit, metanol ve sonraki aşamada bir miktar H₂ açığa çıkar. Küçük katran damlacıkları gaz akımıyla nakledilir. Dördüncü bölge 500°C'in üstü olup burada reaksiyonlar yoğun bir şekilde devam eder. Yüksek düzeyde yanabilir maddeler, CO, H₂, metanol ve aseton oluşur. Karbonla su buharının temasından CO ve H₂ elde edilir[2].

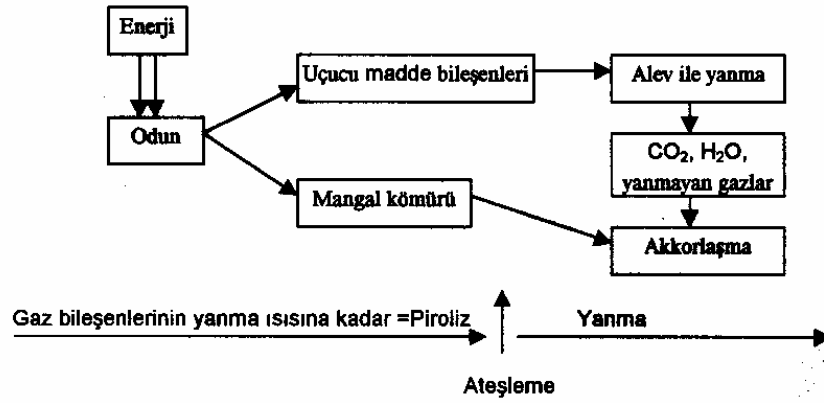
Karbonlaştırma: Karbonlaştırmada; odun, turba, maden kömürü gibi organik maddeler havasız ortamda kimyasal parçalanmaya uğrarlar. Bu işlem de farklı sıcaklık bölgelerinde gerçekleşir. Yaklaşık 170°C'a kadar suyun buharlaşması tamamlanır. 180°C den yüksek sıcaklıklarda odun polimerlerinin parçalanma tepkimeleri açığa çıkmaya başlar. 200-350 °C sıcaklıklar arasında eksotermik boşalma reaksiyonları meydana gelerek metanol, asetik asit, katran, CO ve su açığa çıkar. 350°C' nin üzerindeki sıcaklıklarda ek katran ürünleri oluşur. 500°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

(b) odunun yaklaşık %28-38'i arasında değişir. Odun kömürünün kalori değeri ise 30kJ/kg' dır. Karbonlaşma işlemi sonucu açığa çıkan gaz bileşenleri ise yaklaşık olarak %50CO₂, %35 CO, %10 CH₄ ve %5 diğer hidrokarbon ve H₂ dir. Gaz karışımının yaklaşık kalori değeri 8.9 MJ/m³ 'dır. Odunun karbonlaştırılmasındaki sıvı ürünler ise sulu kısım ve katrandır.

(c) **Gazlaştırma:** Organik maddelerin gazlaştırılmasında yaklaşık 500 °C sıcaklığa kadar olan süreç piroliz safhası olup burada; karbon, gazlar (kalorifik değeri 20 MJ/m³ e kadar çıkabilir) ve katran elde edilir. Isıtma 1000 °C' a kadar çıkıldığında karbon da su buharıyla tepkimeye girerek CO ve H₂ üretilir. Ham maddedeki değişken oksijen oranına bağlı olarak gasifikasyon işlemi için ilave oksijen girdisi gerekmebilir. Şekil 6.6a ve b'de 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 hacımsal olarak yanabilir gaz olan CO miktarı düşerken CO₂ miktarı da artmaktadır.

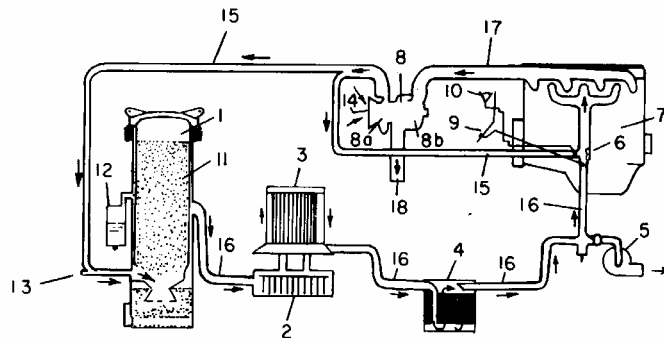


----- PİROLİZ -----
Şekil 6.6a Odunun oksijensiz ortamda termal boşalması



Şekil 6.6b Odunun oksijen ortamında termal boşalması

Bitkisel atıklar yakılırsa kısmi yanmada kalori değeri $4500-6000 \text{ KJ/m}^3$ olan gaz üretilir. Gazlaştırıcının içindeki kor halinde bulunan maddeye su buharı püskürtülürse su gazı elde edilir. Bu gazın kalorifik değeri 10 MJ/m^3 dür. Bu gaz CO ve H_2 den oluşur. 2.5-3 kg odun 1 litre petrolün yerine, 3-3.5kg odun ise 1 litre dizel yakıtın yerine geçer. Kömür ve biyokütlenin gazlaştırılması çok eski zamandan beri bilinen bir teknolojidir. İşlem sonucu elde edilen yanabilir gaz karışımı, benzin ve dizel yakıtı gibi içten yanmalı motorlarda kullanılabilir. Biyokütleden üretilen bu gaz, benzin ve motorin ile karşılaştırıldığında ucuz ve güvenilir bir yakıt olduğu görülmesine karşılık uzun bir süre motorlarda kullanılmamıştır. Ancak benzinin bulunmadığı dönemlerde ve özellikle de II. Dünya savaşında yoğun bir şekilde kullanılmıştır. Burada daha az kullanılmasındaki en önemli faktör; petrol ürünlerine göre üretimi ve depolanmasının daha zahmetli olması, gaz üretim sistemlerinin çalıştırılması için farklı üniteler gerektirmesidir. Gazlaştırıcı bir sistem başlıca; bir gazlaştırıcı ünite, temizleme sistemi ve enerji dönüşüm sisteminden (yakma veya içten yanmalı motor) oluşur. Burada en önemli problem gaz üretmek değildir. Üretilen gazın içten yanmalı motorların kullanabileceği şekilde fiziksel ve kimyasal özelliklerini sağlamaktır. Benzin ve dizel motorlarının ihtiyacı olan petrol kökenli yakıt bir depodan sıvı halde emilir. Bu yakıtlar homojen olup bileşenleri zamanla değişmez. Bu nedenle bu motorlarda yakılmasında ve sistemin çalıştırılmasında bir problem oluşturmaz. Gazlaştırıcıda üretilen yanabilir gazlarda homojen bir karışım yoktur ve zamana bağlı olarak da gazın fiziksel ve kimyasal özellikleri (bileşimi, enerji miktarı, kirliliği) değişebilir. Gazlaştırıcı ile içten yanmalı makina arasında bir depolama tankı yoktur. Üretilen gaz motorda yakılmadan önce çok iyi temizlenmelidir. Son zamanlarda bu gazlar başarılı bir şekilde motor uygulamalarında kullanılmaktadır. Özel bir motor tasarımı yapılmadan motor üzerinde yapılacak küçük değişikliklerle içten yanmalı motorlarda kullanılabilmesi mümkündür. Şekil 6.7'de böyle bir sistem görülmektedir.



Şekil 6.7 Bir gazlaştırıcının motorlu taşıt sistemi ile birlikte şematik görünümü (1-gazlaştırıcı, 2-filtre, 3-soğutucu, 4-ince filtre, 5-fan, 6-gaz ve hava karıştırma lülesi, 7-motor, 8a-fan, 8b-gaz türbini, 9-gaz pedalı, 10-hava seviyesi kontrolü, 11-odun, 12-su toplama cebi, 13-ateşleme sistemi, 14-hava girişi,

15-yanma hava borusu, 16-gaz çıkış borusu, 17-motordan çıkan gaz borusu, 18-atmosfere atılan egzoz gazı.