

KATI ATIKLARIN ENERJİ DÖNÜŞÜMÜNDE KULLANILMASI VE GAZLAŞTIRICILAR

Hayati OLGUN
Murat DOĞRU
Colin R. HOWARTH

ÖZET

Bu çalışmada; kurutulmuş her türlü organik atıkları (odun parçaları, hayvansal atıklar, kurutulmuş kanalizasyon çamuru, zirai atıklar, hastahane ve şehir atıkları gibi) temiz ve yanabilir gazlara dönüştürerek elektrik ve ısı enerjisi üretim sistemlerinde kullanılmasını sağlayan gazlaştırıcılar tanımlanmış ve komple bir sistemin tasarım özellikleri verilmeye çalışılmıştır. Sistemin çalışma prensibi şu şekildedir: Bünyesinde karbon ihtiva eden kurutulmuş katı atıklar gazlaştırıcı içerisine yerleştirilir ve dışarıdan yapılan bir ateşleme ile belirli bir süreye (5-10 dakika) kadar reaktör hava deliklerinden ateşlenir. Kontrollü olarak verilen hava ile karışan katı atık, yüksek sıcaklıkta gazını açığa çıkarır. Bu gazlar gazlaştırıcı tipine bağlı olarak oluşan 1200°C'lık sıcaklık bölgesinden geçerken katran ve yağlarından temizlenir. Gazlaştırıcıdan çıkan gaz, kullanılan katı atık yakacağına cinsine bağlı olarak yaklaşık 4-7 MJ/Nm³ 'lük bir enerji değerine sahip olup, bir gaz türbini sisteminden geçirildiğinde elektrik enerjisi üretiminde kullanılabilir. İstenirse bir içten yanmalı motorda veya CHP (birleşik ısı gücü) sisteminde üretilen gaz yakılarak elektrik enerjisi ve ısı enerjisi aynı anda üretilebilir. Tüm işlem kapalı bir sistemde meydana geldiğinden atmosfere kirli gaz verilmemektedir. Gazlaştırılan maddeye bağlı olarak bu gazlaştırıcılardan ihmal edilebilir miktarda kendiliğinden sterilize olmuş ve herhangi bir zararlı atık içermeyen kül meydana gelir. Bu madde rahatlıkla toprağa verilebilir. Son zamanlarda bu atık külün çimento yapımı için ideal bir bileşik olma niteliği gösterdiği anlaşılmıştır. Ayrıca, bu çalışmada bir 'Downdraft' tipteki gazlaştırıcı ünitesinde fındık kabuklarının gazlaştırma deneyleri yapılmış ve sonuçları verilmiştir.

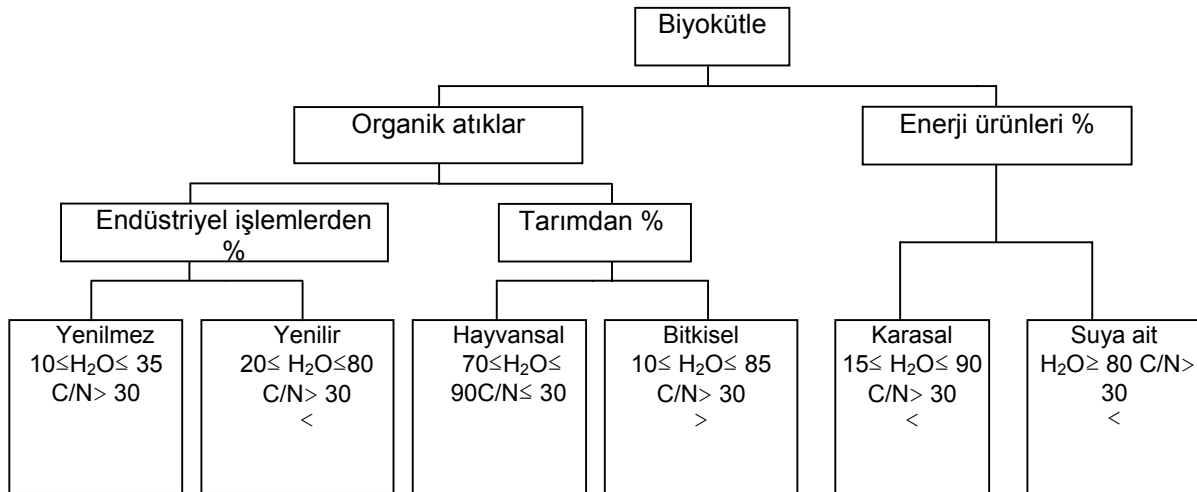
GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızlı artışına ve gelişen teknolojiye paralel olarak enerjiye olan talep sürekli artmaktadır. Bununla birlikte fosil enerji kaynak rezervlerinin sınırlı ve yakın bir gelecekte tükenecek olması günümüzde alternatif enerji kaynaklarının daha verimli bir şekilde değerlendirilmesi mecburiyetini doğurmaktadır. Dünyada bir çok ülke, tükenbilir enerji kaynakları yerine yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanma yoluna gitmektedir. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları başlıca; biyokütle, güneş, hidrolik, rüzgar, jeotermal, gel git, dalga enerjisi şeklinde sınıflandırılmakta olup bu enerji kaynaklarının büyük bir kısmı dünyada yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde kullanımı en yaygın olanlarından birisi de biyokütle" nin sahip olduğu enerjidir. Biyokütle; her yerde yetiştirilebilmesi, çevre korunmasına katkısı, elektrik üretimi, kimyasal madde ve özellikle taşıt araçları için yakıt elde edilebilme özellikleri nedeni ile hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde büyük önem taşımaktadır. Bu enerji kaynağının sanayileşmiş ülkelerdeki birincil enerji tüketimindeki payı genel olarak %3 civarındadır. Gelişmekte olan ülkelerde odun ve tezek biçimindeki biyokütle enerjisinin enerji kaynakları arasındaki payı ise % 20-90 arasında değişmektedir [1]. Biyokütle; 100 yıllık periyottan daha kısa sürede yenilenebilen karada ve suda yetişen bitkiler, hayvan atıkları, besin endüstrisi ve orman yan ürünleri ile kentsel atıkları içeren tüm organik madde olarak tanımlanmaktadır. Yenilenebilir ve geleneksel enerji kaynağı olarak biyokütlenin enerji değeri, 1995 yılı itibarıyla dünya enerji tüketiminin yaklaşık 8.3 katına eşittir. Günümüzde dünya nüfusu bu değer yaklaşık % 7' sini kullanmaktadır. Odun olarak biyokütlenin ocakta ya da basit bir sobada yakılması, büyük enerji kaybına neden olduğundan en etkin enerji

dönüştürme sistemi olmamaktadır. Enerji dönüştürülmesinde dikkate alınması gereken en önemli faktörler ise şunlardır:

- enerjinin az masrafla dönüştürülmesi
- ekonomik olması
- yenilenebilir kaynaklara dayalı olması
- doğadaki dengeyi bozması
- su, hava ve çevre kirliliğine yol açmaması

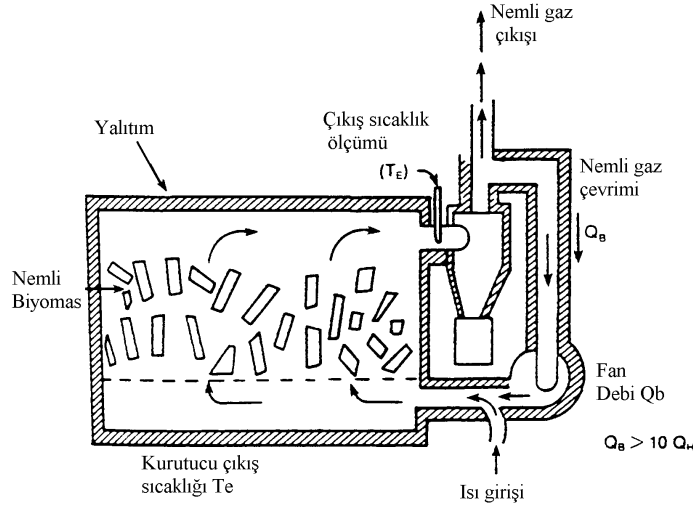
Enerji dönüştürülmesinde kullanılan teknolojinin basit ve çabuk uygulanabilir olması, yeterince eğitilmiş personele ihtiyaç duyulmamasında önemli bir faktördür. Bu nedenlerle katı organik atıklardan bilhassa orman ve tarım atıklarından en basit şekilde enerji dönüşümü, onları direkt yakmakla mümkün olmaktadır. Bu şekilde yalnız hava kirliliğine yol açan enerji elde edilmiş olur. Böyle bir direk yakma sisteminde enerji dönüştüren ünitenin enerji tüketen merkezlere olan uzaklığı çok büyük ekonomik rol oynamaktadır. Ayrıca istenilen enerjinin devamlılığı da çok önemlidir. Büyük hacimde olan orman ve tarımsal ürünlerinin 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. Yüzyıllardan beri mangal kömürü de bu yöntemle üretilmiştir. Biyokütlenin geride kül ve cüruftan başka bir şey bırakmayacak şekilde hava ile belirli bir basınç altında ısıtılması sonucu 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 [2]. Enerji dönüşümünde kullanılacak biyoküteller için bu değerlerin bilinmesi son derece önemli olmaktadır. Şekil 1.'de enerji amaçlı kullanılabilen biyokütlenin fiziksel ve kimyasal özellikleri görülmektedir.



Şekil 1. Enerji amaçlı kullanılabilen biyokütellerin fiziksel ve kimyasal özellikleri

İçerisinde % 35'den daha fazla su ihtiva eden biyokütle termokimyasal dönüşüm sonucu elektrik üretimi için uygun değildir. Biyokütle içerisinde yüksek oranda şeker bulunuyorsa bu ürün alkol fermantasyonu ve aneorobik fermantasyon için uygundur. Nem oranının yanında parça boyutu da uygun dönüşüm sisteminin seçiminde önemli bir parametredir. Direkt 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 için %8-15 arası nem oranları tercih edilir. Downdraft gazlaştırıcı için en uygun nem oranı aralığı %8-20 olup, parça boyutu olarak 0.5-50 mm arası tercih edilir (Bu boyut gazlaştırıcının ölçeği ile doğru orantılıdır). Sabit yatak sistemlerinde parça boyutu 5-15 cm arasında olmalıdır [2]. Odunun gazlaştırıcı sistemde kullanılabilmesi için odun içindeki nem miktarının ayarlanması gerekir. Bu da ancak kurutma işlemi ile gerçekleşir. Enerji

yoğunluğunu birim hacim başına artırmak için biriktirme işlemi yapılır. Böylece daha kolay taşıma ve stoklama sağlanır. Şekil 2'de basit bir biyokütle kurutma sistemi verilmiştir. Burada kapalı bir hacimde bulunan biyokütle parçalarının üzerine sıcak hava gönderilerek biyokütlenin kurutulması sağlanmaktadır [3].



Şekil 2. Biyokütle kurutma sisteminin şematik görünümü

Normal koşullarda yanma sonucunda çevredeki havanın oksijeni tüketilir, ısı açığa çıkarken su ile CO₂ üretilir. Yetersiz çevre koşullarında yani oksijen eksikliğindeki yanma sonucunda katran, alkol, asit gibi ara ürünler oluşur. Ticari olmayan enerji tüketiminde en büyük pay yakacak oduna aittir. Yanma verimi ise direkt yakmada % 25 civarındadır. Yetersiz miktarda kurutulmuş odunun yanmasında üretilen ısının bir bölümü nemi ortadan kaldırmak için tüketilmektedir. Yanma verimine etki eden faktörler şunlardır:

- enerji dönüşüm sistemlerinin yetersizliği
- odunun kalite ve koşulları, pişirme sistemleri
- yakma tekniği

Yanma hızının artması ise aşağıdaki koşullara bağlıdır:

- termal iletim katsayısı k
- odunun özgül ısısı
- odunun yoğunluğu

BİYOKÜTLENİN TERMAL PARÇALANMASI

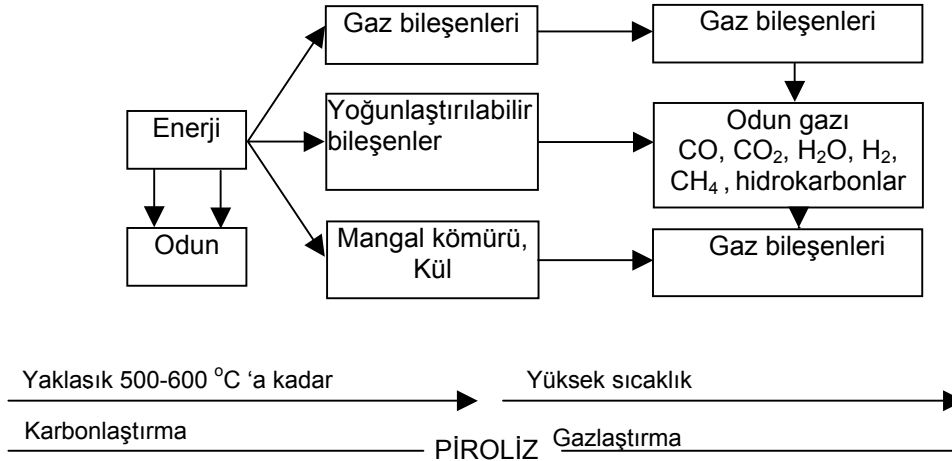
Biyokütlenin termal parçalanmasında üç farklı işlem uygulanır.

a) Piroлиз: 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. Piroлиз 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

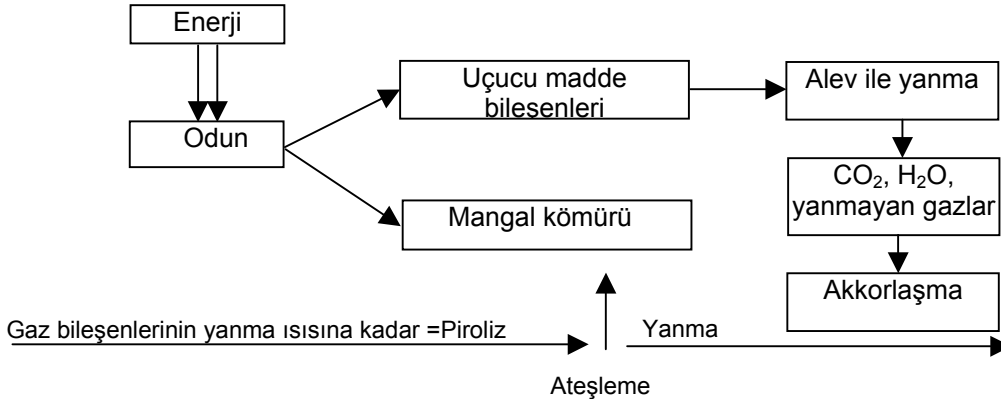
sıcaklık bölgesi olup burada su, CO₂, formik asit ve asetik asit açığa çıkar. İkinci bölge 200-280 °C sıcaklık bölgesi olup; su buharı, formik asit, asetik asit, bir miktar CO ve glioksal açığa çıkar, reaksiyon hala endotermik olup gazların büyük bir kısmı yanamaz niteliktedir. Üçüncü bölge 280-500°C arasında olup yoğun bir ekso termik 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].

b) 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 ekso termik 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 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 %50 CO₂, %35 CO, %10 CH₄ ve %5 diğer hidrokarbon ve H₂ dir. Gaz karışımının yaklaşık kalori değeri 8.9 MJ/m³ 'dir. Odunun karbonlaştırılmasındaki sıvı ürünler ise sulu kısım ve katrandır.

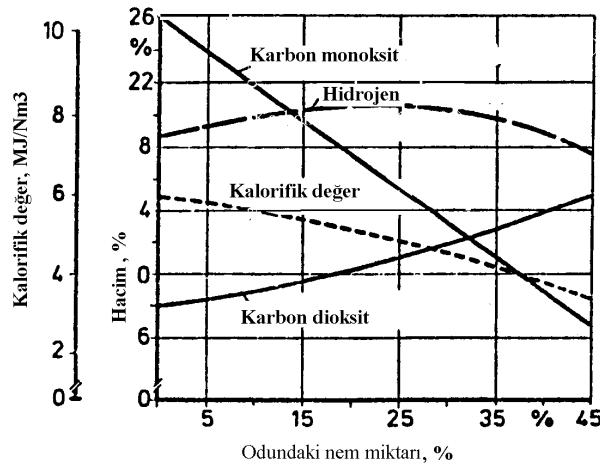
c) Gazlaştırma : Organik maddelerin gazlaştırılmasında yaklaşık 500 °C sıcaklığa kadar olan süreç piroliz safhası olup burada; karbon, gazlar (kalorifik değeri 20 MJ/m³ e kadar çıkabilir) ve katran elde edilir. Isıtma 1000 °C' a kadar çıktığında karbon da su buharıyla tepkimeye girerek CO ve H₂ üretilir. Ham maddedeki değişken oksijen oranına bağlı olarak gasifikasyon işlemi için ilave oksijen girdisi gerekmez. Şekil 3 a ve b'de iki farklı oksijen ortamında odunun termal parçalanması görülmektedir. Gasifikasyonda önemli olan biyokütlenin nem oranının % 30'u geçmemesidir. Şekil 4'de odun içerisindeki nem miktarının gazın kalorifik değerine ve gaz bileşenlerinin hacimsel değişimine etkisi görülmektedir. Nem oranı arttıkça gazın kalorifik değeri düşmektedir. Ayrıca hacimsel olarak yanabilir gaz olan CO miktarı düşerken CO₂ miktarı da artmaktadır.



Şekil 3a. Odunun oksijenless ortamda termal boşalması

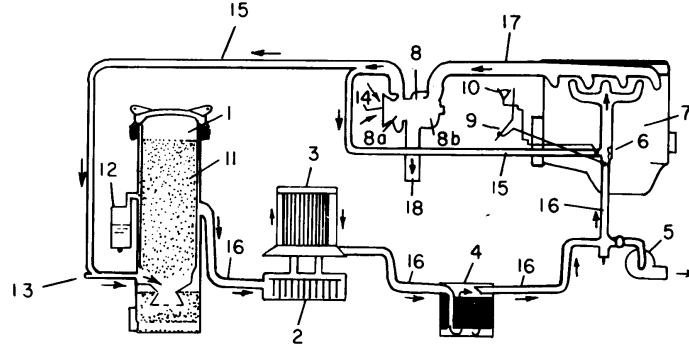


Şekil 3b. Odunun oksijen ortamında termal boşalması



Şekil 4. Odun içerisindeki nem miktarının gazın kalorifik değerine etkisi

Bitkisel atıklar yakılırsa kısmi yanmada kalori değeri 4500-6000 KJ/m³ olan gaz üretilir. Gazlaştırıcının içindeki kor halinde bulunan maddeye su buharı püskürtülürse su gazı elde edilir. Bu gazın kalorifik değeri 10MJ/m³ dür. Bu gaz CO ve H₂ 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 5'de bir gazlaştırıcı sistemin motorlu taşıtta kullanılması verilmiştir.



Şekil 5. 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 pedali, 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).

BIYOKÜTLE YAKITLARI VE ÖZELLİKLERİ

Ticari gazlaştırmanın yapıldığı 140 yıl boyunca lignoselülozik veya karbon ihtiva eden tüm yakıtlar başarılı bir şekilde gazlaştırılmışlardır. Bu çalışmalarda daha ziyade kömür, odun ve mangal kömürünün üzerine yoğunlaşmıştır. Yakıtları sınıflandırırken, gazlaştırma işlemi için uygun olup olmadıklarının belirlenmesi gerekir. Odun ve kömür, gazlaştırıcılarda en fazla kullanılan yakıt olup oldukça eski bir geçmişleri vardır. Farklı özelliklerdeki yakıtlar için üç farklı gazlaştırıcı geliştirilmiştir. Bunlar 'Downdraft', 'Updraft' ve 'Crossdraft' gazlaştırıcılardır. Bununla beraber üretilen gazın içten yanmalı motorlarda kullanılması için temiz ve soğuk olması gerekir. Gazlaştırma işleminde; yakıtın nem, uçucu madde ve karbon oranının belirlenmesi yanında parça boyutu ve şekli de önemli rol oynamaktadır. Yakıtın sınıflandırılması, kullanılacağı en uygun gazlaştırıcı tipine göre yapılır. Yakıtın kül oranı yüksek ve külün erime noktası düşükse, 'Downdraft' ve 'Crossdraft' gazlaştırıcılarda gazlaştırılması zor olacaktır. İyi bir gazlaştırıcı tasarımında yakıtın gazlaştırıcıya yüklenmesinden önce termal davranışlarının çok iyi bilinmesi gerekecektir. Gazlaştırıcıda kullanılan yakıtlar için en önemli bilinmesi gerekli değerler şunlardır: yakıtın enerji içeriği, yakıtın nem miktarı, yakıtın boyutları ve formu, yakıtın boyut dağılımı, yakıtın sıkıştırılmış yoğunluğu, yakıt içerisindeki uçucu madde miktarı, kül miktarı ve külün kimyasal bileşimi, yakıtın kısa ve elementel analiz sonuçları. Katı yakıtın ısı değeri bir çok durumda adyabatik ortamda bomba kalorimetresi yardımıyla belirlenir. Elde edilen bu değer, içerisinde su buharı ihtiva eden yakıtın değerinden daha yüksektir. Isıl değer ayrıca, külsüz ve nemsiz veya sadece nemsiz yakıt durumunda da belirlenir. Yakıtın boyutu gazlaştırıcının içindeki basınç düşmesi üzerine büyük etkisi vardır. Büyük yakıt parçalarının gazlaştırma işleminde köprüleşmesi küçük gazlaştırıcılarda çok önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Genelde küçük boyuttaki parçalar yakıt yatağındaki basınç düşüşünü artırır, büyük boyutlu parçalar ise köprüleşmeye neden olurlar. Bu durum, büyük parçanın tamamen gazlaşması için çok daha fazla zamana ihtiyaç duyacağından karbonlaşma işleminin tamamlanmasını engeller. Yakıtın boyut aralığı da mümkün olduğu kadar homojen olmalıdır, şayet boyut aralığı çok büyükse gaz çıkışı zorlanır. Gazlaştırma için kullanılacak yakıtın formu sistem üzerinde ekonomik etkileri vardır. Uçucu madde, sabit karbon, nem ve kül miktarı kısa analiz sonuçlarından elde edilir.

Biyokütle kaynakları iki grupta incelenir. Bunlar ıslak biyokütle (melas, nişastalılar, gübre) ve kuru biyokütledir. (odun, zirai atıklar gibi). Islak biyoküttele biyolojik dönüşüm oda sıcaklığında gerçekleşir. Fermentasyon yoluyla alkol ve metan üretimi yapılır. Termal işlemde kullanılan biyokütle içerisinde %50'nin altında nem olmalıdır. En basit termal işlem biyokütleyi direkt yakmadır. Sonuçta sadece ısı üretilir. Pirolizde ise dışarıdan ısı uygulanarak biyokütleden parçalanma yoluyla mangal kömürü, yağ katran ve gaz elde edilir. Gazlaştırma işleminde ise, biyokütle yanabilir gazlara dönüştürülür. Pratikte

gazlaştırma ile biyokütlenin sahip olduğu enerjinin %60-90'ı gaza geçirilir. Gazlaştırma işlemi ya direk (hava veya oksijen kullanılarak ısı üretme) eksotermik reaksiyonla, veya indirekt olarak reaktöre dışarıdan ısı transfer ederek gerçekleşir. İn direk gazlaştırma, bir miktar yakıtın farklı bir dış kaptaki hava ile yakılması sonucu elde edilen ısının biyokütlenin pirolizi için gerekli enerji olarak kullanılması ile gerçekleşir. Bu sistemin temel avantajı ise oksijen kullanmadan orta enerjili bir gaz üretilir [4]. Piroliz ve gazlaştırma işlemi endotermiktir, dışarıdan ısı verilmesi gerekir. Gerçekten, pirolizin başlaması için ısı gerekir. Yanma ısısının % 6-10'u biyokütleyi kurutmak için harcanır. Bu ısı, kısmi yanma ile sağlanır. Direk gazlaştırmanın temel avantajı tek aşamalı bir işlem olarak oldukça basit olmasıdır. Gazdan biyokütleyle olan ısı transferi oldukça verimlidir. Prosesin hızını ayarlamak kolaydır. Şayet hava kullanılırsa, elde edilen gaz atmosferik nitrojenle karışıktır. Gazın kalorifik değeri 5800-7700 kJ/Nm³dür. Gazlaştırma için oksijen kullanılırsa orta enerji seviyeli gaz üretilir. Bu gazın kalorifik değeri ise 11500 kJ/Nm³dür. Orta enerjili bu gaz ekonomik olarak kısa mesafeler için dağıtılabilir. Elde edilen gaz endüstri için ısı üretmek üzere yakılabilir, veya motorlarda yakılarak mekanik veya elektriksel güç üretilir.

Biyokütle yakıtlarında iki tür analiz yapılarak bunların fiziksel, kimyasal ve yakıt özellikleri belirlenir. Kısa analizde; nem, uçucu madde ve kül tayini yapılır. Farktan da sabit karbon miktarı belirlenir. Bu analiz yakıtın yanma karakteristiklerinin belirlenmesinde önemli rol oynar. Elementel analizde (ultimate) ise C, H, O, N, S tayini yapılır. Elementel analiz her ne kadar kullanılan yakıtın gazlaştırma için uygun olup olmadığını açığa çıkarmasa da gaz bileşenlerinin tayininde ve gazlaştırma işleminin enerji ve kütle balansında sıcaklık limitleri hakkında bilgi verir. Bu analiz sonucunda yüksek oranda karbon bulunmuşsa bu durum elde edilecek gazın daha az katrana sahip olacağını gösterir. Çünkü karbonun yüksek olması yakıttaki katran oluşumunu sağlayan uçucu madde miktarının azlığını gösterir [3]. Biyokütle için yapılan en önemli fiziksel test ise sıkıştırılmış yoğunluk ölçümüdür. Gazlaştırıcı tasarımında kullanılan yakıtlar için temel önemli yakıt parametreleri şunlardır:

- parça boyu ve şekli
- parça boyut dağılımı
- sabit karbon miktarı ve kömür dayanıklılığı
- kül erime sıcaklığı
- kül miktarı, nem miktarı ve ısıtma değeri.

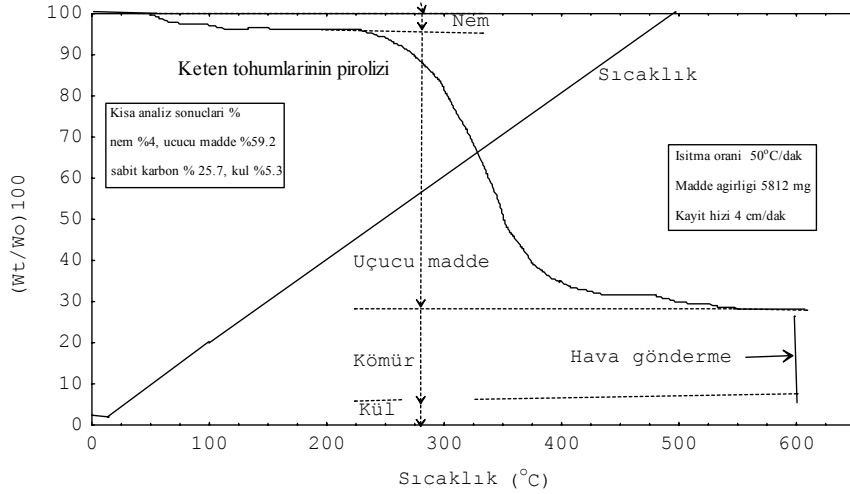
Yüksek oranda küle sahip yakıtların kullanılmasında gazlaştırıcıdaki ızgara tasarımı son derece önemli olmaktadır. Biyokütlenin içindeki nem miktarı da gazlaştırıcının işletim ve üretilen gazın kalitesi üzerine büyük etkileri vardır. Parça boyutu ve şekli, gazlaştırıcı için çok önemli tasarım parametrelerden bir tanesidir. Yakıt yükleme sisteminin tipi ve boyutunun seçiminde önemlidir. Gazlaştırıcılar sık sık yakıtın neden olduğu tıkanmalara uğrarlar. Yakıtın parça boyutu ve dağılımı gazlaştırıcıda gazlaştırma bölgesinin boyutunun seçiminde önemlidir. Aynı boyutta parçaya sahip biyokütlerde bu problem azalır. Yakıtın karbon oranının artması da reaksiyon için önemlidir. Biyokütle yakıtı içerisindeki sülfür miktarı fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında çok azdır. Sülfür oksitler korosif olduğundan dolayı motorda yıpranmalara neden olur. Biyokütle içindeki nitrojen miktarı kullanılan ürüne bağlı değişir. Odun, kuru sapsar, kabuklar, mısır koçanı çok düşük nitrojen miktarına sahiptir. Yapraklar, tohumlar, ve ağaç kabukları ise yüksek nitrojen miktarına sahiptir. Üretilen gazın kalitesi üzerine, yakıtın içerisinde bulunan nem miktarının önemli ölçüde etkisi vardır. Bazı gazlaştırıcılar yüksek oranda neme sahip yakıtlar için de uygundur. Fakat bu durumda gazın kalitesi düşüktür. Nem miktarı arttıkça elde edilen gazın ısı değeri düşmektedir. Bu durum ayrıca katranı da artırmaktadır. Bu nedenle biyo yakıtın gazlaştırıcıda kullanılmadan önce kurutulması gerekmektedir.

GAZLAŞTIRMANIN TEMEL PRENSİPLERİ

Gazlaştırıcılar oldukça basit makineler olmasına rağmen başarılı bir işletim, gazlaştırmanın termodinamiği tam olarak bilinemediğinden o kadar kolay değildir. Biyokütlenin termal dönüşümü şu şekilde gerçekleşmektedir.

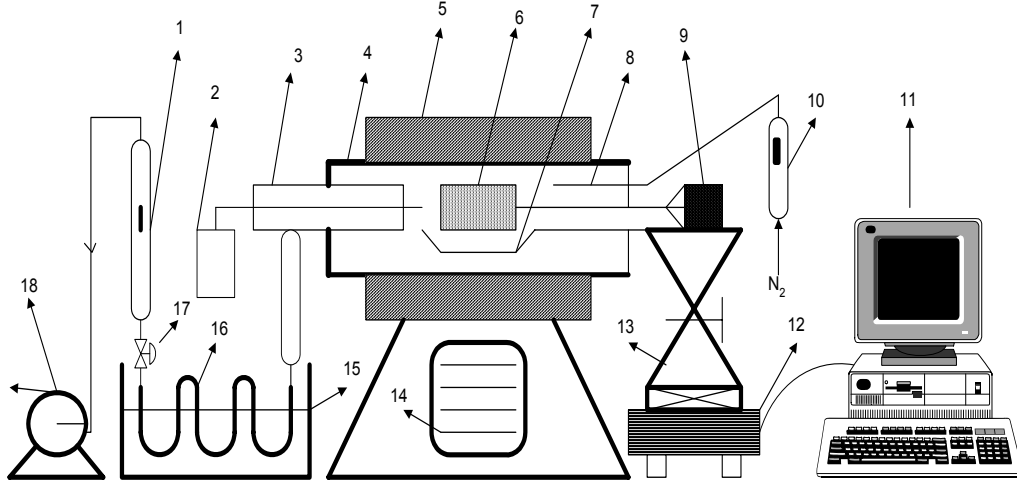
Biyokütle + ısı	Mangal kömürü, yağ, gaz (piroliz için)
Biyokütle + kısmi O ₂	Gaz yakıt (gazlaştırma için)
Biyokütle + yeterli O ₂	Sıcak yanma ürünleri (yanma için)

Piroliz ve gazlaştırma olayının daha iyi anlaşılması için termogravimetrik deneylerin yapılması gerekmektedir. Termogravimetrik çalışmalarda az miktarda yakıt, sıcaklığı ve ısıtma oranı ayarlanabilir bir fırın içerisine yerleştirilerek zamana bağlı olarak kütledeki değişikliği farklı nitrojen/oksijen atmosferleri altında incelenir. Şekil 6'da keten tohumlarının oksijensiz ortamda termogravimetrik incelenmesi görülmektedir. Burada; W_t t anındaki kütle, W_0 ise başlangıçtaki kütle göstermektedir [3].

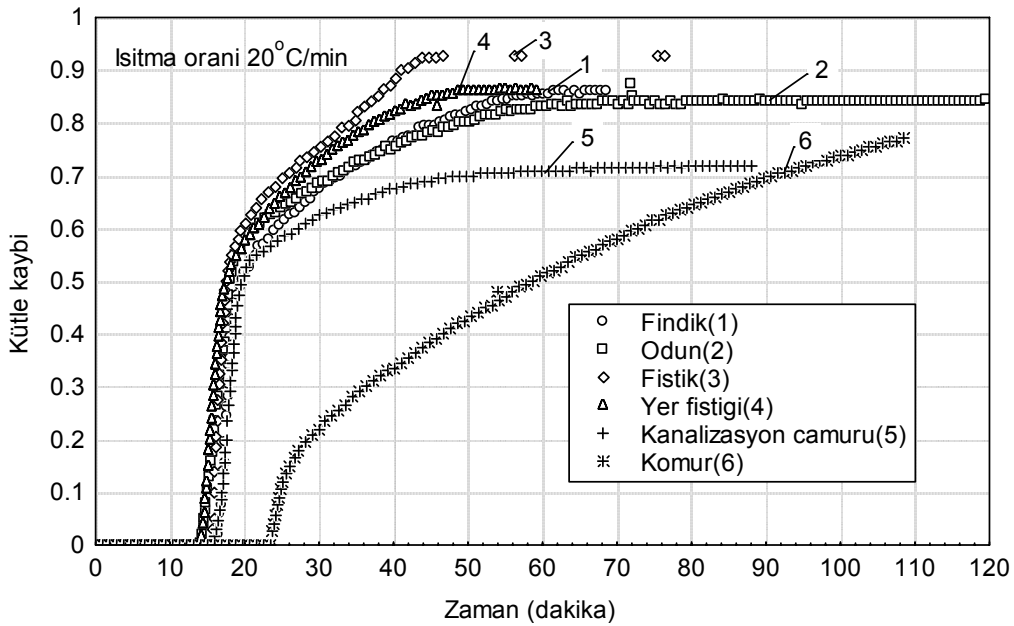


Şekil 6. Keten tohumlarının termogravimetrik olarak oksijensiz ortamda incelenmesi

Bir gazlaştırıcı sistem tasarlanmadan evvel kullanılacak yakıtların termogravimetrik davranışları laboratuvar koşullarında incelenir. Şekil 7'de böyle bir sistem verilmiştir [5]. LSTA (Küçük ölçekli termogravimetrik analiz cihazı) adı verilen bu sistemle; piroliz, gazlaştırma ve tam yanmanın laboratuvar koşulları altında incelenmesi yapılabilmektedir. Gazlaştırıcı içerisinde farklı sıcaklığa ve ısıtma oranına sahip bölgelerde meydana gelen termokimyasal değişimler bu yöntemle rahatlıkla incelenebilmekte ve biyokütle yakıtı hakkında bilgi sahibi olunmaktadır. Ayrıca, her safhada açığa çıkan gazlar da gaz kromatograf cihazında analiz edilmektedir. LSTA sistemi başlıca yüksek sıcaklık fırını, içerisine biyokütle yakıtı konulan reaktör, gaz çekme ve temizleme sistemi, ölçü ve kontrol sisteminden oluşmaktadır. Fırın 1200°C sıcaklığa kadar istenilen ısıtma oranlarında ayarlanabilmektedir. Reaktör, yakıttaki kütle kaybının sürekli belirlenebilmesi için bir terazi ile irtibatlandırılmış olup farklı hızlarda döndürülebilmektedir. Böylece gazlaştırıcı içerisindeki biyokütle hareketini de inceleme imkanı sağlanmıştır. Reaktörde açığa çıkan gazlar, bir vakum pompası yardımıyla emilmekte ve bir dizi gaz temizleme ve soğutma sisteminden geçirildikten sonra gaz örneği toplama bölgesine gönderilmektedir. Reaktör içerisine istenilen debide hava veya nitrojen gönderilebilmektedir. Böylece deneyler farklı hava/nitrojen oranlarında yapılabilmektedir. Şekil 8'de ise farklı biyoküteller için LSTA sistemi kullanılarak yapılmış termogravimetrik sonuçlar verilmiştir. Burada 20°C/dak ısıtma oranında farklı biyoküteller 20 şer gramlık numuneler halinde reaktör içerisine yerleştirilmiş ve 800°C maksimum fırın sıcaklığında yanma deneyleri yapılmıştır. Burada kömürün termal boşalmasının diğer biyokütellere ve kanalizasyon çamuruna göre daha uzun sürede gerçekleştiği buna karşı yanma sonucu daha fazla kül açığa çıktığı görülmüştür [5].

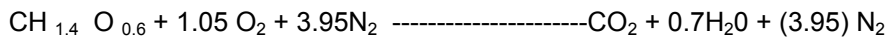


Şekil 7. LSTA Analiz cihazı [5] (1-hava için rotametre, 2-dijital termometre, 3-quartz tüp, 4-fırın tüpü, 5-fırın, 6-dönen reaktör, 7-kül toplama kabı, 8-nitrojen gönderme borusu, 9-motor, 10-nitrojen için rotametre, 11-bilgisayar, 12-hassas terazi, 13-reaktör yükselti ayarlayıcısı, 14-fırın sıcaklık kontrolü, 15-buz banyosu, 16- katran tutucusu, 17-gaz alma vanası, 18-vakum pompası)

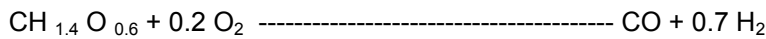


Şekil 8. LSTA analiz cihazından elde edilen farklı biyokütle yakıtlarına ait termogravimetrik deney sonuçları

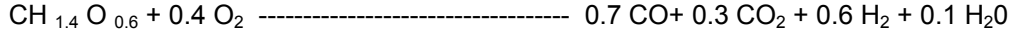
Direkt yanma şu şekilde gerçekleşir:



Biyokütle formülü değişken olup. Burada ortalama bir değer verilmiştir. Burada nitrojen miktarı parantez içinde verilmiş olup reaksiyona katılmaz. Biyokütle gazlaştırılması ise şu şekilde verilmektedir [4].



Bu reaksiyonun ancak dışarıdan enerji alınarak gerçekleşir. Pratikte sisteme daha fazla oksijen verilir. Bu durumda,



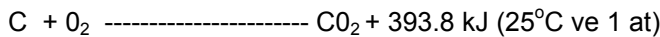
Üretilen gazın kalitesi için CO/CO₂ veya H₂/H₂O oranları bir ölçüdür. Gazlaştırma için en önemli ölçü kullanılan hava miktarının belirlenmesidir. Biyokütleden üretilen gazın özellikleri Tablo 1. de verilmiştir.

Tablo 1. Biyokütleden üretilen gazların özellikleri

Bileşim	Sembol	Gaz (%)	Kuru gaz (%)
Karbonmonoksit	CO	21	22.1
Karbondioksit	CO ₂	29.7	10.2
Hidrojen	H ₂	14.5	15.2
Su	H ₂ O	4.8	-
Metan	CH ₄	1.6	1.7
Nitrojen	N ₂	48.4	50.8
Gazlaştırma için hava oranı 2.38kg odun/kg hava			
Tam yanma için hava oranı 1.15 kg odun/kg hava			

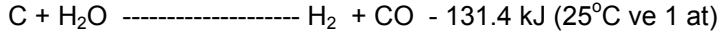
GAZLAŞTIRICI SİSTEMLER

Gazlaştırıcılar katı haldeki bir yakıtı gaz halindeki yakıtı çeviren makinelerdir. Bir gazlaştırıcı sistem şu elemanlardan oluşur: Yüklenen yakıt, gazlaştırıcı sistem, gaz ölçüm ve temizleme sistemleri, alev veya motorda yakma sistemi. Biyokütle içerisindeki uçucu organik moleküller yakıtın yaklaşık % 80'nini oluşturduğundan gazlaştırılmada temel görev bu uçucu maddeleri sürekli gazlara çevirmektir. İkinci iş ise oluşan kömürü gazlaştırmaktır. Bu işlemler için sabit yatak gazlaştırıcıların en önemli iki tipi olan 'Downdraft' ve 'Updraft' gazlaştırıcılar kullanılır. Bunlar arasındaki fark gazın gazlaştırıcı içerisindeki akış şekli ile ilgilidir. Pratikte, 'Updraft' tipteki gazlaştırıcı, yüksek nem miktarına sahip biyokütleyi kullanır. Elde edilen gazlar bir boylerde yakmaya uygun nitelikte olup, gaz karışımı içerisindeki yüksek orandaki katran (%5-10) nedeniyle motor uygulamaları için uygun değildir. 'Downdraft' tipteki gazlaştırıcıda oluşan katran oranı %0.65-0.50 civarındadır. Biyokütlenin gazlaştırılması; hava sızdırmaz, kapalı bir sistem içerisinde ve hafif emme veya çevre basıncında meydana gelir. Yakıt kolonu bir noktadan ateşlenir ve gaz başka bir noktadan dışarı alınır. Yakıtın hava ile tam gerçekleşmemiş yanması biyokütlenin gazlaştırılmasının başlangıç kısmıdır. İşlem farklı bölgelerde meydana gelir. Bunlar Şekil 9'dan da görüldüğü gibi kurutma, damıtma, indirgeme, ateşleme ve kül bölgeleridir [4]. Gazlaştırıcılar üzerinde yapılan çalışmalar başlıca 3 kategoride toplanmaktadır. Bunlar : -Ticari amaçlı en uygun gazlaştırıcı tasarımı, Gazlaştırma esnasında enerji dengesi, gaz karışımı ve kimyasal reaksiyonlar ve Küçük ölçekli laboratuvar bazında yapılan çalışmalardır. Çalışmaların çoğunda aşağıdaki şu soruların cevabı aranır: Temel kimyasal reaksiyonlar nerede ve nasıl meydana gelir? Karbonun gazlaştırılmasında belli reaksiyonların meydana gelebilmesi için en uygun model tipi ne olmalıdır? Özel amaçlar için gazlaştırma optimumlaştırılabilir mi? Yanma havasındaki oksijen ile katı yakıt arasındaki kimyasal reaksiyon şu şekilde (homojen olmayan) meydana gelir.

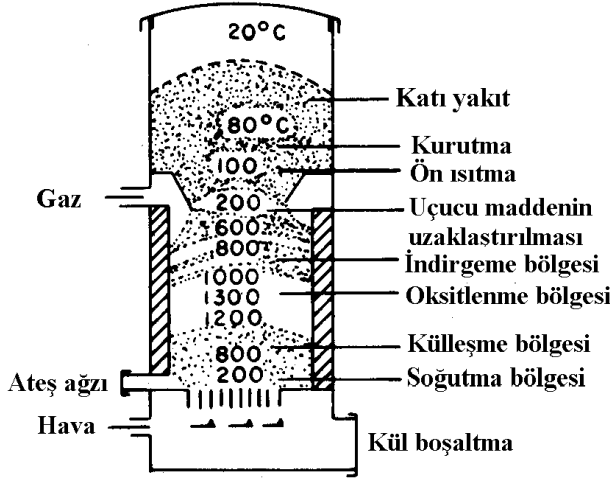


Bu reaksiyonda 12.01 kg karbon giriş havasından sağlanan 22.39 m³ standart oksijenle birleşerek 22.26 m³ CO₂ ve 393.8 kJ ısı açığa çıkmaktadır. Burada önemli bir gözlem ise oksitlenme bölgesine yakıt artık karbonlaşmış bir formda gelir, tüm uçucu maddeler indirgeme ve damıtma arasında işlem görür. Bundan dolayı teorik olarak yanma bölgesinde sadece karbon ve mineral maddeler kalır. Karbonun tamamen yanması ya da karbonmonoksit dönüşürülmesi ile gazlaştırma işlemi tamamlanır, Geri kalan ise sadece küldür. Pratikte bir miktar yanmamış karbon da külün içinde kalır.

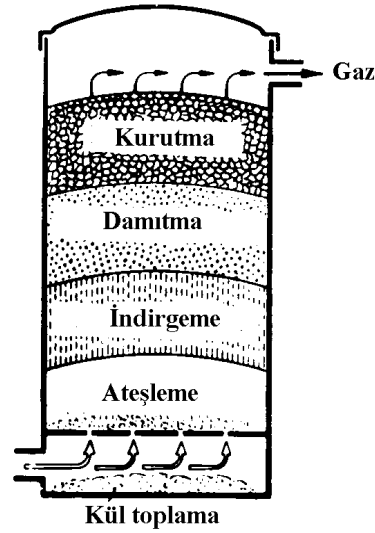
Gönderilen hava, oksijenin yanında bir miktar su buharı, nitrojen ve argon gazı da içerir. Nitrojen ve argon yakıtla herhangi bir reaksiyona girmeden olduğu gibi sistemi terk eder. Buna karşılık hava içerisindeki su buharı sıcak karbonla reaksiyona girer. Bu reaksiyon şu şekilde gerçekleşir:



Bu reaksiyonda, 12.01 kg karbon 22.4 m³ su buharı ile reaksiyona girerek 22.34 m³ hidrojen ve 22.40 m³ karbon monoksit meydana gelir. Bu reaksiyon için 131.4 kJ ısı absorbe edilir. Şekil 10'da bir gazlaştırıcı içerisindeki farklı sıcaklık bölgeleri görülmektedir. Ulaşılabilen en yüksek sıcaklık bölgesi oksitlenme bölgesinde gerçekleşir, bu sıcaklık tasarlanan gazlaştırıcı tipine, kullanılan yakıt tipine bağlı olarak değişir.



Şekil 9. Gazlaştırıcıdaki farklı bölgeler



Şekil 10. Gazlaştırıcıdaki sıcaklık dağılımı

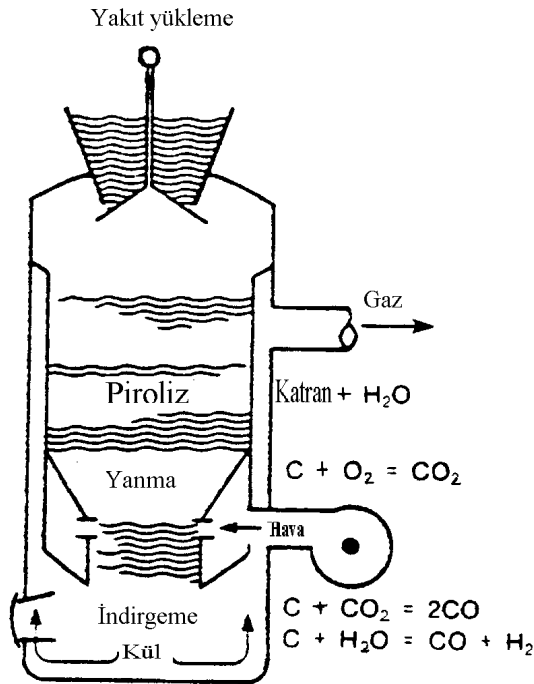
Küçük ölçekli gazlaştırıcılar oldukça basit cihazlardır. Yakıtla dolu silindirik bir gövdeden oluşurlar. Bu gövde üzerinde hava girişi ve gaz çıkışı için bir ağız bulunur. Ayrıca bir de ızgara vardır. Gövde ateş tuğlasıyla örülmüştür. Gazlaştırıcılar, ya taşınabilir olarak yapılırlar ve bir kamyonla yüklenerek istenilen yere götürülürler ya da sabit bir yerde kururlar. Gazlaştırıcıların tasarımında en önemli kısım yakıt kolonuna verilecek havanın gönderilişi biçimi ve yeridir. Buna göre de gazlaştırıcılar sınıflandırılırlar. En önemlileri ise Updraft, Downdraft ve Crossdraft gazlaştırıcılarıdır.

Buna göre de gazlaştırıcılar sınıflandırılırlar. En önemlileri ise Updraft, Downdraft ve Crossdraft gazlaştırıcılarıdır.

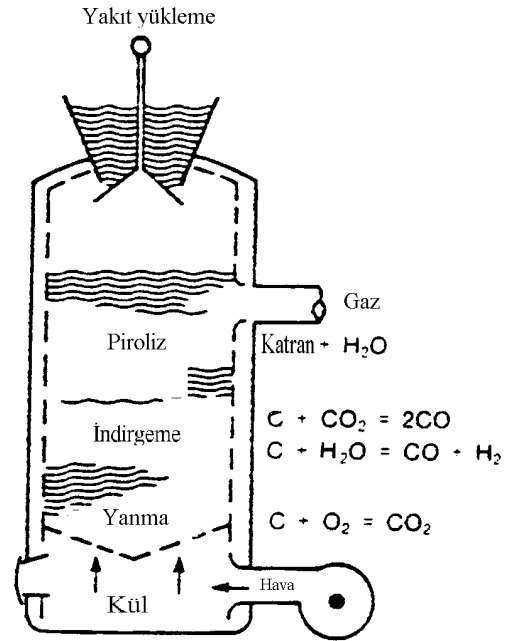
a) Updraft gazlaştırıcı: Hava akışı, yakıt akışına ters olarak ve gaz üreticinin mümkün olduğu kadar alt kısmından sağlanmıştır. Üretilen gaz ise gazlaştırıcının üst kısmından alınmaktadır. Şekil 11'de bir Updraft gazlaştırıcı görülmektedir. Updraft gazlaştırıcılar, sıcak gazların yakıt kolonundan geçerek oldukça düşük sıcaklıkta gazlaştırıcıyı terk ettiklerinden yüksek verime sahiptirler. Gaz tarafından verilen duyulur ısı yakıtı kurutmak ve ön ısıtmak için kullanılmaktadır. Damıtma ve kurutma bölgesinde meydana gelen ürünler ise; su, katran ve yağ buharları olup bunlar oksitlenme bölgesine geçmezler. Bu nedenle bu gazlaştırıcılarda yüksek uçucu maddeye sahip yakıtların gazlaştırılması yapıyorsa, üretilen gaz yüksek oranda katran içerecektir. Gaz kalitesini artırmak ve sıcaklığı külün ergime noktasının altında tutmak için bir çok üretici nemli hava kullanmaktadır. En önemli tasarım parametreleri ise şunlardır: Hava yüklemesinin yöntemi, gaz çıkışının pozisyonu, ızgaranın tipi ve boyutu, nemli hava girişi için ortalama buharlaşan su miktarı, ateş kutusu içi, beklenen özgül gazlaştırma oranı, yakıt yatağının yüksekliği.

b) Downdraft gazlaştırıcı: Updraft gazlaştırıcıda üretilen gaz yüksek oranda katran içerdiğinden içten yanmalı motorlarda kullanılması zordur. Bu problemi ortadan kaldırmak için "Downdraft" gazlaştırıcılar geliştirilmiştir. Bu tipte gönderilen hava, yakıtla aynı yönde yani aşağıya doğrudur ve gaz da gazlaştırıcının alt kısmından dışarı alınmaktadır. Şekil 12' a ve b' de bu tip bir gazlaştırıcı görülmektedir. Bu tasarımın altında yatan temel düşünce ise şu şekildedir: Damıtma bölgesinde açığa çıkan katran, yağlar ve buharlar yüksek sıcaklığa sahip değildir. Bunlar, gaz çıkışından geçmek için kısmi yanma bölgesinden de geçmek zorundadırlar. Burada yüksek sıcaklıktan geçerken parçalanarak gaza dönüşürler. Böylece gaz karışımının içerisinde çok düşük oranda katran kalır. En önemli tasarım parametreleri ise; yanma bölgesinin tasarımı, hava gönderilmesi, ızgara tasarımı, boğaz tasarımıdır. Downdraft tipteki bir gazlaştırıcının hava giriş kısmının üzerinde daraltılmış dikdörtgen bir kesit vardır. Buna boğaz adı verilir ve bu boğaz sıcak karbona homojen bir kalınlık sağlayarak damıtma gazlarının geçişine izin verir. Bu nedenle tasarımda önemli bir parametre olmaktadır. Downdraft tipteki gazlaştırıcılar; yüksek kül oranına, yüksek nem oranına veya yüksek cürufa sahip yakıtların gazlaştırılmasına uygun olmayacaktır. Nem oranının %20 'yi geçmesi durumunda bu sistem için bu yakıtın kullanılması uygun olmayacaktır. Eğer yakıtın kül oranı yüksekse bu durumda ızgaranın döner olması gerekecektir. Bu gazlaştırıcı için önerilen en yüksek kül oranı %5 civarındır. İlave buhar veya suyun sisteme verilmesi "Downdraft" gazlaştırıcılarda çok kullanılmaz. Hidrojen üretimi için yakıt ve havadaki nem yeterli olmaktadır.

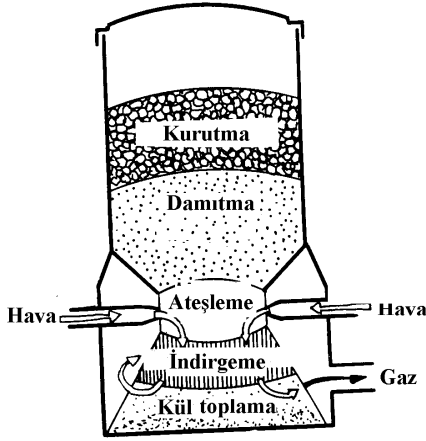
c) Cossdraft gazlaştırıcı: Bu tipteki gazlaştırıcılar Updraft ve Downdraft gazlaştırıcılara karşı belirli avantajlarına rağmen fazla tercih edilmezler. Şekil 13'de bir Crossdraft gazlaştırıcı görülmektedir. Bu tip gazlaştırıcıların en büyük dezavantajları ise; gaz çıkış sıcaklığının yüksek olması, yüksek gaz hızı, CO₂ indirgemesinin zayıf olmasıdır. Crossdraft gazlaştırıcılarda gaz çıkışı da diğer tiplerden farklıdır. Birçok durumda diğer gazlaştırıcılardan farklı olarak kül, ateşleme ve indirgeme bölgeleri bir ızgara ile ayrılmamıştır.



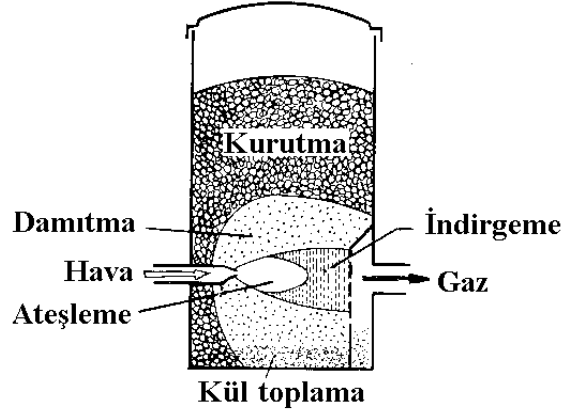
Şekil 11. Updraft gazlaştırıcı



Şekil 12a. Downdraft gazlaştırıcı

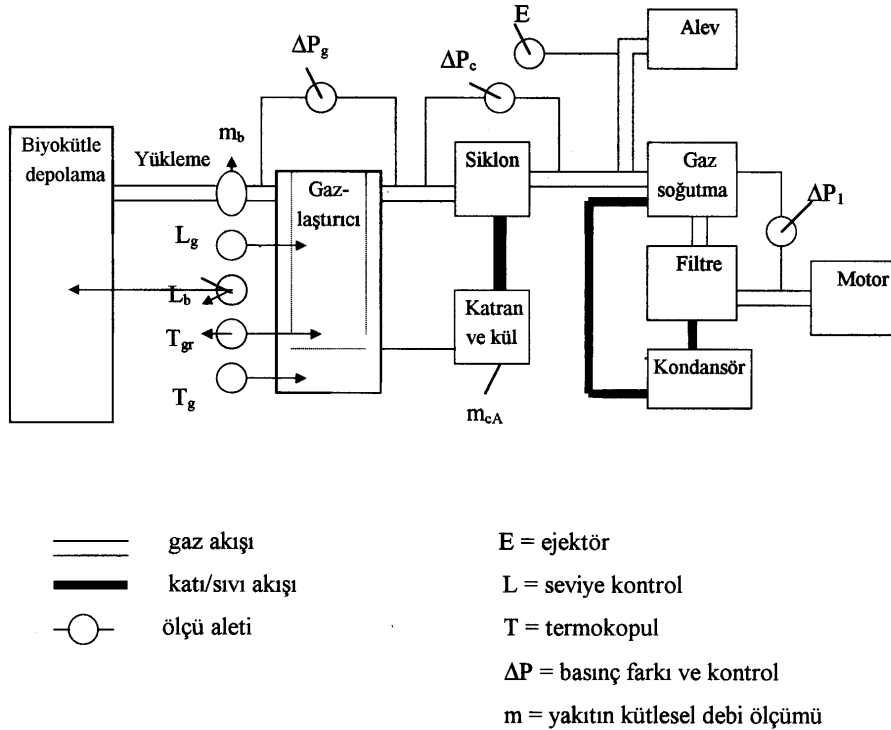


Şekil 12b. Downdraft gazlaştırıcı



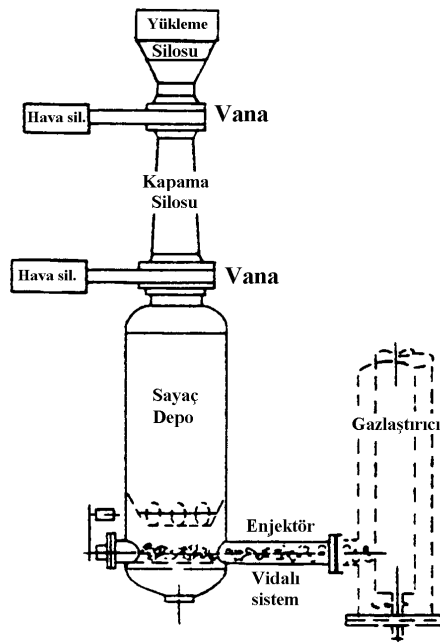
Şekil 13. Crossdraft gazlaştırıcı

Komple bir gazlaştırıcı sistem şu ünitelerden oluşmaktadır: biyokütlenin depolanması ve kurutulması, biyokütlenin gazlaştırıcıya yüklenmesi, katran ve külün gazlaştırıcıdan alınması, gazın sistemden çekilmesi, gazın temizlenmesi ve yakılması, ölçüm ve kontrol sistemi. Komple bir sistem Şekil 14'de verilmiştir. Gaz ve sıvı kaçaqları nedeniyle biyokütlenin gazlaştırıcıya yüklenmesinde problemler meydana gelebilmektedir. Endüstriyel ve zirai katı yakıtların gazlaştırıcıya yüklenmesi uygulamalarında daha ziyade titreştirici, karıştırıcı, taraklı veya dişli sistemler kullanılır. Biyokütlenin atmosfer şartlarından korunması için kapalı silo ve ambarlarda muhafaza edilmesi gerekir. Böylece onların dış etkilerden, yağmur ve rutubetten korunması sağlanır.



Şekil 14. Bir gazlaştırıcı sistem ünitesinin şematik görünüşü

Küçük ölçekli gazlaştırıcılarda (10 kW 'a kadar) yakıtın yüklenmesi elle yapılabilir. Otomatik yükleme sistemi kullanılmaz. Sürekli bir çalıştırma için mutlaka seviye kontrol alarmı veya diğer kontrol sistemleri bulundurulmalıdır. Büyük sistemlerde biyokütle serbest bir akışla bir yükleme hunisinden yerçekiminin etkisi ile yavaşça akar. Ayrıca, bir titreştirici veya bir karıştırıcı da gerekebilir. Biyokütle yakıtı yandan yana veya dik olarak bir kayış veya dişli kovalı elevatörlü bir sistemle de hareket ettirilebilir. Katı yakıt akışının kesikli veya düzensiz olması gazlaştırma esnasında briketlenme, tıkanma gibi problemlere neden olur. Yanma sonucu oluşan kül, gazlaştırıcıdan alınıp depolanmalıdır. Bu kül içerisinde yanmamış karbon da bulunabileceğinden hava sızdırmaz kaptan toplanmalı ve ayrıca da soğutulmalıdır. Kül, yüklenen biyokütle yakıtının kütlelerinin yaklaşık %2-5' ini oluşturur. Soğurken bile patlayıcı gaz çıkartabilir, bu nedenle yeniden tutuşma başlayabilir. Gazlaştırıcılar atmosfer basıncına oldukça yakın (50cm su sütünü değerinin üstünde veya altında) bir basınç değerinde çalışır. Bu nedenle iyi bir sızdırmazlık sistemi gaz veya hava kaçağı olmaması için son derece önemli olmaktadır. Çeşitli tiplerde katı yükleme ve sızdırmazlık sistemleri vardır. Mekanik sızdırmazlıkta gaz geçişi önlenir. Eğer gazlaştırıcı yüksek basınç altında çalıştırılıyorsa bu durumda ilave sızdırmazlık gerekecektir. Şekil 15'de yükleme konisi için iki ayrı sürgüden oluşan bir sistem görülmektedir.



Şekil 15. İki ayrı sürgüden oluşan bir yakıt yükleme sistemi

Gazlaştırıcıda oluşan gazın çekilmesi için uygun bir yöntem bulunmalıdır. Hareket halindeki gaz ve havanın kütlesi, yükleme için gönderilen yakıtın külesinden daha büyük olduğu için gazın çekilmesi için dışarıdan sisteme bir güç harcanması gerekir. Böylece gaz, gazlaştırıcıdan emilir veya basınç altında çekilir. Atmosfer basıncının üzerinde bir çalışma varsa, bu durumda sistemde oluşan gaz kaçağı karbon monoksit içerdiğinden çok tehlikeli olur. Emme durumu söz konusu ise yani atmosfer basıncının altında bir çalışma söz konusuysa bu durumda da patlama tehlikesi daha azdır. Bu işlem için de fan kullanılır. Eksenel akışlı bir fan genellikle 10 mm cıva basıncı altında ve havayı ısı eşanjörlerine veya radyatörlere hareket ettirmek amacıyla kullanılır. Santrifuj tipli fanlar 100 cm basınç üzerine çıkabilirler ve gazlaştırıcı sistemlerde çok tercih edilirler. Bu basıncı üretebilmek için fan ya çok hızlı döndürülür ya da büyük çaplı yapılır. Bu durumda bir miktar katranı da beraberinde tutacağından çok sık temizlenmelidir. Kompresörler, ya havayı gazlaştırıcı içerisine itmek için ya da sistemden negatif basınç altında oluşan gazı çekmek için kullanılırlar. Gazın sistemden çekilmesi için daha fazla bir güce ihtiyaç vardır. Ejectorler tahliye cihazı olup kirli gazı tahliye için kullanılırlar. Hareketli parçası yoktur.

Deneyisel çalışmalarda gazlaştırıcı içerisindeki basınç düşüşleri sürekli olarak ölçülmelidir. Ayrıca, çeşitli noktadaki basınçlar da (gazlaştırıcı çıkışında, temizleme ünitesi çıkışında, eğer gazlaştırıcı atmosfer basıncının üstünde çalışıyorsa hava girişinde) ölçülmelidir. Gazlaştırıcı içindeki basınç

genellikle atmosfer basıncına oldukça yakındır. Genellikle basınçlar cm su sütunu cinsinden ölçülür. Basınç düşüşleri ise hassas basınç fark sondaları veya U borulu manometreler yardımıyla ölçülür. Gaz debisi ölçümü için genellikle rotametre kullanılır. Kirli gaz rotametreden geçirilmez. Rotametre ile giren havanın debisini de ölçmek mümkündür. Bu durumda gazın basıncına bağlı olarak ayrıca kalibrasyonunun da yapılması gerekir. Ayrıca diğer debi ölçüm yöntemlerinden pitot tüpü, sukbe, lüle veya venturimetre de kullanılır. Katı yakıt yükleme debisini de sürekli ölçmek gerekecektir. Bir çok gazlaştırıcıda otomatik yükleme yapılmaktadır. Seviye kontrolü yardımıyla yükleme oranı sürekli kontrol edilmektedir. Seviyeler arasındaki ağırlık değişimini kaydederek de kontrol yapılmaktadır.

Düşük sıcaklık ölçümlerinde cıvalı termometreler kullanılırken yüksek sıcaklık ölçümlerinde ise K- tipi kromel alimel termokupullar tercih edilir. Optik piranometrelerle de 300 °C' dan 4000 °C 'a kadar sıcaklıklar ölçülebilir. Ticari uygulamalarda kullanılan gazlaştırıcılar; emniyetli, güvenilir ve kullanışlı olmalıdır. Bu nedenle otomatik bir çalıştırmada uygun kontrol ve uyarı sensörleri mutlaka olmalıdır. Burada şu kontroller yapılmalıdır: yakıt seviye kontrolü, basınç ve sıcaklık kontrolü, bilgisayarlı data logging ve kontrolü.

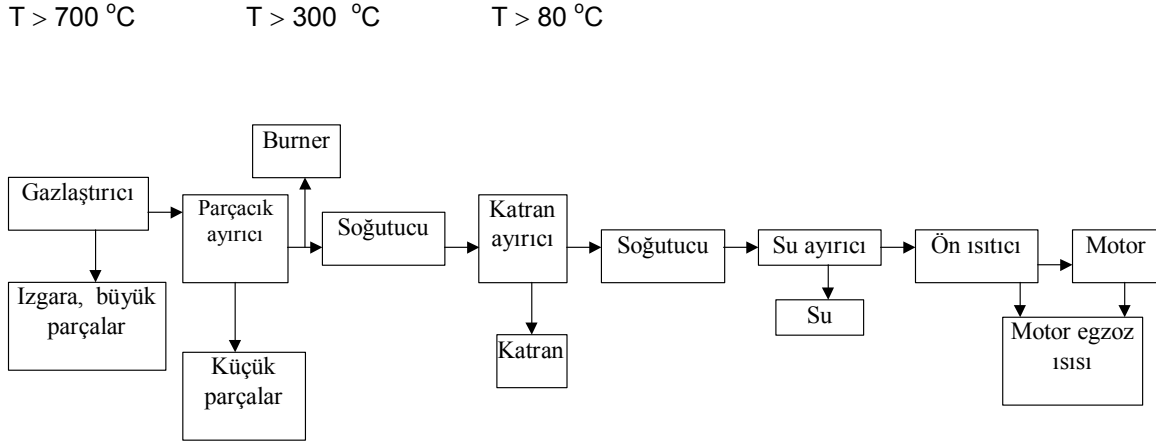
Biyokütlenin gazlaştırılması ile mekanik ve elektrik enerjisi üretmek mümkündür. Tarihte küçük gaz üreteçleri ile mekanik güç üretimi yapılmıştır. Büyük ölçekli gazlaştırıcılarla gaz üretildiğinde, bu gazı boru hatlarıyla nakledilip pişirme, ısıtma ve aydınlatma amaçlı kullanmak mümkün olmaktadır. Küçük gaz üreteçlerinde üretilen gaz, ikinci dünya savaşında kamyon ve otobüslerde kullanılmıştır. 'Updraft' tipteki gazlaştırıcılardan elde edilen gaz yüksek miktarda katran ihtiva ettiğinden motor uygulamalarında kullanılamazlar 'Crossdraft' tipteki gazlaştırıcılar daha hızlı tepki zamanına sahip olmalarına rağmen sadece düşük katrana sahip yakıtlar için uygundur 'Downdraft' gazlaştırıcılar daha hızlı reaksiyon zamanına sahip olup, katran oranı düşük temiz gaz ürettiği için motor uygulamalarında rahatlıkla kullanılırlar. Tarihsel olarak bakıldığında üretilen bu gazın içten yanmalı motorlarda kullanıldığı görülür. Bununla birlikte gazlaştırıcıdan üretilen gazın gaz türbinlerinde de kullanımı günümüzde önemli bir uygulama alanı olmaktadır. Yani direkt elektrik enerjisi üretiminde yüksek verimle (%25-35) kullanılması mümkündür. Gaz türbinlerinin gelişimi üretilen gazın motorlarda kullanımının bırakıldığı dönemlere rastladığından bu tip eski bir uygulama yoktur. Üretilen gaz, elektrik gücü üretimi için son derece önemli bir türbin yakıtı olacaktır. Burada kullanılması için gazın çok temiz ve alkali metallerden arındırılmış olması gerekmektedir. Üretilen gazın diğer bir potansiyel kullanım alanı ise yakıt hücrelerinde kullanılarak elektrik enerjisi üretimidir. Yakıt hücresi, içerisinde hareketli parça olmaksızın kimyasal enerjiyi direkt olarak elektriğe çeviren elektro-kimyasal bir alettir. Gelecekte yakıt hücreleri bu gazı kullanabilecektir. Bu konuda yoğun çalışmalar yapılmaktadır [3,4].

GAZ VE DİĞER ATIKLARIN TEMİZLENMESİ

Gaz üreticiden çıkan gaz bir karışım olarak N₂ (nitrojen), H₂ (hidrojen), CO₂ (karbondioksit), CO (karbonmonoksit), CH₄ (metan) ve az miktarda C₂H₂ (asetilen), C₂H₆ (etan), katran buharı, mineral buharı, su buharı, toz (karbon ve kül) sülfür ve nitrojen bileşiklerinden oluşur. Bunların içerisinde yanabilir olanlar ise şunlardır: H₂, CO, CH₄, C₂H₂, C₂H₆ ve katran buharıdır. Diğerleri katran dahil korrosif ürünlerdir, kirletici ve burnerde veya içten yanmalı makinalarda kullanılması durumunda ciddi zararlara neden olurlar. Bu nedenle bu maddelerin gazlardan temizlenmesi gerekir.

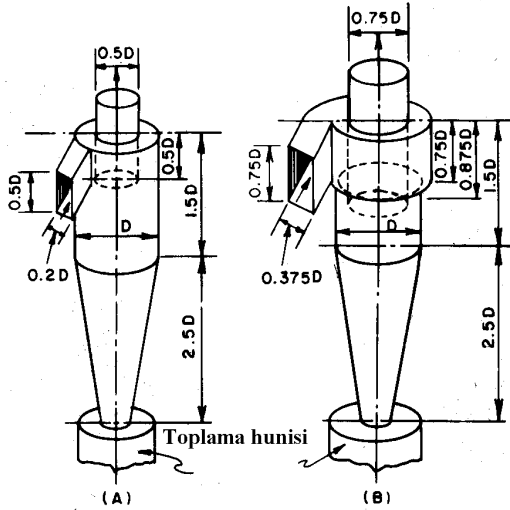
Gazlaştırıcıdan çıkan gaz bir yakma sisteminde ısı üretmek amacıyla kullanılacaksa 'Updraft' tipte gazlaştırıcı tercih edilir [6] Bu durumda gazın temizlenmesine gerek yoktur. Eğer gaz bir 'Downdraft' gazlaştırıcıdan elde edilip motor uygulamasında kullanılacaksa bu durumda içerisindeki katranından temizlenmesi gerekir. 'Downdraft' tip gazlaştırıcıdan çıkan gaz sıcak olup, %0.65 civarında katran ve diğer molekülleri içerir. Şayet bu moleküller gazdan temizlenmezse, motor parçalarında bozulmalara neden olurlar. Bakım, tamir ve düzenleme maliyeti gazlaştırıcının işletim maliyetinden çok daha fazladır. İyi bir gaz temizleme sistemini tasarlanması için kirliliğe neden olan maddelerin büyüklük ve boyutlarının belirlenmesi gerekir. Temiz gaz üretimi için birinci adım, minimum katran çıkışına izin veren bir gazlaştırıcı tasarlamaktır. İkinci adım ise; parça, katran, su gibi elamanların gazdan uzaklaştırılması için kullanılacak sistemlerin basit ve ucuz olarak sağlanmasıdır. Gazlaştırıcıdan gelen gaz derhal ve ani bir işlemde soğutulursa kömür, katran ve suyun tamamı birden ve katranımsı kıvamda uzaklaştırılır. Şayet 300 °C' sıcaklığın üzerinde bir temizleme yapılırsa, katran 100 °C'

sıcaklığın üzerinde uzaklaştırılırken suyun uzaklaştırılması için gaz sıcaklığının 30-40 °C' a düşürülmesi gerekir. Böylece katran ve su gazdan ayrı ayrı alınır (Şekil 16). Verimli bir gaz temizlemede üçüncü adım ise toplanan materyalin çökeltilip saklanacağı uygun bir yer seçimi yapmaktır. Temizleme sisteminde iki farklı yöntem uygulanır. Birinci yöntemde tek akış olup, katran veya diğer parçaların sistemde birikmesi sonucu gaz akışı kesilebilir ve bunun sonucu olarak basınç düşüşü artar. Bu nedenle sistem sık sık temizlenmelidir. Bu tip sistemler gazlaştırıcılarda fazlaca kullanılmazlar. Genelde gaz temizleme için 'out line' cihazlar kullanılır. Bunlar; siklon ayırıcılar, ıslak gaz temizleyiciler ve elektrostatik tutuculardır. Tuttukları madde normal gaz akışının dışındadır. Bu nedenle gaz akışında basınç kaybına neden olmazlar. Yani iki farklı akış vardır [4].

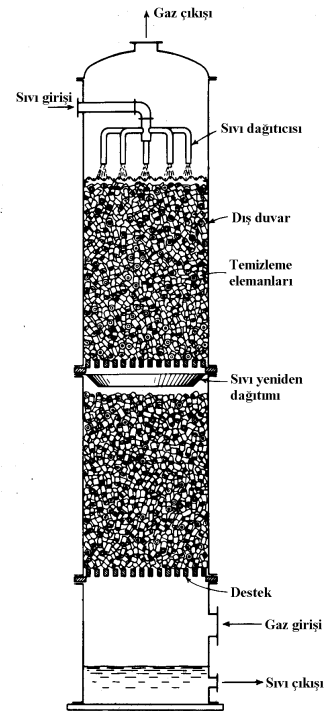


Şekil 16. Farklı sıcaklık bölgelerinde gazın temizlenmesi

Gaz akışı içerisinde parçacıkların uzaklaştırılmasında kullanılan yöntemler parçacıkların kütlesine bağlıdır. En basit yöntem parçacıkların, gaz akışının yukarıya veya yatay yönde olması durumunda yer çekimi etkisi ile ortamdan alınmasıdır. Santrifüj ayırıcılarda gaz içindeki parçalar santrifüj kuvveti nedeniyle ayrılmaktadır. Yer çekimi esaslı ayırıcılar başlangıçta yaygın olarak kullanılmışsa da günümüzde hantal oldukları için fazla tercih edilmezler. Siklon ayırıcılar, basit ve ucuz toz ve damla tutuculardır. Gazlaştırıcılarda yaygın olarak kullanılırlar. Sıcak gaz içerisindeki 10 mikrondan daha büyük parçaları siklon ayırıcılarla tutmak mümkündür. Siklonlar basit ve pahalı olmayan toz ve damla tutuculardır. Gazlaştırıcılarda geniş bir şekilde kullanılmaktadırlar. Şekil 17'de sıcak gaz siklon ayırıcısı görülmektedir. Bu tip ayırıcılar 10 mikrondan daha büyük parçaları tutmak için oldukça uygun olup, gaz soğutucusundan önce ön filtreleme görevi yaparlar. Siklon ayırıcılar endüstriyel uygulamalarda da yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer bir basit gaz temizleyici ise Şekil 18'de gösterilen fıskiye tipli siklondur. Basitçe bir silindir ve su için fıskiyelerden oluşmaktadır. Optimum fıskiye damla boyutu ise 500 1000 mikron arasında seçilir. Bu tip gaz temizleyiciler özellikle ağır toz yüklerinin 50g /Nm³ ön filtrelenmesinde oldukça iyi görev yaparlar. Gaz içerisindeki su buharı gazın ısı değerini düşürür ve gazı sulandırır. Bunun sonucu olarak motor gücü düşer. Gaz içerisindeki istenmeyen bu su buharı, gazı soğutarak içerisindeki su buharını yoğunlaştırma yöntemi ile çekilmesi sağlanır. Gaz soğurken katran da 300°C' in altında yoğunlaşmaya başlar. Gaz içerisindeki su buharı gaz sıcaklığı 70 °C civarında iken % 25 olacak bu sıcaklık 40°C in altına düşünce %8 den daha az olacaktır. Tüm bu işlemlerden geçen gazın ayrıca kurutulması gerekecektir. Üretilen gazdan uzaklaştırılan kömür ve kül tehlikeli olmayan maddelerdir. Emniyetli bir şekilde yakılabilir veya toprağa verilebilir. Son zamanlarda asfalt yapımında dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Odun kömürü temiz yakıt olarak uygun bir yakacaktır. Gazlaştırıcının ürettiği 0.5gr/Nm³ daha fazla katran motor uygulamaları için uygun değildir. Toplanan katran gazlaştırıcıda yeniden kullanılmaz. Herhangi bir yerde yakılmaz, bu nedenle tehlikeli ve zararlı bir madde olarak kabul edilir. Akarsuya veya toprağa verilmesi uygun değildir. Üretilen gazdan yoğunlaştırılan su da zengin miktarda katran ve fenol içermektedir. Fenol çok iyi bir mikrop öldürücü olarak bilinmektedir. Bu nedenle toprak üzerine verilmesi durumunda katı bakterileri öldürür.



Şekil 17. İki farklı boyutta tasarlanmış siklon ayırıcılar



Şekil 18. Fıskiye tipli gaz temizleyici

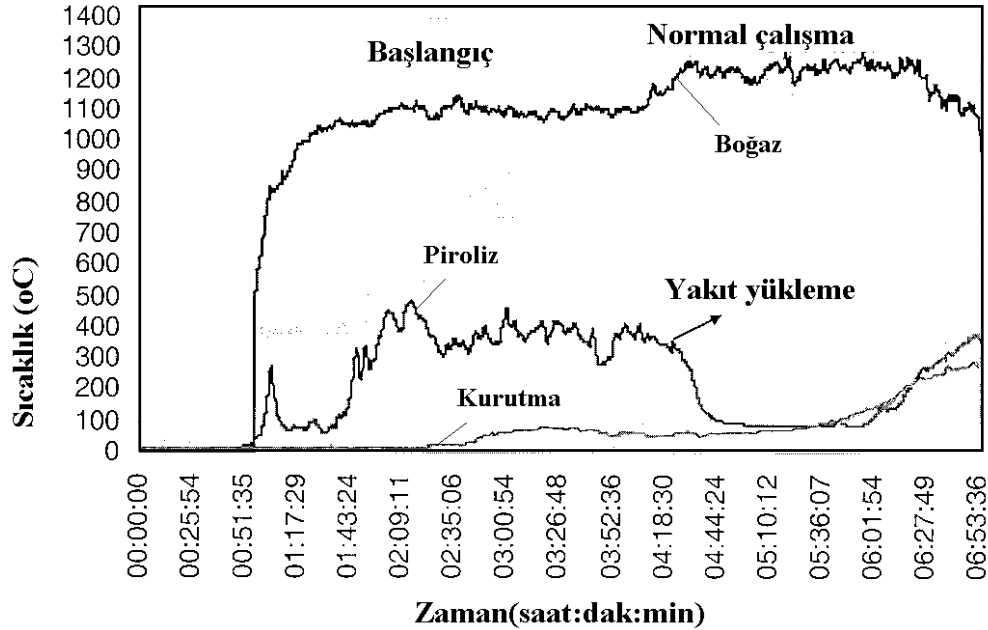
FINDIK KABUĞUNUN GAZLAŞTIRILMASINA AİT DENEYSEL SONUÇLAR

Karadeniz bölgesinin en önemli ticari ürünü olan fındık iç fındık olarak dünya pazarına sürülmektedir. Fındık kabukları ise iç piyasada evlerde soba yakıtı olarak kullanılmaktadır. Çalışmanın bu kısmında Doğu Karadeniz bölgesinde yetiştirilen fındıklara ait 500 kg kabuk İngiltere'ye götürülmüş ve Newcastle üniversitesi Kimya ve proses mühendisliği bölümünde tasarlanarak imal edilmiş bir downdraft gazlaştırıcı ünitesinde gazlaştırma deneyleri yapılmıştır. Tablo 2.'de fındık kabuklarına ait kısa ve elementel analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 2. Fındık kabuğuna ait kısa ve elementer analiz sonuçları

Kısa analiz sonuçları		
	Birinci analiz (%)	İkinci analiz (%)
Nem	11.90	12.10
Uçucu madde	63.94	60.54
Sabit karbon	23.22	26.46
Kül	0.94	0.90
Elementer analiz sonuçları		
	Ölçülen 1(%)	Ölçülen 2 (%)
C	47.10	47.06
H	5.54	5.84
N	0.10	0.33
S	0.86	0.81
O	45.81	45.31
Kül	0.59	0.65
KD(kalorifik değer)	19.82 MJ/Kg (kuru halde)	

Şekil 19.'da fındık kabuğunun downdraft bir gazlaştırıcıda yakılması durumunda gazlaştırıcının farklı bölgelerindeki meydana gelen sıcaklık dağılımlarının zamana bağlı olarak verilmiştir. Burada sıcaklık dağılımı üç farklı bölge için (kurutma, piroliz ve boğaz bölgeleri) verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi normal işletme koşullarında boğaz bölgesinin sıcaklığı 1200°C 'a kadar çıkmıştır. Sisteme ilave yakıt yüklendiğinde piroliz bölgesinde sıcaklık değerleri düşmüştür.



Şekil 19. Fındık kabuğu için downdraft gazlaştırıcıda yapılmış deney sonuçları

Fındık kabuğunun gazlaştırılması sonucu açığa çıkan gazlar gaz kromatografi cihazında analiz edilmiştir. Elde edilen gaz analizi sonuçları Tablo 3'de verilmiştir. Bu gazlardan karbon monoksit, hidrojen ve metan yanıcı nitelikli gazlardır. Gaz bileşiminin toplam kalorifik değeri ise 5.40 MJ/Nm³ olarak bulunmuştur [6,7].

Tablo 3. Fındık kabuğunun gazlaştırılması sonucu açığa çıkan gazlar ve hacimsel yüzdeleri

Bileşim	%, Hacim
H ₂	13.13
O ₂	0.93
N ₂	53.33
CH ₄	2.18
CO	20.66
CO ₂	9.52
C ₂ H ₂	0.15
C ₂ H ₆	0.11

SONUÇLAR

Bu çalışmada gazlaştırıcı sistemler tanıtılmaya çalışılmıştır. Ticari olarak kullanım alanı bulan üç farklı gazlaştırıcıya ait tasarım esasları verilmiştir. Ayrıca gazlaştırıcı sistemin diğer üniteleri de kısaca tanıtılarak bir downdraft gazlaştırıcıda fındık kabuğunun deney sonuçları verilmiştir. Deneysel çalışma sonuçlarından Downdraft tipteki bir gazlaştırıcının; ekonomik işletimi, uygulama alanlarının çokluğu, kolay kullanımı ve yüksek verimliliği ile kendisini kısa sürede amorti ettireceği sonucuna varılmıştır. Bu tip bir gaz üreticinde, % 13 neme sahip 1 kilogramlık fındık kabuğu yakılması durumunda 2.45 m³ yanabilir gaz üretilmektedir. Diğer bir deyişle, 1.2 Kg'lık fındık kabuğundan saate 1 kW elektrik enerjisi ve 5 kW ısı enerjisi üretecek kadar gaz üretimi sağlanabilmektedir. Bu oran düşük nemli yakacalarda daha da yükselebilmektedir. Otomatik hava-gaz karışımı sağlanarak değişik ölçeklerde fevkalade çalıştırılabilir. Fındık kabuklarının bir kere yüklenmesi ile gaz üretici tüm kapasite ile 6-7 saat çalışabilir. Daha sonra, sisteme yakacak ilavesi, yakacağın durumuna göre el ile veya otomatik olarak kolayca sağlanabilir. Belirli bir süre sonra sistemden gaz çıkışı daha fazla istenmediği takdirde hava giriş vanaları kısılarak sistem geçici olarak askıya alınabilir ve istenildiği takdirde yüksek kapasite işleme tekrar devam edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Yorgun, S., Şensöz, S., Şölener, M., Biyokütle enerji potansiyeli ve değerlendirme çalışmaları, Uzman Enerji, 44-48, Yıl 3, Sayı 8, 1998.
- [2] Status Report, Energy from biomass, Friedr. Vieweng and Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 1986.
- [3] Kaupp, A., Goss, R., Small scale gas producer engine systems, , Friedr. Vieweng and Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 1984.
- [4] Reed, B.T., Das, A., Handbook of biomass downdraft gasifier engine systems, The Biomass Energy Foundation Press, 1996.
- [5] Olgun, H., Doğru, M., Malik, A.A., Howarth, C.R., Gasification and thermochemical studies bio and waste fuels with particular reference to hazelnut shells, Second Trabzon International Energy and Environment Synposium, TIEES-98, 26-29 July 1998, 309-313, 1998.
- [6] Doğru, M., Howarth, C.R., Malik, A.A., Olgun, H., Performance of small scale updraft biomass gasifier, Second Trabzon International Energy and Environment Synposium, TIEES-98, 26-29 July 1998, 305-308. 1998.
- [7] Doğru, M., Howarth, C.R., Malik, A.A., Olgun, H., A study of bio-nut shells for gasification, Fourth Biomass Conferences of Americas, 27 August-3 September 1999, Oakland, California, 1999.

ÖZGEÇMİŞ

Hayati OLGUN

1958 yılı Gümüşhane doğumludur. 1981 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. Aynı üniversiteden 1991 yılında doktor ünvanını almıştır. 1999 yılı Haziran ayına kadar aynı üniversitede öğretim üyesi olarak çalıştıktan sonra TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi'ne Uzman Araştırmacı olarak geçmiştir. Çalışmaları yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde yoğunlaşmıştır.

Murat DOĞRU

1973 yılı Ankara doğumludur. 1994 yılında Ortadoğu Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. 1996 yılında Newcastle Üniversitesi Kimya ve Proses Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisansını tamamlamış olup aynı üniversitede doktora çalışmalarına devam etmektedir. Çalışmalarını özellikle "Downdraft" gazlaştırıcılar üzerine yoğunlaştırmıştır.

Colin R. HOWARTH

Şu anda Newcastle Üniversitesi Kimya ve Proses Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi olup doktorasını Sheffield Üniversitesi Yakıt Teknolojisi ve Kimya Mühendisliği Bölümü'nde yapmıştır. Ayrıca Open Üniversitesi'nde de yarı zamanlı öğretim üyeliği görevinde bulunmaktadır.