



GAZİ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MM423
BİTİRME TASARIM PROJESİ – I

BİYOKÜTLEDEN PİROLİZ YÖNTEMİ İLE SIVI ÜRÜN ELDESİ

ALİ TALİP DEMİR
151150020

DANIŞMAN
PROF. DR. HÜSEYİN TOPAL

2020

İçindekiler

ABSTRACT	1
ÖZET	1
1.GİRİŞ	2
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
3.TEORİ	14
3.1 BİYOKÜTLE	14
Kimyasallar	16
Enerji	16
Taşıma Yakıtı	18
3.1.1 BİYOKÜTLE DÖNÜŞÜMÜ	19
3.1.2 BİYOKİMYASAL DÖNÜŞÜM	19
3.1.3 TERMOKİMYASAL DÖNÜŞÜM	20
Yanma	21
Piroliz	23
Gazlaştırma	24
3.2 PİROLİZ	26
3.2.1 PİROLİZ ÜRÜNLERİ	28
Katı	28
Sıvı	28
Gaz	29
3.2.2 PİROLİZ TÜRLERİ	30
3.2.3 Yavaş Piroliz	31
3.2.4 Hızlı Piroliz	31
3.2.5 Flaş Piroliz	31
3.2.6 Ultra Hızlı Piroliz	32
3.2.7 Ortam Varlığında Piroliz	32

3.2.8 Piroliz Ürünü Verimi	32
3.3 BİYOKÜTLE BİLEŞİMİNİN ETKİSİ	33
Parçacık boyutu	34
3.4 PİROLİZ SICAKLIĞININ ETKİSİ	34
3.5 ISINMA HIZININ ETKİSİ	36
3.6 PİROLİZ KİNETİĞİ	36
3.6.1 Fiziksel Yönler	37
3.6.2 Kimyasal Yönler	38
Selüloz	38
Hemiselüloz	40
Lignin	40
3.6.3 Piroliz Kinetik Modelleri	41
3.7 PİROLİZDE ISI TRANSFERİ	42
3.7.1 Kütle Transfer Etkisi	43
3.7.2 Piroliz Ototermal mi?	43
3.8 PİROLİZ TİPLERİ	44
3.8.1 Sabit Yataklı Piroliz	44
3.8.2 Kabarcıklanma Yatağı Pirolizatörü	47
3.8.3 Dolaşan Akışkan Yataklı Piroliz	48
3.8.4 Ultra Hızlı Piroliz	48
3.8.5 Ablatif Piroliz	49
3.8.6 Döner Koni Pirolizatörü	49
3.8.7 Vakumlu Piroliz	50
3.9 PİROLİZATÖRTASARIMI	50
3.9.1 Piroliz yoluyla Sıvı Üretimi	50
3.9.2 Piroliz yoluyla Odun Kömürü Üretimi	51
4.SONUÇ	52

ABSTRACT

There has been an enormous amount of research in recent years in the area of thermo-chemical conversion of biomass into bio-fuels (bio-oil, bio-char and bio-gas) through pyrolysis technology due to its several socio-economic advantages as well as the fact it is an efficient conversion method compared to other thermo-chemical conversion technologies. However, this technology is not yet fully developed with respect to its commercial applications. In this study, more than publications are reviewed, discussed and summarized, with the emphasis being placed on the current status of pyrolysis technology and its potential for commercial applications for bio-fuel production. Aspects of pyrolysis technology such as pyrolysis principles, biomass sources and characteristics, types of pyrolysis, pyrolysis reactor design, pyrolysis products and their characteristics and economics of bio-fuel production are presented. It is found from this study that conversion of biomass to bio-fuel has to overcome challenges such as understanding the trade-off between the size of the pyrolysis plant and feedstock, improvement of the reliability of pyrolysis reactors and processes to become viable for commercial applications. Further study is required to achieve a better understanding of the economics of biomass pyrolysis for bio-fuel production, as well as resolving issues related to the capabilities of this technology in practical application.

ÖZET

Son yıllarda biyokütlenin piroliz teknolojisi ile biyo-yakıtlara (biyo-yağ, biyo-kömür ve biyo-gaz) termo-kimyasal dönüşümü alanında, çeşitli sosyo-ekonomik avantajları nedeniyle muazzam miktarda araştırma yapılmıştır. Diğer termo-kimyasal dönüşüm teknolojilerine kıyasla verimli bir dönüştürme yöntemi olması gerçeğidir. Ancak bu teknoloji, ticari uygulamaları açısından henüz tam olarak geliştirilmemiştir. Bu çalışmada, piroliz teknolojisinin mevcut durumuna ve biyoyakıt üretimi için ticari uygulamalar için potansiyeline vurgu yapılarak diğer yayınlar gözden geçirilmiş, tartışılmış ve özetlenmiştir. Piroliz teknolojisinin piroliz ilkeleri, biyokütle kaynakları ve özellikleri, piroliz türleri, piroliz reaktör tasarımı, piroliz ürünleri ve biyoyakıt üretiminin özellikleri ve ekonomisi gibi yönleri sunulmaktadır. Bu çalışmadan, biyokütlenin biyo-yakıtı dönüştürülmesinin, piroliz tesisi ve hammadde arasındaki ödüleşimin anlaşılması, piroliz reaktörlerinin güvenilirliğinin iyileştirilmesi ve ticari uygulamalarda uygulanabilir hale gelme süreçleri gibi zorlukların üstesinden gelmesi gerektiği bulunmuştur. . Biyo-yakıt üretimi için biyokütle pirolizinin ekonomisini daha iyi anlamak ve bu teknolojinin yetenekleriyle ilgili sorunları pratik uygulamada çözmek için daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir.

1.GİRİŞ

Enerji modern dünyada iş yapabilme becerisidir. Modern teknoloji, insanoğlunun bir enerji formunu alıp bunu başka bir enerji formuna dönüştürebilmesi sayesinde şu anda bulunduğu seviyeye gelebilmiştir ve modern teknoloji ilerlerken halihazırda var olan enerji kaynaklarının da bu gelişim hızına paralel olarak ilerlemesi, kullanılan enerji miktarının da yine paralel olarak artması gerekmektedir.

Piroliz, biyokütleden enerji elde etme yollarından bir tanesidir. Ve bu çalışmanın kalanında atık olarak atılacak olan biyokütlenin piroliz yöntemi ile yeniden değerlendirilecektir. Piroliz herhangi bir organik ürüne kolayca uygulanabilen bir termokimyasal işlemdir. Yunanca ısı ve ateş anlamlarına gelen “pyro” ve parçalanmak anlamına gelen “lyse” kelimelerinden oluşur. Organik maddelerin yüksek sıcaklıkta ve oksijensiz ortamda termal kırılmaya uğratılması sürecine piroliz denir.

Piroliz işleminin gerçekleşmesi için önce ana reaktörün içindeki organik ürünler, oksijensiz ortamda 300-1000 santigrat derece arası sıcaklıkta termal bozunmaya uğratılır. Termal bozunma sonucunda gaz fazına dönüşen organik ürünler, katalitik konverter ünitesine gelir. Bu aşamada katalizör görevi üstlenen ünite ile işlem hızlandırılır. Yardımcı reaktör bölgesinde uygun sıcaklıkta yoğunlaşabilen gazlar pirolitik sıvıya, LPG'ye, karbon siyahı ve parafine dönüştürülür

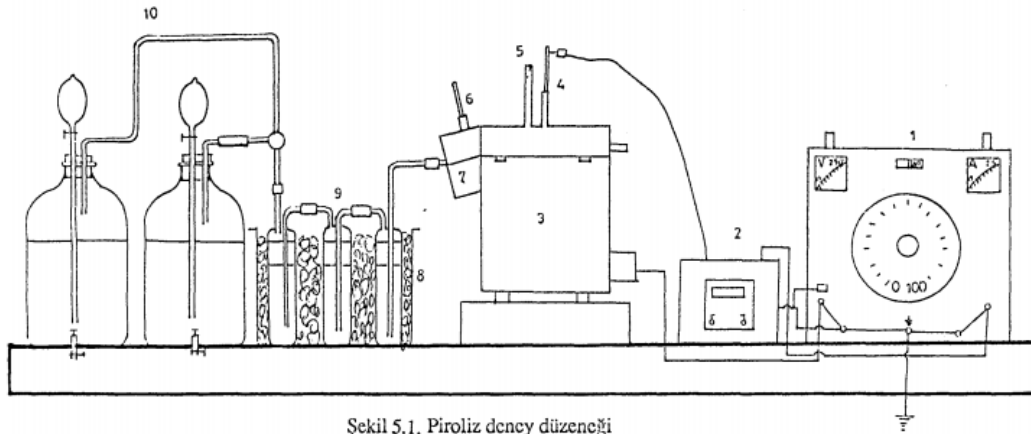
Piroliz sonrası elde edilen ürünler; pirolitik yağlar, karbon siyahı, paraffin, yanıcı gazlardır. Piroliz işlemine sonuçlarını optimum düzeyde tutabilmek adına piroliz işlemi sırasında dikkat edilmesi gereken adımlar da; işlenmiş malzemenin cinsi, işlem sıcaklığı(yüksek sıcaklıklarda fazla miktarda gaz açığa çıkarken düşük sıcaklıklarda yüksek kalitede katı ürün açığa çıkar.), piroliz odasında malzemenin kalma süresi, parka büyüklüğü ve fiziksel yapı(malzemenin pirolize maruz kaldığı hızı etkiler.) gibidir ve verimli bir işlem için bu adımlara dikkat edilmelidir.

Piroliz sisteminin avantajları; yakma tesislerinden farklı olarak dioxin ve furan gibi çok zararlı gazlar açığa çıkmadığından gaz arıtma sistemlerine ihtiyaç duyulmaz. Çöp depolama alanlarına ve sera gazı emisyonlarına giden atıkları azaltır. Biyogaz ve çöp gazı üretim teknolojilerine kıyasla çok daha az alan ihtiyacıyla, çok daha yüksek kapasitelerde üretim yapılabilir. Sistemin tüm çıktıları satılabilir ürün niteliğindedir. Atık üretmediği için sonrasında bir atık bertaraf maliyeti getirmez. Su kirliliği riskini azaltır. Çöp gazı üretim

teknolojilerine kıyasla, çok daha yüksek verimlilikte ve hızda enerji üretimi sağlar. Yüksek ya da düşük ısıl değere sahip her türlü atığın muamelesi için uygundur. Çok çeşitli hammaddelerin işlenmesi için basit ve ucuz bir teknolojidir. Yerli kaynaklardan enerji üreterek, ülkenin ithal enerji kaynaklarına bağımlılığını azaltma potansiyeline sahiptir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu konuda ülkemizde yapılan oldukça eski araştırmalardan bir tanesini, 1992 yılında Gerçek yapmıştır. Bu araştırmasında ayçiçeği yağ endüstrisi yan ürününün alternatif enerji kaynağı olarak incelenmesinde konu almıştır. Biyokütleden sıvı yakıt üreterek dünyada hızla tükenmekte olan fosil yakıtlar yerine bir alternatif olması yönünde yapılan çalışmada, enerji kaynağı olarak incelenen ayçiçek pres küspesinin nem, uçucu madde, yağ, selülozi proteini kül ve ısı değer tayinleri yapılmıştır. Ayçiçek pres küspesine dönüşüm süreci olarak değişik proses şartlarında piroliz uygulanmış, sıvı ürün ve piroliz verimleri hesaplanmıştır. Elde edilen piroliz katranının ısıl değeri ölçülmüş ve katran sütun kromatografisinde üç ayrı çözücü grubu ile fraksiyonlarına ayrılmış, uygulanan çözücülerin verimleri hesaplanmıştır. Fraksiyonların IR spektrumları alınarak fonksiyonel grupları belirlenmiştir.

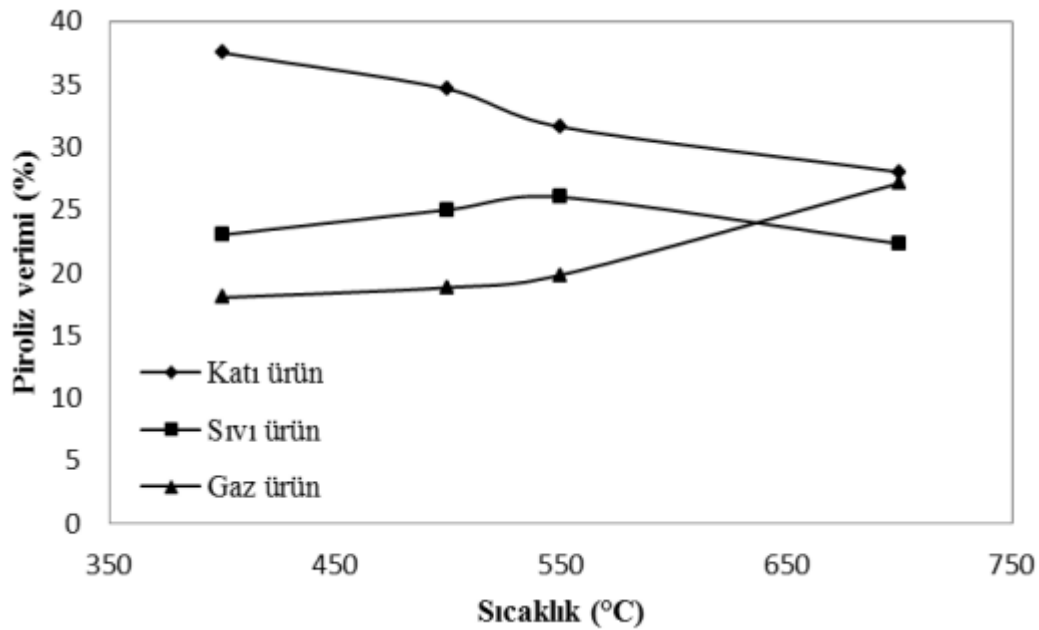


Şekil 5.1. Piroliz deney düzeneği

1. Variak
2. Kontaktör ve dijital gösterge
3. Fırın ve retort
4. Isıl çift
5. Gaz besleme borusu

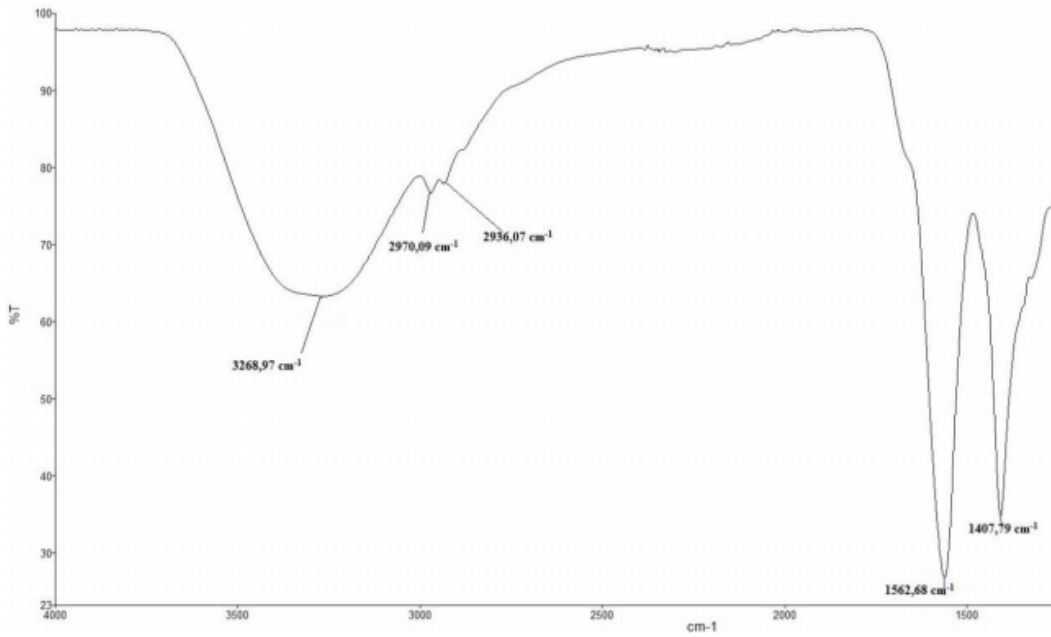
6. Termometre
7. Retort çıkış borusu ısıtıcısı
8. Buz banyosu
9. Sıvı ürün toplama kapları
10. Gazometreler

Poyraz, 2012 de yaptığı çalışmasında pamuk tarla atıklarının pirolizini konu almıştır. Çalışmasında, ülkemiz için büyük bir potansiyele sahip olan pamuk sapları biyokütle adayı olarak seçilmiş ve pirolizi gerçekleştirilmiştir. Deneyler; yavaş ısıtma hızında ($5^{\circ}\text{C dk}^{-1}$), 400, 500, 550, 700°C sıcaklıklarda; 50, 100, 200 $\text{cm}^3 \text{dk}^{-1}$ sürükleyici gaz (N_2) akış hızlarında yapılmış olup, piroliz sıcaklığı ve sürükleyici gaz akış hızlarının piroliz ürün verimlerine etkisi araştırılmıştır. Deney sonucunda en yüksek sıvı ürün verimine 550°C piroliz sıcaklığında ve 100 $\text{cm}^3 \text{dk}^{-1}$ azot akış hızında % 26,0 ile ulaşılmıştır. Deneyler sonucu elde edilen sıvı ürünün elementel analizi yapılmış, ısı değeri saptanmış, FTIR ve $^1\text{H-NMR}$ spektrumları alınmıştır. Daha sonra sıvı ürün, sütun kromatografisinde fraksiyonlandırılmış, bu fraksiyonların FTIR spektrumları alınmış, elementel analizleri gerçekleştirilmiştir. n-Pentan fraksiyonunun hidrokarbon dağılımını saptamak için GC kromatografisi çekilmiştir.



Özay, 2014 te yaptığı bir araştırmada, antep fıstığı kabuklarının sıvılaştırma koşullarını incelemiştir. Araştırmasında endüstriyel ve tarımsal organik atık olan biyokütlenin, önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı olduğu, yaygın yakıtlara dönüşümünde araştırmaların yoğunlaştığı ve araştırma bulgularına dayalı teknolojilerin geliştirilmeye çalışıldığı belirten Özay, yaptığı çalışmada potansiyel atık olan antep fıstığı kabuğunun, parçacık boyutu, ısıtma hızı, çözücü tipi sabit tutularak; reaksiyon süresi, işletme basıncı, katalizör etkisi gibi

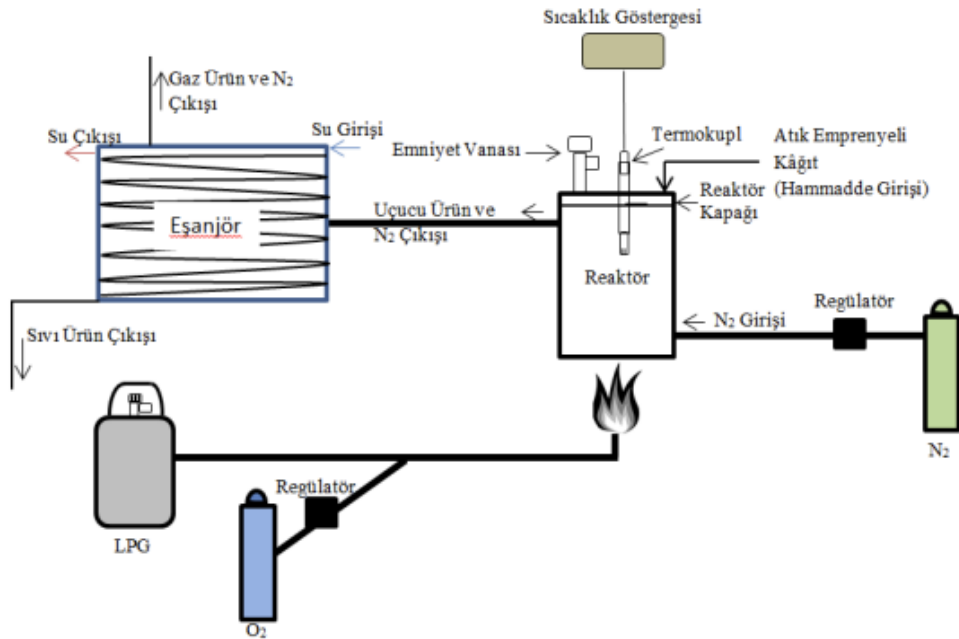
parametrelerin sıvılaştırma reaksiyonu sonrasında katı ürünlere dönüşüm verimi üzerindeki etkisi incelemiştir. Antep fıstığı kabuğu, katı maddenin %15'i kadar sodyum hidroksit (NaOH) veya sodyum bor hidrür (NaBH_4) ile hazırlanan sulu çözelti ile %20 kabuk olacak şekilde karıştırılmıştır. 300 °C, 325 °C ve 10-14 MPa'lık işletme basıncı altında 15-30-45 dakika süreyle 600 mL hacimli HPTR'de sıvılaştırma işlemleri yürütülmüştür. Ürünler, katı ve sulu kısım olmak üzere ayrılmış ve kurutularak katının katıya dönüşüm ve suda çözünen ürünlere dönüşüm verimleri saptanmıştır. Ayrıca çalışma içerisinde ürünlerin FTIR ve GC-MS analizleri yapılarak fıstık kabuğundaki değişimler ve ürün dönüşümüyle ilgili yorumlar yapılmaya çalışılmıştır. Sıvılaştırma deneyleri sonrasında en yüksek toplam katı ürün dönüşüm verimi; sıcaklık; 300 0C, işletme basıncı; 10 MPa, katı madde içeriği; %20, katalizör miktarı; hammaddenin %15'i kadar sodyum hidroksit (NaOH), sıvılaştırma süresi 45 dakika olarak bulunmuştur.



Sulu kısmın buharlaştırılmasından sonra elde edilen katı ürünün FT-IR analizi (Deney no:3, %15 NaOH ilavesi, sıcaklık 300 °C, basınç 10 MPa, reaksiyon süresi 45 dakika)

Yine ülkemizde 2017 de, Sinoplugin yaptığı çalışmada atık emprenyeli kağıtların pirolizi konulu bir araştırma yapılmıştır. Bu çalışmada, orman endüstrisi artıklarından Üre Formaldehit (UF) ve Melamin Formaldehit (MF) içeren emprenyeli dekor kâğıtlarının pirolizinin değerlendirilmesi amaçlandığını belirten Sinoplugin, çalışmada emprenyeli kâğıt

atıklarının doğaya atılması kirliliğe sebep olduğundan ve tekrar kullanılmaları da kalite sorunlarına yol açabildiğinden, piroliz bu atıkların kullanımı için bir alternatif olarak ele alındığını belirtmiştir. Bu çalışma kapsamında pirolitik yağın enerji potansiyeli saptanmış FTIR analizine yer verilmiştir. Farklı reaksiyon ve ısı uygulama şartlarında piroliz prosesinin verimlilik fizibilitesi gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık ve alıkonma zamanının ürün (katı – sıvı – gaz) oranlarını etkilediği saptanmıştır. En yüksek sıvı ürün verimi kalorifik değerini çalışılan en yüksek sıcaklıkta elde edildiği görülmüştür. Bu çalışma emprenyeli kâğıtların pirolizinin kapsamlı tahlili için bir ön çalışma olarak tanımlanabilir ve mevcut sonuçlar gelecek çalışmalar için umut vericidir.

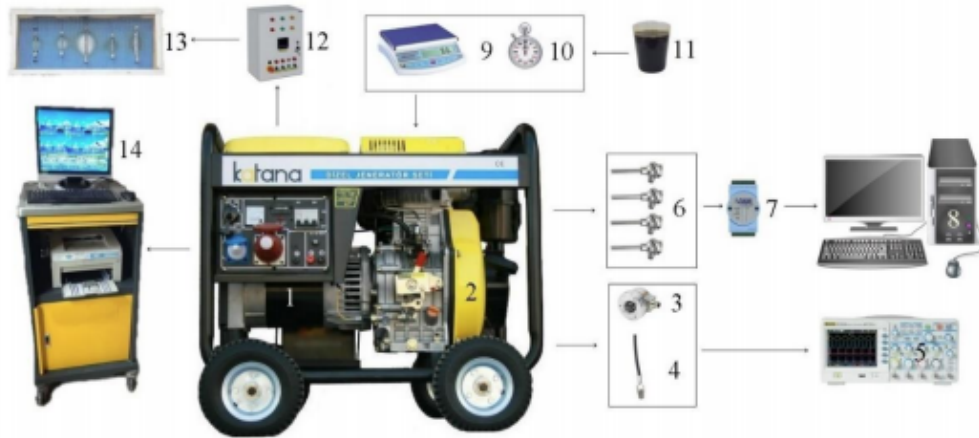


Piroliz Sistemi Akış Şeması.

Uzun, biyokütle ürünlerinden piroliz eldesi konusunda yapılan en yeni araştırmalardan bir tanesini 2020 yılında yapmıştır. Uzun, bu araştırmasında atık taşıt lastiğinden elde edilen lastik piroliz yağını (LPY), dizel bir motorda kullanarak ve yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi

için asit ile yıkama işlemi, kil ve kalsiyum oksit işlemi, distilasyon işlemi ve oksidatif sülfür giderim işlemlerini içeren saflaştırma işlemlerine tabi tutmuştur. Saflaştırılan ve yakıt özellikleri iyileştirilen LPY, saf dizel ile farklı oranlarda (hacimce %0, %15, %30 ve %45) harmanlanmıştır. Elde edilen yakıtlar, tek silindirli, hava soğutmalı dizel bir motorjeneratör setinde kullanılarak testler gerçekleştirilmiştir. Testler sabit motor hızında (2000 rpm), dört farklı motor yükünde (500, 750, 1000 ve 1250 W) yapılmıştır. Daha sonra, saf dizele LPY ilavesinin etkisini gözlemlemek için motor performansı, yanma karakteristikleri ve egzoz emisyonları deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlarda, Fren özgül yakıt tüketimi (BSFC) hem düşük motor yüklerinde hem de karışımlarda LPY içeriğinin artmasıyla artmış, Fren termal verim (BTE) ise tersine düşmüştür. Öte yandan, ısı salınım oranı ve silindir içi basınç hem motor yüklerindeki artışlara hem de karışımlardaki LPY içeriğine bağlı olarak önemli ölçüde artmıştır. Ek olarak, üretilen LPY'nin karbon ve oksijen içeriği kısmen dizel yakıtına yakındır, ancak hidrojen içeriği dizel yakıtta daha yüksektir. Bu yüzden hem CO hem de NO_x emisyonlarında dikkate değer herhangi bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Bununla birlikte, HC emisyonu, karışımlardaki LPY içeriğinin artmasıyla önemli ölçüde azalmıştır.

(ÖZAY Y. 2014. Antep Fıstığı Kabuklarının Sıvılaştırma Koşullarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi.)



1	Alternatör	2	Dizel motor
3	Encoder	4	Silindir basınç sensörü
5	Osiloskop	6	Isıçift
7	Data kartı	8	Bilgisayar
9	Hassas terazi	10	Kronometre
11	Test yakıtı	12	Yüklem seti kontrol ünitesi
13	Yüklem Set,	14	Egzoz Emisyon Cihazı

Şekil 5.3. Deney sisteminin şeması.



Şekil 5.4. Deney sisteminin görünümü.

Eager vd. 1982 de yayınladığı çalışmasında kavak odununu sıvılaştırılmak amacıyla sulu ortamda alkali katalizörler kullanarak kesikli sistemde çalışmışlardır. 1 mm tane boyutunda öğütülmüş odun örneklerini, 0.5:1-5:1 su-odun karışım oranlarında Na_2CO_3 , K_2CO_3 ve NaOH katalizörlerini kullanarak H_2 -CO gaz karışımı atmosferinde sıvılaştırmışlardır. Kesikli reaktörde 300-340 °C arasındaki sıcaklıklarda 0-1 saatlik denemeler sonucunda elde edilen maksimum yağ veriminin yaklaşık %50 olduğu ifade edilmiştir. Farklı sıvılaştırma şartlarında elde edilen yağların C ve H içerikleri tespit edilmiştir. Toplam C+H içeriği yaklaşık %80 olan yağların üst ısı değerleri 32.2-36.0 MJ/kg olarak belirlenmiştir.

Dote ve ark (1992), kuru temelde %80 organik madde içeren kanalizasyon atıklarından doğrudan termokimyasal sıvılaştırma yöntemiyle sıvı ürün elde etmeye çalışmıştır. Elde edilen sıvı ürün buhar distilasyonu işlemine tabi tutulmuş, asit-baz ekstraksiyon işlemiyle nötral, zayıf asidik ve asidik fraksiyonlarına ayrılmıştır. Her fraksiyon gaz kromatografisi kütle spektroskopisi ile analiz edilerek ürün bileşenleri saptanmıştır. Zayıf asidik fraksiyonun genelde fenolik bileşiklerden oluştuğu, bazik fraksiyonun ise genelde piridin, pirazin, aminler ve amid içerdiği saptanmıştır. Nötral fraksiyonun ise alifatik bileşikler, alisilik bileşikler, alkoller, ketonlar, aromatik bileşikler, sülfür içeren bileşikler, oksijen içeren heterosiklik bileşiklerden meydana geldiği belirtilmiştir.

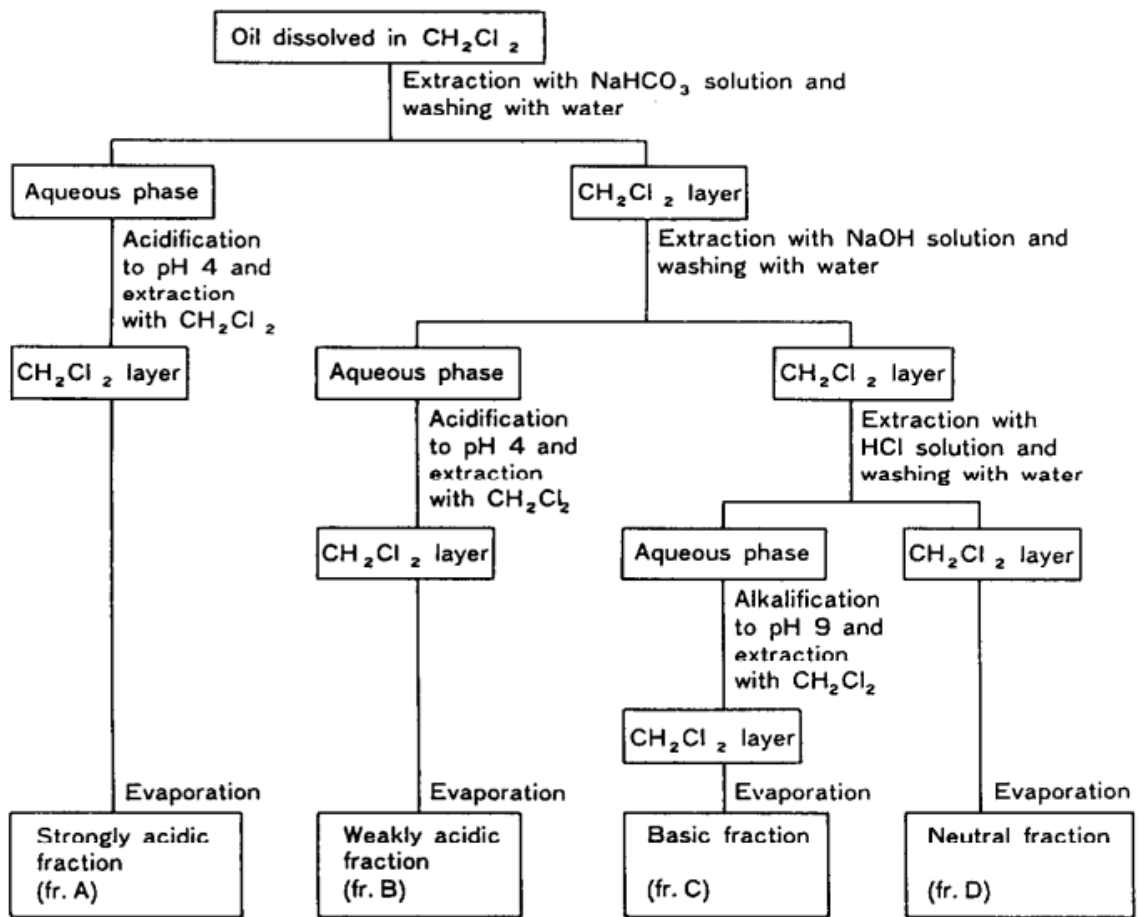
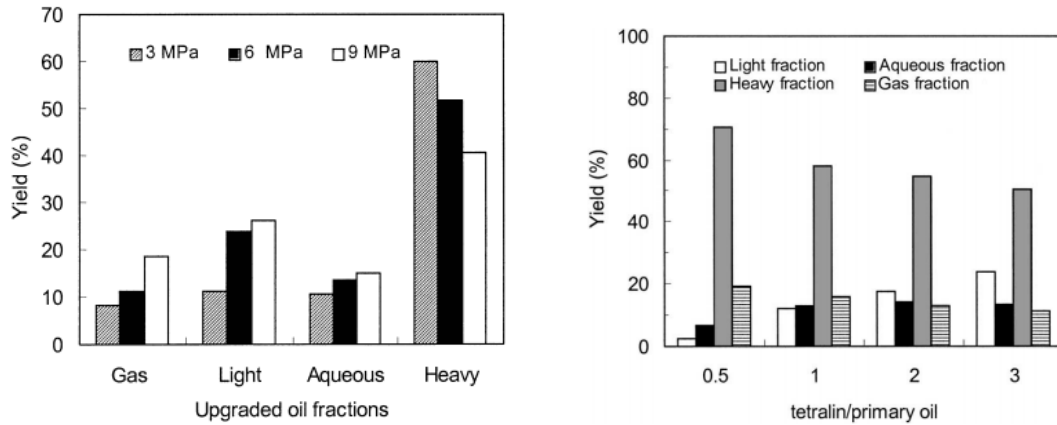


Figure 1 Schematic diagram of acid–base extraction

Rezzoug ve Capart (2002), çalışmalarında odundan sıvı ürün eldesini iki aşamada gerçekleştirmişlerdir. İlk aşamada 0,2 mm tanecik boyutunun altındaki odun parçalarını etilen glikol ve sülfirik asit varlığında 250 °C’de sıvılaştırmışlardır. Bu işlem sonucunda elde ettikleri yağları 330-400 °C ve 3-6-9 MPa’lık hidrojen gazı basıncı altında ve çeşitli tetralin/yağ oranlarında işleme tabi tutmuşlardır. İyileştirme (hydrotreatment) esnasında 350 0C’de ham yağın sıvı ve gaza dönüşümünün tamamlandığı, 350 °C’den 400 °C’ye çıkıldığında ise toplam dönüşümün %99’dan %96’ya düştüğünü gözlemlemişlerdir. Hidrojen basıncının verim ve sıvı ürünün bileşimi üzerinde etkili olduğunu; sadece 3 MPa’lık hidrojen gazı basıncında karbonumsu atık oluştuğunu, diğer hidrojen basınçlarında ise atık oluşmadığını belirtmişlerdir. Tetralin/ham yağ (solvoliz yağı) oranı arttıkça kok oluşumunun azaldığını ve kok içindeki H/C oranının arttığını bildirmişlerdir. Elde edilen sıvı ürünün ısıl değerinin petrol türevi yakıtların ısıl değerlerine yakın değerlerde olduğunu belirtmişlerdir. Rezzoug ve Capart, benzer bir çalışmada (2003), etilen glikol ve düşük miktarlarda H₂SO₄ varlığında, sıcaklık, reaksiyon süresi ve H₂SO₄ miktarı gibi parametrelerin, odun parçacıklarının sıvılaştırma verimi üzerindeki etkilerini deneysel tasarıma dayalı yöntemlerle incelemişlerdir. İstatistik yöntem olarak merkezi bileşik tasarım kullanarak bireysel etkileşim etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında, sıcaklık aralığı 150-280 °C, reaksiyon süresi 20-60 min ve sülfirik asit miktarını kuru odun bazında kütlece %0,0-1,5 olarak denemişlerdir

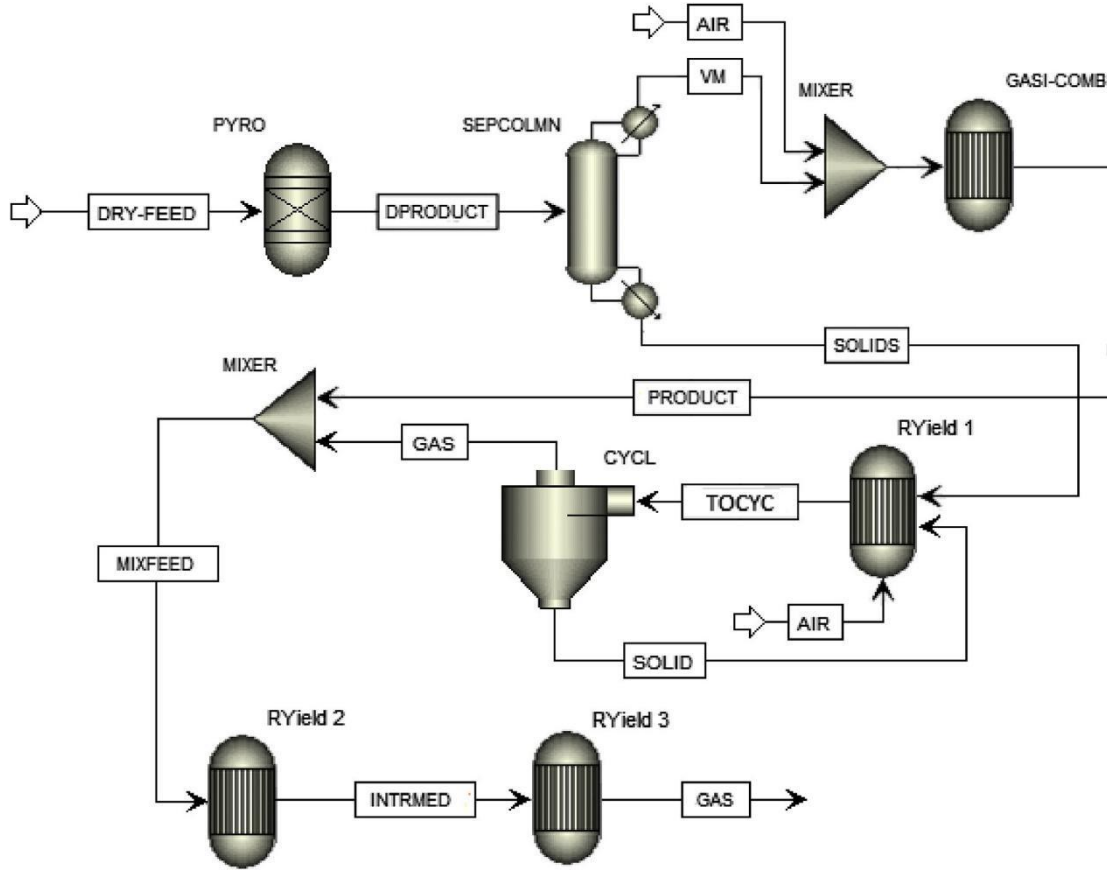


Taner ve ark. (1989), yapmış oldukları sıvılaştırma denemelerinden çıkan sulu fazdaki maddelerin kille giderilmesi çalışmasında; pamuk sapının %20’lik sulu karışımına, katının %15’i kadar NaOH ve asetik asit katılarak 523K, 573K, 623K da ve 10 MPa azot gazı başlangıç basıncında, otoklavda sıvılaştırma denemeleri yapmışlar, sıvılaştırma sonucunda,

suda çözülmüş organik madde açısından zengin sulu fazdaki maddelerin doğal ve aktifleştirilmiş kütlece %3 ve %5'lik Kozan kili ile giderimine çalışmışlardır. 10 dakikalık karıştırmadan sonra, sulu fazda, BOI₅ ve KOI analizleri yapılarak; sulu fazdaki maddelerin kille adsorplama yüzdeleri incelenmiş ve kısmen giderimin olduğu saptanmıştır. Bu nedenle biyolojik arıtımın yerine, sıvılaştırma proseslerinden çıkan atıksularda suda çözünenlerin ayrılmasında kil kullanılabileceğini rapor etmişlerdir.

Yine Taner ve ark 2005 yılında yaptıkları çalışmada lignoselülozik yapıdaki; pamuk sapı ve SEKA kağıt fabrikasının katı atığını, sulu alkali ya da asidik ortamda, 5 MPa başlangıç basıncında ve 573-623 K'de sıvılaştırma sonucunda ele geçen sulu fazların özütlenmesi ve analizleri sonucunda, çok sayıda suda çözünen ürünlere dönüştüğünü ve bunların kimyasal madde ve biyogaz üretiminde kullanılabileceğini rapor etmiştir.

Peng ve ark, yaptıkları bir çalışmada Aspen Plus simülatörü ve FORTRAN kullanarak CFB (dolaşimli akışkan yataklı) bir yakıcıda biyokütle yanma potansiyelinden enerji üretim potansiyelini değerlendirmek için detaylı bir proses modeli geliştirmişlerdir. Kalıcı sentez gazlarının ve katı kömürün kütle verimleri, bir dizi deneysel bağıntı ile piroliz sıcaklığına göre deneyi simüle etmişlerdir. Fazla oksijen oranının salınan emisyonlar ve sıcaklık üzerindeki etkisine önem vermişlerdir. Biyokütlenin parçacık büyüklüğünü dikkate alarak, yanma parametreleri ve kirleticiler üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Oksijen yakıtlı yanmanın daha iyi anlaşılması için, yanma verimliliğini (hc) eşdeğerlik oranı ve fazla oksijen oranının bir fonksiyonu olarak göstermişlerdir. Metal katalizörlerin reaksiyon sıcaklığı ve hava kirleticilerinin konsantrasyonu üzerindeki etkisini değerlendirmek için, katalitik yanmanın deneysel bir çalışmasını da gerçekleştirmişlerdir. [1]



Zang ve Yan, yaptıkları bir araştırmada biyokütleden piroliz yöntemi ile elde edilen sıvı yakıtın kalitesinin artırılması ile ilgili bir araştırma yapmışlardır. Bu araştırmada biyokütlenin pirolizini ve sıvı verimini en üst noktaya çıkarabilmek amacıyla akışkan yataklı(5 kg/saat) bir ünite kullanmışlardır. Sonuçta oluşan ürün, su fazı ve yağ fazı olarak ikiye ayrılmıştır. Ardından yağ fazı, bir otoklavda sülfidize edilmiş Co-Mo-P katalizörleri ile yükseltilmiştir. Bunun sonucunda reaksiyon koşullarının ürün dağılımı üzerindeki etkileri araştırılmış ve optimal koşullar altındaki sonuçları ortaya çıkarılmıştır. Bu karşılaştırma ham yağ fazı ile iyileştirilmiş sıvı yakıt arasındaki analizle ortaya çıkarılmıştır. Araştırmanın sonucuna göre, ham pirolitik yağ ile iyileştirilmiş yağ arasındaki en önemli farkın, birincisinin metanolde çözünürken, ikincisinin ise yağda çözünür olması olduğu ortaya çıkmıştır.

(Suping Zhang *, Yongjie Yan, Tingchen Li, Zhengwei Ren Department of Chemical Engineering for Energy Resources, East China University of Science and Technology,

Shanghai 200237, People's Republic of China Received in revised form 6 May 2004; accepted 17 June 2004 Available online 23 August 2004)

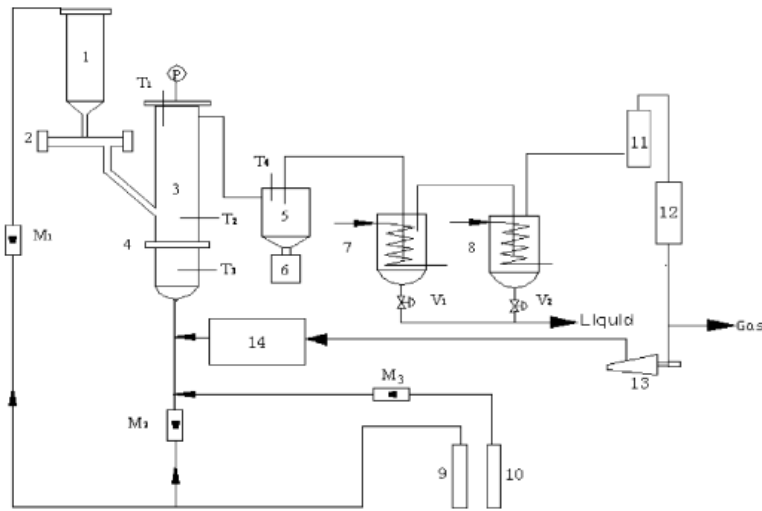
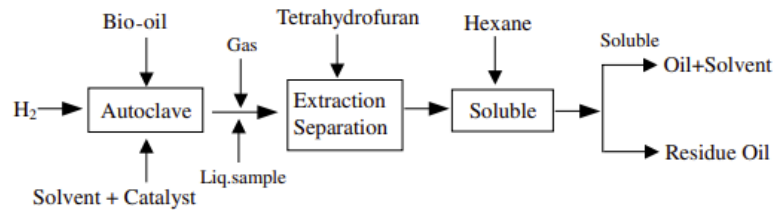


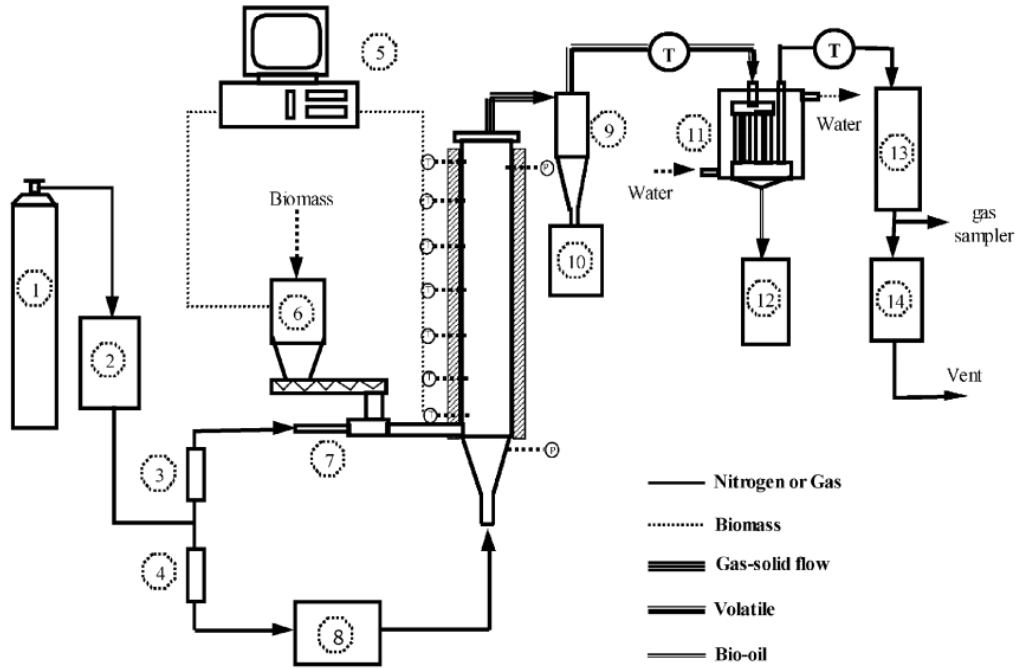
Fig. 1. Schematic of the fast pyrolysis process. 1. Feeder hopper; 2. Screw feeder; 3. Fluid bed reactor; 4. Distributing plate; 5. Cyclone separator; 6. Ash hopper; 7,8. Cold water condenser; 9,10. Cylinder of gas; 11. Water scrubber; 12. Absorber; 13. Compressor; 14. Gas tank; M. Gas flowmeter; T. Thermocouple; P. Pressure gauge; V. Valve.



Luo, Wang Liao, Zhou yaptıkları bi araştırma, biyokütle olarak kullanabilecekleri malzemelerden, hızlı piroliz yöntemi ile ne kadar sıvı yakıt elde edebildiklerine göre, malzemeleri sıralamışlardır. Bu çalışma için Pterocarpus indicus(Malay Paduğu), Cunninghamia lanceolata(Çin tırpan ağacı) ve Fraxinus mandshurica(mançurya külü) gibi ağaç hammaddeleri ve pirinç gibi malzemelerden biyo-yaglar üretmek için atmosferik basınçta 773 K° sıcaklıkta , 3 kg/saatlik iş hacminde çalışama kapasitesine sahip akışkan yataklı bir reaktör kullanmıştır. Bu araştırma sonucuna göre, en iyi yağ üreten özelliklerin Pterocarpus indicus bitkisi için olduğu gözlenmekle beraber en kötü ürünün pirinç pirinç bitkisi olduğu ortaya çıkmıştır. Bu verileri, 20 kg/saatlik iş hacmine sahip daha büyük ölçekli bir birim tasarlamak ve endüstriyel ölçekte üretim maliyetlerini tahmin etmek için kullanmışlardır.

(Zhongyang Luo*, Shurong Wang, Yanfen Liao, Jinsong Zhou, Yueling Gu, Kefa Cen Clean Energy and Environment Engineering Key Lab of Ministry of Education, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China Received 7 December 2001; received in revised form 1 April 2003; accepted 26 April 2003)

Z. Luo et al. / Biomass and Bioenergy 26 (2004) 455–462



1 Nitrogen bottle 2,14 Accumulative flowmeter 3,4 Flowmeter 5 Monitor 6 Hopper 7 Feeder 8 Nitrogen pre-heater 9 Cyclone 10 Char collector 11 Quencher 12 Bio-oil Collector 13 Filter

3. TEORİ

3.1 BİYOKÜTLE

Biyokütle, bitkiler ve hayvanlar gibi canlı türlerinden, yani şu anda hayatta olan veya kısa bir süre önce olan her şeyden oluşur. Bir tohum filizlenir veya bir organizma doğar doğmaz oluşur. Fosil yakıtın aksine, biyokütlenin gelişmesi milyonlarca yıl almaz. Bitkiler, atmosferdeki karbondioksiti metabolize etmek ve büyümek için fotosentez yoluyla güneş ışığını kullanır. Hayvanlar, biyokütleden besin alarak büyürler. Fosil yakıtlar, biyokütle çoğalırken çoğalmaz ve bu nedenle yenilenebilir olarak kabul edilir. Bu, enerji veya kimyasal kaynağı olarak en önemli cazibe merkezlerinden biridir. Her yıl atmosferden CO₂ emerek fotosentez yoluyla büyük miktarda biyokütle büyür. Yandığında, bitkilerin atmosferden daha

yeni (birkaç yıl ila birkaç saat) emdiği karbondioksiti açığa çıkarır. Bu nedenle, herhangi bir biyokütle yakılması Dünya'nın karbondioksit envanterine eklenmez. Bu nedenle biyokütle, "karbon nötr" bir yakıt olarak kabul edilir.

Çiftlik ürünleri	Mısır, şeker kamışı, şeker pancarı, buğday, etanol üretir vb.
	Kolza tohumu, soya fasulyesi, palmiye ayçiçeği biyodizel üretir tohum, Jatropha, vb.
Ligno-selülozik malzemeler	Samam veya tahıl bitkileri, kabuk, ahşap, hurda, eğik çizgi, vb.
	Etanol üretebilir, bioliquid ve gaz

Tablo 1: Biyokütle Kaynakları

Büyük miktardaki biyokütlenin yalnızca% 5'i (13,5 milyar metrik ton) potansiyel olarak enerji üretmek için harekete geçirilebilir. Bu miktar, 6 milyar ton petrole eşdeğer olan dünya enerji tüketiminin yaklaşık % 26'sını karşılayacak kadar büyüktür (IFP, 2007). Biyokütle, küçük otlardan masif ağaçlara, küçük böceklerden büyük hayvan atıklarına ve bunlardan türetilen ürünlere kadar geniş bir yelpazeyi kapsar. Hasat edilen biyokütlenin başlıca türleri selülozik (tahıl olmayan) ve nişasta ve şekerdir (tahıl).

Mısır bitkisi gibi hasat edilmiş bir mahsulün tüm parçaları biyokütledir, ancak meyvesi (mısır) bir nişastadır, geri kalanı ise ligno-selülozdur. Mahsul (mısır), fermantasyon yoluyla etanol üretebilir, ancak mısır bitkisinin odunsu-selülozik kısmı, gazlaştırma veya hidroliz yoluyla daha kapsamlı bir işlem gerektirir. Tablo 1, gıda ve gıda dışı kategorilerinde hasat edilen iki tür biyokütleyi listelemekte ve bunlardan elde edilen potansiyel dönüştürme ürünlerini göstermektedir. Bölünme önemlidir, çünkü tahıldan nispeten kolay ve daha yerleşik olan nakliye yakıtı (etanol) üretimi, ticari olarak büyük ölçekte zaten takip edilmektedir. Ancak bu tür gıda stoğunun enerji üretimi için kullanımı, tahılları ekonomik, sosyal ve politik sonuçlarla geleneksel tahıl pazarından enerji pazarına yönlendirdiği için sürdürülebilir olmayabilir. Böylelikle, odunözselülozik malzemeler gibi gıda dışı kaynaklardan daha fazla etanol üretmek için çabalar sarf edilmektedir, öyle ki dünyanın gıda tedariki, enerji açlığından etkilenmez.

Biyokütleden üç tür birincil yakıt üretilir:

- Sıvı (etanol, biyodizel, metanol, bitkisel yağ ve piroliz yağı)
- Gazlı (biyogaz (CH_4 , CO_2), üretici gaz (CO , H_2 , CH_4 , CO_2 , H_2), sentez gazı (CO , H_2), ikame doğal gaz (CH_4))

- Katı (odun kömürü, işlenmiş biyokütle)

Bunlardan dört ana ürün kategorisi gelir:

- Metanol, gübre ve sentetik elyaf gibi kimyasallar
- Isı gibi enerji
- Elektrik
- Benzin ve dizel gibi nakliye yakıtı

Taşıma yakıtları olarak etanol ve biyodizel kullanımı, enerji üretimi birimi başına CO₂ emisyonunu azaltır. Ayrıca fosil yakıtlara olan bağımlılığı da azaltır. Bu nedenle, biyokütle temelli enerji yalnızca yenilenebilir değil, aynı zamanda sera gazı (GHG) emisyonu açısından da temizdir ve bu nedenle küresel enerji sahnesinde merkez sahneyi alabilir. Bu hareket yeni değil. Medeniyet enerji kullanımına biyokütleyi yakarak başladı. Fosil yakıtlar çok daha sonra, 16.YY civarında geldi. Yirminci yüzyıldan önce odun (bir biyokütle) dünyanın enerji arzının birincil kaynağıydı. Erken Sanayi Devrimi sırasında büyük ölçekli kullanımı, İngiltere'de o kadar çok ormansızlaşmaya neden oldu ve endüstriyel büyümeyi etkiledi. Sonuç olarak, 1620'den 1720'ye demir üretimi, yılda 180.000'den 80.000 tona düşmüştür (Higman ve van der Burgt, 2008, s. 2). Bu durum, ahşabın enerji ve metalurji için yerini almaya başlayan kömürün keşfedilmesiyle düzeltildi.

Kimyasallar

Petrol veya doğal gazdan üretilen çoğu kimyasal biyokütleden üretilebilir. Kimyasal üretim için iki ana platform şeker esaslı ve sentez gazı tabanlıdır. İlki, glikoz, fruktoz, ksiloz, arabinoz, laktoz, sukroz ve nişasta gibi şekerleri içerir. Sentez gazı platformu, sentez gazının hidrojen ve karbon monoksit bileşenini kimyasal yapı taşlarına sentezler. Farklı kimyasallar için ara yapı taşları bu yolda sayısızdır. Bunlar arasında hidrojen, metanol, gliserol (C₃), fumarik asit (C₄), ksilitol (C₅), glukkarik asit (C₆) ve gallik asit (Ar) bulunur (Werpy ve Petersen, 2004). Bu ara ürünler, ulaşım, tekstil, gıda, çevre, iletişim, sağlık, barınma ve rekreasyonu içeren endüstriler için çok sayıda kimyasal üretmek üzere sentezlenir. Werpy ve Petersen (2004), ticari ürünler için en yüksek potansiyele sahip 12 ara kimyasal yapı taşı tanımladı.

Enerji

Biyokütle, muhtemelen insanların istismar ettiği ilk talep üzerine enerji kaynağıydı. Bununla birlikte, birincil enerji talebimizin %22'sinden daha azı şu anda biyokütle veya biyokütle türevi yakıtlarla karşılanmaktadır. Biyokütlenin birincil enerji kaynağı olarak konumu, coğrafi

ve sosyoekonomik koşullara bağlı olarak büyük ölçüde değişir. Örneğin, Nepal'deki birincil enerji kaynağının% 90'ını, Orta Doğu'da ise yalnızca %0,1'ini oluşturmaktadır.



Şekil 0.1: Ateş kütükleri kullanan pişirme ocağı



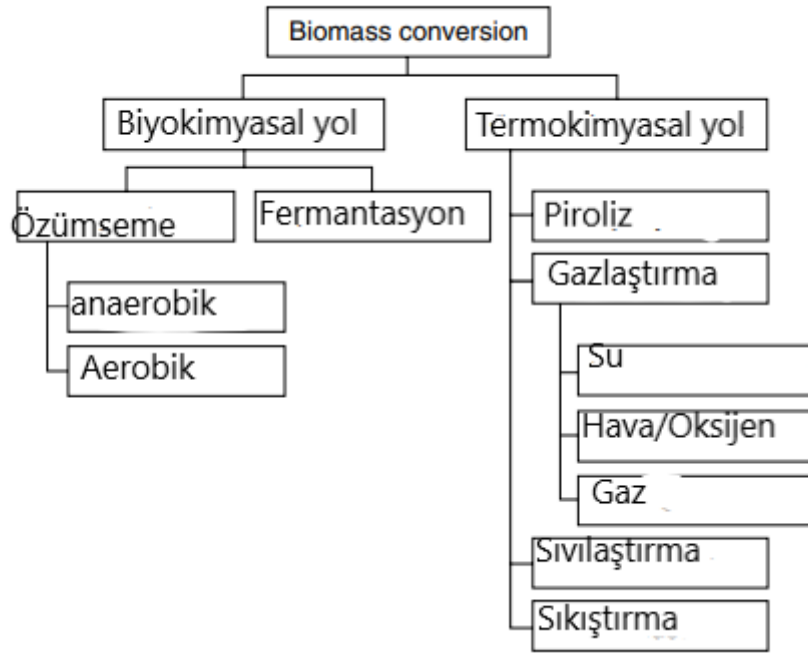
Şekil 0.2: Kanada'da bir biyokütle ateşlemeli köpüren akışkan yatak (Source: Photo by author.)

Yemek pişirme, oldukça verimsiz olmasına rağmen, az gelişmiş ülkelerde biyokütlenin en yaygın kullanımlarından biridir. Şekil 2, kırsal alanlarda hala milyonlarca kişi tarafından yakıt olarak dal veya kütük kullanan bir pişirme ocağını göstermektedir. Biyokütlenin daha verimli ve modern bir ticari kullanımı, Şekil 3'te gösterilen tesis gibi proses ısısı ve elektrik üretimi için buhar üretimindedir. Isı ve elektrik, biyokütleden elde edilen iki birincil enerji biçimidir. Biyokütlenin verimli enerji üretimi için kullanımı şu anda gelişmiş ülkelerde karbon-nötr

özelliği nedeniyle artarken, daha az gelişmiş ölkelerde biyokötle kıtlığı nedeniyle yemek pişirme için kullanımı azalmaktadır.

Taşıma Yakıtı

Ham petro-petrolden elde edilen dizel ve benzin, modern ulaşım endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Biyokötle, bu petro türevi ulaşım yakıtlarının ikame edilmesine yardımcı olabilir. Genellikle şeker kamışı ve mısırdan üretilen etanol, benzinli (kıvılcım ateşlemeli) motorlarda kullanılırken, kolza tohumu gibi bitkisel yağlardan üretilen biodizel dizel (sıkıştırılmalı ateşlemeli) motorlarda kullanılmaktadır. Piroliz, fermentasyon ve mekanik ekstraksiyon, biyokötlede nakliye yakıtı üretmenin üç ana yoludur. Bunlardan ticari olarak en yaygın kullanılan yöntem şeker (şeker kamışı vb.) Veya nişastanın (mısır vb.) Etanol ürettiği fermentasyondur. Mayanın şeker veya nişastayı etanol ve karbondioksite fermente etmesine yardımcı olduğu nispeten basit bir işlemleri içerir. Pazarlanabilir etanolün üretimi ve rafine edilmesi büyük miktarda enerji gerektirir. Bitkisel yağın kolza tohumu gibi tohumlardan mekanik yollarla elde edilmesi binlerce yıldır uygulanmaktadır. Halen, kanola yağı gibi yağlar, metil ester veya biyodizel üretmek için alkolle (transesterifikasyon) rafine edilmektedir. Piroliz, gaz, kömür ve sıvı üretmek için havasız ortamda biyokötlede ısıtılmasını içerir. Sıvı, "yeşil dizel" veya "yeşil benzin" üretmek için su ile arıtılabilen biyo-yagın bir öncüsüdür. Şu anda, etanol ve biyodizel dünya biyoyakıt pazarına hakimdir. Gazlaştırma ve oksijensiz sindirim, biyokötlede metan gazı üretebilir. Metan gazı daha sonra nakliye için bazı kıvılcım ateşlemeli motorlarda doğrudan kullanılabilir veya metanol yoluyla benzine dönüştürülebilir.



Şekil 0.1: Biyokütle Dönüşüm Sınıflandırması

3.1.1 BİYOKÜTLE DÖNÜŞÜMÜ

Hacimli ve uygunsuz biyokütle formu, fosilden biyokütle yakıtlarına hızlı geçişin önündeki büyük bir engeldir. Gaz veya sıvının aksine, biyokütle, özellikle nakliye için kullanımında, kolayca taşınmaz, depolanamaz veya taşınmaz. Bu, katı biyokütlenin sıvı ve gazlı yakıtlara dönüştürülmesi için önemli bir motivasyon sağlar ve bu, iki ana yoldan (Şekil 4) biriyle elde edilebilir: (1) biyokimyasal (fermantasyon) ve (2) termokimyasal (piroliz, gazlaştırma). Biyokimyasal dönüşüm, biyokütle gazlaştırmanın belki de en eski yoludur. Hindistan ve Çin, hayvan atıklarının anaerobik mikrobiyal sindirimi yoluyla yerel enerji ihtiyaçları için metan gazı üretti. Modern zamanlarda, otomotiv yakıtları için kullanılan etanolün çoğu, fermentasyon kullanılarak mısırdan üretilmektedir. Biyokütlenin gazlara termokimyasal dönüşümü çok sonra geldi. Küçük biyokütle gazlaştırıcıların büyük ölçekli kullanımı, bir milyondan fazla birimin kullanıldığı İkinci Dünya Savaşı sırasında başladı. Şekil 4, iki geniş dönüşüm yolunun birkaç kategoriye ayrıldığını göstermektedir. Bunların kısa bir açıklaması aşağıdadır.

3.1.2 BİYOKİMYASAL DÖNÜŞÜM

Biyokimyasal dönüşümde, biyokütle molekülleri bakteri veya enzimler tarafından daha küçük moleküllere ayrılır. Bu süreç termokimyasal dönüşümden çok daha yavaştır, ancak çok fazla dış enerji gerektirmez. Biyokimyasal dönüşüm için üç ana yol şunlardır:

- Sindirim (anaerobik ve aerobik)
- Fermantasyon
- Enzimatik veya asit hidrolizi

Anaerobik sindirimin ana ürünleri, katı bir kalıntıya ek olarak metan ve karbondioksittir. Bakteriler, oksijene ortam havası yerine biyokütlenin kendisinden erişirler. Aerobik sindirim veya kompostlama, oksijen varlığında gerçekleşmesi dışında biyokütlenin biyokimyasal parçalanmasıdır. Havadaki oksijene erişen, karbondioksit, ısı ve katı bir sindirim üreten farklı mikroorganizma türlerini kullanır. Fermantasyonda, biyokütlenin bir kısmı asit veya enzimler kullanılarak şekerlere dönüştürülür. Şeker daha sonra maya yardımı ile etanole veya diğer kimyasallara dönüştürülür. Linyin dönüştürülmez ve ya yanma ya da termokimyasal dönüşüm için kimyasallara bırakılır. Anaerobik sindirimin aksine, fermantasyon ürünü sıvıdır. Nişasta ve şeker esaslı hammaddelerin (yani mısır ve şeker kamışı) etanole fermantasyonu tamamen ticari olmakla birlikte, malzemelerin fermente edilebilir şekerlere parçalanmasındaki (hidrolize edilmesi) masraf ve zorluk nedeniyle bu durum selülozik biyokütle için geçerli değildir. Ligno-selülozik besleme stoğu, ahşap gibi, selüloz ve hemiselülozu maya ve bakterilerin fermentasyon işlemi için ihtiyaç duyduğu basit şekerlere ayırmak için hidroliz ön işlemine (asit, enzimatik veya hidrotermal) ihtiyaç duyar. Asit hidroliz teknolojisi, enzimatik hidroliz teknolojisinden daha olgun, ancak ikincisi önemli bir maliyet avantajına sahip olabilir. Şekil 5, fermantasyon (şeker) ve asit hidroliz (selüloz) yolları için şemaları göstermektedir.

3.1.3 TERMOKİMYASAL DÖNÜŞÜM

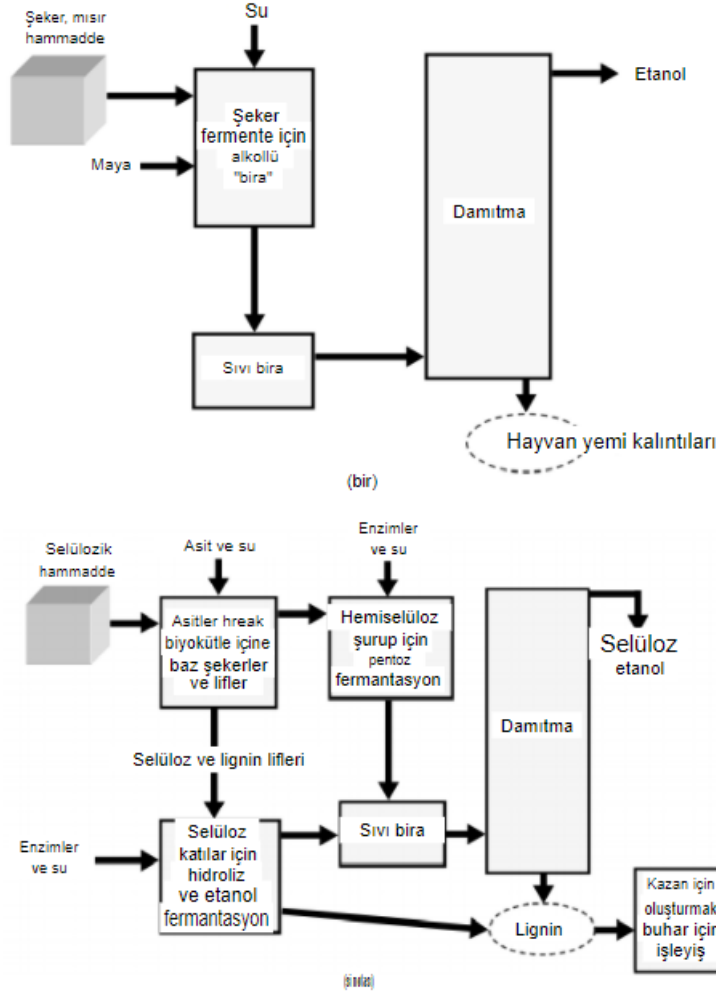
Termokimyasal dönüşümde, biyokütlenin tamamı gazlara dönüştürülür ve bunlar daha sonra istenen kimyasallara sentezlenir veya doğrudan kullanılır (Şekil 6). Sentez gazının sıvı taşıma yakıtlarına Fischer-Tropsch sentezi, termokimyasal dönüşümün bir örneğidir. Termal enerji üretimi, dört geniş yolu olan bu dönüşüm rotasının ana itici gücüdür:

- Yanma
- Piroliz
- Gazlaştırma

- Sıvılaşma

Tablo 2, biyokütle dönüşümü için bu dört termokimyasal yolu karşılaştırmaktadır. Aynı zamanda, reaksiyon sıcaklıklarının tipik aralığını da gösterir. Yanma, fazla havadaki biyokütlenin yüksek sıcaklıkta karbondioksit ve buhara dönüştürülmesini içerir. Gazlaştırma ise oksijenden yoksun bir ortamda kimyasal bir reaksiyonu içerir. Piroliz, oksijenin tamamen yokluğunda nispeten düşük bir sıcaklıkta gerçekleşir. Sıvılaştırmada, büyük hammadde molekülleri, daha küçük moleküllere sahip sıvılara ayrışır. Bu, bir katalizör varlığında ve daha düşük bir sıcaklıkta meydana gelir. Tablo 3, biyokütle dönüşümü için termokimyasal ve biyokimyasal yolların bir karşılaştırmasını sunmaktadır. Etanol üretimi için biyokimyasal yolun, termokimyasal yoldan daha ticari olarak geliştirildiğini, ancak ilki besleme stoğu için şeker veya nişasta gerektirdiğini göstermektedir; ligno-selülozik maddeler kullanamaz. Sonuç olarak, mevcut biyokütlenin daha büyük bir kısmı etanole dönüştürülmez.

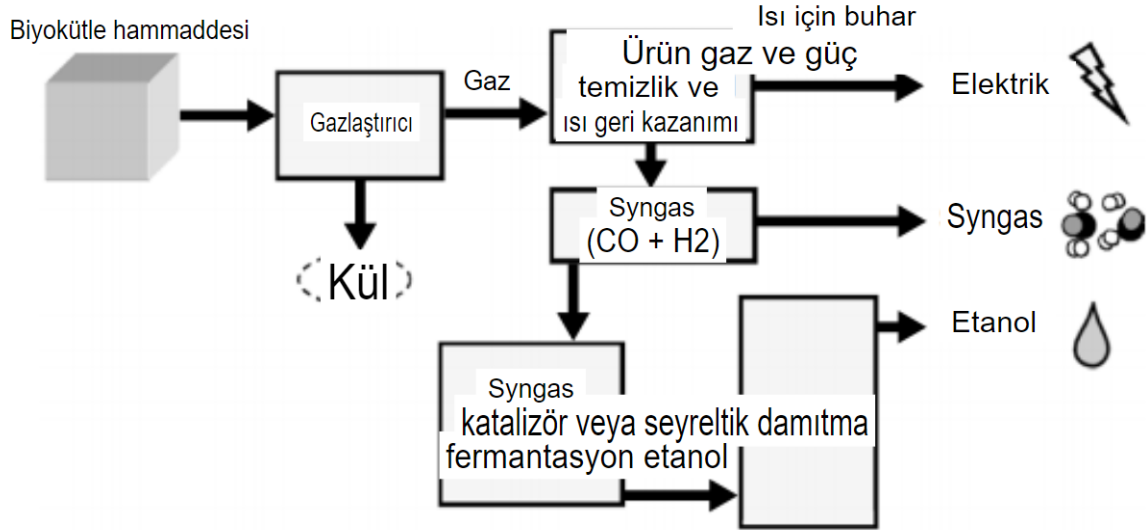
Örneğin, bir mısır fabrikasında üretim için sadece çekirdek kullanılır. Linyo-selülozik olan soba, sap, kökler ve yapraklar atık olarak bırakılır. Enzimatik veya biyokimyasal yol daha gelişmiş olsa da, bu bir toplu işlemdir ve tamamlanması termokimyasal işleminden çok daha uzun sürer. Termokimyasal yolda, biyokütle ilk önce sentez gaza dönüştürülür ve daha sonra sentez veya başka yollarla etanole dönüştürülür.



Şekil 0.1: (Selülozik olmayan) şeker (a) ve (selülozik) biyokütleden (b) etanol üretimi için iki biyokimyasal yol

Yanma

Medeniyetin ateşin keşfi ile başladığı düşünüldüğünde, yanma belki de biyokütlenin en eski kullanımını temsil ediyor. Orman odunlarının yakılması insanlara nasıl yemek pişirileceğini ve nasıl sıcak olunacağını öğretti. Kimyasal olarak yanma, biyokütledeki oksijen ve hidrokarbon arasındaki ekzotermik bir reaksiyondur. Burada biyokütle iki ana kararlı bileşiğe dönüştürülür: H_2O ve CO_2 .



Şekil 0.1: Enerji, gaz ve etanol üretimi için termokimyasal yol

İşleyiş	Sıcaklık (°C)	Basınç (MPa)	Katalizör	Kuru
Sıvılaştırma	250-330	5-20	Temel	Gerekli değil
Piroliz	380-530	0.1-0.5	Gerekli değil	Gerekli
Yanma	700-1400	>0.1	Gerekli değil	Önemli değil, ancak olabilir yardım
Gaz haline getirme	500-1300	>0.1	Gerekli değil	Gerekli

Tablo 2: Dört Temel Termokimyasal Dönüşüm İşleminin Karşılaştırması

Açığa çıkan reaksiyon ısısı şu anda insan enerji tüketiminin en büyük kaynağıdır ve biyokütleden gelen enerjinin% 90'ından fazlasını oluşturur. Isı ve elektrik, biyokütleden elde edilen iki ana enerji biçimidir. Biyokütle, özellikle kırsal alanlarda yemek pişirmek ve sıcaklık için hala ısı sağlar. Bölgesel veya endüstriyel ısıtma, biyokütle yakıtlı kazanlarda üretilen buharla da üretilir. Pelet sobalar ve odun ateşlemeli şömineler aynı zamanda birçok soğuk iklim ülkesinde doğrudan bir sıcaklık kaynağıdır. Tüm modern ekonomik faaliyetlerin temeli olan elektrik, biyokütle yanmasından elde edilebilir. En yaygın uygulama, bir kazanda biyokütlenin yakılmasıyla buhar üretilmesini ve bir buhar türbininden elektrik üretilmesini içerir. Bazı yerlerde biyokütleden elde edilen yanıcı gazın gazlaştırma yoluyla yakılmasıyla elektrik üretilir.

	Biyokimyasal (şeker fermentasyonu)	Termokimyasal
Hammadde	Şeker kamışı, nişasta, Mısır	Selülozik stok, ahşap, Belediye katı atıkları
Reaktör tipi	Toplu	Sürekli
Reaksiyon süresi	2 gün	7 dakika
Su kullanımı	3. 5-170 litre/litre etanol	<1 litre/litre etanol
Yan ürünler	Distiller kurutulmuş tahıl	Syngas / elektrik
Verim	450 litre / ton	265-492 litre / ton
Teknoloji olgunluğu	> ABD fabrikalarında 100	Pilot tesis

Tablo 3: Biyokütlenin Etanole Dönüşümü İçin Biyokimyasal ve Termokimyasal Yolların Karşılaştırılması

Biyokütle, tek başına bir yakıt olarak veya bir kazandaki fosil yakıtlara ek olarak kullanılır. İkinci seçenek, mevcut bir fosil yakıt tesisinden karbondioksit emisyonunu azaltmanın en hızlı ve en ucuz yolu olarak giderek daha yaygın hale geliyor (Basu ve diğerleri, 2009). Bu seçeneğe birlikte yanma veya birlikte ateşleme denir.

Piroliz

Piroliz, yanmanın aksine, bu işlem için gereken termal enerjiyi sağlamak için kısmi yanmanın izin verildiği durumlar dışında, oksijenin tamamen yokluğunda gerçekleşir. Piroliz, biyokütlenin gaz, sıvı ve katıya termal olarak ayrışmasıdır. Üç çeşidi vardır:

- Torrefaction veya hafif piroliz
- Yavaş piroliz
- Hızlı piroliz

Pirolizde, büyük hidrokarbon biyokütle molekülleri daha küçük hidrokarbon moleküllerine ayrılır. Hızlı piroliz, esas olarak biyo-yag olarak bilinen sıvı yakıt üretir; Yavaş piroliz, bir miktar gaz ve katı odun kömürü üretir (en eski yakıtlardan biri, kömürün keşfinden önce ısıtma ve metal çıkarma için kullanılır). Piroliz, atık biyokütlenin yararlı sıvı yakıtlara dönüştürülmesi için umut vericidir. Yanmanın aksine ekzotermik değildir.

Şu anda etkin biyokütle kullanımı için düşünülen Torrefaction da bir piroliz şeklidir. Bu işlemde (Fransızca kavurma kelimesinin adı verilmiştir), biyokütle oksijenle temas etmeden 230 ila 300 ° C'ye ısıtılır. Ahşabın kimyasal yapısı değişerek karbondioksit, karbon monoksit, su, asetik asit ve metanol üretir.

Torrefaction biyokütlenin enerji yoğunluğunu artırır. Aynı zamanda higroskopik yapısının yanı sıra ağırlığını da büyük ölçüde azaltır, böylece nakliye maliyetini düşürerek ahşabın enerji üretimi için ticari kullanımını artırır.

Gazlaştırma

Gazlaştırma, fosil veya fosil olmayan yakıtları (katı, sıvı veya gaz) yararlı gazlara ve kimyasallara dönüştürür. Gaz veya süper kritik su olabilen reaksiyon için bir ortam gerektirir (kritik altı koşullarda normal su ile karıştırılmamalıdır). Gazlı ortamlar arasında hava, oksijen, kritik altı buhar veya bunların bir karışımı bulunur. Halen, fosil yakıtların gazlaştırılması, fosil olmayan yakıtlardan daha yaygındır.

Yakıt	C / H kütle oranı	Oksijenli %	Enerji yoğunluğu, GJ/t
Antrasit	-44	-2.3	-27.6
Bitümlü kömür	-15	-7.8	-29
Linyit	-10	-11	-9
Turbalık	-10	35	-7
Hampetrol	-9		42 (mineral yağ)
Biyokütle/Sedir	7.6	40	20
Benzin	6	0	46.8
Doğal gaz (- CH ₄)	3	0	56
Syngas (CO: H ₂ içinde 1: 3 oranı)	2	0	24

Tablo 4: Farklı Yakıtlarda Oranlar

sentetik gazların üretimi için biyokütle gibi yakıtlar. Esasen potansiyel bir yakıtı bir formdan diğerine dönüştürür. Böyle bir dönüşüm için üç ana motivasyon vardır:

- Nitrojen ve su gibi yanıcı olmayan bileşenleri reddederek yakıtın ısınma değerini artırmak.
- Gazlaştırılmış yakıt yandığında atmosfere salınmayacak şekilde kükürt ve nitrojeni gidermek.
- Yakıttaki karbon-hidrojen (C / H) kütle oranını düşürmek.

Genel olarak, bir yakıtın hidrojen içeriği ne kadar yüksekse, buharlaşma sıcaklığı o kadar düşük ve yakıtın gaz halinde olma olasılığı o kadar yüksek olur. Gazlaştırma veya piroliz, üründeki bağıl hidrojen içeriğini (H / C oranı) aşağıdakilerden biri aracılığıyla artırır:

Doğrudan: Yüksek basınçta hidrojene doğrudan maruz kalma.

Dolaylı: Ürüne bir ara ürün olan hidrojenin eklendiği yüksek sıcaklık ve basınçta buhara maruz kalma. Bu süreç aynı zamanda buhar reformunu da içerir.

Piroliz: Karbonun katı kömür veya CO₂ gazı yoluyla reddedilerek azaltılması.

Biyokütlenin gazlaştırılması, enerji yoğunluğunu artırmak için yakıttaki oksijenin uzaklaştırılmasını da içerir. Örneğin, tipik bir biyokütle ağırlıkça yaklaşık %40 ila 60 oksijene sahiptir, ancak faydalı bir yakıt gazı yalnızca küçük bir oksijen yüzdesi içerir (Tablo 4). Oksijen, biyokütleden dehidrasyon veya dekarboksilasyon yoluyla çıkarılır. Oksijeni CO₂ yoluyla reddeden son işlem, yakıtın H / C oranını artırarak yakıldığında daha az sera gazı yayar:

Hidrojen, amonyak üretimi için toplu olarak gerektiğinde, sentez gazı (bir H₂ ve CO karışımı) üreten buharla reformasyon yoluyla doğal gazdan (CH₄) üretilir. Sentez gazındaki CO, çok sayıda kimyasal için önemli bir hammadde olan metanol (CH₃OH) üretmek üzere buharla dolaylı olarak hidrojene edilir. Ancak bu süreçler, yalnızca yenilenemeyen değil, aynı zamanda atmosfere net karbondioksit (büyük bir sera gazı) eklenmesinden sorumlu olan fosil yakıtları kullanır.

Biyokütle, ister yakıt ister kimyasal hammadde olsun, fosil yakıtların sağladığı hemen hemen her şeyi sağlayabilir. Ek olarak, sentez gazı üretimi için uygun bir hammadde olmasını sağlayan iki önemli fayda sağlar. Birincisi, yandığında atmosfere net bir katkı sağlamaz; ikincisi, kullanımı yenilenemeyen ve sıklıkla ithal edilen fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltır. Bu nedenlerden ötürü, CO₂ ve H₂'ye biyokütle gazlaştırma, benzin gibi sıvı taşıma yakıtlarının ve metanol gibi sentetik kimyasalların üretimi için iyi bir temel sağlar. Aynı zamanda doğrudan enerji üretimi için yakılabilen metan üretir. Gazlaştırma genellikle üç ana gazlaştırıcı türünden birinde gerçekleştirilir:

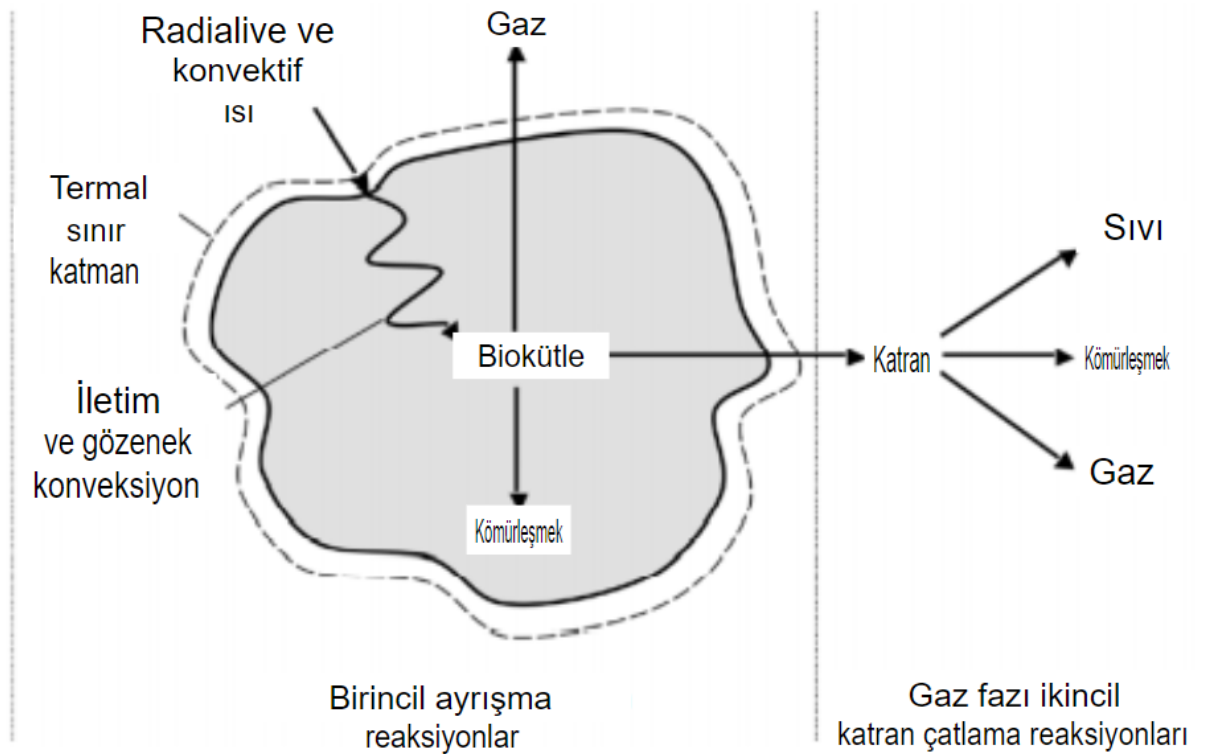
- Hareketli yatak (sabit yatak olarak da adlandırılır)
- Akışkan yatak
- Sürüklenmiş akış

Aşağı çekiş ve yukarı doğru çekiş iki yaygın hareketli yatak gazlaştırıcı tipidir. Avrupa, Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada'daki gazlaştırıcılarla ilgili bir araştırma, aşağı çekişli

gazlaştırıcıların en yaygın olanı olduğunu göstermektedir (Knoef, 2000). % 75'inin aşağıya çekildiğini, % 20'sinin akışkan yatak olduğunu, %2.5'inin yukarı çekildiğini ve %2.5'inin çeşitli diğer tasarımlardan olduğunu göstermektedir. Katı biyokütlenin sıvı yakıtla sıvılaştırılması, piroliz, gazlaştırma ve hidrotermal proses ile yapılabilir. İkinci işlemde, biyokütle yüksek sıcaklıklarda (300–350 ° C) yüksek (12–20 MPa) su ile bir süre temas ettirilerek yağlı bir sıvıya dönüştürülür. Biyokütlenin doğrudan sıvılaştırılması için süper kritik su işlemi dahil olmak üzere birkaç başka yöntem vardır. Behrendt vd. (2008) bu süreçlerin bir incelemesini sunar.

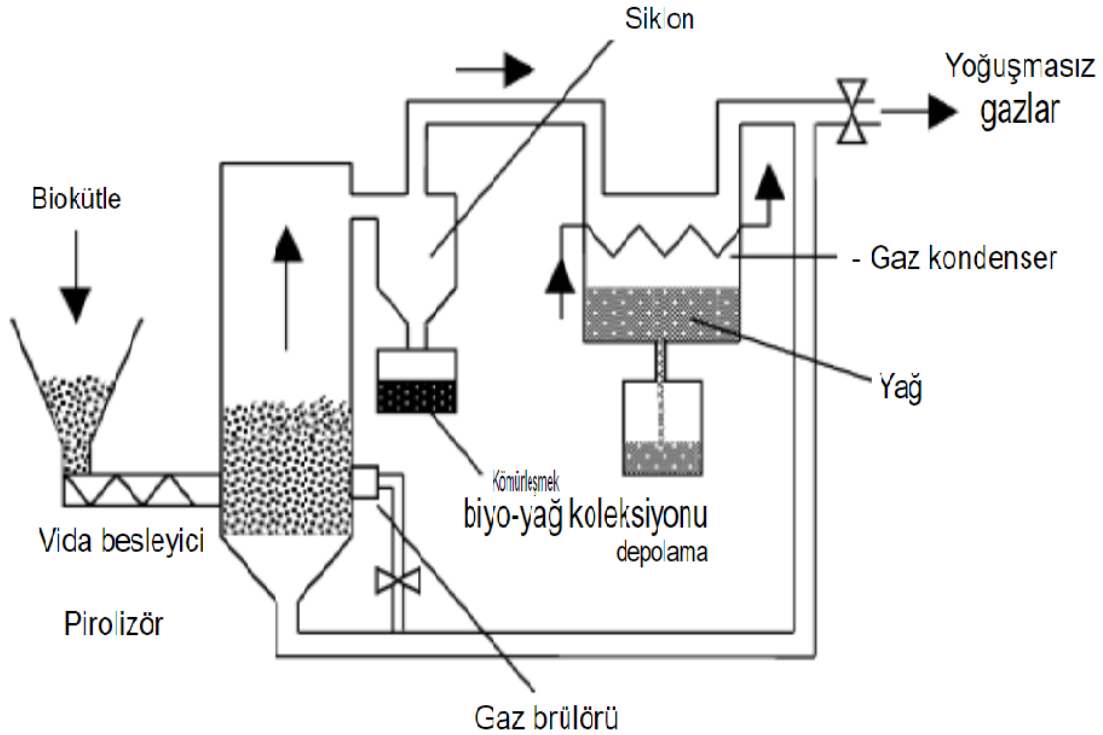
3.2 PİROLİZ

Piroliz, biyokütlenin veya diğer beslemenin hava veya oksijen yokluğunda belirli bir oranda piroliz sıcaklığı olarak bilinen maksimum bir sıcaklığa kadar ısıtılmasını ve orada belirli bir süre tutulmasını içerir. Ürününün doğası, piroliz sıcaklığı ve ısıtma hızı gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Pirolizin ilk ürünü yoğunlaşabilir gazlar ve katı kömürden oluşur. Yoğunlaşabilir gaz daha da yoğunlaşmayan gazlara (CO , CO_2 , H_2 ve CH_4), sıvıya ve kömüre dönüşebilir (Şekil 6).



Şekil 0.1: Parçacığın Pirolizi

Bu ayrışma, kısmen gaz fazındaki homojen reaksiyonlar yoluyla ve kısmen de gaz katı fazı heterojen termal reaksiyonlar yoluyla meydana gelir. Gaz fazı reaksiyonlarında, yoğunlaşabilir buhar CO ve CO₂ gibi daha küçük yoğunlaşamayan kalıcı gaz molekülleri halinde parçalanır. Piroliz işlemi, Piroliz gibi genel bir reaksiyonla temsil edilebilir, bir gazlaştırıcıda temel bir ön adımdır. Bu adım, özellikle hızlı karıştırılan reaktörlerde nispeten hızlıdır. Şekil 7, tipik bir piroliz tesisinin şematiği vasıtasıyla işlemi göstermektedir. Biyokütle, biyokütleyi ayrışmanın başladığı piroliz sıcaklığına ısıtan sıcak katı maddeler (akışkan yatak) içeren bir piroliz odasına beslenir. Biyokütleden açığa çıkan yoğunlaşabilen ve yoğunlaşmayan buharlar bölmeyi terk ederken, üretilen katı kömür kısmen bölmede ve kısmen gazda kalır. Gaz, kömürden ayrılır ve reaktörün akış aşağısında soğutulur. Yoğunlaşabilir buhar biyo-yağ veya piroliz yağı olarak yoğunlaşır; yoğunlaşmayan gazlar ürün gazı olarak odayı terk eder. Bu gazlar, Şekil 3.5'te gösterildiği gibi piroliz odasını ısıtmak için bir brülörde ateşlenebilir veya başka amaçlar için serbest bırakılabilir. Benzer şekilde, katı kömür ticari bir ürün olarak toplanabilir veya piroliz için gerekli olan ısıyı üretmek için ayrı bir odada yakılabilir.



Şekil 0.2: Piroliz tesisinin basitleştirilmiş düzeni

Bu gaz oksijenden muaf olduğu için, bir kısmı bir ısı taşıyıcı veya akışkanlaştırma ortamı olarak piroliz odasına geri dönüştürülebilir. Elbette, daha sonra tartışılacak olan sürecin varyasyonları vardır.

3.2.1 PİROLİZ ÜRÜNLERİ

Daha önce belirtildiği gibi, piroliz, büyük karmaşık moleküllerin birkaç küçük moleküle parçalanmasını içerir. Ürünü üç ana türe ayırmıştır:

- Katı (çoğunlukla kömür veya karbon)
- Sıvı (katran, daha ağır hidrokarbonlar ve su)
- Gaz (CO_2 , H_2O , CO , C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 , C_6H_6 , vb.)

Bu ürünlerin nispi miktarları, ısıtma hızı ve biyokütlenin ulaştığı son sıcaklık gibi çeşitli faktörlere bağlıdır.

Piroliz ürünü, proximate analizi ile belirlenen yakıtın "uçucu maddesi" ile karıştırılmamalıdır. Yakın analizde, sıvı ve gaz verimleri genellikle "uçucu madde" olarak ve kömür verimi "sabit karbon" olarak bir araya toplanır. Piroliz verimlerinin nispi oranı birçok çalışma faktörüne bağlı olduğundan, bir yakıtın uçucu maddesinin belirlenmesi, ASTM D-3172 ve D-3175 gibi test kodlarında belirtilen standart koşulların kullanılmasını gerektirir. Örneğin D-3175'te ortaya konan prosedür, uçucu maddesini ölçmek için yakıtın belirli bir örneğini 950 ° C'de bir fırında yedi dakika ısıtmayı içerir.

Katı

Char, pirolizin katı verimidir. Öncelikle karbondur (%85), ancak bir miktar oksijen ve hidrojen de içerebilir. Fosil yakıtların aksine, biyokütle çok az inorganik kül içerir. Biyokütle kömürünün daha düşük ısıtma değeri (LHV), yaklaşık 32 MJ / kg'dır (Diebold ve Bridgwater, 1997) ve bu, ana biyokütlenin veya sıvı ürünününkinden önemli ölçüde daha yüksektir.

Sıvı

Katran, biyo-yağ veya biyoküde olarak bilinen sıvı verimi, %20'ye kadar su içeren siyah katranlı bir sıvıdır. Esas olarak homolog fenolik bileşiklerden oluşur. Biyo-yağ, büyük miktarda oksijen ve su içeren karmaşık hidrokarbonların bir karışımıdır. Ana biyokütle, 19,5 ila 21 MJ / kg kuru baz aralığında bir LHV'ye sahipken, sıvı verimi 13 ila 18 MJ / kg ıslak baz aralığında daha düşük bir LHV'ye sahiptir (Diebold ve diğerleri, 1997). Biyo-yağ, biyokütlenin selüloz, hemiselüloz ve lignin bileşenlerinin hızla ve aynı anda depolimerize edilmesi ve parçalanmasıyla üretilir. Tipik bir işlemde, biyokütle, sıcaklıkta hızlı bir artışa ve

ardından ara piroliz ürünlerini "dondurmak" için anında söndürmeye tabi tutulur. Hızlı su verme, daha fazla bozunmayı, bölünmeyi veya diğer moleküllerle reaksiyonu önlediği için önemlidir. Biyo-yag, sürekli fazın, selüloz ve hemiseloz ayrışma ürünlerinin sulu bir çözeltisi ve lignin ayrışmasından küçük moleküller olduğu bir mikroemülsiyondur. Kesintili faz büyük ölçüde pirolitik lignin makromoleküllerinden oluşur (Piskorz ve diğerleri, 1988). Biyo-yag tipik olarak piroliz ortamından kaçan selüloz, hemiselüloz ve lignin polimerlerinin moleküler parçalarını içerir (Diebold ve Bridgwater, 1997). Yoğunlaştırılmış biyo-yagın moleküler ağırlığı 500 Dalton'u aşabilir (Diebold ve Bridgwater, 1997). Biyo-yagda bulunan bileşikler, aşağıdaki beş geniş kategoriye ayrılır (Piskorz ve diğerleri, 1988):

- Hidroksialdehitler
- Hidroksiketonlar
- Şekerler ve susuz şekerler
- Karboksilik asitler
- Fenolik bileşikler

Gaz

Biyokütlenin birincil ayrışması hem yoğunlaşabilir gazlar (buhar) hem de yoğunlaşmayan gazlar (birincil gaz) üretir. Daha ağır moleküllerden oluşan buharlar soğuduktan sonra yoğunlaşarak pirolizin sıvı verimine eklenir. Yoğunlaşmayan gaz karışımı, karbon dioksit, karbon monoksit, metan, etan ve etilen gibi daha düşük molekül ağırlıklı gazlar içerir. Bunlar soğutma sırasında yoğunlaşmaz. Buharın ikincil parçalanmasıyla üretilen ilave yoğunlaşmayan gazlara ikincil gazlar denir. Nihai yoğunlaşmayan gaz ürünü bu nedenle hem birincil hem de ikincil gazların bir karışımıdır. Birincil gazların LHV'si tipik olarak 11 MJ / Nm³'tür, ancak buharın şiddetli ikincil çatlamasından sonra oluşan piroliz gazlarınınki çok daha yüksektir: 20 MJ / Nm³ (Diebold ve Bridgwater, 1997). Tablo 5, piroliz gazının ısıtma değerlerini biyo-yag, ham biyokütle ve iki fosil yakıtla karşılaştırmaktadır.

Yakıt	Bitümlü					Gaz
	Petcoke	Kömürler	Talaş	Biyo-Yag	Piroliz	
Units	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg dry	MJ/kg	MJ/Nm ³	
Heating value	~29.8	~26.4	~20.5	13-18	11-20	

Tablo 5: Yakıtların Isıtma Değerleri

3.2.2 PİROLİZ TÜRLERİ

Isıtma hızına bağlı olarak, piroliz genel olarak yavaş ve hızlı olarak sınıflandırılabilir. Yakıtı piroliz sıcaklığına ısıtmak için gereken süre, teatasyon, karakteristik piroliz reaksiyon süresinden çok daha uzun ise, yavaş kabul edilir ve bunun tersi de geçerlidir. Yani:

- Yavaş piroliz: $t_{\text{piroliz}} \gg t_r$
- Hızlı piroliz: $t_{\text{piroliz}} \ll t_r$

Bu kriterler, basit bir doğrusal ısıtma oranı ($T_{\text{pyr}} / \text{theating}, K / s$) varsayılarak ısıtma hızı cinsinden de ifade edilebilir. Tek bir reaksiyon için karakteristik reaksiyon süresi, t_r , piroliz sıcaklığında değerlendirilen hız sabiti k 'nin tersi olarak alınır (Probstein ve Hicks, 2006, s. 63).

Pirolizin gerçekleştirildiği ortama ve basınca bağlı olarak birkaç başka varyant vardır. Belirli çalışma koşulları göz önüne alındığında, her işlemin kendine özgü ürünleri ve uygulamaları vardır. Aşağıdaki listede, ilk iki tür ısıtma hızına, üçüncüsü pirolizin gerçekleştirildiği ortama veya ortama dayanmaktadır: yavaş piroliz, hızlı piroliz ve hidropiroliz .

Yavaş ve hızlı piroliz, genellikle bir ortamın yokluğunda gerçekleştirilir. Spesifik bir ortamda diğer iki tip gerçekleştirilir: sulu piroliz (H_2O 'da) ve hidropiroliz (H_2 'de). Bu türler esas olarak kimyasalların üretimi için kullanılmaktadır. Yavaş pirolizde, buharın piroliz bölgesinde kalma süresi (buhar kalış süresi) dakikalar mertebesinde veya daha uzundur. Bu işlem esas olarak kömür üretimi için kullanılır ve iki türe ayrılır: karbonizasyon ve geleneksel. Hızlı pirolizde, buhar kalış süresi saniye veya milisaniye mertebesinde. Öncelikle biyo-petrol ve gaz üretimi için kullanılan bu tip piroliz iki ana tiptedir: flaş ve ultra hızlı.

Piroliz İşleyiş	İkamet Zaman	Isıtıcı Oranlı	Son Sıcaklık	(°Orta)	Ürünler
Kömürleşme	Günler	Çok düşük	400		Kömür
Geleneksel	5-30 dakika	Düşük	600		Kömürleşme, biyo-yag, gaz
Hızlı	<2 s	Çok yüksek	-500		Biyo-yag
Flaş	<1 s	Yüksek	<650		Biyo-yag, kimyasal, gaz
Ultra hızlı	<0.5 s	Çok yüksek	-1000		Kimyasal, gaz
Vakum	2-30 s	Orta	400		Biyo-yag
Hidropiroliz	<10 s	Yüksek	<500		Biyo-yag
Methano-piroliz	<10 s	Yüksek	>700		Kimyasal

Tablo 6: Bazı Piroliz İşlemlerinin Özellikleri

Tablo 6, farklı piroliz işlemlerinin özelliklerini karşılaştırmakta ve karbonizasyonu en yavaş ve ultra hızlı olarak en hızlı olarak göstermektedir. Kömürleşme esas olarak odun kömürü üretir; hızlı piroliz süreçleri sıvı veya gaz üretimini hedefler. ,

3.2.3 Yavaş Piroliz

Kömürleşme, odun kömürü veya odun kömürü üretiminin birincil hedef olduğu yavaş bir piroliz sürecidir. Binlerce yıldır kullanılan en eski piroliz şeklidir. Biyokütle, oksijen yokluğunda, uzun bir süre boyunca nispeten düşük bir sıcaklığa (~ 400 ° C) yavaşça ısıtılır ve bu, eski zamanlarda kömür oluşumunu en üst düzeye çıkarmak için birkaç gün sürerdi.

Şekil 7, büyük kütüklerin istiflendiği ve bir kil duvarla kaplandığı tipik bir arı kovanı fırınının çizimidir. Alt kısımdaki küçük bir ateş, gerekli ısıyı sağladı ve esasen iyi yalıtılmış kapalı odada kaldı. Karbonizasyon, yoğunlaşabilir buharın kömüre ve yoğunlaşmayan gazlara dönüştürülmesi için yeterli süre sağlar.

Geleneksel piroliz, üç tip piroliz ürününü (gaz, sıvı ve kömür) içerir. Bu nedenle, biyokütleyi orta bir hızda orta bir sıcaklığa (~ 600 °C) kadar ısıtır. Ürün kalış süresi dakikadır.

3.2.4 Hızlı Piroliz

Hızlı pirolizin birincil amacı, sıvı veya biyo-yağ üretimini en üst düzeye çıkarmaktır. Biyokütle, parçalanmadan önce en yüksek (piroliz) sıcaklığına ulaşacak kadar hızlı ısıtılır. Isıtma hızı 1000 ila 10.000 °C / s kadar yüksek olabilir, ancak biyo-yağ ilgilenilen ürünse pik sıcaklık 650 °C'nin altında olmalıdır. Bununla birlikte, gaz üretimi birincil ilgi konusuysa, tepe sıcaklık 1000 °C'ye kadar çıkabilir. Hızlı piroliz için Şekil 7 ve 11 (a) ve (b) 'de gösterilene benzer akışkanlaştırılmış yataklar kullanılabilir. Hızlı piroliz işleminin sıvı verimini artırmaya yardımcı olan dört önemli özelliği: (1) çok yüksek ısıtma hızı, (2) 425 ila 600 °C aralığında reaksiyon sıcaklığı, (3) kısa kalma süresi (< 3s) reaktördeki buhar ve (4) ürün gazının hızla söndürülmesi.

3.2.5 Flaş Piroliz

Flaş pirolizde biyokütle, oksijen yokluğunda 450 ila 600 °C'lik nispeten mütevazı bir sıcaklık aralığına hızla ısıtılır. Yoğunlaşabilen ve yoğunlaşmayan gaz içeren ürün piroliz cihazını 30 ila 1500 ms'lik kısa bir ikamet süresi içinde terk eder (Bridgwater, 1999). Soğutulduktan

sonra, yoğunlaştırılabilir buhar biyo-yag olarak bilinen sıvı bir yakıtı yoğunlaştırılır. Böyle bir işlem kömür üretimini azaltırken sıvı verimini artırır. Flaş pirolizde tipik bir biyo-yag verimi, toplam piroliz ürününün %70 ila 75'idir.

3.2.6 Ultra Hızlı Piroliz

Ultra hızlı piroliz, biyokütlenin bir ısı taşıyıcı katı ile son derece hızlı karıştırılmasını içerir, bu da çok yüksek bir ısı transferi ve dolayısıyla ısıtma hızı ile sonuçlanır. Primer ürünün hızlı bir şekilde söndürülmesi, reaktöründe meydana gelen pirolizi takip eder. Bir gaz-katı ayırıcı, sıcak ısı taşıyıcı katıları yoğunlaşamayan gazlardan ve birincil ürün buharlarından ayırır ve bunları karıştırıcıya geri döndürür. Daha sonra ayrı bir yakıcıda ısıtılırlar. Daha sonra oksitlenmeyen bir gaz, sıcak katıları Şekil 11 (d) 'de gösterildiği gibi karıştırıcıya taşır. Kesin olarak kontrol edilen kısa bir homojen kalma süresi, ultra hızlı pirolizin önemli bir özelliğidir. Gazın ürün verimini en üst düzeye çıkarmak için, piroliz sıcaklığı gaz için yaklaşık 1000 °C ve sıvı için yaklaşık 650 °C'dir.

3.2.7 Ortam Varlığında Piroliz

Normal piroliz, hava gibi bir ortamın yokluğunda gerçekleştirilir, ancak su veya hidrojen gibi bir ortamda özel bir tip gerçekleştirilir. Hidropirolizde, biyokütlenin termal ayrışması yüksek basınçlı hidrojen atmosferinde gerçekleşir. Hidropiroliz uçucu verimi ve düşük molar kütleli hidrokarbonların oranını artırabilir (Rocha ve diğerleri, 1997). Bu işlem kömürün hidrogazlaştırılmasından farklıdır. Daha yüksek uçucu verimi, serbest radikal parçalarının yeniden polimerize olmadan ve kömür oluşturmada önce onları stabilize etmeye yeterli hidrojenasyonuna atfedilir (Probstein ve Hicks, 2006, s. 99)

Sulu piroliz, biyokütlenin yüksek sıcaklıktaki suda termal olarak parçalanmasıdır. Ticari bir şirket olan Changing World Technology tarafından hindi sakatatını yakıt, gübre veya kimyasalların üretiminde kullanılabilecek hafif hidrokarbona dönüştürmek için kullanılır. İki aşamalı bir işlemde, ilk aşama basınç altında 200 ila 300 ° C'de suda gerçekleşir; ikinci aşamada üretilen hidrokarbon, yaklaşık 500 ° C'lik bir sıcaklıkta daha hafif hidrokarbona bölünür (Appel ve diğerleri, 2004). Yüksek oksijen içeriği, biyo-yagın önemli bir eksikliğidir. Hidroliz, düşük oksijenli biyo-yag üretebilir.

3.2.8 Piroliz Ürünü Verimi

Pirolizin ürünü piroliz cihazının tasarımına, biyokütlenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine ve aşağıdaki gibi önemli çalışma parametrelerine bağlıdır.

- Isıtma oranı
- Son sıcaklık (piroliz sıcaklığı)
- Reaksiyon bölgesinde ikamet süresi

Bunların yanı sıra, katran ve diğer ürünlerin verimleri (1) basınca, (2) ortam gaz bileşimine ve (3) mineral katalizörlerin varlığına bağlıdır (Shafizadeh, 1984). Nihai sıcaklığı ve ısıtma oranını değiştirerek, pirolizin katı, sıvı ve gaz halindeki ürünlerinin nispi verimlerini değiştirmek mümkündür. Hızlı ısıtma, daha yavaş bir ısıtma işlemi ile üretilenden daha yüksek uçucular ve daha fazla reaktif kömür verir; daha yavaş ısıtma hızı ve daha uzun kalma süresi, birincil kömür ile uçucular arasındaki bir reaksiyondan üretilen ikincil kömüre neden olur.

3.3 BİYOKÜTLE BİLEŞİMİNİN ETKİSİ

Biyokütlenin bileşimi, özellikle hidrojen-karbon (H / C) oranı, piroliz verimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bir odunözü-selülozik biyokütlenin üç ana bileşeninin her biri, tercih edilen ayrışma sıcaklık aralığına sahiptir. Termogravimetrik cihazdan (TGA) diferansiyel termogravimetreden (DTG) elde edilen verilerin bazı seçilmiş biyokütle üzerindeki analizi, pirolizin başlaması için aşağıdaki sıcaklık aralıklarını önerir (Kumar ve Pratt, 1996):

- Hemiselüloz: 150–350 °C
- Selüloz: 275–350 °C
- Lignin: 250–500 °C

Bireysel bileşenler farklı şekilde pirolize uğrar ve verime değişen katkılar sağlar. Örneğin, selüloz ve hemiselüloz, ligno-selüloz biyokütlesindeki uçucu maddelerin ana kaynaklarıdır. Bunlardan selüloz, yoğunlaşabilir buharın birincil kaynağıdır. Öte yandan hemiselüloz, selüloz tarafından salınandan daha fazla yoğunlaşmayan gaz ve daha az katran üretir (Reed, 2002, s. II-109). Aromatik içeriğinden dolayı lignin yavaş yavaş bozulur ve kömür verimine büyük katkı sağlar. Selüloz, 300 ila 400 °C'lik dar bir sıcaklık aralığında ayrışır.

Herhangi bir katalizörün yokluğunda, saf selüloz pirolizi ağırlıklı olarak bir monomer olan levoglukozana dönüşür (Diebold ve Bridgwater, 1997). 500 °C'nin üzerinde, levoglukozan ihmal edilebilir bir kömür oluşumu ile buharlaşır, böylece esas olarak gaz ve petrol verimine katkıda bulunur. Hemiselülozlar, belki de kristallik eksiklikleri nedeniyle ahşabın en az kararlı

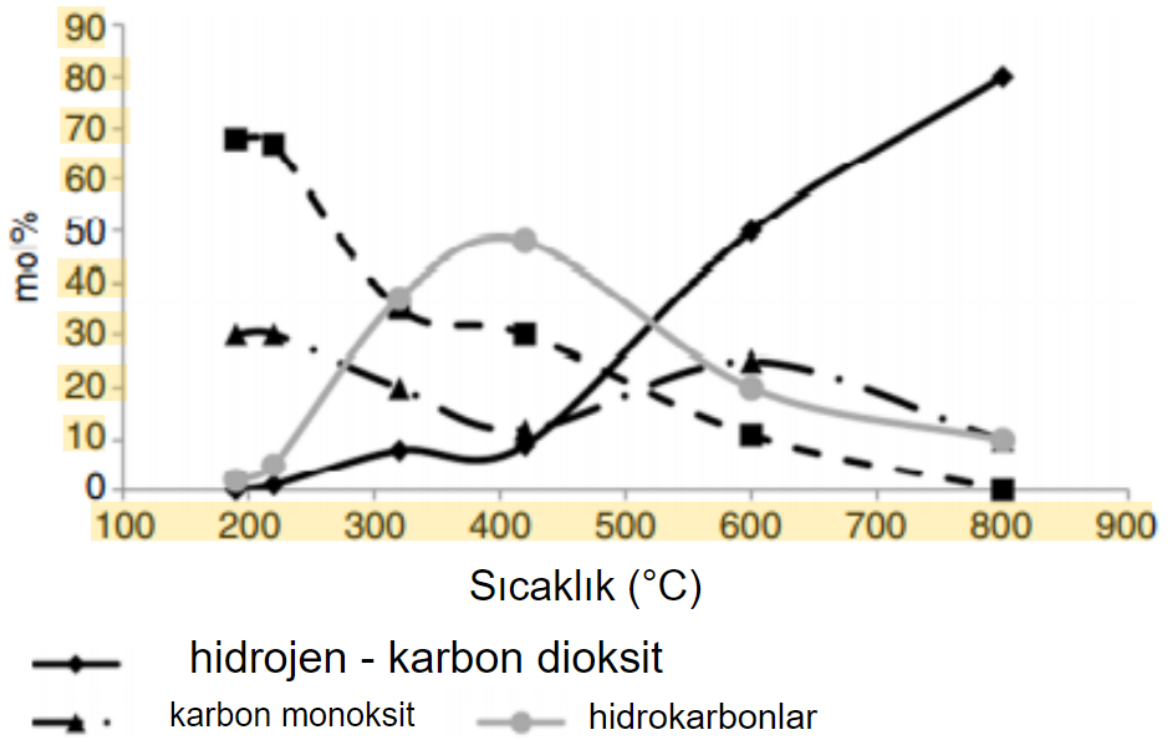
bileşenleridir (Reed, 2002, s. II-102). Selülozdan farklı olarak, lignin 280 ila 500 °C'lik daha geniş bir sıcaklık aralığında ayrışır ve maksimum salım hızı 350 ila 450 °C'de gerçekleşir (Kudo ve Yoshida, 1957). Lignin pirolizi, selüloz tarafından üretilenden daha fazla aromatik ve kömür üretir (Soltes ve Elder, 1981). 400 °C'de yavaş bir ısıtma hızı altında ağırlığının yaklaşık% 40'ını kömür olarak verir (Klass, 1998). Lignin, sulu bileşenler ve katran içeren sıvı verimine (~% 35) bir miktar katkıda bulunur. Eter ve karbon-karbon bağlarının bölünmesi yoluyla fenol verir (Mohan ve diğerleri, 2006). Linyin pirolizinin gaz halindeki ürünü, orijinal ağırlığının sadece yaklaşık %10'udur.

Parçacık boyutu

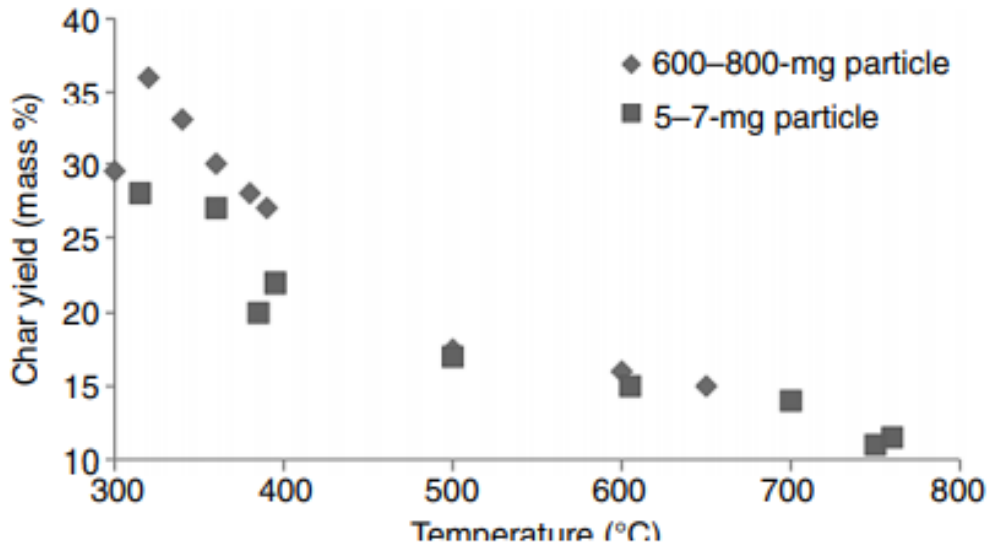
Biyokütlenin bileşimi, boyutu, şekli ve fiziksel yapısı, ısıtma hızı üzerindeki etkileriyle piroliz ürünü üzerinde bir miktar etki yapar. Daha ince biyokütle parçacıkları, yoğunlaşabilir gazların kaçışına karşı daha az direnç sunar, bu nedenle ikincil çatlamaya uğramadan önce çevreye nispeten kolay bir şekilde kaçar. Bu, daha yüksek bir sıvı verimi ile sonuçlanır. Öte yandan daha büyük parçacıklar, birincil piroliz ürününün kaçmasına sundukları daha yüksek direnç nedeniyle ikincil çatlamayı kolaylaştırır. Bu nedenle, eski odun kömürü üretim yöntemleri, kapalı bir odada büyük boyutlu odun parçaları yığınları kullanıyordu.

3.4 PİROLİZ SICAKLIĞININ ETKİSİ

Piroliz sırasında, bir yakıt parçacığı ortamdan piroliz sıcaklığı olarak bilinen maksimum sıcaklığa kadar belirli bir oranda ısıtılır. Yakıt, işlem tamamlanana kadar orada tutulur. Piroliz sıcaklığı, ürünün hem bileşimini hem de verimini etkiler. Şekil 8, bir biyokütlenin pirolizi sırasında, çeşitli ürün gazlarının salınımının farklı sıcaklıklarla nasıl değiştiğinin bir örneğidir. Salım oranlarının farklı gaz bileşenleri için büyük ölçüde değiştiğini görebiliriz. Üretilen kömür miktarı ayrıca piroliz sıcaklığına da bağlıdır. Düşük sıcaklıklar daha fazla kömürle sonuçlanır; yüksek sıcaklıklar daha az sonuç verir. Şekil 9, bir huş ağacı parçacığının pirolizinden üretilen kömür miktarının artan sıcaklıkla nasıl azaldığını göstermektedir.



Şekil 0.1: Ahşabın kuru damıtılması sırasında gazların açığa çıkması



Şekil 0.2: Pirolizden kömür verimi, artan sıcaklıkla azalır. Veriler, iki boyut (veya kütle) huş ağacı parçacığı içindir

3.5 ISINMA HIZININ ETKİSİ

Biyokütle partiküllerinin ısınma hızı, ürünün verimi ve bileşimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Orta bir sıcaklığa (400-600 ° C) hızlı ısıtma, daha yüksek uçucular ve dolayısıyla daha fazla sıvı verirken, bu sıcaklığa kadar daha yavaş ısıtma daha fazla kömür üretir. Örneğin Debdoubi ve ark. (2006), ısıtma hızı 5'ten 250 °C / dakikaya, 400'den 500 °C / dakikaya çıktığında, Esparto'dan sıvı veriminin %45'ten 68.5'e yükseldiğini gözlemledi. Ancak ısıtma hızı tek başına ürünü tanımlamaz. Ürünün reaktörde kalma süresi de önemlidir. Yavaş ısıtma sırasında, uçucuların reaktörden yavaş veya kademeli olarak uzaklaştırılması, kömür parçacıkları ve uçucular arasında ikincil bir reaksiyonun meydana gelmesine izin vererek ikincil bir kömür oluşumuna yol açar.

Bir piroliz cihazının çalışma parametreleri, ilgilenilen nihai ürünün gerekliliğini karşılayacak şekilde ayarlanır. Bir piroliz cihazında ısıtma için geçici tasarım normları şunları içerir:

- Kömür üretimini en üst düzeye çıkarmak için, yavaş bir ısıtma hızı ($<0,01-2,0$ °C / s), düşük bir son sıcaklık ve uzun bir gaz kalma süresi kullanın.
- Sıvı verimini en üst düzeye çıkarmak için, yüksek bir ısıtma hızı, orta düzeyde bir son sıcaklık (450-600 °C) ve kısa bir gaz kalma süresi kullanın.
- Gaz üretimini en üst düzeye çıkarmak için, yavaş bir ısıtma hızı, yüksek bir son sıcaklık (700–900 °C) ve uzun bir gaz kalma süresi kullanın.

Kömürleşme yoluyla odun kömürü üretiminde ilk norm kullanılır. Hızlı piroliz, sıvı verimini en üst düzeye çıkarmak için ikinciye kullanır. Üçüncü norm, gaz üretiminin maksimize edilmesi gerektiğinde kullanılır.

3.6 PİROLİZ KİNETİĞİ

Bir piroliz kinetiği çalışması, bir piroliz veya gazlaştırıcının mühendislik tasarımı için önemli bilgiler sağlar. Ayrıca, bir piroliz cihazındaki farklı işlemlerin ürün verimini ve bileşimini nasıl etkilediğini açıklamaya yardımcı olur. Piroliz oranını etkileyen üç ana süreç kimyasal kinetik, ısı transferi ve kütle transferidir. Bu bölüm, süreci yöneten fiziksel ve kimyasal yönleri açıklamaktadır.

3.6.1 Fiziksel Yönlere

Termal bir bakış açısından, piroliz sürecini dört aşamaya ayırabiliriz. Sıcaklığa göre bölünmesine rağmen, aralarındaki sınırlar keskin değildir; her zaman bir miktar örtüşme vardır:

Kurutma (~ 100 °C). Düşük sıcaklıkta biyokütle ısıtmanın ilk aşaması sırasında, serbest nem ve gevşek bir şekilde bağlı su açığa çıkar. Serbest nem buharlaşır ve daha sonra ısı biyokütlenin iç kısmına iletilir (Şekil 6). Nem yüksekse, bağlı su, sonraki soğutmada katılan lignitik fraksiyonun erimesine yardımcı olur. Bu fenomen, ahşabın mobilya için şekillendirilmesinde popüler bir uygulama olan buharla bükmede kullanılır (Diebold ve Bridgwater, 1997). İlk Aşama (100–300 °C). Bu aşamada, biyokütlenin ekzotermik dehidrasyonu, su ve CO ve CO₂ gibi düşük molekül ağırlıklı gazların salınmasıyla gerçekleşir.

Ara Aşama (> 200 °C). Bu birincil pirolizdir ve 200 ila 600 °C sıcaklık aralığında gerçekleşir. Biyo-yağın öncüsü veya buharının çoğu bu aşamada üretilir. Biyokütle partiküllerinin büyük molekülleri, kömüre (birincil kömür), yoğunlaştırılabilir gazlara (sıvı veriminin buharları ve öncüleri) ve yoğunlaşmayan gazlara ayrışır.

Son aşama (~ 300–900 °C). Pirolizin son aşaması, uçucuların kömüre ve yoğunlaşmayan gazlara ikincil olarak parçalanmasını içerir. Biyokütlerde yeterince uzun süre kalırlarsa, nispeten büyük moleküler ağırlıklı yoğunlaştırılabilir gazlar çatlayarak ek kömür (ikincil kömür olarak adlandırılır) ve gazlar verebilir. Bu aşama tipik olarak 300 °C'nin üzerinde gerçekleşir (Reed, 2002, s. III-6). Yoğunlaşabilir gazlar, reaksiyon alanından hızlı bir şekilde çıkarılırsa, aşağı akış reaktöründe katran veya biyo-yağ olarak dışarıda yoğunlaşır. Şekil 3.6'dan, daha yüksek bir piroliz sıcaklığının, 600 ° C'nin üzerinde hızla artan hidrojen üretimini desteklediği açıktır. Kaydırma reaksiyonunun ilave bir katkısı hidrojen verimini 900 °C'nin üzerine çıkarır. Sıcaklığın piroliz ürünü üzerinde büyük bir etkisi vardır. Karbondioksit verimi düşük sıcaklıklarda yüksektir ve yüksek sıcaklıklarda düşer. Hidrokarbon gazlarının salınımı yaklaşık 450 °C'de zirveye ulaşır ve ardından 500 °C'nin üzerine düşerek hidrojen oluşumunu artırır. Sıcak kömür partikülleri, biyokütle partikülü içinde salınan buharın birincil çatlamasını ve partikül dışında ancak reaktör içinde meydana gelen ikincil çatlamayı katalize edebilir. Yoğunlaşabilir gazların çatlamasını önlemek ve dolayısıyla sıvı verimini artırmak için yoğunlaşabilir buharın hızlı bir şekilde uzaklaştırılması çok önemlidir. Reaktörde yoğunlaşabilir gazın kalış süresi ne kadar kısa olursa ikincil çatlama o kadar az olur ve dolayısıyla sıvı verimi o kadar yüksek olur.

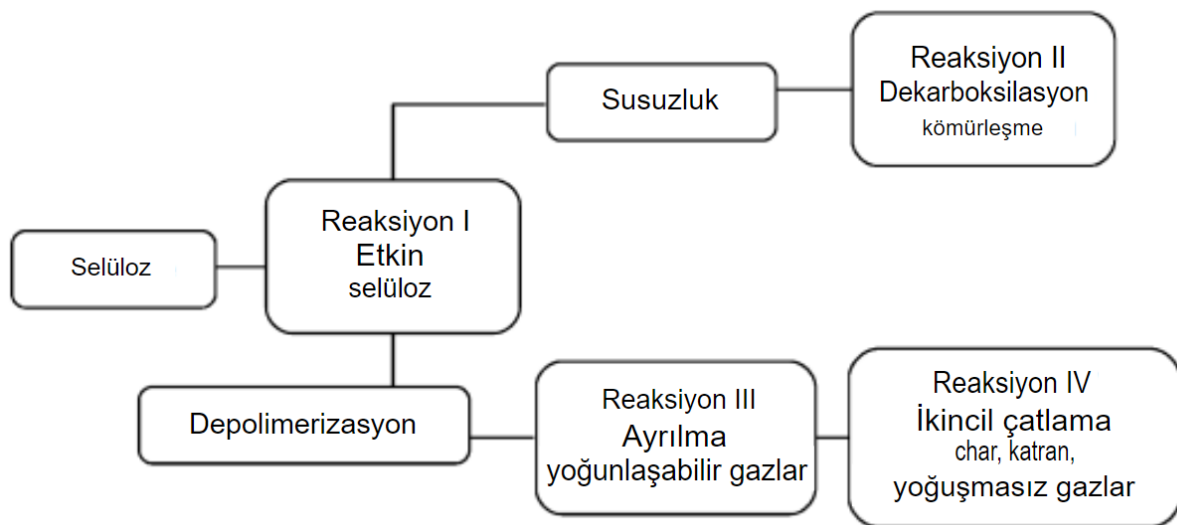
Piroliz sürecindeki bazı aşamaların örtüşmesi doğaldır. Örneğin, düşük ısı iletkenliği (0.1-0.05 W / m.K) nedeniyle, iç kısım hala kurutma aşamasındayken dışarıda büyük bir odun kütüğü yanıyor olabilir ve uçlardan su sıkılabilir. Bir orman yangını sırasında bu olay sıklıkla gözlemlenir. Gözlenen yoğun alev, dış yüzeyin yanmasından ziyade esas olarak ahşabın iç kısmından salınan piroliz ürünlerinin yanmasından kaynaklanmaktadır.

3.6.2 Kimyasal Yönler

Daha önce belirtildiği gibi, tipik bir biyokütlenin üç ana bileşeni vardır: (1) selüloz, (2) hemiselüloz ve (3) lignin. Bu bileşenler, farklı bozunma oranlarına ve tercih edilen ayrışma sıcaklık aralıklarına sahiptir.

Selüloz

Selülozun ayrışması karmaşık bir çok aşamalı süreçtir. Bunu açıklamak için çok sayıda model önerildi. Broido-Shafizadeh modeli (Bradbury ve diğeri, 1979) en iyi bilinendir ve en azından niteliksel olarak çoğu biyokütleye uygulanabilir (Bridgwater ve diğeri, 2001). Şekil 10, Broido-Shafizadeh modelinin bir şemasıdır; buna göre piroliz süreci, bir ara ön reaksiyon (I) ve ardından iki rakip birinci derece reaksiyonu içerir:



Şekil 0.1: Tüm biyokütleye makul şekilde uygulanabilen modifiye Broido-Shafizadeh selüloz modeli.

- Reaksiyon II: dehidrasyon (düşük sıcaklıkta ve yavaş ısıtma hızlarında hakimdir)
- Reaksiyon III: depolimerizasyon (hızlı ısıtma oranlarında hakimdir) Reaksiyon II, su buharı, karbon dioksit ve karbon monoksit gibi kömür ve yoğunlaşmayan gazlar üretmek için bir dizi adım yoluyla dehidrasyon, dekarboksilasyon ve karbonizasyonu içerir. 300 ° C'nin altındaki düşük sıcaklıklarda (Soltes ve Elder, 1981, s. 82) ve yavaş ısıtma hızlarında (Reed, 2002, s. II-113) tercih edilir.

Reaksiyon III, depolimerizasyon ve kesmeyi içerir, katran ve yoğunlaşabilir gazlar dahil buharlar oluşturur. Levoglucosan, bu yolda önemli bir ara üründür (Klass, 1998, s. 228), daha hızlı ısıtma oranları (Reed, 2002, s. II-113) ve 300 °C'nin üzerindeki yüksek sıcaklıklar (Soltes ve Elder 1981, sayfa 82).

Yoğunlaşabilir buhar, reaktörden hızlı bir şekilde çıkmasına izin verilirse, biyo-yağ veya katran olarak yoğunlaşır. Öte yandan, reaktör içinde biyokütle ile temas halinde tutulursa, ikincil reaksiyonlara (reaksiyon IV) girerek buharı ikincil kömür, katran ve gazlara ayırabilir (Şekil 10). Reaksiyon II ve III'ten önce, reaksiyon sıcaklığında sıvı olan ancak oda sıcaklığında katı olan, aktif selüloz adı verilen çok kısa ömürlü bir ara ürün oluşturan reaksiyon I'den önce gelir (Boutin ve Lédé, 2001; Bradbury ve diğerleri, 1979; Bridgwater et al. al., 2001).

Reaksiyon I'in varlığı konusunda farklı görüşler vardır çünkü bu kararsız türler çoğu piroliz işleminde nihai üründe görülmez. Bununla birlikte, ahşabın, ara sıvı ürün olan "aktif selüloz" varlığından dolayı pürüzsüz bir yağlama hissi yaratmak için sıcak bir metal yüzey üzerinde sürüklendiği ablatif pirolizde belirgindir. Depolimerizasyon (reaksiyon III) (Şekil 3.8), dehidrasyondan (reaksiyon II) daha yüksek aktivasyon enerjilerine sahiptir (Bridgwater ve diğerleri, 2001).

Bu nedenle, daha düşük bir sıcaklık ve daha uzun bir kalış süresi, bu reaksiyonu kolaylaştırır ve esas olarak kömür, su ve karbon dioksit üretir. Diğer yandan, daha yüksek aktivasyon enerjisi nedeniyle, reaksiyon III, daha yüksek sıcaklıklarda, hızlı ısıtma hızında ve daha uzun kalış sürelerinde tercih edilir ve esas olarak gaz verir. Orta sıcaklık ve kısa buhar kalma süresi ikincil çatlamayı önleyerek, büyük ölçüde ticari öneme sahip biyo-yağın öncüsü olan yoğunlaşabilir buhar üretir. Selüloz için piroliz, Tablo 7, I, II, III ve IV reaksiyonları için önerilen bazı reaksiyon hızı sabitlerini verir.

Reaction: $\frac{dm}{dt} = A_i(V_i^3 - V_i)e^{-E_i/RT}$	A_i (s ⁻¹)	E_i (kJ/mol)
I—First degradation (active cellulose) ¹	2.8×10^{19}	243
II—Dehydration (char and gas) ¹	1.31×10^{10}	153
III—Depolymerization (tars) ¹	3.16×10^{14}	198
IV—Secondary cracking (Gas, Char) ²	4.28×10^6	107.5

¹Data excerpted from Bradbury et al., 1979.
²Data excerpted from Liden et al., 1988.

Tablo 7: Broido-Shafizadeh Modeline Göre Selüloz Pirolizi için 3 Hız Sabiti

Broido-Shafizadeh modeli, bir biyokütle bileşeni (selüloz) için geliştirilmiş olsa da, ahşap gibi tüm bir biyokütlenin pirolizine uygulanabilir. Bir odun kütüğü çok yavaş ısıtılırsa, parlak bir tutuşma gösterir, çünkü bu koşul altında reaksiyon II baskındır ve çoğunlukla havayla temas ettiğinde sarı alev olmadan tutuşan kömür üretir. Odun daha hızlı ısıtılırsa, sarı alevle yanar, çünkü daha yüksek bir ısıtma hızında, reaksiyon III baskındır ve her ikisi de havada parlak bir alevle yanan daha fazla buhar veya katran üretir.

Hemiselüloz

Hemiselüloz daha fazla gaz ve daha az katran üretir, ancak aynı zamanda selüloza kıyasla daha az kömür üretir. Bununla birlikte, aynı miktarda sulu piroligne asit ürünü üretir (Soltes and Elder, 1981, s. 84). Hemiselüloz, selüloz veya lignin için olandan daha düşük bir sıcaklıkta başlayan hızlı termal ayrışmaya (Demirbaş, 2000) uğrar. Linyinin sahip olduğundan daha fazla kombine nem içerir ve yumuşama noktası da daha düşüktür. Hemiselülozun ekzotermik zirvesi, lignin için olandan daha düşük bir sıcaklıkta görülür.

(Demirbaş, 2000). Ahşabın yavaş pirolizinde hemiselüloz piroliz 130 ila 194 °C'de başlar ve ayrışmanın çoğu 180 °C'nin üzerinde meydana gelir (Mohan ve diğerleri, 2006, s. 126).

Lignin

Linyinin pirolizi tipik olarak yaklaşık %55 kömür (Soltes ve Elder, 1981), %15 katran, %20 sulu bileşenler (piroligneöz asit) ve yaklaşık %12 gaz üretir. Linyini kurutmak selüloz veya hemiselülozdan daha zordur (Mohan, 2006, s. 127). Ondan üretilen katran, biri fenol olan, yeşil reçinenin (biyokütleden üretilen bir reçine) önemli bir hammaddesi olan fenolik bileşiklerin bir karışımını içerir. Sulu kısım, metanol, asetik asit, aseton ve su içerir. Odun

içindeki ligninin ayrışması 280 ° C'de başlayıp 450 ila 500 °C'ye kadar devam edebilir ve 350 ila 450 °C'de pik hızına ulaşabilir (Kudo ve Yoshida, 1957).

3.6.3 Piroliz Kinetik Modelleri

Proses parametrelerini optimize etmek ve istenen verimleri en üst düzeye çıkarmak için piroliz kinetiği bilgisi önemlidir. Bununla birlikte, geniş bir biyokütle aralığı ve farklı ısıtma oranları için kullanılabilen güvenilir kinetik hız sabitleri verilerini elde etmek çok zordur. Dengesizlik ve kararsız durum süreci olduğundan hızlı piroliz için bu daha da zordur. Mühendislik tasarım amaçları için, bir "kara kutu" yaklaşımı, en azından ilk yaklaşım için faydalı olabilir. Aşağıdaki tartışma, nispeten yavaş ısıtma oranlarından elde edilen verilere dayalı olarak sürecin niteliksel bir anlayışını sunar. Biyokütle gibi ligno-selülozik yakıtların pirolizinin kinetik modelleri

Genel olarak üç türe ayrılabilir (Blasi, 1993): Tek aşamalı küresel tek reaksiyon. Piroliz, deneysel olarak ölçülen ağırlık kaybı oranları kullanılarak tek aşamalı bir reaksiyonla modellenmiştir.

Tek aşamalı, çoklu reaksiyonlar. Birkaç paralel reaksiyon kullanılır.

Biyokütlenin kömür ve çeşitli gazlara ayrışmasını tanımlar. Bu paralel reaksiyonlar için tek aşamalı basitleştirilmiş bir kinetik model kullanılır. Ürün dağılımının belirlenmesinde faydalıdır.

İki aşamalı yarı küresel. Bu model, seri halinde meydana gelen hem birincil hem de ikincil reaksiyonları içerir.

Yakıt	Temperature (K)	E (kJ/mol)	A (s ⁻¹)	Reference
Selüloz	520–1270	166.4	3.9×10^{11}	Lewellen et al., 1977
Hemiselüloz	520–1270	123.7	1.45×10^9	Min, 1977
Lignin	520–1270	141.3	1.2×10^8	Min, 1977
Odun	321–720	125.4	1.0×10^8	Nolan et al., 1972
Badem kabuk	730–880	95–121	1.8×10^6	Font et al., 1990
Kayın talaş	450–700	84 ($T > 600K$)	2.3×10^4	Barooah and Long, 1976

Tablo 8: Tek Adımlı Tek Reaksiyonlu Global Model Yakıt T için Kinetik Hız Sabitleri

3.7 PİROLİZDE ISI TRANSFERİ

Önceki tartışmalar, ısı veya kütle taşıma oranının genel piroliz oranına herhangi bir direnç sunamayacak kadar yüksek olduğunu varsaymaktadır. Bu, 300 ila 400 °C sıcaklık aralığında doğrudur (Thurner ve Mann, 1981), ancak daha yüksek sıcaklıklarda ısı ve kütle taşıma, toplam hızı etkiler ve bu nedenle ihmal edilemez. Bu bölüm, piroliz sırasında ısı taşınımı ile ilgilidir. Piroliz sırasında ısı, parçacığın dış yüzeyine radyasyon ve konveksiyon yoluyla taşınır. Daha sonra kondüksiyon ve gözenek konveksiyonu ile parçacığın içine aktarılır (Şekil 6). Bu süreçte aşağıdaki ısı transferi modları yer alır (Babu ve Chaurasia, 2004b).

- Parçacık içinde iletim
- Partikül gözenekleri içinde konveksiyon
- Parçacık yüzeyinden konveksiyon ve radyasyon
- Ticari bir piroliz cihazında veya gazlaştırmada, sistem önce bir ısı transfer ortamını ısıtır; bu da ısıyı biyokütleyle aktarır. Isı transfer ortamı, aşağıdakilerden biri veya bir kombinasyonu olabilir:
- Reaktör duvarı (vakum reaktörü için)
- Gaz (sürüklenmiş yataklı veya sürüklenmiş akışlı reaktör için)
- Isı taşıyıcı katılar (akışkan yatak için)

Kabarcıklanan akışkan yataklar çoğunlukla katı-katı ısı transferi kullanır. Dolaşan akışkan yataklar ve taşıma reaktörleri, katı-katı ısı transferine ek olarak gaz katı ısı transferini kullanır. Biyokütle parçacığının iç kısmına ısı transferi çoğunlukla ısı iletim ile gerçekleştiğinden, biyokütlenin düşük ısı iletkenliği ($\sim 0.1 \text{ W / m.K}$), iç kısmının hızlı ısınması için büyük bir caydırıcıdır. Bu nedenle, parçacığın dış yüzeyinin ısınma hızı $10.000 \text{ }^\circ\text{C / s}$ kadar hızlı olsa bile, iç kısım kaba bir parçacık için önemli ölçüde daha yavaş bir hızda ısıtılabilir. İç kısmın ilişkili yavaş ısınması nedeniyle, partikül büyüklüğü arttıkça partikül içindeki ikincil reaksiyonlar giderek daha önemli hale gelir ve bunun sonucunda sıvı verimi düşer (Scott ve Piskorz, 1984). Örneğin, Shen ve ark. (2009), yağ veriminin 0.3 ila 1.5 mm aralığında partikül boyutu ile azaldığını, ancak boyut 3.5 mm'ye çıkarıldığında hiçbir etkinin kaydedilmediğini belirtti. Bununla birlikte deneysel sonuçlar (Seebauer ve diğerleri, 1997), partikül boyutunun biyokütle üzerindeki pek bir etkisini göstermemektedir.

3.7.1 Kütle Transfer Etkisi

Kütle transferi piroliz ürününü etkileyebilir. Örneğin, yakıtın üzerindeki bir gaz taraması, ürünleri piroliz ortamından hızla uzaklaştırır.

Böylece termal çatlama, yeniden polimerizasyon ve yeniden yoğunlaşma gibi ikincil reaksiyonlar en aza indirilir (Sensoz ve Angin, 2008).

3.7.2 Piroliz Ototermal mi?

Tasarımcılar için önemli bir soru, bir piroliz cihazının kendi enerji ihtiyaçlarını karşılayıp karşılayamayacağı veya harici enerjiye bağlı olup olmadığıdır. Kısa ve kesin olmayan cevap, bir bütün olarak bir piroliz cihazının kendi kendine yeterli enerji olmadığıdır. Reaksiyon ısısı, beslemeyi ve herhangi bir inert ısı transfer ortamını reaksiyon sıcaklığına yükseltmek için gereken ısı, endotermik reaksiyonlar tarafından tüketilen ısı ve reaktörden ısı kayıpları dahil olmak üzere tüm enerji taleplerini karşılamak için yetersizdir. Çoğu durumda, gereken ısıyı sağlamak için yoğunlaşmayan gazları ve üretilen kömürü yakmak gerekir. Bu yeterli değilse, piroliz için gerekli enerjiyi sağlamak için başka ısı kaynakları gereklidir. Aşağıdaki bölüm, bir piroliz cihazında meydana gelen reaksiyonların ısı gereksinimini tartışmaktadır. Dehidrasyon (reaksiyon II) süreci ekzotermik iken depolimerizasyon (reaksiyon III) ve ikincil çatlama (reaksiyon IV) endotermiktir (Bridgwater ve diğerleri, 2001). Pirolizin ara ürünleri arasındaki reaksiyonlar arasında,

bazıları ekzotermiktir ve bazıları endotermiktir. Genel olarak, hemiselüloz ve ligninin pirolizi ekzotermiktir. Selüloz piroliz daha düşük sıcaklıklarda (<400–450 °C) endotermiktir ve aşağıdaki ekzotermik reaksiyonlar nedeniyle daha yüksek sıcaklıklarda ekzotermik hale gelir (Klass, 1998).

Bu nedenle, uygun şekilde tasarlanmış bir sistem başlangıçta yalnızca gerekli sıcaklığa ulaşılan kadar harici ısıya ihtiyaç duyar. Selülozdan kömür üretimi biraz ekzotermiktir. Bununla birlikte, daha yüksek bir sıcaklıkta, reaksiyonla yeterli hidrojen üretildiğinde , diğer ekzotermik reaksiyonlar (Eşitlik 8 ve 9) ilerleyebilir. Uçucuların düşük sıcaklıklarda ve kısa kalma sürelerinde, yalnızca endotermik birincil reaksiyonlar aktiftir (reaksiyon ısısı –225 kJ / kg), yüksek sıcaklıklarda ise ekzotermik ikincil reaksiyonlar (reaksiyon ısısı 20 kJ / kg) aktiftir (Blasi, 1993) . Sonuç olarak, tasarım amacıyla piroliz işlemi için reaksiyon ısısı ihmal edilebilir, ancak ürünlerin buharlaşması ve hammadde gazlarının piroliz sıcaklığına kadar ısıtılması için gereken enerjinin hesaplanması gerekir (Boukis ve diğerleri, 2007).

3.8 PİROLİZ TİPLERİ

Pirolizler, antik çağlardan beri odun kömürü üretmek için kullanılmaktadır (Şekil 4). Erken pirolizler, kömür üretimini en üst düzeye çıkarmak için çok yavaş bir ısıtma hızı kullanarak ve uzun reaksiyon süreleri kullanarak parti modunda çalıştırıldı. Pirolizin amacı maksimum miktarda sıvı veya gaz üretmekse, o zaman ısıtma hızı, pik piroliz sıcaklığı ve piroliz süresi buna göre seçilmelidir. Bu seçimler aynı zamanda ne tür bir reaktörün kullanılacağına da karar verdi. Tablo 9, farklı ısıtma hızı, sıcaklık ve gaz kalma süresi seçenekleri için verimin nasıl maksimize edildiğini göstermektedir. Modern pirolizörler daha çok gaz ve sıvı ürünlerle ilgilidir ve sürekli bir işlem gerektirir. Bir dizi farklı tipte piroliz reaktörü geliştirilmiştir. Gaz-katı temas moduna bağlı olarak, bunlar genel olarak sabit yatak, akışkan yatak ve sürüklenmiş yatak olarak sınıflandırılabilir ve daha sonra tasarım konfigürasyonuna bağlı olarak alt bölümlere ayrılabilir. Aşağıdakiler, kullanımda olan başlıca piroliz tasarımlarından bazılarıdır:

- Sabit veya hareketli yatak
- Fokurdayan akışkan yatak
- Dolaşan akışkan yatak
- Ultra hızlı
- Dönen koni
- Ablatif
- Vakum

Hareketli yatak dışındaki diğer gazlaştırıcı türleri Şekil 11'de gösterilmektedir.

3.8.1 Sabit Yataklı Piroliz

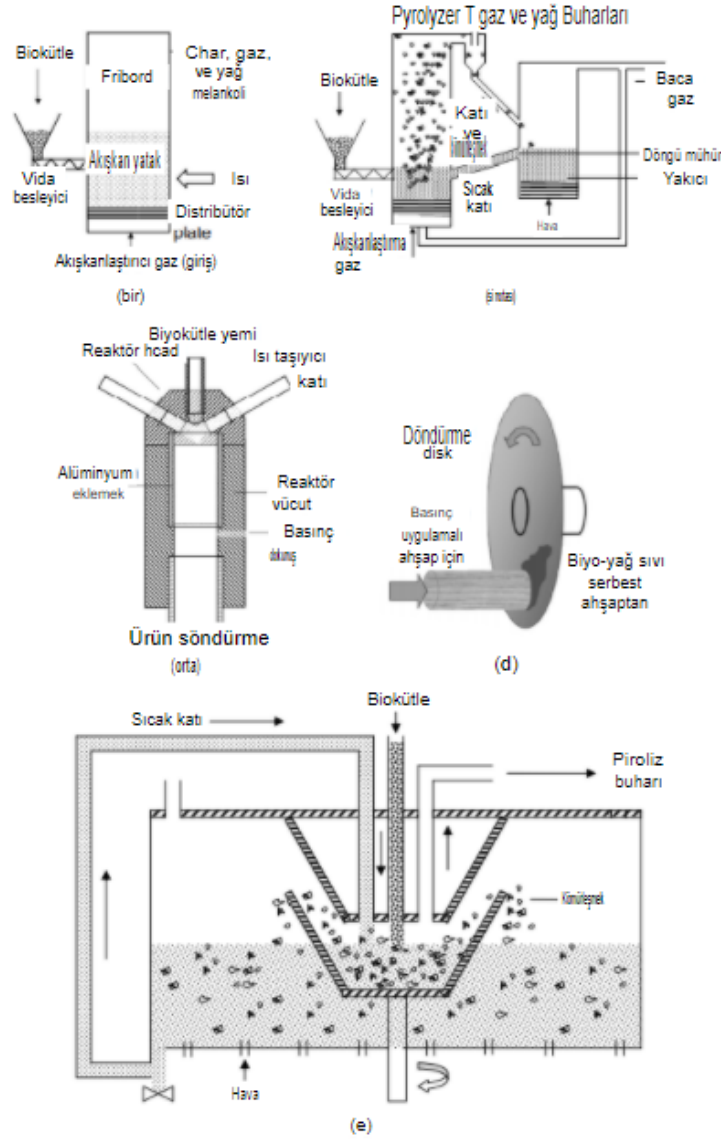
Toplu modda çalışan sabit yataklı piroliz, en eski piroliz tipidir. Biyokütlenin termal ayrışması için ısı, ya harici bir kaynaktan ya da bir arı kovani fırınında olduğu gibi sınırlı yanmaya izin verilerek sağlanır (Şekil 4)

Maxim Maximum Verim	Maksimum Sıcaklık	Isıtıcı	Oranlı	Gaz	İkamet	Zaman
Kömürleşmek	Düşük	Yavaş		Uzun		
Sıvı	Düşük (~500 °C)	Yüksek		Kısa		
Gaz	Yüksek	Düşük		Uzun		

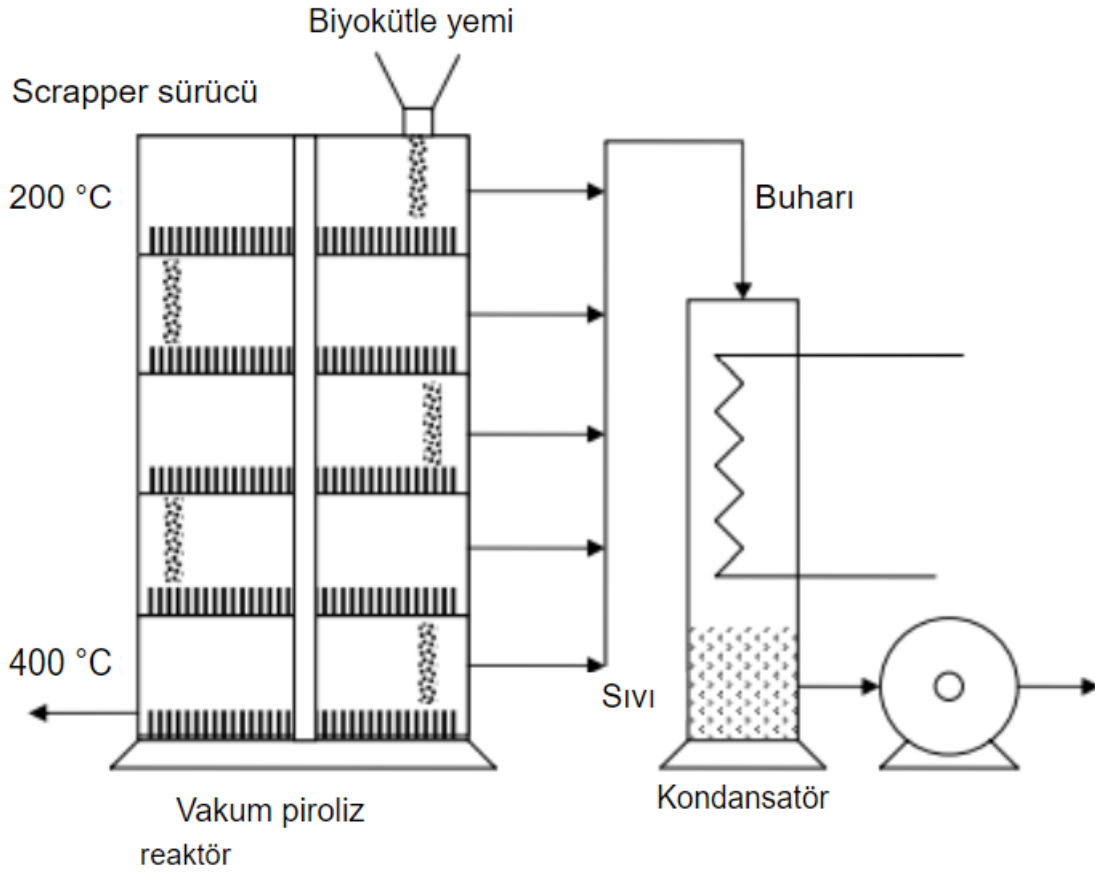
¹Data excerpted from Bridgwater, 1999.

Source: Compiled from data in Demirbas, 2001.

Tablo 9: 5 Çalışma Değişkenlerinin Piroliz Verimi Üzerindeki Etkisi



Şekil 0.1.1: Çeşitli piroliz tasarımları: (a) köpüren akışkan yatak, (b) dolaşan akışkan yatak, (c) ultra hızlı, (d) ablatif, (e) dönen koni ve



Şekil 11.2 1 : Devamı (f) Vakum

Kömür reaktörde kalırken hacim genişlemesi nedeniyle ürün piroliz cihazından dışarı akabilir. Bazı tasarımlarda, ürün gazının reaktörden etkili bir şekilde uzaklaştırılması için bir temizleme gazı kullanılır. Bu gaz oksijensiz zorunlu olarak inerttir. Bu tipin ana ürünü, nispeten yavaş ısıtma hızı ve piroliz bölgesinde ürünün uzun kalış süresi nedeniyle kömürdür.

3.8.2 Kabarcıklanma Yatağı Pirolizatörü

Şekil 3.9 (a), köpüren akışkan yataklı bir piroliz cihazını göstermektedir. Ezilmiş biyokütle (2–6 mm), köpüren sıcak kum yatağına beslenir. Yatak, geri dönüştürülmüş baca gazı gibi bir inert gazla akışkanlaştırılır. İnert yatak katılarının (kum yaygın olarak kullanılır) yoğun şekilde karıştırılması, iyi ve tek tip sıcaklık kontrolü sağlar. Ayrıca biyokütle katılarına yüksek ısı transferi sağlar. Katıların kalma süresi, piroliz cihazındaki gazıkinden önemli ölçüde daha yüksektir.

Piroliz için gerekli ısı, ürün gazının bir kısmının Şekil 7'de gösterildiği gibi yatakta yakılmasıyla veya katı kömürün ayrı bir odada yakılması ve bu ısının yatak katılarına aktarılmasıyla sağlanabilir (Şekil 11b) .

Piroliz ürünü tipik olarak kuru odun beslemesi üzerinde yaklaşık %70 ila 75 sıvı içerecektir. Şekilde gösterildiği gibi, yatak katılarındaki kömür, bir buharla kırma katalizörü olarak işlev görür, bu nedenle, sıvı ürünü maksimize etmek için ikincil çatlamadan kaçınılacaksa, ayrılması önemlidir. Sürülen kömür parçacıkları, tek veya çok aşamalı siklonlar kullanılarak ürün gazından ayrılır. Kabarcıklı akışkan yataklı piroliz cihazının olumlu bir özelliği, ölçeklendirmenin nispeten kolay olmasıdır.

3.8.3 Dolaşan Akışkan Yataklı Piroliz

Şekil 3.9 (b) 'de gösterilen, dolaşan akışkan yataklı (CFB) bir piroliz, yatağın oldukça genişlemesi ve katıların bir siklon ve halka sızdırmazlığı içeren bir harici döngü etrafında sürekli olarak geri dönmesi dışında, kabarcıklı akışkan yatakla aynı prensipte çalışır. Yatak, hızlı yatak olarak bilinen özel bir hidrodinamik rejimde çalışır. İyi bir sıcaklık kontrolü sağlar ve ünitenin tüm yüksekliği boyunca tek tiptir. Bir CFB'deki yüzeysel gaz hızı, köpüren bir yataktakinden önemli ölçüde daha yüksektir. Mükemmel karıştırma ile birleştirilen yüksek hız, bir CFB'nin büyük biyokütle çıktılarına sahip olmasını sağlar. Burada, gaz ve katılar, bir dereceye kadar iç geri akışla reaktöre doğru hareket eder. Sonuç olarak, ortalama biyokütle partiküllerinin kalış süresi gazinkinden daha uzundur, ancak fark, kabarcıklı bir yataktaki kadar yüksek değildir. Bu sistemin önemli bir avantajı, reaktörden alınan kömürün kolayca ayrılması ve harici bir akışkan yatak içinde yakılmasıdır. Yanma ısısı, bir halka conta vasıtasıyla reaktöre geri dönüştürülen inert yatak katı maddelerine aktarılır. Ensyn tarafından geliştirilen ticari bir süreç olan hızlı termal piroliz (RTP), muhtemelen Kanada'daki Western Ontario Üniversitesi'nde geliştirilen ultra hızlı akışkan yataklı pirolizden kaynaklanmıştır. RTP, yükseltici bir reaktör kullanır. Burada, biyokütle bir kaba verilir ve yukarı akan sıcak kum fırtınası tarafından hızla 500 ° C'ye ısıtılır; daha sonra saniyeler içinde soğutulur. Isıtma hızı 1000 ° C / s mertebesinde ve reaktörde kalma süresi milisaniyenin birkaç yüzde biri ile maksimum 5 saniyedir, bu da ahşap için %83 kadar yüksek bir sıvı verimi sağlar (Hulet ve ark. ., 2005).

3.8.4 Ultra Hızlı Piroliz

Piroliz bölgesinde yüksek ısıtma hızı ve kısa kalma süresi, yüksek sıvı veriminin iki temel şartıdır. Western Ontario Üniversitesi tarafından geliştirilen ve Şekil 11(c) 'de gösterilen ultra hızlı piroliz son derece kısa karıştırma (10–20 ms), reaktörde kalma (70–200 ms) ve söndürme (~ 20 ms) süreleri sağlar. Reaktör sıcaklığı da düşük olduğundan (~ 650 °C), % 90 kadar yüksek bir sıvı verimi elde edilebilir (Hulet vd., 2005). İnert gaz nitrojen, reaktör sıcaklığının 100 °C üzerinde ısıtılır ve reaktöre enjekte edilen biyokütle akımını bombardıman

etmek için reaktöre çok yüksek hızda enjekte edilir. Reaktör ayrıca, dışarıdan ısıtılan ve çok sayıda jetler aracılığıyla bir biyokütle akışı üzerinde bombardımana tutulan kum benzeri bir ısı taşıyıcı katı da kullanabilir. Reaktörde böylesine yüksek hızlı bir etki, olağanüstü yüksek bir ısıtma oranıyla sonuçlanır. Biyokütle böylece birkaç milisaniye içinde piroliz sıcaklığına ısıtılır. Piroliz ürünü reaktörü alttan terk eder ve yağ buharının ikincil bir reaksiyonunu veya çatlamasını bastırmak için hemen soğutulur. Bu işlem bu nedenle piroliz sırasında sıvı verimini en üst düzeye çıkarabilir.

3.8.5 Ablatif Piroliz

Şekil 3.9 (d) 'de gösterilen bu işlem, bir biyokütle partikülü ile bir sıcak reaktör duvarı arasında yüksek basınç oluşturulmasını içerir. Bu, duvardan biyokütleyle engellenmemiş ısı transferine izin vererek, sıvı ürünün, sıcak bir tavaya bastırıldığında donmuş tereyağının erimesi gibi biyokütleden erimesine neden olur. Duvara doğru kayan biyokütle, arkasında buharlaşan ve biyokütle ile duvar arasındaki arayüz olan piroliz bölgesini terk eden sıvı bir film bırakır. Gibi

yüksek ısı transferi ve kısa gaz kalma süresinin bir sonucu olarak, %80 kadar yüksek bir sıvı verimi rapor edilmektedir (Diebold ve Power, 1988). Biyokütle ve duvar arasındaki basınç, mekanik yollarla veya merkezkaç kuvveti ile oluşturulur. Mekanik bir sistemde büyük bir biyokütle parçası, dönen bir sıcak plakaya bastırılır.

3.8.6 Döner Koni Pirolizatörü

Bu süreçte, biyokütle parçacıkları, fazla miktarda ısı taşıyıcı katı parçacıkla birlikte dönen bir koninin (360–960 dev / dak) altına beslenir (bkz. Şekil 11 (e)). Merkezkaç kuvveti parçacıkları sıcak duvara doğru iter; parçacıklar, duvar boyunca spiral olarak yukarı taşınır. Mükemmel karışımı sayesinde, biyokütle hızlı ısıtmaya (5000 K / s) maruz kalır ve küçük dairesel hacim içinde pirolize edilir. Biyo-yağ buharı içeren ürün gazı, başka bir tüpten ayrılırken, katı kömür ve kum, Şekil 11 (e) 'de gösterildiği gibi, dönen koninin üst kenarından onu çevreleyen bir akışkan yatağa dökülür. Kömür, akışkan yatakta yanar ve bu yanma, koninin yanı sıra piroliz için ısı sağlamak üzere geri dönüştürülen katıların ısıtılmasına yardımcı olur.

Bu reaktörün özel özellikleri arasında çok kısa katı kalma süresi (0.5 saniye) ve küçük bir gaz fazı kalma süresi (0.3 saniye) bulunur. Bunlar tipik olarak kuru yemde %60 ila % 70 lik bir

verim sağlar (Hulet ve diğerleri, 2005). Taşıyıcı gazın olmaması, bu işlemin bir başka avantajıdır. Sistemin karmaşık geometrisi, bazı ölçek büyütme sorunlarını ortaya çıkarabilir.

3.8.7 Vakumlu Piroliz

Şekil 11 (f) 'de gösterildiği gibi bir vakumlu piroliz cihazı, bir dizi istiflenmiş ısıtılmış dairesel plaka içerir. Üst plaka yaklaşık 200 °C iken alttaki yaklaşık 400 °C'dir. Üst plakaya beslenen biyokütle, sıyrıcılar vasıtasıyla ardışık alt plakalara düşer. Biyokütle, plakalar üzerinde hareket ederken kuruma ve pirolize uğrar. Bu piroliz cihazında taşıyıcı gaz gerekmez. Biyokütle en alt plakaya ulaştığında sadece kömür kalır. Isıtma hızı olmasına rağmen biyokütle nispeten yavaştır, buharın piroliz bölgesinde kalma süresi kısadır. Sonuç olarak, bu işlemdeki sıvı verimi nispeten düşüktür, kuru yemde yaklaşık %35 ila 50, yüksek bir kömür verimi ile. Bu piroliz tasarımı, özellikle vakum pompasının kirlenme potansiyeli dikkate alındığında karmaşıktır.

3.9 PİROLİZATÖRTASARIMI

Bu bölümde, piroliz yoluyla sıvı yakıt ve odun kömürü üretiminde piroliz tasarımıyla ilgili hususlar tartışılmaktadır.

3.9.1 Piroliz yoluyla Sıvı Üretimi

Piroliz, biyokütleden sıvı yakıt üretmenin birkaç yolundan biridir. Termal bozunmadan maksimum organik sıvı (pirolitik yağ veya biyo-yag) verimi, biyokütle hızla bir ara sıcaklığa kadar ısıtılırsa ve piroliz bölgesinde kısa bir kalma süresi varsa, % 70'e (kuru ağırlık) kadar yükseltilebilir. ikincil reaksiyonları azaltmasına izin verilir. Bölümde daha önceki Tablo 6, ısıtma hızı, piroliz sıcaklığı ve kalma süresinin piroliz ürününün doğasını nasıl etkilediğini göstermektedir. Bu bulgular şu şekilde özetlenebilir:

- Daha yavaş bir ısıtma hızı, daha düşük bir sıcaklık ve daha uzun bir kalma süresi, katı kömür verimini en üst düzeye çıkarır.
- Daha yüksek ısıtma hızı, daha yüksek sıcaklık ve daha kısa kalma süresi, gaz verimini en üst düzeye çıkarır.
- Daha yüksek bir ısıtma hızı, bir ara sıcaklık ve daha kısa bir ikamet süresi, sıvı verimini en üst düzeye çıkarır.

Maksimum sıvı verimi için optimum bir piroliz sıcaklığı vardır. Verim 500 °C'de en yüksektir ve bu sıcaklığın keskin bir şekilde üstüne ve altına düşer (Boukis ve diğerleri, 2007). Kalma süresi genellikle 0,1 ila 2,0 saniye aralığındadır. Bu değerler, biyokütle türü dahil olmak üzere

çeşitli faktörlere bağlıdır (Klass, 1998). Makul bir verim değerlendirmesi için kinetik bir model kullanabiliriz.

Liden ve ark. (1988) çok çeşitli koşullarda piroliz sıvısı verimlerini tahmin etmede başarılıdır. Isı transferi, bir piroliz cihazının tasarımında önemli bir husustur. Tipik bir piroliz için ısı dengesi şu şekilde yazılabilir:

Ünite tasarlanmadan önce ısı kaybını doğru bir şekilde değerlendirmek zordur. Öyleyse, ön değerlendirme için, bunu gelen akıştaki ısıнын% 10'u olarak alabiliriz (Boukis ve diğerleri, 2007, s. 1377). Hızlı veya ani piroliz özellikle biyokütlenin pirolitik sıvılaştırılması için uygundur. Ürün, uygun arıtma yöntemleriyle yakıt ve kimyasalların üretilmesine olanak sağlayan birkaç hidrokarbon karışımıdır. Üretilen sıvının ısıtma değeri, ana biyokütle ile aynı aralıktadır (15–19 MJ / kg). Pirolitik sıvı, birkaç suda çözünür şeker ve polisakkarit türevi bileşikler ve suda çözünmeyen pirolitik lignin içerir. Pirolitik sıvı, çoğu fuel oilden çok daha yüksek miktarda oksijen (~ %50) içerir. Aynı zamanda daha ağırdır (özellik ağırlık ~ 1.3) ve daha viskozdur. Akaryakıtın aksine pirolitik yağın viskozitesi polimerizasyon nedeniyle zamanla artar. Bu yağ, akaryakıt gibi kendiliğinden tutuşmaz ve bu nedenle bir dizel motoru çalıştırmak için dizel ile karıştırılamaz.

Bununla birlikte, pirolitik yağ, doğal gıda aroması gibi, ekstrakte edilebilen ve kalan ürünü yanmaya bırakan bazı yararlı kimyasalların iyi bir kaynağıdır. Alternatif olarak, pirolitik yağı, benzin ve dizel üretmek için hidrokraking işlemine tabi tutabiliriz.

3.9.2 Piroliz yoluyla Odun Kömürü Üretimi

Karbon, orta sıcaklıkta biyokütle pirolizinin tercih edilen bir ürünüdür. Termodinamik denge hesaplaması, çoğu biyokütlenin kömür veriminin% 35'i geçemeyeceğini göstermektedir. Tablo 10, farklı sıcaklıklarda biyokütlenin teorik denge verimini vermektedir. Selülozun biyokütleyi temsil ettiği varsayılırsa, odun kömürü üretimi için stokiyometrik denklem (Antal, 2003) şu şekilde yazılabilir:

Biyokütleden odun kömürü üretimi, uzun bir süre için yavaş ısıtma gerektirir, ancak yaklaşık 400 °C gibi nispeten düşük bir sıcaklıkta. Piroliz veya karbonizasyonun aşırı bir örneği, demir ekstraksiyonu için kullanılan sert kok üretmek için koklaşabilir kömürü pirolize eden (karbonize eden) bir demir çelik fabrikasındaki kok fırınındadır.

Product (%)	Temperature (°C)				
	200	300	400	500	600
C	32	28	27	27	25.2
H ₂ O	36.5	32.5	9.5	27	22.5
CH ₄	8.5	10	10.5	10	9
CO ₂	23.9	28	32	35	36
CO	0	0	0.1	1.2	4.5

Source: Derived from data in Antal, 2003.

Tablo 10: Selüloz Pirolizinin Farklı Sıcaklıklarda Termodinamik Denge Konsantrasyonu

Bu, 1000 °C'yi aşan bir sıcaklıkta ve gaz ve katı kok üretimini en üst düzeye çıkarmak için uzun bir süre çalışan, dolaylı olarak ısıtılmış sabit yataklı bir pirolizdir.

4.SONUÇ

Önemli enerji kaynaklarından olan biyokütle enerjisi, enerji açığını kapatmak için kullanılmak istendiğinde piroliz yönetimine de başvurulabilir. Bu yöntemde oksijensiz ortamdan yakılan biyokütle, katı, gaz ve katı,gaz heterojen karışımı oluşturur. Bu katı oluşum kömür olarak kullanılabilirdiği gibi herhangi başka işlevlerde de kullanılır. Çıkan gaz için de yağışturma işlemi kullanılarak sıvı ürün elde edilmeye çalışılır. Yoğunlaşmayan gaz ortamı terk eder ve eğer gerekli materyaller kullanılırsa gaz tutulur ve tekrar kullanılabilir. Yoğunlaşan gaz için de sıvı ürünler elde edilir ve enerji sektörü için önemli bir açığı kapatır.

Raporun içeriğinde bahsedilen noktalar ışığında, enerji kaynaklarının bir tanesi olarak gösterilen ve günümüzde değerlendirme yapıldığında enerji ihtiyacının önemli bir kısmını kurtarabilecek bir potansiyele sahip olan biyokütle enerjisinin olumlu yönde dönütlerini almak adına araştırmalar yapılmıştır. Yapılan araştırmalar neticesinde piroliz yöntemiyle biyokütleden ürünler elde edilmeye çalışılacak ve bu ürünlerden en sonunda sıvı ürün elde etmek amaçlanacaktır. Bu proseslerde oksijensiz ortamda biyokütle olarak bilinen herhangi bir ürünün yakılmasıyla ürünler elde edilmeye çalışılacaktır. Bu amaç doğrultusunda bazı hesaplamalar ve tasarımlara öncülük edecek bilgileri toplama, derleme ve özetleme yoluyla planlar oluşturulmaya başlanmıştır. Oluşabilecek olumsuzluklar da göz önünde bulundurularak sonraki süreçte en verimli tasarımı yapmak adına çalışmalar devam edecektir.