

Biyokütle Dönüşüm Süreçleri

*Yasin ÖZAY, Hasan ATEŞ, Fadime TANER

Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 33343 Yenişehir-Mersin/Türkiye

Özet

Dünyanın enerji ihtiyacının büyük bir bölümü kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Bu enerji kaynaklarının kullanılması sonucunda meydana gelen sera gazları ise küresel iklim değişikliğinden sorumlu tutulmaktadır

Endüstriyel ve tarımsal organik atık biyokütlenin önemli bir enerji kaynağı olduğu bilinmektedir. Araştırmalar biyokütlenin bilinen yakıtlara dönüşümü ve bilimsel verilere dayalı uygun teknolojilerin geliştirilmesi için tüm dünyada yoğunlaşmıştır.

Türkiye’de bir çok biyokütle kaynağı bulunmaktadır. Gayri safi milli hasılanın büyük bir kısmını temsil eden tarım en büyük aktivitelerden biridir. Bu derleme çalışmasında da biyokütlenin yararlı ürünlere dönüşüm süreçleri araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyokütle, enerji, dönüşüm prosesleri.

Conversion Processes of Biomass

Abstract

Huge parts of world’s energy needs are provided from fossil fuels such as coal, petroleum and natural gas. As a result of the use of these energy sources, global climate change occurs and it is important environmental problem of world.

It is known that industrial and agricultural organic waste biomass is an important energy sources, the investigation is concentrated on the conversion of biomass into conventional fuel and the technological development is processed by basing on the scientific research results in all over the world.

There are many sources of biomass in Turkey. Agriculture is the main activity and represents a large share of gross national income. In this paper, biomass conversion processes to usefull products is investigated.

Key words:Biomass, energy, conversion processes.

1. Giriş

*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering Mersin University, 33343, Mersin, TURKEY. E-mail address: yasinozay.33@gmail.com, yasinozay@mersin.edu.tr
Phone: +903243610001/7084, Fax: +903243610032

Enerji, ülkelerin ekonomik ve sosyal gelişimi ve o ülkede yaşayan insanların yaşam standartlarının artırılması açısından büyük önem taşır. İyi bir yaşam için gerekli olan tüm gereksinimler enerji sayesinde sunulabilmektedir. Enerji gereksinimi ise dünyada artan nüfus ve gelişmekte olan teknolojiye bağlı olarak sürekli artmaktadır. Dünyanın enerji ihtiyacının büyük bir bölümü kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Bu enerji kaynaklarının kullanılması sonucunda meydana gelen sera gazları ise küresel iklim değişikliğinden sorumlu tutulmaktadır [1]. Fosil yakıt kaynaklarının sınırlı olması ve her geçen gün azalması nedeniyle bu kaynakların 2050 yılında tükenebileceğinin tahmin edildiği rapor edilmiştir [2].

Fosil yakıtlar ile karşılaştırıldığında, uygulama alanı en geniş olan yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi biyokütledir. Biyokütle yalnız yenilenebilir olması ile değil, yeryüzündeki pek çok bölgede yetiştirilebilmesi, sosyo-ekonomik gelişme sağlaması, çevrenin korunmasına katkıda bulunması ve büyük potansiyele sahip olması nedeniyle stratejik bir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir [3]. Avrupa Birliği, Kyoto Protokolü gereksinimlerini ve yüksek enerji taleplerini karşılamak için olası enerji kaynağı olarak biyoyakıtların kullanılmasını teşvik etmektedir. Bu nedenle ülkemizin de yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynağı olan biyokütleyle yönelmesi ve biyokütlenin biyoyakıtlara dönüşüm proseslerini geliştirmesi büyük önem taşımaktadır.

Biyokütle çeşitli prosesler sonucunda katı, sıvı ve gaz ürünlere dönüşerek orijinal hallerine kıyasla daha yüksek ısı değerine sahip ve taşınabilmesi, depolanması kolay yakıtlara dönüştürülebilirler.

2. Biyokütle

2.1 Biyokütlenin Tanımı

Biyokütle, güneş enerjisini doğrudan fotokimyasal olaylar ile kimyasal bağlarında depolayan organik maddedir ve bu maddelerin kullanımı sonucu oluşan diğer maddeler, yüzyıldan daha kısa bir süreçte yenilenebilen karada ve suda yetişen bitkiler, hayvansal atıklar, besin endüstrisi ve orman yan ürünleri ile kentsel atıkları içeren bütün maddeler “biyokütle”, bu maddelerden elde edilen enerji ise biyokütle enerjisi olarak tanımlanmaktadır [2].

Biyokütle, farklı süreçler uygulanarak faydalı enerji şekillerine dönüştürülebilir. Dönüşüm süreçlerini özellikle biyokütlenin miktarı ve türü, istenilen enerji şekli, çevresel standartlar, ekonomik koşullar ve uygulanan projenin özellikleri etkilemektedir. Pek çok durumda istenen enerji şeklini öncelikle uygulanan süreç ve ardından seçilen biyokütlenin türü ve miktarı belirlemektedir. Biyokütle üç ana ürüne dönüştürülebilir: güç/ısı üretimi, yakıt ve faydalı kimyasallar. Biyokütleden enerji elde etmek için termal, termokimyasal ve biyokimyasal yöntemler olmak üzere üç temel süreç bulunmaktadır. Kimyasal yöntemler ise biyokütleden enerji elde etmek için dördüncü bir yöntemdir.

2.2. Biyokütle Türleri

2.2.1. Enerji Bitkileri

Enerji bitkileri, enerji üretimi için yetiştirilen bitkilerdir. En önemlileri, söğüt, okalipütüs ve kavak gibi kısa sürede yetiştirilebilen mahsuller, süpürge darısı (sorgum) vb. otsu mahsuller; mısır, buğday ve arpa gibi nişasta mahsulleri; şeker kamışı ve pancar gibi şeker mahsulleri; çeşitli otlar, kabayonca ve at yemi gibi yem mahsulleri; soya fasulyesi, ayçiçeği, pamuk ve kolza tohumu gibi yağ mahsulleridir [4].

2.2.2. Tarımsal Atıklar

Tarımsal atıklarbaşlıca, besin eldesi amacıyla tarım yoluyla üretilen bitkilerin hasat sonrası ekim alanlarında ya da işlendikleri tesislerde kalan ve endüstriyel potansiyele sahip olan kök, sap, kabuk ve yapraklarını kapsar. Buğday vepirinç sapları, tahıldan elde edilen saman, mısır sapı ve koçanları bu gruba örnek verilebilir. Ayrıca, sert kabuklu yemişlerin kabukları ve meyve çekirdekleri gibi yüksek atık potansiyeli olan biyoküteller bu grupta incelenebilir [5]. Dünyada her yıl büyük miktarlardatarımsal bitki atıkları oluşmakta ve büyük bölümü kullanılmamaktadır. En çok bilinentarımsal atıklar, şekerkamışı küspesi, pirinç kabukları, hindistan cevizi kabukları, yer fıstığı kabukları ve samandır [6].

2.2.3. Su Bitkileri

Suda yetişen bitkilerde biyokütle kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bu bitkilerinyetişme hızlarının ve üretkenlik seviyelerinin yüksek olması, enerji kaynağı olarakkullanılmalarını sağlamaktadır [7].

2.2.4. Algler

Günümüzde, bazı alg çeşitleri gübre yapımında bazı çeşitleri de gıda ve yem endüstrisinde kullanılmak üzere ticari olarak yetiştirilmektedir. Kendiliğinden yetişen bazı alglerin toplanmasına dair çalışmalar da bulunmaktadır [8]. Yenilenebilir enerji kaynağı olarak ise mikroalgler uzun süredir araştırılmaktadır. Yüksek oranda selüloz içerdikleri ve bakteriler tarafından tamamen ayrışabildikleri için anaerobik dönüşüm verimleri oldukça yüksektir [9].

2.2.5. Kentsel Atıklar

Şehirsal atıklar ise evsel ve ticari kullanım sonucu oluşan ve bitki türevli organik maddeler içeren kanalizasyon ve çöp atıklarından oluşur.

2.3. Dünya’da Biyokütle Potansiyeli

Dünya çapında biyokütle üretimi, çoğunluğu yabani bitkiler olmak üzere, yılda 220 milyar ton olarak tahmin edilmektedir. Dünyanın yıllık doğal biyokütle yenilemesi ile yaklaşık olarak 4500 EJ/yıl değerinde bir enerji kaynağının oluştuğu düşünülmekte ve bu değerin Dünya birincil enerji

ihtiyacının yaklaşık 10 katı olduğu belirtilmektedir. Ancak, mevcut potansiyelin %2'sinin de altında bir kısmının yakıt olarak kullanıldığını belirtilmektedir [4].

Biyokütle Dünya toplam enerji tüketiminin yenilenebilir enerji kaynakları tarafından karşılanan kısmının en yüksek kesrini oluşturmaktadır. 2001 yılında, yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji kaynağı olarak kullanım dağılımı, rüzgâr, solar, jeotermal, hidrolik ve yakılabilir yenilenebilir/katı atıklar için sırasıyla %0,2, %0,3, %3,2, %16,4 ve %79,9'dur. %79,9'luk değer ise %77,4 katı biyokütle/odun kömürü, %1,2 katı şehirsal atıklar, %0,7 sıvı biyokütle ve %0,5 gaz biyokütleden oluşmuştur [10].

2.4. Türkiye'de Biyokütle Potansiyeli

Ülkemizde elde edilmekte olan biyokütle enerjisinin; %24'ü belediye katı atıklarından (çöplerden), %64'ü orman bakım ve üretim çalışmalarında ortaya çıkan ince çaplı materyallerden, %5'i tarımsal bitki ve artıkları, sert meyve kabuklarından üretilmektedir [11]. Tablo 1'de Türkiye'nin yıllık ana biyokütle üretim ve enerji değeri görülmektedir.

Tablo 1. Türkiye'nin yıllık ana biyokütle üretim ve enerji değeri

Biyokütle	Yıllık Potansiyel (Mton)	Enerji Değeri (Mton eşdeğer petrol)
Yıllık Bitkiler	55	14,9
Çok Yıllık Bitkiler	16	4,1
Orman Artıkları	18	5,4
Tarım-Sanayi Artıkları	10	3,0
Orman Endüstri Artıkları	6	1,8
Hayvan Artıkları	7	1,5
Diğer	5	1,3
Toplam	117	32,0

Türkiye sahip olduğu coğrafik ve meteorolojik şartlar nedeniyle ormancılık ve tarım için uygun bir ülkedir. Tarımsal alanların, otlak ve ormanlık alanların toplamı Türkiye'nin toplam yüzey alanının %93,6'sını oluşturmaktadır. Ormanların yıllık biyokütle verimliliğinin 188 milyon ton, tarımsal alanların 180 milyon ton ve otlakların 174 milyon ton olacağı tahmin edilmektedir. Bu yıllık 18 toplam 542 milyon ton kuru biyokütle miktarına tekabül etmektedir [12].

3. Biyokütleye Uygulanan Dönüşüm Süreçleri

Biyokütle dönüşüm prosesleri, biyokütleden yakıt ve kimyasal madde üretimini amaçlayan proseslerdir. Bu prosesler sayesinde biyokütlenin düşük enerji içeriği, düşük yoğunluk ve taşıma zorlukları gibi dezavantajları ortadan kaldırılabilir.

Biyokütleyle uygulanan dönüşüm süreçleri yakma, piroliz, gazlaştırma ve sıvılaştırma olmak üzere dört kategoride incelenebilir [13].

3.1. Yakma

Yakma, biyokütle enerjisinden faydalanabilmek için uygulanan temel bir proses olup, biyokütle enerjisinin buhar çevrimleri yardımıyla ısı veya elektrik enerjisine dönüşümü için kullanılan en eski tekniktir [14].

Doğrudan yakma sonucu üretilen enerji, ısı veya buhar sağlamada, yüzey ısıtmada, endüstriyel proseslerde veya elektrik üretiminde kullanılabilir[15]. Yakma işlemlerinin ısı verimi biyokütlenin nem miktarına bağlıdır. Enerji üretimi için kullanılacak biyokütlenin nem içeriğinin %50'yi geçmemesi istenir [16]; aksi takdirde biyokütlenin ısı değeri, nemi buharlaştırmak için harcanan ısıdan daha düşük olabilir. %50 nem içeren tipik bir biyokütle, %25 hava fazlası ile sağlanan yakma işlemi için ısı verim %20-22 civarında olur [17].

3.2. Gazlaştırma

Gazlaştırma, biyokütlenin tipik olarak 800-900°C'de kısmi oksidasyonu ile gerçekleştirilen ve yakılabilir gaz karışımı elde edilen termokimyasal bir dönüşüm işlemidir [16].Biyokütle gazlaştırma prosesleri genellikle, düşük ve orta enerji içerikli gaz yakıtların ve kimyasalların üretimi amacıyla tasarlanmaktadır.

Gazlaştırma proseslerinde, katı yakıtlar kül içerikleri hariç olmak üzere farklı bileşimlerdeki gaz ürünlere tamamen dönüşebilirler. Katı ve sıvı ürünler neredeyse hiç oluşmaz. Gazlaştırma, yakma teknolojilerine göre daha çevreci bir teknolojidir ve biyokütlenin tamamen dönüştürülmesinin yanı sıra temiz bir gaz ürün elde edilir. Ayrıca, biyoküteller yüksek oranda uçucu madde ihtiva ettiklerinden gazlaştırma işlemi kolayca gerçekleştirilebilir [18,19].Gazlaştırma sonucunda elde edilen gaz ürün ısı, buhar üretiminde ve birleşik ısı ve güç tesislerinde kullanılabilir[20].

3.3. Piroliz

Piroliz biyokütlenin daha değerli bir yakıtla dönüştürülmesi için kullanılan en temel termokimyasal dönüşüm prosesidir. Biyokütlenin oksijensiz ortamda ısı bozunma işlemi olarak tanımlanır. Piroliz işlemi sonucunda hidrokarbonca zengin gaz, yağimsı yapıda sıvı ve karbonca zengin katı ürün elde edilir [21].

Piroliz sonucu elde edilen gaz, sıvı ve katı ürünlerin oranı, uygulanan piroliz yöntemine ve çalışma koşullarına bağlıdır. Piroliz süresi ve sıcaklık, ürün verimi ve ürün çeşitliliği üzerinde etkili parametrelerdir. Elde edilmesi istenen ürüne göre çeşitli piroliz yöntemleri uygulanmaktadır. Örneğin; uzun sürede ve düşük sıcaklıklarda gerçekleşen piroliz sonucunda maksimum katı ürün verimine, yüksek sıcaklıklarda ve kısa sürede gerçekleşen piroliz sonucunda maksimum sıvı ürün verimine, yüksek sıcaklık ve uzun sürede gerçekleşen piroliz sonucunda maksimum gaz ürün verimine ulaşılır [22,23,24].

Piroliz prosesleri çalışma şartlarına bağlı olarak en genel anlamda “yavaş” ve “hızlı” olarak gruplandırılabilir. Yavaş ve hızlı terimleri tarifi tam yapılmamış terimlerdir ve süre ile ısıtma hızı hakkında kesin bir tanımlama içermezler. Yavaş ve hızlı pirolizin ekstrem değerleri arasında kalan çok geniş bir aralıkta yapılan bir çok çalışma bulunmakta ve yavaş ya da hızlı piroliz olarak sınıflandırılmamaktadırlar [25]. Piroliz yöntemleri ve koşulları Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2. Piroliz yöntemleri ve özellikleri

Piroliz Yöntemi	Kalma Süresi	Isıtma Hızı	Sıcaklık °C	Ürünler
Karbonizasyon	günler	çok düşük	400	odun kömürü
Yavaş piroliz	5-30 dakika	düşük	600	yağ, gaz, katı ürün
Hızlı piroliz	0,5-5 saniye	çok yüksek	650	biyoyağ
Flaş-sıvı	<1 saniye	yüksek	<650	biyoyağ
Flaş-gaz	<1 saniye	yüksek	<650	Kimyasallar, gaz
Ultra piroliz	<0,5 saniye	çok yüksek	1000	Kimyasallar, gaz
Vakum piroliz	2-30 saniye	orta	400	biyoyağ
Hidropiroliz	<10 saniye	yüksek	<500	biyoyağ
Metnopiroliz	<10 saniye	yüksek	>700	kimyasallar

Yavaş piroliz, uzun sürede gerçekleştirilen ve biyokütlenin daha değerli ürünlere dönüşümünü sağlamak amacı ile uygulanan piroliz yöntemidir. Geleneksel piroliz, biyokütledeki çoğu lignoselülozik polimerlerden oluşan organik bileşiklerin, oksijensiz ortamda, ısı etkisiyle yavaş bozundurulmasıdır [26]. Yavaş piroliz, geleneksel olarak odun kömürü üretiminde uygulanmaktadır.

Hızlı piroliz, yüksek sıcaklıkta kısa sürede gerçekleşen bir termokimyasal dönüşüm prosesidir. Biyokütle, havasız ortamda aniden ısıtılır, buhar çıkar ve yoğunlaşarak koyu kahverengi bir sıvıya dönüşür [27,28]. Oluşan sıvı ürün piroliz sıvısı, pirolitik yağ, biyo-yağ, biyo-petrol, biyo-yakıt, odun yağı, odun distilatı gibi birçok şekilde adlandırılır [29].

Hızlı piroliz, biyokütle bir veya bir kaç saniye 673-923 K arası sıcaklıkta kalacak şekilde uygulanmaktadır. Geleneksel pirolizde olduğu gibi, bazı özel kimyasalların seçicilikleri hızlı pirolizde de düşüktür. Biyokütlenin hızlı ısıtılması, biyokütleda bulunan polimerik bileşenlerin kırılmasına neden olmakta ve bunun sonucunda da oksijenlenmiş monomer ve polimerlerden oluşan, ağırlıkça %60-70 oranında birincil gaz ürünler oluşmaktadır. Hızlı piroliz neticesinde elde edilen ürünün hızlı ve etkili bir şekilde soğutulması ve reaktörde kısa kalma süreleri spesifik ürünlerin oluşumunu sağlamaktadır [30].

Biyokütle pirolizinde başlıca etkenler, proses değişkenleri ve biyokütle özellikleridir. Proses değişkenleri, sıcaklık, ısıtma hızı, gaz ortamın özellikleri, reaktörde kalma süresi, reaktör geometrisi ve katalizör iken pirolizi etkileyen biyokütle özellikleri ise organik yapısı, inorganik yapısı, nem içeriği, gözenekliliği, kül miktarı, uçucu bileşenleri, tane boyutu, ısıl değeri, sabit karbon\uçucu madde oranı, selüloz\lignin oranı ve alkali metal içeriğidir. Proses değişkenleri içerisinde reaktörde kalma süresi ve sıcaklık, ürün verimini ve ürün dağılımını en çok etkileyen değişkenlerdir. Reaktörde kısa kalma süresi sonunda maksimum sıvı ürün verimi elde edilmesine

karşılık, reaktörde uzun kalma süresi ve düşük sıcaklıklarda maksimum char verimi elde edilmektedir [31].

3.4. Sıvılaştırma

Biyokütlenin sıvı yakıtlara dönüştürülmesinin amacı, kullanımı güç olan, düşük enerji içeriklerine sahip ve çok yer kaplayan biyokütlelerin; depolanabilmesine, pompalanabilmesine ve doğrudan yanma fırınlarında kullanımına olanak tanıyan veya belirli yakıtların ve kimyasalların eldesi için kullanılan yağların üretilmesidir [15]. En önemli ürün sıvı olduğundan dolayı sıvılaştırma kelimesi bu prosesi tanımlamak için kabul görmüştür.

Sıvılaştırma ve piroliz benzer proseslerdir. Her iki termokimyasal processte de biyokütle sıvı ürünlere dönüşür. Sıvılaştırma prosesinde asıl hedef, büyük molekülü yapıların uygun katalizör ilavesi ile bozularak küçük molekülü yapılara dönüşümü neticesinde sıvı ürün elde etmektir. [32]. Genel olarak sıvılaştırma prosesi 798 – 873 K, piroliz ise 923 – 1073 K sıcaklıkları arasında gerçekleşir. Basınç, sıvılaştırma prosesinde 5-20 MPa, piroliz prosesinde ise 0.1 - 0.5 MPa arasında değişmektedir. Sıvılaştırma prosesinde biyokütlenin kurutulması gerekmez, piroliz prosesinde ise kurutma işlemi gereklidir. Sıvılaştırma işlemlerinde sıklıkla kullanılan katalizörler alkali hidroksitler ve karbonatlardır. Katalizörlerin sıvılaştırma işlemi sırasında tam olarak nasıl bir rol üstlendiklerine dair çok az tanımlama bulunmaktadır. Sıvılaştırma işlemleri genellikle yüksek basınçlı hidrojenatmosferinde gerçekleştirilmektedir [4].

5. Değerlendirme ve Öneriler

Biyokütlenin yapısında kimyasal enerji olarak depo edilmiş enerjinin esas kaynağı güneştir ve bu enerji fotosentez ile depolanır. Yani güneş enerjisinin biyokütle biçimindeki depolanmış enerjiye dönüşümü, insan yaşamı için esastır. Üretilen organik maddelerin yakılması sonucu ortaya çıkan karbondioksit ise, daha önce bu maddelerin oluşması sırasında atmosferden alınmış olduğundan, biyokütleden enerji elde edilmesi sırasında çevre, karbondioksit salınımı açısından korunmuş olacaktır [17,22]. Milyonlarca yılda oluşan fosil yakıtların kısa süre içinde yakılmasının atmosferdeki karbondioksit dengesinin bozulmasına yol açtığı ve bunun sonucu olarak küresel ısınmanın başladığı belirtilmiştir [29].

Kaynaklar

- [1]McKendry, P., Energy Production From Biomass Conversion Technologies, Bioresource Technology 2002; 83: 37–46.
- [2]Saxena, R.C., Adhikari, D.K., Goyal, H.B., Biomass-Based Energy Fuel Through Biochemical Routes: A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews 2009,13(1): 167-178.
- [3]Encinar, J.M., Beltrán, F.J., Ramiro, A. ve Gonzâlez, J.F., Pyrolysis/Gasification of Agricultural Residues by Carbon Dioxide in the Presence of Different Additives: Influence of Variables, Fuel Processing Technology 1998, 55(3): 219-233.

- [4] Demirbaş, A., Biomass Resource Facilities And Biomass Conversion Processing For Fuels And Chemicals, Energy Conversion and Management 2001, 42(11): 1357-1378.
- [5] Özçimen, D. ve Ersoy-Meriçboyu, A., A Study on Carbonization of Grapeseed and Chestnut Shell, Fuel Processing Technology 2008, 89(11): 1041-1046.
- [6] Çağlar, A. ve Demirbaş, A., Conversion Of Cotton Cocoon Shell To Liquid Products By Supercritical Fluid Extraction And Low Pressure Pyrolysis In The Presence Of Alkalis, Energy Conversion and Management 2001, 42(9): 1095-1104.
- [7] Mahlia, T.M.I., Abdulmuin, M.Z., Alamsyah, T.M.I. ve Mukhlis, D., An Alternative Energy Source from Palm Wastes Industry for Malaysia and Indonesia, Energy Conversion and Management 2001, 42(18): 2109-2118.
- [8] Reijnders, L. ve Huijbregts, M.A.J., Biofuels for Road Transport: A Seed to Wheel Perspective, Springer-Verlag London Limited, London, (2009).
- [9] Sawayama, S., Minowa, T. ve Yokoyama, S.Y., Possibility Of Renewable Energy Production And CO₂ Mitigation by Thermochemical Liquefaction of Microalgae, Biomass and Bioenergy 1999, 17(1): 33-39.
- [10] Silveira, S., Bioenergy - Realizing the Potential, Elsevier, Great Britain 2000.
- [11] Demirtaş S., Avrupa Birliği ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Bunlarda Biyokütlenin Önemi, 46. Dönem AB Temel Eğitim Kursu Orman Genel Müdürlüğü, Ankara, 2010.
- [12] Akpınar, A., Türkiye, Avrupa Birliği ve Dünya’nın Toplam Elektrik ve Hidroelektrik Enerji Üretim Projeksiyonu, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2007.
- [13] Dumanlı, A.G., Gulyurtlu, I. ve Yürüm, Y., Fuel Supply Chain Analysis of Turkey, Renewable and Sustainable Energy Reviews 2007, 11(9): 2058-2082.
- [14] Garcia-Perez, M., Chaala, A., Yang, J. ve Roy, C., Co-pyrolysis of Sugarcane Bagasse with Petroleum Residue Part I. Thermogravimetric Analysis, Fuel 2001, 80(9): 1245-1258.
- [15] Artok, L. ve Schobert, H.H., Reaction of Carboxylic Acids Under Coal Liquefaction Conditions: 1. Under nitrogen atmosphere, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 2000a, 54(1-2): 215-233.
- [16] Goyal, H.B., Seal, D. ve Saxena, R.C., Bio-fuels from Thermochemical Conversion of Renewable Resources: A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews 2008, 12(2): 504-517.
- [17] Jimenez, L. ve González, F., Study of the Physical and Chemical Properties of Lignocellulosic Residues with a View to the Production of Fuels, Fuel 1991, 70(8): 947-950.
- [18] Zhen, F., A Biomass Pyrolysis Gasifier Applicable to Rural China, Fuel Science and Technology 1993, 11(8):1025-103.
- [19] Tolay, M., Yamankaradeniz, H., Daradimos, G., Hirschfelder, H., Vostan, P., Temiz Enerji Üretimi İçin Gazlaştırma Teknolojisi, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 2008.
- [20] Kaltschmitt, M., Streicher, W. ve Wiese, A., Renewable Energy: Technology, Economics and Environment, Springer Berlin Heidelberg, New York, 2007.

- [21]Demirbaş, A., Pyrolysis Mechanisms of Biomass Materials, *Energy Sources* 2009, 31(13): 1186-1193.
- [22]Groscurth, H.-M., Almeida, A. De., Bauen, A., Costa, F.B., Ericson, S.-O., Giegrich, J., et al. Total Costs and Benefits of Biomass in Selected Regions of the European Union, *Energy* 2000, 25(11): 1081-1095.
- [23]Jarvis, M., Biomass Pyrolysis of Extractive Compounds, Literature Review, 2004.
- [24] Küçük, M.M. ve Demirbaş, A., Biomass Conversion Processes, *Energy Conversion and Management* 1997, 38(2): 151-165.
- [25]Mohan, D., Pittman, C.U. ve Steele, P.H., Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review, *Energy and Fuels* 2006, 20(3): 848-889.
- [26]Sharma, R.K. ve Bakhshi, N.N., Upgrading of Pyrolytic Lignin Fraction of Fast Pyrolysis Oil to Hydrocarbon Fuels over HZSM-5 in a Dual Reactor System, *Fuel Processing Technology* 1993, 35(3): 201-218.
- [27]Pindoria, R.V., Chatzakis, I.N., Lim, J.-Y., Herod, A.A., Dugweil, D.R. ve Kandiyoti, R., Hydrolysis of Sugar Cane Bagasse: Effect of Sample Configuration on Bio-oil Yields and Structures from Two Bench-scale Reactors, *Fuel* 1999, 78(1): 55-63.
- [28] Murvvanashyaka, J.N., Pakdel, H. ve Roy, C., Separation of Syringol from Birch Wood-derived Vacuum Pyrolysis Oil, *Separation and Purification Technology* 2001, 24(1-2): 155-165.
- [29]Klass, D.L., Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals, Academic Press, New York, 1998.
- [30]Ganesh, A. ve Banerjee, R., Biomass Pyrolysis for Power Generation - A Potential Technology, *Renewable Energy* 2001, 22(1-3): 9-14.
- [31]Rao, T.R ve Sharma, A., Pyrolysis Rates of Biomass Materials, *Energy* 1998, 23(11): 973-978.
- [32] Artok, L. ve Schobert, H.H., Reaction of Carboxylic Acids Under Coal Liquefaction Conditions: 1. Under hydrogen atmosphere, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 2000b, 54(1-2): 235-246.