

Tekstil Atıklarının Piroliz ile Değerlendirilmesi

İbrahim ÜÇGÜL¹, Ufuk ELİBÜYÜK²

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Isparta

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi (YEKARUM), Isparta

Özet: Türkiye’de tekstil ve konfeksiyon sanayi, ülkemiz ihracatının %30 civarında payı olan ekonomimizin lokomotif sektörüdür. Bu sektördeki en önemli sorunlardan birisi atık sorunudur. Ülkemizde günde 68000 ton yılda toplam 28,4 milyon ton civarında atık olduğu ve bu atıkların %4,8 inin tekstil atıkları olduğu saptanmıştır. Tekstil sektöründe boyama ve işleme sırasında oluşan hatalı işlemlerden dolayı oluşan elyaf ve kumaş atıkları, kesme ve kalıplama işleminden sonra geriye kalan konfeksiyon atıkları veya diğer özel malzemelerden meydana gelen atıklar tekstil sektörünün katı atıklarını oluşturmaktadır. Ayrıca kullanım, üretim ve depolama sırasında çeşitli katı atıklarda oluşmaktadır.

Bu çalışmada, akrilik, pamuk ve yün elyaf atıkları piroliz işlemine tabii tutulmuştur ve bu işlem sonucu oluşan katı ürünlerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Yapılan piroliz işlemi sırasında pamuk elyafının katı ürün oluşmadığı, akrilik ve yünün katı atıklarının oluştuğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tekstil atıkları, piroliz, atık değerlendirilmesi, karbon karası

Evaluation of Textile Waste Pyrolysis

Abstract: Turkey's textile and garment industry, the country's export share of 30%, which is the leading sector of the economy. This sector is one of the most important issues is the problem of waste. In our country, a total of 28.4 million tons of waste per day is 68,000 tons per year and 4.8% of the waste is determined to be in the textile waste. In textile industry, dyeing and processing that occur during erroneous transactions arising from fiber and fabric waste, cutting and molding operations remaining after garment waste, or other specialized materials consisting of waste textile sector solid waste constituted. Also of use, consists of various solid wastes during production and storage.

In this study, acrylic, cotton and wool fibers are subjected to a pyrolysis process of wastes and solid products resulting from these processes are evaluated. Made of cotton fiber during pyrolysis of the solid product is not formed, acrylic and wool has been observed that the formation of solid waste.

Keywords: Textile waste, pyrolysis, waste recycling, carbon blacks

1. Giriş

Tekstil atıkları, tekstil fabrikalarında üretim sürecinde çıkan veya tüketicilerin tüketim sonrası çıkan atıklardır. Bu bağlamda, tekstil atıkları, tüketim öncesi ya da tüketim sonrası olarak sınıflandırılır. Tüketim öncesi atıkları, otomotiv, havacılık, ev bina, mobilya, yatak, kaba iplik, ev eşyaları, kâğıt, giyim ve diğer sanayiler için yeniden üretilen tekstil, elyaf ve pamuk sanayi yan ürünü malzemelerden oluşmaktadır. Tüketim sonrası atıklar, tüketicinin artık ihtiyaç duymadığı ve atmaya karar verdiği, herhangi bir giysi ya da tekstil materyallerinden yapılan ev eşyaları olarak tanımlanır. Bu materyaller ya çok eskidikleri

ve yıprandıkları için ya da modası geçtiği için atılırlar (Katar ve Baigadar, 2012).

Tekstil atıkları üç ana grup altında toplanabilir. Birincisi suni iplik fabrikalarından çıkan atıklar, ikincisi tekstil imalatı atıkları, üçüncüsü ise tüketicilerin tekstil atıklarıdır (Kozak, 2010).

Avrupa Birliği (AB)’nde, yıllık ortalama 5,8 ton tekstil ürünü, tüketiciler tarafından atılır. Bu tekstil ürünlerinden sadece 1,5 milyon tonu (%25) hayır kuruluşları ve endüstriyel işletmeler tarafından geri dönüştürülür. Kalan 4,5 milyon ton atık, çöpe veya atık yakma tesislerine gider (Briga vd., 2012).

Atıkların değerlendirme yolları gömme, yakma, gazlaştırma ve piroliz yöntemleridir. Geri dönüşüm için ise en önemli değerlendirme metodu piroliz yöntemidir. Piroliz, büyük molekülü polimerlerin, inert, vakum, indirgen veya yükseltgen ortamlarda katalizörlü veya katalizörsüz olarak, sıcaklık etkisi ile parçalanması işlemidir. Bu bozunma sırasında polimerin yapısında bağ kopmaları veya zincir kırılmaları olmakta ve çok sayıda oldukça reaktif radikaller oluşmaktadır. Bu radikaller kararlı hale geçmek için bir seri tepkimeye girerek gaz, sıvı ve katı ürünler oluşturmaktadırlar. Pirolizi etkileyen parametreler, maddenin cinsi, sıcaklık, ısıtma hızı, basınç, parçacık büyüklüğü ve ortam gibi parametrelerdir. Piroliz sonucu ortaya çıkan ürünler enerji üretiminde ve çeşitli kompozit ürünler üretiminde kullanılmaktadır.

Yapılan çalışmada piroliz ve oksidasyon işlemi için makine tasarımı yapılmıştır. Akrilik, pamuk ve yün atıkları, üretilen piroliz reaktöründe azot gazı ortamında 200°C sıcaklıkta başlayan ve 800°C'de son bulan yavaş piroliz işlemine tabi tutulmuştur. Yavaş piroliz işleminin yapımındaki amaç çıkan katı atık miktarını arttırmaktır. Elde edilen katı atıkların son kullanım alanları belirlenmiştir.

2. Isıl Süreçler

Termokimyasal dönüşüm süreçlerinden elde edilen birincil ürünler, dönüşüm sürecine bağlı olarak gaz, sıvı veya katı olabilir. Bu birincil ürünler doğrudan kullanılabilir ya da daha yüksek kalite ve değerde yakıt veya kimyasal ürünler elde etmek üzere kimyasal işlemlere tabii tutulabilir.

Isıl süreçlerde taşıma ve depolama maliyetleri düşüktür. Bu nedenle yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmaları nedeni ile sıvı ürünler daha büyük ilgi çekmiştir. Sıvı ürün genellikle yağ, biyoyağ, ya da tar olarak adlandırılırlar. Doğru olarak depolandırıldıklarında oldukça kararlı bir yapıya sahip olan sıvı ürün (biyoyağ)

iyileştirme işlemleri sonucunda hidrokarbon yakıtlara dönüştürülebilir.

2.1. Yakma

Yanma, yakıt içerisindeki yanabilir elemanların havanın oksijeni ile hızla kimyasal birleşmeleri ve ısı açığa çıkması olarak tanımlanır(Çayırılı, 2006). Yakıt içerisindeki temel yanabilir elemanlar karbon, hidrojen, bunların bileşikleri ve sülfürdür(Çubuk ve Heperkan, 1999).

Yanma için gerekli oksijen kaynağı havadır. Hava, oksijen, azot, az miktarda su buharı, karbondioksit, argon ve diğer elemanların karışımı olmakla beraber; yanma olayında hacimsel olarak %21 oksijen, %79 azot kabul edilmiştir(Telli,1996).

Yanma oluşumu için olmazsa olmaz 3 temel şart vardır.(3T kuralı)

- Temperature (Sıcaklık): Yanma reaksiyonunu başlatmak ve devamı sağlamak için gereken minimum sıcaklıktır.
- Turbulence (Türbülans): Yanma için gerekli hava/yakıt karışımının elde edilebilmesi için gereklidir.
- Time (Zaman): Yakıtın, reaksiyonda yanma için yetecek kadar süre boyunca bulunması için gereken zaman(Çengel ve Boles, 1999).

2.2. Gazlaştırma

Gazlaştırma, karbon içeren biyokütle gibi katıların yüksek sıcaklıkta bozunması ile yanabilir gaz elde etme işlemidir. Bu işlem sırasında denetimli bir şekilde yakıt hücrelerine verilen hava ile biyokütle yakılır. Çıkan ürünler arasında hidrojen, metan gibi yanabilir gazların yanı sıra CO₂, CO ve N₂ gazları da bulunur. Üretilen gaz temizlendikten sonra kazanlarda, motorlarda, türbinlerde ısı ve güç üretilmek üzere kullanılmaktadır. Gazlaştırma tekniği ile biyokütleden, yüksek bir randımanla petrolle çalışan güç ve ısı sağlayan tribünlerde kullanılacak bir gaz yakıt elde

edilebilir(Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2013).

Gazlaştırma işleminde sabit ve akışkan yataklı sistemler kullanılmaktadır. Son yıllarda akışkan yataklı gazlaştırma sistemi daha çok kullanılmaktadır. Akışkan yataklı sistemlerin sürekli besleme olanağı diğerlerine göre büyük üstünlük taşımaktadır. Oldukça basit sistemlerde bile çevrim verimi %85-90 dolayındadır(Tiftik, 2006).

2.3. Sıvılaştırma

Sıvılaştırma yönteminde, biyokütlenin basınç, yüksek sıcaklık, sulu ortam ve katalizörün en uygun olduğu koşullarda %2-10 gaz, %40 sıvı ürün ve %5-10 katı ürüne dönüştürülebileceği belirtilmektedir(Gürleyik, 2006).

Sıvılaştırmada ana ürün, 35-40 Mj/kg ısıtma değerli, düşük oksijen içeren ve kararlı bir yapıya sahip olan sıvıdır. Yan ürün olarak elde edilen gaz, hidrojen üretmek için veya düşük ısıtma değerli yakıt gazı olarak kullanılır(Gürleyik, 2006).

Selülozik maddeler, selüloz ve nişasta gibi polisakkaritli maddelerin, odun talaşı, mısır ve pirinç saplarının konsantre alkali çözelti ortamında, oksalik ve glikolik asit üretimleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan bir çalışmada, Su/NaOH oranı 1,28 ve NaOH/Nişasta oranı 16 olan alkali çözelti ortamında 240°C çalışma sıcaklığında %46 glikolik asit ve %24 oksalik asit verimleri elde edilmiştir(Gürleyik, 2006).

2.4. Piroliz

Piroliz sözcüğü Yunanca 'da ortamda gaz (inert, indirgen veya yükseltgen gaz) olmaksızın gerçekleştirilen ısı bozundurma anlamına gelmektedir. Piroliz, organik maddelerin oksijensiz ortamda ısıtılarak gaz, katı ve sıvı ürünlere ayrılması (bozundurulması) işlemidir. Piroliz işleminde, teorik olarak gerekli ısı miktarı, organik maddenin kimyasal yapısını bozacak

ve yeni kimyasal maddelerin oluşumunu sağlayacak düzeyde olmalıdır. Isıl bozundurma işlemi genellikle katı yakıt açısından değerlendirildiğinde "karbonizasyon", sıvı ve gaz yakıt açısından değerlendirildiğinde ise "piroliz" olarak adlandırılır(Anonim 2013).

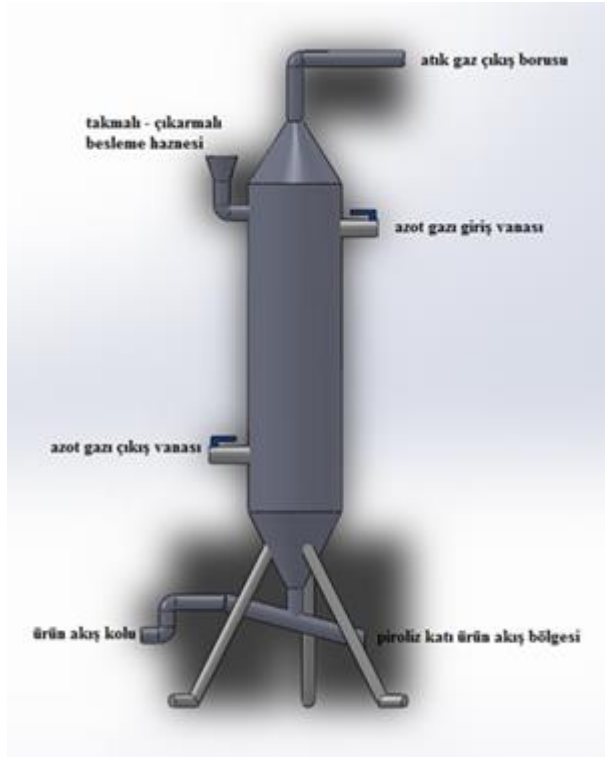
Oksijensiz ortamda ısı bozunma ile gerçekleşen piroliz, gazlaştırma ile karşılaştırıldığında (800-1100°C) daha düşük sıcaklıklarda (500-800°C) gerçekleşir. Uygulanan piroliz teknolojilerine bağlı olarak piroliz ürünlerinin dağılımı değişmektedir. Hızlı veya flash pirolizde uygulanan sıcaklığa bağlı olarak gaz ve sıvı ürün verimi artarken, karbonizasyon olarak da bilinen yavaş pirolizde katı ürün (aktif karbon) verimi artar(Önal, 2007).

Pirolizin doğrudan yanma süreçlerine göre bazı üstünlükleri vardır ve bu nedenle kullanım alanı daha fazladır. Biyokütle ve atıkların yakıt olarak doğrudan kullanımında ortaya çıkan düşük enerji yoğunluğu ve yüksek depolama, taşıma maliyetleri gibi dezavantajlar, biyokütleye piroliz işlemi uygulanarak, taşıma ve depolama maliyetleri daha düşük ve yüksek enerji yoğunluğuna sahip, katı, sıvı ve gaz ürünlerin üretimi ile ortadan kaldırılabilir(Gürleyik, 2006).

3. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, tow halinde akrilik elyaf atıkları, yün elyaf atıkları, pamuk elyaf atıkları ve çalışmanın yapılabilmesi için piroliz reaktörü kullanılmıştır.

Literatür taramasına göre yapılan çalışmaların ışığında deney düzeneği sıcaklığa dayalı çelik 316 malzemeden yapılmış olup düzeneğin üstüne sarılan dirençler elektrikle düzeneğin istenilen sıcaklıklara ulaşmasını sağlamıştır. Deney düzeneği piroliz işleminde katı atıkların daha rahat alınması ve eriyik atıkların lif çekimine kolay imkân sağlamak üzere akışkan yataklıdır. Piroliz işlemi için yapılan deney düzeneği ve bu düzenekten elyaf çekme kısmı şekilde verilmiştir.



Şekil 1. Deney için üretilen piroliz reaktörü

Çalışma da, yün, pamuk ve akrilik elyafları hassas terazide 300 gr gelecek numuneler şeklinde tartılmıştır. Hazırlanan bu numuneler piroliz makinesinin atık besleme ünitesinden makinenin içerisine beslenmiştir. Azot gazı giriş vanasından azot gazı makinenin içerisine basılmaya başlamıştır. Yaklaşık bir dakikalık azot beslendikten sonra vana kapatılmış ve makinenin çalıştırılması için makinenin elektrik bağlantısı açılmıştır. Sigortalı elektrik sisteminde sigorta seviyesi önce 1'e ayarlanıp atıkların 200°C'ye daha sonra sigorta seviyesi 2'ye ayarlanıp 800°C'ye getirilmesi sağlanmıştır. Sıcaklıkların bu derecelere gelmesi termal kamera kontrolü altında olmuştur. Portatif olan atık besleme ünitesi atık beslendikten sonra çıkartılmış ve sıcaklık kontrolleri oradan yapılmıştır. Atıkların 800°C'deki piroliz işleminden sonra atık haznesi açma kolu açılmış ve atıkların alınımı sağlanmıştır.

4. Araştırma Bulguları

Yapılan çalışmalar sonucunda pamuk elyafı, yün elyafı ve akrilik elyafının piroliz sonucunda ait veriler çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Elyafların piroliz sonuçları

Elyaf Türü	Pamuk	Yün	Akrilik
Piroliz Sıcaklığı	0-150°C	0- 450°C	0-800°C
Piroliz Sonucu Katı Malzeme İçeriği	Yok	Parçalanabilen Kara Kül	Karbon Karası ve Karbon Tozu
Piroliz Sırasında Çıkan Gaz Miktarı Yoğunluğu	Çok Az	Çok	Yüksek
Piroliz Esnasında Çıkan Gazın Kokusu	Yanık Kâğıt Kokusu	Yanık Saç Kokusu	Yanık Et Kokusu
Piroliz Sonucundaki Katı Ürünün İşlenebilirliği	Yok	Tarımsal Alanda Gübre	Karbon Elyaf Çekimi

Pamuk elyafı 300 gram tartılarak piroliz makinesine beslenmiş ve azot gazı verildikten sonra pirolize başlanmıştır. Piroliz başlayınca pamuk elyafının bertarafından dolayı çok az bir gaz çıkışı ve yanık kâğıt kokusu (selülozdan dolayı) oluşmuştur. Pamuk elyafının pirolizi 150°C'ye kadar makine ısısı çıkartılmış ve pamuk elyafı kalmayana kadar pirolize devam edilmiştir. Piroliz sonucunda pamuk elyafından katı atık oluşmamıştır. Yapılan piroliz sonucunda pamuk elyaflarının hepsinin tükendiği gözlenmiştir.

Yün elyafı 300 gram tartılarak piroliz makinesine beslenmiş ve azot gazı verildikten sonra pirolize başlanmıştır. Piroliz başlayınca yün elyafının özelliklerinden dolayı yanık saç kokusu ve gaz çıkışının pamuğa göre daha fazla olduğu gözlenmiştir. Yün elyafının piroliz sıcaklığı ise 450°C'de bitmiştir. Piroliz sonucu şekil

2’de gösterilen kül kalmıştır. Piroliz sonucu oluşan bu külün sadece verimsiz tarımsal arazilerin karbonca beslenmesi amacıyla gübre olarak kullanım alanı vardır.



Şekil 2. Yün elyafının pirolizi sonucu oluşan katı atık

Akrilik elyafı tow halinde 300 gram olarak tartılmış ve piroliz makinesine parçalanarak beslenmiştir. Besleme sonrası azot gazı girişinden makineye azot gazı verilmiş ve piroliz işlemi başlatılmıştır. Piroliz işlemi başlayınca akrilik elyafının özelliklerinden dolayı yoğun bir gaz çıkışı ve çok ağır bir yanık et kokusu oluşmuştur. Piroliz makinesi kademeli olarak 800°C’ye kadar çıkartılmış ve piroliz işlemi son bulmuştur. Piroliz işleminin sonucunda katı atık olarak karbon karası elde edilmiştir.

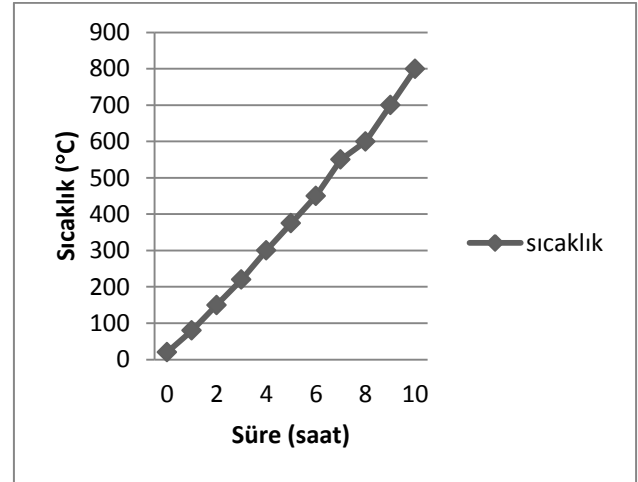


Şekil 3. Akrilik elyafının pirolizinden oluşan karbon karası

Akrilik elyafının pirolizi sonucu oluşan karbon karası, endüstriyel atık olan lastiklerin pirolizinden sonrada ortaya çıkmaktadır. Karbon karası günümüzde birçok sanayi kolunda temel hammadde veya

katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Örneğin; kablolar, siyah poşetler, ısı yalıtım malzemesi, paspas gibi.

Piroliz makinesinin çalıştırıldığı ortam %58 nem ve 20°C koşullarında başlamıştır. Piroliz makinesinin ısınma periyotları aşağıdaki grafikte verilmiştir.



Şekil 4. Piroliz makinesinin ısınma periyotları

300 gr olan tekstil atık numunelerinin pirolizinden kalan katı atık miktarları aşağıdaki çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Pirolizden kalan katı atık miktarı

Atık Numune	Pirolizdeki Gramajı	Piroliz Sonucu Oluşan Katı Atık Gramajı
Pamuk Elyafı	300 gram	-
Yün Elyafı	300 gram	7,5 gram
Akrilik Elyafı	300 gram	48 gram

Akrilik elyaftan üretilen karbon karası, lastikten üretilen karbon karası ile karşılaştırılması aşağıdaki çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Akrilik elyaftan üretilen karbon karası ile lastikten üretilen karbon karasının karşılaştırılması

Karbon karasını	Akrilik Elyafı	Otomobil Lastik Atığı

oluşturan madde		
Pirolizden sonra maddenin yüzde kaçının karbon karasına dönüştüğü	%18	%33-45
Piyasadaki atık satış fiyatı	1-1,8 Dolar	23,29-43,38 Dolar
25 kg karbon karası oluşturmak için gereken atık miktarı	139 kg	72,8 kg
Karbon karasından başka maddi değeri olan diğer maddeler	Karbon fiber	Prolaktik yağ, Lpg ve Çelik teller

Yapılan bu analiz sonucunda görülmektedir ki karbon karası üretiminde akrilik elyafın verimi daha düşük, harcanan atık miktarı daha fazla olsa da 25 kg karbon karası oluşturmak için harcanan fiyat daha ucuzdur. Ancak piroliz sonucu oluşan ürünlerin piyasa değerlendirilmesi yapılacak olursa atık lastik kullanımının daha avantajlı olduğu söylenebilmektedir.

5. Sonuç

İnsanoğlunun varoluşuyla birlikte atık kavramı da ortaya çıkmıştır. Artık ihtiyaç duyulmayan ve uzaklaştırılmak istenen her türlü maddeye atık denilmektedir. Bu atıkların tekrar kullanılabilir hale getirilmesine ise geri dönüşüm denilmektedir. Geri dönüşüm sayesinde; atık yoğunluğu azaltılmakta, tasarruf sağlanmakta ve çevre korunmaktadır. Bununla birlikte ekonomiye de katkı sağlanmaktadır.

Çalışma sonuçları incelenirse; pamuk elyaf atığının piroliz sonucu kalmadığı, yün elyaf atığının pirolizinden kalan külün ise sadece verimsiz tarım arazilerinin karbonca

beslenmesi amacıyla gübre olarak kullanılacağı, akrilik elyafın pirolizinden oluşan katı ürünlerin ise karbon karası olarak kullanılabileceği sonuçlarına varılmıştır. Ayrıca akrilik elyafın katı atığı olan karbon karasının piyasada üretilen karbon karasından daha ucuz olduğu ve akriliğin bu üretimde kullanılmasının da ekonomik açıdan uygunluğu olduğu değerlendirilmiştir.

Teşekkürler

3410-YL1-13 No`lu Proje ile çalışmamızı maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederiz.

6. Kaynaklar

- [1] Anonim, 2013. Ömrünü Tamamlamış Lastik-Naylon, Plastik ve Polimer Atıklarının Geri Kazanımı ve Elektrik Üretim Tesisi Çed Başvuru Raporu. Erişim Tarihi: 27.08.2013. <http://www.csb.gov.tr/db/ced/editordosya/OTL%20NAYLON%20PLASTIK%20VE%20POLIMER%20ATIKLARIN%20GERI%20KAZANIMI.pdf>
- [2] Briga-Sa, A., Nascimento, D., Teixeira, N., Pinto, J., Caldeira, F., Varum, H., Paiva, A., 2012. Textile Waste as an Alternative Thermal Insulation Building Material Solution. Construction and Building Materials, 38, 156.
- [3] Çengel, Y., Boles, M., 1999. Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik. McGraw-Hill-Literatür Yayınları, 861s, İstanbul.
- [4] Çubuk, H., Heperkan, H., 1999. Kömür Yakma Sistemlerinde SO₂ Emisyon Etkisinin Yakma Şartlarında Değerlendirilmesi. 6. Uluslararası Yanma Sempozyumu, 19-21 Temmuz 1999, İstanbul, 74-78.
- [5] Gürleyik, E., 2006. Fosil Kaynakların Yağlı Tohumlar ile Birlikte Pirolyzi ve Ürünlerin İncelenmesi. Anadolu Üniversitesi,

Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 144s, Eskişehir.

[6] Katkar, P., M., Baırgadar, S.M., 2012. Textile Waste Recycling. Erişim Tarihi: 30.04.2012.<http://www.fibre2fashion.com/industryarticle/28/2726/textile-waste-recycling1.asp>.

[7] Kozak, M., 2010. Tekstil Atıkların Yapı Malzemesi Olarak Kullanım Alanlarının Araştırılması. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 6, 65-68.

[8] Önal, E., 2007. Farklı Biyokütlelerin ve Bunların Sentetik Polimerlerle Birlikte Piroliz, Elde Edilen Ürün Özelliklerinin

Belirlenmesi. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 153s, Eskişehir.

[9] Telli, K., 1996. Yakıtlar ve Yanma. Süleyman Demirel Üniversitesi Yayınları, 139s, Isparta

[10] Tiftik, E., 2006. Çay Fabrikası Atığının Piroliz ve Piroliz Ürünlerinin İncelenmesi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 123s, Ankara.

[11] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2013. Biyokütle. Erişim Tarihi: 07.08.2013. http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyo_gaz_ustirme.aspx