

ARAŞTIRMA MAKALESİ/RESEARCH ARTICLE

PAMUK SAPLARININ BORUSAL REAKTÖRDE PİROLİZİ

N. ÖZBAY¹, A. ÖZCAN², A.E. PÜTÜN³

ÖZ

Bu çalışmada, ülkemiz için büyük bir potansiyel olan pamuk sapları biyokütle adayı olarak seçilmiş ve sabit yataklı borusal reaktörde pirolizi gerçekleştirilmiştir. Deneyler; yavaş ısıtma hızında ($7^{\circ}\text{C dk}^{-1}$), 400, 500, 550, 700°C sıcaklıklarda; 50, 100, 200, $400\text{ cm}^3\text{ dk}^{-1}$ sürükleyici gaz (N_2) akış hızlarında yapılmış olup, piroliz sıcaklığı ve sürükleyici gaz akış hızlarının piroliz ürün verimlerine etkisi araştırılmıştır. En yüksek sıvı ürün verimine 550°C piroliz sıcaklığında ve $100\text{ cm}^3\text{ dk}^{-1}$ azot akış hızında % 26,3 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 dört farklı fraksiyona ayrılmış, bu fraksiyonların FTIR spektrumları alınmış, elementel analizleri gerçekleştirilerek molar gösterimleri ortaya konmuştur. n-Pentan fraksiyonunun ise gaz kromatogramı alınarak hidrokarbon dağılımları saptanmıştır.

Anahtar sözcükler: Biyokütle, piroliz, enerji, pamuk sapları

PYROLYSIS OF COTTON STALKS IN A TUBULAR REACTOR

ABSTRACT

Cotton stalks that have a great potential for our country as a biomass candidate has been pyrolyzed in a fixed-bed tubular reactor. Experiments have been conducted at pyrolysis temperatures of 400, 500, 550, 700°C with a low heating rate of $7^{\circ}\text{C min}^{-1}$ under a nitrogen atmosphere with a sweep gas flow rates of 50, 100, 200, $400\text{ cm}^3\text{ min}^{-1}$ and the effect of pyrolysis temperature and sweep gas flow rates have been investigated. The maximum bio-oil yield of 26.3 % was obtained in N_2 atmosphere ($100\text{ cm}^3\text{ min}^{-1}$) at a pyrolysis temperature of 550°C . The pyrolysis products were characterized by elemental analysis, FTIR and $^1\text{H-NMR}$ spectrums and calorific values were determined. Bio-oil was then fractionated into four different fractions by using column chromatography. The molar compositions of subfractions were determined by elemental analysis and the hydrocarbon distribution of n-pentane fraction was determined by GC.

Key words: Biomass, pyrolysis, energy, cotton stalks

1. GİRİŞ

Günümüzde konutların ısıtılmasında, endüstri için enerji üretiminde ve taşınımında kullanılan yakıtların teminini, yenilenemeyen kaynaklar olarak adlandırdığımız fosil yakıtlar (kömür, petrol, doğal gaz) oluşturmaktadır (Kuleli, 1990).

Dünya nüfusunun hızla artması, endüstrileşme ve hızlı şehirleşme doğal kaynakların tüketimini de hızla arttırmaktadır (Boyle, 1986). Bu durumda, bilinen kay-

nakların en akılcı şekilde kullanımı ve yeni enerji kaynaklarının değerlendirilmesinin zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Bunlardan biyokütle; her yerde yetiştirilebilmesi, yenilenebilir olması, çevre korunmasına katkısı, kimyasal madde ve taşıt araçları için sıvı yakıt elde edilebilmesi nedeniyle dünyada önemli bir enerji kaynağı sayılmaktadır (Bull, 1992; White ve Plaskett, 1981; Kozinski ve Saade, 1998). Biyokütle kaynakları açısından oldukça zengin bir potansiyele sahip olan ülkemizde, değerlendirilmeyi bekleyen pek çok tarımsal atık oluş-

1 Anadolu Üniversitesi, Bozüyük Meslek Yüksekokulu, Bozüyük/Bilecik

2 Anadolu Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Yunus Emre Kampüsü, 26470 Eskişehir

3 Anadolu Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, İki Eylül Kampüsü, 26470 Eskişehir

Tel: +90-222-3213550/6504; Fax: +90-222-3239501 E-posta: aeputun@anadolu.edu.tr

Geliş: 7 Aralık 1999; Düzeltme: 25 Mart 2000; Kabul: 1 Mayıs 2000.

maktadır. Bu atıkların en önemlilerinden olan pamuk sapları, bu çalışmada incelenmek üzere seçilmiştir (Türe vd., 1994).

Bu çalışmada, pamuk saplarına farklı sıcaklık ve sürükleyici gaz akış hızlarında, sabit akış hızında ($7^{\circ}\text{C dk}^{-1}$) bir borusal reaktörde piroliz işlemi uygulanmış, piroliz ürün verimlerine piroliz sıcaklığı ve sürükleyici gaz akış hızının etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Ayrıca piroliz deneylerinden elde edilen sıvı ürünlerin yapılarının aydınlatılabilmesi amacıyla da ürünlere değişik spektroskopik ve kromatografik yöntemler uygulanmıştır.

Ülkemizde yaklaşık 6×10^5 hektar alanda pamuk üretilmektedir ve her yıl $3,24 \times 10^6$ ton pamuk sapı yan ürün olarak ortaya çıkmaktadır. GAP ile birlikte bu sahanın yıllık $4,86 \times 10^6$ ton dolayına çıkacağı tahmin edilmektedir (Eisa vd., 1994).

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmada, Eskişehir-Sarıcakaya-Mayıslar dolaylarından alınan pamuk sapları iki aşamada incelenmiştir. Birinci aşamada örnekte bulunan nem, kül, uçucu madde, sabit karbon ve ham selüloz miktar tayinleri yapılmıştır. Ayrıca hammaddenin içerdiği karbon, hidrojen, azot ve oksijen miktarlarının belirlenmesi amacıyla elementel analiz (Carlo Erba, Elemental Analyzer, İtalya) yapılmış ve ısı değeri belirlenmiştir. İkinci aşamada ise, örneğe sabit yataklı borusal reaktörde sürükleyici gaz ortamında piroliz işlemi uygulanmıştır.

Piroliz işlemlerinde, 3,64 cm iç çapında, 4,73 cm dış çapında, 72,5 cm boyundaki paslanmaz çelikten yapılmış bir borusal reaktör ve ısıtıcı olarak da izole edilmiş fırın kullanılmıştır. Fırının iç çapı 9,53 cm, yüksekliği 61,4 cm olup, çevresi 11,5 cm kalınlığında asbest ile yalıtılmıştır. Deney süresince reaktör sıcaklığının denetlenebilmesi amacıyla fırının üst, orta ve alt kısımlarına ısıl-çiftler yerleştirilmiştir. Isıl-çiftlerden alınan sıcaklık ölçümleri denetleme panelinde bulunan sayısal göstergelerle izlenmiştir. Piroliz işleminde kullanılan hammadde, değirmende öğütülmüş, elek analizi yapıldıktan sonra, $0,850 < D_p < 1,80$ mm parçacık boyutundaki örnekten 10 g tartılarak reaktör içine yerleştirilmiştir. Piroliz düzeneğinin diğer birimleri ile gerekli bağlantılar yapılarak deney gerçekleştirilmiştir.

Piroliz işlemi sonucunda, sıvı toplama kaplarında toplanan sıvı ürün (katran)-su karışımından su ayrılmış ve miktarı ölçülmüştür. Katran ise diklorometan ile yıkanarak alınmış ve daha sonra çözücü döner buharlaştırıcıda uzaklaştırılarak sıvı ürün verimi belirlenmiştir. Reaktörde kalan katı ürün (char) tartılarak; gaz ürün verimi ise, toplam kütle denkliğinden hesaplanmıştır.

Pamuk saplarının pirolizi değişik piroliz koşullarında gerçekleştirilmiştir. Deneyler, $7^{\circ}\text{C dk}^{-1}$ ısıtma hızında, 50, 100, 200, 400 $\text{cm}^3 \text{ dk}^{-1}$ olmak üzere dört farklı azot akış hızında ve 400, 500, 550, 700°C olmak üzere dört farklı piroliz sıcaklığında gerçekleştirilmiş, azot akış hızı ve piroliz sıcaklığının sıvı ürün verimine etkisi araştırılmıştır (Pütün, vd., 1997). Sonuçlar kuru külsüz temelde, en az üç deneyin sonucunun ortalaması olarak verilmiştir.

Deneyler sonucu elde edilen sıvı ürünün ısı değeri (Carlo Erba, Elemental Analyzer, İtalya) belirlenmiş, FTIR (Jasco FT/IR-300 Model Fourier Transform Infrared Spectrometer, Japonya) ve $^1\text{H-NMR}$ (90 MHz Jeol EX 90 A) spektrumları alınmıştır. FTIR spektrumları, KBr paletleri arasına sıvı ürünün doğrudan konulmasıyla, $^1\text{H-NMR}$ spektrumları ise iç standart olarak TMS, çözücü olarak da dötrokloroform (CDCl_3) kullanılarak alınmıştır. Daha sonra sıvı ürün sütun kromatografisi yöntemi ile alifatik, aromatik ve polar fraksiyonlara ayrılmıştır. Bu amaçla, sütundan sırasıyla çözücü olarak n-pentan, toluen, eter ve metanol geçirilmiştir (Bartle, vd., 1979). Elde edilen fraksiyonlara molar gösterimlerini bulmak amacıyla elementel analiz işlemi uygulanmış, ayrıca n-pentan fraksiyonunun gaz kromatogramı alınmıştır. Bu işlem sırasında sürükleyici gaz olarak helyum, HP-5MS (Hewlett Packard, ABD) adında kapiler bir sütun (30 m x 0,25 mm iç çaplı; 0,25 μm film kalınlığında), HP 5973 model kütle seçici bir dedektör (Hewlett Packard, ABD), veri toplayıcı ünite, bilgisayar ve yazıcı birimlerini içeren bir sistem kullanılmıştır. Yapıda bulunan hidrokarbonları belirlemek amacıyla da C_{14} , C_{15} , C_{16} karışımından oluşan düz zincir hidrokarbon standartı kullanılmıştır. Karbon dağılımı standart düz zincir hidrokarbonlar ile karşılaştırılarak belirlenmiştir. Ayrıca fraksiyonların FTIR spektrumları alınarak fonksiyonel grupları belirlenmiştir (Silverstein vd., 1974).

3. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Hammaddeye yapılan nem, uçucu madde, sabit karbon, kül ve ham selüloz miktar tayinleri Tablo 1'de, hammaddenin elementel analizi ve ısı değeri ile piroliz sonucu elde edilen sıvı ürünün ısı değeri Tablo 2'de verilmiştir. Tablodan da görüleceği gibi, piroliz işleminden elde edilen sıvı ürünün ısı değerinin (21312 kJ kg^{-1}) hammaddenin ısı değerinden (15978 kJ kg^{-1}) oldukça yüksek olması, ayrıca piroliz sıvı ürününün oksijen içeriğinin (% 36,9) hammaddenin oksijen içeriğinden (% 44,7) düşük olması ve hammaddeye (1,28) kıyasla piroliz sıvı ürününün (1,38) H/C oranındaki artış elde edilen sıvı ürünün petrole eşdeğer bir yakıt olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Tablo 1. Pamuk saplarının ön analiz sonuçları.

Analiz	(%) Ağırlık
Nem	7,37
Uçucu madde	70,1
Sabit karbon	17,8
Kül	4,68
Ham selüloz	36,2

Tablo 2. Pamuk saplarının elementel analizi ve ısı değer sonuçları.

Bileşen	Hammadde (%)	Piroliz sıvı ürünü (%)
C	48,9	55,5
H	5,21	6,36
N	1,19	1,24
O	44,7	36,9
H/C	1,28	1,38
Isıl değer (kJ kg ⁻¹)	15978	21312

Tablo 3. Farklı sıcaklıklarda, 50 cm³ dk⁻¹ azot gazı akış hızında yapılan piroliz deney sonuçları

Sıcaklık (°C)	Piroliz dönüşümü (%)	Katı ürün verimi (%)	Sıvı ürün verimi (%)	Oluşan su verimi (%)	Gaz ürün verimi (%)
400	62,1	37,9	22,3	21,1	18,7
500	64,4	35,6	23,7	21,2	19,5
550	68,1	31,9	25,0	21,2	21,9
700	71,1	28,9	21,2	22,3	27,6

Tablo 4. Farklı sıcaklıklarda, 100 cm³ dk⁻¹ azot gazı akış hızında yapılan piroliz deney sonuçları.

Sıcaklık (°C)	Piroliz dönüşümü (%)	Katı ürün verimi (%)	Sıvı ürün verimi (%)	Oluşan su verimi (%)	Gaz ürün verimi (%)
400	62,5	37,5	23,2	21,3	18,0
500	65,4	34,6	25,0	21,6	18,8
550	68,4	31,6	26,3	22,3	19,8
700	72,0	28,0	22,3	22,6	27,1

Tablo 5. Farklı sıcaklıklarda, 200 cm³ dk⁻¹ azot gazı akış hızında yapılan piroliz deney sonuçları.

Sıcaklık (°C)	Piroliz dönüşümü (%)	Katı ürün verimi (%)	Sıvı ürün verimi (%)	Oluşan su verimi (%)	Gaz ürün verimi (%)
400	64,7	35,3	22,2	21,3	21,2
500	66,1	33,9	23,7	21,2	20,2
550	68,5	31,5	25,2	22,9	20,4
700	72,6	27,4	24,8	22,1	25,7

Tablo 6. Farklı sıcaklıklarda, 400 cm³ dk⁻¹ azot gazı akış hızında yapılan piroliz deney sonuçları.

Sıcaklık (°C)	Piroliz dönüşümü (%)	Katı ürün verimi (%)	Sıvı ürün verimi (%)	Oluşan su verimi (%)	Gaz ürün verimi (%)
400	64,3	35,7	21,5	20,7	22,1
500	67,1	32,9	23,4	21,1	22,6
550	68,8	31,2	24,8	21,4	22,6
700	72,9	27,1	20,1	21,9	30,9

Yapılan çalışmada ülkemizde büyük bir potansiyele sahip pamuk saplarının borsal reaktörde değişik koşullarda pirolizi gerçekleştirilmiştir. 7°C dk⁻¹ ısıtma hi-

Tablo 7. Fraksiyonların molar gösterimleri.

Fraksiyonun adı	Molar gösterimi
n-Pentan	CH _{1,74} O _{0,1816} H/C=1,74
Toluen	CH _{1,56} N _{0,0004} O _{0,252} H/C=1,56
Eter	CH _{1,48} O _{0,717} H/C=1,48
Metanol	CH _{1,44} N _{0,01} O _{0,32} H/C=1,44

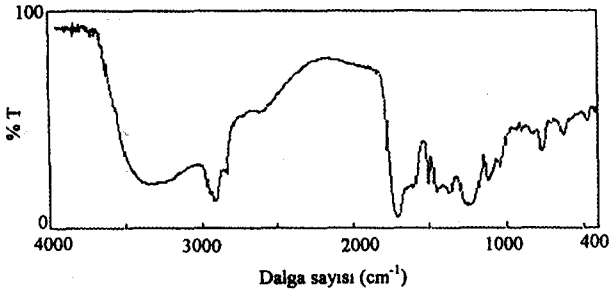
zında, dört farklı azot akış hızında (50, 100, 200, 400 cm³ dk⁻¹) ve dört farklı piroliz sıcaklığında (400, 500, 550, 700°C) elde edilen deney sonuçları Tablo 3, 4, 5, 6'da verilmiştir.

Borsal reaktörde yapılan piroliz çalışmalarında, piroliz sıcaklığı ve sürükleyici gaz etkisi incelendiğinde, tüm azot akış hızlarında piroliz dönüşümünde piroliz sıcaklığı ile artış görülmüş ve en yüksek piroliz dönüşümüne 700°C piroliz sıcaklığında 400 cm³ dk⁻¹ azot akış hızında % 72,9 ile ulaşılmıştır. 700°C Piroliz sıcaklığındaki bu değer, 400°C sıcaklık ve 50 cm³ dk⁻¹ azot akış hızında yapılan piroliz işleminden elde edilen piroliz dönüşümü (% 62,1) ile karşılaştırıldığında, 700°C piroliz sıcaklığındaki değer düşük sıcaklığa (400°C) göre piroliz dönüşümünde % 17,4 gibi çok yüksek bir artışa neden olduğu söylenebilir.

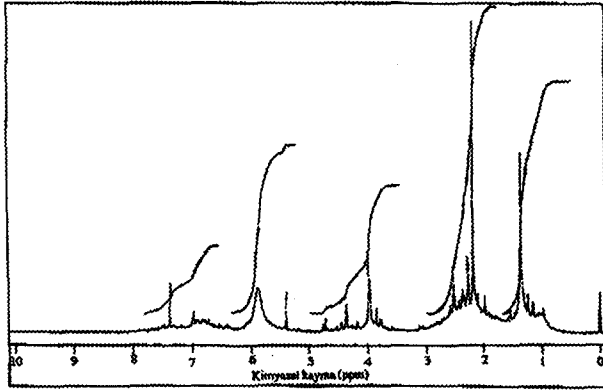
Tüm azot akış hızlarında; piroliz sıcaklığı ile piroliz dönüşümünde artış görülmesine karşın, en yüksek sıvı ürün verimine 550°C piroliz sıcaklığında 100 cm³ dk⁻¹ azot akış hızında % 26,3 ile ulaşılmıştır. En yüksek sıvı ürün verimi aynı akış hızında, 400°C sıcaklıkta elde edilen sıvı ürün verimi (% 23,2) ile karşılaştırıldığında, 550°C sıcaklıktaki verim değerine göre % 13,2'lik bir artış göstermiştir. 700°C'deki sıvı ürün verimlerinde gözlenen azalmanın nedeni ise, yüksek sıcaklıkta etkin olan gazlaşma tepkimeleridir.

Azot akış hızının artmasıyla piroliz dönüşümlerinde gözlenen artışta kaydedeğer bir yükselme saptanmıştır. Yapılan bu yavaş piroliz (7°C dk⁻¹) çalışmasında 0,850 < Dp < 1,80 mm parçacık boyutundaki pamuk sapları için en uygun piroliz koşullarının 550°C sıcaklık, 100 cm³ dk⁻¹ azot gaz akış hızı olduğu kanısına varılmıştır.

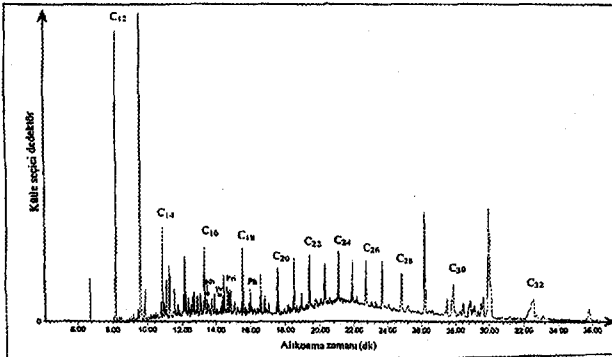
Bu koşullarda (550°C sıcaklık ve 100 cm³ dk⁻¹ azot gaz akış hızında) elde edilen sıvı ürünün sütun kromatografisi ile fraksiyonlanması sonucunda % 15,5 alifatik, % 27,8 aromatik ve % 56,7 polar bileşikler (eter+metanol) içerdiği bulunmuştur. Elde edilen bu fraksiyonların molar gösterimleri Tablo 7'de verilmiştir. Tablodan görüleceği gibi, n-pentan fraksiyonunun H/C



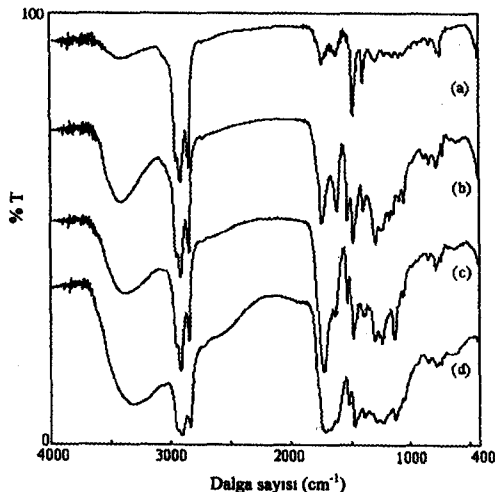
Şekil 1. Sıvı ürün FTIR spektrumu.



Şekil 2. Sıvı ürün 1H-NMR spektrumu.



Şekil 3. Pentan fraksiyonunun gaz kromatogramı.



Şekil 4. Fraksiyonların FTIR spektrumları; (a) n-Pentan, (b) Toluen, (c) Eter, (d) Metanol.

oranının (1,74), hampetrolün H/C oranına (1,5-1,9) uygunluk göstermesi, pamuk saplarının sıvı yakıt kaynağı olarak kullanılabileceğini gösteren diğer bir somut kanıttır.

Optimum piroliz koşullarında (550°C sıcaklık ve 100 cm³ dk⁻¹ azot gaz akış hızında) elde edilen sıvı ürünün fonksiyonel gruplarını belirlemek amacıyla çekilen FTIR spektrumu Şekil 1'de, ¹H-NMR spektrumu Şekil 2'de verilmiştir. Aynı sıvı ürünün sütun kromatografisinden elde edilen n-pentan fraksiyonunun gaz kromatogramı Şekil 3'de ve pentan, toluen, eter ve metanol fraksiyonlarının FTIR spektrumları ise Şekil 4'de verilmiştir.

En uygun piroliz koşullarında (550°C sıcaklık ve 100 cm³ dk⁻¹ azot gaz akış hızında) elde edilen sıvı ürünün FTIR spektrumunda (Şekil 1), -OH gerilim titreşim bandları 3356 cm⁻¹ de merkezlenmiş, alifatik CH₃ ve CH₂ bandları 2852-2927 cm⁻¹ arasında ve bu bandlarla ilgili bükülme titreşim bandları 1377-1460 cm⁻¹ arasında, karbonil titreşim bandı 1714 cm⁻¹ de, karbon-karbon çift bağ gerilim titreşim bandı 1600 cm⁻¹ de, eter bandı ise 1240 cm⁻¹ de gözlenmiştir.

Optimum piroliz koşullarında (550°C sıcaklık ve 100 cm³ dk⁻¹ azot gaz akış hızında) elde edilen sıvı ürünün ¹H-NMR spektrumunda (Şekil 2) ise, 2,0-3,3 ppm arasında en yüksek şiddette gözlenen pik aromatik halkaya α konumundaki CH₃, CH₂ ve CH gruplarıyla ilgilidir. Bu pikten sonra gözlenen en yoğun pik 1,0-1,6 ppm arasında olup, aromatik halkaya yan zincir olarak bağlı alkil gruplarının varlığını kanıtlar. Ayrıca yapıda, az miktarda aromatik halka ve aromatik halkaya γ konumunda CH₃ protonları belirlenmiştir.

n-Pentan fraksiyonunun gaz kromatogramından da görüleceği gibi (Şekil 3) hidrokarbonların dağılımının C₁₂-C₃₂ arasında olduğu gözlenmiştir. Doymuş hidrokarbonların (n-alkanların) en yoğun olduğu bölge ise C₁₂-C₂₄ arasındadır. Bu bölgede n-alkanların baskın olması, bu fraksiyonun elementel analiz ve FTIR sonuçlarıyla da desteklenmektedir. Bununla beraber aynı bölgede doymamış bileşikler (alkenler vb.) de gözlenmiş fakat n-alkanların daha yoğun olduğu görülmüştür. Ayrıca bu fraksiyonda, norpristan (NPr), pristan (Pr), pristen (Pri) ve phyten (Ph) gibi bazı izoprenoid (dallanmış) hidrokarbonların da olduğu bulunmuştur.

Sıvı ürünün fraksiyonlanmasıyla elde edilen n-pentan fraksiyonunun FTIR spektrumunda (Şekil 4-a), 2852-2960 cm⁻¹ de alifatik CH₂ ve CH₃ gruplarının gerilim titreşim bandları, bunlarla ilgili bükülme titreşim bandları ise 1377-1464 cm⁻¹ de, zayıf alken çift bağ gerilim titreşim bandı 1603 cm⁻¹ de gözlenmektedir. Bu fraksiyonda en dikkat çekici band 721 cm⁻¹ de gözlenen

band (rocking) olup, yapıda yediden fazla düz zincir hidrokarbon bulunduğunu kanıtlar. Ayrıca bu sonuç gaz kromatogramı ile de desteklenmektedir.

Toluen fraksiyonunun FTIR spektrumunda (Şekil 4-b), pentan fraksiyonundan farklı olarak 3421 cm^{-1} de -OH gerilim titreşim bandı, 3050 cm^{-1} de aromatik halkaya bağlı C-H bağı titreşim bandı, 1732 cm^{-1} de ester karbonil bandı, $1464\text{--}1599\text{ cm}^{-1}$ de ise aromatik halka gerilim titreşim bandları gözlenmiştir. Ayrıca $700\text{--}900\text{ cm}^{-1}$ arasındaki pikler aromatik halkada bir çok sübtüent bulundugunu kanıtlamaktadır.

Eter fraksiyonunun FTIR spektrumunda (Şekil 4-c), toluen fraksiyonundan farklı olarak $2850\text{--}2960\text{ cm}^{-1}$ arasında alifatik CH_2 ve CH_3 gruplarının gerilim titreşim bandları, $1263\text{--}1281\text{ cm}^{-1}$ arasında ise yayvan düzensiz pikler şeklinde eter gerilim titreşim bandları gözlenmiştir. Metanol fraksiyonunun FTIR spektrumunda (Şekil 4-d), eter fraksiyonundan farklı olarak, $1462\text{--}1610\text{ cm}^{-1}$ arasında aromatik halkanın gerilim titreşim bandları, $700\text{--}900\text{ cm}^{-1}$ de ise aromatik halkada bir çok sübtüent bulundugunu gösteren bandlar görülmüştür.

4. SONUÇLAR

Sonuç olarak, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından biyokütle sınıfına giren pamuk sapları, günümüz koşullarında atık olarak ya tarlalarda yakılmakta ve bu dolaylı olarak gelecek yıllarda elde edilecek ürün verimini azaltmakta, ya da sobalarda doğrudan yakıt olarak kullanılmakta ve bu da çok büyük bir ısı kaybına neden olmaktadır. Bu tür kullanımların yerine büyük bir potansiyel olan pamuk saplarının oldukça basit ve kolay bir yöntem olan pirolizle yararlı sıvı ürünlere dönüştürülerek kullanılması günümüzde büyük önem taşıyan enerji sorunun çözümüne de dolaylı katkı yapacağını düşünmekteyiz.

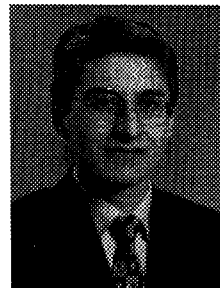
KAYNAKÇA

- Bartle, K.D., Ladner, W.R., Martin, T.G., Snape, C.E. ve Williams, D.F. (1979). Structural analysis of supercritical-gas extracts of coals. *Fuel*, 58, 413-422.
- Boyle, D.T. (1986). Biomass for energy. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 36, 495-511.
- Bull, S.R. (1992). Biomass for energy, industry and environment. *6 th European Coal Conference*, Eds: G. Grassi, A. Collina, H. Zibetta, ss. 1032-1038, Elsevier Applied Science, London and New York.

- Eisa, M.H., Barghouti, S., Gillham, F. ve Alsaffaty, M. T. (1994). *World Bank Technical Paper* 201, s.112.
- Kozinski, J.A. ve Saade, R. (1998). Effect of biomass burning on the formation of soot particles and heavy hydrocarbons: An experimental study. *Fuel*, 77, 225-237.
- Kuleli, Ö. (1990). Enerji teknolojileri, araştırma/geliştirme çalışmaları. Türkiye 5. Enerji Kongresi, *Genel Raportör Raporları*, Ankara, s. 118.
- Pütün, A.E., Özbay, N., Koçkar, Ö.M. ve Pütün, E. (1997). Fixed bed pyrolysis of cotton seed cake: Product yields and compositions. *Energy Sources*, 19, 905-915.
- Silverstein, R.M., Bassler, G.C. ve Morrill, T.C. (1974). *Spectrometric Identification of Organic Compounds*. John Wiley and Sons Inc., New York, s. 340.
- Türe, S., Özdoğan, S. ve Saygın, Ö. (1994). Biyokütleden enerji üretimi. Türkiye 6. Enerji Kongresi, *Teknik Oturum Tebliğleri* (1), İzmir, ss. 486-493.
- White, L.P. ve Plaskett, L.G. (1981). *Biomass as Fuel*. Academic Press, London.



Nurgül Özbay 1966 yılında Eskişehir'de doğdu. İlk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 1988 yılında Anadolu Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümünden mezun oldu. 1991 yılında Yüksek Lisansını, 1998 yılında Doktora derecesini Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nden aldı. Aralık 1989-Ocak 1995 yılları arasında Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Su Arıtma Tesislerinde görev yaptı. 1995-1998 yılları arasında Anadolu Üniversitesi Bozüyük Meslek Yüksekokulunda Öğretim Görevlisi olarak çalıştı. Eylül 1998'de Doçentliğe atandı. Halen Bozüyük Meslek Yüksekokulunda Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır.



Adnan Özcan 1965 yılında Manisa-Salihli'de doğdu. İlk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Lisans derecesini (1987) Anadolu Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümünden, Yüksek Lisans (1990) ve Doktora (1997) derecelerini ise Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nden aldı. Mart 1988-Aralık 1989 arasında ortaöğretim kurumunda öğretmen olarak görev aldı. 1990-

1993 yılları arasında Anadolu Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümünde, 1993-1994 yılları arasında Osmangazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesinde 'Uzman' kadrosuyla, 1997-Aralık 1999 arasında da yine aynı fakültede 'Yardımcı Doçent' kadrosunda çalıştı. Halen Anadolu Üniversitesi Fen-Fakültesi Kimya Bölümünde 'Yardımcı Doçent' kadrosuyla çalışmaktadır. 1993-Aralık 1995 arasında İngiltere'de, Leeds Üniversitesi'nde bilimsel araştırmalar yapmıştır. Yayımlanmış iki orijinal makalesi ve bir araştırma projesi vardır.



Ayşe E. Pütün 1948 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve orta eğitimi İstanbul'da tamamladı. Şubat 1973'de Yıldız Üniversitesi Kimya Mühendisliğinden mezun oldu. 1975-1981 yıllarında Eskişehir Endüstri Meslek Lisesi'nde Teknik öğretmen ve Müdür yardımcısı olarak görev yaptı. Haziran 1981'de Anadolu Üniversitesi

Eczacılık Fakültesinde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Aralık 1983'te Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak atandı. Eylül 1984-Aralık 1987 tarihleri arasında aynı Bölümünde Öğretim Görevlisi olarak görev yaptı. Temmuz 1987'de Doktora çalışmasını tamamlayarak Dr. ünvanı aldı. Aralık 1987 tarihinde Yardımcı Doçentliğe, Ekim 1996'da Doçentliğe atandı. Halen Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümünde görev yapmaktadır.