

ARAŞTIRMA MAKALESİ/RESEARCH ARTICLE

ASPIR TOHUMUNUN SABİT YATAK YAVAŞ PİROLİZİ¹

Sedat H. BEİS², Özlem ONAY², Ö. Mete KOÇKAR^{2,3}

ÖZ

Bu çalışmada, aspir (*carthamus tinctorius* L.) yağlı tohumunun sabit yatak reaktörde yavaş pirolizi gerçekleştirilmiş, özellikle piroliz ürünlerinin verimleri üzerine piroliz sıcaklığı, ısıtma hızı, parçacık boyutunun etkisi belirlenmiştir. Piroliz çalışmaları, normal (statik) ortamında yürütülmüştür. Çalışmalarda en yüksek sıvı ürün verimine %38 ile piroliz sıcaklığı 500 °C, ısıtma hızı 5 °C dk⁻¹ ve parçacık boyut aralığının +0.425 -1.25 mm olduğu şartlarda ulaşılmıştır. Çalışmalar sonucunda elde edilen sıvı ürün kromatografik ve spektroskopik yöntemlerle incelenmiş, enerji ve kimyasal ürün kaynağı olarak kullanılabilirliği ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Piroliz, Biyokütle, Yenilenebilir enerji, Aspir tohumu.

FIXED BED SLOW PYROLYSIS OF SAFFLOWER SEED

ABSTRACT

In this study, fixed bed slow pyrolysis experiments have been conducted on a sample of safflower (*carthamus tinctorius* L.) seed to determine particularly the effect of pyrolysis temperature, heating rate, particle size on the pyrolysis yields and their chemical compositions. The maximum oil yield of 38 % was obtained at the final pyrolysis temperature of 500 °C, heating rate of 5 °C min⁻¹ and particle size range of +0.425 -1.25 mm in fixed bed reactor. Chromatographic and spectroscopic studies on the pyrolytic oil showed that the oil obtained from safflower can be used as a renewable fuel and chemical feedstock.

Key Words: Pyrolysis, Biomass, Renewable energy, Safflower seed.

1. GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizde nüfus artışına ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak tüketim ve enerjiye olan talep giderek hızla artmaktadır. Enerji üretimi ve etkin kullanımını, özellikle kaynakları kıt ve enerjisinin büyük bölümünü dışarıdan karşılamak zorunda kalan ülkeler için özel bir öneme sahiptir. Bu nedenle, ülke öz kaynaklarını kullanarak enerji üretilebilecek her türlü seçenek dikkatle araştırılmalı ve sonuçları tartışmaya açılmalıdır. Özellikle ülkemizde, birincil enerji kaynaklarının sınırlı olması, bunun yanında toplumsal çevre bilincinin giderek artması, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarını araştırma ve bu kaynakları en uygun koşullarda kullanma çalışmalarını hızlandırmıştır [Altaş vd., 1994 ve Abut vd., 1997].

Birincil enerji kaynaklarından petrol, doğal gaz ve kömürün yerini alabilecek, çevre kirliliğine neden olmayacak, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından biri durumundaki biyokütlenin ülkemizde büyük bir potansiyele sahip olduğu bilinmektedir. Ülkemizde, kuru tarımsal atıklar, yaş tarımsal atıklar, hayvansal atıklar, orman ürünleri ve şehir çöpleri gibi atıklardan elde edilebilecek enerjinin 17.2 megaton petrole eşdeğer olduğu belirlenmiştir [Taşdemiroğlu, 1986 ve Karaosmanoğlu vd., 1997].

Biyokütleyle uygulanan termal dönüşüm yöntemleriyle, özellikle hammaddenin oksijensiz ortamda ısıl bozunması olan piroliz yöntemiyle elde edilen sıvı ürün, yüksek ısıl değere sahip, ölçülebilir, taşınabilir ve depolanabilir özellikleriyle, petrol türevi sıvı yakıtlar ve

¹ Bu çalışma Anadolu Üniversitesi Araştırma Fonu desteği ile (Proje No: 990207) gerçekleştirilmiştir.

² Anadolu Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 26470, Eskişehir, TÜRKİYE.

³ E-posta: mkoçkar@anadolu.edu.tr.

Geliş: 27 Ekim 2000; Düzeltme: 12 Şubat 2001; Kabul: 19 Mart 2001.

petrokimya endüstrisi girdisi için bir seçenek oluşturmaktadır [Soltés, 1988 ve Küçük ve Demirbaş, 1997]. Piroliz çalışmalarında elde edilen, sıvı, katı ve gaz ürün verimlerini etkileyen başlıca parametreler, piroliz sıcaklığı, ısıtma hızı ve parçacık boyutudur [Bridgwater 1994 ve 1999, Karaosmanoğlu ve Tetik, 1999].

Avrupa ve Amerika'da tarımsal enerji kaynağı olarak, yağlı tohumların kullanım çalışmaları giderek artmakta, özellikle soya ve kolzadan çeşitli proseslerle sıvı yakıt eşdeğeri ürünler elde edilmekte ve kullanıma sunulmaktadır [Karaosmanoğlu vd., 1999 ve Jenkins ve Sumner, 1986]. Ülkemizde geleneksel olarak üretilen yağlı tohumlardan olan aspir sınırlı bir kullanım alanına sahiptir.

Yapılan bu çalışmada, ülkemizdeki enerji sorunu karşısında, biyokütle adayı olarak aspir tohumu kullanılmıştır. Aspir bitkisi (*Carthamus tinctorius* L.), tek yıllık bir bitkidir, kazık köklüdür, sapı kalın ve yuvarlaktır, dallanmanın başladığı yere göre, aşağıdan ve yukarıdan dallanan olmak üzere iki tipte sınıflandırılmaktadır. Tohumların yüzü düz ve yumurta şeklinde olup, renkleri beyaz ve krem renginde olabilir. Aspir bitkisinin tohumlarında elde edilen %30-45 oranındaki yağ, yemeklik yağ ve boya sanayisinde, tohumların kabukları yem sanayiinde, çiçekleri boyar madde olarak kozmetikte ve besin maddelerinde kullanım alanı bulunmaktadır [Can ve Duman, 1993].

Aspir bitkisinin üretimi, 1980'li yıllardan önce, yıllık yaklaşık 800-1000 ton olarak gerçekleşirken, yemeklik yağ endüstrisindeki kullanımının azalmasıyla yıllık üretimi 300 tona kadar azalmıştır. Ancak önümüzdeki yıllarda GAP bölgesindeki yeniden yapılanma ile birlikte, biyokütle kaynağı olarak yetiştirilmesi hedeflendiğinde oldukça yüksek miktarda üretimi gerçekleştirilebilir.

Bu çalışmada, aspir tohumlarından piroliz yöntemi kullanılarak sıvı ürün üretilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla aspir tohumlarının sabit yatak reaktörde yavaş pirolizi gerçekleştirilmiştir. Deneylerde piroliz sıcaklığının, ısıtma hızının ve parçacık boyutunun piroliz dönüşüm verimine, katı, sıvı, gaz ürün verimine etkisi incelenmiştir. Elde edilen sıvı ürün çeşitli spektroskopik ve kromatografik yöntemlerle incelenmiş, enerji ve sıvı yakıt kaynağı olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

2. DENEYSEL

2.1. Hammadde

Bu çalışmada kullanılan, Eskişehir yöresinden alınmış, gölgede kurutulmuş, aspir tohumunun incelenmesinde öncelikle örnekte bulunan nem (ASTM D 2016-74), uçucu madde (ASTM E 897-82), kül (ASTM

D 1102-84), sabit karbon ve yağ miktar tayinleri (TS-324) yapılmıştır (Tablo 1). Ayrıca hammaddenin elementel analizi yapılmış ve ısıl değeri belirlenmiştir (Tablo 2 ve 3). Daha sonra, aspir tohumları, laboratuvar ölçeğinde bir değirmende öğütülmüş, ASTM elek setinde elenmiş ve $0.425 < dp < 0.850$, $0.850 < dp < 1.25$, $1.25 < dp < 1.8$ ve $dp > 1.8$ mm farklı parçacık boyutlarına sınıflandırılmış ve deneyler için hazırlanmıştır.

2.2. Piroliz

DeneySEL çalışmalarda, örneğe sabit yatak Heinze reaktörde piroliz işlemi uygulanmıştır. Piroliz çalışmaları, normal piroliz ortamında (statik) farklı piroliz sıcaklıklarında, ısıtma hızlarında ve partikül boyutlarında yürütülmüştür. Çalışmalarda, piroliz ürünlerinin verimleri belirlenmiş ve sıvı ürün verimi göz önüne alınarak en uygun piroliz koşulları araştırılmıştır.

Piroliz işlemleri 316 paslanmaz çelikten yapılmış 250 cm^3 hacmindeki retort ve bu retortu çevreleyen 2000 watt ısıtıcı resistanslı, izolasyonu yapılmış fırında gerçekleştirilmiştir [Pütün vd., 1996; Beis vd., 2000; Onay vd., 1996; Koçkar vd., 2000; Onay vd., 2000; Yorgun vd., 1994]. Değirmende öğütülerek parçacık boyutu belirlenen aspir tohumlarından 10g tartılarak statik retortta konulmuş, daha sonra retort fırın içine yerleştirilmiş ve piroliz düzeneğinin diğer birimleriyle olan bağlantıları yapılmıştır.

Piroliz işlemi sonucunda, soğutma kaplarında toplanan sıvı ürün (tar)-su karışımından su ayrılmış ve miktarı ölçülmüştür. Katran diklorometan ile yıkanarak alınmış, daha sonra çözücüsü döner buharlaştırıcıda uzaklaştırılarak sıvı ürün verimi, retortta kalan katı ürün (char) tartılarak katı ürün verimi belirlenmiştir. Gaz ürün verimi toplam kütle denkleğinden hesaplanmıştır.

Aspir tohumunun pirolizi değişik piroliz şartlarında gerçekleştirilmiştir. Deneyler öncelikle ortalama $+0.425 - 1.25$ mm partikül boyutu aralığındaki örnekte, 5, 40 ve $80 \text{ }^\circ\text{Cdk}^{-1}$ ısıtma hızlarında, 400, 500, 550, 600 ve 700°C piroliz sıcaklıklarında gerçekleştirilmiş ve böylece piroliz sıcaklığının ve ısıtma hızının piroliz dönüşümüne, sıvı, katı ve gaz ürün verimlerine etkisi incelenmiştir.

Daha sonra piroliz deneyleri 500°C piroliz sıcaklığı sabit tutularak, 5°Cdk^{-1} ısıtma hızında ve $0.425 < dp < 0.850$, $0.850 < dp < 1.25$, $1.25 < dp < 1.8$ ve $dp > 1.8$ mm olmak üzere dört farklı parçacık boyutunda yürütülmüş ve parçacık boyutunun sıvı ürün verimine etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada her bir deney en az üç kez tekrar edilmiş sonuçlar ortalama alınarak kuru külsüz temelde verilmiştir.

Tablo 1. Aspir Tohumlarının Analiz Sonuçları.

Analiz	(% Ağırlık)
Nem	5.7
Uçucu madde	80.8
Sabit karbon	11.3
Kül	2.2
Yağ	38.0

Tablo 2. Aspir Tohumlarının Elementel Analiz Sonuçları (kkt).

Bileşen	Aspir tohumu	Sıvı ürün ^b	Katı ürün ^b
C	60.46	71.72	75.98
H	9.08	11.42	2.14
N	3.10	1.38	-
O ^a	27.36	15.48	21.88
H/C	1.80	1.91	0.34

kkt: kuru külsüz temel

^a Farktan hesaplanmıştır

^b 500 °C piroliz sıcaklığında ve +0.425 - 1.25 mm parçacık boyuntunda

Tablo 3. Aspir Tohumlarının Isıl Değer Analiz Sonuçları.

Madde	Isıl değer (MJ/kg)
Aspir tohumu	23.86
Sıvı ürün ^b	38.51
Katı ürün ^b	22.68

^b 500°C piroliz sıcaklığında ve + 0.425 - 1.25 mm parçacık boyutunda

2.3.Sıvı Ürün Bileşimi

Yapılan çalışmada en uygun piroliz koşulları olan 500 °C piroliz sıcaklığı, 5 °Cdk⁻¹ ısıtma hızı ve 0.425<dp<1.25 mm parçacık boyut aralığında elde edilen sıvı ürün, enerji ve kimyasal hammadde kaynağı olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi amacıyla incelenmiştir. Öncelikle sıvı ürünün elementel bileşimi ve ısı değeri belirlenmiş (Fisons, EA1108) ve petrol ürünü sıvı yakıtlarla karşılaştırılmıştır. Sıvı ürün i.r. spektrumu alınarak (Jasco, FT/IR- 300, KBr disk) fonksiyonel grupları belirlenmiştir. Sıvı ürün kimyasal sınıflandırılması sıvı kolon kromatografisi tekniği ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada sıvı ürün öncelikle n- pentanda çözünenler ve çözünmeyenler olarak ayrılmıştır. Daha sonra n- pentanda çözünen kısım adsorpsiyon kromatografisinde alifatik, aromatik ve polar fraksiyonlar olarak ayrılmıştır. Bu amaçla kolonda 70- 230 mesh, aktive edilmiş silikajel kullanılmış ve kolondan sırası-

la yaklaşık 200'er ml n-pentan, toluen ve metanol geçirilmiştir. Her bir fraksiyon kurutulmuş ve tartılmıştır. n-pentan fraksiyonunun gaz kromatogramı alınarak karbon dağılımı standart dizel ile karşılaştırılarak belirlenmiştir (ASTM 285-62). Ayrıca n-pentan fraksiyonu ve standart dizel yakıtın benzetimli distilasyon eğrileri alınarak karşılaştırılmıştır (ASTM D 2887-84).

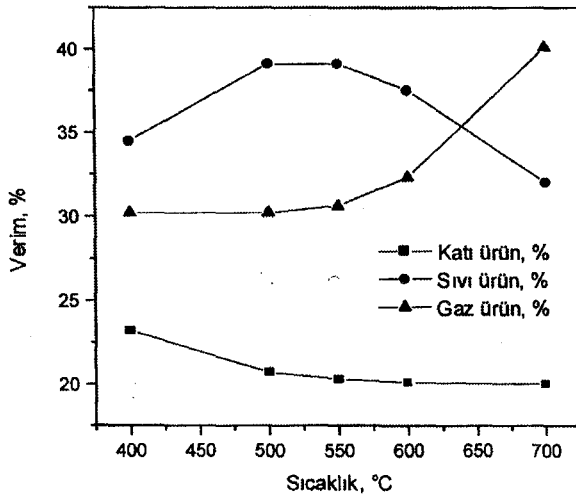
3. TARTIŞMA

3.1. Piroliz

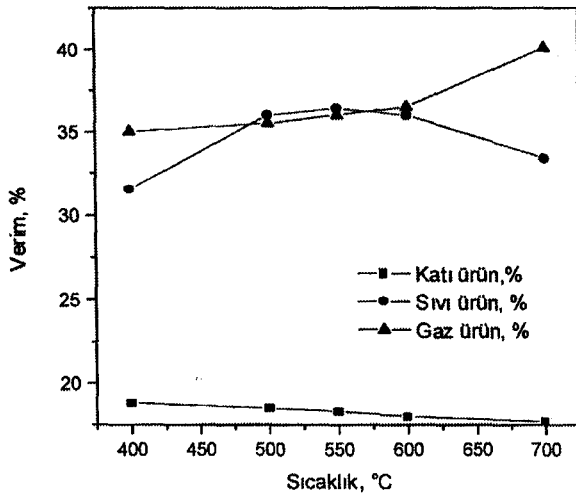
Aspir tohumunun sabit yatak pirolizinde, piroliz ürünlerinin verimleri üzerine piroliz sıcaklığı ve ısıtma hızının etkileri Şekil 1, 2 ve 3'de verilmiştir. Şekillerde genel olarak her bir ısıtma hızı için piroliz sıcaklığının artması ile katı ürün veriminde bir azalma görülmüş, bir diğer değişle piroliz dönüşümü artmıştır. Yine piroliz sıcaklığının artması ile gaz ürün veriminde de bir artış ortaya çıkmıştır. Öncelikle ısıtma hızı 5°C dk⁻¹ alınarak yapılan çalışmalarda, 400°C piroliz sıcaklığında %77 düzeyinde olan piroliz dönüşümü, piroliz sıcaklığının 700°C'a yükselmesiyle %81'e ulaşmıştır (Şekil 1). Piroliz dönüşümündeki bu artışa karşın, aynı piroliz sıcaklık aralığı için 400°C piroliz sıcaklığında %34 olan sıvı ürün verimi, piroliz sıcaklığının 500-550°C'ye yükseltilmesiyle %38 düzeyine ulaşmış, ancak piroliz sıcaklığının 700°C'a yükselmesiyle bu değer %31'e düşmüştür. Böylece piroliz sıcaklığının artışıyla, piroliz dönüşümünde görülen artışın gaz ürüne kaydığı gözlenmiştir (Şekil 1). Böylece 5°C dk⁻¹ ısıtma hızı, +0.425 -1.25 mm parçacık boyut aralığında yapılan çalışmalarda %38 ile en yüksek sıvı ürün verimine 500°C piroliz sıcaklığında ulaşılmıştır.

Piroliz ısıtma hızlarının, 40°C dk⁻¹ ve 80°C dk⁻¹ olarak alındığı çalışmalarda ise benzer profiller ortaya çıkmıştır (Şekil 2 ve 3). Bu ısıtma hızlarında piroliz dönüşümünde, artan piroliz sıcaklığı ile büyük bir değişim görülmemiş ve 400-700°C piroliz sıcaklığı aralığında, dönüşüm %83-84 düzeyinde kalmıştır. Sıvı ürün verimi açısından incelendiğinde ise, 400°C piroliz sıcaklığında yaklaşık %31 olan verim, yine 500-550°C sıcaklık aralığında en yüksek değerini almış ancak %35 düzeyine ulaşılabilmiştir.

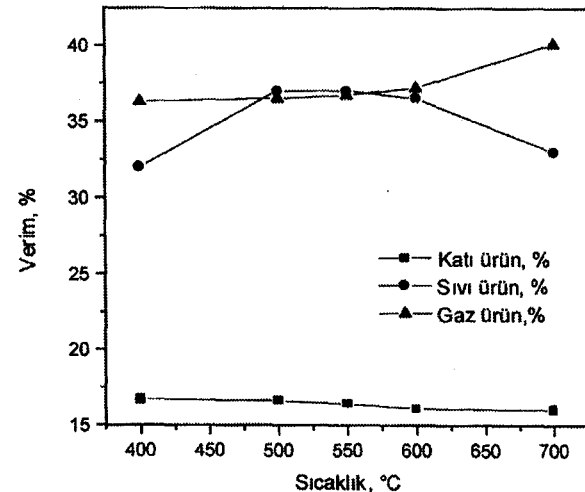
Parçacık boyutunun, piroliz ürün verimlerine etkisini incelemek amacıyla yapılan çalışmalarda (Şekil 4), öncelikle piroliz dönüşümünün parçacık boyutu değişimi ile etkilendiği, parçacık boyutunun dp>1.8 mm ile 0.425<dp<0.85 mm aralığında değişimiyle, %75'den %80 düzeyine yükseldiği görülmüştür. Bunun yanında, dp>1.8 mm parçacık boyutunda ancak %32 düzeyinde olan sıvı ürün verimi, parçacık boyutunun 1.25<dp<1.8 mm aralığında küçülmesiyle %36-37 düzeyine yükselmiş, parçacık boyutunun 0.85<dp<1.25 mm aralığında



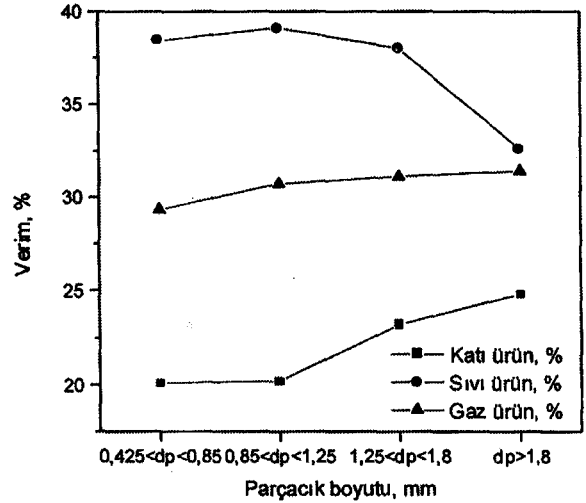
Şekil 1. Farklı Piroliz Sıcaklıklarında, + 0.425 - 1.25 mm Parçacık Boyutu Aralığında ve 5°C dk⁻¹ Isıtma Hızında Piroliz Deney Sonuçları.



Şekil 2. Farklı Piroliz Sıcaklıklarında, + 0.425 - 1.25 mm Parçacık Boyutu Aralığında ve 40°C dk⁻¹ Isıtma Hızında Piroliz Deney Sonuçları.



Şekil 3. Farklı Piroliz Sıcaklıklarında, + 0.425 - 1.25 mm Parçacık Boyutu Aralığında ve 80°C dk⁻¹ Isıtma Hızında Piroliz Deney Sonuçları.



Şekil 4. Farklı Parçacık Boyutlarında, 500°C Piroliz Sıcaklığı ve 5°C dk⁻¹ Isıtma Hızında Piroliz Deney Sonuçları.

ise %38-39 değerine ulaşmış, parçacık boyutunun 0.425<dp<0.85 mm düzeyine düşürülmesi ile hafif bir azalma göstermiştir (Şekil 4). Ortaya çıkan bu azalmanın yağlı tohumun yapısında bulunan kabuk kısmının, bu parçacık boyutunda yoğunlaşması ile açıklanmıştır.

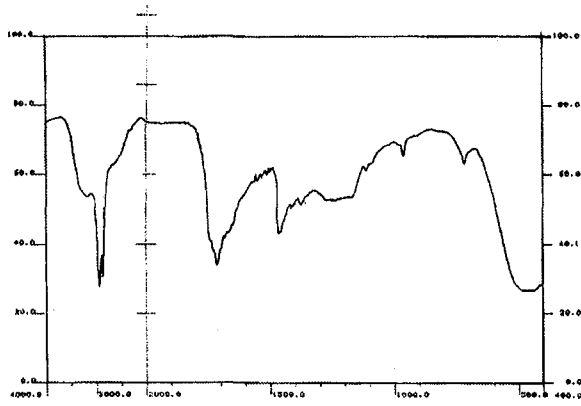
Aspir tohumlarının sabit yatak kendi atmosferinde yavaş pirolizinde 5°C dk⁻¹ ısıtma hızı için, 500-550°C piroliz sıcaklığının ve +0.425-1.25 mm parçacık boyutu aralığının en uygun piroliz koşulları olduğu ve %38 sıvı ürün verimine ulaşılabilirdiği belirlenmiştir.

3.3. Sıvı ürün bileşimi

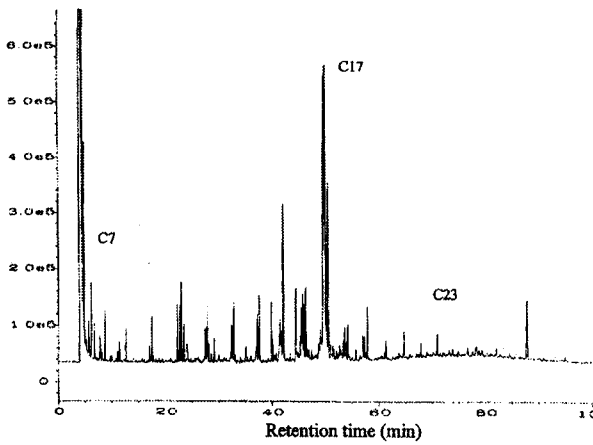
Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen sıvı ürünün incelenmesinde öncelikle elementel analizi gerçekleştirilmiş ve ısıl değeri belirlenmiştir (Tablo 2 ve 3). Sıvı ürün azot içeriğinin son derece düşük olduğu ve sıvı ürün elementel analizinden hesaplanan mol H/C oranı 1.91 ile yine ham petrolün hafif bileşenlerinin H/C oranlarına yakın sınırlar içinde bulunduğu görülmüştür. Ayrıca, aspir tohumu 23.86 MJ/kg ısıl değere sahipken, piroliz sonucunda elde edilen sıvı ürünün ısıl değeri 38.51 MJ/kg olarak ham petrol ısıl değerine oldukça yakın bulunmuştur.

Sıvı ürünün incelenmesi amacıyla gerçekleştirilen i.r. spektrumu (Şekil 5), sıvı ürünün yapısında hidroksil fonksiyonel grubu içeren alkol ve fenollerin (3200-3400 cm⁻¹'de), doymuş hidrokarbonların (2800-3000 cm⁻¹ ve 1350-1475 cm⁻¹'de), karbonil grupları içeren keton ve aldehitlerin ve olefinlerin (1650-1750 cm⁻¹'de) olduğunu göstermektedir.

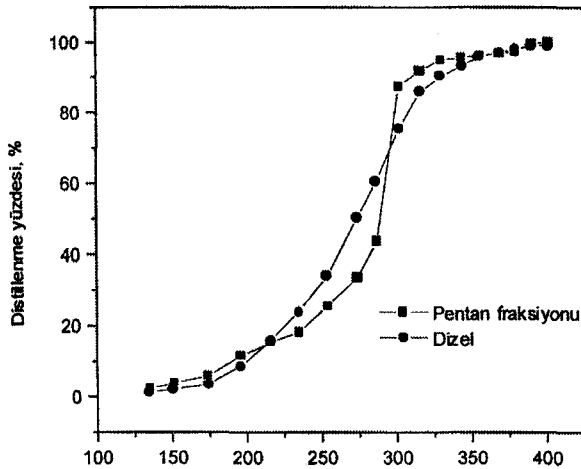
Sıvı ürün sütun kromatografisi çalışmasından, sıvı ürünün %13 asfaltenler içerdiği, n-pentanda çözünen kısmın ise yaklaşık %35 alifatik, %37 aromatik ve %28



Şekil 5. Sıvı Ürün i.r. Spectrumu.



Şekil 6. n-Pentan Fraksiyonu Gaz Kromatogramı.



Şekil 7. Benzetimli Distilasyon Eğrileri.

polar bileşikler içerdiği belirlenmiştir. Sıvı ürünün n-pentan eluatının gaz kromatogramından, yapıda alkan, alken ve dallanmış hidrokarbonlar olduğu görülmektedir. Kromatogramdan karbon dağılımının C_7 - C_{27} arasında olduğu ve bunun büyük bir bölümünü C_{11} - C_{17} arasında olan hidrokarbonlardan oluştuğu görülmektedir (Şekil 6).

Elde edilen sıvı ürünün yakıt olarak kullanılabilirliğini belirlemek amacı ile yapılan n-pentan fraksiyonunun ve dizel yakıtın benzetimli distilasyon eğrileri Şekil 7'de verilmiştir. Benzetimli distilasyon eğrilerinden, n-pentan fraksiyonunun dizel yakıt ile oldukça uyumlu olduğu görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Aspir tohumunu sabit yatak pirolizi ile sıvı hidrokarbon karışımı üretiminde, umut verici sonuçlar bulunmuştur. Piroliz dönüşümünde, 700°C piroliz sıcaklığına kadar artış gözlenerek %81 dönüşüm elde edilmesine rağmen, en yüksek sıvı ürün verimi %38 ile, 500°C piroliz sıcaklığı, +0.425-1.25 mm partikül büyüklüğü ve 5°C/dk ısıtma hızında gözlenmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen sıvı ürünün büyük bölümünün (%90) pentanda çözündüğü ve sıvı ürünün n-pentan eluatının gaz kromatogramından karbon dağılımının C_7 - C_{27} arasında olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, biyokütle adayı, aspir tohumlarının pirolizinden elde edilen sıvı ürünün incelenmesiyle, umut verici sonuçlar elde edilmiş, gerek yüksek ısı değeri ve gerekse kimyasal içeriğiyle, enerji kaynağı ve petrokimya endüstrisi için bir girdi olabileceği görülmüştür.

KAYNAKÇA

- Altaş, M., Fikret, H. ve Çelebi, H. (1994). Türkiye Enerji Sektörünün Gelişimi ve Arz Talep Projeksiyonları (1970-2010). *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Bildiri Kitabı*, İzmir, ss.3-121.
- Abut, N., Çakır, B., Akça, Ü., Bozkurt, A. ve N. Ertürk (1997). 2000'li Yıllarda Ulusal Arz-Talep Dengesi Işığında Türkiye Enerji Politikaları. *Türkiye 7. Enerji Kongresi, Bildiri Kitabı I*, Ankara, ss.31-40.
- Beis, S.H., Onay Ö., Atabay E., ve Koçkar Ö.M. (2000). Pyrolysis of walnut shell in a fixed-bed reactor. *World Renewable Energy Congress VI (WREC 2000), Renewable Energy, II*, Brighton, UK, ss.1360-1363.
- Bridgwater, A.V. (1994). Catalysis in thermal biomass conversion. *Applied Catalysis*, 116, 5-47.
- Bridgwater, A.V. (1999). Principles and practice of biomass fast pyrolysis processes for liquids. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 51, 3-22.
- Can, Ö. ve Duman, İ. (1993). Aspir tarımı ve endüstride kullanım alanları. Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitü Raporu, Eskişehir.

- Jenkins, B.M. ve Sumner, H.R. (1986). Harvesting and Handling Agricultural Residues for Energy. *Transactions of the ASAE*, 29(3), 824-836.
- Karaosmanoğlu, F. ve Tetik, E. (1999). Charcoal from pyrolysis of the rapeseed straw-stalk. *Energy Sources*, 21(6), 503-510.
- Karaosmanoğlu, F., Tetik, E. ve Göllü, E. (1999). Biofuel production using slow pyrolysis of the straw and stalk of rapeseed plant. *Fuel Processing Technology*, 59(1), 1-12.
- Karaosmanoğlu, F., Tüter, M., Cıgızoğlu, K.B. ve Çift, B.D. (1997). Hızlı Isıl Piroлиз Süreci İle Biyokütleden Biyoyakıt Üretimi. *Türkiye 7. Enerji Kongresi, Bildiri Kitabı II*, Ankara, ss.135-148.
- Koçkar, Ö.M., Onay, Ö., Pütün, A.E. ve Pütün E. (2000). Fixed-bed pyrolysis of hazelnut shell: A study on mass transfer limitations on product yields and characterization of the pyrolysis oil. *Energy Sources*, 22, 913-924.
- Küçük, M.M. ve Demirbaş, A. (1997). Biomass conversion processes. *Energy Conversion and Management*, 38(2), 151-167.
- Onay, Ö., Pütün, A.E., Koçkar, Ö.M. ve Pütün, E. (1996). Fındık Kabuğundan Sentetik Sıvı Yakıt Üretimi. *İkinci Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, Bildiri Kitabı*, İstanbul, ss.1275-1280.
- Onay, Ö., Beis, S.H. ve Koçkar, Ö.M. (2001), Fast pyrolysis of rapeseed in a well-swept fixed-bed reactor. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 58-59, 995-1007.
- Pütün, A.E., Koçkar, Ö.M., Yorgun, S., Gerçel, H.F., Andersen, J., Snape, C.E. ve Pütün, E. (1996). Fixed-bed pyrolysis and hydrolysis of sunflower bagasse: product yields and compositions. *Fuel Processing Technology*, 46, 49-62.
- Soltes, E.J. (1988). Pyrolysis oils from biomass producing, analysing and upgrading. J.E. Soltes, T.A.Milne (Ed), *ACS Symposium Series 376*, Washington, D.C., s.356.
- Taşdemiroğlu, E. (1986). Biomass energy potential in Turkey. Proc. of the 1986 Int. Cong. on Renewable Energy Sources, Spain, ss.148-165.
- Yorgun, S., Koçkar, Ö.M., Gerçel, H.F., Pütün, E. ve Tülbentçi, H.S. (1994). Statik retordda ayçiçek press küspesinin pirolizi. *Türkiye 6. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri 1*, İzmir, ss.475-485.