

YÜKSEK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN-ODUN KARIŞIMLARININ BİRLİKTE PİROLİZİ

Tuba ERŞEN ve Dursun PEHLİVAN

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Elazığ, 23119
tuba_ersen@hotmail.com, dpehlivan@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 01.11.2010; Kabul/Accepted: 13.04.2011)

ÖZET

Günümüzde yaygın bir şekilde ortaya çıkan atık plastiklerin geri dönüşüm dışı yollarla da değerlendirilmesi önemli konulardandır. Bu çalışmada evsel plastik atıklar arasından seçilen yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) ile biyokütle olarak seçilen çam odunu tozunun birlikte pirolizi araştırıldı. Bu materyallerin öğütülmüş örneklerinin belirli oranlarındaki karışımlarından hazırlanan pelletlerin sabit yataktaki pirolizi sonucu oluşan ürünlerin verimlerine farklı piroliz parametrelerinin (ısıtma hızı, son sıcaklık, süpürme hızı, karışım oranı) etkileri ortaya konuldu.

Eşit oranda YYSPE ve çam odunu bulunduran pelletler ile en yüksek katı ürün verimi 1°C/min ısıtma hızında, 10 mL/min azot akışı altında ve 500°C piroliz sıcaklığında elde edildi. En yüksek sıvı ürün verimi ise 5°C/min'lık ısıtma hızında, azotsuz ortamda (azot sürükleyici gazının kullanılmadığı ve 0 mL/min ile ifade edilen ortam) ve 700°C piroliz sıcaklığında elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Polietilen, odun, ortak piroliz.

CO-PYROLYSIS OF HIGH-DENSITY POLYETHYLENE AND WOOD MIXTURES

ABSTRACT

Reclaiming or disposing waste plastics, which have been widely coming about in today's world, by the means other than recycling is among important issues. In this study, co-pyrolysis of high-density polyethylene (HDPE), chosen among municipal plastic wastes, and pine wood powder, chosen as biomass, were investigated. The effects of different pyrolysis parameters (heating rate, final temperature, mixing ratio and sweeping rate) on the yields of products formed from the pyrolysis of mixtures in a fixed bed reactor of were investigated.

In the co-pyrolysis of pellets containing HDPE and pine wood in equal proportions, maximum solid yield was obtained at 1°C/min heating rate and for 500°C final temperature under 10 mL/min nitrogen sweeping flow. It was determined that the highest liquid product yield obtained at 5°C/min heating rate and for 700°C final temperature without sweeping.

Key Words: Polyethylene, wood, co-pyrolysis.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Endüstri devriminin başlangıcından günümüze kadar geçen zaman içinde evsel ve endüstriyel enerji gereksinimi büyük ölçüde fosil yakıtlarla karşılanmıştır. Bu durum dünya atmosferindeki karbon dioksit ve diğer zararlı bileşenlerin sürekli olarak artmasına neden olarak, dünyamızı sonunda canlıları yok edebilecek küresel ısınma tehdidi ile yüz yüze getirmiştir. Günümüzde toplumların enerji

gereksiniminin karşılanmasında fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması bu tehde karşı koymanın yollarından biri olarak görülmektedir. Karbon dioksit yönünden etkisiz (nötr) olduğu kabul edilen biyokütle önemli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Ormanların işletilmesi sırasında ortaya çıkan bitkisel enkazlar, tarımsal atıklar, orman ve tarım endüstrisi atıkları gibi pek çok biyokütle kaynağı vardır. Bu nedenle yakın zamanlarda biyokütle enerjisinin değerlendirilmesi ve kömürün

biyokütle ile birlikte yakılması gibi konular üzerinde yoğun çalışmalar yapılmaktadır [1–5].

Diğer yandan günlük yaşamda plastiklerin önemli bir yeri vardır. Bu da yaygın bir şekilde plastik atıkların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bunlar içinde polietilenler önemli bir yere sahiptir. Ülkemizde kişi başına plastik tüketimi gelişmiş ülkelerin hayli gerisindedir [6]. Ancak, ortaya çıkan plastik atıkların sadece üçte biri kadarı geri dönüşüm işlemleri ile kazanılabildiğinden dolayı artan tüketim eğilimi ile birlikte atık plastiklerin neden olduğu görüntü ve çevre kirliliği de artmaktadır. Plastiklerin doğadaki biyolojik bozunma hızlarının çok düşük olması nedeniyle, arazi doldurma gibi atık giderme yöntemleri sürdürülebilir değildir. Bu nedenle atık plastiklerin geri dönüşüm dışı yollarla da değerlendirilmesi veya giderilmesi üzerinde durulmaktadır [7].

Hızlı termal parçalanmaya uğratıldıklarında geride çok az katı artık bıraktıkları için atık plastiklere bir sıvı yakıt kaynağı olarak bakılmaktadır. Dünyada ve ülkemizde çeşitli ticari plastik atıkların değişik yöntemlerle değerlendirilmesi ile ilgili pek çok çalışma bulunmaktadır. Çoğunlukla atık plastiklerin geri dönüşümü ve piroliz ile sıvılaştırılması üzerine yapılan yaygın çalışmalarla endüstriyel olarak uygulanabilir genişlikte bir bilgi birikiminin ortaya çıktığı görülmektedir [8–9]. Plastiklerin biyokütle ile birlikte bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi de önemli bir seçenek olup günümüzde bu konuda da çalışmalar yapılmaktadır.

Bugüne kadar çeşitli polietilenlerin değişik koşullardaki pirolizi incelenmiştir. Bu çalışmalarda yüksek oranlarda elde edilen sıvı piroliz ürünlerinin, sıvı yakıt olarak değerlendirilme potansiyeli yüksek geniş bir aralıktaki parafinik, olefinik ve aromatik hidrokarbonları kapsadığını ve ağırlıklı olarak alifatik hidrokarbonlardan oluştuğunu göstermektedir. Polietilen veya polipropilenin odun ile karışımlarının başarılı bir şekilde sıvı ürünlere dönüştürülebildiği ve aralarında olumlu etkileşim olduğu gösterilmiştir [10–11].

Odunun aktif ısıl bozunması 20°C/min ısıtma hızlarında ve yüksek sıcaklıklarda 250°C dolaylarında başlamakta ve 450°C ye kadar devam etmektedir. Benzer şekilde, düşük yoğunluklu polietilenin aktif ısıl (DYPE) bozunması 350°C dolaylarında başlamakta ve 450°C' ye kadar devam etmektedir. Yüksek yoğunluklu polietilenin (YYPE) aktif ısıl bozunması 450°C dolaylarında başlamakta ve 550°C' ye kadar devam etmektedir. Buna karşılık polipropilen gibi plastiklerin aktif termal bozunması

400–500°C gibi daha dar bir aralıkta sürmektedir. Ancak, ısıtma hızının azalması ile bu sıcaklık aralıkları genişlemekte ve ayrıca belirli ısıtma hızlarında bozunma hızı tane büyüklüğü ile azalmaktadır [12,13].

Hem biyokütle hem de plastiklerin hızlı piroliz ile sıvı ürünlere dönüşümü ve gazlaştırılmaları üzerine pek çok çalışma olmasına karşın [14], plastik-biyokütle karışımlarından uçucu maddelerin ayrılma hızını yavaşlatmaya, birincil piroliz ürünlerinin kalma süresini artırmaya odaklanmış ve esas amacın katı ürün elde etmeye yönelik olduğu fazla çalışma yoktur. Bu nedenle bu çalışmada YYPE ile çam odununun birlikte pirolizleri sırasındaki etkileşiminin anlaşılması ve katı ürün verimini özendiren koşulların ortaya konulması amaçlanmıştır.

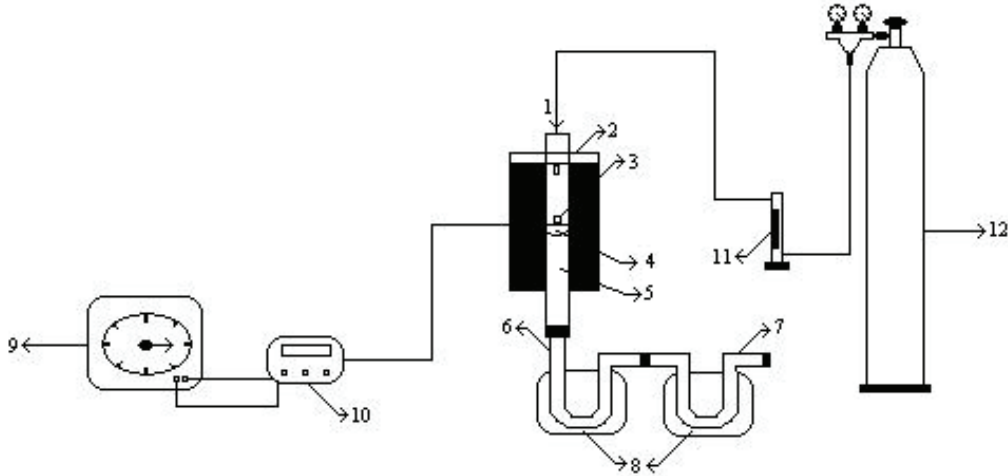
2. DENEYSEL YÖNTEM (EXPERIMENTAL METHOD)

Deneysel çalışmalarda kullanılan çam odunu Elazığ Sanayi Bölgesi odun işletmelerinden farklı tane büyüklüklerinde toz halinde temin edildi. Atık YYPE olarak evsel atıklar arasından şampuan kapları kullanıldı.

Çam odunu tozu 75°C sıcaklıktaki etüvde azot atmosferinde 48 saat kurutulduktan sonra elenerek boyutlandırıldı. YYPE' den yapılmış atık plastikler ise parçalanıp öğütüldükten sonra elenerek boyutlandırıldı. Her iki materyalin de -16 + 30 mesh' lik tane büyüklüğündeki örnekleri belirli oranlarda karıştırıldı. Bu karışımlardan hidrolik baskı ile 10 ton basınç altında 13 mm çap ve 8,3 mm yükseklikte yaklaşık 1,0 g' lık silindirik pelletler hazırlandı. Hazırlanan pelletler piroliz deneylerinde kullanılmak üzere desikatörde muhafaza edildi.

Piroliz deneyleri, 22 mm çaplı 275 mm uzunluğunda kuvars bir boru içine yerleştirilmiş paslanmaz çelikten bir elek sepet üzerinde gerçekleştirildi. Kuvars boru, içinde direnç telleri bulunduran refrakter tuğladan yapılmış dikey bir fırın kullanılarak ısıtıldı. Fırının sıcaklık kontrolü değişken voltaj transformatörü ve otomatik kontrol sistemi kullanılarak yapıldı. Piroliz ortamı sıcaklığını ölçmek için fırının içine kontrol sistemine bağlı bir termocift (NiCr) yerleştirildi. Piroliz sırasında oluşan sıvı ürünün toplanması amacıyla buz banyosu içine yerleştirilmiş U biçimli cam borular tuzak olarak kullanıldı. Kullanılan piroliz deney düzeneği Şekil 1' de verilmiştir.

Piroliz deneylerine başlamadan önce kuvars boru ile U boruları tartıldı ve ilk ağırlıkları belirlendi. Ağırlığı bilinen kuvars boru dikey fırın içine yerleştirilerek, alt



Şekil 1. Piroliz deney düzeneği: 1. azot girişi, 2. piroliz düzeneği kapağı, 3. pellet, 4. sepet, 5. kuvars boru, 6,7. U borusu, 8. buz banyosu, 9. voltaj değıştirci, 10. sıcaklık programlama cihazı, 11. akış ölçer, 12. azot tüpü. (Experimental setup: 1, nitrogen in; 2, lid on pyrolysis chamber; 3, pellet; 4, wire mesh basket; 5, quartz tube; 6,7, U tubes; 8, ice bath; 9, voltage transformer; 10, temperature programmer; 11, flow meter; 12, nitrogen cylinder)

kısına buz banyosu içerisindeki soğutucular (U boruları) takıldı. Sistem ısıtmaya başlanmadan önce azot gazı geçişi sağlandı. Kuvars boru içindeki sepet üzerine ağırlığı bilinen bir pellet atıldı ve kapağı kapatıldı. Sonra otomatik kontrol sistemi yardımıyla ısıtma başlatıldı. Sistem çalışılan piroliz sıcaklığına ulaşp bu sıcaklıkta 10 dakika bekledikten sonra otomatik olarak soğumaya başlamaktadır. Soğuma tamamlandı, piroliz borusunun kapağı açılarak, sepet üzerindeki karbon içeriği yüksek katı ürün (char) alınıp tartıldı ve katı ürün verimi yüzde olarak hesaplandı. Sıvı ürün verimini belirlemek için kuvars boru ile U boruları sökülerek tartıldı. Son ağırlıkları ile deney öncesi ağırlıkları arasındaki farktan sıvı ürün miktarları yüzde olarak belirlendi. Gaz ürün verimi ise 100' den daha önce hesaplanan katı ve sıvı ürün verimi yüzdelere çıkarılması ile hesaplandı. Her bir deney en az iki kez tekrarlanarak elde edilen sonuçların tutarlı olup olmadığı denetlendi.

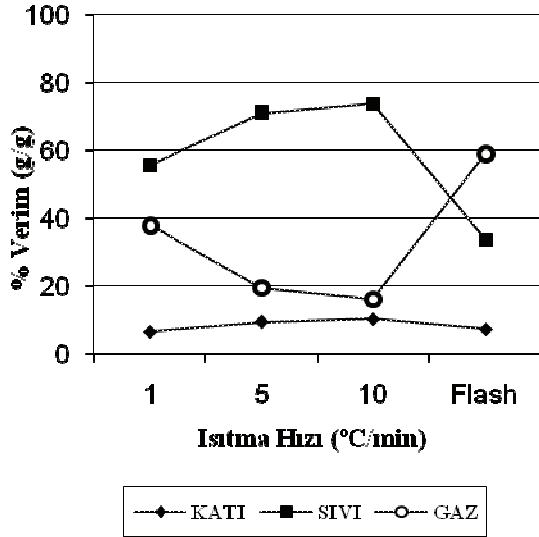
Piroliz deneyleri dört farklı aşamada gerçekleştirildi. Birinci aşamada, piroliz işlemi 20 mL/min azot akış hızı altında 700°C piroliz sıcaklığına kadar yürütüldü. Bu sıcaklık için farklı ısıtma hızlarının (1, 5, 10°C/min ve flash (ani piroliz)) etkisi belirlendi. İkinci aşamada, katı ürün veriminin en yüksek bulunduğu iki ısıtma hızı uygulanarak (5°C/min, 10°C/min) azot akış hızının (10 mL/min, 0 mL/min) etkisi araştırıldı. Üçüncü aşamada ürün dağılımı üzerine piroliz sıcaklığının (500°C, 600°C) etkisi incelendi. Son aşamada ise yukarıdaki üç parametrenin incelenmesinden ortaya çıkan sonuçların ışığı altında karışım oranının ürün dağılımı üzerine etkisi belirlendi.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

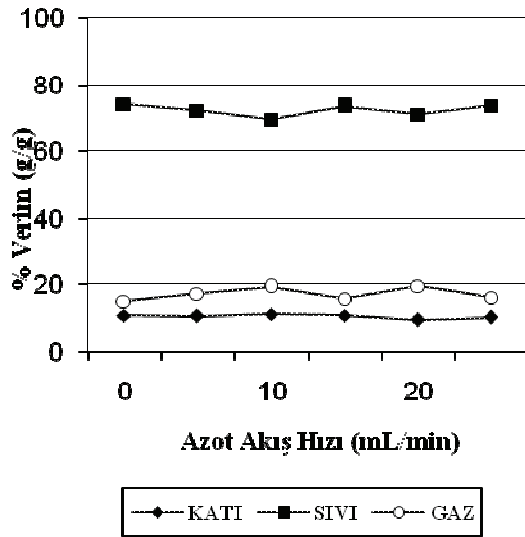
Bu çalışmada odun ve YYPE' nin çeşitli karışımlarının birlikte pirolizi farklı parametreler için gerçekleştirildi. Karışımların pirolizinden elde edilen ürünlerin verimlerinin değerlendirilmesi aşağıda yapılmıştır.

Yapılan deneylerde ilk olarak ısıtma hızının piroliz ürün verimi üzerine etkisi incelendi. Bundan dolayı literatürde yapılan araştırmalarda ısıtma hızının artmasıyla birlikte gaz ürün veriminin arttığı, sıvı ürün veriminin azaldığı, katı ürün veriminin ise ısıtma hızından bağımsız olduğu söylenmektedir [13]. Ancak düşük ısıtma hızlarında dikkate değer bir katı ürün elde edildiği de göze çarpmaktadır. Dolayısıyla yaptığımız deneyler bazı küçük farklılıklar dışında literatür ile uygunluk göstermektedir [13]. Bu farklılıkların en belirgin olanı katı ürün veriminin ısıtma hızıyla birlikte flash (ani piroliz) deneylere kadar artması ve flash (ani piroliz) deneylerde tekrar azalmasıdır. Bunun sebebi olarak da düşük ısıtma hızlarında ve yüksek sıcaklıklarda termal bozunma süresinin uzaması, buna bağlı olarak da yavaş bir şekilde oluşan ürünlerin yüksek azot akışıyla süpürülüp götürüldüğü söylenebilir. Tüm bu farklılıkların uygulanan reaktöre ve parametrelerin farklılığına bağlı olduğu öngörülebilir [13]. Katı kalıntı (char), sıvı ve gaz ürün verimlerinin ısıtma hızı ile değişimi Şekil 2' de verilmektedir.

Azot akış hızının ürün verimleri üzerine etkisi ise Şekil 3' de gösterilmektedir. Yapılan deneylerde 20 mL/min ile 10 mL/min azot akışı altında piroliz ürün verimleri arasında çok küçük bir değişim gözlenirken, 10 mL/min ile 0 mL/min arasında önemli bir fark gözlenmemiştir. Literatürde yapılan araştırmalarda ise yüksek azot akış hızlarının yapıdan kopan moleküllerin, pellet etrafında ikincil reaksiyonlarına izin vermeyip, daha hızlı süpürüp götürmesine neden



Şekil 2. Eşit oranda çam odunu ve YYPE içeren karışımın ortak piroliz ürünleri üzerine ısıtma hızının etkisi (sıcaklık: 700°C, azot akış hızı: 20 mL/min) (Influence of heating rate (°C/min))



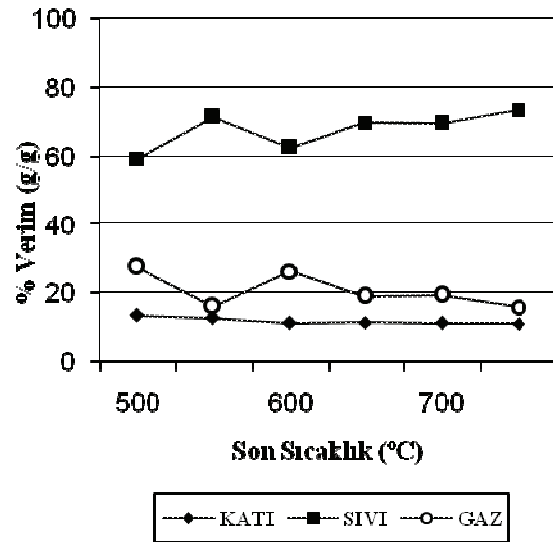
Şekil 3. Eşit oranda çam odunu ve YYPE içeren karışımın ortak piroliz ürünleri üzerine azot akış hızının etkisi (sıcaklık: 700°C, ısıtma hızı: 5°C/min ve 10°C/min) (Influence of nitrogen flow rate (mL/min))

olduğu belirtilmektedir [13]. Dolayısıyla kriting ve char oluşumu gibi ikincil reaksiyonlar minimize edilmektedir. Sonuçta farklı azot akış hızı deneylerinden elde edilen sonuçların birbirleriyle uyum içinde olduğu ve bu piroliz işlemlerinde azot akış hızının önemsiz etkilere sahip olduğu söylenebilir.

Şekil 4' de piroliz sıcaklığının piroliz ürünleri üzerindeki etkisi verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, sıcaklıktaki artışla birlikte katı ürün veriminde önemli değişim gözlenmezken sıvı ürün veriminde önemli artışlar gözlenmiştir. Bu sonuçta literatür ile

paralellik göstermektedir [13]. Literatüre göre odun-YYPE karışımının pirolizinde odun, 250 °C civarında aktif olarak ısıl parçalanmaya başlamakta ve yüksek oranda odun kaynaklı katı ürün oluşumuna neden olmaktadır. 400°C ve üzerinde ise artık odunun aktif termal parçalanması yavaşlamakta ve YYPE daha hızlı bir şekilde aktif ısıl parçalanmaya başlamaktadır [12,13]. Sonuçta odunun yapısındaki bağlar parçalanarak serbest radikaller oluşmakta ve bu radikallerin YYPE' den sağlanan hidrojenle kararlı hale dönüşmesi ile sıvı ürünlere dönüşüm yüzdesi ve sıcaklığın artışı ile de bu ürünlerin daha küçük mol kütleli ürünlere parçalanarak gaz ürünlere dönüşümü artmaktadır. Bu da sıvı ve gaz ürün miktarının nasıl arttığının bir göstergesidir [13].

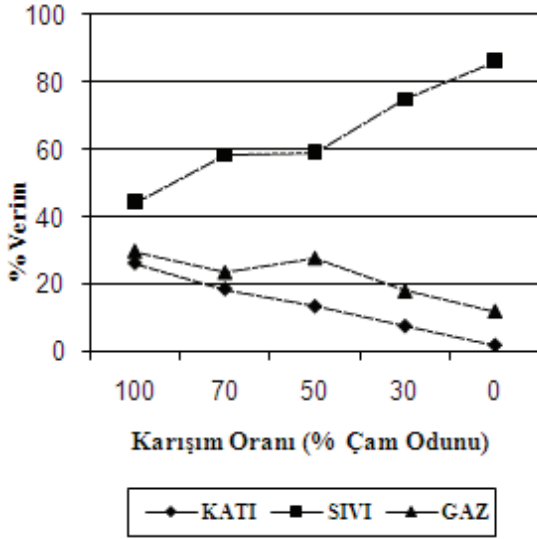
Çam odunu ve YYPE karışımlarının, farklı karışım oranlarında gerçekleştirilen pirolizleri sonucu belirlenen ürün verimleri Şekil 5' de verilmiştir. Literatüre göre katı ürün miktarının artması için odun içeriğinin yüksek olması, sıvı ürün miktarının artması için de piroliz şartlarında oluşan radikallerin kararlı hale gelmesi ve odun ile YYPE yapısında yer alan bağların ise kopması gerekmektedir [13,15]. Ancak odunun yapısında yer alan ve piroliz ortamında oluşan hidrojen miktarı, bu radikallerin doyurularak kararlı hale getirilmesinde yeterli olmamaktadır. Bu durumda da devreye YYPE girmektedir. YYPE' den sağlanan hidrojen odundan oluşan radikalleri doyurmakta ve bir hidrojen verici gibi davranarak sıvı ürün veriminin artmasına katkıda bulunmaktadır. Bu durum



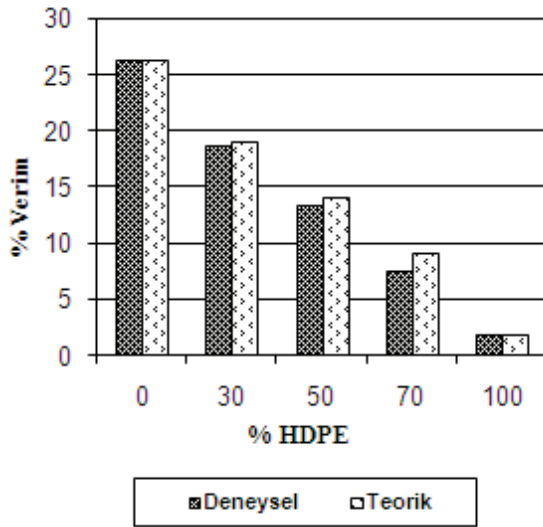
Şekil 4. Eşit oranda çam odunu ve YYPE içeren karışımın ortak piroliz ürünleri üzerine piroliz sıcaklığının etkisi (azot akış hızı: 10 mL/min, ısıtma hızı: 1°C/min ve 5°C/min) (Influence of pyrolysis temperature (°C))

karışımındaki YYPE miktarının artmasıyla daha belirgin bir hal almaktadır. Deneysel sonuçlarımızda da bu sonuçlar doğrulanmaktadır [13].

Son olarak da katı ürüne göre odun ile YYPE arasındaki sinerjik etki Şekil 6' da gösterilmiştir. Şekildeki teorik sonuçlar % 0 ve % 100 YYPE içeren pelletlerin pirolizleri sonucu elde edilen katı ürün miktarlarının ve farklı karışım oranlarının dikkate



Şekil 5. Çam odunu ve YYPE karışım oranının ortak piroliz ürünleri üzerine etkisi (sıcaklık: 500°C, azot akış hızı: 10ml/min, ısıtma hızı: 1°C/min) (Influence of mixing ratio)



Şekil 6. Katı ürün verimi için sinerjik etkinin karışımdaki YYPE içeriği ile değişimi (Changes of synergistic effects for solid production with containing HDPE)

alınmasıyla hesaplanmıştır. Böylece sinerjik etkinin belirgin olarak sadece % 70 YYPE karışım oranında mevcut olduğunu ve genel olarak aralarında herhangi bir sinerjik etkinin görülmediğini Şekil 6' ya bağlı olarak söyleyebiliriz.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Atık plastiğin ve odun biyokütlesinin pirolizi sonucunda katı, sıvı ve gaz ürünler elde edilir. Bu

materyallerden atık plastik çoğunlukla petrol eşdeğeri olan sıvı/wax' ı oluştururken, odun biyokütlesi daha çok dumansız katı yakıtı temsil eden katıyı oluşturmaktadır. Bu çalışmada sabit yataklı bir reaktör kullanılarak bu durumun farklı piroliz parametreleri ile nasıl değiştiği incelenmiştir. Eşit oranda YYPE ve çam odunundan hazırlanan pelletlerin pirolizi sonucunda en yüksek katı ve sıvı ürün verimi sırasıyla % 10,3 ve % 73,7 olarak 10 °C/min ısıtma hızında elde edilmiştir. En düşük katı ve sıvı ürün verimleri ise sırasıyla, % 6,5 ile 1°C/min ısıtma hızında ve % 33,7 ile flash deneylerden elde edilmiştir. Bu karışım oranından elde edilen sonuçlar YYPE ile çam odunu arasında herhangi bir etkileşim olmadığını göstermektedir. Üç farklı azot akış hızında yapılan deneylerde, 20 mL/min ile 10 mL/min' lik azot akış hızlarında piroliz katı ürün verimleri arasında çok küçük bir değişim gözlenirken, 10 mL/min ile 0 mL/min arasında önemli bir fark gözlenmemiştir. Bu da 20 mL/min gibi yüksek azot akış hızlarının yapıdan kopan moleküllerin, pellet etrafında ikincil reaksiyonlarına izin vermeyip, daha hızlı süpürüp götürmesi ile açıklanabilir. Katı ürün verimi üzerine piroliz sıcaklığının etkisinin araştırıldığı deneylerde en uygun son sıcaklığın 500°C olduğu belirlenmiştir. Böylece 500°C piroliz sıcaklığı için 1 °C/min ısıtma hızı ve 10 mL/min azot hızında maksimum katı ürün verimi elde edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda karışım oranının piroliz ürün verimi üzerine etkisine bakılmış ve YYPE' nin odunun yapısındaki serbest radikallerin doyurulup kararlı hale gelmesine neden olan bir hidrojen verici olarak görev yaptığı anlaşılmıştır. Bu durumda YYPE içeriğinin artmasıyla sıvı üründe belirgin bir artış olurken katı üründe azalma oluşmaktadır. Sonuç olarak elde edilen sıvı ürüne ek olarak katı ürünün de, yanmadaki davranışının ortaya konulması koşulu ile alternatif bir enerji kaynağı olabileceği değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

1. Hartmann, D. and Kaltschmitt, M., "Electricity generation from solid biomass via co-combustion with coal: Energy and emission balances from a German case study", **Biomass and Bioenergy**, Cilt 16, No 6, 397-406, 1999.
2. Collot, A.G., Zhuo, Y., Dugwell, D.R., Kandiyoti, R., "Co-pyrolysis and co-gasification of coal and biomass in bench-scale fixed bed and fluidized bed reactors", **Fuel**, Cilt 78, No 6, 667-679, 1999.
3. Cliffe, K.R. and Patumsawad, S., "Co-combustion of waste from olive oil production with coal in a fluidised bed", **Waste Management**, Cilt 21, No 1, 49-53, 2001.
4. Skodras, G., Grammelis, P., Samaras, P., Vourliotis, P., Kakaras, P. and Sakellariopoulos, G.P., "Emissions monitoring during coal waste wood co-combustion in an industrial steam boiler", **Fuel**, Cilt 81, No 5, 547-554, 2002.

5. Armesto, L., Bahillo, A., Cabanillas, A., Veijonen, K., Otero, J., Plumed, A. and Salvador, L., "Co-combustion of coal and olive oil industry residues in fluidized bed", **Fuel**, Cilt 82, No 8, 993-1000, 2003.
6. DPT, "Sekizinci beş yıllık kalkınma planı (2001-2005)", **Yayın no: DPT: 2547-ÖİK: 563**, Ankara, Türkiye, 2001.
7. DPT, "Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007-2013)", **Yayın no: DPT: 2779-ÖİK: 708**, Ankara, Türkiye, 2008.
8. Ballice, L., "A kinetic approach to the temperature-programmed pyrolysis of low –and high-density polyethylene in a fixed bed reactor: Determination of kinetic parameters for n-paraffins and 1-olefins evolution", **Fuel**, Cilt 80, 1923-1935, 2001.
9. Demirbaş, A., "Recovery of chemicals and gasoline-range fuels from plastic wastes via pyrolysis", **Energy Sources**, Cilt 27, 1313-1319, 2005.
10. Marin, N., Collura, S., Sharypov, V.I., Beregovtsova, N.G., Baryshnikov, S.V., Kuznetsov, B.N., Cebolla, V.L. and Weber, J.V., "Co-pyrolysis of wood biomass and synthetic polymer mixtures. Part II: Characterisation of the liquid phases", **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, 65, 41-55, 2002.
11. Sharypov, V.I., Marin, N., Beregovtsova, N.G., Baryshnikov, S.V., Kuznetsov, B.N., Cebolla, V.L. and Weber, J.V., "Co-pyrolysis of wood biomass and synthetic polymer mixtures. Part I: Influence of experimental conditions on the evolution of solids, liquids and gases", **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, 64, 15-28, 2002.
12. Zhou, L., Wang, Y., Huang, Q. and Cai, J., "Thermogravimetric characteristics and kinetic of plastic and biomass blends co-pyrolysis", **Fuel Processing Technology**, 87, 963-969, 2006.
13. Encinara, J.M. and González, J.F., "Pyrolysis of synthetic polymers and plastic wastes Kinetic study", **Fuel Processing Technology**, Cilt 89, 678-686, 2008.
14. Williams, P.T. and Slaney, E., "Analysis of products from the pyrolysis and liquefaction of single plastics and waste plastic mixtures", **Resources, Conservation and Recycling**, Cilt 51, 754-769, 2007.
15. Solomon, P.R., Serio, M.A. and Suuberg, E.M., "Coal Pyrolysis: Experiments, Kinetics and Mechanisms", **Progress in Energy and Combustion Science**, 18, 133-220, 1992.