

## Kraft Kağıt Hamuru Üretimi Öncesinde Uygulanan Ön Hidrolizin Karakavak (*Populus nigra* L.) Odunu Yongalarının Kimyasal Bileşimi Üzerine Etkileri

Samim Yaşar<sup>1\*</sup>, Gürcan Güler<sup>1</sup>

**Özet:** Ön hidroliz, kraft kağıt hamuru üretiminden önce hemiselülozların uzaklaştırılması için odun yongalarının yüksek sıcaklıkta işleme tabi tutulması olarak tanınmaktadır. Bu çalışmada, Karakavak (*Populus nigra* L.) yongalarına 5, 10, 15, 20, 30 ve 50 dakika boyunca 170 °C'de sıcak su ile ön hidroliz uygulanmış ve ön hidrolizin yongaların kimyasal bileşiminde yarattığı değişimler incelenmiştir. Ön hidroliz, yongaların  $\alpha$ -selüloz ve ekstraktif madde içeriklerini artırırken, lignin, holoselüloz ve hemiselüloz içeriklerini azaltmıştır. Hemiselülozların ön hidroliz işleminin ilk dakikalarında hızla azaldığı gözlemlenmiştir. Hemiselüloz birimlerinden ksiloz, mannoz ve galaktoz miktarlarında ön hidroliz sürecinde belirgin bir düşüş tespit edilmiştir. Arabinoz içeriğinde küçük değişiklikler gerçekleşmiştir. Galaktoz ön hidrolizin on beşinci dakikasında, ramnoz ise ilk dakikalarında yongaları terk etmiştir. 170 °C'de Karakavak yongalarından hemiselülozların %78.43'ünü uzaklaştırması ve  $\alpha$ -selüloz oranını %18.71 artırması nedeniyle sıcak su ile en uygun hidroliz süresinin otuz dakika olabileceği görülmüştür.

**Anahtar kelime:** Karakavak, ön hidroliz, kimyasal bileşim.

## Effects Of Pre-Hydrolysis Applied Before Kraft Pulp Production on The Chemical Composition of Black Poplar (*Populus nigra* L.) Wood Chips

Samim Yaşar<sup>1\*</sup>, Gürcan Güler<sup>1</sup>

**Abstract:** Pre-hydrolysis is recognized as the high temperature treatment of wood chips to remove hemicelluloses prior to kraft pulp production. In this study, black poplar (*Populus nigra* L.) chips were pre-hydrolyzed with hot water at 170 °C for 5, 10, 15, 20, 30 and 50 minutes, and the changes in the chemical composition of the chips were investigated. Pre-hydrolysis increased the  $\alpha$ -cellulose and extractive contents of the chips, while decreasing the contents of lignin, holocellulose and hemicellulose. It was observed that hemicelluloses decreased rapidly in the first minutes of the pre-hydrolysis process. A significant decrease was detected in the amount of xylose, mannose and galactose from hemicellulose units during the pre-hydrolysis process. Minor changes occurred in the content of arabinose. Galactose left the chips in the fifteenth minute of the pre-hydrolysis, and rhamnose in the first minutes. It has been observed that the optimum hydrolysis time with hot water can be thirty minutes since it removes 78.43% of hemicelluloses from the black poplar chips at 170 °C and increases the  $\alpha$ -cellulose ratio by 18.71%.

**Keywords:** Black poplar, pre-hydrolysis, chemical composition.

<sup>1</sup>**Address (adres):** Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta.

**\*Corresponding author (sorumlu yazar):** samimyasar@isparta.edu.tr

**Citation (atıf):** Yaşar, S., Güler, G. (2021). Kraft Kağıt Hamuru Üretimi Öncesinde Uygulanan Ön Hidrolizin Karakavak (*Populus nigra* L.) Odunu Yongalarının Kimyasal Bileşimi Üzerine Etkileri. Bilge International Journal of Science and Technology Research, 5(2): 118-123.

## 1. GİRİŞ

Ön hidroliz, kraft kağıt hamuru üretiminden önce odun yongalarının hemiselülozların uzaklaştırılması için yüksek sıcaklıkta ön işleme uğratılması prosedürüdür. Hemiselülozlardan arındırılmış yongalar, daha sonra lignini uzaklaştırmak için pişirmeye tabi tutulmaktadır. Kraft hamuru üretiminde, pişirmeden sonra nispeten yüksek verimli saf selüloza ulaşmaya çalışılmaktadır. Hamur üretiminde, ksilan gibi hemiselülozlar selüloz mikrofibrilleri üzerine çökelebilmekte, bu durum üretimde operasyonel ve kalite ile ilgili sorunları beraberinde getirmektedir (Sixta, 2006). Bu nedenle hamur üretimi sürecinde saf selüloza ulaşmak için hemiselülozların uzaklaştırılması zorunluluk arz etmektedir. Ön hidroliz aşamasında uzaklaştırılan hemiselülozlar değerli bir heksoz ve pentoz kaynağı olmakta (Linko vd., 1984; Chambost vd., 2008; Amidon vd., 2008; Amidon, 2009), sonrasında etanol, polimerler ve diğer kimyasallar gibi katma değerli ürünlere dönüştürülebilmektedirler (Van Heiningen vd., 2005).

Odun yongalarının ön hidrolizi ile ilgili literatürde çeşitli çalışmalara rastlanmaktadır. Tunc ve Van Heiningen (2008), modifiye edilmiş hızlandırılmış katı ön hidroliz sistemi ile yapraklı ağaç odunu yongaları bileşenlerinin 130 ile 170 °C sıcaklıklar arasındaki çözünme profilini ortaya koymuşlardır. Onlar, elde edilen çözümlerde 150 °C'nin üzerinde baskın bileşen olarak ksilooligomerlerin, 160 °C'nin üzerinde ise az miktarda furfural ve hidroksimetilfurfuralın yanı sıra arabinan ve galaktanın büyük bir kısmının izole edildiğini belirlemişlerdir. Casebier vd. (1969), çam yongalarının su ile ön hidrolizinde 170 °C'de arabinogalaktanın tamamının yanı sıra arabinoksilanın ve galaktoglukomannanın bir kısmının, sıcaklığın artırılmasıyla mannoz ve ksiloz içeren polimerin çözüldüğünü rapor etmişlerdir. Garrote ve Parajo (2002), okaliptüsün otohizolizi ile ksilanın %90.4'ünün çözüldüğünü, bununla birlikte çözünen selüloz miktarının ihmal edilebilir düzeyde olduğunu göstermişlerdir.

Karakavak (*Populus nigra* L.) Kuzey Afrika, Orta ve Batı Asya ve Avrupa'da özellikle nehir kenarlarında yayılış gösteren bir türdür (Rathmacher vd., 2010). Türkiye'de 68000 ha alan Karakavak plantasyonlarından oluşmakta ve bu plantasyonlardan 1.9 milyon m<sup>3</sup> odun elde edilmektedir (Kahraman vd., 2011). Türkiye'deki toplam 22.3 milyon ha orman alanından yıllık 20-20.5 milyon m<sup>3</sup> odun üretimi yapılabildiği (OGM, 2016) göz önüne alındığında, Karakavak odununun ekonomiye katkısı daha da iyi anlaşılmaktadır.

Karakavak odunu kibrit, mobilya, ambalaj, yongalevha, lif levha, kontrplak ve yapı elemanı üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır. Kokusuz olmasından dolayı, Karakavak odununun meyve kasaları üretimi için de yararlı olduğu bilinmektedir (Gaudet vd., 2008). Son yıllarda Karakavak odunu, kağıt üretiminde kısa lif kaynağı olarak artan ilgi görmektedir (Stettler vd., 1996; Tutuş vd., 2019). Bu çalışmada, Karakavak odunundan elde edilen yongalara 170 °C'de 5, 10, 15, 20, 30 ve 50 dakika boyunca su ile ön

hidroliz uygulanmış ve ön hidroliz işleminin yongaların kimyasal bileşimine etkileri değerlendirilmiştir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Materyal

Çalışmada kullanılan Karakavak gövdesine ait disk Isparta Yüceer Kereste firmasından 2017 yılında temin edilmiştir. Kabukları soyulan Karakavak diski yongalararak ön hidrolize hazır hale getirilmiştir.

### 2.2. Yöntem

#### Ön hidroliz

Karakavak yongalarına dakikada 4 tam devir yapılabilen ve sıcaklığı termostat ile kontrol edilebilen reaktörde sıcaklık 170 °C'ye ulaşıldıktan sonra 5, 10, 15, 20, 30 ve 50 dakikalık sürelerde saf su ile ön hidroliz uygulanmıştır. Yonga su oranı 1:4 olacak şekilde ayarlanmıştır. Her bir ön hidroliz işlemi tamamlandıktan sonra reaktör buz banyosunda soğutulmuş ve yongalar serilerek hava kurusu hale getirilmiştir.

#### Kimyasal analizler

Kontrol ve ön hidrolizden elde edilen Karakavak yongaları Retsch SK 1 değirmeninde 40-100 mesh aralığında öğütülerek kimyasal analizlere hazır hale getirilmiştir. Öğütülmüş örnekler, soxhlet cihazında öncelikle 2:1 oranında sikloheksan:etanol karışımı ile 6 saat, devamında ise etanol ile ekstraksiyon işlemine tabi tutulmuş ve ekstraktif madde miktarı tespit edilmiştir. Holoselüloz miktarı Wise ve Karl (1962)'a,  $\alpha$ -selüloz ve hemiselüloz tayini ASTM D 1103 (1980)'e göre yapılmıştır. Ekstraktiflerden arındırılmış örnekler, asit hidrolizi Pettersen vd. (1984)'ne ait yöntemle gerçekleştirilmiş, klason lignini miktarı belirlenmiş ve hidrolizat, monosakkarit bileşiminin tespiti için HPLC (Yüksek performanslı sıvı kromatografisi) analizine sevk edilmiştir. HPLC analizleri Yaşar vd. (2010)'ne göre yapılmıştır.

## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Karakavağın kontrol ve ön hidrolize uğramış örneklerindeki ana kimyasal bileşenlerin miktarları Çizelge 1'de verilmiştir. Kontrol örneğinde tespit edilen ana kimyasal bileşenlerin miktarlarının literatürle (Kacık vd., 2012; Krutul vd., 2019) uyumlu olduğu görülmüştür. Kontrol örneğinde, ekstraktif madde miktarı %1.83, holoselüloz miktarı %74.74,  $\alpha$ -selüloz miktarı %52.53, hemiselüloz miktarı %22.21 ve klason lignin miktarı %20.82 iken, ön hidrolize uğramış örneklerde söz konusu bileşenlerin miktarları sırasıyla %2.78-3.07, %70.85-67.03, %63.09-62.26, %7.76-4.77 ve %18.69-18.82 aralıklarında tespit edilmiştir.

**Çizelge 1.** Ön hidrolizin Karakavak örnekleri ana kimyasal bileşenlerine etkisi

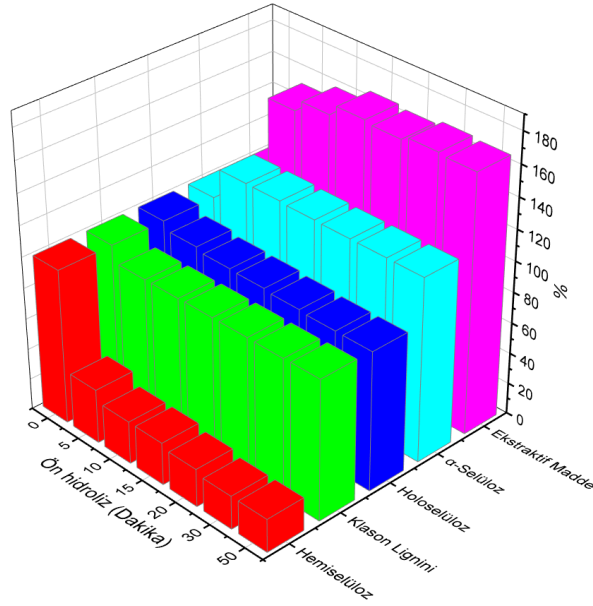
Ön hidroliz	Ekstraktif Madde (%)	Holoseülüz (%)	$\alpha$ -Selüloz (%)	Hemiselüloz (%)	Klason Lignini (%)
0 dakika	1.83 (0.01) <sup>1</sup>	74.74 (0.07)	52.53 (0.04)	22.21 (0.03)	20.82 (0.04)
5 dakika	2.78 (0.03)	70.85 (0.02)	63.09 (0.03)	7.76 (0.01)	18.69 (0.03)
10 dakika	2.92 (0.02)	69.14 (0.04)	63.03 (0.03)	6.11 (0.01)	18.71 (0.02)
15 dakika	3.05 (0.01)	68.74 (0.04)	62.65 (0.06)	6.09 (0.02)	18.77 (0.01)
20 dakika	3.02 (0.02)	67.87 (0.06)	62.43 (0.02)	5.44 (0.04)	18.79 (0.01)
30 dakika	3.07 (0.02)	67.15 (0.03)	62.36 (0.02)	4.79 (0.01)	18.76 (0.02)
50 dakika	3.05 (0.02)	67.03 (0.04)	62.26 (0.06)	4.77 (0.02)	18.82 (0.03)

1: Standart sapma

Karakavak yongalarının ön hidroliz işlemlerinden geçirilmesi hem selüloz hem de ekstraktif madde oranının artmasına neden olmuştur. Elde edilen veriler, selüloz kazanımının özellikle hemiselülozlardaki çözünme ile geliştiğini ortaya koymuştur. Bu sonuç, literatür verileri ile örtüşmektedir (Yanez vd., 2009; Kacık vd., 2016). Ekstraktif madde oranının artmasının, hidrotermal ön işlemlerde polisakkaritlerin bozunması ile meydana geldiği belirtilmiştir (Rosa ve Pereira, 1994; Nuopponen vd., 2003; Niemz vd., 2004). Diğer yandan orijinal odun ekstraktiflerinin çoğunun, özellikle uçucu bileşiklerin uygulanan sıcaklık ile kaybolmasının yanısıra yeni ekstraktiflerin, odun polimerlerinin sıcaklık ile yapısal bozunmasının ürünleri olarak ortaya çıktığı rapor edilmiştir (Esteves vd., 2008). Sıcaklık ve süre artışıyla lignin

içerisinde gerçekleşen bir miktar azalma bu durum ile açıklanabilir. Holoseülüz oranındaki azalışın, hemiselülozlardaki hızla gerçekleşen azalma ile ortaya çıktığı belirtilmiştir (Kacık vd., 2016).

Ön hidrolizin ilk beş dakikası sonucunda, hemiselülozların %65.07'sinin çözülmüş olduğu tespit edilmiştir.  $\alpha$ -selüloz oranında %20.10 artış görülmüş ve holoseülüz oranında %5.20 azalma belirlenmiştir. Otuzuncu dakikanın sonunda, hemiselüloz, holoseülüz ve lignin oranlarında sırasıyla %78.43, 10.15 ve 9.89 azalma görülürken,  $\alpha$ -selüloz ve ekstraktif madde oranlarında sırasıyla %18.71 ve 67.76 artış kaydedilmiştir. Otuzuncu dakikadan sonra ana kimyasal bileşenlerin oranlarında ön hidroliz ile belirgin bir değişikliğe rastlanmamıştır (Şekil 1).

**Şekil 1.** Ön hidroliz işlemleri sürecinde Karakavak örnekleri ana kimyasal bileşenlerinin oranları

Kontrol ve ön hidrolize uğramış Karakavak örneklerinin monosakkarit bileşimleri Çizelge 2'de gösterilmiştir. Kontrol örneğinde, glukoz miktarı %50.24, ksiloz miktarı %19.13, galaktoz miktarı %1.07, arabinoz miktarı %0.98, mannoz miktarı %2.13 ve ramnoz miktarı %0.33 olarak

elde edilmiştir. Ön hidrolize uğramış örneklerde, glukoz miktarı %63.01-66.12, ksiloz miktarı %12.05-6.24, galaktoz miktarı %0.68-0.47, arabinoz miktarı %0.87-0.81, mannoz miktarı %1.21-0.77 aralıklarında belirlenmiştir.

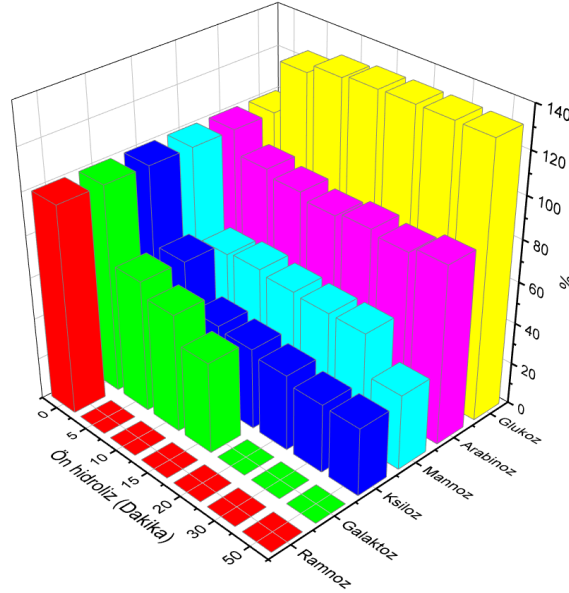
**Çizelge 2.** Ön hidrolizin Karakavak örnekleri monosakkarit bileşimine etkisi

Ön hidroliz	Glukoz (%)	Ksiloz (%)	Galaktoz (%)	Arabinoz (%)	Mannoz (%)	Ramnoz (%)
0 dakika	50.24 (0.04) <sup>1</sup>	19.13 (0.04)	1.07 (0.03)	0.98 (0.04)	2.13 (0.04)	0.33 (0.01)
5 dakika	63.01 (0.03)	12.05 (0.04)	0.68 (0.02)	0.87 (0.02)	1.21 (0.02)	-
10 dakika	65.18 (0.03)	7.83 (0.04)	0.61 (0.02)	0.84 (0.02)	1.24 (0.02)	-
15 dakika	65.92 (0.04)	7.51 (0.03)	0.47 (0.01)	0.81 (0.01)	1.20 (0.02)	-
20 dakika	66.07 (0.01)	7.01 (0.01)	-	0.83 (0.01)	1.18 (0.01)	-
30 dakika	66.12 (0.01)	6.33 (0.02)	-	0.81 (0.01)	1.18 (0.01)	-
50 dakika	66.05 (0.04)	6.24 (0.01)	-	0.84 (0.02)	0.77 (0.02)	-

1: Standart sapma

Pu vd. (2013), yapraklı ağaç odunu baskın hemiselülozu olan ksilanın hidrotermal ön işlem sırasında ksiloza veya ksilooligomere hidrolize olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmamızda, ön hidrolizin başlangıcında örneklerdeki ksiloz içeriğinin hızlı bir şekilde azaldığı, ileriki aşamalarda düşüşün yavaşladığı görülmüştür. Mannoz ve galaktoz miktarlarında da ön hidroliz süresi uzadıkça azalma tespit edilmiştir. Arabinoz içeriğinde sadece küçük değişiklikler gözlenmiştir. Selülozun aksine, hemiselülozların sıcak su ön işlemi ile daha kolay hidrolize edilebilir olması glukoz miktarında artışı doğurmuştur. Elde edilen sonuçların literatür verileri ile uyumlu olduğu görülmüştür (Cao vd., 2012; Kang vd., 2012).

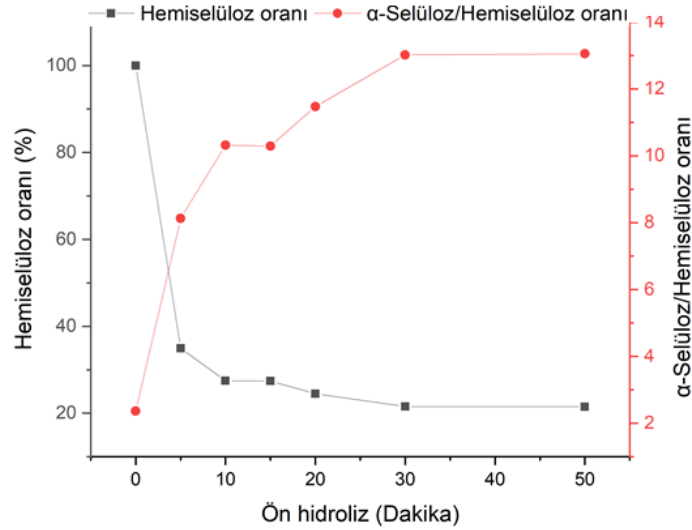
Ön hidrolizin ilk beş dakikası sonucunda, ksiloz, galaktoz, arabinoz ve mannoz oranlarında sırasıyla %37.01, 36.45, 11.22 ve 43.19 azalış kaydedilmiştir. Galaktoz on beşinci dakikada tamamen uzaklaşmış, ramnoz sadece başlangıç örneğinde tespit edilmiştir. Otuzuncu dakikanın sonunda, ksiloz, arabinoz ve mannoz oranlarındaki azalış sırasıyla %66.91, 17.35 ve 44.60 şeklinde elde edilirken, ellinci dakikanın sonunda, %67.38, 14.29 ve 63.85 şeklinde saptanmıştır. Glukoz miktarında, beş, otuz ve elli dakika uygulanan ön hidroliz sonrasında sırasıyla %25.42, 31.61 ve 31.47 oranlarında artış gözlenmiştir (Şekil 2).



**Şekil 2.** Ön hidroliz işlemleri sürecinde Karakavak örnekleri monosakkaritlerinin oranları

Selülozun hemiselülozlara oranı, ön hidrolizin ilk dakikalarından itibaren hızla artışa geçmiş ve ellinci dakikanın sonunda %2.37'den %13.05'e yükselmiştir (Şekil 3). Ön hidroliz işlemlerinin sonunda, hemiselülozların başlangıç miktarının %78.52 azaldığı görülmüştür. Daha önceki çalışmalarda geniş yapraklı ağaç odunu yongalarının

uygulanan ön hidrolizlerde 20 ile 30 dakika arasında hemiselülozların çözünmesinde optimal değerlere ulaşıldığı belirtilmiştir (Kacık vd., 2014, 2015). Çalışmamızda elde edilen bulgular bu bakımdan literatürle uyumluluk göstermiştir.



Şekil 3. Ön hidroliz işlemleri sürecinde Karakavak yongalarında hemiselüloz çözünme ve α-selüloz/hemiselüloz oranları

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada, Karakavak odunundan elde edilen yongalara 170 °C'de 5, 10, 15, 20, 30 ve 50 dakika boyunca su ile ön hidroliz uygulanmış ve ön hidroliz işlem sürelerinin yongaların kimyasal bileşimine etkileri incelenmiştir. Sıcak su ile ön hidroliz, yongaların α-selüloz ve ekstraktif madde oranlarının artmasını sağlarken, lignin, holoselüloz ve hemiselüloz oranlarının azalmasına neden olmuştur. Ön hidrolizin en önemli etkisinin sürecin başlangıcından itibaren yongalardaki hemiselüloz oranında hızlı bir düşüş gerçekleştirmesi yanı sıra α-selüloz oranında artış sağlaması olduğu görülmüştür. Ön hidroliz ile hemiselüloz yapıtaş birimlerinden ksiloz miktarında şiddetli bir azalma sağlanmıştır. İlk on dakikada ksiloz miktarında %59 azalma gerçekleşmiştir. Mannoz ve galaktozda da azalma gözlenmiş, mannozun %42'sinin ilk on dakikada çözündüğü ve galaktozun on beşinci dakikada yongalardan tamamen uzaklaştığı görülmüştür. Arabinoz miktarında ön hidroliz sürecinde küçük değişiklikler belirlenmiştir. Ramnoz sadece başlangıç yongalarında tespit edilmiştir. 170 °C'de Karakavak yongalarından hemiselülozların %78.43'ünü uzaklaştırması ve α-selüloz oranını %18.71 artırması nedeniyle sıcak su ile en uygun hidroliz süresinin otuz dakika olabileceği sonucuna varılmıştır.

#### KAYNAKLAR

- Amidon, T. E., Christopher, D. W., Shupe, A. M., Wang, Y., Graves, M., Liu, S. (2008). Biorefinery: Conversion of woody biomass to chemicals, energy and materials. *J. Biobased Materials Bioenergy*, 2(2), 100–120.
- Amidon, T. E., Liu, S. (2009). Water-based woody biorefinery. *Biotechnology Advances*, 27(5), 542–550.
- ASTM D 1103 (1980). Standard Test Method for Alpha-Cellulose in Wood. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International.

- Cao, S., Pu, Y., Studer, M., Wyman, C., Ragauskas, A. J. (2012). Chemical transformations of *Populus trichocarpa* during dilute acid pretreatment. *RSC Advances*, 2, 10925–10936.
- Casebier, R. L., Hamilton, J. K., Hegrert, H. L. G. (1969). Chemistry and mechanism of water prehydrolysis on southern pine wood. *Tappi J.*, 52(12), 2369–2377.
- Chambost, V., Mcnutt, J., Stuart, P. R. (2008). Guided tour: Implementing the forest biorefinery (FBR) at existing pulp and paper mills. *Pulp and Paper Canada*, 109(7), 1–9.
- Esteves, B.; Graca, J.; Pereira, H. (2008). Extractive composition and summative chemical analysis of thermally treated eucalypt wood. *Holzforchung*, 62(3): 344–351.
- Garrote, G., Parajo, J. C. (2002). Non-isothermal autohydrolysis of eucalyptus wood. *Wood Sci. Technol.*, 36, 111–123.
- Gaudet, M., Jorge, V., Paolucci, I., Beritognolo, I., Mugnozza, G. S., Sabatti, M. (2008). Genetic linkage maps of *Populus nigra* L. including AFLPs, SSRs, SNPs, and sex trait. *Tree Genetics & Genomes*, 4(1), 25–36.
- Kacik, F., Durkovic, J., Kacikova, D. (2012). Chemical profiles of wood components of poplar clones for their energy utilization. *Energies*, 5(12), 5243–5256.
- Kacik, F., Durkovic, J., Kacikova, D., Zenkova, E. (2016). Changes in the chemical composition of black locust wood after hot-water pretreatment before bioethanol production. *Acta Facultatis Xylogiae Zvolen*, 58(1): 15–23.
- Kacik, F., Kacikova, D., Zenkova, E. (2014). Aqueous pretreatment of black locust wood at the temperature of 180 °C. *Acta Facultatis Xylogiae Zvolen*, 56(1), 59–66.
- Kacik, F., Kacikova, D., Zenkova, E. (2015). Hot-water pretreatment of poplar and black locust wood for

- bioethanol production. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 57(2), 117–124.
- Kahraman, T., Kahraman, F. K., Karakaya, S., Karahan, A., Ünsal, G., Karatay, H., Toplu, F. (2011). Türkiye’de Karakavakta (*Populus nigra* L.) ıslah çalışmaları ‘Fidanlık aşaması sonuçları’. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Kavak ve Hızlı Gelişen Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Teknik Bülten No: 210, İzmit, Türkiye.
- Kang, N., Liu, Z., Hui, L. F., Si, C. L., Cui, L., Zhao, T., Mao, S. T. (2012). Study on the optimum process of acid-catalytic ethanol pretreatment of Chinese triploid poplar to enhance sugar recovery by hydrolysis. *Bioresources*, 7(1): 578–592.
- Krutul, D., Antczak, A., Radomski, A., Drozddek, M., Klosinska, T., Zawadzki, J. (2019). The chemical composition of poplar wood in relation to the species and age of trees. *Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW Forestry and Wood Technology*, 107, 131-138.
- Linko, M., Vikari, L., Suihko, M-L. (1984). Hydrolysis of xylan and fermentation of xylose to ethanol. *Biotechnology Advances*, 2, 233–252.
- Niemz, P., Mariani, S., Torres, M. (2004). Einfluss der hydrothermischen Behandlung von *Picea abies* (L.) Karsten und *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden auf die chemische Zusammensetzung des Holzes - Influence of hydrothermal treatment on the chemical composition of *Picea abies* (L.) Karsten and *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 155(12), 544-547.
- Nuopponen, M., Vuorinen, T., Jamsa, S., Viitaniemi, P. (2003). The effects of heat treatment on the behaviour of extractives in softwood studied by FTIR spectroscopic methods. *Wood Science and Technology*, 37(2): 109–115.
- OGM, (2016). Oduna dayalı orman ürünlerinin üretim ve pazarlama faaliyetleri. Ankara, Türkiye.
- Pettersen, R. C., Schwandt, V. H., Effland, M. J. (1984). An analysis of the wood sugar assay using HPLC: a comparison with paper chromatography. *J. Chromatogr. Sci.*, 22, 478-484.
- Pu, Y., Hu, F., Huang, F., Davison, B. H., Ragauskas, A. J. (2013). Assessing the molecular structure basis for biomass recalcitrance during dilute acid and hydrothermal pretreatments. *Biotechnology for Biofuels*, 6(1): 1-13.
- Rathmacher, G., Niggemann, M., Köhnen, M., Ziegenhagen, B., Bialozyt, R. (2010). Short-distance gene flow in *Populus nigra* L. accounts for small-scale spatial genetic structures: implications for in situ conservation measures. *Conservation Genetics*, 11(4), 1327-1338.
- Rosa, M. E., Pereira, H. (1994). The effect of long term treatment at 100°C–150°C on structure, chemical composition and compression behaviour of cork. *Holzforschung*, 48: 226–232.
- Sixta, H. (2006). *Handbook of Pulp*, WILEY-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA, Weinheim, Germany.
- Stettler, R., Bradshaw, T., Heilman, P., Hinckley, T. (1996). *Biology of populus and its implications for management and conservation*. NRC Research Press, Ottawa, Canada.
- Tunc, M. S., Van Heiningen, A. R. P. (2008). Hydrothermal dissolution of mixed southern hardwoods. *Holzforschung*, 62(5), 539–545.
- Tutuş, A., Çiçekler, M., Karataş, B. (2019). Kavak odunu yongalarından modifiye yöntem ile kağıt hamuru ve kağıt üretimi. *International Congress on Agriculture and Forestry*, p. 800-808, Marmaris, Turkey.
- Van Heiningen, A. R. P., Tunc, M. S., MacEwan, K. (2005). Prehydrolysis of hemicellulose from mixed southern hardwood using hot water prehydrolysis. In 2005 AIChE annual meeting and fall showcase, Cincinnati OH.
- Wise, E. L., Karl, H. L. (1962). Cellulose and hemicellulose. In: Libby, C. E. (Ed.). *Pulp and Paper Science and Technology*, Vol. 1, McGraw Hill Book Co., New York, USA.
- Yanez, R., Romani, A., Garrote, G., Alonso, J. L., Parajo, J. C. (2009). Processing of *Acacia dealbata* in aqueous media: First step of a wood biorefinery. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 48, 6618–6626.
- Yaşar, S., Güller, B., Baydar, H. (2010). Susam (*Sesamum indicum* L.), pamuk (*Gossypium hirsutum* L.) ve haşhaş (*Papaver somniferum* L.) saplarında karbonhidrat, lignin miktarları ve bazı lif özellikleri üzerine araştırmalar. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 1, 56-66.