



MAKÜ FEBED
ISSN Online: 1309-2243
<http://dergipark.gov.tr/makufebed>
DOI: 10.29048/makufebed.392142

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 9(1): 91-97 (2018)
The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University 9(1): 91-97 (2018)

Araştırma Makalesi / Research Paper

İlgın (*Tamarix parviflora*) Hemiselülozlarının Oktanoil, Dekanoil ve Lauroil Klorür ile Esterlenmesi

Samim YAŞAR

Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi, Isparta

Geliş Tarihi (Received): 08.02.2018, Kabul Tarihi (Accepted): 19.03.2018

✉ Sorumlu Yazar (Corresponding author): samimyasar@sdu.edu.tr

☎ +90 246 2113973 📠 +90 246 2113948

ÖZ

Bu çalışmada, endüstriyel anlamda hammadde olabilecek nitelikteki ılgın (*Tamarix parviflora*) bitkisinden izole edilen hemiselülozlardan oktanoil, dekanoil ve lauroil klorür kullanılarak üretilen esterler karakterize edilmiştir. İlgın odunu ve hemiselülozlarının monosakkarit bileşimi HPLC ile belirlenmiştir. Çalışmada, elde edilen ester ürünlerin süstitüsyon dereceleri 0,68 ile 0,81 ve yüzde verimleri 54,13 ile 58,23 aralığında yer almıştır. Örneklerin FTIR spektrumlarında elde edilen 3410, 2922, 2854 ve 1742 cm^{-1} deki band değerleri türevlendirmenin gerçekleştiğini göstermiştir. Doğal hemiselüloz örneğinin termal dayanıklılığının ester ürünlerden daha yüksek olduğu TGA analizleri ile tespit edilmiştir. Sonuç olarak, hemiselüloz esterlerinde belirlenen karakteristik özellikler onların biyolojik ortamda ve çevresel şartlarda parçalanabilecek plastik, reçine ve film üretiminde kullanılabileceklerini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: İlgın (*Tamarix parviflora*), hemiselülozların esterlenmesi, süstitüsyon derecesi, yüzde verim

Esterification of Small-flowered Tamarisk (*Tamarix parviflora*) Hemicelluloses using Octanoyl, Decanoyl and Lauroyl chloride

ABSTRACT

In this study, the hemicelluloses were isolated from small-flowered tamarisk (*Tamarix parviflora*) which might be useful raw material in the industrial area, then esterified using octanoyl, decanoyl and lauroyl chloride. Afterwards, obtained hemicellulose esters were characterized. Monosaccharide composition of small-flowered tamarisk wood and hemicelluloses were determined by HPLC. The substitution degrees of esters were found between 0.68 and 0.81 and yield percentages between 54.13 and 58.23. The values of bands at 3410, 2922, 2854 and 1742 cm^{-1} in FTIR spectra of esters showed that the derivation of hemicelluloses occurred. Esters presented lower thermal stability compared to natural hemicelluloses after thermogravimetric analysis. The characteristic properties of produced hemicellulose esters indicated that these esters were found to be at a sufficient level for raw material in the production of biodegradable and environmentally degradable plastics, resins and films.

Keywords: Small-flowered tamarisk (*Tamarix parviflora*), esterification of hemicelluloses, degree of substitution, percentage of yield

GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızlı artışı ve teknolojik gelişmeler orman ürünlerinin tüketimini artırmıştır. Dünyada kuru-tulmamış odun kullanımının yılda 3.5 milyar ton düzeyi-ne ulaştığı ve kişi başına düşen odun miktarının 0.7 ton civarında olduğu belirtilmekte ve tüketimin gün geçtikçe artacağı öngörülmektedir. Orman kaynaklarında mey-dana gelen azalma zaman içerisinde artan talebin kar-şılanabilmesi için hammadde kaynaklarının planlı ve verimli bir şekilde kullanılmasının gerekliliğini göz önü-ne getirmiştir. Ayrıca, odun hammaddesinin günden güne çok değişik alanlarda kullanımının artması arz ve talep arasındaki dengesizliğin kaçınılmaz olacağını işaret etmektedir. Bu nedenle, odun esaslı hammaddeler-in yanı sıra alternatif hammaddelerin kullanılması, geri dönüşümün etkili olarak uygulanması, daha etkin teknolojilerin kullanılması ve kalitesi yüksek yeni ürün-lerin geliştirilmesi gelecekte odun arz ve talep dengesi-nin korunmasında önemli rol oynayacaktır (Cooper ve Balatinecz, 1999).

Ilgın (*Tamarix parviflora*) bitkisi, Batı Avrupa'dan Akde-niz çevresi boyunca ilerleyip Doğu Asya'ya kadar uza-nan bölgede doğal yayılış göstermektedir. Ağaç veya çalı formunda göze çarpmaktadır. Dalları ince, uzun, kamçı görünüşlü olup, yaprakları yeşil veya mavimsi yeşil renklidir. Salkım şeklindeki göz alıcı çiçekleri pembe eflatun rengindedir. Ilgın kireçli, kumlu, çakıllı ve tuzlu toprakları tercih etmekte, bol güneşli ortamlarda ve akarsu kıyılarında sıkça görülmektedir (MEB-MEGEP, 2007).

Petrol kökenli plastik malzemeler, üretimi esnasında ve kullanımından sonra atılması ile önemli derecede çevre kirliliğine neden olmaktadır. Plastik ambalaj malzemele-ri, yaygın olarak kullanılmalarından ve doğal koşullarda uzun yıllar parçalanmaya dayanıklı oluşlarından dolayı her geçen gün kirliliğin artmasına sebep olmaktadır. Ayrıca, plastik malzemelerin geri dönüşümü ile elde edilmiş ürünlerin insan sağlığını tehdit ettiği bilinmekte-dir (Önal, 2007).

Bitkisel kaynaklardan elde edilen hemiselülozların açıl klorürler ile türevlendirilmesinden üretilen esterlerin lipofilik özellik sergilemesinden dolayı biyolojik ortamda ve çevresel şartlarda parçalanabilecek plastik, reçine ve film üretiminde kullanılabilecekleri belirtilmiştir (Sun ve ark., 2001).

Bu çalışmada, özellikle maki vejetasyonu içerisinde geniş bir yayılış alanına sahip, endüstriyel anlamda hammadde kaynağı olarak değerlendirilebilecek nitelik-teki ılgından hemiselülozlar izole edildikten sonra okta-noil, dekanol ve lauroil klorür ile esterlenerek hemiselü-loz türevleri üretilmiştir. Ilgın odunu ve hemiselülozları-

nın monosakkarit bileşimi yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) ile saptanmıştır. Elde edilen ester ürünlerin karakterizasyonunda verim, sübstitüs-yon derecesi (DS), fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi ve termogravimetrik analiz (TGA) kulla-nılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Isparta Aşağıgökdere yöresinden 2016 yılı eylül ayı içerisinde alınan ılgın örnekleri çalışma materyali olarak kullanılmıştır. Alınan gövde örnekleri kabukları soyul-duktan sonra yongalanmış ve hava kurusu hale getiril-miştir. Daha sonra örnekler Retsch SK 1 değirmeninde 40-100 mesh aralığında öğütülmüştür.

Yöntem

Öğütülmüş örnek, soxhlet ekstraksiyon cihazında önce-likle 2:1 oranında sikloheksan:etanol karışımı ile 6 saat, devamında ise etanol ile işleme tabi tutulmuştur. Holo-selüloz Wise ve Karl (1962)'a ait yöntem ile elde edil-miştir. α -selüloz tayini ve hemiselüloz izolasyonu TAP-PI T 203 os-71 ile gerçekleştirilmiştir.

İzole edilen hemiselülozları içeren alkali ekstraktına pH derecesi 6 oluncaya kadar asetik asit ilave edilmiştir. Devamında ekstrakta hacminin 3 katı etanol ilave edil-miş ve hemiselülozların çökmesi sağlanmıştır. Çöktürü-len hemiselülozlar 14000 rpm'de 5 dakika santrifüjlen-miş, sırasıyla etanol ve asetonla yıkandıktan sonra 105 ± 2 °C'de kurutulmuştur (Fang ve ark., 1999).

Dill ve ark. (1984)'e ait yöntem modifiye edildikten son-ra kullanılarak ılgın örneği monosakkaritlerinin izolas-yonu ve klason lignini tayini gerçekleştirilmiştir. Ekst-raktan arındırılmış 1 g tam kuru maddeye denk gele-cek şekilde tartılan örneğe 20 ml %72'lik H_2SO_4 ilave edilmiş ve 30 °C'de 2 saat süreyle hidroliz işlemi ger-çekleştirilmiş, devamında 360 ml'ye saf su ile tamamlanarak otoklavda 120 °C'de 30 dakika boyunca bekletil-miştir. Süzme işleminden sonra kalıntı olarak elde edi-len klason lignini 105 ± 2 °C'de kurutulmuş ve miktarı ekstraktan arındırılmış tam kuru materyal yüzdesi ola-rak belirlenmiştir. Ilgın monosakkaritlerini içeren asit hidrolizati ise HPLC ile karbonhidrat analizinde kulla-nılmıştır (Yaşar ve ark., 2010). Çöktürülerek elde edilen hemiselüloz örneğinin analizinde aynı işlemlerden ya-rarlanılmıştır. Asit hidrolizinden sonra hemiselüloz ör-neğinde kalıntı lignin miktarı tespit edilmiş ve hidrolizat içerisinde toplanan hemiselüloz yapıtaşları birimlerin-in tespiti HPLC analizi ile gerçekleştirilmiştir.

Toplam monosakkaritleri ve hemiselüloz yapıtaşlarını içeren asit hidrolizatlarının pH derecesi 7 oluncaya kadar baryum hidroksit ilave edilmiştir. HPLC analizleri SHIMADZU sistem cihaz ve bu cihaza bağlanmış olan Refractive Index (RI) dedektör kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Enjeksiyonda 20 µL hacim kullanılmıştır. CH₃CN:H₂O (75/25, v/v) mobil fazı oluşturmuş ve akış hızı dakikada 0,8 mL olacak şekilde uygulanmıştır. Monosakkaritlerin kromatografik ayrılmasında Luna NH₂ kolonu (250x4.6 mm; id 5 µm) kullanılmış ve işlem 20 °C'de gerçekleştirilmiştir (Yaşar ve ark., 2010).

Esterleme için tartılan 0.3 g hemiselüloz üzerine 15 mL saf su ilave edilerek 80 °C'de karıştırılmış, 15 mL N,N-dimetilformamid (DMF) eklendikten sonra karıştırma işlemine yaklaşık 5 dakika daha devam edilmiştir. Oluşan jel yapıdan suyu uzaklaştırmak için 50 °C'de evaporasyon uygulanmıştır. Hemiselüloz açıl klorür molar oranı 1:2 olacak şekilde hazırlanmış oktanoil, dekanoil ve lauroil klorürün her birine 0.075 g LiCl, 0.05 g 4-dimetilaminopiridin (DMAP), 115 µL trietilamin (TEA) ve 7.5 mL DMF eklenmiştir. 70-75 °C'de karışmakta olan sudan arındırılmış jel yapıya, hazırlanmış açıl klorür çözeltileri farklı düzeneklerde 10 dakika içerisinde yavaş yavaş ilave edilmiş ve elde edilen 3 ayrı solüsyon 20 dakika karışmaya bırakılmıştır. Devamında karışımlar oda sıcaklığında soğutulduktan sonra üzerlerine %95'lik 60 mL etanol yavaş yavaş eklenmiştir. Süzme işleminden sonra elde edilen katı kısımlar (esterlenmiş hemiselülozlar) etanol ve aseton ile yıkanmış ve öncelikle 24 saat boyunca oda sıcaklığında bırakılmış, devamında 24 saat 55 °C'de etüvde kurutulmuştur (Fang ve ark., 1999).

Hemiselüloz örneği ve esterlerinin FTIR analizleri için Shimadzu IR Prestige-21 FTIR spektrometresi ve TGA analizleri için Perkin Elmer SII Diamond model termal analiz cihazı kullanılmıştır. 10 mg tartılan örneklerin her birinin 1000 mg KBr ile preslenmesiyle üretilen peletlerin FTIR spektrumları 4000 ile 400 cm⁻¹ dalga sayısı aralığında oda sıcaklığında elde edilmiştir. Örneklerin TGA analizleri, dakikada 10 °C ısıtma hızında 25 ile 600 °C aralığında azot ortamında gerçekleştirilmiştir.

DS tespiti için Leco CHNS-932 cihazı kullanılarak örneklerde belirlenen yüzde karbon değerlerinden faydalanılmıştır. Yüzde verim değerlerinin hesaplanmasında DS değerleri kullanılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Ilgın örneğine ait ana bileşenlerin tanımlanmasına yönelik analizler sonucu ekstraktif madde miktarı %2.82, lignin miktarı %20.49, holoselüloz miktarı %76.83 ve α-selüloz miktarı %45.12 olarak tespit edilmiştir.

Ekstraktan arındırılmış ılgın örneğine uygulanan asit hidrolizi sonucu elde edilen monosakkarit birimlerinin miktarları HPLC ile saptanmıştır. Ilgın örneğinde Glukoz, galaktoz, ksiloz, ramnoz, arabinoz ve mannoz miktarları sırasıyla %44.38, %0.94, %23.98, %0.58, %0.97 ve %1.87 şeklinde elde edilmiştir.

Ilğından izole edilen hemiselüloz örneği içerisinde %3.92 oranında kalıntı lignin tespit edilmiştir. HPLC analizi sonucu hemiselüloz örneğinde glukoz %2.03, galaktoz %3.57, ksiloz %85.68, ramnoz %1.04, arabinoz %3.24 ve mannoz %4.44 olarak belirlenmiştir.

Hemiselüloz örneğinin oktanoil, dekanoil ve lauroil klorür ile türevlendirilmesi işleminde reaksiyon gerçekleşmediği takdirde C miktarı %45.46 olacağından DS değeri 0 olarak elde edilecektir. Hemiselüloz örneğinin tamamının oktanoil, dekanoil ve lauroil klorür ile türevlenmesi durumunda ise C miktarları sırasıyla %65.60, %68.15 ve %70.12'ye denk geleceğinden ulaşılacak DS değeri 2 olacaktır. Yapılan elementer analiz sonucu oktanoil, dekanoil ve lauroil klorür ile türevlendirilmiş ılgın örneği hemiselülozlarında C miktarları sırasıyla %52.31, %54.65 ve %54.71 şeklinde saptanmıştır. %C değerlerinden hesaplanan DS değerleri ise oktanoil, dekanoil ve lauroil klorür ile türevlendirilmiş örneklerde sırasıyla 0.68, 0.81 ve 0.75 şeklindedir (Tablo 1).

Tablo 1. Esterlenmiş ılgın örneği hemiselülozlarının DS değerleri

Hemiselüloz esterleri	Molar oran*	DS=0 için teorik %C miktarı	DS=2 için teorik %C miktarı	%C	DS
Oktanoil klorür ile türevlenmiş örnek	1:2	45.46	65.60	52.31	0.68
Dekanoil klorür ile türevlenmiş örnek	1:2	45.46	68.15	54.65	0.81
Lauroil klorür ile türevlenmiş örnek	1:2	45.46	70.12	54.71	0.75

*:Hemiselüloz mol değeri/Oktanoil, dekanoil ve lauroil klorür mol değeri

Hemiselüloz örneğinin oktanoil, dekanoil ve lauroil klorür ile türevlendirilmesi sonucu elde edilen örneklerin DS değerlerinden hesaplanan yüzde verim değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Ilgın örneği hemiselülozlarının DS değeri 0 iken yani esterlemenin gerçekleşmediği durumda oktanoil, dekanoil ve lauroil klorür ile türevlendirmede yüzde verim değerleri sırasıyla 34.4, 29.9 ve 26.6 şeklindedir. Oysa oktanoil, dekanoil ve lauroil

klorür ile hemiselülozların tamamının türevlendiği durumda DS değeri 2 olacağından yüzde verim 100 düzeyinde elde edilecektir. Çalışmamızda elde edilen ilgın örneği hemiselüloz türevlerinin DS değerlerinden hesaplanan yüzde verim değerleri oktanoil, dekanoil ve lauroil klorür ile türevlendirilmiş örneklerde sırasıyla 56.68, 58.23 ve 54.13 şeklinde belirlenmiştir.

Tablo 2. Esterlenmiş ilgın örneği hemiselülozlarının yüzde verimi

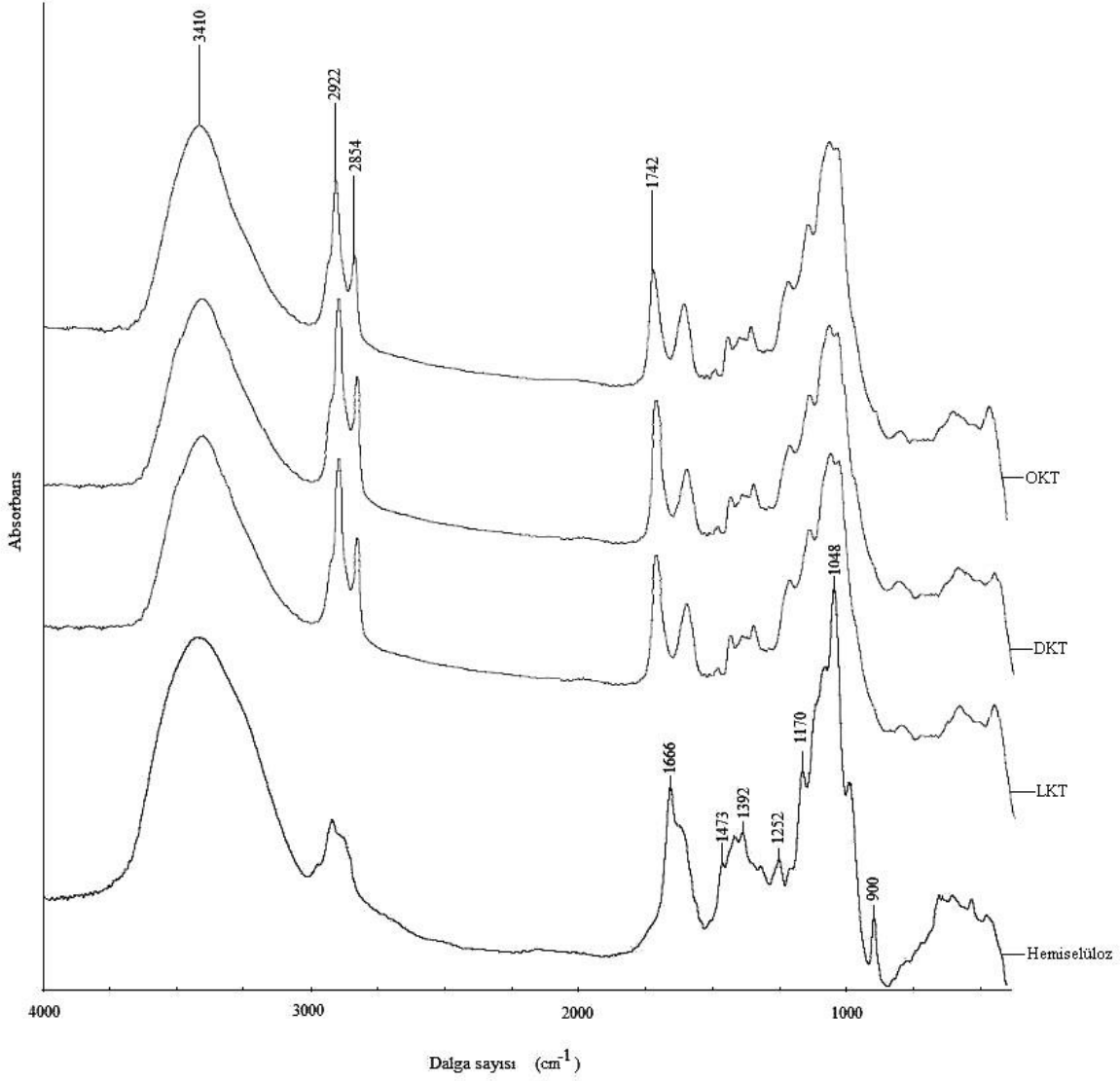
Hemiselüloz esterleri	Molar oran*	Sıcaklık (°C)	Süre (dakika)	Verim (%)
Oktanoil klorür ile türevlenmiş örnek	1:2	75	30	56.68
Dekanoil klorür ile türevlenmiş örnek	1:2	75	30	58.23
Lauroil klorür ile türevlenmiş örnek	1:2	75	30	54.13

*:Hemiselüloz mol değeri/Oktanoil, dekanoil ve lauroil klorür mol değeri

Çalışmada elde edilen hemiselüloz esterlerine ait DS ve yüzde verim değerleri, literatürde rapor edilen (Fang ve ark., 1999; Sun ve ark., 1999, 2000; Ren ve ark., 2008; Xu ve ark., 2008; Tanrıverdi, 2011) farklı bitkisel kaynaklardan izole edilmiş hemiselülozların 1:2 molar oranda oktanoil, dekanoil ve lauroil klorür ile türevlendirilmesiyle üretilen örneklerde belirlenen DS ve yüzde verim değerleri ile benzerlik gösterdiği görülmüştür.

Ilgın örneği hemiselülozlarına ait FTIR spektrumu Şekil 1'de verilmiştir. 3410 cm^{-1} 'deki band hemiselüloz içerisindeki -OH gruplarını temsil etmektedir. 2922 cm^{-1} 'deki band metil metilen C-H gerilmesini göstermektedir. 1666 cm^{-1} 'deki band numunede absorbe olmuş sudan kaynaklanmaktadır. 1473 ile 1170 cm^{-1} arasındaki alan C-H ve C-O bağlarının gerilme frekanslarına atfedilmiştir. 1048 cm^{-1} 'de görülen band glukozidik bağ içerisindeki C-O gerilmesi ile ilgilidir. 900 cm^{-1} 'deki band şeker birimleri arasındaki β -glukozidik bağları temsil etmekte-

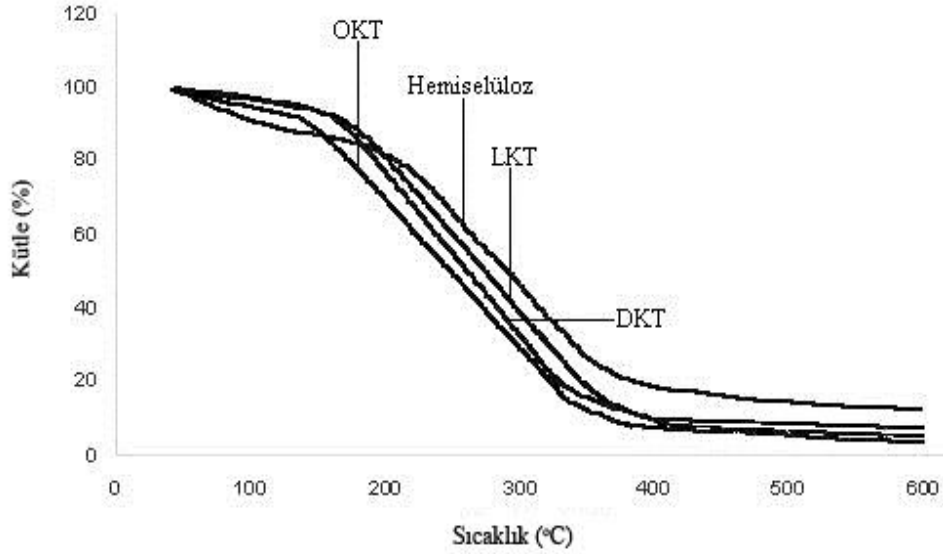
dir (Sun ve ark., 2004). Hemiselüloz türevlerine ait spektrumlarda görülen 1742 cm^{-1} 'deki band oluşan estere ait karbonil grubu ile ilgilidir. 2922 ve 2854 cm^{-1} 'deki bandlar simetrik ve asimetrik C-H gerilmesine aittir (Fang ve ark., 1999; Sun ve ark., 1999, 2000; Xu ve ark., 2008; Ren ve ark., 2008). Oktanoil, dekanoil ve lauroil klorür ile türevlendirilmiş hemiselüloz örneklerinin FTIR spektrumlarındaki 1742 cm^{-1} 'deki meydana gelen band, 2922 cm^{-1} 'deki bandın absorpsiyon değerlerindeki yükseliş, 2854 cm^{-1} 'deki bandın belirginleşmesi ve 3410 cm^{-1} 'deki -OH bandına ait absorpsiyon değerlerindeki önemli düzeylerdeki düşüş esterleme işleminin gerçekleştiğini göstermiştir (Şekil 1). Çalışmaya ait FTIR analizi sonuçları literatür (Fang ve ark., 1999; Sun ve ark., 1999, 2000; Xu ve ark., 2008; Ren ve ark., 2008) verileriyle örtüşmektedir.



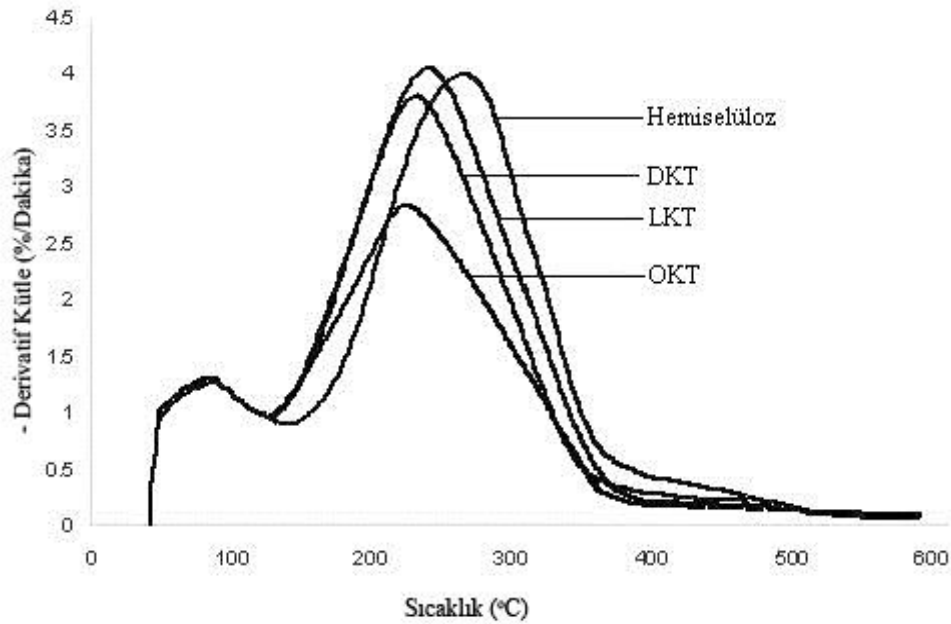
Şekil 1. Hemiselüloz ve türevlenmiş örneklerin FTIR spektrumları (OKT: Oktanoil klorür ile türevlenmiş örnek, DKT: Dekanoil klorür ile türevlenmiş örnek, LKT: Lauroil klorür ile türevlenmiş örnek)

Ilgın örneği hemiselülozları ile oktanoil, dekanoil ve lauroil klorür ile türevlenmiş hemiselüloz örneklerine ait

TGA ve DTG (diferansiyal termogravimetrik analiz) termogramları Şekil 2 ve 3'te gösterilmiştir.



Şekil 2. Hemiselüloz ve türevlenmiş örneklerin TGA termogramları (OKT: Oktanoil klorür ile türevlenmiş örnek, DKT: Dekanoil klorür ile türevlenmiş örnek, LKT: Lauroil klorür ile türevlenmiş örnek)



Şekil 3. Hemiselüloz ve türevlenmiş örneklerin DTG termogramları (OKT: Oktanoil klorür ile türevlenmiş örnek, DKT: Dekanoil klorür ile türevlenmiş örnek, LKT: Lauroil klorür ile türevlenmiş örnek)

Hemiselüloz ve türevlendirilmiş hemiselüloz örneklerinde esas termal bozunma 120 °C'den itibaren başlamış ve hemiselüloz örneğinde 520 °C, oktanoil klorür ile türevlendirilmiş örnekte 398 °C, dekanol klorür ile türevlendirilmiş örnekte 401 °C ve lauroil klorür ile türevlendirilmiş örnekte 404 °C'ye kadar devam etmiştir. Maksimum bozunma sıcaklığının hemiselüloz örneğine

göre oktanoil klorür ile türevlendirilmiş örnekte 43 °C, dekanol klorür ile türevlendirilmiş örnekte 38 °C ve lauroil klorür ile türevlendirilmiş örnekte 30 °C düştüğü tespit edilmiştir. Maksimum bozunma sıcaklıklarında görülen düşüşler, türevlendirilmiş örneklerin termal dayanıklılığının hemiselüloz örneğine göre daha az olduğunu ortaya koymuştur.

Çalışmada, TGA ve DTG analizleri sonucu elde edilen türevlendirilmiş örneklere ait bulguların literatürdeki (Xu ve ark., 2008, Sun ve ark., 2004; Yuan ve ark., 2011) düşük DS ve yüzde verim değerlerine sahip hemiselüloz esterlerine ait verilerle karşılaştırılabilir düzeyde olduğu görülmüştür.

SONUÇLAR

Çalışmada, orman endüstrisinin bazı üretim alanlarında hammadde olarak kullanılabilir ılgından elde edilen hemiselülozların %85.68'inin ksiloz birimlerinden oluştuğu görülmüştür. Hemiselüloz örnekleri oktanoil, dekanoil ve lauroil klorür ile türevlendirilmiş ve üretilen ester yapıların düşük süstitüsyon derecesine (0.68-0.81) ve verim yüzdesine (%54.13-58.23) sahip olduğu belirlenmiştir. Hemiselüloz esterlerinin FTIR spektrumlarındaki özellikle 1742 cm^{-1} 'deki ester pikinin görülmesi, 2854 ve 2922 cm^{-1} 'deki metil metilen grubuna ait pik değerlerinin belirgin bir şekilde artışı, 3410 cm^{-1} 'deki pik değerindeki düşüş esterlenmenin gerçekleştiğini ortaya koymuştur. Hemiselüloz örneğinin termal dayanıklılığının ester yapılardan daha yüksek olduğu TGA analizleri ile belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Cooper, P., Balantinecz, J. (1999). Agricultural waste materials for composites: A Canadian reality. Centre for Management Technology Global Panel Based Conference, Nikko Hotel, Kuala Lumpur, 18-19 October.
- Dill, I., Salnikow, J., Kraepelin, G. (1984). Hydroxyproline-Rich Protein Material in Wood And Lignin of *Fagus Sylvatica*. Applied and Environmental Microbiology. 48(6), 1259–1261.
- Fang, J.M., Sun, R., Fowler, P., Tomkinson, J., Hill, C.A.S. (1999). Esterification of Wheat Straw Hemicelluloses in the N,N-Dimethylformamide/Lithium Chloride Homogeneous System. Journal of Applied Polymer Science, 74, 2301–2311.
- MEB-MEGEP. (2007). Bahçecilik, Süs Ağaççıkları, Ankara.
- Önal, E. (2007). Farklı Biyokütellerin ve Bunların Sentetik Polimerlerle Birlikte Pirolyzi, Elde Edilen Ürün Özelliklerinin Belirlenmesi. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Eskişehir.
- Ren, J., Xu, F., Sun, R.C., Peng, B., Sun, J. (2008). Studies of the Lauroylation of Wheat Straw Hemicelluloses under Heating. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56, 1251–1258.
- Sun, R.C., Fang, J.M., Tomkinson, J., Hill, C.A.S. (1999). Esterification of Hemicelluloses from Poplar Chips in Homogenous Solution of N,N-Dimethylformamide/Lithium Chloride. Journal Of Wood Chemistry and Technology, 19(4), 287-306.
- Sun, R.C., Fang, J.M., Tomkinson, J. (2000). Characterization and Esterification of Hemicelluloses from Rye Straw. Journal Agricultural Food Chemistry, 48, 1247-1252.
- Sun, R.C., Fang, J.M., Tomkinson, J., Liu, J.C., Geng, Z.C. (2001). Fractional Isolation, Physico-chemical Characterization and Homogeneous Esterification of Hemicelluloses from Fast-Growing Poplar Wood. Carbohydrate Polymers, 44, 29–39.
- Sun, X.F., Sun, R.C., Sun, J.X. (2004). Oleoylation of Sugar-cane Bagasse Hemicelluloses using N-Bromosuccinimide as a Catalyst. Journal of The Science of Food and Agriculture, 84, 800-810.
- Tanrıverdi, H. (2011). Haşhaş Sapı (*Papaver somniferum L.*) Hemiselülozlarının N,N-Dimetilformamit/Lityum Klorür Homojen Sisteminde Esterifikasyonu. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta.
- Wise, E.L., Karl, H.L. (1962). Cellulose and Hemicellulose in Pulp and Paper Science and Technology. Libby, C.E. (Ed.), Vol:1, Mc Graw Hill Book Co., New York.
- Xu, F., Jiang, J.X., Sun, R.C., She, D., Peng, B., Sun, J.X., Kennedy, J.F. (2008). Rapid Esterification of Wheat Straw Hemicelluloses Induced by Microwave Irradiation. Carbohydrate Polymers, 73 (4), 612-620.
- 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.
- Yuan T., Sun, S., Xu, F., Sun, R. (2011). Homogeneous Butyrylation and Lauroylation of Poplar Wood in the Ionic Liquid 1-Butyl-3-Methylimidazolium Chloride. Bioresource Technology, 102, 4590–4593.