

Palmitoil, stearoil ve oleoil klorür ile esterlenmiş kermes meşesi (*Quercus coccifera* L.) hemiselülozlarının kimyasal karakterizasyonu

Samim Yaşar^{a,*}, Gizem Kılınç^a

Özet: Bu çalışmada, Ülkemizde özellikle makilik alanlarda geniş yayılışa sahip, biyokütle bakımından yüksek miktarlar sunan ve alternatif hammadde kaynağı olarak değerlendirilebilecek kermes meşesi (*Quercus coccifera* L.) odunundan izole edilen hemiselülozlar palmitoil, stearoil ve oleoil klorür ile esterlenmiş, devamında elde edilen ürünler karakterize edilmiştir. Ester ürünlerin süstitüsyon dereceleri 0.63 ile 0.94 ve yüzde verimleri 45.20 ile 57.53 aralığında belirlenmiştir. Hemiselüloz esterlerinin FTIR spektrumlarında yer alan 3410, 2922, 2854 ve 1742 cm^{-1} 'deki bandların absorpsiyon değerleri türevlendirmenin gerçekleştiğini ortaya koymuştur. TGA analizleri hemiselüloz türevlerinin termal dayanıklılığının doğal hemiselülozlardan düşük olduğunu göstermiştir. Çalışmada elde edilen hemiselüloz esterlerinin karakteristik özellikleri onların biyolojik olarak ayrışabilecek ve doğaya karışabilecek plastik, reçine ve film üretiminde kullanılacaklarını işaret etmektedir.

Anahtar kelimeler: Kermes meşesi, Hemiselülozların esterlenmesi, Süstitüsyon derecesi, Yüzde verim, HPLC, FTIR, TGA

Chemical characterization of kermes oak (*Quercus coccifera* L.) hemicelluloses esterified with palmitoyl, stearoyl and oleoyl chloride

Abstract: Kermes oak (*Quercus coccifera* L.) grows especially in maquis areas and has a wide distribution in our country. Kermes oak offers high amount of biomass. Therefore, it might be an alternative raw material source for some industrial processes of wood products. In this study, the hemicelluloses isolated from wood of the kermes oak were esterified with palmitoyl, stearoyl and oleoyl chloride. After esterification, the products were characterized. The substitution degrees of ester products were determined between 0.63 and 0.94 and yield percentages between 45.20 and 57.53. The intensity values of FTIR spectral bands at 3410, 2922, 2854 and 1742 cm^{-1} from ester products revealed that the derivation of hemicelluloses occurred. Thermogravimetric analysis showed that ester products were more prone to thermal decomposition than natural hemicelluloses. The characteristic properties of obtained hemicellulose esters indicated that these esters might be appropriate for production of biodegradable and environmentally degradable plastics, resins and films.

Keywords: Kermes oak, Esterification of hemicelluloses, Degree of substitution, Percentage of yield, HPLC, FTIR, TGA

1. Giriş

Dünya nüfusundaki hızlı artış beraberinde orman kaynaklarında azalmayı gündeme getirmiştir. Bu nedenle orman kökenli hammadde kaynaklarından en verimli şekilde faydalanmak zorunluluk halini almıştır. Ayrıca küresel ısınma sebebiyle ormanlarımızın değeri ve önemi zaman içerisinde artmaya başlamıştır. Teknolojide gerçekleşen hızlı gelişmeler de orman ürünlerine karşı talebin artmasına sebep olmuştur. Günümüzde, orman alanlarındaki azalma orman endüstrisini söz konusu talebin karşılanabilmesi için alternatif hammadde arayışı içerisinde sokmuştur (Cooper ve Balatinecz, 1999; Öner ve Aslan, 2002).

Kermes meşesi (*Quercus coccifera* L.) Akdeniz, Ege, Marmara ve Karadeniz Bölgelerinde yayılış gösteren herdem yeşil bir türdür (Kaya ve Aladağ, 2009). Akdeniz bölgesinde, mevcut orman alanlarına insanların müdahalesinin bitki örtüsünü makilik alanlara dönüştürmesi sebebiyle sıkça çalılıklar görülmektedir. Kermes meşesi bazı alanlarda ağaç formunu korumakla birlikte, Akdeniz

bölgesinde genellikle çalı formunda bulunmaktadır (Regel, 1963).

Petrol kökenli plastik malzemeler, üretimi sırasında ve kullanımından sonra atılması ile çevrenin önemli derecede kirlenmesine sebep olmaktadır. Plastik ambalaj malzemeleri, çok yaygın kullanılmalarından, doğal ortamda uzun süre parçalanmaya dayanıklı olmalarından ve doğaya karışmamalarından dolayı kirliliğin her geçen gün artmasına sebep olmaktadır. Ayrıca atık plastiklerden üretilen malzemelerin insan sağlığını da tehdit ettiği bilinmektedir (Önal, 2007).

Çalışmamızda, ülkemizde makilik alanlarda geniş yayılışa sahip, biyokütle bakımından yüksek potansiyel arz eden ve alternatif hammadde kaynağı olarak değerlendirilebilecek kermes meşesinin hemiselülozları izole edildikten sonra palmitoil, stearoil ve oleoil klorür ile esterlenerek hemiselüloz türevleri elde edilmiştir. Kermes meşesi toplam monosakkarit bileşimi ve hemiselüloz yapıtaşları birimleri yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) ile belirlenmiştir. Sentetik plastik malzemelere alternatif teşkil edebilecek ester yapıların

✉ ^a Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi, Isparta

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): samimiyasar@sdu.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 05.02.2018, **Accepted** (Kabul tarihi): 19.03.2018



Citation (Atıf): Yaşar, S., Kılınç, G., 2018. Palmitoil, stearoil ve oleoil klorür ile esterlenmiş kermes meşesi (*Quercus coccifera* L.) hemiselülozlarının kimyasal karakterizasyonu. Turkish Journal of Forestry, 19(1): 98-102. DOI: [10.18182/tjf.390204](https://doi.org/10.18182/tjf.390204)

karakterizasyonunda ise verim, sübstütüsyon derecesi (DS), fourier dönüştümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi ve termogravimetrik analiz (TGA) uygulanmıştır.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Çalışmamızda materyal olarak Isparta Söbü mevkiinden 2016 yılı eylül ayı içerisinde kermes meşesinden alınan örnekler kullanılmıştır. Kermes meşesi gövde ve dal materyalleri kabukları soyulduktan sonra yongalanarak hava kurusu hale getirilmiştir. Retsch SK 1 değirmeninde 40-100 mesh aralığında örneklerin öğütme işlemi gerçekleştirilmiştir.

2.2. Yöntem

Öğütülmüş örnek, soxhlet ekstraksiyon cihazında öncelikle 2:1 oranında sikloheksan:etanol karışımı ile 6 saat işleme tabi tutulmuş, daha sonra ekstraksiyon etanol ile sürdürülmüştür. Holoselüloz eldesi Wise ve Karl (1962)'a, α -selüloz tayini ve hemiselüloz izolasyonu TAPPI T 203 os-71'e göre yapılmıştır. α -selüloz kalıntı olarak hemiselülozlar ise alkali ekstrakt içerisinde elde edilmiştir.

TAPPI T 203 os-71'e göre elde edilen alkali ekstraktına asetik asit ilave edilerek pH derecesi 6 düzeyine çekilmiştir. Daha sonra ekstrakta hacminin 3 katı etanol ilave edilmiş ve hemiselülozlar çöktürülmüştür. Devamında hemiselülozlar 14000 rpm'de 5 dakika santrifüjlenerek elde edilmiştir. İşlem sonunda hemiselülozlar etanol ve asetonla yıkandıktan sonra 105 ± 2 °C'de kurutulmuştur (Fang vd., 1999).

Kermes meşesi odunu monosakkaritlerinin izolasyonu ve klason lignini tayini için Dill vd. (1984)'e ait yöntem modifiye edilerek şu şekilde uygulanmıştır. Ekstraktan arındırılmış 1 g tam kuru maddeye denk gelecek şekilde tartılan örnekler 20 ml %72'lik H₂SO₄ ilavesinden sonra 30 °C'de 2 saat süreyle bekletilmiş, devamında 360 ml'ye saf su ile tamamlanarak otoklavda 120 °C'de 30 dakika boyunca bırakılmıştır. Sonra süzme işlemi gerçekleştirilmiş klason lignini kalıntı olarak, monosakkaritler ise hidrolizat içerisinde elde edilmiştir. 105 ± 2 °C'de kurutulan klason lignininin miktarı, ekstraktdan arındırılmış tam kuru materyal yüzdesi olarak saptanmıştır. Monosakkaritleri içeren asit hidrolizatu, HPLC ile karbonhidrat analizinde kullanılmıştır (Yaşar vd., 2010). Çöktürülerek elde edilen hemiselüloz örneklerine aynı işlemler uygulanmıştır. Örnekte kalıntı lignin tespiti yapılmış ve hidrolizat içerisinde toplanan hemiselüloz yapıtaşları birimlerinin tayini yine HPLC ile gerçekleştirilmiştir.

Toplam monosakkaritleri ve hemiselüloz yapıtaşlarını içeren asit hidrolizatlarının pH derecesi baryum hidroksit ile 7 düzeyine getirilmiştir. HPLC analizleri SHIMADZU cihazı ve bu cihaza bağlanmış olan Refractive Index (RI) dedektör yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Enjeksiyon hacmi 20 μ L olarak ayarlanmış, CH₃CN:H₂O (75/25, v/v) mobil fazı oluşturmuş ve akış hızı dakikada 0.8 mL olacak şekilde düzenlenmiştir. Monosakkaritlerin kromatografik ayrılması Luna NH₂ kolonu (250x4.6 mm; id 5 μ m) yardımıyla 20 °C'de gerçekleştirilmiştir (Yaşar vd., 2010).

Esterleme işlemi için bir beher içerisine 0.3 g hemiselüloz tartılıp, üzerine 15 mL saf su eklenerek 80

°C'da karıştırılmış, üzerine 15 mL N,N-dimetilformamid (DMF) eklenip yaklaşık 5 dakika daha karıştırılmaya devam edilmiştir. Oluşan jel yapıdan su 50 °C'de evapore edilerek uzaklaştırılmıştır. Hemiselüloz ile molar oranı 1:2 olacak şekilde ayrı ayrı hazırlanmış palmitoil, stearoil ve oleoil klorüre 0.075 g LiCl, 0.05 g 4-dimetilaminopiridin (DMAP), 115 μ L trietilamin (TEA) ve 7.5 mL DMF ilave edilmiştir. 70-75 °C'de karışmakta olan suyu uzaklaştırılmış jel yapıya, açıl klorürler ile hazırlanmış 3 ayrı çözelti farklı düzeneklerde 10 dakika içerisinde yavaş yavaş eklenmiş ve elde edilen karışımlar 20 dakika daha karışmaya bırakılmıştır. Daha sonra karışımlar oda sıcaklığında soğutulduktan sonra üzerlerine %95'lik 60 mL etanol yardımıyla süzümüştür. Süzme işlemi ile ayrılan katı kısımlar (esterlenmiş hemiselülozlar) etanol ve aseton ile yıkanmış ve 24 saat boyunca oda sıcaklığında bırakıldıktan sonra 24 saat 55 °C'de etüvde kurutulmuştur (Fang vd., 1999).

Alkali ekstraktından çöktürülerek elde edilmiş homojen toz halindeki hemiselülozlar ve esterlenmiş hemiselüloz örnekleri FTIR ve TGA analizlerinde kullanılmıştır. 10 mg tartılan hemiselüloz ve esterlerinin her biri 1000 mg KBr ile preslenerek peletler elde edilmiştir. Peletlerin FTIR spektrumları 4000 ile 400 cm⁻¹ dalga sayısı aralığında oda sıcaklığında kaydedilmiştir. FTIR analizleri Shimadzu IR Prestige-21 FTIR spektrometre cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Hemiselüloz ve esterlerinin TGA analizleri, azot ortamında dakikada 10 °C ısıtma hızında 25 ile 600 °C aralığında Perkin Elmer SII Diamond model termal analiz cihazında yapılmıştır.

DS tespitinde, Leco CHNS-932 cihazı ile örneklere uygulanan elementer analiz sonucu elde edilen yüzde karbon değerlerinden yararlanılmıştır. Yüzde verim ise DS değerlerinden hesaplanarak belirlenmiştir.

3. Bulgular ve tartışma

Kermes meşesi odununda ekstraktif madde miktarı %4.24, lignin miktarı %22.46, holoselüloz miktarı %78.04 ve α -selüloz miktarı %51.44 olarak belirlenmiştir.

Glukoz, galaktoz, ksiloz, ramnoz, arabinoz ve mannoz kermes meşesi odunu monosakkaritleri olarak belirlenmiş ve miktarları sırasıyla %50.02, %0.91, %20.63, %0.23, %0.77 ve %1.69 şeklinde tespit edilmiştir.

İzole edilen kermes meşesi hemiselüloz örneği içerisinde %4.11 oranında kalıntı lignin bulunmuştur. Hemiselüloz yapıtaşları birimleri glukoz (%2.29), galaktoz (%3.63), ksiloz (%84.47), ramnoz (%1.13), arabinoz (%3.12) ve mannoz (%6.22) olarak saptanmıştır.

Palmitoil, stearoil ve oleoil klorür ile türevlendirme gerçekleşmediği takdirde hemiselülozlarda C miktarı %45.46 olup DS değeri 0'dır. Palmitoil, stearoil ve oleoil klorür ile hemiselülozların tamamının türevlenmesi halinde, C miktarları %72.98, %74.05 ve %74.50 olup DS değeri 2'dir. Çalışmamızda, palmitoil, stearoil ve oleoil klorür ile türevlendirilen kermes meşesi hemiselülozlarındaki C miktarları %54.95, %58.90 ve %54.61 olarak tespit edilmiştir. Bu değerlerden hesaplanan DS değerleri ise sırasıyla palmitoil klorür ile türevlendirilen örnekte 0.69, stearoil klorür ile türevlendirilen örnekte 0.94 ve oleoil klorür ile türevlendirilen örnekte 0.63 şeklindedir (Çizelge 1).

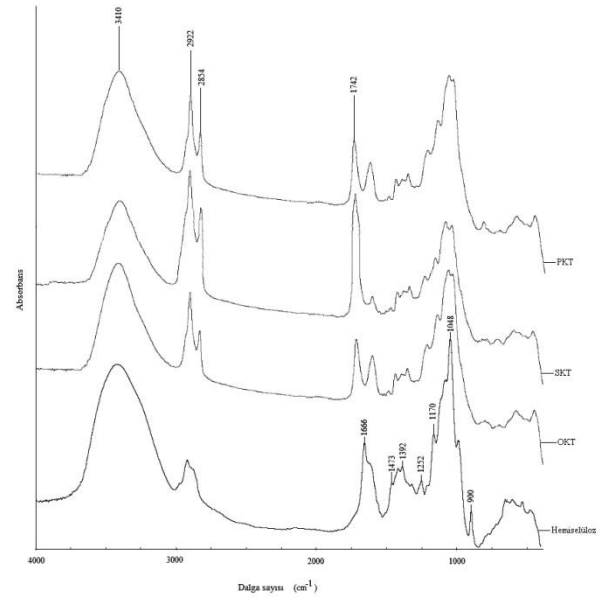
Palmitoil, stearoil ve oleoil klorür ile türevlendirilen örneklerin DS değerlerinden hesaplanan yüzde verim değerleri Çizelge 2'de gösterilmiştir. Kermes meşesi odunu hemiselülozlarının esterlenmemesi durumunda yani DS değeri 0 iken, palmitoil klorür ile türevlendirmede yüzde verim 21.70, stearoil klorür ile türevlendirmede yüzde verim 19.80 ve oleoil klorür ile türevlendirmede yüzde verim 20.00 düzeyindedir. Palmitoil, stearoil ve oleoil klorür ile hemiselülozların tamamının tüvelendiği durumda yani DS değeri 2 iken, yüzde verim 100 düzeyindedir. Çalışmamızda elde edilen DS değerlerinden hesaplanan yüzde verim değerleri palmitoil klorür ile tüvelendirilen örnekte 48.71, stearoil klorür ile tüvelendirilen örnekte 57.53 ve oleoil klorür ile tüvelendirilen örnekte 45.20 olarak bulunmuştur.

Çalışmamızda belirlenen kermes meşesi hemiselüloz esterlerine ait DS ve yüzde verim değerlerinin literatürde yer alan (Fang vd., 1999; Sun vd., 1999a,b; Sun vd., 2000a,b; Sun vd., 2004; Xu vd., 2008; Tanrıverdi, 2011) farklı bitkisel kaynaklardan izole edilen hemiselülozların 1:2 molar oranda palmitoil, stearoil ve oleoil klorür ile tüvelendirilmesi sonucu elde edilen DS ve yüzde verim değerleri ile karşılaştırılabilir düzeyde olduğu görülmüştür.

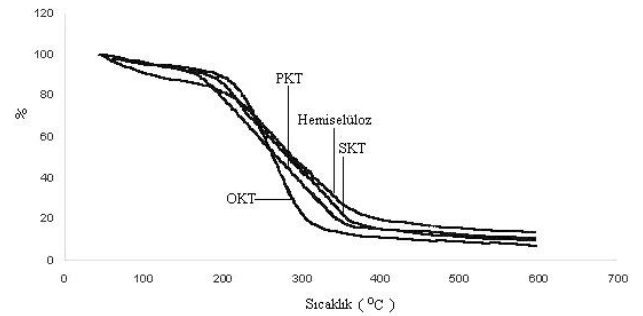
Kermes meşesi hemiselülozlarına ait FTIR spektrumu Şekil 1'de gösterilmiştir. 3410 cm^{-1} 'deki band hemiselüloz içerisindeki -OH gruplarına atfedilmiştir. 2922 cm^{-1} 'deki band metil metilen C-H gerilmesine aittir. 1666 cm^{-1} 'deki band numunede absorbe olmuş su ile ilgilidir. 1473 ile 1170 cm^{-1} arasındaki alan C-H ve C-O bağlarının gerilme frekanslarını göstermektedir. 1048 cm^{-1} 'de görülen band glukozidik bağ içerisindeki C-O gerilmesini temsil etmektedir. 900 cm^{-1} 'de öne çıkan band şeker birimleri arasındaki β -glukozidik bağları karakterize etmektedir (Sun vd., 2004). Hemiselüloz tüvelerine ait spektrumlarda görülen 1742 cm^{-1} 'deki band oluşan estere ait karbonil grubundan kaynaklanmaktadır. 2922 ve 2854 cm^{-1} 'deki bandlar simetrik ve asimetrik C-H gerilmesini göstermektedir (Sun vd., 1999a,b; Fang vd., 1999; Sun vd., 2000a,b; Sun vd., 2004; Xu vd., 2008). Palmitoil, stearoil ve oleoil klorür ile tüvelendirilen hemiselüloz örneklerinin spektrumlarındaki 1742 cm^{-1} 'deki ortaya çıkan band, 2922 cm^{-1} 'deki bandın absorpsiyon değerlerindeki artış, 2854 cm^{-1} 'deki bandın belirgin bir şekilde ortaya çıkışı ve 3410 cm^{-1} 'deki -OH bandına ait absorpsiyon değerlerinde önemli düzeylerde azalmanın görüldüğü esterleme işleminin gerçekleştiğini göstermektedir (Şekil 1). Çalışmamızda ait FTIR analizi sonuçlarının literatürle (Sun vd., 1999a,b; Fang

vd., 1999; Sun vd., 2000a,b; Sun vd., 2004; Xu vd., 2008) aynı doğrultuda yer aldığı görülmüştür.

Hemiselüloz ve tüvelenmiş örnekler için TGA ve DTG (diferansiyel termogravimetrik analiz) sonuçları Şekil 2 ve 3'te gösterilmiştir.



Şekil 1. Hemiselüloz ve tüvelenmiş örneklerin FTIR spektrumları (PKT: Palmitoil klorür ile tüvelenmiş örnek, SKT: Stearoil klorür ile tüvelenmiş örnek, OKT: Oleoil klorür ile tüvelenmiş örnek)



Şekil 2. Hemiselüloz ve tüvelenmiş örneklerin TGA termogramları (PKT: Palmitoil klorür ile tüvelenmiş örnek, SKT: Stearoil klorür ile tüvelenmiş örnek, OKT: Oleoil klorür ile tüvelenmiş örnek)

Çizelge 1. Esterlenmiş kermes meşesi odunu hemiselülozlarının DS değerleri

Hemiselüloz esterleri	Molar oran*	DS=0 için teorik %C miktarı	DS=2 için teorik %C miktarı	%C	DS
Palmitoil klorür ile tüvelenmiş örnek	1:2	45.46	72.98	54.95	0.69
Stearoil klorür ile tüvelenmiş örnek	1:2	45.46	74.05	58.90	0.94
Oleoil klorür ile tüvelenmiş örnek	1:2	45.46	74.50	54.61	0.63

* Hemiselüloz mol değeri/Palmitoil, stearoil ve oleoil klorür mol değeri, DS: Süstitüsyon derecesi

Çizelge 2. Esterlenmiş kermes meşesi odunu hemiselülozlarının yüzde verimi

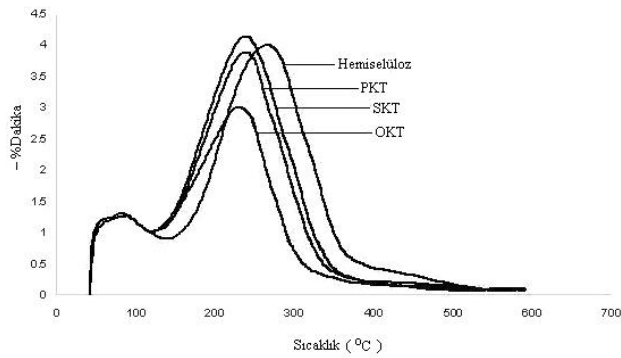
Hemiselüloz esterleri	Molar oran*	Sıcaklık (°C)	Süre (dakika)	DS=0 için % verim	DS=2 için % verim	Verim (%)
Palmitoil klorür ile tüvelenmiş örnek	1:2	75	30	21.70	100	48.71
Stearoil klorür ile tüvelenmiş örnek	1:2	75	30	19.80	100	57.53
Oleoil klorür ile tüvelenmiş örnek	1:2	75	30	20.00	100	45.20

* Hemiselüloz mol değeri/Palmitoil, stearoil ve oleoil klorür mol değeri, DS: Süstitüsyon derecesi

Kermes meşesinden izole edilmiş hemiselüloz ve türevlendirilmiş hemiselüloz örneklerinde esas bozunma 120 °C'den itibaren başlamaktadır. Bu sıcaklığa kadar numune içerisindeki suyun uzaklaştığı anlaşılmaktadır. 120 °C'den itibaren tek aşamada gerçekleşen esas bozunma süreci hemiselüloz örneğinde 522 °C, palmitoil klorür ile türevlendirilmiş örnekte 395 °C, stearoil klorür ile türevlendirilmiş örnekte 397 °C ve oleoil klorür ile türevlendirilmiş örnekte 375 °C'de tamamlanmıştır (Çizelge 3). Hemiselüloz örneği ile karşılaştırıldığında, maksimum bozunma sıcaklığının palmitoil klorür ile türevlendirilmiş örnekte 35 °C, stearoil klorür ile türevlendirilmiş örnekte 34 °C ve oleoil klorür ile türevlendirilmiş örnekte 47 °C düştüğü görülmüştür. Bu durum türevlendirme ile elde edilen ürünlerin termal dayanıklılığının hemiselüloz örneğinden daha az olduğunu göstermektedir.

Çalışmamızda elde edilen türevlendirilmiş örneklerin termal özelliklerine ait bulgular literatürdeki (Xu vd., 2008; Sun vd., 2004) düşük DS ve yüzde verim değerlerine sahip türevlenme ürünleri sonuçlarıyla örtüşmektedir.

Sun vd. (2001) doğal hemiselülozların açıl klorürler ile kısmen türevlendirilmesi sonucu elde edilen esterlerin lipofilik özelliklerinden dolayı biyolojik olarak ayrışabilecek ve doğaya karışabilecek plastik, reçine ve film üretiminde kullanılabileceklerini rapor etmişlerdir. Bu durum, kermes meşesi hemiselülozlarından elde edilen düşük süstitüsyon derecesi ve yüzde verim değerlerine sahip palmitoil, stearoil ve oleoil klorür ile üretilen esterlerin doğa dostu yapılar olduğunu desteklemektedir.



Şekil 3. Hemiselüloz ve türevlenmiş örneklerin DTG termogramları (PKT: Palmitoil klorür ile türevlenmiş örnek, SKT: Stearoil klorür ile türevlenmiş örnek, OKT: Oleoil klorür ile türevlenmiş örnek)

Çizelge 3. Kermes meşesinden izole edilmiş ve türevlendirilmiş hemiselülozların termal analiz sonuçları

Örnek	T ₀ (°C)	T _f (°C)	600 °C'deki kahntı (%)
Hemiselüloz	120	522	16
Palmitoil klorür ile türevlenmiş örnek	120	395	11
Stearoil klorür ile türevlenmiş örnek	120	397	9
Oleoil klorür ile türevlenmiş örnek	120	375	6

T₀ : Başlangıç sıcaklığı T_f: Bitiş sıcaklığı

4. Sonuç

Çalışmada, endüstriyel anlamda alternatif hammadde olarak değerlendirilebilecek kermes meşesinden izole edilen hemiselülozların %84.47'sinin ksiloz yapıtaşından meydana geldiği görülmektedir. Kermes meşesine ait hemiselüloz örnekleri sırasıyla palmitoil, stearoil ve oleoil klorür ile türevlendirilmiştir. Elde edilen ester ürünlerin düşük süstitüsyon derecesine (0.63-0.94) ve verim yüzdesine (%45.20-57.53) sahip olduğu görülmüştür. Türevlendirilmiş ürünlerin FTIR spektrumlarındaki özellikle 1742 cm⁻¹'deki ester piki oluşumu, 2854 ve 2922 cm⁻¹'deki metil metilen grubuna ait pik değerlerindeki artış ve 3410 cm⁻¹'deki -OH gruplarına ait pik değerindeki azalış esterlenmenin gerçekleştiğini göstermiştir. Termogravimetrik analiz, elde edilen ürünlerin termal dayanıklılığının hemiselüloz örneğinden daha az olduğunu göstermiştir.

Çalışmada üretilen hemiselüloz esterlerinin karakteristik özellikleri onların biyolojik olarak ayrışabilecek ve doğaya karışabilecek plastik, reçine ve film üretiminde kullanılabileceklerini işaret etmektedir. Bu durum, kermes meşesi odunundan elde edilen hemiselülozlardan doğa dostu türevlerin üretilebileceğini göstermektedir.

Kaynaklar

- Cooper, P., Balantinecz, J., 1999. Agricultural waste materials for composites: A Canadian reality. Centre for Management Technology Global Panel Based Conference, Nikko Hotel, 18–19 October, Kuala Lumpur.
- 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.
- Kaya, B., Aladağ, C., 2009. Maki ve garig topluluklarının Türkiye'deki yayılış alanları ve ekolojik özelliklerinin incelenmesi. SÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 22: 67–80.
- Önal, E., 2007. Farklı biyokütlelerin ve bunların sentetik polimerlerle birlikte pirolizi, elde edilen ürün özelliklerinin belirlenmesi. Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Öner, N., Aslan, S., 2002. Titrek kavak odununun teknoloji özellikleri ve kullanım yerleri. SDÜ Orman Fakültesi Dergisi, 1: 135–146.
- Regel, C.V., 1963. Türkiye'nin Flora Ve Vegetasyonuna Genel Bir Bakış. EÜ Monografiler Serisi N: 1, İzmir.
- Sun, R.C., Tomkinson, J., Liu, J.C., Geng, Z.C., 1999a. Oleoylation of wheat straw hemicelluloses in new homogeneous system. Polymer Journal, 31(10): 857–863.
- Sun, R.C., Fang, J.M., Tomkinson, J., Hill, C.A.S., 1999b. 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., 2000a. Stearoylation of hemicelluloses from wheat straw. *Polymer Degradation and Stability*, 67: 345–353.
- Sun, R.C., Fang, J.M., Tomkinson, J., 2000b. 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 sugarcane 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. Doktora Tezi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 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.