



Araştırma makalesi

***Juncus compressus*'un Saplarından İlk Kez Doğal Selüloz Lif İzolasyonu ve Karakterizasyonu^a**

Harun METİN^{1*}  ; Seher KARAMAN¹ 

¹ Aksaray Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, 68100, Merkez, Aksaray, Türkiye

* Sorumlu yazar (Corresponding author): harunmetin01@gmail.com

Makale alınış (Received): 18.01.2023 / Kabul (Accepted): 02.03.2023 /Yayınlanma (Published): 30.06.2023

ÖZ

Bu çalışmada Türkiye ve dünya sulak alanlarında geniş yayılış alanına sahip *Juncus compressus* türünün saplarına asit/alkali uygulaması yapılarak ilk kez selüloz izolasyonu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen doğal selüloz liflerinin polimer kompozitler için potansiyel olma durumu gözden geçirilmiştir. Bu doğrultuda selüloz liflerinin kimyasal, fiziksel ve morfolojik özellikleri FT-IR, TGA, XRD, SEM, elemental analiz (EA) yapılarak belirlenmiştir. *J. compressus* liflerinin % 43.51 selüloz içeriğine sahip olduğu bulunmuştur. Termogravimetrik analiz sonuçları selüloz liflerinin termal bozunmasının üç aşamada gerçekleştiğini ortaya koymuş ve 337.5°C' de selülozun bozunma sıcaklığını ortaya çıkarmıştır. XRD sonuçları iki ana piki göstermiş, kristallik indeksi (CrI) 27.2 olarak hesaplanmıştır. Liflerin yüzeyinin pürüzlü olduğu görülmüştür. Bu çalışmanın sonuçları *J. compressus* selüloz liflerinin farklı *Juncus* türleri ile fiziksel, kimyasal ve morfolojik olarak benzer özelliklere sahip olduğunu ve potansiyel uygulamalar için biyokompozit malzemeler geliştirilmesi için uygun olabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Selülozik Lif, Alkali Ön İşlem, Doğal Lif, XRD

© Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi

^a **Atf bilgisi / Citation info:** Metin H., Karaman S. (2023). *Juncus compressus*'un Saplarından İlk Kez Doğal Selüloz Lif İzolasyonu ve Karakterizasyonu. Ahi Ziraat Der/J Ahi Agri 3(1): 37-48

First Time Natural Cellulose Fiber Isolation and Characterization From The Stalks of *Juncus compressus*

ABSTRACT

In this study, cellulose isolation was carried out for the first time by applying acid/alkali to the stalks of *Juncus compressus* species, which has a wide distribution in Turkey and the world's wetlands. The potential of the obtained natural cellulose fibers for polymer composites has been reviewed. In this direction, chemical, physical and morphological properties of cellulose fibers were determined by FT-IR, TGA, XRD, SEM, elemental analysis (EA). *J. compressus* fibers were found to have a cellulose content of 43.51%. Thermogravimetric analysis revealed that the thermal degradation of the obtained cellulose fibers occurred in three stages and revealed the degradation temperature of cellulose at 337.5°C. XRD results showed two main peaks, the crystallinity index (Crl) was calculated as 27.2. It was observed that the surface of the fibers was rough. The results of this study showed that *J. compressus* cellulose fibers have similar properties with different *Juncus* species and are suitable for the development of biocomposite materials for potential applications.

Keywords: Cellulosic Fiber, Alkaline Pretreatment, Natural Fibers, XRD

© Kırşehir Ahi Evran University, Faculty of Agriculture

Giriş

Günümüz dünyasında biyokompozitler, benzersiz özellikleri nedeniyle başta otomotiv, havacılık, gıda paketlenme ve inşaat endüstrilerinde olmak üzere çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır (Sanjay vd. 2018 ; Thakur vd. 2010 ;Khan vd. 2022). Şu anda, araştırmacıların çoğu, sentetik elyaf takviyeli kompozitleri biyo-kompozitlerle değiştirmeye çalışmaktadırlar (Chandrasekar vd. 2017). Genel olarak doğal lifler, bitkilerin yaprak, gövde, kök, tohum ve meyve gibi çeşitli kısımlarından toplanır. Bu liflerin özellikleri bitki türüne ve bitkinin hangi kısmından toplandığına bağlı olarak farklı termal stabilite ve çekme özellikleri gösterebilmektedir (Manimaran vd. 2016).

Son zamanlarda çeşitli ülkeler tarafından uygulanan yeni çevre politikaları nedeniyle, sentetik elyaf takviyeli plastik kullanımı kısıtlanmıştır (Sentharamaikkannan vd. 2016). Bitkisel elyaf takviyeli plastikler, sentetik elyaf takviyeli plastiklere en iyi alternatiflerden biridir. Bununla birlikte, araştırmacıların gerekli fiziko-kimyasal, termal ve yapısal özelliklere sahip yeni bitki liflerini bulmalarını gerektiren ticari olarak mevcut bitki liflerini tek başına kullanarak doğal lif kompozitlerine olan yüksek talebi karşılamak zordur (Manimaran vd. 2018).

Bu doğrultuda Türkiye ve dünya sulak alanlarında kendiliğinden yetişen ve oldukça geniş yayılış alanına sahip bir sulak alan bitkisi olan *Juncus compressus* türünün saplarından selüloz lifleri ile ilgili bir çalışma yapılmamıştır. *J. compressus* türü dünyada ve Türkiye’ de geniş yayılış alanına sahiptir ve önemli bir sulak alan bitkisidir. *J. compressus* türünün Türkiye’ deki yayılış alanı Şekil 1.’de verilmiştir.



Şekil 1. *J. compressus* türünün Türkiye’ deki yayılış alanı (Bizim Bitkiler 2022; Özbek, 2015).

Bu çalışmada *J. compressus* sap liflerinin fiziksel, kimyasal, termal ve yüzey özellikleri termogravimetrik analiz (TGA), Fourier transform kızılötesi (FT-IR) spektroskopisi, x-ışını kırınım analizi (XRD), SEM, elemental analiz ve çeşitli karakterizasyon teknikleri ile incelenmiştir.

Materyal ve Yöntem

Lif Kaynağı Olarak Kullanılan Bitki

J. compressus türü çok yıllık boyu; 10-40 cm arasında uzayabilen, gövdesi hafif yassı, rizomlara sahip, koyu mavi renkli, 10-60 arası çok dallanmış çiçeklenmeye sahip Mayıs-Temmuz arası çiçeklenme gösteren, 880-1550 metre yüksekliklerde yayılışı olan, nemli çayırli alanlarda, göl kenarlarında, suyu çekikmiş alanlarda ve dere kenarlarında yayılış gösteren bir sulak alan bitkisidir (Özbek, 2015).

J. compressus türü Prof. Dr. Seher KARAMAN ve Harun METİN tarafından Niğde: Çamardı-Pozantı yolu 9 km, dere kenarı, 25.08.2021, 1344 m, H.Metin 1093 lokalitesinden toplanmış ve teşhisi yapılmıştır. AKSU (Aksaray Üniversitesi Herbaryumu) da saklanmaktadır. Türe ait görseller Şekil 2’ de verilmiştir.



Şekil 2. *J. compressus* türüne ait görsel

Doğadan toplanan *J. compressus* türü normal oda koşullarında üç gün kurutulmaya bırakılmış ve manuel olarak el ile lifleri çıkartılmıştır. *J. compressus* türüne ait sap lifleri Şekil 3’ te gösterilmiştir.



Şekil 3. *J. compressus* türüne ait sap lifleri

Juncus compressus Sap liflerinin Selüloz Oranın Belirlenmesi

J. compressus sap liflerindeki selüloz oranı tayini (Kurschner-Hoffer 1969)’ e göre yapılmıştır.

Asit/Alkali Uygulaması

Selüloz ekstraksiyonu için asit uygulaması ve alkali uygulaması en sık kullanılan yöntemlerdir (Sharma vd. 2017). Seyreltilmiş asit yöntemi, yüksek hemiselüloz geri kazanımı, enzim kullanımında azalma ve ekonomik olarak dost olması nedeniyle tam ölçekli tesislerde en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir (López-Linares vd. 2020). Bunun yerine alkali

uygulamasını, lignin-karbonhidrat bağlarını parçalayarak ligninin lignoselülozik malzemeden uzaklaşmasını sağlar (Carrere vd. 2016). Yöntemlerin kombinasyonlarının, örneğin asit muamelesini takiben alkali muamelesi, termal asit/alkali ön muamelesi, vb. gibi en yüksek verimi sağladığı kabul edilir (López-Linares vd. 2020). Bu çalışmada *J. compressus* sap liflerine asit muamelesini takiben alkali muamelesi uygulanmıştır.

J. compressus sap liflerine 0.5 mol HCL asit uygulaması 5 saat 100°C'de gerçekleştirilmiştir. Asit uygulamasından sonra örnekler pH nötr olana kadar su ile yıkanmıştır. Ardından 1 molar 5 saat NaOH uygulaması yapılarak alkali uygulamasından sonra örnekler pH nötr olana kadar su ile yıkanmıştır.

Fourier dönüşümlü infrared spektrometre (FT-IR)

J. compressus sap liflerinden izole edilen selülozun FT-IR spektrumları, 650-4000 cm⁻¹ frekans aralığında Perkin-Elmer FT-IR Spektrometre (Universal Attenuated Total Reflectance) cihazı kullanılarak ayrı ayrı kaydedilmiştir.

Termogravimetrik analiz (TGA)

J. compressus sap liflerinden izole edilen selülozun termal özellikleri, N₂ atmosferi altında ve TGA / SDTA 851 Mettler Toledo cihazı kullanılarak 10°C/ dk'lık bir ısıtma hızında gerçekleştirilecektir

X-ışını kırınımı (XRD) analizi

J. compressus sap liflerinden izole edilen selülozun XRD analizleri, GNR APD PRO 2000 cihazı kullanılarak CuK α radyasyonu ile yapılmıştır. Kullanılan X-Işığının dalga boyu 1.54059 Å' dır. Tarama aralığı 2 θ = 5-45° arasında, 0.1 step size ve her açı değeri için 3 saniye integrasyon zamanı kullanılarak ölçüm gerçekleştirilmiştir.

J. compressus sap liflerinden izole edilen selülozun kristallik indeksi (CrI) değeri Segal yöntemi (Segal vd. 1959) kullanılarak aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır.

$$CrI = [(I_{200} - I_{am}) / I_{200}] \times 100$$

I₂₀₀= 200 pikinin yüksekliğidir (I₂₀₀, 2 θ = 22.2°)

I_{am}=200 ve 110 tepe arasındaki minimumdur (I_{am}, 2 θ = 16.2°)

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi

J. compressus sap liflerinden izole edilen selülozun yüzey morfolojileri farklı büyütme oranları kullanılarak Sputter Coater (Cressingto Auto 108) tarafından altın / paladyum ile kaplanarak Zeiss, Eco 40, Almanya marka cihaz ile gerçekleştirilmiştir (Candiotti vd. 2020).

Elemental analiz (EA)

J. compressus sap liflerinden izole edilen selülozun yapısında bulunan elementlerin % içeriklerini belirlemek için Thermo Flash 2000 cihazı kullanılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

3.1. Selüloz Oranı

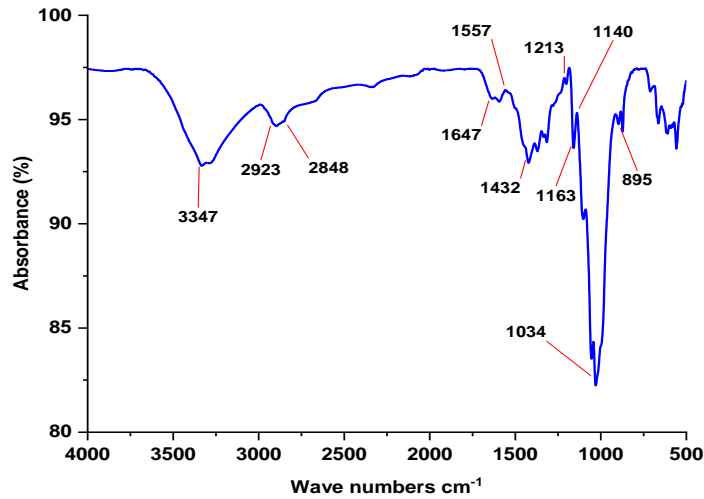
J. compressus sap liflerinin selüloz oranı % 43.51 olarak bulunmuştur. *J. compressus* sap liflerinin selüloz oranının alkali uygulaması yapılan *Juncus* sp. ve diğer farklı türdeki bitki türleri ile benzerlik gösterdiği Tablo 1. incelendiğinde görülmektedir.

Tablo 1. Bazı Alkali Uygulaması Görmüş Bitki Liflerine Ait Selüloz Oranları

Bitki Türleri	Selüloz Oranı (%)	Kaynaklar
<i>Juncus compressus</i> sap	43.51	Tespit
Buğday sapı	51.66	(Çiçekler 2019)
<i>Juncus</i> sp.	44.93	(Naili vd. 2017)
Kenevir sapı	52.03	(Tutuş vd. 2021)
<i>Juncus rigidus</i> sürgün	17.64	(Vyas vd. 2021)

3.2. Fourier Dönüştürümlü İnfrared Spektrometre (FT-IR)

J. compressus saptarından elde edilen selüloz liflerinin F-TIR sonuçları Şekil 4'te verilmiştir.



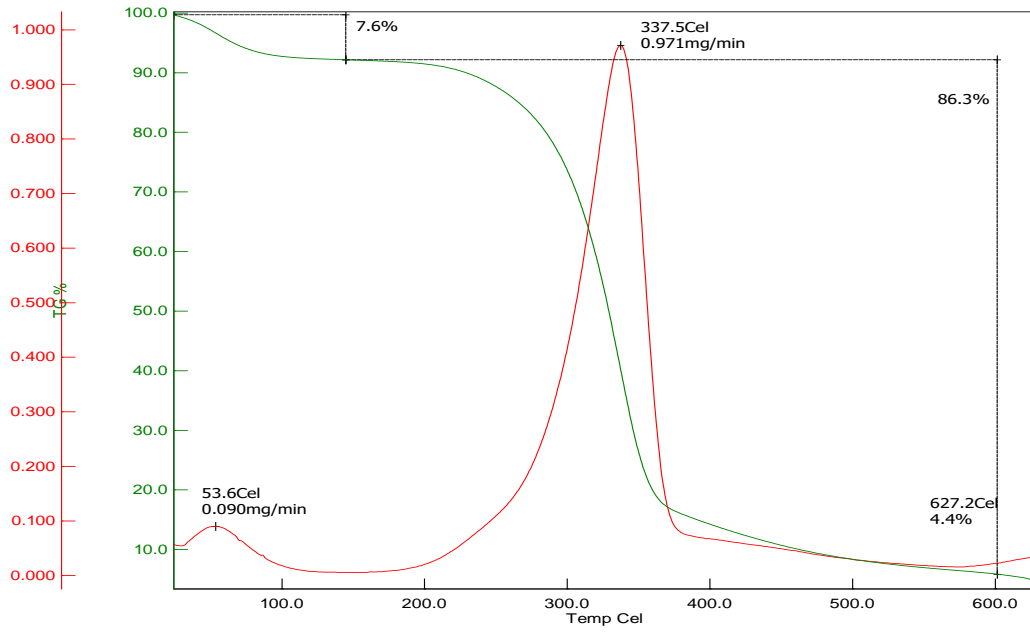
Şekil 4. *J. compressus* saptarından elde edilen selüloz liflerinin F-TIR sonuçları

J. compressus sap lifleri için 3347 cm^{-1} titreşimi selülozun yapısında bulunan glikoz birimlerindeki O-H gerilmelerini temsil etmektedir (Li vd. 2014). 2923 ve 2848 cm^{-1} bantları C-H ve CH_2 bulunan gerilim titreşimlerini temsil etmektedir (Ganapathy vd. 2019). 1647 cm^{-1} titreşimi -OH grubunun adsorpsiyonunu varlığına işaret etmektedir (Ganapathy vd. 2019).

1432 cm^{-1} –OH ve –CH düzlem içi bükülme titreşimlerini göstermektedir (Zhu vd. 2016). 1159-890 cm^{-1} arasında görülen 1163, 1140, 1063, 1034 ve 895 bantları C-O, C-C, C-O-C gerilme ve C-O-C gerilmelerini temsil etmektedir (Ceylan vd. 2020). 1620-1595 cm^{-1} arasındaki titreşimler aromatik halkanın C-C gerilmesini temsil etmektedir. *J. compressus* sap selülozları için 1557 cm^{-1} ve piki çok az lignin kalıntısına işaret edebilir. 895 cm^{-1} bandı ise glikozidik bağa ait titreşimden kaynaklanmaktadır (Kumar vd. 2012). Lignin ait olduğu pik ise net olarak gözükmemekle birlikte 1557 cm^{-1} ve 1213 cm^{-1} pikleri bir miktar lignin kalıntısına işaret etmektedir.

3.3. Termogravimetrik Analiz (TGA)

J. compressus sap selülozunun termal bozunma davranışı, Şekil 5 'te gösterildiği gibi TG ve DTG eğrileri kullanılarak değerlendirilmiştir.

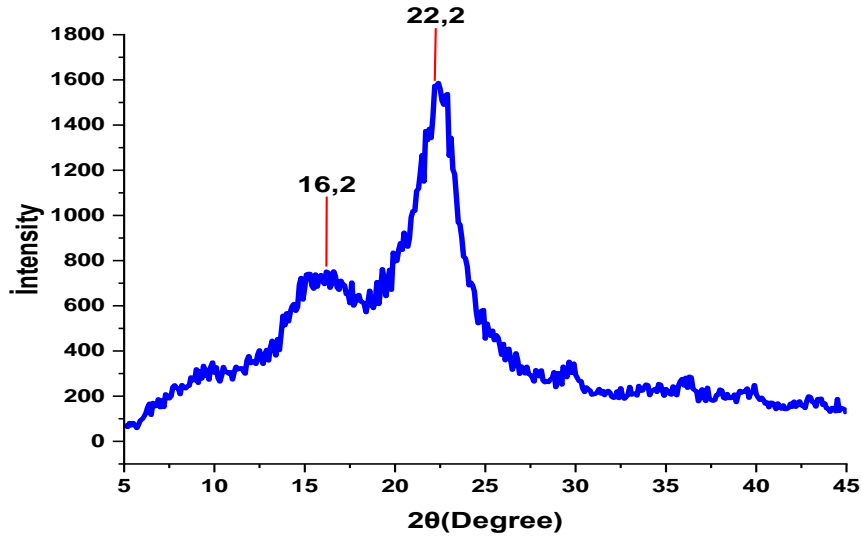


Şekil 5. *J. compressus* sap selülozunun termal bozunma davranışı

J. compressus sap selülozunun termal bozunma davranışı, Şekil 5 'te gösterildiği gibi TG ve DTG eğrileri kullanılarak değerlendirilmiştir. *J. compressus* sap selülozunun termal bozunmasının üç aşamada gerçekleştiği saptandı. Liften nemin kaybolması nedeniyle erken bozulma 53.6°C' de fark edilmiştir (Manimaran vd. 2016). İlk bozunmanın görüldüğü (30°C-100°C) arasında % 7.6 kütle kaybı kaydedildi. Ardından yaklaşık 240°C' e kadar bir termal stabilite gözlenmiştir. İkinci ana bozunma, 240°C' den 400°C' ye doğru gelişti; buradaki kütle kaybı hemiselülozların termal bozunmasıyla bağlantılı olarak tespit edilmiştir. 337.5°C'de gözle görülür bir tepe noktası, selülozun bozunması nedeniyle büyük bir kütle kaybına işaret etmiştir (Reddy vd. 2012). Son bozunma 500°C ila 650°C arasındaki nihai bölge ise kömürleşmiş kalıntının bozunması sonucu ortaya çıkmıştır. *J. compressus* sap selülozunun termal bozunma davranışı *Juncus acutus* ve *Juncus effusus* termal bozunması ile benzerlik göstermektedir. *J. acutus* ve *J. effusus* 200°C' ye kadar termal stabilite göstermiştir (El Ghali vd. 2012; Maache vd. 2017).

3.4. X-ışını Kırınımı (XRD) Analizi

J. compressus sap selüloz liflerine ait XRD grafiği Şekil 6' da verilmiştir.



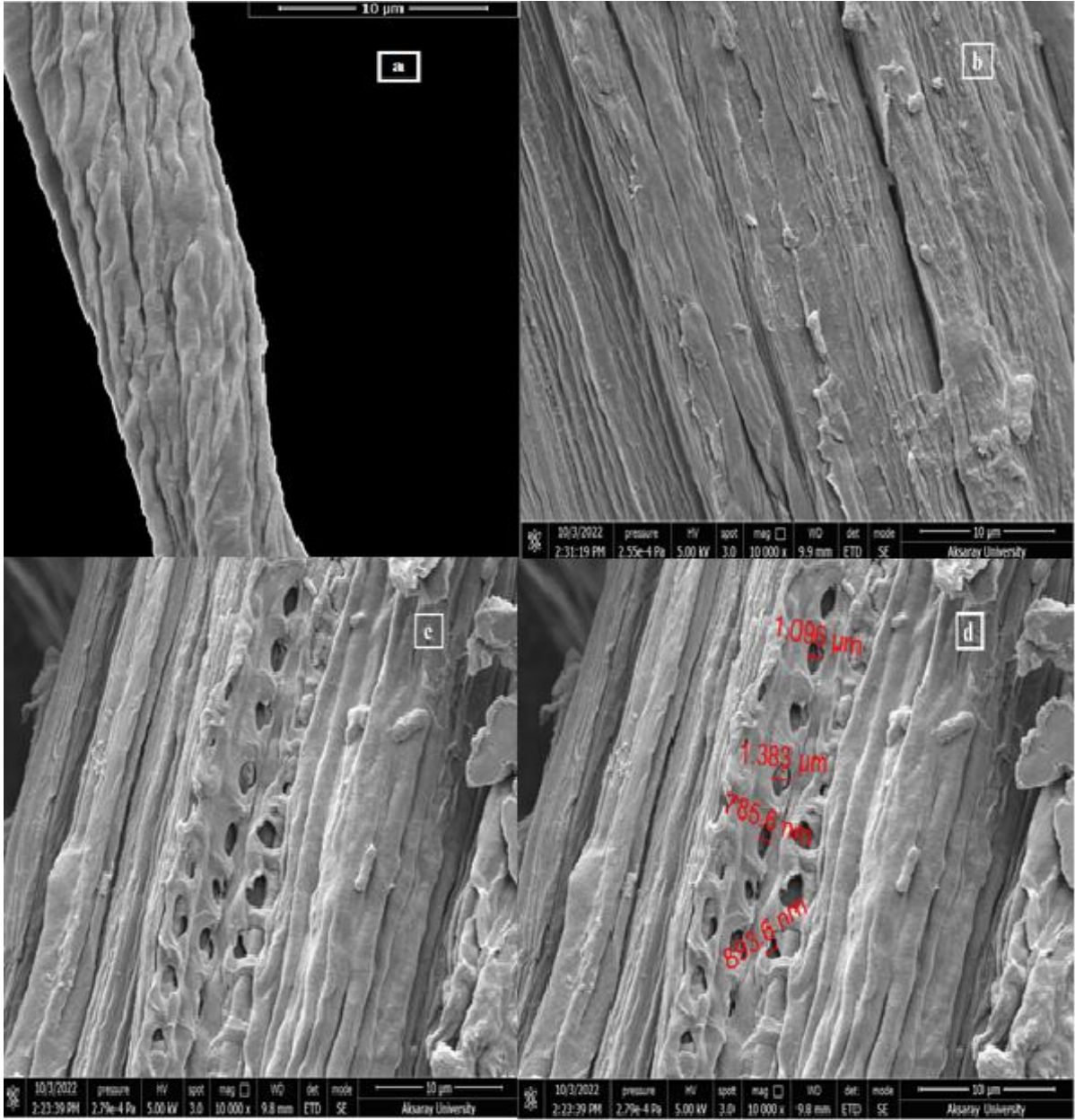
Şekil 6. *J. compressus* sap selüloz fiberi XRD grafiği

Şekil 6' da verilen *J. compressus* sap selüloz lifleri için amorf ve selüloz I bileşenlerini temsil eden iki belirgin tepe gözlemlenmiştir. İlk tepe, amorf bileşeni temsil eden 110 düzlemine karşılık gelen $2\theta = 16.2^\circ$ aralığında gözlenir. $2\theta = 22.2^\circ$ aralığındaki ikinci tepe, selüloz I bileşeninin varlığından dolayı 200 düzlemine karşılık gelir (Vijay vd. 2022).

J. compressus sap liflerinin kristallik indeksi (CrI) % 27.2 olarak hesaplanmıştır. *J. compressus* sap liflerinin kristallik indeksi *J. effusus* (CrI) % 33.4 ve *Juncus rigidus* % 58.7 kristallik indekslerine göre düşük çıkmıştır (Maache vd. 2017; Singh vd. 2019).

3.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizi

Şekil 7' de *J. compressus* sap liflerinin yüzey morfolojisini gösterilmektedir. Şekil 7a *J. compressus* sap selülozuna ait lif görülmektedir ve çapı $4.943 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Şekil 7b lif yüzeyi göstermektedir ve lif yüzeyi pürüzlüdür. Lif üzerinde küçük boşluklu hücre yapıları Şekil 7c ve 7d' de gözlenmiştir. Ayrıca *J. compressus* sap selüloz liflerinin çok sayıda yarı ve oluk ile pürüzlü bir yüzey yapısına sahip olduğunu göstermektedir. *J. compressus* sap liflerinde olduğu gibi lifin pul pul ve pürüzlü dış yapıya sahip olması ve bol miktarda mikrometre boyutunda boşlukların bulunması polimer kompozit üretiminde liflerin matris ile bağlanma gücünü arttırdığı bildirilmiştir (Indran vd. 2014).



Şekil 7. *J. compressus* sap liflerinin SEM görüntüleri

3.6. Elemental Analiz (EA)

J. compressus sap selüloz fiberinin elemental analiz sonuçları Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2. *J. compressus* Sap Selüloz Liflerinde Bulunan Elementler

Element Adı:	%N	%C	%H	%O*	%H/C	%N/C
	0.32	41.39	5.6	52.69	0.13	0.017

* Aradaki farktan hesaplanmıştır.

J. compressus sap liflerinin Elemental Analiz (EA) sonuçlarına göre izole edilen selüloz liflerinin içerisinde % 52.69 ile en fazla oksijen elementi ve sıra ile % 41.39 karbon elementi, % 5.6 hidrojen elementi, % 0.32 azot elementi bulunduğu saptanmıştır. Eser miktarda bulunan azot elementlerinin varlığı selüloz lif içerisinde bir miktar lignin ve eser miktarda protein kalıntısı olabileceğine işaret etmektedir. *J. compressus* sap liflerinin oksijen elementi oranının yüksek olma sebebi yüksek uçucu madde veya lif bünyesinde fazla nem ihtiva etmesinden kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. *J. compressus* sap liflerinin % H/C oranının ve % N/C oranının alkali uygulaması görmüş talaş selüloz lifleri ile benzer oranlarda olduğu görülmüştür ve diğer çalışmalarla paralellik göstermektedir (Ceylan vd. 2020).

Sonuç

Bu çalışmada *J. compressus* bitkisinden elde edilen yeni doğal bir lifin özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar *J. compressus* sap liflerinin % 43.51 selüloz oranına sahip olduğunu göstermiştir. F-TIR analizi asit/alkali uygulamasının ardından liflerin selülozik özelliklere sahip olduğunu göstererek lignin ve hemiselülozların yapıdan uzaklaştığını doğrulamıştır. Termo gravimetrik (TGA) analiz sonucu *J. compressus* sap selülozunun 240°C'ye kadar termal olarak kararlı olduğunu selüloz lifleri bozunmasının 337.5°C gerçekleştiğini göstermiştir. *J. compressus* sap liflerinin kristallik indeksi (CrI) 27.2 olarak hesaplanmıştır ve yarı kristal bir yapı olduğu görülmüştür. SEM ile yapılan morfoloji çalışması *J. compressus* sap selüloz liflerinin çok sayıda yarık ve oluk ile pürüzlü bir yüzey yapısına sahip olduğunu göstermiş ve polimer biyokompozitler için matrislerin lif yüzeyine bağlanmasının mümkün olduğu belirlenmiştir. Elemental analiz *J. compressus* sap selülozunda en fazla % 52.69 ile oksijen elementinin ardından % 41.39 karbon elementinin varlığını göstermiş, % H/C oranının ve % N/C oranının benzer çalışmalarda selüloz lifleri ile yakın oranlarda olduğu görülmüştür. *J. compressus* sap liflerinin fiziksel, morfolojik ve termal bozunma özelliklerinin *J. effusus*, *J. rigidus*, *Juncus* sp. ve *J. acutus* ile benzer olduğu görülmüştür ve *J. compressus* sap liflerinin de biyokompozitler için alternatif malzeme olabileceğini bu çalışma açıkça göstermiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Harun METİN'in Doktora Tezinin bir kısmından yararlanılarak hazırlanmıştır.

Çıkar Çatışması

Makalenin hiçbir yazarı için bilinen ya da olası bir çıkar çatışması yoktur.

Kaynaklar

Bizim Bitkiler (2022). <http://www.bizimbitkiler.org.tr/v3/demo/details.php?id=8105&t=1>. Erişim tarihi: 10 Haziran 2022.

Candiotti S, Mantari J L, Flores C E, Charca S (2020). Assessment of the mechanical properties of peruvian *Stipa Obtusa* fibers for their use as reinforcement in composite materials. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 135(May), 105950. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2020.105950>

Ceylan Z, Taşar Ş, Kaya F, Özer A (2020). Farklı Biyokütle Atıklarının Alkali Ön İşlem Etkinliklerinin İncelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8, 2296–2312. <https://doi.org/10.29130/dubited.702096>

El Ghali A, Marzoug I Ben, Baouab M H V, Roudesli M S (2012). Separation and characterization of new cellulosic fibres from the *Juncus acutus* L plant. *BioResources*, 7(2), 2002–2018. <https://doi.org/10.15376/biores.7.2.2002-2018>

Ganapathy T, Sathiskumar R, Senthamarai kanna n P, Saravanakumar S S, Khan A (2019). Characterization of raw and alkali treated new natural cellulosic fibres extracted from the aerial roots of banyan tree. *International Journal of Biological Macromolecules*, 138, 573–581. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.07.136>

Indran S, Edwin Raj R, Sreenivasan V S (2014). Characterization of new natural cellulosic fiber from *Cissus quadrangularis* root. *Carbohydrate Polymers*, 110, 423–429. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.04.051>

Khan A, Raghunathan V, Singaravelu D L, Sanjay M R, Siengchin S, Jawaid M, Alamry K A, Asiri A M (2022). Extraction and Characterization of Cellulose Fibers from the Stem of *Momordica Charantia*. *Journal of Natural Fibers*, 19(6), 2232–2242. <https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1807442>

Kumar A, Negi Y S, Bhardwaj N K, Choudhary V (2012). Synthesis and characterization of methylcellulose/PVA based porous composite. *Carbohydrate Polymers*, 88(4), 1364–1372. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.02.019>

Li W, Wu Q, Zhao X, Huang Z, Cao J, Li J, Liu S (2014). Enhanced thermal and mechanical properties of PVA composites formed with filamentous nanocellulose fibrils. *Carbohydrate Polymers*, 113, 403–410. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.07.031>

López-Linares J C, García-Cubero M T, Lucas S, Coca M (2020). Integral valorization of cellulosic and hemicellulosic sugars for biobutanol production: ABE fermentation of the whole slurry from microwave pretreated brewer's spent grain. *Biomass and Bioenergy*, 135(October 2019). <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105524>

Maache M, Bezazi A, Amroune S, Scarpa F, Dufresne A (2017). Characterization of a novel natural cellulosic fiber from *Juncus effusus* L. *Carbohydrate Polymers*, 171, 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.04.096>

Manimaran P, Saravanakumar S S, Mithun N K, Senthamaraikannan P (2016). Physicochemical properties of new cellulosic fibers from the bark of *Acacia arabica*. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 21(6), 548–553. <https://doi.org/10.1080/1023666X.2016.1177699>

Manimaran P, Senthamaraikannan P, Sanjay M R, Marichelvam M K, Jawaid M (2018) Study on characterization of *Furcraea foetida* new natural fiber as composite reinforcement for lightweight applications. *Carbohydrate Polymers*, 181:650-658. doi:10.1016/j.carbpol.2017.11.099

Naili H, Jelidi A, Limam O, Khiari R (2017). Extraction process optimization of *Juncus* plant fibers for its use in a green composite. *Industrial Crops and Products*, 107(June 2016), 172–183. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.05.006>

Özbek B. (2015). Türkiye'nin İç Anadolu bölgesindeki *Juncus L.* (Juncaceae) cinsinin revizyonu. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora tezi, sayfa no:90, Ankara, Türkiye.

Reddy K O, Shukla M, Maheswari C U, Rajulu A V (2012). Evaluation of mechanical behavior of chemically modified *Borassus* fruit short fiber/unsaturated polyester composites. *Journal of Composite Materials*, 46(23), 2987–2998. <https://doi.org/10.1177/0021998312454032>

Segal L, Creely J J, Martin A E, Conrad C M (1959). An Empirical Method for Estimating the Degree of Crystallinity of Native Cellulose Using the X-Ray Diffractometer. *Textile Research Journal*, 29(10), 786–794. <https://doi.org/10.1177/004051755902901003>

Sharma A, Mandal T, Goswami S (2017). Cellulose nanofibers from rice straw: process development for improved delignification and better crystallinity index, *Trends Carbohydrate, Res.*, 9 , pp. 16-27

Singh A, Ranawat B, Meena R (2019). Extraction and characterization of cellulose from halophytes: next generation source of cellulose fibre. *SN Applied Sciences*, 1(11), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1160-6>

Vijay R, James Dhilip J D, Gowtham S, Harikrishnan S, Chandru B, Amarnath M, Khan A (2022). Characterization of Natural Cellulose Fiber from the Barks of *Vachellia farnesiana*. *Journal of Natural Fibers*, 19(4), 1343–1352. <https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1764457>

Vyas K D, Ranawat B, Singh A (2021). Development of high frequency cost-effective micropropagation protocol for *Juncus rigidus* using liquid culture medium and extraction of cellulose from their in vitro shoots - An important rush. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 35(March), 102099. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102099>

Zhu W, Liu L, Liao Q, Chen X, Qian Z, Shen J, Liang J, Yao J (2016). Functionalization of cellulose with hyperbranched polyethylenimine for selective dye adsorption and separation. *Cellulose*, 23(6), 3785–3797. <https://doi.org/10.1007/s10570-016-1045-4>