



ELMA SUYU, VIŞNE SUYU VE GÜL YAĞI İŞLEME ATIKLARINDAN SELÜLOZ LİFİ ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Ece SÖĞÜT^{1*}

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler Öz

*Tarımsal atıklar,
Selüloz lifi,
Atık değerlendirme.*

Bu çalışmada, vişne ve elma suyu işleme atıkları ile gül yağı üretiminden elde edilen atıkların içerdiği lignoselülozik yapıdan selüloz lifi eldesi incelenmiştir. Bu kapsamda, posa önce 1:10 oranında su ile seyreltilmiş, 121°C'de 30 dakika işleme tabi tutularak kısmi çözünürlüğü sağlanmıştır. Daha sonra, filtre edilerek suda çözünen kısım ve lignoselülozik yapı olarak iki kısma ayrılmıştır. Elde edilen yapı, 121°C'de 30 dakika boyunca 1M NaOH ile alkali işleme tabi tutulmuş ve ardından %45 H₂SO₄ ile 50°C'de 45 dakika asit hidrolizi uygulanarak selüloz lifleri elde edilmiştir. Elde edilen ürünler, selüloz, lignin, pektin, şeker ve fenolik içerik bakımından analiz edilmiş; ayrıca ekstrakte edilen selüloz, morfolojik (SEM ve FTIR) ve termal olarak incelenmiştir. Sonuçlara göre, ön işlem sonrasında en yüksek selüloz oranı %50.20 ile elma posasında, en yüksek lignin oranı ise %50.63 ile vişne posasında tespit edilmiştir. FTIR analizi, elma posasından elde edilen liflerin daha belirgin bir selüloz yapısına sahip olduğunu ortaya koymuştur. SEM görüntüleri ise, elma posası liflerinin daha düzenli ve belirgin lif yapısı gösterdiğini; buna karşın vişne ve gül posası liflerinde çeşitli safsızlıkların bulunduğunu göstermiştir. TGA analizi elma posasından elde edilen liflerin termal kararlılığının daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu bulgular, elma posasından elde edilen selüloz liflerinin biyobozunur ambalaj malzemeleri için incelenen diğer ürünlere göre daha uygun bir dolgu maddesi olduğunu göstermektedir.

EXTRACTION OF CELLULOSE FIBERS FROM APPLE JUICE, CHERRY JUICE, AND ROSE OIL PROCESSING WASTES AND ITS CHARACTERIZATION

Keywords

*Agro-industrial
waste,
Cellulose fiber,
Waste utilization.*

Abstract

In this study, the production of cellulose fiber from lignocellulosic structure contained in cherry and apple juice processing wastes and wastes obtained from rose oil production was investigated. In this context, the pulp was first diluted with water at a ratio of 1:10 and partially solubilized by processing at 121°C for 30 minutes. Then, it was filtered and separated into two parts as water-soluble and lignocellulosic structure. The obtained structure was subjected to alkali treatment with 1M NaOH at 121°C for 30 minutes and then cellulose fibers were obtained by acid hydrolysis with 45% H₂SO₄ at 50°C for 45 minutes. The obtained products were analyzed in terms of cellulose, lignin, pectin, sugar and phenolic content; in addition, the extracted cellulose was examined morphologically (SEM and FTIR) and thermally. According to the results, the highest cellulose ratio after pretreatment was determined as 50.20% in apple pomace, and the highest lignin ratio was determined as 50.63% in cherry pomace. FTIR analysis revealed that the fibers obtained from apple pomace had a more distinct cellulose structure. SEM images showed that the apple pomace fibers showed a more regular and distinct fiber structure; nevertheless, it presented various impurities in cherry and rose pomace fibers. TGA analysis showed that the thermal stability of the fibers obtained from apple pomace was higher. These findings indicate that the cellulose fibers obtained from apple pomace are a more suitable filler for biodegradable packaging materials compared to the other products examined.

Alıntı / Cite

Söğüt, E., (2025). Elma Suyu, Vişne Suyu ve Gül Yağı İşleme Atıklarından Selüloz Lifi Üretimi ve Özelliklerinin Belirlenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 13(2), 556-569.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E. Söğüt, 0000-0003-4052-993X

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	05.03.2025
Revizyon Tarihi / Revision Date	03.05.2025
Kabul Tarihi / Accepted Date	20.05.2025
Yayın Tarihi / Published Date	27.06.2025

* İlgili yazar / Corresponding author: ececagdas@sdu.edu.tr, +90-246-211-1844

CELLULOSE FIBER EXTRACTION FROM AGRO-INDUSTRIAL WASTES AND CHARACTERIZATION

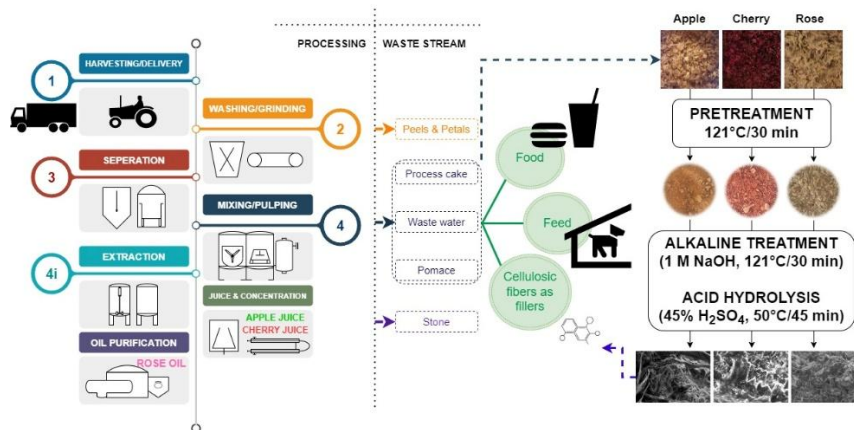
Ece Söğüt^{1†}

Suleyman Demirel University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Food Engineering Department, Isparta, Türkiye

Highlights

- Apple pomace yielded the highest cellulose purity (50.20%).
- Rose petal pomace exhibited moderate cellulose content and antioxidant potential.
- Cherry pomace showed the highest lignin content (50.63%).
- Apple cellulose fibers exhibited better morphological properties and thermal stability.

Graphical Abstract



Şekil./Figure. Tarımsal İşleme Süreçlerinde Sürdürülebilirlik Yaklaşımları (Sustainability Approaches in Agricultural Processing)

Purpose and Scope

The objective is to explore the potential of lignocellulosic by-products including cherry and apple juice processing residues and rose oil processing waste as potential fillers for packaging materials. The research addresses the global challenge of reducing agricultural waste and developing eco-friendly solutions by converting waste into value-added products.

Design/methodology/approach

1. Pre-treatment: The pomace is diluted with water at a 1:10 ratio and treated at 121°C for 30 minutes to achieve partial solubility by separating into water-soluble and lignocellulosic fractions.
2. Alkaline and Acid Hydrolysis: The pre-treated pomace undergoes alkaline treatment with NaOH (1M) at 121°C for 30 minutes, followed by acid hydrolysis (45% H₂SO₄, 50°C/45 minutes) to extract cellulose fibers.
3. Characterization and Analysis: The pre-treated products are analyzed for cellulose, lignin, pectin, carbohydrate, and phenolic contents. For the extracted cellulose fiber, morphological characterization is performed using SEM and FTIR, and thermal properties are assessed using TGA.

Findings

The highest cellulose content was obtained from apple pomace (50.20%), whereas cherry pomace exhibited the highest lignin content (50.63%). FTIR analysis revealed a more distinct cellulose structure in fibers extracted from apple pomace, with a higher OH group density. SEM images showed that apple pomace fibers have a more homogeneous and fibrous structure, whereas cherry and rose pomace fibers contained more impurities. TGA analysis confirmed the thermal stability of cellulose fibers, with apple pomace fibers demonstrating higher thermal stability than other sources. These findings indicate that cellulose fibers obtained from apple pomace are more suitable as filler material for packaging materials compared to those extracted from cherry and rose pomace.

Originality

It provides novel insights into the structural characteristics of cellulose fibers by demonstrating the potential of agricultural waste as a valuable resource for the growing field of sustainable materials.

[†] Corresponding author: ececagdas@sdu.edu.tr, +90-246-211-1844

1. Giriş (Introduction)

Dünya genelinde, tarım sektöründen her yıl büyük miktarda kalıntı biyokütle (katı, sıvı ve gaz) üretilmektedir (Santana-Meridas vd., 2012). Aynı zamanda, bu atıkların çoğu, çevre dostu olarak geri dönüştürülmezlerse büyük çevresel problemlere yol açmaktadırlar (Liang vd., 2011). Kalıntı biyokütle, bir üretim sürecinde kasıtlı olarak üretilmeyen herhangi bir biyolojik malzeme olarak tanımlanır (Olofsson ve Börjesson, 2018). Biyokütlenin değerlendirilmesinde iki temel yöntem bulunmaktadır: biyoaktif bileşenlerin çıkarılması/geri kazanımı ve atıkların katma değerli başka ürünlere dönüştürülmesi. Bu bağlamda; tarım, gıda, tıbbi ve aromatik bitkiler gibi endüstrilerden geri kazanılan biyoaktif bileşenlerce zengin biyokütlenin verimli kullanımı ve geri dönüşümü, ekonomik kazanç, çevresel sürdürülebilirlik ve sosyal faydalar göz önünde bulundurulduğunda büyük önem taşımaktadır (Galanakis, 2015). Gıda endüstrilerinden, meyve ve sebze işleme prosesleri, hammaddenin yaklaşık %25-30'unu oluşturan önemli miktarlarda yan ürün/atık oluşturmaktadır (Sagar vd., 2018). Türkiye genelinde toplam biyoaktif miktarının yaklaşık 61 milyon ton iken kullanılabilir biyoaktif miktarının ise 15 milyon ton olduğu rapor edilmiştir (Anonim, 2020). Bu bağlamda, gıda işleme sonrası oluşan posalar ve tarımsal atıkların değerlendirilmesi için polifenollerin çıkarılması (Struck vd., 2016), fonksiyonel gıda bileşenleri olarak gıda ürünlerine dahil edilmesi (Jung vd., 2015), besin takviyesi olarak bakteriyel selüloz üretilmesi (Fan vd., 2016), katkı maddesi olarak seramik malzemelerle birleştirilmesi (Cotes-Palomino vd., 2016) ve yenilebilir filmler üretme (Park ve Zhao, 2006) gibi bazı girişimlerde bulunulmasına rağmen, üretilen posanın sadece yaklaşık % 20'si kullanılabilmiş ve çoğunluğu hayvan yemi olarak kullanılmış ya da organik madde kompostu haline getirilmiştir (Gouw vd., 2017). Ek olarak atıklardan elde edilen selülozun, ara difüzyon, mekanik kenetlenme, kapiler kuvvetler, Coulomb kuvvetleri, hidrojen bağı ve van der Waals kuvvetleri gibi adhezyon özellikleri sayesinde lif bazlı kompozit malzemelerde kullanılma potansiyeli yüksektir (Gardner vd., 2008; Hirn ve Schennach, 2015).

Elma posası, meyve suyu işleme atığı olup, elmanın başlıca kabuğu ve eti (%95), tohumları (%2-4) ve saplarından (%1) oluşur. Toplam işlenmiş meyve miktarının %25-35'i kadar posa/atık oluşturur (Melikoğlu vd., 2019). Bu tür atıkların geri dönüştürülmesine yönelik olasılıklardan biri, selülozun çıkarılması ve oldukça dayanıklı, geri dönüştürülebilir ve çevresel olarak sürdürülebilir ambalaj malzemelerinde katkı olarak kullanılmasıdır (Zhou vd., 2014). Atıklardan elde edilen selüloz lifleri, lignoselülozik bileşenler, biyokompozit ambalaj malzemeleri üretiminde, enerji, elektronik ve biyomedikal sektörlerinde kullanım potansiyeline sahiptir (Li vd., 2009; Xu vd., 2018; Fragal vd., 2016; Jackson vd., 2011; Wang vd., 2015; Xiong vd., 2016). Vişne posası da elma suyu üretiminde olduğu gibi, vişne suyu üretimi sonrasında elde edilen bir atık çeşidi olup pektin gibi polisakaritlerce ve fenolik bileşenlerce zengin olduğu için çevresel problemlere neden olmaktadır (Domínguez-Rodríguez vd., 2021). Vişne posası gibi gıda işleme atıklarının değerlendirilmesinde tek bir bileşenin ekstraksiyonu üzerine yapılan çalışmalar yerini, bu posanın zengin içeriği nedeniyle tüm bileşenlerinin kademeli olarak ekstrakte edildiği çalışmalara bırakmaktadır (Hosseini vd., 2020). Taze gül çiçeklerinden elde edilen ana ürünler gül yağı, konkret, absolüt ve gül suyu olup, parfümeri, eczane ve gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bulgaristan, Türkiye ve İran dünyanın en büyük üreticileri olup, aynı zamanda gül yağının %90'undan fazlasını tedarik etmektedir. Geleneksel gül yağı üretme yöntemi buhar damıtma işlemidir (işlenen bitki materyalinin yaklaşık %90'ı), ardından gül konkriti üretimi ve polar olmayan çözücü ekstraksiyonu (%5-6) ve kalan %3-4'ü de gül suyu yapmaktır (Slavov vd., 2017). Bir kilogram gül yağı üretimi için yaklaşık 4000 kg taze gül yaprağının damıtılması gereklidir ve ilk gül kütlelerinin 1 kg'ından yaklaşık 2 kg ıslak atık üretilmektedir (Erbaş, ve Baydar 2016; Kovachevaet vd., 2010). Bu gerçeğe bağlı olarak, büyük miktarlarda atık üretilir ve damıtma tesislerinin çoğu, biyokütleyi yakındaki konumlara atar. Ancak bu yaklaşım, gül atığı biyokütlesinde bulunan biyolojik olarak aktif değerli maddelerin geri kazanılmasına izin vermez, ayrıca toprak ve suyun biyo-kontaminasyonuna neden olur. Bu atıkların değerlendirilmesi üzerine yapılan diğer yöntemler arasında polifenol ekstraksiyonu (Mollov vd., 2007) ve suda çözünür polisakarit eldesi gibi yöntemler bulunmaktadır (Slavov vd., 2013, 2016; Galanakis, 2015).

Özellikle vişne ve elma suyu gibi meyve suyu işleme süreçlerinde oluşan tarımsal yan ürünlerden selüloz liflerinin ekstrakte edilmesi, atık malzemelerin sürdürülebilir kullanım potansiyeli nedeniyle giderek daha fazla ilgi görmektedir. Örneğin, Pham vd. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada, lignoselülozik atığın selüloz üretimi için potansiyeli vurgulanarak, benzer metodolojilerin meyve suyu işlemeden elde edilen diğer tüm meyve artıklarına uygulanabileceğini öne sürülmüştür. Owonubi vd. (2021) tarafından yapılan bir başka çalışmada, nanoselüloz eldesi için odun türevi olmayan biyokütle kaynaklarından oluşan tarımsal artıkların çok yönlü kullanılabilirliği vurgulanmıştır. Bu durum, bitkisel lif atıklarından selülozun geri dönüşümünü tartışan Halis vd. (2019)'nın bulgularıyla uyumludur ve çeşitli ekstraksiyon yöntemlerinin meyve suyu işleme atıkları da dahil olmak üzere farklı biyokütle türleri için uyarlanabileceğini göstermektedir. Ek olarak, Salem vd. (2020) tarımsal atıkların selüloz eldesinde kullanılma potansiyelini incelemiş ve çeşitli yenilenebilir kaynaklardan lignoselülozik liflerin sürdürülebilir bir şekilde üretimini bulgularıyla desteklemiştir. Gül yağı üretim endüstrisinde, gül bitkisi kalıntılarında selüloz eldesi ile ilgili çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Ancak, Mazlan vd. (2020) tarafından palm yağı üretimi sonrasında oluşan atıklardan selüloz nanokristalleri elde edilmesi ile ilgili yapılan araştırma, gül

yağı ekstraksiyonundan elde edilenler de dahil olmak üzere yağlı bitki kalıntılarından selüloz ekstraksiyon potansiyelini göstermektedir. Benzer şekilde, doğal bitki atıklarının (örneğin kır kahvesi telvesi, yabani otlar, kamışgiller ve meyve kabukları gibi) sürdürülebilir selüloz üretimi için önemli hammaddeler olarak kullanılabilirliği birçok çalışmada gösterilmiştir (Seki vd., 2022a; Keskin vd., 2022; Köktaş vd., 2022; Seki, 2025). Bu tür alternatif biyokütle kaynakları, geleneksel selüloz üretimine kıyasla daha düşük çevresel etki ve yüksek geri dönüşüm potansiyeli sunmaktadır.

Çeşitli atıklar ile birleştirilmiş gıda ambalajlarının geliştirilmesi, çevre dostu ve uygun maliyetli süreçlerin kullanılmasını önermekte ve biyolojik olarak parçalanabilen malzemelerin sürdürülebilir gelişimine katkıda bulunan atıklara değer katmaktadır (Kim ve Seo, 2018; Wilson vd., 2018). Bu atıkların gıda ambalajlarında kullanımı umut vericidir ve çok fazla potansiyele sahiptir, ancak mevcut araştırmalar hala azdır ve toplu olarak kullanımlarını artırmak ve geleneksel ambalaj malzemelerine alternatif olarak güvenliğini ve ticari uygulamalarını göstermek için daha fazla araştırma gereklidir. Bu nedenle, bu çalışma, seçilen tarımsal atıklardan (elma posası, vişne posası, gül yaprağı posası) ambalaj malzemesi dolgu maddesi olarak kullanılacak selüloz liflerinin ekstraksiyonunu amaçlamaktadır. Sonuç olarak, bu çalışma literatürde ayrı ayrı değerlendirilen meyve suyu ve aromatik bitki atıklarını karşılaştırmalı olarak incelemektedir. Elma, vişne ve gül işleme atıklarının aynı metodolojiyle selüloz lifi elde etme açısından verimlilik, saflık ve yapısal özellikler bakımından değerlendirilmesi, çalışmaya kıyaslama perspektifi kazandırmaktadır. Ayrıca, elde edilen liflerin kimyasal (FTIR) ve morfolojik (SEM) verileri birlikte yorumlanması, kaynak bazlı yapısal farklılıkların belirlenmesine katkı sağlamaktadır. Bu yönüyle çalışma, özellikle elma posasının biyobozunur ambalaj sistemlerinde dolgu maddesi olarak kullanım potansiyelini vurgulayan nitelikli bir ön değerlendirme sunmaktadır.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

2.1. Materyal (Material)

Elma posası ve vişne posası Isparta-Eğirdir'de faaliyet gösteren yerel elma işleme ve vişne suyu işleme firmalarından Elma-Su A.Ş.- Elmataş A.Ş.'den temin edilmiştir. Gül yağı işleme sonrası elde edilen atık gül yaprağı posası, Isparta-Keçiborlu'da faaliyet gösteren gül yağı işleme firmalarından temin edilmiştir. Tüm kimyasal reaktifler analitik saflıkta ve tüm standartlar kromatografik saflıkta olacak şekilde Sigma Aldrich (St. Louis, Missouri, ABD)'den veya uygun diğer firmalardan temin edilmiştir.

2.2. Posanın karakterizasyonu (Characterization of raw materials)

Temin edilen atıklar lignoselülozik kompozisyonunu incelemek için ilk önce kurutulmuş (60°C/24-48 saat) ve öğütme işlemine tabi tutulmuştur. Öğütülmüş kuru ürünün nem (105°C'de etüvde) ve kül (525°C'de kül fırınında) içerikleri belirlenmiştir (AOAC, 1999). Ürünlerin lignin, hemiselüloz, selüloz ve pektin miktarları ise Gouw vd. (2017) ve Miranda vd. (2019) tarafından uygulanan yöntemler kullanılarak belirlenmiştir.

Hemiselüloz miktarı için 1 g katı örnek 150 mL 0.5 N NaOH ile muamele edilip 3.5 saat boyunca kaynatılmış ve daha sonra filtre edilen örnek nötr pH'ya gelene kadar yıkanmıştır. Kalıntı daha sonra 105°C'de kurutulup ağırlık farkından faydalanılarak hemiselüloz miktarı belirlenmiştir.

Lignin miktarı, ürünlerin 25°C'de 2 sa boyunca %72'lik H₂SO₄ ile muamele edildikten sonra %3 H₂SO₄ miktarına kadar seyreltilip 120°C'de 60 dakika reaksiyona sokulması ve filtrat miktarının 24 saat sonunda ölçülmesiyle belirlenmiştir.

Selüloz miktarı ise, toplam kütlede hemiselüloz, lignin, kül vb. diğer miktarların çıkarılması ile hesaplanmıştır.

Pektin miktarı için, 5 g örnek 250 mL sitrik asit (pH=2.5) çözeltisi ile karıştırılarak 95°C'de 30 dak boyunca inkübe edilip filtre edildikten sonra filtrat 4°C'de 12 sa bekletilmiş ve sonrasında %96'lık etanol ile (125 mL) 10 dak boyunca karıştırılmıştır. Elde edilen karışım oda sıcaklığında pektinin çökmesi için yaklaşık 12 sa dinlendirilmiş ve çöken pektin filtre kağıdından geçirilerek 55°C'de 24 sa boyunca kurutulmuştur. Pektin miktarı gravimetrik olarak belirlenmiştir.

Selüloz ve hemiselüloz türevi monosakkaritler (ramnoz, arabinoz, ksiloz, galaktoz, glukoz) sıvı kromatografik yöntemlerle belirlenmiştir (Manzanares vd., 2020). Bu bağlamda, şeker analizi için öncelikle her bir örnekten 1 g kuru posa, 10 mL ultra saf su ile karıştırılmış ve manyetik karıştırıcı eşliğinde 70 °C'de 30 dakika boyunca ekstrakte edilmiştir. Karışım süzgeç kâğıdından süzülerek HPLC enjeksiyonu için sıvı faz elde edilmiştir. Analizler, yüksek performans sıvı kromatografi (HPLC) (Shimadzu SCL-10A, Kyoto, Japonya) sistemi kullanılarak, refraktif indeks dedektörü (RID-20A) ile gerçekleştirilmiştir. Ayırma işlemi için Agilent Hi-Plex Na kolonu (300 × 7.7 mm,

8 µm; monomerik sodyum formunda kation değişim kolonu) kullanılmıştır. Mobil faz olarak 0.015 M NaOH çözeltisi kullanılmış, analiz isokratik koşullarda, 70 °C kolon sıcaklığında ve 0.8 mL/dk akış hızında yürütülmüştür. Her bir örnekten 20 µL enjekte edilmiştir. Standart çözeltiler olarak ramnoz, arabinoz, ksiloz, galaktoz, glukoz ayrı ayrı enjekte edilmiş ve elde edilen pik alanlarına göre örneklerdeki şeker içerikleri, bilinen kalibrasyon eğrileri kullanılarak hesaplanmıştır.

2.3. Posaya ön işlem uygulanması ve karakterizasyonu (Pretreatment of pomace and their characterization)

Atıklardan selüloz ekstraksiyonu verimini arttırmak ve selülozun saflaştırılmasını kolaylaştırmak adına atıklarda bulunan hemiselüloz, lignin ve selüloz dışı diğer bileşenlerin uzaklaştırılması için sıcak su ile muamele (hidroliz) ön işlemi uygulanmıştır. Hidroliz için 1:10 (kuru posa/su) oranında seyreltilen posa, ön denemeler sonucu elde edilen veriler doğrultusunda 121°C'de 30 dak boyunca ısıtılmıştır. Elde edilen karışım filtre edilmiş ve katı faz saf su ile yıkandıktan sonra kurutulmuştur. Suda çözünen kısımda (sıvı) hemiselülozlar, pektik polisakkaritler ve fenolik bileşenler; katı kısımda ise lignoselülozik bileşikler incelenmiştir.

Suda çözünen kısımdaki hemiselüloz ve suda çözünmeyen kısımdaki lignin ve selüloz miktarları daha önce hammadde için anlatılan yöntemlerle belirlenmiştir (bkz. 2.2).

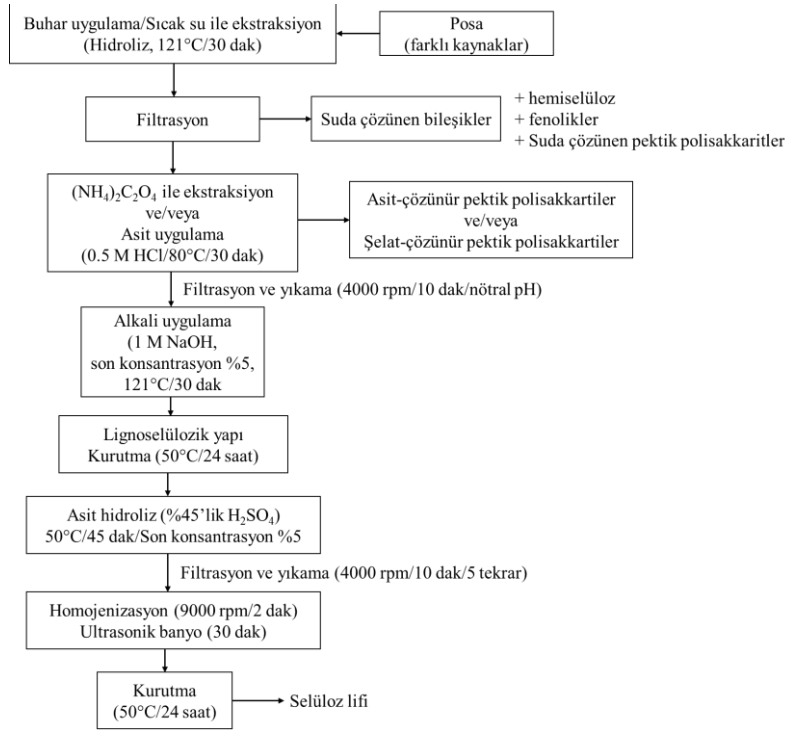
Suda çözünen kısımda bulunan bileşenler için toplam fenolik madde miktarı ve fenolik bileşen analizi sırasıyla spektrofotometrik ve kromatografik olarak belirlenmiştir. Fenolik bileşenlerin eldesi için, posaya asitle çöktürme (vişne için %1'lik HCl ve elma için 5 mL/L asetik asit) (Okur vd., 2019; Reis vd., 2012) ve organik çözücü (Vasileva vd., 2019) ile muamele etme gibi ön işlemler uygulanmış ve filtre edildikten sonra analizlerde kullanılmıştır.

Toplam fenolik madde miktarı Folin-Ciocalteu metodu kullanılarak belirlenmiştir (Singleton vd., 1999). Uygun oranlarda seyreltilen örnekten 1 mL alınarak 5 mL 0.2 N Folin reaktifi ve 4 mL Na₂CO₃ (%7.5, w/v) ile muamele edilmiş ve 2 saat karanlıkta inkübe edildikten sonra 765 nm dalga boyunda absorbanşı ölçülmüştür (Schimadzu, UV-1601, Japonya). Sonuçlar gallik asit eşdeğeri (g GAE/100g) cinsinden verilmiştir.

Örneklerdeki fenolik bileşik içerikleri, HPLC cihazı (Shimadzu SCL-10A, Kyoto, Japonya) kullanılarak diyot dizi dedektörü (DAD, SPD-M20A Shimadzu) ile analiz edilmiştir. Ayırma işlemi, ters faz C18 kolonu (Inertsil ODS-4, GL Sciences, 250 × 4.6 mm, 5 µm) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mobil faz olarak %15 (v/v) asetonitril içeren ve pH 4.5'e o-fosforik asit ile ayarlanmış saf su çözeltisi kullanılmıştır. Analizler izokratik koşullarda, 30 °C kolonda, 0.8 mL/dk akış hızıyla yürütülmüştür. Enjeksiyon hacmi 20 µL olarak belirlenmiştir. Standart çözeltiler (epikateşin, galik asit, kafeik asit, kateşin, klorojenik asit, kuersetin, p-kumarik asit) ayrı ayrı enjekte edilerek kalibrasyon eğrileri oluşturulmuş ve analiz edilen örneklerdeki konsantrasyonlar bu eğrilerle hesaplanmıştır.

2.4. Ön işlem uygulanan posadan selüloz lifi eldesi ve karakterizasyonu (Extraction of cellulose fiber from pre-treated pomace and their characterization)

Posadan lif üretimi basamakları Şekil 1'de özetlenmiştir.



Şekil 1. Farklı kaynaklardan temin edilen posaların değerlendirilmesi aşamaları (Title of Figure 1)

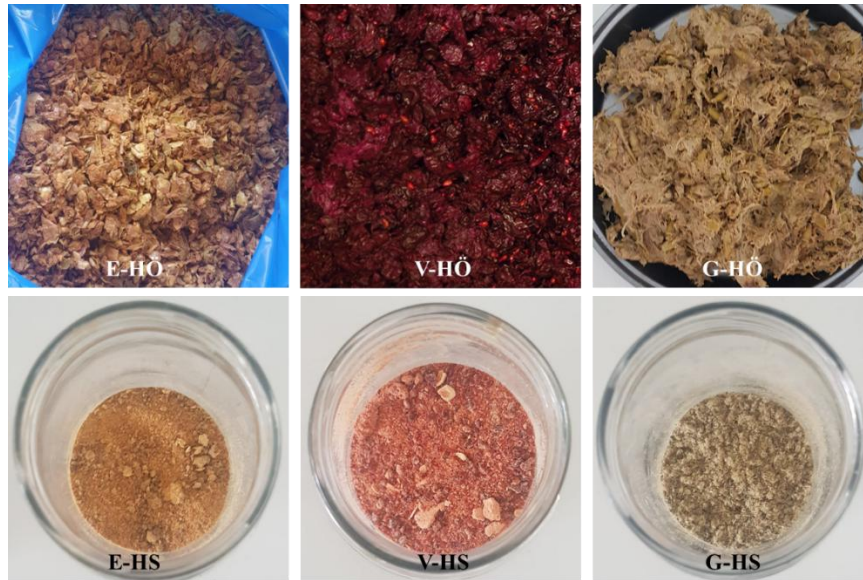
Hidroliz sonrası posada olması muhtemel kalıntı hemiselüloz, lignin ve diğer bileşenler çeşitli organik çözücüler, düşük konsantrasyonda asit ve baz kullanılarak uzaklaştırılmıştır. Amonyum okzalit (0.05M/50°C/1sa) (Slavov vd., 2017) ile ekstraksiyon işlemi gül yaprağı posasına uygulanırken, asit uygulama (0.5M HCl/80°C/30dak) (Melikoğlu vd., 2019) kısımları elma ve vişne posasına uygulanmıştır. Lif eldesi için uygulanan alkali uygulama aşaması %1 NaOH alkali konsantrasyonunda posanın %5 son konsantrasyona sahip olduğu ortamda 121°C'de 30 dak boyunca ısıtılmasıyla gerçekleştirilmiştir (Filho vd., 2020). İşlem bitirildikten sonra filtrasyon ve nötral pH değerine ulaşana kadar yıkama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen son ürün lignoselülozik lif olup 50-60°C'de en az 24 saat boyunca kurutulmuştur. Selülozu daha saf halde elde etmek amacıyla son konsantrasyon %5 olacak şekilde 50°C'de %45'lik H₂SO₄ ile asit hidrolizi gerçekleştirilmiştir. Saf su ile yıkama işleminden sonra nötral pH'ya ulaşana kadar yıkama ve filtrasyon yapılmıştır. Elde edilen süspansiyon homojen hale getirilerek (9000 rpm/2 dak) ultrasonik banyoda 30 dak boyunca tutulmuş ve ardından kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen selüloz liflerinin spektrum profili, 25°C'de ve 400-4000 cm⁻¹ aralığında kızılötesi absorpsiyon spektroskopisi (FTIR) (Spectrum Two FTIR spectrometer, Perkin Elmer, ABD) kullanılarak belirlenmiştir. Bunun yanı sıra morfolojik özellikleri düşük vakum (10 kV) ve 1000 kat büyütme altında taramalı elektron mikroskobu (SEM) (FEI Quanta 250 FEG, ABD) ile incelenmiştir. Örneklerin ısıl stabiliteleri, örneklerin 25°C'den 650°C'ye kadar 30 mL/dak azot gazı altında 10°C/dak ısıtma hızı ile (Mettler – Toledo, DSC 1/700) termogravimetrik yöntem kullanılarak belirlenmiştir.

3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma (Experimental Results and Discussion)

3.1. Posanın ve ön işlem uygulanan posanın karakterizasyonu (Characterization of pomace and pre-treated pomace)

Elma ve vişne posaları, meyve suyu endüstrisinin ve gül posası gül yağı üretim fabrikalarının ürettiği atıklar olup değerlendirme yapılabilecek değerli ürünlerdendir. Tarımsal ürünlerden elde edilen atıklar önemli bir lignoselülozik kütle (lignin, selüloz ve hemiselüloz) olup, fenolikçe zengin sulu ekstrakt, antioksidan özelliklere sahip lignin ve fermente edilebilir şekerler içermektedir (Gomez-Cruz vd., 2021). Lignoselülozik kütleden değerlendirme yapmak için kullanılan ön işlemlerden birisi sıcak su ekstraksiyonudur (hidroliz). Bu uygulamalarda, sıcaklığın yükseltilmesi daha fazla hemiselüloz geri kazanımı sağlar (Zetzl vd., 2011). Bu şekilde yapılacak bir uygulama, daha sonraki aşamalarda gerçekleştirilecek olan lignin ayrıştırılması işlemleri için lignin ekstraksiyon verimini artırma potansiyeline sahiptir (Ingram ve ark., 2011). Belirtilen bu nedenlerden dolayı, posalardan hemiselüloz, lignin ile suda çözünen diğer bileşenleri almak üzere posalara sıcak su ekstraksiyonu/buhar uygulama işlemi yapılmıştır. Elma (E), vişne (V) ve gül atıklarına (G) (hammadde-atıklar, HÖ) ve hidroliz sonrası (HS) elde edilen örnekler Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Elma (E), vişne (V) ve gül atıklarına (G) (hammadde-atıklar, HÖ) ve hidroliz sonrası (HS) elde edilen ürünler (Apple (E), cherry (V), and rose (G) waste before (HÖ) and after (HS) hydrolysis)

Hammaddeye ve hidroliz sonrası elde edilen katı kısma ait sonuçlar Tablo 1’de verildiği gibidir.

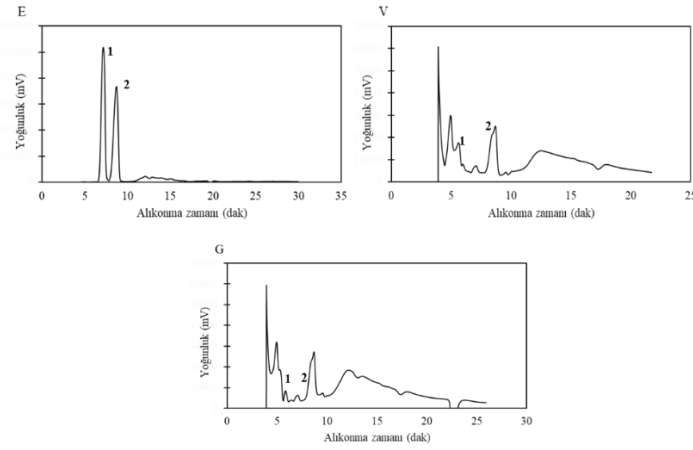
Tablo 1. Posa ve hidroliz sonrası elde edilen katı kısımda bulunan hemiselüloz, selüloz, lignin ve pektin miktarları ile örneklerin nem ve kül içerikleri (Hemicellulose, cellulose, lignin, and pectin contents found in pomace and solid part of pre-treated pomace)

İçerik (%)*	Hammadde (HÖ)			Ön işlem sonrası (HS)		
	Elma (E-HÖ)	Vişne (V-HÖ)	Gül (G-HÖ)	Elma (E-HS)	Vişne (V-HS)	Gül (G-HS)
Hemiselüloz	12.73±2.23	10.82±2.56	15.84±4.46	8.91±1.56	7.57±1.79	11.56±3.25
Selüloz	40.95±2.84	30.99±3.96	40.83±3.43	50.20±4.17	33.77±4.31	41.88±3.67
Lignin	25.33±1.32	46.46±1.51	14.94±0.61	32.30±2.20	50.63±1.64	24.95±1.02
Pektin	13.87±0.17	6.35±0.07	6.08±0.09	-	-	-
Nem	5.30±0.57	3.68±0.12	0.29±0.13	-	-	-
Kül	1.81±0.14	0.70±0.01	4.03±0.29	-	-	-

*değerler ortalama ± std sapma % (ağırlıkça) şeklinde verilmiştir (*values are given as mean standard deviation of weight (%))

Genel olarak kullanılan posalarda %0.29 – 5.30 nem, %0.70 – 4.03 kül, %10.82 – 15.84 hemiselüloz, %14.94 – 46.46 lignin, %30.99 – 57.83 selüloz ve %6.08 – 13.87 pektin belirlenmiştir. Benzer selüloz, lignin ve hemiselüloz değerleri elma, vişne ve gül posası için sırasıyla için Da Rosa vd. (2022), Melikoğlu vd. (2019), Nunez-Decap vd. (2021) ve Prithivivajan vd. (2019) tarafından rapor edilmiştir. Suda çözünmeyen kısımdaki hemiselüloz, lignin ve selüloz miktarları da sırasıyla %7.57 – 11.56, %33.77 – 41.88 ve %24.95 – 50.63 aralığında bulunmuştur (Tablo 1). Sonuç olarak, 121°C’de 30 dakikalık ön işlem sonrasında posalardaki lignin/selüloz oranının kısmen artış gösterdiği gözlenmiştir. Sıcak su ile yapılan ön işlem, hemiselülozun çözünerek sıvı faza geçmesine neden olmuş; buna bağlı olarak posada selüloz ve lignin oranlarında görece bir artış gözlenmiştir. Farklı biyokütlerin kullanıldığı çalışmalarda da benzer şekilde, sıcak su işlemi sonucu hemiselülozun önemli bir kısmının sıvı faza geçerek uzaklaştırıldığı; buna bağlı olarak toplam katı kütlede azalması nedeniyle posada selüloz ve lignin oranlarının görece arttığı bildirilmektedir (Michelin ve Teixeira, 2016; Michelin vd., 2018; Manzanares vd., 2020; Gómez-Cruz vd., 2021).

Suda çözünen kısımda bulunan toplam fenolik madde miktarı ile selüloz/hemiselüloz türevi monosakkaritler ve fenolik bileşen analizi sırasıyla spektrofotometrik ve kromatografik olarak belirlenmiştir. Elma, vişne ve gül atıklarında belirlenen selüloz/hemiselüloz türevi monosakkaritlere ait kromatogramlar Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 3. Elma, vişne ve gül atıklarında belirlenen selüloz/hemiselüloz türevi monosakkaritlere ait kromatogramlar (fruktoz alıkonma zamanı=7.2 dak (1 numaralı pik), glikoz alıkonma zamanı=9.2 dak (2 numaralı pik)) (G, gül; V, vişne; E, elma atıklarından elde edilen) (Chromatograms of cellulose/hemicellulose derivative monosaccharides of apple, cherry, and rose pomace (fructose retention time=7.2 min (peak 1), glucose retention time=9.2 min (peak 2)) (G, rose; V, cherry; E, apple pomaces))

Elma, vişne ve gül posasından hidroliz sonrasında elde edilen sıvı kısımda bulunan glikoz miktarı sırasıyla, %17.67±2.08, %2.66±0.25 ve %1.72±0.07 şeklindeyken früktoz miktarı ise sırasıyla %29.28±6.46, %2.79±0.08 ve %0.73±0.06 şeklinde belirlenmiştir. Şeker analizi sonucu elde edilen sonuçlar glikozun vişne ve gül posalarında bulunan baskın şeker olduğunu; elma posasında ise früktozun baskın olduğunu göstermektedir. Ön işlem sonrası glikozun yanı sıra fruktozun da çözünür hale geldiği görülmektedir. Sıcak su işlemi sonrasında vişne ve gül posalarında glikozun baskın çıkmasının, selülozun parçalanarak glikoza dönüşmesi ve fruktozun işlem sırasında parçalanmaya uğraması ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca fruktoz, ısı işlemlere karşı daha duyarlı olup asidik koşullarda parçalanabilir; bu da örneklerde fruktoz seviyesinin görece düşük çıkmasına neden olmuş olabilir. Literatürde vişne gibi meyvelerin fruktoz açısından zengin olduğu belirtilmekle birlikte (Ficzek vd., 2015), uygulanan işleme bağlı olarak fruktoz miktarında kayıplar yaşanabileceği rapor edilmiştir (Verlinde vd., 2010). Ancak elma posasında, işlem sonrasında dahi fruktozun baskın kalması, başlangıçta bu posaların farklı fruktoz içeriğine sahip olmasından kaynaklanabilir ve/veya elma posasının pektin, lif ve yapısal karbonhidrat bakımından daha zengin olan yapısının fruktozu daha iyi koruma ihtimalinden kaynaklanabilir (Lyu vd., 2020). Ayrıca elma posasının pH yapısı da fruktozun ısı parçalanmaya karşı daha dirençli olmasını sağlamış olabilir. Benzer şekilde, 100°C'de 30 dk boyunca pirinaya sulu ekstraksiyon işlemi uygulayan Manzanares vd. (2020)'nin çalışmasında, toplam %12 şeker bulunurken, baskın şeker olarak glikoz (%8) belirlenmiş ve bunun yanı sıra fruktoz, arabinoz ve galaktoz da tespit edilmiştir.

Ön işlem sonrası elde edilen sıvı kısım için belirlenen fenolik bileşenlere ait değerler ve toplam fenolik madde miktarı Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Hidroliz sonrası elde edilen ürünlere ait fenolik bileşenlerin miktarları (Phenolic contents obtained after hydrolysis)

İçerik*	E-HS	V-HS	G-HS
Epikateşin (ppm)	11.57±2.81	2.20±0.36	ND
Gallik asit (ppm)	ND	ND	2.50±0.10
Kafeik asit (ppm)	11.67±0.47	ND	ND
Kateşin (ppm)	5.70±0.56	ND	ND
Klorojenik asit (ppm)	12.80±1.09	0.18±0.03	ND
Kuersetin (ppm)	ND	ND	0.79±0.19
p-kumarik (ppm)	0.96±0.24	ND	5.30±1.47
Toplam fenolik madde miktarı (g GAE/100 g)	77.88±11.30	68.33±7.02	11.67±0.47

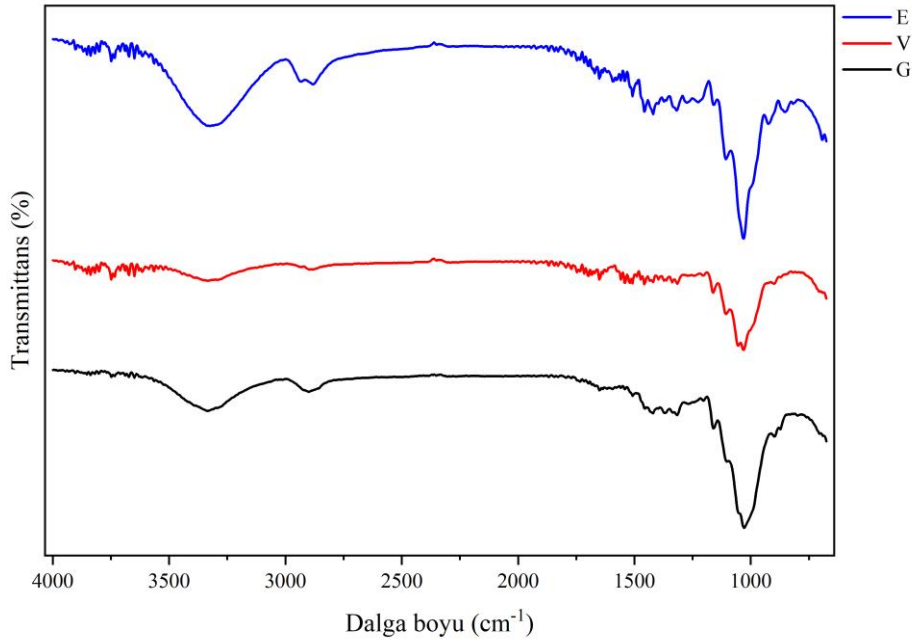
*değerler ortalama ± std sapma (ağırlıkça) şeklinde verilmiştir (*values are given as mean standard deviation of weight (%))

Ön işlem ile fenolikçe zengin sulu ekstrakt elde edilmiş ve bu ekstraktın toplam fenolik madde miktarı 11.67 – 77.88 g GAE/100g şeklinde bulunmuştur. Nunes vd. (2018), zeytin yağı işleme atıklarından pirinanın biyoaktif bileşenlerinin değerlendirilmesi üzerine yaptığı çalışmada, sulu ekstraksiyon parametrelerinin etkisini incelemişlerdir. Çözücü olarak sadece suyun kullanıldığı bu çalışmada, ekstraksiyon işlemi sonrası elde edilen ekstraktta, ekstraksiyon parametrelerine bağlı olarak 250-400 µg GAE/ml toplam fenolik madde miktarı belirlenmiştir.

3.2. Selüloz lifinin karakterizasyonu (Characterization of cellulose fiber)

3.2.1. Morfolojik özellikler (Morphological properties)

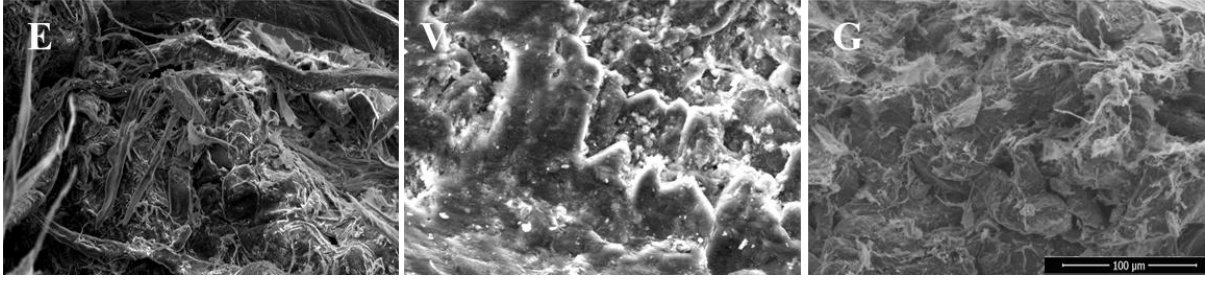
Selüloz liflerinin elde edilmesinde alkali uygulama ve alkali uygulama sonrası asitle çöktürme yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen liflerin morfolojik olarak incelemesi gerçekleştirilmiştir ve selüloz liflerine ait FTIR spektrumları Şekil 4'te gösterildiği gibidir.



Şekil 4. Selüloz liflerine ait FTIR spektrumları (G, gül selüloz lifi; V, vişne selüloz lifi; E, elma selüloz lifi) (FTIR spectrums of cellulose fibers (G, rose cellulose fiber; V, cherry cellulose fiber; E, apple cellulose fiber))

FTIR spektroskopisi, selüloz lifi ekstrakte etmek için kullanılan işlemlerin selülozik lifler üzerindeki fonksiyonel grupların varlığını belirlemek için uygulanmıştır. Tüm lif örnekleri için 3400 cm^{-1} civarında OH grubunun (H-bağı; -OH gruplarının gerilmesi) varlığını gösteren geniş bir pik elde edilmiş, ancak pik noktasının yoğunluğunun, elma posasından elde edilmiş lifler için daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Elma posasından elde edilen liflerde 3400 cm^{-1} civarındaki OH gerilme pikinin daha yüksek olması, bu örneklerde hem daha yüksek selüloz içeriğinin hem de şeker analizi sonuçlarının da gösterdiği üzere çözünür monosakkaritlerin katkısının etkili olabileceğini düşündürmektedir (Mannai vd., 2020). 2900 ve 2800 cm^{-1} aralığında gözlenen absorpsiyon pikleri, selüloz ve hemiselüloz komponentlerinde bulunan CH ve CH_2 grupları ile ilişkilendirilmekte olup elma posası liflerinde daha yüksek pik alanları vermiştir (Paiva vd., 2007; Reddy vd., 2009). 1700 cm^{-1} aralığında belirlenen absorpsiyon pikleri ise hemiselülozun üronik ester veya asetil grupları ya da lignin/hemiselülozun ferulik ve p-kumarik asit bileşenlerinde bulunan karboksil gruplarına ait ester bağları ile bağlantılıdır (Sgriccia vd., 2008). 1730 cm^{-1} bandı, genellikle C=O (karbonil) gerilme titreşimlerine karşılık gelir ve karbonil içerikli yapıların FTIR spektrumundaki karakteristik bölgesidir. Bu bağlamda, 1730 cm^{-1} civarında gözlenen küçük pikler, hemiselülozda bulunan asetil ester ve aldehit gruplarının yanı sıra (Reddy vd., 2009), elde edilen selülozik liflerde bulunan pektinlerin metil ester grupları veya serbest karboksil (COOH) grupları ile de ilişkili olabilir. 1600 - 1500 cm^{-1} aralığında gözlenen absorpsiyon bandı aromatik C=C halka gerilmesi ve ligninde bulunan metil, metilen ve metoksil gruplarının deformasyonu ile bağlantılıdır (Saravanakumar vd., 2013; Maheswari vd., 2012). 1630 cm^{-1} 'de görülen pik ise absorbe edilen su varlığının işaretidir (Sain ve Panthapulakkal 2006). 1300 cm^{-1} , 1200 cm^{-1} ve 1160 - 850 cm^{-1} aralığında gözlenen pikler sırasıyla, C-H asimetric deformasyonu, lignindeki aril grupları, polisakkaritlerdeki aromatik halkadaki C-O grupları ve hidroksil grupları, selüloz zincirindeki eter bağı [1,4 β -d glikozit] ve C-O gerilimini göstermektedir (Jonoobi vd., 2009; Golbaghi vd., 2017; Sun vd., 2005; Alemdar ve Sain, 2008). 1200 cm^{-1} aralığında görülen pikler hemiselüloza ait asetil gruplarındaki -COO bağları ile ilişkilidir (Reddy vd., 2009). Benzer FTIR spektrumları diğer araştırmacılar tarafından Opuntia (Cactaceae) bitkisinden elde edilen lifler için (Mannai vd., 2020) ve %5 NaOH ile 30°C 'de 30:1 likör oranı korunarak muamele edilen incir yaprağı lifleri (Reddy vd., 2016) için de gözlenmiştir.

Elde edilen selüloz liflerine ait SEM görüntüleri Şekil 5'te gösterilmiştir.

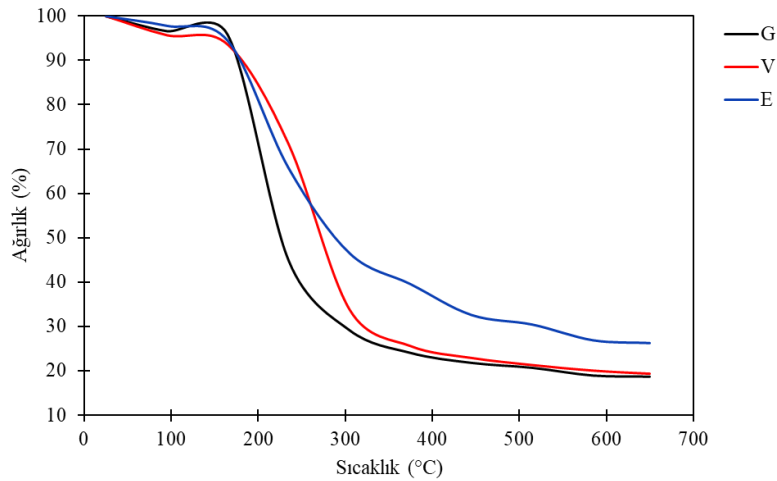


Şekil 5. Selüloz liflerine ait SEM görüntüleri (1000X büyütme) (G, gül selüloz lifi; V, vişne selüloz lifi; E, elma selüloz lifi) (SEM images of cellulose fibers (1000-5000X magnification) (G, rose cellulose fiber; V, cherry cellulose fiber; E, apple cellulose fiber))

Farklı posalardan elde edilen selüloz liflerinin yüzey morfolojilerinin belirgin şekilde farklılaştığı gözlenmiştir. SEM görüntülerinde, elma posasına ait liflerin düzenli, uzamış ve açık lif demetlerinden oluştuğu ve lifsi yapının büyük oranda korunduğu görülmektedir. Bu durum, FTIR analizinde elma liflerinde daha belirgin olarak gözlenen 3300 cm^{-1} (O-H gerilme) ve 1030 cm^{-1} (C-O-C gerilme) pikleriyle de örtüşmekte olup, yüksek selüloz içeriğini desteklemektedir. Buna karşın, vişne posasına ait lifler amorf bir yüzey görünümü sergilemiş; lifli yapıların parçalandığı veya bozulduğu izlenimi edinilmiştir. Bu mikroyapısal değişim, FTIR spektrumunda 1600 cm^{-1} civarında belirginleşen aromatik C=C gerilme pikleri ile ilişkilendirilebilir ve yüksek lignin içeriğine işaret etmektedir. Gül posasına ait liflerde ise genel olarak daha dağınık ve düzensiz bir yapı gözlenmiş; bu durum hem daha düşük selüloz kristallliği hem de yapısal bozulmalarla ilişkilendirilmiştir. Doğal selüloz lifleri, lignin ve hemiselülozun bir hücre demetini bağladığı çok hücreli bir yapıda bulunur (Reddy vd., 2012). Alkali uygulama sonrasında lignin ve hemiselülozun büyük bir kısmı uzaklaştırılır ve selüloz mikrofibrilleri birbirinden ayrılarak bireysel selüloz liflerini oluşturur. Elma posasından ekstrakte edilen selülozda daha lifimsi yapılar gözlenmiş ve belirlenen kısa yapılı, düzensiz şeritler ve yapılar alkali ile uygulama yapıldıktan sonra daha temiz bir yüzeye sahip selülozca zengin liflere dönüşmüştür. Benzer sonuçlar Ficus yapraklarından (incir ağacı yaprakları) (Reddy vd., 2013; Reddy vd., 2016), Lagenaria siceraria meyve pedikülünden (Asif vd., 2022) ve hurma ağacı liflerinden (Hachaichi vd., 2021) ekstrakte edilen selüloz lifleri için de gözlenmiştir. Farklı tarımsal atıklardan selüloz ekstraksiyonu üzerine yapılan başka bir çalışmada, selüloz liflerinin yapıları ve morfolojik özellikleri SEM kullanılarak incelenmiş ve benzer yapılar rapor edilmiştir (Vallejo vd., 2022).

3.2.2. Isıl özellikler (Thermal properties)

Elde edilen selüloz liflerine ait ısıl degradasyon grafiği Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Selüloz liflerine ait termogramlar (G, gül selüloz lifi; V, vişne selüloz lifi; E, elma selüloz lifi) (Thermograms of cellulose fibers (G, rose cellulose fiber; V, cherry cellulose fiber; E, apple cellulose fiber))

Tüm posalarda ilk ağırlık kaybı örneklerdeki suyun buharlaşması nedeniyle 120°C 'nin altında gerçekleşmiştir (Dai ve Huang, 2017). Posalardan elde edilen liflerin dekompozisyonu iki ana ağırlık kaybı aşamasında gerçekleşmiştir: ilk aşama 150°C 'den $350\text{-}450^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar olan kısımda gerçekleşmiştir. İkinci aşama ise $350\text{-}550^{\circ}\text{C}$ aralığında gerçekleşmiştir. Bunun nedeni posaların farklı sıcaklıklarda bozulan hemiselüloz, lignin ve selüloz gibi farklı kimyasal yapılardan oluşmasıdır. Hemiselüloz ve ligninin sırasıyla $220\text{-}315^{\circ}\text{C}$ ve $315\text{-}400^{\circ}\text{C}$ arasında ayrışmaya başladığı, ancak ligninin dekompozisyonunun geniş bir sıcaklık aralığında ($100\text{-}900^{\circ}\text{C}$) meydana geldiği bildirilmektedir (Yang vd., 2007). Selüloz lifleri için, dekompozisyon sıcaklıklarının $220\text{-}250^{\circ}\text{C}$ aralığında değiştiği

gözlenmiş ve 650°C'de elma selüloz liflerinin en az bozunma miktarına sahip olduğu görülmüştür. Torgbo vd. (2022) rambutan kabuklarından ekstrakte edilen ve ön işlem uygulanan selüloz örneklerinin ısıl dayanımlarının 240°C'ye kadar arttırıldığını göstermiştir. Benzer trend Vallejo vd. (2021) tarafından farklı atıklardan elde edilen selüloz kaynakları için gözlenmiş ancak elde edilen sonuçlardan farklı olarak selülozun dekompozisyon sıcaklığının 340°C'ye kadar arttırıldığı gösterilmiştir. Farklı ekstraksiyon yöntemlerinin (kimyasal, ultrasonik, vb.) muz ağacı kabuklarından selüloz ekstrakte etmek için kullanıldığı bir çalışmada, alkali uygulamanın selülozun kristallik derecesini arttırdığı ve böylece ısıl dayanımının geliştirildiği rapor edilmiştir (Arias vd., 2024). Benzer şekilde, Christwardana vd. (2020) da alkali uygulama ve ağartma işlemlerinin palm yağı üretim atıklarından elde edilen selülozun dekompozisyon sıcaklığını arttırdığını göstermiştir.

4. Sonuç (Conclusion)

Bu çalışma, elma posası, vişne posası ve gül yaprağı posası gibi tarımsal atıklardan selüloz lifleri ekstraksiyonu üzerinedir. Elde edilen sonuçlar, elma posasından elde edilen selüloz liflerinin daha yüksek saflık ve ısıl dayanım gösterdiğini, dolayısıyla biyo-bozunur ambalaj malzemelerinin özelliklerinin geliştirilmesi için daha uygun olduğunu ortaya koymuştur. Vişne ve gül posası liflerinin ise daha fazla safsızlık içermesi nedeniyle ilave arıtma ve modifikasyon işlemleri gerektirdiği belirlenmiştir. Uygulanan ön işlem ve alkali işlemlerinin, posalardaki lignin ve hemiselülozun etkili bir şekilde uzaklaştırılmasında başarılı olduğu gözlenmiştir. FTIR ve SEM analizleri, elde edilen selüloz liflerinin yapısal özelliklerini doğrulamış, TGA analizleri ise selüloz liflerinin uygun termal stabilite gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, tarımsal atıkların yüksek katma değerli ürünlere dönüştürülmesi ve sürdürülebilir ambalaj malzemelerinin geliştirilmesi için önemli bir potansiyel sunduğunu göstermektedir. Gelecekteki çalışmalarda, bu liflerin diğer biyopolimerlerle kombine edilerek mekanik ve bariyer özelliklerinin daha da iyileştirilmesi önerilmektedir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FAB-2021-8255 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. This study was supported by Suleyman Demirel University Scientific Research Projects Coordination Unit as a part of the Project numbered FAB-2021-8255.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynakça (References)

- Alemdar, A., & Sain, M. 2008. Isolation and characterization of nanofibers from agricultural residues–Wheat straw and soy hulls. *Bioresource technology*, 99(6), 1664-1671.
- Anonim, 2020. https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/SUNULAR/T%C3%BCrkiye%20Biyokat%C4%B1k%20Potansiyeli%20ve%20De%C4%9Ferlendirmesi_Mustafa%20ACAR.pptx?Mobile=1&Source=%2FTAGEM%2F%5Flayouts%2F15%2Fmobile%2Fviena%2Easp%3FList%3D613f7565%2De673%2D4542%2Db8bc%2Da6717ac5d036%26View%3D7f47e11b%2D9181%2D487e%2D9373%2D633de696841b%26RootFolder%3D%252FTAGEM%252FBelgeler%252FSUNULAR%26ViewMode%3DDetail%26wdFCCState%3D1%26PageFirstRow%3D1
- AOAC. 1999. Official methods of analysis, 16th edn. Association of Official Analytical Chemists, Washington.
- Arias, A., Arriola-Villaseñor, E., González, E., Guerrero, H., Hernández, J., Gutiérrez-Pineda, E., ... Villa, C. 2024. Enhanced cellulose extraction from banana pseudostem waste: a comparative analysis using chemical methods assisted by conventional and focused ultrasound. *Polymers*, 16(19), 2785. <https://doi.org/10.3390/polym16192785>
- Asif, M., Ahmed, D., Ahmad, N., Qamar, M., Alruwaili, N., Bukhari, S. 2022. Extraction and characterization of microcrystalline cellulose from lagenaria siceraria fruit pedicles. *Polymers*, 14(9), 1867. <https://doi.org/10.3390/polym14091867>
- Christwardana, M., Handayani, A., Savetlana, S., Lumingkewas, R., & Chalid, M. 2020. Micro-fibrillated cellulose fabrication from empty fruit bunches of oil palm. *Materials Science Forum*, 1000, 272-277. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1000.272>
- Cotes-Palomino MT, Martínez-García C, Iglesias-Godino FJ, Eliche-Quesada D, Corpas-Iglesias FA. 2016. Study of the wet pomace as an additive in ceramic material. *Desalination Water Treat*, 57, 2712-8.
- Da Rosa, S. T., Trianoski, R., Michaud, F., Belloncle, C., Iwakiri, S. 2022. Efficiency of different acetylation methods applied to cellulose fibers waste from pulp and paper mill sludge. *Journal of Natural Fibers*, 19(1), 185-198.
- Dai, H., Huang, H. 2017. Synthesis, characterization and properties of pineapple peel cellulose-G-acrylic acid hydrogel loaded with kaolin and sepia ink. *Cellulose*, 24, 69-84.
- Domínguez-Rodríguez G., Marina M.L., Plaza M. 2019. Enzyme-assisted extraction of bioactive non-extractable polyphenols from sweet cherry (*Prunus avium* L.) pomace. *Food Chemistry*, 339, 128086.
- Erbas, S., Baydar, H. 2016. Variation in scent compounds of oilbearing rose (*Rosa damascena* Mill.) produced by headspace solid phase microextraction, hydrodistillation and solvent extraction. *Records of Natural Products*, 10(5), 555-565

- Fan, X., Gao, Y., He, W., Hu, H., Tian, M., Wang, K., et al. 2016. Production of nano bacterial cellulose from beverage industrial waste of citrus peel and pomace using *Komagataeibacter xylinus*. *Carbohydrate Polymers*, 151, 1068–72.
- Ficzek, G., Ladányi, M., Végvári, G., & Tóth, M. (2015). Mathematical modelling of the accumulation of carbohydrates and organic acids throughout the ripening process of Hungarian sour cherry cultivars. *Trees*, 29, 797–807.
- Filho, P.F.S., Zamani, A., Ferreira, J.A. 2020. Valorization of Wheat Byproducts for the Co-Production of Packaging Material and Enzymes. *Energies*, 13, 1300; doi:10.3390/en13061300.
- Fragal, E. H., Cellet, T. S. P., Fragal, V. H., Companhoni, M. V. P., Ueda-Nakamura, T., Muniz, E. C., et al. 2016. Hybrid materials for bone tissue engineering from biomimetic growth of hydroxyapatite on cellulose nanowhiskers. *Carbohydrate Polymers*, 152, 734–746.
- Galanakis, C., 2015. *Food Waste Recovery*. Academic Press-Elsevier Inc., London.
- Gardner, D.J., Oporto, G.S., Mills, R., Samir, M.A.S.A. 2008. Adhesion and surface issues in cellulose and nanocellulose. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 22:545–67.
- Golbaghi, L., Khamforoush, M., Hatami, T. 2017. Carboxymethyl cellulose production from sugarcane bagasse with steam explosion pulping: Experimental, modeling, and optimization. *Carbohydrate Polymers*, 174, 780–788.
- Gómez-Cruz, I., del Mar Contreras, M., Romero, I., & Castro, E. (2021). A biorefinery approach to obtain antioxidants, lignin and sugars from exhausted olive pomace. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 96, 356–363.
- Gómez-Cruz, I., del Mar Contreras, M., Romero, I., Castro, E. 2021. A biorefinery approach to obtain antioxidants, lignin and sugars from exhausted olive pomace. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 96, 356–363.
- Gouw, V.P., Jung, J., Simonsen, J., Zhao, Y. 2017a. Fruit pomace as a source of alternative fibers and cellulose nanofiber as reinforcement agent to create molded pulp packaging boards. *Composites: Part A*, 99, 48–57.
- Hachaichi, A., Kouini, B., Kian, L., Asim, M., Jawaid, M. 2021. Extraction and characterization of microcrystalline cellulose from date palm fibers using successive chemical treatments. *Journal of Polymers and the Environment*, 29(6), 1990–1999. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-02012-2>
- Halis, E., HICRAN, D., Selli, F. 2019. Recycling of cellulose from vegetable fiber waste for sustainable industrial applications. *Industria Textila*, 70(01), 37–41. <https://doi.org/10.35530/it.070.01.1553>
- Hirn, U., Schennach, R. 2015. Comprehensive analysis of individual pulp fiber bonds quantifies the mechanisms of fiber bonding in paper. *Scientific Reports*, 5, 10503.
- Hosseini, S., Parastouei, K., Khodaiyan, F. 2020. Simultaneous extraction optimization and characterization of pectin and phenolics from sour cherry pomace. *International Journal of Biological Macromolecules*, 158, 911–921
- Ingram, T., Wörmeyer, K., Lima, J. C. I., Bockemühl, V., Antranikian, G., Brunner, G., Smirnova, I. 2011. Comparison of different pretreatment methods for lignocellulosic materials. Part I: Conversion of rye straw to valuable products. *Bioresource technology*, 102(8), 5221–5228.
- Jackson, J. K., Letchford, K., Wasserman, B. Z., Ye, L., Hamad, W. Y., Burt, H. M., et al. 2011. The use of nanocrystalline cellulose for the binding and controlled release of drugs. *International Journal of Nanomedicine*, 6, 321–330.
- Jonoobi, M., Harun, J., Mishra, M., Oksman, K. 2009. Chemical composition, crystallinity and thermal degradation of bleached and unbleached kenaf bast (*Hibiscus cannabinus*) pulp and nanofiber. *BioResources*, 4(2), 626–639.
- Jung, J. 2020. Value-added utilization of fruit and vegetable pomace in food packaging. In: *FOOD PACKAGING Innovations and Shelf-Life*, Ed. R.M.S. Cruz, CRC Press, Boca Raton, pp: 87–107.
- Keskin, O. Y., Koktas, S., Seki, Y., Dalmis, R., Kilic, G. B., & Albayrak, D. (2022). *Natural cellulosic fiber from Carex panicea stem for polymer composites: extraction and characterization. Biomass Convers Biorefin.*
- Kim, D., Seo, J. 2018. A review: Breathable films for packaging applications. *Trends in Food Science and Technology*, 76, 15–27.
- Köktaş, S., Keskin, Ö. Y., Dalmış, R., Seki, Y., & Balci Kiliç, G. (2022). Extraction and characterization of natural cellulosic fiber from *Taraxacum sect. ruderalia*. *Journal of Natural Fibers*, 19(16), 14328–14336.
- Kovacheva, N., Rusanov, K., Atanassov, I. 2010. Industrial cultivation of oil bearing rose and rose oil production in Bulgaria during 21st century, directions and challenges. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 24, 1793–1798, <http://dx.doi.org/10.2478/V10133-010-0032-4>.
- Li, Q., Zhou, J., Zhang, L. 2009. Structure and properties of the nanocomposite films of chitosan reinforced with cellulose whiskers. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 47(11), 1069–1077.
- Liang, J., Lu, Q., Lerner, R., Sun, X., Zeng, H., Liu, Y. 2011. Agricultural wastes. *Water Environment Research*, 83, 1439–1466.
- Lyu, F., Luiz, S. F., Azeredo, D. R. P., Cruz, A. G., Ajlouni, S., & Ranadheera, C. S. (2020). Apple pomace as a functional and healthy ingredient in food products: A review. *Processes*, 8(3), 319.
- Maheswari, C.U., Reddy, K.O., Muzenda, E., Rajulu, A.V. 2012. Tensile and thermal Properties of polycarbonate-coated tamarind fruit fibers. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 17: 578–589.
- Mannai, F., Elhleli, H., Dufresne, A., Elaloui, E., Moussaoui, Y. 2020. *Opuntia* (Cactaceae) fibrous network-reinforced composites: Thermal, viscoelastic, interfacial adhesion and biodegradation behavior. *Fibers and Polymers*, 21(10), 2353–2363.
- Manzanares, P., Ballesteros, I., Negro, M.J., Gonzalez, A., Oliva, J.M., Ballesteros, M. 2020. Processing of extracted olive oil pomace residue by hydrothermal or dilute acid pretreatment and enzymatic hydrolysis in a biorefinery context. *Renewable Energy*, 145, 1235–1245.
- Mazlan, D., Krishnan, S., Din, M., Tokoro, C., Khalid, N., Ibrahim, I., ... Komori, D. 2020. Effect of cellulose nanocrystals extracted from oil palm empty fruit bunch as green admixture for mortar. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63575-7>
- Melikoğlu, A.Y., Bilek, S.E., Cesur, S. 2019. Optimum alkaline treatment parameters for the extraction of cellulose and production of cellulose nanocrystals from apple pomace. *Carbohydrate Polymers*, 215, 330–337.
- Michelin, M., & Teixeira, J. A. (2016). Liquid hot water pretreatment of multi feedstocks and enzymatic hydrolysis of solids obtained thereof. *Bioresource technology*, 216, 862–869.
- Michelin, M., Liebentritt, S., Vicente, A. A., & Teixeira, J. A. (2018). Lignin from an integrated process consisting of liquid hot water and ethanol organosolv: Physicochemical and antioxidant properties. *International journal of biological macromolecules*, 120, 159–169.

- Miranda, I., Simões, R., Medeiros, B., Nampoothiri, K.M., Sukumaran, R.K., Rajan, D., Pereira, H., Ferreira-Dias, S. 2019. Valorization of lignocellulosic residues from the olive oil industry by production of lignin, glucose and functional sugars. *Bioresource Technology*, 292, 121936.
- Mollov, P., Mihalev, K., Shikov, V., Yoncheva, N., Karagyozev, V. 2007. Colourstability improvement of strawberry beverage by fortification with polyphenolic copigments naturally occurring in rose petals. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8, 318–321, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2007.03.004>.
- Nunes, M.A., Costa, A.S., Bessada, S., Santos, J., Puga, H., Alves, R.C., ... Oliveira, M.B.P. 2018. Olive pomace as a valuable source of bioactive compounds: A study regarding its lipid-and water-soluble components. *Science of the total environment*, 644, 229-236.
- Núñez-Decap, M., Wechsler-Pizarro, A., Vidal-Vega, M. 2021. Mechanical, physical, thermal and morphological properties of polypropylene composite materials developed with particles of peach and cherry stones. *Sustainable Materials and Technologies*, 29, e00300.
- Okur, İ., Baltacıoğlu, C., Ağçam, E. et al. 2019. Evaluation of the Effect of Different Extraction Techniques on Sour Cherry Pomace Phenolic Content and Antioxidant Activity and Determination of Phenolic Compounds by FTIR and HPLC. *Waste and Biomass Valorization*, 10, 3545–3555. <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00771-1>
- Olofsson, J., Börjesson, P. 2018. Residual biomass as resource–Life-cycle environmental impact of wastes in circular resource systems. *Journal of Cleaner Production*, 196, 997–1006.
- Owonubi, S., Agwuncha, S., Malima, N., Shombe, G., Makhatha, M., Revaprasadu, N. 2021. Non-woody biomass as sources of nanocellulose particles: a review of extraction procedures. *Frontiers in Energy Research*, 9. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.608825>
- Paiva, M.C., Ammar, I., Campos, A.R., Cheikh, R.B., Cunha, A.M. 2007. Alfa fibres: Mechanical, morphological and interfacial characterization. *Composites Science and Technology*, 67(6), 1132-1138.
- Park, S.I., Zhao, Y. 2006. Development and characterization of edible films from cranberry pomace extracts. *Journal of Food Science*, 71, E95–E101.
- Pham, V., Kim, J., Shim, J., Chang, S., Chung, W. 2022. Coconut mesocarp-based lignocellulosic waste as a substrate for cellulase production from high promising multi-enzyme-producing *Bacillus amyloliquefaciens* fw2 without pretreatments. *Microorganisms*, 10(2), 327. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10020327>
- Prithivirajan, R., Narayanasamy, P., Al-Dhabi, N. A., Balasundar, P., Shyam Kumar, R., Ponmurugan, K., ... Senthil, S. 2020. Characterization of *Musa paradisiaca* L. cellulosic natural fibers from agro-discarded blossom petal waste. *Journal of Natural Fibers*, 17(11), 1640-1653.
- Reddy, K.O., Guduri, B.R., Rajulu, A.V. 2009. Structural characterization and tensile properties of borassus fruit fibers. *Journal of Applied polymer science*, 114(1), 603-611.
- Reddy, K.O., Maheswari, C.U., Shukla, M. 2013. Physico-chemical characterization of cellulose extracted from ficus leaves. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 7(4), 496-499.
- Reddy, K.O., Maheswari, C.U., Shukla, M., Rajulu, A.V. 2012. Chemical composition and structural characterization of Napier grass fibers. *Materials letters*, 67(1), 35-38.
- Reddy, K.O., Uma Maheswari, C., Muzenda, E., Shukla, M., Rajulu, A.V. 2016. Extraction and characterization of cellulose from pretreated ficus (peepal tree) leaf fibers. *Journal of Natural Fibers*, 13(1), 54-64.
- Reis, S.F., Rai, D.K., Abu-Ghannam, N. 2012. Water at room temperature as a solvent for the extraction of apple pomace phenolic compounds. *Food Chemistry*, 135(3), 1991-1998.
- Sagar, N.A., Pareek, S., Sharma, S., Yahia, E.M., Lobo, M.G. 2018 Fruit and vegetable waste: bioactive compounds, their extraction, and possible utilization. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17, 512–531.
- Sain, M., Panthapulakkal, S. 2006. Bioprocess preparation of wheat straw fibers and their characterization. *Industrial crops and products*, 23(1), 1-8.
- Salem, K., Naithani, V., Jameel, H., Lucia, L., Pal, L. 2020. Lignocellulosic fibers from renewable resources using green chemistry for a circular economy. *Global Challenges*, 5(2). <https://doi.org/10.1002/gch2.202000065>
- Santana-Meridas, O., Gonzalez-Coloma, A., Sanchez-Vioque, R. 2012. Agricultural residues as a source of bioactive natural products. *Phytochemistry Reviews*, 11, 447–466.
- Saravanakumar, S.S., Kumaravel, A., Nagarajan, T., Sudhakar, P., Baskaran, R. 2013. Characterization of a novel natural cellulosic fiber from *Prosopis juliflora* bark. *Carbohydrate polymers*, 92(2), 1928-1933.
- Seki, Y., Selli, F., Erdoğan, Ü. H., Atagür, M., & Seydibeyoğlu, M. Ö. (2022). A review on alternative raw materials for sustainable production: novel plant fibers. *Cellulose*, 29(9), 4877-4918.
- Sgriccia, N., Hawley, M., Misra, M. 2008. Characterization of natural fiber surfaces and natural fiber composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39, 1632–1637.
- Singleton, V.L., Orthofer, R., Lamuela-Raventós, R.M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in enzymology*, 299,152–178.
- Slavov, A., Denev, P., Panchev, I., Shikov, V., Nenov, N., Yantcheva, N., Vasilev, I. 2017. Combined recovery of polysaccharides and polyphenols from *Rosadamasceana* wastes. *Industrial Crops and Products*, 100, 85–94
- Slavov, A., Kiyohara, H., Yamada, H., Immunomodulating pectic polysaccharides from waste rose petals of *Rosa damascena* Mill. 2013. *International Journal of Biological Macromolecules*, 59, 192–200, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.04.054>.
- Slavov, A., Panchev, I., Kovacheva, D., Vasileva, I. 2016. Physico-chemical characterization of water-soluble pectic extracts from *Rosa damascena*, *Calendula officinalis* and *Matricaria chamomilla* wastes. *Food Hydrocolloids*, 61, 469–476, <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.06.006>.
- Struck, S., Plaza, M., Turner, C., Rohm, H. 2016. Berry pomace – a review of processing and chemical analysis of its polyphenols. *International Journal of Food Science and Technology*, 51, 1305–18.
- Sun, X.F., Xu, F., Sun, R.C., Fowler, P., Baird, M.S. 2005. Characteristics of degraded cellulose obtained from steam-exploded wheat straw. *Carbohydrate research*, 340(1), 97-106.

- Torgbo, S., Sukyai, P., Khantayanuwong, S., Puangsin, B., Srichola, P., Sukatta, U., ... Rosenau, T. 2022. Assessment of electrothermal pretreatment of rambutan (*nephelium lappaceum* l.) peels for producing cellulose fibers. *Acs Omega*, 7(44), 39975-39984. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c04551>
- Valdés, A., A.C. Mellinas, M. Ramos, M.C. Garrigós A. Jiménez. 2014. Natural additives and agricultural wastes in biopolymer formulations for food packaging. *Frontiers in Chemistry*, 2.
- Vallejo, M., Cordeiro, R., Dias, P., Moura, C., Henriques, M., Seabra, I., ... Morouço, P. 2021. Recovery and evaluation of cellulose from agroindustrial residues of corn, grape, pomegranate, strawberry-tree fruit and fava. *Bioresources and Bioprocessing*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40643-021-00377-3>
- Vasileva, I., Krastev, L., Petkova, N., Yantcheva, N., Nenov, N., Krachmarov, A., Atanasova, A., Slavov, A. 2019. Valorization of cacao and rose waste for preparation of liqueurs. *Food Science and Applied Biotechnology*, 2(1), 8-17.
- Verlinde, P. H., Oey, I., Lemmens, L., Deborggraeve, W. M., Hendrickx, M. E., & Van Loey, A. M. (2010). Influence of reducing carbohydrates on (6 S)-5-methyltetrahydrofolic acid degradation during thermal treatments. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(10), 6190-6199.
- Wang, C.Y., Fuentes-Hernandez, C., Liu, J.C., Dindar, A., Choi, S., Youngblood, J.P., et al. 2015. Stable low-voltage operation top-gate organic field-effect transistors on cellulose nanocrystal substrates. *ACS Applied Materials & Interfaces*, (2015), 7, 4804-4808.
- Wilson, C.T., Harte, J., Almenar, E. 2018. Effects of sachet presence on consumer product perception and active packaging acceptability—A study of fresh-cut cantaloupe, *LWT –Food Science and Technology*, 92, 531-539.
- Xiong, R., Hu, K., Grant, A. M., Ma, R., Xu, W., Lu, C., et al. 2016. Ultrarobust transparent cellulosenanocrystal-graphene membranes with high electrical conductivity. *Advanced Materials*, 28, 1501-1509.
- Xu, K., Liu, C., Kang, K., Zheng, Z., Wang, S., Tang, Z., et al. 2018. Isolation of nanocrystalline cellulose from rice straw and preparation of its biocomposites with chitosan: Physicochemical characterization and evaluation of interfacial compatibility. *Composite Science and Technology*, 154, 8-17.
- Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D. H., Zheng, C. 2007. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel*, 86, 1781-1788.
- Yasemin, Seki. (2025). Isolation and characterization of cellulose from spent ground coffee (*Coffea Arabica* L.): A comparative study. *Waste Management*, 193, 54-61.
- Zetzl, C., Gairola, K., Kirsch, C., Perez-Cantu, L., Smirnova, I. 2011. High pressure processes in biorefineries. *Chemie Ingenieur Technik*, 83(7), 1016-1025.
- Zhou, L., He, H., Jiang, C., Ma, L., Yu, P. 2014. Cellulose nanocrystals from cotton stalk for reinforcement of poly(vinyl alcohol) composites. *Cellulose Chemistry and Technology*, 51(1-2), 109-119.