Bartın Orman Fakültesi Dergisi | Journal of Bartin Faculty of Forestry
2025, 27(2): 347– 363 | DOI: 10.24011/barofd.1593369

Kompozit Takviye Malzemesi Olarak Kenevir Lifi İşlenmesine Genel Bir Bakış

Sinem LALOĞLU[1,*] Celil ATİK[2]

[1] İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Programı, İstanbul, Türkiye
[2] İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Makale Tarihçesi

Gönderim: 04.12.2024
Kabul: 16.06.2025
Yayım: 30.08.2025

Derleme Makalesi

Öz − Kenevir bitkisi, yenilenebilir bir doğal kaynak olarak sahip olduğu fiziksel, kimyasal ve çevresel özelliklerle geniş bir kullanım alanı sunmaktadır. Bu çalışma, kenevir liflerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini, kimyasal bileşimlerini ve farklı sektörlerdeki uygulamalarını incelemekte, aynı zamanda bu liflerden üretilen kompozit (karma) malzemelerin avantajları, dezavantajları ve çevresel etkilerine odaklanmaktadır. Kenevir lifleri, yüksek mukavemet, düşük yoğunluk ve biyobozunur özellikleriyle inşaat, otomotiv, havacılık ve tekstil gibi çeşitli endüstrilerde çevre dostu bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Kenevir tarımı, hızlı büyüme döngüsü, düşük su ve kimyasal ihtiyaçlarıyla ekolojik sürdürülebilirliği desteklemekte ve karbon ayak izini azaltmada önemli bir rol oynamaktadır. Liflerin yüksek selüloz içeriği ve lignin yapısı, onları dayanıklı ve elastik malzemeler için ideal bir bileşen haline getirmektedir. Ancak, kenevir liflerinin standartlaştırılmasındaki zorluklar, su alma hassasiyeti ve nem etkisi, bu malzemelerin üretiminde teknik sınırlamalar yaratmaktadır. Bu zorlukların üstesinden gelmek için yüzey modifikasyon teknikleri ve enzimatik saflaştırma gibi yenilikçi yaklaşımlar geliştirilmektedir. Kenevir lifli kompozitler, düşük enerji tüketimi ve geri dönüştürülebilir yapıları sayesinde sürdürülebilir üretim süreçlerine önemli katkılar sağlamaktadır. Kompozitler yoluyla kenevir liflerinin sentetik malzemelerle birleştirilmesi, hafif ve yüksek performanslı malzeme çözümleri sunarak otomotiv ve havacılık gibi sektörlerde kullanım alanını genişletmektedir. Ayrıca, kenevir liflerinin termal ve akustik yalıtım özellikleri, enerji verimliliğini artırmakta ve özellikle yapı sektöründe sürdürülebilir çözümler sunmaktadır. Kenevir lifleri, çevresel etkilerin azaltılmasında, enerji verimliliğinin artırılmasında ve döngüsel ekonominin desteklenmesinde stratejik bir malzeme olarak dikkat çekmektedir. Bu araştırma, kenevir liflerinin potansiyelini ve bu doğal kaynağın geleceğin çevre dostu malzemelerinden biri olarak sahip olduğu rolü detaylı bir şekilde ele almayı amaçlamaktadır. Gelecekte, lif kalitesinin standartlaştırılması, yeni üretim tekniklerinin geliştirilmesi ve kompozitlerin performans optimizasyonu gibi alanlarda yapılacak araştırmalar, kenevir liflerinin endüstriyel uygulamalardaki kullanımını daha da artıracaktır.

Anahtar Kelimeler − *Kenevir, Lif, Saflaştırma, Kompozit, Sürdürülebilirlik*

An Overview of Hemp Fiber Processing as Composite Reinforcement Material

[1] Istanbul University-Cerrahpaşa, Institute of Graduate Studies, Forest Industry Engineering, İstanbul, Türkiye
[2] Istanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Forestry, Forest Industry Engineering, İstanbul, Türkiye

Article History

Received: 04.12.2024
Accepted: 16.06.2025
Published: 30.08.2025

Review Article

Abstract − The hemp plant, as a renewable natural resource, offers a wide range of applications due to its physical, chemical, and environmental properties. This study examines the physical and mechanical properties of hemp fibers, their chemical composition, and their applications in various industries, while also focusing on the advantages, disadvantages, and environmental impacts of composite materials produced from these fibers. Hemp fibers stand out as an eco-friendly alternative in industries such as construction, automotive, aerospace, and textiles due to their high strength, low density, and biodegradable properties. Hemp cultivation supports ecological sustainability with its rapid growth cycle, low water and chemical requirements, and plays a significant role in reducing carbon footprints. The high cellulose content and lignin structure of the fibers make them an ideal component for durable and elastic materials. However, challenges in standardizing hemp fibers, moisture sensitivity, and water absorption create technical limitations in their production. Innovative approaches such as surface modification techniques and enzymatic purification are being developed to overcome these challenges. Hemp fiber composites contribute significantly to sustainable production processes due to their low energy consumption and recyclable nature. The combination of hemp fibers with synthetic materials in composites offers lightweight and high-performance material solutions, expanding their use in sectors such as automotive and aerospace. Additionally, the thermal and acoustic insulation properties of hemp fibers enhance energy efficiency, providing sustainable solutions, particularly in the construction sector. Hemp fibers are gaining attention as a strategic material for reducing environmental impacts, improving energy efficiency, and supporting the circular economy. This research aims to explore the potential of hemp fibers and their role as one of the future's eco-friendly materials in detail. Future research in areas such as standardizing fiber quality, developing new production techniques, and optimizing the performance of composites will further expand the industrial applications of hemp fibers.

Keywords − *Hemp, Fiber, Degumming, Composite, Sustainability*

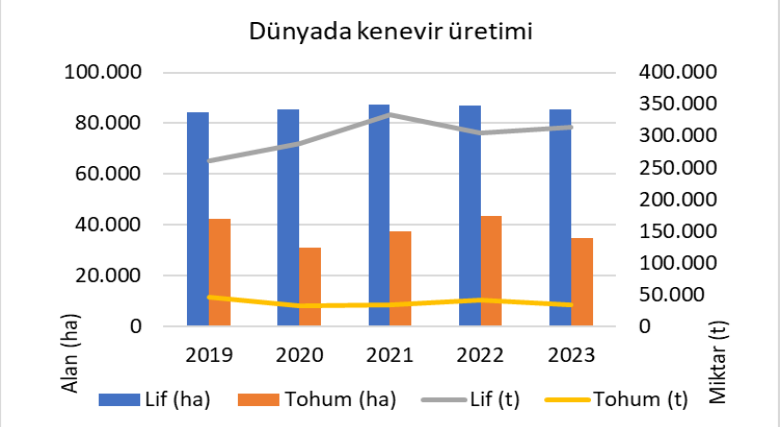
[1] sinemlaloglu@gmail.com
[2] celilatik@iuc.edu.tr
[*] Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Günümüzde çevre kirliliği denildiğinde, akla ilk gelen sorunlardan biri sentetik plastiklerin yarattığı kirlenmedir. Bu sorunu azaltmanın yolları araştırılmaktadır ve bu bağlamda plastik matrislerin içine lignoselülozik malzemelerin toz dolgu olarak kullanılması, yani odun-plastik kompozitleri, önemli bir çözüm önerisi olmuştur. Geleneksel kompozit malzemeler genellikle matris ve takviye liflerinden oluşur; bu takviyeler ise genelde karbon, cam veya aramid liflerden yapılmaktadır. Ancak bitkisel liflerin takviye olarak kullanılması fikri aslında eski bir düşüncedir; örneğin, 1936 yılında tescil edilen tekstolit bu konuda bir örnek teşkil etmektedir. Pamuk lifleri bu alanda rekabetten dolayı geri planda kalmış (URL-1, 2025) ve dolayısıyla daha sürdürülebilir, yüksek verimli ve ekonomik hammadde arayışlarına ihtiyaç duyulmuştur. Kenevir bitkisi, bu noktada çevre dostu bir malzeme kaynağı olarak büyük bir potansiyele sahiptir (URL-2, 2025). Özellikle endüstriyel kenevir lifleri, düşük karbon ayak izine sahip olmaları (Cherrett vd., 2005) biyobozunur özellikleri ve geniş bir uygulama yelpazesine sahip olmalarıyla dikkat çekmektedir. Bu lifler, tekstil, otomotiv, inşaat ve havacılık gibi çeşitli sektörlerde çevresel sürdürülebilirlik, enerji verimliliği ve maliyet avantajları sunmaktadır. Ayrıca, kenevir bitkisinin tüm kısımlarının kullanılabilir olması, önemli bir zenginlik katmaktadır.

Kenevir liflerinin doğal yapısal özellikleri, düşük yoğunluk ve yüksek mukavemet gibi faktörler, hafif fakat dayanıklı yapıların geliştirilmesini olanaklı kılmaktadır (Musio vd., 2013; Lu vd., 2013). Biyobozunur özellikleri sayesinde çevresel etkileri azaltırken, geri dönüştürülebilirlikleriyle de döngüsel ekonomi modeline katkı sağlamaktadır (Van Der Werf vd., 1996). Selüloz ve lignin açısından zengin olan bu lifler, yüksek dayanıklılık ve suya karşı direnç gibi özellikleriyle inşaat, otomotiv ve havacılık sektörlerinde ideal bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmanın amacı, kenevir liflerinin yapısal ve kimyasal özelliklerini incelemek ve bu liflerin kompozit malzeme içindeki kullanımını önemli ölçüde etkileyen saflaştırma yöntemlerine odaklanmaktır.

Dünyada kenevir, iki temel amaçla üretilmektedir: tohumluk ve liflik. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) istatistikleri, bu iki alan üzerinden veri toplamaktadır. FAO (2023) verilerine göre, dünyada dokuz ülke tohum amacıyla kenevir üretmektedir ve bu ülkeler arasında en geniş üretim alanına sahip olan ülke Kanada'dır. Endüstriyel lif üretimi gerçekleştiren ülke sayısı ise otuz sekizdir. Bu durum, Şekil 1'de gösterilmiştir.



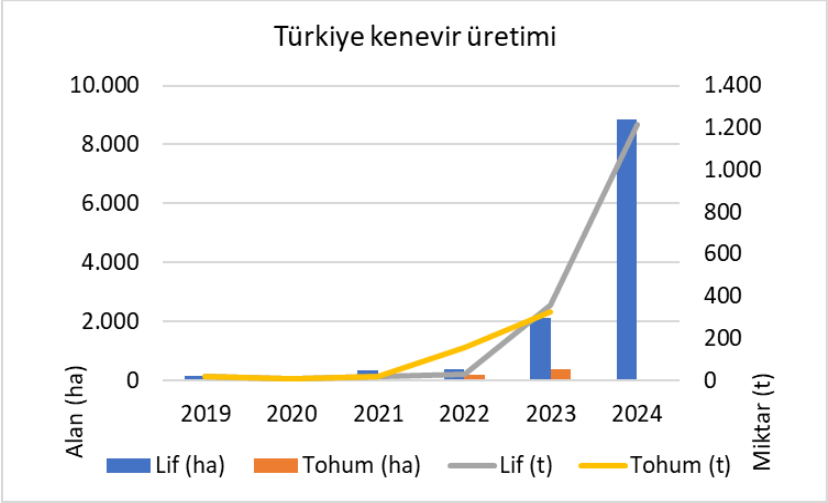
Şekil 1. Dünyada kenevir üretimi verileri (FAO, 2024)

Ayrıca, Türk tarımında da kenevir üretimiyle ilgili önemli gelişmeler yaşanmıştır. 2016 yılında Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından yayınlanan "Kenevir Yetiştiriciliği ve Kontrolü Hakkındaki Yönetmelik" ile kenevir yetiştiriciliğine yönelik önemli bir adım atılmıştır(URL-3, 2025). Bu yönetmelik doğrultusunda, izinli kenevir yetiştiriciliği belirli illerde yapılmasına onay verilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Türkiye'de kenevir tarımına izin verilen iller (Gizlenci vd., 2019)

2019 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi bünyesinde kurulan Kenevir Araştırmaları Enstitüsü ise ıslah çalışmaları başlatarak yerli kenevir türlerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır (URL-4, 2025). Tüm bu düzenlemeler Türkiye'deki kenevir üretimine önemli yansımaları olmuş ve 2024 yılında kenevir lifi üretimi 1212 tona ulaşmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Türkiye'de kenevir üretimi (TÜİK, 2025)

2. Kenevir Lifi Üretiminin Sürdürülebilirliği

"Sürdürülebilir Kalkınma" kavramının kapsayıcı bir anlayış haline gelmesi, 1987 yılında Bruntland Komisyonu tarafından yayımlanan "Ortak Geleceğimiz" adlı rapora dayanmaktadır. Bu bakış açısı 1992'deki Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı (UNCED)'nın önemini artırmıştır (UNCED, 1987). Burada sürdürülebilir kalkınma; "gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılamasına engel olmadan, günümüz neslinin gereksinimlerinin karşılanması" (Wrist, 1992) şeklinde tanımlanmıştır. Konferans sonrası sürdürülebilirlik iktisadi, sosyal ve çevresel yönleriyle ele alınmaya başlanmıştır. "Ortak Geleceğimiz" raporunun yerini, Rio+20 sonrası "İsteğimiz Gelecek" (The Future We Want) raporu almış ve burada yeşil ekonomi en önemli araçlardan biri olarak görülmüştür.

Kenevir, sürdürülebilirlik kavramının yanı sıra yeşil ekonomi açısından da yüksek bir potansiyele sahiptir. Karbon tutma özelliği, birim alandaki verimi, daha az pestisit gerektirmemesi ve bitkinin tüm kısımlarının çeşitli alanlarda kullanılabilirliği nedeniyle ticari başarı potansiyeli yüksektir. Potansiyel kullanım alanları arasında inşaat sektörü, kâğıt endüstrisi, tıbbi amaçlar, tekstil endüstrisi, biyoyakıt, kozmetik endüstrisi, gıda endüstrisi ve kompozit üretimi (mobilya, otomotiv, elektronik, uzay vb. alanlarda) yer almaktadır (Faiz vd, 2022). Kenevir lifleri, kompozit takviye malzemesi üretiminde biyobozunur bir alternatif olarak önemli bir rol

oynamaktadır. Yüksek çekme dayanımı ve düşük yoğunluğu, kenevir liflerini dayanıklı kompozit malzemeler geliştirmek için uygun bir hammadde haline getirmektedir.

Yüksek alfa-selüloz içeriği ve kristal yapısı sayesinde, kenevir lifleri dayanıklılık kazanmaktadır (Wang vd., 2007). Selülozda bulunan hidrojen bağları, liflerin hidrofilik özellikler göstermesine yol açmaktadır (Huber vd., 2012). Kompozit malzemede kullanılan matris, liflere koruma sağlayarak bu sorunu minimuma indirmektedir.

Kenevir yetiştiriciliği, düşük birim maliyet ve yüksek verim ile tohumdan yağ üretimi ve lif üretiminden kalan biyolojik kitle ile biyoenerji üretimi için uygun bir yenilenebilir enerji kaynağıdır (Muzammal vd, 2021). Kenevir bitkisinden elde edilen ürünler, biyobozunur özellikleri nedeniyle çevre dostu malzeme üretimine katkı sağlamaktadır (Kurtuldu ve İşmal, 2019).

2.1 Kompozit ve Kompozitte Kenevir Kullanımının Çevresel Etkileri

Kompozit malzemeler, iki veya daha fazla farklı malzemenin bir araya getirilmesiyle oluşturulan ve bileşenlerin bireysel özelliklerini muhafaza etmekle beraber yeni ve üstün özellikler kazandığı mühendislik ürünleridir. Genellikle bir matris (bağlayıcı faz) ve bir takviye edici fazdan (lif, partikül vb.) oluşurlar. Kompozitlerin başlıca amacı, tekil malzemelerle elde edilemeyen mekanik, fiziksel veya çevresel dayanım özelliklerini bir araya getirmektir.

- Matris fazı: Polimer, seramik veya metal esaslı olabilir. Polimerler rejenere veya sentetik olabilirler. Takviye malzemesini sarar ve dış etkenlere karşı korur, yük transferi sağlar ve yapının şeklini oluşturur.
- Takviye fazı: Genellikle cam, karbon veya doğal liflerden oluşur. Matris içinde dağılmış veya belli bir düzen halinde bulunur ve kompozitin dayanım, rijitlik ve darbe direnci gibi mekanik özelliklerini belirler.

Doğal liflerin kullanımı, son yıllarda özellikle çevresel sürdürülebilirlik, düşük karbon ayak izi ve biyobozunurluk gibi avantajları nedeniyle dikkat çekmektedir. Bu bağlamda, kenevir lifi en umut verici doğal takviye liflerinden biri olarak öne çıkmaktadır.

Kenevir lifi, kompozit malzemelerde hafiflik ve dayanıklılık gibi kritik özellikleriyle öne çıkmaktadır. Liflerin düşük yoğunluğu, kompozit malzemelerin ağırlığını önemli ölçüde azaltırken, yüksek çekme mukavemeti ve elastikiyet modülü de malzemenin mekanik performansını artırmaktadır (Okçuer, 2021). Kenevir lifleri, hafif yapıların gerekli olduğu havacılık ve otomotiv sektörlerinde tercih edilmektedir. Doğal liflerin yüksek enerji emme kapasitesi, darbelere karşı direnç sağlamaktadır (Kandemir vd., 2023).

Liflerin kimyasal yapısı, kompozitlerdeki matris ile güçlü bir bağ oluşturarak dayanıklılığı artırmaktadır. Ayrıca, lif yüzeyinin modifikasyonu sayesinde matrisle etkileşim daha da iyileştirilmektedir. Bu, kenevir lifi ile üretilen kompozitlerin daha uzun ömürlü ve güvenilir olmasını sağlamaktadır (Pala, 2015). Hafiflik ve dayanıklılık özellikleri, enerji verimliliği sağlayan yapıların inşasında kenevir lifi kullanımını teşvik etmektedir.

Kenevir lifi takviyeli kompozitler, çevresel sürdürülebilirlik açısından düşük karbon ayak izine sahip olmaları nedeniyle avantajlıdır. Doğal kaynakların etkin kullanımı ve geri dönüştürülebilir özellikleri, bu malzemelerin endüstriyel uygulamalarda popülerliğini artırmaktadır (Çetkin, 2019).

Kenevir lifi, düşük maliyeti ve kolay temin edilebilirliği ile kompozit malzeme üretiminde ekonomik bir alternatif sunmaktadır. Doğal liflerin düşük işleme maliyetleri, enerji yoğunluğu gerektiren sentetik malzemelere kıyasla üretim süreçlerini daha sürdürülebilir ve uygun maliyetli hale getirmektedir. Kenevir lifi, doğal bir kaynak olduğu için yerel üretimle daha düşük lojistik maliyetler sunabilmektedir (Vitoşoğlu vd., 2023).

Kompozitlerde kenevir lifinin kullanımı, yalnızca düşük maliyetle sınırlı kalmamakta, malzeme performansını da artırmaktadır. Örneğin, kenevir lifi, sentetik elyaflara kıyasla hafif olmasına rağmen, mukavemet açısından rekabetçi bir özellik gösterir. Bu, otomotiv ve inşaat sektörlerinde maliyet tasarrufu sağlarken çevresel faydalar da sunmaktadır (Yavaş, 2009).

Kenevir lifi üretiminde kullanılan alkali işlem gibi modifikasyon yöntemleri, liflerin mekanik özelliklerini iyileştirirken, aynı zamanda bu süreçlerin düşük maliyetli olması üretim ekonomisini desteklemektedir. Geri dönüştürülmüş malzemelerle birleştirilmesi durumunda, çevresel faydaların yanı sıra maliyet etkinliğini de artırmaktadır (Ahmed, 2024).

Kenevir lifi, kompozit malzeme üretiminde yenilikçi ve çevre dostu bir seçenek olarak öne çıksa da, su alma ve nem hassasiyeti gibi önemli dezavantajlara sahiptir. Kenevir liflerinin higroskopik yapısı, liflerin nem emme eğilimini artırmakta ve bu durum, kompozit malzemelerin mekanik dayanıklılığı üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Özellikle yüksek nemli ortamlarda, liflerin yapısal kararlılığı azalmakta ve bu da uzun vadede malzeme performansını düşürmektedir (Eti, 2017).

Nem emme özelliği, liflerin kompozit matrisle bağlanmasını zayıflatabilmekte ve bu da malzemenin mekanik özelliklerini sınırlamaktadır. Nemin neden olduğu mikrobiyal aktivite, liflerin biyolojik dayanımını etkileyerek, özellikle dış mekân uygulamalarında kullanımını sınırlamaktadır (Kutun Kızmaz, 2023). Su alma sorunu, kompozit malzemelerin boyutsal kararlılığını bozarak çatlak oluşumunu artırmakta ve bu durum da malzeme ömrünü kısaltmaktadır.

Bu dezavantajları en aza indirmek için, kenevir liflerine yüzey modifikasyonu gibi işlemler uygulanmaktadır. Örneğin, alkali işlemler ve hidrofobik kaplamalar, liflerin su alma oranını azaltarak bu sorunu hafifletmektedir. Ancak, bu işlemler ek maliyetler gerektirdiği için liflerin ticari rekabet gücünü sınırlayabilir (Baydar, 2016).

Kenevir lifi, doğal bir kaynak olduğu için üretim sürecinde birçok değişkene bağlı olarak kalite farkları göstermektedir. Bu durum, kompozit malzeme üretiminde lif kalitesinin standartlaştırılmasını zorlaştırmaktadır. Kenevir liflerinin mekanik özellikleri, yetiştirme koşulları, hasat zamanı, işleme yöntemleri ve kullanılan çeşitlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu değişkenlik, kompozit malzemelerin üretiminde tutarlı performans sağlamayı güçleştirmektedir (Eşkil, 2022).

Lif kalitesinin standartlaştırılması, özellikle endüstriyel ölçekte uygulamalarda önemli bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır ve bunu yerine getirmek özel çaba gerektirmektedir. Bunun nedeni kenevir kültivarları, hasat zamanı, yetişme ortamı gibi faktörlerin lif yapısı üzerine etkisidir. Kenevir lifi üretiminde kullanılan işleme teknikleri de kalite üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Geleneksel yöntemler, liflerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinde tutarsızlıklara neden olabilmekte; bu durum kompozit malzemelerde kullanılan liflerin performansında farklılıklara yol açmaktadır. Bu bağlamda, modern üretim yöntemlerinin uygulanması ve teknolojik gelişmelerin entegre edilmesi gerekmektedir (Teke, 2022).

2.2 Sürdürülebilir Saflaştırmada Zorluklar ve Fırsatlar

Kenevir liflerini saflaştırma (yapışkan madde giderme, zamk giderme – ing. degumming) süreci, liflerin selüloz yapılarını pektin, lignin ve diğer bağlayıcı bileşenlerden arındırarak daha saf ve işlenebilir hale getirilmesini kapsamaktadır. Bu süreç, kenevir liflerinin tekstil, kompozit ve endüstriyel uygulamalarda kullanılabilirliğini artırmak için kritik bir adımdır. Geleneksel saflaştırma yöntemleri arasında mekanik, kimyasal ve biyolojik işlemler yer almaktadır. Kimyasal yöntemler, alkali çözeltiler veya asitlerin kullanımıyla liflerin selüloz yapısını bozmadan bağlayıcı maddelerin çözülmesini sağlamaktadır (İlhan, 2007).

Biyolojik saflaştırma, çevre dostu bir alternatif olarak dikkat çekmektedir. Bu yöntem, bakteriler veya mantarlar tarafından üretilen enzimlerin yardımıyla liflerin pektin ve ligninden arındırılmasını içermektedir. Özellikle pektinaz enziminin kullanıldığı biyolojik süreçler, liflerin çevresel etkilerini en aza indirirken kimyasal yöntemlere göre daha düşük enerji tüketimi sağlamaktadır (Yamancı, 2014).

Mekanik liflendirme ise liflerin fiziksel olarak ayrıştırılmasıyla gerçekleştirilmekte olup, genellikle diğer yöntemlerle birleştirilmektedir. Mekanik işlemler, liflerin fiziksel dayanıklılığını korurken daha hızlı bir ayrıştırma süreci sunmaktadır. Ancak, bu yöntemler tek başına yeterli olmadığı için çoğunlukla kimyasal veya biyolojik yöntemlerle desteklenmektedir (Biberoğlu, 2022).

Modern saflaştırma teknikleri, nanoteknoloji ve ileri enzimatik yöntemlerin entegrasyonu ile daha verimli hale getirilmektedir. Bu gelişmeler, kenevir liflerinin işleme sürecinde enerji verimliliğini artırmakta ve daha yüksek kaliteli ürünlerin elde edilmesini sağlamaktadır. Bu bağlamda, liflerin yüzey modifikasyonu ve hidrofobik özelliklerin geliştirilmesi de yaygın uygulamalar arasında yer almaktadır (Kalaycı, 2017).

3. Kenevir Lifinin Saflaştırmasının Önemi

Saflaştırma süreci, kenevir liflerinin doğal bağlayıcı maddelerden (pektin, lignin ve mumsu maddeler) arındırılmasını sağlayarak, liflerin endüstriyel uygulamalara uygun hale getirilmesini mümkün kılmaktadır. Bu süreç, liflerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirerek, daha yüksek mukavemet ve elastikiyet gibi özellikler kazandırmaktadır. Aynı zamanda, selüloz içeriğinin artırılmasıyla, liflerin tekstil ve kompozit üretiminde kullanım performansı yükseltilmektedir (Özdemir ve Dilsiz, 2022).

Saflaştırma işlemi, özellikle kompozit malzeme üretimi için önemli bir adım olarak kabul edilmektedir. Liflerin saflık derecesinin artırılması, matrisle daha güçlü bağlanma özellikleri sağlayarak kompozitlerin mekanik dayanıklılığını artırmaktadır. Ayrıca, bu süreç, liflerin su alma oranını azaltarak çevresel koşullara karşı daha dirençli malzemeler elde edilmesine olanak tanımaktadır (Akın, 2016).

3.1 Saflaştırma Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Kenevir liflerinin saflaştırma sürecinde kullanılan farklı yöntemler, liflerin bitki gövdesinden ayrılmasını sağlayarak tekstil ve endüstriyel uygulamalara uygun hale getirilmesini amaçlamaktadır. Bu yöntemler genellikle mekanik, kimyasal, enzimatik ve fiziksel süreçlerden oluşmaktadır. Her yöntemin kendine özgü avantajları ve sınırlamaları bulunmaktadır.

Mekanik Yöntemler, liflerin fiziksel olarak ayrılması için basit makineler veya ekipmanlar kullanılarak uygulanmaktadır. Bu yöntem, düşük maliyetli ve çevre dostu bir seçenek olmasına rağmen, elde edilen liflerin kalitesini sınırlayabilmektedir (Poyraz ve Cüce, 2020).

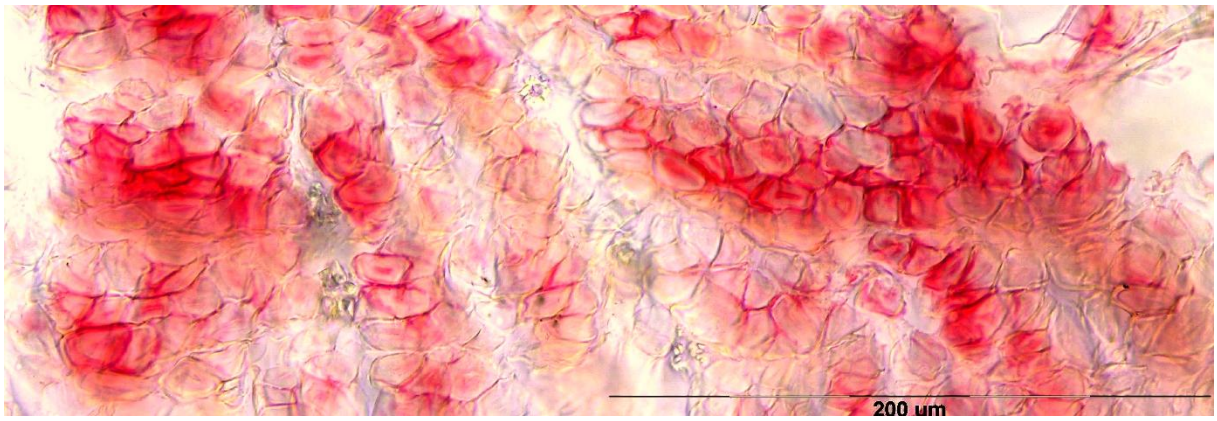
Kimyasal Yöntemler, alkaliler ve asitler gibi reaktifler kullanarak liflerin daha etkili bir şekilde ayrılmasını sağlamaktadır. Ancak, kimyasal saflaştırma yöntemleri çevresel etkileri nedeniyle dikkatle yönetilmesi gereken bir süreçtir. Ayrıca bu yöntemlerde yüksek enerji tüketimi söz konusu olabilmektedir (Biberoğlu, 2022).

Enzimatik Yöntemler, doğal enzimlerin kullanımıyla zamkların ayrışmasını sağlamaktadır. Bu yöntem, özellikle çevre dostu ve sürdürülebilir üretim süreçlerine olanak tanımaktadır. Ancak, enzimatik saflaştırma bazı durumlarda maliyetlerin yüksek olması nedeniyle sınırlı uygulanabilirliğe sahiptir (Yamancı, 2014).

Fiziksel Yöntemler arasında buharlı işleme ve ultrasonik uygulama gibi teknikler yer almaktadır. Bu yöntemler, liflerin mikroskobik yapısına zarar vermeden zamkların çözünmesini sağlamakta ve yüksek kaliteli lif üretimine olanak tanımaktadır (Kalaycı, 2017).

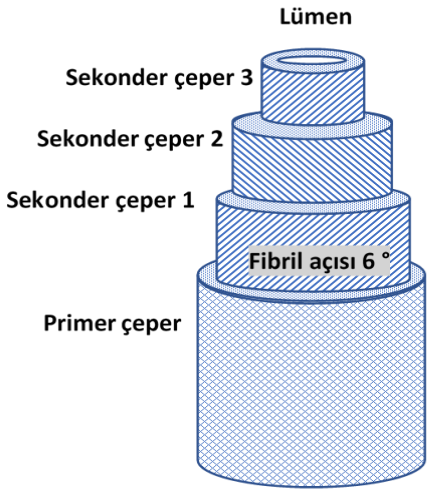
3.2 Kenevir Morfolojisi

Kenevir liflerinin kullanımı oldukça eskilere dayanmaktadır. Keten, sisal vb. bitkilerde olduğu gibi uzun soymuk liflerine sahiptir. Bitkinin soymuk dışında kalan odunsu kısım lifleri 1 mm altında olup oldukça kısadır ancak selüloz üretimi, hayvan altlığı, hempcrete, malç gibi farklı alanlarda kullanımı söz konusudur. Soymuk liflerinin morfolojik özellikleri şöyledir: boy 2-500 mm, çap 16-50 µm, yoğunluk 1,4-1,8 g/cm³, lineer kütle 3,3-30 dTex, çekme dayanımı 550-1110 MPa (Sachelaru, 2019; Vandepitte vd., 2020; Ahmed vd., 2022; Pinsard vd., 2023; Stevulova vd., 2014; Zimniewska, 2022).



Şekil 4. Kenevir liflerinin enine kesiti

Kenevir lifinin enine kesiti incelendiğinde (Şekil 4), lümen boşluğunun ksilem dokusunda olduğu gibi geniş bir boşluk değil, dar bir alan olarak yer aldığı görülmektedir. Bu özellik, takviye kenevir liflerinin matris ile bütünleşince yapı içerisinde (lümen içinde) hava boşluklarının olmayacağı anlamına gelmektedir.



Şekil 5. Kenevir lifinin çeper yapısı

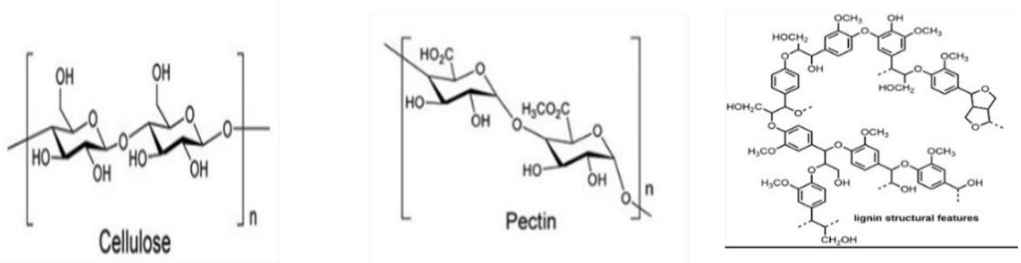
Kenevir lifinin yapısı, kompozit malzeme için uygun olmasının nedenlerinden biri, yüzeyinin rejenere ve sentetik lifler gibi düz olmamasıdır. Bu, matris içinde daha kolay entegre olmasını sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, çeperi oluşturan fibrillerin (Şekil 5) belli bir açı ile yer alması, şoklara daha dayanıklı olacağını göstermektedir (Mwaikambo ve Ansell, 2002). Santamala ve ark. (2016), keten üzerine yaptığı araştırmada doğal liflerden yapılan kompozitlerin daha yüksek uzama oranına sahip olduğunu ve liflere dik yönde daha iyi performans gösterdiğini saptamışlardır.

3.3 Kenevir Lifinin Kimyasal Yapısı

Kenevir bitkisi, liflerinin kimyasal yapısı sayesinde farklı endüstriyel alanlarda geniş kullanım olanaklarına sahiptir. Kenevir lif çeperini, odun gibi üç temel karbonhidrat bileşeni oluşturmaktadır: selüloz, hemiselüloz ve pektin (Şekil 6). Selüloz, β-1-4 tarzında bağlı anhidroglukopiranoz birimlerinin oluşturduğu lineer bir polimerdir (Browning, 1967) ve çeperdeki fibrilleri meydana getirmektedir. Fibrilleri bir arada tutan çapraz bağlı ksiloglukandır. Pektinin görevi ise bunların ikisini bir arada tutmaktır (Liu vd., 2016).

Selüloz saflaştırmak için hemiselüloz ve pektin dışında lignin ve az miktardaki mumlar da uzaklaştırılmalıdır. Kenevir liflerinin kimyasal bileşimi, olduğu gibi kullanılması için sınırlı alan sunmaktadır. Birçok kullanım alanı için liflerdeki selüloz dışındaki pektin, lignin, mum vb. bileşenlerin uzaklaştırılması istenmektedir.

Bununla birlikte, kimyasal modifikasyon yöntemleriyle liflerin özellikleri geliştirilerek yapı (Korkmaz ve Önal, 2022) ve diğer sektörlerde kullanım imkânı sunmaktadır.



Şekil 6. Lif çeperini oluşturan başlıca bileşenler (Hernaiz vd., 2020; Kazmi vd., 2019).

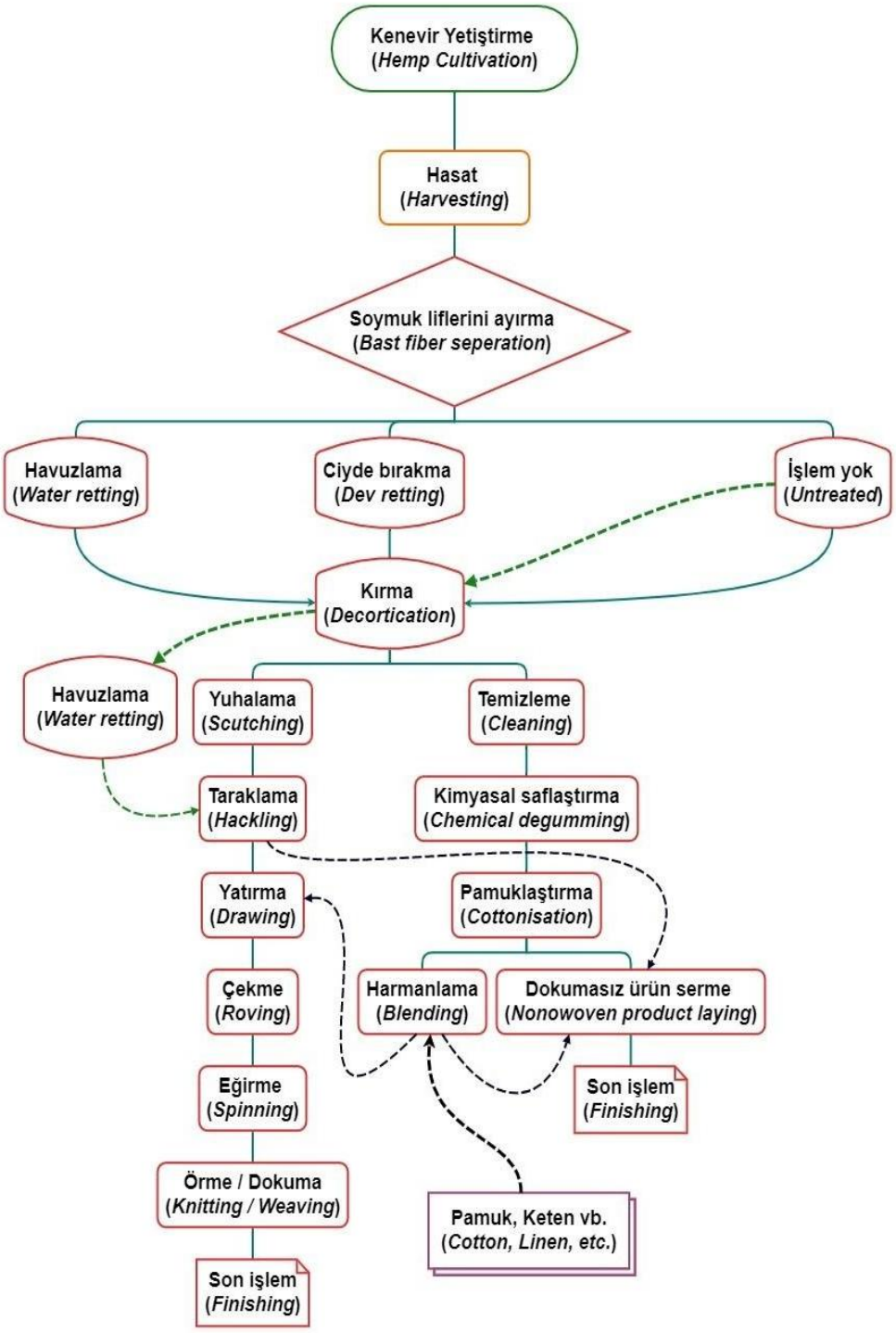
3.4 Kenevir Lifi Saflaştırma Kimyası

Kenevir lifinin saflaştırılması, lignin, hemiselüloz, pektin ve diğer safsızlıkların giderilmesini amaçlar. Enzimlerin etkisi ile yapısal birimler arasındaki bağlar kopar ve orijinal yüksek moleküllü bileşikler düşük molekül ağırlıklı maddelere ayrışır (Lyu vd., 2021).

Enzimatik Süreç Mekanizması: Enzimatik saflaştırma, özellikle pektinaz, ligninaz ve selülaz gibi enzimlerin kullanımıyla gerçekleştirilir. Bu enzimler, liflerin yapısındaki polimerik bağları hidrolize ederek, lignin ve pektin gibi bileşenlerin parçalanmasını sağlar. Örneğin, pektinaz enzimi, pektin moleküllerini galakturonik asit gibi daha küçük birimlere ayırarak liflerin saflaştırılmasını kolaylaştırır. Bu süreç, kimyasal yöntemlere kıyasla daha çevre dostudur ve liflerin doğal yapısını korur. Ancak, enzimatik yöntemlerin maliyeti ve süreç optimizasyonu gibi zorlukları da bulunmaktadır.

4. Kenevir Lifi Saflaştırma Yöntemleri

Kenevir üretimi, tohumluk ve liflik olmak üzere iki ana amaç için gerçekleştirilmektedir. Tohumluk kenevir üretimi sonrası kalan olgunlaşmış bitki gövdesindeki lifler, daha fazla lignin ve ekstraktif madde içerir. Bu lifler, kalın yapıları nedeniyle tekstil endüstrisinde tercih edilmezken, kompozit malzeme takviyesi olarak uygundur. Üretim süreci, yetiştirme ve hasat ile başlar (Şekil 7). Sonraki aşama lifleri odunsu kısımdan ayırmaktır. Lifleri bir arada tutan pektinimsi malzemenin uzaklaştırmak için iki yaklaşım sergilenir; önce pektinimsi maddeleri doğal çürütme yöntemi ile uzaklaştırma veya önce soymuk liflerini uzaklaştırma ve sonra saflaştırma (Lyu vd.,2021). Hasat sonrası, çürütme yöntemleri (çiyde bırakma veya havuzlama) uygulanır. Ancak bu yöntemlerde bakteri ve mantar gelişimi kontrol edilmesi zor olduğundan, bu işlem uygulanmadan doğrudan fiziksel ayırma (kırma) yöntemiyle odunsu kısımlar uzaklaştırılır. Daha sonra kimyasal saflaştırma ve onu pamuklaştırma işlemleri izlemektedir. Geleneksel yöntemler ise kırma, taraklama (hala demet olarak bir arada duran liflerin birbirinden ayrılması), çekme, eğirme ve örme/dokuma gibi aşamalardan oluşur. Bu yöntemlerle elde edilen lifler hem dokuma hem de dokumasız ürünlerde kullanılabilir.



Şekil 7. Kompozit malzeme için kenevir takviyesi üretim şeması

4.1 Geleneksel Saflaştırma Yöntemleri

Geleneksel saflaştırma yöntemleri, doğal çürütme (retting) işlemine dayanır. Bu işlem, iki ana yöntemle gerçekleştirilir: çiyde bırakma ve suda bekletme.

Çiyde Bırakma: Bu yöntem, düşük maliyetli ve kolay uygulanabilir olması nedeniyle yaygın olarak kullanılır. Hasat sonrası kenevir sapları, açık havada yığınlar halinde bırakılır. Yağış, çiy, güneş ışınları ve mikroorganizmaların etkisiyle ekstraktif maddeler, pektin ve küçük moleküllü karbonhidratlar parçalanır.

Ancak bu yöntem, lignin bozunması nedeniyle koyu renkli lifler üretir. Bazı Uzakdoğu ülkelerinde, bu sorunu çözmek için lifler, güneşin UV ışınlarıyla ağaracak şekilde uzun süre bekletilir.

Suda Bekletme: Bu yöntem, durgun veya akar suda gerçekleştirilebilir. Durgun suda bekletme, etkili olmasına rağmen kötü kokuya neden olur. Akar suda ise mikroorganizmaların etkisi daha yavaş olduğundan daha uzun süre bekletme gereklidir. Endüstriyel ölçekte, havuzlarda etkili mikroorganizmalar veya enzimler kullanılarak bu süreç hızlandırılabilir.

4.2 Kimyasal Saflaştırma Yöntemleri

Kimyasal saflaştırma, endüstriyel kapasite artışı ihtiyacıyla geliştirilmiştir. Bu yöntemde, mumsu maddeler, pektin, hemiselüloz ve lignin gibi bileşikler, alkali (sodyum hidroksit, potasyum hidroksit) veya asidik (sülfürik asit, hidroklorik asit) çözeltiler kullanılarak uzaklaştırılır. İşlem, 120-180 °C sıcaklıkta sulu ortamda gerçekleştirilir. Ardından, kimyasal kalıntılar yıkanarak temizlenir ve gerekirse ağartma işlemi uygulanır (Kabira vd., 2013).

4.3 Yarı Fiziksel Yöntemler

Yarı fiziksel yöntemler arasında buhar patlatmalı, mikro dalga enerji destekli, dondurma, ultrason ve süper kritik karbondioksiti sayabiliriz. Buhar patlatma yöntemi W. Mason tarafından icat edilmiştir ve yüksek sıcaklık ve basınç altında olan lifler ani basınç düşüşü ile birbirinden ayrılması sağlanmaktadır (Deepa, vd., 2011).

Yaklaşık 2,45 GHz frekansındaki mikro dalga enerjisi ani ısınma ve pektin bağlarının zayıflaması ve uzaklaşmasına sebep olmaktadır (Li vd., 2020). Dondurma tekniği (kriyojenik) 1937 de Guliyev ve arkadaşları tarafından geliştirmemiştir, tekrarlanan donma ve erime serisi (genleşme – büzülme) pektin ile selüloz arasında çatlaklar oluşturmaktadır (Liu vd., 2018). Ultrasonik işlem 20 kHz frekansında mekanik dalga şeklinde sesin transferi ile oluşmaktadır. Oluşan jet akımı ile pektinler yüzeye taşınması gerçekleşmektedir (Syafri vd., 2019).

4.4 Biyolojik Saflaştırma Yöntemleri

Biyolojik saflaştırma yöntemlerinde de iki yaklaşım uygulanmaktadır. Birincisi ekstrakte edilmiş enzimler. Liflerde uzaklaştırılması hedeflenen bileşikleri hedef alan enzimler (pektinaz, mannanaz, ksilanaz vb.) kullanılarak saflaştırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Güncel uygulamalarda enzimler ultrason destekli sistemlerle birlikte kullanılabilmektedir. Enzim üretimi ve ekstraksiyonu uzun ve pahalı olabiliyor bu nedenle ikinci yaklaşım doğrudan belli başlı mikroorganizmaları geliştirerek ve uygulayarak yapılmaktadır (Cheng vd., 2018).

5. Gelecek Perspektifleri

Kenevir, yenilenebilir ve çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli avantajlar sunan bir bitki olarak, endüstriyel uygulamalarda giderek artan bir öneme sahiptir. Kenevir liflerinin fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri, tekstil, otomotiv, inşaat, havacılık ve daha pek çok sektörde yaygın kullanımını mümkün kılmaktadır. Yüksek çekme dayanımı, düşük yoğunluğu ve biyobozunur özellikleri sayesinde kenevir lifli kompozitler, çevre dostu ve ekonomik malzeme çözümleri sunmaktadır. Bu liflerden üretilen kompozitler, karbon ayak izini azaltarak sürdürülebilir üretim süreçlerini desteklemekte ve döngüsel ekonomi modellerine katkı sağlamaktadır.

Kenevir tarımı, düşük su ve kimyasal ihtiyaçları sayesinde çevre dostu bir üretim süreci sunarken, hızlı büyüme döngüsü ve karbon emme kapasitesi ile ekolojik dengeyi desteklemektedir. Kenevir liflerinden elde edilen kompozit malzemeler, geri dönüştürülebilir olmaları sayesinde atık yönetiminde çevresel fayda sağlamakta, ayrıca biyobozunur yapılarıyla doğada kolayca çözünerek çevreye zarar vermemektedir. Bu malzemelerin termal ve akustik yalıtım özellikleri, enerji verimliliğini artırmakta ve özellikle yapı sektöründe sürdürülebilir çözümler sunmaktadır.

Ancak, kenevir lifli kompozitlerin yaygın kullanımı bazı zorluklarla karşılaşmaktadır. Su alma ve nem hassasiyeti, lif kalitesinin standartlaştırılmasındaki güçlükler ve üretim süreçlerindeki maliyetlerin optimize edilmesi gerekliliği, bu alandaki en önemli sorunlar arasında yer almaktadır. Modern yüzey modifikasyon teknikleri ve ileri üretim yöntemleri, bu zorlukların üstesinden gelinmesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca, kenevir liflerinin diğer doğal ve sentetik liflerle birleştirilmesiyle üretilen kompozitler, daha dayanıklı ve hafif malzeme çözümleri sunarak bu liflerin potansiyelini daha da artırmaktadır.

5.1 Saflaştırmanın Teknik ve Ekonomik Sınırları

Kenevir lifi saflaştırma işlemleri, lignin, pektin ve hemiselülozun uzaklaştırılmasını içerir. Ancak bu süreç, bazı teknik ve ekonomik sınırlamalarla karşı karşıyadır.

Kimyasal Saflaştırma: Kimyasal saflaştırma yöntemi, kuvvetli asitler ve alkaliler gerektirir. Bu, liflerin zarar görmesine ve lif kalitesinin düşmesine neden olabilir. Ayrıca, yüksek enerji ve su tüketimi gibi çevresel sorunlar yaratmaktadır.

Biyolojik Saflaştırma: Enzim uygulamaları, çevre dostu bir yöntem olmasına rağmen, enzim üretim maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle pahalı ve yavaş bir süreçtir. Ayrıca, kenevir bitkisinin pektin ve lignin içeriği, yetiştirme koşullarına ve hasat yöntemine göre değiştiği için standartlaştırma zordur.

Geleneksel Saflaştırma: Geleneksel saflaştırma yöntemlerinin avantajları arasında düşük işlem maliyetleri ve kalıntıların toprağı zenginleştirmesi yer alır. Ancak, bu yöntemler hava ve coğrafyaya bağlı olduğu için lif verimi ve kalitesini kontrol etmek zordur. Ayrıca, tarlaların taze ekim ürünü için kullanılamaması bir dezavantajdır (Manian vd., 2021).

Sonuç: Kenevir lifi saflaştırma sürecinin geleceği, maliyeti düşüren, verimi artıran ve lif kalitesini yükselten teknolojik yeniliklere bağlıdır. Kimyasal ve geleneksel yöntemlerin çevresel etkileri göz önüne alındığında, enzim bazlı biyolojik yöntemler gibi daha çevre dostu yöntemlerin geliştirilmesi önemlidir.

5.2 Ekolojik Saflaştırmanın Avantajları

Kenevir tarımı, çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük avantajlar sunan bir uygulama olarak dikkat çekmektedir. Kenevir bitkisi, hızlı büyüme döngüsü sayesinde toprağın biyolojik aktivitesini artırmakta ve erozyon riskini azaltmaktadır. Derin kök yapısı, toprağın havalanmasına ve su tutma kapasitesinin yükselmesine katkı sağlamaktadır (Göre ve Kurt, 2020).

Kenevir, fotosentez sırasında yüksek miktarda karbon dioksit emerek atmosfere salınan sera gazlarının azaltılmasına katkıda bulunmaktadır. Ayrıca, kimyasal gübre ve pestisit ihtiyacının düşük olması hem çevresel kirliliği azaltmakta hem de doğal ekosistemlerin korunmasını sağlamaktadır (Eşkil, 2022).

Kenevir tarımı, diğer bitkilere kıyasla daha az su tüketimi ile dikkat çekmektedir. Bu durum, su kaynaklarının verimli kullanılması gereken bölgelerde kenevirin önemli bir alternatif olduğunu göstermektedir. Ayrıca, kenevir hasadı sırasında elde edilen artıklar, biyolojik olarak geri dönüştürülebilir olduğundan, sürdürülebilir tarım uygulamalarına katkı sağlamaktadır (Mert ve Çopur, 2021).

Kenevir, biyobozunur özellikleriyle çevreye zararlı plastiklerin yerine kullanılabilecek ürünlerin hammaddesi olarak öne çıkmaktadır. Lifleri, tekstil, yapı malzemeleri ve biyoplastik üretiminde kullanılabilirken, geri kalan kısımlar biyoyakıt üretimi için değerlendirilmektedir. Bu yönleriyle kenevir, döngüsel ekonominin bir parçası haline gelmektedir (Onay vd., 2021).

5.3 Gelecekteki Araştırma Konuları

Kenevir liflerinin kompozit malzeme üretimindeki rolünü daha da geliştirmek ve genişletmek için gelecekteki araştırmalar, teknik, çevresel ve ekonomik alanlarda yenilikçi yaklaşımlar üzerine yoğunlaşmalıdır. Liflerin

doğal avantajlarının yanı sıra karşılaşılan zorlukların aşılması, kenevirin daha geniş endüstriyel uygulamalarda kullanılmasını sağlayabilir.

- Lif Kalitesinin Standartlaştırılması: Kenevir liflerinin yetiştirme koşulları, hasat zamanı ve işleme yöntemlerine bağlı olarak değişen mekanik ve kimyasal özelliklerini kontrol altına almak için standartlaştırma süreçlerinin geliştirilmesi kritik bir ihtiyaçtır.
- Yüzey Modifikasyon Teknolojilerinin Geliştirilmesi: Lif-matris etkileşimini artırmak ve su alma hassasiyeti gibi doğal dezavantajları gidermek amacıyla yüzey modifikasyon yöntemlerinin ilerletilmesi gerekmektedir.
- Kompozitlerin Performans Optimizasyonu: Kenevir liflerinin cam, karbon ve bazalt liflerle birleştirilmesi gibi kompozitlerin geliştirilmesi, enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerini destekleyen yeni uygulama alanları yaratabilir.
- Yeni Üretim Tekniklerinin Geliştirilmesi: Kenevir liflerinden üretilen kompozitlerin maliyet etkinliğini artırmak için sıcak presleme, ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama gibi üretim süreçlerinin iyileştirilmesi gerekmektedir.
- Çevresel ve Döngüsel Ekonomi Modellerine Katkı: Kenevirin biyobozunur ve geri dönüştürülebilir özelliklerinden faydalanarak döngüsel ekonomi uygulamalarına entegre edilmesi, çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir adım olacaktır.
- Nem Hassasiyetinin Azaltılması: Kenevir liflerinin higroskopik özelliklerini iyileştirmek için polimer kaplama ve hidrofobik yüzey modifikasyonları gibi yenilikçi çözümlerin araştırılması gereklidir.
- Yeni Sektörlerde Kullanım: Kenevir liflerinin havacılık, uzay, enerji ve medikal sektörlerdeki uygulama potansiyeli, bu alanlarda yapılacak detaylı araştırmalarla artırılabilir.
- Ekolojik Tarım ve Sürdürülebilir Üretim: Kenevir tarımında kullanılan ekolojik yöntemlerin yaygınlaştırılması, kimyasal kullanımının azaltılması ve organik üretim standartlarının belirlenmesi, kenevirin çevresel etkilerini daha da azaltacaktır.
- Ekonomik Modellemeler ve Pazar Stratejileri: Kenevir bazlı ürünlerin ekonomik faydalarını değerlendirmek ve endüstriyel ölçekte kullanımını teşvik etmek için pazar analizleri ve ekonomik modellemeler yapılmalıdır.
- Yasal ve Düzenleyici Çerçevenin Geliştirilmesi: Kenevirin sanayiye entegrasyonu için yasal düzenlemelerin iyileştirilmesi, üretim ve kullanım alanlarının genişletilmesinde önemli bir rol oynayacaktır.

5.4 Yöntemlerin Değerlendirmesi

Kenevir saflaştırma yöntemleri farklı kıstaslara göre değerlendirilebilir. Başlıca verim, çevresel etki, maliyet ve lif kalitesi açısından değerlendirme Tablo 1'de verilmiştir. Endüstriyel ölçekli kenevir üretiminde kalite ve verim ön planda olması durumunda kimyasal veya ultrasonik yöntemler tercih edilebilir, ancak iyi bir arıtma sistemi kurulmalıdır. Organik ve sürdürülebilir bir üretim için biyolojik ve osmotik yöntemler daha uygun olacaktır, ancak burada sürenin uzunluğu dikkate alınmalıdır. Yarı kimyasal yöntemler hem kalite hem de çevresel duyarlılık arasında denge kurmak isteyen sanayi işletmeleri için ideal bir geçiş teknolojisi olabilir.

Tablo 1
Yöntemlerin etki değerlendirmesi

Yöntem	Verim	Çevresel Etki	Maliyet	Lif Kalitesi
Geleneksel Saflaştırma	Düşük – Doğa koşullarına bağımlı, süreç kontrolü zayıf	Düşük – Kimyasal kullanılmaz, çevre dostudur	Düşük – Yatırım ve işletme maliyeti az	Düşük – Liflerde koyu renk ve heterojenlik görülür
Kimyasal Saflaştırma	Yüksek – Süreç kontrolü kolay, hızlı ayrışma	Yüksek – Kimyasal atık oluşur, arıtma zorunlu	Yüksek – Kimyasal alımı ve atık yönetimi maliyetli	Yüksek – Homojen, açık renkli ve parlak lif elde edilir
Yarı Kimyasal Saflaştırma	Orta – Kimyasal ve biyolojik avantajlar birleşir	Orta – Kimyasal miktarına bağlı olarak değişken	Orta – Kontrollü kimyasal ve süreç yatırımı gerekir	Orta – Yüksek – Tatmin edici kalite ve doğal yapı dengesi
Biyolojik Saflaştırma	Orta – Mikroorganizma aktivitesine bağlı	Çok Düşük – Doğal yollarla, çevreye zarar vermez	Orta – Süre uzadıkça işletme maliyeti artar	Orta – Lif doğal dokusunu korur ancak homojenlik düşüktür
Ultrasonik Saflaştırma	Yüksek – Kısa sürede etkili saflaştırma	Düşük – Kimyasal gerekmez, enerji tüketimi var	Orta – Cihaz yatırımı gerektirir, ancak işletme maliyeti düşüktür	Yüksek – İnce, homojen lif yapısı sağlar
Osmotik Saflaştırma	Orta – Lif yapısına zarar vermeden çözünme sağlar	Çok Düşük – Kimyasal gerekmez, biyolojik uyumludur	Düşük – Basit sistemlerle uygulanabilir	Orta – Doğal görünüm korunur, ancak parlaklık az

6. Sonuç

Araştırma sonucunda, kenevir lifleri ve bu liflerden üretilen kompozit malzemelerin, çevresel etkileri azaltmak, enerji verimliliğini artırmak ve ekonomik faydalar sağlamak açısından ideal bir seçenek olduğu ortaya çıkmıştır. Kenevir, düşük su ve kimyasal ihtiyaçları, hızlı büyüme döngüsü ve yüksek karbon emme kapasitesi ile sürdürülebilir tarımın önemli bir ögesi olarak öne çıkmaktadır. Liflerinin yüksek çekme dayanımı, düşük yoğunluğu ve biyobozunur özellikleri, tekstil, otomotiv, inşaat, havacılık ve diğer endüstriyel alanlarda geniş kullanım imkânı sunmaktadır.

Kenevir lifli kompozitler, karbon ayak izini azaltarak sürdürülebilir üretim süreçlerini desteklemekte ve döngüsel ekonomi modellerine önemli katkılar sağlamaktadır. Bu malzemeler, geri dönüştürülebilir olmaları ve doğada kolayca çözünmeleri sayesinde atık yönetiminde çevresel faydalar sunmaktadır. Ayrıca, termal ve akustik yalıtım özellikleri, enerji verimliliğini artırarak özellikle yapı sektöründe sürdürülebilir çözümler sunmaktadır.

Ancak, kenevir liflerinin yaygın kullanımı önündeki bazı zorluklar da bulunmaktadır. Su alma ve nem hassasiyeti, lif kalitesinin standartlaştırılmasındaki güçlükler ve üretim süreçlerindeki maliyetlerin optimize edilmesi gerekliliği, bu alandaki en önemli sorunlar arasında yer almaktadır. Bu zorlukların üstesinden gelmek için modern yüzey modifikasyon teknikleri, kompozitler ve ileri üretim yöntemleri gibi yenilikçi yaklaşımlar geliştirilmektedir.

- Gelecekte, kenevir liflerinin potansiyelini daha da artırmak için aşağıdaki alanlarda araştırma ve geliştirme çalışmalarına odaklanılması önerilmektedir:
- Lif Kalitesinin Standartlaştırılması: Yetiştirme koşulları, hasat zamanı ve işleme yöntemlerine bağlı olarak değişen lif özelliklerinin kontrol altına alınması.

- Yüzey Modifikasyon Teknolojileri: Lif-matris etkileşimini artırmak ve su alma hassasiyetini azaltmak için yenilikçi yüzey modifikasyon yöntemlerinin geliştirilmesi.
- Kompozitler: Kenevir liflerinin cam, karbon ve bazalt liflerle birleştirilmesiyle daha dayanıklı ve hafif malzeme çözümlerinin üretilmesi.
- Çevresel ve Döngüsel Ekonomi Modelleri: Kenevirin biyobozunur ve geri dönüştürülebilir özelliklerinden faydalanarak döngüsel ekonomi uygulamalarına entegre edilmesi.
- Yeni Sektörlerde Kullanım: Kenevir liflerinin havacılık, uzay, enerji ve medikal sektörlerdeki uygulama potansiyelinin araştırılması.

Sonuç olarak, kenevir lifleri ve bu liflerden üretilen kompozit malzemeler, sürdürülebilir endüstrilerin vazgeçilmez bir parçası olmaya adaydır. Tarımdan ürünlere kadar olan süreçte gerçekleştirilecek teknolojik yenilikler ve araştırmalar, bu doğal kaynağın daha geniş uygulama alanlarına sahip olmasını sağlayacaktır. Bu bağlamda, kenevir lifli kompozitler, geleceğin çevre dostu ve sürdürülebilir malzemeleri arasında yer almayı sürdürecektir.

Yazar Katkıları

Sinem Laloğlu: Literatür taraması, araştırma, Kaynaklar ve makaleyi yazmıştır.

Celil Atik: Araştırma, yorumlama, kontrol, düzenleme ve makaleyi yazmıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

Ahmed, A.T.M.F., Islam, Z., Mahmud, S., Sarker, E., Islam, R. (2022). Hemp as a potential raw material toward a sustainable world: A review. 8(1), e08753. doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08753

Ahmed, N. T. (2024) Otomotiv endüstrisinde karbon elyaf uygulamaları ile ilgili gelişmeler ve sürdürülebilirlik yaklaşımları. Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Türkiye

Akın, G. (2016). Kabak çekirdeği yağındaki aktif bileşenlerin HPLC ve GC-MS ile tayini ve incelemesi. Yüksek Lisans Tezi. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Kimya Anabilim Dalı, Türkiye

Baydar, E. (2016). Farklı Dolgu Maddeli Pvc Kompozit Malzemelerinin Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Türkiye

Biberoğlu, E. (2022). Bazalt ve karbon elyaf yüzeylerinin farklı reçinelerle kaplanması ve betonda kullanımın incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Türkiye

Browning, B.L. (1967). Methods of Wood Chemistry. Cilt II, Interscience Publishers John Wiley Sons

Cheng, L., Wang, Q., Feng, X., Duan, S., Yang, Q., Zheng, K., Peng, Y. (2018). Screening a bacterium and its effect on the biological degumming of ramie and kenaf. Scientia Agricolar 75 (5), 375–380. doi.org/10.1590/1678-992x-2017-0108

Cherrett, N., Barrett, J., Clemett, A., Chadwick, M. and Chadwick, M. J. (2005). Ecological Footprint and Water Analysis of Cotton, Hemp and Polyester. Report prepared for and reviewed by BioRegional Development Group and World Wide Fund for Nature – Cymru. Stockholm Environment Institute Report. 13 December 2005

Çetkin, E. (2019). Determination of Tensile Strength of Jute Reinforced Polymer Matrix Composites Bonded in Different Overlap Lengths. Uluslararası Bilim ve Mühendislik Sempozyumu, 20-22 Haziran, Siirt Üniversitesi, Siirt.

Deepa, B., Abraham, E., Cherian, B.M., Bismarck, A., Blaker, J.J., Pothan, L.A., Kottaisamy, M. (2011). Structure, morphology and thermal characteristics of banana nano fibers obtained by steam explosion. Bioresources and Technology 102 (2), 1988–1997.

Eşkil, G. (2022). Narkotik niteliği taşıyan kenevir bitkisinin coğrafi özellikleri ve Çorum'daki türlerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Hitit Üniversitesi, Adli Bilimler Anabilim Dalı, Türkiye

Eti, Ö. (2017). Alkali, asidik ve enzimatik yüzey işlemlerinin sisal lifi takviyeli termoplastik esaslı kompozit malzemelerin mekanik özelliklerine etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Türkiye

Faiz, A., Md Islam Z., Md Sultan M., Md Emdad S., Md Reajul I. (2022). Hemp as a potential raw material toward a sustainable world: A review Heliyon 8(1), e08753 doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08753

FAO (2024). Food and Agriculture Organization of the United Nations.Available Erişim Adresi: https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize (accessed on 12 Mart 2024).

Gizlenci Ş., Acar M., Yiğen Ç., Aytaç S. (2019). Kenevir Tarımı. Tarım ve Orman Bakanlığı, TAGEM, Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü yayını, 2019 Samsun

Göre, M., Kurt, O. (2020) Bitkisel üretimde yeni bir trend: Kenevir. International Journal of Life Sciences and Biotechnology, 4(1), 138-157.

Gulyaev, A.P. (1937). Improved methods of heat treating high speed steels to improve the cutting properties. Metallurgy 12, 65-70.

Hernaiz, M.j., Perona, A., Hoyos, P. ve Angeles, F. (2020). Current Challenges and Future Perspectives in the Sustainable Mechanochemical Transformations of Carbohydrates, doi: 10.1039/D0GC00901F

Huber, T., Müssig, J., Curnow, O., Pang, S., Bickerton, S., ve Staiger, M. P. (2012). A critical review of all-cellulose composites Erişim Aderesi: http://link.springer.com/10.1007/s10853-011-5774-3 Doi: 10.1007/s10853-011-5774-3

İlhan, P. (2007). Çay tohumu yağının biyodizel üretiminde değerlendirilmesi. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği, Türkiye

Kabira M.M., Wanga H., Laua K.T., Cardonaa F. (2013). Effects of chemical treatments on hemp fibre structure Applied Surface Science 276, 13–23. https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.02.086

Kalaycı, E. (2017). Ananas liflerinin ön terbiyesinin araştırılması, Yuksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Türkiye

Kandemir, Y., Varol, T., ve Aslan, M. (2023). Silah gövdeleri için geliştirilen polimer kompozit malzemeler için çok kriterli karar verme yöntemleri ile doğal takviye malzemesinin seçimi. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 13(4), 911-926.

Korkmaz, A. A., ve Önal, Y. (2022). Kenevir atiklarinin karbonizasyonu ve aktif karbon eldesi. Konya Journal of Engineering Sciences, 10(1), 29-39.

Kurtuldu, E., ve İşmal, Ö. E. (2019). Sürdürülebilir Tekstil Üretim ve Tasarımında Yeniden Değer Kazanan Lif: Kenevir. 12(24), 694-718, doi.org/10.21602/sduarte.624485

Kutun Kızmaz, A. (2023). Otomotiv sektörüne yönelik odun plastik kompozit malzemelerin tribolojik özelliklerinin incelenmesi Yüksek lisans tezi, Tarsus Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, Türkiye

Kazmi, M.Z.H., Karmakar, A., K. Michaelis,V., J. Williams, F., (2019). Separation of cellulose/hemicellulose from lignin in white pine sawdust using boron trihalide reagents, doi: https://doi.org/10.1016/j.tet.2019.02.009

Li, C., Liu, S., Song, Y., Nie, K., Ben, H., Zhang, Y., Jiang, W. (2020). A facile and eco- friendly method to extract Apocynum venetum fibers using microwave-assisted ultrasonic degumming. Industrial Crops Production, 151. doi.org/10.1016/j. indcrop.2020.112443.

Liu M., Anne S. Meyer, Dinesh Fernando, Diogo Alexandre Santos Silva, Geoffrey Daniel, Anders Thygesen (2016). Effect of pectin and hemicellulose removal from hemp fibres on the mechanical properties of unidirectional hemp/epoxy composites. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 90(11), 724-735.

Liu, J., Guan, Z., Li, Z., (2018). Application of cryogenic and mechanical treatment in degumming of hemp stems. Biosys. Eng. 174, 144–152. doi.org/10.1016/j. biosystemseng.2018.07.007.

Lu, N., Oza, S. (2013). A comparative study of the mechanical properties of hemp fiber with virgin and recycled high density polyethylene matrix, Composites Part B: Engineering, 45(1), 1651-1656, doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.09.076

Lyu P., Zhang Y., Wang X., Hurren C. (2021). Degumming methods for bast fibers - A mini review. Industrial Crops and Products 174, 114158.

Manian A.P., Cordin M., Pham T. (2021). Extraction of cellulose fibers from flax and hemp: a review Cellulose 28, 8275–8294.

Mert, M., Çopur, O. (2010). Lif Bitkileri Üretiminin Artırılması Olanakları. Türkiye Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi, 11-15 Ocak 2010, Ankara, Bildiriler Kitabı-1, 397-421.

Musio, S., Müssig, J., Amaducci, S. (2018). Optimizing Hemp Fiber Production for High Performance Composite Applications. Frontier in Plant Science 9, 1702. doi:10.3389/fpls.2018.01702.

Muzammal R., Shah F., Guanghui D., Xia C., Yang Y., Kailei T., Lijun L., Fei-Hu L., Gang D. (2021). Evaluation of hemp (Cannabis sativa L.) as an industrial crop: a review. Environmental Science and Pollution Research 28, 52832-52843, doi.org/10.1007/s11356-021-16264-5

Mwaikambo, L.Y., Ansell, M.P. (2002). Chemical modification of hemp, sisal, jute, and kapok fibers by alkalization. Journal of Applied Polymer Science 84(12), 2222–2234.

Okçuer, T. H. (2021). Endüstriyel kenevirden kompozit malzeme geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.

Onay, A., Haspolat, Y. K., Türken, A. (2021). Endüstriyel Kenevir Tohumlarının Proteinleri, Yağları ve Bir Besin Kaynağı Olarak Potansiyel Kullanımları, 813-839, Orient yayınları.

Özdemir, M. ve Dilsiz, N. (2022). Improvement of Mechanical and Thermal Properties of Graphene, Carbon Nanotube and Carbon Nanofiber Reinforced Nanocomposites, 10. International Fiber and Polymer Research Symposium, İstanbul, Türkiye, 60-62.

Pala, İ. (2015). Tekstil lifleri ile takviyelendirilmiş kompozit malzemelerin ürün tasarımında kullanılması. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Ürünleri Tasarımı Anabilim Dalı, Türkiye

Pinsard, L., Revol, N., Pomikal, H., De Luycker, E., Ouagne, P. (2023). Production of Long Hemp Fibers Using the Flax Value Chain. Fibers 11(5), 38. doi.org/10.3390/fib11050038

Poyraz, A. Ö., ve Cüce, H. (2020). Yüksek toplam organik karbon (Tok) içerikli atık çamurların foto-fenton prosesi ile stabilizasyonun araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Türkiye

Sachelaru, A.G. (2016). Isolation of Cellulose Fibers from Hemp for Textile Industry. Yüksek LisansTezi, Groningen University, Groningen, The Netherlands.

Santamala, H., Livingston, R., Sixta, H., Hummel, M., Skrifvars, M., Saarela O. (2016) Advantages of regenerated cellulose fibres as compared to flax fibres in the processability and mechanical performance of thermoset composites. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 84(5) 377-385 doi.org/10.1016/j.compositesa.2016.02.011

Stevulova, N.; Cigasova, J.; Estokova, A.; Terpakova, E.; Geffert, A.; Kacik, F.; Singovszka, E.; Holub, M. (2014). Properties Characterization of Chemically Modified Hemp Hurds. Materials 7, 8131–8150

Syafri, E., Kasim, A., Abral, H., Asben, A. (2019). Cellulose nanofibers isolation and characterization from ramie using a chemical-ultrasonic treatment. Journal of Natural Fibers. 16 (8), 1145–1155. doi.org/10.1080/15440478.2018.1455073).

Teke, A. A. (2022). Deneysel Giysi Tasarımında Biyomateryallerin Olanakları Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, Türkiye.

TUİK (2025) Türkiye İstatistik Enstitüsü. Erişim adresi: https://www.tuik.gov.tr/ Erişim tarihi: 21.03.2025

URL-1 (2025). Cotton. Erişim tarihi: 21.03.2025. Erişim adresi: https://tradingeconomics.com/commodity/cotton.

URL-2 (2025). Clean Hemp Bast Fiber Per Pound. Erişim tarihi 21.03.2025. Erişim adresi: https://bulkhempwarehouse.com/clean-hemp-bast-fiber-per-pound/.

URL-3 (2025). Kenevir Yetiştiriciliği ve Kontrolü Hakkında Yönetmelik. Erişim tarihi: 21.03.2025. Erişim adresi: https://resmigazete.gov.tr/eskiler/2016/09/20160929-3.htm.

URL-4 (2025). Kenevir Araştırmaları Enstitüsü. Erişim tarihi: 21.03.2025. Erişim adresi: https://kenevirens.omu.edu.tr/tr.

Van Der Werf, H., Mathussen, E.W.J.M., Haverkort, A.J. (1996). The potential of hemp (Cannabis sativa L.) for sustainable fibre production: a crop physiological appraisal, Annals of Applied Biology 129(1) August 109-123.

Vandepitte, K.; Vasile, S.; Vermeire, S.; Vanderhoeven, M.; Van der Borght, W.; Latré, J.; De Raeve, A.; Troch, V. (2020). Hemp (Cannabis sativa L.) for high-value textile applications: The effective long fiber

yield and quality of different hemp varieties, processed using industrial flax equipment. *Industrial Crops Production* 158, 112969

Vitoşoğlu, Y., ve Şengül, T. (2023). Zeminlerin Mühendislik Özelliklerinin Doğal ve Sentetik Lifler Kullanılarak İyileştirilmesi, Geoteknik Mühendisliğinde Yenilikçi Araştırmalar 167-226

Wang, B., Sain, M. ve Oksman, K. (2007). Study of Structural Morphology of Hemp Fiber from the Micro to the Nanoscale. Appl Compos Mater 14, 89–103. doi.org/10.1007/s10443-006-9032-9

Yamanci, H. (2014). Termofilik Aspergillus fumigatus 2101'den pektinaz enziminin saflaştırılması ve karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yavaş, M. O. (2009). Hafif silahlara karşı bireysel savunma amaçlı kompozit malzeme tasarımı ve balistik dayanımı, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye

Zimniewska, M. (2022). Hemp Fibre Properties and Processing Target Textile: A Review. Materials 15(5), 1901, doi.org/10.3390/ma15051901