

PAPER DETAILS

TITLE: KENEVİR LİFLERİNİN ELDESİ, ÖZELLİKLERİ VE KOMPOZİT UYGULAMA ALANLARI

AUTHORS: Dilara DEMİRBEK, Meliha OKTAV BULUT

PAGES: 176-191

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1784782>

KENEVİR LİFLERİNİN ELDESİ, ÖZELLİKLERİ VE KOMPOZİT UYGULAMA ALANLARI

Dilara Melek Demirbek^{1*}, Meliha Oktav Bulut¹

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, 32100, ISPARTA

Öz

Kaynakların azalması ve çevre dostu yaklaşımların artması, bilim insanlarını ve sektörleri sürdürülebilir ve yenilebilir kaynaklar üzerine yoğun araştırmalar yapmaya sevk ediyor. Bu çerçevede, doğal elyaf takviyeli kompozitlerin çevre dostu, düşük maliyetli, işlenmesi kolay ve yüksek mekanik özelliklere sahip olmaları, sürdürülebilir ekonomiler kapsamında değerlendirildiğinde büyük önem taşıyor. Bu bağlamda ele alındığında kenevir bitkisi, sürdürülebilir ve yenilenebilir doğası ve üstün performans özellikleri nedeniyle endüstriyel ve ekonomik açıdan önemli bir malzeme haline gelmiştir. Kenevirin tarihi, arkeolojik kazılardan elde edilen bulgulara göre çok eskilere dayanmaktadır. Öte yandan, bu liflere olan ilgi, esrar üretiminde kullanılması ve zamanla sentetik liflerin yaygınlaşması nedeniyle giderek azalmıştır. Her ne kadar kenevire olan ilgi zamanla azalmış olsa da antistatik, anti alerjik ve antimikrobiyal davranışlarıyla yüksek hijyenik özellikler gösteren kenevir lifleri, cam elyafı ve diğer sentetik elyaflarla rekabet edebilecek kadar dayanıklı, sürdürülebilir ve biyolojik olarak parçalanabilen bir malzemedir. Böylece kenevir liflerinin kompozitlerde kullanımı gün geçtikçe artmıştır. Tekstil sanayi, otomotiv, inşaat, biyoyakıt, kozmetik vb. alanlarda yaygın bir kullanıma sahip olan kenevir lifleri, petrol ve petrokimyanın kullanıldığı her sektörde alternatif bir lif olarak karşımıza çıkmaktadır. Ülkemiz kenevir yetiştiriciliği için uygun iklim koşullarına sahiptir. Bu sayede yapılacak yatırımlar ve geri kazanımlar büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada ekolojik faydaları ve üstün performansı ile bilinen kenevir liflerinin özellikleri, üretim yöntemleri ve kompozit olarak uygulama alanları anlatılarak küresel bazda artan önemine dikkat çekmek amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kenevir, kimyasal özellikler, mekanik özellikler, sürdürülebilirlik, kenevir kompozit uygulamaları

PRODUCTION, CHARACTERISTICS AND COMPOSITE APPLICATION AREAS OF HEMP FIBERS

Extended Abstract

Oil prices, global waste problems and the environmental awareness of people are driving scientists and industries to do intensive research on renewable resources and sustainability. In recent years, global interest in the use of vegetable fibers as reinforcement material in environmentally friendly and sustainable composites has been increasing substantially. The increased demand is primarily due to the advantageous properties of natural fibers including biodegradability, low cost, low density and high stiffness and strength. In this context, the hemp plant has become an industrially and economically important material day by day due to its sustainable and renewable nature and its superior performance characteristics. According to the findings obtained from archaeological excavations, the history of hemp dates back to very old times. On the other hand, the interest in hemp fibers has decreased due to its use in the production of marijuana and the widespread use of synthetic fibers in time. Although the production of hemp has declined globally, hemp fibers are durable enough to rival glass fiber and other synthetic fibers that show high hygienic properties with their anti-static, anti-allergic and anti-microbial behaviours, being a sustainable and biodegradable material. Thus, the use of hemp fibers in composites has increased to day by day. Hemp fibers have a widespread usage area including textile industry, automotive, construction, biofuels, cosmetics and so on. For this reason, hemp is used as an alternative fiber in every sector where petroleum and petrochemicals are used. Our country has suitable climatic conditions for hemp cultivation. In this way, investments and recoveries to be made are of great importance. In this study, it is aimed to draw attention to the increasing importance of hemp fibers on a global basis by explaining the properties, production

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author):

Dilara Melek DEMİRBEK; Suleyman Demirel University, Faculty of Engineering,
Department of Textile Engineering,
32100, Isparta-Turkey.

Geliş (Received) : 24.05.2021
Kabul (Accepted) : 07.12.2021
Basım (Published) : 31.12.2021

methods and application areas of hemp fibers, which are known for their ecological benefits and superior performance.

Key Words: Hemp, chemical properties, mechanical properties, sustainability, hemp composite applications

1. Giriş

Tüm petrol fiyatlarındaki artış, küresel atık problemleri ve insanlardaki çevre bilinci, bilim insanlarını ve sektörleri yenilenebilir kaynaklar ile sürdürülebilirlik üzerine yoğun araştırmalar yapmaya sevk ediyor (Dai ve Fan, 2010). Bu kapsamda sürdürülebilir ve yenilenebilir olması ve sergiledikleri üstün performans özellikleri nedeniyle kenevir bitkisi endüstriyel ve ekonomik anlamda günden güne önem kazanan bir malzeme konumuna gelmiştir.

Yüksek mukavemeti ve uzun lif özellikleri ile kenevir lifi, kâğıt ve tekstil ürünlerinin yanı sıra halat ve yelken üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Dai ve Fan, 2010). Güçlü ve sert lif yapısı nedeniyle kenevir lifleri kompozit yapılarda takviye malzemesi olarak da kullanılabilir. Kenevir bitkisinin saklarında bulunan bu lifler, cam liflerinkine benzer bir sertliğe sahiptir (Manaia vd., 2019).

Kenevir bitkisi, ılıman ve tropikal ülkelerde yetiştirilebilmesine rağmen anavatanı Hindistan ve İran'dır. Rusya, %33 'lük yetiştirme oranıyla kenevir lifi üretiminde sıralamanın en üst basamağındadır. Fransa, Almanya, İtalya, Şili, Çin, Japonya ve Peru gibi ülkeler diğer kenevir lifi üreticileridir (Manaia vd., 2019).

Kenevir, cannabaceae familyasına ait odunsu bir bitki olup tüm Dünya'ya Asya'dan yayılmıştır. Günümüzde Cannabis Sativa ve Cannabis Indica olarak iki alt türü mevcuttur. Sektörel olarak lif üretiminde kullanılan cinsi Cannabis Sativa'dır (Gedik vd., 2010). Uzun ve güçlü lifleri ile tohumları için yetiştirilen kenevir (*Cannabis Sativa*), dünyanın en eski mahsullerinden biridir (Salentijn vd., 2015).

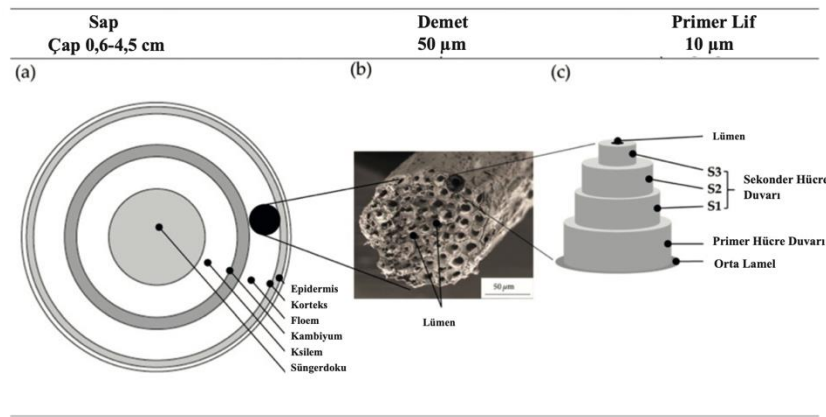
Arkeolojik kazılardan elde edilen bulgulara göre kenevirin tarihi M.Ö. 8000 yıllarına kadar dayanmaktadır. M.Ö.1500 yıllarında kenevir tarımı Mezopotamya'da başlanmıştır (Aksoy vd., 2019).1545-1606 yıllarında Şili ve Kuzey Amerika'da, 1840-1860 yıllarında urgan halat ve yelken bezi üretimi için Missouri ve Illinois'de kenevir kullanımı gerçekleşmiştir (Kurtuldu ve İşmal, 2019). Dünya ekonomisinde çarpıcı yeri olan kenevirin 19. yy 'ın bitimine kadar %80 oranında tekstil sektörünün hammaddesini oluşturduğu gözlemlenmiştir (Aksoy vd., 2019).

Pamuk teknolojisinin gelişimi, esrar karşıtı yasalar ve sentetik liflerin piyasa çıkması neticesinde 20. yy'dan itibaren kenevir önemini yitirmiştir. Günümüzde ise pandeminin etkisi ve çevresel sorunlar nedeniyle kenevir lifi eski önemini tekrar kazanmaya başlamış ve bu doğrultuda doğal ve sentetik liflerle kompozit karışımlar elde edilerek üstün özellikli, sürdürülebilir ürünlerinin üretimi ivme kazanmıştır (Acar ve Dönmez, 2016).

2. Kenevir Liflerinin Yapısı ve Özellikleri

Bitkisel Kenevirin Cannabis Sativa türünün erkek eşeyli bireyleri tekstil endüstrisinde kullanılır ve enine kesiti boyunca uzanan düzensiz bir şekli vardır. Şekil 1 'de bitki sapının uzunluğu boyunca uzanan ve yaklaşık %70-74 selüloz, %15-20 hemiselüloz ve %3,5-5.7 lignin, %0,8 pektin ve %1,2-6.2 bal mumu içeren bir lif demetinden oluşan primer sak lifleri yer almaktadır. Primer lifler tekstil için uygun olan liflerdir. Kenevir sakı boğumlar içerir ve boğumlar arasındaki mesafeye göre lif uzunluğu ve verimi değişir.

Demet şeklinde olan lifler kabuk bölümünde yer alır ve lif demetleri 30-50 lif hücrelerine sahiptir. Sakın altına doğru gidildikçe lif kalınlığı artar ve lif hücresi 20-35 mikron arasında değişir. Kenevir lifleri sarı-kahverengi arası parlak liflerdir (Gedik vd., 2010; Manaia vd., 2019). Kenevir liflerinde olgunluk, tekstil sektöründeki uygulamalar doğrultusunda önem kazanır. Lifi olgunluğu sekonder duvarın gelişimiyle paralellik gösterir. İnce hücre duvarı ve küçük lümen hacmi olgunlaşmış bir sakın göstergesidir. Hasat edilme dönemlerine göre lifin özellikleri değişkenlik gösterir (Gedik vd., 2010).



Şekil 1. Kenevir lifinin yapısı (Manaia vd., 2019).

Lif olgunluğuna göre hasat edilebilme dönemleri:

1. Erkek bitkilerin çiçeklenmesinden sonra hasat edilebilir,
2. Dişi bitkilerin lifinden yararlanabilmek amacıyla erkek ve dişi bitkilerin tozlaşmasından sonra hasat edilir,
3. Tohum eldesi için tohum oluşumundan sonra dişi ve erkek bitkiler hasat edilir (Gedik vd., 2010).

3. Kenevir Liflerinin Kimyasal Özellikleri

Kenevir liflerinin yapısında %70-74 selüloz, %15-20 hemiselüloz ve %3,5-5,7 lignin, %0,8 pektin ve %1,2-6,2 bal mumu bulunur. Pektin maddesi kenevir bitkisinde primer duvar ve orta lamellerde bulunur ve zambak ile birbirine tutunurlar. Polisakkarit türevi olan pektin maddelerin su tutma kabiliyetleri yüksektir. Lignin maddesi ise fenilpropan türevidir ve kristalin olmayan izotopik yapıdadır. Kenevir lifleri içerdikleri lignin nedeniyle kaba lifler olarak tanımlanır ve lifi daha sert ve kırılabilir hale getirir. Lignin maddeleri kimyasallara karşı dirençli ve ayrıştırmaları zordur. Hemiselülozlar heterojen pentoz, heksoz ve şeker asidi içerirler. Homojen kimyasal yapıları yoktur. Nefes alabilirlik, ısı izolasyonu vb. özellikleri life kazandırır (Kaya ve Öner, 2020; Gedik vd., 2010).

Tablo 1. Kenevir ve diğer selülozik liflerin kimyasal bileşenleri (Manaia vd., 2019; Karaduman vd., 2017).

Lif	Selüloz (%)	Lignin (%)	Hemiselüloz (%)	Pektin (%)	Mum (%)
Kenevir	70-74	3,5-5,7	15-20	0,8	1,2-6,2
Jüt	61-72	61-72	18-22	0,2	0,5
Sisal	78	78	10	-	2
Keten	64-72	2-2,2	18-20	1,8-2,3	-
Rami	69-91	0,4-0,7	5-15	1,9	-
Kenaf	45-57	22	8-13	0,6	0,8
Pamuk	85-90	-	5,7	0-1	0,6

Kenevir lifleri selüloz içerdikleri için derişik inorganik asitlerden etkilenirler. Sıcaklık arttıkça zayıf asitler liflerde mukavemet kaybına sebebiyet verirler. Alkalilerle işlem görmüş kenevir lifleri oldukça dayanıklıdır. Bazik işlemlerde kotonize uygulanmış kenevir liflerinin mukavemetleri iyidir. Sıcak ve yoğun bazik ortamlarda lifler erir, soğuk yoğun bazik ortamlarda lifler mercerize olur. Mikroorganizmalara karşı dayanıklıdır (Gedik vd., 2010).

4. Kenevir Liflerinin Fiziksel Özellikleri

Rami lifinden sonra kenevir lifleri en kuvvetli doğal lifler kategorisindedir. Mukavemeti yaşken bir miktar daha artar. Sıcaklıktan çok etkilenmez ve yüksek sıcaklıklara dayanır. Pilling (boncuklanma) ve statik elektriklenme

gibi durumlarla karşılaşmaz. 20 °C’de %65 bağıl nem altında %12, %95 bağıl nem altında %30 nem çekme kabiliyeti vardır. Bu değerler pamuk ve ketenden yüksektir (Özdemir ve Tekoğlu, 2012; Gedik vd., 2010).

Tablo 2. Kenevir ve diğer liflerin fiziksel özellikleri (Manaia vd., 2019).

Lif	Uzunluk (mm)	Yoğunluk (g/cm ³)	Gerilme Direnci (Mpa)	Young Modülü (Gpa)	Nem İçerik (%)
Kenevir	5-55	1,4	550-1110	30-70	8
Jüt	2-120	1,3-1,5	393-800	10-55	12
Sisal	900	1,3-1,5	507-855	9,4-28	11
Keten	5-900	1,5	345-1830	27-80	7
Rami	900-1200	1,5	400-938	44-128	12-17
Cam Lifi	-	2,5	2000-3000	70	<0,1

Kenevir sürdürülebilir, organik ve yenileyici bir tarım ürünü olarak pamukla yapabileceğimiz çoğu şey, Dünya’ya çok daha az etkiyle kenevirden yapılabilir. Yetiştirilmesi zorlu bir ürün olan, çok su, kimyasal gübre ve böcek ilacı gerektiren pamuğun aksine, kenevir bir ot olduğu için yabancı ot gibi büyür. Hızlı ve temiz büyür ve doğal olarak böceklere direnir (Danziger, 2018). Kenevir lifleri yüksek hijyenik (yüksek emici ve higroskopik, bakteriyostatik), anti – statik ve anti – mikrobiyel özellikleri ile UVR engelleme ve anti-alerjik performans özelliklerine sahiptir. Bu özellikleri sayesinde kenevir lifi endüstride, sağlıklı ve UV korumalı tekstil üretiminde gözde liflerden biri konumuna gelmiştir (Kocic vd., 2019).

5. Kenevirden Lif Eldesi



Şekil 2. Primer lifler (Gizlenci vd., 2019).

Biyoloji Havuzlama: Dış pektinin parçalanma esasına dayanır. Pektin mikroorganizmalar sayesinde parçalanır ve lif demetleri saptan ayrılır (Gizlenci vd., 2019).

Mekanik Yöntem: Lif ve odunsu kısımlar makine ile birbirinden ayrılır. Elde edilen lifler sert ve pektin maddesi içerdiğinden tekstil lifi olarak kullanılamazlar (Kaya ve Öner, 2020).

Kimyasal Yöntem: Bu yöntemle eşit uzunlukta ve temiz lifler elde edilir. Alkali banyoda sapları kesilmiş kenevir pişirilir ve pektin maddesinden arındırılır. Pamuk ve diğer liflerle karıştırılarak iplik oluşturmak üzere kenevir lifleri kurutulur (Kaya ve Öner, 2020).

6. Kenevir Liflerinin Kullanım Alanları

Kenevir lifinden;

Kumaş, çanta, ayakkabı, giysi vb, tekstil ürünleri,
Ağ, halat, halı tuval vb. teknik tekstil ürünleri,

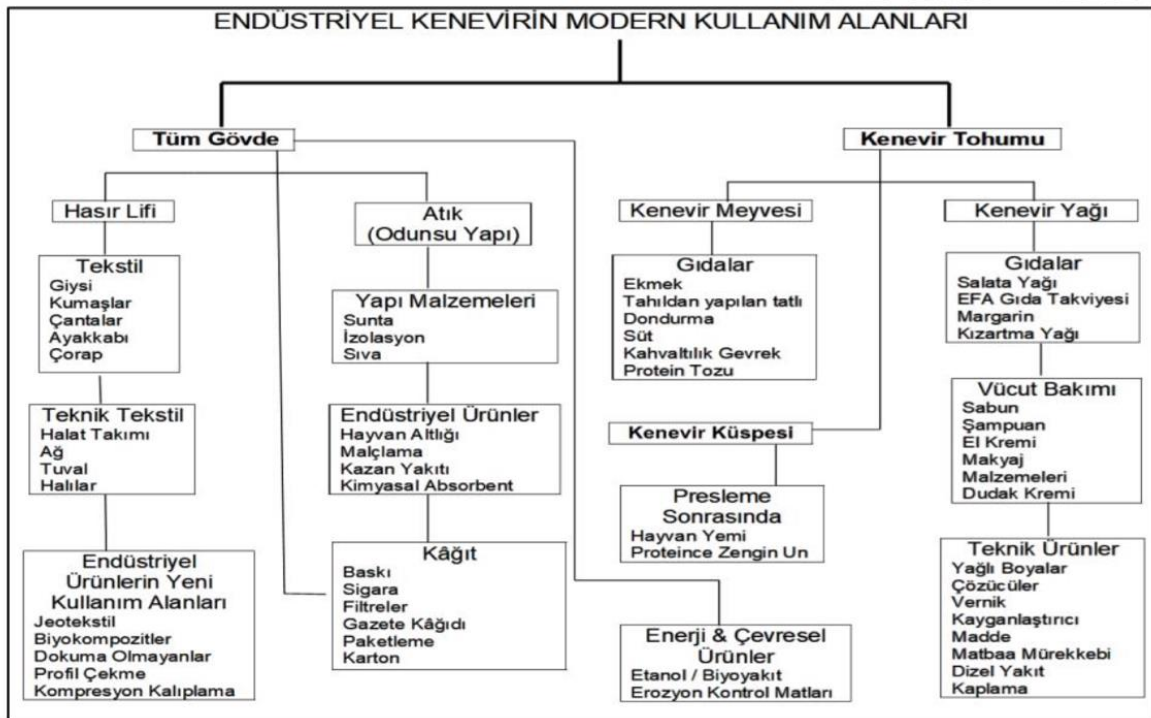
Jeotekstiller, biyokompozitler, otomotiv vb. endüstriyel ürünler üretilebilir (Gizlenci vd., 2019).



Şekil 3. Kenevir bitkisi.



Şekil 4. Kenevir kompozit koltuk (Gizlenci vd., 2019).



Şekil 5. Kenevir bitkisinin kullanım alanları (Gizlenci vd., 2019).

Kenevir sapından;

Paketleme, karton, gazete kâğıdı sigara filtreler vb. kâğıt türleri,
Biyoyakıt, etanol, erozyon kontrol matları, briket vb. çevresel ve enerji ürünleri üretilebilir (Gizlenci vd., 2019).

Kenevir tohumundan;

Protein tozu, kahvaltılık gevrek, dondurma vb. gıda ürünleri,
Küspe üretilebilir (Gizlenci vd., 2019).



Şekil 6. Kenevirden Üretilmiş Yalıtım Malzemesi (Gizlenci vd., 2019).

Kenevir yağından;

Margarin, salata yağı, kızartma yağı gibi yağlar,
Sabun, şampuan, el kremi vb. kozmetik ürünler,
Matbaa mürekkebi, biyodizel, kaplama, yağlı boyalar, vernik vb. teknik ürünler üretilebilir (Gizlenci vd., 2019).

7. Dünya’da ve Türkiye’de Kenevir

Kenevir pamuğa kıyasla çevresel olarak sürdürülebilir özelliklere sahip olmasına rağmen esrar ile yanlış anlaşılan ilişkisi nedeniyle birçok ülkede yasaklanan kutuplaştırıcı bir bitkidir. Kenevir, kuru ağırlık başına en fazla %0,3 tetrahidrokanabinol (THC) içeriğine sahipken esrar bitkileri %0,3’ten fazla THC değeri içerir. Bununla birlikte, gün geçtikçe kenevire karşı tutumlar değişiyor ve birkaç ülke bu yasakları kaldırmalarıyla birlikte ekonomilerine keneviri yeniden dahil ediyorlar (Schumacher vd., 2020).

Çin, yılda yaklaşık 44000 ton ile dünyada kenevir yetiştiriciliğinde %40 pay sahibidir. Avrupa’da en çok Fransa’da, Güney Amerika’da ise en çok Şili’de kenevir üretimi yapılmaktadır. 2025 yılına kadar endüstriyel anlamda kenevir pazar büyüklüğünün 10,6 milyar dolara ulaşacağı tahmin edilmektedir. Kenevir tohumu ürünleri (kenevir yağı, kenevir protein tozu vb.) kapsamında Kanada lider konumundadır. İnşaat ve otomotiv ham maddesi olarak kenevir, Avrupa’da Romanya, Macaristan Rusya vb. ülkelerde üretimi yapılmaktadır. Türkiye’de kenevir tohumu üretimi en çok Samsun’da yapılmaktadır (Orta Anadolu Kalkınma Ajansı, 2019).



Şekil 7. Kenevir yetiştirilen ülkeler (Schumacher vd., 2020).

Endüstriyel kenevir üretimi 2019 yılında 19 ilde serbest bırakılmıştır (Başer ve Bozoğlu, 2020).



Şekil 8. Türkiye’de kenevir ekim alanları (Başer ve Bozoğlu, 2020).

8. Kenevir Liflerinin Kompozit Uygulama Alanları

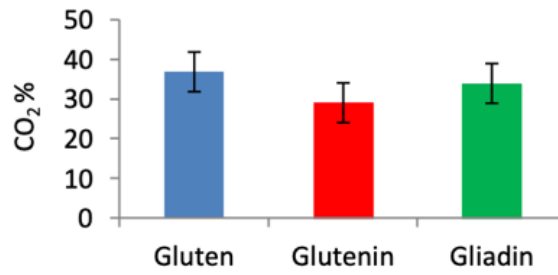
Biyobozunur, sürdürülebilir ve geri dönüştürülebilir malzemelere yönelik taleplerin artması, kenevir liflerinin kompozit yapılarda takviye malzemesi olarak kullanımı gündeme getirmiştir. Kenevir lifleri bitkinin gövdesinde bulunur ve bu da onlara, kompozit malzemelerin takviyesi için gerekli olan mukavemetli yapıyı kazandırır. Kenevir lifi takviyeli buğday glütene (WG) kompozitler, beklenenden iyi gerilme özellikleri sergilemeleri ve çevre dostu olmaları nedeniyle birçok uygulamada petrokimya bazlı plastiklere alternatif olmuşlardır.

Ancak, ticari üretim süreçleri için çaba sarf edilmeden önce kompozitler açısından sürdürülebilirliğin değerlendirilmesi önemlidir. Muneer (2012), yaptığı bu çalışmayı sentetik plastiklerden daha az fosil kaynağı kullanan tamamen bitki bazlı kompozitlerin bir örneği olan ve potansiyel olarak biyolojik olarak parçalanabilir kenevir lifi takviyeli buğday glütene (WG) kompozitlere dayandırmıştır ve kenevir üreticilerinin, kenevir lifi takviyeli WG kompozitleri hakkındaki görüşlerini derlemiştir. Tüketicilerin kenevir lifi ile güçlendirilmiş WG kompozitlerini seçme ve ödeme istekliliği için bir tüketici analizi de yapılmıştır (80 katılımcı).

Yapılan literatür araştırmaları, WG plastiklerinde kenevir lifinin varlığının, kenevir lifi olmayan malzemelere kıyasla daha iyi sertlik sağladığını ve malzemeleri daha güçlü kıldığını göstermiştir. Çekme özelliklerini incelemek amacıyla gliadin ve glutenin doğal lifler olmaksızın termoplastik filmlerin işlenmesinde kullanılmıştır. Sonuçlar, gluteninin daha yüksek mukavemet ve modüle sahip ancak daha düşük uzama özellikleri sergilediğini, buna karşın gliadinin daha düşük mukavemet ve artan uzama özellikleri gösterdiğini ortaya çıkarmıştır.

Bu çalışmada öncelikle 200 ml %70 etanol içinde on altı gr buğday glütene çözülerek glutenin ve gliadin tozları elde edilmiştir. Rastgele katlanmış ve preslenmiş kenevir lifleri 5x10 cm'lik parçalar halinde kesilmiştir. Kenevir lifi matların yüzeyine tam WG, gluteninle zenginleştirilmiş ve gliadinle zenginleştirilmiş tozlar dökülerek preslenmiştir.

Üretilen kompozitler, ASTM D5988-03 standardı kullanılarak biyolojik olarak parçalanabilirlik testine tabi tutulmuştur. Kenevir elyafı ile güçlendirilmiş WG kompozitleri için yaşam döngüsü değerlendirme analizi (LCA) de yapılmıştır. Biyobozunurluk analizine göre kenevir elyafı ile güçlendirilmiş WG kompozitlerinin WG için %37, glutenin için %29 ve gliadin bazlı kompozitler için %34 ile biyolojik olarak parçalanabilir olduğunu göstermiştir (90 günlük periyottan sonra karbonun CO₂'ye dönüşümü). Yaşam döngüsü değerlendirme analizi, kenevir lifi takviyeli WG kompozitlerinin sentetik plastiklere kıyasla daha az enerji tükettiğini ve daha az sera gazı yaydığını göstermiştir.



Şekil 9. Biyobozunurluk analizi (Muneer, 2012)

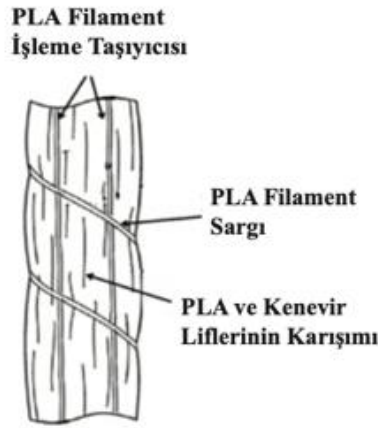
Üreticiler, kenevir lifi ile güçlendirilmiş WG kompozitlerine olumlu tepki göstermişler ve kenevir üretimini artırmaya istekli olduklarını belirtmişlerdir. Tüketici analizinde %75,3'ü kenevir elyaf takviyeli WG plastikleri seçeceğini, %4,9'u ise sentetik plastikleri seçeceğini söylemişlerdir. Bu çalışmada kenevir elyaf takviyeli WG kompozitlerinin sentetik plastiklere kıyasla daha sürdürülebilir olduğu tespit edilmiş ve gelecekte kullanımının giderek artacağı öngörülmüştür.

Lu ve Oza (2013), çalışmalarında kenevir lifinin %5 silan (silan çözeltisi, 50/50 etanol/su karışımı ilave edilerek hazırlanmıştır) ve %5 NaOH işlemlerinin, kenevir-yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) kompozitlerinin termal ve termo-mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Elde edilen sonuçlara göre elyaf ilavesinin artması kompozitlerin termal stabilitesini azaltmıştır. Hem silan hem de NaOH işlemleri, kenevir-HDPE kompozitlerinin termal stabilitesini iyileştirmiştir. Bu iki yüzey işleme yöntemi arasında, silanla işlem gören kenevir-HDPE kompozitleri, üstün termal stabilite sergilemiştir. Termo-mekanik sonuçlar hem işlem görmüş hem de işlem görmemiş kenevir kompozitlerinin sertliğinin, elyaf hacim oranının (Vf) %40'a kadar artışıyla arttığını ve ardından %50'de azaldığını, bu da daha yüksek sertliğin maksimum faydasının yalnızca %40 elyaf takviyesi ile elde edilebileceğini göstermiştir. Sertlikteki artış, işlem görmüş kenevir-HDPE kompozitleri için işlem görmemiş kompozitlere göre çok daha yüksek çıkmıştır. Silan ile işlem görmüş kenevir kompozitleri, NaOH ile işlem görmüş olanlara kıyasla daha güçlü bağ oluşumu sergilemiş ve bu da silan ile işlem görmüş kompozitlerin daha yüksek elastik mekanik özellikler göstermesine neden olmuştur.

Baghaei vd. (2014), çalışmalarında kenevir / Polilaktik asit (PLA) sargılı eğrilmiş iplikler kullanarak üretilmiş kenevir kompozitlerinin termal ve mekanik davranışının yanı sıra nem emilimini incelemiştir.

Polilaktik asit (PLA), biyolojik olarak parçalanabilirlik gerektiren uygulamalar için kullanılabilen önemli biyotermoplastiklerden biridir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda uzun süreli dayanıklılık veya yüksek mekanik performans gerektirmeyen uygulamalar için oldukça iyi özellikler gösterir.

Bu kapsamda endüstriyel uygulamalarda PLA 'nın potansiyel kullanımını artırmak için, mekanik özellikleri doğal lifler gibi takviyeler kullanılarak geliştirilebilir. Bu sebeple sunulan bu çalışmada takviye malzemesi olarak kenevir lifi tercih edilmiş ve yapısal veya yarı yapısal uygulamalarda kullanıma uygun ve daha düşük miktarda gözenekliliğe sahip yüksek performanslı doğal elyaf takviyeli kompozitler için düşük bükümlü yeni hibrit ipliklerin geliştirilmesi tartışılmıştır.



Şekil 10. Hibrit ipliğin yapısı (Baghaei vd., 2014).

Tek eksenli kompozitler, kütlece %30'u kenevir olacak şekilde basınç altında kalıplama kullanılarak imal edilmiştir. Kompozitlerin kenevir lif oryantasyonu (hızalı ve rastgele), eksen dışı açısı ve alkali (%4 NaOH çözeltisi) işlemi açısından özellikleri araştırılmıştır. Test yönünün kompozitlerin mekanik özelliklerini etkilediği bulunmuştur.

Alkali ile işlem görmüş kenevir / PLA ipliği, işlem görmemiş kenevir/PLA ipliğine kıyasla mekanik özelliklerinde maksimum gelişme sağlamıştır. En iyi performans özellikleri, 77,1 MPa'lık gerilme mukavemeti, 10,3 GPa'lık Young modülü, 100,9 MPa'lık eğilme mukavemeti, 7,1 GPa'lık eğilme modülü ve 18,8 kJ / m²'lik bir darbe mukavemetine yol açan, alkali işlem görmüş kenevir / PLA ipliği ile elde edilmiştir. Kompozitlerin çekme, eğilme ve darbe değerleri bakımından eksen dışı kompozitler, 0° eksenli kompozite göre azalma eğilimi göstermiştir. Tüm kompozitler için su absorpsiyonu, hem oda sıcaklığında hem de 80 ° C'de pürüzsüz PLA'dakinden daha yüksek çıkmıştır. Termo-mekanik testler, alkali ile işlem görmüş kenevir lifleri içeren kompozitlerin, gelişmiş ara yüzey bağlanması sergilediklerini göstermiştir.

Doğal lifler, termoplastik polimerlerle kullanıldığında, geri dönüştürülebilirlik, düşük yoğunluk, iyi sönümleme, düşük aşındırıcılık, gelişmiş enerji geri kazanımı, yüksek mukavemet/ağırlık oranı ve toksik olmama gibi büyük avantajlar sağlar. Bu yenilenebilir lifler, koltuk arkılığı, kapı ekleri, gövde altı panelleri ve gösterge panelleri gibi yarı yapısal otomotiv bileşenleri dahil olmak üzere çeşitli uygulamalarda geleneksel sentetik liflerin yerini alma potansiyeli sunar. Doğal liflerin sentetik liflere göre sahip olduğu avantajlara rağmen termoplastik endüstrisinde bu liflerin özelliklerini etkileyen çeşitli dezavantajları vardır. Başlıca dezavantajlarından bazıları, polipropilen (PP) gibi hidrofobik polimer matris malzemelerine zayıf bağlanma/yapışma ve nem emme eğilimidir. Araştırmacılar, malzeme işlemleriyle doğal lifler ve matris arasındaki bağın/yapışmanın artırılmasında ilerleme kaydetmiştir. Sullins vd. (2017) araştırmalarında birtakım işlemlerin kenevir lifi takviyeli polipropilen (PP) kompozitlerinin mekanik davranışları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bu işlemler, kenevir lifinin farklı konsantrasyonlarda NaOH ile kimyasal olarak işlenmesi ve / veya PP matrisine maleik anhidrit aşılanmış polipropilen (MAPP) eklenmesi ile gerçekleştirilmiştir. Bu işlemlerin amacı, kenevir lifleri ile polipropilen matris arasındaki bağı güçlendirmektir, aksi takdirde düşük yüzey enerjisine ve sınırlı bağlanmaya sahip olacaktır. Mekanik davranışlar, %5 MAPP, %5 NaOH ile işlenmiş kenevir lifi, %10 NaOH ile işlenmiş kenevir lifi ve %5 NaOH + %5 MAPP gibi farklı işlem kombinasyonları ile araştırılmıştır. Alkali ile elyaf işlemi ve / veya bir maleatlanmış bağlama maddesinin ilavesinin, kenevir elyafı ile güçlendirilmiş PP kompozitdeki elyaf ile matris arasındaki ara yüzey yapışmasını iyileştirdiği, bükülme ve gerilme özelliklerini artırdığı kanıtlanmıştır. Bu işlemlerde kompozitlere ağırlıkça %15 ve %30 oranında kenevir lifi takviye edilmiştir. 15-5 MAPP (%5 MAPP + %15 lif), saf PP'ye kıyasla sırasıyla %37, %37, %68 ve %213 oranında eğilme mukavemeti ve modülünde, gerilme mukavemeti ve modülünde artış göstermiştir. 30-5 MAPP (%5 MAPP + %30 lif), saf PP'ye kıyasla eğilme mukavemeti ve modülü ile gerilme mukavemeti ve modülü için sırasıyla %91, %132, %122 ve %297 oranlarında artış göstermiştir. %5 MAPP ilaveli kompozitler en iyi mekanik özellikleri sergilemiştir.

Doğal elyaf takviyeli kompozitler, cam veya karbon takviyeli polimer kompozitlerin yerine kullanılabilirler bakımından çok ilgi görmektedir. Bununla birlikte doğal liflerin hidrofobik termoplastik matris ile zayıf ara yüzey

bağlanmaları vardır. Bu da kompozitlerin mekanik özelliklerinin bozulmasına yol açar. Bu kusur lifleri daha az hidrofilik hale getirerek giderilebilir. Bu kapsamda Sepe vd. (2018) çalışmalarında, doğal elyaf takviyeli kompozitlerin daha da geliştirilmesi için birtakım deneyler yapmışlardır. Kenevir liflerinin işlenmemiş ve işlenmiş yüzeyleri, Fourier Dönüşümü Kızılötesi (FTIR) spektroskopisi ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılarak karakterize edilmiştir.

Kenevir elyaf takviyeli epoksi kompozitlerin üretiminde vakum infüzyon işlemi kullanılmıştır. Mekanik test sonuçları ve SEM incelemeleri, kenevir liflerinin (3-Glycidylxypropyl) trimetoksisilan (%1, %5, %20 oranlarında) işleminin, yüksek değerler elde edilmemesine rağmen, kenevir lifi takviyeli epoksi kompozitlerin çekme ve eğilme özelliklerini iyileştirdiğini göstermiştir. Alkali işlemi (%1 NaOH ve %5 NaOH), lignin ve hemiselülozu doğal elyafların yüzeyinden uzaklaştırmıştır, ancak alkali işlemi elyaftaki fibrilin kolayca çekilmesine (fibrilasyon) neden olarak kompozitlerin mekanik özelliklerini azaltmıştır. FTIR, silan işleminin lifleri kapladığını göstermiştir. Silan ile işlem görmüş kompozitler, işlem görmemiş ve alkali ile işlem görmüş olanlardan daha büyük gerilme modülüne sahip ve özelliklerinin alkali işlem görmüş kompozitlerden daha iyi olduğu sonucu çıkmıştır. Mekanik özellikleri iyileştirmek için %1'lik silan konsantrasyonu kullanımı optimum değer olarak tespit edilmiştir.

Doğal elyaf bazlı termoplastik kompozitlerin çevresel etki ve maliyet açısından sunduğu avantajlara rağmen, mekanik performansları genellikle sentetik muadillerinden daha düşüktür. Mineral liflerle (bazalt) hibritleşme, doğal lif takviyeli kompozitlerin endüstriyel uygulamalarını genişletebilir. Bu bakış açısıyla Sarasini vd. (2018) deneysel çalışmalarında doğal elyaf takviyeli kompozitlerin endüstriyel uygulamalarını genişletmek amacıyla bazalt, kenevir ve bazalt / kenevir elyaf takviyeli hibrit yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) kompozitlerinin termal ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir.

Ticari bazalt lifleri ve HDPE arasındaki yüzey yapışmasının analizine göre maleatlanmış birleştirme ajanının kompozit yapıya dahil edilmesi önemli ölçüde artan bir yapışma seviyesi ortaya çıkarmıştır. Aynı olumlu etkiler, kenevir elyaf kompozitleri için de gözlenmiştir ancak her iki durumda da elyaf/matris uyumluluğu ile dengelenen kristallikte bir azalma tespit edilmiştir. Bazalt elyaflarla melezleme, kenevir elyaf kompozitlerinin gerilme özelliklerini, genel kristalliklerini ve Vicat yumuşama sıcaklığını artırmıştır. Kompozitlerdeki lif uzunluğu dağılımı, bazalt liflerinin kenevir liflerine kıyasla yoğun kırılmaya maruz kaldığını ve kenevir ve bazalt liflerinin karışımının, bazalt-bazalt ve kenevir-kenevir etkileşiminden daha az zarar verdiğini göstermiştir. Tüm bu sonuçlar, enjeksiyonla kalıplanmış kısa kenevir / bazalt / HDPE hibrit kompozitlerin, uygulamalarda kullanılabilecek gelişmiş performansla sonuçlandığını göstermiştir.

Doğal polimer bazlı kompozitler, sentetik elyaf takviyeli petrol bazlı kompozitlere göre biyolojik olarak parçalanabilirlik, biyoyoumluluk, tasarım esnekliği ve sürdürülebilirlik açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Bununla birlikte, doğal lifler yüksek heterojenliğe, iplik yapısını engelleyen zayıf kıvrım özelliklerine, sınırlı işleme sıcaklıklarına sahiptir. Ayrıca hidrofilik olmaları sebebiyle birçok matris malzemesi ile doğal olarak uyumsuzluk gösterirler. Bu bilgiler ışığında Pappu vd. (2019) çalışmalarında, eriyik işleme ve enjeksiyon kalıplama teknikleriyle polilaktik asit ile sisal ve kenevir elyafı kullanarak hibrit elyaf takviyeli biyolojik olarak parçalanabilir kompozitlerin üretimini araştırmışlardır. Öncelikli olarak granül sisal ve kenevir lifleri harmanlanmış ardından hibrit kompozitler, ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama yoluyla laktik asitten (PLA) oluşan alifatik polyester kullanılarak üretilmiş ve performansları değerlendirilmiştir.

Tablo 3. Hibrit kompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri (Pappu vd., 2019).

Numune	Yoğunluk (g/cm ³)	Gerilme Mukave meti (MPa)	Gerilme Modülü (MPa)	Eğilme Mukave meti (MPa)	Eğilme Modülü (MPa)	Özgül Gerilme Mukave meti	Özgül Eğilme Mukave meti	Maksi mum Uzama (%)	Darbe Dayanımı (kJ/m ²)
R1	1,25	33,40	3522,81	81,97	3138,41	26,72	66,57	0,96	6,2
R2	1,23	38,49	3245,77	79,50	3332,67	30,79	63,60	1,22	6,8
R3	1,26	32,74	3690,40	81,97	3138,41	26,19	65,57	0,87	6,3
Ortalama	1,25	34,88	3484,33	81,15	3203,16	27,90	64,92	1,02	6,43
SD	0,02	3,14	224,54	1,42	112,15	2,51	1,13	0,18	0,32

Tablo 4. PLA'nın fiziksel ve mekanik özellikleri (Pappu vd., 2019).

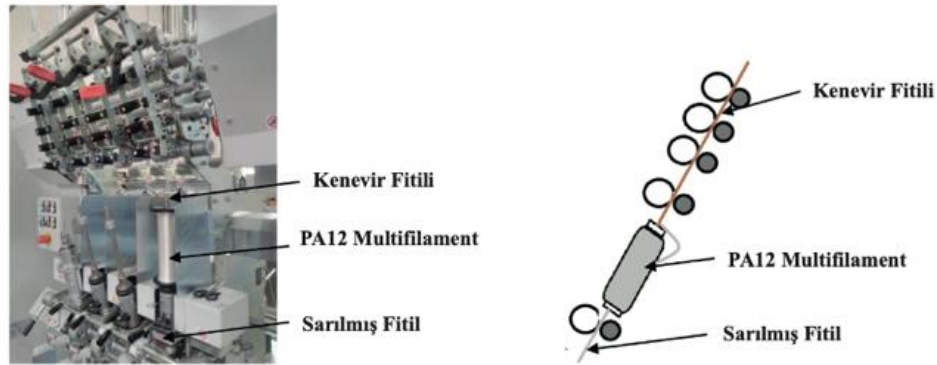
Numune	Yoğunluk (g/cm ³)	Gerilme Mukave meti (MPa)	Gerilme Modülü (MPa)	Eğilme Mukave meti (MPa)	Eğilme Modülü (MPa)	Özgül Gerilme Mukavemeti	Özgül Eğilme Mukavemeti	Maksimum Uzama (%)	Darbe Dayanımı (kJ/m ²)	Su Absorpsiyonu (Wt %)
R1	1,16	39,82	6626,06	104,88	5153,66	34,27	90,26	0,67	10,04	1,13
R2	1,21	43,36	6281,00	104,29	5804,85	35,86	86,24	0,77	10,04	0,94
R3	1,17	45,66	6392,18	81,03	6487,15	39,05	69,30	0,78	9,21	1,42
R4	1,22	59,23	4967,74	102,74	6030,19	48,39	83,93	1,63	11,08	0,99
R5	1,18	43,19	6238,57	81,21	6728,08	36,73	69,05	0,79	11,08	0,91
Ortalama	1,19	46,25	6101,11	94,83	6040,79	38,86	79,76	0,93	10,29	1,08
SD	0,02	6,75	582,42	11,21	550,34	5,00	8,87	0,35	0,79	0,21

Deneyel sonuçlar, hibrit kompozitlerin yoğunluk, kopma uzaması ve su emme kapasitesinin sırasıyla $1,14 \pm 0,07$ g / cm³, $0,93 \pm 0,35$ ve $1,06 \pm 0,18$ olduğunu ortaya koymuştur. Hibrit lif takviyeli PLA kompozitlerden elde edilen ortalama gerilme mukavemeti (46.25 ± 6.75 MPa), Young modülü (6.1 ± 0.58 GPa) ve spesifik gerilme mukavemeti (38.86 ± 5.0), saf PLA'ya kıyasla iyileştirilmiştir. Hibrit lif kompozitlerin eğilme mukavemeti (94.83 ± 11.21 MPa), eğilme modülü (6.04 ± 0.55 GPa) ve spesifik eğilme mukavemeti (79.76 ± 8.80) de saf PLA örneklerinden daha iyi performans göstermiştir. Sisal ve kenevir lifinin polilaktik ile birleştirilmesi, kompozitlerin darbe dayanımını önemli ölçüde artırmıştır. Özetle hibrit kompozitler, çekme mukavemeti, Young modülü, eğilme mukavemeti, düşük yoğunluk ve düşük su emilimi açısından iyi malzeme özellikleri sergilemişler ve çevre dostu malzeme olarak otomotiv, ambalaj, elektronik, iç mekân ve tarımsal uygulamalarda kullanılabilmeleri uygun olarak değerlendirilmiştir.

Kompozitlerin mekanik özellikleri, esas olarak takviye edici liflerin doğasına bağlıdır. Takviye liflerini optimize etmek için bu liflerin miktarı (lif hacim oranı), yerleşimi ve dağılımı, tekstil formları (dokuma, örgülü, örme kumaşlar, vb.) vs. geniş çapta incelenmektedir. Kompozit malzemelerde en iyi tek eksenli mekanik özellikler genellikle lifler, uygulanan yük yönünde hizalandığında elde edilir. Ne yazık ki, sonlu uzunlukları nedeniyle, bitkisel liflerle bir hizalama elde etmek, sentetik liflere göre daha zordur. Corbin vd. (2020), çalışmalarında dokuma parametrelerinin ve örgü deseninin etkilerini farklı ölçeklerde incelemişlerdir. Kenevir dokuma kumaş üretiminde manuel armürlü tezgâh kullanılmış olup farklı dokuma diyagramlarına sahip üç kumaş üretilmiştir (H1: Bezayağı, H2: Saten H3: Dimi). Ardından iki tip kompozit üretilmiştir: bunlar plakalar ve IFBT (Emprenye Elyaf Demeti Testi) numuneleridir. Kompozit plakalar, kenevir kumaşları ve epoksi reçine ile sıcak presleme yöntemiyle elde edilmiştir. Dokuma kumaşlarla güçlendirilmiş kompozitlerin özelliklerini karşılaştırmak için saf, tek yönlü keten takviyeli bir "referans" kompozit de üretilmiştir.

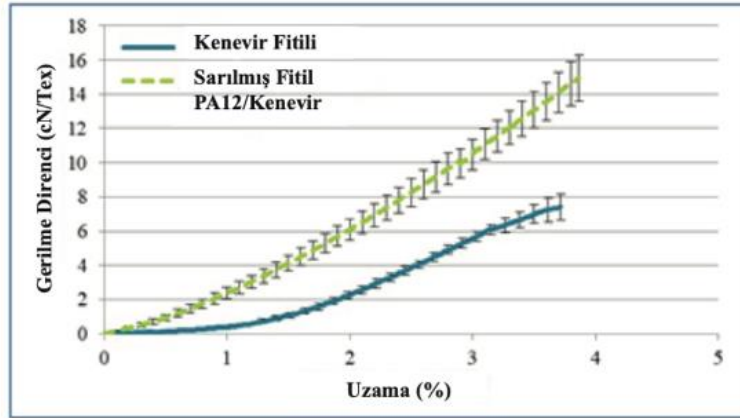
IFBT numuneleri kenevir demetlerinin hizalanması ve GreenPoxy 56 reçinesi ile emprenye edilmesiyle hazırlanmıştır. Mekanik karakterizasyonlardan ve X-ışını nanotomografisinden elde edilen kompozit ölçeğindeki sonuçlar, en iyi keten çapraz katlı laminatlara benzer mekanik özelliklerin, düşük bükülmüş demetlerden yapılan kenevir dokuma kumaşlarla da elde edilebileceğini göstermiştir.

Corbin vd. (2020), çalışmalarında kompozit üretimi için uyarlanmış hibrit kenevir/termoplastik fitil geliştirmeyi amaçlamışlardır. Hibrit fitil, tekstil üretim süreçlerinin neden olduğu gerilim ve aşınma streslerini sürdürmek için yeterince dayanıklı olmalıdır. Bu kapsamda termoplastik bir polimer olan poliamid 12 ile sarılmış kenevir fitili ile kompozit plakalar üretilmişlerdir.



Şekil 11. İplik büküm prosesi (Corbin vd., 2020).

Bu işlemde, PA12 multifilamentleri kenevir fitilinin etrafına sarılmıştır ve bu durum fitilin mekanik özelliklerinde iyileşmeye yol açmıştır. Bu fitil, dokumada ve özellikle ipliklere uygulanan yüklerin önemli olduğu çözgü yönünde kullanılabilmesi amacıyla uygun mukavemete sahip olmuştur.



Şekil 12. Sarılı kenevir / PA12 fitili ve kenevir fitilinin mekanik özellikleri (Corbin vd., 2020).

Sarım sayısındaki artış, dokuma açısından form başına daha yüksek bir kalınlığa ve alan yoğunluğuna yol açmıştır ve bu durum gelecekteki uygulamalar için bir sorun olabilir. Bu nedenle çözüm olarak sarılmış iplik sayısını azaltmak gerektiği tespit edilmiştir.

Hafif kompozit malzemeler sıklıkla nakliye veya mobilya kutularının iç kısımlarında kullanılır. Bu malzemelerin yüzeylerinin aşınması, solunum sistemini ve cildi etkileyen potansiyel bir sağlık riski taşır. Bu nedenle, insan sağlığı için daha az tehlikeli olan doğal lifler, kompozitlerde takviye malzemesi olarak sentetik liflerin yerine tercih edilebilmektedir. Bu kapsamda Fazio vd. (2020), çalışmalarında takviye olarak kenevir, cam veya karbon içeren farklı kumaş kompozit türleri üzerinde aşınma testleri yapmışlardır ve sonuçlar, kenevir / epoksi kompozitlerin kayda değer aşınma davranışını sergilediklerini göstermiştir.

Kompozit laminatın aşınmadan veya çizilmeden sonra dış yüzeyinde görülebilen doğal lifler, cam veya karbon lifleri gibi bazı sentetik malzemeler kadar insan sağlığı için tehlikeli değildir. Bu özellik, kenevir elyaf kompozitini, insan vücudu ile sürekli temas halinde olduğu tüm uygulamalar için önemli bir malzeme haline getiriyor (Otomotiv veya uçak iç bileşenleri, bina mobilyaları, tıbbi cihazlar, spor malzemeleri vb.). Bu çalışmada dokuma kumaş şeklindeki kenevir, cam ve karbon elyaflarına vakum infüzyon işlemi ile epoksi reçine emprenye edilmiştir.

Tablo 5. Numune türleri (Fazio vd., 2020).

Numune	Kumaş	Matris	Kat Sayısı	Kalınlık (mm)	Elyaf Hacim Oranı (%)
H	Kenevir	Epoksi	4	1,52	30,0
C	Karbon	Epoksi	4	1,56	29,7
G	Cam	Epoksi	4	1,80	34,2

Pim test sonuçlarına göre düşük yük (10N) altında, kenevir kumaşlarından oluşan kompozitlerin faydalı aşınma davranışlarını gösteremediği, çünkü yük koşullarının lifleri aşırı derecede zorlamak için yeterli olmadığı ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak, uzun süre ve yüksek yük altında (50 ve 70 N) kenevir lifleri ile güçlendirilmiş laminatlar iyi aşınma davranışı göstermiştir.

Asthana ve Srivastava (2021) yaptıkları çalışmada doğal kenevir ve ipek lifleri ile güçlendirilmiş epoksi ve çelik yünüden alaşım lifine dayalı kompozitlerin darbe ve eğilme mukavemetini ele almışlardır.

Tablo 6. Epoksi-lif kompozit numune sonuçları (Asthana ve Srivastava, 2021).

Malzeme	Darbe Dayanımı (İzot) (KJ/m ²)	Eğilme Mukavemeti (MPa)	Eğilme Modülü (MPa)
Numune 1 (Epoksi ve Kenevir)	2,98	35,52	5305,3
Numune 2 (Epoksi ve İpek)	2,85	21,54	4542
Numune 3 (Epoksi ve Çelik Yünü)	6,02	29,53	5110,1

Elde edilen sonuçlar, numune 1'in (kenevir + epoksi) eğilme mukavemetinin 35.32 MPa olduğunu, bu da numune 2' den (ipek + epoksi) %63,9 ve numune 3' ten (çelik yünü + epoksi) %19 daha fazla olduğunu göstermektedir. Ayrıca kenevir/epoksi numunesi 5305.3 MPa'lık değeriyle en yüksek bükülme modülüne sahiptir ve bu değer numune 2' den %39, numune 3' ten %16,3 daha fazladır. Darbe dayanımı numune 3' e göre dikkate alınırsa, 6,02 KJ / m² ile numune 1'den %50, numune 2' den %52,6 daha üstün sonuçlar vermektedir. Bu çalışma kapsamında kenevir elyaf takviyeli epoksi kompozitlerin sentetik elyaf takviyeli malzemeler için alternatif bir malzeme olarak kullanılabileceği önerilmektedir.

Nachippan vd. (2021), çalışmalarında cam elyafın işlenmemiş kenevir elyafı ve işlenmiş kenevir elyafı ile hibritleşmesi sonucu mekanik özellikler üzerindeki etkisini incelemek için deneysel araştırmalar yapmışlardır. Kenevir lifi, %10 NaOH çözeltisi kullanılarak alkali işlemden geçirilmiş ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

Kenevir ve cam elyafın takviyesi, matris malzemesi olarak epoksi ile yapılmış ve el yatırma tekniği kullanılarak imal edilmiştir. Test numuneleri, cam elyaf / epoksi kompozit (C-1), cam elyaf / işlem görmemiş kenevir elyaf / epoksi kompozit (C-2) ve cam elyaf / işlem görmüş kenevir elyaf epoksi kompozit (C-3) olarak ASTM standartlarına göre hazırlanmıştır. Üretilen numunelerde mekanik özelliklere ulaşmak için çekme testi, darbe testi, sertlik testi yapılmıştır. Ayrıca, boşlukları, kırılmaları ve lif sıyrılmalarını değerlendirmek için taramalı elektron mikroskobu kullanılarak ara yüz analizi gerçekleştirilmiştir. Deneysel test sonuçları, cam elyafı epoksi kompozitin iyi gerilme mukavemeti sergilediğini, ancak zayıf darbe mukavemeti ve sertlik değerlerine sahip olduğunu, buna karşın doğal elyaf hibrit kompozitin önemli ölçüde daha düşük gerilme mukavemetine, ancak çok iyi darbe mukavemeti ve sertlik değerlerine sahip olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, doğal elyaf hibrit kompozitler, yüksek darbe mukavemeti ve sertliği gerektiren otomobil endüstrisinde yaygın olarak kullanılabilirler.

Tablo 7. Kompozit malzemelerin gerilme dayanımı (Nachippan vd., 2021).

Sıra N.	Malzeme	Numune	Gerilme Mukavemeti (MPa)
1	Cam Elyaf/Epoksi Kompozit (C1)	Numune 1	84,51
		Numune 2	78,26
2	Cam Elyaf/İşlem Görmemiş Kenevir Elyaf/Epoksi Kompozit (C2)	Numune 1	22,70
		Numune 2	26,73
3	Cam Elyaf/İşlem Görmüş Kenevir Elyaf/Epoksi Kompozit (C3)	Numune 1	25,05
		Numune 2	22,24

Tablo 8. Kompozit malzemelerin darbe dayanımı (Nachippan vd., 2021).

Sıra N.	Malzeme	Numune	Darbe Dayanımı (J)
1	Cam Elyaf/Epoksi Kompozit (C1)	Numune 1	3,7
		Numune 2	3,2
2	Cam Elyaf/İşlem Görmemiş Kenevir Elyaf/Epoksi Kompozit (C2)	Numune 1	10
		Numune 2	8
3	Cam Elyaf/İşlem Görmüş Kenevir Elyaf/Epoksi Kompozit (C3)	Numune 1	8
		Numune 2	6

Tablo 9. Kompozit malzemelerinin sertliği (Nachippan vd., 2021).

Sıra N.	Malzeme	Penetrasyon Noktası	Barcol Sertliği (B)
1	Cam Elyaf/Epoksi Kompozit (C1)	Nokta 1	40
		Nokta 2	24
		Nokta 3	34
2	Cam Elyaf/İşlem Görmemiş Kenevir Elyaf/Epoksi Kompozit (C2)	Nokta 1	34
		Nokta 2	30
		Nokta 3	38
3	Cam Elyaf/İşlem Görmüş Kenevir Elyaf/Epoksi Kompozit (C3)	Nokta 1	44
		Nokta 2	45
		Nokta 3	46

9. Sonuç

Son yıllarda çevre dostu ve sürdürülebilir kompozitlerde takviye malzemesi olarak bitkisel liflerin kullanımına olan küresel ilgi hızla artmaktadır. Artan ilgi öncelikle, biyolojik olarak parçalanabilirlik, düşük maliyet, düşük yoğunluk ve yüksek sertlik ve mukavemet dahil olmak üzere doğal elyafların avantajlı özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Kimyasal gübre ve böcek ilacı gerektiren diğer liflerin aksine kenevir lifi doğal olarak böceklerle direnir ve toprağı havalandırır. Temiz büyümeleri, sürdürülebilir ve biyolojik olarak parçalanabilir olmaları nedeniyle kenevir lifleri ekolojik açıdan önemli avantajlara sahiptir. Bu kapsamda değerlendirildiğinde sürdürülebilir kalkınmayı ön plana alan sektörlerde kenevir lifinin daha yaygın kullanılması sağlanmalıdır. Cam liflerine nazaran düşük yoğunluk ve yüksek sertlik özellikleri sergileyen kenevir lifi kompozit yapılarda hafif uygulamalar için ideal bir malzeme haline gelmektedir.

Kenevir lifi takviyeli kompozitler, sentetik lif takviyeli kompozitlere göre sürdürülebilirlik, biyolojik olarak parçalanabilirlik, mukavemet ve sertlik açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Bu nedenle kenevir liflerinin otomotiv, uçak, ambalaj, spor malzemeleri, elektronik, iç mekân ve tarımsal uygulamalarda kullanılmalarında ciddi artış beklenmektedir.

Zaman içinde sentetik liflerin piyasa çıkması ve esrar karşıtı yasalar neticesinde kenevir liflerine olan ilgi azalsa da anti-statik, anti-alerjik ve anti-mikrobiyel davranışları ile yüksek hijyenik özellikler göstermeleri, kenevir liflerinin tıbbi uygulamalardaki kullanımını günden güne artıracakları öngörülmektedir. Ülkemizde endüstriyel kenevir üretimi birçok ilde serbest bırakılmıştır. Kenevir lifinin uygulama alanlarının Türkiye açısından geliştirilmesi hem ülke ekonomisine hem de istihdama büyük katkı sağlayacaktır.

Kaynaklar

1. **Acar, M. & Dönmez, A. (2016).** Kenevire Farklı Bir Bakış. 2. *Ulusal Biyoyakıtlar Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 27-30 Eylül, Samsun, 265-270.
2. **Aksoy, D., Aytaç, S. & Paşlı, R. (2019).** Endüstriyel Kenevir Gerçeği. 2. *Uluslararası 19 Mayıs Yenilikçi Bilimsel Yaklaşımlar Kongresi*, 27-29 Aralık 2019, Samsun, Türkiye, 850-858.
3. **Asthana, A. & Srivastava, V. (2021).** Mechanical Behavior Of Silk/Hemp/Steel Wool – Epoxy Composite. *Materials Today: Proceedings*, 44, 2228–2231
4. **Baghaei B., Skrifvars M., Salehi M., Bashir T., Rissanen M. & Nousiainen P. (2014).** Novel Aligned Hemp Fibre Reinforcement For Structural Biocomposites: Porosity, Water Absorption, Mechanical Performances And Viscoelastic Behaviour. *Composites: Part A*, 61, 1–12.
5. **Başer, U. & Bozoğlu, M. (2020).** Türkiye'nin Kenevir Politikası ve Piyasasına Bir Bakış. *Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi*, 6(2), 127-135.
6. **Corbin A., Soulat, D., Ferreira M., Labanieh A.R., Gabrion X., Malecot P. & Placet V. (2020).** Towards hemp fabrics for high-performance composites: Influence of weave pattern and features. *Composites Part B*, 181, 107582.
7. **Corbin, A.C., Ferreira, M., Labanieh, A.R. & Soulat, D. (2020).** Natural Fiber Composite Manufacture Using Wrapped Hemp Roving With PA12. *Materials Today: Proceedings*, 31, S329–S334.
8. **Dai, D. & Fan, M. (2010).** Characteristic and Performance of Elementary Hemp Fibre. *Materials Sciences and Applications*, 1, 336-342.
9. **Danziger, P.N. (2018).** <https://www.forbes.com/sites/pamdanziger/2019/10/03/why-the-fashion-industry-needs-to-turn-on-to-hemp/?sh=74ff01e3154a> (Erişim Tarihi: 11.04.2021).
10. **Fazio, D., Boccarusso, L. & Durante, M. (2020).** Tribological Behaviour of Hemp, Glass and Carbon Fibre Composites. *Biotribology*, 21, 100113 1-10.
11. **Gedik, G., Avınç, O.O. & Yavaş, A. (2010).** Kenevir Lifinin Özellikleri ve Tekstil Endüstrisinde Kullanımıyla Sağladığı Avantajlar. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(3), 39-48.
12. **Gizlenci, Ş., Acar, M., Yiğen, Ç. & Aytaç, S. (2019).** Kenevir Tarımı, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü. Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitü Müdürlüğü, Samsun.
13. **Karaduman, Y., Özdemir, H., Karaduman, N.Ş. & Özdemir, G. (2017).** *Interfacial Modification of Hemp Fiber Reinforced Composites*. ss 18-39. Günay, E., ed., 2018. Natural and Artificial Fiber-Reinforced Composites as Renewable Sources, IntechOpen.
14. **Kaya, S. & Öner, E. (2020).** Kenevir Liflerinin Eldesi, Karakteristik Özellikleri ve Tekstil Endüstrisindeki Uygulamaları. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 108-123.
15. **Kocic, A., Bizjak, D., Poparic, G.B. & Stankovic, S.B. (2019).** UV protection afforded by textile fabrics made of natural and regenerated cellulose fibres. *Journal of Cleaner Production*, 228, 1229-1237.
16. **Kurtuldu, E. & İşmal, Ö.E. (2019).** Sürdürülebilir Tekstil Üretim ve Tasarımında Yeniden Değer Kazanan Lif: Kenevir. *SDÜ Art E, Güzel Sanatlar Fakültesi Sanat Dergisi*, 12(24), 694-718.
17. **Lu, N. & Oza, S. (2013).** Thermal Stability and Thermo-Mechanical Properties Of Hemp-High Density Polyethylene Composites: Effect Of Two Different Chemical Modifications. *Composites: Part B*, 44, 484–490.
18. **Manaia, J., Manaia, A.T. & Rodrigues, L. (2019).** *Industrial Hemp Fibers: An Overview*. *Fibers*, 7(106), 1-16.
19. **Muneer, F. (2012).** *Evaluation Of The Sustainability Of Hemp Fiber Reinforced Wheat Gluten Plastics*. Degree Project for M.Sc. Thesis in Agriculture.A2E. Swedish University of Agricultural Sciences, Alnarp.
20. **Nachippan, N.M., Alphonse, V., Raja B., Shasidhar S., Teja, G.V. & Reddy, R.H. (2021).** Experimental Investigation Of Hemp Fiber Hybrid Composite Material For Automotive Application. *Materials Today: Proceedings*, 44, 3666–3672.
21. **Orta Anadolu Kalkınma Ajansı (2019).** Kenevir Yetiştiriciliği. https://www.oran.org.tr/images/dosyalar/20190318134910_0.pdf
22. **Özdemir, S. & Tekoğlu, O. (2012).** Ekolojik Tekstil Ürünlerinde Kullanılan Hammaddeler. I. Uluslararası Moda ve Tekstil Tasarımı Sempozyumu Bildirileri Özel Sayı. *Akdeniz Sanat Dergisi*, 5 Mart, Antalya, 27-30.
23. **Pappu, A., Pickering, K.L. & Thakur, V.K. (2019).** Manufacturing and Characterization of Sustainable Hybrid Composites Using T Sisal And Hemp Fibres As Reinforcement Of Poly (Lactic Acid) Via Injection Moulding. *Industrial Crops & Products*, 137, 260–269.
24. **Salentijn, E.M.J., Zhang, Q., Amaducci, S., Yang, M. & Trindade, L.M. (2015).** New Developments in Fiber Hemp (Cannabis Sativa L.) Breeding. *Industrial Crops and Products*, 68, 32-41.

25. **Sarasini, F., Tirillò, J., Sergia, C., Seghinia, M.C., Cozzarinib, L. & Graupnerc, N. (2018).** Effect Of Basalt Fibre Hybridisation And Sizing Removal On Mechanical And Thermal Properties Of Hemp Fibre Reinforced HDPE Composites. *Composite Structures*, 188, 394–406.
26. **Schumacher, A.G.D., Pequito, S. & Pazour J. (2020).** Industrial Hemp Fiber: A Sustainable and Economical Alternative to Cotton. *Journal of Cleaner Production*, 268:122-180.
27. **Sepe, R., Bollino, F., Boccarusso, L. & Caputo, F. (2018).** Influence of Chemical Treatments on Mechanical Properties of Hemp Fiber Reinforced Composites. *Composites Part B: Engineering*, 133, 210-217.
28. **Sullins, T., Pillay, S., Komus, A. & Ning, H. (2017).** Hemp Fiber Reinforced Polypropylene Composites: The Effects of Material Treatments. *Composites Part B*, 114, 15-22.