MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOĞAL ELYAF TAKVİYELİ KORUYUCU TEKSTİL YAPISI GELİŞTİRİLMESİ

SİNAN KOCAÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Tekstil Mühendisliği Ana Bilim Dalı

DANIŞMAN
Doç. Dr. MUHAMMET UZUN

İSTANBUL, 2023

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOĞAL ELYAF TAKVİYELİ KORUYUCU TEKSTİL YAPISI GELİŞTİRİLMESİ

SİNAN KOCAÖZ

(523419006)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Tekstil Mühendisliği Ana Bilim Dalı

DANIŞMAN
Doç. Dr. MUHAMMET UZUN

İSTANBUL, 2023

ÖNSÖZ

Tezim için araştırma konusu seçerken ilgi alanımın dikkate alması, çalışmamın başından sonuna kadar ilgi ve desteğini benden esirgemeyen iyi bir araştırmacı yetiştirmeyi hedefleyen değerli hocam Doç.Dr.Muhammet UZUN'a ve Tekstil Mühendisi adayı Naz KADINKIZ'a, desteğini sürekli hissettiğim KARA DİKİMEVİ MÜDÜRÜ Dr.Neslihan AY'a ve Emre AKBAŞ'a, kompozit üretiminde yardımcı olan 41.BAKIM FABRİKA MÜDÜRÜ Kadir KÜPÇÜ ve çalışanlarına, balistik testleri yapmamda yardımcı olan CES KOMPOZİT ve ÖZTEK TEKSTİL AŞ'ye, yönetim kurulu başkanın Mustafa ÖZTEK'e, kumaş tasarım ve üretimini gerçekleştirdiğimiz AKIN TEKSTİL AŞ'ye, başarımın arkasında en önemli destek kaynağı olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

ÖZEL TEŞEKKÜR: Kompozit üretiminde yılların verdiği tecrübesiyle destek olan fikrini, önerilerini ve emeğini esirgemeyen 41.BAKIM FABRİKA MÜDÜRLÜĞÜ çalışanı Mustafa ŞİNAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ i
ÖZET iv
ABSTRACT vi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ viii
ŞEKİLLER LİSTESİ ix
GRAFİK LİSTESİ x
TABLOLAR LİSTESİ x
1. GİRİŞ 1
1.1. Doğal Lifler 1
1.1.1. Kenevir Lifi 7
1.1.1.1. Kenevir Lifinin Özellikleri 9
1.1.1.1.1. Kenevir Lifinin Fiziksel Özellikleri 11
1.1.1.1.2. Kenevir Liflerinin Kimyasal Özellikleri 14
1.2.Doğal Liflere Uygulanan Modifikasyonlar 17
1.2.1. Alkali İşlem 17
1.2.2. Bağlayıcı Madde ile Modifikasyon 18
1.2.3.Asetilasyon 20
1.2.4.Aşı Kopolimerizasyonu 20
1.2.5.Ağartma İşlemi 21
1.2.6. Diğer Yöntemler 21
1.3. İplik ve Kumaş Üretimi 22
1.3.1 Islak İplik Eğirme Sistemi 22
1.3.2 Kumaş ve Yüzey Oluşturma Yöntemleri 23
1.3.3 İplik ve Kumaş Mukavemet Testleri 23
1.4.Kompozitler Yapılar 25
1.4.1. Kompozit Türlerinin Sınıflandırılması 25
1.4.1.1. Polimer Matrisli Kompozitler 26
1.4.1.2. Takviye Malzemeleri 28
1.4.2. Kompozit Malzemelerin Üretimi ve Kullanım Alanları 29
1.4.2.1.Kalıplama Yöntemi ile Kompozit Üretimi 29

1.4.2.2. Enjeksiyon Yöntemi ile Kompozit Üretimi 30
1.4.2.3. Kompozitlerin Kullanım Alanları 30
1.5. Epoksi Reçine Uygulamaları ve Yöntemleri 31
1.5.1 El yatırma yöntemi 31
1.5.2 Pres kalıplama yöntemi 32
1.5.3 Vakum kalıplama yöntemi ve basınçlı torba ile kalıplama 32
1.6 Koruyucu Tekstiller 33
1.7.Balistik Kavramı 35
1.7.1. Balistik Testler ve Standartlar 39
1.7.1.2Balistik Limit 40
1.7.1.3 Stanag 2920 Testi 41
1.7.1.4 NIJ 0101.06 Standartları 42
2. MATERYAL-YÖNTEM 44
2.1. Materyal 44
2.1.1 Diğer Mekanik Test Cihazları (FTIR, SEM, XRD) 49
2.2 Yöntem 51
2.2.1 Elyaf ve Kumaştan Elde Edilen Kompozitlerin Üretimi 52
2.2.2 Numunelerin Balistik Testleri 57
3. BULGULAR VE TARTIŞMA 59
4. SONUÇ 65
KAYNAKÇA 67
ÖZGEÇMİŞ 72

ÖZET

DOĞAL ELYAF TAKVİYELİ KORUYUCU TEKSTİL YAPISI GELİŞTİRİLMESİ

Koruyucu ürünler yüzyıllar boyunca farklı malzeme ve yapılarda tasarlanarak kullanılmıştır. Kişisel vücut zırhları koruyucu yapıların en önemli gruplarındandır. Değişen tehlike türlerine uyumlu modern koruyucu yapılar geliştirilmektedir. Günümüzde ateşli silahların yaygınlaşması ve buna bağlı olarak kullanımının artmasıyla kurşun geçirmez yelekler yaygınlaşmıştır. Bu yeleklerin en önemli fonksiyonu ateşli silahların etkisini minimum seviyede tutarak koruma sağlamasıdır. Ateşli silahlara ek olarak kesici-delici gibi maddelerin neden olduğu kritik iç yaralanmalarından da koruma sağlanması için hafif zırh teknolojisine de ilgi artmıştır. Farklı malzemeler ile üretilen kurşun geçirmez yelekler günümüzde ağırlıklı olarak kevlar gibi ileri teknik lifler kullanılarak üretilmektedir. Kevlar yeterli darbe ve sıcaklık emme kapasitesine sahiptir. Koruyucu etkiyi gösterebilmesi için çok katmanlı kullanılması gerekmektedir bu da ergonomi açısından ağır bir yapı oluşturur.

Sürdürülebilir yapılara ilgi hızlı bir şekilde artmaktadır ve teknik tekstillerin sürdürülebilir yapılarla yeniden tasarlanması önemli ve güncel çalışma alanlarındandır. Gerek konfor gerekse maliyet dezavantajlarından dolayı kevlara gibi liflere alternatif oluşturmayı hedefleyen çalışmalar önemlidir. Bu tez kapsamında sürdürülebilir üretime olanak veren ve önemi her geçen gün artan endüstriyel kenevir takviye malzemesi olarak kullanılmıştır.

Yerli üretim endüstriyel kenevir ilk kez koruyucu teknik tekstillerde kullanılmıştır. Kenevir; keten ve pamuk gibi endüstriyel amaçlı kullanılan selüloz esaslı yıllık bir lif bitkisidir. Kenevir inşaat, tekstil, ilaç, kimya, otomotiv gibi pek çok sanayi dalında kullanılmaktadır. 20 yy. ortalarında bazı ülkelerde yasaklanan bitki, zamanla öneminin tekrar anlaşılması ve ham malzeme ihtiyacından dolayı kontrollü olarak üretilmeye başlanmıştır. Ülkemizde tamamen yasaklanan üretim devlet teşvikiyle 2016 yılında kontrollü olarak tekrar başlamıştır. 2020 yılında 101 dekar ekili alandan 9 ton kenevir lifi elde edilmiştir. Kenevir bitkisinin iki ana alt türü bulunmaktadır. Cannabis Sativa endüstriyel olarak kullanılmaktadır. Kenevir, doğaya oksijen üretimi açısından da önemlidir, petro-kimya (kevlar, cam, aramid lifleri) ürünlerine ikame edebilecek bir

bitkidir, bu nedenle üretiminin desteklenmesi gelişmiş ülkelerde artmaktadır. Sanayi ham malzeme ile çalışır ve kenevir en önemli selüloz ham malzeme kaynağıdır. Kenevir lifi bu çalışmada epoksi reçine ile kullanılarak kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir. Kompozit malzemeler; iki veya daha fazla malzemenin en iyi özelliklerini kullanarak ortaya yeni bir malzeme çıkarmaktır. Bu çalışmanın amacı yerli ve yabancı kenevir lifinin literatüre kazandırılması ve kenevire alternatif katma değerli uygulama alanlarının geliştirilmesidir. Epoksi reçine ile kurşun geçirmez yeleklerin temel malzemesi olan aramid lifi (kevlar) gibi yüksek performanslı liflere alternatif kenevir kullanılmıştır. Kenevir kullanımı ile koruma performans kaybı olmadan sürdürülebilir vücut zırhı tasarlanmıştır. Beklenen performansın sağlanması durumunda üretilen kurşun geçirmez yeleğin daha hafif bir ağırlıkta tasarlanması sağlanacaktır. Kompozit üretiminde kevlar/kenevir katmanlar halinde de kullanılmıştır. Elde edilen yapıların balistik dayanımları değerlendirilmiştir ve balistik laboratuvarında testleri yapılmıştır. Çalışmanın sonunda kenevir takviyeli epoksi reçine esaslı kompozit malzemenin NIJ 0101.06 LEVEL IIA koruma seviyesinde biyo-kompozit kurşun geçirmez kompozit üretilmiştir. Tüm değerlendirmeler dikkate alındığında düşük balistik seviyelerinde kenevirin kullanımı umut vericidir. Elyaf takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri ve yapışma mukavemetleri önemlidir. Elyaf ve epoksi reçinenin tutunma özellikleri de proje kapsamında incelenmiştir

Anahtar Kelimeler: Cannabis Sativa, gövde lifleri, kenevir, koruyucu giysiler, teknik tekstiller, balistik, kompozit, sürdürebilirlik, epoksi reçine.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF NATURAL FIBER REINFORCED PROTECTIVE TEXTILE STRUCTURE

Protective products have been designed and used in different materials and structures for centuries. Personal body armor is one of the most important groups of protective structures. Modern protective structures are being developed to adapt to changing types of hazards and dangers. Today, with the widespread use of firearms and the increase in their use, bulletproof vests have become widespread. The most important function of these vests is to provide protection by keeping the effect of firearms at a minimum level. In addition to firearms, interest in light armor technology has also increased in order to provide protection from critical internal injuries caused by substances such as sharps and pointed objects. Bulletproof vests produced with different materials are mainly produced using advanced technical fibers such as Kevlar. Kevlar has sufficient shock and temperature absorption capacity. In order to show the protective effect, it needs to be used in multiple layers, which creates a heavy structure in terms of ergonomics.

Interest in sustainable structures is increasing rapidly and redesigning technical textiles with sustainable structures is an important and current field of study. Studies aiming to create an alternative to fibers such as Kevlar are important due to both comfort and cost disadvantages. Within the scope of this thesis, industrial hemp, which allows sustainable production and whose importance is increasing day by day, was used as a supplement.

Domestically produced industrial hemp was used for the first time in protective technical textiles. Hemp; It is a cellulose-based annual fiber plant used for industrial purposes such as flax and cotton. Hemp is used in many industries such as construction, textile, medicine, chemistry and automotive. 20th century. The plant, which was banned in some countries in the middle of the year, started to be produced in a controlled manner due to the re-understanding of its importance in time and the need for raw materials. Production, which was completely banned in our country, started again in 2016 with government incentives. In 2020, 9 tons of hemp fiber was obtained from 101 decares of cultivated area. There are two main subspecies of the cannabis plant. Cannabis Sativa is used

industrially. Hemp is also important in terms of oxygen production for nature, it is a plant that can substitute for Petro-chemical (Kevlar, glass, aramid fibers) products, so the support of its production is increasing in developed countries. Industry works with raw materials and hemp is the most important raw material source of cellulose. In this study, composite production was carried out by using hemp fiber with epoxy resin. Composite materials; is to create a new material using the best properties of two or more materials.

The aim of this study is to bring domestic and foreign hemp fiber to the literature and to develop alternative value-added application areas to industrial hemp. Hemp has been used as an alternative to high-performance fibers such as aramid fiber (Kevlar), the basic material of bulletproof vests with epoxy resin. Sustainable body armor is designed without loss of protection performance with the use of hemp. In case the expected performance is achieved, the bulletproof vest will be designed with a lighter weight. Kevlar/hemp has also been used in layers in the production of composites. The ballistic strengths of the obtained structures were evaluated and their tests were carried out in the ballistics laboratory. At the end of the study, bio-composite bulletproof composite of hemp-reinforced epoxy resin-based composite material at NIJ 0101.06 LEVEL IIA protection level was produced. Considering all attentions, the use of cannabis at low ballistic levels is promising. Mechanical properties and adhesion strength of fiber reinforced composites are important. Adhesion properties of fiber and epoxy resin were also investigated within the scope of the project.

Keywords: Cannabis Sativa, bast fibers, hemp, protective clothing, technical textiles, ballistics, composite, sustainability, epoxy resin.

SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ

µm	: Mikron
2B	: 2 boyutlu kumaş
3B	: 3 boyutlu kumaş
CBD	: Kannabidiol
cm	: Santimetre
EIHA	: Avrupa Endüstriyel Kenevir Derneği
E-MODÜLÜ	: Elastisite modülü
g/m^3	: Yoğunluk
LDPE	: Düşük yoğunluklu polietilen
m	: Metre
mm	: Milimetre
MPa	: Mega pascal
N/m^3	: Özgül ağırlık
NİJ	: Ulusal Adalet Enstitüsü
Nm	: Numara metrikte 1 gram ipliğin metre cinsinden uzunluğu
OE	: Open-end iplik eğirme sistemi
s	: Saniye
SEKA	: Türkiye selüloz ve kâğıt fabrikaları A.Ş
THC	: Tetrahidrokanabinol
UV	: Ultraviyole ışın

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Liflerin sınıflandırılması 3
Şekil 1.2. Cannabis Sativa ve Cannabis Indica Türünün Görünümü 7
Şekil 1.3. Olgun bir kenevir lifi boyuna (a) ve enine (b) kesiti..... 12
Şekil 1.4. Kenevir lifi yapısının şematik görüntüsü 13
Şekil 1.5. Kenevir elyafı mikroskop görünüşleri 14
Şekil 1.6. Bezayağı kumaş yapısı..... 23
Şekil 1.7. Kompozitlerin sınıflandırılması 26
Şekil 1.8. Kalıplama yöntemi ile kompozit üretimi 30
Şekil 1.9. Vakum İnfüzyon yöntemi 33
Şekil **1.10**. Teknik tekstillerin mevcut durumu 34
Şekil 1.11. Roma dönemi ve 15 yy. Türkiye'sinde bazı vücut koruyucu zırhlar..... 35
Şekil 1.12. İç balistik dış balistik ve hedef balistiğin şematik olarak gösterimi 37
Şekil 1.13. V50 hız testi örneği 41
Şekil 1.14. NIJ standartlarında kullanılan mühimmatlar..... 42
Şekil 2.1. Narlı ve Vezir tohumları, elyaf hasadı ve tek lif görüntüs..... 44
Şekil 2.2. Kopma ve yırtılma mukavemetinin ölçüldüğü cihazlar..... 45
Şekil 2.3 Aşınma ve iplik mukavemetinin ölçüldüğü cihazlar..... 46
Şekil 2.4. Kopan ipliklerin mikroskop görüntüleri 47
Şekil 2.5 Kenevir ipliklerin düzgünsüzlüğün mikroskop görüntüsü……...47
Şekil 2.6. FTIR cihazı 50
Şekil 2.7. XRD ölçümü yapılan cihaz..... 50
Şekil 2.8. SEM (Taramalı elektron mikroskobu) 51
Şekil 2.9. Manuel/Mekanik tarama ve taranmış elyaf..... 52
Şekil 2.10 Kalıplanmış elyaf..... 53
Şekil 2.11. Kalıplanmış kumaş katları 53
Şekil 2.12. Kalıptan çıkarılan elyaf ve epoksi reçinenin fırça ile uygulanması 54
Şekil 2.13. Vakum torbalama yöntemi ile elde edilen kompozit 54
Şekil 2.14. Vakum infüzyon yöntemi tertibatı 56
Şekil 2.15. Presleme işlemi 56
Şekil 2.16. Suya daldırma (sol) ve Düşürme testi (sağ) 58
Şekil 2.17. Atış düzeneği ve lazer işaretinin alınması..... 58

Şekil 3.1. Alkali işlem görmüş/görmemiş kenevir ipliğin FTIR spektrumu 60
Şekil 3.2. Alkali işlem görmüş/görmemiş kenevir ipliğin XRD grafiği 61
Şekil 3.3. E kompozitine ait SEM görüntüleri 62
Şekil 3.4. Atış sonrası numunelerin ön yüzündeki görüntüleri……..61

GRAFİK LİSTESİ

Grafik 2.1. Kenevir ve kevlar iplik kopma-uzama 46
Grafik 2.2. Kenevir kumaşın kopma mukavemet değerleri 48

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Bazı doğal liflerim kimyasal bileşenleri 4
Tablo 1.2. Kompozit malzemelerde kullanılan liflerin özellikleri 5
Tablo 1.3. Kenevir lifinin fiziksel özellikleri 11
Tablo 1.4. Kenevir ve diğer selülozik liflerin kimyasal bileşimleri 15
Tablo 1.5. Yüksek dayanımlı polimerlerin genel özelliklerine örnekler 27
Tablo 1.6 Teknik tekstillerde kullanılan liflerin oranı 34
Tablo 1.7. Balistik korumanın alanları 36
Tablo 1.8. Ulusal ve uluslararası alanda kullanılan standartlar 39
Tablo 1.9. NIJ 0101.06 standart seviyeleri ve kullanılan mühimmat 43
Tablo 2.1. Kullanılan epoksi reçinenin özellikleri 45
Tablo 2.2.(a) Kullanılan iplik özellikleri 46
Tablo 2.3.(b) Kullanılan kumaş özellikleri 49
Tablo 2.1. Üretilen numunelerin fiziksel özellikleri……...57
Tablo 3.1. Üretilen numunelerin atış öncesi görünüşleri 64

1. GİRİŞ

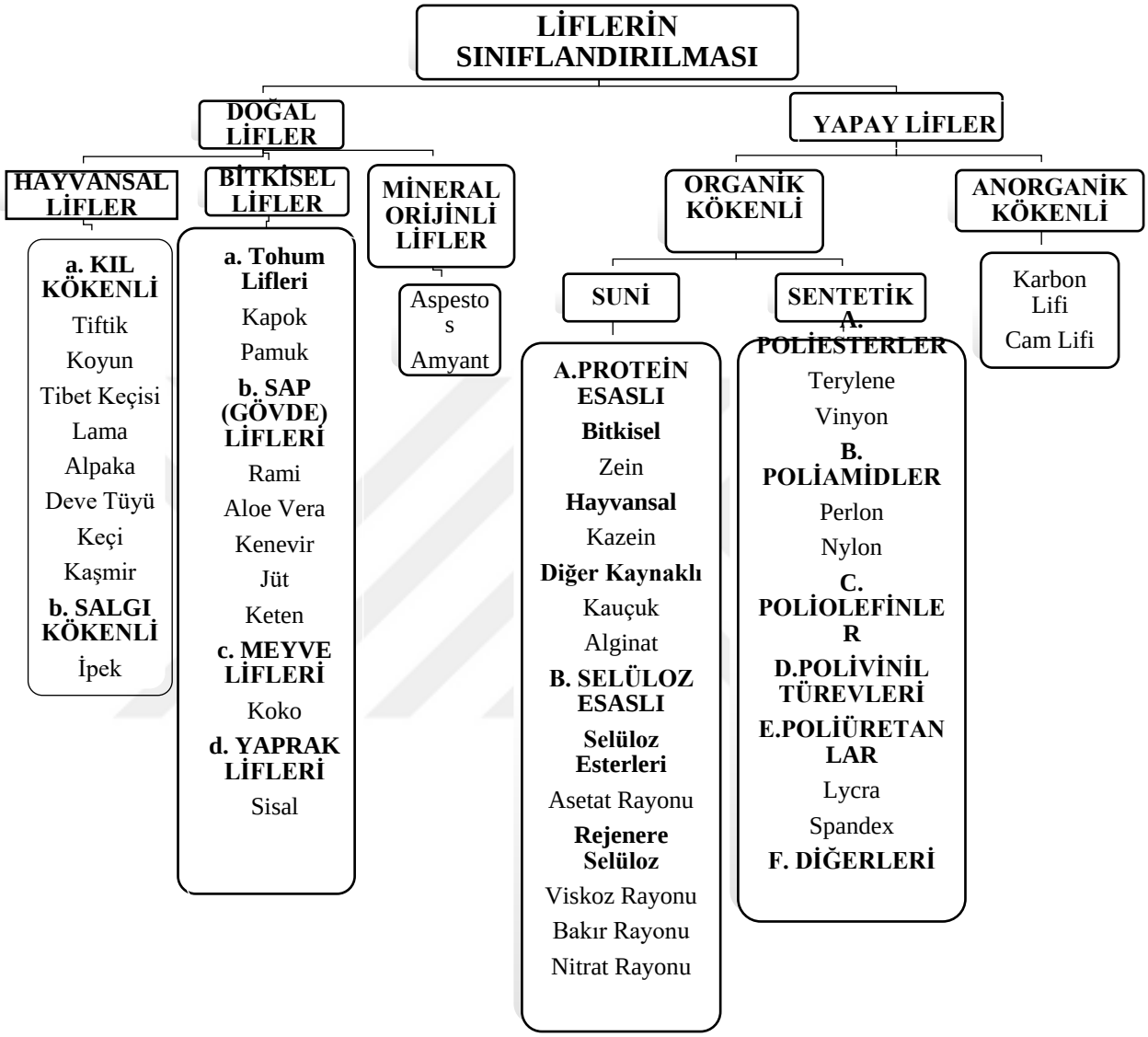
Bu çalışmanın ana amacı kenevir lifi ile desteklenen epoksi reçine esaslı kompozit elde ederek, kurşun geçirmez yeleklerin ana malzemesi olan kevlar ve polietilen lifleri gibi yüksek performanslı liflere ikame edebilecek veya performans kaybı olmadan polimer liflerin kullanımını en asgari düzeye indirmektedir. Sürdürülebilir teknik tekstil tasarımı tezin ana amacıdır. Beklenen performansın alınması durumunda üretilen kurşun geçirmez yelek daha hafif bir ağırlıkta olması sağlanacaktır kenevir lifinin; askeri alanlarda kullanılması ve öneminin açıkça anlatmak üretimine teşvik etmektir. Çünkü kenevir lifi sürdürülebilirliği yüksek bir malzemedir ve balistik yelekte kullanılan Aramid elyafına göre karşılaştırılması yapılacak. Ek olarak kenevir liflerinin koruyucu giysi olarak değerlendirilmesi de yapılacaktır. Ayrıca bu çalışmanın olumlu sonuçları olması durumundan da doğa dostu kenevir lifi üretimi artmasının teşviki sağlanacaktır. Bu çalışmanın diğer bir amacı da Kenevir lifinin sahip olduğu kötü ünün önüne geçmek ve aslıda üretim koşulları doğaya olan yararları değerlendirildiğinde pamuktan ve diğer bitkisel elyaftan daha yararlı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu açıdan değerlendirildiğinde endüstriyel kenevir lifinin yani Cannabis Sativa bitkisinin üretime teşvik edilmesi ekili alanlarının artırılması bir diğer hedeflerdir. Ek olarak tez için kullanılacak lif ülkemizde tescillenmiş yerli tohumlardan üretilmiştir. “Narlı” ve “Vezir” olarak adlandırılan tohumlar Ondokuz Mayıs Üniversitesi ve Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsünün kenevir ıslah çalışmaları sonucunda geliştirilmiştir.

1.1. Doğal Lifler

Bitkisel kaynaklardan elde edilen lifler, bir diğer adıyla doğanın tasarladığı kompozit malzemeler olarak da bilinmektedir. Lifler, temelinde amorf lignin takviyeli olan hemiselülozik matristen ve mikro-kristal selülozdan meydana gelmektedir. Bitkisel liflerin pek çoğu hemiselüloz lignin, selüloz, mumlardan ayrıca; lignin, hemiselülozlar ve selülozun ana bileşen olması durumunda da suda çözünen bazı bileşiklerden meydana gelmektedir. Kompozitlerin güçlendirilebilmesi için doğal liflerin kullanılması hem endüstriyel hem de akademik olarak yapılan çalışmalarda özellikle son yıllarda fazlasıyla

ilgi çekici bir konu haline gelmiştir [1]. Doğal lifler, yapay liflerden avantajlı kullanım imkanlarına sahiptir. Plastik maddelerde dolgu malzemesi şeklinde kullanılmak için palmiye, keten, rami, kenevir, kenaf, jüt, saz, saman, çimen, odun, kamış, pirinç kabuğu, yulaf, arpa ve buğday gibi pek çok doğal lif incelenmektedir [1,2]. Doğal lifler yapısı gereği oyuk hücresel bir yapıya sahip olduklarından lif katkılı olan kompozit malzemeler gürültüye ve ısıya karşı yüksek dayanım ve yalıtım göstermektedirler. Bundan dolayı bazı endüstriyel uygulamalarda bu liflerden faydalanılmaktadır [4].

Doğal lifler mineral, bitki veya hayvansal kaynaklı malzemelerde elde edilmektedir. Doğal lifler kâğıt, keçe ve dokusuz katmanlara ya da eğirme yoluyla dokuma kumaşa veya ipliğe dönüştürülebilmektedir. Doğal lifler karbon veya cam lifleri katkı malzemelerine göre daha düşük yoğunluk, sağlamlık ve yüksek seviyede yenilenebilirlik imkânı sunmaktadır. Sera etkisi gibi dezavantajları bulunan ve çevreye zararlı olan karbon ve cam liflerine alternatif olarak doğal liflerin kullanımının arttırılması ve sentetik liflerin kullanım alanlarının azaltılması ile çevreyi koruma çalışmalarına da katkı sağlamış olacaktır [5, 6].



Şekil 1.1. Liflerin sınıflandırılması

Doğal lifler kavramı mineral, bitkisel ve hayvansal lifleri içerse de kompozit sanayisinde doğal lif kavramı tarımsal elyaf, ağaç lifleri, gövde, yaprak ve tohumları da içermektedir [7]. Lignoselülozlar doğanın fotokimyasal, kimyasal, termal ve biyolojik işlemler yoluyla geri dönüşüm gerçekleştirdiği doğal bir şekilde değerlendirilebilen malzemelerdir. Lignoselülozların içerdiği kimyasal bileşenler cinsten cinse farklılık göstermektedir ancak selüloz, lignin, pektin ve hemiselülozun her birinde ortak olarak bulunan ana bileşendir [8].

Bitkilere sertliği, tokluğu ve gücü veren madde selülozdur. Hemiselülozların yer aldıkları hücre çeperinde güçlendirici olarak rol aldığı, nispeten de depo malzemesi görevi gördüğü düşünülmektedir. Bununla birlikte hücrede yer alan geçit zarlarının su geçirgenliğinin ayarlanmasında rol aldığı ve hücrenin ilk meydana gelişinde hücre çeperi içerisinde ilk yapıştırıcı rolü olduğu düşünülmektedir. Ligninin sahip olduğu esas görev yan yana dizilmiş olan hücrelerin birbirleri ile iyi bir şekilde yapışmasını sağlamak, hücreleri bir çimento gibi güçlü bir şekilde bağlamak, böylece hücre çeperini sertleştirmek ve güçlendirmektir. Ligninin liflerde bu yolla yerleşmesi lifin gerek fiziksel gerekse kimyasal özelliklerinde değişiklikler oluşturmaktadır. Pektinse hemiselüloz ve ligninle beraber hücrenin yapısını dengeleyen bir diğer mühim bileşendir [9]. Tablo 1.1' de bazı doğal liflere ait kimyasal bileşenler sunulmuştur.

Tablo 1.1. Bazı doğal liflerim kimyasal bileşenleri

CİNSLER	LİGNİN (%)	SELÜLOZ (%)	PEKTİN (%)
KENEVİR	8-13	45-57	3-5
KETEN	1-4	65-85	5-12
JÜT	12-25	45-63	4-10
SİSAL	-	50-64	-
YUMUŞAK AĞAÇ	36-34	40-45	0-1
SERT AĞAÇ	20-30	40-50	0-1

Tablo 1.2. Kompozit malzemelerde kullanılan liflerin özellikleri

ÖZELLİKLER	LİFLER						
	KETEN	CAM ELYAF	KENEVİR	ÇİN ÇİMENİ	HİNT KENEVİRİ	SİSAL	HİNDİSTAN CEVİZİ
Çekme Kuvveti	800-1500	2400	550-900	500	400-800	600-700	220
Yoğunluk g/cm3	1,4	2,55	1,48	1,5	1,46	1,33	1,25
E-Modülü (GPa)	60-80	73	70	44	10-30	38	6
Uzama Kopması	1,2-1,6	3	1,6	2	1,8	2-3	12-25
Özgül Mukavemet	26-46	29	47	29	7-21	29	5
Nem Emme %	7	-	8	12-17	12	11	10

Tablo 1.2'de liflerdeki özgül yoğunluk değerleri incelendiğinde doğal liflerin cam lifine göre daha olduğu görülmektedir. Bu değerin düşük olması aynı ağırlığa sahip olan doğal lif ve cam elyaf arasında olmasından dolayı lif yapıları için önemli bir avantaj sağlamaktadır. Ağırlıkları aynı bile olsa doğal lif cam lifine göre daha mukavemetlidir veya aynı hacme sahip iki parçada yeterli düzeyde mukavemet sağlanabilirse doğal lif daha düşük ağırlığa sahip olmaktadır.

Doğal liflerin sağladığı avantajlar şu şekilde belirtilebilir [10];

- Doğal lifler yenilenebilir hammaddelerdir ve elde edilebilirlik seviyeleri neredeyse sınırsızdır. Basit bir ifadeyle her sene oldukça büyük oranda lignoselülozik, endüstriyel, ticari ve yerleşim kaynaklarından atık olarak çıkmaktadırlar. Bu atıkların bütün katı atıkların yaklaşık olarak %40'ını oluşturmaktadır.
- Doğal liflerin sahip olduğu aşınma yatkınlığı cm lifine oranla daha düşük seviyededir. Bu durum hem kompozit üretimi hem malzeme geri dönüşümü hem de teknik alanlarda avantajlar sunmaktadır.
- Üretim alanında düşük yatırım maliyetlerine sahiptir. İşgücü maliyetinin düşük olduğu ülkelerde malzeme üretiminde avantajlar sunmaktadır.
- İnsan cildi için tehlikeli değildir.
- Talaşlı üretime gerek duymaz ve deride tahriş yaratmazlar.

- Doğal lifler ile desteklenen kompozitlerin kullanım süresinin sonuna gelinmesinin ardından gömme veya yakma işlemi yapıldığında bile ortama saldıkları karbondioksit seviyesi, büyüme aşamasında absorbe etmiş oldukları karbondioksit seviyesi ile yaklaşık olarak aynı düzeydedir.
- Yoğunlukları düşüktür ve bunun sonucu olarak ağırlığın önem arz ettiği uygulamalarda hem mukavim hem de hafif bir malzemenin elde edilmesi için ideal malzemelerdir.
- Ses ve ısıl izolasyon özellikleri iyi düzeydedir.
- Çevreye zararsızlardır.

Doğal liflerin sağladığı dezavantajlar ise şu şekildedir [10];

- Darbe dayanımına karşı düşük mukavemet göstermektedirler.
- Kalitesi belirsiz hava koşullarına göre farklılık gösterebilmektedir.
- Yüksek nem emiciliği vardır bu özelliği liflerin şişmesine sebebiyet vermektedir.
- Dayanıklılığı düşüktür.
- Yüksek imalat ısısı sınırlıdır.
- Yangın direnci düşüktür.
- Fiyatları tarım politikalarına ve hasada göre değişkenlik göstermektedir.

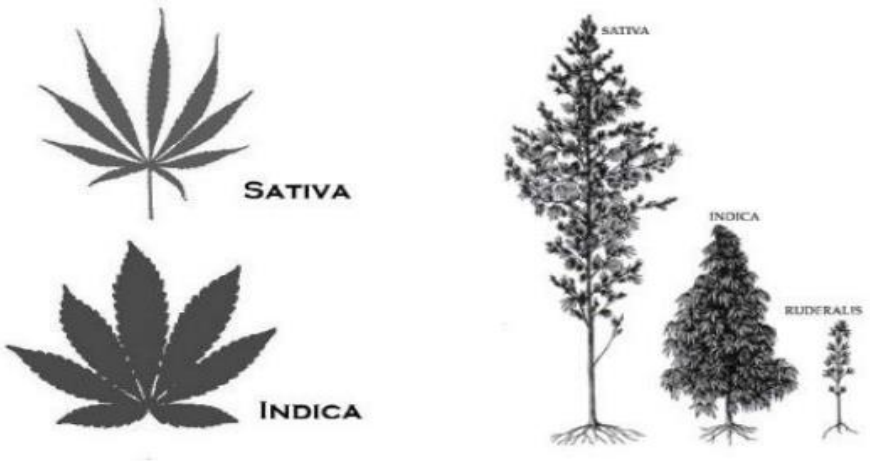
Burada göz önünde bulundurulması gereken en mühim husus doğal liflerin, plastik bir matrisin içine eklenmeden evvel tamamen pektinden arındırılmasıdır. Çünkü pektin lif içerisinde mantar oluşumu ve çürümenin temel sebebidir. Pektinin ayrılmaması durumunda üretim sonunda matrisin içerisinde yer alan lifler zaman içerisinde çürüyecek ve malzemenin mukavemetinde gözle görünür bir düşüş meydana gelecektir.

Dünyadaki en yaygın biyopolimer selülozdur. Moleküller arası ve molekül içi bağlarla birbirlerine bağlanmış olan lif hem amorf hem de kristalin özellikler göstermektedir. Kristalin bölgede yer alan selüloza selüloz kristalitleri ismi verilmektedir ve söz konusu kristalitlerin hidrojen bağları ve Van der Walls etkileşimlerinden dolayı selüloz zincirlerince oluşturulmaktadır. Amorf bölgedeyse selüloz aşırı miktarda ve zayıf mineral asitlerine maruz kalması durumunda kolaylıkla hidrolize olmaktadır. Kristalin selüloz α-selülozdaki mikro liflerde amorf bölgelerin hidroliz edilmesi sonucunda elde

edilmektedir. Kristalin selülozlar huş ağacı, okaliptüs ağacı, pamuk şeritleri, çam, kenaf kabuğu, bambu, mısır koçanı, portakal orta kabuğu, pirinç samanı, meyve demeti, muz lifi, lif kabağı, şeker kamışı küspesi ve endüstriyel keneviri gibi pek çok biyo kütleden elde edilebilmektedir. Bunlarla beraber pek çok lignoselülozik kaynaktan da elde edilmiş olan kristalin selüloz genel olarak gözenekli yapı, kristallik, moleküler ağırlık, nem içeriği ve yüzey alanı gibi özelliklerde farklılık göstermektedir. Bundan dolayı kristalin selüloza ait fizikokimyasal özellikleri ve verimini arttırabilmek için lignini uzaklaştırma işlemleri yapılmaktadır. Lignoselülozik lifleri oluşturan ana bileşenler lignin, hemiselüloz ve selüloz; minör bileşenleriyse suda çözünür içerikler, pektin ve minerallerdir [1].

1.1.1. Kenevir Lifi

Kenevir, insanlık tarihi boyunca kullanılan en eski lifli bitkilerden biridir Cannabidaceae familyasından odunsu bir yıllık bitkidir. Bugün iki alt tür vardır: Cannabis Sativa (endüstriyel kenevir) ve Cannabis Indica (Hint keneviri/marihuana). Bu iki tipin görünümü Şekil 1.2'de gösterilmektedir. Bunlardan Cannabis Sativa endüstriyel öneme sahiptir. Cannabis Indica, narkotik özelliklerinden dolayı dünya çapında yasaklanmıştır [11]. Ancak yasak 2015 sonrası genel olarak kaldırılmaya başlanmıştır.



Şekil 1.2. Cannabis Sativa ve Cannabis Indica Türünün Görünümü

Birçok yazılı kaynaktan Cannabis Sativa bitkisinin doğum yerinin Asya olduğu ve geçmişinin MÖ 8000 yıllarına dayandığı bilinmektedir. İlk olarak Çin'de MÖ 2700'de tıbbi bir bitki olarak keşfedilmiştir ve 2000-2200 yıl önce Asya'dan Avrupa'ya yayılarak bugüne kadar yetiştirilmiştir. Anadolu'da bilimsel kayıtlara göre kenevir ekimi çağımızdan bile önce başlamıştır. 1500 yıllarına kadar dayandığı bilinmektedir (Ulaş, 2018)Çin'de sadece tohum ve yağdan kullanılan keten ve kenevir kumaşlarının Batı Türkistan'ın doğu bölgelerinden Çin'e geldiği bilinmektedir. Keten ve kenevir de eski Mısır'da giysi olarak kullanılmıştır. Türkler ilk başta sadece kenevir (Esrar) ve keten (Linum) terimlerini kullanmışlardır. Çinliler ise keneviri ketenden ayırt etmek için keneviri büyük keten (Ta-ma) olarak adlandırmışlardır. Narkotik özelliğinden dolayı günümüzde farklı bir algı oluştursa da Osmanlı İmparatorluğu'nda olduğu gibi tarih boyunca birçok medeniyette tıbbi amaçlı kullanılmıştır. Ayrıca Türk kültüründe ağırlıklı olarak keten ve kenevirden oluşan kumaşlar 20. yüzyılın ortalarına kadar var olmuş ve Cumhuriyet döneminde gerçekleştirilen reformlar sonucunda tarım ve tekstili geliştirmek amacıyla başlayan sanayileşme süreci sonrasında da devam etmiştir.

1930'larda Anadolu'da ve Trakya'da kenevir ekimi başlamış, daha sonra Kastamonu yörelerinde sanayi ürünü olarak yetiştirilmiştir. Kenevir bitkisini değerlendiren ilk kamu yatırımı Kastamonu'da yapılmıştır. Bunlardan ilki 1946 yılında Sümerbank tarafından bölgede üretilen kenevirin değerlendirilmesi amacıyla kurulan Taşköprü kenevir fabrikasıdır. 4 bin ton kenevir işleme kapasitesine sahip olan tesis, bölgenin 16 ila 24 bin ton arası üretim yapmasına rağmen birçok faktörden dolayı yarı kapasitesiyle kenevir alabilmiş ve Sümerbank 1951 yılı ortalarında faaliyetlerini durdurmuştur. İmkânsızlık nedeniyle tam kapasite ile çalışmakta ve kayıplara maruz kalmaktadır. Bir diğer işletme ise kenevir lifinden sicim ve kanaviçe üretmek için kurulan Kendir Sanayii Müessesi'dir. 1945 yılında sanayi planına alınan ve 1949 yılında yapımına başlanan ve Toprak Mahsulleri Ofisinin çuvallı ihtiyacını karşılayan tesis, 1953 yılından sonra Hindistan'dan kenevirden ucuz ve hammadde olarak kullanılan jüt ithalatına başlamıştır. Kenevirin düşük verimliliği ve karlılığı nedeniyle. Kenevir üretimini sekteye uğratan bu durum, İzmit'teki SEKA kâğıt fabrikasında kenevirin kâğıt üretiminde kullanılması amacıyla kenevir satın alınmasıyla telafi edilmiştir. 1976 yılında Taşköprü'de 1984 yılında faaliyete geçen SEKA kâğıt fabrikası kurulmasına karar verilmiş ancak 2004 yılında fabrika

özelleştirilmiştir. Özelleştirmeden sonra ucuzladığı için yurt dışından tedarik seçimi kenevir üretiminin ortadan kalkmasına neden olmuştur.

Amerika'da 20. yüzyılın başlarına kadar çiftçiler tarım arazilerinde kenevir yetiştirmiş, ancak 1930'lardan sonra kenevir ekimi aniden yasaklanmıştır. Bütün bu süreçte, esrarın narkotik doğası gereği uluslararası yasaklanması politikası, Türkiye dahil birçok ülkeye yayılmış ve dünya ülkelerini etkilemiştir. Çiçekli üst kısımlar ve daha az ölçüde, kenevir yaprakları, esrar ve esrarın ünlü olduğu narkotik Δ-9-tetrahidrokanabinol (THC) içeren reçineli bir salgı üretmektedir[2]. Endüstriyel kenevir ve kenevir, aynı ailenin farklı çeşitleri olup, psikoaktif bileşen Δ-9-tetrahidrokanabinol (THC) içeriklerinde önemli ölçüde farklılık gösterir, ancak bunlar genellikle ilişkili ve görünüşte benzerdir. Esrar kuru ağırlık bazında %3-15 THC içerir [1]. Ancak endüstriyel kenevir %0,2'den daha az THC ürettiği için ilaç olarak kullanılamaz. Bu nedenle 2000 yılından itibaren özellikle Avrupa'da esrarın popülaritesi yeniden artmış ve ardından Avrupa Endüstriyel Kenevir Örgütü (EIHA) oluşturulmuştur. ABD'de 2010 yılından itibaren kurulan kenevir enstitüleri ve araştırma kurumları sayesinde kenevir yaygınlaşmıştır ve sadece ABD'de 2025 yılına kadar 150 milyar dolarlık endüstriyel kenevir pazarının oluşturulması ve 50.000'in üzerinde endüstriyel kenevir ürünü üretilmesi planlanmaktadır. Günümüzde kenevir ilaç, giyim, otomotiv, kâğıt, inşaat, gıda, petrokimya gibi birçok sektörde kullanılabilmektedir

1.1.1.1. Kenevir Lifinin Özellikleri

Doğada dişi ve erkek gözüyle ayırt edilebilen tek bitki olan kenevir bitkisinin liflerinden yapılan tekstillere talep bugün hızla artmaktadır. Çevreye duyulan yüksek düzeydeki ilgi, bu talebin ana nedenlerinden biridir. Kenevir bazlı tekstilleri son yıllarda ön plana çıkaran bir diğer faktör ise üstün tüketici özellikleri sağlamasıdır. Ekimden hasada kadar hem çevreye hem de toprağa faydalarının yanı sıra doğal kaynak olması ve yapay kaynakların yerini alması, yenilenebilir olması ve çevre kirliliğine neden olmadan doğada yok olması gibi mükemmel özellikleri keneviri çekici kılmaktadır. Söz konusu özellikler lifin kimyasal ve fiziksel yapısı sonucu ortaya çıkmaktadır [12]. Lif uzunluğu 40-45 mm olmasına rağmen bitkinin boyuna bağlı olarak 2 m'yi bulmaktadır [1]. Elyafın bileşiminde yer alan maddeler, üretim parametrelerinin yanı sıra elyafın özelliklerini ve davranışını

etkiler. Bu nedenle uygun işleme koşullarını belirlemek ve bu hammaddeden üretilecek ürünlerin kullanım özelliklerini görmek için elyafı oluşturan bileşenlerin iyi bilinmesi önemlidir [13]. Kenevirin erkek ve dişi bitkileri vardır. Erkek(a) ve dişi(b) kenevirin görünümü Şekil 2.3'de [14] gösterilmektedir. Kural olarak, dişi bitkilerin %65-70'i ve erkek bitkilerin %30-35'i ekim tohumlarından elde edilir. Yani bir üretici tohum ekecekken erkek veya dişi bitki tohumlarını seçerek ekim yapma imkanına sahip değildir [15].

Sanayide kullanılan lifler için olgunluk önemli bir parametredir. Hasat dönemi lifin olgunluğunu belirler. Tek bir lifin olgunlaşması, ikincil bir duvarın gelişmesiyle dışarıdan içeriye doğru gerçekleşir. Olgun bir kesede hücre duvarları incedir ve lümen küçük bir hacme sahiptir. İkincil duvarın gelişimi bitkinin büyüme evresinde başlar ve çiçeklenmeden sonra devam eder. Lifin özellikleri bitkinin hasat dönemine göre değişmektedir. Bu nedenle istenilen lif kalitesine göre doğru hasat periyodu seçilmelidir. Lif ekstraksiyonu için kenevir hasadı genellikle çiçeklenme dönemi bitmeden ağustos ayında yapılmaktadır. Kenevir yılda iki kez hasat edilebilir. Erkek ve dişi bitkiler arasındaki olgunlaşma süreçlerindeki farklılık, hasatta zorluklara neden olur. Erkek kenevir, çiçeklenmeden kısa bir süre sonra, yani ekimden yaklaşık 100-110 gün sonra hasat olgunluğa ulaşır. Bu döngüde saplar en yüksek lif kalitesine sahiptir. Erken hasat, stabil olmayan lif içeren düşük lif verimi ile sonuçlanırken, hasat edilen sapların havuzlaması geç hasat edildiğinde zorlaşır ve hatta selüloz yerine gövdelerde lignin birikmesi nedeniyle ligninasyon yoluyla lif üretemeyebilir. Erkek ve dişi bitkiler, tozlaşma aşamasından sonra bile hasat edilebilir. Bu şekilde dişi bitkilerin lifleri de kullanılabilir ve son olarak ekimden sonra dişi ve erkek bitkiler hasat edilir. Bu yöntemde lif üretimi ikincil, tohum üretimi ise birincil hedeftir [16]. Kenevir Sativa, ana aktif ve tatlandırıcı maddeler olan 120 madde içerir. Dişi kenevir türünün tohumlarının etrafındaki yapraklar, erkek ve dişi kenevir türlerinin çiçekli üst kısımları psikoaktif maddeler içermektedir [17]. Bunların en dikkat çekenleri Δ9-tetrahidrokannabinol (tetrahidrokannabinol), yani THC ve CBD'dir (kannabidiol) THC gibi çiçekli kenevir bitkilerinin bölümlerinde MİA daha fazla bulunur [15].

Endüstriyel kenevir, kuru ağırlıkça %0,2 (AB) ve %0,3 (Kanada) altında THC seviyelerine sahip bir türdür. Dişi bitkilerde bu rakam %5 ile %35 arasında değişmektedir. Endüstriyel kenevirin çok düşük bir THC oranına ve yüksek bir CBD oranına sahip

olması arzu edilir. Esrar olarak bilinen yüksek derecede bağımlılık yapan madde (THC), dişi kenevirden elde edilir. 1930'lardan sonra petrol bazlı polyesterin yaygınlaşması, polyesterin kenevirden elde edilen ipliğe göre daha ucuz olması ve petrol ürünleri satma teşviki nedeniyle kenevir ekimi yavaş yavaş azalmaktadır.

Bugün, çeşitli kalite ve kökene sahip kenevir lifleri, harmanlama maddeleri olarak kullanılmaktadır. Bazen kenevir-jüt karışımları sadece kenevir tipi kumaşların üretimi için değil, aynı zamanda kenevir işleme için de kullanılır. Artan çeşitlilikte sentetik lifler (poliamid, poliakrilonitril, polipropilen, dokulu polipropilen, polietilen, viskoz, vb.) kenevir ile karıştırılmaktadır. Farklı lifleri veya farklı kalitede keneviri karıştırmanın amacı: daha ucuz iplik üretmek, kenevir lifi eksikliğini gidermek, eğirme kapasitesini geliştirmek, kaliteyi iyileştirmek, üretim maliyetlerini azaltmak gibi gereksinimleri karşılamaktır.

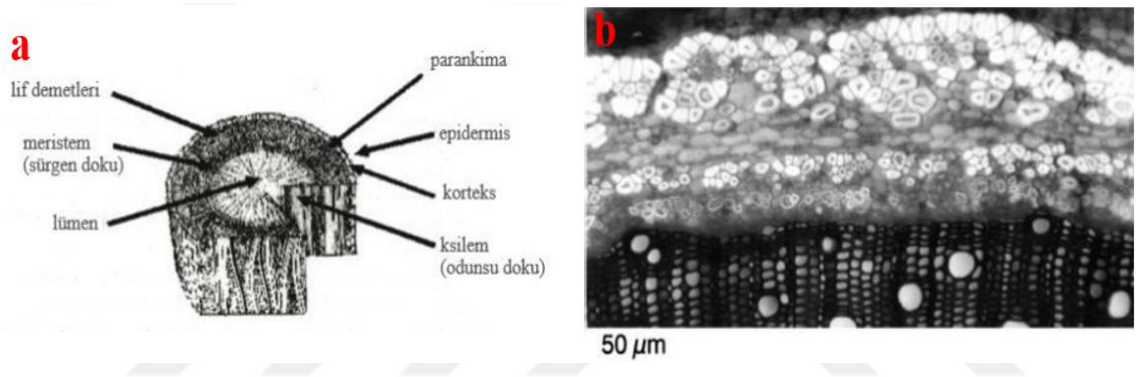
1.1.1.1.1. Kenevir Lifinin Fiziksel Özellikleri

Kenevir, yüksek mukavemet, aşınma direnci ve emici özelliklere sahip doğal bir elyaftır. Ramiden sonra en güçlü doğal elyaftır. Gücü yaşla birlikte artar. Sıcaklıktan daha az etkilenir, bu nedenle yüksek sıcaklık ortamlarına dayanıklıdır. Yıllık yüksek lif verimine ek olarak, bu liflerden yapılan kumaşlarda boncuklanma ve statik problemler yoktur. 20°C'de %12 nem ve %65 bağıl nem ve %95 bağıl nemde %30 nem gerektirir. Bu değerler pamuk ve ketene göre daha yüksektir[18].Kenevir lifinin bazı fiziksel özellikleri Tablo 1.3'de gösterilmektedir [7].

Tablo 1.3. Kenevir lifinin fiziksel özellikleri

Çekme mukavemeti (kn/mm2)	270-900
Yoğunluk (gr/cm3)	1,2
Çekme modülü (GPa)	23,5-90
Kopma uzaması (%)	1-3,5
Spesifik modül (yaklaşık)	40
Maksimum uzama (mm)	5-7
Nem emilimi (%) (normal şartlarda)	10-14
Young modülü (GPa)	4,8

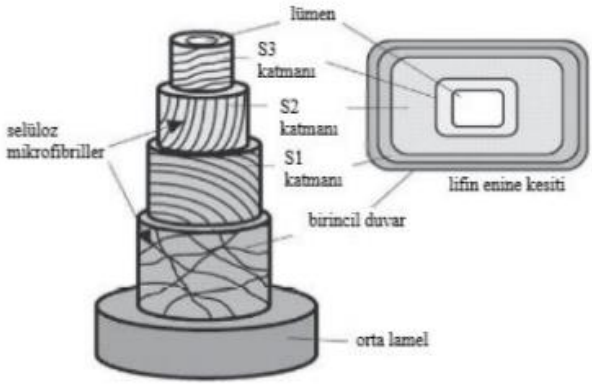
Anti-alerjik ve UV koruması gibi özellikler bir elyafın tekstil malzemesine kazandırabileceği özellikler arasındadır [16]. Kenevir tek yıllık bir bitki olmasına rağmen, budaklı, uzun bir sapa sahiptir. Korteksteki lifli hücreler demetler halinde toplanır ve her lif demetinde 30-50 lifli hücre bulunur. Her bir fiber hücre 20-35 mikrondur (µm) [19]. Ortalama lif demeti çapı 25 µm'dir[11]. Temel lifler veya kenevir fasulyesi teknik lifleri olarak da bilinen birincil lifler, tekstillerde kullanıma uygundur ve bu lifler sürüngen dokusundan oluşur. Bitki büyüdükçe lif sayısı değişmez, lifler uzar. Düğümler arasındaki mesafe, lifin uzunluğunu belirler ve lifin kalınlığı, gövdenin tabanına doğru artar. Parlak 13 kenevir lifi sarı-kahverengi renkte olup, lifin kesiti poligonaldir .Kenevir lifinin enine ve boyuna kesitleri Şekil 1.3'de gösterilmiştir [20,21].



Şekil 1.3. Olgun bir kenevir lifi boyuna (a) ve enine (b) kesiti

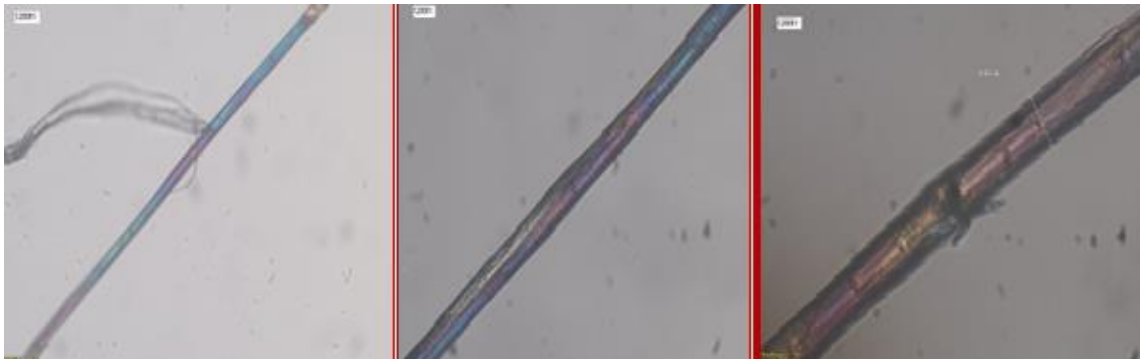
Kenevir saplarının anatomisi bu türün karakteristiğidir. Kabuk, kollenkima, birincil gövde, ikincil gövde ve ağaç halkalarından oluşur. Uygun işlemden sonra lif haline gelen kenevirde, kabuk tabakası doğrudan kabuğun altında bulunur. Pektin tarafından bir arada tutulan ve anastomoz adı verilen bağlantılarla birbirine bağlanan kök hücre demetleri olarak düzenlenir. Lif vücut boyunca eşit olmayan bir şekilde dağılmıştır. Saptaki lifler, birincil ve ikincil lif halkaları halinde düzenlenir [20]. Birincil lifler, ikincil liflerden daha uzun ve 14 kat daha kalındır. İkincil lifler daha kısa ve daha incedir, yoğun odunsu hücre duvarlarına sahiptir. Bu özellikler, tekstilde kullanım için birincisini ikincisine tercih eder hale getirir [22]. Birincil lif gövde boyunca dağılmıştır ve en yüksek konsantrasyon gövdenin orta kısmındadır. Çiçeklenmenin sonuna kadar meristemin tepesinde oluşur. İkincil lif, kök boğazı adı verilen gövdenin en alt kısmında güçlü odunsu bir yapıya sahiptir ve hiçbir teknolojik değeri yoktur. Sapın tepesinde, lif konsantrasyonu azalır ve çiçeklenmenin ortasında, o kadar düşüktür ki, sapın üst kısmı kolayca kırılabilir. Bu

nedenle, kök boğazından çiçek salkımının ortasına kadar olan alana, onu kenevir bitkisinin toplam uzunluğundan ayırt etmek için "teknik" uzunluk denir. Saptaki liflerin kalitesi ve miktarı büyük ölçüde çeşitliliğe (genetik potansiyel), toprak tipine ve gübre miktarına, ekim yoğunluğuna, hasat süresine vb. bağlıdır [20]. Kenevir lifi yapısının şematik bir temsili, Şekil 2.5 [19]. Her lif iki katman duvardan (birincil ve ikincil duvarlar) ve içi boş bir lümenden oluşur. Birincil duvar, selüloz mikro fibrillerini korumak için bir hemiselüloz, pektin ve glikoprotein ağından oluşur. Buna karşılık, üç katmandan (S1, S2 ve S3) ve bir orta katman S2'den oluşan ikincil duvar, lif kütlesinin yaklaşık %70-80'ini oluşturur[23]. Böylece, S2 tabakası ağırlıklı olarak selüloz içeriği, mikro fibril açısı ve kalınlık ile lif özelliklerini değiştirmiştir Buna karşılık, sırasıyla S1 ve S3 katmanları tarafından önlenen aşırı radyal genişleme ve anti-rotasyon veya yanal çökme devam etmiştir [24].



Şekil 1.4. Kenevir lifi yapısının şematik görüntüsü

Kenevir lifinin sahip olduğu yüksek mukavemet özelliklerini daha iyi anlamlandırabilmek için lif görselleri Şekil 1.5’te ki gibi gösterilmiştir. Burada liflerin sahip olduğu kristalin ve amorf alanlarda farklı ışık kırılımlar gözlemlenmiştir. Lif içerisindeki kristalin ve amorf alanlarda farklı renkler bizlere liflerin büyüme evresindeki davranışları konusunda yol gösterici olmaktadır.



Şekil 1.5. Çalışmada kullanılan kenevir elyafı mikroskop görünüşleri

Liflerin içerisindeki kalınlık farkları gözlemlenmiştir. Burada farklı boylarda ve farklı kalınlıklarda yapısı gereği liflerde değişkenlikler gözlemlenmiştir. Bu özellikler iplik, kumaş ve kompozit yapısı içerisinde homojen bir yapının eşit şekilde dağılmamasındaki ana kusurlardan bir tanesidir.

1.1.1.1.2. Kenevir Liflerinin Kimyasal Özellikleri

Kenevir lifinin ana bileşeni, toplam kütlenin yaklaşık %77'sini oluşturan selülozdur. Geri kalan kısım lignin, yağlar, bitkisel mumlar, çeşitli suda çözünür maddeler, pektin ve yaklaşık %10 higroskopik nemdir [25]. Bunlar liflerin kimyasal özelliklerini belirleyen ana bileşenlerdir. Kenevir liflerinin belki de en büyük dezavantajı, Tablo 1.4'de gösterildiği gibi bileşimlerindeki değişkenlik fiziksel ve mekanik özelliklerinde bir değişikliğe yol açar [16]. Bu problem tüm doğal liflerin ortak özelliğidir.

Tablo 1.4. Kenevir ve diğer selülozik liflerin kimyasal bileşimleri

	%HEMİSELÜLOZ	%SELÜLOZ	%PEKTİN	%LİGNİN
JÜT	13	72	<2	13
PAMUK	6	92	<1	-
SİSAL	13	73	2	11
KETEN	14	81	4	3
RAMİ	15	76	2	1
KENEVİR	18	74	1	4
KAPOK	-	13	-	-

Gövde lifleri arasında kenevir lifi en yüksek selüloz içeriğine sahiptir. Selüloz, bitki hücre duvarlarına ve liflerine sertlik, dayanıklılık ve stabilite sağlayan ana bileşendir [26]. Bir elyaftaki selüloz miktarı, çeşitli uygulamalar için elyaf üretiminin özelliklerini, ekonomisini ve faydasını etkiler. Örneğin, tekstil, kâğıt ve diğer elyaf uygulamaları için daha yüksek selüloz elyafı tercih edilirken, daha yüksek hemiselüloz yan ürünleri etanol ve diğer fermentasyon ürünleri için tercih edilir, çünkü hemiselüloz nispeten kolay bir şekilde fermente edilebilir şekerlere hidrolize edilebilir. Bu nedenle, bir yan ürünün değeri ve potansiyel kullanımı, büyük ölçüde selüloz içeriği ile belirlenir. Bununla birlikte, yan ürünün maliyetinin, sadece selüloz içeriğine değil, sonuçta ortaya çıkan liflerin kalitesine ve bunların son kullanımına bağlı olduğu belirtilmelidir [27]. Selüloz içeriği ne kadar yüksek olursa, lif kalitesi de o kadar yüksek olur. Pektin, hetero polisakkaritlerin genel adıdır. Bitkilere esneklik kazandırırlar [28] Lif hücrelerinin orta tabakasında bulunur ve ana liflere bağlanarak demetler oluşturur [20]. Bununla birlikte, pektinin hafif bozuşması, lif özelliklerinin stabilitesini etkiler. Bu nedenle, ıslatma işlemi sırasında, lif demetinden sak lifleri serbest bırakılır ve pektin bileşenleri de çıkarılır. Bitkilerdeki hemiselüloz zayıf çapraz bağlıdır ve glikoz, ksiloz, galaktoz, arabinoz ve mannoz gibi birkaç polisakkarit polimerinden oluşur ve selülozdan daha düşük bir polimerizasyon ve oryantasyon derecesine sahiptir [26]. Daha düşük moleküler ağırlığa sahip ve hidrofil yapıya sahiptir. Genellikle selüloz ve lignin arasında dolgu görevi görür. Bununla birlikte, termal bozulmaya, biyolojik bozulmaya ve nem emmeye karşı çok hassastır. Mekanik olarak, hemiselülozun liflerin veya tek tek hücrelerin sertliği ve gücü üzerinde çok az etkisi vardır [29].

Lignin, bitki dokusuna ve tek liflere basınç dayanımı sağlar ayrıca kimyasal ve fiziksel hasardan korumak için lif hücre duvarını sertleştirir [30]. Liflerdeki lignin içeriği hidrolizin yapısını, özelliklerini, morfolojisini, esnekliğini ve hızını etkiler. Daha yüksek lignin içeriğine sahip lifler daha ince ve daha esnek görünmektedir [29]. Lignin, liflerin sertliğine ve kırılganlığına katkıda bulunur. Kenevir liflerinin diğer bileşenleri tanenler, mumlar, yağlar, proteinlerdir. Kenevirdeki katkı maddelerinin içeriği (selüloz hariç) pamuğa göre önemli ölçüde daha yüksektir. Bu nedenle bu liflerin işlenmesi farklı işleme teknolojileri gerektirir [20]. Ham kenevirin %20-55 selüloz olmayan mumsu bileşiklerle bir arada tutulan birkaç ana lifi olduğu bilinmektedir [17]. Tamamen mumu alınmış ve yağı alınmış bir kenevir lifinin uzunluğu, sonraki eğirme işleminin gereksinimlerini karşılamak için çok kısadır. Mum alma işlemi, mumu alınmış kenevir lifini teknik (çok hücreli) lifler olarak korumak için başta pektin ve hemiselüloz olmak üzere bazı mumsu bileşikleri tutmalıdır [18]. Doğal liflerin çapları ve özellikleri; Kaynak, yaş, sindirim ve ayırma yöntemleri, coğrafi köken, büyüme sırasındaki yağış ve bileşen içeriği gibi faktörlere bağlı olarak önemli ölçüde değişir. Kenevir güçlü asitlerden kolayca zarar görse de bazlara karşı dayanıklıdır. Ağartılması çok zor olmasına rağmen hipoklorit ile ağartılabilirler. Genellikle kendi renklerinde leke bırakmadan kullanılırlar. Boyanmaları gerekiyorsa selüloz oldukları için pamuk gibi direkt, reaktif ve kübik boyalarla boyanabilirler. Reaktif boyalara kovalent bağlı olduklarından haslık oranları yüksektir. Kübik boyalarla boyandıklarında çok yüksek haslık değerleri verirler. Işığa ve atmosfer koşullarına pamuğa göre çok daha dayanıklıdır. Konsantre inorganik asitler (H2SO4 ve HCl) selüloz yapıya sahip oldukları için elyafa oldukça kolay zarar verir. Ayrıca asetik asit (CH3COOH) ve sitrik asit gibi zayıf organik asitler konsantre halde dahi liflere zarar vermez. Asit tercih edilirse organik asitler tercih edilmelidir. Kuru temizleme solventleri de dahil olmak üzere birçok organik solvente dayanma yetenekleri oldukça yüksektir. Yapılarında çok sayıda doğal yabancı madde bulundurdukları için ağartılmaları zordur ve mukavemetleri azalır [18].

1.2.Doğal Liflere Uygulanan Modifikasyonlar

1.2.1. Alkali İşlem

Alkali işlemi tipik olarak, farklı sıcaklıklarda ve farklı zamanlarda farklı konsantrasyonlarda sodyum hidroksit (NaOH) ile takviye edici liflerin işlenmesinden oluşur. Bitki lifleri, yapılarındaki hidroksil grupları (selüloz) nedeniyle doğada polardır. Pektin, lignin ve mum gibi safsızlıklar ve ayrıca liflerdeki çok sayıda hidroksil grubu, bu liflerin matris polimere bağlanmasını engeller, ara yüzü zayıflatır ve üretilen kompozitin fiziksel özelliklerini olumsuz etkiler. Alkali ile muamele edildiğinde, bu maddelerin bir kısmı selüloz liflerinin yüzeyinden uzaklaştırılır ve lifin yüzeyinde polimer ile etkileşime girebilen çok sayıda açık selüloz ucu oluşur [31]. Alkali muamelesi, yüzeydeki kısmın enerjisini arttırır ve lif/polimer arayüzündeki mekanik bağlanmayı iyileştirerek lif yüzeyini pürüzsüz hale getirir [32].

Ravi Y.V. ve Ark. (2021) Çalışmalarında kask üretimi için muzun lifi ve kenevir lifi kumaş karışımını kullanmışlardır. Kumaşlar önce polyester reçineyi daha iyi tutabilmesi için alkali işleme tabi tutulmuştur sonrasında el yatırma yöntemi ile polyester reçine matrisi kullanılmıştır. Elde edilen kumaşlar kat kat serilerek kask üretimi yapılmıştır. Üretilen kasklara ASTMD7136 standartlarına göre darbe dayanımı testi yapılmış ve üretilen kompozit kasklar piyasa koşulları üstünde bir dayanım göstermiştir. Alkali muamelesi, selülozun polimerizasyon derecesini azaltarak ve liflerden ayrılan lignin ve hemiselüloz miktarını doğrudan etkileyerek selüloz liflerini etkiler [33].

Van de Weyenberg ve ark. (2003), NaOH muamelesinin keten lifi destekli bir kompozitin çekme mukavemetini ve elastik modülünü yaklaşık %30 oranında iyileştirdiğini ve elyaftan pektini elde ettiğini belirtmiştir [34]. Liu ve Dai (2007) yaptıkları çalışmada jüt liflerinde alkali muamelesinden sonra pürüzsüz bir yüzey oluştuğunu ve alkali işlemin jüt/polipropilen ara yüzeyinde dayanımının artığını ortaya koymuşlardır [35].

Seki (2009), %5 Alkali işleminin jüt lifi ile güçlendirilmiş epoksi ve polyester reçine takviyeli kompozitlerin fiziksel niceliklerinin iyileştirdiğini gözlenmiştir ve alkali işlemine ek olarak siloksan bağlayıcı modifikasyon işleminin kompozitlerin arayüzey mukavemetini epoksi reçine kompozit için 13.00 MPa'dan 19.85 MPa'ya ve polyester

reçine kompozit için 8.85 MPa'dan 17.64 MPa'ya çıkararak önemli bir iyileşme sağladığını vurguladı [36].

Alkalin tedavisinin etkinliği, alkali çözeltinin konsantrasyonuna ve türüne, tedavi süresine ve sıcaklığa bağlıdır. Mishra ve ark. (2003), %5 NaOH solüsyonu ile modifikasyonun sisal takviyeli kompozit %10 NaOH solüsyonu ile işleme göre daha yüksek çekme mukavemeti verdiğini bulmuştur [37]. Yüksek konsantrasyonlarda alkali muamelesi ile fazla ligninin uzaklaştırılması, elyafa zarar verir ve zayıflamasına neden olur. Bu nedenle alkali işlemi sadece optimal koşullar altında kompozitin mekanik özelliklerini iyileştirir.

1.2.2. Bağlayıcı Madde ile Modifikasyon

Doğal lif eklenmiş olan kompozitlerde polimer ve lif arayüzeyini modifiye edebilmek amacıyla en sık kullanılan teknik matris ve lif arasındaki etkileşimin değiştirilebilmesini sağlayan bağlayıcı maddelerin kullanılmasıdır. Matrise bağlanmadan önce bitki liflerinin hidrofobik bir malzeme ile kaplanması, lif ve matris arasındaki uyumluluğu ve liflerin malzeme içindeki dağılımını iyileştirebilir. Bağlayıcılar, fiber/matris arayüzünde optimum stres aktarımı sağlar. Bağlayıcıların kompozitte farklı etki mekanizmaları mevcuttur. Bunlar [33,37];

- Doğal life ait yüzeydeki zayıf katmanları elimine ederler.
- Lif ve polimer arasında belli bir modülü bulunan çapraz şekilde bağlanmış bir ara yüzey meydana getirirler.
- Polimerin life tutunmasını arttırır ve kolaylaştırırlar.
- Lif yüzeyindeki asit düzeyini değiştirirler.

Doğal liflerle güçlendirilmiş kompozitlerdeki bağlayıcılar iki ana işlevi yerine getirmektedir: selülozun OH gruplarıyla etkileşim ve matris polimerin işlevsel grupları. Bağlayıcılar, kompoziti optimize etmek için mukavemet ve sertlik özelliklerini birleştirir. Silan, izosiyanat ve titanat bazlı bağlayıcılar günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu bağlayıcılar genellikle elyafın yüzeyi ile reaksiyona girerler ve elyaf ile matris arasında bir köprü niteliği kazanırlar [38].

Silan, elyaf yüzeyi ve polimer ile reaksiyona giren XSi-R genel kimyasal formülüne sahip çok işlevli bir moleküldür. Tipik olarak, R polimer matrisi ile reaksiyona girer ve X,

silanol grupları oluşturmak üzere sulu çözelti içinde hidroliz yoluyla selülozun yüzeyindeki hidroksil grupları ile reaksiyona girer. R ve fonksiyonel grupların, arzu edilen çiy noktası sıcaklıklarında polimerin fonksiyonel grupları ile etkileşime girmesi önemlidir. Ek olarak, selülozun yüzeyindeki OH grupları ile silan arasındaki reaksiyona izin vermek için X gruplarının hidrolize edilmesi gerekir. Modifiye edilmiş lifler kurutulduğunda silanol ve OH grupları arasında tersinir bir yoğunlaşma reaksiyonu oluşturarak selülozun yüzeyine bağlı bir polisiloksan tabakası oluştururlar. Selülozun silan kaplı yüzeyi polimer ile temas ettiğinde, lif yüzeyindeki R grupları, polimer matrisindeki fonksiyonel gruplarla reaksiyona girerek stabil bir kovalent bağ oluşturur [38].

Kovalent bağlar aracılığıyla, selüloz ve polimer arasındaki bu iki yönlü etkileşim, moleküler bağlanma ve lif/polimer ara yüz sürekliliği sağlar. Liflerin silan modifikasyonu, malzemenin yüzey dayanımını ve fiziksel özelliklerini iyileştirir. Agrawal ve arkadaşları (2000), kenevir ve palm liflerini modifiye etmek için %0,033 su ve silan solüsyonu ve %1 etanolik silan solüsyonu hazırladı. Test sonucunda silan ile modifikasyonun, alkali ile modifikasyona göre lif/matris etkileşimini daha fazla iyileştirdiği ve kompozitin çekme dayanımını daha fazla arttırdığı tespit edilmiştir. Ek olarak, silan işleminden sonra kompozitin termal stabilitesi iyileşmiştir [39].

Jüt takviyeli polipropilen kompozitlerin ara yüzey kesme gerilmesi testinin sonuçlarına göre, Park ve ark. (2008) silan uygulamasının ara yüzey mukavemetini arttırdığını belirtmiştir jüt kumaşa uygulanan çeşitli konsantrasyonlarda silan bağlayıcının bir polyester kompozitin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, %0,3 konsantrasyonlu silan bağlayıcı ile modifiye etme işleminin jüt lifi ve polyester arasında en iyi ara yüzey mukavemetini sağladığı ve dolayısıyla kompozit malzemenin en yüksek mekanik özellikleri sergilediği tespit edilmiştir [40].

Kompozitin mekanik özelliklerini etkileyen bağlayıcının yapısını etkileyen birçok sebep vardır. Bu faktörler silanın yapısal özelliklerini, asitliği, kurutma koşullarını ve lif yüzeyinin kimyasal bileşimini içerir. Doğal liflerle güçlendirilmiş kompozitlerin modifiye edilmesi sürecinde, bağlayıcı lif ya izosiyanat ile önceden kaplanır ya da izosiyanat doğrudan lif-polimer karışımına eklenir. Polimetilen poliizosiyanat (PMPPIC), güçlü kovalent bağlarla selüloza kimyasal olarak bağlanır. PMPPIC'nin –N=C=O grubu,

bir üretan bağı oluşturmak için selülozun OH grubu ile etkileşime girer. Selüloz ve izosiyanat arasındaki birincil kovalent bağlar ve polimer ile izosiyanat arasındaki ikincil bağlar, kompozitin mekanik özelliklerini iyileştirir [38].

1.2.3.Asetilasyon

Doğal liflerin asetilasyonu, selüloz liflerinin plastikleşmesiyle sonuçlanan bir esterleştirme işlemidir. Asetik anhidrit ve doğal lifin reaksiyonu. 6, lignoselülozik liflerin kullanılabilmesi için çıkarılması gerekli asetik asit oluşumunu içerir. Asetik anhidrit ile kimyasal modifikasyon, hidroksil ve asetil gruplarını değiştirerek polimerin özelliklerini değiştirir ve hidrofobik hale getirir [33].

Manikandan-Nair ve ark. (2001) sisal liflerini önce %18'lik NaOH çözeltisinde, daha sonra glasiyal asetik asit çözeltisinde ve son olarak da 2 damla H_2SO_4 içeren asetik anhidrit çözeltisinde 1 saat süreyle işlemden geçirmiştir. İşlemden sonra sisal liflerinin yüzeyi pürüzlü hale geldi ve polistiren matrise mekanik yapışma sağlayan boşluklar oluştu. Ayrıca modifiye edilmiş sisal takviyeli kompozitin ısıl kararlığının daha iyi olduğu gözlemlenmiştir [41].

1.2.4.Aşı Kopolimerizasyonu

Aşı kopolimerizasyonu sürecinde; Çözünürlük parametresi matris ile uyumlu olan bir polimerin fiberin yüzeyine yapıştırılmasıyla gerçekleştirilir. Ortaya çıkan bağ, bir bağlayıcı görevi görür ve elyaf ile matris arasındaki bağı geliştirir. Metil metakrilat, akrilamid ve akrilonitril gibi vinil monomerlerin selüloz, selüloz türevleri ve lignoselülozik liflerle aşı kopolimerizasyonu uzun yıllardır çalışılmaktadır [30].

Mishra ve diğerleri (2001), akrilonitril aşı polimerizasyonunun sisal lifleri üzerindeki etkisini araştırdı. %25 akrilonitril emdirilmiş sisal liflerinin su emiliminin azaldığı belirlenmiştir. %5 akrilonitril ile fiber modifikasyonunun, %10 ve %25 akrilonitril işlemlerinden daha yüksek çekme mukavemeti ve fiber modülünde artışlarla sonuçlandığı bildirilmiştir [42].

1.2.5.Ağartma İşlemi

Kenevir lifi ağartma için çok yaygın olmasa da, keten, rami veya kenaf ağartma gibi sak lifi ağartma sistemleri arasında kimyasal ağartma bir alternatiftir. Bu yöntemler arasında sodyum sülfit, sodyum bisülfit veya EDTA varlığı ile kaynatılan sodyum hidroksit, hidroklorik asit işleminden sonra sodyum hidroksit ile kaynatma ve oksalik asit içinde kaynatma yer alır [43]. Ağartma işleminin lif kalitesi üzerinde güçlü bir etkisi vardır. Renk, mukavemet, tekdüzelik, tekrar üretilebilirlik vb. gibi lif özellikleri çoğunlukla retting işlemlerine bağlıdır. Kenevir lifleri gövdenin sak tabakasında bulunur. Epidermis, birincil lif hücreleri (korteks tabakası), ikincil hücreler ve parankima hücreleri bir araya gelerek kenevir sapının sak katmanını oluşturur. Birincil ve ikincil lif hücreleri, orta lamel adı verilen pektin bazlı bir matris ile birbirine yapıştırılmıştır. Retting operasyonları, lifler arasındaki parankima hücrelerini parçalayarak lifleri ayırmak için bu pektinaz tabakayı hedefler. Çürütmeden sonra, lifler mekanik işlemlerle ayrılabilir [44], [45].

1.2.6. Diğer Yöntemler

Yukarıda açıklanan doğal liflere uygulanan temel yöntemlere ek olarak, ara yüzü değiştirmek için çeşitli kimyasallar da kullanılmaktadır. Paul ve ark. (1997) NaOH ile ön işleme tabi tutulmuş sisal elyafını 1 dakika boyunca çeşitli permanganat çözeltisine maruz bırakmıştır. Permanganat ile işlemden sonra liflerin hidrofil özellikleri ve kompozitin su absorpsiyonu azalır. Doğal liflerin hidrofilliği artan permanganat konsantrasyonu ile azalır. Bununla birlikte, daha yüksek yoğunlukta, selüloz liflerinin bozunması, lif ve matris arasında polar grupların oluşmasına neden olur [46].

Paul ve diğerleri (1997), lifleri modifiye etmek için etanol içinde bir stearik asit çözeltisi kullandı. Modifikasyon işlemi, lifte ki kristal olmayan bileşenleri uzaklaştırdı ve lif yüzeyinin yapısını değiştirmiştir [46].

Sreekala ve diğerleri (2000), benzoil peroksit ile işleme görmüş palm lifi takviyeli fenil formaldehit kompozitinin daha yüksek gerilme mukavemetine dayanabileceğini belirtmiştir [39].

Khan ve ark. (2010), potasyum bikromat işleminin jüt lifi ile güçlendirilmiş bir polipropilen kompozitin özellikleri üzerindeki etkisini araştırdı. %0.02 K2Cr2O7

çözeltisinde modifiye edilen kompozitin en iyi mekanik performansı sağladığını belirtmişlerdir. Ancak modifikasyonun termal özelliklerini etkilemediğini fark ettiler [47]. Jüt lifi polikondenzasyon ile muamele edildikten sonra lifin su absorpsiyonunun azaldığı gözlemlenmiştir. Jüt/poliolefin kompozit işleminin su emilimini azalttığı ve mekanik özellikleri iyileştirdiği bulunmuştur. Jüt liflerinin selüloz hidroksil grupları ile muamele edilmesi sonucunda lifin nem absorpsiyonu azalmıştır [30].

Doğal fiber kompozitlerin mekanik ve performans özelliklerini iyileştirmek için kimyasal modifikasyon işlemlerine ek olarak plazma ve ultraviyole radyasyon gibi fiziksel yöntemler de kullanılmaktadır.

Gassan ve Gutowski (2000), oksijen plazması ve ultraviyole radyasyon kullanımının jüt liflerinin polaritesini arttırdığını bulmuşlardır. Lif yüzeyinin oksidasyonu hem jüt lifinin hem de takviyeli kompozitin mukavemetini azaltır. Ayrıca kompozitin mekanik özelliklerini iyileştirmek için UV radyasyonuna maruz kaldığında jüt lifinin polaritesindeki artış ile mukavemetindeki azalma arasında bir denge kurulması gerektiğini belirtmişlerdir [37].

Xu ve arkadaşları (2006), argon plazmasının bambu liflerinin morfolojik karakteri, nem emme ve renklendirme özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bambu lifinin bombardıman altında yüzey özelliklerinin bozulduğu ve yüzey pürüzlülüğünün arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca plazma işleminden sonra bambu lifinin temas açısının azaldığı, hidrofiliğini arttığı ve boya absorpsiyonunun arttığı bulunmuştur [33]. Jüt elyafına uygulanan düşük frekanslı ve RF oksijen plazmasının, jüt elyaf takviyeli polyester kompozitin tabakalar arası etkileşimini iyileştirdiğini, tabakalar arasındaki kesme mukavemetini sırasıyla %72 ve %129 artırdığını belirtmiştir [36].

1.3. İplik ve Kumaş Üretimi

Doğal ve sentetik elyaftan, iplik üretiminde kullanılan temel yöntemler; ring iplik eğirme sistemi, kompakt iplik eğirme sistemi, vorteks iplik üretim yöntemi ve Open-End (OE) iplik yöntemi olarak gruplara ayrılabilir [48].

1.3.1 Islak İplik Eğirme Sistemi

Islak eğirme; yukarıdaki sistemlerden ring ve OE sistemi ile yapılmaktadır. Sistemde saplarından ayrılan ve temizlenen elyaf özel bir taraklama yöntemi (Linimpianti işlemi)

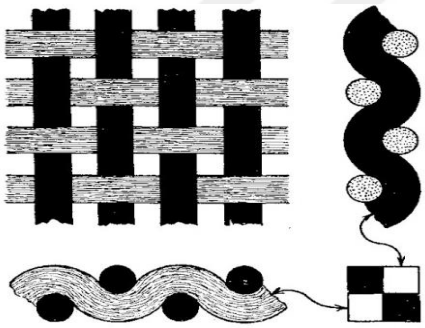
ile birbirlerine daha paralel hale getirilmektedir sonrasında özel bir solüsyonda yıkanan elyaf eğirme yöntemi ile Nm 10-Nm 50 arasında eğrilebilmektedir [49].

1.3.2 Kumaş ve Yüzey Oluşturma Yöntemleri

Tekstilde yüzey oluşturma yöntemleri temel olarak üç şekilde yapılabilir;

- Dokuma
- Örme
- Dokusuz yüzey

Dokuma; atkı ve çözgü ipliklerinin birbirleri arasında bağlantı yapılarak elde edilmektedir. Teknik tekstillerde kumaşları çoğunlukla dokumadır ancak örme, keçeleştirme, dokusuz yüzey, tafting ve bunların kombinasyonu ile üretilebilirler. Kumaşların çoğu iki boyutludur anca üç boyutlu tekstil yüzeyleri de geliştirilmekte ve üretilmektedir. Şekil 1.6'da en basit dokuma yapısı bezayağı kumaşın yapısı gösterilmiştir [50].



Şekil 1.6. Bezayağı kumaş yapısı

1.3.3 İplik ve Kumaş Mukavemet Testleri

İplik kopma dayanımı ve kopma uzamasının tayini TS 245 EN İSO 2062 standartlına göre yapılmaktadır. Buna göre;

- Cihazda iki çene arası mesafe 50 cm olarak ayarlanır
- Üst yani hareketli çene hızı ayarlanır.
- Numuneler çenelere bağlanır.
- İplik numarasına göre uygun gerilim verilir ve hareketli çene harekete geçirilir.
- Kopma meydana gelene kadar test devam ettirilir. Kopma anında uzama miktarı ve kopma anında ki kuvvet kaydedilir.

- Yeteri kadar numune ölçümü yapıldıktan sonra standart sapması ve aritmetik ortalaması alınır ve sonuca ulaşılır [51].

Kumaşlarda ise beş farklı mukavemet testleri bulunmaktadır.

- Kopma Mukavemeti
- Yırtılma Mukavemeti
- Sürtünme (aşınma) Mukavemeti
- Patlama Mukavemeti
- Dikiş Mukavemeti

Kopma Mukavemetinde; şerit metodu ve kavrama metodu olarak iki metot vardır. TS EN ISO 13934-1 şerit metodunda alınan numune 35X7 cm boyutunda kesilir ve saçaklandırılır ve günümüzde yaygın olarak CRE (Uzama artış oranı sabit çekme cihazı) prensibiyle ölçüm yapılır [52, 53].

Yırtılma mukavemetinde ise tek yırtmalı dil metodu, çift yırtmalı dil metodu, kanat metodu, yamuk metodu, sarkaç metodu olmak üzere beş farklı metot bulunmaktadır. En çok kullanılan yöntem ise TS EN ISO 13937-4 standardına göre çift yırtmalı dil metotdur.22x15 cm boyutunda kesilen numuneler 15 cm'lik taraftan tam ortadan dil şeklinde kesilir. Dil şeklindeki parça sabit tutucu çenesine tutturulur ve deney parçasının diğer kısmı hareketli parçaya tutturulur ve test başlatılır. Deney sonunda işaretlenen yırtılma sonu noktasına kadar değerler kaydedilir ve diğer test numuneleri içinde aynı işlem tekrarlanır. İşlem sonunda ortalama alınır. Eğer yırtılma meydana gelmiyor iplikler çekilip çıkıyorsa "test koşullarında kumaş yırtılmaz" denir ve farklı bir metot denenmelidir [52,54]

Sürtünme mukavemetinde ise en çok kullanılan metot Martindale (Şekil 3.1) metodudur. Yöntem hem sürtünme için hem de boncuklanma için kullanılabilir. Güncel olarak kullanılan standart TS EN ISO 12947-4 göre cihazların üstünde devir sayısını gösteren cihazlar vardır. Bu cihazlarda kendi ekseni etrafında serbestçe dönme hareketi yapan, tutucuya yerleştirilmiş dairesel test örneği, standart sürtünme kumaşına karşı belli bir ağırlık altında sürtülerek aşınma testi gerçekleştirilir. Test edilen numunelerin değerlendirilmesi ise;

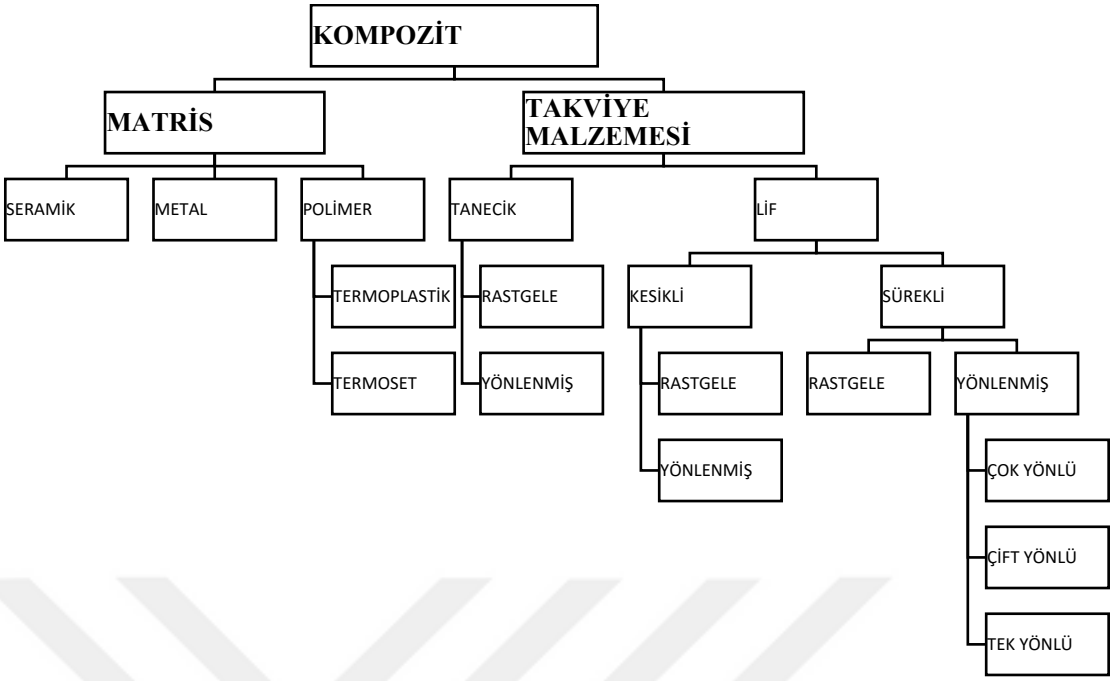
- Örnek kopmasının tayini
- Kütle kaybının tayini
- Görünüşteki değişikliğin tayini gibi metotlara göre değerlendirilir [52,55].

1.4.Kompozitler Yapılar

Kompozit kavramı bir malzemenin iki veya daha fazla malzemeden oluştuğu anlamına gelir. Kompozit malzemeler, birbirleriyle kimyasal etkileşimi olmayan farklı malzemelerin eksik yönlerini geliştirerek üstün özellikler elde etmek için bu malzemelerin makro veya mikro düzeyde belirli bir düzende birleştirilmesiyle elde edilen malzemelerdir [56]. Kompozit malzemelerin bilinen ilk kullanım alanı inşaat sektörüdür. Kil ve saman karıştırılarak elde edilen kompozit malzemeler ilk inşaat malzemeleridir. 1950'lerde, otomotiv endüstrisinde araç gövdesi imalatı için kompozit malzemeler kullanılmaya başlandı. 1960'lı yıllara kadar teknolojik sorunları çözmek için kompozit malzemeler kullanılıyordu ancak bu yıllardan sonra yapısal malzeme olarak kompozit malzemeler ve polimer esaslı kompozitler elde edilmeye başlandı. Kompozitler, yapısal uygulamalarda kullanıldıklarında tipik olarak çelik ve alüminyumdan daha iyi performans gösterdikleri için hızlı bir ivmeyle büyümüşlerdir. Günümüzde teknolojinin birçok alanında kompozit malzemelerin kullanılması büyük enerji tasarrufu sağlamaktadır [57].

1.4.1. Kompozit Türlerinin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler, bir matris ve bir takviye malzemesinden oluşur. Takviyeler kompozite mukavemet ve yük taşıma özellikleri sağlarken, matris malzemesinin amacı kompozit bozulmasını yavaşlatmak, yük altında lifleri bir arada tutmak ve yükü lifler arasında eşit olarak dağıtmaktır [58]. Matris tipine göre kompozitler; Polimer bazlı kompozitler üçe ayrılır: metal bazlı kompozitler ve seramik bazlı kompozitler. Katkı maddeleri açısından sınıflandırıldığında; elyaf takviyeli kompozitler ve tanecik takviyeli kompozitler olarak ikiye ayrılır. Şekil 1.7’de kompozitlerin sistematik sınıflandırmasını göstermektedir.



Şekil 1.7. Kompozitlerin sınıflandırılması

1.4.1.1. Polimer Matrisli Kompozitler

Kompozit malzemede matris fonksiyonları; lifi bir arada tutar, yükü kompozitten liflere aktarır, kompozit kalıplanırken bu şekli korur ve kompoziti çevresel faktörlerin neden olabileceği kimyasal, fiziksel saldırılara karşı korumaktadır. Matris malzemeleri lifleri çevreler. Bu nedenle matris malzemeleri öncelikle çeşitli dış etkenlere maruz kalmaktadır. Bu nedenle kompozit malzemelerin bazı özellikleri matris malzemeler tarafından belirlenir. Örneğin, yüksek sıcaklıklara dayanamayan lifli bir malzeme, daha yüksek sıcaklıklara dayanabilen ve yüksek ısı yalıtımına sahip olmayan bir matris malzemede yüksek sıcaklıklarda kullanılabilen bir kompozit oluşturabilir [59].

Matrisin mekanik özellikleri, kompozit yapılarda taşıyıcı donatıların çalışmasında önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin, matris malzemesi olmayan bir lif demeti düşünüldüğünde, yük bir veya daha fazla lif tarafından taşınacaktır. Matris ayrıca tüm lifler üzerindeki yükün eşit dağılımını sağlar. Kesme yükü direnci, lifler ve matris arasında iyi bir yapışma ve matrisin yüksek kesme mukavemeti özelliklerini gerektirir. Liflerin oryantasyonuna dik doğrultudaki mukavemet, matrisin mekanik özelliklerine ve lif ile matris arasındaki bağın kuvvetine bağlıdır ve kompozit yapının mukavemetini belirler. Matris, fiberden

daha zayıf ve daha esnektir. Bu özellik, kompozit yapılar tasarlanırken dikkate alınması gereken bir problemdir. Kompozitlerde matris olarak polimerler, metaller ve seramikler kullanılır. Termoplastik malzemeler genellikle diğer polimer matris malzemeler olan termoset malzemelerden daha sünek ve daha güçlüdür. Termoplastikler, bir çeşit takviye malzemesi olmadan yük altında çalışmayan uygulamalarda geniş bir uygulama alanına sahiptir. Şekil vermek için ısıtılması gereken termoplastik polimerler, soğuduktan sonra şekillerini korurlar. Bu polimerler, özelliklerinde önemli bir değişiklik olmaksızın tekrar tekrar ısıtılarak yeni şekillere dönüştürülebilirler [60]. Termoplastik moleküller çapraz bağlanma göstermezler, bu nedenle esnek ve kalıplanabilirdiler. Yük taşıyan yapısal uygulamalar için kullanılan termoplastik malzemeler, tipik olarak dolgu maddeleri ve takviye elemanları ile kullanılır. Özellikle yüksek sıcaklıklarda termoplastik malzemeler termoset malzemelere göre daha düşük sürünme direnci gösterir ve kimyasallara karşı daha az dirençlidir. Termoplastik malzemelerin kaynakla birleştirilmesi, termoset malzemelerden daha kolaydır. Termoplastik kompozitler, termosetlere göre daha yüksek sıcaklık ve basınçlarda kalıplanabilmektedir [61]. Tablo 1.5 bazı yüksek mukavemetli polimerlerin genel özelliklerini göstermektedir [63].

Tablo 1.5. Yüksek dayanımlı polimerlerin genel özelliklerine örnekler

POLİMER MALZEME	**ELASTİKLİK MODÜLÜ (GPa)**	**YOĞUNLUK (g/cm3)**	**ÇEKME DAYANIMI (MPa)**
Pps	3,4	1,3-1,4	80
Naylon	1,3-3,5	1,1	55-90
Polyester	2,1-2,8	1,3-1,4	55-60
Peek	3,5-4,4	1,3-1,35	100
Polikarbonat	3,5	1,2	55-70
HDPE	1-1,2	0,94	19-20
Kevlar (K-29, K-49)	2,5-3,5	1,44	71-112
Asetal	0,7-1,4	1,4	70

LDPE, kimyasal olarak en basit ama en yeni plastiklerden biri olarak güçlü, esnek ve yalıtkan bir yapıya sahiptir. Öte yandan ısıya, ışığa ve oksijene dayanıklı değildir. Katkı maddeleri kullanılarak ve moleküler yapı ayarlanarak daha güçlü polietilen ürünler elde edilebilir. Bu özellikleri ile polietilen, ambalaj malzemesi, esnek hortumlar, çeşitli amaçlara yönelik borular, tabaklar, oyuncaklar, teneke kutular, şişeler vb. üretimde kullanılmaktadır. Termoplastik reçineler grubundan olan düşük yoğunluklu polietilen, etilenin polimerizasyon reaksiyonundan elde edilir ve genellikle geniş bir sıcaklık aralığında hem yüksek mukavemete hem de esnekliğe sahiptir[60]. Düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), etilen monomerlerinin 1200-3000 atm basınçta ve 130-350°C sıcaklıkta organik peroksitler kullanılarak bir otoklav veya boru şeklindeki reaktörde polimerleştirilmesiyle elde edilir. LDPE'nin yoğunluğu 0,910 ila 0,925 g/cm³ arasında değişmektedir. Her amaca yönelik LDPE tüketimi 140 bin tona ulaşmıştır.

Polietilenin genel özellikleri şunlardır:

- Yüksek mukavemet,
- Asitlere, alkalilere ve solventlere karşı dayanıklı,
- Mükemmel dielektrik özellikler,
- Çevre şartlarına dayanıklı,
- İşlenme kolaylığı [64].

1.4.1.2. Takviye Malzemeleri

Kompozitleri güçlendirmek için çeşitli geometrilerdeki lifler ve parçacıklar kullanılır. Liflerin uzunluğu, kesitlerinden çok daha fazladır. Öte yandan, takviye partikülleri üç yönde boyut olarak benzerdir ve aralarında önemli bir fark yoktur. Takviye elemanının ana fonksiyonları;

- Kompozit malzemedeki yükün %70-90'ının karşılanması
- Kompozit malzemenin mukavemetini, termal stabilitesini ve rijitliğini ve diğer yapısal özelliklerini sağlamak.
- Kullanılan malzemeye göre elektriksel iletkenlik veya yalıtım sağlamaktır.

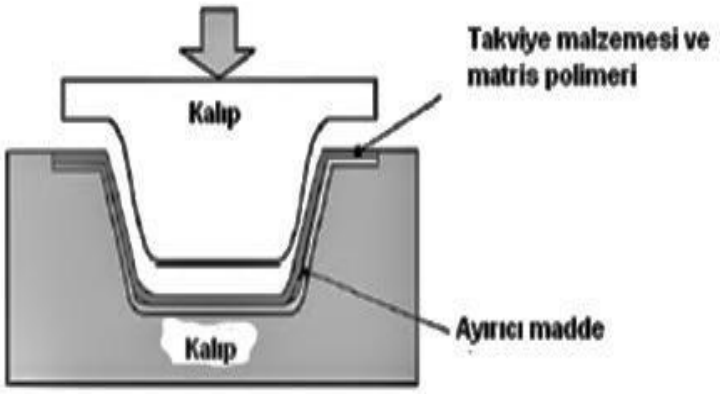
Takviye elemanları parçacıklar, lifler, dolgu maddeleri veya ince tabakalar şeklinde olabilir. Bağlantı parçalarının şekli, uygulamaya ve üretim yöntemine bağlı olarak seçilir. Yapısal uygulamalar için sürekli ve uzun lifler tavsiye edilirken, yük altında çalışmayacak, enjeksiyon kalıplama ve ekstrüzyon yöntemleriyle üretilecek yapısal olmayan kompozit malzemeler için kısa lif takviyesi önerilebilir. Kısa liflerle takviye edilmiş kompozit malzemeler, uzun liflerle takviye edilmiş kompozit malzemelere göre daha düşük mukavemet özelliklerine sahiptir [61].

1.4.2. Kompozit Malzemelerin Üretimi ve Kullanım Alanları

Doğal liflerle güçlendirilmiş kompozit malzemelerin üretimi ağırlıklı olarak kalıplama yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir. Takviye malzemesi olan doğal lifler, kesikli lif veya yüzey olarak kullanılabilir. Kesikli lifler kalıba rastgele veya tek yönde yerleştirilebilir ve yüzey takviye malzemeleri katmanlar halinde yerleştirilebilir. Bir kalıplama yöntemi seçme kriterleri, kullanılan malzemelerin yapısına, türüne ve maliyetine bağlı olarak değişir. Polimerik malzemeler, doğal elyaf takviyeli kompozitlerde kalıp malzemesi olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu bölüm, doğal elyaf takviyeli malzemelerin üretiminde yaygın olarak kullanılan yöntemleri kısaca açıklamaktadır [65].

1.4.2.1.Kalıplama Yöntemi ile Kompozit Üretimi

Doğal liflerle güçlendirilmiş kompozit malzemelerin elde edilmesi genel olarak kalıplama yöntemi ile üretilir. Takviye malzemesi olan doğal lifler, kesikli lif veya yüzey olarak kullanılabilir. Kesikli lifler kalıba rastgele veya tek yönde yerleştirilebilir ve yüzey takviye malzemeleri katmanlar halinde yerleştirilebilir. Bir kalıplama yöntemi seçme kriterleri, kullanılan malzemelerin ana içeriğine, türüne ve finansal giderine bağlı olarak değişir. Polimerik malzemeler, doğal elyaf takviyeli kompozitlerde kalıp malzemesi olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu bölüm, doğal elyaf takviyeli malzemelerin üretiminde yaygın olarak kullanılan yöntemleri kısaca açıklamaktadır [65,66].



Şekil 1.8. Kalıplama yöntemi ile kompozit üretimi

1.4.2.2. Enjeksiyon Yöntemi ile Kompozit Üretimi

Enjeksiyonla kompozit üretiminde, kalıplar arasına takviye malzemesi yerleştirildikten sonra polimer reçine verilir. Ek olarak, kesikli elyaf ve bir polimer karışımı şeklindeki takviye malzemesi bir ısıtma işlemine tabi tutulur ve bir kompozit oluşturmak üzere kalıplara enjekte edilir. Bu düşük basınç yönteminde, polimerin bir takviye malzemesi olarak daha işlem görmesi için, polimer enjekte edilmeden önce kalıplar arasındaki havanın boşaltılması gerektiği dikkate alınmalıdır. Maliyeti yüksek olan enjeksiyon yöntemi, otomobil gövde parçalarının üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır.

1.4.2.3. Kompozitlerin Kullanım Alanları

Kompozitler modern dünyada, otomotiv ve havacılık endüstrilerinden inşaat sektörüne, spor ekipmanlarından ev eşyalarına kadar birçok kullanım için kompozit malzemeler üretilebilmektedir. Günümüzde uçak, roket, roket gövdeleri ve üst düzey spor malzemeleri alanlarında yaygın olarak kullanılan, ayrıca lastik, otomotiv, beyaz eşya ve sızdırmaz boru üretiminde kullanılan kompozit malzemeler, robotikte daha fazla ağırlık kazanacaktır [59].

1.5. Epoksi Reçine Uygulamaları ve Yöntemleri

Epoksi reçine; ilk olarak 1930 yılında sentezlenen malzeme pek çok endüstriyel alanda kullanılmaktadır. Epoksi Reçineler kompozitlerde; iyi mukavemet göstermeleri, aşınma dayanımlarının iyi olması, yüksek ısılarda dayanım, yüksek elektrik ve kimyasal direnç gibi nedenlerle diğer polimer matris elemanlarından daha fazla tercih edilmektedir [1]. Epoksi reçine ve doğal elyaf ile yapılan çalışmalar incelendiğinde;

F.S. Luz, S. N.Monteiroa ve ark.(2017) çalışmalarında güvenlik güçleri için daha ucuz bir balistik yelek geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Bu kapsamda epoksi reçine ile güçlendirilmiş bir katmanı Hindistan cevizi lifinden elde edilen malzeme ile kurşun geçirmez yelek üretmişlerdir ve halen kullanılmakta olan Kevlar yelek ile karşılaştırıldığında balistik testler benzer sonuçlar vermiştir [67].

Cosmin Mihai Miriţoiu ve Ark. (2019) çalışmaların bazı epoksi/kenevir kompozitlerini mekanik olarak incelemiş malzemenin çekme testi ve kırılma mukavemeti gibi özelliklerinin yüksek olmasından dolayın çeşitli mühendislik alanlarında kullanılabilirliği doğrulanmıştır [39].

Safaat ve Fendi (2020) çalışmalarında kenevir, sisal lifleri ve epoksi reçine ile kompozit oluşturuldu. Elde edilen kompozitler, katman dizilerek NIJ 0101.06 standardını karşılayan kompozitler elde etmişlerdir [17]. Nascımento F. ve ark(2017) epoksi reçine takviyeli ebe gümeci lifinden kompozitler elde etmişler 7,62x51 mühimmatla balistik testlerini yaparak Kevlar ile benzer etkileri almışlardır[68]. Epoksi reçineler, kompozite aşağıdaki yöntemlerle uygulanabilir;

1.5.1 El yatırma yöntemi

Kumaş veya elyaf kalıba elle yerleştirilir ve reçine ve sertleştirici karışımı rulo veya fırça ile hava kabarcığı kalmayacak şekilde uygulanır. Sadece düşük viskoziteli reçine kullanılır. Bu reçineler ısıtılabilir. Kürleme oda sıcaklığında gerçekleşir. El ile çok çeşitli lifler ve malzemeler üretilebilir. Bu çok uygun maliyetlidir ve tek seferlik üretimi destekler. Dezavantajı ise üretim sırasında üretim operatörünün el becerisinin çok önemli olmasıdır. Yüksek lif içeriğine sahip kompozitlerin üretimi zordur. Rüzgâr türbini

kanatları, tekneler ve mimari pencere çerçeveleri gibi imalat alanlarında kullanılabilir [69].

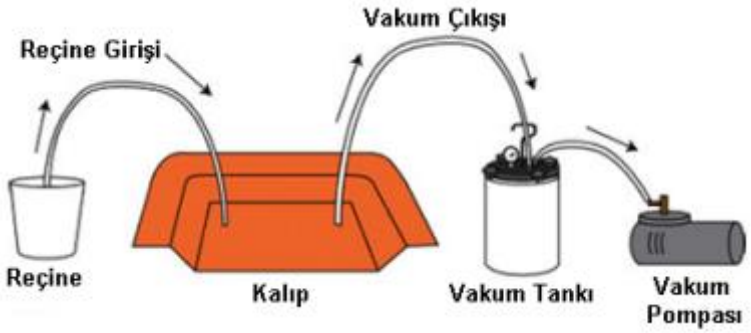
1.5.2 Pres kalıplama yöntemi

Hidrolik veya mekanik sıkıştırmalı kalıplama işleminde sıkıştırma kalıplama makinesinin üst ve alt katmanları ısıtılır. İstenilen görünümü elde etmek için kalıpların arasına takviyeler yerleştirilir ve imalat aşamasında basınç ve sıcaklık uygulanır. Kısa çevrim süresi, yüksek üretim kapasitesi ve boyutsal kararlılık avantajları, otomotiv endüstrisinde geniş uygulama alanı bulmaktadır**.**

1.5.3 Vakum kalıplama yöntemi ve basınçlı torba ile kalıplama

Basınçlı torba yönteminde; Genellikle ıslak el yatırma prosedürüne benzer lifleri şekillendir Reçine ve sertleştirici karışımı uygulanır daha sonra manuel el yatırma yöntemiyle kullanılan merdaneler veya fırçalar, negatif basınç yani vakum etkisi altında hava kabarcıkları ile yer değiştirir ve imalat gerçekleştirilir. Uygulama alanları ise; büyük tekne gövdelerinde, uçak yapılarında, yarış arabası parçalarında, değiştirilebilir malzemelerde kullanılır.

Vakum infüzyon yönteminden ise; Elyaf ve reçineyi kalıba manuel olarak yerleştirdikten sonra kalıptaki vakumla infüze edilen reçine tüm elyaf katmanlarına vakumla emdirilirken genel işleme bir vakum uygulanarak reçine ve sertleştirici karışımı içeren bir reçine tankından çekilir. Aşağıdaki Şekil 1.9'da vakum infüzyon yöntemi nasıl yapıldığı belirtilmiştir.

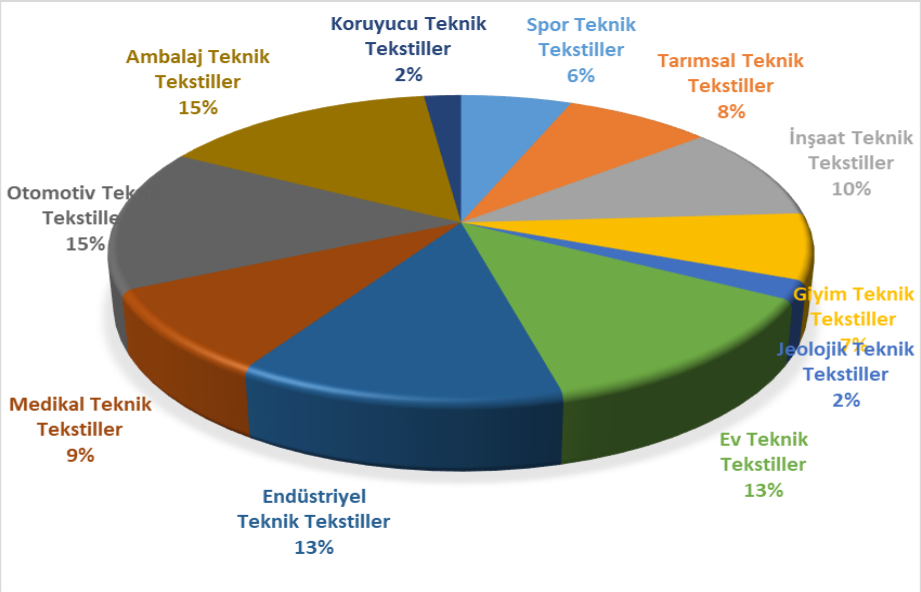


Şekil 1.9. Vakum İnfüzyon yöntemi

Ayrıca yukarıda sayılan yöntemlere ek olarak pultrüzyon gibi yöntemler uygulanarak epoksi reçine, kompozit takviye malzemesi olarak kullanılır [12].

1.6 Koruyucu Tekstiller

Koruyucu tekstiller, dünya çapında teknik tekstillerin en hızlı büyüyen sektörlerinden biridir. Günlük giysilerin birincil rolü, insan vücudunu olumsuz iklimden korumaktır. Koruyucu tekstiller ise özellikle yangın, rüzgâr, mikroorganizmalar, kimyasallar, gaz, balistik, radyasyon elektrik vb. zararlı etkenlerden koruma için kullanılır. Bu malzemeleri doğal kaynaklardan geliştirmek için son zamanlarda bir eğilim olmuştur. Uzay giysileri, antibakteriyel, kimyasal koruyucu giysiler, alev geciktirici kumaşlar, nükleer ve radyolojik koruyucu giysiler, balistik koruma, endüstriyel koruyucu kumaşlar vb. gibi alanları içerir [70]. Aşağıdaki Şekil 1.10'da koruyucu tekstillerin diğer teknik tekstillerin içerisindeki mevcut durumu belirtilmiştir [71].



Şekil 1.10. Teknik tekstillerin mevcut durumu

Koruyucu tekstillerde sentetik lifler, yüksek performanslı liflerin yanı sıra sürdürebilirlik ve çevre kirliğinin önlemek adına doğal liflerinde önemi belirgin derecede artma eğilimdedir. Aşağıdaki Tablo 1.6'da teknik tekstillerde kullanılan lif oranları belirtilmiştir.

Tablo 1.6 Teknik tekstillerde kullanılan liflerin oranı

Lif Türü	**% Oranı**
Polyester	%25
Poliolefin	%25
Cam	%15
Jüt-hind.cevizi	%14
Pamuk	%7
Viskon	%3
Diğer selülozik lifler	%3
Poliamid	%7
Aramid-karbon	%1

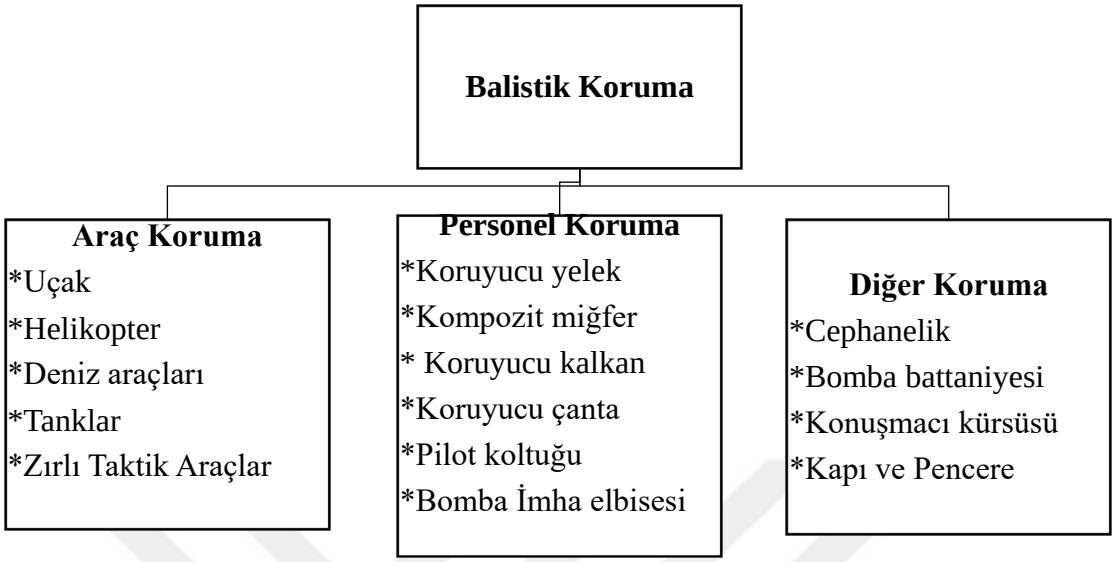
1.7.Balistik Kavramı

Balistik; Bir mekanizma veya sistem tarafından fırlatılan ve fırlatılan nesnelerin yerçekiminin de etki ettiği şekilde atmosfer ortamındaki hareketini inceleyen bilim alanı olarak bilinir [72]. Anti yunanca da ‘atma’ kökeninden gelen terim Roma İmparatorluğunda kullanılan Balista ile de aynı kökenlidir. Tarihteki ilk koruyucu zırh, sert hayvan derisinden yapılmıştır. Zırh, daha sonra, deri ile desteklenen kemik veya metal gibi daha sert malzemelerin halkaları veya parçaları kullanılarak güçlendirilmiştir. Bronz ve demirin keşfinden sonra zırhlarda kullanılmaya başlanmış, bu da onları daha güçlü ve dayanıklı hale getirmişlerdir. Truva Savaşı'nda Yunanlılar bronz miğferler, göğüs zırhları ve baltalar kullandılar. Yaklaşık 1000 yıl sonra, Romalılar daha dayanıklı olduğu düşünülen demir miğferler yaptılar. Yunanlılar ve Romalılar zırhları içinde kolaylıkla hareket edebiliyorlardı. Zırhı oluşturan parçalar vücuda hareket sağlamak üzere tasarlanmıştır [73]. Şekil 1.11’de Roma İmparatorluğu ve 15.YY döneminde kullanılan zırh örnekleri gösterilmiştir [75]. Zırh kalıplarının değişmesiyle birlikte, zanaatkarlar adeta bir terzi tarafından yapılmış gibi rengarenk zırhlar yapmaya başladılar [73]. Aşağıdaki Tablo 1.7’de ise balistik korumanın alanları belirtilmiştir [76].



Şekil 1.11. Roma dönemi ve 15 yy. Türkiye’sinde bazı vücut koruyucu zırhlar

Tablo 1.7. Balistik korumanın alanları



Günümüzde balistik, iç balistik, dış balistik, terminal balistik, travma balistik ve adli balistik olmak üzere beş grupta ele alınmaktadır [73]. Ateşli silahlarda balistik, mermi kılıfının ve merminin tetiği çektikten sonra mermi namludan çıkana kadar geçen süredeki hareketini inceleyen "iç balistiktir. Dış balistik, merminin namlu ağzından çıkıp hedefe çarpana kadar havanın direncini, merminin yerçekimine, yere düşme, sürüklenme veya sürüklenmeye karşı direncini inceleyen balistik bölümüdür dengede tutmaktır. Mermi çekirdeğinin hedefi vurduğu andan, vurduktan sonra durana kadar delinmesi ve enerjisinin hedefe aktarılması gibi etkilerle ilgilenen balistik, "nihai (hedef veya terminal)" adı altında toplanmaktadır. Bu balistik tiplerin görsel bir temsili, (Şekil 1. 12)'de verilmiştir [77]. Yaralanma balistikleri, terminal balistiğin bir parçasıdır ve insanlarda ve hayvanlarda yaralanmaları inceleyen balistiktir. Ateşli silahlarda kullanılan mermi ve kovanların incelenmesi sonucunda, merminin belirli bir silahtan atıldığı tespit edilmiş ve olaya karışan diğer silahlara yönelik ayrımcılığın "adli balistik" kapsamında soruşturulduğu öğrenilmiştir [73].



Şekil 1.12. İç balistik dış balistik ve hedef balistiğin şematik olarak gösterimi

Dahili balistik namlunun içinde; tetiğe basıldıktan ve mermi namlu ağzından çıktıktan sonra barutun ateşlenmesinden önce gerekli süre boyunca merminin kabuğunun ve merminin namlu içindeki hareketini ayrıntılı olarak inceleyen namlunun balistik kısmıdır [73]. Hava direncini, mermi çekirdeğinin yerçekimi kuvvetini, yere düşmesini, direnci ve dengeyi inceleyen bir balistik türüdür [73]. Terminal Balistik Mermi çekirdeğinin durmadan delinmesi, enerjisinin çarptığı cisme aktarılması ve neden olduğu hasar gibi etkileri araştıran balistik bölümüdür [39]. Travmatik balistik Terminal balistiğin bir parçası olan bu balistik türü, mermiler veya balistik etkiler oluşturan nesneler nedeniyle insanlarda ve hayvanlarda meydana gelen yaralanmaları inceler. Adli balistik ateşli silahlarda kullanılan mermi ve mermilerin çekirdeklerini inceleyen, belirli bir silahtan ateşlendiğini tespit eden ve olaya karışmış veya karışmamış diğer silahlardan ayıran bir balistik türüdür. Bu, atışın dağılımı, barut kalıntısının şekli ve hareketi ve mermi çekirdeği ile atış mesafesini inceleyen balistik kısımdır. Balistik koruma, vücudu ve başı çeşitli boyut, hız ve şekillerde modern silahlardan, mermilerden ve parçalardan korumak için tasarlanmıştır ve askeri amaçlar için gerekli bir işlevsel özelliktir. Balistik koruyucu giysi ve malzemeler, mermi ve şarapnel parçalarının kinetik enerjisini emerek vücudu korumak veya yaralanmayı en aza indirmek için tasarlanmıştır [63]. Kurşun geçirmez yelekler, kasklar ve vücut zırhları, çarpma anında yüksek hızlı bir çarpışmanın neden olduğu hasarlardan insan ve hayvan vücudunu korumak için tasarlanmış malzemelerdir [78]. Ayrıca balistik koruma için kullanılan yüksek mukavemetli malzemeler ve tekstiller, uçak ve araç iç tasarımında stabilite sağlamak, personel ve insan hayatını balistik etkilerden korumak için kullanılmaktadır [63].

Yumuşak veya sert formdaki tekstil kumaşlar, balistik ve bıçak tehditlerine karşı kişisel ve ekipman koruması için kullanılır. Gerekli performans özellikleri arasında hafiflik,

yüksek balistik/bıçaklama performansı ve düşük maliyetin yanı sıra rahatlık sayılabilir [79]. Bu gereksinimleri, yüksek performanslı lifler/matrisler ve iki boyutlu (2B) dikişsiz veya çok dikişli kumaşlar ve üç boyutlu (3B) ön kalıplar gibi katmanlı tekstil yapıları kullanarak karşılamak mümkündür. Son zamanlarda, özel nanomalzemelerin kullanımının balistik performansı iyileştirdiği belirtilmektedir [80].

İnsanlar, vahşi hayvanlara ve düşmanlarına karşı korunmak için çeşitli malzemeler kullanmışlardır. Bu malzemeler arasında hayvan derisi, ahşap ve metal kalkanlar ve taş yer almaktadır. Günümüzde yumuşak yelekler ve sert levhalar askeri personel, özel kuvvet askerleri ve kolluk kuvvetleri tarafından kullanılmaktadır. Yumuşak bir yelek genellikle yüksek mukavemetli/modüllü elyaftan yapılmış dokuma kumaşlardan oluşurken, sert plakalar çoğunlukla seramik ve kompozitlerden oluşmaktadır. Tehdit düzeyine bağlı olarak bu iki tür malzeme insan vücudunun çeşitli kısımlarını korumak için birleştirilebilmektedir [77]. Uçak, gemi, zırhlı araç, tank, sığınak, helikopter gibi askeri teçhizat ve insansız hava araçlarının patlayıcılar, mermiler, roketler ve parçalar gibi üst düzey balistik tehditlere karşı korunmaya ihtiyacı vardır. Bu tip ekipmanların zırhlı kaplaması genellikle [81];

- Monolitik metallerden (çelik, titanyum, alüminyum)
- Metal matris kompozitlerinden (seramik parçacıklar/alüminyum alaşımı, titanyum diborid, metal köpükler),
- Monolitik seramiklerden,
- Seramik matrisli kompozitlerden (borosilikat/Cam matris, alüminyum/alümina, silikon karbür/alüminyum nitrür, bor karbür) meydana gelmektedir.

Zırh sistemlerinde ağırlıklı olarak personel ve hafif araç koruması için seramikler kullanılmıştır. Mükemmel sertliğe, yüksek basınç dayanımına ve elastik modüle sahiptirler. Bununla birlikte, fiber takviyeli kompozitlere kıyasla yüksek yoğunluğa sahiptirler. Gerilme mukavemetleri de düşüktür. Yüksek performanslı fiber takviyeli kompozitler ise yüksek çekme mukavemetine sahiptir. Termoplastikler ve kauçuk gibi katkı maddeleri, kompozitlerin kırılma tokluğunu artırmak için dahil edilmiştir [79]. Son zamanlarda, küre parçacıkları, tek veya çok duvarlı nanotüpler gibi nanomalzemeler ve kısa nanolifler, elyaf takviyeli kompozitlerin darbe direncini artırmak için kullanılmıştır [67]. Polietilen ve Para-Aramidler gibi yüksek mukavemetli-yüksek modüllü polimer

elyaf, yumuşak yelek balistik yapıları için 2B dokuma ve örme kumaşlar buna örnek gösterilebilir. Bir dizi kalınlıkta yapılar tasarlamak için çoklu 2B dokuma kumaşlar katmanlayabilmektedir. Alternatif olarak, özellikle arka yüzey deformasyonunu azaltarak balistik direncini arttırmak için bu katmanlı yapılar bir veya daha fazla yönde dikilebilir [82]. 2B dokuma kumaşlar, yapının kırılma tokluğunu iyileştirmek için elastomerlerle kaplanabilir[83]. Öte yandan, Para-Aramid kumaşın, etilen glikol içinde dağılmış nanosilika partiküllerinden yapılmış STF ile emprenye edildiğinde daha esnek ve balistik penetrasyona/bıçaklanmaya karşı dirençli hale geldiği iddia edilmektedir. Mermi-/bıçaklama-/kesme tipi tehditlere karşı korunmak için, 3B dik dokuma, 3B açılı interlok dokuma ve 3B tam/kısmen geçmeli dokuma ve çok eksenli 3B dokuma veya örgü formlardan yapılmış yumuşak yelekler kullanılmaktadır [84]. Hybrid2B/3B kumaş bazlı yelek yapıları tek katmanlı ve çok katmanlı nonwoven ve örgülü yapılar kullanılarak da yapılabilir [85]. Soft balistik yeleklerin balistik/stab performansını etkileyen faktörler arasında lif/iplik/kumaş özellikleri yer alır.

1.7.1. Balistik Testler ve Standartlar

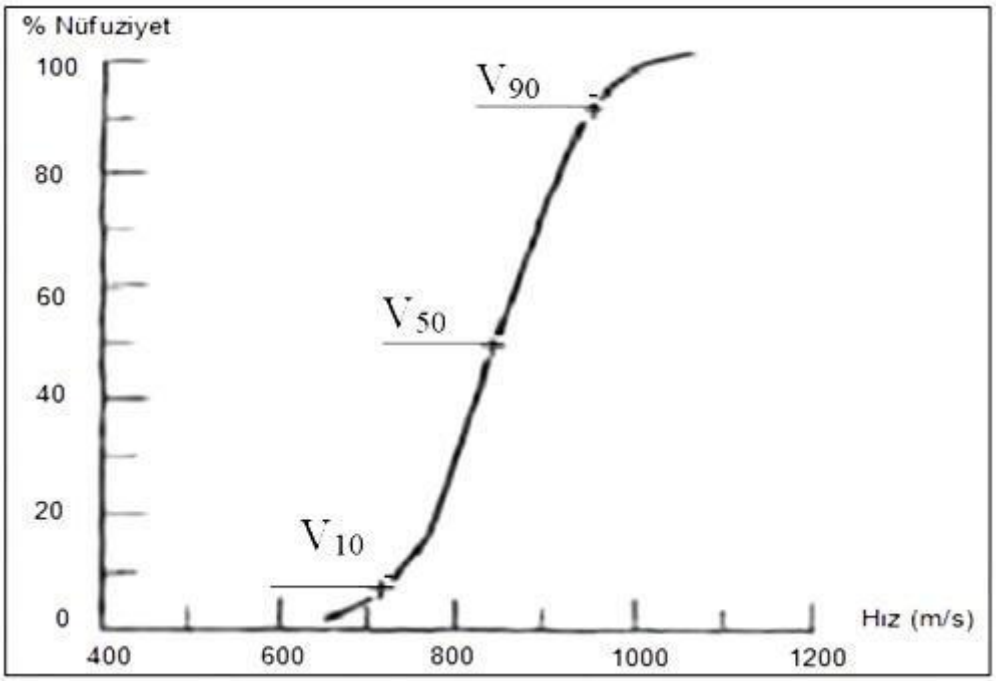
Balistik koruma için tasarlanan malzemelerin koruma düzeyini belirlemek için bazı testler ve standartlar bulunmaktadır. Ulusal ve uluslararası alanda kullanılan standartlar Tablo 1.8'de belirtilmiştir. Türk Standartları Enstitüsü TS 11164 ve TS 13349 numaralı standartlar ulusal balistik testlerin deneysel yöntemlerini içeren standartlardır [86]. Dünyada daha fazla kullanılan NIJ (National Institute of Justice) standartlarıdır [87].

Tablo 1.8. Ulusal ve uluslararası alanda kullanılan standartlar

STANDART NO	STANDART ADI
TS 11164	Balistik koruyucu vücut zırhı
TS 13349	Askerî zırhlar- V50 balistik hız deneyi
MIL-A-46103 C	Hafif, seramik kaplı kompozit zırh prosedürü standartları
MIL-B-44053 A	Şarapnele karşı korucu vücut zırhı standartları
MIL-STD-662 F	Zırhlar için balistik test standartları
NIJ-STD-0101.04	Kişisel vücut zırhının balistik direnci standardı
NIJ-STD-0101.06	Kişisel vücut zırhının balistik direnci standardı
NIJ-STD-0108.04	Koruyucu malzemelerin balistik direnci standardı
STANAG 2920	Kişisel zırh için balistik test yöntemi
UK/SC/4697	Parça koruyucu personel zırhlarının balistik testi
PPAA STD-1989-05	Kişisel vücut zırhlarının balistik direnci için kişisel koruyucu zırh birleştirme test standartları
UL 752	Balistik direnç ekipmanları standardı

1.7.1.2Balistik Limit

V50 Balistik testlerde karşılaşılan sorunlardan biri de bir cismin zarar görmeden dayanabileceği mermi hızının belirlenmektedir. Bu hızların tanımına "balistik çarpma hızı" veya "balistik limit" denir [72]. Kritik hız değeri olan V50, hedefe dik konumda çarpan bir parçacık tarafından hedefin delinme veya delinmeme olasılığının %50 olduğunu gösteren hız şeklinde ifade edilmektedir [72,88]. Bu durumda, parçacık maksimum V50 hızında hareket ederse, zırh delme şansı %50'dir. V50'nin altındaki hızlar malzemenin kısmen nüfuz etmesine neden olurken, bu değerin üzerindeki hızlar malzemenin tamamen nüfuz etmesine neden olur [88]. Tam penetrasyon; kullanılan balistik zırh malzemesinin mermiden veya kullanılan mühimmatın malzemesinden yontulmuş partiküller tarafından tamamen nüfuz etmesidir. Kısmi delinme (kısmi penetrasyon), kullanılan plakada bir delinme olmadığı zamandır [89]. V50'nin hızını belirlemek için, zırh malzemesine en az dört atış yapılması ve değerlendirilen en az dört atıştan ikisinin zırhı delmesi ve diğer ikisinin de delici olmayan hızda olması gerekir. Ayrıca bu dört farklı hız arasında zırhı en yüksek hızda delen merminin çarpma hızı ile zırhı delip geçemeyen en düşük hızdaki merminin çarpma hızı arasındaki hız farkının olması şartı vardır, zırh 18,29 m/s'yi geçmemelidir. Test sonucunda dört atış için mermi çarpma hızlarının aritmetik ortalaması alınır. Ortaya çıkan hız, V50 zırh plakasının balistik hız sınırını verir [88]. Bir V50 hız testi örneği, Şekil 1.13’de V50 değeri kullanılan malzemenin sertliği ile doğrusal bir ilişki göstermektedir [89].



Şekil 1.13. V50 hız testi örneği

1.7.1.3 Stanag 2920 Testi

Stanag 2920 standardı, NATO Standardizasyon Anlaşması kapsamında geliştirilen personel için koruyucu zırh için balistik test yöntemlerini açıklamaktadır. Test sırasında aynı tip mermi kullanmak ve koruyucuları birbirleriyle karşılaştırmak da mümkündür. Kural olarak, 5.385 kalibre ve 1.102 gram ağırlığındaki mermiler tercih edilir. Test edilecek numune, testten önce 20±2c^{o} sıcaklıkta ve %65±5 bağıl nemde saklanmalıdır. Test sırasında balistik koruyucu malzemeye en az 6 mermi atılarak hızları ölçülmektedir [87]. Balistik koruyucu malzemenin normalinden 5°'den fazla sapan mermiler, balistik hız limitinin hesaplanmasında sayılmaz. Her atış, atış noktalarından veya warp noktalarından en az 30 mm uzakta olmalıdır. Hedefi tamamen delen veya hedefin arkasında boşluk bırakan mermilerin balistik koruyucu yapıyı tam olarak delindiği kabul edilir [87].

Bu standartta mermilerin atış hızı yukarı ve aşağı yönler kullanılarak düzeltilmektedir. Hız, hızın sınırlayıcı balistik değerinde elde edilir. İlk mermi zırh yüzeyinde tam bir nüfuz oluşturursa, ikinci mermi birinci mermiden 30 m/s daha az bir hızla dışarı çıkmaktadır. Birinci mermi, zırh yüzeyinin zırh yüzeyinde kısmi bir penetrasyon oluşturursa, ikinci

mermi, birinci mermiye göre 30 m/s daha hızlı ateşlenir. Balistik zırhı delen ilk atışların tamamlanmasından sonra, atışlar aşağı veya yukarı 15 m/sn'lik bir mermi hızıyla ateşlenmektedir. Belirli sayıda atıştan sonra, kısmi patlamanın meydana geldiği en yüksek hızlardan 3 sonuç elde edilir. Toplamda altı hız vardır ve esi delinmenin meydana geldiği en düşük hızlardan biridir. Kısmi ve tam delinmenin olduğu gruplarda belirlenen en yüksek ve en düşük hız değerleri arasındaki fark 40 m/s'den fazla olmamalıdır. V50'nin balistik hız limiti, yumuşak darbeler üzerinden ortalaması alınarak hesaplanmaktadır [87].

1.7.1.4 NIJ 0101.06 Standartları

Bu standardın kapsadığı balistik kişisel vücut zırhı performans seviyesine göre beş türe ayrılır. (IIA, II, IIIA, III, IV) Buna ek olarak, beş standart sınıf kapsamına girmeyebilecek tehditlere karşı onaylanmalıdır. İki veya daha fazla NIJ balistik seviyesi sağlayan bir zırhın sınıflandırılması balistik kompozit üzerindeki farklı konumlardaki koruma, minimum balistik koruma olacaktır. Aşağıda Tablo 1.9'da NIJ 0101.06 standartlarını ve mühimmatı (Şekil 1.14) belirtilmiştir [90].



Şekil 1.14. NIJ standartlarında kullanılan mühimmatlar

Tablo 1.9. NIJ 0101.06 standart seviyeleri ve kullanılan mühimmat

Seviye	Mühimmat
IIA	9 mm ve.40 S&W mühimmata etkili seviyedir.
II	9 mm ve .357 Magnum mühimmata etkili seviyedir.
IIIA	.357 SIG ve .44 Magnum tabanca mühimmatına karşı etkili seviyedir
III	Metal çekirdekli 7,62x51 mühimmatına karşı etkili seviyedir.
IV	.30 kalibre çelik çekirdekli zırh delici mühimmata karşı etkili seviyedir

NIJ 0101.06 Tip IIA koruması aşağıdaki gibidir;

- Atış 5 metreden yapılır
- Mermi çekirdeği tam metal kaplama olmalıdır.
- Kütlesi 12 gram olmalıdır.
- Mermi hızı 373±9,1m/s olmalıdır

2. MATERYAL-YÖNTEM

2.1. Materyal

Bu çalışma kapsamında; %100 kenevir elyaf takviyeli kompozit, kenevir elyaf/kumaş takviyeli kompozit, 100% kenevir kumaş takviyeli kompozit ve %50/%50 kenevir/kevlar kumaş takviyeli kompozit yapılar tasarlanmıştır. Türkiye'de ilk kez ıslah edilen yerli tohumlarla elyaf üretimi yapılmıştır. Narlı ve Vezir (Şekil 2.1) olarak adlandırılan yerli tohumların ıslahı On dokuz Mayıs Üniversitesi ve Karadeniz Bölgesel Tarım Araştırma Enstitüsü tarafından yapılmıştır. Kenevir bitkisi çalışma kapsamında Kastamonu bölgesinde üretilmiştir ve geleneksel el yöntemi ile kaba lif sıyırma işlemi yapılmıştır. Elde edilen kaba lifler mekanik olarak taranarak uzun lif halinde kompozit yapımı için yönlendirilmiştir. Tarak makinesi ile elde edilen liflerin pamuk tipine uygun hale gelmesi ve mekanik özelliklerini kaybetmesinden dolayı kullanılmamıştır. Tek lif performansı tarama düşmektedir. NORM marka epoksi reçine tüm kompozit yapımında kullanılmıştır. İlgili epoksi reçinenin ve sertleştirici maddenin özelliklerin Tablo 2.1'de belirtilmiştir. Kullanılan reçine ve sertleştirici standart zırh yapımına uygun olarak seçilmiştir.



Şekil 2.1. Narlı ve Vezir tohumları, elyaf hasadı ve tek lif görüntüsü

Tablo 2.1. Kullanılan epoksi reçinenin özellikleri

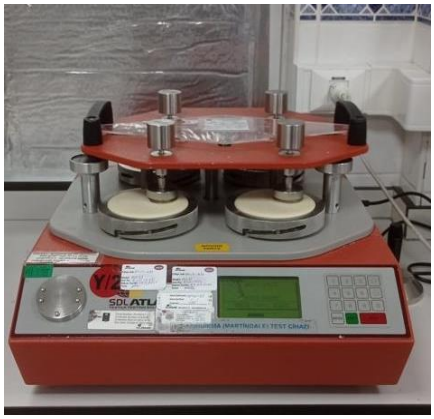
Karışık oranı (Reçine: sertleştirici)	3:1
Çalışma Süresi	2-3 saat
Kalıptan çıkarma süresi	48 saat
Renk	Şeffaf
Sararma direnci	Düşük
Sertlik	Shore D 65
Maksimum kalınlık	0,5 cm

Kenevir kumaş üretimi yurt dışı kaynaklı ıslak çekim yöntemi ile elde edilmiş uzun lifli iplikten yapılmıştır. %100 kenevir içerikli kumaşlar bu ipliklerden bezayağı formunda üretilmiştir. Standart Kevlar kumaş tedariki askeri fabrikadan yapılmıştır. Kullanılan ipliklerin fiziksel özellikleri Tablo 2.2'de ve Grafik 2.1'de gösterilmiştir. Yapı testleri standart koşullarda askeri tekstil laboratuvarında yapılmıştır.

Kullanılan test cihazları; Şekil 3.2'de Kopma ve Yırtılma Mukavemeti, Şekil 2.3'de Aşınma Dayanımı, İplik Mukavemeti gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Kopma ve yırtılma mukavemetinin ölçüldüğü cihazlar

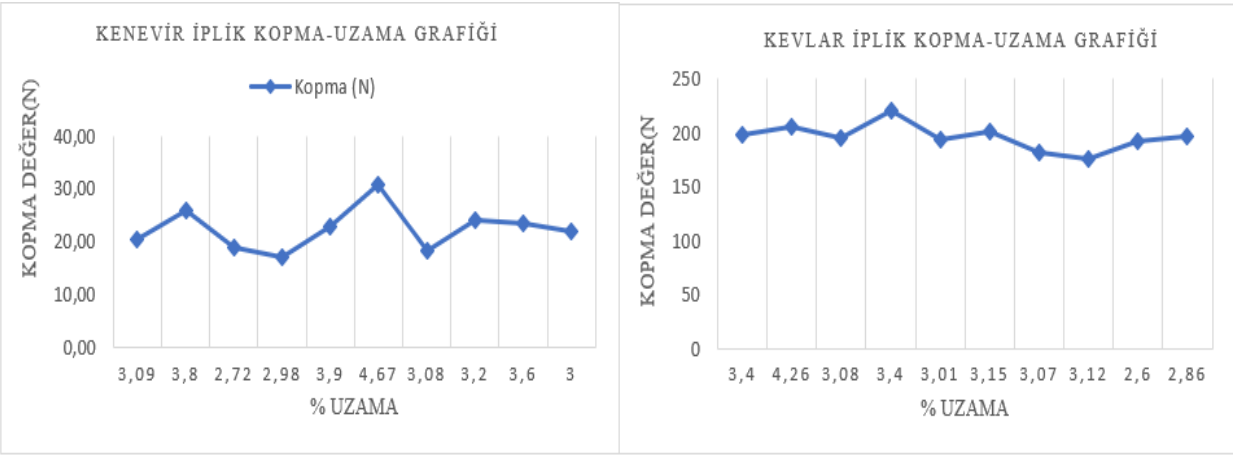




Şekil 2.3 Aşınma ve iplik mukavemetinin ölçüldüğü cihazlar

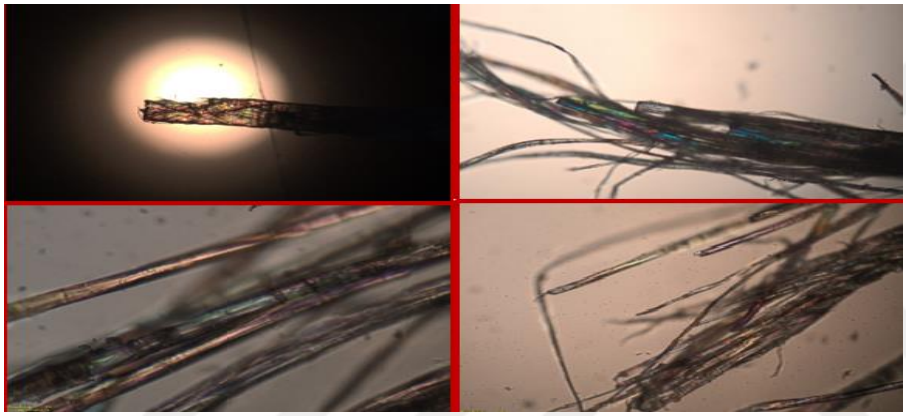
Tablo 2.2.(a) Kullanılan iplik özellikleri

Malzeme cinsi	İplik Numarası	İplik mukavemeti N	Uzama %
Kenevir (alkali işlem öncesi)	Nm 30	18,16	3,2
Kenevir (alkali işlem sonrası)	Nm 30	22,38	3,3
Kevlar	Nm 25	195,9	3,2



Grafik 2.1. Kenevir ve kevlar iplik kopma-uzama

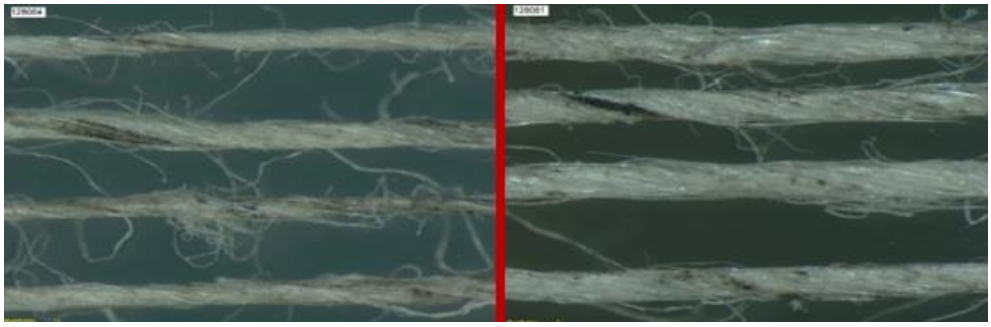
İpliklerin mukavemet değerleri ölçümünde liflerin hangi noktalardan koptuğu ve ne tür gelişmeler yapılabileceğini anlamlandırabilmek için test edilen numuneler mikroskop altında incelenmiştir ve kopuş noktalarının kristalin alanlarından olduğu, amorf alanlarının daha mukavemetli özellikler gösterdiği düşünülmektedir. Kopuş şekli koruyucu özelliklerin belirlenmesi için önemlidir. Balistik ve kesme davranışları farklı mekanizmalarla gerçekleşmektedir ve kullanılan malzemenin kopma ve uzama bölgelerinin belirlenmesi ve o yönde iyileştirme yapılması gerekmektedir. Kevlar kumaşta kopma **(2387 N kadar) ve yırtılma (1176 N)** meydana gelmemiş sıyrılmadan sonra test sonlandırılmıştır.



Şekil 2.4. Kopan ipliklerin mikroskop görüntüleri

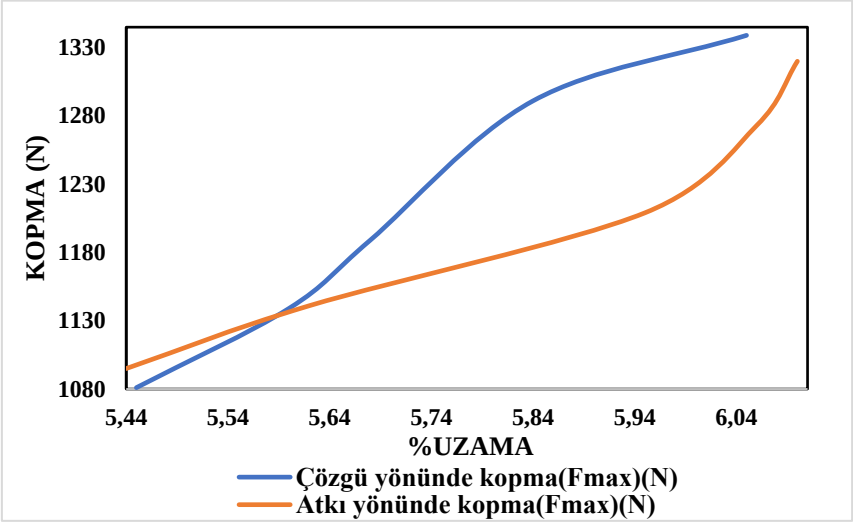
Kompozit yapılarda homojen bir konstrüksiyon elde etmek oldukça kritiktir. Özellikle yüksek teknoloji gerektiren uygulamalarda homojenlik standartlarla garanti altına alınmaktadır. Yapısal davranışın tüm alanlarda eşit olması teknik tekstil ürünlerinde özellikle koruyucu ve taşıt teknik tekstillerinde şarttır. Bu doğrultuda doğal liflerden elde edilen ipliklerde iplik düzgünsüzlüğü dahilinde ince ve kalın noktaların en az olduğu formlarda iplik elde edilmesi ana hedeflerden biridir. Bu standart kesit sentetik ipliklerde kolay ulaşılabilen bir özelliktir. Ancak lif kalınlıklarının değişkenliğine bağlı olarak doğal ipliklerde de ince ve kalın nokta oluşumları aşağıdaki Şekil 2.5'te gözlenmektedir. Bu gibi olumsuzluklar yapıda zayıf noktaların oluşmasına neden olmaktadır. Teknik problemlerin en aza indirilmesi amacıyla katlı büküm seçenekleri ile standart sapmanın düşürülmesine çalışılmaktadır. Hem yapısal mukavemet kazandırmak hem de minimum eşitsizlik için katlı iplik kullanılmaktadır. Tez kapsamında katlı iplik denemeleri yapılmış ancak büküm değerlerinden dolayı verimli bir katlı iplik elde edilememiştir. Kenevir

liflerinin uzun olması ve ıslak çekim ile ipliklerin elde edilmesinden dolayı kesikli lifli ipliklere nazaran düşük iplik hataları gözlenmiştir. İplikler tek katlı olarak kullanılmıştır.



Şekil 2.5 Kenevir ipliklerin düzgünsüzlüğün mikroskop görüntüsü

Grafik 2.2. Kenevir kumaşın kopma mukavemet değerleri



Tablo 2.3.(b) Kullanılan kumaş özellikleri

Malzeme cinsi	**Doku Tipi**	**Gramaj (gr/m^2)**	**Sıklık İplik sayısı/cm**	**Kopma Mukavemeti N (TS EN 13937-4)**	**Yırtılma Mukavemeti N (TS 13934-1)**	**Aşınma Mukavemeti (devir) (Martindale metodu)**
Kenevir kumaş	1/1 Bezayağı	250 gr/m^2	10 tel/cm	Atkı :1207 Çözgü:1214	Atkı :120 Çözgü:126	18.000 kopma meydana gelmiştir
Kevlar kumaş	1/1 Bezayağı	210 gr/m^2	8 tel/cm	-	-	14.000 kopma meydana gelmiştir

Vakum İnfüzyon yöntemi için kullanılan yan malzemeler ise;

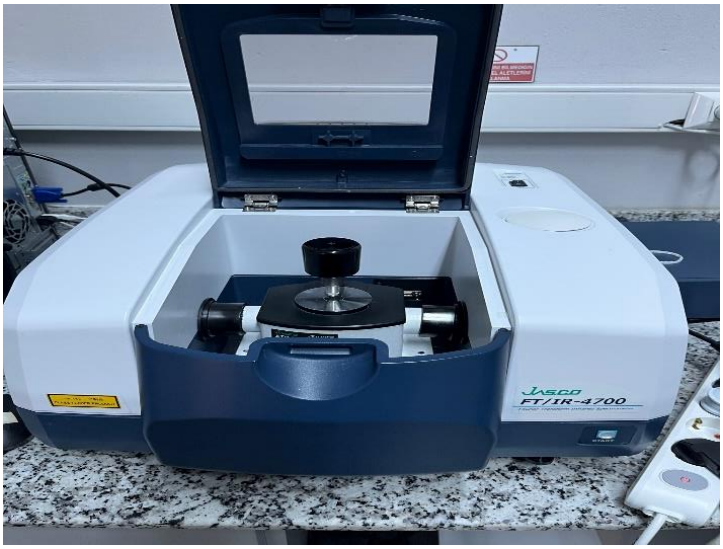
- Vakum yapıştırma macunu
- Vakum naylonu (vakum torbalama yönteminde de kullanılmıştır)
- Peel Ply ayırıcı kumaş
- Delikli ayırıcı kumaş
- PE vakum hortumu
- Ayırıcı katı ve PVA sıvı ayırıcı

Balistik testlerde ise testler balistik laboratuvarda yapılmış olup 9x19mm Luger FMJ kullanılmıştır (NIJ-STD-0101.06 IIA).

2.1.1 Diğer Mekanik Test Cihazları (FTIR, SEM, XRD)

- FTIR (Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi)

FTIR analizleri, 4000-400 cm^{-1} dalga boyu aralığında spektrometresi kullanılarak JASCO FT/IR -4700 marka FTIR spektrometresi yapılmıştır. Çalışmada alkali işlem görmüş ve alkali işlem görmemiş ipliklilerin bağ yapıları incelenmiştir.



Şekil 2.6. FTIR cihazı

- XRD (X-Işını kırınım yöntemi)

Çalışmada alkali işlem görmüş ve alkali işlem görmemiş ipliklilerin X-ışını kırınım yöntemi (XRD) kullanılarak analiz edilmiştir.



Şekil 2.7. XRD ölçümü yapılan cihaz

- SEM (Taramalı elektron mikroskobu)

SEM analizleri, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine gönderilerek, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında etkileşimler sonucunda oluşan etkilerin alıcılarda toplanması ve bu alıcılardan gelen verilerin bilgisayar monitöründe görüntü alınmasıdır

Çalışmada kompozit arasındaki lif-matris ara yüzeyinin ne derece birbirine tutunduğu ve uyumlu olduğu SEM cihazı ile analiz edilip değerlendirilmiştir.



Şekil 2.8. SEM (Taramalı elektron mikroskobu)

2.2 Yöntem

Çalışmada beş farklı kombinasyonda numuneler üretilmiştir. Öncelikle elde edilen kaba kenevir lifine alkali modifikasyon uygulanmıştır. Malzemelere 95 C^0 ve 1:10 oranında NaOH kullanılarak alkali işlem uygulanmıştır. Bu sayede yağ, pektin, mumsu maddeler elyaftan uzaklaştırılmış olup, epoksi reçine uygulama esnasından kimyasalın, liflerin içine düzgün bir şekilde nüfuz etmesi sağlanmıştır. Burada mümkün olduğu kadar ek kimyasal işlem sürece dahil edilmemiştir. Ana amaç olan sürdürülebilir malzeme ve yöntemlerle teknik tekstil yapıları üretmek prensibine bağlı kalınmıştır.

2.2.1 Elyaf ve Kumaştan Elde Edilen Kompozitlerin Üretimi

%100 elyaf kullanılarak iki numune grubu ve %50/50 elyaf/kumaş numuneleri üretilmiştir. Alkali işlem sonrasında elyafla mekanik tarama uygulanmıştır ve bu neticede elyaflın paralel hale gelmesi ve elde edilen kompozitlerin daha homojen bir yapıda olması sağlanmıştır. Yönlendirilmiş elyaf takviyeli kompozit çalışmaları yaygındır. Şekil 2.9'da hazırlanan çivili tarak ve taranmış elyaf numuneleri gösterilmiştir. Mekanik tarama ile yapılması elyafın maksimum uzunlukta kullanılarak ana yapısal özelliklerini korumaktır. Ayrıca tarak makinesinde yapılmamasının sebebi elyafın tarak makinesine işlem gördüğünde pamuklanması (kotonize olması) ve istenilen dayanım performansını gösterememesinden kaynaklanmaktadır. Kenevir elyafı en az işlem ile ana mekanik davranışları gösterdiği bilinmektedir. Tedarik edilen ipliklerle elde edilen kumaşlar yine aynı (95 C^0 ve %10 NaOH) parametrelerde alkali modifikasyon uygulanmıştır. Kumaşların parametreleri iplik mukavemetini maksimum seviyede tutulacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 2.9. Mekanik tarama ve kaba taranmış elyaf

Taranan elyaf ahşap bir kalıpla kalıplanmıştır Şekil 2.10'da kalıplanan elyafın görüntüsü gösterilmiştir. Kumaşlar ise 30x30 cm ebatlarında 50 kat olarak kesilerek, kompozit numune hazırlamada kullanılmıştır.

Kumaşların görüntüsü Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



Şekil 2.10 Kalıplanmış elyaf



Şekil 2.1. Kalıplanmış kumaş katları

Kalıplanan elyaf iki şekilde epoksi reçine uygulanmıştır. Farklı yöntem denemeleri elyaf kontrolünün hangi yöntemle daha iyi seviyelerde olacağının tespit edilmesi amacıyladır. Kullanılan yöntemler;

- Vakum torbalama yöntemi
- Vakum infüzyon yöntemi ve presleme

Kumaşlara ise sadece vakum infüzyon yöntemi ile reçine verilmiştir.

Vakum torbalama yönteminde; kalıptan çıkarılan numune vakumlama poşetine alınmış yaklaşık kendi ağırlığı kadar epoksi reçine verilmiştir. 3:1 sertleştirici ile

hazırlanan epoksi reçine fırça ile elyaf yüzeyine dökülmüş ve vakuma tabi tutulmuştur (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Kalıptan çıkarılan elyaf ve epoksi reçinenin fırça ile uygulanması

Vakumlamadan sonra 24 saat poşette bekletilen numune vakumlama kalıbından çıkarılmış ve 3,5 kg numune üretilmiştir ve bu kompozit için test aşamasına geçilmiştir. Üretilen numuneler aşağıdaki Şekil 2.13'te ki gibidir.



Şekil 2.13. Vakum torbalama yöntemi ile elde edilen kompozit

İnfüzyon yönteminde ise üretim yöntemi aşağıdaki gibidir;

• Kompozit üretimi için düz ve temiz bir yüzey tespit edilmiştir.

• Bu yüzey temiz değilse temizlendikten ve kalıp kuruduktan sonra rahat bir şekilde kompozit numunenin çıkarılabilmesi için ayırıcı vaks sürülür, kuruması beklenilmiştir.

• Sürülen vaks kuruduktan yüzeye yine numunenin daha rahat alınabilmesi için sıvı ayırıcı PVA fırça ile sürülür ve kuruması beklenilmiştir.

• Üst üste 30x30 cm olarak kesilen kumaşlar takviye edilip ve fazla parçalar kesilmiştir.

• Yüzey pürüzlülüğünü sağlayan katman (Peel Ply) tüm kalıp üzerine yapıştırıcı ile takviye malzemelerinin üzerine yapıştırılmıştır.

• Kalıbın çevresine göre reçine hatları ve vakum hatları ayarlanır, vakum macunu kalıbın etrafını çevreleyecek şekilde yapıştırılır. Vakum macunu ile hava almasını önlemesi reçine ve vakum hatları düzeneğe bağlanmıştır.

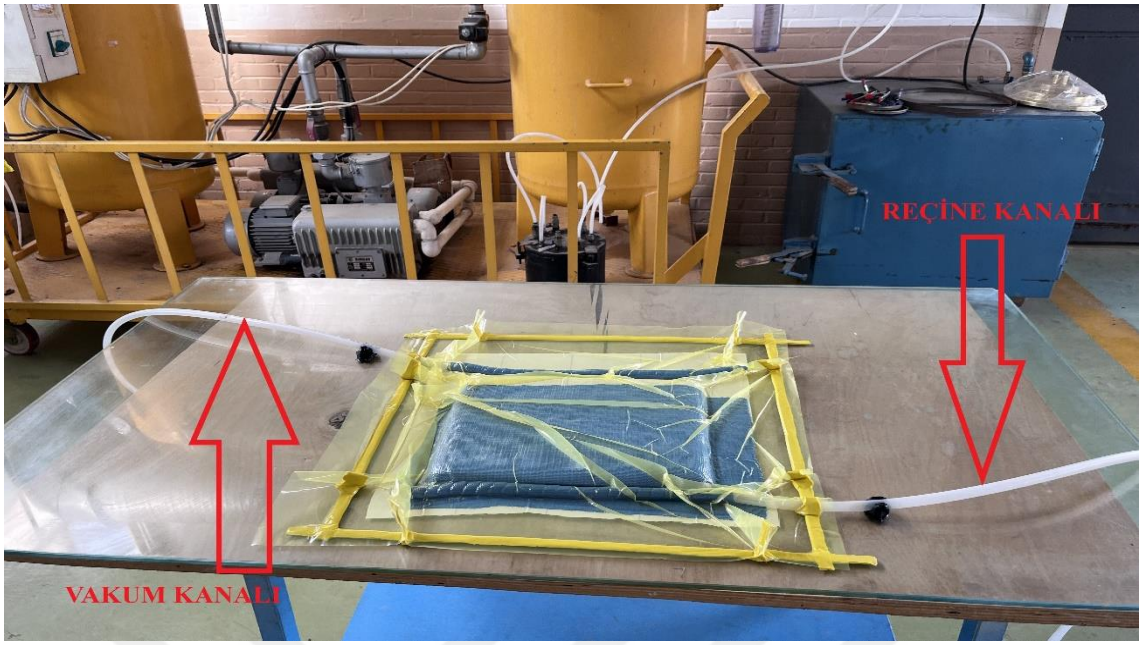
•Kalıbın üzerine delikli bir kumaş eklenir bu kumaş reçinenin kompozite daha sağlıklı dağıtımını sağlamaktadır.

• Vakum torbası kalıbın boyutlarına uygun kesilmiş ve vakum macunuyla düzeneğe yapıştırılmıştır.

•Sisteme vakum göstergesi bağlanır ve sistemde kaçak olup olmadığı bu göstergeden kontrol edilir.

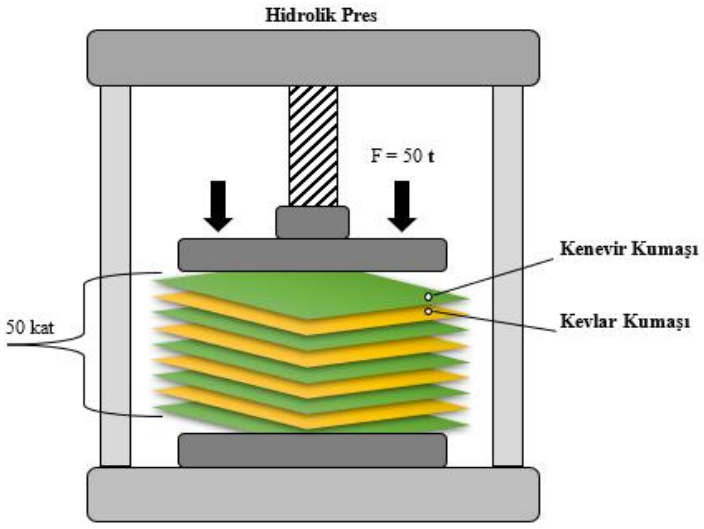
• Epoksi reçine hazırlanır hassas terazi ile ölçüm yapılmış olup ağırlığı 1200 gram numunede 900 gram- epoksi 300 gram sertleştirici kullanılmıştır. 30x30 ebatlarında hazırlanan kalıplara aynı ağırlıkta ve 3:1 oranında sertleştirici kullanılarak epoksi reçine kumaşa ve elyafa emdirilmiştir.

• Reçine tamamen emdirildikten sonra vakum altında tamamen sertleşene kadar tutulur.



Şekil 2.14. Vakum infüzyon yöntemi tertibatı

• Vakum infüzyon yönteminden sonra numuneler kalıplarından çıkarılmadan ve zaman kaybetmeden Şekil 2.15'te ki gibi 50 ton preslenerek kurumaya bırakılmıştır.



Şekil 2.15 Presleme işlemi

Tablo 2.4. Üretilen numunelerin fiziksel özellikleri

NUMUNELER VE KODLARI	YÖNTEM	ENXBOY(CM)	YÖNTEM ÖNCESİ AĞIRLIK (G)	VERİLEN REÇİNE MİKTARI(G)	NİHAİ NUMUNE AĞIRLIĞI (G)	EMİLEN EPOKSİ REÇİNE (G)	EPOKSİ-TAKVİYE ORAN
%100 KENEVİR ELYAF KOMPOZİT **(A)**	VAKUM TORBALAMA	30X30	1800	1800	3500	1700	%48-%52
%100 KENEVİR ELYAF KOMPOZİT **(B)**	VAKUM İNF. +PRESLEME	30X30	1150	1150	1800	650	%36-%64
% 100 KENEVİR KUMAŞ KOMPOZİT**(C)**	VAKUM İNF. +PRESLEME	30X30	930	930	1960	960	%50-%50
%100 KENEVİR KUMAŞ VE ELYAF KARIŞIMI**(D)**	VAKUM İNF. +PRESLEME	30X30	1450	1450	2240	790	%35-%65
%50-%50 KENEVİR-KEVLAR KUMAŞ**(E)**	VAKUM İNF. +PRESLEME	30X30	960 G (400 GR KEVLAR)	960	1850	890	%31-%21-%48

Yukarıda sayılan işlemler sonucunda vakum torbalama yöntemi ve vakum infüzyon yöntemi ile numuneler elde edilmiştir. Geliştirilen kompozitlerin fiziksel özellikleri Tablo 2.4'te verilmiştir. Numuneler çalışmada **A, B, C, D, E** olarak kodlanmıştır.

2.2.2 Numunelerin Balistik Testleri

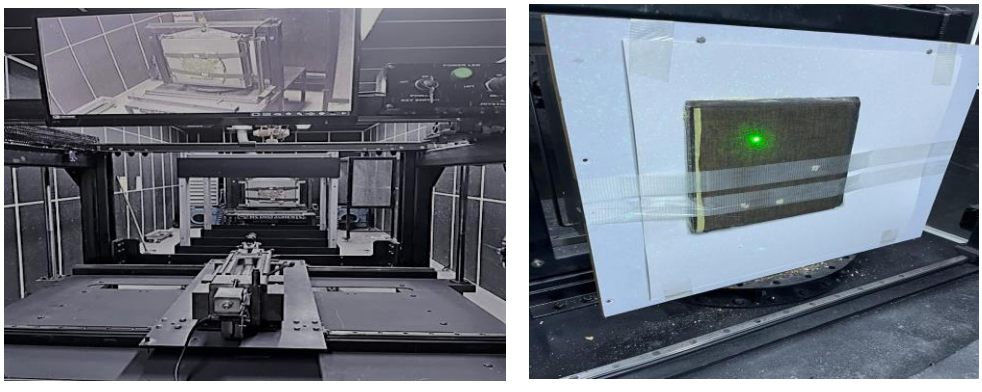
Numunelere yapılan testler CES Kompozit, Ankara ve ÖZTEK Tekstil A.Ş, Tekirdağ balistik laboratuvarlarında Ulusal Adalet Enstitüsü standartlarına göre (NIJ-STD-0101.06 IIA) yapılmıştır. Standartlar kapsamında elde edilen atış çıktıları ve görseller değerlendirilmiştir. Tüm numuneler laboratuvarda test öncesi %65±4 bağıl nem ve 20±2 C°'de kondisyonlamıştır. Kondisyonlama süresince yapılar dikey konumda sabitlenmiştir. Ayrıca standartta atış öncesinde numunelerin suya daldırma testi ve düşürme testi (kompozit yapısında seramik var ise) uygulanmaktadır (Şekil 2.16).

Kullanım ortamı gözlemlenerek yapılan bu modellemeler koruyucu ürünlerin genel tanımlamaları dikkate alınarak yapılmaktadır. Yapılan testlerin Türkiye'de sayılı akredite tesislerde yapılmış olması maksimum güvenilirlik için önemlidir.



Şekil 2.16. Suya daldırma (sol) ve Düşürme testi (sağ)

Dinlendirme sonrası numuneler aşağıdaki gibi (Şekil 2.17) düzeneğe yerleştirilmiştir. Namlu ve mühimmat ayarı ve yerleşim yeri ve numune üzerinde atış yapılacak nokta gibi lazer işareti ile belirlendikten sonra ilgili standarda göre gerekli güvenlik önlemi alınarak atış numunelere yapılmıştır. Numunelere ait atış öncesi, sonrası görüntüler ve atışa ait bilgiler aşağıdaki Tablo 4.1'de belirtilmiştir. Atışlar da kullanılan mühimmat 9x19mm Luger FMJ ve ağırlığı (çekirdek ağırlığı 8) 12 gramdır. Atışlar NIJ-STD-0101.06 IIA standardına uygun olarak yapılmıştır. Test esnasında mermi hızı 373±9,1m/s'dir ve standart sınırlarında kabul edilmektedir.

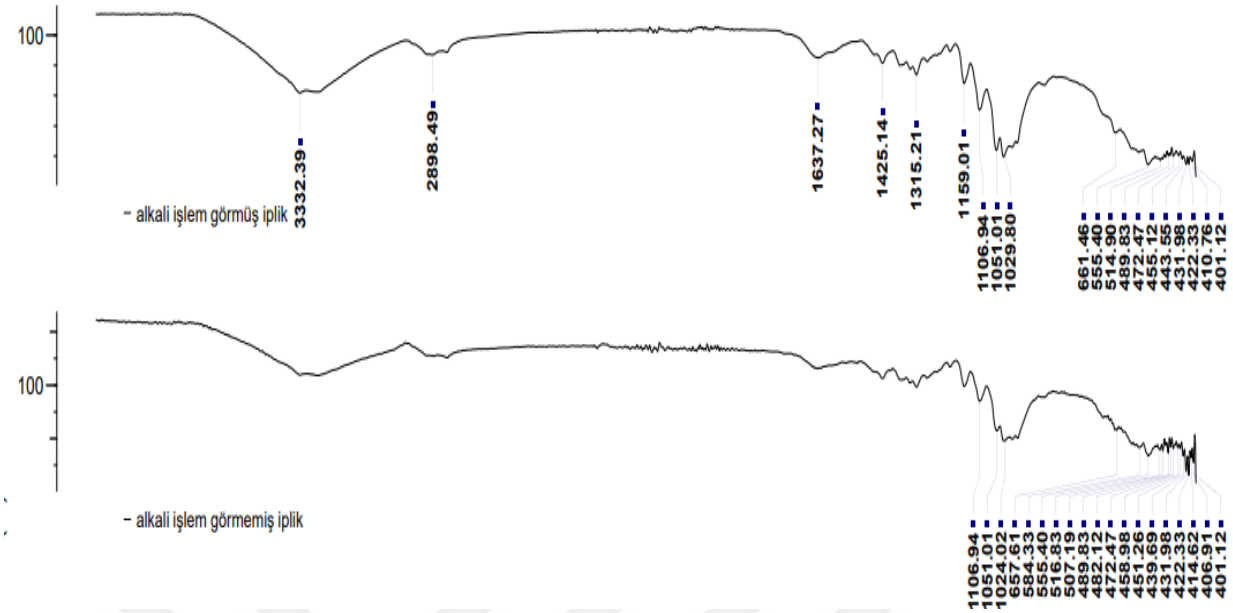


Şekil 2.17. Atış düzeneği ve lazer işaretinin alınması

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

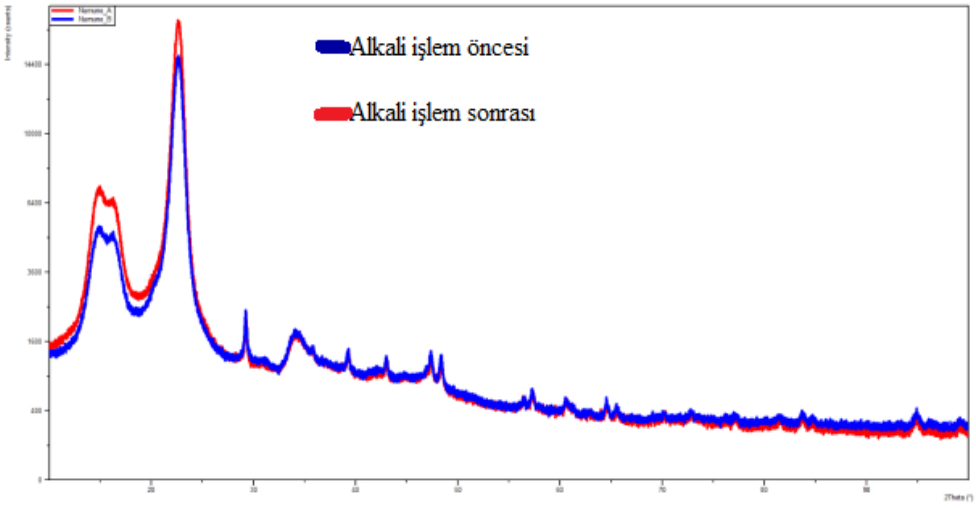
İplik mukavemet testlerinde alkali işlem öncesi ve sonrası genel değerlendirmeler yapılmıştır. Alkali işlemin iplik mukavemetini artırdığı gözlemlenmiştir. Bu artış dikkate değerdir. Yaklaşık %15-20 aralığında ki mukavemet iyileştirmesi sağlanmıştır. Alkali işlemin elyaf üzerinde dayanaklığının artmasına ve selüloz içeriğini artırarak daha esnek bir yapıya dönüşmesini sağlamıştır. İplik paketlenmesini arttırarak yapı içerisindeki boşluk ve düzgünsüzlüklerin azaltılması ile de iplikte mukavemet artışı oluşmuştur. Koruyucu yapı tasarım ve üretiminde mukavemetteki artışlar yapıya ek özellik katmaktadır. İplik mukavemet artışı kumaş yapısını da olumlu yönde etkilemektedir. Tüm artışlara rağmen kenevir iplik mukavemeti kevlar ipliğinin mukavemetinden oldukça düşük seviyededir. Bu veriler ışığında daha düşük koruma gereksinim ihtiyacı olan yapılarda kenevirin kullanımı planlanacaktır. Kenevir/kevlar karışımlı kompozitlerin üretilmesi ile optimum koruma sağlanması amaçlanmıştır. Kevlar ile kenevir bileşenlerinin optimum seviyede bir araya getirilmesi ve optimum noktanın bulunması önemli bir amaçtır. %50/50 kumaş/kumaş takviyesi potansiyel koruma sağlama özelliğine sahiptir.

Kenevir lifi içerisinde selüloz, lignin ve hemiselüloz içerir. Bu sebeple alkali işlem görmüş ve alkali işlem görmemiş iplik FTIR test analizde (Şekil 3.1) işlem görmüş ipliğin iplik 3332.29 cm^1 dalga pik OH bağları arasındaki gerilmeler meydana gelmiştir. 2898.49 cm^1 pik ise -CH_2 grubunda bulunan C-H gerilme titreşimine karşılık gelmektedir. İşlem görmemiş iplikte bu pikler görülmemiş her iki numunede parmak izi bölgesinde (400-1200 $cm^{1)}$ herhangi bir değişiklik görülmemiştir.



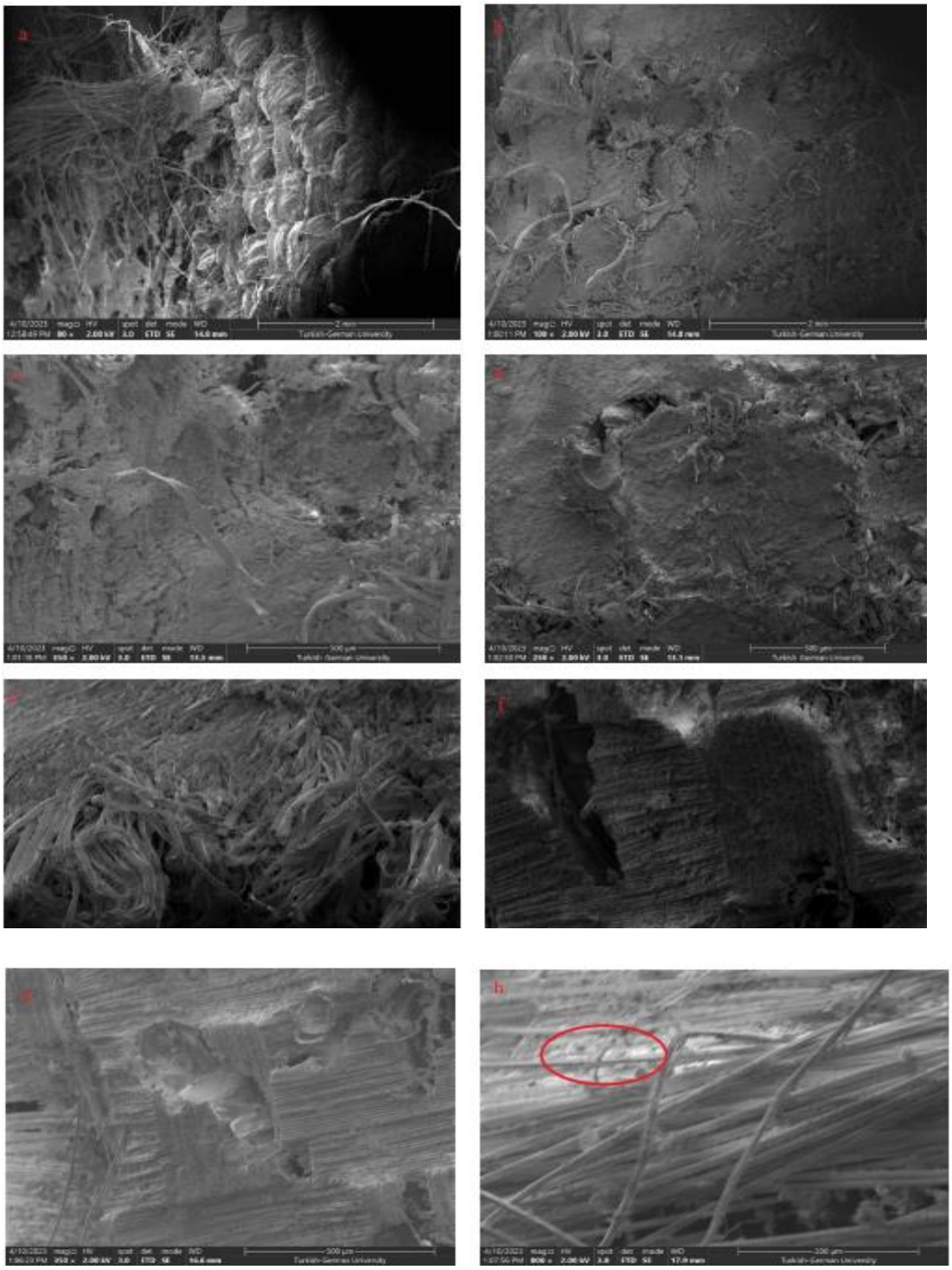
Şekil 3.1. Alkali işlem görmüş/görmemiş kenevir ipliğin FTIR spektrumu

Alkali işlem görmüş iplik ve işlem görmemiş iplik kenevir ipliklerine ait saflık ve kristal yapı analizleri X-Işını Kırınım (XRD) yöntemi ile belirlenmiştir. Analiz XRD cihazı (Panalytical, Empreyan) kullanılarak 45 kV ve 40 mA modunda gerçekleştirilmiştir. Analiz esnasında 2Theta (2θ) bölgesi 0.01^0 aralıklar ile 0.01 s/dk hızda taranmıştır. 10^0-90^0 aralığında gerçekleştirilen tarama neticesinde numunelerde 22.5^0 derece civarında (002) düzlemine ait karakteristik selüloz pikleri tespit edilmiştir. Analize ait grafikler Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde alkali işlem öncesi ve sonrası XRD grafiğinde 0-20^o arasında X ekseni altında kalan alanın genişlediği ve bunun sebebinin ise amorf bölgelerin artığı ve kristalin bölgelerin azalması olarak görülmektedir.



Şekil 3.2. Alkali işlem görmüş/görmemiş kenevir ipliğin XRD grafiği

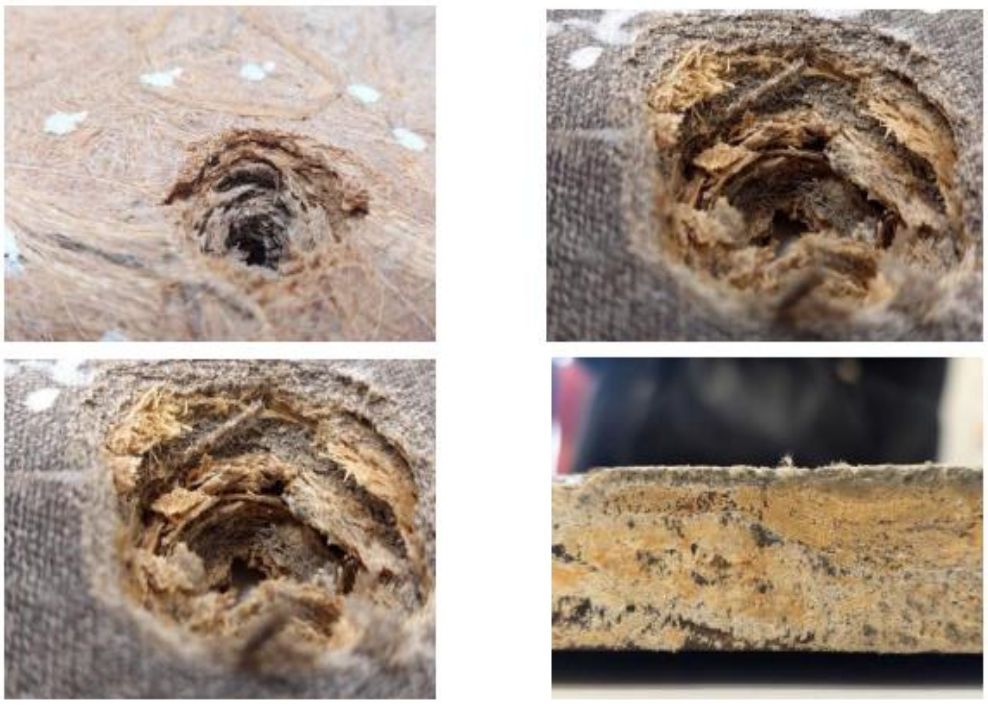
E kompozitine ait SEM analizlerinde (Şekil 3.3) kompozitte kullanılan takviye elemanlarından; kenevir elyafın epoksi reçineyi etkili bir şekilde emdiği gözlemlenmiştir. Kevlar elyafın yüzeyinde kaldığı elyaf içine tam olarak absorbe olmadığı ortaya konulmuştur. Doğal liflerin ana özelliklerinden olan absorblama yapışma için bir avantajdır. Bu yapışma esnasında amorf ve kristalin yapıları etkilenir. Bu etkileşim yapı ve reçinenin uyumuyla pozitif yönde gelişebilmektedir. Kenevir kumaşın kompozit etrafında diğer katmanlardaki kenevir kumaşlara yapışarak sağlam bir yapı oluşturduğu iç tarafta kalan kevlar kumaşın ise yapıya daha fazla mukavemet kattığı gözlemlenmiştir. Katmanlar arası yapısal fark ile darbe dayanımı kadar ısıl dayanımda optimum seviyelerde tasarlanabilecektir. Doğal/sentetik yapılarının üstün özelliklerinin birleştirilmesi son ürün davranışlarını önemli şekilde etkilemektedir. Isıl soğurma için kullanılan jellerin görevinin doğal elyaf takviyesi ile tasarlamak kısmen mümkündür.



Şekil 3.3. E kompozitine ait SEM görüntüleri

Bu tez çalışması ana amacı kenevir bitkisinden elde edilen farklı kombinasyonlardaki numunelerin NIJ-STD-0101.06 II-A standardına uygun balistik kompozit yapısı elde etmektir ve balistik kompozitlerde kullanılan kevlar ve türevleri gibi sentetik elyafın

kullanımını azaltmak ve alternatif sürdürülebilir yapıların koruyucu tekstillerde kullanımını sağlamaktır. (A ve B kompozitleri) ve epoksi reçine ile elde edilmiştir ve bu üretimlerde A numunesinde vakum torbalama yöntemi, B numunesinde ise vakum infüzyon yöntemi kullanılmıştır. Her iki yöntemle de elde edilen numuneler 9x19 mm mermiler yapılan atış testlerinde başarısız olmuştur. Liflerden beklenilen performans elde edilememiştir ve çalışma %100 kenevirden elde edilen kumaşa (C kompoziti) yönelmiştir. Aynı epoksi reçine ve aynı uygulama yöntemiyle katmanlar kumaş-elyaf (D kompoziti) hibrit bir çalışmasıyla iki adet daha kompozit kombinasyonu üretilmiştir ve o kompozitlerde 9X19 mm kurşunlara karşı beklenen seviyede etkili olmamıştır. Kurşun teması ile oluşan ısıl değişim kenevir lifine zarar vererek yapıyı bozmuştur. Katmanlar arası dayanım farkı da yapının genel davranışını olumsuz etkilemiştir (Şekil 3.4). Gelecek çalışmalarda kenevirin ısıl dayanımını (güç tutuşurluk apresi gibi) arttırıcı proseslerin üretime dahil edilmesi ile iyileştirme sağlanabilir.

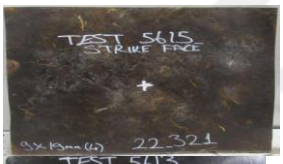
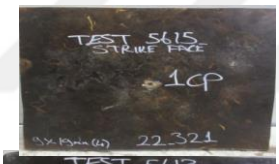
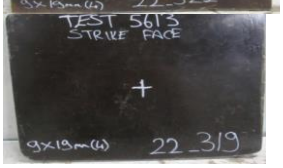
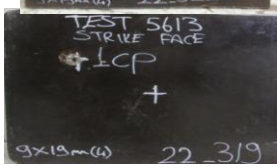
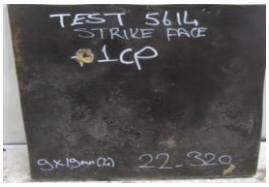
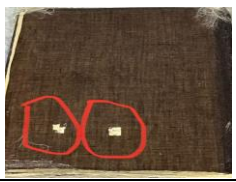


Şekil 3.4 Atış sonrası numunelerin ön yüzündeki görüntüler

Bu çalışma dahilinde kompozitin (E kompoziti) ara katmanlarına; yine aynı epoksi reçine ve aynı uygulama yöntemiyle destekleyici kevlar kumaş eklenmiştir. Kompozit 9X19 mm kurşunu geçirmemiş arkada da çok az ve standartlar dahilinde bir etki bırakmıştır. Bu sonucun, kumaş ve iplik testlerinde değerlerinden anlaşıldığı üzere kevlar kumaşın

dayanımının kenevir kumaşına göre yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kenevir kumaşın kevlar ile kullanılması yapıdaki sentetik oranını düşürerek potansiyel koruma sağlaması çalışma kapsamında umut verici bir sonuç olarak değerlendirilmektedir. Özellikle kenevir iplik ve kumaş yapısına ek bitim işlemlerinin yapılmadan kullanılması ve kısmı koruma sağlaması gelecek çalışmalar için umut vericidir. %50/50 olan karışım oranlarının farklı kombinasyon ile optimum seviyeye ulaşılmaya çalışılması önemli gelecek çalışmalardandır.

Tablo 3.1. Üretilen numunelerin atış öncesi görünüşleri

Numuneler	Atış öncesi görünüş	Atış sonrası ön görünüş	Atış sonrası arka görünüş	Sonuç
A				**Tam delinme (başarısız)**
B				**Tam delinme (başarısız)**
C				**Tam delinme (başarısız)**
D				**Tam delinme (başarısız)**
E				**Kısmı delinme (başarılı)**

4. SONUÇ

Kenevir gibi sürdürülebilir bir ham malzemenin ileri teknik tekstil yapılarına dönüştürülmesi çalışmanın ana amacıdır. Bu kapsamda ilk kez yapılan bu çalışma hem yerli elyafın işlenmesi ve kompozit üretimi hem de yabancı üretim ipliklerle elde edilen kumaşların balistik performanslarının değerlendirilmesi açısından önemlidir. Yerli tohumlar ile tüm tarım sürecinin sürdürülebilir yapılması çalışmanın önemli yönlerindendir. Araştırma özellikle balistik testlerin değerlendirilmesi açısından gelecek çalışmalara kaynak oluşturacaktır. Kenevirin yapısal dayanımı kevlara kıyasla çok düşüktür. Kenevirin ileri balistik kullanımının sağlanması için kevlarla birlikte kullanılmasıyla mümkündür. Kimyasal yöntemlerle kenevire ek özellikler kazandırılması ve bu özelliklerin koruyucu etkisi mümkün olacağı düşünülmektedir. Örneğin; çalışmada elde edilen iplik yapı analizleri incelendiğinde alkali işlemin kenevir iplik mukavemetini arttırdığı gözlenmiştir. Bu işleme ek olarak güç tutuşurluk özelliği kazandırılması balistik davranışı olumlu yönde etkileyeceği düşünülmektedir. Balistik koruma amacıyla kullanımının yanında kenevir kesme ve delme potansiyelinin de değerlendirilmesi önemlidir. Özellikle günlük giysi üretimine/kullanımına olanak sağlayan koruyucu giysi ıslak çekim kenevir ipliği ile mümkün olabileceği düşünülmektedir.

FTIR analizlerinde alkali işlemin -OH bağlarında uçlanmaya yol açtığı, XRD analizleriyle de amorf bölgelerin arttığı sonucuna varılmıştır ve birbirlerini destekler niteliktedir.

SEM analizlerinde ise epoksi reçinenin doğal liflere uyum sağladığı ve lif yüzeyine sağlam bir şekilde tutunduğu, kevlar lifine ise tam tutunmadığı gözlemlenmiştir. Yapısal yüzey davranışları ve kristalin/amorf alan oranları yapışmayı doğrudan etkileyen etmenlerdir.

Genel olarak kenevir/kevlar kumaş ile elde edilen kompozitler balistik performans gösterme potansiyeline sahiptir. Umut verici bu bulguların farklı karışım oranları, çeşitli epoksiler ve kumaş doku değişimi ile daha iyi seviyelere ulaşacağı düşünülmektedir. Özellikle hafif koruyucu yapılarda kenevir kullanımının yaygınlaşacağı düşünülmektedir. Kademeli olarak doğal/sentetik takviye oranlarıyla optimum güvenlik aralığına ulaşılabileceği düşünülmektedir. İleriki çalışmalarda modelleme ile daha hızlı sonuç

alınacağı düşünülmektedir. İlerleyen yıllarda hem üretim tekniklerinin hem de reçine teknolojinin gelişmesiyle Petro-kimya ürünlerine ikame edebilecek biyo-kompozitler elde edilebilecek aynı zamanda hem maliyet hem de çevre açısından faydalı ürünler ortaya çıkmasında katkı sağlayacaktır.

Son olarak; ülke ekonomisine katkı sağlama potansiyeline sahip olan kenevir bitkisinin katma değerli ürünlere dönüştürülmesi önemlidir. Hazır giyim ve endüstriyel alanda kenevir kullanımını sürdürülebilirlik açısından zorunludur. Dolayısıyla bu bitkinin gelecekte de geçmişte olduğu gibi önemli bir yer tutacağı çoğu uluslararası raporlarda belirtilmiştir. Kenevir bitkisinin hak ettiği yeri alabilmesi için daha çok bilimsel çalışma yapılması elzemdir. Yanlış bilginin fazlaca çevrelediği kenevir bitki ve ürünlerinin yaygınlaşması için bilimsel çalışmaların sayısını arttırarak gerekli altyapının oluşturulması tekstil ve teknik tekstil sektörü için oldukça önemlidir.

KAYNAKÇA

[1] G. Caprino, L. Carrino, M. Durante, A. Langella, ve V. Lopresto, "Low impact behaviour of hemp fibre reinforced epoxy composites", *Composite Structures*, c. 133, ss. 892-901, Ara. 2015, doi: 10.1016/j.compstruct.2015.08.029.

[2] S. Taj, M. A. Munawar, ve S. Khan, "Natural fiber-reinforced polymer composites", *Proceedings-Pakistan Academy of Sciences*, c. 44, sy 2, s. 129, 2007.

[3] A. Mahesh, B. M. Rudresh, ve H. N. Reddappa, "Potential of natural fibers in the modification of mechanical behavior of polypropylene hybrid composites", *Materials Today: Proceedings*, c. 54, ss. 131-136, Oca. 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2021.08.195.

[4] P. Gohil, K. Patel, ve V. Chaudhary, "2 - Natural fiber-reinforced polymer composites: A comprehensive study on machining characteristics of hemp fiber-reinforced composites", içinde *Biomass, Biopolymer-Based Materials, and Bioenergy*, D. Verma, E. Fortunati, S. Jain, ve X. Zhang, Ed. Woodhead Publishing, 2019, ss. 25-50. doi: 10.1016/B978-0-08-102426-3.00002-3.

[5] S. Jamian, S. N. Ayob, M. R. Z. Abidin, ve N. H. M. Nor, "Fabrication of functionally graded natural fibre/epoxy cylinder using centrifugal casting method", *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, c. 11, sy 4, ss. 2327-2331, 2016.

[6] D. De Fazio, L. Boccarusso, ve M. Durante, "Tribological Behaviour of Hemp, Glass and Carbon Fibre Composites", *Biotribology*, c. 21, s. 100113, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.biotri.2019.100113.

[7] M. Ramesh, "Hemp, jute, banana, kenaf, ramie, sisal fibers", içinde *Handbook of Properties of Textile and Technical Fibres*, Elsevier, 2018, ss. 301-325.

[8] F. G. Torres ve S. F. Bush, "Sheet extrusion and thermoforming of discrete long glass fibre reinforced polypropylene", *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, c. 31, sy 12, ss. 1289-1294, Ara. 2000, doi: 10.1016/S1359-835X(00)00004-X.

[9] F. Altınışık ve F. B. Yılmaz, "Hasat Sonrası Muz Bitkisi Atıklarından Elde Edilen Doğal Liflerin Plastik Bazlı Kompozitlerde Takviye Elemanı Olarak Kullanılması", PhD Thesis, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Mezitli …, 2006.

[10] P. K. Malik, "Fiber Reinforced Composites: Manufacturing and Design". Marcel Dekker, New York, 1990.

[11] M. Harmancıoğlu ve G. Yazıcıoğlu, *Bitkisel lifler*. Ege Üniversitesi, 1979.

[12] Y. Özdemir, "Biyo-kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Geliştirilmesi", PhD Thesis, Marmara Universitesi (Turkey), 2019.

[13] M. Muzyczek, "The use of flax and hemp for textile applications", içinde *Handbook of natural fibres*, Elsevier, 2020, ss. 147-167.

[14] "How to Identify Female and Male Marijuana Plants: 9 Steps", *wikiHow*. https://www.wikihow.com/Identify-Female-and-Male-Marijuana-Plants (erişim 28 Kasım 2022).

[15] S. Aytaç, "Endüstriyel Kenevir Gerçeği ve Ülkemizdeki Durum", *Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Endüstriyel Kenevir Gerçeği Paneli*, c. 2, sy 3, 2018.

[16] G. Gedik, O. O. Avinç, ve A. Yavaş, "Hemp fiber properties and its advantages in textile industry", *Electron J Text Technol*, c. 4, sy 3, ss. 39-48, 2010.
[17] P. E. Özşeker, A. Dip, N. Dağlıoğlu, ve M. K. Gülmen, "Synthetic Cannabinoids: A new generation marihuana", *TURKISH JOURNAL OF FAMILY PRACTICE*, c. 21, sy 1, ss. 34-40, 2017.
[18] M. Mangut ve N. Karahan, "Textile fibers". Bursa, Turkey: Ekin Kitabevi, 2011.
[19] E. Ulaş, *Gerçek köye dönüş projesi: kenevir*. Hiperlink eğit. ilet. yay. san. tic. ve ltd. sti., 2018.
[20] R. Blackburn, *Biodegradable and sustainable fibres*, c. 47. Taylor & Francis US, 2005.
[21] S. Amaducci ve H. J. Gusovius, "Hemp–cultivation, extraction and processing", *Industrial applications of natural fibres: structure, properties and technical applications*, ss. 109-134, 2010.
[22] J. Müssig, H. Fischer, N. Graupner, ve A. Drieling, "Testing methods for measuring physical and mechanical fibre properties (plant and animal fibres)", *Industrial applications of natural fibres: structure, properties and technical applications*, ss. 267-309, 2010.
[23] A. Zykwinska, J.-F. Thibault, ve M.-C. Ralet, "Competitive binding of pectin and xyloglucan with primary cell wall cellulose", *Carbohydrate Polymers*, c. 74, sy 4, ss. 957-961, Kas. 2008, doi: 10.1016/j.carbpol.2008.05.004.
[24] M. Sorieul, A. Dickson, S. J. Hill, ve H. Pearson, "Plant fibre: molecular structure and biomechanical properties, of a complex living material, influencing its deconstruction towards a biobased composite", *Materials*, c. 9, sy 8, s. 618, 2016.
[25] R. R. Franck, *Bast and other plant fibres*, c. 39. Crc Press, 2005.
[26] C. H. Lee, A. Khalina, S. Lee, ve M. Liu, "A comprehensive review on bast fibre retting process for optimal performance in fibre-reinforced polymer composites", *Advances in Materials Science and Engineering*, c. 2020, 2020.
[27] N. Reddy ve Y. Yang, "Biofibers from agricultural byproducts for industrial applications", *TRENDS in Biotechnology*, c. 23, sy 1, ss. 22-27, 2005.
[28] M. J. John ve S. Thomas, "Biofibres and biocomposites", *Carbohydrate polymers*, c. 71, sy 3, ss. 343-364, 2008.
[29] K. Sukumaran, K. G. Satyanarayana, S. G. K. Pillai, ve K. K. Ravikumar, "Structure, physical and mechanical properties of plant fibers of Kerala", *Metals Materials and Processes*, c. 13, sy 2/4, ss. 121-136, 2001.
[30] D. N. Saheb ve J. P. Jog, "Natural fiber polymer composites: a review", *Advances in Polymer Technology: Journal of the Polymer Processing Institute*, c. 18, sy 4, ss. 351-363, 1999.
[31] C. Kuranchie, A. Yaya, ve Y. D. Bensah, "The effect of natural fibre reinforcement on polyurethane composite foams – A review", *Scientific African*, c. 11, s. e00722, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.sciaf.2021.e00722.
[32] T. T. L. Doan, "Investigation on jute fibres and their composites based on polypropylene and epoxy matrices", 2006.
[33] X. Li, L. G. Tabil, ve S. Panigrahi, "Chemical treatments of natural fiber for use in natural fiber-reinforced composites: a review", *Journal of Polymers and the Environment*, c. 15, sy 1, ss. 25-33, 2007.
[34] I. Van de Weyenberg, J. Ivens, A. De Coster, B. Kino, E. Baetens, ve I. Verpoest, "Influence of processing and chemical treatment of flax fibres on their composites", *Composites science and technology*, c. 63, sy 9, ss. 1241-1246, 2003.

[35] X. Y. Liu ve G. C. Dai, "Surface modification and micromechanical properties of jute fiber mat reinforced polypropylene composites", *Express Polymer Letters*, c. 1, sy 5, ss. 299-307, 2007.
[36] Y. Seki, "Innovative multifunctional siloxane treatment of jute fiber surface and its effect on the mechanical properties of jute/thermoset composites", *Materials Science and Engineering: A*, c. 508, sy 1-2, ss. 247-252, 2009.
[37] A. K. Bledzki ve J. Gassan, "Composites reinforced with cellulose based fibres", *Progress in polymer science*, c. 24, sy 2, ss. 221-274, 1999.
[38] J. George, M. S. Sreekala, ve S. Thomas, "A review on interface modification and characterization of natural fiber reinforced plastic composites", *Polymer Engineering & Science*, c. 41, sy 9, ss. 1471-1485, 2001.
[39] R. Agrawal, N. S. Saxena, K. B. Sharma, S. Thomas, ve M. S. Sreekala, "Activation energy and crystallization kinetics of untreated and treated oil palm fibre reinforced phenol formaldehyde composites", *Materials Science and Engineering: A*, c. 277, sy 1-2, ss. 77-82, 2000.
[40] K. Sever, M. Sarikanat, Y. Seki, G. Erkan, ve Ü. H. Erdoğan, "The mechanical properties of γ-methacryloxypropyltrimethoxy silane-treated jute/polyester composites", *Journal of composite Materials*, c. 44, sy 15, ss. 1913-1924, 2010.
[41] P. Majumdar, S. Chanda, P. Majumdar, ve S. Chanda, "Chemical profile of some lignocellulosic crop residues", *Indian J. Agric. Biochem*, c. 14, sy 1, ss. 29-33, 2001.
[42] S. Mishra, M. Misra, S. S. Tripathy, S. K. Nayak, ve A. K. Mohanty, "Graft copolymerization of acrylonitrile on chemically modified sisal fibers", *Macromolecular materials and engineering*, c. 286, sy 2, ss. 107-113, 2001.
[43] G. Gedik ve O. Avinc, "Hemp Fiber as a Sustainable Raw Material Source for Textile Industry: Can We Use Its Potential for More Eco-Friendly Production?", içinde *Sustainability in the Textile and Apparel Industries: Sourcing Natural Raw Materials*, S. S. Muthu ve M. A. Gardetti, Ed. Cham: Springer International Publishing, 2020, ss. 87-109. doi: 10.1007/978-3-030-38541-5_4.
[44] S. Behera, R. K. Gautam, S. Mohan, ve A. Chattopadhyay, "Hemp fiber surface modification: Its effect on mechanical and tribological properties of hemp fiber reinforced epoxy composites", *Polymer Composites*, c. 42, sy 10, ss. 5223-5236, 2021, doi: 10.1002/pc.26217.
[45] K. Promhuad *vd.*, "Applications of Hemp Polymers and Extracts in Food, Textile and Packaging: A Review", *Polymers*, c. 14, sy 20, Art. sy 20, Oca. 2022, doi: 10.3390/polym14204274.
[46] A. Paul, K. Joseph, ve S. Thomas, "Effect of surface treatments on the electrical properties of low-density polyethylene composites reinforced with short sisal fibers", *Composites Science and Technology*, c. 57, sy 1, ss. 67-79, 1997.
[47] J. A. Khan, M. A. Khan, R. Islam, ve A. Gafur, "Mechanical, thermal and interfacial properties of jute fabric-reinforced polypropylene composites: effect of potassium dichromate", *Materials Sciences and Applications*, c. 1, sy 06, s. 350, 2010.
[48] H. Kadoğlu, "Open-end rotor iplik eğirme teknolojisi", *Baskı, Ege üniversitesi Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma ve Uygulama Merkezi Yayını*, 2004.
[49] A. A. Crangle, J. P. Heaney, B. J. Hill, R. McIlhagger, ve M. Lyttle, "Improvements to the wet spinning of flax: Part II–the effect of breast beam draft control measures on the physical characteristics of wet spun linen yarns", *Journal of the Textile Institute*, c. 96, sy 1, ss. 29-36, 2005.

[50] D. Mecit, S. ILGAZ, D. DURAN, G. BAŞAL, T. GÜLÜMSER, ve I. TARAKÇIOĞLU, "Teknik tekstiller ve kullanım alanları (bölüm 2)", *Tekstil ve Konfeksiyon*, c. 17, sy 3, ss. 154-160, 2007.
[51] "TS 245 EN ISO 2062 Tekstil-Paketlerden alınan iplikler-Tek ipliğin kopma mukavemetinin ve kopma uzamasının tayini".
[52] Faruk BOZDOĞAN, *Fiziksel Tektil muayeneleri*. iZMİR: Ege Üniversitesi tekstil ve konfeksiyon araştırma uygulama merkezi yaınları, 2010.
[53] "TS EN ISO 13934-1 Tekstil - Kumaşların gerilme özellikleri - Bölüm 1:En büyük kuvvetin ve en büyük kuvvet altında boyca uzamanın şerit yöntemiyle tayini".
[54] "TS EN ISO 13937-4 Tekstil- Kumaşların yırtılma özellikleri- Bölüm 4: Dil biçimindeki deney numunelerinin yırtılma kuvvetinin tayini (çift yırtma deneyi".
[55] "TS EN ISO 12947-4 Tekstil - Martindale metoduyla kumaşların aşınmaya karşı dayanımının tayini- Bölüm 4: Görünüşteki değişikliğin değerlendirilmesi".
[56] M. Saçak, *Polimer teknolojisi*. Gazi Kitabevi, 2012.
[57] M. S. Ersoy, "Lif takviyeli polimerik kompozit malzeme tasarımı", Master's Thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.
[58] E. Vatangül, "Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi ve Ansys 10 Programi ile Isil Gerilme Analizi", *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Bitirme Projesi*, s. 87, 2008.
[59] H. Yıldızhan, "Polimer matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi", PhD Thesis, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
[60] A. Ezdeşir, E. Erbay, İ. Taşkıran, M. A. Yağcı, M. Cöbek, ve T. Bilgiç, "Polimerler I", *Pagev Yayınları, İstanbul*, 1999.
[61] S. Mazumdar, *Composites manufacturing: materials, product, and process engineering*. CrC press, 2001.
[62] G. G. Trantina ve R. Nimmer, *Structural analysis of thermoplastic components*. McGraw-Hill Professional Publishing, 1994.
[63] Ç. Ahmet, G. SÜPÜREN, Z. E. KANAT, T. GÜLÜMSER, ve I. TARAKÇIOĞLU, "BALLISTIC FIBERS (Part 1)", *Textile and Apparel*, c. 17, sy 4, ss. 232-236.
[64] D. VIII, "Beş Yıllık Kalkınma Planı,'Plastik Ürünleri Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Raporu'". DPT.
[65] A. C. Wibowo, A. K. Mohanty, M. Misra, ve L. T. Drzal, "Chopped industrial hemp fiber reinforced cellulosic plastic biocomposites: thermomechanical and morphological properties", *Industrial & engineering chemistry research*, c. 43, sy 16, ss. 4883-4888, 2004.
[66] D. Gay ve S. V. Hoa, *Composite materials: design and applications*. CRC press, 2007.
[67] F. S. da Luz, S. N. Monteiro, E. S. Lima, ve É. P. Lima, "Ballistic application of coir fiber reinforced epoxy composite in multilayered armor", *Materials Research*, c. 20, ss. 23-28, 2017.
[68] L. F. C. Nascimento, L. H. L. Louro, S. N. Monteiro, É. P. Lima, ve F. S. da Luz, "Mallow Fiber-Reinforced Epoxy Composites in Multilayered Armor for Personal Ballistic Protection", *JOM*, c. 69, sy 10, ss. 2052-2056, Eki. 2017, doi: 10.1007/s11837-017-2495-3.
[69] E. T. ÖZDEMİR, "ENERJİDE KOMPOZİT: RÜZGÂR TÜRBİN KANATLARI".
[70] "Introduction to protective textiles", *Protective Textiles from Natural Resources*, ss. 3-38, Oca. 2022, doi: 10.1016/B978-0-323-90477-3.00023-7.

[71] http://www.ptj.com.pk/Web-2009/12-09/Muhammad-Kamran-Iqbal.htma, http://www.ptj.com.pk/Web-2009/12-09/Muhammad-Kamran-Iqbal.htm a
[72] A. A. Cerit, "Partikül ve fiber takviyeli alüminyum matrisli kompozitin balistik performansının incelenmesi". Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Makine …, 2004.
[73] Y. Akman, "Eskitmeye tabi tutulan kompozit başlıkların balistik testlerinin yapılması ve analizi", Master's Thesis, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
[74] ((tr.sodiummedia.com, 2019), ((tr.sodiummedia.com, 2019)
[75] (https://sanalgezinti.com/yeni/askeri-muze-harbiye/tr.html, tarih yok),
[76] H. Bulut, "Balistik Koruyucu Teçhizatın İmalatında Kompozit Malzeme Kullanımı", PhD Thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003.
[77] M. Uslu, "Docol 22 Mnb5 Çeliğinin Balistik Özelliklerinin İncelenmesi", PhD Thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
[78] M. Turan, "Tabakalı Kompozit Malzemelerde Yüksek Hızlı Darbe Hasarı", *Mühendis ve Makina*, c. 48, sy 575, ss. 3-8, 2007.
[79] W. Babcock ve D. Rose, "Composite preforms", *AMPTIAC Newsletter*, c. 5, sy 1, ss. 7-11, 2001.
[80] J. W. Hearle, *High-performance fibres*. Elsevier, 2001.
[81] R. A. Lane, "High performance fibers for personnel and vehicle armor systems", *Amptiac Quarterly*, c. 9, sy 2, ss. 3-9, 2005.
[82] A. Kadir Bilisik ve Y. Turhan, "Multidirectional stitched layered aramid woven fabric structures and their experimental characterization of ballistic performance", *Textile Research Journal*, c. 79, sy 14, ss. 1331-1343, 2009.
[83] W. S. De Rosset, "Patterned armor performance evaluation for multiple impacts", ARMY RESEARCH LAB ABERDEEN PROVING GROUND MD, 2003.
[84] K. Bilisik, "Multiaxis three-dimensional weaving for composites: a review", *Textile Research Journal*, c. 82, sy 7, ss. 725-743, 2012.
[85] K. Bilisik, "Three-dimensional braiding for composites: A review", *Textile Research Journal*, c. 83, sy 13, ss. 1414-1436, 2013.
[86] "TSE TS 11164 ve TS 13349 Numaralı standartlar"
[87] F. BOZDOĞAN, S. ÜNGÜN, E. TEMEL, ve G. S. MENGÜÇ, "BALİSTİK KORUMA AMAÇLI KULLANILAN TEKSTİL MATERYALLERİ, ÖZELLİKLERİ VE BALİSTİK PERFORMANS TESTLERİ", *Journal of Textiles and Engineer*, c. 2, 2015.
[88] M. ERDEM ve M. Türker, "7039 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ KAYNAK ÖNCESİ VE SONRASI MEKANİK VE BALİSTİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 26, sy 1, 2011.
[89] S. Y. Aly ve Q. M. Li, "Critical impact energy for the perforation of metallic plates", *Nuclear Engineering and Design*, c. 238, sy 10, ss. 2521-2528, 2008.
[90] "Ballistic Resistance of Body Armor NIJ Standard-0101.06", s. 89.

ÖZGEÇMİŞ

Sinan KOCAÖZ, ortaöğrenimini 2004-2008 yılları arasında Beşiktaş Atatürk Anadolu Lisesinde tamamladı ve bunu müteakip lisans öğrenimini 2009-2014 yıllarında Ege Üniversitesi Tekstil Mühendisliği bölümden tamamlamıştır.2015-2020 yılları arasında sırasıyla Ozon Tekstil A.Ş, Tayeks A.Ş ve Taha Giyim A.Ş şirketlerinde planlama mühendisi olarak çalışmıştır.2020 yılında ise Marmara Üniversitesi Tekstil Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine ve Askeri Fabrikalar Genel Müdürlüğü bağlısı Kara Dikimevi Müdürlüğünde halen yürütmekte olduğu görevine başlamıştır.