



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİYEL KENEVİRDEN KOMPOZİT MALZEME
GELİŞTİRİLMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tevfik Han OKÇUER

DANIŞMAN

Prof. Dr. Necmettin ŞAHİN

2.DANIŞMAN

Doç. Dr. Fazliye KARABÖRK

AKSARAY, 2021

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 182304403 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Tevfik Han OKÇUER tarafından hazırlanan “**ENDÜSTRİYEL KENEVİRDEN KOMPOZİT MALZEME GELİŞTİRİLMESİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Necmettin Şahin

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye:

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye:

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: /06/2021

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Mehmet Ali HINIS

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Tevfik Han OKÇUER

TEŞEKKÜR

Bu çalışma endüstriyel kenevir katkısıyla elde edilen kompozit malzeme ile endüstriyel iş eldivenin yüzeyinin kaplamasını inceleyen deneysel bir çalışmadır.

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren bilgi ve tecrübeleriyle katkı sağlayan danışman hocam Prof. Dr. Necmettin Şahin'e, 2.danışman hocam Doç. Dr. Fazliye KARABÖRK'e, disiplinler arası çalışmalarda katkı sağlayan hocam Dr. Öğr. Üyesi Lalehan AKYÜZ'e gönülden teşekkür ediyorum.

Çalışmalarımın gerçekleşmesinde ve imalat aşamasında yüksek katkıları olan, çalışmalarına ve laboratuvar kullanımına destek olan Okçuerler Tekstil'e teşekkür ederim.

Her daim arkamda duran, manevi desteğiyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan değerli aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Tezimin gerçekleşmesinde 2020-013 numaralı proje ile maddi destek sağlayan Aksaray Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

Tevfik Han OKÇUER
AKSARAY, 2021

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	4
3. TEORİK ARAŞTIRMALAR.....	11
3.1 Kompozit Malzemeler	11
3.1.1 Polimer matrisli kompozitler	13
3.1.2 Polimer matrisli kompozitlerde kullanılan takviye malzemeleri	14
3.2 Doğal Elyaf Takviyeleri	15
3.3 Endüstriyel Kenevir.....	16
3.3.1 Kenevir liflerinin morfolojisi ve kimyasal bileşimi.....	18
3.3.2 Kenevirin kompozit malzemelerde güçlendirici olarak kullanımı	20
3.3.3 Mekanik risklere karşı koruyucu eldivenler	22
4. MATERYAL VE METOD	25
4.1 Kullanılan Malzemeler	25
4.2 Kompozit Malzemelerin Hazırlanması ve Kaplama Uygulaması	25
4.3 Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu.....	29
4.3.1 Kompozit kaplamalara uygulanan mekanik testler	29
4.3.2 FTIR analizi	32
4.3.3 Termogravimetrik analiz (TGA).....	33
4.3.4 Taramalı elektron mikroskopisi (SEM)	33
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	35
5.1 Mekanik Testlerin Sonuçları	35
5.2 FTIR Analizi Sonuçları	38
5.3 Termogravimetrik Analiz Sonuçları.....	40
5.4 Taramalı Elektron Mikroskopisi İncelemeleri	42
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	48
KAYNAKLAR	50
ÖZGEÇMİŞ.....	53

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİYEL KENEVİRDEN KOMPOZİT MALZEME
GELİŞTİRİLMESİ

Tevfik Han OKÇUER

Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Necmettin ŞAHİN
2.Danışman: Doç. Dr. Fazliye KARABÖRK

ÖZET

Bu çalışmada iş sağlığı ve iş güvenliği kapsamının genişlemesi ile iş güvenliği açısından oluşabilecek tehditlere karşı önlem olarak kullanımı gün geçtikçe artan ve mekanik risklere karşı koruyucu olarak kullanılan donanımlardan birisi olan endüstriyel iş eldivenlerinin polimerik yüzey kaplamasının koruyucu performansının geliştirilmesi amacıyla endüstriyel kenevirin NBR ile birlikte kullanılarak oluşturulabilecek kompozit kaplama malzemesinin kullanılabilirliği konusu ele alınmıştır. Bu yüzey kaplaması yapılmış eldivenler genellikle aşınma, yırtılma ve delinme performansları bakımından test edilmekle birlikte, yapılan çalışmada, kaplama malzemesi olarak kullanılan NBR içine ağırlıkça %0,5, %2, %3,5 ve %5 oranlarında endüstriyel kenevir elyafı katılarak elde edilen kompozit malzeme kullanılarak da standartlara uygun olarak test edilmiştir. Ayrıca, doğal bir güçlendirici lif olan endüstriyel kenevir elyafın etkisini mukayese edebilmek amacıyla çok yaygın olarak kullanılan sentetik bir güçlendirici olan cam elyaf katılarak elde edilen kompozit malzeme de tekstil üzerine yüzey kaplaması olarak eldivenlere uygulanmıştır. Bu şekilde üretimi gerçekleşen eldivenler de aşınma, yırtılma ve delinme performans testlerine tabi tutulmuştur. Ardından da kompozit kaplamanın iç yapı özellikleri SEM, FTIR ve TGA testleri ile incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, kaplamanın kompozit olarak kullanılmasının mekanik etkilere karşı performansı arttırdığını ortaya koymuştur. Ayrıca kullanılan güçlendirici elyafın türüne ve miktarına bağlı olarak da performansın değiştiği gözlenmiş ve elde edilen detaylı sonuçlar çalışmada sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Endüstriyel kenevir elyaf, cam elyaf, akrilonitril bütadien kauçuk (NBR), kompozit kaplama, iş eldiveni

Haziran, 2021; 53 sayfa

M.Sc. THESIS

DEVELOPMENT OF COMPOSITE MATERIAL FROM INDUSTRIAL HEMP

Tevfik Han OKÇUER

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Necmettin ŞAHİN
2nd Supervisor: Assoc. Prof. Fazliye KARABÖRK**

ABSTRACT

This study focuses on the usability of industrial hemp by incorporating it into NBR to obtain a composite coating material with a view to improving the protective performance of the polymeric surface coating of industrial work glove that is increasingly used as a preventive equipment against potential risks threatening occupational safety within the widening scope of occupational health and safety, as well as against mechanical risks. While such gloves processed through surface covering are normally tested for abrasion, tear and puncture according to certain standards, this study also involves testing the usage of composite material that is obtained through the combination of industrial hemp at 0.5%, 2%, 3.5% and 5% proportionately into the NBR used as a coating material in line with standards. Furthermore, the composite material containing glass fiber - synthetic material widely used for reinforcement purposes - is also applied to gloves as the coating material on the surface of the textile with a view to comparing the effect of industrial hemp fiber, which is a natural reinforcing fiber. Gloves produced in this way have also been subjected to abrasion, tear and puncture performance tests. The structural features of the composite coating are then tested through SEM, FTIR and TGA. The results obtained reveal that using the coating as a composite enhances the performance against mechanical effects. Furthermore, it was observed that the performance changes depending on the type and amount of reinforcing fiber used and the results achieved are presented in detail.

Keywords: Industrial hemp fiber, glass fiber, acrylonitrile butadiene rubber (NBR), composite coating, work gloves.

June, 2021; 53 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Kenevir sapının enine kesitinin şematik diyagramı.....	19
Şekil 3.2. Kenevirin tek bir lif yapısının ve farklı tabakalarının 3-boyutlu görünümü.....	19
Şekil 3.3. Kenevir elyaf.	21
Şekil 3.4. Mekanik risklere karşı koruyucu eldiven örnekleri.	23
Şekil 3.5. TS EN 388 standardında numaralandırma sistemi.	24
Şekil 4.1. Kenevir elyafın boyutunun küçültülmesi.	26
Şekil 4.2. Kaplama öncesinde hazırlanan kompozit malzemeler. (a) NBR + Cam elyaf (b) NBR + kenevir elyaf (c) NBR + hibrit elyaf	28
Şekil 4.3. Kompozit yüzey kaplaması ve etüvde kürlenme aşaması.	29
Şekil 4.4. Kompozit kaplama uygulanmış ve kürlenmiş eldivenler.	29
Şekil 4.5. Aşınma test cihazı ve test numunesi.	30
Şekil 4.6. Yırtılma test cihazı ve testin uygulanması.	31
Şekil 4.7. Yırtılma testi numunesi.	31
Şekil 4.8. Delinme test cihazı	32
Şekil 4.9. Delinme testi numunesi	32
Şekil 4.10. FTIR analiz cihazı.....	33
Şekil 4.11. TGA analiz cihazı.....	33
Şekil 4. 12. SEM cihazı	34
Şekil 5.1. (a) Uygun şekilde kaplanmış numune, (b) Soyulmaların olduğu tekstil yüzeye tutunmanın az olduğu numune	36
Şekil 5.2. NBR+cam elyaf kompozit kaplama uygulanmış (a) topaklanma olmayan (b)topaklanma olan numuneler.....	37
Şekil 5.3. Hibrit kompozit kaplama uygulanan numune.....	38
Şekil 5.4. NBR içerikli yapının FTIR spektrumu	39
Şekil 5.5. %3,5 kenevir elyaf içerikli yapının FTIR spektrumu	39
Şekil 5.6. %3 kenevir elyaf ve %0,5 cam elyaf içerikli hibrit yapının FTIR spektrumu	40
Şekil 5.7. NBR içerikli yapının TGA eğrisi.....	41
Şekil 5.8. %3,5 kenevir elyaf içerikli yapının TGA eğrisi.....	41
Şekil 5.9. %3 kenevir ve %0,5 cam elyaf içerikli hibrit yapının TGA eğrisi	42
Şekil 5.10. NBR içerikli yapının (a), (b) Kumaş tarafından alınan SEM görüntüsü c)Kaplama tarafından alınan SEM görüntüsü	44
Şekil 5.11. %3,5 kenevir elyaf içerikli yapının (a), (b) Kumaş tarafından alınan SEM görüntüsü (c)Kaplama tarafından alınan SEM görüntüsü	45
Şekil 5.12. %3 kenevir elyaf ve %0,5 cam elyaf içerikli hibrit yapının (a), (b) Kumaş tarafından alınan SEM görüntüsü (c)Kaplama tarafından alınan SEM görüntüsü.....	47

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Doğal liflerin özellikleri	15
Çizelge 3.2. Doğal lifli kompozitlerin endüstriyel uygulama alanları.....	16
Çizelge 3.3. 1 kg elyaf üretimindeki çevresel parametreler.....	21
Çizelge 3. 4. Kenevir ile güçlendirilmiş polipropilen kompozitlerin mekanik özellikleri	22
Çizelge 3.5. Standartta verilen numaraların seviye ve özellik karşılıkları.	24
Çizelge 4.1. Kompozit kaplama malzemesinde kullanılan güçlendirici oranları	26
Çizelge 5.1. Mekanik test sonuçları.....	35



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CO₂	Karbondiyoksit
EIHA	Avrupa Kenevir Derneği Uluslararası Konferansı
EN	Avrupa Normu
FTP	Fiber Takviyeli Polimer
H₂O	Su
ISO	Uluslararası Standartlar Organizasyonu
KNT	Karbon Nanotüp
MMK	Metal Matrisli Kompozit
N	Newton
NBR	Nitril Bütadien Kauçuk
PALF	İnce Ananas Yaprığı Lifi
PMK	Polimer Matrisli Kompozit
PP	Polipropilen
PTP	Parçacık Takviyeli Polimer
SMK	Seramik Matrisli Kompozit
TS	Türk Standartları
UV	Ultraviyole

1. GİRİŞ

Malzemeler genellikle metaller, seramikler ve organik malzeme olarak üç ana grupta sınıflandırılır. Bu grupların birbirlerine karşı üstün ve zayıf yönleri bulunmaktadır. Bu grupların dışında önemli ölçüde farklı özelliklere sahip, iki veya daha fazla farklı türde malzemedan oluşan malzemeler ise kompozit malzemeler olarak tanımlanmaktadır. “Kompozit” kelime olarak, iki veya daha fazla ayrı parçadan oluşan anlamına gelmektedir. Bu bileşen malzemeler, makro ölçekte, fiziksel veya kimyasal yöntemlerle kısmen veya tamamen yeni performanslarla yeni bir malzeme oluşturmak için karıştırılır. Bir kompozit genellikle matris elemanlarından ve takviye elemanlarından oluşur. Matris, takviyeleri destekler, muhafaza ve stabilize eder, bileşimin belirli özelliklerini iyileştirir. Makro moleküler bileşikler (örneğin reçineler), metaller veya seramik malzemeler genellikle matris olarak kullanılır. Takviye olarak kullanılan malzemeler ise, takviye edici ve iyileştirici etkilerde birincil rol oynar, kompozitlerin ana performanslarını geliştirir ve kontrol eder. Takviye olarak, çeşitli elyaf ve partikül malzemeleri kullanılır. Bir kompozit, fiziksel ve kimyasal olarak bileşenlerin belirli özelliklerine ve bileşenlerin özelliklerine göre bazı gelişmiş özelliklere sahiptir. Kompozit yapılar arasında, eko-kompozitler (veya biyo-kompozitler), çevre dostu özelliklerinden dolayı yaklaşık on yıldan beri daha fazla ilgi çekmektedir. Çevre ve sürdürülebilirlik konularında, kullanımı önemli miktarlarda olan mevcut güncel materyallerin birçoğu çevreyi olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle yeşil teknoloji ve yenilenebilir kaynaklar gündeme gelerek insanlarda farkındalık yaratmak amaçlanmaktadır. Artan çevre bilinci, petrol kaynaklarının tükenmesi, kullanımdan sonra elden çıkarma sorunları ve yasama makamlarının toplumun yeni taleplerini yerine getirmek için yeni kurallar ve düzenlemeler getirmesi nedeniyle, yeni ürünler çevresel etkiyi en aza indirmelidir. Bu özellik, özellikle petrol polimerleri ve sentetik elyafların hala yaygın olarak kullanıldığı kompozit üretim alanında da geçerlidir. Bu kavram, malzemenin ve enerji kaynaklarının verimli kullanımı, atık yönetimi ve çevre üzerinde daha az etkili olan ürün ve teknolojilerin kullanımı ile doğrudan bağlantılıdır.

Kenevir, kenaf, jüt ve sisal gibi doğal lifler son yıllarda iyi mekanik özellikleri ve çevresel faydaları nedeniyle çok fazla dikkat çekmiştir. Biyo bazlı malzemelerin kullanımının hem çevreye etkileri hem de hafiflik gereksinimleriyle çok iyi uyuşması,

bunun yanında düşük maliyet, işleme sırasında daha az takım aşınması, yüksek mekanik özellikler gibi bu malzemelerin kullanımıyla ilgili büyük avantaj ve fırsatların olması, ayrıca yenilenebilir bir kaynak olarak bulunabilirliği, bu malzemelerin mühendislik uygulama alanlarını arttırmaya yönelik çalışmaların daha yoğun olarak yapılmasını teşvik etmektedir. Bu bakış açısına göre, kompozit malzemelerde takviye olarak doğal liflerin kullanımı gittikçe daha fazla ilgi çekmekte ve çok sayıda araştırma yapılmaktadır.

Doğal liflerden yapılan kompozitlerde istenilen mekanik özelliklere tam olarak ulaşamaması, bazı işlem zorlukları ve endüstrideki sentetik elyafların performansını yakalayabilme isteği araştırmacıları hibrit kompozit denemelerine de yönlendirmiştir. Böylece uygun maliyetli yüksek mekanik özelliklere sahip kompozitler elde edilebilir.

Hibrit kompozitler, geleneksel fiber takviyeli kompozitlere kıyasla daha gelişmiş kompozitlerdir. Diğer elyaf takviyeli kompozitlere kıyasla daha iyi esnekliğe sahiptirler. Genellikle düşük modüllü bir fiber ile yüksek modüllü bir fiber içerirler ve yüksek modüllü fiber, sertliği ve yük taşıma özelliklerini sağlarken düşük modüllü fiber, kompoziti daha fazla tolere eder ve malzemenin maliyetini düşük tutar. Bir hibrit kompozitin mekanik özellikleri, hacim oranının değiştirilmesi ve farklı fiber dizilimleri ile değiştirilebilir.

Son yıllarda yapılan kompozit malzeme çalışmalarında doğal elyafların takviye malzemesi olarak kullanımının yaygınlaştığını ortaya koyan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Endüstriyel kenevir bu amaçla kullanılan ve sentetik elyaflarla kıyaslanabilecek yeterli mekanik özelliklerine ek olarak iyi elektrostatik özellikler, emicilik, UV koruması ve anti alerjik olma gibi özellikleriyle öne çıkan doğal bir elyaftır. Bu konudaki çalışmalar ulusal ve uluslararası desteklerle teşvik edilmektedir. Bunun nedenlerinin başında; sentetik liflerin çoğunluğunun petrol türevi hammaddelerden üretiliyor olması, bundan kaynaklanan çevresel etkiler, üretim zorluğu, maliyet, geri dönüştürülerek kullanım imkanının olmaması ve doğal liflerin bu konularda sağlayacağı katkılar konusunda beklentilerin yüksek olması gelmektedir.

Bu çalışmada, mekanik risklere karşı koruyucu olarak kullanılan NBR (nitril bütadien kauçuk) kaplı tekstil eldivenin kaplama performansının, NBR içine endüstriyel kenevir katılarak oluşturulan kompozit kaplama uygulaması ile iyileştirilmesi ele

alınmıştır. Bu amaçla NBR içine çeşitli oranlarda endüstriyel kenevir lifleri katılarak elde edilen kompozit kaplama malzemesi tekstil astar üzerine uygulanmıştır. Uygulamanın ardından kaplamanın karakterizasyonu amacıyla; aşınma, delinme ve yırtılma testleri yapılmıştır. Ayrıca karşılaştırma yapabilmek amacıyla çok yaygın olarak kullanılan sentetik güçlendiricilerden birisi olan cam elyaf katılarak elde edilen kompozit malzeme de tekstil astar üzerine kaplama olarak uygulanmış aynı testler bu kaplamaya da yapılmıştır.

Bu çalışmayla, ülkemizde de yetişebilen bir bitki olan kenevirden elde edilen doğal lifin endüstriyel bir malzemeye dönüşmesi amaçlanmıştır. Ulusal ve uluslararası literatürde konu ile ilgili sınırlı sayıda çalışmanın bulunması da bu konunun ele alınmasında etkili olmuştur. Bu çalışma ile koruyucu iş eldivenleri üzerine yapılan kaplamalardan farklı olarak, daha önce çalışma yapılmamış NBR matrisli endüstriyel kenevir lifi takviyeli kompozit bir yapı ile yüzey kaplamasının iş eldiveni üzerindeki performans etkileri incelenmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Bu çalışmada, önemli bir doğal lif olarak kompozit malzemelerin güçlendirilmesinde büyük potansiyele sahip olan kenevirin kullanımı ve ürün performansına olan etkileri ele alınmıştır. Ancak yapılan literatür araştırmasında bu konuda yeteri kadar çalışmanın bulunmadığı görülmüş, konuyla en çok ilgili çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Öncelikle, kenevirin genel olarak kompozit malzemelerde kullanımının geliştirilmesine yönelik çalışmalar verilmiştir.

Dünya’da sanayi devriminden bu yana çok sayıda inovasyon dalgası yaşandığını belirten Mielewski araştırmasında (2017) Ford Motor firmasının bu alandaki yerine değinmiştir. 2001 yılında, Ford Motor firması, araştırma programları kapsamında bir biyomateriyal ekibi oluşturmuş ve bu ekip performansı yüksek, ekonomik açıdan rekabetçi ve Ford otomobillerinde kullanılabilecek yeni biyo bazlı plastikler geliştirmeyi amaçlamıştır. Bu çalışmalarda aynı zamanda biyo bazlı malzemelerin temiz teknoloji ve sürdürülebilirlik konusunda katkı sağlaması da amaçlanmıştır. Bu fikirler aslında yıllar öncesine dayanmaktadır. Henry Ford doğal elyaf takviyeli kompozit yapıdaki gövde panellerini 1937 yılında Ford araçlarda kullanarak bu alanda öncü kişilerden biri olmuştur. Yıllar boyunca çok önem verilmeyen doğal elyaf kaynağı olan bitkilerin çeşitli alanlarda kullanılabilmesi amacıyla araştırılmasına yönelik çalışmalar son yıllarda yoğunlaşmıştır.

Thygesen (2006) kenevirden ne kadar güçlü selüloz bazlı liflerin üretilebileceğine dair yaptığı çalışmada; kenevirden düşük işleme hasarı ile elde edilen lifleri karakterize etmiş ve geleneksel koşullarda üretilen kenevir ipliği ile karşılaştırmıştır. Yaptığı çalışma ile bitki lifinin mukavemetinin selüloz içeriğine doğrusal olarak bağlı olduğu, işleme sırasında ortaya çıkan fiziksel hasara açıkça bağlı olmadığını belirtmiştir.

Shahzad çalışmasında (2011) kenevir liflerinin cam lifleri ile birlikte kullanıldığı hibrit biyo kompozitlerin darbe ve yorulma özelliklerine etkisini incelemiştir. Laminatlar, matris olarak doymamış polyester reçine kullanılarak elle yerleştirme ve ardından da kalıplama yöntemiyle sıkıştırma işlemiyle yapılmıştır. Kenevir lifleri rastgele yönlendirilmiş kısa fiber, cam elyafı ise kırılmış fiber biçiminde kullanılmıştır. Hibrit

kompozitlerde kenevir elyaf oranının yaklaşık % 11'inin cam elyaf ile değiştirilmesi, darbe hasar toleransını önemli ölçüde artırmıştır. Hibrit kompozitler, yorulma mukavemetinde gelişme göstermiştir, ancak kenevir elyaf takviyeli kompozitlerin yorulma özelliklerinin daha iyi olduğu gözlenmiştir.

Shadzağ diğerk bir çalışmasında (2012) ise kenevir liflerinin kompozit malzemelerde takviye olarak kullanımının, biyobozunur, sürdürülebilir ve geri dönüştürülebilir malzemeler geliştirmeye yönelik artan talebi karşılama konusunda önemli avantajları olduğunu belirtmiştir. Yaptığı alışma sonucunda kenevir liflerinin kompozit malzemelerin güçlendirilmesi için öncelikli gereksinim olan güçlü lif yapısına sahip olduğunu belirtmiştir. Çalışmada kenevir liflerinin mekanik özelliklerinin cam elyaf lifleriyle karşılaştırılabilir seviyede olduğunu ancak en büyük dezavantajının, özelliklerindeki değişkenlikler olduğunu ifade etmiştir. Termoplastik, termoset ve biyolojik olarak parçalanabilir matrisli kenevir lif takviyeli kompozitler iyi mekanik özellikler sergilemiştir. Ayrıca elyaf / matris arayüzey bağını iyileştirmek için kullanılan bazı kenevir lifi yüzey işlemleri ile kompozitlerin mekanik özelliklerinde önemli iyileştirmeler sağlanmıştır.

Bhoopathi ve arkadaşları yaptığı çalışmada (2014), muz-kenevir-cam elyaf takviyeli hibrit kompozitlerin çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve darbe dayanımı gibi mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada epoksi reçineli takviye malzemesi olarak cam, muz ve kenevir elyafı kullanılarak elle yatırma yöntemi ile üretilen üç farklı tip hibrit yapı incelenmiş, deneysel sonuçlardan, muz-cam elyaf takviyeli hibrit epoksi kompozitlerin üstün özellikler sergilediği ve sentetik elyaf takviyeli kompozit malzemeler için alternatif bir malzeme olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Silva (2015) bazı ön işlemlerin kenevir liflerinin kimyasal bileşimi ve mekanik performansı üzerindeki etkileri konusunda çalışmıştır. Ön işlemler için sodyum klorit, sodyum hidroksit gibi kimyasallar kullanmıştır. Sodyum hidroksitin yüksek konsantrasyonlarda (sırasıyla % 7,5 ve % 1'in üzerinde) kullanıldığında kenevir liflerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin olumsuz etkilendiği gösterilmiştir. Selülozik olmayan bileşenlerin uzaklaştırılmasına bu işlemlerin etkileri yine bu çalışmada ele alınmış ve işlem sıcaklığının, bahsedilen selülozik olmayan bileşenlerin çıkarılmasında önemli bir rol oynadığı ayrıca daha yüksek sodyum hidroksit

konsantrasyonlarının hemiselülozun çıkarılmasında bir artış gösterdiği, ancak fiziksel özelliklerinde hasar nedeniyle kenevir liflerinin alkali işleminde daha yüksek konsantrasyonlardan kaçınılması gerektiği belirtilmiştir.

Han yaptığı çalışmada (2015) kenevir elyafın, polimer matris ile birleştirilmeden önce, hidrofilikliğini azaltmak ve ara yüz yapışma performansını iyileştirmek amacıyla kimyasal ön işlemden geçirilerek kullanılabileceğini belirtmiştir. Bu çalışmada, su, alkali ve çeşitli silan ajanları ön işlem için kullanmıştır. Bu işlemle hazırlanmış lifler, kenevir lifi / polipropilen (PP) kompozitlerini üretmek için PP ile karıştırılmıştır. Bu yapılan işlemlerin elyafın yapısı, bileşenleri ve hidrofilikliği üzerindeki etkileri ve güçlendirilmiş PP kompozitlerinin mekanik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Ayrıca takviyeli PP kompozitlerin nem, sıcaklık ve ultraviyole gibi hızlandırılmış yaşlandırma deneyleri yapılmıştır. Sonuçlar, elyafların su ve alkali ile ön işleminin elyaf yapısı, mekanik özellikler ve dayanıklılık üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Elyafın silan ajanı modifikasyonu, elyaf yapısı üzerinde daha az etkiye ancak fonksiyonel grubu, güçlendirilmiş kompozitlerin mekanik özellikleri ve yaşlanma direnci üzerinde büyük etkiye sahip olduğu belirtilmiştir.

Sanjay ve arkadaşları çalışmalarında (2015) kenevir gibi doğal elyaf takviyelerinin termoplastik kompozitler yapmak için potansiyel bir takviye malzemesi olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Cam yerine doğal lifler içeren hibrit kompozitlerin yeni uygulamalar açabileceğine değinmişlerdir. Özellikle otomotiv endüstrilerinde uygulama alanının her geçen gün gelişmesi nedeniyle doğal liflerin kullanımı önemli ölçüde gelişmiştir. Doğal elyafın başka bir doğal elyafla hibrit kullanıldığı kompozitlerin, düşük maliyetli uygulamalar için uygun olduğunu, ancak cam elyafla hibrit kullanım kadar iyi mekanik özellikler vermediğini belirtmişlerdir. Doğal elyaf takviyeli kompozitlerin, düşük bakım gereksinimlerine, yüksek gerilme / ağırlık oranına, yüksek korozyona, darbe direncine ve düşük maliyetlere sahip oldukları çalışmada ifade edilmiştir.

Zhang çalışmasında (2016) kenevir / polipropilen kompozitlerin üretimi ve karakterizasyonu, yaşlanma ve mekanik davranışlara etkisi, kompozit laminatlarında artık gerilmelerin belirlenmesi gibi konuları incelemiştir. Polipropilen matrisinde, kenevir lifleri takviye olarak kullanılmıştır. Kompozitler sıcaklık, basınç, zaman gibi

farklı parametreler altında sıkıştırmalı kalıplama yöntemi ile üretilmiş ve bu parametrelerin üretim sürecinin kalitesi üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Sonuçlar, sıcaklığın kompozitlerin mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. 190 °C'nin altında üretilen kompozitler, diğer kompozitlere göre daha iyi mekanik özellikler sergilemiştir.

Gupta ve diğerlerinin yaptığı bu araştırma çalışması (2016), polyester esaslı hibrit kompozitlerin mekanik davranışına %5, %10 ve %15 oranında doğal dolgu (muz lifi, pirinç kabuğu) eklemesinin etkisini ortaya koymaktadır. Testin sonucu, hibrit kompozitin, darbe ve eğilme yükleri altında cam elyaf takviyeli kompozitten çok daha iyi mekanik ve fiziksel özelliklere sahip olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte yaptıkları deneysel çalışmalar ile hibrit kompozit yapıyı başarılı bir şekilde elde edip, bu hibrit kompozitin, cam elyaf kompozitlere kıyasla daha iyi mukavemete sahip olduğunu göstermişlerdir.

Bu tez çalışmasında matris malzemesi olarak kullanılan NBR nin güçlendirilmesiyle ilgili yapılan çalışmalar aşağıda sıralanmıştır.

Setua yaptığı çalışmasında (1984) kısa ipek lifleri katarak NBR kompozit yapısının güçlendirme etkisini incelemiştir. Çalışma ile kompozitlerdeki lif konsantrasyonunun artmasının; sertlikte, gerilme mukavemetinde, yırtılma dayanımında, modülde, sabit gerilmede kopma uzamasında artışa, esneklik gibi bazı özelliklerde azalmaya neden olduğunu göstermiştir.

Prukkaewkanjana ve arkadaşları çalışmalarında (2015) matris olarak NBR ve hibrit (lifli ve parçacıklı) takviyeler olarak; kısa, ince ananas yaprağı lifi (PALF) ve karbon siyahını kullanmışlardır. PALF miktarı, 10 phr olarak sabitlenirken, karbon siyahı oranı 0'dan 30 phr'ye kadar değiştirmişlerdir. Hibrit kompozitlerin çekme mukavemeti, kopma uzaması, modülü ve yırtılma mukavemeti, hem boylamasına (elyaf eksenine paralel) hem de enine (elyaf eksenine dik) yönlerde karakterize edilmiştir. Karbon siyahının eklenmesi, gerilim-gerinim eğrisinin eğiminin artmasına ve ayrıca kırılmanın daha büyük gerilmelerde gerçekleşmesine neden olmuştur. 20 phr ve üzeri karbon siyahı daha yüksek mukavemet sağlamıştır. Karbon siyahı dolgulu kauçukla karşılaştırma yaptıklarında, düşük gerilmelerde kompozit davranışının PALF tarafından ve yüksek gerilimlerde karbon siyahı tarafından belirlendiğini

gözlemlemişlerdir. Bu yüksek performanslı PALF-karbon siyahı ile güçlendirilmiş NBR'nin, mühendislik uygulamaları için umut veren bir malzeme olabileceğini ifade etmişlerdir.

Wisittanawat ve arkadaşları yaptıkları çalışmada (2014) hibrit (iki bileşenli) takviye olarak kısa ve ince ananas yaprağı lifi (PALF) ve silika kullanılarak, düşük uzamada çok yüksek modüllü ve kopmada yüksek uzamalı, tercihen hizalanmış kısa lif takviyeli NBR kompozitler geliştirmişlerdir. PALF miktarı, 10 phr olarak sabitlenirken, silika oranı 0'dan 30 phr'ye kadar değiştirmişlerdir. NBR kompozitler, fiber eksenine hem paralel hem de dikey yönlerde mekanik özellikleri için hazırlamış ve test etmişlerdir. Karşılaştırma, aynı toplam dolgu miktarına sahip silika-NBR kompozitleri ile yapılmıştır. PALF'li tüm kompozitler çok farklı gerilme-gerinim eğrileri sergilemiştir. Kompozit yüklendiğinde gerilim keskin bir şekilde yükselirken, aynı yüklemeye sahip silika dolgulu kompozitlerinki kademeli olarak yükselmiştir. Silika ilavesi kopmada uzamayı önemli ölçüde artırmıştır.

Wisittanawat ve arkadaşlarının diğer bir çalışmasında (2014), NBR matrisli PALF takviyeli kompozitlerde, matris-takviye arayüzey özellikleri incelenmiştir. Heksametoksi metil melamin, resorsinol ve hidratlanmış silisten oluşan ve bağlayıcı ajan olarak adlandırılan yapıştırma arttırıcı içeren sistemler incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Bağlayıcı madde, kompozitin mekanik özelliklerini geliştirmiştir. SEM ile kırılmış yüzeyin analizinde kauçuk matris ile PALF arasında gelişmiş arayüzey yapışmasının olduğu gözlenmiştir.

Rajesh ve arkadaşları yaptıkları çalışmada (2004), NBR matris içine farklı uzunluklarda ve konsantrasyonlarda kısa naylon elyaf katarak kompozit malzeme üretmiş; elyaf uzunluğu, yükleme miktarı ve kauçuk çapraz bağlama sistemlerinin kompozitlerin özellikleri üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Naylon elyafın NBR'ye eklenmesi mekanik özelliklerde iyileşmeye yardımcı olmuştur. En iyi özellik dengesi için 6 mm'lik bir lif uzunluğunun optimum olduğu ifade edilmiştir. Artan elyaf oranlarında, kompozitlerin kırılma tip davranış gösterdiği bulunmuştur. Ayrıca peroksit sistemi ile vulkanize edilen kompozitlerin, kükürt sisteminden daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğu rapor edilmiştir.

Szadkowski ve arkadaşları çalışmalarında (2019), karbon siyahı (küresel), karbon nanotüpler (KNT) ve hidroksil karbon nanotüpler gibi farklı formlara sahip karbon takviyelerin NBR kompozitlerinin performansı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmalar, takviye yapısının, yüzey özelliklerinin ve takviye etkileşimlerinin kompozitin özelliklerini etkilediğini kanıtlamaktadır. Bu çalışmanın bir parçası olarak, takviyeli NBR bileşiklerinin kurlenme davranışı, çapraz bağ yoğunluğu, ısı kararlılığı, elektriksel iletkenliği ve mekanik özellikleri incelenmiştir. NBR / KNT kompozitlerinin yırtılma direnci, sertliği ve sönümlenme değerlerindeki keskin artışlar, en yüksek güçlendirme etkisinin KNT için sağlandığını ortaya koymuştur. Yüksek en-boy oranlarına sahip bu uzun çubuklar, karbon siyahına kıyasla kompozit içinde daha iyi bir gerilim aktarımı sağlayabilir. Bununla birlikte, test edilen tüm karbon dolgular nitril kauçuk kompozitlerin performansını önemli ölçüde etkilemiş ve bu da onları elastomer kompozitler için ilgi çekici takviye malzemeleri haline getirmiştir.

Yukarıda verilen literatür özetinden de görüldüğü gibi, kenevirin doğrudan koruyucu eldivenlerde kullanımı konusunda çalışma bulunmamaktadır. Yapılan araştırmalarda, nitril kauçuğun matris olarak kullanıldığı sınırlı sayıdaki kompozit malzeme çalışmalarında ise matrise katılan çeşitli takviyeler ile kompozit malzeme üretimi ve bu malzemenin karakterizasyonunun ele alındığı görülmektedir. Nitril kauçuğun, eldiven uygulamasında olduğu gibi, kaplama olarak kullanımı konusunda bir kompozit malzeme çalışmasına ulaşılamamıştır.

Çalışma kapsamında beraber çalışılan sanayi kuruluşunda halen üretilen eldivenler nitril kaplamalı polyester eldivenlerdir ve TS EN 388 standardına göre 3121 seviyesindedir. Çalışma kapsamında, eldivenin avuç içi kaplaması, kenevir takviyeli nitril ile yapılarak bu seviyenin üstüne çıkartılması hedeflenmiştir. Yapılan çalışmalar, mekanik risklere karşı koruma sağlayan eldivenlerin aşınma direncini etkileyen en önemli parametrenin kaplama olduğunu, kesilme ve yırtılma direncinde tekstil kısmın etkili olduğunu, delinmede ise kalınlığın önemli olduğunu göstermektedir. Mekanik risklere karşı koruyucu nitril kaplama eldivenlerde yapılan testler sonucunda, Türkiye’de üretilen eldivenlerin çoğunluğunda ortalama aşınma performans seviyesi azami “2” olarak tespit edilmiştir. Çalışmada kompozit kaplama uygulaması ile aşınma direncinin artırılması hedeflenirken aynı zamanda bu uygulamanın kesilme, yırtılma ve delinme direncini de iyileştireceği öngörülmüştür.

Bu nedenle yapılan çalışma, daha sonra yapılacak çalışmalara bilimsel bir temel oluşturmanın yanında esas olarak, ithal edilen bir ürünün yerine yerli üretimin yapılması ve ihracatının sağlanabilmesi yönünde ürün geliştirmeyi hedeflemektedir.



3. TEORİK ARAŞTIRMALAR

3.1 Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler; metal, plastik ve seramik malzemelerden sonra geliştirilen, istenilen özelliklerin elde edilebilmesi amacıyla, bu gruptaki malzemelerin makro düzeyde birleştirilmesi ile oluşturulan malzemelerdir. Kompozit malzemeler takviye fazını bir arada tutan, dış etkilere koruyan, yükü takviyeye aktaran bir matris fazı (anafaz) ve daha çok güçlendirici, performans artırıcı özellikleri sağlayan bir takviye fazından oluşur. Matris ve takviye fazları, metal, plastik veya seramik esaslı olabilir. Takviye fazı matris içinde; sürekli, süreksiz elyaf veya tanecik formunda bulunabilir, bu seçim kompozit malzemedeki istenilen özelliklere göre belirlenir.

Modern kompozitlerin tarihinin 1937'de başladığı düşünülebilir (Owens Corning Fiberglass Company'den satıcılar Amerika Birleşik Devletleri'ndeki ilgili taraflara fibreglas satmaya başladığında). Birleşik Devletler hükümetinin uçaklar için metal tedarikinin mevcut olamayacağından endişe duyduğu II. Dünya Savaşı sırasında kompozitlerin gelişme hızı gittikçe arttı ve mühendisler kompozit üretiminde mevcut en iyi uygulamaları belirlemeye çalışmaları yönünde talimat verildi. Bununla birlikte, büyük çapta kompozit malzemelerin üretiminin hızla gelişmesinin teşvik edilmesi, 1960'ların başlarında, Birleşik Krallık'taki karbon elyafların ve ABD'deki bor elyafların gelişmesi nedeniyle başladı. Bu lifler, otomotiv uygulamalarında kullanılmak üzere hem termoset hem de termoplastik polimer matrisleri güçlendirmek için kullanıldı (Thygesen, 2006).

Genel olarak, kompozit malzemeler matris malzemesi temelinde üç gruba ayrılabilir.

a) Metal Matrisli Kompozitler (MMK)

b) Seramik Matrisli Kompozitler (SMK)

c) Polimer Matrisli Kompozitler (PMK)

a) Metal Matriks Kompozitler: Metal matrisli kompozitler, daha yüksek spesifik modül, daha yüksek özgül mukavemet, yüksek sıcaklıklarda daha iyi özellikler ve düşük termal genleşme katsayısı gibi monolitik metallere göre birçok avantaja sahiptir.

Bu özelliklerden dolayı, metal matrisli kompozitler çok çeşitli uygulamalar için dikkate alınmaktadır.

b) Seramik Matrisli Kompozitler: Seramik matrisli kompozitler üretiminde temel amaçlardan biri, tokluğun artırılmasıdır. Doğal olarak, seramik matrisli kompozitlerin mukavemetinde ve sertliğinde eşzamanlı bir iyileşme beklenir ve gerçekten çoğunlukla ulaşılır.

c) Polimer Matrisli Kompozitler: En yaygın kullanılan matris malzemeleri polimeriktir. Bunun nedenleri iki bölümdedir. İlk olarak, polimerlerin mekanik özellikleri birçok yapısal amaç için yetersizdir; özellikle metal ve seramiklere göre mukavemet ve sertlikleri düşüktür. Bu zorluklar diğer malzemeleri polimerlerle takviye ederek aşılır. İkincisi, polimer matrisli kompozitlerin işlenmesi yüksek basınç gerektirmez ve yüksek sıcaklık gerektirmez. Ayrıca, polimer matrisli kompozitlerin üretimi için gereken ekipmanlar daha basittir. Bu nedenle polimer kompozitler hızlı bir şekilde geliştirilmiş ve kısa sürede yapısal uygulamalar için popüler hale gelmiştir. Polimer kompozitler çok sık kullanılmaktadır, çünkü kompozitlerin genel özellikleri tek tek polimerlerinkilerden üstündür. Genel olarak, polimer kompozitleri takviye malzemesi bazında iki gruba ayrılabilir.

Bunlar:

- Fiber takviyeli polimer (FTP)
- Parçacık takviyeli polimer (PTP)

Fiber takviyeli polimer

Yaygın kullanılan elyaf takviyeli kompozitler, elyaflardan ve bir matristen oluşur. Lifler, takviye ve ana taşıyıcı güç kaynağıdır, matris ise bütün lifleri bir arada tutar ve gerilmeleri takviye edici lifler arasında iletir. Lifler, yükleri uzunlamasına yönleri boyunca taşırlar. Bazen imalat işlemini yumuşatmak, kompozitlere özel özellikler kazandırmak veya ürün maliyetini düşürmek için dolgu malzemeleri eklenebilir. Yaygın kullanılan elyaflar arasında asbest, karbon / grafit elyafları, berilyum, berilyum karbid, berilyum oksit, molibden, alüminyum oksit, cam elyafları, doğal elyaflar vb.

bulunur. Benzer şekilde, ortak matris malzemeleri arasında epoksi, fenolik reçine, polyester, poliüretan, vinil ester vb. bulunur.

Parçacık takviyeli polimer

Takviye için kullanılan parçacıklar arasında seramikler, küçük mineral parçacıkları, alüminyum gibi metal tozları, polimerler ve karbon karası dahil amorf malzemeler bulunur. Parçacıklar, modülü arttırmak ve matrisin sünekliğini azaltmak için kullanılır. Ayrıca kompozitlerin maliyetini azaltmak için kullanılır. Takviye ve matrisler yaygın, ucuz malzemeler olabilir ve kolayca işlenebilir. Seramik ve camların faydalı özelliklerinden bazıları ise yüksek erime sıcaklığı, düşük yoğunluk, yüksek mukavemet, sertlik, aşınma direnci ve korozyon direnci olarak sıralanabilir. Pek çok seramik, iyi elektriksel ve termal yalıtıcıdır (Mishra, 2014).

3.1.1 Polimer matrisli kompozitler

İmalat sanayilerindeki hızlı büyüme nedeniyle, mukavemet, sertlik, yoğunluk, daha düşük maliyet ve geliştirilmiş sürdürülebilirlik açısından daha iyi özelliklere sahip malzemelere ihtiyaç vardır. Böylelikle geçtiğimiz yıllarda polimerler, çeşitli uygulamalarda metaller gibi birçok geleneksel malzemenin yerini almıştır. Bu durum, polimerin geleneksel malzemelere göre sunduğu avantajlardan dolayı mümkündür. Bunların en önemlileri, işleme kolaylığı, hafiflik ve maliyetinin düşük olmasıdır. Bu uygulamaların çoğu için, polimerlerin özellikleri, yüksek mukavemet modülü gereksinimlerine uyacak şekilde dolgu maddeleri ve elyaflar kullanılarak değiştirilir (Gowda vd., 2018).

Polimerik kompozitlerin sunduğu avantajlar; yani yüksek mukavemet, düşük ağırlık, korozyon direnci ve düşük bakım maliyeti gibi nedenlerle fiber / polimer kompozitlerin gün geçtikçe kullanımlarının genişlemesi beklenmektedir (Azwa ve Yousif, 2013). Cam, karbon, aramid ve bor elyaflar gibi sentetik elyaflarla güçlendirilmiş polimerik kompozitler, mükemmel mekanik performansları nedeniyle mühendislik uygulamalarında yaygın ve yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Bununla birlikte, sentetik elyaf takviyeli kompozitlerin olumsuz çevresel etkileri, bozunmamaları ve zayıf geri dönüştürülebilirlikleri nedeniyle bir endişe kaynağı olmuştur (Kim vd., 2018). Bu endişeler mühendisleri tasarımlarda, daha çevre dostu

süreçler bulma ve biyolojik olarak parçalanabilir veya geri dönüştürülebilir malzemelerin inovasyonu dahil olmak üzere mühendislik disiplinlerinin birçok yönünde "çevreci olmaya" zorlamaktadır (Azwa ve Yousif, 2013).

Doğal liflerle güçlendirilmiş bir polimer matris, daha yüksek direnç oluşturur ve aralarındaki ara yüzey bağları, kimyasal ve mekanik kimliklerinin korunmasına yardımcı olur. Genel olarak, lifler yük taşıyıcıların ana üyeleridir, matris onları yerinde ve istenen yönde tutarken, aralarındaki yükü aktarmanın bir yolu olarak hareket eder ve onları çevresel zararlardan korur. Daha basit ve daha kolay üretilmesi polimer matrisli kompozit malzemelerin, seramik matrisli kompozit veya metal matrisli kompozitlere kıyasla daha çok kullanılmasını sağlar. Termoplastik polimerlerin mühendislik uygulamaları için kullanımı, mükemmel kimyasal dirençleri, iyi mekanik özellikleri ve düşük maliyetleri nedeniyle daha yaygındır. Bu tür polimerlerin önemli bir dezavantajı, son kullanımdan sonra biyolojik olarak parçalanamaz olmalarıdır ve bu durum polimerlerin doğal liflerle kompozit haline getirilmesiyle belli bir dereceye kadar giderilebilir. Hem termoplastikler hem de termosetler, kompozit hazırlamada matris malzemeleri olarak belirli avantajlara ve dezavantajlara sahiptir (Gowda vd., 2018).

3.1.2 Polimer matrisli kompozitlerde kullanılan takviye malzemeleri

Polimer matrisli kompozit malzemelerde güçlendirici olarak, araştırmalarda ve endüstriyel uygulamalarda fosil ve mineral esaslı yapay lifler (cam, karbon, kevlar vb.) kullanılmaktadır. Bu malzemelerle takviye edilen kompozit malzemelerin kullanım ömrünü tamamladıktan sonra; geri dönüşümü, proses imkanları ve maliyetler açısından mümkün olmamakta, bu malzemeler çevreye atıldığında biyolojik olarak parçalanmadıkları için atık sorunu ortaya çıkmaktadır. Diğer yandan, bu malzemeler kullanımdan sonra yakılarak yok edilmek istendiğinde ise, çevre kirliliği ve küresel ısınma gibi sorunları beraberinde getirirken, çok yüksek oranda CO₂ salınımı meydana getirmektedir (Shahzad, 2011). Ayrıca fosil kaynakların sınırlı ve maliyetlerinin yüksek olması araştırmacıları alternatif doğal takviye malzemeleri arayışına sevk etmiştir (Mohammed vd., 2015).

3.2 Doğal Elyaf Takviyeleri

Doğal lifler, herhangi bir doğal kaynaktan bitki, hayvan veya mineral olarak elde edilen lifler olarak adlandırılabilir. Mineral lifler arasında asbest, biyolojik olarak parçalanamayan ve enerjisi yoğun olan seramik ve metal lifleri bulunur. Hayvansal lifler grubu ise ipek, saç, yün, kürk, tüy vb. lifleri içerir. Bitki lifleri, öncelikle kendilerine özgü özelliklerini veren selüloz, lignin ve hemiselülozdan oluşur. Kompozit polimerlerin amacı için en yaygın kullanılan bitki lifleri kenevir, kenaf, jüt, rami ve ketendir (Dabhi, 2016).

Doğal lifler son yıllarda, çevre dostu yapısı ve sürdürülebilir olması nedeniyle, polimer kompozitlerde kullanmak için araştırmacıların dikkatini çekmektedir. Bu amaçla, üzerinde çalışmaların yapıldığı doğal lifler arasında; jüt, keten, kenaf, kenevir gibi sert ve mukavemetli lifler öne çıkmaktadır (Ku vd., 2011; Summerscales vd., 2010, 2013). Bu liflerin özellikleri Çizelge 3.1’ de verilmiştir (Mohammed vd., 2015). Doğal liflerle güçlendirilen kompozitlerin uygulama alanları gün geçtikçe çeşitlenmekte ve artmaktadır, Çizelge 3.2’de bunlardan bazıları verilmiştir (Mohammed vd., 2015).

Çizelge 3.1. Doğal liflerin özellikleri (Mohammed vd., 2015).

Fiber	Yoğunluk (g/cm ³)	Gerilme dayanımı (MPa)	Young modülü (GPa)	Kopma uzaması (%)
OPEFB	0,7-1,55	248	3,2	2,5
Keten	1,4	88-1500	60-80	1,2-1,6
Kenevir	1,48	550-900	70	1,6
Jüt	1,46	400-800	10-30	1,8
Rami	1,5	500	44	2
Hindistan cevizi	1,25	220	6	15-25
Sisal	1,33	600-700	38	2-3
Abaka	1,5	980	-	-
Pamuk	1,51	400	12	3-10
Kenaf(kabuk)	1,2	295	2,7	6-9
Kenaf(çekirdek)	0,21	-	-	-
Şeker kamışı	1,2	20-290	19,7-27,1	1,1
Heneguen	1,4	430-580	-	3-4,7
Ananas	1,5	170-1672	82	53
Muz	1,35	355	33,8	53

Çizelge 3.2. Doğal lifli kompozitlerin endüstriyel uygulama alanları (Mohammed vd., 2015).

Fiber	Bina, inşaat ve diğer uygulamalar
Kenevir lifi	İnşaat ürünleri, tekstil, jeotekstil, kağıt ve ambalaj, mobilya, elektrik, banknot üretimi ve boru imalatı
Palmiye yağı elyaf	Pencereler, kapı çerçeveleri, yapısal yalıtımlı panel yapı sistemleri, siding, eskrim, çatı kaplama, zemin kaplaması ve diğer yapı malzemeleri
Ahşap ağaç elyafı	Pencere çerçevesi, paneller, kapı kepenkleri, zemin kaplaması, korkuluk sistemleri ve eskrim
Keten elyaf	Pencere çerçevesi, paneller, zemin kaplaması, korkuluk sistemleri, eskrim, tenis raketi, bisiklet kadrosu(Şası), çatal, sele, snowboard ve dizüstü bilgisayar çantaları
Pirinç kabuğu lifi	İnşaat panelleri, tuğla, pencere çerçevesi, paneller, zemin kaplaması gibi yapı malzemeleri, korkuluk sistemleri ve eskrim
Bagasse (şeker kamışı) fiber	Pencere çerçevesi, paneller, zemin kaplaması, korkuluk sistemleri ve eskrim
Sisal fiber	Panel, kapı, inşaat endüstrisinde kapama plakası ve çatı kaplama gibi levhalar; ayrıca kağıt ve kağıt hamuru imalatı
Ağaç Sap elyafı	Bina paneli, mobilya panelleri, tuğlalar, drenaj ve boru hatları
Kenaf fiber	Ambalaj malzemesi, mobil kutular, çantalar, izolasyonlar, giyim sınıfı kumaş, topraksız saksı karışımları, hayvan yatakları, yağ ve sıvıları emen malzeme
Pamuk lifi	Mobilya endüstrisi, tekstil ve iplik gibi ürünler ve kordon
Hindistan cevizi lifleri	Bina panelleri, gömme kapı kepenkleri, çatı kaplama levhaları, depolama tankı, ambalaj malzemesi, kask ve posta kutuları, ayna gövdesi, kağıt ağırlıkları, projektör kapağı, voltaj dengeleyici kapak, koltuk döşemesi için dolgu malzemesi, fırçalar ve süpürgeler, halatlar ve ağlar, çantalar ve paspaslar için iplikler ve ayrıca şilte, koltuk minderleri için dolgu
Rami lifi	Endüstriyel dikiş ipliği, ambalaj malzemeleri, balık ağları ve filtre bezleri olarak kullanılır. Ayrıca kağıt üretimi, ev mobilyaları (döşemelik, kanvas) ve giyim kumaşları yapılır.
Jüt fiber	İnşaat panelleri, çatı levhaları, kapı çerçeveleri, kapı kepenkleri, nakliye, ambalaj, jeotekstil ve yonga levhalar.

3.3 Endüstriyel Kenevir

Kenevir (*Cannabis sativa* L.) en az 6000 yıldır ekilmiştir ve gıda dışı en eski mahsullerden biri olabileceği düşünülmektedir. Kenevir yetiştiriciliğinin en yaygın amacı, kabukta bulunan lifleri tekstil ürünleri ve kağıt üretimi için izole etmektir. Kenevirden elde edilen diğer faydalı malzemeler, yağ üretimi için kullanılacak tohumlar ve tıbbi amaçlı kullanılan kanabinoidlerdir. Kenevirin asıl kaynağı Orta Asya'dır, ancak Ekvator'dan kutup dairesine kadar geniş bir bölgede ekilmektedir. Lif verimini artırmak için doğu ve orta Avrupa'da psikoaktif maddeleri çok düşük içerikli kenevir bitkisi ıslahı yapılmıştır. Böylece elyaf üretimi için yasal çeşitler elde edilmiştir. Kenevirde biyokütle verimi yüksektir ve kenevir toprak yapısını iyileştirir.

Uzun kenevir sapları etkili otları bastırır ve kenevir üzerinde hastalıklar ve zararlı böcekler nadiren etkilidir. Böylece böcek ilacı ilavesine gerek kalmaz. Kenevirin, mısır, kenaf ve şeker kamışı gibi mahsullerden çok daha fazla önemli lif bileşeni olan selülozu birkaç kat daha fazla ürettiği de bildirilmiştir.

Kenevir lifleri, sentetik liflerin yüksek üretim ve bertarafının çevreyi nasıl etkilediği konusundaki endişelerden dolayı kompozit malzemelerde de kullanım alanı kazanmıştır. Son 20-30 yılda, cam elyafı çelikten daha düşük yoğunluğa ve yüksek mukavemete sahip olduklarından, örneğin rüzgâr türbini kanatlarında ve teknelerinde kompozit malzemelerin güçlendirilmesi için kullanılmıştır. Cam elyaf lifi üretimi yüksek sıcaklıklar ve dolayısıyla enerji tüketimi gerektirir. Kenevir lifleri ise, güneş enerjisi ile fotosentez, CO₂ ve H₂O alımı ile üretilir. Benzer bir CO₂ emisyonu, kullanımdan sonra lifler yakıldığında, lifleri CO₂'i nötr hale getirerek meydana getirir; bu da küresel CO₂ emisyonunu hafifleterek azaltır. Kenevir lifleri, cam elyaf liflerinden ve benzer sertlikteki liflerden daha düşük yoğunluğa sahiptir. Böylece daha hafif malzemeler potansiyel olarak kenevir lifi ile yapılabilir. Arabalardaki çelik panellerin bir kısmını kenevir lifi kompozitleri ile değiştirerek, bir ağırlık azaltımı elde edilebilir. Bu, daha az çelik ve benzin tüketimi ile sonuçlanacak ve böylece nakliye kaynaklı CO₂ emisyonunun azalmasına yol açacaktır.

Bitkinin oluşturduğu diğer ana bileşen, samansı ve yumuşak odun gibi biyoetanol üretimi için kullanılabilen odunsu çekirdek (kovanlar) olup, kullanılan yakıtın biyoetanol esaslı fosil yakıt ile değiştirilmesi ile de taşıma esaslı CO₂'nin daha da azalmasına neden olur (Thygesen, 2006).

Kenevir liflerinin polimerlerde takviye olarak kullanılması sayesinde sadece reçine matrisin mekanik özellikleri artmaz, elde edilen ürünün maliyeti de düşer. Son yirmi yıl boyunca, kenevir kompozit endüstrisi, teknolojik gelişmeler ve bu malzemeler için artan uygulamalar nedeniyle sürekli bir büyüme yaşamıştır.

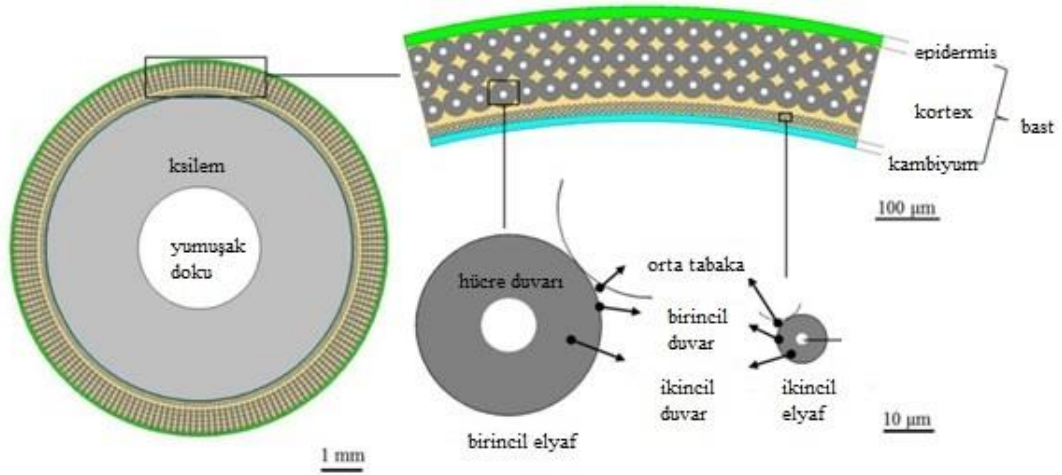
1990'larda toplumun sürdürülebilirlik, geri dönüştürülebilirlik ve çevre güvenliği gibi konulardaki ekolojik kaygıları, doğal elyaf kompozitlere olan ilginin artmasını sağlamış ve olası uygulamalarını gösteren en ilgi çeken alanlarından birisi otomotiv sanayi olmuştur. Nitekim, Almanya otomobil uygulamaları için kompozit malzemelerde doğal elyaf kullanımı konusunda ön saflarda yer almıştır. Son zamanlarda yapılan araştırmalar, otomotiv kompozitlerinde doğal elyaf (odun ve

pamuk hariç) kullanımının 1999'da 9.600 tondan 2005'te 19.000 tona çıktığını göstermiştir (kenevir liflerinin kullanımı yaklaşık %10). Benzer şekilde, doğal elyaf takviyeli kompozitlerin kullanımı 1999'da 15.000 tondan 2005'te 30.000 tona çıkmıştır. 2005'te üretilen ortalama 5,4 milyon binek otomobilde, otomobil başına 3,6 kg doğal elyaf kullanılmıştır. Avrupa Birliği'nde kenevir lifi tüketimi de bu dönemde artmıştır. Bir başka araştırma, AB ülkelerinde otomotiv endüstrisinde kenevir liflerinin pazar payının 1996'da %1'den 2002'de %15'e yükseldiğini belirtmiştir. Kasım 2006'da Almanya'da düzenlenen 4. Uluslararası Avrupa Kenevir Derneği Uluslararası Konferansı (EIHA), dünya çapında hammadde kıtlığı nedeniyle kenevir hammaddelerine küresel olarak artan bir ilgi olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, dünya genelinde artan ahşap fiyatları nedeniyle üreticilerin hafif yonga levhalarında kenevir kullanmaya başladıkları belirtilmiştir. Konferansta, kenevir lifi talebinin önümüzdeki yıllarda artacağı sonucu ortaya konulmuştur (Boccaruso, 2017).

3.3.1 Kenevir liflerinin morfolojisi ve kimyasal bileşimi

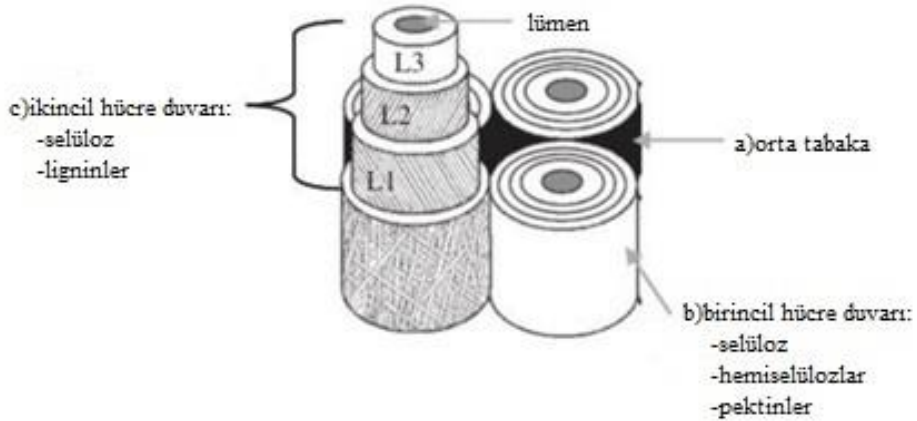
Kenevir lifleri, çok dikmeli bir yapıya sahip lif bitkileridir. Lifler kenevir gövdelerinin korteksinde bulunur ve elle veya uygun makineler kullanılarak ksilem yüzeyinden kolayca sıyrılabilir. Kenevir gövdesi, içinde ilik denilen boş bir alan (kurutulmuş gövdelerde) bulunan silindir şeklinde bir şekle sahiptir ve bir dış kabuk kabuğu ile çevrili bir ahşap çekirdeğinden (ksilem) oluşur. Buna karşılık, kabuk üç farklı katmandan oluşur: cambium, korteks ve epidermis. Şekil 3.1 kenevir sapının enine kesitinin, farklı katmanlarını ve tek liflerin düzenini ve yerini gösteren şematik bir diyagramını verir.

Her kenevir sapının tabakası kendine has bir öneme sahiptir; yapıların en kalın tabakası olan (1-5 mm) ksilem gövdeye sertlik sağlar, kambiyum ahşap ve bast lifli tabakaları ayıran fiziksel bir engel görevi görür; bast lifleri çekme ve bükülme mukavemeti sağlar ve epidermis bitkiyi parazitlerden korur.



Şekil 3.1. Kenevir sapının enine kesitinin şematik diyagramı (Silva, 2015).

Korteks (100-300 µm kalınlıkta), iki alt katmanda bireyselleştirilen primer ve sekonder tekli elyaf demetlerinden oluşur (Şekil 1.2). Birincil lifler gövde yüzeyinin yanındadır ve daha büyüktür (7-13 µm ve 20 mm uzunluğunda hücre duvarı kalınlığı), ikincil lifler ise cambium katmanına daha yakındır ve daha küçüktür (3-6 µm ve hücre uzunluğu 2 ila uzunluğu mm). Birincil fiber hücre duvarının kendisi iki farklı katmana bölünür (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2); birincil hücre duvarı ve ikincil hücre duvarı (L katmanı) olarak bilinir. Sonuncusu ayrıca, L1, L2 ve L3 ile gösterilen, lignin ile bağlı selüloz fibrillerinin 3 alt katmanına da bölünmüştür. Bahsedilen katmanların tümü, farklı oranlarda olmasına rağmen lignoselülozik malzemelerden yapılmıştır. Katman L2, elyafın selüloz içeriğinin yaklaşık % 50'sini içeren en kalın katmandır ve bu nedenle elyaf özelliklerine en büyük katkısı vardır.



Şekil 3.2. Kenevirin tek bir lif yapısının ve farklı tabakalarının 3-boyutlu görünümü (Silva, 2015).

Kenevir liflerinin bileşimi çeşitler arasında ve gövdenin farklı bölümlerinde değişir. Ek olarak, üretim alanı ve çevresel koşulları ve ayrıca bitkinin olgunlaşma aşaması, kimyasal bileşimini etkilemektedir. Buna rağmen, kenevir lifleri farklı oranlarda esas olarak selüloz, hemiselüloz ve ligninden oluşur. Bu bileşenler kuru malzemenin % 80-90'ını oluşturur. Gerisi esas olarak mineraller, pektin, mumlar ve suda çözünür bileşenlerden oluşur (Boccaruso, 2017).

Selüloz, homojen bir doğrusal glukan polimeridir, bitki hücre duvarlarının en önemli kimyasal bileşimidir ve dünyadaki en bol ve en büyük organik polimerdir. Hemiselüloz, doğal lif hücre duvarlarının ikinci bol bileşenidir (Silva, 2015). Hemiselülozlar düşük molekül ağırlıklı polisakaritlerdir (heksozlar, pentozlar, üronik asit kalıntıları, pektin hariç) ve çoğunlukla dal kısımlarında rasgele, amorf bir yapıda dallanmış ve doğrusal olmayan yapılar oluşturan kopolimerlerdir. Hemiselüloz seyreltik asitler veya alkalilerle kolayca hidrolize edilir; lignini çıkardıktan sonra selülozla bağlı kalır (Zhang, 2016).

3.3.2 Kenevirin kompozit malzemelerde güçlendirici olarak kullanımı

Son yıllarda yapılan kompozit malzeme çalışmalarında doğal elyafların takviye malzemesi olarak kullanımının yaygınlaştığını ortaya koyan çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Shah vd., 2019; Haghighatnia vd., 2017; Prukkaewkanjana vd., 2015). Endüstriyel kenevir bu amaçla kullanılan ve sentetik elyaflarla kıyaslanabilecek yeterli mekanik özelliklerine ek olarak iyi elektrostatik özellikler, emicilik, UV koruması ve anti alerjik olma gibi özellikleriyle öne çıkan doğal bir elyaftır (Şekil 3.3) (Haghighatniaa vd., 2017; Chen vd. 2007; Kostic vd., 2010). Kompozit malzemelerde katılan elyafların türü kadar oranı ve boyutu da önemlidir. Süreksiz lifler olarak da bilinen kısa lifler, genellikle 20 ila 500 arasında bir en-boy oranına sahip malzemelerdir. Kısa elyaflar; üretim kolaylığı, diğer katkılarla birlikte doğrudan katılabilme, tasarım esnekliği, maliyet ve boyutsal kararlılık gibi avantajlara sahiptir (Bipinbal, 2012). Kompozit malzemelerde kısa elyafların önemli kullanım nedenlerinden birisi de tribolojik özellikleri iyileştirmek amacıyla (Kalpakjian vd., 2013).

Kenevir lifleri ile yapılan şu anki çalışmalarda öncelikle amaçlanan, kompozit malzeme üretiminde cam elyaflar gibi sentetik liflerin yerini almasıdır. Kenevir bitkisinin gövdesinde bulunan bu lifler, cam liflerle karşılaştırılabilecek özgül

mukavemet ve rijitliğe sahiptir (Madsen, 2004). Ayrıca kenevir ve cam liflerin üretimindeki çevresel parametreler Çizelge 3.3'te verilmiştir, bu yönüyle de kenevirin avantajlı bir malzeme olduğu son derece açıktır.



Şekil 3.3. Kenevir elyaf.

Çizelge 3.3. 1 kg elyaf üretimindeki çevresel parametreler (Shahzad, 2012).

Parametreler	Endüstriyel kenevir elyaf	Cam elyaf
Güç tüketimi (MJ)	3,4	48,3
CO ₂ emisyonu (kg)	0,64	20,4
SO _x emisyonu (g)	1,2	8,8
NO _x emisyonu (g)	0,95	2,9

Kenevir liflerle güçlendirilen polimer kompozit malzemelerdeki mekanik özelliklerin takviye oranına göre değişiminin, cam elyafla güçlendirilen kompozit malzeme ile karşılaştırılması Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Kenevir ile güçlendirilmiş polipropilen kompozitlerin mekanik özellikleri (Shadzad, 2012).

Fiber/oran (%)	Çekme mukavemeti (MPa)	Çekme modülü (GPa)	Eğilme mukavemeti (MPa)	Eğilme modülü (GPa)	Darbe mukavemeti (J/m ²)
Fiber katılmamış	20-40	1,0-1,4	42,1	1,1	16
Kenevir/30 (ağ.)	22,1	10,2			
Kenevir/40 (ağ.)	40,2	3,55	73,3	4,1	29
Kenevir/50 (ağ.)	50	6,5	85	4	53 (KJ/m ²)
Kenevir/30 (ağ.)	32,3	1,53	48,5	1,67	15,1 (KJ/m ²)
Kenevir/30-70 (ağ.)	55	6,7	85	4,7	46 (KJ/m ²)
Kenevir/64 (ağ.)	42				152
Kenevir	34	2,7	41,5	2,3	3,89 (KJ/m ²)
Cam elyaf/22 (hacim)	88,6	6,2	60	4,4	54,12 (KJ/m ²)

Doğal elyaf takviyeli kompozit malzemelerle ilgili çalışmalarda, kompozitin diğer bileşeni olan matrisin belirlenmesi de çok önemlidir. Düşük işlem maliyeti, tasarım esnekliği ve doğal liflerin ısı bozulmasını önlemek için uygun işlem sıcaklıklarına sahip polimer matrisler seçilmelidir. İşlem sıcaklığı belirleyici bir faktördür, doğal liflerin ısı bozulmasını önlemek için polimer matrisin işlem sıcaklığının 230 °C'nin altında olması gerekir. Polietilen ve polipropilen gibi bazı plastikler bunu sağlarken, 250 °C 'den yüksek işlem sıcaklıkları gerektiren poliamidler, polyesterler ve polikarbonatlar gibi bazı plastikler doğal elyaflarla kullanılamaz.

3.3.3 Mekanik risklere karşı koruyucu eldivenler

Kişisel koruyucu donanımlar kapsamında olan eldivenler kullanıcıya zarar vermeden koruma sağlayacak şekilde tasarlanmış ve imal edilmiş olmalıdır. Koruyucu eldivenler kullanım amacına göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılır;

1. Mekanik risklere karşı koruyucu
2. Kimyasal madde ve mikroorganizmalara karşı koruyucu
3. Isıl risklere karşı koruma sağlayan eldivenler
4. Soğuğa karşı koruyucu
5. Gerilim altında çalışma için yalıtkan eldivenler

6. Bıçak kesiklerine ve batmalarına karşı koruyucu
7. İyonlaştırıcı radyasyon ve radyoaktif kirlenmeye karşı koruma
8. Kaynakçı eldivenleri

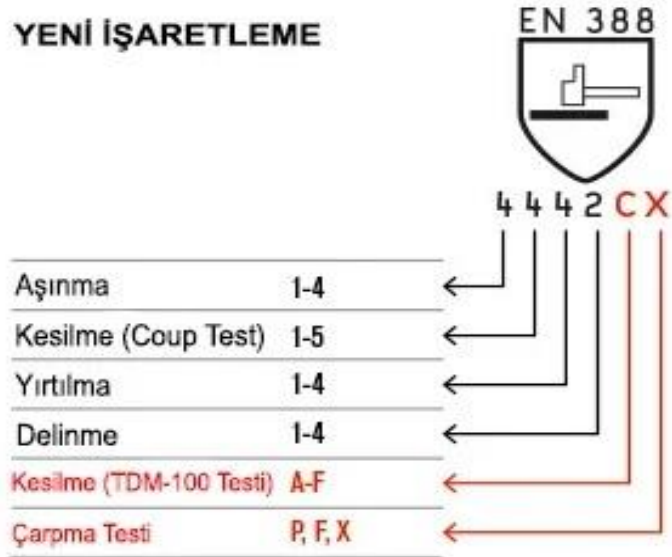
Mekanik risklere karşı koruyucu eldivenler malzeme olarak iki kısımdan oluşmaktadır (Şekil 3.4). İlki eldivenin formunu meydana getiren tekstil kısımdır. Bu kısım eldivenin kullanım amacına göre; yün, pamuk, polyamid, polyester, polietilen para-aramid ve meta-aramid gibi malzemelerden (Ticari adları, dyneema, kevlar, spectra vb.) yapılabilmektedir. İkinci kısım ise avuç içi kaplamasıdır. Burada; nitril köpük, lateks veya poliüretan kullanılmaktadır.

Koruyucu eldivenlerde kaplama malzemesi olarak, akrilonitril bütadien kauçuk (Nitril, NBR), polar yapısı sayesinde polar olmayan çözücülere, yağlara ve yakıtlara karşı oldukça dayanıklı bir polimer olması nedeniyle en çok kullanılan malzemedir (Savran 2001). NBR'nin eldivenin koruyucu performansı üzerindeki etkileri konusunda yapılan çalışmalarda, eldivenin aşınma, kesilme, delinme ve yırtılma özelliklerinde etkisinin olduğu gözlenmiştir (Ertekin, 2017). NBR malzemenin mekanik özelliklerinin incelendiği bazı çalışmalarda, NBR içine katılan organik ve inorganik takviye malzemeleri ile elde edilen kompozit malzemelerin özelliklerinde iyileşmeler olduğu rapor edilmiştir (Kalapakdee vd., 2014; Wisittanawat vd, 2014; Balachandran vd., 2012).



Şekil 3. 4. Mekanik risklere karşı koruyucu eldiven örnekleri.

TS EN 388 standardına uygun mekanik risklere karşı koruyucu eldivenler, Şekil 3.4'de görülen, maruz kaldıkları etkilere göre (aşınma, yırtılma, delinme ve kesilme direnci) sınıflandırıldıkları bir numaralama sistemine sahiptir. Bu sistemde numaralar 1-4 veya 1-5 aralığında verilir ve maruz kalınan etkiye karşı eldivenin seviyesini gösterir (Şekil 3.5).



Şekil 3. 5. TS EN 388 standardında numaralandırma sistemi.

Çizelge 3. 5. Standartta verilen numaraların seviye ve özellik karşılıkları.

Özellik	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4	Seviye 5
Aşınma direnci (çevrim sayısı)	100	500	2000	8000	-
Bıçakla kesilme direnci (indeks)	1,2	2,5	5	10	20
Yırtılma direnci (N)	10	25	50	75	-
Delinme direnci (N)	20	60	100	150	-

Türkiye’de mekanik risklere karşı koruyucu eldiven üretimi yapan birkaç firma bulunmaktadır, ancak ihtiyacın büyük bir kısmı ithalatla karşılanmaktadır. Ülkemizdeki ithal kişisel koruyucu donanımlar pazarında en büyük payı koruyucu eldivenler almaktadır. Koruyucu eldivenler içinde mekanik risklere karşı koruyucu eldivenler 75 milyon çifti aşan pazar hacmiyle ithal edilen kişisel koruyucu donanımların %18’ini oluşturmaktadır. Ticaret Bakanlığı 2017 verilerine göre Türkiye'nin eldiven ithalatı 37.729.000 \$ iken ihracatı ise 3.595.000 \$ seviyesindedir. Dünyadaki eldiven ticaretinde 4.689.359.000 \$ olan ihracat hacmi içinde Türkiye’nin payı ise % 0,077 seviyesindedir (URL-1).

4. MATERYAL VE METOD

4.1 Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, matris malzemesi olarak Kumho Petrokimya Firmasından (Güney Kore) temin edilen %27 akrilonitril içeren KNL 830 markalı karboksilatlı akrilonitril bütadien kauçuğu (NBR) kullanılmıştır. Kauçuk matrise katılan %99 saflığa sahip ZnO Egezinc Kimya Firmasından (Türkiye) temin edilmiştir. Kırılma ajanı olarak kullanılan kükürt Altinkükürt Kimya Firmasından (Türkiye) temin edilmiştir. Hızlandırıcı olarak ZDEC Albi Latex Firmasından (Türkiye) temin edilmiştir. Çalışmada güçlendirici olarak kullanılan cam elyaf Omnis Kompozit Firmasından (Türkiye) temin edilmiştir. Kenevir elyafı ise işlenmemiş olarak Kayseri çiftçisi üretimi olan ürün Kayseri Ticaret Odası (Türkiye) vasıtası ile temin edilmiştir.

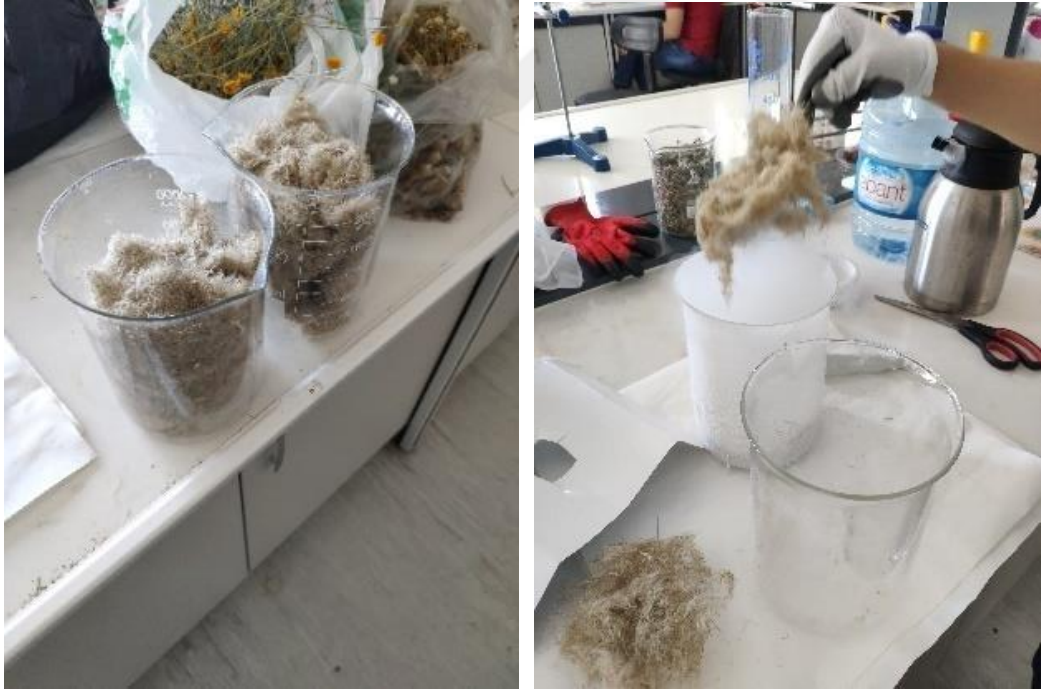
4.2 Kompozit Malzemelerin Hazırlanması ve Kaplama Uygulaması

Kenevir süreksiz rastgele dağıtılmış elyaf olarak NBR matris içine katılmıştır. Kenevir lifleri öncelikle kriyojenik olarak parçalanmıştır, bu amaçla azot atmosferinde bekletilen kenevir mekanik öğütme ile parçalanarak boyutları küçültülmüştür (Şekil 4.1). Öğütülen kenevirler daha sonra elenerek boyutsal olarak ayrılmış ve 200 µm boyutunda olan kenevir elyaflar kompozit kaplama malzemesinin üretilmesi için kullanılmıştır.

Bu çalışmanın amacı doğrultusunda öncelikle NBR matris içine güçlendirici olarak kenevir lifleri katılarak kaplama malzemesi hazırlanmıştır. Bunun yanında ayrıca karşılaştırma yapabilmek amacıyla aynı oranlarda cam elyaf katılarak ve, kenevir ve cam elyaf birlikte (hibrit) katılarak da kompozit kaplama malzemeleri hazırlanmış ve uygulanmıştır. Cam elyaf, kullanılan kenevirin boyutuna uygun olması için 200 mikron boyutunda hazır olarak temin edilmiştir. Matrise katılacak güçlendirici miktarı ön deneysel çalışmalarla belirlenmiş ve Çizelge 4.1'de verilen oranlarda ayrı ayrı ve hibrit olarak katılmıştır. Hibrit takviye oranları belirlenirken, cam elyaf ve kenevir katkılı kompozit numunelerden elde edilen sonuçlar dikkate alınmıştır. En iyi test sonucunu veren cam elyaf değeri hibrit yapıda sabit tutularak kenevirin miktarı değiştirilmiş ve kenevirin etkisinin görülmesi amaçlanmıştır.

Çizelge 4.1. Kompozit kaplama malzemesinde kullanılan güçlendirici oranları

Numune No	Kenevir Elyaf Miktarı (Ağ. %)	Cam Elyaf Miktarı (Ağ. %)
1	0	0
2	0,5	0
3	2	0
4	3,5	0
5	5	0
6	0	0,5
7	0	2
8	0	3,5
9	0	5
10	1	0,5
11	2	0,5
12	3	0,5
13	4	0,5



Şekil 4.1. Kenevir elyafın boyutunun küçültülmesi.



Şekil 4.1. (devam). Kenevir elyafın boyutunun küçültülmesi.

Kompozit malzemeler hazırlandıktan sonra (Şekil 4.2) polyester tekstil astar üzerine kaplama aşamasına geçilmiştir. Astarın takılacağı kalıp ısısı 60-70 °C ulaşınca dek etüv içerisinde ısıtılarak tekstil astar kalıba takılmıştır. Kompozit kaplamanın tekstil içine penetrasyonunu önlemek amacı ile ilk olarak koagülant çözeltiye batırılan astarlar 4 dakika bekledikten sonra kompozit karışıma batırılmıştır (Şekil 4.3). Yüzey kaplama işlemi gerçekleştirildikten sonra 120 °C deki etüve kurlenmesi için bırakılmıştır. Kurlenme süresi yaklaşık olarak 50-60 dk arasında tutulmuştur (Şekil 4.4). Her bir numunenin aynı yöntem ile üretimi gerçekleştirilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.2. Kaplama öncesinde hazırlanan kompozit malzemeler. (a) NBR + cam elyaf (b) NBR + kenevir elyaf (c) NBR + hibrit elyaf



Şekil 4.3. Kompozit yüzey kaplaması ve etüvde kürlenme aşaması.



Şekil 4.4. Kompozit kaplama uygulanmış ve kürlenmiş eldivenler.

4.3 Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu

4.3.1 Kompozit kaplamalara uygulanan mekanik testler

Kaplama işlemi tamamlanan eldivenlerin mekanik özelliklerinin karakterizasyonu amacıyla; aşınma, yırtılma ve delinme testleri yapılmıştır. Testler, EN 388 sınıfı koruyucu eldiven standartlarına uygun olarak Okçuerler Tekstil Firması Laboratuvarında her numune için üçer adet yapılmıştır.

Aşınmaya karşı direnç, eldivendeki aşınma için gerekli olan döngülerin sayısına dayanır. Aşınma dayanımı testi EN ISO 12947-1 standardına uygun olarak ölçüm yapabilen Testex Instruments marka aşınma cihazında yapılmıştır (Şekil 4.5). Numunelerin çapları 38 mm dir, uygulanan standart yük $9 \pm 0,2$ kPa'dır. Aşınma

direnci, dairesel numunelere basınç altında çevrimli düzlemsel hareket uygulanarak ölçülmüştür. Deney başladıktan sonra 100 çevrimin ardından deney numuneleri kontrol edilmiştir. Hiçbir hasar oluşumu olmadığında Çizelge 3.5.'de yer alan bir sonraki performans seviyesine (500 çevrim, performans seviyesi 2) ulaşıncaya kadar deneye devam edilmiştir. Deney numunelerinde hasar oluşumu olduğu anda çevrim durdurulup o anki çevrim sayısı not edilmiştir.



Şekil 4.5. Aşınma test cihazı ve test numunesi.

Yırtılma dayanımı testleri, EN 388 standardına uygun olarak Testometric marka yırtılma test cihazında gerçekleştirilmiştir. Yırtılma direnci, dikdörtgen şeklinde bir numunedeki açıklık uzunluğu boyunca yarı noktada bir yırtılma yaratmak için gerekli

olan kuvvet şeklinde tarif edilmiştir. Deney numunesi, 100 ± 10 mm x 50 ± 5 mm ölçülerinde olacak şekilde kalıp yardımı ile eldivenlerin kaplanmış kısmından kesilerek çıkarılmıştır. Numune kenarından $(25 \pm 2,5)$ mm'lik bir kesi yapılmıştır. Kesinin son mm'si keskin, kullanılmamış bıçakla düzgün ve numune yüzeyine dik olacak şekilde yapılmıştır. Hazırlanan yırtılma test numuneleri Şekil 4.6'da gösterildiği gibi cihazın çeneleri arasına yerleştirilmiştir. 100 ± 10 mm/dakikalık germe hızında test yapılmıştır. Numune (Şekil 4.7) tamamen birbirinden ayrılarak yırtıldığı anda ölçülen kuvvet, yırtılma dayanımı olarak kaydedilmiştir.



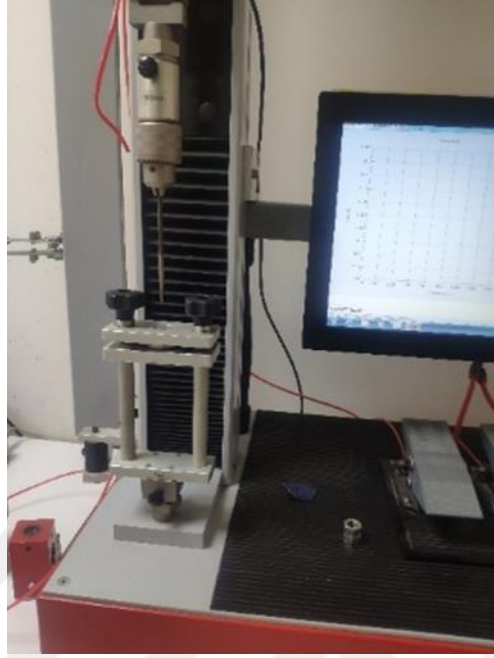
Şekil 4.6. Yırtılma test cihazı ve testin uygulanması.



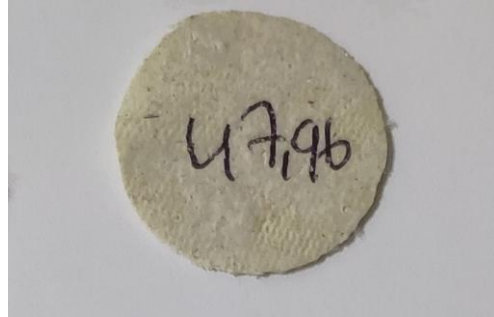
Şekil 4.7. Yırtılma testi numunesi.

Delinme dayanımı testi, EN 388 standardına uygun olarak Testometric marka delinme testi cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.8). Delinme direnci, test cihazı üzerine yerleştirilen bir deney numunesini delmek için çelik bir iğne yoluyla uygulanan kuvvetle belirlenir. Numuneler çapı en az 40 mm olacak şekilde hazırlanmış ve iğnenin batımına uygun şekilde delinme test cihazına yerleştirilip sabitlenmiştir. İğne, deney

numunesi (Şekil 4.9) üzerinde aşağı yönde 100 mm/dakika hızla ve deney numunesi 50 mm yer değiştirinceye kadar cihaz tarafından hareket ettirilmiştir. Delinme işlemi gerçekleştiği anda test tamamlanmış ve uygulanan kuvvet kaydedilmiştir.



Şekil 4.8. Delinme test cihazı



Şekil 4.9. Delinme testi numunesi

4.3.2 FTIR analizi

Yüzeyi kaplanmış eldiven numuneleri, Perkin Elmer 400 FT-IR spektrometresi kullanılarak $4000-450\text{ cm}^{-1}$ lik spektral aralıkta analiz edilmiştir (Şekil 4.10). Tekstil yüzeyi farklı kaplamalar ile kaplanmış eldiven numunelerinin hazırlanmasından sonra bant değişikliklerinin karşılaştırılabilmesi için saf kenevir elyaf ve cam elyaf numunelerinin kızılötesi spektrumları da kaydedilmiştir.



Şekil 4.10. FTIR analiz cihazı

4.3.3 Termogravimetrik analiz (TGA)

Termogravimetrik analiz, Perkin Elmer Diamond cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.11). Numuneler yaklaşık olarak 5 mg olarak alınarak ve azot atmosferi altında (20 mL/dk) dakikada 10 °C 'lik sıcaklık artışıyla 650 °C' ye kadar ısıtılarak analiz yapılmıştır.



Şekil 4.11. TGA analiz cihazı

4.3.4 Taramalı elektron mikroskopisi (SEM)

Filmlerin yüzey morfolojilerinin incelenmesi için, taramalı elektron mikroskobu (Zeiss, Eco 40 (Almanya)) ile 1.000X - 40.000X aralığında kaydedilmiştir (Şekil 4.12). Numuneler analiz öncesinde altın/paladyum ile ince tabaka halinde Sputter Coater (Cressingto Auto 108) cihazı yardımıyla kaplanmıştır.



Şekil 4.12. SEM cihazı

5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

5.1 Mekanik Testlerin Sonuçları

Kaplama yapılan numunelerde, farklı tür ve oranlarda katılan elyafların NBR matris içinde homojen dağıldığı gözlenmiştir. Katılan elyaf oranına bağlı olarak, oran arttıkça kompozit karışımın viskozitesinin arttığı görülmüştür. Katılan takviye türü ve oranlarının, NBR matrisli kompozit kaplama malzemesinin kurlenme sürelerinde dikkate değer bir fark oluşturmadığı, sürelerin birbirine yakın olduğu gözlenmiştir.

Yapılan aşınma, delinme ve yırtılma testleri ile elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, eldivenlerin performans testlerinde en çok aşınma direnci üzerinde etkili olduğu, yırtılma ve delinme direncini çok etkilemediği görülmüştür. Bu sonuçlar, yırtılma ve delinme özellikleri üzerinde kaplamadan daha çok tekstil astarın etkisinin fazla olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.1. Mekanik test sonuçları.

Numune No	Kenevir Elyaf Miktarı (Ağ%)	Cam Elyaf Miktarı (Ağ%)	Aşınma Testi (Çevrim Sayısı)	Yırtılma Testi (N)	Delinme Testi (N)
1	-	-	4283	26	40
2	0,5	-	3749	23	40
3	2	-	7525	26	39
4	3,5	-	11990	27	38
5	5	-	7981	29	48
6	-	0,5	14301	21	39
7	-	2	12645	25	50
8	-	3,5	9406	26	45
9	-	5	5639	27	51
10	1	0,5	7133	28	50
11	2	0,5	8279	29	52
12	3	0,5	14946	28	46
13	4	0,5	7669	35	47

*Testlerin sonuçları üretimi gerçekleşen her bir eldivenden üçer adet numune alınarak uygulanması ile elde edilmiştir.

Farklı oranlarda kenevir eklenerek yapılan çalışmalarda, ağ. % 3,5 kenevir oranında aşınma direncinin diğerlerinden daha yüksek değerde elde edilmiştir. Elde edilen sonuç üretilen eldivenin standartta verilen Seviye 3'ten Seviye 4'e geçmesini sağlamaktadır. Daha düşük oranlarda katılması durumunda, güçlendirici kullanılmayan kaplama malzemesine oranla bir artışa neden olduğu ancak standartta verilen seviyelerde bir değişim sağlamadığı görülmüştür. Daha yüksek oranlarda katılması durumunda ise aşınma direncinde yeniden bir düşme olduğu gözlenmiştir. Yüksek oranda katılan elyafların bölgesel olarak birikmesi, matris içinde homojen dağılmaması, elyaf-elyaf temasının fazla olması, elyafla matris arasında güçlü bir arayüzeyin oluşamaması gibi nedenlerin bu sonuçta etkili olduğu düşünülmektedir. Yüksek oranda kenevir elyaf katılan numunelerde aglomerasyondan dolayı yüzey pürüzlülüğünün arttığı da gözlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğündeki artış aşınma direncini olumsuz etkilemiştir. Ayrıca elyaf oranı arttıkça matris molekül zincirlerinin hareketi kısıtlanmakta ve kaplamanın elastikiyeti azalmakta, yüzeyde çatlak oluşumu ve ilerlemesi hızlanmaktadır.

Yüksek oranda (%5) elyaf katılan numunelerde gözlenen aglomerasyon ayrıca polimer matrisle elyafın etkileşimini sınırlandırmakta ve kaplamanın tekstil altlığına daha az yapışmasına neden olmaktadır, bu numunelerde yüzey kaplamasında soyulma gerçekleştiği ve bu numunelerde kaplama kalınlığının arttığı gözlenmiştir (Şekil 5.1).



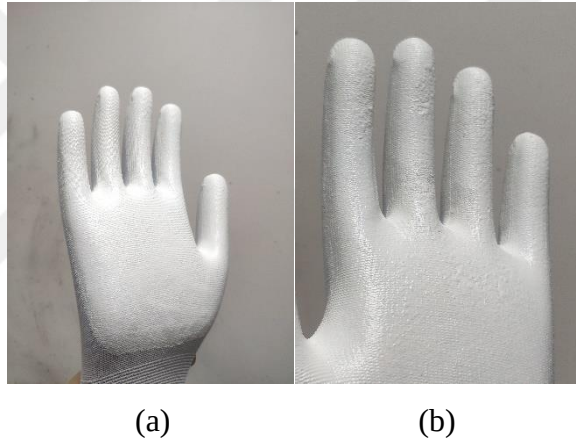
(a)



(b)

Şekil 5.1. (a) Uygun şekilde kaplanmış numune, (b) Soyulmaların olduğu tekstil yüzeye tutunmanın az olduğu numune

Deneyisel çalışmanın ikinci aşamasında takviye malzemesi olarak NBR içerisine süreksiz formda cam elyaf lifleri katılarak elde edilen kompozit malzemede liflerin homojen dağılımının sağlandığı ve viskozitelerin birbirine çok yakın olup takviye oranı arttıkça göz ardı edilecek kadar düşük oranda arttığı gözlenmiştir. Kürlenme sürelerinde herhangi bir fark oluşmamıştır. Kürlenme tamamlandıktan sonra üretilen eldivenlerde yapışma kabiliyetlerinde herhangi bir fark oluşmamıştır. %5 takviye oranında yüzeyde pürüzlülük ve dalgalanmaların olduğu, tekstil alt yüzey kompozit karışıma batırıldıktan sonra sıvının tekstil yüzeyinde homojen şekilde olmasına karşın kürlenme esnasında cam elyafların hafif topaklandığı ve aktığı gözlenmiştir (Şekil 5.2). Aşınma testleri sonucunda takviye oranı arttıkça aşınma değerlerinin ters orantılı olarak değiştiği görülmüş, en yüksek aşınma direnci en düşük takviye oranında elde edilmiştir.



Şekil 5.2. NBR+cam elyaf kompozit kaplama uygulanmış (a) topaklanma olmayan (b)topaklanma olan numuneler

Üçüncü grupta yapılan deneyisel çalışmada cam elyaf ve kenevir elyaf birlikte hibrit olarak NBR matrise eklenmiştir. Cam elyaf oranı %0,5 oranında sabit tutularak, kenevir elyafın etkisi gözlenmek amacıyla, kenevir elyaf oranı sırası ile %1, 2, 3, 4 oranlarında kullanılmıştır. Hibrit takviyeli kompozitlerde homojen yapıda yine herhangi bir farklılık gerçekleşmemiştir. Viskozite de aynı aralıklarda değerini korumuştur. Yüzey yapışmasında ve yüzey kaplamasında herhangi bir değişiklik olmamıştır. Kompozit kaplamanın %3 kenevir elyaf + %0,5 cam elyaf içeriğinde en iyi aşınma değerine ulaştığı gözlenmiştir. Sonuçlar kenevir elyaflı kompozit malzemede olduğu gibi bu hibrit yapıda da %3,5 oranında kenevir elyaf katılan hibrit kompozit malzemede en iyi aşınma direnci değeri elde edilmiştir.



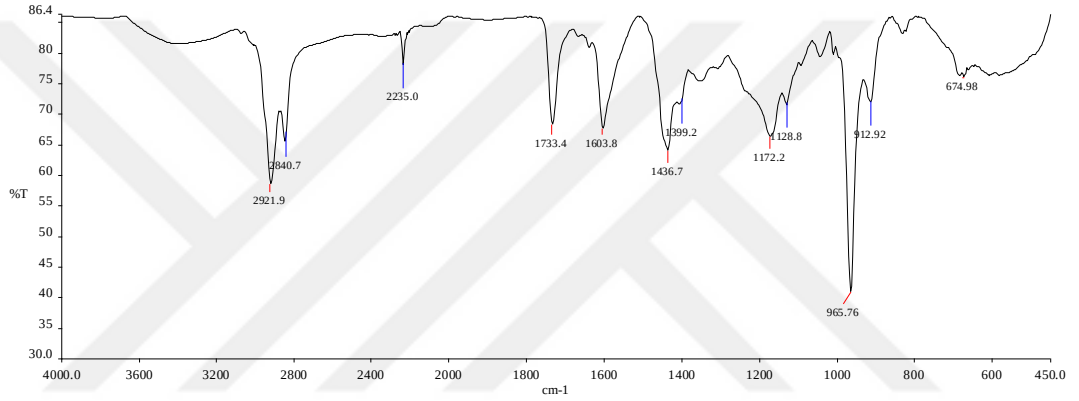
Şekil 5.3. Hibrit kompozit kaplama uygulanan numune

5.2 FTIR Analizi Sonuçları

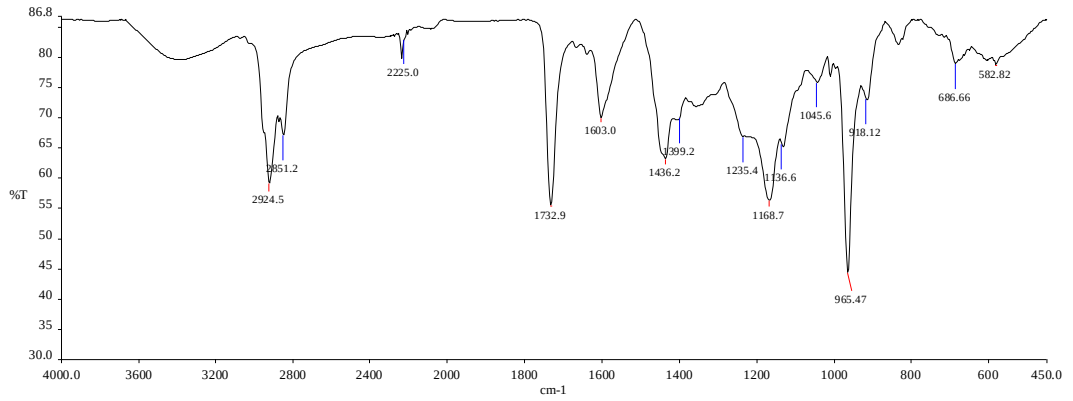
Kompozit yapıdaki NBR ve elyaf içerikleri arasındaki etkileşimi ve oluşan kimyasal grupları belirlemek için yapılan FTIR analizinden elde edilen sonuçlar Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6’da verilmiştir.

FTIR test sonuçları incelendiğinde ilk olarak 2921 cm^{-1} de yer alan piklerin C-H alifatik gerilmelerine ait olduğu söylenebilir. Kenevir elyaf ve cam elyaf eklenmeleri durumunda piklerin yaklaşık aynı dalga boyunda gözlenmiş olması içeriklerin bu bağ yapısında yüksek oranda değişiklik meydana getirmediğini göstermektedir. 2235 cm^{-1} sonucunu veren pik ise $\text{C}\equiv\text{N}$ gerilme bandından kaynaklanmaktadır. Burada kenevir elyaf ve cam elyafın eklenmesi ile bu pikin şiddetinde azalma meydana gelmiştir. 1733 cm^{-1} dalga boyunda gözlenen pik karbonil grubuna ($\text{C}=\text{O}$) aittir. Karbonil grubu pikinde de elyaf eklenmesi sonucunda dalga boyunda çok fazla değişiklik meydana gelmemiştir. Ancak dalga şiddetinin hafif de olsa arttığı gözlemlenmektedir. Bu durum kenevir elyaf eklendiğinde kenevir içinde bulunan selüloz gibi polimerik bileşiklerden kaynaklı olarak karbonil grubu sayısı arttığının göstergesi olabilir. 1603 cm^{-1} dalga boyundaki pik karboksilat anyonunun çinko oksit tuzunun pikidir. Bu pikin şiddetin azaldığı gözlenmektedir. Bunun sebebi kenevirdeki selüloz veya $\text{O}-\text{H}$ gibi fonksiyonel gruplara sahip diğer bileşikler ile karboksilat anyonu arasındaki H bağı

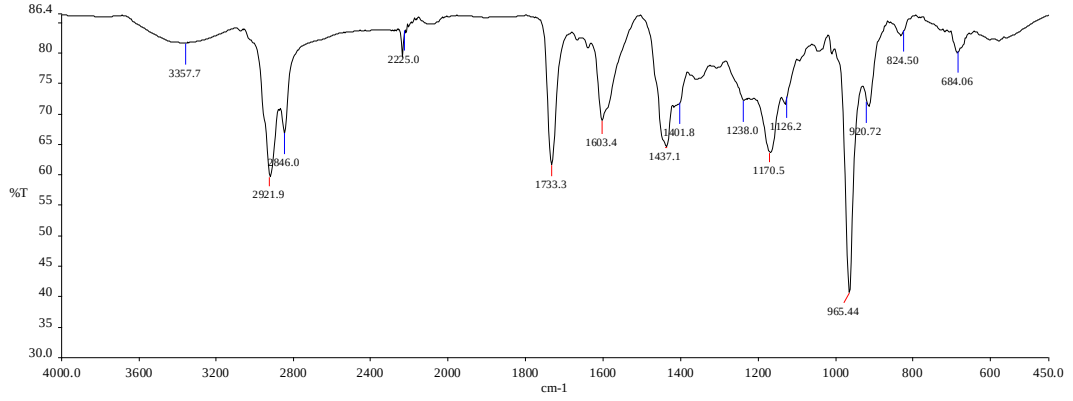
etkileşimlerinden kaynaklandığı söylenebilir. Bu durumu yaklaşık 3300 cm^{-1} dalga boyundaki --O--H bandının genişlemesi de doğrulamaktadır. Kenevir elyaf eklenen numunede 1235 cm^{-1} noktasında C-N ve C-O eğilme titreşiminden kaynaklanan bir pikler gözlenmiştir. Aynı durum cam elyaf eklenen numunede gözlemlenmektedir. Ancak NBR içerikli yapıda bu pik gözlenmemiştir. Bu durumun elyaf katkısının etkisi ile oluştuğu söylenebilir. 965 cm^{-1} dalga boyunda ise doymamış kauçuğun CH=CH gerilmesinin pikidir. Elyaf eklenmesi ile bu pik üzerinde herhangi bir değişiklik meydana gelmemiştir. Sonuç olarak FTIR spektrumunda kenevir elyafın bazı etkilerine rastlanmış ancak %0,5 içeriğinde eklenen cam elyafın etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.4. NBR içerikli yapının FTIR spektrumu



Şekil 5.5. %3,5 kenevir elyaf içerikli yapının FTIR spektrumu



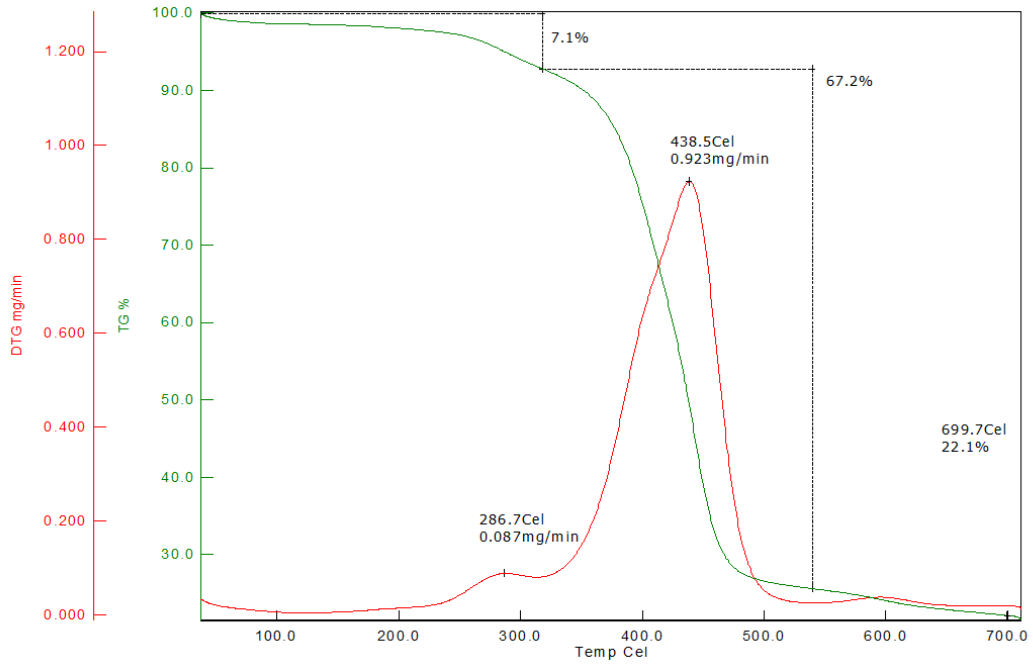
Şekil 5.6. %3 kenevir elyaf ve %0,5 cam elyaf içerikli hibrit yapının FTIR spektrumu

5.3 Termogravimetrik Analiz Sonuçları

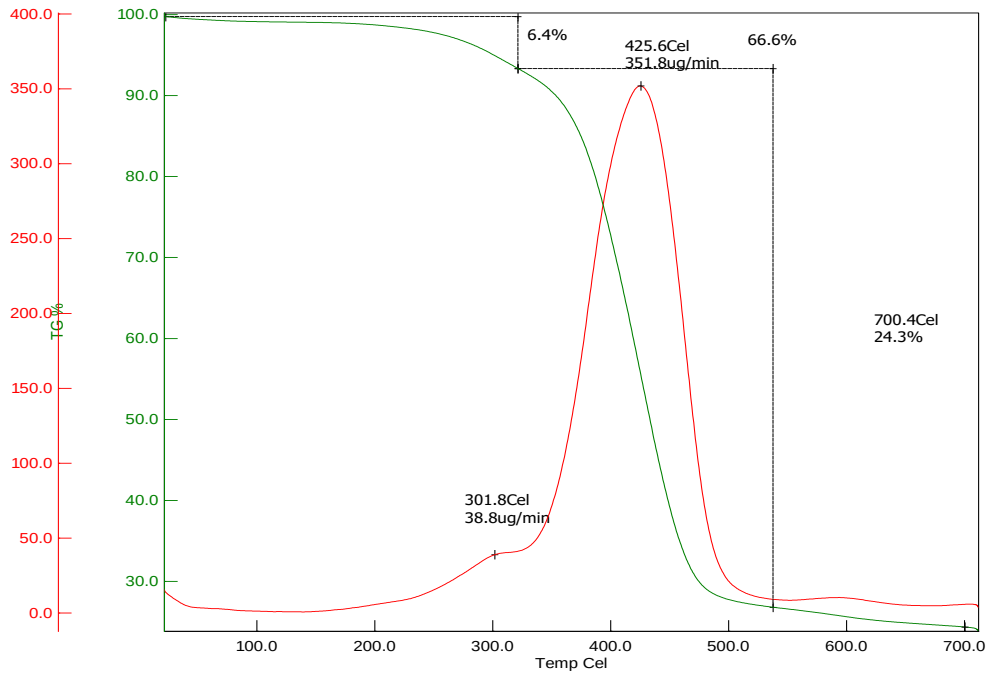
Termogravimetrik analiz, numunelerin sıcaklık arttıkça fiziksel ve kimyasal özelliklerinde meydana gelen değişiklikleri belirlemek için yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da verilmiştir.

Saf NBR içerikli olan kaplamanın (Şekil 5.7) TGA verilerine göre kimyasal stabilitesinin yüksek olduğu gözlenmiştir. Temel bozunma 438,5 °C ‘de gerçekleşmiştir. İlk bozunmanın 286,7 °C ‘de olduğunu ve bu bozunmanın kürlenme ajanları sebebiyle oluştuğunu söylenebilir. % 3,5 kenevir elyaf içerikli kaplamada (Şekil 5.8) ise temel bozunma 425,6 °C ‘de gözlenmiştir ve saf NBR içerikli numunenin temel bozunma sıcaklığı ile karşılaştırıldığında daha düşük olduğu görülmüştür. % 3 kenevir elyaf ve % 0,5 cam elyaf içerikli kaplamada ise temel bozunmanın 430,5 °C olduğu görülmektedir. Sonuçlara istinaden kenevir elyaf eklenmesi ile termal stabiliteyi düşürmekle birlikte mekanik stabilitenin arttığı çıkarımını yapılabilir.

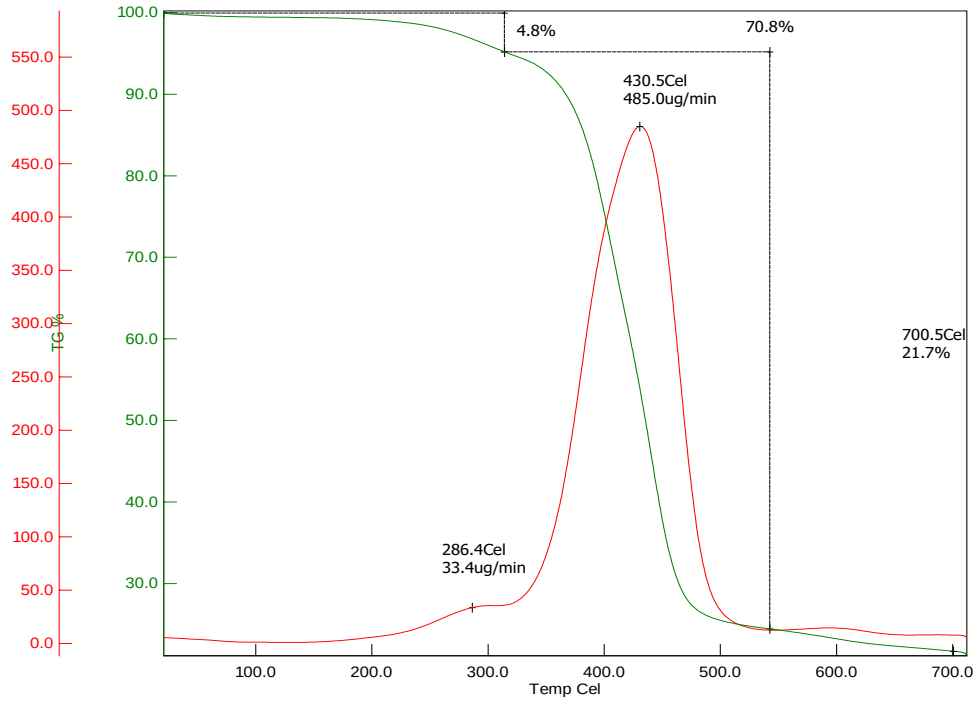
Saf NBR içerikli numunede % 7,1 olan kütle kaybı % 3,5 kenevir elyaf içerikli kaplamada % 6,4 seviyesinde, % 3 kenevir elyaf ve % 0,5 cam elyaf içerikli hibrit kaplamada ise % 4,8 seviyesine düşmektedir. Her ne kadar termal stabilite düşmüş olsa da sıcaklıkla ortaya gelen kütle kayıpları azalmıştır.



Şekil 5.7. NBR içerikli yapının TGA eğrisi.



Şekil 5.8. %3.5 kenevir elyaf içerikli yapının TGA eğrisi.



Şekil 5.9. %3 kenevir ve %0,5 cam elyaf içerikli hibrit yapının TGA eğrisi

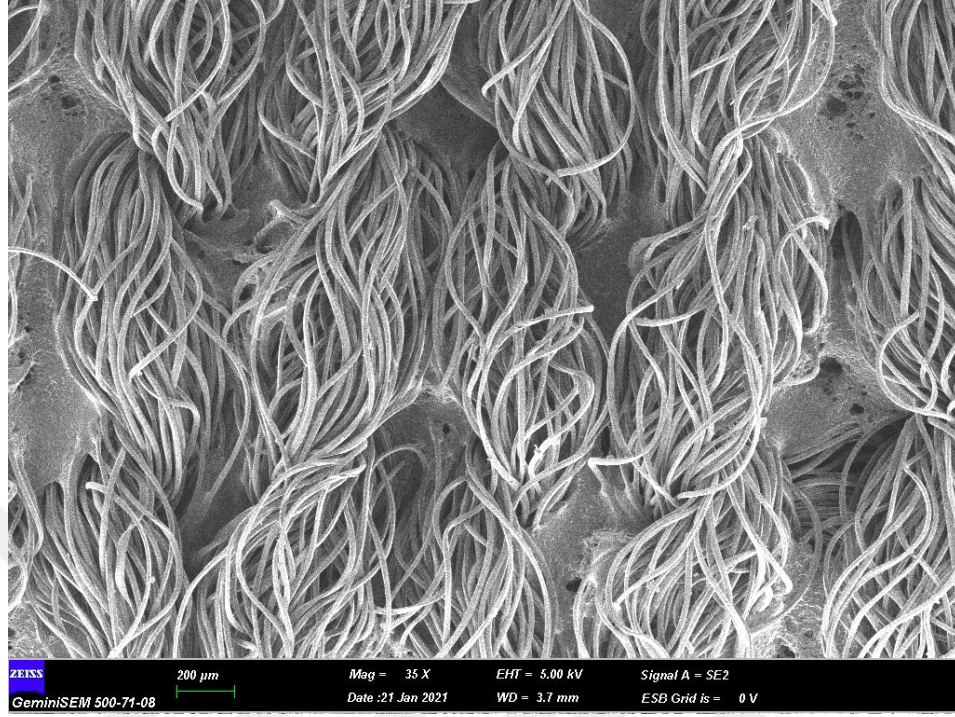
5.4 Taramalı Elektron Mikroskopisi İncelemeleri

Taramalı elektron mikroskopisi ile elde edilen eldivenlerden alınan numunelerin astar tarafından ve kaplama tarafından, iç yapısını ve kumaşın alt kısmındaki yapışma yüzeyini görmek için görüntüler alınmıştır.

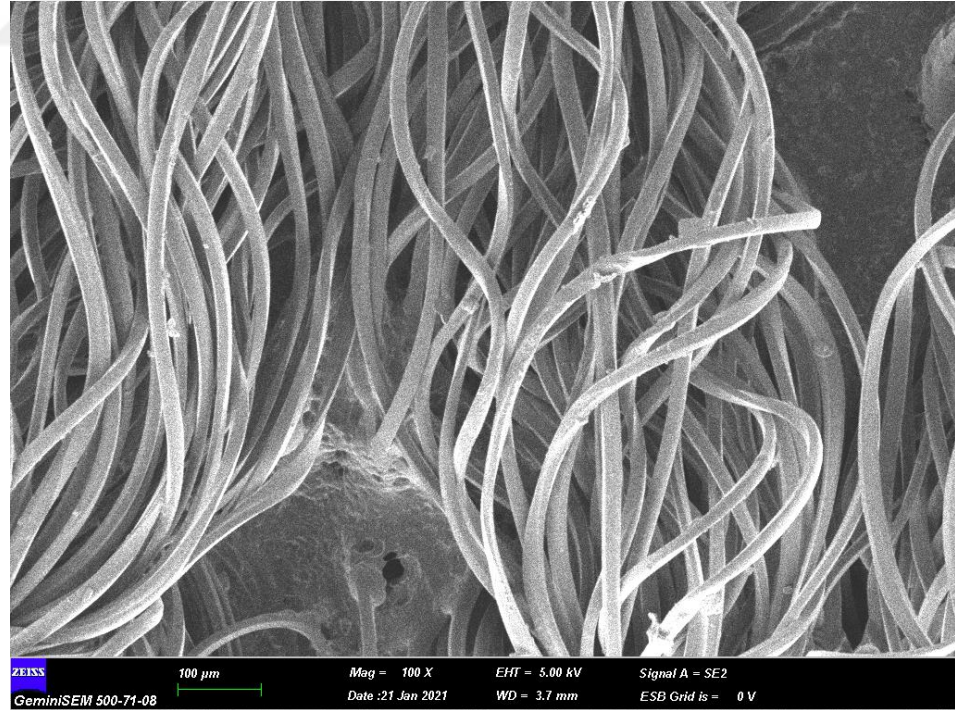
Bu SEM görüntülerini incelediğimizde kenevir eklendiğinde daha homojen bir yapı elde edildiği gözlenmiştir. Kenevir elyaf eklenerek oluşturulan yapıda (Şekil 5.11.c) ve cam elyaf eklenen hibrit yapıda (Şekil 5.12.c) bazı yerlerde birikme ve akıntı olduğu görülmüştür. Ancak cam elyaf eklenen hibrit yapıda daha pürüzsüz bir yüzey gözlemlenmiştir.

Şekil 5.10.c, şekil 5.11.c ve şekil 5.12.c’de yüzeydeki nokta şekillerde görülen yapıların kenevir ve cam elyafın mesh boyutu ile karşılaştırıldığında kütleme ajanlarından kaynaklandığı anlaşılmıştır. Elyafların yapının altında kaldığı ve yapının altında kalması sayesinde Şekil 5.11 ve şekil 5.12’yi incelediğimizde şekil 5.10’daki gibi NBR’nin eldiven astarı içine alma durumunun olmadığı ve elyafların astar kumaşın içine geçmesini engellediği net bir şekilde görülmektedir. Yüzeyde kalmış olsaydı yüzeydeki pürüzlülük sebebi ile daha düşük bir aşınma değeri ile

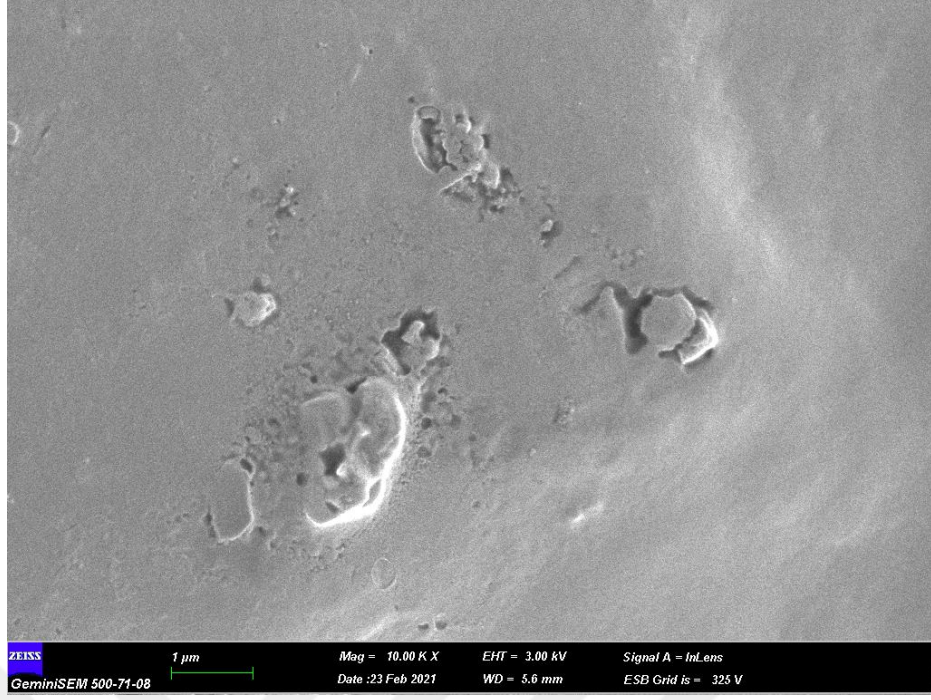
karşılaşmamız gerekirken aşınma değerin yüksek sonuçlanması yüzeyde bir elyaf kalıntısının kalmadığını bize açık bir şekilde ispatlamaktadır.



(a)

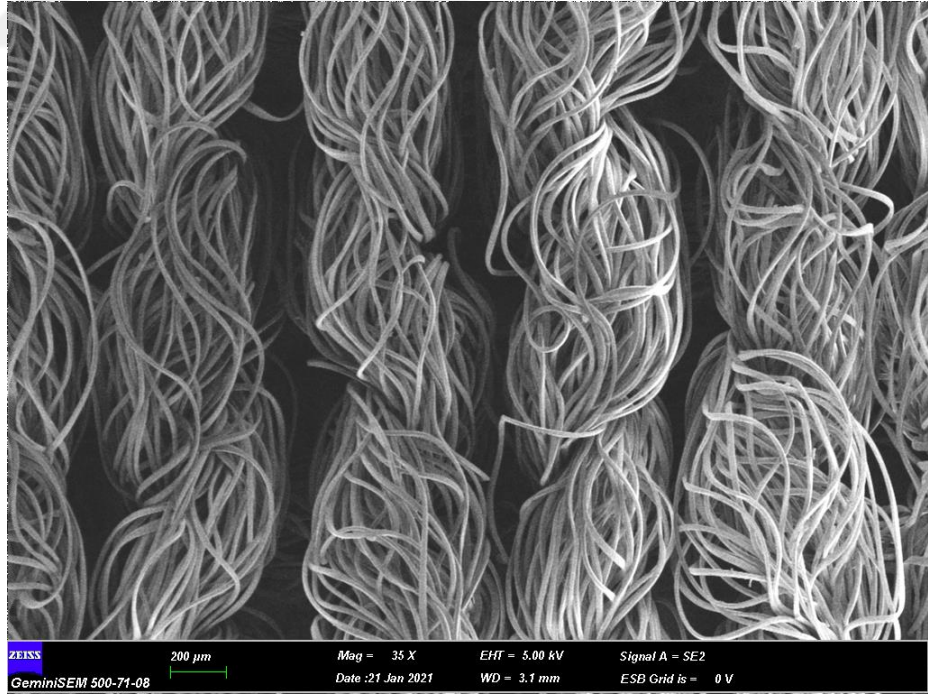


(b)

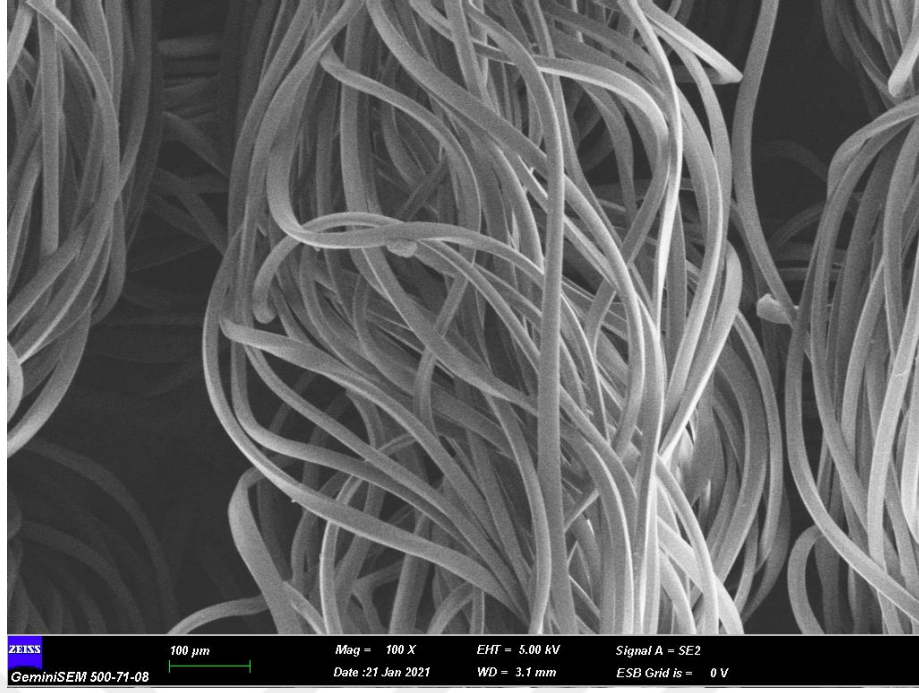


(c)

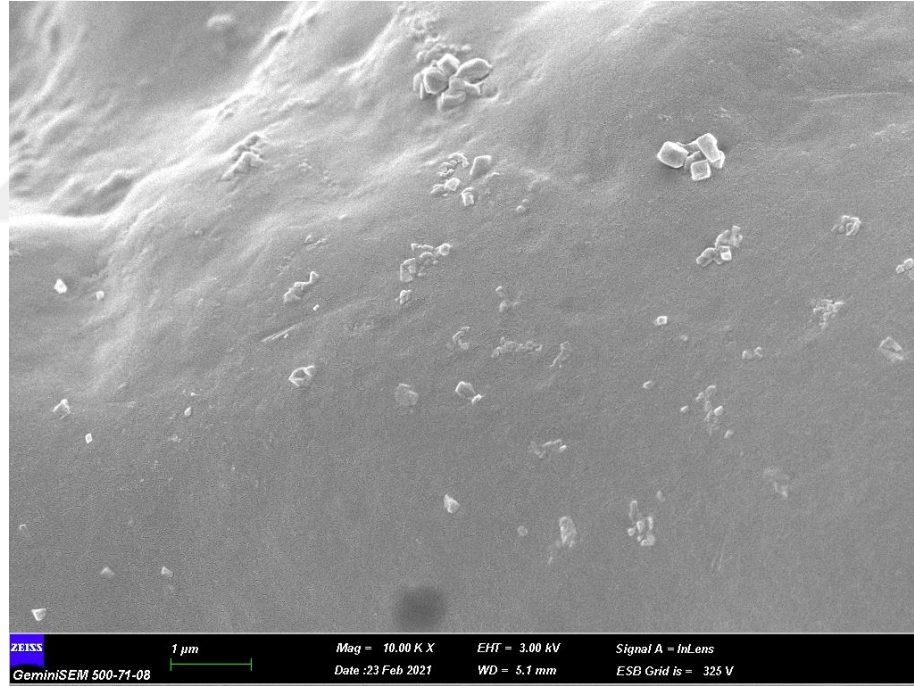
Şekil 5.10. NBR içerikli yapının (a), (b) Kumaş tarafından alınan SEM görüntüsü
c)Kaplama tarafından alınan SEM görüntüsü



(a)

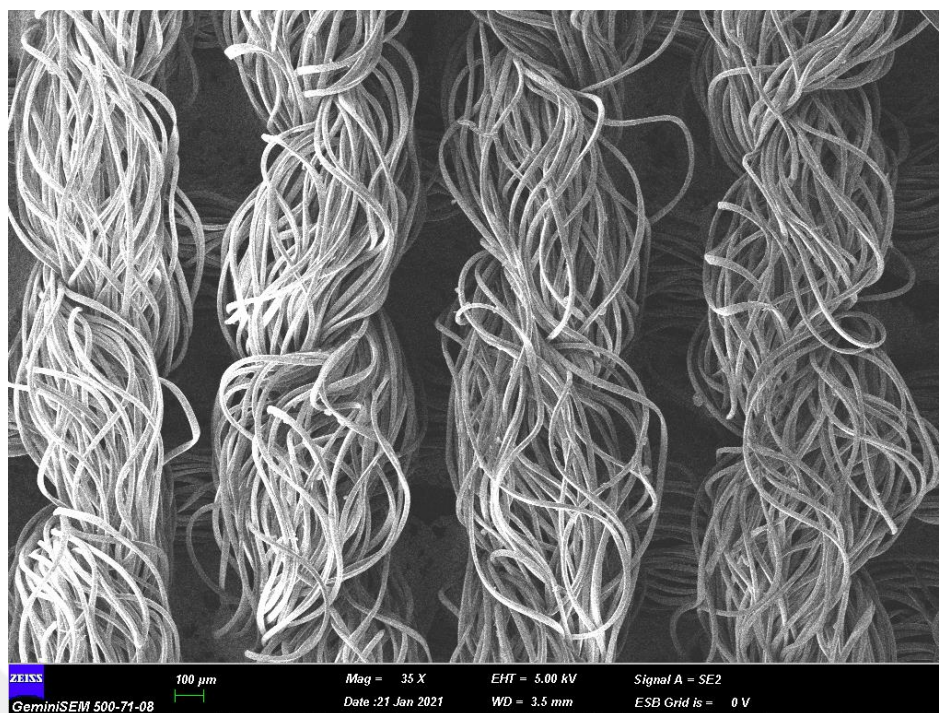


(b)

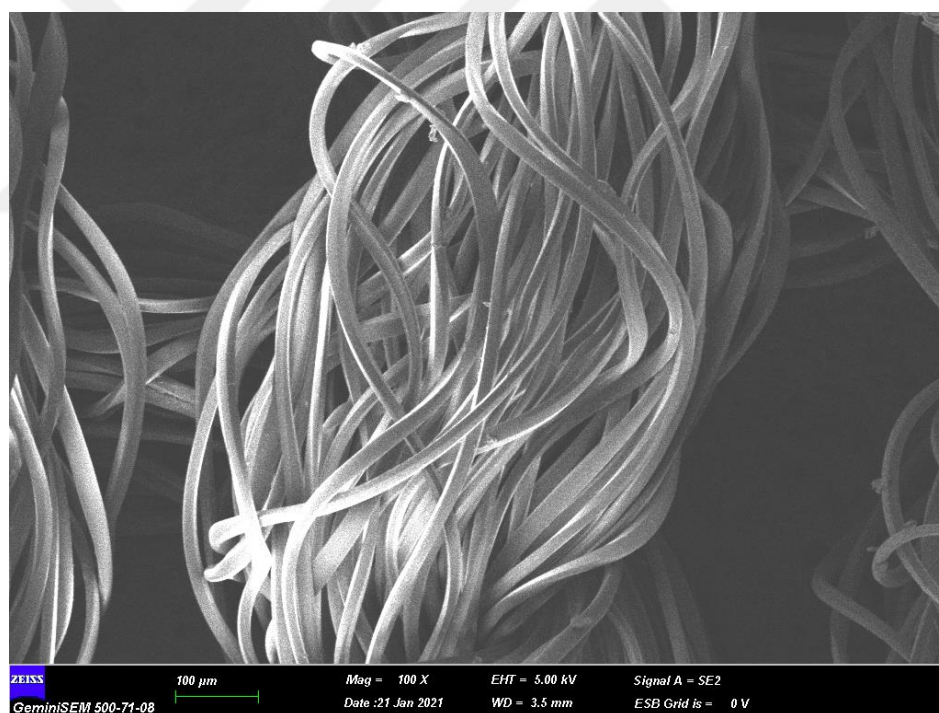


(c)

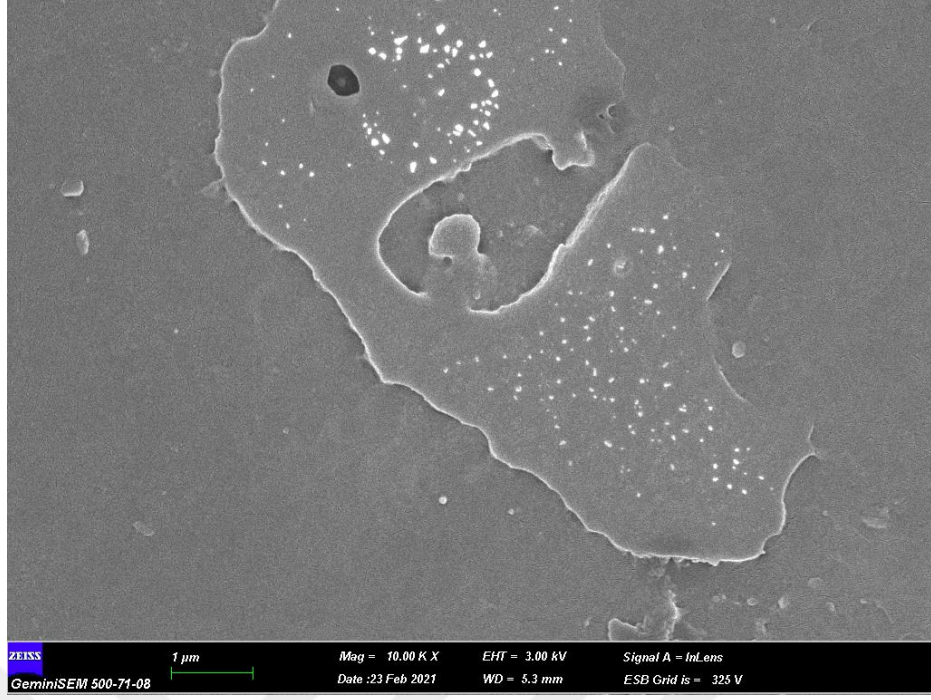
Şekil 5.11. %3,5 kenevir elyaf içerikli yapının (a), (b) Kumaş tarafından alınan SEM görüntüsü (c)Kaplama tarafından alınan SEM görüntüsü.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.12. %3 kenevir elyaf ve %0,5 cam elyaf içerikli hibrit yapının (a), (b) Kumaş tarafından alınan SEM görüntüsü (c)Kaplama tarafından alınan SEM görüntüsü.

6 SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada literatürde benzeri olmayan ve ilk kez endüstriyel iş eldivenlerinde denenilen kenevir elyafı ile güçlendirilen NBR kompozit yapı kullanılmıştır. Çalışmada mukayese amacıyla üç farklı kaplama yapılmıştır. Kenevir elyaf ile oluşturulan kompozit kaplamanın iş eldivenlerinin mekanik performansını artırdığı ortaya konulmuştur. Katkı içermeyen NBR iş eldiveninde aşınma direnci standartlara göre sınırdan 3 değerinde elde edilirken, kenevir takviyeli, cam elyaf takviyeli ve hibrit takviyeli kompozit kaplama uygulamalarında belirli takviye oranlarında eldivenin aşınma direncinin dikkate değer şekilde yükseldiği görülmüştür. Çalışmada kenevir elyaf takviyesinin %3,5 oranında yapılması durumunda en yüksek aşınma direncinin elde edildiği görülmüştür. Elde edilen sonuç üretilen eldivenin standartta verilen Seviye 3'ten Seviye 4'e geçmesini sağlamaktadır. Yüksek oranda kenevir katkısı toplanmaya neden olmakta, yapışma özelliklerini olumsuz etkilemekte ve yüzey pürüzlülüğü artmaktadır. Yüzey pürüzlülüğündeki artış ise aşınma direncini azaltmaktadır.

FTIR analiz sonuçlarını değerlendirdiğimizde bu çalışma ile dalga boylarında bazı değişimler olduğu ancak dikkate değer etkilerin oluşmadığı görülmüştür.

TGA sonuçlarına baktığımızda ise bu sonuçlara istinaden kenevir elyaf eklenmesi ile termal stabiliteyi düşürmekle birlikte mekanik stabilitenin arttığı çıkarımını yapmaktayız.

SEM görüntüleri ile kenevir ve cam elyaf eklenmesi durumunda yüzeyde elyaf birikmelerinin olmadığı ve astarın yüzeyine yerleştiği bu sayede de kaplama yapılan nitrilin astar içerisine geçmesini engelleyip tamamiyle astarın yüzeyinde kalmasını ve mekanik performansın artışına fayda sağladığı görülmektedir.

Ayrıca bu çalışma daha sonra yapılacak çalışmalara bilimsel bir temel oluşturmanın yanında, ithal edilen bir ürünün yerine yerli üretimin yapılması ve ihracatının sağlanabilmesi açısından üretim sistemine dahil edilerek endüstriyel ürün üretimi yapılabilme imkanı sunabilecek potansiyeldedir. İleride ticari olarak kullanılabilme fırsatı sunmaktadır.

Yapılan alışmalar neticesinde bu konuda yapılabilcek çalışmalar için aşağıdaki öneriler getirilebilir:

- Kenevir elyaf miktarı değiştirilerek etkisi incelenebilir.
- Kenevir elyaf farklı boyutlara getirilip kompozit yapıya dahil edilerek farklı elyaf boyutlarının sonuçları karşılaştırılabilir.
- Birtakım farklı kimyasal içerikler ile NBR yapısı kuvvetlendirilebilir.
- Elyaf yapısını kuvvetlendirebilecek ve elyaf topaklanmalarını engelleyebilecek ön işlemler yapılabilir.
- Doğal veya sentetik olarak farklı tip elyaflar kullanılarak etkileri incelenebilir.
- Farklı elyaflar ile farklı tipte hibrit yapılar denenerek mekanik özelliklerdeki değişimleri ve katkıları incelenebilir.
- Kompozit kaplama yapılan eldivenin astarının farklı tipteki örgü iplikleri ile olan astarlar ile denenerek, örgü kısmın değişiminin sonuçlara etkisi karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Azwa, Z. N. ve Yousif, B. F., 2013. Characteristics of kenaf fibre/epoxy composites subjected to thermal degradation, *Polymer Degradation and Stability*, 98, 12, 2752-2759.
- Balachandran, M., Devanathan, S., Muraleekrishnan, R. ve Bhagawan, S. S., 2012. Optimizing properties of nanoclay–nitrile rubber (NBR) composites using face centred central composite design, *Materials & Design*, 35, 854-862.
- Bhoopathi, R., Ramesh, M. ve Deepa, C., 2014. Fabrication and property evaluation of banana-hemp-glass fiber reinforced composites, *Procedia Engineering*, 97, 2032-2041.
- Bipinbal, P.K., 2012. Preparation and characterization of micro and nano fiber reinforced natural rubber composites by latex stage processing, Ph. D. Thesis, Cochin University, Kerala, India
- Boccarusso, L., 2017. On the manufacturing techniques of lightweight hemp-epoxy composites and improvement of their flame resistance, Ph. D. Thesis, University of Naples Federico II, Napoli, Italy.
- Chen, Y., Sun, L., Negulescu, I., Wu, Q. ve Henderson, G., 2007. Comparative study of hemp fiber for nonwoven composites, *Journal of Industrial Hemp*, 12, 1, 27-45.
- Dabhi, A. S., 2016. Biodegradable natural fiber composites: fabrication and characterization of hemp fiber with PLA powder composites, M. Sc. Thesis, The University of Texas at Austin, Austin, U.S.A.
- Ertekin, M., 2017. Kaplamanın koruyucu eldivenlerin performans özelliklerine etkisi, *Tekstil ve Mühendis*, 24: 107, 172-180.
- Gowda, T. Y., Sanjay, M. R., Bhat, K. S., Madhu, P., Senthamaraikannan, P. ve Yogesha, B., 2018. Polymer matrix-natural fiber composites: An overview., *Cogent Engineering*, 5, 1, 1446667.
- Gupta, G., Gupta, A., Dhanola, A. ve Raturi, A., 2016. Mechanical behavior of glass fiber polyester hybrid composite filled with natural fillers, *Materials Science and Engineering*, 149, 1, 012091.
- Haghighatnia, T., Abbasian, A. ve Morshednian, J., 2017. Hemp fiber reinforced thermoplastic polyurethane composite: An investigation in mechanical properties, *Industrial Crops and Products*, 108, 853-863.
- Han, H., 2015. Study of agro-composite hemp/polypropylene: treatment of fibers, morphological and mechanical characterization, Ph.D. Thesis, University of Technology of Troyes, Troyes, France.

- Kalapakdee, A. ve Amornsakchai T., 2014. Mechanical properties of preferentially aligned short pineapple leaf fiber reinforced thermoplastic elastomer: Effects of fiber content and matrix orientation, *Polymer Testing*, 37, 36-44.
- Kim, N. K., Dutta, S. ve Bhattacharyya, D., 2018. A review of flammability of natural fibre reinforced polymeric composites, *Composites Science and Technology*, 162, 64-78.
- Kostic, M. M., Pejic, B. M., Asanovic, K. A., Aleksic, V. M. ve Skundric, P. D., 2010. Effect of hemicelluloses and lignin on the sorption and electric properties of hemp fibers, *Industrial Crops and Products*, 32, 2, 169-174.
- Ku, H., Wang, H., Pattarachaiyakoo, N. ve Trada, M., 2011. A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites, *Composites Part B: Engineering*, 42, 4, 856-873.
- Madsen, B., 2004. Properties of plant fibre yarn polymer composites, Ph. D. Thesis, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark.
- Mielewski, D., Lee, E., Harris, A. ve Flanigan, C., 2017. Ford's driving role in the bio-based materials age, *A Chronology of Middle Missouri Plains Village Sites*, 99.
- Mishra, 2014. A study on thermal and dielectric characteristics of solid glass microsphere filled epoxy composites, Ph. D. Thesis, National Institute of Technology Rourkela, Rourkela, India.
- Mohammed, L., Ansari, M. N., Pua, G., Jawaid, M. ve Islam, M. S., 2015. A review on natural fiber reinforced polymer composite and its applications, *International Journal of Polymer Science*, 2015.
- Prukkaewkanjana, K., Thanawan, S. ve Amornsakchai, T., 2015. High performance hybrid reinforcement of nitrile rubber using short pineapple leaf fiber and carbon black, *Polymer Testing*, 45, 76-82.
- Rajesh, C., Unnikrishnan, G., Purushothaman, E. ve Thomas, S., 2004. Cure characteristics and mechanical properties of short nylon fiber-reinforced nitrile rubber composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 92, 2, 1023-1030.
- Sanjay, M. R., Arpitha, G. R. ve Yogesha, B., 2015. Study on mechanical properties of natural-glass fibre reinforced polymer hybrid composites: A review, *Materials Today: Proceedings*, 2, 4-5, 2959-2967.
- Savran, H.Ö., 2001. Elastomer Teknolojisi-I, Kauçuk Derneği Yayınları, İstanbul.
- Setua, D.K., De, S.K., 1984. Short silk fibre reinforced nitrile rubber composites, *J Mater Sci* 19, 983-999.
- Shahzad, A., 2012. Hemp fiber and its composites—a review, *Journal of Composite Materials*, 46, 8, 973-986.

- Shahzad, A., 2011. Impact and fatigue properties of hemp-glass fiber hybrid biocomposites, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 30, 16, 1389-1398.
- Shah, N., Fehrenbach, J. ve Ulven, C. A., 2019. Hybridization of hemp fiber and recycled-carbon fiber in polypropylene composites, *Sustainability*, 11, 11, 3163.
- Singh, J., Kumar, M., Kumar, S. ve Mohapatra, S. K., 2017. Properties of glass-fiber hybrid composites: a review, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 56, 5, 455-469.
- Silva D.A.S., 2015. Pretreatment of hemp fibers to enhance enzymatic accessibility for hemp fibers, M. Sc. Thesis, Technical University of Lisbon, Lisbon, Portugal.
- Summerscales, J., Dissanayake, N. P., Virk, A. S. ve Hall, W., 2010. A review of bast fibres and their composites. part 1-fibres as reinforcements, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41, 10, 1329-1335.
- Summerscales, J., Dissanayake, N., Virk, A. ve Hall, W., 2010. A review of bast fibres and their composites. part 2-composites, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41, 10, 1336-1344.
- Summerscales, J., Virk, A. ve Hall, W., 2013. A review of bast fibres and their composites: part 3-modelling, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 44, 132-139.
- Szadkowski, B., Marzec, A. ve Zaborski, M. (2019). Effect of different carbon fillers on the properties of nitrile rubber composites, *Composite Interfaces*, 26, 8, 729-750.
- Thygesen, A., 2006. Properties of hemp fibre polymer composites-an optimisation of fibre properties using novel defibration methods and fibre characterisation, Ph. D. Thesis, Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark
- Wisittanawat, U., Thanawan, S. ve Amornsakchai, T., 2014. Mechanical properties of highly aligned short pineapple leaf fiber reinforced-nitrile rubber composite: effect of fiber content and bonding agent, *Polymer Testing*, 35, 20-27.
- Wisittanawat, U., Thanawan, S. ve Amornsakchai, T., 2014. Remarkable improvement of failure strain of preferentially aligned short pineapple leaf fiber reinforced nitrile rubber composites with silica hybridization, *Polymer Testing*, 38, 91-99.
- Zhang, X., 2016. Manufacturing of hemp/PP composites and study of its residual stress and aging behavior, Ph.D. Thesis, University of Technology of Troyes, Troyes, France.
- URL-1<<https://www.trademap.org>>, Erişim tarihi: 16.11.2019.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı: Tefvik Han Okçuer

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans: Erciyes Üniversitesi, Makine Mühendisliği, 2011-2016

Anadolu Üniversitesi, İşletme, 2013-2019

Yüksek Lisans: Aksaray Üniversitesi, Makine Mühendisliği, 2018-

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. Dav Makine / Makine Mühendisi / 2016-2017

2. Okçuerler Tekstil / Makine Mühendisi / 2017-

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Kongrelerde Sunulan Bildiriler

Okçuer, T.H., Şahin, N., Karabörk, F. ve Akyüz, L., 2020. Mekanik risklere karşı koruyucu iş eldivenlerinde performansın kompozit kaplama ile geliştirilmesi, 6.Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi, Bildiri Kitabı, 756-766.