Biyopartikül Takviyeli Polimer Matrisli Biyokompozit Malzemelerin Üretilebilirliğinin ve Özelliklerinin Araştırılması

Oğuzhan Can

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs 2019

Investigation of Properties and Manufacturability of Bioparticule Reinforced Polymer Matrix Biocomposites

Oğuzhan Can

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Metallurgical and Materials Engineering

May 2019

Biyopartikül Takviyeli Polimer Matrisli Biyokompozit Malzemelerin Üretilebilirliğinin ve Özelliklerinin Araştırılması

Oğuzhan Can

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Malzeme Bilimi Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Bilge Yaman Islak

"Bu Tez Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Tarafından 2018/15D08 no'lu proje çerçevesinde desteklenmiştir."

Mayıs 2019

ONAY

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Oğuzhan CAN'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Biyopartikül Takviyeli Polimer Matrisli Biyokompozit Malzemelerin Üretilebilirliğinin ve Özelliklerinin Araştırılması" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman **:** Dr. Öğr. Üyesi Bilge Yaman Islak
İkinci Danışman **:** Dr. Öğr. Üyesi Gökhan Açıkbaş

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Prof. Dr. Osman Torun

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Bilge Yaman Islak

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Neşe Öztürk Körpe

Üye :

Üye :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Dr. Öğr. Üyesi Bilge Yaman Islak danışmanlığında hazırlamış olduğun "Biyopartikül Takviyeli Polimer Matrisli Biyokompozit Malzemelerin Üretilebilirliğinin ve Özelliklerinin Araştırılması " başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 07/05/2019

Oğuzhan CAN

İmza

ÖZET

Kompozit malzemeler, endüstrinin her alanında sağladıkları avantajlar nedeniyle, istenilen farklı tipteki mekanik, fiziksel veya kimyasal özellikleri yeterli olmayan polimer malzemelerin farklı tipte ve miktarlarda doğal lif ya da sentetik fiberler ile desteklenmesi sonucunda üretilen karma yapılı malzemelerdir. Özellikle lifli kompozit yapıların geliştirilmesi ve özellikleri üzerine, son zamanlarda çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bununla birlikte; yeni araştırmalar yapay fiberler yerine doğal fiberlerle üretilebilecek biyokompositlerin üretimi üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışmalar kesik elyaf üretim süreçlerinde üretim yöntemlerinin geliştirilmesi ve aynı zamanda bu polimerlere ilişkin özellik profili geliştirilmesi ile ilgilidir. Yapılan çalışmanın biyokompozit oluşturabilecek atık sınıfında değerlendirilebilecek kadar ucuz doğal fiberlerin kompozit bileşiminde kullanılarak biyopolimerlerin üretilebilirliliğin araştırılması ve özelliklerinin tespitini kapsamaktadır.

Bu çalışmada, doğal lif takviyeli kompozit malzemelerde takviye malzemesi olarak en çok kullanılan selüloz esaslı doğal lifler yerine yine lifli yapıya sahip çam kozalağı ve fındık kabuğu takviyesi kullanımı denenmiş, içyapıları, fiber-matris uyumu, özellikler üzerinde büyük etkisi olan fiber-matris bağ mukavemeti, kompozitlerin mekanik, fiziksel ve tribolojik özellikleri ayrıntılı olarak ilk defa incelenmiştir. Biyokompozitlerin üretilmesinde polietilen ve epoksi matris malzeme kullanılmıştır. Polietilen matrisli kompozitlerin üretiminde ekstrüzyon yöntemi, epoksi matrisli kompozitlerin üretiminde açık döküm yöntemi seçilmiştir. Proje kapsamında kompozit malzemelerin özelliklerine iki farklı takviye malzemesinin (öğütülmüş fındık kabuğu ve çam kozalağı) ve farklı miktarlarının (ağ. %5, %10, %20 ve %30) etkisi incelenmiştir. Farklı oran ve katkılara sahip kompozitlerin mekanik özelliklerin belirlenmesinde, sertlik, çekme ve eğme testleri gerçekleştirilmiştir. Tribolojik karakterizasyon için; tungsten karbür aşındırıcı bilye kullanılarak oda sıcaklığında yağlayıcı olmadan bilye-disk (ball-on-disk) testleri gerçekleştirilerek sürtünme ve aşınma oranları belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Biyokompozit malzemeler, biyopartikül, polimer, doğal atık

SUMMARY

Composite materials(CM) are made from two or more constituent materials with significantly different physical or chemical properties that, when combined, produce a material with characteristics different from the individual constituents. A number of research projects have been carried out in the past few years especially about developing production and processing technologies of fiber reinforced composite materials. Natural fiber-reinforced thermoplastic composites have attracted considerable attention in recent years because they can potentially cut product cost, improve mechanical properties, and are beneficial to the environment in applications. The investigations conducted ranged from the surface modifications, composite processing methods, to determination of physical properties. This study consists of investigation of properties and manufacturability of biocomposites by using low-cost biofibers classified as waste materials.

In this study, the use of pine cones and hazelnut shell reinforcements which have been used as fiber reinforcing material in natural fiber reinforced composite materials instead of the most commonly used cellulose based natural fibers. Fiber-matrix bonding strength, fiber-matrix bond strength with great effect on properties, mechanical, physical and tribological properties of composites were investigated in detail for the first time. Polyethylene and epoxy matrix materials were used in the production of bio-composites. In the production of polyethylene matrix composites, extrusion method has been chosen for casting of epoxy matrix composites. Within the scope of the project, the effect of two different reinforcement materials (milled hazelnut shell and pine cone) and different amounts (10%, 20% and 30%) of the CM were investigated. For determination of the mechanical properties of composites with different ratios and additives, tensile, bending, hardness tests performed. For tribological characterization; by using tungsten carbide abrasive balls, ball-on-disk tests were carried out without lubricant at room temperature and friction and wear rates were determined.

Keywords: Biocomposite Materials, Biofiber, Polymer, Waste Materials

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın meydana gelmesinde büyük emeği olan, bilgisi, tecrübesi ve olumlu düşünceleri ile beni yönlendiren, bana her konuda destek veren değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Bilge YAMAN ISLAK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca teknik bilgi ve desteğini esirgemeyerek projeye yardımcı olan Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Doç.Dr. Gökhan AÇIKBAŞ'a teşekkürlerimi sunarım. 2018/15D08 numaralı proje kapsamında tez çalışmamı destekleyen ESOGÜ, Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu' na teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımı sürekli destekleyen, motivasyon kaynağı olan, çalışma sürecim boyunca sabırlı ve anlayışlı olan aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET vi
SUMMARY vii
TEŞEKKÜR viii
İÇİNDEKİLER ix
ŞEKİLLER DİZİNİ xi
ÇİZELGELER DİZİNİ xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ xiii
1. GİRİŞ VE AMAÇ 1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 3
2.1. Matris Malzemeleri 3
2.1.1. Termoset Esaslı Matris Malzemeleri 3
2.1.2. Termoplastik Esaslı Matris Malzemeleri 4
2.2. Polietilen 5
2.2.1. Yüksek Yoğunluklu Pe (Polietilen) 7
2.2.2. Alçak Yoğunluklu Pe (Polietilen) 8
2.3. Epoksi 8
2.4. Takviye Malzemeleri 10
2.5. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması 14
2.6. Kompozit Malzemelerin Avantajları 15
2.7. Kompozit Malzemelerin Dezavantajları 16
2.8. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları 16
2.9. Üretim Yöntemi 17
2.10. Biyokompozitlerin Üretimi Üzerine Literatür Çalışmaları 18
3. MATERYAL VE YÖNTEM 22
3.1. Kullanılan Hammaddeler 22
3.2. Öğütme ve Eleme İşlemi 23
3.3. Biyopartikül Katkılı Kompozit Malzemelerin Üretimi 24
3.4. Kesme ve Soğuk Kalıplama İşlemi 25
3.5. Mekanik Testler 26
3.6. Aşınma Testleri 27
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 28

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.1. Ekstrüzyon Yöntemi İle Üretilen Biyopartikül Katkılı Polietilen Matrisli Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu 28
4.1.1. Mikroyapısal Karakterizasyonu 28
4.1.2. Mekanik Karakterizasyon 29
4.1.2.1. Sertlik Testleri Sonuçları 29
4.1.2.2. Çekme Testi Sonuçları 30
4.2. Açık Kalıp Döküm Tekniği İle Üretilen Biyopartikül Katkılı Epoksi Matrisli Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu 31
4.2.1. Mikroyapısal karakterizasyonu 31
4.2.2. Mekanik karakterizasyon 33
4.2.2.1. Sertlik Testleri Sonuçları 33
4.2.2.2. Çekme Testi Sonuçları 33
4.2.2.3. Eğme Testi Sonuçları 35
4.2.3. Aşınma Testi Sonuçları 38
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 49
KAYNAKLAR DİZİNİ 51

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

2.1. Polietilen 5
2.2. Polietilen Hammadde. 6
2.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması 15
3.1. Kompozit üretiminde kullanılan matris ve takviye malzemeler; a) Polietilen, b) epoksi, c) fındık kabuğu d) kozalak 23
3.2. Halkalı Değirmen 23
3.3. a) Titreşimli elek, b) fındık kabuğu, c) kozalak 24
3.4. Ekstrüzyon cihazı. 24
3.5. a) Kalıplanmış Numuneler, b) Zımparalama ve parlatma makinesi 25
3.6. a) Sertlik test cihazı, b) çekme test cihazı, c) eğme test cihazı, d) çekme numuneleri, e) eğme numuneleri f) tribometre cihazı 27
4.1. Ektrüzyon Yöntemi İle Üretilen Kompositlerin Optik Mikroskop İle Görüntülenen Mikro Yapıları 28
4.2. Sertlik Değerleri Grafiği 29
4.3. Üretilen Kompozitlerin Gerilme-Gerinim Eğrileri. 31
4.4. Açık Kalıp Döküm Tekniği İle Üretilen Kompositlerin Optik Mikroskop İle Görüntülenen Mikro Yapıları 32
4.5. Çekme Testi Sonuçları 35
4.6. Eğme Testi Sonuçları 38
4.7. Sürtünme Eğrileri 43
4.8. Biyopartikül Katkılı Kompozit ve Matris Malzemelerin Farklı Büyütme Değerlerindeki SEM Görüntüleri. 48

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge **Sayfa**

2.1. Fiberler. 12
2.2. Biyopartiküllerin avantaj ve dezavantajları. 12
2.3. Doğal ve Sentetik Fiberlerin Bazı mekaniksel ve Fiziksel Özellikleri 13
3.1. Saf Polietilenin Özellikleri 22
4.1. Sertlik Testi Sonuçları 33
4.2. Eğme Testi Sonuçları. 36
4.3. Aşınma Oranları. 44

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	**Açıklama**
Tg	Camsı Geçiş Sıcaklığı
MPa	Mega Pascal
N	Yük
W	Aşınma Oranı
L	Aşınma Mesafesi
V	Hacim

Kısaltmalar	**Açıklama**
PE	Polietilen
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
LDPE	Düşük Yoğunluklu Polietilen
UV	Ultraviole
RTM	Reçine Transfer Kalıplama
NFC	Doğal Fiberli Komposit
SFC	Sentetik Fiberli Kompozit
SRIM	Yapısal Reaksiyon Enjeksiyon Kalıplama
SMC	Hazır Kalıplama Pestili
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
RPM	Dakikadaki Devir Sayısı

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Çevresel kirlilik, küresel ısınma ve petrol kaynaklarındaki azalma nedeniyle organik olmayan yapay malzemeler yerine doğal lif esaslı kompozitlerin kullanımının artmasına yol açmıştır. Cam, karbon lifleri ve termoset reçineler ile termoplastikler gibi malzemelerle iyi mekanik özelliklere sahip endüstriyel ürünler yapılması söz konusu olsa bile bu malzemelerin geri dönüşümü çok zor olduğundan ve üretimleri sırasında ciddi boyutlarda çevresel yük oluşturacağından doğal lif kullanımı gibi farklı çözümlerin aranması zorunlu hale gelmiştir. Bu noktadan bakıldığında doğal lifleri içeren kompozit malzemeler, hafif olması, kaynakların verimli kullanılması ve biyobozulabilir özellikte olmalarından dolayı "çevre dostu" olgusunu en iyi şekilde kapsayan ve giderek önemi artan kompozit bileşenleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada doğal takviye malzemeler kullanılarak sahip oldukları iyi mekanik dayanım ve hafifliklerinden dolayı farklı endüstri kollarında kullanımları için mekanik ve tribolojik performansları incelenmiştir.

Projenin amacı; polimer malzemelere yeterli çekme ve eğme dayanımı ve aşınma direnci gibi özellikler kazandıran doğal fiberli kompozit malzemelerin üretiminin araştırılmasıdır. Bir diğer amaç ise yapay kompozitlere alternatif ürün olarak potansiyel kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Biyopartikül takviyeli kompozit malzemelerde takviye malzemeler, lifli yapıya sahip çam kozalağı ve fındık kabuğu takviyesi ağırlıkça %5, 10, 20 ve 30 olarak şekilde kullanılmıştır. Matris malzeme olarak polietilen ve epoksi olmak üzere iki farklı matris malzeme kullanılmıştır. Biyopartikül katkılı kompozitlerin üretiminde üretim yönteminin etkisini incelemek için ektrüzyon ve döküm yöntemi tercih edilmiştir.

Günümüz teknolojisindeki hızlı ilerlemeler; sentetik malzemelerin kullanımını arttırmıştır. Kompozit malzemelerde takviye olarak genellikle fiberler ve seramikler yoğun şekilde kullanılmaktadır. Bu tarz üretilen kompozit malzemelerin geri dönüşülebilirliği oldukça düşüktür ve yoğun miktarda atık oluşmasına sebep olur.

Orman kaynaklı bitkilerden tarımsal kaynaklardan elde edilen bitkilere kadar çok farklı bitkinin kullanımı ile çok fazla sayıda yeni malzemenin ve ürününün oluşturulması

mümkündür. Bitkiler biyobozunur olma özellikleriyle yeşil malzeme ve ürünlerin eldesinde kullanılan, dünya üzerinde bolca bulunan yenilenebilir ve sürdürülebilir kaynaklardır. Selüloz dünya üzerinde en çok bulunan polimerdir. Bitkilerin yapının % 40-50'si selüloz iken geri kalan kısmı hemiselüloz, lignin, pektin vb.'den oluşmaktadır. Bitkiler bu özellikleri ile malzeme bilimcileri için, hassas mühendislik yaklaşımı ile birlikte özel tasarlanmış, farklı özelliklere sahip yeni biyo ürünlerinin keşfedilmesi yolunu açmaktadır. Dünyanın farklı bölgelerinde yetişen farklı özelliklere sahip bitkiler, ülkeler için ekomik fırsatlar sunmaktadır. Petrol kökenli kaynaklar tükenmektedir ve petrokimyasal kaynaklı malzemelerin fiyatları dalgalanma göstermektedir. Ayrıca bu malzemelerin kullanımı CO_2 gazı emisyonuna sebep olmaktadır. Petrol bazlı malzemelerin yerini biyolojik kökenli malzemelerin alması gereklidir. Bu noktada biyopolimer ve biyopartiküller önem kazanmaktadır (Lee, B. H. vd., 2009).

Son zamanlarda doğal lif esaslı biyokompozit malzemeler alanında yapılan araştırmalar ve inovativ çalışmalar gerçekleşmektedir. Bu ilginin nedeni, diğer sentetik fiber malzemelerle kıyaslandığında, düşük maliyet ve sürdürülebilir olumlu çevresel etkilerinin olması nedeniyle geniş bir uygulama yelpazesinde kullanımları her geçen gün artan malzemelerdir (Shah, D. H. vd., 2014).

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Kompozit iki malzemenin tek malzeme oluşturmak için yaptığı kompozisyon olarak adlandırılır. Takviye malzemeleri fiber, partilül ya da levha şeklindedir. Matris ise polimer, metal ya da seramik şeklindedir. Matris yükü taşırken, takviye malzemeleri sertlik ve dayanım sağlarlar. Matris fiberlerden daha sünektir ve kompozitin tokluğunu sağlar. Ayrıca çevresel etkenlere karşıda koruma sağlar. Kompozitler sadece yapısal özellikleri için değil, ayrıca elektrik, termal, tribolojik ve çevresel uygulamalarda da kullanılırlar. Alaşımlar gibi tek bir özellik göstermezler ve bileşenleri kendi karakteristirik özelliklerini ve kombinasyon özelliklerini gösterirler. Mikroskobik düzeyde homojen dağılım sergileyebilir (Elanchezhiana, C. vd., 2016).

2.1. Matris Malzemeleri

2.1.1. Termoset Esaslı Matris Malzemeleri

Termoset plastik malzemeler ısıtılarak ve kimyasal tepkimelerle sertleşirler. Yüksek sıcaklıklarda bile yumuşamazlar ve kimyasal etkiler altında çözünmezler (Pickering, K. L. vd., 2016).

Termoset matrisler, küçük monomer moleküllerini, uzun ve aralarında kuvvetli bağlar bulunan polimer molekülleri haline getiren kimyasal reaksiyon sonucu oluşur. Termosetler, polimerizasyonla iki kademede elde edilir. Birincisi malzemeyi ihtiva eden monomerler lineer zincirlerin bir araya getirildiği reaktörde başlarken ikinci polimerizasyon işlemi kalıplama işlemi esnasında sıcaklık ve basıncın etkisiyle reaksiyona girmeyen kısımların sıvılaşmasıyla olur, bu işlemle birlikte molekül zincirleri üç boyutlu yapıya sahip olurlar. Bu reaksiyonun gerçekleşmesi için genellikle katılaştırıcı kullanılır. Katılaştırıcı ilavesi ile önce jel hali oluşur ve sonra da katılaşırlar. Termoset reçineler izotropiktirler. Termal stabilite, kimyasal direnç, düşük yoğunluk termoset reçinelerin avantajlarıdır. Oda sıcaklığındaki sınırlı çalışma zamanı, katılaşma için geçen uzun fabrikasyon zamanı, kopma esnasındaki düşük uzama dezavantajlarıdır (Li, X. vd., 2007).

Termoset kompozitleri üretmenin avantajlar (Mehta, G. vd., 2005);

1. Reçineler sıvı olduğu için kompozit üretimi kolaydır.
2. Sıvı haldeki reçine fiberleri daha iyi kapsadığından porozite düşüktür.
3. Üretiminde sıcaklık ve basınç gibi faktörlerden etkilenmediği için düşük enerjili üretim yapılabilir.
4. Ekipman maliyeti ucuzdur.

Termoset kompozit üretmenin dezavantajları (Mehta, G. vd., 2005);

1. Termoset ile üretimde uzun kürlenme süreleri üretim oranını azaltır.
2. Termoset ile üretilen kompozitler katılaştırıldıkları andan itibaren şekil vermek olanaksızdır.
3. Termoset kompozitlerin imhası ve geri dönüşebilirliği problemlidir.

2.1.2. Termoplastik Esaslı Matris Malzemeleri

Termoplastik, ısıtıldığında homojen bir sıvı haline gelen ve soğutulduğunda sertleşen polimer reçinelerinden üretilen bir plastik türüdür. Ancak termoplastik dondurulduğu zaman cama benzer ve çatlamaya elverişli bir hal alır. Malzemeye adını veren bu özellikler tersine çevrilebilir. İşte bu nedenle tekrar tekrar ısıtılabilir, şekillendirilebilir ve dondurulabilir. Termoplastikler, bu özellikleri nedeniyle geri dönüştürülebilmektedir (Abdollah, M. F. B. vd., 2015).

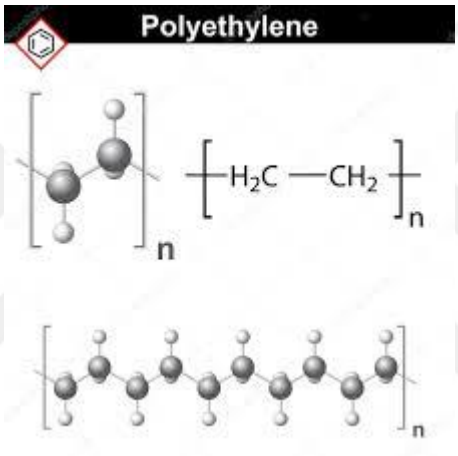
Her biri kristalin yapısı ve yoğunluğu farklı olan düzinelerce termoplastik türü mevcuttur. Günümüzde yaygın şekilde üretilen bazı türler arasında polipropilen, polietilen, polivinilklorür, polistiren, polietileneterftalat ve polikarbonat bulunur (Shah, D. vd., 2014).

Termoplastikler eritilebilen ve neredeyse sonsuz sayıda farklı kullanıma uygun olarak yeniden dökülebilen polimerler olarak tanımlanmaktadır. En basit moleküler yapıya sahip olan termoplastiklerin kimyasal olarak bağımsız makro molekülleri vardır. Isıtıldığında yumuşar yahut erir, soğutulduğunda şekle girer, kaynar ve katılaşır. Defalarca

ısıtılabilir ve soğutulabilir, ciddi bir hasar almaz, bu sayede yeniden işlenebilir ve geri dönüştürülebilir (De Rosa, I. M. vd., 2010).

2.2. Polietilen

Polietilen süt beyazı, kokusuz, kararlı, yarı şeffaf ve kimyasal maddelere dayanıklı bir termoplastiktir; etilenin polimerizasyonuyla üretilir. Polimerizasyon işlemi, uygulanan prosese ve katalizörlere göre radikal, anyonik veya katyonik mekanizma üzerinden yürür; elde edilen polimerler birbirinden farklı özellikler gösterir (Zhan ve Woll, 2011).



Şekil 2.1. Polietilen (Zhan ve Wool, 2011).

Polietilen, çok çeşitli ürünlerde kullanılan beyazca, yarı geçirgen, yumuşatılabilen ve oldukça dayanıklı bir termoplastiktir. İsmini monomer haldeki etilenden alır, etilen kullanılarak polietilen üretilir. Plastik endüstrisinde genelde ismi kısaca PE olarak geçer. En basit şekliyle polietilen molekülü, bir çift hidrojen atomuyla kovalent bağ ile birleşen çift sayıdaki karbon atomlarının birbirleriyle bağlanmasıyla oluşan bir polimerdir. Etilen molekülü C_2H_4, kimyasal olarak çift bağ ile bağlanmış iki CH_2'den oluşur. (CH_2=CH_2). Polietilenin üretim şekli, etilenin polimerizasyonu ile olur. Polimerizasyon metodu, radikal polimerizasyon, anyonik polimerizasyon, iyon koordinasyon polimerizasyonu ve katyonik polimerizasyon metotları ile olabilir. Bu metotların her biri farklı tipte polietilen üretimi sağlar (Abdollah, M. F. B. vd., 2015).

Polietilenin mekanik özellikleri polimer zincirlerinin uzunluğuna ve dallanma derecelerine, kristal yapıya ve molekül ağırlığına göre değişir. Kısa zincirli ürünler kırılgan ve waks yapılıdır, uzun zincirli yapılar sert plastiklerdir. Poliolefinin yoğunluğu arttıkça yumuşama noktası, bulanıklık ve yağlara dayanıklılığı da artar. Polietilenler mekanik özelliklerine bağlı olarak çeşitli sınıflara ayrılırlar:

- Alçak yoğunluklu polietilen (LDPE)
- Lineer alçak yoğunluklu polietilen (LLDPE)
- Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE)
- Ultra yüksek molekül ağırlıklı polietilen (UHMWPE) Polietilenler, türüne göre bazı katkı maddeleri içerir:
- Stabilizasyon katkı maddeleri; polimerin son ürün haline dönüştürülmesi ve depolanması sırasında yapışma ve jelleşmesini önler.
- Kaydırıcı; sürtünme katsayısını düşürerek film üretiminde polimere esneklik kazandırır ve filmin metal yüzeylere yapışmasını önler.
- Anti-bloklaşma katkı maddesi; polimerin özellikle büyük filmler üretiminde bloklaşmasını engelleyerek üretimi kolaylaştırır.
- Ultraviole (UV) katkı maddeler; özellikle sera filmleri gibi güneş ışığı altındaki kullanımlarda filmin kullanım süresini uzatır. Polietilenin tipik kopolimerleri arasında etilen-etilakrilat, etilen-metilakrikat, etilen-vinilasetat ve etilen-propilen sayılabilir (De Rosa, I. M. vd., 2010).



Şekil 2.2. Polietilen Hammadde (Karabulut ve Seydibeyoğlu 2015).

Polietilenin özellikleri, tiplere göre değişiklik gösterse de; dış ortam koşulları ve neme karşı iyi direnç, esneklik, zayıf mekaniksel kuvvet ve üstün kimyasal direnç genel özellikleri olarak sayılabilir. Polietilen oldukça düşük maliyetli ve ucuz bir polimer olduğu için çok miktarda üretilir. Büyük bir kısmı torba (poşet), kaplar, plastik kutular, mutfak eşyaları, kaplamalar, boru, oyuncak, kablolarda yalıtkan tabakalar, kalıp yapımı, elektrik izolasyonu, paketleme malzemesi ve ambalaj filmi gibi çok farklı alanlarda yaygın olarak kullanılır (Abdollah, M. F. B. vd., 2015).

Yoğunlukları birbirinden farklı olmak üzere, çeşitli polietilen tipleri vardır. Yüksek yoğunluklu polietilen kopmaya, kırılmaya ve parçalanmaya karşı direncini kaybettigi için bunların kalıplanması için yüksek sıcaklığa ve basınca ihtiyaç vardır. Düşük ve orta yoğunluktaki polietilen, saf etilenin 150-250 °C'de, 20.000-35.000 psi basınç altında ve oksijenin bol olduğu ortamda polimerize edilmesiyle elde edilir. 200 °C civarında düşük yoğunluklu, 150 °C civarında orta yoğunluklu ve 50-150 °C arasında da yüksek yoğunluklu polietilen elde edilir. Yoğunluğu yükseltmek için reaksiyon sıcaklığı düşürülürken basınç da düşer. Düşük yoğunluktaki polietilenin yumuşama sıcaklığı 105-115 °C'ler arasındadır. Bu polietilen 75 °C'ye kadar dayanıklıdır ve bu dereceye kadar olan sıcaklıklarda sürekli kullanılabilir. Yüksek yoğunluklu polietilen için kullanılma sıcaklığı 25 ile 40 °C arasıdır. Çok uzun zincir halindeki yapıya sahip yüksek yoğunluklu polietilenler % 85-95 oranında şeffaftır. Düşük yoğunluklu polietilenler de çeşitli sınıflara ayrılmış olup % 50-85'i şeffaftır (Zini ve Scandola, 2011).

2.2.1. Yüksek Yoğunluklu Pe (Polietilen)

Polietilenin yoğunluğu dallanmaya bağlıdır. Yüksek yoğunluklu polietilende düşük dallanma görülürken yüksek kristalleşme görülür. Yoğunluğu 0,94-0,97 gr-cm3 arasındadır ve yüksek yoğunluk daha sert yapı ortaya çıkmasına neden olur. (De Rosa, I. M. vd., 2010).

2.2.2. Alçak Yoğunluklu Pe (Polietilen)

Kristalleşme esnasında zincirleme dallanmalar oluşur ve yoğunluk düşer. Yoğunluk 0,90-0,94 gr/cm3 kadardır (De Rosa, I. M. vd., 2010).

2.3. Epoksi

Epoksi reçineler en yaygın kullanılan reçinelerdir. Epoksiler, epoksit gruplarının içerdiği düşük moleküler ağırlıklı organik sıvılardır. Epoksit halkasında üç eleman mevcuttur: bunlar bir oksijen ve iki karbon atomudur. Epiklorhidrin ile fenollerin veya aromatik aminlerin reaksiyonu epoksileri meydana getirir. Viskozite, darbe, bozunma, vb. özellikleri ile geniş yelpazede üretmek için sertleştiriciler, plastikleştiriciler ve katkı maddeleri ayrıca eklenir (Cheung, H. Y. vd., 2009). Epoksi matrisler diğer polimer matrislerden daha pahalı olmasına rağmen, en yaygın polimer matrisli kompozit matrisidir. Polimer matrislerin üçte ikisinden fazlası havacılık uygulamalarında kullanılır ve bunlar epoksi esaslıdır. Epoksi reçinenin en yaygın kullanılan polimer matris malzemesi olmasının ana sebepleri;

1. Yüksek mukavemet,
2. Üretim sırasında elyafların iyi ıslanmasına olanak sağlayan ve elyafların yanlış hizalanmasını engelleyen düşük viskozite ve düşük akış oranları,
3. Kürlenme süresince düşük uçuculuk,
4. Epoksi ile takviye elemanları arasındaki bağların artış eğilimindeki büyük kayma gerilmelerini azaltan düşük büzülme oranları,
5. Üretim gereklilikleri ve belirli özellikleri karşılamak için yirmiden fazla kalite kullanılabilir (Abdollah, M. F. B. vd., 2015).

Epoksi esaslı kompozit malzemeler oda sıcaklığı ve yüksek sıcaklıklarda iyi performans gösterirler. Epoksiler 100-150°C sıcaklığın üzerinde sağlıklı çalışabilir ve 200°c sıcaklığın üzerinde iyi performans sergileyebilen epoksiler de vardır. Yüksek sıcaklık ve yüksek performans epoksileri için maliyetleri artar ancak bunlar iyi kimyasal ve korozyon direnci gösterirler. Epoksiler sıvı, katı ve yarı katı formlarda olabilir. Sıvı epoksiler reçine transfer kalıplama (RTM), elyaf sarma, profil çekme, elle yatırma ve diğer kompozit üretim

proseslerinde cam, karbon, aramid, bor elyaf gibi çeşitli takviye elyafları ile kullanılır. Yarı katı epoksiler vakum torbalama ve otoklav prosesleri için önceden emprenye edilmiş (prepreg) olarak kullanılır. Katı epoksi kapsülleri ise yapıştırma amacıyla kullanılır. Epoksiler, polyester ve vinilesterlerden çok daha maliyetlidir ve bu nedenle özel performansa ihtiyaç duyulmadıkça maliyet odaklı pazarlarda (otomotiv ve denizcilik gibi) kullanılmazlar (Shah, 2014). Epoksi reçineler, olgunlaştırıldıklarında (çapraz bağlandıklarında) yan ürün açığa çıkarmazlar, bu nedenle düsük olgunlaşma büzülmesi gösterirler, diğer malzemelere kolaylıkla yapışırlar ve kimyasal etkilerle çevre koşullarına karsı iyi dirençe sahiptirler, mekanik özellikleri ve elektrik yalıtım özellikleri iyidir. Epoksi reçinelerin her bir molekülünde iki veya daha fazla epoksi grubu bulunmaktadır **(**Cao ve Wu, 2008 ; Li, X. vd., 2007; Dittenber ve GangaRao, 2012).

Bir Epoksi Grubunun Kimyasal Yapısı Epoksi reçineler çapraz bağlama sağlayan maddelerle olgunlaştırılmalıdır. Epoksi grubu değişik malzemelerle kolayca kimyasal tepkimeye girerek yüksek çapraz bağ yapısı oluşturmaktadır. Epoksi veya hidroksil grupları (-OH) çapraz bağlanma için tepkime yerleridir. Uygulamaların çoğunluğunda polimerleştirme işlemi sertleştirici (hardener) olarak adlandırılan bir kürleme ajanı (curing agent) ile yapılmaktadır. Sıvı haldeki olgunlaştırılmamış epoksi reçinelerin düşük molekül ağırlığı onlara üretim sırasında üstün 16 molekül hareketliliği verir. Bu özellik sıvı epoksi reçinelerin yüzeyleri çabucak ve tam olarak ıslatabilmesine imkan vermektedir (Reddy, N. vd., 2012).

Kompozit parça üretimi için epoksi ve sertleştirici karıştırıldığında başlangıçta epoksi reçine elyafların bütün yüzeyini tam ıslatacak şekilde düşük viskoziteye sahiptir. Dışarıdan ısı verilmesi veya fonksiyonel grupların reaksiyon ısısı nedeniyle viskozite minimum değerine ulaşmakta, daha sonra molekül zincirlerinin büyümesinden dolayı hızlı bir şekilde artmaktadır. Reaksiyondaki sonraki asama, çapraz bağların oluşmaya başladığı, reçinenin akışkanlığının kaybolduğu ve reaksiyon hızının önemli derecede azaldığı jelleşme aşamasıdır. Çok sayıda çapraz bağların oluştuğu son asama vitrifikasyon (vitrification, camlaştırma) olarak adlandırılmakta ve bu aşamada zincir hareketleri durmaktadır (Le ve Pickering, 2015). Matris malzemelerinin önemli özelliklerinden biri camsı geçiş sıcaklığıdır (Tg). Bu sıcaklıkta matris yumuşamaya başlamakta ve mekanik özellikleri önemli derecede

azalmaktadır. Kullanılan matris malzemesinin cam geçiş sıcaklığı, kompozit malzemenin maksimum çalışabilme sıcaklığının bir ölçüsüdür (Carr, D. J. vd., 2005).

2.4. Takviye Malzemeleri

Takviye malzemeleri partikül, fiber ve tabakalı olarak 3 malzeme tipinden oluşur. Mekanik özellikler genel olarak takviye malzemesine bağlıdır. Partiküller küçük çapta ve uzunlukta olup miminal özellikleri homojen sağlarlar. Fiberler ise boyuna paralel yüklerde yüksek mukavemet gösterirler.

Takviye elemanlarının sahip olması gereken özellikler;

- Yüksek dayanım ve modül
- Düşük yoğunluk
- Matrisle uyumluluk
- Isıl direnç
- Yüksek boy/çap oranı

Kompozit malzemelerde kullanılan diğer bir takviye elemanı da partiküllerdir. Partikülün türü, partikülün boyu, oranı, homojen dağılımı(pariküller arası mesafenin homojen olması) kompozitin mekanik özelliklerini belirler (Shah, 2014).

Doğal lif esaslı biyokompozit malzemelerin mekaniksel perfomansını etkileyen en önemli unsur kullanılan fiberin seçimidir. Lif türü yaygın olarak menşeine göre kategorize edilir: bitki, hayvan veya mineral. Tüm bitki lifleri, büyük yapısal bileşenleri olarak selüloz içerirken, hayvan lifleri ağırlıklı olarak protein içermektedir (Shah, D. U. vd., 2014).

Asbest mineral esaslı doğal bir elyaf olarak mevcut olmakla birlikte, bir zamanlar kompozitlerde yaygın olarak kullanılmış olmasına rağmen, şu anda sebep olduğu sağlık sorunları (teneffüs yoluyla / sindirim yoluyla kanserojen) nedeniyle birçok ülkede yasaklanmıştır. Genellikle, yüksek performanslı bitki lifleri ile hali hazırda mevcut olan hayvan liflerinden daha yüksek mukavemet ve sertlik elde edilebilir. Bunun bir istisnası çok yüksek mukavemet gösterebilen, ancak nispeten pahalı olan, daha düşük sağlamlık gösteren ve daha az mevcut olan ipektir. Bu durum, bitki esaslı lifleri, yapısal gereksinimlerle ve dolayısıyla bu incelemenin odağı olan kompozitler için en uygun kılar. Ayrıca, bitki elyafı

birçok ülkede uygun şekilde yetiştirilebilir ve kısa süreler sonunda hasat edilip kullanılabilen sürdürülebilir bir kaynaktır (Pickering, K. L. vd., 2007).

Doğal lifler bitkisel ve hayvansal lifler olarak mevcuttur. Kompozit üretiminde en çok selüloz içeren lifler kullanılmaktadır. Bunlar yaprak ve meyve liflerinden oluşur. Doğal liflerin en büyük avantajı biyo çözünür olmasıdır. Bu özellik geri dönüşümün önem kazandığı bu dönemde kompozit üretiminde kullanılabilirliğini arttırmaktadır (Pickering, 2008).

Selüloz esaslı lifler geri dönüşebilir ve sürdürülebilir bir malzeme türüdür. Düşük yoğunluklu, yüksek tokluk ve muavemet performansı sunan malzemeler üretilebilinir. (Cao ve Wu, 2008).

Doğal lif esaslı biyokompozit malzemelerin mekaniksel perfomansını etkileyen en önemli unsur kullanılan fiberin seçimidir. Lif türü yaygın olarak menşeine göre kategorize edilir: bitki, hayvan veya mineral. Tüm bitki lifleri, büyük yapısal bileşenleri olarak selüloz içerirken, hayvan lifleri ağırlıklı olarak protein içermektedir (Shah, D.U. vd., 2014).

Asbest mineral esaslı doğal bir elyaf olarak mevcut olmakla birlikte, bir zamanlar kompozitlerde yaygın olarak kullanılmış olmasına rağmen, şu anda sebep olduğu sağlık sorunları (teneffüs yoluyla / sindirim yoluyla kanserojen) nedeniyle birçok ülkede yasaklanmıştır. Genellikle, yüksek performanslı bitki lifleri ile hali hazırda mevcut olan hayvan liflerinden daha yüksek mukavemet ve sertlik elde edilebilir. Bunun bir istisnası çok yüksek mukavemet gösterebilen, ancak nispeten pahalı olan, daha düşük sağlamlık gösteren ve daha az mevcut olan ipektir. Bu durum, bitki esaslı lifleri, yapısal gereksinimlerle ve dolayısıyla bu incelemenin odağı olan kompozitler için en uygun kılar. Ayrıca, bitki elyafı birçok ülkede uygun şekilde yetiştirilebilir ve kısa süreler sonunda hasat edilip kullanılabilen sürdürülebilir bir kaynaktır (Shah, D.U. vd., 2014).

Çizelge 2.1. Fiberler. (Efendy ve Pickering, 2014).

YAPAY LİFLER			
DOĞAL LİFLER	**Doğal Polimerlerden Elde Edilenler**	**Sentetik Polimerlerden Elde Edilenler**	**Anorganik Asıllı Yapay Lifler**
1. Bitkisel lifler a) Tohum lifleri (pamuk) b) Gövde lifleri (keten, kenevir, jüt, rami) c) Yaprak lifleri (sisal, manila kendiri) d) Meyve lifleri (hindistan cevizi) **2. Hayvansal lifler** a) Deri ürünü lifler (yün, tiftik) b) Salgı ürünü lifler (ipek) **3. Madensel lifler** a) Asbest	**1. Bitkisel kaynaklı olanlar** a) Selüloz esaslı [rayonlar (viskon ipeği, bakır ipeği, nitrat ipeği, asetat ipeği)] b) Bitkisel protein esaslı [yer fıstığı (ardil), soya fasulyesi (silkool), mısır (zein)] **2. Hayvansal kaynaklı olanlar** a) Hayvansal protein esaslı [süt protein, kazein (Merinova-lanital)]	**1. Poliamit lifleri** a) Naylon b) Perlon **2. Polyester lifleri** a) Terilen b) Trevira c) Dakron d) Tergal **3. Polivinil türevi lifleri** a) Polivinil klorid (PVC) b) Akrilik c) Modakrilik **4. Poliolefin lifleri** a) Polietilen lifleri b) Polipropilen lifleri **5. Poliüretan lifleri** a) Elastan b) Spandex c) Likra (lycra)	**1. Cam lifleri** **2. Metal lifler**

Çizelge 2.2. Biyopartiküllerin avantaj ve dezavantajları. (Efendy ve Pickering, 2014).

Avantaj	***Dezavantaj***
Düşük yoğunluk, yüksek spesifik mukavemet ve katılık.	Sentetik elyaf kompozitlere göre daha düşük dayanıklılığa sahip olabilmektedir, ancak uygun işlemler ile önemli ölçüde bu durum iyileştirilebilir.
Lifler, az miktarda enerji gerektiren, CO_2 emilimini içeren, oksijeni çevreye döndüren, yenilenebilir bir kaynaktır.	Yüksek nem absorpsiyonu sonucu şişme görülebilmektedir.
Üretim süreçlerinin daha düşük tehlikeye sahiptir.	Özelliklerde geniş bir aralıkta değişkenlik gösterebilirler.
Ömrü bittiğinde yada ısıya maruz kaldığında toksik duman emisyonu düşüktür.	Matris seçeneklerini sınırlayan daha düşük işlem sıcaklığı.
Sentetik fiber kompozit bileşimlerine kıyasla işleme ekipmanlarına daha az aşınma hasarı oluşur.	

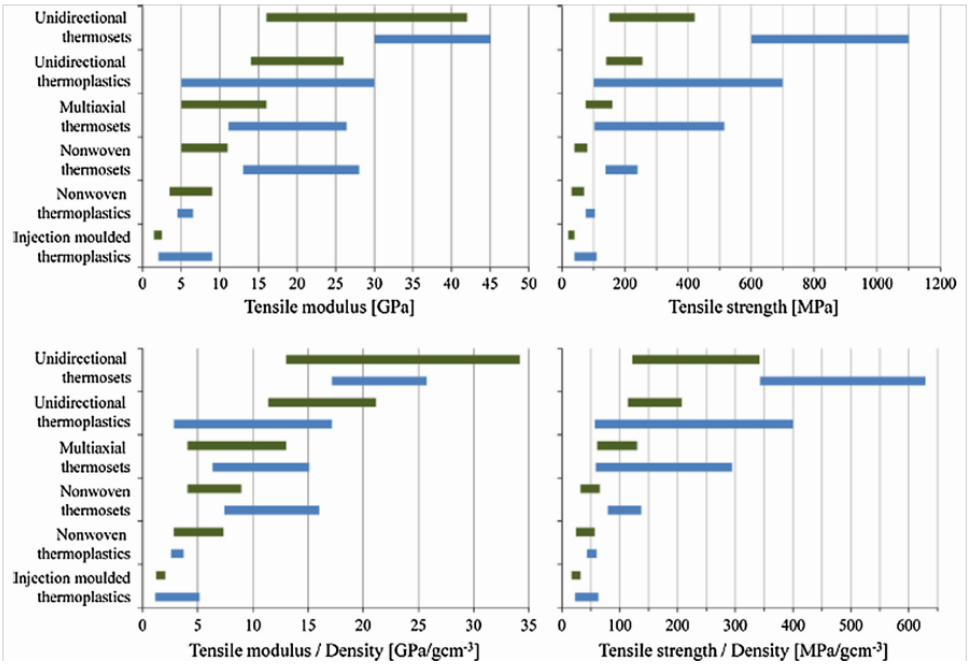
Çizelge 2.3'te, bazı doğal liflerin ve en çok kullanılan cam elyafının (E-camı) özelliklerini gösterilmektedir. Kendir, kenevir ve rami elyafının, en yüksek özgül Young modülüne ve çekme mukavemetine sahip olan selüloz esaslı doğal elyaflar arasında yer aldığı görülmekle birlikte, literatürde bü özelliklerde çok değişkenliğin olduğu görülmektedir. Genellikle lifin bulunabilirliği ile ilgili coğrafya, lif seçiminde büyük rol oynamaktadır. Özellikle Avrupa keten lifleri üzerinde dururken, Asya'da kenevir, jüt, rami, kenaf ve sisal lifleri büyük ilgi görmekte ve özellikle Harakeke elyafı olarak bilinen Yeni Zelanda keteni (Phormium tenax), iyi mekanik özellikleri ve orada bulunan yerel mevcudiyeti nedeniyle yapısal uygulamalarda kompozit yapısında kullanılmaktadır (Cheung, Ho, Lau, Cardona, Hui, 2009).

Çizelge 2.3. Doğal ve Sentetik Fiberlerin Bazı mekaniksel ve Fiziksel Özellikleri (Kalia, S. vd., 2013).

Lif Türü	**Yoğunluk g/cm^3**	**Uzunluk (mm)**	**Kırılma Şekil Değişimi (%)**	**Çekme Muk. (MPa)**	**Young Modulü (GPa)**	**Spesifik Çekme Muk. (MPa.cm^3/g)**	**Spesifik Elastik Modül (GPa.cm^3/g)**
E-Camı	2.5	sürekli	2.5	2000–3000	70	800–1400	29
Yün	1.3	38–152	13.2–35	50–315	2.3–5	38–242	1.8–3.8
Tüy	0.9	10–30	6.9	100–203	3–10	112–226	3.3–11
İpek	1.3	sürekli	15–60	100–1500	5–25	100–1500	4–20
Hindistan Cevizi	1.2	20–150	15–30	131–220	4–6	110–180	3.3–5
Pamuk	1.5–1.6	10–60	3.0–10	287–800	5.5–13	190–530	3.7–8.4
Alfa	1.4	350	1.5–2.4	188–308	18–25	134–220	13–18
Sisal	1.3–1.5	900	2.0–2.5	507–855	9.4–28	362–610	6.7–20
Jüt	1.3–1.5	1.5–120	1.5–1.8	393–800	10–55	300–610	7.1–39
Kenevir	1.5	5–55	1.6	550–1110	58–70	370–740	39–47
Keten	1.5	5–900	1.2–3.2	345–1830	27–80	230–1220	18–53
Rami	1.5	900–1200	2.0–3.8	400–938	44–128	270–620	29–85

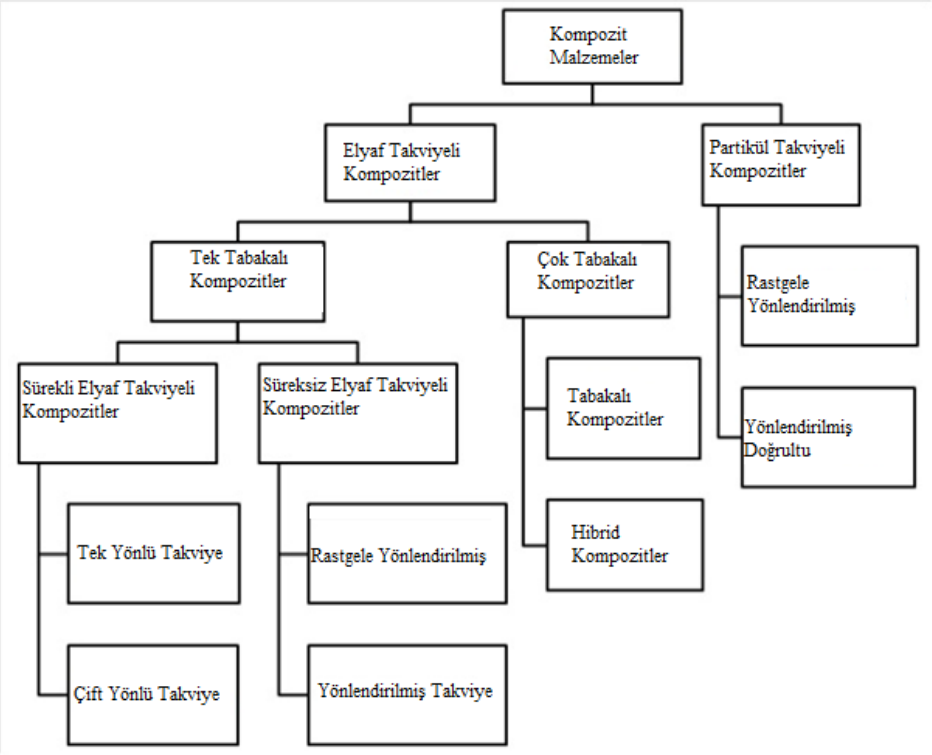
Doğal fiber takviyeli kompozitlerin mekanik performansını inceleyen çok sayıda literatür vardır. Son zamanlarda üretilen cam elyaf takviyeli plastiklerle, doğal fiber takviyeli kompozitlerin mukavemet, sertlik dereceleri, spesifik rijitlik ve dayanımların grafiksel bir özeti Çizelge 2.4'te gösterilmiştir **(Shah, 2014).**

Çizelge 2.4. Doğal ve Sentetik Fiber Esaslı Kompozitleri Bazı Mekanik Özellikleri (Yeşil Bar-NFC, Mavi Bar, CFC) (Zhan ve Wool, 2011).



2.5. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler matris çeşidine göre ve takviye çeşidine göre sınıflandırılır. Matris çeşidine göre metal, seramik ve polimer malzemeler ile üretilebilir kompozitler olarak sınıflandırılır. Takviye çeşidine göre partikül, elyaf ve tabakalı kompozitler olarak sınıflandırılır (Bulut ve Erdoğan 2011).



Şekil 2. 3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması (Bulut ve Erdoğan 2011).

2.6. Kompozit Malzemelerin Avantajları

Kompozit malzemelerin en önemli avantajı spesifik mukavemetinin yoğunluğa oranının çok yüksek olmasıdır. Bu değer çelik ve alüminyum alaşımların yaklaşık 3-5 katı kadardır. Bu değer ağır olan metallerin yerine kullanılmasına olanak sağlar. Diğer önemli avantajları;

1. Sağlamlığı ve sertliği yüksektir.
2. Korozyon ve kimyasal direnci yüksektir.
3. Yorulma ömrü metallere göre en az 2 kat daha fazladır.
4. Üretilmeleri genellikle ucuz ve kolaydır
5. Termal genleşme katsayıları düşüktür ve üretimde şekil bozukluğu olma oranı düşüktür.
6. İşlemeye gerek olmadan nihai ürün üretilebilinir.
7. Titreşim emme özellikleri sayesinde gürültü ve titreşim absorbe edilimi iyidir.
8. İşlemenmesi metaller gibi yüksek sıcaklık veya basınç gerektirmez ve maliyeti düşüktür. (Campell, 2010; Cheung, H. Y. vd., 2009).

2.7. Kompozit Malzemelerin Dezavantajları

Kompozit malzemelerin bazı dezavantajları şunlardır;

1. Hammadde maliyeti yüksektir.
2. Üretim esnasında yüksek nem absorbsiyonu.
3. Mukavemetin her yönde aynı olmaması, fiber yönüne dik kuvvetlerde düşük mukavemet göstermesi.
4. Sıcaklığın matris malzemesine bağlı olmasına bağlı olarak polimer matrisli malzemelerin düşük uygulama sıcaklığı.
5. Bazı polimerler düşük solvent direnci ve çevresel gerilme direncine sahiptir. (Campell, 2010).

2.8. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Son yarım yüzyıl içerisinde araba sayılarındaki artışla beraber doğal fiber katkılı kompozit malzemelerin araçlardaki kullanımı önemli ölçüde artmıştır. Bunlar kapı panelleri, hava ve yağ filtreleri, motor koruyucu parçaları, tampon vb gibi yapısal bölümlerde kullanılmıştır. Havacılık alanında uçuş panellerinde hafifliği ve sağlamlığı sebebiyle kullanılmaya başlanmıştır. Spor alanında surf tahtaları, kayak ekipmanları, yarış arabaları gibi kompozit malzemeden yapılmış ekipmanlar kullanılmaya başlanmıştır. İnşaat sektöründe kapı ve pencere çerçeveleri, çatı ve duvar panelleri, zemin ve cephe yalıtım malzemeleri olarak kullanılmaktadır (Efendy ve Pickering, 2014).

Kompozit malzemeler, otomotiv sanayinde düşük ağırlık sağlamak için kullanılarak düşük yakıt tüketimi sağlar ve bu sektörde büyük öneme sahiptir. Kompozit malzemeler, çelik ve alüminyuma göre çok daha iyi özgül mukavemet gösterirler (Niu, M. vd., 2012).

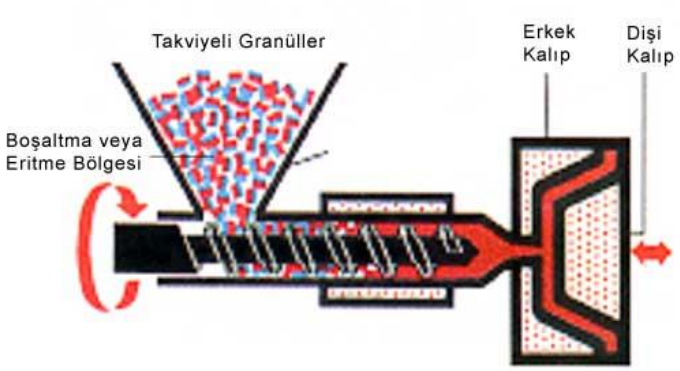
Polimer matrisli kompozitler güvenlik malzemeleri olarakta kullanılmaktadırlar. Kompozitten yapılmış tampon gibi parçalar çarpma testlerinde iyi sonuçlar vermektedir. Polimer kompozitler titreşim emme özellikleri sayesinde çarpma anında metallar kadar iyi güvenlik sağlarlar. (Bos, H. L. vd., 2002).

Havacılıkta çoğu metal malzemelerin yerini kompozit malzemeler almıştır. Elyaf takviyeli kompozitler düşük ağırlıklarına karşılık yüksek mükavemet gösterirler. Alüminyum alaşımlarının yerine tercih edilmeye başlanılmıştır (Bos, H. L. vd., 2002).

Motorlar, spor malzemeleri, dişli çarklar, , tesisat ekipmanlarında, yarış araçlarında, nükleer reaktörlerde vs. gibi birçok alanda kompozit malzemeler kullanılmaktadır (Le ve Pickering, 2015).

2.9. Üretim Yöntemi

Doğal fiber takviyeli kompozitlerin mekanik performansını inceleyen çok sayıda literatür vardır. Son zamanlarda üretilen cam elyaf takviyeli plastiklerle, doğal fiber takviyeli kompozitlerin mukavemet, sertlik dereceleri, spesifik rijitlik ve dayanımların grafiksel bir özeti Çizelge 2.3'de gösterilmiştir. Bu çalışmada ilk üretim tekniği olarak Ekstrüzyon kullanılmıştır. Ekstrüder içerisinde eritilen polimer malzeme ve takviye malzemesi dönerek ilerleyen mil tarafından en uca kadar sıkıştırılır. Karışma bölümünde eriyik halde takviye malzemesiyle birleşir ve istenilen şekilde ve uzunlukta uçtan çıkarılır. (Kalia, S. vd., 2013).



Şekil 2.4. Ekstrüzyon (http://www.makinemodel.com/projeyarismasi/dersnotu.htm)

Düz şekilli ve sürekli ürün üretiminde ekstrüzyon yöntemi tercih edilir. Karmaşık şekilli ürün üretmek için açık kalıp ile üretim yada bu yöntemin makinelar ile üretilen enjeksiyon yöntemleri kullanılabilinir. Bu iki yöntemde kalıp içine termoplastik reçineye takviye malzemesi eklenir ve kalıba döküm yapılıp soğuması beklenir. (Kalia, S. vd., 2013).

2.10. Biyokompozitlerin Üretimi Üzerine Literatür Çalışmaları

Kompozit malzemeler üzerine yapılan literatür çalışmasında polimer ve epoksi matrisli biyopartikül takviyeli kompozitlerin mekanik, ekolojik, ekonomik ve tribolojik özellikleri incelenmiştir.

Takviye elemanı olan partiküllerin özellikle inorganiklerin polimer matrisin yapısını dolayısıyla meydana gelen kompozitin özelliklerini önemli ölçüde etkilediği bilinen bir gerçektir. Partiküller polimer matrislerin yapılarını birkaç yönden etkileyebilir:
1. Proses esnasında moleküler ağırlık kaybı.

2. Kürleme prosesinin etkisi ile moleküler ağırlık ve çapraz bağ modifikasyonları.
3. Yüzey-aktif madde (surfactant), plastikleştirici, stabilizatör, anti-oksidant ve oksidasyon ürünleri gibi polar ve düşük moleküler ağırlıklı türlerin adsorbsiyonu.

4. Yarı kristalin polimerlerde kristalizasyon hızı ve yüzdesi.

5. Partikül yüzeyleri ve ara partikül boşlukları nedeniyle polimer biçimine etki.

Polimerlerin birçok özelliği moleküler ağırlığına bağlıdır ve bu özellik tipik olarak bozunmayı sınırlandırıcı şartları belirlemede çok önemli rol oynar. Partikül takviyeside polimerlerin bozunma miktarını önemli ölçüde etkiler. Olağan bozunma etkisi proses esnasında mekanik etkileşme ve partikül polimer ara yüzeyindeki kimyasal etkileşim nedeniyle artış gösterir. Bu artış özellikle aşırı kayma kuvvetlerinin oluştuğu yüksek viskozite durumu gibi partiküllerin yüksek takviye oranlarındaki şartlarda çok daha etkin bir hal alır. Polimerlerin özellikleri bir başka açıdan da zincirlerinin şekil uygunluğuna bağlıdır. Katı partiküllerin varlığında polimer ile partikül arasındaki etkileşim sonucu bu zincir şekil uygunluğu önemli derecede etkilenir. Katı partikül öncelikle polimer moleküllerinin kendi çevrelerindeki şeklini kısıtlayacaktır. Bu etki doğrultusunda, çok noktalı bağlanma halinde zincir molekülleri yüzeye paralel yönde genişleyerek tepki gösterir. Bu genleşme ile o yöndeki efektif moleküler boyut iki katına çıkar. İkincil olarak; polimer molekülleri moleküler ağırlık ve sıcaklıklarına bağlı olarak bir hayli büyük hacimler tutabilir. Yüksek partikül takviye oranlarında özellikle çok küçük boyutlularında, partiküller arası boşluklar

neredeyse partikül boyutunu veya daha küçük değerleri alır. Bu da polimer moleküllerinin daha zor şekil almalarını sağlar (Pickering, 2008).

Termoplastiklerin partiküller ile takviye edilmesinin bir başka amacı da tribolojik özelliklerinin iyileştirilmesidir. Bazı uygulamalarda (fren balatası veya G) yüksek sürtünme katsayısı ve düşük aşınma miktarı istenirken, bazı uygulamalarda da (dişli veya yatak) düşük sürtünme katsayısı ve düşük aşınma miktarı arzu edilir. Polimer kompozitlerin tribolojik özelliklerini belirlemek için birçok standart test metodu mevcuttur. Bu test metotları genel olarak aşınma türlerine göre uygulanır. Literatürde de partikül takviyeli polimer kompozitlerin çoğunlukla kayma aşınma (sliding wear) veya katı partikül erozyonu aşınma (solid particle erosion) davranışları incelenip araştırılmaktadır. Özellikle adezif aşınma araştırmalarında partikül boyutunun nano seviyelerde ve takviye miktarının çok az oranlarda olması (hacimce %1-3) termoplastik kompozitlerin aşınma dirençlerini önemli ölçüde arttırmıştır (Gashti ve Gashti, 2013).

Kalia vd. (2013) biyopartikül takviyeli termoplastik kompozitler üzerine yaptıkları araştırmada biyokompozitlerin yenilenebilirliği, sağlanabilirliği, ucuzluğu, hafifliği ve biyo uyumluluğunu incelemişlerdir. Takviye malzemesi olarak keten, kenevir, sisal ve bambu, matris malzemesi olarak polipropilen, polistiren ve polietilen, üretim yöntemi olarak aşılama yöntemini kullanmışlardır. Üstün mekanik ve çevresel özellikler için, matris ve biyopartikül arasındaki hidrofobisitenin arttırılmasının gerektiğinin belirtmişlerdir. Bunun içinde biyopartiküllerin kaplanmasının biyokompozitin sağlamlığını arttırırken biyo bozunurluluğunu düşürmediğini belirtmişlerdir (Kalia, S. vd., 2013).

Doğal lif takviyeli biyokompozit malzemelerin üretimini, iç yapılarını, mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Ara yüzey modifikasyon ile üretim yönteminin detaylarını açıklamışlardır. Termoset ve termoplastik polimer matris malzemeleri ile, bitkisel liflerden sisal, keten, kenevirin ara yüzey ilişkilerini incelemişlerdir. Lif modifikasyonunu alkali işlem, bağlayıcı madde ile modifikasyon, asetilasyon ve aşı kopolimerizasyonu başlıklarıyla ve matris modifikasyonu incelemişlerdir (Bulut ve Erdoğan 2011).

Pickering vd. (2016) doğal fiberlerin kompozit gelişimine katkılarını ve mekanik performanslarını incelemişlerdir. Yaptıkları araştırmada termoset, termoplastik ve epoksi matris malzemelerinin, ipek, keten, pamuk, sisal vb doğal fiberlerin ekstrüzyon ve kalıplama metodlarıyla üretilmesini ele almışlardır. Mekanik özellikler için çekme mukavemetini, çekme modülünü, darbe direncini, sertliğini ve porozitesini incelemişlerdir. Ucuz olmasının yanı sıra yüksek sertlik, darbe dayanımı ve yüksek çekme mukavemeti biyokompozitlerin kullanımı ve araştırılması üzerinde daha fazla çalışılması gerektiğini vurgulamışlardır (Pickering, K. L. vd., 2016).

Sanjay vd. (2017) doğal fiber katkılı polimer kompozitlerin özellikleri ve karakterizasyonu üzerine çalışma yapmışlardır. Birçok doğal fiberlerin polietilen, polipropilen ve polistiren gibi polimer matrisli kompozitler ile ilgili yaptıkları araştırmada gerilme, eğilme, darbe ve sertlik gibi mekanik özellikleri ve su absorsiyonu, termal iletkenlik ve tribolojik özelliklerini de araştırmışlardır. Sentetik fiberlere benzer mekanik özellik göstermelerine ilaveten biyo çözünürlüğü sayesinde atık gas emisyon değerlerinin düşük olması çevreci ve yenilenebilir malzeme arayışında biyokompozitlere olan ihtiyacın artmasına sebep olduğunu belirtmişlerdir (Sanjay, M.R. vd., 2017),

Bogoeva-Gaceva vd. (2007) doğal fiber eko kompozitler üzerine yaptıkları çalışmada biyo çözünür matris ve biyo çözünür fiberlerin kompozit üretiminde kullanımı araştırmışlardır. Polietilen, polistiren ve polipropilen matrislere takviye malzemesi olarak sisal, keten, pamuk, bambu ve jüt gibi doğal liflerin fiberleri ile üretilen biyokompozitlerin üretilebilirliğini ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Maliyetinin düşük olması ve biyo çözünürlük gibi avantajlar oluşurken zayıf termal ve neme direnç gösterdiklerini açıklamışlardır (Bogoeva-Gaceva, G. vd., 2007).

Ku vd. (2011) doğal fiber katkılı polimer kompozitlerin gerilme özellikleri hakkında araştırma yapmışlardır. Termoplastik olarak polietilen, polipropilen ve pvc, termoset olarak epoksi ve poliester reçineler matris malzemeleri olarak incelenirken, doğal fiber olarak keten, kenevir, sisal, jüt vb. malzemeler incelemişlerdir. Matris ve takviye ara yüzey zayıf adhezyon g8österdiği için gerilme özelliklerin düşük düşük çıktığını belirtmişlerdir. Belli bir yüzdeye kadar fiber oranını arttırmak gerilme kuvvetini arttırmasına rağmen, bu optimum

değerden daha fazla fiber kullanımı gerilme kuvvetinde düşüşe neden olduğunu belirtmişlerdir (Ku, H. vd., 2011).

Ho vd. (2011) doğal fiber kompozitlerin üretim proseslerinin kritik faktörleri üzerine çalışmada bulunmuşlardır. Hem bitkisel hem hayvansal bazlı doğal fiberle poli laktik asit, polietilen ve polipropilen matris kullanılarak kompozit üretmişlerdir. Üretim yöntemi olarak ekstrüzyon ile kalıplama, basınç ile kalıplama, sıcak pres ve reçine transferi kalıplama yöntemlerini kullanmışlardır ve üretim aşamasındaki kriterleri açıklamışlardır. Şekilli ürün üretmek için reçine transferi ve reçine transferi daha iyi sonuçlar verirken tabakalı ve levha tarzı üretim yapmak için sıcak pres ve basınç ile kalıplama daha iyi sonuçlar elde edildiğini belirtmişlerdir (Ho, M. vd., 2011).

Elanchezhiana vd. (2016) biyokompozitlerin mekanik özelliklerini inceleyen bir araştırma yapmışlardır. Takviye malzemesi olarak abaka, jüt ve sisal, matris olarak polimerleri kullanmışlardır. Bu doğal fiberlerin mekanik özelliklerinden gerilme, eğme ve darbe dayanımlarını incelemişlerdir. En iyi mekanik özelliğin abakada, eğilme dayanımı en iyi jütte ve sertliğin en fazla sisalde olduğunu gözlemlemişlerdir (Elanchezhiana, C. vd., 2016).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Kullanılan Hammaddeler

Biyopartikül takviyeli kompozit malzemelerin üretiminde matris olarak polietilen ve epoksi, takviye malzemesi olarak fındık kabuğu ve kozalak kullanılmıştır.

Kompozit malzemelerde yüksek yoğunluğa sahip polietilen kullanılmıştır (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Saf Polietilenin Özellikleri

ÖZELLİKLER	TİPİK DEĞER	BİRİM
REÇİNE ÖZELLİKLERİ		
ERİME AKIŞ HIZI (190°C / 2.16KG)	5,5	g/10min
YOĞUNLUK (23 °C)	0,965	g/cm³
ERGİME NOKTASI	134	°C
MEKANİK ÖZELLİKLER		
AKMA GERİLME DAYANIMI	30	MPa
KOPMA GERİLME DAYANIMI	17	MPa
KOPMADA UZAMA	1250	%
EĞME MODULÜ (23 °C)	1200	MPa
İZOD DARBER DAYANIMI	50	j/m
SERTLİK (shore D)	66	-
ÇEVRESEL BASKIYLA KIRILMA	4	SAAT
TERMAL ÖZELLİKLER		
YUMUŞAMA NOKTASI	124	°C



(a) (b) (c) (d)

Şekil 3.1. Kompozit üretiminde kullanılan matris ve takviye malzemeler; a) Polietilen, b) epoksi, c) fındık kabuğu d) kozalak.

3.2. Öğütme ve Eleme İşlemi

Takviye malzeme olarak kullanılan fındık kabuğu ve kozalak Şekil 3.2' de görüldüğü üzere halkalı değirmende 1000 rpm'de 180 saniye boyunca öğütme işlemi yapılmıştır.



Şekil 3.2. Halkalı Değirmen

Öğütülen tozlar 600µm, 425µm eleklerde elenmiş ve içerisindeki nemin giderilmesi için 80°C de 24 saat etüvde bekletilmiştir (Şekil 3.3-a). Eleme işlemi sonrası 425µm altı tozlar kullanılmıştır (Şekil 3.3-b, c).



(a) **(b)** **(c)**

Şekil 3.3. a) Titreşimli elek, b) fındık kabuğu, c) kozalak

3.3. Biyopartikül Katkılı Kompozit Malzemelerin Üretimi

Biyopartikül katkılı kompozit malzemelerin üretiminde ilk olarak ekstrüzyon yöntemi kullanılmıştır. Hazırlanan fındık kabuğu ve kozalak tozları ağırlıkça %10 ve %20 oranlarında polietilen ile homojen olarak karıştırılmıştır, Şekil 6' da görüldüğü üzere ekstrüderden geçirilmiştir. Ekstrüzyon işleminde karıştırma bölgesi sıcaklığı 170-220 °C, besleme bölgesi sıcaklığı 240-250 °C, kalıp sıcaklığı 40-50 °C olarak, vida hızı 25-30 RPM olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.4. Ekstrüzyon cihazı.

Biyopartikül katkılı kompozit malzemelerin üretiminde 2. yöntem olarak “Açık Kalıp Döküm Tekniği” kullanılmıştır. Fındıkkabuğu ve kozalak tozları 4 kanatlı karıştırıcı kullanılarak karıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Karıştırma işlemi sonrası numuneler standartlara uygun çelik ve plastik kalıplara dökülerek test numuneleri hazırlanmıştır. Döküm sonrası numuneler 1 gün kalıpta bekletilmiştir. Kalıptan çıkan numuneler kürlenmesini tamamlamak üzere düz bir zeminde oda sıcaklığında test gününe kadar muhafaza edilmiştir. Aşağıda doğal fiber takviyeli epoksi kompozit üretimine ait iş akış şeması verilmiştir.

3.4. Kesme ve Soğuk Kalıplama İşlemi

Ekstrüzyon ve döküm yöntemi ile hazırlanan kompozit malzemelere kesme işlemi uygulanmış ve Şekil 3.5’ te görüldüğü üzere bakalit ile kalıplama işlemi uygulanmıştır. Kalıplanan kompozit malzemeler sırasıyla 320, 600, 800,1000 ve 1200 numaralı zımparalar ile zımparalanmış ve sonrasında da parlatma işlemine tabii tutulmuştur.



Şekil 3.5. a) Kalıplanmış Numuneler, b) Zımparalama ve parlatma makinesi

Soğuk kalıplama ile hazırlanan numunelerin mikro yapısal incelemeleri optik mikroskopta gerçekleştirilmiştir.

3.5. Mekanik Testler

Sertlik deneyleri; numuneler üzerine 300 gr yük uygulanarak 10 saniye boyunca sertlik ölçümleri yapılmıştır (Şekil 3.6, a). Çekme testleri; numunelere dakika da 5mm çekme kuvveti uygulanarak parçanın yüke olan dayanımı test edilmiştir (Şekil 3.6, b). Eğme testleri; 2 mm/dk eğme kuvveti uygulanarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.6, c). Aşınma testlerinin gerçekleştirildiği tribometre Şekil 3.6, f' de sunulmuştur.



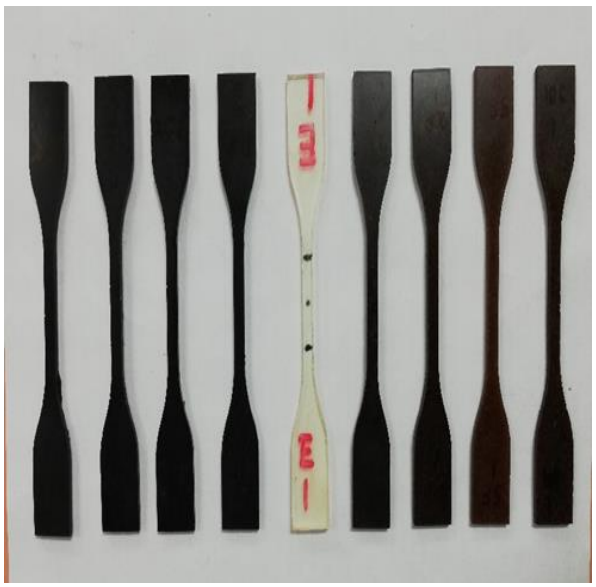
(a)



(b)



(c)



(d)





(e) (f)

Şekil 3.6. a) Sertlik test cihazı, b) çekme test cihazı, c) eğme test cihazı, d) çekme numuneleri, e) eğme numuneleri f) tribometre cihazı

3.6. Aşınma Testleri

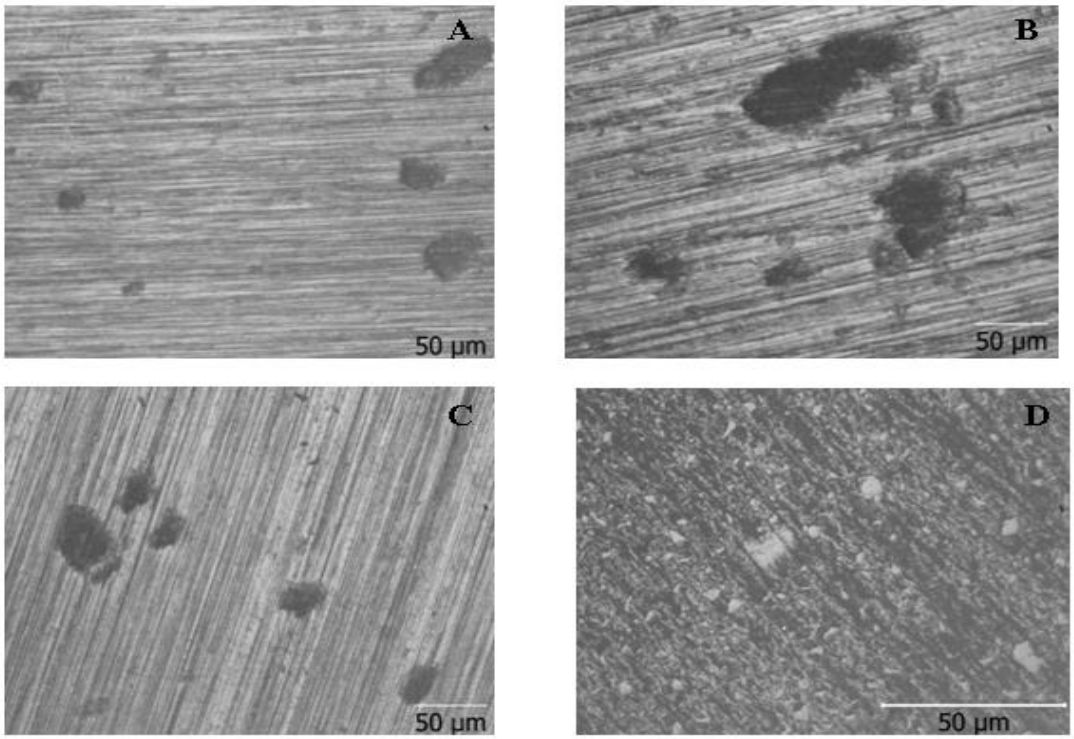
Aşınma testleri, ball-on-disk konfigürasyonuyla, kuru ortamda ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Aşındırıcı olarak tungsten karbür bilye kullanılmıştır. Aşınma izi çapı 2mm, aşınma yükü 5N ve aşınma hızı 5cm/s olarak test koşulları seçilmiştir. Testler, 60m aşınma mesafesine kadar sürdürülmüştür.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Ekstrüzyon Yöntemi İle Üretilen Biyopartikül Katkılı Polietilen Matrisli Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu

4.1.1. Mikroyapısal Karakterizasyonu

Ektrüzyon yöntemi ile üretilen biyopartikül katkılı polietilen matrisli kompozit malzemelerin mikroyapıları optik mikroskopta incelenmiş ve takviye malzemelerin matris içerisinde homojen dağıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Ektrüzyon Yöntemi İle Üretilen Kompositlerin Optik Mikroskop İle Görüntülenen Mikro Yapıları; a) Ağ. %10 Fındık kabuğu takviyeli polietilen matrisli kompozit, b) Ağ. %20 Fındık kabuğu takviyeli polietilen matrisli kompozit, c) Ağ. %10 kozalak takviyeli polietilen matrisli kompozit, d) Ağ. %20 Kozalak takviyeli polietilen matrisli kompozit

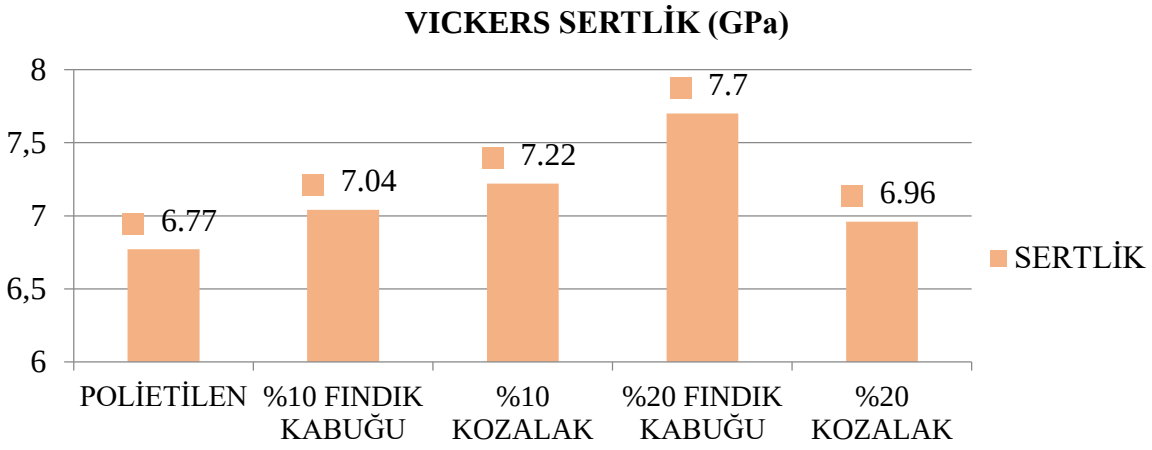
4.1.2. Mekanik Karakterizasyon

Ektrüzyon yöntemi ile üretilen biyopartikül katkılı polietilen matrisli kompozit malzemelere sertlik ve çekme testleri uygulanmıştır.

4.1.2.1. Sertlik Testleri Sonuçları

Yüksek sertliğe sahip olmayan fındık kabuğu ve kozalak takviye malzemelerinin üretilen kompozit malzemelerin sertliğinde herhangi bir düşüşe neden olup olmadığı kontrol edilmiştir.

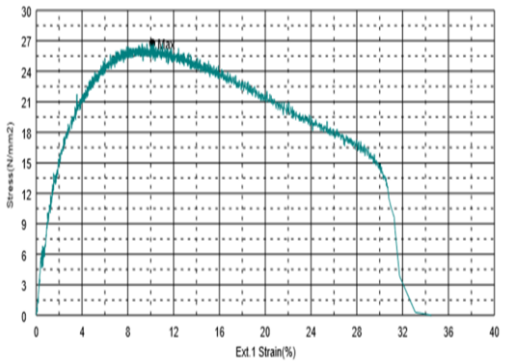
Sertlik değerleri Şekil 4.2' de verildiği gibi kompozit malzemelerin sertlik değerlerinde her iki takviye malzemesinin sertlik değerlerinde olumsuz etki gözlenmemiş, sertlik değerleri düşüş göstermemiş ve matris olarak kullanılan saf polietilene kıyasla hafif bir artış olduğu saptanmıştır.



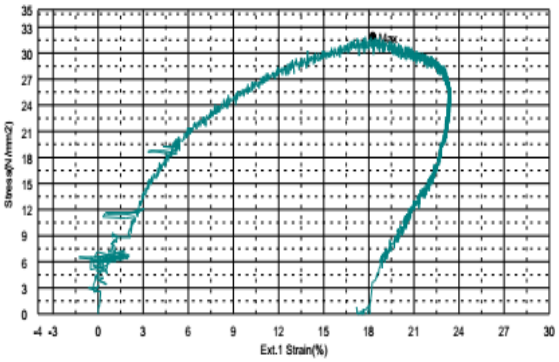
Şekil 4.2. Sertlik Değerleri Grafiği

4.1.2.2. Çekme Testi Sonuçları

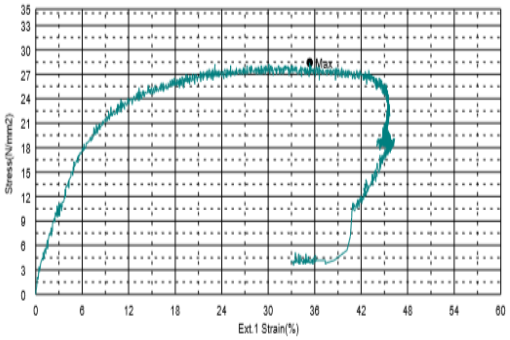
Şekil 4.3 a' da görüldüğü gibi saf polietilenin maksimum çekme gerilmesi 26,73 N/mm^2 olarak elde edilmiştir. Şekil 4.3 b' de saf polietilene %10 kozalak takviye edildiğinde maksimum çekme gerilmesi 31.86 N/mm^2' ye çıktığı, Şekil 4.3 c' de saf polietilene %20 kozalak takviye edildiğinde maksimum çekme gerilmesi 28.44 N/mm^2' ye çıktığı, Şekil 4.3 d' de ise %10 fındık kabuğu takviye edildiğinde maksimum çekme gerilmesi 23.46 N/mm^2' ye düştüğü, Şekil 4.3 e' de %20 Fındık kabuğu takviye edildiğinde maksimum çekme gerilmesinin 25.33 N/mm^2'ye düştüğü görülmüştür. Bu sonuçlara göre en yüksek şekil değişim (gerinim) ve gerilim değerleri kozalak takviyeli kompozitlerde elde edilmiştir. Saf polietilen malzemelere göre karşılaştırıldığında çekme mukavemeti %10 kozalak takviyeli kompozitlerde yaklaşık %20 oranında, %20 kozalak takviyeli kompozitlerde ise yaklaşık %7 oranında geliştirilmiştir. Burada kozalak lifli yapısının fındık kabuğuna göre çekme kuvvetlerine karşı daha etkili olduğu görülmektedir. Kozalak takviyesinin fındık kabuğuna göre daha iyi çekme mukavemeti göstermesinin nedeni; kozalak bünyesinde bulunan reçinenin de lifli yapının yanı sıra çekme kuvvetlerine karşı yardımcı rol oynayabildiğidir.



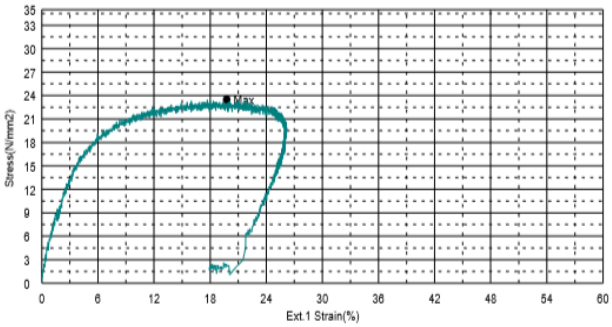
(a)



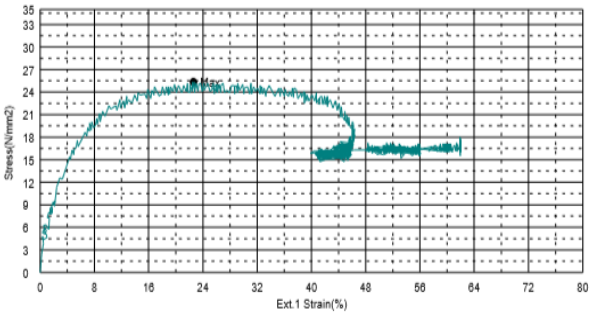
(b)



(c)



(d)



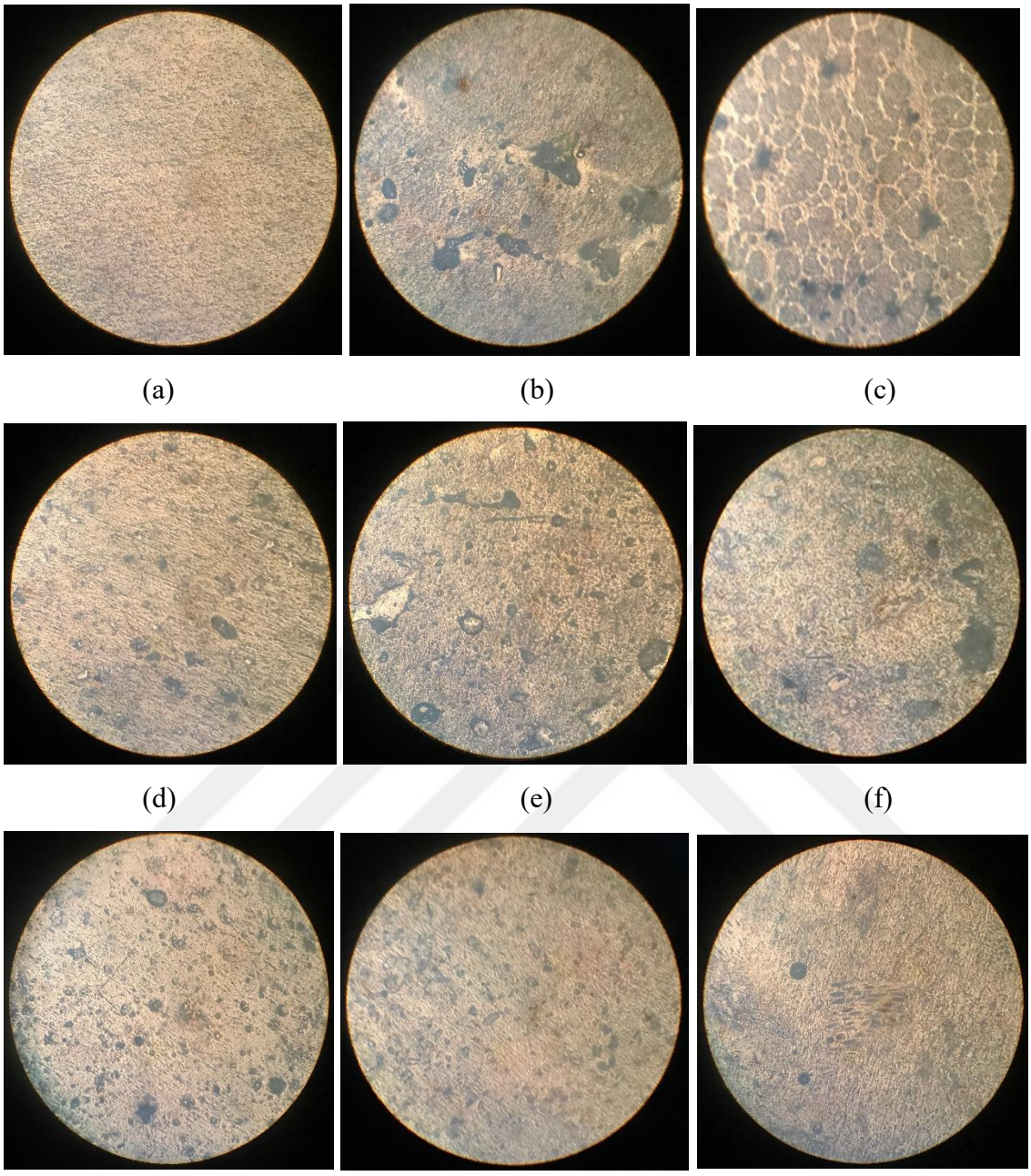
(e)

Şekil 4.3. Üretilen Kompozitlerin Gerilme-Gerinim Eğrileri. a) Saf polietilen, b) %10 kozalak takviyeli polietilen matrisli kompozit, c) %20 kozalak takviyeli polietilen matrisli kompozit, d) %10 fındık kabuğu takviyeli polietilen matrisli kompozit, e) %20 fındık kabuğu takviyeli polietilen matrisli kompozit

4.2. Açık Kalıp Döküm Tekniği İle Üretilen Biyopartikül Katkılı Epoksi Matrisli Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu

4.2.1. Mikroyapısal karakterizasyonu

Açık kalıp döküm tekniği ile üretilen biyopartikül katkılı polietilen matrisli kompozit malzemelerin mikroyapları optik mikroskopta incelenmiş ve takviye malzemelerin homojen dağıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.4).



(a) (b) (c)

(d) (e) (f)

(g) (h) (i)

Şekil 4.4. Açık Kalıp Döküm Tekniği İle Üretilen Kompositlerin Optik Mikroskop İle Görüntülenen Mikro Yapıları; a) Saf epoksi b) %5 Kozalak takviyeli epoksi kompozit c) %10 Kozalak takviyeli epoksi kompozit d) %20 Kozalak takviyeli epoksi kompozit e) %30 Kozalak takviyeli epoksi kompozit f) %5 Fındık kabuğu takviyeli epoksi kompozit g) %10 Fındık kabuğu takviyeli epoksi kompozit h) %20 Fındık kabuğu takviyeli epoksi kompozit i) %30 Fındık kabuğu takviyeli epoksi kompozit

4.2.2. Mekanik karakterizasyon

4.2.2.1. Sertlik Testleri Sonuçları

Shore D yöntemine göre gerçekleştirilen sertlik testi sonuçları Çizelge 4.1' de özetlenmiştir. Kozalak ve fındık kabuğu takviye malzemeleri yüksek sertlik değerlerine sahip olmamasından dolayı beklenildiği gibi epoksi matris malzemeye göre sertlik değerlerinde artış gözlenmemiştir. Buna ilave olarak; sertlik deneylerinin gerçekleştirilmesinin asıl amacı kompozit malzemelerin sertlik değerlerinde azalmanın tayin edilmesidir. Sonuçlara göre kompozit malzemelerin sertlik değerleri epoksi matrise oldukça yakın olduğu görülmüş, önemli bir azalma elde edilmemiştir.

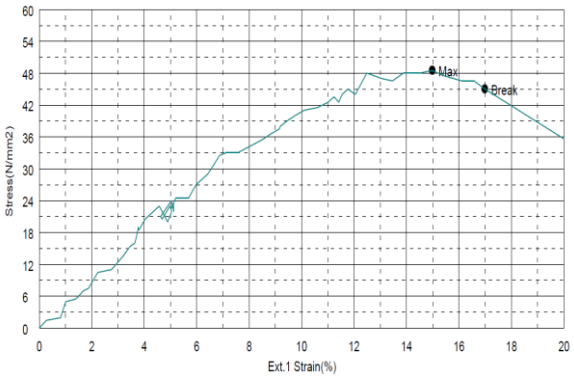
Çizelge 4.1. Sertlik Testi Sonuçları

Numune	Sertlik, ShoreD
Epoksi	78
5F	78
10F	78
20F	77
30F	76
5K	76
10K	76
20K	75
30K	75

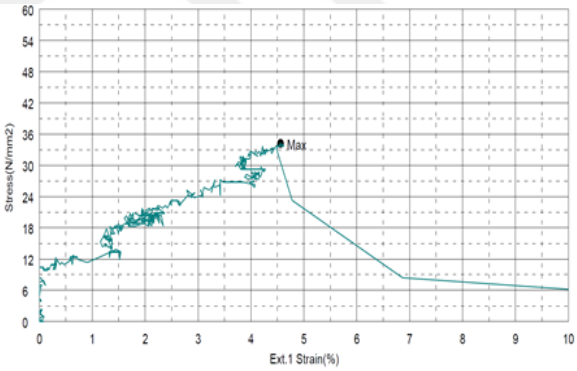
4.2.2.2. Çekme Testi Sonuçları

Epoksi matrisli biyopartikül takviyeli kompozitlerin çekme testinden edinilen gerilme-gerinim eğrileri Şekil 4.5' te verilmektedir. Saf epoksi malzemenin maksimum çekme gerilmesi 48,57 N/mm^2 olarak elde edilmiştir. Kompozit malzemeler için sırasıyla; %5 kozalak takviyeli kompozitlerde; 34,22 N/mm^2, %10 kozalak takviyeli kompozitlerde; 41,66 N/mm^2, %20 kozalak takviyeli kompozitlerde; 29,76 N/mm^2, %30 kozalak takviyeli kompozitlerde; 22,53 N/mm^2, %5 fındık kabuğu takviyeli kompozitlerde; 29,04 N/mm^2,

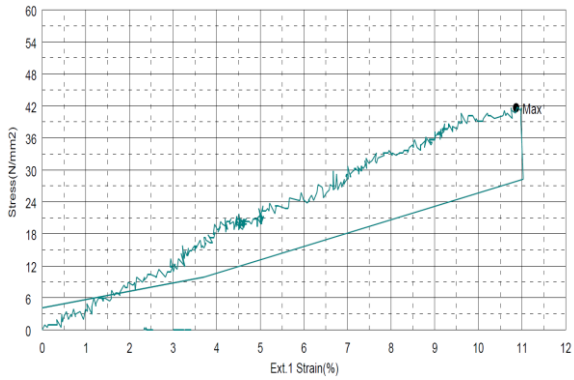
%10 fındık kabuğu takviyeli kompozitlerde; 32,55 N/mm^2, %20 fındık kabuğu takviyeli kompozitlerde; 27,54 N/mm^2, %30 fındık kabuğu takviyeli kompozitlerde; 29,04 N/mm^2 maksimum çekme gerilmesi elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre açık kalıp döküm yöntemiyle üretilen kompozit malzemelerin çekme dayanımları ve şekil değiştirme kabiliyetleri matris malzemeye göre daha düşük değerlerde elde edilmiştir. Biyopartikül takviyeli kompozit malzemeler kendi içlerinde değerlendirildiğinde; en yüksek çekme dayanımı %10 kozalak katkılı kompozit malzemede (41,66 N/mm^2) elde edilmiştir. Ekstrüzyon yöntemi ile üretilen kompozit malzemeler içerisinde de en yüksek değer %10 kozalak katkılı kompozit malzemede (31.86 N/mm^2) elde edilmiştir. Sonuçlar üretim yöntemi açısından değerlendirildiğinde; çekme dayanımının açık kalıp döküm yönteminde ektrüzyon yöntemi ile üretilen kompozitlerden daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Bu yöntemde daha yüksek değerlerin elde edilmesinin nedeni; çekme dayanımını etkileyen fiber dağılımının açık kalıp döküm tekniğinde başlangıçtaki karıştırma yöntemine bağlı olarak ekstrüzyon yönteminden daha homojen olması olarak açıklanabilir.



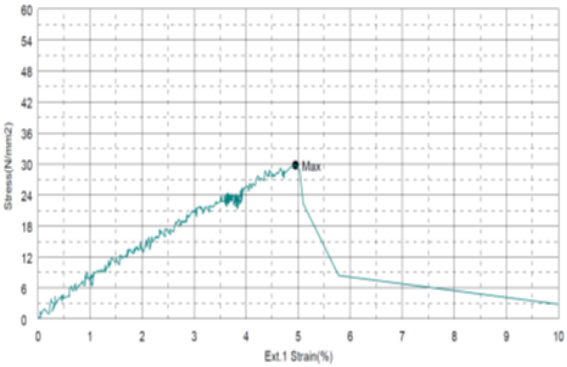
(a)



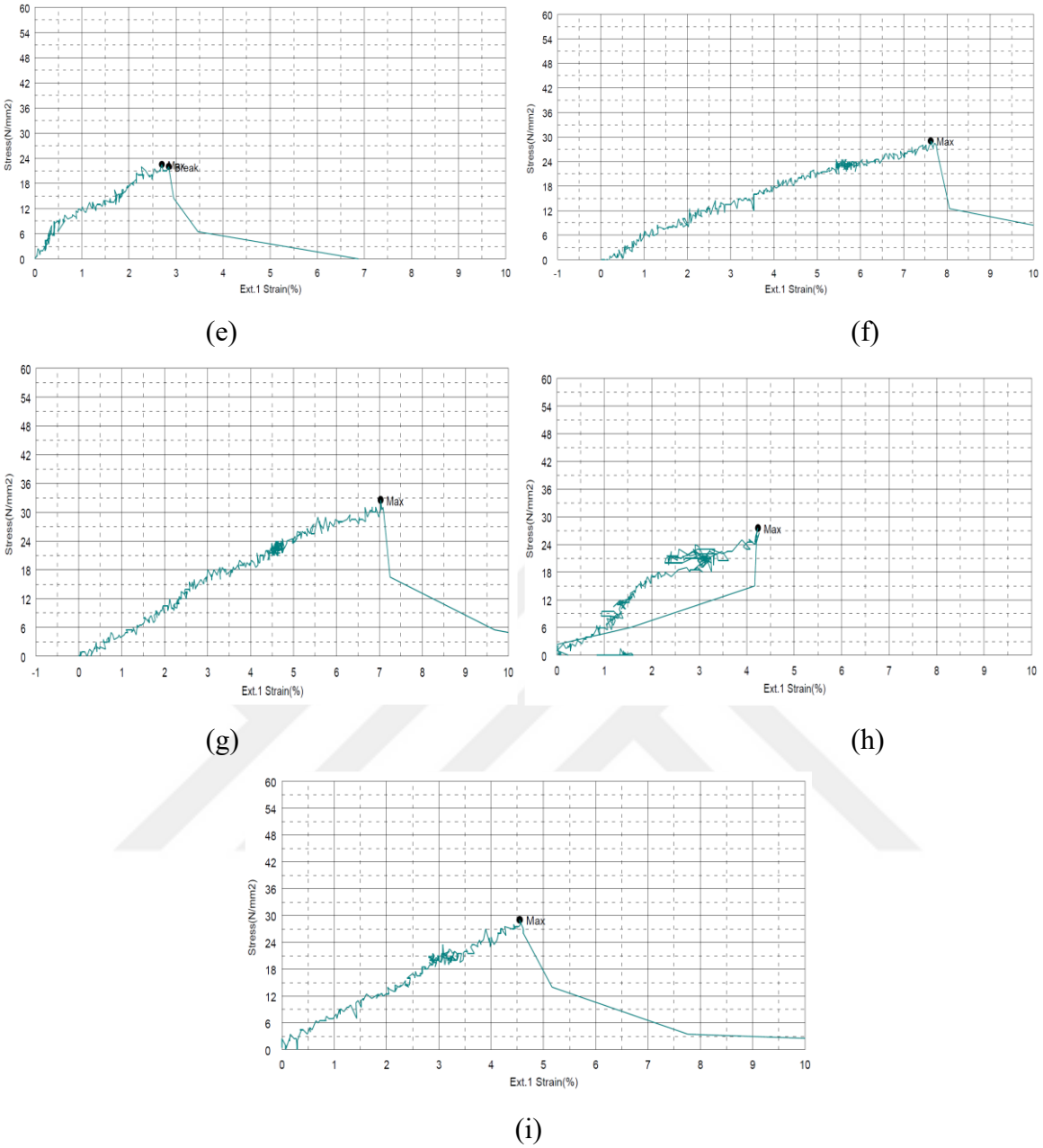
(b)



(c)



(d)



(e) (f)

(g) (h)

(i)

Şekil 4.5. Çekme Testi Sonuçları; a) Saf epoksi b) %5 Kozalak takviyeli epoksi kompozit c) %10 Kozalak takviyeli epoksi kompozit d) %20 Kozalak takviyeli epoksi kompozit e) %30 Kozalak takviyeli epoksi kompozit f) %5 Fındık kabuğu takviyeli epoksi kompozit g) %10 Fındık kabuğu takviyeli epoksi kompozit h) %20 Fındık kabuğu takviyeli epoksi kompozit i) %30 Fındık kabuğu takviyeli epoksi kompozit

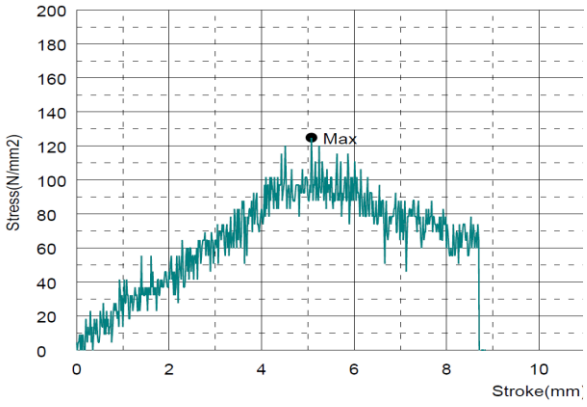
4.2.2.3. Eğme Testi Sonuçları

Eğme Testi sonuçları Çizelge 4.2' de özetlenmiştir. Eğme testi sırasında elde edilen eğriler Şekil 4.6' da ayrı olarak verilmiştir. Bu sonuçlara göre; saf epoksinin eğme

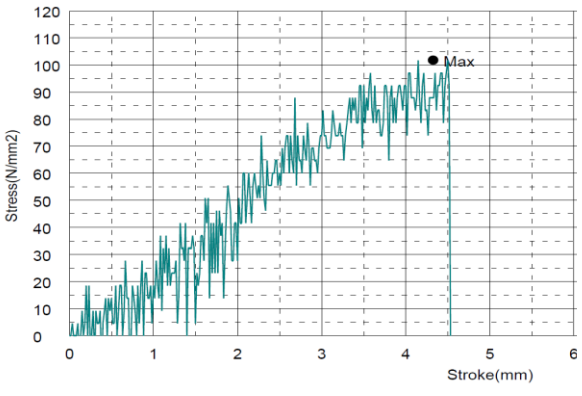
değerlerinin kompozit malzemelerin eğme değerlerinden daha yüksek olduğu, lif takviyesinin eğme sonuçlarında düşüşe neden olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte; kompozit malzemeler içerisinde en yüksek eğme mukavemeti %10 kozalak katkılı kompozit malzemede (97.80 MPa) elde edilmiştir. Bu sonuçlar; çekme testi sonuçlarıyla uyum sağlamaktadır. Hem eğme hem de çekme dayanımı açısından en yüksek değerler %10 kozalak katkılı kompozit malzemede elde edildiğinden optimum takviye oranı ağırlıkça %10 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.2. Eğme Testi Sonuçları.

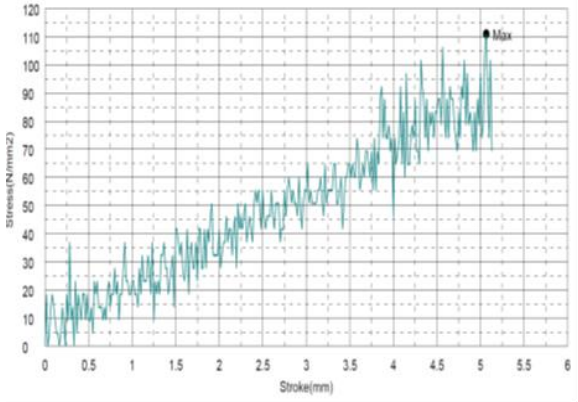
	Eğme Mukavemeti, MPa
Saf Epoksi	**132.60**
5F	**97.80**
10F	**79.00**
20F	**76.50**
30F	**68.40**
5K	**91.80**
10K	**88.90**
20K	**65.05**
30K	**70.10**



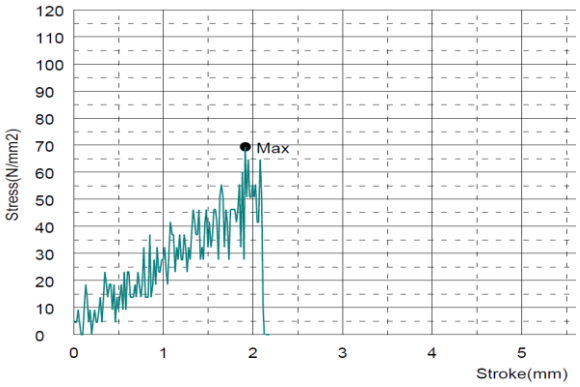
(a)



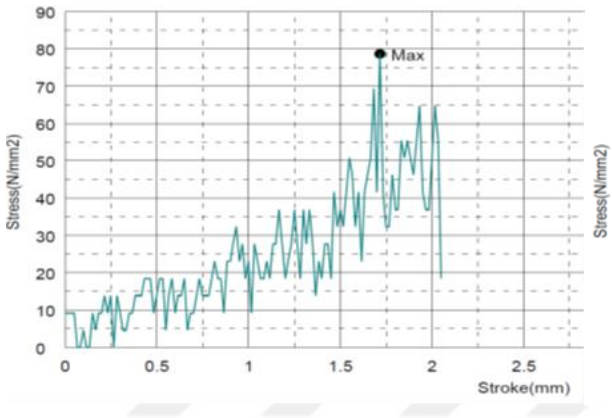
(b)


Max
Stress(N/mm2)
Stroke(mm)

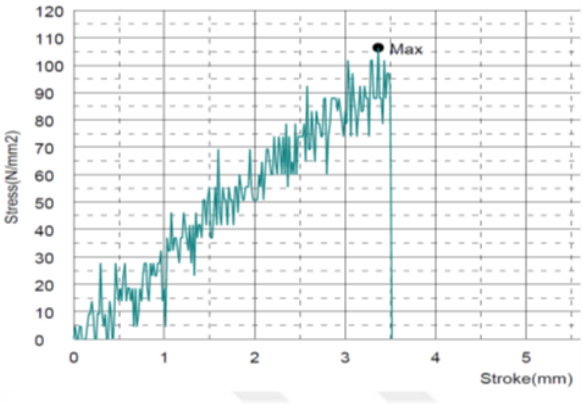
(c)


Max
Stress(N/mm2)
Stroke(mm)

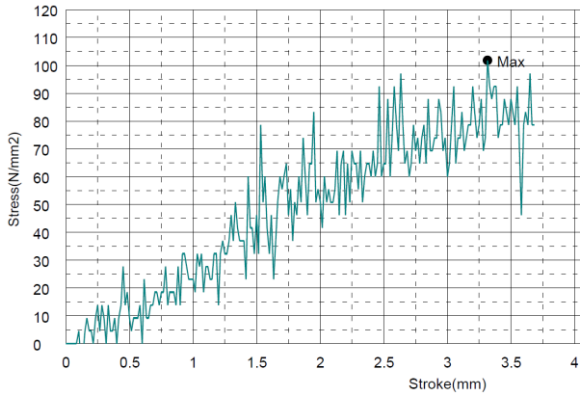
(d)


Max
Stress(N/mm2)
Stroke(mm)

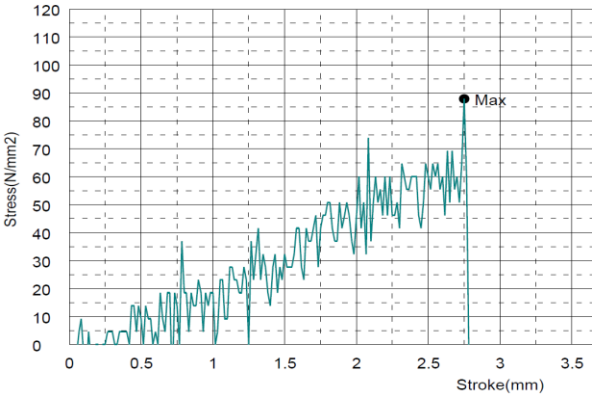
(e)


Max
Stress(N/mm2)
Stroke(mm)

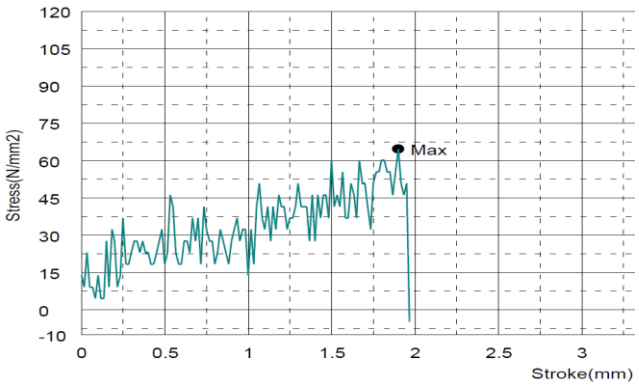
(f)


Max
Stress(N/mm2)
Stroke(mm)

(g)


Max
Stress(N/mm2)
Stroke(mm)

(h)

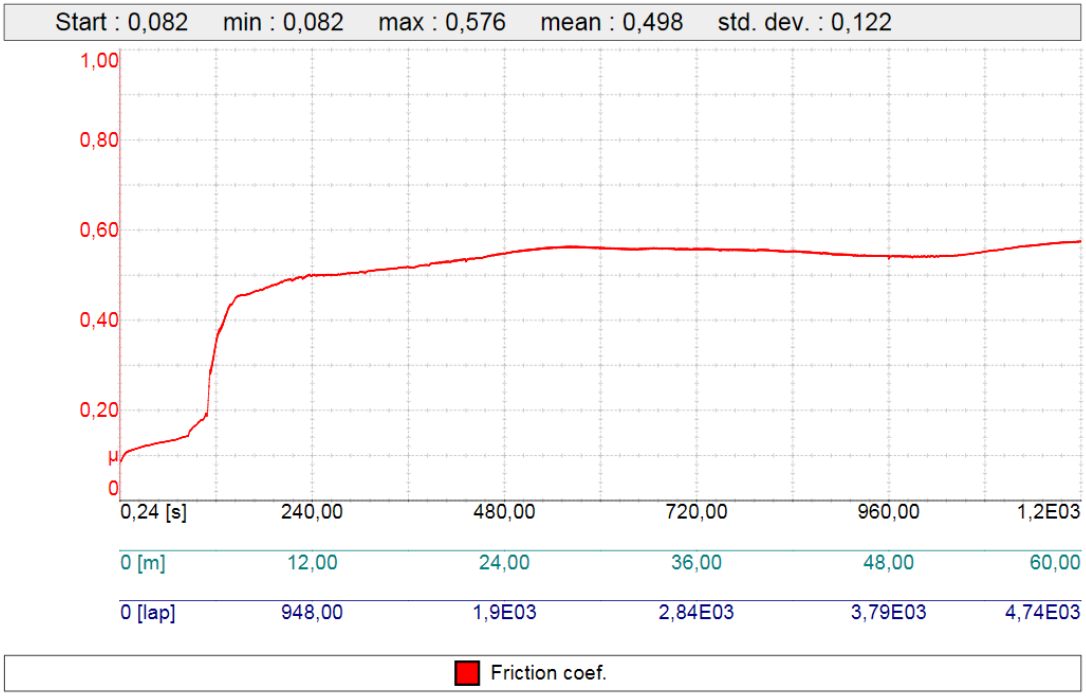


(i)

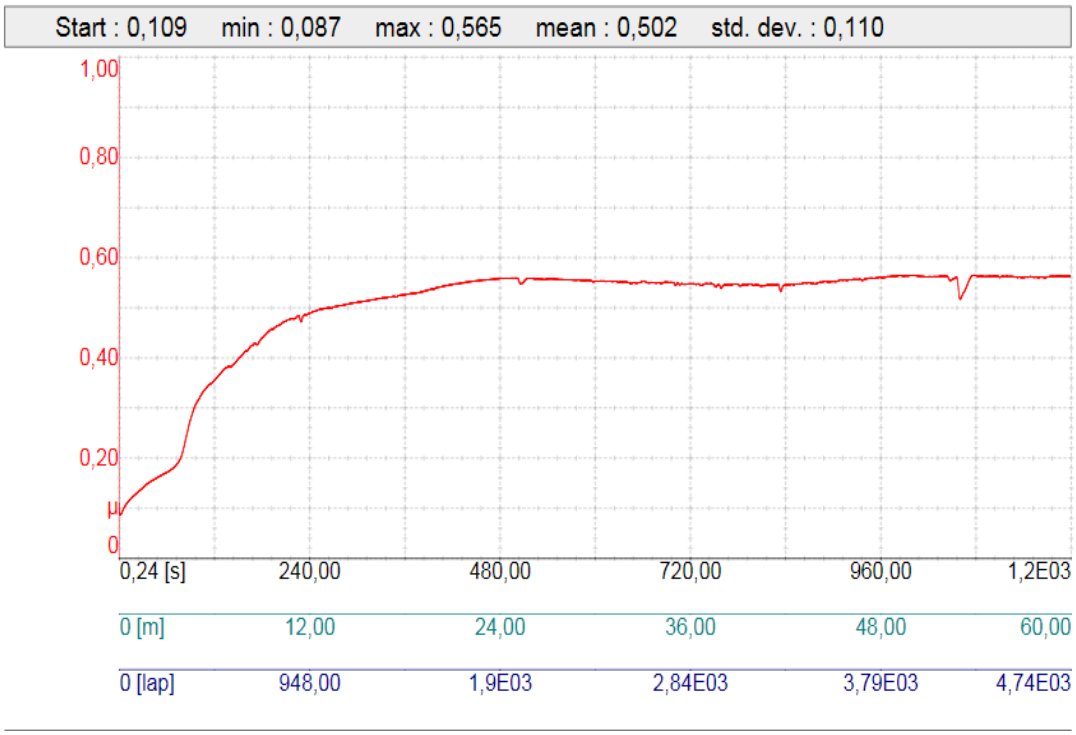
Şekil 4.6. Eğme Testi Sonuçları; a) Saf epoksi b) %5 Kozalak takviyeli epoksi kompozit c) %10 Kozalak takviyeli epoksi kompozit d) %20 Kozalak takviyeli epoksi kompozit e) %30 Kozalak takviyeli epoksi kompozit f) %5 Fındık kabuğu takviyeli epoksi kompozit g) %10 Fındık kabuğu takviyeli epoksi kompozit h) %20 Fındık kabuğu takviyeli epoksi kompozit i) %30 Fındık kabuğu takviyeli epoksi kompozit

4.2.3. Aşınma Testi Sonuçları

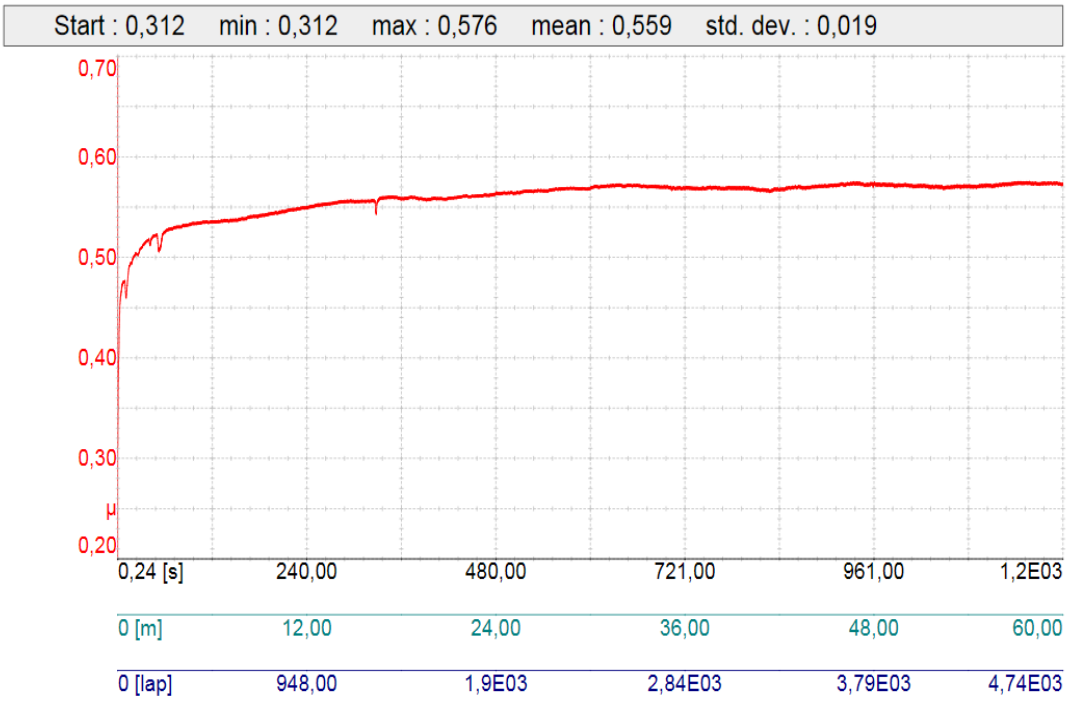
5N yük, 5cm/s hızla gerçekleştirilen aşınma testleri sırasında sürtünme katsayısı değişimi otomatik olarak kaydedilmiştir. Şekil 4.7' de online kaydedilen eğriler verilmektedir. Genel olarak tüm matris ve kompozit malzemelerde düzenli bir sürtünme seyri elde edilmiştir. Ortalama sürtünme katsayısı değerleri; 0,49 Saf Epoksi için, 0,50 %5 Kozalak takviyeli epoksi kompozitler için, 0,55 %10 Kozalak takviyeli epoksi kompozitler için, 0,42 %20 Kozalak takviyeli epoksi kompozitler için, 0,56 %30 Kozalak takviyeli epoksi kompozitler için, 0.50 %5 Fındık kabuğu takviyeli epoksi kompozitler için, 0.56 %10 Fındık kabuğu takviyeli epoksi kompozitler için, 0,46 %20 Fındık kabuğu takviyeli epoksi kompozitler için, 0.55 %30 Fındık kabuğu takviyeli epoksi kompozit malzemeler için elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre beklenildiği gibi kompozit malzemelerin ortalama sürtünme katsayısı değerleri; saf epoksi matrisin sürtünme katsayısına yakın değerlerdedir. Takviye malzemelerin sertlikleri matris malzemeye göre yakın olmasından dolayı sürtünme davranışları saf epoksiye benzerdir.


Start : 0,082 min : 0,082 max : 0,576 mean : 0,498 std. dev. : 0,122
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
μ
0
0,24 [s] 240,00 480,00 720,00 960,00 1,2E03
0 [m] 12,00 24,00 36,00 48,00 60,00
0 [lap] 948,00 1,9E03 2,84E03 3,79E03 4,74E03
Friction coef.

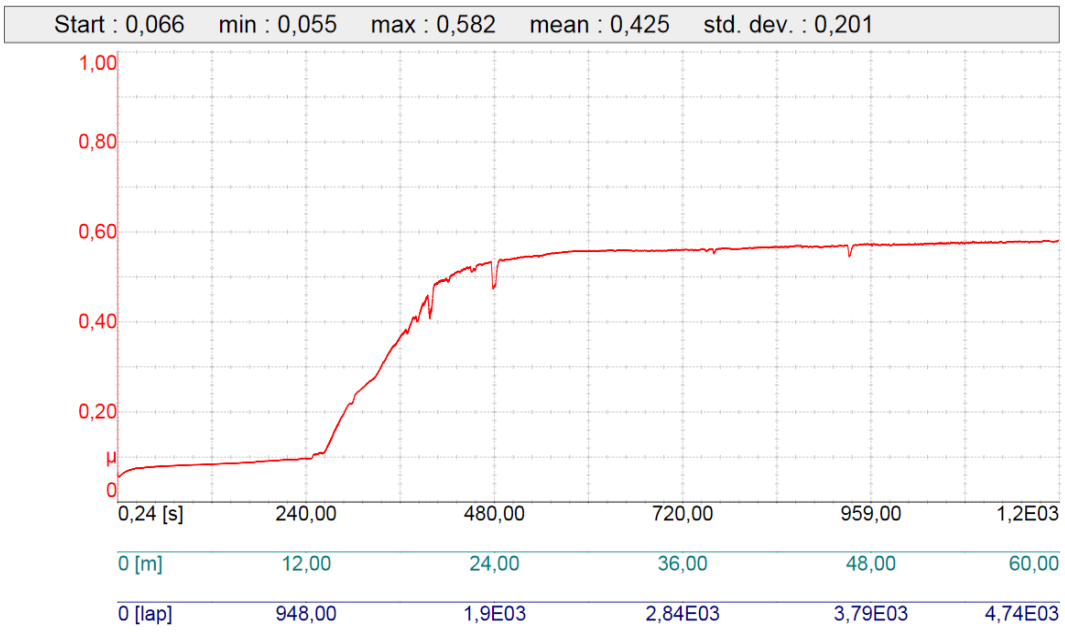
(a)


Start : 0,109 min : 0,087 max : 0,565 mean : 0,502 std. dev. : 0,110
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
μ
0
0,24 [s] 240,00 480,00 720,00 960,00 1,2E03
0 [m] 12,00 24,00 36,00 48,00 60,00
0 [lap] 948,00 1,9E03 2,84E03 3,79E03 4,74E03

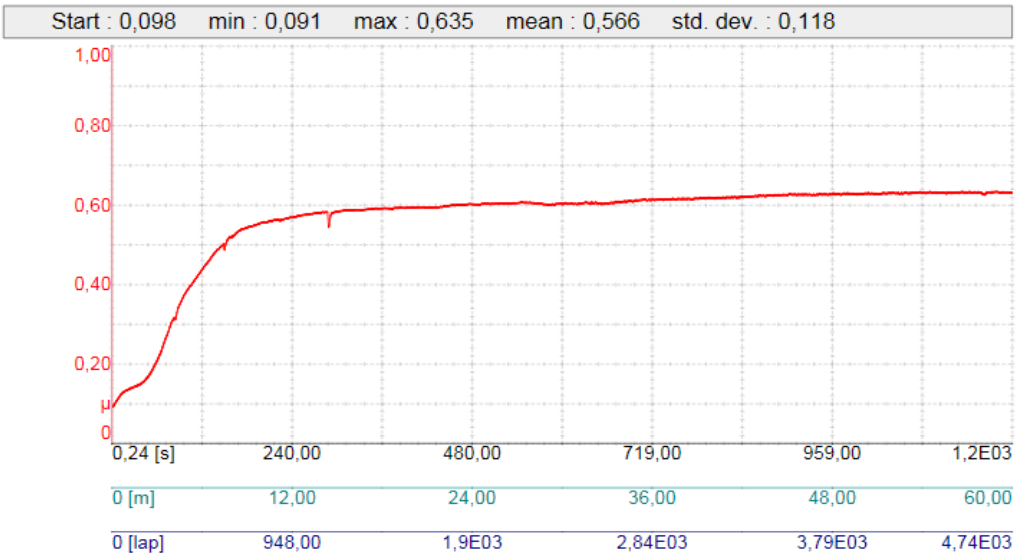
(b)


Start : 0,312 min : 0,312 max : 0,576 mean : 0,559 std. dev. : 0,019
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
μ
0,20
0,24 [s] 240,00 480,00 721,00 961,00 1,2E03
0 [m] 12,00 24,00 36,00 48,00 60,00
0 [lap] 948,00 1,9E03 2,84E03 3,79E03 4,74E03

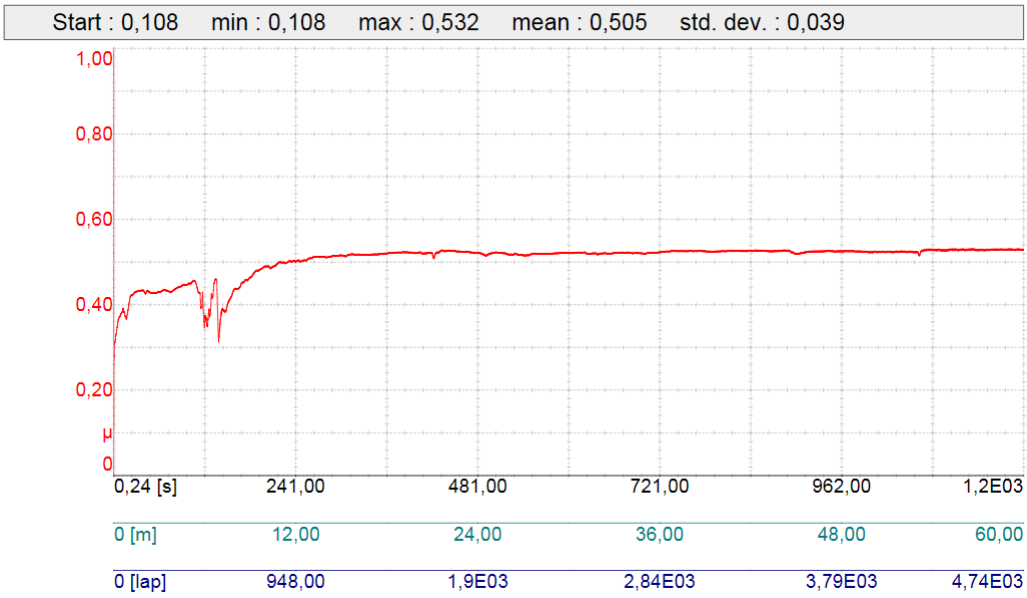
(c)


Start : 0,066 min : 0,055 max : 0,582 mean : 0,425 std. dev. : 0,201
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
μ
0
0,24 [s] 240,00 480,00 720,00 959,00 1,2E03
0 [m] 12,00 24,00 36,00 48,00 60,00
0 [lap] 948,00 1,9E03 2,84E03 3,79E03 4,74E03

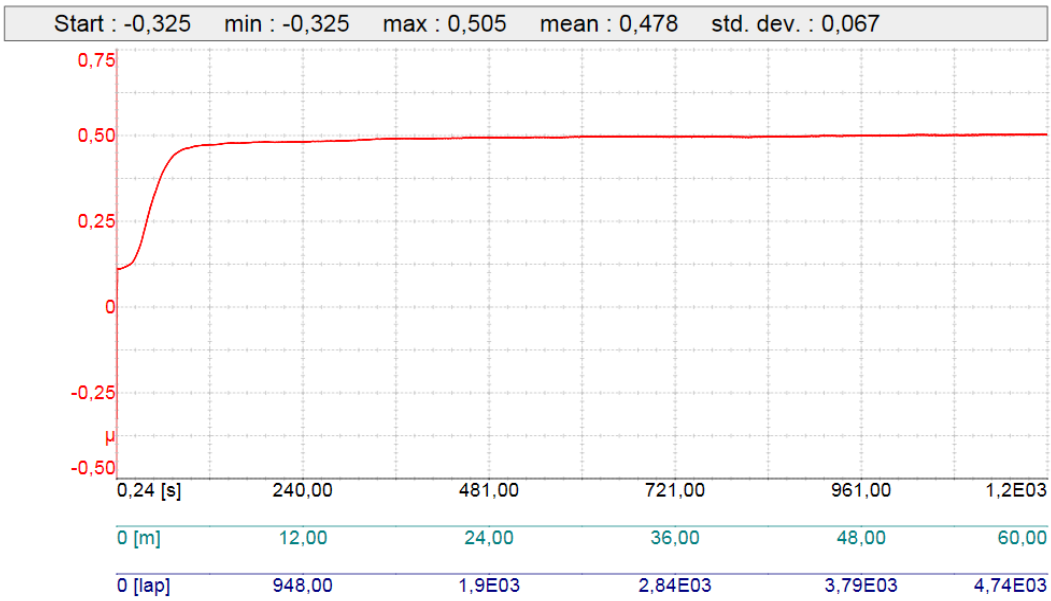
(d)


Start : 0,098 min : 0,091 max : 0,635 mean : 0,566 std. dev. : 0,118
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
μ
0
0,24 [s] 240,00 480,00 719,00 959,00 1,2E03
0 [m] 12,00 24,00 36,00 48,00 60,00
0 [lap] 948,00 1,9E03 2,84E03 3,79E03 4,74E03

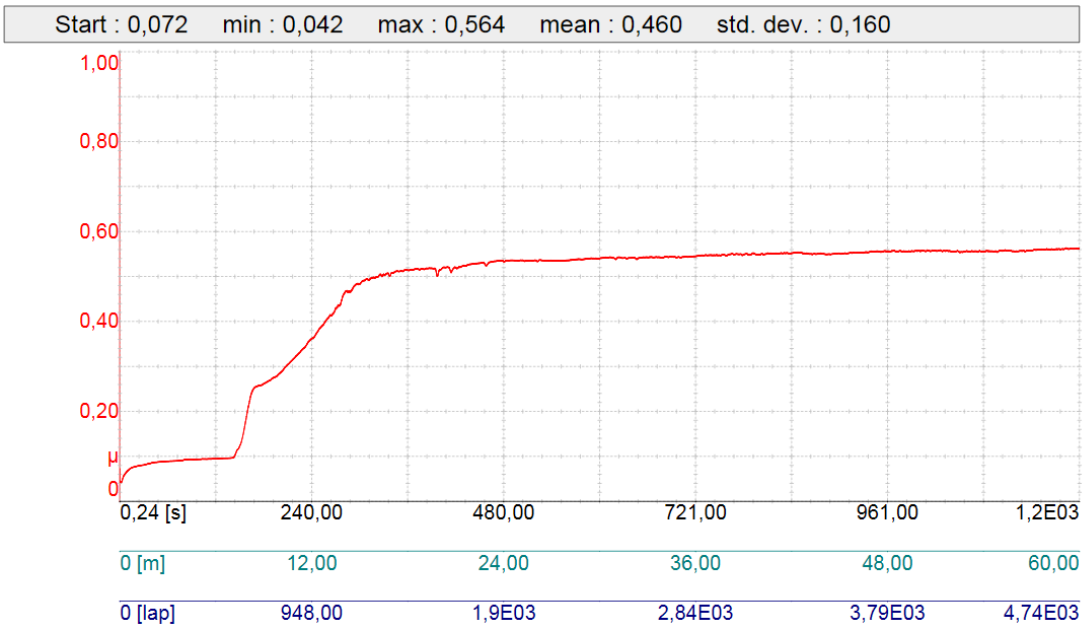
(e)


Start : 0,108 min : 0,108 max : 0,532 mean : 0,505 std. dev. : 0,039
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
μ
0
0,24 [s] 241,00 481,00 721,00 962,00 1,2E03
0 [m] 12,00 24,00 36,00 48,00 60,00
0 [lap] 948,00 1,9E03 2,84E03 3,79E03 4,74E03

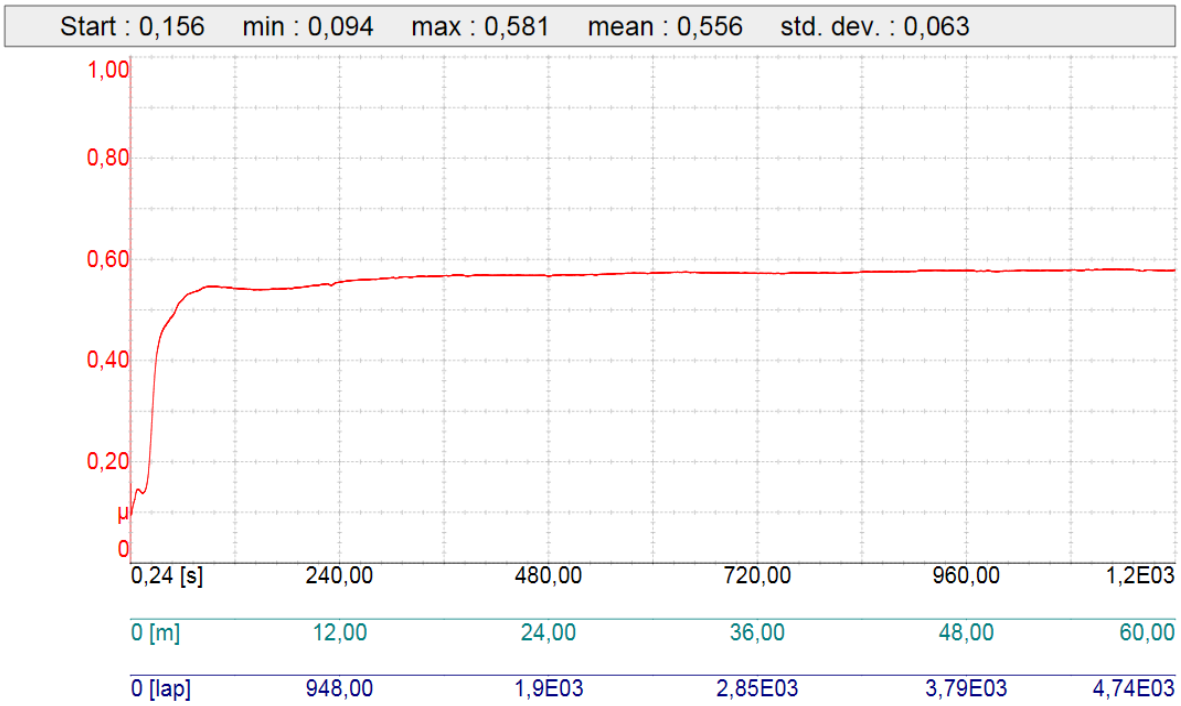
(f)


Start : -0,325 min : -0,325 max : 0,505 mean : 0,478 std. dev. : 0,067
0,75
0,50
0,25
0
-0,25
μ
-0,50
0,24 [s] 240,00 481,00 721,00 961,00 1,2E03
0 [m] 12,00 24,00 36,00 48,00 60,00
0 [lap] 948,00 1,9E03 2,84E03 3,79E03 4,74E03

(g)


Start : 0,072 min : 0,042 max : 0,564 mean : 0,460 std. dev. : 0,160
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
μ
0
0,24 [s] 240,00 480,00 721,00 961,00 1,2E03
0 [m] 12,00 24,00 36,00 48,00 60,00
0 [lap] 948,00 1,9E03 2,84E03 3,79E03 4,74E03

(h)



(i)

Şekil 4.7. Sürtünme Eğrileri a) Saf epoksi b) %5 Kozalak takviyeli epoksi kompozit c) %10 Kozalak takviyeli epoksi kompozit d) %20 Kozalak takviyeli epoksi kompozit e) %30 Kozalak takviyeli epoksi kompozit f) %5 Fındık kabuğu takviyeli epoksi kompozit g) %10 Fındık kabuğu takviyeli epoksi kompozit h) %20 Fındık kabuğu takviyeli epoksi kompozit i) %30 Fındık kabuğu takviyeli epoksi kompozit.

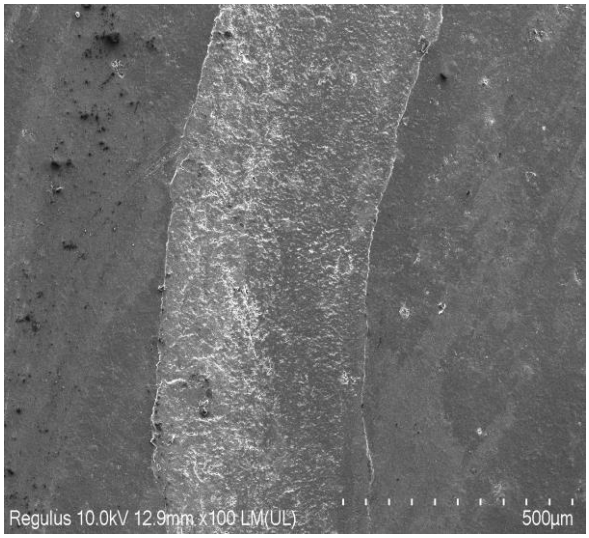
Aşınma testlerinden sonra; yüzey profilometresi (Mitutoyo SJ-401) kullanılarak iki boyutlu aşınma profilleri çıkarılmış ve aşınma alanları hesaplanmıştır. Daha sonra bu alanları aşınma izi çevresi ile integrali alınarak aşınma hacimleri hesaplanmıştır. Aşınma hacimlerinden aşağıdaki eşitlik kullanılarak meydana gelen aşınma oranlarına ulaşılmıştır. Burada; aşınma oranlarını (W), yükü (F) ve aşınma mesafesini (L) temsil etmektedir.

$$W = \frac{V}{F.L} \tag{4.1}$$

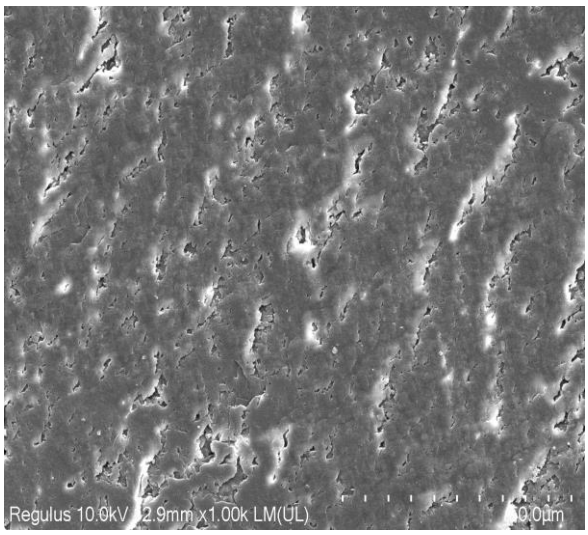
Çizelge 4.3. Aşınma Oranları.

Malzeme	Ort. Sürtünme Katsayısı	Yük (N)	Toplam Yol (m)	Aşınma Oranları (mm^3/Nm)
EPOKSİ	0,49	5	60	1,55E-04
5 FINDIK	0,50	5	60	2,46E-04
5 KOZALAK	0,50	5	60	2,24E-04
10 FINDIK	0,47	5	60	1,58E-04
10 KOZALAK	0,55	5	60	9,30E-05
20 FINDIK	0,46	5	60	2,63E-04
20 KOZALAK	0,42	5	60	2,37E-04
30 FINDIK	0,55	5	60	2,84E-04
30 KOZALAK	0,56	5	60	3,05E-04

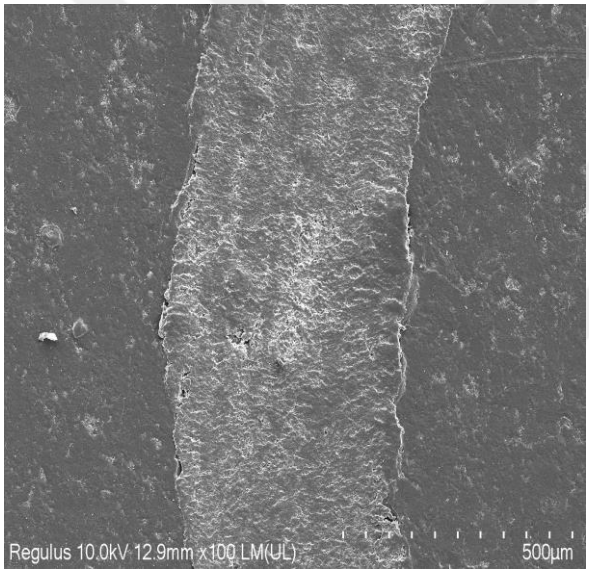
Hesaplanan aşınma oranları Çizelge 4.3' te verilmiştir. Bu sonuçlara göre matris ve kompozit malzemeler içerisinde en düşük aşınma miktarı %10 kozalak takviyeli kompozit malzemede elde edilmiştir. Mekanik özellik-aşınma ilişkisi düşünüldüğünde, en yüksek mekanik özellik değerleri %10 kozalak takviyeli kompozit malzemede elde edildiğinden aşınma direncini de olumlu etkilediği görülmektedir. Üniform bir şekilde dağılan lifler, bünye içerisinde oluşan çatlakları önleyerek ve çatlakların matris içerisinde ilerlemesini yavaşlatarak matrisi daha dayanıklı hale getirdiği düşünülmektedir. Liflerin önce mikro çatlakları engelleyerek dayanımı artırdığı, çatlaklar makro düzeye geldiğinde de liflerin kompozite süneklilik sağlayarak kompozitin aşınma dayanımını geliştirdiği düşünülmektedir. Bu durumun ve meydana gelen aşınma mekanizmalarının açıklanabilmesi için SEM ile aşınma yüzeyleri incelenmiştir (Şekil 4.8).


Regulus 10.0kV 12.9mm x100 LM(UL)
500µm

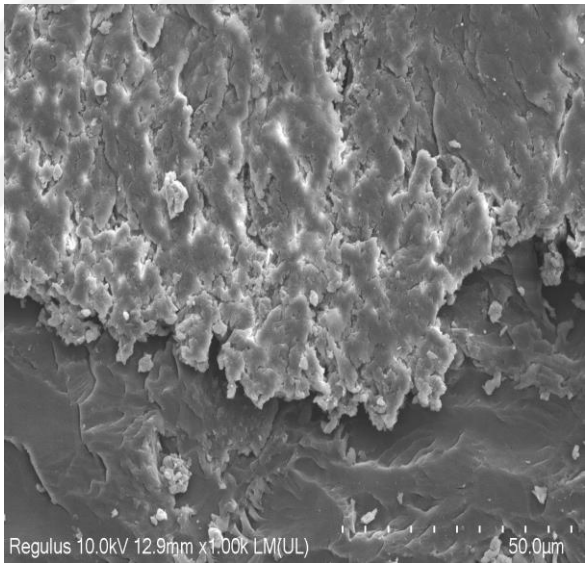
(a)


Regulus 10.0kV 12.9mm x1.00k LM(UL)
50.0µm

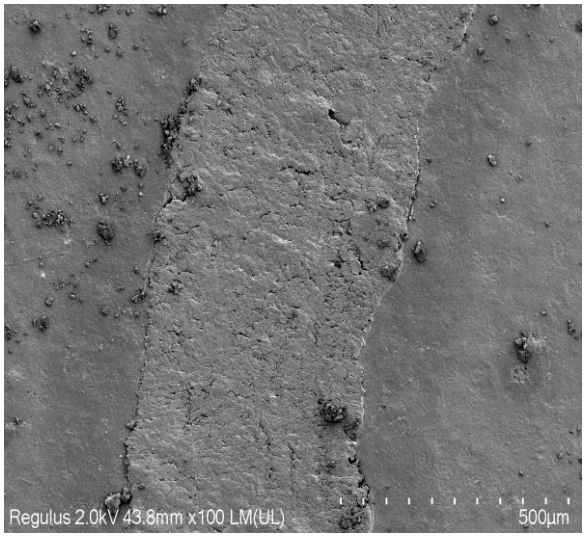
(b)


Regulus 10.0kV 12.9mm x100 LM(UL)
500µm

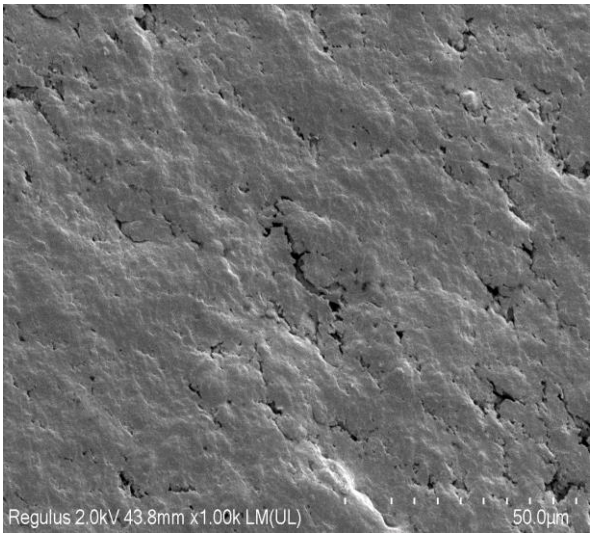
(c)


Regulus 10.0kV 12.9mm x1.00k LM(UL)
50.0µm

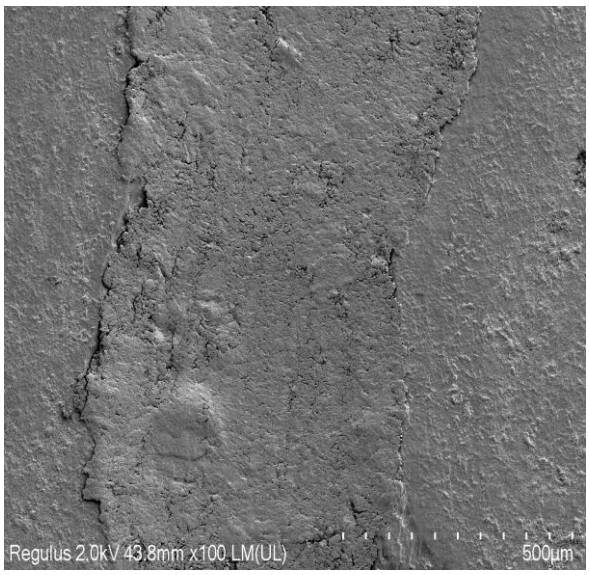
(d)


Regulus 2.0kV 43.8mm x100 LM(UL)
500µm

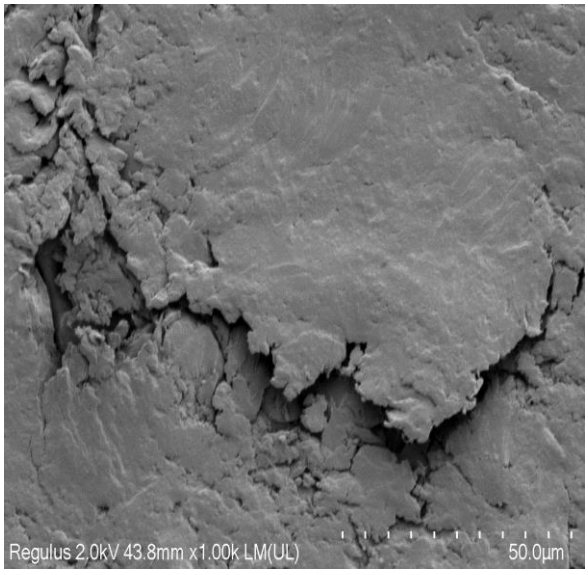
(e)


Regulus 2.0kV 43.8mm x1.00k LM(UL)
50.0µm

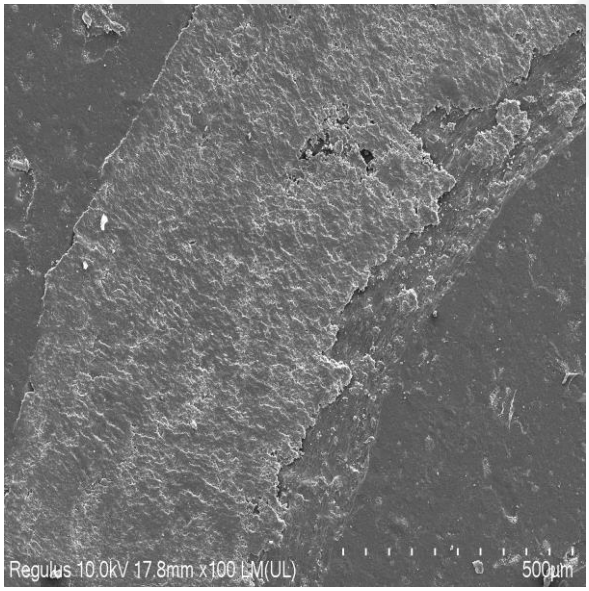
(f)


Regulus 2.0kV 43.8mm x100 LM(UL)
500µm

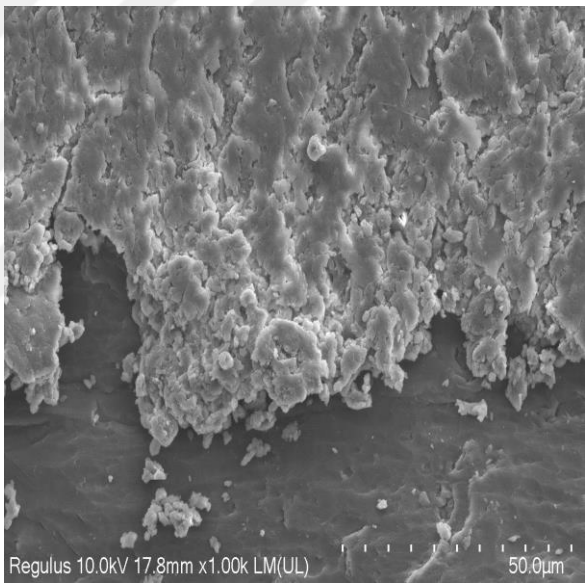
(g)


Regulus 2.0kV 43.8mm x1.00k LM(UL)
50.0µm

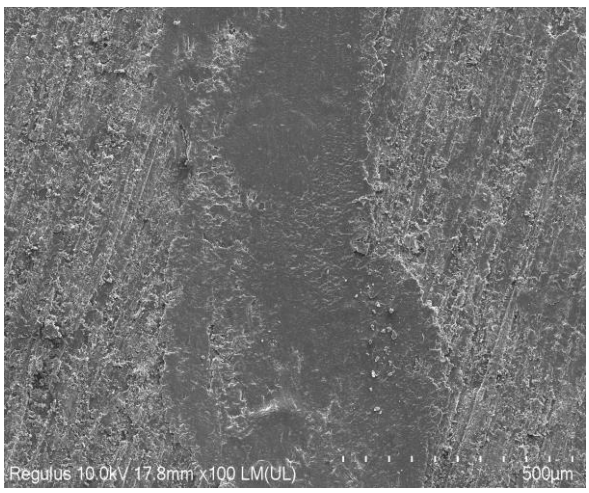
(h)


Regulus 10.0kV 17.8mm x100 LM(UL)
500µm

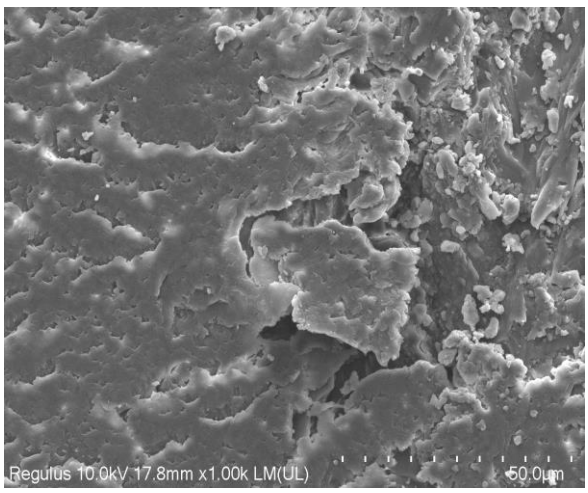
(i)


Regulus 10.0kV 17.8mm x1.00k LM(UL)
50.0µm

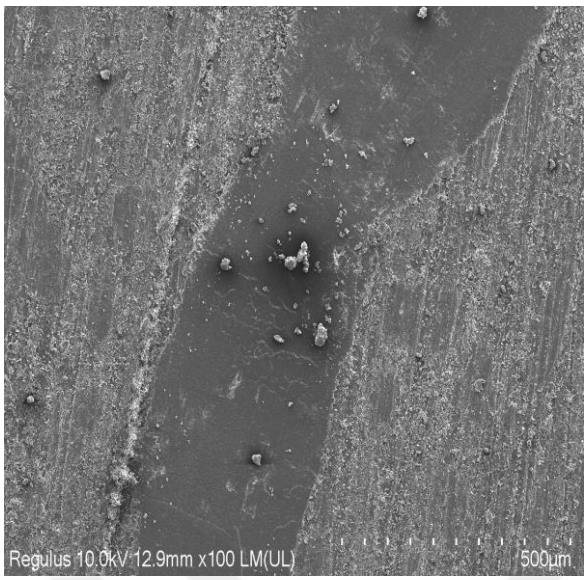
(j)


Regulus 10.0kV 17.8mm x100 LM(UL)
500µm

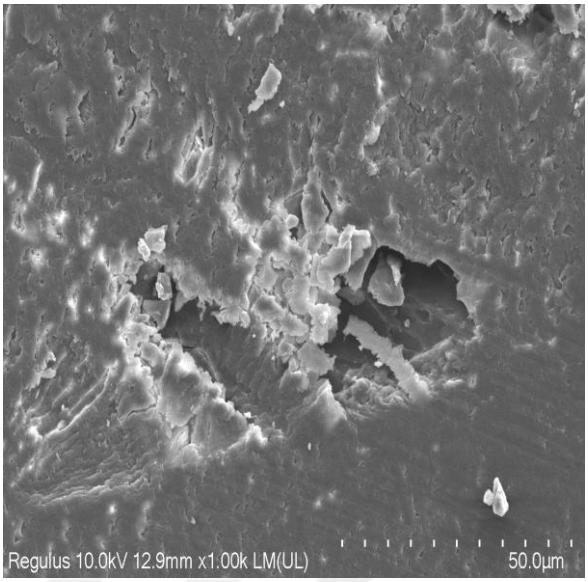
(k)


Regulus 10.0kV 17.8mm x1.00k LM(UL)
50.0µm

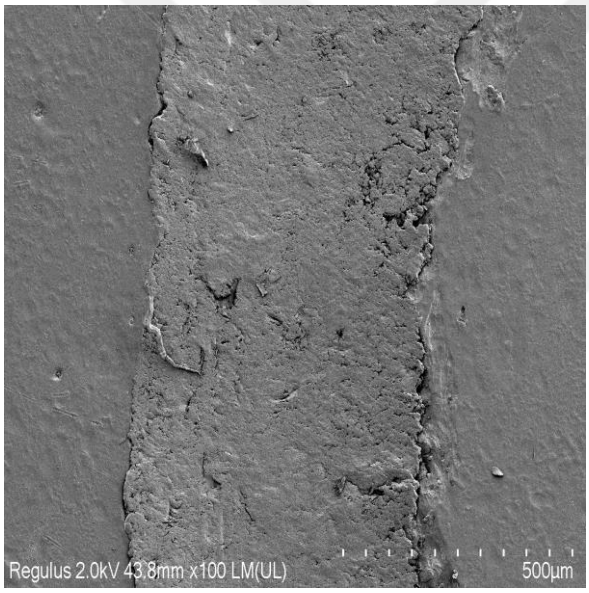
(l)


Regulus 10.0kV 12.9mm x100 LM(UL)
500µm

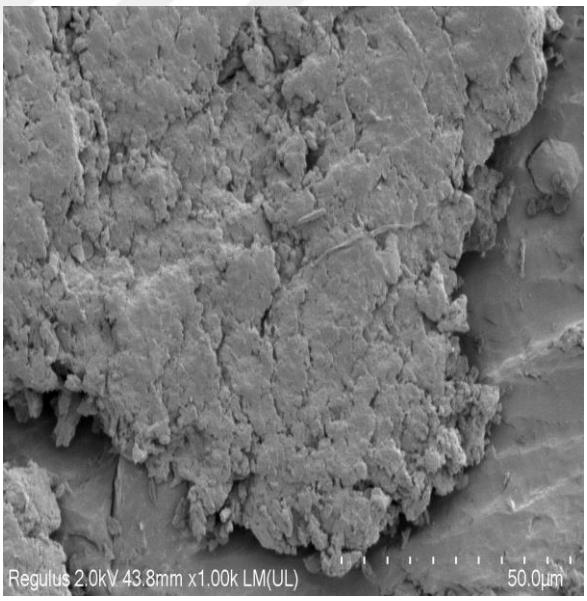
(m)


Regulus 10.0kV 12.9mm x1.00k LM(UL)
50.0µm

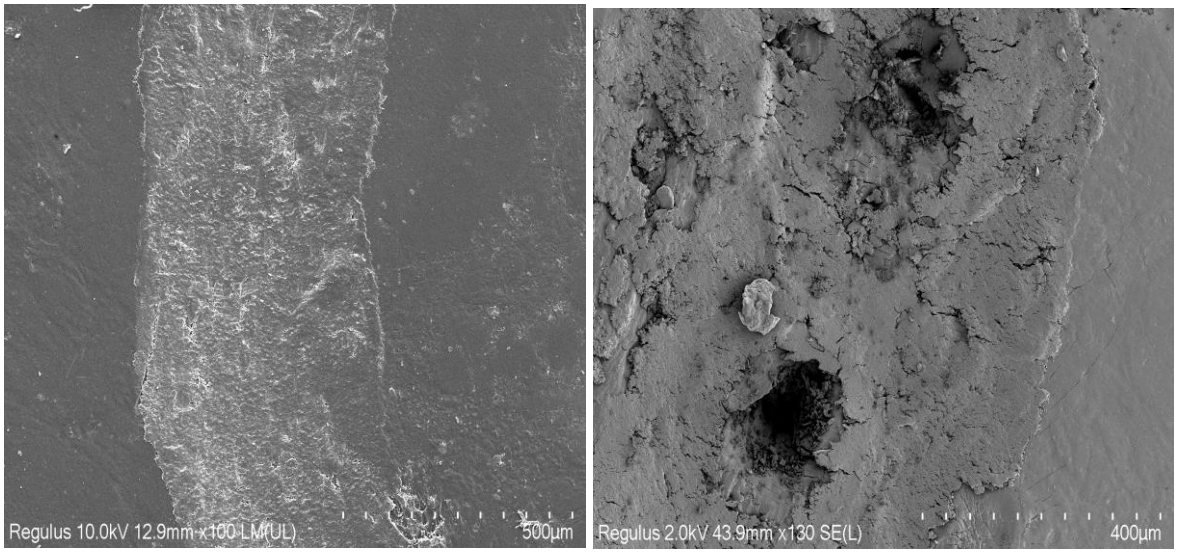
(n)


Regulus 2.0kV 43.8mm x100 LM(UL)
500µm

(o)


Regulus 2.0kV 43.8mm x1.00k LM(UL)
50.0µm

(ö)



(p) (r)

Şekil 4.8. Biyopartikül Katkılı Kompozit ve Matris Malzemelerin Farklı Büyütme Değerlerindeki SEM Görüntüleri; (a-b) Epoksi matris malzeme, (c-d) %5 kozalak katkılı, (e-f) %10 kozalak katkılı, (g-h) %20 kozalak katkılı, (i-j) %30 kozalak katkılı, (k-l) %5 fındık kabuğu katkılı, (m-n) %10 fındık kabuğu katkılı, (o-ö) %20 fındık kabuğu katkılı, (p-r) %30 fındık kabuğu katkılı kompozit malzemeler.

Bütün matris ve kompozit malzemelerde aşınma yüzeylerinin sürtünme kuvvetlerinin etkisiyle oluşan arayüzeydeki ısı oluşumu ile meydana gelen adhesif kimyasal tabaka ile kaplı olduğu görülmektedir. Tribokimyasal koruyucu tabaka nedeniyle aşınma bölgesi düzleşerek temas gerilimlerini azalttığı, kaymayı kolaylaştırarak sürtünme katsayısını ve aşınmayı düşürdüğü düşünülmektedir. Bununla birlikte, Aşınma bölgelerinin yüksek büyütmelerdeki mikroyapı incelemelerinde kompozitlerde kalın bir tribokimyasal tabaka oluştuğu fakat bu tabakada kırılmalar ve kopmalar meydana geldiği görülmektedir. Tribokimyasal tabakadaki kırılmalar ve kopmaların adhesif aşınmayı arttırdığı, ayrıca oluşan lokal aşınma çizikleri ve aşınma izi genişliğinin artması abrasif aşınmalara yol açtığı görülmektedir. Baskın aşınma mekanizmaları adhesif ve abrasif aşınma olarak özetlenebilir. En düşük aşınma miktarının elde edildiği %10 kozalak katkılı kompozit malzemenin aşınma genişliğinin diğer malzemelere göre daha küçük olduğu görülmektedir (Şekil 4.8). Bu durum abrasif aşınmanın yüksek mekanik özelliklere bağlı olarak daha düşük miktarda meydana geldiğini göstermektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; iki farklı matris malzeme, farklı oranlarda iki farklı takviye malzemesi ve iki farklı üretim tekniği kullanılarak biyopartikül katkılı kompozit malzemeler üretilmiştir. Sentetik takviyeli kompozit malzemelere kıyasla organik takviye malzemelerin kullanılabilirliği mekanik ve tribolojik özellikler açısından araştırılmıştır. Deneysel sonuçlara göre; ektrüzyon yöntemi ile üretilen polietilen matrisli kompozitler içerisinde çekme mukavemeti %10 kozalak takviyeli kompozitlerde yaklaşık %20 oranında, %20 kozalak takviyeli kompozitlerde ise yaklaşık %7 oranında geliştirilmiştir. Açık kalıp döküm yöntemi ile üretilen epoksi matrisli kompozit malzemelerde yine en yüksek çekme mukavemeti %10 kozalak takviyeli kompozitlerde elde edilmiştir. Takviye malzemesi yönünden değerlendirildiğinde çam kozalağının fındık kabuğuna göre daha yüksek çekme ve eğme değerleri göstermesinin nedeni; lifli yapısının yanında bünyesinde matris-lif bağ yapısını kuvvetlendiren reçinenin de etkili olduğu düşünülmektedir. Eğme dayanımı açısından her iki yöntemde de artan lif oranı ile birlikte eğme mukavemetinde düşüş gözlenmiştir. Bunun nedeni; artan lif dolgusu ile porozite oluşumlarının arttığı, lifli yapının homojen dağılımının azalabileceği ve kısa lif yapısının uzun lif etkisine göre eğme gerilimlerine karşı daha az etkili olabileceği düşünülmektedir. Sertlik deneyleri sonuçlarına göre; ölçüm hassasiyetinin ±3 düzeylerinde olduğu bu nedenle matris ile kompozit sertliklerinin benzer olduğu, sertliği yüksek olmayan lif takviyesinin kompozit malzemelerde sertlik değerlerinde düşme olmadığı ve sonuçları etkilemediği görülmüştür. Tribolojik özellikler açısından değerlendirildiğinde; takviye liflerin sürtünme katsayısı üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı belirlenmiş ve %10 kozalak takviyeli kompozitlerde hem matris hem de kompozitlere göre en düşük aşınma miktarı elde edilmiştir. Lifli yapının bünye içerisinde oluşan çatlakları önleyerek ve çatlakların matris içerisinde ilerlemesini yavaşlatarak matrisi daha dayanıklı hale getirdiği ve aşınmayı azalttığı düşünülmektedir. Mekanik ve tribolojik özellikler birlikte değerlendirildiğinde optimum takviye oranı ağırlıkça %10 kozalak olarak belirlenmiştir. Her iki takviye malzemesinde de %10’ dan daha yüksek orandaki takviyenin özelliklerde düşüşe neden olduğu belirlenmiştir. Üretim yöntemi açısından karşılaştırıldığında; açık kalıp döküm yöntemi ile üretilen kompozitlerin mekanik özellikleri ektrüzyon yöntemine göre daha yüksek seyretmiştir. Bunun nedeni; takviye liflerin dağılımının açık kalıp döküm tekniğinde

başlangıçtaki karıştırma yöntemine bağlı olarak ekstrüzyon yönteminden daha homojen olması olarak açıklanabilir. Üretim aşamasında bağlayıcı kullanılması matris ve takviye ara yüzey bağlarını arttırıcı etki göstererek mekanik özellikleri artırabilir. Ekstrüzyon ile üretim yönteminde kompozisyon hamur haline getirilerek cihaza beslenebilir ve bu sebeple daha homojen dağılım oluşma olasılığı yüksektir. Açık kalıba döküm ile karşılaştırmak için sıcak kalıba döküm tekniğide kullanılabilinir.

Her geçen gün çevresel atıkların miktarı ve atık kullanımına yönelik taleplerin karşılanması ihtiyacı artmaktadır. Çevre dostu malzeme üretimi ve düşük maliyetli kompozit malzeme üretiminin önemi düşünüldüğünde biyopartikül katkılı kompozitlerin doğaya zararlı sentetik takviye malzemelerle yarışabilir hale gelmesi gerekmektedir. Bu proje ile olumlu sonuçlar elde edilse bile; biyopartikül takviyesi ile beklenen yararın elde edilmesi için sonraki çalışmalarda karıştırıcı türünün, karıştırma hızının, karıştırma süresinin ve vakum uygulaması çalışmaları üzerine yoğunlaşılarak sentetik takviyelere göre daha üstün özelliklere sahip biyopartikül kompozit malzeme üretiminin gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Abdollah, M. F. B., Shuhimi, F. F., Ismail, N., Amiruddin, H., Umehara, N. (2015). Selection and verification of kenaf fibres as an alternative friction material using Weighted Decision Matrix method. *Materials & Design*, *67*, 577-582.

Brahim, S. B., Cheikh, R. B. (2007). Influence of fibre orientation and volume fraction on the tensile properties of unidirectional Alfa-polyester composite. *Composites Science and Technology*, *67*(1), 140-147.

Bulut, Y., Erdoğan Ü. H. (2011). Selüloz Esaslı Doğal Liflerin Kompozit Üretiminde Takviye Materyali Olarak Kullanımı. Dokuz Eylül Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü. The Journal of Textiles and Engineer, 26-35

Bogoeva- Gaceva G.,Avella M., Malinconico M., Buzarovksa A., Grozdanov A., Gentile G., Errico M.E., (2007) Natural Fiber Eco Composites, Society of Plastic Engineers Polycompos. 98 – 107.

Bos, H. L., Van Den Oever, M. J. A., Peters, O. C. J. J. (2002). Tensile and compressive properties of flax fibres for natural fibre reinforced composites. *Journal of Materials Science*, *37*(8), 1683-1692.

Campell, F. C. (2010). Structural Composite Materials. The Materials Information Society. 14 - 18

Cao, Y., Wu, Y. Q. (2008). Evaluation of statistical strength of bamboo fiber and mechanical properties of fiber reinforced green composites. *Journal of Central South University of Technology*, *15*, 564-567.

Carr, D. J., Cruthers, N. M., Laing, R. M., Niven, B. E. (2005). Fibers from three cultivars of New Zealand flax (Phormium tenax). *Textile research journal*, *75*(2), 93-98.

Cheung, H. Y., Ho, M. P., Lau, K. T., Cardona, F., Hui, D. (2009). Natural fibre-reinforced composites for bioengineering and environmental engineering applications. *Composites Part B: Engineering*, *40*(7), 655-663.

Cheng, S., Lau, K. T., Liu, T., Zhao, Y., Lam, P. M., Yin, Y. (2009). Mechanical and thermal properties of chicken feather fiber/PLA green composites. *Composites Part B: Engineering*, *40*(7), 650-654.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

De Rosa, I. M., Kenny, J. M., Puglia, D., Santulli, C., Sarasini, F. (2010). Tensile behavior of New Zealand flax (Phormium tenax) fibers. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, *29*(23), 3450-3454.

Dittenber, D. B., GangaRao, H. V. (2012). Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, *43*(8), 1419-1429.

Efendy, M. A., Pickering, K. L. (2014). Comparison of harakeke with hemp fibre as a potential reinforcement in composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, *67*, 259-267.

Elanchezhiana, C., Vijaya Ramnath, B., Ramakrishnan, G., Rajendrakumar, M., V., Naveenkumar, Saravanakumar, M. K. (2016) Review on mechanical properties of natural fiber composites. Materials Today: Proceedings 5 (2018) 1785–1790.

Gashti, M. P., Gashti, M. P. (2013). Effect of colloidal dispersion of clay on some properties of wool fiber. *Journal of Dispersion Science and Technology*, *34*(6), 853-858.

Ho, M., Wanga, H., Lee, J. H., Ho, C., Lau, K. T., Leng, J., Hui, D. (2011) Critical factors on manufacturing processes of natural fibre composites Composites: Part B 43 3549–3562.

Huson, M. G., Bedson, J. B., Phair, N. L., Turner, P. S. (2000). Intrinsic strength of wool fibres. *ASIAN AUSTRALASIAN JOURNAL OF ANIMAL SCIENCES*, *13*, 267-267.

Kalia, S., Kaith, B. S., Kaur, I., and Njuguna, J. (2013) Biofiber-Reinforced Thermoplastic Composites Polymer Composite: Volume 3, First Edition239 – 277.

Karabulut D., M.Özgür Seydibeyoğlu, "Doğal Fiber ve Biyoplastik Kullanarak Çevreci Çözümler", Turkchem dergisi, 2015 http://www.turkchemonline.com/Haber/Dogal-Fiber-ve-Biyoplastik-Kullanarak-Cevreci-Cozu.html

Ku, H., Wang, H., Pattarachaiyakoop, N., Trada, M. (2011) A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites. Composites: Part B 42 (2011) 856–873.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Le, T. M., Pickering, K. L. (2015). The potential of harakeke fibre as reinforcement in polymer matrix composites including modelling of long harakeke fibre composite strength. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, *76*, 44-53.

Lee, B. H., Kim, H. J., Yu, W. R. (2009). Fabrication of long and discontinuous natural fiber reinforced polypropylene biocomposites and their mechanical properties. *Fibers and Polymers*, *10*(1), 83-90.

Li, X., Tabil, L. G., Panigrahi, S. (2007). Chemical treatments of natural fiber for use in natural fiber-reinforced composites: a review. *Journal of Polymers and the Environment*, *15*(1), 25-33.6.

M.R. Sanjay., Madhu P., :Jawaid M., Senthamaraikannan P., Senthil S., Pradeep S. (2017), Characterization and properties of natural fiber polymer composites:a comprehensive review. Journal of Cleaner Production 172, 566 – 581.

Mehta, G., Mohanty, A. K., Thayer, K., Misra, M., Drzal, L. T. (2005). Novel biocomposites sheet molding compounds for low cost housing panel applications. *Journal of Polymers and the Environment*, *13*(2), 169-175.

Niu, M., Liu, X., Dai, J., Hou, W., Wei, L., Xu, B. (2012). Molecular structure and properties of wool fiber surface-grafted with nano-antibacterial materials. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, *86*, 289-293.

Pickering, K. L., Beckermann, G. W., Alam, S. N., Foreman, N. J. (2007). Optimising industrial hemp fibre for composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, *38*(2), 461-468.

Pickering, K. L. (Ed.). (2008). *Properties and performance of natural-fibre composites*. Elsevier.

Pickering, K. L., Efendy, M. A., Le, T. M. (2016). A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, *83*, 98-112.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Reddy, N., Jiang, Q., Yang, Y. (2012). Biocompatible natural silk fibers from Argema mittrei. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, *6*(5), 558-563.

Shah, D. U., Porter, D., Vollrath, F. (2014). Can silk become an effective reinforcing fibre? A property comparison with flax and glass reinforced composites. *Composites Science and Technology*, *101*, 173-183.

Shah, D. U. (2014). Natural fibre composites: comprehensive Ashby-type materials selection charts. *Materials & Design (1980-2015)*, *62*, 21-31.

Zhan, M., Wool, R. P. (2011). Mechanical properties of chicken feather fibers. *Polymer Composites*, *32*(6), 937-944.

Zini, E., Scandola, M. (2011). Green composites: an overview. *Polymer composites*, *32*(12), 1905-1915.