



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MALZEME VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOĞAL FİBER TAKVİYELİ HİBRİT KOMPOZİT
ÜRETİMİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özlem KELEŞ

Danışman
Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

Kasım-2022
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Özlem KELEŞ tarafından hazırlanan “Doğal Fiber Takviyeli Hibrit Kompozit Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması 24/11/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Malzeme ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Erol KILIÇKAP

Danışman

Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Edip ÇETKİN

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Osman PAKMA
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdür V.

Bu tez çalışması Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından BTÜBAP-2021-YL-013 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Özlem KELEŞ
Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DOĞAL FİBER TAKVİYELİ HİBRİT KOMPOZİT ÜRETİMİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Özlem KELEŞ

BATMAN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MALZEME VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

2022, 73 Sayfa

Jüri

Danışman Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

Prof. Dr. Erol KILIÇKAP

Dr. Öğr. Üyesi Edip ÇETKİN

Biyobozunabilirliği düşük olan sentetik fiberler yerine biyobozunabilirliği yüksek doğal fiberler kullanarak, kullanım sonrası çevresel problemlere neden olmayacak yeni kompozit malzemeler geliştirmek ve yenilenebilir kaynakların kullanımına yönelmek ekonomik ve ekolojik olarak oldukça önem taşımaktadır. Bu yüksek lisans tez çalışmasının temel amacı ekonomik ve ekolojik olarak önem taşıyan doğal fiber takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerinin daha iyi anlaşılabilmesi ve kullanımlarının yaygınlaştırılmasını sağlamaktır. Bu doğrultuda jüt, keten ve rami doğal fiberler kullanılarak kompozit malzemeler ve bu fiberlerin farklı varyanslarında hibrit kompozit malzemeler el yatırma yöntemi ile üretilmiştir. Toplam 11 farklı üretim yapılmış olup üretilen malzemelerin yoğunlukları ile çekme ve eğilme dayanımları incelenmiştir. Ayrıca mekanik testler sonucunda meydana gelen kırılma yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenerek hasar analizleri yapılmıştır. Üretilen malzemelerin yoğunluk değerlerinin $1,12 \text{ g/cm}^3$ ile $1,37 \text{ g/cm}^3$ arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Rami fiber takviyeli kompozitin ortalama çekme gerilmesi (52,4 MPa) ve eğilme gerilmesinin (148,5 MPa) keten fiber takviyeli kompozit ve jüt fiber takviyeli kompozitten daha yüksek olduğu görülmüştür. Jüt/rami hibrit kompozitlere ait çekme ve eğilme gerilmeleri, rami fiber takviyeli kompozit ile jüt fiber takviyeli kompozitin çekme ve eğilme gerilmeleri arasında elde edilmiştir. Ancak jüt/keten hibrit kompozitlerden K9 (2K+2J+2K) numunesinin çekme ve eğilme gerilmeleri keten fiber takviyeli kompozit ile jüt fiber takviyeli kompozitin çekme ve eğilme gerilmelerinden daha yüksek çıkmıştır. Kırılma yüzeylerine ait SEM görüntüleri incelendiğinde ise fiberler ve polyester matris arasındaki bağlantının iyi olduğu, kopma hasarının büyük oranda fiber kırılması şeklinde meydana geldiği ve sadece bazı küçük bölgelerde matris çatlamalarının olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Çekme Gerilmesi, Doğal Kompozit, Eğilme Gerilmesi, Jüt, Keten, Rami

ABSTRACT

MS THESIS

PRODUCTION OF NATURAL FIBER REINFORCED HYBRID COMPOSITES AND INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES

Özlem KELEŞ

**INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES
OF BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MATERIALS AND MANUFACTURING ENGINEERING**

Advisor: Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

2022, 73 Pages

Jury

Advisor Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

Prof. Dr. Erol KILIÇKAP

Asst. Prof. Dr. Edip ÇETKİN

It is economically and ecologically very important to develop new composite materials that will not cause environmental problems after use by using natural fibers with high biodegradability instead of synthetic fibers with low biodegradability and to turn to the use renewable resources. The main purpose of this master's thesis is to better understand the mechanical properties of natural fiber reinforced composites, which are economically and ecologically important, and to expand their use. In this direction, composite materials using jute, flax and ramie natural fibers and hybrid composite materials in different variances of these fibers were produced by hand lay-up method. A total of 11 different productions were made and the densities and tensile and flexural strengths of the produced materials were examined. In addition, fracture surfaces formed as a result of mechanical tests were examined by scanning electron microscopy (SEM) and damage analyses were made. It was observed that the density values of the produced materials varied between 1.12 g/cm³ and 1.37 g/cm³. It was observed that the average tensile stress (52.4 MPa) and flexural stress (148.5 MPa) of ramie fiber reinforced composite were higher than flax fiber reinforced composite and jute fiber reinforced composite. Tensile and flexural stresses of jute/ramie hybrid composites were obtained between the tensile and flexural stresses of ramie fiber reinforced composite and jute fiber reinforced composite. However, the tensile and flexural stresses of the K9 (2K+2J+2K) sample, one of the jute/flax hybrid composites, were higher than the tensile and flexural stresses of the flax fiber reinforced composite and the jute fiber reinforced composite. When the SEM images of the fracture surfaces were examined, it was seen that the connection between the fibers and the polyester matrix was good, the rupture damage was mostly in the form of fiber breakage, and there were matrix cracks only in some small areas.

Keywords: Flax, Flexural Stress, Jute, Natural Composite, Ramie, Tensile Stress

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans çalışması, beş ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, konuyla alakalı giriş yapılmış, kompozit malzemeler, kompozit malzemelerin sınıflandırılması, avantajları ve dezavantajları anlatılmış, kompozit sektörünün değerlendirilmesi yapılarak doğal fiber takviyeli kompozitlere ayrıntılı olarak yer verilmiştir. İkinci bölümde, doğal fiber takviyeli kompozitlerle ilgili detaylı kaynak araştırması sunulmuştur. Üçüncü bölümde, doğal fiber takviyeli kompozit ve hibrit kompozitlerin üretimi ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için gerekli materyal ve yöntem anlatılmıştır. Dördüncü bölümde, doğal fiber takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerinin sonuçları ve tartışması yapılmıştır. Beşinci bölümde ise elde edilen sonuçlar kısaca açıklanmış ve bazı önerilerde bulunulmuştur.

Bu çalışmada, danışman hocam Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK'e katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca deneysel çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Arş. Gör. Serkan BATI'ya da teşekkür ederim.

Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından BTÜBAP-2021-YL-013 nolu proje kapsamında yaptığım çalışmalara desteklerinden dolayı Batman Üniversitesi'ne teşekkür ederim.

Ayrıca bu süreç boyunca sürekli beni motive eden ve destek olan aileme şükranlarımı sunarım.

Özlem KELEŞ
BATMAN-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Kompozit Malzemeler	3
1.1.1. Kompozit malzemelerinin sınıflandırılması ve özellikleri	5
1.1.2. Kompozit malzemelerinin avantajları ve dezavantajları	9
1.1.3. Kompozit malzeme sektörünün değerlendirilmesi	10
1.2. Doğal Fiber Takviyeli Kompozitler	12
1.3. Doğal Fiber Takviyeli Kompozitlerin Tarihi	13
1.4. Doğal Fiber Takviyeli Kompozitlerde Kullanılan Fiberler	14
1.5. Doğal Fiber Takviyeli Kompozitlerin Avantajları ve Dezavantajları	20
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	21
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	43
3.1. Doğal Fiber Takviyeli Kompozit Üretimi	43
3.2. Kompozit Yoğunluklarının ve Fiber Oranlarının Belirlenmesi	47
3.3. Mekanik Test Aşamaları	47
3.4. SEM Analizi	50
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	51
4.1. Yoğunluk ve Fiber Oranı Sonuçları	51
4.2. Çekme Test Sonuçları	52
4.3. Eğilme Test Sonuçları	59
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	63
5.1. Sonuçlar	63
5.2. Öneriler	64
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	74

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Kompozit kerpiç yapımı.....	2
Şekil 1.2. Kompozit yay yapımı	3
Şekil 1.3. Kompozit bileşenlerinin şematik gösterimi.....	4
Şekil 1.4. Örnek elyaf çeşitleri	6
Şekil 1.5. Metal matris ve seramik partikül.....	6
Şekil 1.6. Kompozit malzemelerin takviye elemanına (fazına) göre sınıflandırılması	7
Şekil 1.7. Farklı şekilli elyaf takviyeli kompozitler	8
Şekil 1.8. Fiber takviyeli tabakalı kompozitler.....	9
Şekil 1.9. Doğal fiber takviyeli kompozitlerin otomotivde ilk kullanımı	13
Şekil 1.10. Doğal malzemelerin sınıflandırılması	14
Şekil 1.11. Bazı bitki temelli doğal elyaflar	15
Şekil 1.12. Abaka bitkisi ve elyaf eldesi	15
Şekil 1.13. Abaka kurutulması ve balyalanmış hali	15
Şekil 1.14. Bambu bitkisi	16
Şekil 1.15. Jüt bitkisi	16
Şekil 1.16. Kenaf bitkisi	17
Şekil 1.17. Kenevir bitkisi	17
Şekil 1.18. Keten bitkisi	18
Şekil 1.19. Rami bitkisi	18
Şekil 1.20. Rami lifinin eldesi	18
Şekil 1.21. Sisal bitkisi ve eldesi	19
Şekil 3.1. Jüt doğal fiber kumaşa ait görüntüler	43
Şekil 3.2. Rami doğal fiber kumaşlara ait görüntüler.....	43

Şekil 3.3. Keten doğal fiber kumaşa ait görüntüler	44
Şekil 3.4. Matris malzemesinin hazırlanması	45
Şekil 3.5. Doğal fiber takviyeli kompozit üretimi	46
Şekil 3.6. Kompozitlerin fırın içerisinde tam kürlenmeye bırakılması	46
Şekil 3.7. Numune kesme işleminin yapıldığı su jeti cihazı.....	47
Şekil 3.8. Yukarıdan aşağı K1-K11 çekme numunelerinin görünümü.....	48
Şekil 3.9. K1, K8 ve K3 numunelerinin çekme ve eğilme test numuneleri	48
Şekil 3.10. Çekme testi öncesi pabuç takılmış kompozit numunelerin görüntüsü	49
Şekil 3.11. Çekme deneyinin yapılışı	50
Şekil 3.12. Eğilme deneyinin yapılışı	50
Şekil 4.1. K1-K2-K3 numunelerinin çekme gerilmesi-% uzama grafiği.....	53
Şekil 4.2. K4-K5-K6-K7 numunelerinin çekme gerilmesi-% uzama grafiği	54
Şekil 4.3. K8-K9-K10-K11 numunelerinin çekme gerilmesi-% uzama grafiği	55
Şekil 4.4. Tüm numunelerin ortalama çekme gerilmeleri	56
Şekil 4.5. K1-K2-K3-K5-K9 numunelerinin kırılma yüzeylerine ait SEM görüntüleri. 58	
Şekil 4.6. K1-K2-K3 numunenin ortalama eğilme gerilmeleri	60
Şekil 4.7. K4-K5-K6-K7 numunenin ortalama eğilme gerilmeleri	61
Şekil 4.8. K8-K9-K10-K11 numunenin ortalama eğilme gerilmeleri	61

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo	Sayfa
Tablo 1.1. Türkiye’de kompozit üretiminin imalat sektörlerine göre dağılımı.....	11
Tablo 1.2. Kompozit üretiminde sektör-fiyat dağılımı	11
Tablo 1.3. Doğal fiberlerin lif içeriği	19
Tablo 1.4. Bazı doğal fiberler ile E-cam fiberin özellikleri	20
Tablo 3.1. Polipol 353 polyester malzemenin bazı katalog bilgileri.....	44
Tablo 3.2. Üretilen kompozitlerin dizilimi	45
Tablo 4.1. Üretilen kompozitlerin yoğunluk ve fiber oranı	51

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

σ_{ζ}	: Çekme gerilmesi (MPa)
F	: Uygulanan yük (N)
A	: Numunenin kesit alanı (mm ²)
$\% \epsilon$	: % uzama
l	: Numunenin son boyu (mm)
l_0	: Numunenin ilk boyu (mm)
σ_e	: Eğilme gerilmesi (MPa)
L	: Destek aralık açıklığı (mm)
b	: Numune genişliği (mm)
h	: Numune kalınlığı (mm)

Kısaltmalar

CFTP	: Cam Fiber Takviyeli Polimer
DFTP	: Doğal Fiber Takviyeli Polimer
DYPE	: Düşük Yoğunluklu Polietilen
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrofotometresi
J	: Jüt
K	: Keten
PP	: Polipropilen
R	: Rami
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	: X-Işını Difraktometresi

1. GİRİŞ

Günümüzde endüstriyel uygulamaların her geçen gün artması daha üstün özelliklere sahip malzeme ihtiyacını öne sürmüştür. Uzun ömürlü, geri dönüştürülebilir, düşük maliyetli, dayanıklı, çevreye zarar vermeyen özelliklere sahip yeni ürünler elde etmek için yapılan çalışmaların çoğu kompozit malzemeler ile alakalıdır. Bu durum, kompozit sektörüne ilgiyi arttırmaktadır.

Kompozitler, farklı özelliklere sahip en az iki malzemenin bir araya getirilmesiyle elde edilen heterojen yapılardır. Bu malzemelerden biri matris, diğeri ise takviye elemanıdır. Matris malzemesi, yük altında takviye elemanlarının bir arada tutulmasını ve yüklerin takviye elemanlarına eşit dağılımını sağlayarak kompozit malzemenin plastik deformasyona karşı dayanımını artırır. Takviye elemanı ise matris malzemesinin iyileştirilmesi istenilen özelliklerini geliştirmek amacıyla kullanılır. Matris ve takviye elemanları birbiri içinde çözünmezler. Ancak çok az miktarda çözünürlük matris ile takviye elemanı arasında güçlü bir bağın oluşumunu olumlu yönde etkileyebilmektedir. Dolayısıyla bir bileşende var olmayan mekanik (hafiflik, esneklik, dayanım, tokluk, vb.) ve/veya fiziksel (elektrik iletkenliği, termal iletkenlik vb.) bazı özelliklerin geliştirilmesi ve bir araya getirilmesi matris ve takviye elemanının bir arada bulunduğu kompozit malzemelerle mümkündür. Örneğin yüksek sıcaklığa dayanamayan bir takviye elemanı (lif malzemesi), daha yüksek sıcaklığa dayanabilen bir matris malzemesi ile yüksek sıcaklıkta kullanılabilir hale getirilebilir (Yıldızhan, 2008; Bodur, 2016).

Taşıdığı spesifik özellikleri ile diğer malzemelere oranla birçok yararı bulunan kompozit malzemeler sağladıkları yüksek mukavemet/yoğunluk oranı (özellik mukavemet), yüksek rijitlik/yoğunluk oranı (özellik rijitlik), hafiflik, yüksek dielektrik direnç, iyi korozyon dayanımı, çeşitlilik, kalıplama kolaylığı, renk çeşitliliği, tasarım esnekliği, farklı yüzeylere (beton, ahşap ve metal) uygulanma, yanmazlık, ısıl dayanım, tamir edilebilirlik, ultraviyole ışınlarına dayanım, yüksek aşınma direnci özellikleri ile ön plana çıkmaktadırlar.

Çok geniş kullanım yelpazesi olan ve kullanım oranı günden güne artan kompozit malzemeler, birbirinden çok farklı sektörlerde kullanılıp, sürekli geliştirilmektedir. Kompozitler; uzay teknolojisi, denizcilik sektörü, tıp alanında (tıbbi cihazların imalatı), robot teknolojisi, kimya sanayisi, mobilya endüstrisinde, iç ve dış

mekanlarda, elektrik-elektronik teknolojisi, müzik aletleri endüstrisi, inşaat ve yapı sektörü, otomotiv sektörü, savunma sanayi ve havacılık sektörü, gıda ve tarım sektörü, enerji sektörü, spor malzemeleri imalatı (yüksek atlama sıırıkları, tenis raketleri, srf, yarış tekneleri, kayak vs.) ve ev aletleri gibi pek çok alanda kullanılmaktadır.

Kompozit malzemelerin bilinen en eski ve en geniş kullanım alanı inşaat sektörüdür. Saman ile liflendirilmi çamurdan yapılan duvarlar ilk kompozit malzeme örneklerindendir.

Kompozit malzemelerin tarihçesine bakıldığında ilk çağlardan bu yana kırılabilir malzemelerin içine hayvansal veya bitkisel lifler konularak kırılğan olan özelliği giderilmeye çalışılmıştır. Buna verilebilecek örnek kerpitir (ekil 1.1). M.. 1500’lerde Mısır ve Mezopotamya’da kullanılan, takviyesi saman olan ve kilden yapılmış kerpiç tuğlalar, kompozit uygulamalarının ilk örneklerinden biridir. Kerpiç üretimine baktığımızda, killi çamurun içine ilave edilen saman, sarmaık dallarına benzeyen lif ve saplar kerpiciin direncini artırmaktadır. Ok yayları da buna verilecek başka bir örnektir (ekil 1.2). Araştırmalara bakıldığında yapay ta plakaların üretiminde elyaf malzeme ve hidrolik bağlayıcılar kullanılması 19. yy. balarında var olan patentlerde görülmüştür (Zor, 2022).



Şekil 1.1. Kompozit kerpiç yapımı (Anonim a, 2021)

Asbest kompozitleri ve ilk defa ince levha yapımında kullanılan imento yıllarca kullanılmış ve bugün hala kullanımı sürdürülmektedir. Araştırmalara göre yaygın olarak kullanılan liflerle ilgili uygulamaların eskiye dayandığı çok da yeni olmadığı bilinmektedir. rnek verecek olursak cam liflerinin imalatı eski Mısır dönemine kadar

dayanmaktadır. XVIII. Hanedan döneminden bu yana var olan, değişik renklerdeki cam liflerinden elde edilen çeşitli eşyalar, M.Ö. 1600 yıllarında Mısır'da ince cam liflerinin üretiminin bulunduğunu göstermektedir. Cam liflerinin sanayideki kullanımının bilindiği ilk kayıt 1877 yılıdır (Zor, 2022).



Şekil 1.2. Kompozit yay yapımı (Zor, 2022)

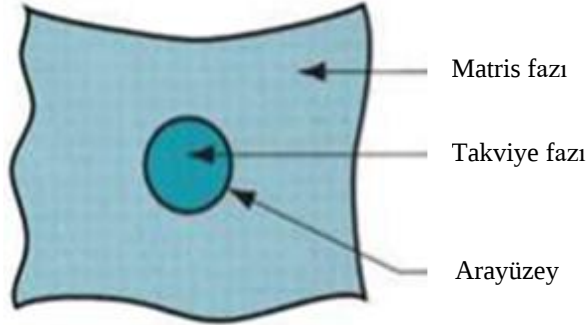
Liflerin ilave edilmiş olduğu sentetik reçineler 1950'den beri endüstride kullanılmış olup en bilinen ürününü “cam fiber takviyeli polimer (CFTP)” grubu oluşturmaktadır. Fiber-glass adıyla bilinen bu malzemeler, 1960 yılı itibariyle çatı levhaları, sıvı tankları ve küçük boy deniz tekneleri gibi benzeri malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır. Ülkemizde seri üretimi yapılmış ilk yerli otomobil olan “Anadol”un kaportası da bu malzemedendir (Zor, 2022).

Günümüzdeki teknolojik gelişmeler, enerji kaynaklarının kötü kullanılması, çevreye olan duyarlılığın artması, geri dönüşüm, sürdürülebilirlik, maliyet ve CFTP kompozitlere benzer özellikler sergilemelerinden dolayı doğal fiber takviyeli polimer (DFTP) kompozitler ön plana çıkmış ve DFTP kompozitler üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır.

1.1. Kompozit Malzemeler

Kompozitler en az bir ana malzeme (matris fazı) ve yine en az bir takviye fazından oluşacak şekilde üretilirler. Kompoziti oluşturan matris ve takviye fazları, kompozitin üretim yöntemine ve tasarlanan şekle bağlı olarak fiziki bir birliktelik sergilemektedirler. Çeşitli yöntemlerle bir araya getirilmiş olan matris ve takviye

fazları, kendi özelliklerini tamamı ile kaybetmeden sergilemek üzere, aralarında arayüzey olarak adlandırılan bir bağlantı bölgesi oluşturur (Şekil 1.3) ve tasarlanan formlarını korurlar (Bulut, 2014).



Şekil 1.3. Kompozit bileşenlerinin şematik gösterimi (Bulut, 2014)

Takviye fazı, matris fazı içerisinde dağılmış takviye elemanlarından oluşur. Kompozit malzemelerde yükü taşıyan takviye elemanlarının fonksiyonlarını yerine getirebilmeleri için üstün mekanik özelliklere sahip olması gerekir. Çünkü matris fazına uygulanan bir kuvvet, arayüzey bağı vasıtasıyla takviye edici faza iletilir ve dağıtılır. Takviye fazı, bu kuvveti taşıyarak kompozit malzemesinin tahribatını engeller. Bu nedenle takviye elemanı ile matris malzemesinin uygun bir arayüzey oluşturması için faz uyumunun dikkate alınması gerekir (Tsai ve Hahn, 1980).

Kompozitlerin yapı taşlarından biri olan matrislerin önemli iki görevi vardır. Bunlardan birincisi takviye fazını, tasarlanan biçimde, içerisinde yer değiştirmesine olanak vermeden tutmak ve diğeri ise kompozite uygulanan herhangi bir kuvveti tahribata uğramadan takviye fazına iletmek ve dağıtmaktır. Ancak kompozitin imalatında seçilecek olan matrisin çalıştığı ortamlarda kendisinden istenilen birtakım özellikleri yerine getirmesi, hafif olması, kolay temin edilebilmesi, takviye faz ile uyumu gibi özelliklerine dikkat edilmelidir.

Kompozit malzemelere eklenen takviye elemanları, son ürüne istenilen özellikleri verebilmek ya da verimi arttırabilmek için kullanılır. Kompozit yapıya gelen yükün %70-90'lık kısmını taşır, kompozitin dayanımını, ısıl karalılığını, rijitliğini ve diğer yapısal özelliklerini sağlar. Bu yüzden kompozitlerde kullanılan takviye elemanlarının, sadece yüksek dayanım ve yüksek elastik modüle sahip olmaları değil, aynı zamanda kullanım alanlarına bağlı olarak da istenilen özellikleri yerine getirmesi gerekir (Mazumdar, 2002; Sur, 2008).

1.1.1. Kompozit malzemelerinin sınıflandırılması ve özellikleri

Kompozitlerin içeriğinde çok sayıda farklı malzemeler kullanılabilir. Bu yüzden gruplandırılmaları için kesin bir şeyler söylemek mümkün değildir. Ancak en yaygın gruplandırma kompozitlerin yapılarını oluşturan malzemeler ve yapı bileşenlerinin şekillerine göre yapılır. Ana malzeme (matris) türüne göre plastik (polimer) kompozitler, metalik kompozitler, seramik kompozitler ve yapı bileşenlerinin (takviye geometrisi) şekillerine göre de (parçacık esaslı kompozitler, fiber esaslı kompozitler, dolgulu “kafes” (pul) kompozitler, tabaka yapılı kompozitler şeklinde sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırmalara ilaveten takviye elemanının veya takviye elemanı ile matris malzemesinin doğal olduğu durumlar vardır, bunlar ise doğal takviyeli ve/veya doğal fiber takviyeli kompozitler ve biyokompozitler olarak isimlendirilir. Doğal fiber takviyeli kompozitler üçüncü bölümde ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

1.1.1.1. Matris malzemesine göre kompozitler

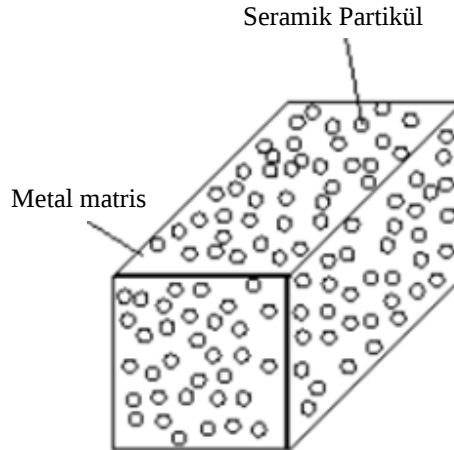
Polimer esaslı (matrisli) kompozitler; kolay üretilen ve maliyeti düşük olması sebebiyle çok fazla tercih edilen polimer matrisli kompozit malzemelerin matrisini termoplastik, termoset plastik, elastomerler ve epoksi reçineler, takviye elemanını ise elyaflar oluşturmaktadır. Termoplastikler genel olarak sünek, tok ve şekillendirilebilen malzemelerdir. Bu özelliklere sahip olması, moleküllerde çapraz bağ oluşumunun gözlenmemesidir. Bu yüzden herhangi bir takviye malzemesi olmadan, yük altında çalışılmayan uygulamalarda geniş bir kullanım alanına sahiptir. Şekillendirilebilmeleri için ısıtılmaları gereken termoplastikler, soğuduktan sonra şeklini korur. Ancak düşük sürünme direnci gösterirler ve kimyasallara karşı az dayanıklıdırlar. Termoset plastikler, ısı ile bir kez şekil verildikten sonra tekrar ısıtıldıklarında yumuşamaz ve erimezler, ancak bozulurlar. 127-316°C sıcaklığa kadar kullanılan polimer reçinelerdir. Yalıtkanlıkları çok iyidir. Elastomerler, iyi yalıtım sağlayan, kolay deforme olmayan, farklı şekiller halinde kalıplanabilen bir bükülebilir plastik malzeme kategorisidir. Doğal ve suni kauçuk malzemeler, özel bir polimer türü olan elastomerler arasındadır. Epoksi reçineler ise düşük kıvamlı sıvı halde bulunurlar. Takviye elemanı olarak fiber kumaşlara kolaylıkla uygulanırlar. Epoksi reçinelerin katılaşması için içerisine tavsiye edilen oranda sertleştirici ilave edilir ve uygulanan yüzeyin kürleşmeye bırakılması sağlanır. Bu özelliğinden dolayı polimer kompozitlerde en çok kullanılan matris arasındadır. Polimer matrisli kompozitlerin yüksek süneklik, yüksek korozyon direnci

ve kolay şekillendirme özellikleri vardır. Ancak sertliği düşük olduğundan dolayı oldukça zayıf ve dayanımı düşük kompozitlerdir. Yüksek sıcaklık özellikleri düşüktür. Eğer biz bu kompozit malzemelere iyi mekanik özellikler kazandırabilirsek, bu kompozit malzemelerini yapısal olarak kullanılabilir hale getirmiş oluruz. Bu mekanik özelliklerin kazandırılması için sürekli ve süreksiz elyaflarla (Şekil 1.4) takviye edilerek güçlendirilmesi gerekir (Mazumdar, 2002; Bilgiç, 2006).



Şekil 1.4. Örnek elyaf çeşitleri

Metal esaslı (matrisli) kompozitler; ticari olarak kullanılan önemli metal matris malzemeleri vardır. Bunlar; alüminyum ve alaşımları, magnezyum ve alaşımları, titanyum ve alaşımları, nikel esaslı alaşımlar, bakır alaşımlarıdır. Metal matrisli kompozitlerin avantajları, elektriksel ve termal iletkenlik, manyetiklik, iyi mukavemet ve süneklik, yüksek tokluktur. Ancak korozyon dayanımı düşüktür ve üretimi polimerlerden oldukça yüksek sıcaklıklarda yapılır. Bu doğrultuda takviye elemanı olarak genellikle seramikler kullanılır. Seramikler Şekil 1.5'te görüldüğü gibi matris içerisinde partikül şeklinde bulunurlar.

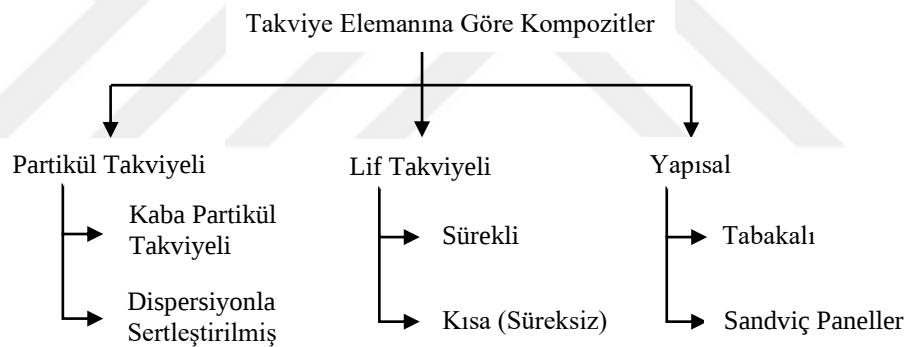


Şekil 1.5. Metal matris ve seramik partikül

Seramik esaslı (matrisli) kompozitler; seramik matrisli kompozitlerin avantajları, elektriksel ve termal yalıtkanlık, yüksek ergime sıcaklıklarından dolayı çok iyi sürünme direnci, aşınma ve korozyon direnci yüksek, düşük yoğunluk, mükemmel aşınma dayanımı, çok yüksek basma gerilmesi ve sertlik, kimyasal etkilere karşı yüksek dirençtir. Ancak bu matrislerin şekillendirilmesi yüksek sıcaklıklarda yapıldığı için şekillendirilmesi zor ve maliyetlidir. Ayrıca çok düşük tokluğa sahip olmasından dolayı küçük yapısal hatalarda plastik deformasyon göstermeden ani kırılmalar gözlemlenebilir.

1.1.1.2. Takviye elemanına göre kompozitler

Matris malzemesine göre yapılan sınıflandırmadan sonra en yaygın sınıflandırma takviye elemanına göre yapılmaktadır. Takviye elemanına göre kompozitler, Şekil 1.6'da verilen partikül takviyeli kompozitler, lif takviyeli kompozitler ve yapısal kompozitler olarak incelenirler.



Şekil 1.6. Kompozit malzemelerin takviye elemanına (fazına) göre sınıflandırılması (Şahin, 2010)

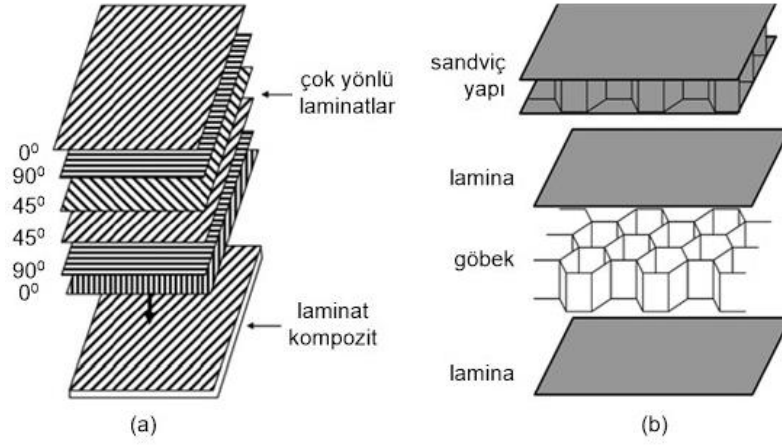
Partikül takviyeli kompozitler; takviye edici faz tanecik şeklindeki malzemelerden oluşmuştur. Dolgu maddelerinin bir polimer matrise eklenerek elde edilen kompozit malzemeler bu gruba girmektedir. $0,1 \mu\text{m}$ 'den büyük partiküllerin kullanılması durumunda, matris faz ile partikül takviye fazı arasında atomik veya moleküler etkileşimler gerçekleşmez. Bu durumdaki partikül takviyeli kompozitlere, kaba partikül takviyeli kompozitler denir. Kullanılan partikül boyutu $0,01 - 0,1 \mu\text{m}$ arasında ise dispersiyonla sertleştirme söz konusudur. Bu durumda matris faz ile partikül takviye fazı atomik veya moleküler etkileşim halindedir (Callister, 1991).

Lif takviyeli kompozitler; takviye fazı lif şeklindedir. Sürekli lif takviyeli kompozitler ve kısa (süreksiz) lif takviyeli kompozitler olmak üzere kendi içinde iki kısımda incelenir. Lifler diğer takviye malzemelerine göre çok daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğu için lif takviyeli kompozitler malzemenin özelliklerinde önemli iyileştirmeler sağlar. Bu tür kompozit malzemelerde liflerin şekli, boyutu ve dizilimi de malzemenin özellikleri üzerinde önemli bir etki gösterir. Kullanılan liflerin uzunluğu belirli bir kritik uzunluğun üzerinde ise bu tür kompozitler sürekli lif takviyeli kompozitler olarak isimlendirilir. Eğer liflerin uzunluğu belirli bir kritik uzunluğun altında ise bu durumda kompozit türü kısa (süreksiz) lif takviyeli kompozit ismini alır. Lif takviyeli kompozitler, kompozit malzemelerin en yaygın türünü oluşturur ve matris içerisinde farklı dizilim ve boyutlarda yer alırlar (Şekil 1.7). Modern kompozitlerin oluşumunda önemli bir yere sahip olan bu kompozitlerde, cam, karbon, aramid elyaflar en yaygın kullanılan takviye elemanlarıdır (Callister, 1991; Vasiliev ve Morozov, 2001).



Şekil 1.7. Farklı şekilli elyaf takviyeli kompozitler (Şahin, 2006)

Yapısal kompozitler; çok katmanlı kompozit malzemelerdir. Bu tür kompozitler, “tabakalı kompozitler” ve “sandviç paneller” olarak iki sınıfa ayrılır. Tabakalı kompozitler, iki boyutlu tabakaların farklı yönlerde üst üste dizilmesi ile elde edilirken sandviç paneller, yüksek dayanımlı iki dış tabakanın arasına daha az dayanımlı, sertliği ve yoğunluğu daha az olan farklı bir tabakanın yerleştirilmesi ile oluşmaktadır. Yapısal kompozitler için örnek Şekil 1.8’de verilmiştir (Callister, 1991).



Şekil 1.8. Fiber takviyeli tabakalı kompozitler (Beşergil, 2022)

Yapısal kompozitlerde, farklı elyaf yönlenmelerine sahip tabakaların bileşimi söz konusu olduğu için çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Isıya ve neme dayanıklı yapılardır. Metallere göre hafif ve aynı zamanda mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir. Sürekli elyaf takviyeli tabakalı kompozitler uçak yapılarında, kanat ve kuyruk grubunda yüzey kaplama malzemesi olarak çok yaygın bir kullanıma sahiptirler.

1.1.2. Kompozit malzemelerinin avantajları ve dezavantajları

Günümüzde kompozit malzemeler uygulama alanlarına göre istenilen mekanik özelliklerde üretimi yapılabilmektedir. Çeşitli fiber ve matris birleşimleriyle elde etmek istediğimiz özellikler malzemeye aktarılabilir. Bu yüzden kompozit malzemelerin uygulama alanları günden güne artarak devam etmektedir. Her malzemenin olduğu gibi kompozit malzemelerin de avantajları ve dezavantajları vardır.

1.1.2.1. Kompozitlerin avantajları

Kompozit malzemelerin avantajları aşağıda verilmiştir.

- ✓ Kompozitler, metallere göre çok hafiflerdir. Bu nedenle uzay, havacılık ve otomotiv endüstrisinde daha çok tercih edilir. Çünkü hafiflik demek, yakıt tasarrufu demektir.
- ✓ Çelik gibi bazı malzemeler çok dayanıklı ve ağırdır. Fakat kompozitlerin hem hafif hem dayanıklı olması onların kullanımını her geçen gün arttırmaktadır.

- ✓ Bu malzemelerin hava ve kimyasal maddelere olan direnci diğer malzemelere göre daha fazladır.
- ✓ Kompozitler diğer birçok malzemedan daha karmaşık şekillerde kalıplanabilir. Bu, tasarımcılara hemen hemen her şekil veya form oluşturma özgürlüğünü verir.
- ✓ Kompozitler, sıcak veya soğuk, ıslak veya kuru olduklarında şekillerini ve boyutlarını korurlar. Örneğin uçak kanatlarında kullanılırlar, böylece uçağın yükseklik kazanması ya da kaybetmesiyle kanat şekli ve büyüklüğü değişmez.
- ✓ Dayanıklı olmasından dolayı, bu malzemeler uzun ömürlüdür. Yaklaşık olarak orijinal kompozit malzemelerin ömürleri 50 yıl olarak kabul edilmektedir.

1.1.2.2. Kompozitlerin dezavantajları

Kompozit malzemelerin dezavantajları;

- ✓ Bu malzemelerin üretim maliyeti yüksektir.
- ✓ Kompozitlerde herhangi bir aksaklığın tespiti çok zordur.
- ✓ İmalat süreci diğer malzemelere göre daha fazla karışık ve emek isteyen bir süreçtir.
- ✓ Metaller, kompozitlere kıyasla sıcaklıktaki değişimler üzerinde daha fazla genişler ve büzüşür. Bu durumda dengesizliğe ve arızaya neden olabilir.

1.1.3. Kompozit malzeme sektörünün değerlendirilmesi

Kompozitler, üstün korozyon dayanımı, özgül mukavemet, hafiflik ve benzeri ayırt edici özelliklerinden dolayı geleneksel alüminyum, çelik ve plastik gibi malzemelerin yerini gün geçtikçe almaktadır.

Ülkenin ekonomik gelişimi ile ülkelerdeki kompozit piyasasının payı doğru orantılıdır. Bu doğrultuda kompozit malzemelerin ileri teknoloji üretim süreçleri gereksinimleri ve yüksek ekonomik değerleri ülkelerin ekonomisini zorlamaktadır. Kompozit sanayi küresel ekonomik büyümeye ve anahtar sektörlerle (bina ve inşaat, rüzgâr enerjisi, uzay ve havacılık, otomotiv) daha fazla nüfuz etme becerisine dayanarak uzun süreli bir gelişme göstermiştir. Kompozit malzeme pazarı dünya ölçeğinde 49,6

milyar avro ve 6,2 milyon tonluk bir hacme ulaşmış bulunmaktadır (Arıcasoy, 2006; İnkaya, 2011).

Türkiye kompozit sektörü dünyadaki küresel ekonomik gelişmeler paralelinde ve siyasi istikrarın da etkisi ile diğer sektörlerde olduğu gibi hızlı ve uzun soluklu bir gelişme göstermiştir. Kompozit sektörü tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de ikame malzemelerden pay alarak büyümektedir. Türkiye, Avrupa ve Dünya büyüme oranının üzerinde bir büyüme göstermektedir. Türkiye’de kompozit işi yapan orta ve büyük ölçekli 150-200 şirket ve kısmen bu işi yapan 700-800 şirket vardır. Bu şirketler yaklaşık 5000 çalışanı ve yıllık 200 bin ton toplam üretimi ile 1 milyar avro’luk ciro yapmaktadırlar. Türkiye’de kompozit sektörünün kullanım alanları ve oranları Tablo 1.1’de, kompozit üretiminde sektörlere göre fiyat dağılımı ise Tablo 1.2’de verilmiştir (Arıcasoy, 2006; Hacıoğlu, 2013).

Tablo 1.1. Türkiye’de kompozit üretiminin imalat sektörlerine göre dağılımı (Hacıoğlu, 2013)

<i>Kompozitin yoğun olarak kullanıldığı imalat sektörü</i>	<i>Oranı (%)</i>
Boru ve Tank İmalatı	48
Yapı ve İnşaat	19
Otomotiv ve Taşımacılık	17
Elektrik & Elektronik	4
Denizcilik	4
Rüzgâr Enerjisi	2
Tüketici Malları	2
Diğer	4

Tablo 1.2. Kompozit üretiminde sektör-fiyat dağılımı (Hacıoğlu, 2013)

<i>Kullanım alanları</i>	<i>Oranı (€/kg)</i>
Havacılık	33
Rüzgâr Enerjisi	15
Tüketim Malları	10
Denizcilik	8,6
Otomotiv ve Taşımacılık	7,5
Elektrik & Elektronik	6,5
İnşaat	5
Boru & Tank	2,5

Türkiye’de yoğun olarak kullanılan kompozit malzeme üretim yöntemleri, el yatırma, püskürtme, elyaf sarma, savurma döküm, reçine transfer, profil çekme (pultrüzyon), kalıplama, basınçlı kalıplama ve vakumlama yöntemleridir. Elyaf Sarma ve savurma döküm üretim yöntemleri diğer üretim yöntemleri ile kıyaslandığında toplam üretimin %45’ini oluştururken reçine transfer ve el yatırma %30’luk bir paya sahiptir.

Kompozit pazarının beklenen büyümesi aşağıdaki üç ana büyüme kaldıracına bağlıdır.

1. Gelişmekte olan ülkelerin ekonomik büyümelerinin devam etmesi,
2. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde otomotiv ve rüzgâr enerjisi gibi sanayilerin gelişmeye devam etmesi,
3. Uzay ve Havacılık sektöründe özellikle ticari uçaklarda kompozit malzeme kullanımının artarak yoğun bir şekilde devam etmesidir.

1.2. Doğal Fiber Takviyeli Kompozitler

Önceki bölümde, çok farklı kompozitlerin olduğundan ve bunların farklı şekilde sınıflandırılmasından bahsedilmişti. Ancak çevre dostu, geri dönüşüm, sürdürülebilirlik gibi faktörler göz önünde bulundurulduğunda, doğal fiber takviyeli polimer (DFTP) kompozitler ön plana çıkmaktadır. Kompozit malzemelerin takviyelendirilmesinde, cam fiber, karbon fiber ve aramid fiber gibi sentetik fiberlerin yerine jüt, kenaf, sisal, kenevir, rami, keten ve benzeri doğal fiberlerin kullanımı her geçen gün artmaktadır. Ayrıca teknolojik gelişmeler ve enerji kaynaklarının kötü kullanılması, yerini yeni malzeme arayışlarına sürmüştür. Bu doğrultuda var olan malzemeleri kullanarak yeni malzemeler üretme yoluna gidilmiştir. Bunların başında da DFTP kompozitler gelmektedir. DFTP kompozitler kendiliğinden üretilip yeniden değerlendirildiğinden önemli bir yere sahiptir. Son zamanlarda çalışmaların bu doğrultuda yoğunlaştığı ve DFTP kompozit özelliklerinin incelendiği literatür çalışmalarında görülmüştür. Çalışmaların ortak gayesi biobozunabilirliği düşük olan sentetik fiberler yerine biobozunabilirliği yüksek fiberler kullanarak, kullanım sonrası çevresel problemlere neden olmayacak yeni kompozit malzemeler geliştirmek ve yenilenebilir kaynakların kullanımına yönelmektir. Araştırmaların ortaya koyduğu ürünlerin hemen hemen hepsinde polimerin (saf reçine) mekanik özelliklerde iyileşme olduğu ve özellikle darbe dayanımının lif takviyesiyle yüksek oranda geliştiği belirtilmiştir (Seki, 2009; De Carvalho ve diğ., 2006; Mwaikambo ve Bisanda, 1999).

Doğal fiberler çevreye zarar vermemesi, düşük maliyeti, düşük yoğunluğu, yüksek dayanıklılığı, biyobozunabilir ve yenilenebilir kaynaklar olması, doğada bol miktarda bulunabilmesi ve sağlık sorunları bakımından zararsızlığı gibi nedenlerden dolayı inşaat endüstrisi, taşımacılık endüstrisi gibi alanlarda oldukça geniş yer kaplamaktadır (Bilgiç, 2006; Mohanty ve diğ., 2006). Tüm bu iyi özelliklerine rağmen

doğal fiberlerin düşük arayüzey yapışma özelliklerine sahip olması, doğal lif takviyeli kompozit malzemelerin cam fiber takviyeli kompozit malzemelere göre düşük mekanik özellikler sergilediğini göstermektedir (Karabulut ve Aktaş, 2014). Bu sebeple ürünlerin kullanım alanları için yüksek mekanik performans gerektiren alanlar yerine, daha basit kullanım alanları önerilmektedir; bu sebeple cam, karbon, aramid vb. takviyeli kompozitler yerine alternatif bir malzeme olarak sunulmaktan daha çok, düşük ve orta yükleri taşıyabilecek masa, raf, kapı gibi iç mekân uygulamaları veya çatı, otomobil parçası, drenaj panelleri gibi dış mekân uygulamalarında kullanılabilecekleri ifade edilmiştir (Ahmed ve Khan, 2002).

1.3. Doğal Fiber Takviyeli Kompozitlerin Tarihi

DFTP kompozitlerin otomotiv endüstrisindeki kullanımı 1941’de Henry Ford tarafından üretilen bitkisel lif (kenevir) takviyeli soya yağı araç gövde panelleri ile oluşturulmuştur (Şekil 1.9a). Ancak o tarihlerde sentetik reçinelerin doğal reçinelere göre çok daha ucuz olması bu malzemenin seri üretimine imkân vermemiştir. DFTP kompozitlerin otomotiv endüstrisinde kullanımına diğer bir örnek ise 1958 yılında Almanya’da VEB Sachsenring Automobilwerke Zwickau firması tarafından üretilen ‘Trabant’ arabalarıdır (Şekil 1.9b). Bu arabaların gövdesinde pamuk lifi takviyeli fenolik reçine kompozitler kullanılmıştır (Anonim b, 2022).



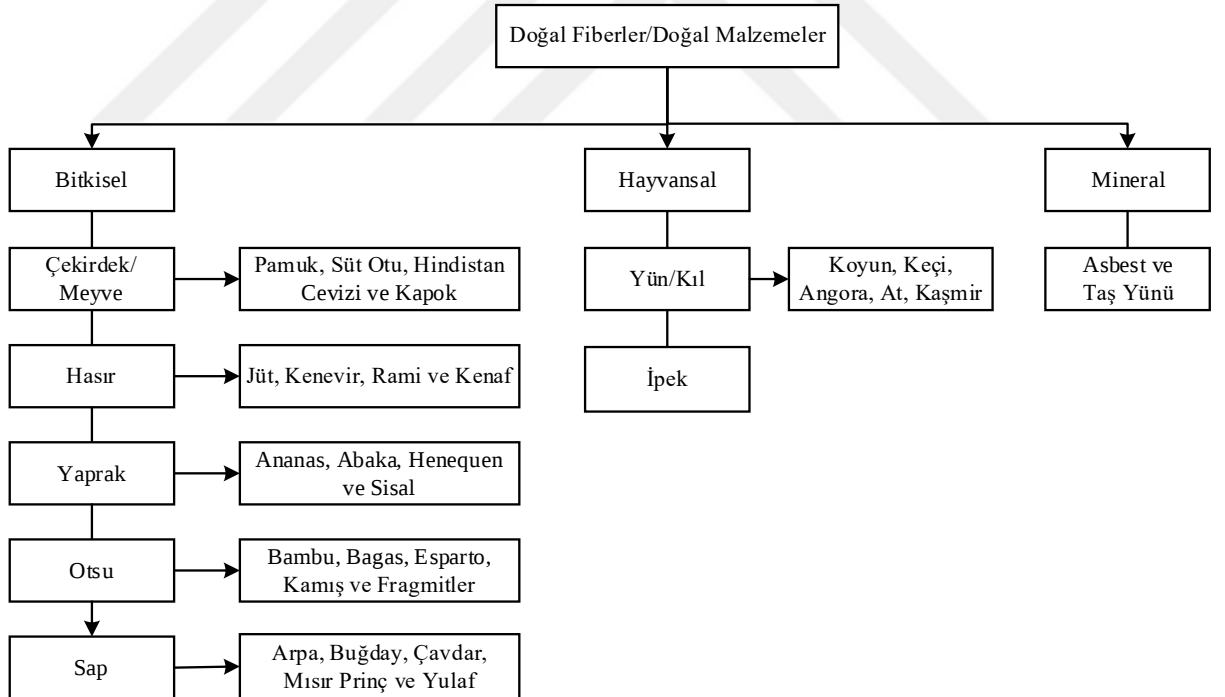
Şekil 1.9. Doğal fiber takviyeli kompozitlerin otomotivde ilk kullanımı (Anonim b, 2022)

Bilhassa, İkinci Dünya Savaşıyla kompozit endüstrisi cam fiber takviyeli kompozitlere doğru kaymıştır. Bu tarihlerde cam fiber takviyeli kompozitlerin hafif ve güçlü olmasının yanı sıra radar sinyallerine karşı saydam olması, onların savaş uçağı üretiminde kullanılmasına neden olmuştur. İkinci Dünya Savaşından sonra kompozit

endüstrisi tekne ve gemi sektörüne yönelmiş ve 1946 yılında ilk kompozit tekne üretilmiştir. Yine bu tarihten sonra kompozitlerin günlük hayatta kullanımı da yaygınlaşmıştır. 1970’li yıllarda ilk petrol krizinin yaşanmasıyla birlikte DFTP kompozitlerine ilgi yeniden sınırlı olsa da artmıştır. 1970’li yıllarda jüt ve sisal lifleriyle takviye edilmiş epoksi ve polyester reçinelerden ucuz bina malzemeleri üretilmiştir. DFTP kompozitlerin modern anlamda doğuşu 1980’li yıllarda gerçekleşmiştir (Anonim b, 2022).

1.4. Doğal Fiber Takviyeli Kompozitlerde Kullanılan Fiberler

Doğada bulunan bitki, hayvan ve minarellerden DFTP kompozitler üretilmektedir. Bu kompozitlerde genellikle bitkisel lifler tercih edilmesine rağmen diğer doğal malzemelerde kullanılmaktadır. Doğal fiber ve malzemelerin sınıflandırılması, Şekil 1.10’da ve bazı bitkisel fiberlerin görüntüsü ise Şekil 1.11’de gösterilmiştir.



Şekil 1.10. Doğal malzemelerin sınıflandırılması (Chandramohan ve Marimuthu, 2011; Hodzic ve Shanks, 2014; Djafari Petroudy, 2017)



Şekil 1.11. Bazı bitki temelli doğal elyaflar (Udhayasankar ve diğ., 2015)

Günümüzde yaygın kullanım alanı olan fiberlerle ilgili bilgi görselleriyle birlikte aşağıda verilmiştir.

Abaka; Musaceae familyasında olup ömrü 8 ile 20 yıl arasında değişir. Tropikal bir bitki türü olup Filipinler ve Ekvator’da yetişir. Üretiminin %96’lık kısmını bu ülkeler karşılamaktadır (Megep, 2014).



Şekil 1.12. Abaka bitkisi ve elyaf eldesi (Megep, 2014)



Şekil 1.13. Abaka kurutulması ve balyalanmış hali (Megep, 2014)

Bambu; 21. yüzyılın elyafı olup uzakdoğu'nun bambu ormanlarından toplanan bambu kamışları hamur haline getirilip, daha sonra liflere ayrıştırılarak elde edilir.



Şekil 1.14. Bambu bitkisi (Megep, 2014)

Jüt; Pamuktan sonra en önemli ve popüler ikinci doğal liftir. 2,5–4,5 m büyüyebilir. Yılda 2-3 kez ekilebilir. Yıllık jüt üretimi 2,300,000 ton'dur. Bu üretimin %60'ı Hindistan, %35 kadarı Bangladeş tarafından üretilir (Summerscales ve diğ., 2010). Ayrıca Çin, Tayland, Nepal, Myanmar ve Vietnam gibi çoğu Güneydoğu Asya ülkesinde de yetişmektedir. Jüt lifi, diğer doğal liflerden daha yüksek mekanik mukavemete sahiptir ve polimerleri güçlendirmek için cam liflerle rekabet halindedir. Ayrıca %100 biyolojik olarak parçalanabilir ve çevre dostu, düşük yoğunluklu, aşındırıcı olmayan, iyi yalıtkan, sürdürülebilir ve ucuz, yüksek özgül mukavemet ve boyutsal kararlılık özelliklerine sahiptir (Rahman ve diğ., 2020). Tipik olarak jüt lifi, temel ve düşük kaliteli tekstil ürünleri için kullanılır. Jütün özellikleri, değeri yüksek ve teknik tekstiller lehine değiştirilebilirse, sadece maliyet değil, çevre de büyük fayda sağlayacaktır. Jüt, selüloz (%45–71,5), hemiselüloz (%13,6–21) ve lignin (%12–26) içerir. Lignin, içindeki birçok aromatik halka nedeniyle mekanik destekten sorumludur. Bu nedenle jüt lifi araştırmacılar için en çekici doğal liflerden biri haline gelmiştir (Wang ve diğ., 2019).



Şekil 1.15. Jüt bitkisi (Anonim b, 2022)

Kenaf; Kökeni Afrika olup Afrika ve Asya'nın tropikal bölgelerinde yetiştirilmektedir. Yıllık bir bitkidir. Yılda birkaç kez ekilebilir. Boyu 5 ay içerisinde 6 m'ye kadar ulaşmaktadır. Üretimi yıllık 970,000 tondur. Birçok özelliği ile jüte benzer ve jüte alternatif olarak veya jüt ile karışım halde kullanılabilir (Summerscales ve diğ., 2010).



Şekil 1.16. Kenaf bitkisi (Anonim b, 2022)

Kenevir; Orta Asya'ya özgü bir bitkidir ve Çin'de 4500 yıldan beri üretilmektedir. Gübre ya da böcek ilaçlarına gerek duymadan yetişebilir. Bu yüzden üretim maliyeti düşüktür. Uygun koşullarda, 12 haftada 4 m büyüyebilir. Yılda 2-3 kez ekilebilir. Yıllık kenevir üretimi 214,000 tondur. Başlıca üreticiler Çin, İtalya, Rusya ve Yugoslavya'dır (Summerscales ve diğ., 2010).



Şekil 1.17. Kenevir bitkisi (Anonim b, 2022)

Keten; Genelde Mart ve Mayıs aylarında ekilir ve türüne bağlı olarak 1 metreye kadar büyüyebilir. Üretimi yıllık 830,000 tondur. En önemli keten üreticileri Fransa, Belçika, Hollanda ve Kazakistan'dır (Anonim b, 2022).



Şekil 1.18. Keten bitkisi (Anonim b, 2022)

Rami; Urticaceae (Boehmeria) familyasına aittir. 100 çeşidi olan bir bitkidir. Genellikle sıcak ve orta kuşak iklim bölgeleri olan Kore, Tayland, Filipinler ve Çin gibi ülkelerde yetiştirilmektedir. Lif hücreleri, bitkinin gövdesindeki kabuk kısmının hemen altında demetler halinde bulunur. Yaprakları sararmaya başladığında hasadı yapılmaktadır. (Megep, 2014).



Şekil 1.19. Rami bitkisi (Megep, 2014)



Şekil 1.20. Rami lifinin eldesi (Megep, 2014)

Sisal; Sıcak ve nemli iklimlerde yetişir. Yapraktan elde edilen lif sınıfında en fazla sisaldan verim alınır. Ancak bitkinin 7 ile 8 yıllık süre zarfından sonra elyaflarından

faýdalanılır. Yapraklarının büyük bir oranı sudur. Yapraklardan çürütme yöntemiyle %3-4 civarında lif elde edilir. Bu bitkiden 15-20 yıl boyunca elyaf alınabilir. Brezilya ve Doğu Afrika’da ticari olarak üretilmektedir (Megep, 2014).



Şekil 1.21. Sisal bitkisi ve eldesi (Megep, 2014)

Doğal Fiberlerin bileşimlerinde geniş çeşitlilik bulunmasına rağmen hemen hemen tüm doğal organik fiberler hidrofilik yapıya sahiptir. Bunun nedeni, hemiselülozlar ve pektinler gibi heteropolisikarelerde hidroksil ve karboksilik asit gruplarının varlığıdır. Ayrıca selüloz, hidroksil grupları bakımından zengindir. Fakat selüloz, mikrofiberlerin yüksek doğrusallığını ve kristalliğini azaltır. Bununla birlikte, mikrofiberlerin yüzeyindeki serbest OH grupları, önemli miktarlarda su emme konusunda hassastır. Bu bağlamda fiberlerin lif içeriği önem taşımaktadır (Avella ve diğ., 2009; Koronis ve diğ., 2013). Tablo 1.3’te bazı doğal fiberlerin lif içerikleri verilmiştir.

Tablo 1.3. Doğal fiberlerin lif içeriği (Dittenber ve GangaRao, 2012)

Elyaf Türü	Selüloz (%)	Hemiselüloz (%)	Lignin (%)	Pektin (%)	Balmumu (%)	Mikrofiber Açısı (°)	Nemli İçerik (%)
Abaka	56-63	20-25	7-13	1	3	-	5-10
Bambu	26-65	30	5-31	-	-	-	-
Hin. cevizi lifi	32-43,8	0,15-20	40-45	3-4	-	30-49	8,0
Pamuk	82,7-90	5,7	<2	0-1	0,6	-	7,85-8,5
Keten	62-72	18,6-20,6	2-5	2,3	1,5-1,7	5-10	8-12
Kenevir	68-74,4	15-22,4	3,7-10	0,9	0,8	2-6,2	6,2-12
Henequen	60-77,6	4-28	8-13,1	-	0,5	-	-
Jüt	59-71,5	13,6-20,4	11,8-13	0,2-0,4	0,5	8,0	12,5-13,7
Kenaf	31-72	20,3-21,5	8-19	3-5	-	-	-
Rami	68,685	13-16,7	0,5-0,7	1,9	0,3	7,5	7,5-17
Sisal	60,78	10,0-14,2	8,0-14	10,0	2,0	10-22	10-22

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Araştırmacılar ve mühendisler, yüksek mukavemet/ağırlık oranı, aşınma direnci ve kırılma tokluğu gibi benzersiz avantajlarından dolayı fiber takviyeli polimer kompozitleri sürekli olarak incelemektedirler. Cam fiber takviyeli polimer kompozitler, düşük maliyetleri ve iyi mukavemet avantajları nedeniyle uzun yıllardır yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu sentetik fiberler, yüksek ilk işleme maliyetleri, geri dönüşümdeki zorluklar, yüksek enerji tüketimi, doğal çevre üzerindeki olumsuz etkileri, insan sağlığı ve çevre için tehlike oluşturması gibi ciddi dezavantaj oluşturmaktadır (Gudayu ve diğ., 2020). Sentetik kompozitler ömrünü tükettiğinde, bileşenleri birbirine çok sıkı bağlı ve nispeten kararlı olduğundan, geleneksel yöntemlerle ayrılmaları ve geri dönüştürülmesi çok zordur (Feng ve diğ., 2020; Radzuan ve diğ., 2020). Günümüzün yoğun rekabet ortamı, yeni malzeme arayışlarında hızla değişen dünya altyapısı ve sosyal kaygılar, mevcut malzemelerin işlevlerini yerine getirebilecek ve çevre ile uyumlu yeni malzemelere olan ihtiyacı tetiklemiştir (Raghavendra ve diğ., 2017). Dolayısıyla çevre bilincine bağlı olarak geri dönüştürülebilir ve çevresel açıdan sürdürülebilir kompozit malzemelerin geliştirilmesi önem kazanmıştır (Motaleb ve diğ., 2020). Bu nedenle malzeme üreticileri çevresel etkileri dikkate almakta ve yaşam döngülerinin her aşamasında çevreyle uyumlu, düşük maliyetli ve yüksek mukavemet/ağırlık oranlarına sahip doğal liflerin kullanımını ön plana çıkartmıştır (Sinha ve diğ., 2017; Çelik ve diğ., 2019).

Bazı doğal liflerin spesifik özellikleri, ticari kompozit ürünler üretmek için uygundur. Bunlar arasında jüt, keten, sisal, rami, bambu, kenevir, abaka, hindistancevizi ve sisal önemli yer tutmaktadır. Bu tür lifler polimer matrislere takviye edilmektedir (Venkatesan ve Bhaskar, 2020). Matris polimerleri ile ilgili olarak, tam biyo-bazlı polimerlerin performansının henüz yeterli olmadığı göz önüne alındığında, kısmen biyo-bazlı polimerler kullanılmaktadır, ancak petrol esaslı olanlar hala en yaygın olanlarıdır (Baley ve diğ., 2020; Saadati ve diğ., 2020). Bu yüzden petrol esaslı polimerlere doğal fiber takviye edilmesi, doğal fiber takviyeli polimer (DFTP) kompozitleri oluşturmaktadır. DFTP kompozitler, yapısal uygulamalar için birçok çekici faydaları nedeniyle son zamanlarda inşaat endütrisi, demiryolu vagonu ve uçakların iç mekanlarında ve otomobillerin iç motor kapakları, kapı panelleri, koltuk arkalıkları, dış veya zemin altı panelleri gibi çeşitli yerlerinde büyük ilgi görmüştür (Gopinath ve diğ., 2014; Gudayu ve diğ., 2020; Sinha ve diğ., 2020; Kumar ve

Hariharan, 2021). Faydalı özellikler arasında; yüksek mukavemet-ağırlık oranı, sürdürülebilir özellikler, korozyona karşı direnç, iyi yalıtkanlık ve termal özellik, düşük üretim enerjisi, biyolojik olarak parçalanabilme, doğada büyük oranda bulunma, düşük maliyet ve düşük karbon ayak izi gelmektedir (Sinha ve diğ., 2021). Geleneksel takviye malzemelerine kıyasla sunduğu maliyet ve bulunabilirlik avantajları nedeniyle DFTP kompozitler, bilim adamlarının ve teknoloji uzmanlarının dikkatini çekmiş ve bu kompozitlerin geliştirilmesi Endüstri 4.0 devrimi ile araştırmaların ilgi odağı olmuştur (Mbeche ve Omara, 2020; Yogeshwaran ve diğ., 2021). Ancak DFTP kompozitlerin mekanik davranışlarının ikna edici bir sonuç vermediği ve birçok durumda tutarsız değerler gösterdiği görülmüştür. Bu tür lifler hakkında yeterince bilgi sahibi olunmaması ve düzensiz özellikleri, bunun temel nedenidir. Öte yandan, bu alanda meydana gelen analize tam bir nokta getirmek isteyen fiber ile ilgili birçok sorun vardır. DFTP kompozitlerin mekanik davranışı esas olarak liflerin üretim yöntemi, hacim oranı, lif uzunluğu, lif-matris yapışması, lif oryantasyonu ve arayüzde stres transferi gibi çok sayıda parametreden etkilenir (Kumar ve Srivastava, 2017; Lokesh ve diğ., 2020). Bu bağlamda DFTP kompozitlerde, arzu edilen mekanik ve fiziksel özelliklerin elde edilmesi için takviye elemanı olarak kullanılan doğal fiberlerin işlenişi ve geometrisi ön plana çıkmıştır. Takviye malzemeleri, dokuma kumaş, örgülü lifler, örme lifler, iğne delikli keçeler ve rastgele yönlendirilmiş lifli keçeler gibi her biri farklı özelliklere sahip çeşitli mimarilerde üretilmeye başlanmış ve 3 boyutlu kumaşlara kadar uzun bir yol kat etmiştir (Ahmad ve diğ., 2021). Bunun yanı sıra fiber ve polimer matris arasındaki arayüzey yapışmasını arttırmak da önemlidir. Bunun için doğal fiberlerin kimyasal olarak işlenmesi ön plana çıkmaktadır. Doğal fiberler işleme için sıklıkla kullanılan kimyasallar arasında sodyum hidroksit (NaOH), nitrik asit ve potasyum klorat ($\text{HNO}_3 - \text{KClO}_3$), sodyum hipoklorit (NaClO) ve benzoat bulunmaktadır. Alkali arıtma, en yaygın kullanılan ve nispeten ucuz kimyasal arıtma olarak bilinir (Chin ve diğ., 2020).

DFTP kompozitler, çeşitli teknolojik, ekonomik ve ekolojik avantajlar sağlamalarına rağmen en büyük dezavantajı, yüksek nem absorpsiyonları ve zayıf boyutsal kararlılıklarıdır, bu da uzun süreli kompozit uygulamalarda başarılı kullanımlarını durdurmaktadır. Nem emmeye karşı duyarlılıkları, zayıf mekanik özelliklerinin ana nedenidir. Ayrıca nemli iklimlerde mikrobiyal saldırıya, güneş ışığında sararmaya meyillidir (Kumar ve Srivastava, 2017). Düşük mutlak mukavemet

ve zorlu çevre koşullarında mukavemet kaybı gibi dezavantajları da vardır (Raghavendra ve diğ., 2017). DFTP kompozitler ile ilgili yapılan araştırmalar, aşağıda ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Yöney ve diğ. (2008), sürekli bambu ve keten lifi takviyesinin vinilester matrisli kompozitlerin darbe mukavemeti üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Vinilester reçinesine değişik oranlarda keten ve bambu lifleri takviye ederek ISO 180 standardı ölçülerine göre hazırlanmış teflon kalıpla kompozit numuneler üretmişler ve elde edilen numunelerin izod darbe deneyini gerçekleştirmişlerdir. Kompozit içerisindeki bambu ve keten liflerinin oranının artmasıyla izod darbe mukavemetinin önemli ölçüde arttığını vurgulamışlardır. Keten lif kullanılan numunelerin darbe mukavemetinin bambu lifli numunelere göre iki kata kadar artış gösterdiğini ifade etmişlerdir. Kırılma enerjisinin hem liflerin kopması hem de liflerin sıyrılması yoluyla harcandığını gözlemlemişlerdir.

Bulut ve Erdoğan (2011), doğal lif takviyeli kompozitlerde takviye elemanı olarak kullanılan selüloz esaslı doğal lifleri, içyapılarını, mekanik ve fiziksel özelliklerini ve matris polimerlerini ayrıntılı olarak ele alan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Polimer teknolojisinde kullanılan her malzemenin özellikle çevreye uyulanmasına ve ekolojik olmasına dair günden güne artan bir talep olduğunu, polimere hem mukavemet ve dayanıklılık kazandıran hem de biyoyumluluk özelliği ile ön plana çıkan doğal liflerin takviye edilmesi ile geliştirilen kompozit malzemelerin çok farklı alanlarda üstün özellikleri ile alternatif ürün olarak kullanım olanağı bulunduğunu, ayrıca hidrofob karakterdeki sentetik polimerler ile hidrofik özellikteki doğal lifler arasındaki uyumu ve bağlanmayı arttırmak amacıyla uygulanan farklı yüzey modifikasyon işlemleri ile kompozitlerin fiziksel ve performans özelliklerinin geliştirilebildiğini vurgulamışlardır.

Bakkal ve Savaş (2012), doğal elyaf malzemesi olarak atık pamuklu kumaştan elde edilen pamuk ipliklerinin, düşük yoğunluklu polietilen (DYPE) matris malzemesiyle birlikte oluşturdukları karma malzemenin mekanik özelliklerini incelenmişlerdir. Ayrıca karma malzemelerin mekanik özelliklerini, DYPE malzemesi ve cam elyafın farklı formlarıyla oluşturdukları tabakalı karma yapıların mekanik özellikleriyle karşılaştırmışlardır. DYPE matris malzemesine ilave edilen pamuk ipliklerinin matris malzemesinin çekme dayanımını ve elastik modülünü arttırdığını, ancak darbe dayanımını düşürdüğünü gözlemlemişlerdir. Karma malzemelere göre cam

elyafın farklı formlarıyla oluşturdukları tabakalı karma yapıların daha iyi mekanik değerlere sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Balcıoğlu ve diğ. (2012), kırılmış ceviz kabuklarını 1mm açıklığa sahip elekten geçirerek polyester matris malzemesi içerisine ağırlıkça %0, %5, %10 ve %15 olacak şekilde ilave etmişlerdir. Hazırlanan karışımları oda sıcaklığında sertleşmeye bırakarak aşınma test numuneleri üretmişlerdir. Blok-bilezik test metoduyla gerçekleştirdikleri aşınma deneylerinde, kayma mesafesini 1 km ve uygulanan yükleri 500 g, 2500 g ve 4500 g olacak şekilde belirlemişlerdir. Polyester içerisindeki ceviz kabuğu oranının artmasıyla kompozit numunelerin aşınma direncinin arttığını, yani aşınan malzeme miktarının azaldığını, ancak artan yük miktarı ile aşınma direncinin azaldığını gözlemlemişlerdir. Artan yük ile aşınma direncindeki düşüşü, sürtünmeden dolayı kompozit numunedeki matrisin yumuşaması ile ilişkilendirmişlerdir. Yumuşama neticesinde sertliğini kaybeden polyester matris malzemesinin takviye olarak kullanılan ceviz kabuğu parçalarını bir arada tutmadığını ve bu durumun da aşınma miktarının artmasında önemli bir rol oynadığını ifade etmişlerdir.

Boopalan ve diğ. (2012), jüt ve sisal liflerinin 2 saat boyunca %20 sodyum hidroksit ile kimyasal işleme tabi tutulduğunu, ham ve kimyasal işleme tabi tutulan fiberlerin kalıplama tekniği ile epoksi matrisine dahil edilerek kompozitlerin elde edildiğini belirtmişlerdir. Jüt ve sisal fiber takviyeli epoksi kompozitlerin mekanik özelliklerini sodyum hidroksit ile muamele edilmiş jüt ve sisal fiber takviyeli epoksi kompozitlerin mekanik özellikleri ile karşılaştırmışlardır. Ayrıca kompozitlerin su emme ve morfolojik değişikliklerini incelemişlerdir. Sodyum hidroksit ile muamele edilmiş jüt ve sisal elyaf takviyeli epoksi kompozitlerin daha iyi mekanik dayanım ve daha düşük su emme özelliği gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Bununla birlikte sodyum hidroksit ile muamele edilmiş jüt fiber takviyeli kompozitlerin sisal fiber takviyeli kompozitlerden daha iyi özellikler sergilediğini vurgulamışlardır.

Merdan ve diğ. (2012), kenevir liflerinin %2,5, %5 ve %10 konsantrasyonunda maleik anhidrit işleminde, konvansiyonel ve mikrodalga yöntemlerinin kenevir liflerinin kopma dayanımı ve % uzama değerlerine etkisini incelemişlerdir. Kenevir lifi yüzey işlemlerinde, mikrodalga yöntemi kullanımının işlem süresinin kısılmasına, kimyasal maddeden optimum yarar sağlanmasına, kullanılan su miktarının ve enerjinin daha az olmasına katkı sağladığını belirtmişlerdir. Bu nedenle, kenevir lifi yüzey işlemlerinde

mikrodalga enerji kullanımının oldukça ekonomik ve ekolojik bir yöntem olarak görüldüğünü ve önerildiğini tavsiye etmişlerdir.

Savaş (2012), otomobillerin tampon parçalarının mekanik özelliklerinin geliştirilmesi bakımından, laboratuvar ortamında doğal elyaf ve sentetik elyafların bir arada kullanıldığı karma malzemeleri incelemiştir. Çalışmada, önceden belirlenen pamuklu kumaş ağırlık oranına sahip polimer matrisli karma malzemenin üretimini ekstrüder vasıtasıyla gerçekleştirmiştir. Ekstrüderden çıkan malzemeleri soğuma sırasında malzemede olabilecek şişmelerin engellenmesi ve sabit bir malzeme kalınlığı elde edilmesi için preslemiştir. Preslenen karma malzemelerin bir kısmını cam elyafın farklı formu ve farklı düzenlerde yerleştirilmeleriyle tabakalı yapılara dönüştürmüştür. Karma ve tabakalı malzemelerin mekanik özelliklerini karşılaştırmıştır. Doğal elyaf takviyesiyle birlikte, DYPE matris malzemesinin çekme dayanım değerinin arttığını, buna rağmen bu artışın mevcut tampon malzemesi olarak kullanılan malzemenin dayanım değerinin altında kaldığını tespit etmiştir. Örme cam elyaf tabakalı karma malzeme, 1. aşama test sonuçlarına göre tabakalı yapılarda en yüksek çekme dayanımı değerini veren ve mevcut polipropilen tampon malzemesinin dayanım değerini aşan tek malzeme türü olduğunu vurgulamıştır. 2. aşamada örme cam elyafı malzemeye polyester uygulanması neticesinde ilk aşama testlerinde elde edilmiş olan dayanım değerinin daha da geliştirildiğini belirtmiştir. Tabakasız yapılarda, doğal elyaf takviyesinin katılımıyla birlikte matris malzemesinin rijitliğinin arttığı fakat bu artışın tampon malzemesinin rijitliği için yeterli seviyelere çıkamadığını ifade etmiştir. Tabakalı yapılarda, cam elyafın rijitliğe pozitif katkı sağladığını gözlemlemiştir. Bu katkı 1. aşama test sonuçlarına göre en çok örme cam elyafı durumunda sağlanmış ve bu malzeme tampon malzemesi rijitliğini geçebilen tek malzeme olduğunu belirtmiştir. 2. aşamadaki polyester uygulanmasıyla birlikte bu değer in yükseldiğini ifade etmiştir. Ayrıca, tabakasız yapılarda doğal elyafın katılımının, DYPE malzemesinin tokluk değerini düşürdüğünü vurgulamıştır. Tabakalı yapılarda, cam elyafı malzemelerin tokluk değerlerinin yüksek çıktığını belirtmiştir.

Genc ve diğ. (2013), keten lifleri kullanılarak bitkisel esaslı biokompozit malzemeler üretilmesini ve bu malzemelere ait elastiklik modülünün titreşim yöntemi ile belirlenmesini içeren bir çalışma yapmışlardır. Elde ettikleri verileri aynı koşullar altında üretilmiş cam elyaf kompozit malzemelerin davranışları ile karşılaştırarak, biokompozit malzemelerin petrol esaslı kompozit malzemelere göre etkisini deneysel ve

sonlu elemanlar yöntemi ile incelemişlerdir. Hem deneysel çalışmalardan hem de sonlu elemanlar yönteminden elde ettikleri sonuçlara göre keten liflerinin cam elyaf malzemelerine alternatif oluşturabilecek özelliklere sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Gopinath ve diğ. (2014), lif uzunluğu 5-6 mm olan jüt takviyelerini polyester ve epoksi matris malzemeleri ile birleştirerek kompozitler oluşturmuşlardır. Kompozitlerin 18:82 takviye-matris ağırlık yüzdelerine sahip olduklarını belirtmişlerdir. Hazırlanan kompozitlerin çekme mukavemeti, eğilme mukavemeti, darbe mukavemeti ve sertlik gibi mekanik özelliklerini belirlemek için test edildiğini ifade etmişlerdir. Bu doğrultuda jüt takviyeli epoksi kompozitin, jüt takviyeli polyester kompozitten daha iyi mekanik özellik sergilediğini gözlemlemişlerdir.

Karabulut ve Aktaş (2014), dokuma jüt/polyester kompozitlerin sodyum hidroksit (NaOH) ile yüzey modifikasyonu sonrası mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Öncelikle dokuma jüt kumaşlarını %2 oranındaki NaOH çözeltisinde 20 saat bekletmişlerdir. Daha sonra üç gün boyunca oda sıcaklığında kurumaya bırakılan dokuma jüt kumaşlarını %5, %10 ve %15 oranlarında hazırlanmış NaOH çözeltisinde 4'er saat beklettikten sonra nemin tamamen elimine edilmesi için etüvde 70°C'de 30 dakika bekleterek yüzey modifikasyon işlemini tamamlamışlardır. Dokuma jüt/polyester tabakalı kompozitleri ısı ve zaman kontrollü hidrolik pres kullanarak el yatırma yöntemi ile 105°C ve 8 MPa basınç altında üretmişlerdir. ASTM standartlarına göre hazırlanan deney numunelerinin mekanik testlerini 50 kN kapasiteli UTEST çekme-basma cihazında 1 mm/dak hızda gerçekleştirmişlerdir. NaOH miktarı arttıkça dokuma jüt kumaşların yapışma kabiliyetinin arttığını ve dokuma tipi jüt/polyester tabakalı kompozitlerin mekanik özelliklerinin iyileştiğini belirtmişlerdir.

Bodur (2016), pamuk lifi takviyeli kompozitlerde, lif/matris arayüzey iyileştirmesinin kompozitlerin mekanik ve fiziksel özellikler üzerine etkilerini araştırmıştır. Doğal lif takviyeli kompozitlerde en önemli sorunun nem emme özelliğinin olduğunu ve bu durumun mekanik ve fiziksel özellikleri olumsuz etkilediğini belirtmiştir. Çeşitli kimyasal iyileştirme işlemleri ile lif ve matris arayüzeyin iyileştirilmesi sonucu bu sorunların azaldığını ve mekanik performansın %70-80'lere kadar arttığını ifade etmiştir.

Çavdar ve Boran (2016), doğal liflerin otomotiv sanayi açısından uygunluğu ve uygulama alanlarını irdelemişlerdir. Doğal lif takviyeli kompozitlerde, doğal liften

ve/veya polimer matrisinin yapısından kaynaklı düşük termal direnç/yanma performansı gibi hala çözülmemiş problemlerin minimize edilmesi gerektiğini ve bunda polimer matrisi içerisine ilave edilecek katkı maddeleri ile mümkün olacağını belirtmişlerdir. Ayrıca doğal fiber takviyeli kompozitlerin otomotiv üretiminde kullanılan çelik, alüminyum ve cam gibi malzemelere göre daha hafif olacağından otomobillerin taşınan ağırlığının azalmasına paralel yakıt tüketimini ve CO₂ emisyonunu azaltacağını vurgulamışlardır. Böylece çevreye verilen zararın azaltılacağını, otomobil üretim maliyetinin düşürüleceğini ve enerji konusunda ülkemizin dışa bağımlılığının azaltılacağını öngörmüşlerdir.

Özes ve Taşkın (2016), vakum infüzyon yöntemi ile jüt kumaş ve yün keçe takviyeli üretilen iki kompozitin 5J, 10J ve 15J enerji seviyesindeki darbe davranışlarını araştırmışlardır. Yüzey yapışma özelliklerinin artırılması için jüt kumaşların %10 NaOH çözeltisinde 4 saat bekletildiğini ve daha sonra oda sıcaklığında kurumaya bırakıldığını, yün keçenin ise hiçbir işleme tabi tutulmadığını ifade etmişlerdir. Kompozitlerin darbe dayanımlarını hem kuvvet-çökme grafiklerini hem de darbeli numune görüntülerini karşılaştırarak değerlendirmişlerdir. Aynı darbe yükü altında yün keçe takviyeli kompozitte hasarın daha az olduğunu gözlemlemişlerdir.

Kumar ve Srivastava (2017), el yatırma yöntemi ile ürettikleri jüt fiber takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerini içeren bir çalışma yapmışlardır. Epoksi matris malzemesine jüt fiber ilavesinin çekme ve basma dayanımını arttırdığını, ancak darbe dayanımında gözle görülür bir değişiklik sergilemediğini gözlemlemişlerdir. Bu tür kompozitlerin inşaat amaçlı, bölme levhaları, duvar, döşeme, pencere ve kapı kasaları, çatı kiremitleri, mobil veya prefabrik yapılar için faydalı olabileceğini ifade etmişlerdir.

Raghavendra ve diğ. (2017), matris malzemesi olarak epoksi reçine ve takviye elemanı olarak jüt fiber kullanarak el yatırma yöntemi ile 1 tabaka, 2 tabaka ve 3 tabakadan oluşan jüt fiber takviyeli kompozitler üretmişlerdir. Ürettikleri kompozitlerin tuzlu suya, maden suyuna ve sıfırın altındaki sıcaklık koşullarına maruz kaldığında nem emme özelliklerini ve ayrıca nemin çekme ve eğilme dayanımına etkisini incelemişlerdir. Jüt fiber takviyesinin epoksi matris malzemesinin çekme ve eğilme dayanımını arttırdığını, artan jüt fiber tabaka sayısı ile mekanik özelliklerin iyileştiğini gözlemlemişlerdir. 3 tabakalı jüt fiber takviyeli kompozitin maksimum nem emilimine sahip olduğunu, nem emiliminin en fazla tuzlu suda gerçekleştiğini ve emilim

doygunluk oranının 8 günlük bir süre sonunda tamamlandığını belirtmişlerdir. Ayrıca kompozitteki nem emilimi arttıkça mekanik özelliklerin azaldığını ifade etmişlerdir.

Sinha ve diğ. (2017), jüt, abaka, hindistancevizi, kenaf, sisal ve bambu lifi takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerini içeren derleme bir çalışma yapmışlardır. Belirli bir uygulama için herhangi bir doğal fiber kompozit seçmeden önce onların çekme, eğilme ve darbe dayanımları gibi mekanik özelliklerinin bilinmesi gerektiğini ve bu doğrultuda uygunluğunun kararlaştırılması gerektiğini vurgulamışlardır. Ayrıca güçlü doğal fiber kompozitlerin üretimi için sadece sert matris ve sert takviye gerekli olmadığını, aynı zamanda doğal fiberin matris ile uyumluluğunun önemli bir rol oynadığı ifade etmişlerdir.

Hamamcı ve diğ. (2018), yeşil kompozit malzeme üretiminde kullanılan polimer yapıların araştırılmasını ve gelecek için neler yapılabileceğinin belirlenmesini içeren derleme bir çalışma yapmışlardır. Bu bağlamda, yeşil üretimin ve çevre sorunlarını engellemenin önemli olduğu günümüzde, mühendislik çalışmaları ve malzeme üretimi açısından önemli olan polimer tiplerini belirlemişler ve gelecekte üretililecek kompozit materyallerde bağlayıcısı olarak biyopolimerlerin kullanımının çevre açısından önemini ortaya koymuşlardır. Böylece, hem bir ülkenin gelişimi, yenileşmesi ve ilerlemesi sağlanabilirken hem de doğanın ürünlerinin kullanıldığı ve doğaya tekrar kazanım sağlandığı için çevre dengesinin bozulmasının önüne geçilmiş olunacağını ifade etmişlerdir.

Karaduman (2018), jüt lifi takviyeli ve mantar esaslı sandviç kompozitlerde, alkali işlemin sandviç kompozitin viskoelastik özellikleri üzerine etkilerini incelemiştir. Alkali işleme birlikte kompozitlerin depolama modülü, kayıp modülü ve sönümleme parametresi değerlerinde artış meydana geldiğini, geçiş sıcaklığı değerlerinin daha yüksek seviyede olduğunu tespit etmiştir. Bunu alkali işleme birlikte lif/matris yapışmasındaki gelişmeye bağlamıştır. Ayrıca Jüt/Polipropilen (PP) takviyeli, mantar esaslı sandviç kompozitlerin hafif ve sağlam yapılar olarak başta otomotiv ve inşaat olmak üzere pek çok endüstri dalında kullanım potansiyeli taşıdığını ifade etmiştir.

Panigrahi ve diğ. (2018), jüt epoksi kompozitin darbe özelliklerine istiridye kabuğu tozunun etkisini incelemişlerdir. Bu doğrultuda, kompozit malzeme içerisindeki jüt fiber ağırlık oranını ağırlıkça %15'te sabit tutarak istiridye kabuğu tozunu ağırlıkça %0, %5 ve %10 oranlarında değiştirmişlerdir. El yatırma yöntemi ile ürettikleri

kompozitlerin darbe dayanımını İzod darbe test cihazı kullanarak belirlemişlerdir. Jüt fiber takviyeli kompozitlere, istiridye kabuğu tozu eklenmesinin kompozitin barkod sertliğini arttırsa da darbe dayanımını azalttığını gözlemlemişlerdir.

Selli ve diğ. (2018), kompozit malzemelerde takviye malzemesi olarak kullanılabilecek yün, tiftik, kaşmir ve deve liflerinin alkali ve hidrojen peroksit ile modifikasyonunu yapmışlar ve bu modifikasyon işlemlerinin liflere olan etkisini analiz etmişlerdir. Lifleri alkali modifikasyonunda; 0,1M NaOH'ın sulu çözeltisinde 50 °C sıcaklıkta 4 saat, hidrojen peroksit modifikasyonunda ise %0,2 sodyum karbonat ilaveli %5'lik H₂O₂'nin sulu çözeltisinde 50 °C sıcaklıkta 1 saat modifiye etmişlerdir. Modifiye edilen lifleri saf suda yıkayıp duruladıktan sonra etüvde kurumaya bırakmışlardır. Yüzey işlemi görmemiş ve modifiye edilmiş liflerin kimyasal yapılarını fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), içyapılarını X-ışını difraktometresi (XRD) ve morfolojik özelliklerini ise taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelemişlerdir. Modifikasyon işlemlerinin liflerin fonksiyonel gruplarında özellikle amid ve sülfür içeren grupları gösteren absorpsiyon piklerinin şiddetlerinde değişim meydana getirdiğini tespit etmişlerdir. Hidrojen peroksit muamelesi sonrası disülfür bağlarının okside olduğunu gösteren yeni piklerin meydana geldiğini belirtmişlerdir. Modifikasyon işlemleri sonrası lifler benzer difraksiyon eğrileri vermesine rağmen, kristal yüzeylerini gösteren piklerin şiddetlerinin değiştiğini gözlemlemişlerdir. Alkali ve hidrojen peroksit işlemleri sonrası lif yüzeyinden safsızlıkların kısmen uzaklaştığını, pulcuk tabakasının da modifikasyondan etkilendiğini ifade etmişlerdir. Modifikasyon işlemleri sonrası lifin kütikül tabakasında meydana gelen değişim ile liflerin hidrofilliğinin artış gösterdiğini belirtmişlerdir.

Sinha ve diğ. (2018), abaka fiber takviyeli polimer matrisli kompozitlerin eğilme mukavemeti üzerine alkali işlemin ve tabaka sayısının etkilerini incelemişlerdir. Abaka fiber takviyeli kompozitleri üretmeden önce matris ve fiber arasındaki arayüzey yapışma özelliklerini geliştirmek için abaka liflerini ağırlıkça %5 NaOH alkali çözeltide kimyasal işleme tabi tutmuşlardır. Tek ve çift katmanlı abaka fiber takviyeli kompozitleri el yatırma yöntemi ile üretmişlerdir ve eğilme dayanımlarını 3 nokta eğme testi ile belirlemişlerdir. Abaka liflerinin alkali işleme kimyasal muamelesinin ve kompozitteki tabaka sayısının artmasının abaka/epoksi kompozitlerin eğilme mukavemetini iyileştirdiğini gözlemlemişlerdir.

Ayan (2019), vakum infüzyon yöntemi ile cam elyaf, karbon elyaf, fonksiyonelleştirilmiş ve fonksiyonelleştirilmemiş yarı mamul pamuk elyaf ve %100 pamuk kumaş takviyeli kompozit plakalar üretmiştir. Ürettikleri kompozitlerin mekanik özelliklerini karşılaştırmıştır. Aynı ağırlıkta elyaf katkısına sahip kompozit malzemelerde maksimum gerilme değerlerini büyükten küçüğe doğru karbon elyaf, cam elyaf, fonksiyonelleştirilmiş %100 pamuk kumaş, fonksiyonelleştirilmemiş %100 pamuk kumaş, fonksiyonelleştirilmemiş yarı mamul pamuk elyaf ve fonksiyonelleştirilmiş yarı mamul pamuk elyaf olarak tespit edildiğini belirtmiştir. Yarı mamul pamuk elyaf ile %100 pamuk kumaştan üretilen kompozitlerin çekme dayanımları arasında birbirine yakın değerler gözlemiştir. Ayrıca %100 pamuk kumaştan elde edilen numunelerin diğer numunelere nazaran daha kırılğan bir yapıda olduğunu ifade etmiştir. Deneylerde kullandıkları DFTP kompozitlerin cam elyaf takviyeli kompozite nazaran 3,8 kat daha düşük dayanıma sahip olmasına rağmen tekstil artığı olarak değerlendirildiğinde daha düşük gerilme dayanımı gereken uygulamalarda daha az maliyetli ve doğal yaşama daha az zarar veren bir malzeme üretilmiş olacağını belirtmiştir.

Bahçe ve Temiz (2019), karbon elyaf arasına farklı oranlarda kayısı çekirdeği kabuğu tozu ilave ederek vakum infüzyon yöntemiyle farklı kürleme sıcaklıklarında tabakalı kompozitler üretmişlerdir. Ürettikleri kompozitlerin çekme deneylerini gerçekleştirerek mukayesesini yapmışlardır. Kayısı çekirdeği kabuğu tozunun organik bir madde olması nedeniyle, karbon fiber tabakalı kompozitlere kütsel olarak uygulama yüzdesi arttıkça, dayanım kaybına sebebiyet verdiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca kürleme sıcaklığının çekme yükleri altındaki mekanik özelliklere etki ettiğini gözlemlemişlerdir. Aynı sürede kürleme işlemi uygulanmasına rağmen üretilen toz katkısız ve toz katkılı numunelerde farklı dayanım sonuçlarının elde edilmesini, kürleme prosesi süresinin yetersiz olmasına bağlamışlardır.

Çelik ve diğ. (2019), $0^{\circ}/90^{\circ}$, $\pm 45^{\circ}$ ve $30^{\circ}/-60^{\circ}$ oryantasyon açlarına sahip jüt fiber takviyeli polimer kompozitleri vakum infüzyon yöntemi ile üretmişler ve ürettikleri kompozitlerin çekme dayanımını araştırmışlardır. Ayrıca bu kompozitlerin talaşlı işlenebilirliğini incelemişlerdir. $0^{\circ}/90^{\circ}$ oryantasyon açısına sahip kompozitlerin en yüksek çekme dayanımı ve uzamaya, $\pm 45^{\circ}$ oryantasyon açısına sahip kompozitlerin en düşük çekme dayanımı ve uzamaya sahip olduklarını gözlemlemişlerdir. $0^{\circ}/90^{\circ}$ oryantasyon açısına sahip kompozitin çekme dayanımının diğer oryantasyon açısına

sahip kompozitlerden yüksek çıkmasını, yükleme doğrultusundaki fiberlerin varlığına yorumlamışlardır. Ayrıca bu kompozitlerin işlenmesinde deformasyon hasarının dikkat edilmesi gereken önemli bir husus olduğunu ve bunu minimize etmek için uygun kesme parametrelerinde kompozitlerin işlenmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

İlhan ve Feyzullahoğlu (2019), sisal, jüt, kenaf gibi farklı doğal fiber takviyesi ve cam kürecik, grafit, alümina gibi farklı dolgu maddesi kullanımının CFTP kompozit malzemelerin özelliklerine etkisini içeren derleme bir çalışma yapmışlardır. CFTP kompozitlerde kullanılan dolgu maddelerinin ve doğal fiberlerin malzeme özelliklerini iyileştirici etki yapabildiklerini ve maliyeti düşürebildiklerini ifade etmişlerdir. Ayrıca tabakalı yapılarda tabaka sırasının, elyaf çeşidinin ve elyaf oryantasyonunun malzeme özelliklerini etkilediğini, kompozit malzemelerde kimyasal bileşimin önemli olduğu optimum oranlarda uygun dolgu malzemesi kullanımı ile maksimum performansın elde edilebileceğini belirtmişlerdir.

Kartal ve diğ. (2019), bambu ve cam elyaflarını kullanarak dört farklı tip kompozit üretmişlerdir. Bunlar, lif reçine ağırlık oranı %12 olan bambu elyaf takviyeli, cam elyaf takviyeli, bambu/cam elyaf takviyeli kompozitler ile lif reçine ağırlık oranı %24 olan bambu/cam elyaf takviyeli kompozitlerdir. Kompozitlerin çekme, 3 nokta eğme, darbe ve sertlik testlerini gerçekleştirerek elde ettikleri değerleri birbirleri ile ve matris malzemesi olarak kullandıkları Bisphenal-A epoksi esaslı vinilester malzeme ile karşılaştırmışlardır. Matris malzemesine ilave edilen elyaf takviyelerinin çekme, eğilme, darbe ve sertlik özelliklerini iyileştirdiğini, lif reçine ağırlık oranının artmasıyla özelliklerin daha iyi elde edildiğini ve en iyi değerlerin cam elyaf takviyeli kompozitten elde edildiğini gözlemlemişlerdir.

Liu ve diğ. (2019), abaka lif içeriğinin abaka fiber takviyeli sürtünme kompozitlerinin fiziksel, mekanik ve tribolojik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Sürtünme kompozitlerin, sürtünme test makinesi kullanılarak sıkıştırma kalıplayıcı ile üretildiğini ifade etmişlerdir. Deney sonuçlarını göz önüne aldıklarında abaka liflerinin yüzey işleminin mekanik özelliklerini ve abaka lifi ile kompozit matrisin ara yüzey bağlanma mukavemetini iyileştirebileceğini ifade etmişlerdir. Ayrıca kompozitteki abaka lif içeriğinin artmasıyla kompozitlerin yoğunluğunun azaldığını belirtmişlerdir.

Öndürücü ve Muzoğlu (2019), deniz suyunda bekletilen farklı istifleme dizilimine sahip doğal lif takviyeli cam elyaf kompozit numunelerin kritik burkulma

yüklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Kompozit numunelerin deniz suyunda ve oda koşullarında 2 ay (60 gün) boyunca bekletildikten sonra burkulma deneyine tabi tutulduklarını ifade etmişlerdir. Deneyler sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda, doğal lif takviyeli kompozit numunelerin kritik burkulma yüklerinin belirlendiğini ifade etmişlerdir. Yapılan deneysel çalışma sonucunda, deniz suyunun doğal kompozitlerin burkulma dayanımını olumsuz yönde etkilediğini, antisimetrik dizilimli numunelerde meydana gelen kritik burkulma yükünün, simetrik dizilime sahip numunelere göre daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Kompozit malzemenin deniz suyunda bekletilmesi sonucu malzemenin su emdiğini ve emilen su neticesinde malzemede şişme ve kalıcı şekil değiştirmeler oluştuğunu ifade etmişlerdir. Fiber-matris arasına yerleşen tuzlu suyun korozyon etkisi nedeniyle matriste mikro bozulmalara ve fiber/matris arayüzeyinde zayıflamalar oluştuğuna kanaat getirmişlerdir. Bu nedenle, kompozit malzeme üretimi yapılırken kompoziti oluşturan matris ve fiber seçimlerinin malzemenin kullanılacağı ortam koşuluna uygun olacak şekilde yapılmasını önermişlerdir.

Sarıkaya (2019), reçine transfer kalıplama yöntemiyle ürettiği palmye, okaliptüs ve kayın ağacı doğal lif takviyeli polimer kompozitlerin çekme, basma ve eğilme mukavemetlerini ve darbe davranışlarını incelemiştir. Kayın/epoksi kompozitinin mekanik özelliklerinin bağıl olarak düşük olduğunu, okaliptüs/epoksi ve palmye/epoksi kompozitlerinin birbirlerine yakın özellik sergilediğini, okaliptüs fiber takviyeli epoksi bazlı kompozit malzemenin kırılma enerjisi haricinde bütün özelliklerde en iyi performansı gösterdiğini, sadece kırılma enerjisi özelliği açısından palmye fiberi takviyeli epoksi kompozitten %5 daha düşük bir dayanım gösterdiğini ifade etmiştir. Genel olarak, her üç doğal fiber takviyeli kompozitin de umut vadeden sonuçlar sergilediğini ve bazı durumlarda mühendislik malzemesi olarak kullanılabileceklerini belirtmiştir.

Wang ve diğ. (2019), kimyasal modifikasyon ve fiber yüklemesinin uzun tek yönlü jüt fiber takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Kimyasal modifikasyon işlemine tabi tutulan liflerle üretilen kompozitlerde, fiber/matris arayüzey yapışmasının daha iyi olduğunu ve bu nedenle daha iyi mekanik özelliklerin elde edildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca artan fiber oranının mekanik özellikler üzerinde olumlu etki oluşturduğunu ifade etmişlerdir.

Chin ve diğ. (2020), bambu fiber takviyeli kompozitin termal ve mekanik özelliklerini içeren bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bambu liflerinin sodyum hidroksit

(NaOH) ile kimyasal işlemden geçirildiğini ve ardından fiziksel öğütme yöntemiyle hazırlandığını vurgulamışlardır. Bambu lifinin ve polimer kompozitinin termal özelliklerini termogravimetrik analiz ve diferansiyel tarama kalorimetrisi kullanarak analiz etmişlerdir. Ayrıca üç farklı termoset matrise (epoksi, polyester, vinil ester) gömülü %0 ile %40 arasında değişen fiber hacim fraksiyonlarına sahip bambu fiber takviyeli kompozitlerin çekme ve eğilme testlerini gerçekleştirmişlerdir. 48 saatlik ıslatma süresi ile %10'luk NaOH konsantrasyonunun, en yüksek nihai çekme ve modül mukavemetine sahip bir bambu lifi ürettiğini vurgulamışlardır. Tüm bambu fiber takviyeli kompozitlerde, çekme ve eğilme özelliklerinin, lif hacim fraksiyonları ile doğru orantılı olduğunu belirtmişlerdir. %40 bambu fiber hacim oranına sahip epoksi matrisli kompozitin, polyester ve vinil ester matrisli kompozitlere kıyasla en yüksek çekme ve eğilme mukavemeti sergilediğini gözlemlemişlerdir.

Feng ve diğ. (2020), kenaf ve ananas yaprağı lifi takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri üzerinde değişen konsantrasyonlarda alkali ve silan işlemlerinin etkilerini incelemişlerdir. Sıcak presleme yöntemi ile ürettikleri kenaf ve ananas yaprağı lifi takviyeli kompozitlerde, kimyasal işlemlerin kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini geliştirdiğini vurgulamışlardır. Sırasıyla %5 NaOH ve %3 silan işlemlerinin kenaf ve ananas yaprağı lifi takviyeli kompozitlere optimum mekanik özellik sağladığını belirtmişlerdir. Silanla muamele edilmiş kompozitlerin NaOH ile muamele edilmiş kompozitlere kıyasla daha yüksek mekanik özellikler sergilediğini gözlemlemişlerdir. Kenaf fiber takviyeli kompozitlerle karşılaştırıldığında ananas yaprağı lifi ile güçlendirilmiş kompozitlerin daha üstün mekanik özelliklere sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Gudayu ve diğ. (2020), sisal elyaf modifikasyon tekniklerinin elyafın nem emme, termal ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu doğrultuda dört farklı sisal lif numunesi hazırlamışlardır. Bunlar, işlem görmemiş, alkali işlem görmüş, asetillenmiş ve birleştirilmiş alkali işlem görmüş/asetillenmiş numuneler olduğunu belirtmişlerdir. Asetillenmiş ve alkali ile muamele edilmiş/asetillenmiş numunelerin sisal lifinin nem absorpsiyonunda bir azalma meydana getirdiğini, alkali işleminin ise yapıdaki hemiselüloz ve lignin miktarını uzaklaştırdığı için emiciliği arttırdığını ifade etmişlerdir. Alkali işlem görmüş ve alkali işlem görmüş/asetillenmiş numunelerin termal özelliklerinde gelişme gözlemlemişlerdir ve alkali işleminin termal kararlılığı geliştirdiğini vurgulamışlardır. Ayrıca asetillenmiş numunelerin gerilme

mukavemetinde önemli bir azalma olduğunu, ancak alkali işlem görmüş numunelerin çekme testlerinden elde edilen sonuçların tüm modifikasyon işlemine tabi tutulan numuneler arasında gerilme mukavemetinde önemsiz bir azalma ve modülde iyileşme gösterdiğini dile getirmişlerdir.

Hu ve diğ. (2020) yaptıkları çalışmada, sisal liflerini ultrasonik bir emdirme yöntemini kullanarak alkali/polivinil alkol kaplama işlemlerine tabi tutmuşlar ve çift vidalı ekstrüzyon yöntemi ile sisal/yüksek yoğunluklu polietilen kompozitleri üretmişlerdir. Sisal lifinin yüzey morfolojisini ve sisal/yüksek yoğunluklu polietilen kompozitlerin arayüzey morfolojisini araştırmışlardır. Ayrıca sisal/yüksek yoğunluklu polietilen kompozitlerin mekanik özellikleri ve su absorpsiyonunu da incelemişlerdir. Alkali/polivinil alkol kaplama işleminin sisal lifi ile yüksek yoğunluklu polietilen arasındaki arayüzey yapışmasını etkili bir şekilde iyileştirebileceğini, kompozitin mekanik özelliklerini geliştirebileceğini ve su emilimini azaltabileceğini gözlemlemişlerdir. Bununla birlikte alkali/polivinil alkol kaplama işleminin geleneksel modifikasyon yöntemleriyle karşılaştırıldığında oldukça çevre dostu, uygun maliyetli bir elyaf modifikasyon yöntemi olduğunu vurgulamışlardır.

Kamaraj ve diğ. (2020), keten/epoksi kompozitlerin çeşitli özellikleri üzerine grafenin etkisini incelemişlerdir. Vakum infüzyon yöntemi ile ürettikleri kompozitlerde, grafenin alev geciktirici olarak kendini gösterdiğini ve grafen içeriğinin artmasıyla yanıcılığın azaldığını tespit etmişlerdir. Kompozitlerdeki grafen oranının artmasıyla su emme oranının da azaldığını ancak ağırlıkça %0,1 ile %0,2 oranında grafen içeren kompozitlerde bu oranın birbirine oldukça yakın olduğunu ifade etmişlerdir. En yüksek çekme ve eğilme mukavemetini ağırlıkça %0,1 oranında grafen içeren kompozitlerden elde etmişlerdir ve bu grafen oranına sahip kompozitlerin keten/epoksi kompozitin çekme ve eğilme mukavemetini sırasıyla %61 ve %71 oranında arttırdığını belirtmişlerdir. Ağırlıkça %0,1 oranından daha yüksek oranda grafen içeren kompozitlerin çekme ve eğilme mukavemetlerinin azaldığını gözlemlemişlerdir.

Kaya ve Oner (2020), kenevirle ilgili güncel çalışmaları araştırmışlar ve öne çıkan yanlarını değerlendirilerek çevresel ve ekonomik anlamda ülkemiz ve dünya geleceği açısından katkılarından bahsetmişlerdir. Kenevir liflerinin, pamuk ve benzeri hammaddelerle karıştırıldığında daha dayanıklı iplikler üretilmesine imkân sağladığını ve birim alandaki verim eldesinin yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu sebeple kenevir lifi, sentetik lifler, cam lifleri ve birçok life karşı rakip konumda olduğunu

belirtmişlerdir. Hatta kenevir lifinin kullanım alanlarında cam lifinden daha hafif olması, özellikle ısı ve ses izolasyonunda kenevire öncelik kazandırdığını ifade etmişlerdir. Bu sebeple kenevir lif ve iplik üretiminde sentetikler gibi daha basit ve seri üretim metotları geliştirilerek kenevirin daha yaygın ve kullanılabilir hale getirilmesinin gerekliliğini vurgulamışlardır.

Keskin ve Demirkale (2020), doğal bir bitki lifi olan su kabağı liflerini kullanarak ürettikleri kompozitlerin insan sağlığı için zararlı olmayan alternatif bir ses yutma özellikleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bu kapsamda, farklı oranlardaki su kabağı liflerini epoksi matris malzemeye ilave ederek kompozitler üretmişler ve empedans tüpü yöntemi ile numunelerin ses yutma katsayılarını belirlemişlerdir. Sonuç olarak, malzeme kalınlığı ve lif oranının ses yutma performansı üzerinde etkili olduğunu gözlemlemişlerdir.

Khan ve diğ. (2020), kenaf/epoksi kompozitlerin performansı üzerine ağırlıkça %0,75 selüloz nanofiberlerin ve nanokillerin (montmorillonit ve organik kil) etkisini araştırmaya odaklanmışlardır. Kompozitlerin mekanik (çekme ve eğilme) ve termal özelliklerini morfoloji, termal kararlılık, ağırlık kaybı ve dinamik mekanik özellikleri açısından analiz etmişlerdir. Organik nanokil ve selüloz nanofiber bazlı kenaf/epoksi kompozitlerin inşaat uygulamaları için verimli bir alternatif olabileceğini vurgulamışlardır.

Lokesh ve diğ. (2020), NaOH çözeltide işlem görmüş ve işlem görmemiş farklı uzunluk ve içerikteki bambu fiber takviyeli epoksi matrisli kompozitleri el yatırma yöntemi ile üretmişler ve ürettikleri kompozitlerin çekme, eğilme ve darbe dayanımlarını araştırmışlardır. NaOH çözeltisiyle işlem görmüş fiberler kullanarak üretilen kompozitlerin çekme, eğilme ve darbe mukavemetlerinin daha iyi elde edildiğini ve kompozit malzemedeki lif içeriğinin artmasıyla çekme, eğilme ve darbe dayanımlarının arttığını gözlemlemişlerdir.

Mbeche ve Omara (2020), işlem görmemiş ve alkali işlem görmüş sisal ve su kamışı fiber takviyeli polyester matrisli hibrit kompozitlerinin mekanik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Kompozitleri ağırlıkça %20'lik optimum hibrit elyaf ağırlık fraksiyonunda ve 75/25'lik sabit sisal/su kamışı fiber oranında el yatırma yöntemi ile üretmişlerdir. Kompozitlerin eğilme, çekme, basınç ve darbe dayanımları ile ısı iletkenliklerini ASTM ve ISO test yöntemlerine göre analiz etmişlerdir. Alkali

işlemin sisal/su kamışı fiber takviyeli hibrit kompozitlerin mekanik özelliklerini iyileştirdiğini, alkali işlemine bağlı olarak hibrit kompozitlerin termal iletkenliğinde önemsiz bir artış olduğunu, işlem görmemiş ve alkali işlem görmüş fiber karışımları ile elde edilen kompozitlerdeki ana kırılma modlarının, fiber çekmesi ve fiber kırılması şeklinde gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir.

Motaleb ve diğ. (2020), polyester ve epoksi matris malzemelerini kullanarak el yatırma yöntemi ile jüt/polyester ve jüt/epoksi kompozitler üretmişlerdir. Ürettikleri kompozitleri 100 ile 500 krad arasında beş farklı gama radyasyon dozuna maruz tutmuşlardır. Matris malzeme cinsinin ve gama radyasyon dozunun kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Gama radyasyon işleminin kompozitlerin çekme mukavemeti ve Young modülü özelliklerini iyileştirmeye, kopmadaki uzamayı azaltmasına neden olduğunu gözlemlemişlerdir. 300 krad gama radyasyonuna maruz kalan her iki matris malzemesine sahip kompozit mekanik özelliklerinin optimum olarak elde edildiğini vurgulamışlardır. Ayrıca gama radyasyonunun jüt/polyester kompoziti jüt/epoksi kompozitinden daha fazla etkilediğini ifade etmişlerdir.

Neves ve diğ. (2020), kenevir lifi ile güçlendirilmiş epoksi ve polyester matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Hacim oranları %10, %20 ve %30 olan sürekli ve hizalı kenevir liflerini çelik kalıplar içinde hem epoksi hem de polyester ile karıştırarak 0,5 MPa basınç altında kalıplamışlar ve oda sıcaklığında 24 saat kürleşmeye bırakmışlardır. Ürettikleri kompozitlerin eğilme ve çekme testlerinin ASTM standartlarına göre gerçekleştirildiğini ve bu doğrultuda mekanik özelliklerin elde edildiğini belirtmişlerdir. Kenevir lifi hacim oranı %30 olan kompozitlerde, epoksi matrisli kompozitlerin polyester matrisli kompozitlerden daha üstün mekanik özellikler ortaya koyduğunu gözlemlemişlerdir.

Radzuan ve diğ. (2020), ağırlıkça %40 kenaf fiber takviyeli termoplastik matrisli kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine yüksek çalışma sıcaklığı (30°, 60°, 90° ve 120°) ortamının etkisini araştırmışlardır. Bu doğrultuda uzun kenaf fiberlerini 0° (gerilim yükü yönü doğrultusu), 45° ve 90° oryantasyon açılarında hizalayarak sıcak pres kalıbına yerleştirmişler ve üzerine polipropilen tozu ilave etmişlerdir. Hazırladıkları malzemelere 190-210°C presleme sıcaklığı ve 5-10 MPa basınç uygulayarak kompozit haline getirmişlerdir. Kompozitlerin çalışma ortam sıcaklığı arttıkça mekanik özelliklerinin azaldığını, 0° oryantasyon açısında hizalanmış kenaf

fiber takviyeli kompozitlerin 120°C sıcaklıkta ~90 MPa gerilme mukavemeti ile mükemmel mekanik özellikler sergilediğini gözlemlemişlerdir.

Rahman ve diğ. (2020), lif oryantasyon açısı ve hacim fraksiyonunun (%20 ve %30) jüt fiber takviyeli polyester kompozitin mekanik ve termal özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. 4 mm kalınlığındaki kompozit levhaları, üç jüt elyaf yığını ve dört farklı oryantasyon açısı ($45^{\circ}/0^{\circ}/-45^{\circ}$, $-45^{\circ}/90^{\circ}/45^{\circ}$, $90^{\circ}/0^{\circ}/90^{\circ}$ ve $0^{\circ}/90^{\circ}/0^{\circ}$) kullanarak el yatırma yöntemiyle üretmişlerdir. Ürettikleri kompozitlerin çekme, eğilme ve darbe dayanımlarını, sertliğini ve ısı iletkenliğini incelemişlerdir. Jüt fiber takviyeli polyester kompozitin mekanik mukavemeti, yüzey sertliği ve ısı iletkenliğinin lif hacim oranı ile arttığını ve oryantasyon açısına bağlı olarak değiştiğini gözlemişlerdir. %30 elyaf hacim fraksiyonuna sahip $0^{\circ}/90^{\circ}/0^{\circ}$ kompozite ait mekanik özelliklerinin en yüksek bulunduğunu, bunun nedenini ise uygulanan gerilim yükü yönü boyunca iki jüt elyaf yığınının varlığından kaynaklandığını belirlemişlerdir.

Ranakoti ve Rakesh (2020), endüstriyel ipek atığı ve jüt fiber takviyeli polimer matrisli hibrit kompozitlerde, ağırlıkça ipek atığı oranının (%4, %6, %8, %10, %12 ve %14) hibrit kompozitin fizyo-mekanik özellikleri ve kayma aşınma karakterizasyonu üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Hibrit kompozitleri 2 MPa basınç altında sıkıştırma kalıplama tekniği ile üretmişlerdir. Jüt/epoksi kompozitine ipek atığı eklenmesinin mekanik özellikleri arttırdığını ve spesifik aşınma oranını azalttığını gözlemlemişlerdir. Çok kriterli karar analizi yapıldığında; ağırlıkça %12 oranında ipek atığı içeren jüt fiber takviyeli hibrit kompozitin optimum mekanik özellik verdiğini vurgulamışlardır.

Saadati ve diğ. (2020), tek yönlü keten fiber takviyeli epoksi kompozitlerin hasar mekanizmalarının deneysel olarak incelenmesi ve fiziksel/mechanik özelliklerinin değerlendirilmesini içeren bir çalışma yapmışlardır. Çalışmanın temel amacını, tanımlanmış bileşim ve temel konfigürasyona sahip tek yönlü keten fiber takviyeli epoksi kompozit için tutarlı bir malzeme özellikleri seti hazırlamak olduğunu ve bu malzeme özelliklerinin özellikle sonlu elemanlar yöntemi ile sayısal analizi için ön koşul olduğunu vurgulamışlardır. Tek yönlü keten fiber takviyeli epoksi kompozitlerin ortalama yoğunluk, özgül ısı kapasitesi ve termal yayılım gibi fiziksel özelliklerinin sırasıyla $1,28 \text{ g/cm}^3$; $0,6649 \text{ J/gK}$ ve $1.35 \text{ E-07 m}^2/\text{s}$ elde edildiğini, kompozitin (lif/enine yönlerde) çekme ve basmadaki elastik modülü, kesme modülü ve eğilme modülü ortalama değerlerinin ise sırasıyla 21,26/4,24 GPa (298,39/14,73 MPa);

24,12/4,44 GPa (126,05/72,02 MPa); 1,92/1,95 GPa (44,67/25,08 MPa) ve 24,77 GPa (236.19 MPa) olduğunu belirtmişlerdir.

Sánchez ve diğ. (2020), lif yüzey modifikasyonunun bambu lifleri ile güçlendirilmiş biyokompozitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini analiz etmişlerdir. Modifikasyon işlemlerinde mercerizasyon, ozon ve plazma tekniklerini kullanmışlardır. İşlemlerin liflerin yüzey modifikasyonu üzerindeki etkisini XRD, kızılötesi spektroskopi, atomik kuvvet mikroskobu ve SEM kullanılarak değerlendirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre modifikasyon işlemi görmüş lif panellerin hem boyutsal kararlılığının hem de mekanik özelliklerinin modifikasyon işlemi görmemiş panellerden daha iyi olduğunu ifade etmişlerdir.

Sinha ve diğ. (2020), her biri üç farklı seviyede olan abaka lifinin yüzde ağırlığı, kırmızı çamurun partikül boyutu ve kırmızı çamurun yüzde ağırlığı kombinasyonlarında el yatırma yöntemi ile polimer matrisli hibrit kompozitler üretmişlerdir. Ürettikleri kompozitlerin çekme, eğilme ve darbe dayanımlarını deneysel olarak araştırmışlar ve bulanık mantık ile modellemişlerdir. Düşük abaka lifi, yüksek kırmızı çamur ağırlığı ve düşük kırmızı çamur partiküllerine sahip hibrit kompozitlerin maksimum çekme ve eğilme dayanımına sahip olduğunu, yüksek abaka lifi, yüksek kırmızı çamur ağırlığı ve düşük kırmızı çamur partiküllerine sahip hibrit kompozitlerin ise maksimum darbe dayanımına sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Özellikle hibrit kompozitlerde kırmızı çamur ağırlık yüzdesinin düşük, kırmızı çamur partikül boyutunun yüksek olması mekanik özelliklerinin düşmesine sebebiyet verdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca bulanık mantık modelinin hibrit kompozitlerin mekanik özelliklerini maksimum %87 doğruluk oranıyla tahmin ettiğini vurgulamışlardır.

Sivakandhan ve diğ. (2020) yaptıkları çalışmada, kompozit içerisindeki epoksi ve sertleştirici oranını ağırlıkça %65 ve toplam fiber oranını ağırlıkça %35'te sabit tutarak jüt ve sisal fiber takviyeli kompozit ve hibrit kompozitler üretmişlerdir. Farklı jüt ve sisal fiber ağırlık oranlarında ürettikleri kompozitlerin eksenel çekme, eğilme ve darbe dayanımlarını incelemişlerdir. Jüt fiber takviyeli kompozitin en yüksek eksenel çekme ve eğilme gerilmesine, sisal takviyeli kompozitin ise en yüksek darbe dayanımına sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca farklı jüt ve sisal fiber takviyeli hibrit kompozitlere ait mekanik özelliklerin jüt fiber ve sisal fiber takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri arasında elde edildiğini belirtmişlerdir.

Şahin ve Sayer (2020), farklı endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılan poliolefin esaslı hibrit kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine doğal elyaf takviyesinin etkilerini araştırmışlardır. Bu kapsamda üretimin ilk aşamasında çift vidalı ekstrüderde farklı jüt oranlarına sahip jüt-PP kompozitler üretildiğini, ikinci aşamada ise 450 µm kalınlığında üretilen filmlerin, 1 mm kalınlığındaki HDPE (S 0464) levhaların arasına yerleştirilerek 8,163 bar basınç ve 190 °C sıcaklıkta preslendiğini ve hibrit poliolefin kompozit levhalarının üretildiğini belirtmişlerdir. %5 jüt takviyesinin hibrit kompozitin mekanik özelliklerini iyileştirdiğini ve elyaf ile polimer arasında etkin bir ara yüz oluştuğunu, ancak üretim yöntemlerine göre yön değiştiren elyafların ise mekanik özellikleri olumsuz etkilediğini vurgulamışlardır.

Venkatesan ve Bhaskar (2020), abaka ve sisal hibrit takviyeli epoksi matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerini belirlemişler, ayrıca ABAQUS programından elde ettikleri sonuçlarla kıyaslamışlardır. El yatırma yöntemiyle ürettikleri bu kompozitlerin üst ve alt tabakası sisal, orta tabakası abaka liflerinden meydana gelmektedir. Üç farklı oryantasyon açısında (0°, 45°, 90°) ürettikleri bu kompozitlerden en yüksek çekme mukavemeti ve yüzde uzamayı 90° oryantasyon açısına sahip numunelerden, en yüksek eğilme mukavemetini 45° ve 90° oryantasyon açısına sahip numunelerden ve en yüksek kesme mukavemetini ise 45° oryantasyon açısına sahip numunelerden elde etmişlerdir. Ayrıca en yüksek tabakalar arası kayma mukavemetini 0° oryantasyon açısına sahip numunede gözlemlemişlerdir. Elde edilen sonuçların ABAQUS programından elde edilen simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmasında hata oranının %10'dan daha az olduğunu tespit etmişlerdir.

Yalçın (2020), fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarını ve küllerini karakterize ederek bunları farklı boyut ve oranda polyester matris malzemesine ilave etmiştir. Ürettikleri kompozitlerin mekanik özelliklerini araştırmıştır. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarının yüzey fonksiyonel yapılarında gözlenen piklerin ağırlıklı olarak selüloz, hemiselüloz ve lignin yapılarından kaynaklı olduğunu belirtmiştir. Kayısı çekirdeği kabuğu tozundaki selüloz, hemiselüloz ve lignin miktarlarının fındık ve fıstık kabuğu tozlarından daha yüksek olduğunu gözlemlemiştir. Fındık kabuğu tozunun rutubet miktarının en yüksek elde edildiğini, bunu sırasıyla fıstık kabuğu tozu ve kayısı çekirdeği kabuğu tozu takip ettiğini belirtmiştir. En yüksek kül miktarını, %8,57 ile kayısı çekirdeği kabuğu tozunda, en düşük ise %1,53 ile fındık kabuğu tozunda gözlemlemiştir. Fındık, fıstık ve kayısı

çekirdeği kabuğu tozlarında azot, karbon, hidrojen ve oksijen elementlerine ve Sn, Ca, K, Na, Mg, Fe, Ni, Mn, Cu, Zn ve Si gibi ağır metallere rastlandığını vurgulamıştır. Saf polyester malzemesinin yoğunluğunun fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozu ve külleriyle üretilen kompozitlerin yoğunluklarından düşük elde edildiğini, kompozit malzeme içerisindeki takviye oranı arttıkça, kompozitin yoğunluğunun arttığını belirtmiştir. Kompozit malzemelerde, en yüksek yoğunluğun %30 kayısı çekirdeği kabuğu külü takviyeli kompozitten elde edildiğini ifade etmiştir. Saf poliester malzemesinin (0,151 W/mK) ısı iletim katsayısının takviye elemanı ile arttığını belirtmiştir. Poliester malzemesine ilave edilen fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozları, matris malzemesinin 31,54 MPa olan çekme dayanımını olumsuz yönde etkilediğini, ancak matris malzemesine düşük oranlarda ilave edilen toz partiküllerin eğilme ve basma dayanımı üzerinde olumlu etki oluşturduğunu vurgulamıştır. Genel olarak 300-600 µm tane boyutundan elde edilen değerlerin 0-300 µm ve 600-850 µm tane boyutlarındakinden daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir. Kül takviyeli kompozitlerin tüm mekanik özelliklerinin saf poliesterinkinden oldukça kötü çıktığını ifade etmiştir.

Zainudin ve diğ. (2020), içerisinde ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranlarında tek yönlü ipek lifi içeren ve el yatırma yöntemi ile ürettikleri epoksi matrisli kompozitlerin mekanik ve su emme özelliklerini karakterize etmişlerdir. Ağırlıkça %30 ipek lifi yüküne sahip kompozitlerin en yüksek çekme, eğilme ve darbe dayanımına sahip olduğunu gözlemlemiştir. Bunun nedenini artan fiber yüklemesiyle birlikte dışarı çekilen fiberlerin ve matris çatlamlarının varlığının daha az olmasından ve bu durumun da fiber ve matris arasındaki arayüzey bağını geliştirmesinden kaynaklandığını vurgulamışlardır. Ayrıca epoksi matris malzemesine ipek lifinin eklenmesinin kompozitin su emme özelliğini arttırdığını ifade etmişlerdir.

Ahmad ve diğ. (2021), keten dokuma kumaşta çözgü ve atkı yönünde aynı anda hareket eden iplik sayısını değiştirerek dokuz farklı dokuma tipi elde etmişlerdir. Bu dokuma tiplerine bağlı olarak keten elyaf takviyeli epoksi kompozitlerin statik ve dinamik mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çekme mukavemeti ve modülünün, sırasıyla kumaşın yükleme yönünde dokunan eş zamanlı yük paylaşımli liflerin sayısından ve kıvrımından önemli ölçüde etkilendiğini gözlemlemiştir.

Darshan ve Suresha (2021), kompozitteki fiber takviye ağırlık oranını 0,5'te sabit tutmak koşuluyla 50:0, 25:25 ve 30:20 ipek ve bazalt fiber ağırlık oranlarında

vakum torbalama tekniği ile ürettikleri hibrit fiber takviyeli epoksi matrisli kompozitlerin fiziko-mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Deneysel sonuçlardan 25:25 ipek ve bazalt fiber ağırlık oranlara sahip hibrit fiber takviyeli epoksi matrisli kompozitlerin en iyi sertliğe ve mekanik özelliklere sahip olduğunu gözlemlemişlerdir.

Kandas ve Özdemir (2021), cam elyaf takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine çam ve meşe palamudu tozu takviyesinin etkisini incelemişlerdir. Çam ve meşe palamudu tozunu matris malzemesine ağırlıkça %0, %2,5 ve %5 oranlarında ilave ederek karışımları cam elyafa el yatırma yöntemi ile emdirmişlerdir. Kürleşmeye bırakarak ürettikleri kompozitlerin mekanik özelliklerini karşılaştırmışlardır. Cam elyaf takviyeli kompozitlerin çekme mukavemetinin %2,5 oranında toz takviyesi ile arttırdığını, ancak %5 oranında toz takviyesinde ise azaldığını gözlemlemişlerdir. Eğilme mukavemet değerlerinin meşe palamudu takviyesinde önemli oranda değişmezken çam kozalağı takviyesinde azaldığını ifade etmişlerdir. Ayrıca, kompozitlerin mekanik özelliklerini iyileştirmesi açısından meşe palamudu tozları kullanılmasının daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Kumar ve Hariharan (2021), kenevir ve jüt fiber takviyeli epoksi kompozitlerin çekme, eğilme ve basma dayanımlarını incelemişlerdir. Kenevir fiber takviyeli kompozitlerin jüt fiber takviyeli kompozitlere kıyasla daha iyi mekanik özellikler sergilediğini belirtmişlerdir. Ayrıca bu kompozitlerin belirli uygulamalar için sentetik cam fiber takviyeli kompozitlerin yerini almak için uygun bir alternatif olduğunu ifade etmişlerdir.

Siva ve diğ. (2021), doğal sisal ve muz bitkilerinden elde edilen lifleri, sandviç katmanlama tekniği ile kompozit haline getirdiklerini ifade etmişlerdir. Elde edilen sisal/muz/muz/sisal sandviç katmanlı hibrit kompozitin çekme, eğilme ve darbe dayanımı gibi mekanik özelliklerini analiz etmişlerdir. Bu doğrultuda en yüksek mekanik dayanıma sahip olan kompoziti belirlemek için sandviç katmanlı hibrit kompozitin mekanik özelliklerini sisal/epoksi ve muz/epoksi kompozitlerinin mekanik özellikleri ile karşılaştırmışlardır. Sisal/epoksi kompozitinin diğer tüm kompozit kombinasyonlarından daha yüksek mekanik özelliklere sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Sisal/epoksi kompozitin çekme, eğilme ve darbe dayanımlarının sırasıyla 24,5 MPa, 80,45 MPa ve 1,76 J olduğunu belirtmişlerdir.

Yogeshwaran ve diğ. (2021), el yatırma yöntemi ile ürettikleri jüt ve abaka fiber takviyeli epoksi hibrit kompozitlerde ön işlemin mekanik özellikler üzerindeki etkilerini inceleyen bir çalışma yapmışlardır. Bu doğrultuda, abaka ve jüt fiber takviye elemanlarını alkali işleme tabi tutmadan ve H_2SO_4 'te alkali işleme tabi tutarak kompozitler üretmişlerdir. Kompozitlerde matris malzemesi olarak epoksi, ilave takviye elamanı olarak lastik partikül kullanmışlardır. Ürettikleri kompozitlerde sadece jüt ve abaka fiber oranlarını değiştirmişlerdir. Alkali işlem görmüş fiberlerle üretilen hibrit kompozitlerin mekanik özelliklerinin alkali işlem görmemişlerden daha iyi elde edildiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca ağırlıkça fazla abaka içeren hibrit kompozitlerin mekanik özelliklerinin daha iyi olduğunu ifade etmişlerdir.

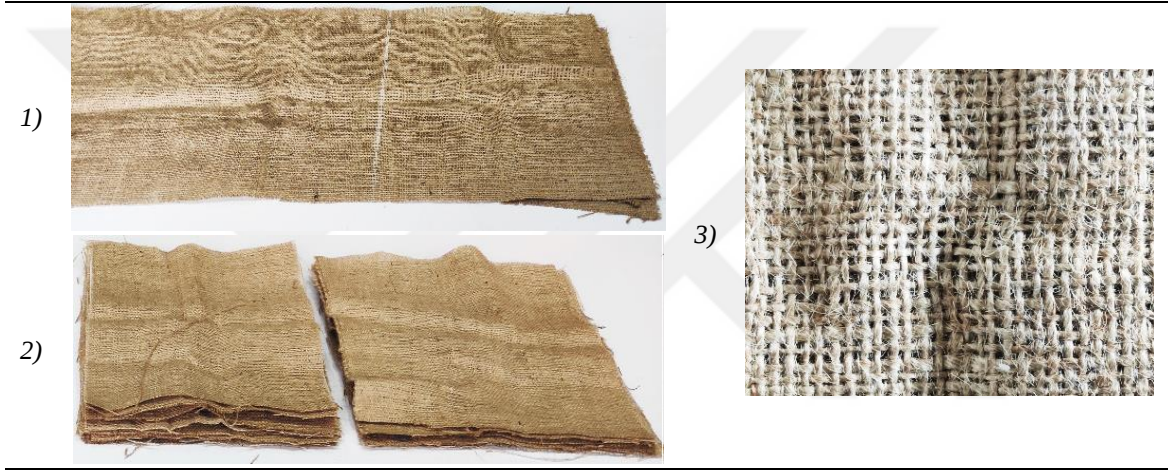


3. MATERYAL VE YÖNTEM

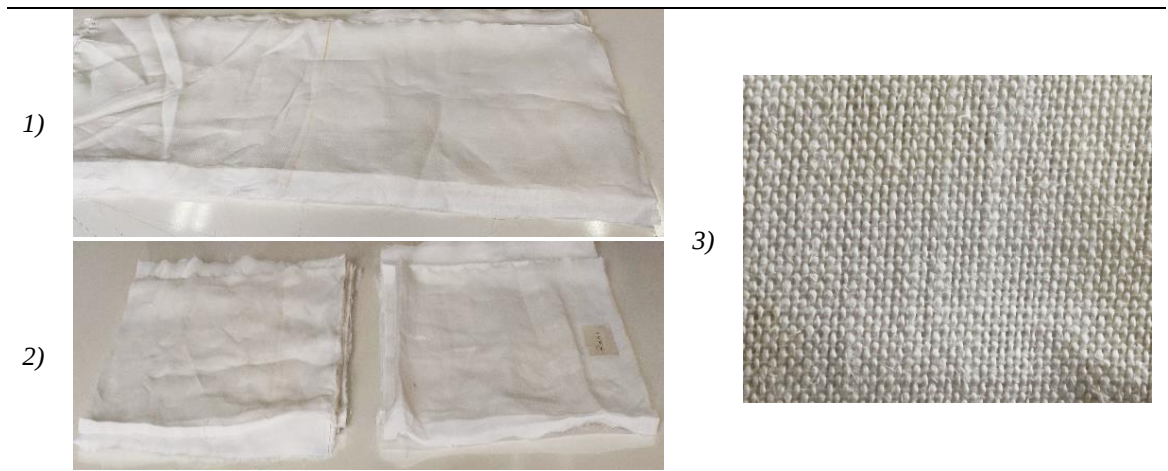
3.1. Doğal Fiber Takviyeli Kompozit Üretimi

Doğal fiber takviyeli kompozit ve hibrit kompozitlerin üretilmesi için takviye elemanı olarak bitkisel kökenli fiberlerden olan jüt, rami ve keten kumaş, matris malzemesi olarak ise Polipol 353 polyester reçine ticari olarak temin edilmiştir.

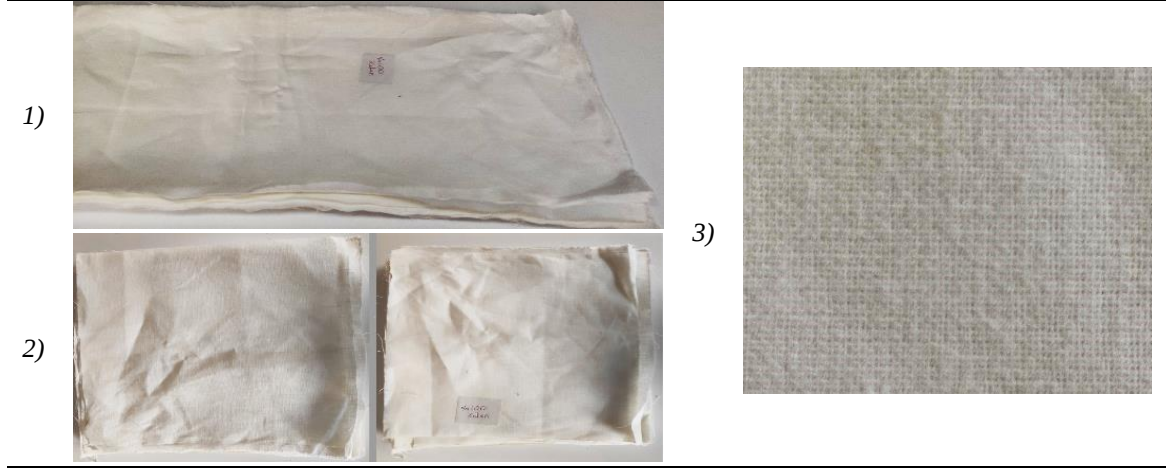
Öncelikle temin edilen doğal fiber kumaşların kompozit üretimine hazır hale getirilmesi için 300 mm × 300 mm boyutlarında kesim işlemi gerçekleştirilmiştir. Temin edilen ve 300 mm × 300 mm boyutlarında kesilen jüt, rami, keten fiber kumaşlarına ve plain dokuma tiplerine ait görüntüler Şekil 3.1–3.3’te verilmiştir.



Şekil 3.1. Jüt doğal fiber kumaşa ait görüntüler



Şekil 3.2. Rami doğal fiber kumaşa ait görüntüler



Şekil 3.3. Keten doğal fiber kumaşa ait görüntüler

- 1) 300 mm enine kesilmiş doğal fiber kumaşlar
 2) 300 mm × 300 mm boyutunda kesilmiş doğal fiber kumaşlar
 3) Doğal fiber kumaşlara ait makro görüntüler

Şekil 3.1–3.3’te verilen doğal fiber kumaşların dokuma tipleri benzerlik gösterse de dokuma yoğunlukları ve fiber kalınlıkları farklılık göstermektedir. Bu yüzden kesim boyutları bilinen doğal fiberler, hassasiyeti 0,001 g olan AND marka HF-300 model hassas terazide tartılarak alansal ağırlıkları hesaplanmıştır. Jüt kumaşın 270 g/m², keten kumaşın 180 g/m² ve rami kumaşın 126 g/m² alansal ağırlıklara sahip olduğu tespit edilmiştir.

Kompozit ve hibrit kompozitler üretilmeden önce Tablo 3.1’de bazı katalog bilgileri verilen Polipol 353 polyester reçine, darası alınmış pet bardaklara konularak hassasiyeti 0,001 g olan AND marka HF-300 model hassas terazide tartılmıştır.

Tablo 3.1. Polipol 353 polyester malzemenin bazı katalog bilgileri

Özellik	Değer	Birim	Test Metodu
Yoğunluk	1,121	g/cm ³	ISO 1675
Jel Süresi	9-12	dak	IT 004
Çekme Dayanımı	61	MPa	ISO 0527
Elastik Modülü, Çekme	3434	MPa	ISO 0527
Kopmadaki Uzama, Çekme	2,6	%	ISO 0527
Eğilme Dayanımı	115	MPa	ISO 0178
Elastik Modülü, Eğilme	4200	MPa	ISO 0178
Kopmadaki Uzama, Eğilme	3,0	%	ISO 0178
Izod Darbe Dayanımı	13	kJ/m ²	ISO 0180
Barcol Sertliği	47	-	ASTM-D-2583

Polyester reçinenin 100 gramına hızlandırıcı olarak 1 ml %6 kobalt içeren çözelti ve sertleştirici olarak da 1 ml Marox MRX Metil Etil Keton (MEK) Peroksit ilave edilmiştir. Kobalt ve MEK Peroksit ilaveleri pastör pipeti ile yapılmıştır. Yapılan işlemlere ait görüntüler Şekil 3.4’te verilmiştir.



Şekil 3.4. Matris malzemesinin hazırlanması

Polyester reçine, hızlandırıcı ve sertleştirici içeren bir miktar karışım, düz bir zemine serilen sıyırma naylonu üzerine fırça yardımıyla dağıtılmış ve üzerine bir tabaka doğal fiber kumaş serilmiştir. Doğal fiber kumaşın üzerine bir miktar daha karışım dökülmüş ve karışımın kumaşa emdirilmesi sağlanmıştır. Karışım emdirilmiş doğal fiber kumaş üzerine ikinci tabaka doğal fiber kumaş serilmiş ve matris karışımının emdirilmesi sağlanmıştır. Bu işlem toplam altı tabaka olacak şekilde devam ettirilmiştir. İlk tabakanın altına serildiği gibi son tabakanın üzerine de sıyırma naylonu serilmiştir. Üretim el yatırma yöntemi ile yapıldığından dolayı fiber kumaşlardaki fazla matris, üst sıyırma naylonu üzerine eşit şekilde dağılacak 25 kg’lık yük bırakılarak uzaklaştırılmıştır.

Jüt, rami ve keten doğal fiber kumaşları kullanılarak el yatırma yöntemiyle üretilen kompozit ve hibrit kompozitlerin her bir tabakasındaki doğal fiber türünü gösteren dizilim Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Üretilen kompozitlerin dizilimi

Kompozit No.	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11
Alt				R	2R	J	2J	K	2K	J	2J
Orta	6J	6R	6K	4J	2J	4R	2R	4J	2J	4K	2K
Üst				R	2R	J	2J	K	2K	J	2J

Tablo 3.2’de, jüt kumaş için J, rami kumaş için R ve keten kumaş için K harfi kullanılmıştır. K1, K2 ve K3 kompozitler altı katmanlı olacak şekilde jüt, rami ve keten kumaştan üretilmiştir. Diğer kompozitler (K4-K11) hibrit kompozit olup farklı varyasyonlarda altı katmandan oluşturulmuştur. Tüm hibrit kompozit varyanslarında jüt kumaş kullanılmıştır. Dolayısıyla toplam 11 farklı üretim yapılmıştır. Üretilen kompozitler 24 saat kürlenmeye bırakılmıştır. Kompozitlerin üretim aşamalarında çekilen bazı görüntüler Şekil 3.5’te verilmiştir.



Şekil 3.5. Doğal fiber takviyeli kompozit üretimi

24 saat kürlenmeye bırakılan kompozitler Ref-San Marka RS150 tavlama / ısıtma işlem fırınında 70°C sıcaklıkta 60 dakika boyunca bekletilerek ikincil kürlenme işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Kompozitlerin fırın içerisinde tam kürlenmeye bırakılması

3.2. Kompozit Yoğunluklarının ve Fiber Oranlarının Belirlenmesi

Doğal fiber takviyeli kompozit ve hibrit kompozitler 75 mm × 75 mm boyutlarında kesilmiştir. Kesilen numuneler hassasiyeti 0,001 g olan AND marka HF-300 model terazide tartılmıştır. Elde edilen ağırlık hacme bölünerek yoğunlukları hesaplanmıştır. Ayrıca kompozitteki fiber oranının belirlenmesi için 75 mm × 75 mm boyutlarında kesilen numunede kullanılan tabaka sayısının alansal ağırlığı belirlenmiş ve belirlenen değer numune ağırlığına bölünerek kompozit içerisindeki ağırlıkça fiber oranı hesaplanmıştır.

3.3. Mekanik Test Aşamaları

Doğal fiber takviyeli kompozit ve hibrit kompozitlerin planlanan mekanik testlerinin yapılması için Intermac marka Primus serisi su jeti ile Güven Yapı firmasında standartlara uygun kesimi gerçekleştirilmiştir. Cihazın fotoğrafı Şekil 3.7’de verilmiştir. Su jeti ile kesimi yapılan çekme numunelere ait bazı görüntüler Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.7. Numune kesme işleminin yapıldığı su jeti cihazı



Şekil 3.8. Yukarıdan aşağı K1-K11 çekme numunelerinin görünümü

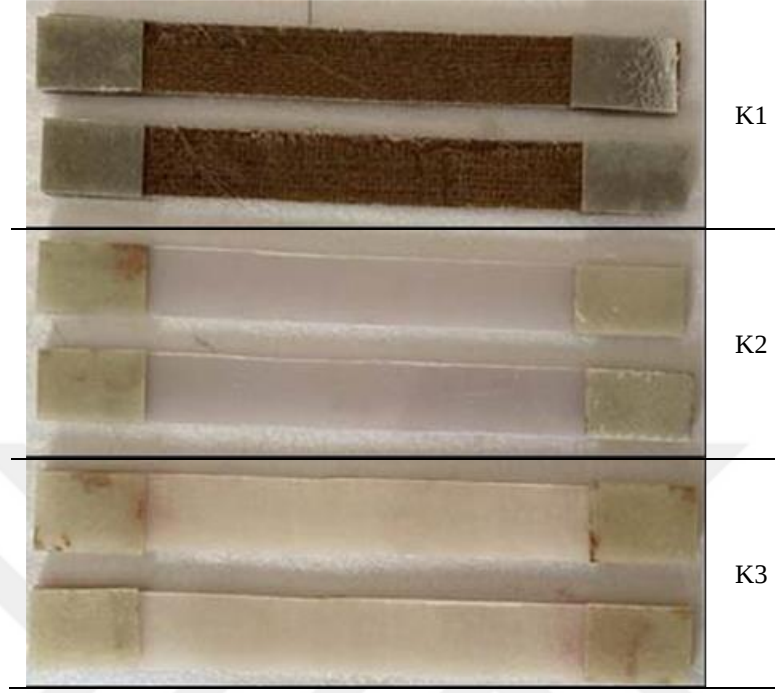
Çekme numuneleri ASTM D3039 standartlarına göre 25 mm × 250 mm boyutlarında, eğilme numuneleri ise ASTM D790 standartlara göre 12,7 mm × 180 mm boyutlarında kesilmiştir. Çekme ve eğilme testlerine ait boyutsal farklılık Şekil 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.9. K1, K8 ve K3 numunelerinin çekme ve eğilme test numuneleri

Kompozit numunelerin çekme deneylerinin çekme cihazında hasar görmeden sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilmesi için çekme numunelerinin çekme çenesine bağlanan yüzeylerine 25 mm × 40 mm boyutlarında cam fiber kompozit malzemeden

pabuç kesilerek yapıştırılmıştır. Pabuçlu hazırlanan K1, K2 ve K3 numunelerinin görüntüleri Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10. Çekme testi öncesi pabuç takılmış kompozit numunelerin görüntüsü

Doğal fiber takviyeli kompozit ve hibrit kompozitlerin çekme testleri 250 kN kapasiteli hücreyle, eğilme deneyleri ise daha hassas ölçüm alınabilmesi için 5 kN kapasiteli hücreyle Shimadzu Marka Universal test cihazında 1 mm/dak hızda gerçekleştirilmiştir. Çekme deneyleri cihaza bağlı çekme çenelerine bağlanan numunelerin çekilmesiyle, eğilme deneyleri ise çekme çenelerinin sökülüp üç nokta eğme deney düzeneğinin cihaza bağlanmasıyla yapılmıştır. Eğilme testi sırasında numune kalınlıkları farklı olduğu için her bir numune kalınlığının 32 katı olacak şekilde destek aralık açıklığı ayarlanmıştır. Çekme deneyi Şekil 3.11'de, eğilme deneyi ise Şekil 3.12'de verilmiştir.

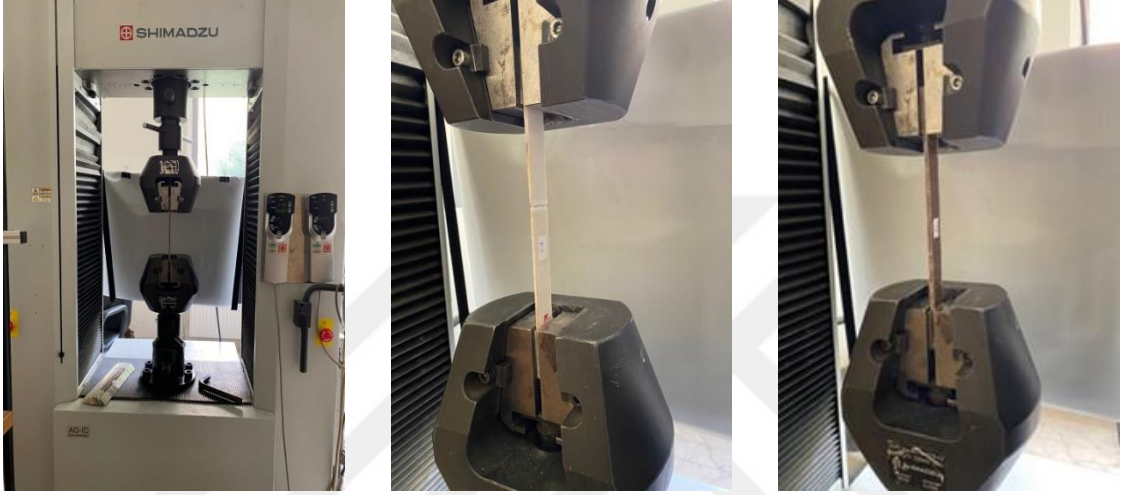
Deney esnasında çekme ve eğilme kuvvetine ait bilgiler cihaza bağlı bilgisayar aracılığıyla elde edilmiştir. Bilgisayarın depoladığı bilgiler Excel programına aktarılmıştır. Çekme dayanımı için eşitlik 3.1-3.2 ve eğilme dayanımı için eşitlik 3.3'teki formüller kullanılarak çekme ve eğilme dayanımı grafikleri oluşturulmuştur.

$$\sigma_f = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

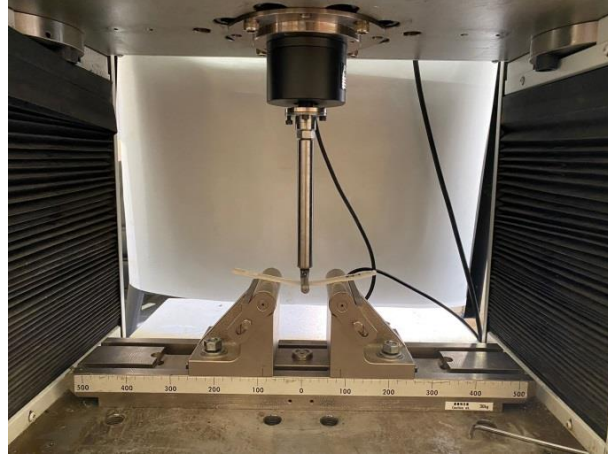
$$\% \varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100 \quad (3.2)$$

$$\sigma_s = \frac{3 \times F \times L}{2 \times b \times h^2} \quad (3.3)$$

Burada; σ_s : çekme gerilmesi (MPa), F : uygulanan yük (N), A : numunenin kesit alanı (mm²), $\% \epsilon$: % uzama, l : numunenin son boyu (mm), l_0 : numunenin ilk boyu (mm), σ_e : eğilme gerilmesi (MPa), L : destek aralık açıklığı (mm), b : numune genişliği (mm) ve h : numune kalınlığı (mm)'dir.



Şekil 3.11. Çekme deneyinin yapılışı



Şekil 3.12. Eğilme deneyinin yapılışı

3.4. SEM Analizi

Kompozitlerde, kopmanın nasıl olduğunu ve hasarın nasıl gerçekleştiğini belirlemek için SEM analizi yapılmıştır. Analizler, Fei Marka Qantafeg 650 Model taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile gerçekleştirilmiştir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Üretilen doğal fiber takviyeli polyester kompozit ve hibrit kompozitlerin yoğunluk ve fiber oranları ile çekme ve eğilme gerilmeleri belirlenmiş ve çekme testi sonucu kırılma yüzeylerinden elde edilen SEM görüntüleri analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, aşağıda alt başlıklarda verilmiş olup literatür sonuçları ile kıyaslanmıştır.

4.1. Yoğunluk ve Fiber Oranı Sonuçları

Üretilen kompozit ve hibrit kompozitlerin yoğunlukları ve fiber oranları Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Üretilen kompozitlerin yoğunluk ve fiber oranı

Numune	Yoğunluk (g/cm ³)	Jüt Oranı (%)	Rami Oranı (%)	Keten Oranı (%)	Toplam (%)
K1	1,22	27,45	-	-	27,45
K2	1,29	-	33,85	-	33,85
K3	1,28	-	-	31,66	31,66
K4	1,18	27,84	6,50	-	34,34
K5	1,13	17,78	16,59	-	34,37
K6	1,24	16,98	15,85	-	32,83
K7	1,14	28,71	6,70	-	35,41
K8	1,12	26,31	-	8,77	35,08
K9	1,21	15,54	-	20,71	36,25
K10	1,15	15,89	-	21,18	37,07
K11	1,37	25,99	-	8,66	34,65

Tablo 4.1’de, 6 tabakası jütten (6J) oluşan K1 numunesinin yoğunluğu 1,22 g/cm³ olarak elde edilmiştir. Ashraf ve diğ. (2019), jüt takviyeli kompozitlerin yoğunluk değerinin 1,23 ile 1,5 g/cm³ arasında değiştiğini derledikleri çalışmalardan gözlemlemişlerdir. Vinod ve diğ. (2022), jüt kompozitlerin teorik ve deneysel yoğunluklarının sırasıyla 1,221 ±0,019 ve 1,187 ±0,016 g/cm³ olduğunu hesaplamışlardır. K1 numunesine ait yoğunluk değerinin yapılan çalışmalarda belirlenen yoğunluk değerine oldukça yakın olduğu görülmüştür. K1 numunesinden elde edilen bu değer, 6 tabakası ramiden (6R) oluşan K2 numunesinden ve 6 tabakası ketenden (6K) oluşan K3 numunesinden daha düşüktür. K2 ve K3 numunelerinin yoğunluğu sırasıyla 1,29 g/cm³ ve 1,28 g/cm³ olarak hesaplanmıştır ve hesaplanan değerler birbirine yakın olarak elde edilmiştir. Mukhammad ve diğ. (2020), epoksi/rami kompozitlerin yoğunluğunu, 6 ve 9 tabaka sayısı için 1,18 g/cm³, 12 tabaka sayısı için

1,20 g/cm³ olarak hesaplamışlardır. K2 numunesine ait yoğunluk değeri, yapılan çalışmalarda belirlenen yoğunluk değerinden kısmen yüksek çıkmıştır. Huo ve diğ. (2013), ürettikleri tüm keten/vinil ester kompozitlerinin yoğunluklarının 1,15 ile 1,35 g/cm³ aralığında olduğunu belirtmişlerdir. K3 numunesine ait yoğunluk değerinin yapılan çalışmalarda belirlenen yoğunluk değerine oldukça yakın olduğu görülmüştür.

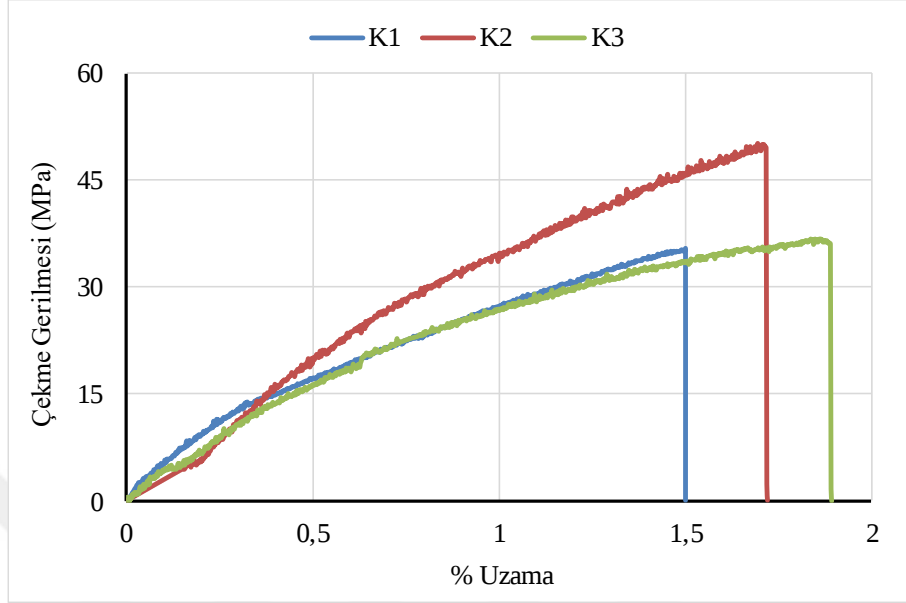
Tablo 4.1’de verilen hibrit kompozitlerin yoğunluklarına bakıldığında ise 2J+2K+2J tabakadan oluşan ve en yüksek yoğunluğa sahip K11 numunesi hariç diğer hibrit kompozitlerin yoğunlukları ana kompozit malzemeninkine yakın veya kısmen düşük elde edilmiştir. En düşük yoğunluk 1,12 g/cm³ ile K+4J+K tabakadan oluşan K8 numunesinden elde edilmiştir. 2R+2J+2R tabakadan oluşan K5, 2J+2R+2J tabakadan oluşan K7 ve J+4K+J tabakadan oluşan K10 numuneleri de bu yoğunluğa oldukça yakın olup, değerleri 1,13 g/cm³, 1,14 g/cm³ ve 1,15 g/cm³’tür. En düşük yoğunluktan en yüksek yoğunluğa yaklaşık %22,32’lik bir artış olmuştur. Ganesan ve diğ. (2021), kompozitlerin deneysel yoğunluk değerlerinde farklılıkların olduğunu, bunu da kompozit imalat sırasında boşlukların oluşmasına ve ıslanabilirliğe atfetmiştir. Ancak bunlara ilaveten fiber formu ve oranı ile birlikte, matris cinsi ve üretim yönteminin de yoğunluk üzerinde önemli etkisinin olduğu düşünülmektedir.

Kompozit içerisindeki ağırlıkça toplam fiber oranlarına baktığımızda, K1 numunesi hariç diğer numunelerde oranların %31,66 ile %37,07 arasında değiştiği görülmektedir. K1 numunesinde ise oran ağırlıkça %27,45 çıkmıştır. Üretimin el yatırma yöntemi ile yapılması ve üretilen numunelerde kısmen boşlukların oluşması, kompozit ve hibrit kompozitlerin yoğunluğunda olduğu gibi fiber oranında da değişikliklere neden olabileceği düşünülmektedir.

4.2. Çekme Test Sonuçları

Jüt, rami ve keten kumaşlar kullanılarak üretilen doğal fiber takviyeli kompozitler ile jütün sabit olarak kullanıldığı jüt/rami ve jüt/keten hibrit kompozitlerin farklı kombinasyonları için çekme deneyi yapılmıştır. Doğal fiber takviyeli kompozitlere ait maksimum çekme gerilmesi–% uzama grafiği Şekil 4.1’de, jüt/rami hibrit kompozitlere ait maksimum çekme gerilmesi–% uzama grafiği Şekil 4.2’de ve jüt/keten hibrit kompozitlere ait maksimum çekme gerilmesi–% uzama grafiği Şekil

4.3'te verilmiştir. Tüm numunelerin ortalama çekme gerilmeleri ise Şekil 4.4'te görülmektedir.



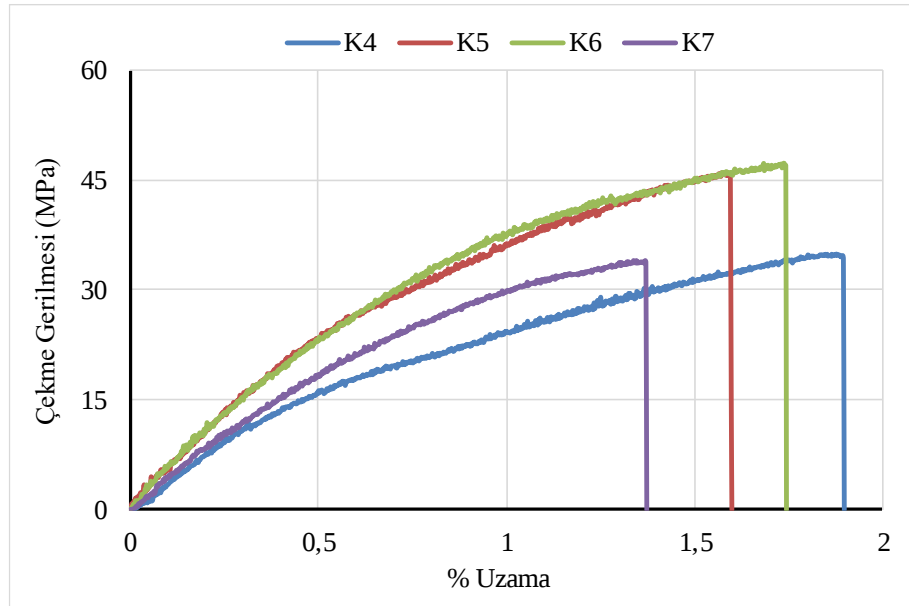
Şekil 4.1. K1-K2-K3 numunelerinin çekme gerilmesi-% uzama grafiği

Şekil 4.1'de, jüt (K1), rami (K2) ve keten (K3) kumaşlar kullanılarak üretilen doğal fiber takviyeli kompozitlerin çekme gerilmesi-% uzama grafiği incelendiğinde, en yüksek çekme gerilmesinin rami fiber takviyeli kompozitten elde edildiği görülmektedir. Rami fiber takviyeli kompozitin % uzaması ise jüt ve keten fiber takviyeli kompozitlerin arasında olmuştur. Rami fiber takviyeli kompozitin maksimum çekme gerilmesi 54,6 MPa, % uzaması ise 1,7'dir. Jüt fiber takviyeli kompozit ile keten fiber takviyeli kompozitin çekme dayanımı birbirine yakın olsa da keten fiber takviyeli kompozitin maksimum çekme gerilmesi kısmen yüksek ve % uzaması ise jüt ve rami kompozitlerden daha fazla olmuştur. Diğer bir değişle jüt fiber takviyeli kompozitin maksimum çekme dayanımı ve % uzaması en düşük elde edilmiştir. Keten fiber takviyeli kompozitin maksimum çekme gerilmesi 37,2 MPa ve % uzaması 1,9 iken, jüt fiber takviyeli kompozitin maksimum çekme gerilmesi ve % uzaması sırasıyla 35,5 MPa ve 1,5'tir.

Ashraf ve diğ. (2019), jüt takviyeli kompozitler üzerine yaptığı derleme çalışmasında, mekanik özelliklerin matris malzemesine ve fiberlerin alkali işleme tabi tutulmasına bağlı olarak değişebileceğini, en düşük çekme dayanımının jüt/polyester kompozitten elde edildiğini, alkali işlemin çekme dayanımını arttırdığını, jüt/epoksi kompozitin jüt/polyester kompozitten daha yüksek çekme dayanımına sahip olduğunu

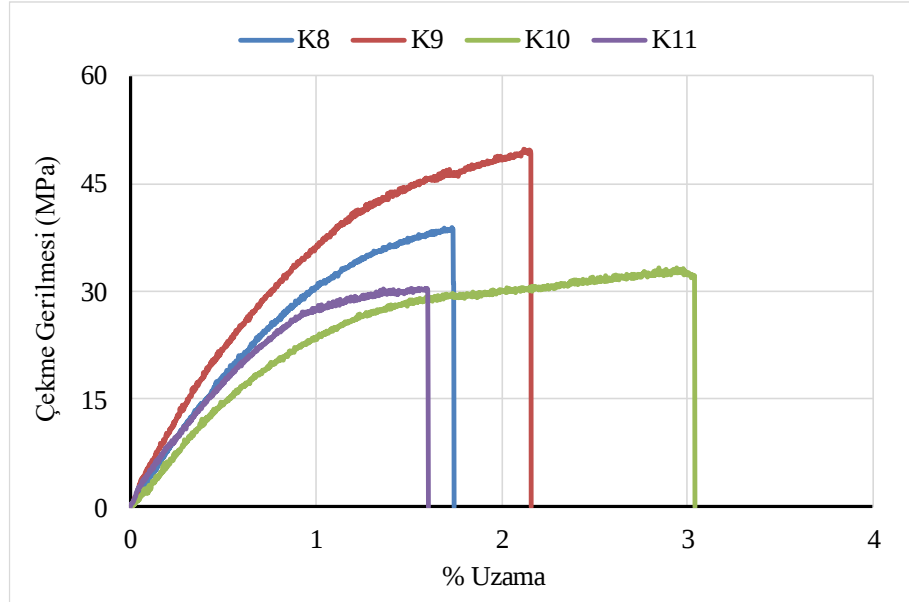
belirtmişlerdir. Ayrıca jüt fiber takviyeli kompozitlerin çekme dayanımının yaklaşık 15 MPa ile 165 MPa arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Diğer taraftan Huo ve diğ. (2013), yüzey işlemlerinin keten lifi takviyeli kompozitlerin arayüzey özelliklerine etkisi başlıklı çalışmalarında hiçbir işleme tabi tutmadan ürettikleri keten fiber takviyeli kompozitlerin çekme dayanımını 76.32 ± 14.67 MPa olarak bulmuşlardır. Rahman (2021), keten fiber takviyeli kompozitler üzerine yaptığı derleme çalışmasında, keten fiber takviyeli kompozitlerin çekme dayanımının 40 MPa ile 408 MPa arasında değiştiğini gözlemlemiştir. Benkhelladi ve diğ. (2020), keten, jüt ve sisal gibi elyaf türlerinin, kimyasal işlem türünün ve elyafın hacim oranının epoksi kompozitlerin çekme mukavemeti, gerilme modülü, eğilme mukavemeti ve eğilme modülü gibi mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini yanıt yüzey yöntemi ile incelemişlerdir. Sonuçların istatistiksel analizinden, mekanik özelliklerin esas olarak lifin hacim fraksiyonundan, daha sonra lifin tipinden etkilendiğini ve kimyasal işlem türünün çok zayıf bir anlamlılık etkisine sahip olduğunu gözlemlemişlerdir.

Doğal fiber takviyeli kompozitlere ait mekanik özellikler, fiber formundan (monofilament, fitil, iplik, kumaş vb.), fiber oranından, matris cinsinden ve üretim yönteminden önemli derecede etkilendiğinden dolayı ramî, keten ve jüt fiber takviyeli kompozitler için elde edilen maksimum 54,6 MPa, 37,2 MPa ve 35,5 MPa çekme gerilmelerinin literatüre uygun olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.2. K4-K5-K6-K7 numunelerinin çekme gerilmesi-% uzama grafiği

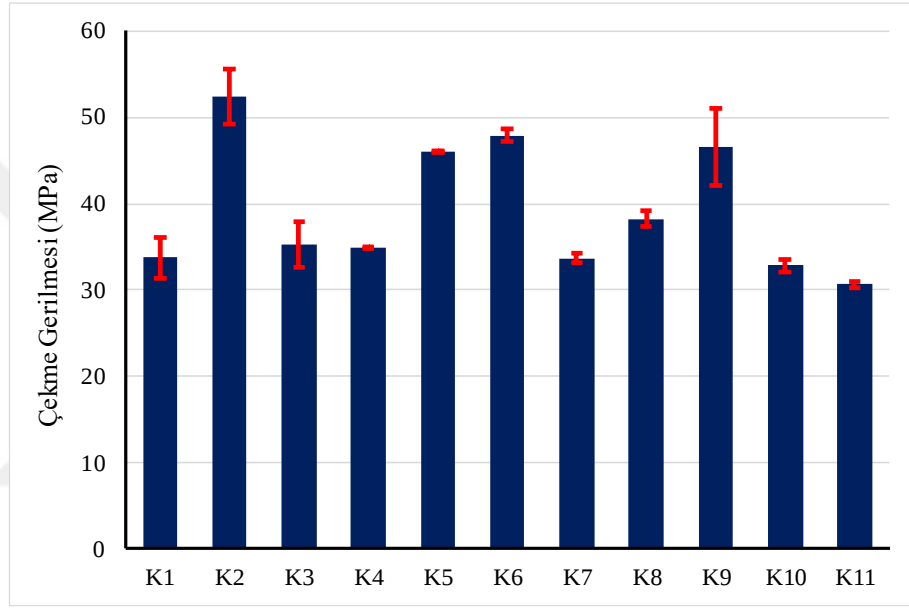
Şekil 4.2'deki jüt/rami hibrit kompozitlere ait K4 (R+4J+R), K5 (2R+2J+2R), K6 (J+4R+J) ve K7 (2J+2R+2J) numunelerin çekme gerilmesi-% uzama grafiğinde, orta katmanda 4 tabaka rami, alt ve üst katmanda 1'er tabaka jüt bulunan K6 numunesinin maksimum çekme gerilmesine sahip olduğu görülmüştür. Orta katmanda 2 tabaka jüt, alt ve üst katmanda 2'şer tabaka rami bulunan K5 numunesinin çekme gerilmesi ikinci en yüksek çekme gerilmesine sahip olmuştur. K5 ve K6 numunelerinin çekme gerilim eğrileri birbirine oldukça paralel oluşmuş ancak K5 numunesi kısmen daha düşük gerilim ve % uzamada deformasyona uğramıştır. K5 ve K6 numunelerinde toplam 4'er tabaka rami ve 2'şer tabaka jüt bulunmasına rağmen tabaka dizilim sayısı çekme dayanımının değişmesine neden olmuştur. K6 ve K5 numunelerinin maksimum çekme gerilmeleri sırasıyla 48,4 MPa ve 46,1 MPa iken % uzamaları ise sırasıyla 1,7 ve 1,6 olmuştur. Toplam 2'şer tabaka rami bulunan K4 ve K7 numunelerinde ise çekme gerilmeleri K5 ve K6 numunelerinden daha düşük elde edilmiştir. K4 ve K7 numunelerinin maksimum çekme gerilmeleri sırasıyla 35 MPa ve 34,1 MPa'dır. En düşük çekme dayanımına sahip olan K7 numunesinin % uzaması da en düşük olmuştur. K7 numunesinin % uzaması 1,4 iken en yüksek uzamaya sahip K4 numunesinin % uzaması 1,9'dur. Jüt/rami hibrit kompozitlerde rami tabaka sayısı arttıkça çekme dayanımının arttığı görülmüştür.



Şekil 4.3. K8-K9-K10-K11 numunelerinin çekme gerilmesi-% uzama grafiği

Şekil 4.3'te, jüt/keten hibrit kompozitlere ait K8 (K+4J+K), K9 (2K+2J+2K), K10 (J+4K+J) ve K11 (2J+2K+2J) numunelerin çekme gerilmesi-% uzama grafiği

incelendiğinde; özellikle en yüksek maksimum çekme gerilmesine sahip K9 numunesinin 49,7 MPa olan çekme dayanımı ile ikinci en yüksek çekme gerilmesine sahip olan K8 numunesinin 38,9 MPa olan çekme dayanımı, keten ve jüt fiber takviyeli kompozitlerin maksimum çekme gerilmesinden yüksek elde edilmiştir. K10 ve K11 numuneleri ise aksine keten ve jüt fiber takviyeli kompozitlerin maksimum çekme gerilmesinden düşük elde edilmiştir. K10 ve K11 numunelerinin maksimum çekme gerilmeleri sırasıyla 33,3 MPa ve 30,9 MPa'dır. K8, K9, K10 ve K11 numunelerinin % uzamaları ise sırasıyla 1,7; 2,2; 3,0 ve 1,6'dır.

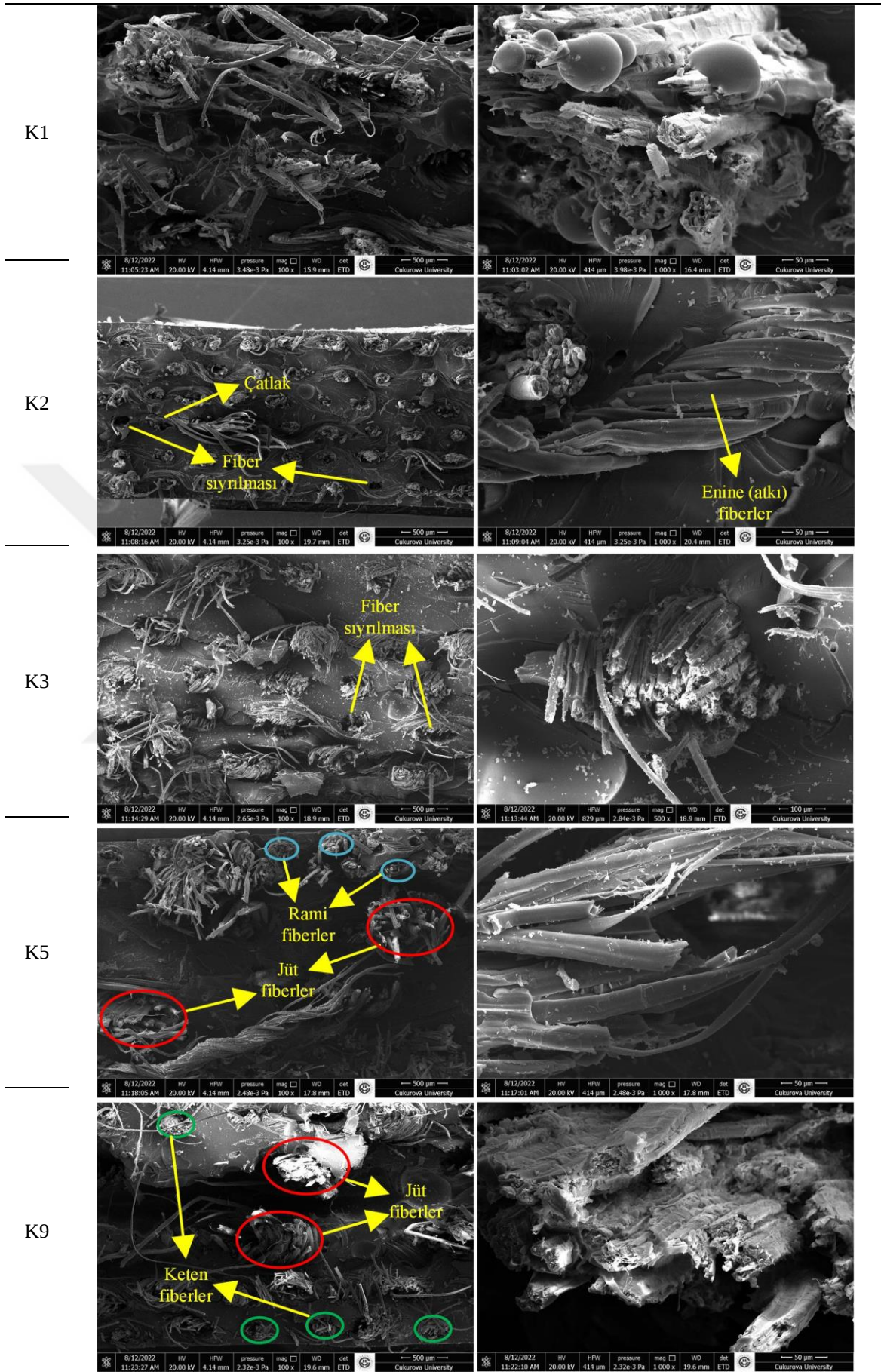


Şekil 4.4. Tüm numunelerin ortalama çekme gerilmeleri

Şekil 4.4'te doğal fiber takviyeli kompozit ve hibrit kompozitlerin ortalama çekme gerilmeleri incelendiğinde K2 numunesinin (rami fiber takviyeli kompozitin) en yüksek çekme gerilmesine (ortalama 52,4 MPa) sahip olduğu görülmüştür. Jüt/rami fiberlerinin birlikte kullanıldığı hibrit kompozitlerden K6 numunesi en yüksek ikinci çekme gerilmesine (ortalama 47,9 MPa), K5 numunesi ise en yüksek dördüncü çekme gerilmesine (ortalama 46 MPa) sahip olmuştur. Jüt/keten fiberlerinin birlikte kullanıldığı hibrit kompozitlerde ise K9 numunesi en yüksek üçüncü çekme gerilmesine (ortalama 49,7 MPa), K8 numunesi ise en yüksek beşinci çekme gerilmesine (ortalama 38,9 MPa) sahip olmuştur. Bu çekme gerilmelerini sırasıyla K3, K4, K1, K7, K10 ve K11 numuneleri takip etmiştir. Çekme gerilmelerinin standart sapmalarında ise en yüksek değişim K9 numunesinde görülmüştür. Bunu K2, K3 ve K1 numuneleri takip etmiştir. Diğer hibrit kompozitlerde ise standart sapma oldukça düşük ve birbirine yakın

olmuştur. Elde ettiğimiz sonuçların literatürle uygun olduğu düşünülmektedir. Literatürde; Vinod ve diğ. (2022), saf keneyir ve saf jüt kompozitlerin çekme mukavemetini sırasıyla $56,18 \pm 4,26$ MPa ve $47,44 \pm 6,35$ MPa olarak ölçmüşlerdir. Keneyir/jüt/keneyir dizilimine sahip hibrit kompozitin diğer kompozitlere göre daha düşük deformasyon gösterdiğini ve $65,44 \pm 5,91$ MPa ile en yüksek çekme mukavemeti sergileyerek jüt/keneyir/jüt dizilimine sahip kompozitlerden ($52,43 \pm 6,12$ MPa) 1,25 kat daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca mekanik test sonuçlarından, dış tabaka olarak kullanılan keneyir lifi ve ara tabaka olarak kullanılan jüt lifi ile hibridizasyonun çekme mukavemetini iyileştirebileceğini söylemişlerdir. Mohanavel ve diğ. (2021), güçlendirilmiş hibrit epoksi polimer kompozitler olan çift yönlü rami dokuma ve kıyılmış jüt liflerinin çekme ve eğilme mukavemetlerini araştırmışlardır. Hibrit kompozit çekme mukavemetinin artan çift yönlü dokuma rami lifi içeriği ile arttığını ve artan kıyılmış jüt lifi içeriği ile azaldığını gözlemlemişlerdir. Giridharan (2019), E-cam ve rami liflerini kullanarak el yatırma yöntemiyle epoksi kompozitler üretmiştir. Ürettiği kompozitleri iki ağırlık yüzdesinde (%20 ve %30) hibridize etmiştir. Ağırlıkça %20 ve %30 rami fiber takviyeli epoksi kompozitlerin çekme dayanımlarını sırasıyla yaklaşık 45 MPa ve 55 MPa elde etmiştir. Hibrit fiber takviyeli epoksi kompozitlerin normal kompozit numunelerden daha iyi mekanik özellikler sergilediğini belirtmiştir. Ağırlıkça %20 takviye oranında hibridizasyonun, hibrit fiber takviyeli kompozitlerin gerilme mukavemetinde cam fiber takviyeli epoksi kompozitlere göre %1,44 ve rami fiber takviyeli epoksi kompozitlere göre %69,9 artış sağladığını, takviyenin ağırlıkça %30 fraksiyonunda ise hibrit fiber takviyeli kompozitlerin gerilme mukavemetinde cam fiber takviyeli epoksi kompozitlere göre %2,45 ve rami fiber takviyeli epoksi kompozitlere göre %64,7 artış sağladığını ifade etmiştir. Khalid ve diğ. (2021), el yatırması tekniği ile hazırlanan cam-jüt hibrit kompozitlerde, farklı cam ve jüt elyaf istifleme diziliminin çekme dayanımına olan etkisini incelemişlerdir. Tek jüt kumaş lamina ve dört cam fiber laminadan oluşan kompozitlerin 83 MPa olan çekme dayanımının beş laminalı CFTP kompozitlerin 87 MPa olan çekme dayanımı ile karşılaştırılabilir bir seviyede olduğunu ifade etmişlerdir. Jüt lamina sayısı arttıkça çekme dayanımının düştüğünü ve en düşük çekme dayanımı olan 43 MPa değerini 2 cam ve 3 jüt laminanın kullanıldığı hibrit kompozitten elde etmişlerdir. Benkhelladi ve diğ. (2020), ağırlıkça %80 jüt lifi içeriğine ve %20 keten lifi içeriğine sahip hibrit kompozitlerin, diğer kompozitlere kıyasla üstün özellikler sergilediğini belirtmişlerdir.

Çekme sonrası kırılan yüzeylerin SEM görüntüsü Şekil 4.5'te verilmiştir.



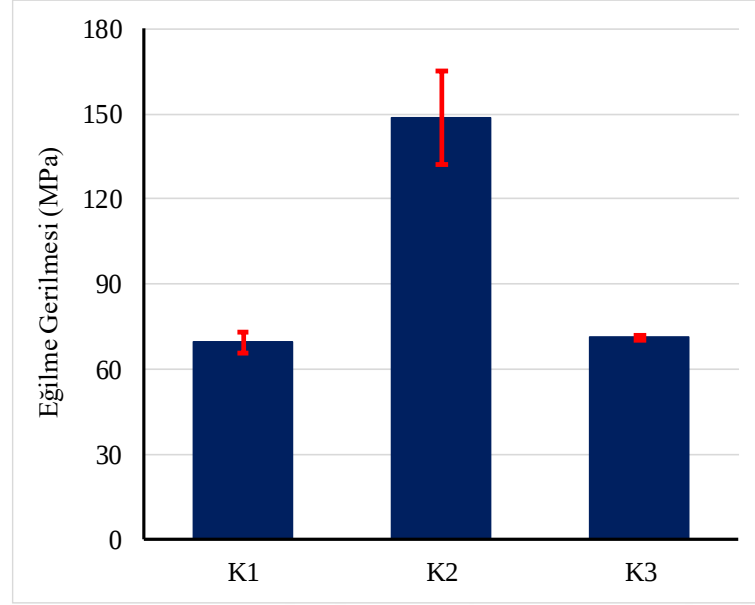
Şekil 4.5. K1-K2-K3-K5-K9 numunelerinin kırılma yüzeylerine ait SEM görüntüleri

SEM görüntülerini incelediğimizde özellikle detay görüntülerde fiberler ve polyester matris arasındaki bağlantının iyi olduğu görülmektedir. Kopma hasarı büyük oranda fiber kırılması şeklinde meydana gelmiştir. Bazı küçük bölgelerde matris çatlaması olmuştur. K2 ve K3 numunesi dışında matriste fiber sıyrılmasına dair herhangi bir iz ya da boşluk görülmemektedir. Khan ve diğ. (2017) fiber sıyrılmasının fiberler ile matris arasındaki zayıf bağlantıdan kaynaklandığını belirtmişlerdir. Ancak fiber sıyrılmasının olabilmesi büyük oranda fiberin sağlamlılığıyla alakalıdır. Eğer fiber, matris ile benzer bir yükte kırılıyorsa fiber sıyrılması büyük oranda gerçekleşmeyecektir. Jütten daha yüksek çekme mukavemetine sahip olan rami ve keten fiberler K2 ve K3 numunelerinde matrisin bazı bölgelerinde nadirde olsa sıyrılma hasarı göstermiştir.

Vinod ve diğ. (2022), jüt kompozitlerde çekme kırılmasının, elyafın çekilmesi ve elyafın yırtılması yoluyla meydana geldiğini ve matris kırılma modelinin zayıf stres transferine bağlı olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca fiberin yakınında boşluk varlığının çekme mukavemetini azalttığını belirtmişlerdir. Diğer taraftan kenevir/jüt/kenevir dizilimine sahip hibrit kompozitindeki matris kırılmasının gevrek kırılma gösterdiğini ve fiberin yakınında daha az boşluk varlığının çekme yükü uygulaması sırasında iyi bir gerilim aktarımına sahip olduğunu belirtmişlerdir. Audibert ve diğ. (2018), Kevlar ve keten lifi kullanarak ürettikleri hibrit kompozitlerde, Kevlar lifi ile karşılaştırıldığında keten lifinin nispeten düşük gerilime sahip olduğunu ve keten liflerinin ilk başarısız ve hasara neden olan lifler olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca hibrit kompozitlerin doğrusal olmayan bir anizotropik davranış sergilediklerini, bu anizotropik davranışın Kevlar liflerinin plastik gerilmesinden ve keten lifinin kopmasından kaynaklandığını bu yüzden hasarlı modülün sadece keten lifi hasarına bağlı gibi görüldüğünü ifade etmişlerdir.

4.3. Eğilme Test Sonuçları

Jüt, rami ve keten kumaşlar kullanılarak üretilen doğal fiber takviyeli kompozitler ve hibrit kompozitlere eğilme deneyi yapılmış ve eğilme gerilmeleri hesaplanmıştır. Doğal fiber takviyeli kompozitlere ait ortalama gerilme grafiği Şekil 4.6'da, jüt/rami hibrit kompozitlere ait ortalama gerilme grafiği Şekil 4.7'de ve jüt/keten hibrit kompozitlere ait ortalama gerilme grafiği ise Şekil 4.8'de verilmiştir.

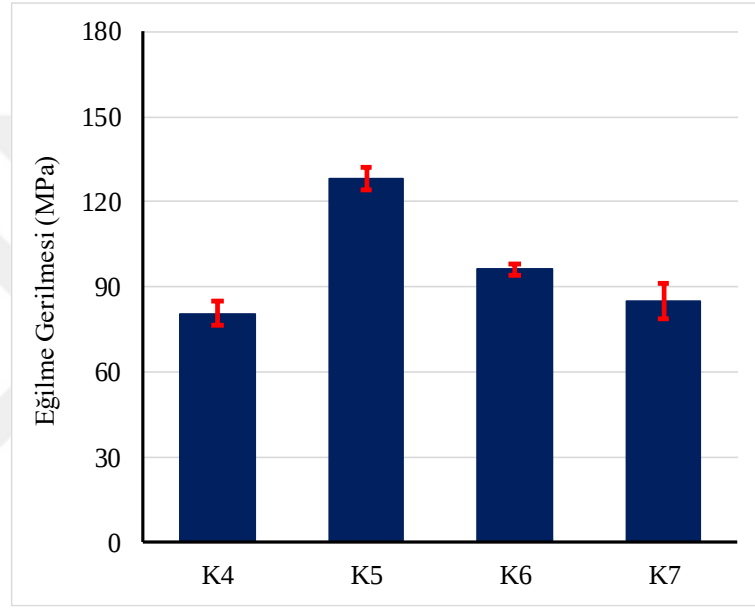


Şekil 4.6. K1-K2-K3 numunenin ortalama eğilme gerilmeleri

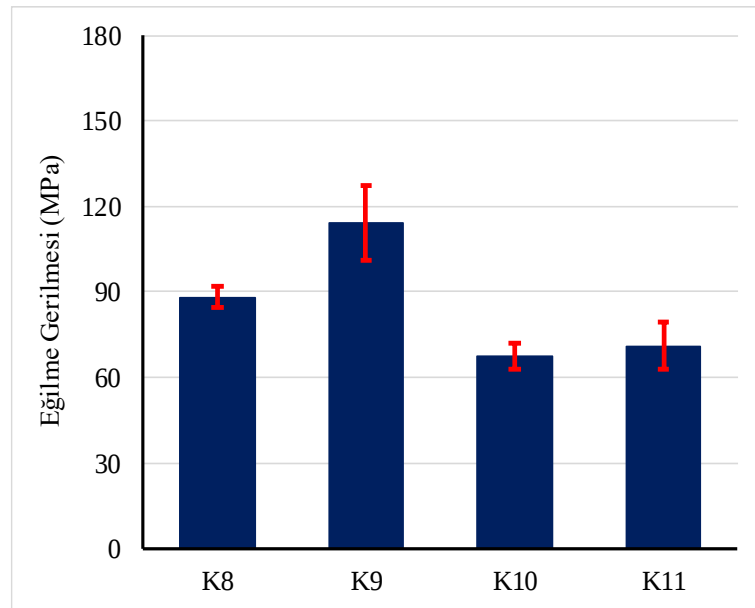
Şekil 4.6’da, jüt (K1), rami (K2) ve keten (K3) kumaşlar kullanılarak üretilen doğal fiber takviyeli kompozitlerin ortalama eğilme gerilmeleri incelendiğinde, en yüksek eğilme gerilmesi rami fiber takviyeli kompozitten elde edilmiştir. Jüt fiber takviyeli kompozit ile keten fiber takviyeli kompozitin eğilme gerilmeleri birbirine yakın olsa da keten fiber takviyeli kompozitin ortalama eğilme gerilmesi daha yüksek olmuştur. Rami, keten ve jüt fiber takviyeli kompozitlerin eğilme gerilmeleri sırasıyla 148,5 MPa, 71,2 MPa ve 69,3 MPa’dır. Giridharan (2019), ağırlıkça %20 ve %30 rami fiber takviyeli epoksi kompozitlerin eğilme dayanımlarını sırasıyla yaklaşık 51 MPa ve 65 MPa olarak elde etmiştir. Rahman (2021), keten fiber takviyeli kompozitler üzerine yaptığı derleme çalışmasında, bu kompozitlerin eğilme dayanımının 10,7 MPa ile 252,1 MPa arasında değiştiğini gözlemlemiştir. Vinod ve diğ. (2022), saf jüt kompozitlerin eğilme mukavemetini $91,87 \pm 6,9$ MPa olarak ölçmüşlerdir.

Şekil 4.7’deki jüt/rami hibrit kompozitlere ait K4, K5, K6 ve K7 numunelerinin ortalama eğilme gerilmeleri incelendiğinde, orta katmanda 2 tabaka jüt, alt ve üst katmanda 2’şer tabaka rami bulunan K5 numunesi diğer jüt/rami kompozitlere kıyasla daha yüksek eğilme gerilmesine sahip olmuştur. Orta katmanda 4 tabaka rami, alt ve üst katmanda 1’er tabaka jüt bulunan K6 numunesinin eğilme gerilmesi K5 numunesinden düşük elde edilmiştir. K5 ve K6 numunelerinde toplam 4’er tabaka rami ve 2’şer tabaka jüt bulunmasına rağmen tabaka dizilim sayısı eğilme gerilmesinin değişmesine neden olmuştur. K5 ve K6 numunelerinin ortalama eğilme gerilmeleri sırasıyla 128,3 MPa ve 96,2 MPa’dır. Toplam 2’şer tabaka rami bulunan K7 ve K4 numunelerinde ise eğilme

gerilmeleri giderek düşük elde edilmiştir. K7 ve K4 numunelerinin ortalama eğilme gerilmeleri sırasıyla 85 MPa ve 80,5 MPa'dır. Jüt/rami hibrit kompozitlerden elde edilen eğilme gerilmeleri, rami fiber takviyeli kompozit ile jüt fiber takviyeli kompozitin eğilme gerilmeleri arasında elde edilmiştir. Rami tabaka sayısı arttıkça eğilme gerilmesi artmış, jüt tabaka sayısı arttıkça eğilme gerilmesi azalmıştır. Mohanavel ve diğ. (2021), hibrit kompozit eğilme mukavemetinin artan çift yönlü dokuma rami lifi içeriği ile arttığını ve artan kıyılmış jüt lifi içeriği ile azaldığını gözlemlemişlerdir.



Şekil 4.7. K4-K5-K6-K7 numunenin ortalama eğilme gerilmeleri



Şekil 4.8. K8-K9-K10-K11 numunenin ortalama eğilme gerilmeleri

Şekil 4.8’te, jüt/keten hibrit kompozitlere ait K8, K9, K10 ve K11 numunelerinin ortalama gerilmeleri incelendiğinde, özellikle en yüksek ortalama eğilme gerilmesine sahip K9 numunesinin 114,3 MPa olan eğilme dayanımı ile ikinci en yüksek eğilme gerilmesine sahip olan K8 numunesinin 88,2 MPa olan eğilme gerilmeleri, çekme dayanımında olduğu gibi keten ve jüt fiber takviyeli kompozitlerin ortalama eğilme gerilmesinden yüksektir. K11 ve K10 numunelerinin eğilme gerilmeleri daha düşük elde edilmiştir. K11 ve K10 numunelerinin ortalama eğilme gerilmeleri sırasıyla 70,9 MPa ve 67,4 MPa’dır.

Doğal fiber takviyeli kompozit ve hibrit kompozitlerin eğilme gerilmeleri büyükten küçüğe sıralanacak olursa, K2 numunesinin (rami fiber takviyeli kompozitin) eğilme gerilmesi en yüksek olmuştur. Bunu; K5 (2R+2J+2R), K9 (2K+2J+2K), K6 (J+4R+J), K8 (K+4J+K), K7 (2J+2R+2J), K4 (R+4J+R), K3 (keten fiber takviyeli kompozit), K11 (2J+2K+2J), K1 (jüt fiber takviyeli kompozit) ve K10 (J+4K+J) numuneleri takip etmiştir.

Vinod ve diğ. (2022), Kenevir/jüt/kenevir dizilimine sahip hibrit kompozitin diğer kompozitlere göre $121,20 \pm 7,4$ MPa ile en yüksek eğilme mukavemeti sergileyerek jüt/kenevir/jüt dizilimine sahip kompozitlerden ($106,56 \pm 6,5$ MPA) 1,13 kat daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca mekanik test sonuçlarından, dış tabaka olarak kullanılan kenevir lifi ve ara tabaka olarak kullanılan jüt lifi ile hibridizasyonun eğilme mukavemetini iyileştirebileceğini, ancak tabakalar arası kesme mukavemetini azaltacağını söylemişlerdir. Ganesan et al. (2021), hibrit kompozitlere farklı ağırlık oranlarında hibrit dolgu maddelerinin eklenmesinin mekanik performansı daha fazla arttırdığını gözlemlemişlerdir. Giridharan (2019), hibrit fiber takviyeli epoksi kompozitlerin tek tek numunelerden daha iyi mekanik özellikler sergilediğini belirtmiştir. Ağırlıkça %20 takviye oranında hibridizasyonun, cam fiber takviyeli epoksi kompozitlerin eğilme dayanımını %7,6 ve rami fiber takviyeli epoksi kompozitlerin eğilme dayanımını %25,7 oranında arttırdığını, %30 takviye oranında hibridizasyonun ise bu kompozitlerin eğilme dayanımlarını sırasıyla %5,8 ve %22,5 oranında arttırdığını gözlemlemişlerdir. Ricciardi ve diğ. (2019), eğilme modülü için lif diziliminin hiçbir etkisinin olmadığını, ancak reçine içeriğine bağlı olarak eğilme ve tabakalar arası kesme mukavemeti değerlerinde bazı farklılıklar olduğunu belirtmişlerdir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada yaygın olarak kullanılan doğal fiberlerden jüt, keten, rami kullanılarak kompozit ve hibrit kompozitler üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin yoğunlukları hesaplanmış, çekme ve eğme testleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Doğal fiber takviyeli kompozitlerden, K1 numunesinin (jüt fiber takviyeli kompozitin) yoğunluğu $1,22 \text{ g/cm}^3$ olarak elde edilmiştir. K2 numunesi (rami fiber takviyeli kompozit) ile K3 numunesinin (keten fiber takviyeli kompozitin) yoğunlukları birbirine yakın elde edilmiş olup, elde edilen yoğunluklar K2 için $1,29 \text{ g/cm}^3$ ve K3 için $1,28 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Hibrit kompozitlerden 2J+2K+2J tabakadan oluşan ve en yüksek yoğunluğa ($1,37 \text{ g/cm}^3$) sahip K11 numunesi hariç diğer hibrit kompozitlerin yoğunlukları ana kompozit malzemeninkine yakın veya daha düşük elde edilmiştir. En düşük yoğunluk $1,12 \text{ g/cm}^3$ ile K+4J+K tabakadan oluşan K8 numunesinden elde edilmiştir. En düşük yoğunluktan en yüksek yoğunluğa yaklaşık %22,32'lik bir artış olmuştur.
- K2 numunesi (rami fiber takviyeli kompozit) ortalama 52,4 MPa ile en yüksek çekme gerilmesine sahip olmuştur. Jüt/rami fiberlerinin birlikte kullanıldığı hibrit kompozitlerden K6 (J+4R+J) numunesi ortalama 47,9 MPa ile en yüksek ikinci çekme gerilmesine, jüt/keten fiberlerinin birlikte kullanıldığı hibrit kompozitlerde ise K9 (2K+2J+2K) numunesi ortalama 46,5 MPa en yüksek üçüncü çekme gerilmesine sahiptir. Jüt/rami fiberlerinin birlikte kullanıldığı hibrit kompozitlerden K5 (2R+2J+2R) numunesi ise 46 MPa ile en yüksek dördüncü çekme gerilmesine sahip olmuştur. K5 ve K6 numunelerinin çekme gerilmeleri, bu numuneleri oluşturan K1 (jüt fiber takviyeli kompozit) ve K2 numunelerinin çekme gerilmeleri arasında oluşmuştur. Ancak K9 numunesinin çekme gerilmesi, bu numuneleri oluşturan K1 ve K3 (keten fiber takviyeli kompozit) numunelerinin çekme gerilmelerinden yüksek elde edilmiştir. K1 ve K3 numunelerinin ortalama çekme gerilmeleri 33,8 MPa ve 35,3 MPa'dır.
- Kompozitlere ait % uzamalarda, K3 numunesi (keten fiber takviyeli kompozit) K1 (jüt fiber takviyeli kompozit) ve K2 (rami fiber takviyeli kompozit) numunelerinden daha yüksek uzama göstermiştir. K1 numunesinde ise K2 numunesinden daha düşük uzama meydana gelmiştir.

- SEM görüntüleri, fiberler ile matris arasında iyi bir arayüzey bağı olduğunu ortaya koymuştur. Kompozitlerde boşluklara rastlanmamıştır. Çekme testi sonucu kopma, büyük oranda fiber kırılması şeklinde meydana gelmiştir ve bazı lokal bölgelerde matris çatlaması olmuştur.
- Çekme deneyinde olduğu gibi K2 numunesi (rami fiber takviyeli kompozitin) ortalama 148,5 MPa ile en yüksek eğilme gerilmesine sahip olmuştur. Jüt/rami fiberlerinin birlikte kullanıldığı hibrit kompozitlerden K5 (2R+2J+2R) numunesi ortalama 128,3 MPa ile en yüksek ikinci eğilme gerilmesine, jüt/keten fiberlerinin birlikte kullanıldığı hibrit kompozitlerde ise K9 (2K+2J+2K) numunesi ortalama 114,3 MPa ile en yüksek üçüncü çekme gerilmesine sahiptir. Jüt/rami fiberlerinin birlikte kullanıldığı hibrit kompozitlerden K6 (J+4R+J) numunesi ise 96,2 MPa ile en yüksek dördüncü çekme gerilmesine sahip olmuştur. Çekme gerilmesinde olduğu gibi K5 ve K6 numunelerinin eğilme gerilmeleri, bu numuneleri oluşturan K1 (jüt fiber takviyeleri kompozit) ve K2 numunelerinin eğilme gerilmeleri arasında oluşmuştur. Çekme gerilmelerinden farkı ise sıralamalarının değişmesidir. Benzer şekilde K9 numunesinin eğilme gerilmesi, çekme gerilmesinde olduğu gibi bu numuneleri oluşturan K1 numunesi ve K3 (keten fiber takviyeli kompozit) numunesinin eğilme gerilmelerinden yüksek elde edilmiştir. K1 ve K3 numunelerinin ortalama eğilme gerilmeleri 69,3 MPa ve 71,2 MPa'dır.
- Hibrit kompozitleri oluşturan fiber cinsi ve fiber dizilimi, mekanik özellikler üzerinde etkili olmuştur. Özellikle jütün daha az kullanıldığı ve tabaka ortasında kullanıldığı hibrit kompozitlerin mekanik özellikleri genel olarak iyi elde edilmiştir.

5.2. Öneriler

Kompozit malzemeler farklı ortamlarda kullanılmaktadır. Doğal fiber takviyeli kompozitler yapısındaki selüloz ve lignin miktarına bağlı olarak bulunduğu ortamdan etkilendiği için farklı ortamlara maruz kalan doğal fiber takviyeli kompozitlerin çekme ve eğilme davranışları incelenebilir. Bu mekanik özelliklere ilaveten çentik darbe ve tabakalar arası kayma davranışları da araştırılabilir. Ayrıca bazı ucuz sentetik fiberlerin üretiminde doğal fiberler kullanılarak kompozit malzemeler hibritleştirilebilir. Bu malzemelerin fiziksel, kimyasal, termal ve mekanik özellikleri analiz edilebilir.

KAYNAKLAR

- Ahmad, F., Yuvaraj, N. and Bajpai, P. K., 2021, Influence of reinforcement architecture on static and dynamic mechanical properties of flax/epoxy composites for structural applications, *Composite Structures*, 255 (August 2020), 112955.
- Ahmed, N. and Khan, J. H., 2002, Effect of recycling of thermoplastics: evaluation of properties of mixture of recycled high-density polyethylene, *The 6th Saudi Engineering Conference*, Saudi Arabia: KFUPM, Dhahran, 5-8 December 2002, 359-365.
- Anonim a, 2021, *Sözlük, Kerpiç* [online], <https://educalingo.com/tr/dic-tr/kerpic> [Ziyaret Tarihi: 17 Haziran 2021].
- Anonim b, 2022, *Kompozit malzemeler: giriş* [online], <http://www.tekniktektiller.com/wp-content/uploads/2017/08/Do%C4%9Fal-Lif-takviyeli-kompozit-tektiller.pdf> [Ziyaret Tarihi: 30 Haziran 2022].
- Arıcasoy, O., 2006, Kompozit sektör raporu, İTO-0017049, İstanbul Ticaret Odası Yayınları, 1-34.
- Ashraf, M. A., Zwawi, M., Taqi Mehran, M., Kanthasamy, R. and Bahadar, A., 2019, Jute based bio and hybrid composites and their applications, *Fibers*, 7 (9), 77.
- Audibert, C., Andreani, A. S., Lainé, É. and Grandidier, J. C., 2018, Mechanical characterization and damage mechanism of a new flax-Kevlar hybrid/epoxy composite, *Composite Structures*, 195, 126-135.
- Avella, M., Buzarovska, A., Errico, M. E., Gentile, G. and Grozdanov, A., 2009, Eco-challenges of bio based polymer composites, *Materials*, 2 (3), 911-925.
- Ayan, M. Ç., 2019, Pamuk elyaf takviyeli biyo kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin incelenmesi, *İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, İskenderun.
- Bahçe, H. T. ve Temiz, Ş., 2019, Vakum infüzyon yöntemi ile üretilen kayısı çekirdeği kabuğu tozu katkılı tabakalı kompozitlerin kıyaslanması, *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 5 (2), 125-146.
- Bakkal, M. ve Savaş, M., 2012, Cam elyafla güçlendirilmiş doğal elyaf takviyeli kompozitlerin geliştirilmesi, 3. *Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, Balıkesir, Türkiye.
- Balcıoğlu, H. E., Yeşil, Ö. ve Aktaş, M., 2012, Ceviz kabuğu takviyeli polyester reçinenin aşınma dirençlerinin belirlenmesi, 1. *Ulusal Geri Kazanım Kongre ve Sergisi*, Uşak, Türkiye.

- Baley, C., Gomina, M., Breard, J., Bourmaud, A. and Davies, P., 2020, Variability of mechanical properties of flax fibres for composite reinforcement. A review, *Industrial Crops and Products*, 145 (November 2019), 111984.
- Benkhelladi, A., Laouici, H. and Bouchoucha, A., 2020, Tensile and flexural properties of polymer composites reinforced by flax, jute and sisal fibres, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 108 (3), 895-916.
- Beşergil, B., 2022, *Tabakalı Kompozitler (layered composites)* [online], <http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/tabakal-kompozitler-layered-composites.html?m=0> [Ziyaret Tarihi: 30 Haziran 2022].
- Bilgiç, T., 2006, Polimerler –I, Bölüm 2: Polietilen. 3. Baskı, PAGEV yayınları, İstanbul.
- Bledzki, A. K., Faruk, O. and Sperber, V. E., 2006, Cars from bio-fibres, *Macromolecular Materials and Engineering*, 291 (5), 449-457.
- Bodur, M.S., 2016, Doğal lif takviyeli kompozitlerde lif / matris ara yüzey iyileştirme çalışmaları ve çevresel koşullara göre karakterizasyonu, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul.
- Boopalan, M., Umapathy, M. J. and Jenyfer, P., 2012, A comparative study on the mechanical properties of jute and sisal fiber reinforced polymer composites, *Silicon*, 4 (3), 145-149.
- Bulut, M., 2014, Türkiyede kompozit malzeme üretimi ve kompozit malzeme sektörünün genel değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Anabilim Dalı*, Ankara.
- Bulut, Y. ve Erdoğan, Ü. H., 2011, Selüloz esaslı doğal liflerin kompozit üretiminde takviye materyali olarak kullanımı, *Tekstil ve Mühendis*, 18 (82), 26-35.
- Callister, W. D., 1991, Materials science and engineering: an introduction, John Wiley & Sons, United States of America, 0-471-50488-2.
- Chandramohan, D. and Marimuthu, K., 2011, A review on natural fibers, *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, 8 (2), 194-206.
- Chin, S. C., Tee, K. F., Tong, F. S., Ong, H. R. and Gimbun, J., 2020, Thermal and mechanical properties of bamboo fiber reinforced composites, *Materials Today Communications*, 23 (December 2019), 100876.
- Çavdar, A. D. ve Boran, S., 2016, Doğal liflerin otomotiv sanayinde kullanımı, *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 16 (1), 253-263.
- Çelik, Y. H., Kilickap, E. and Kilickap, A. İ., 2019, An experimental study on milling of natural fiber (jute)-reinforced polymer composites, *Journal of Composite Materials*, 53 (22), 3127–3137.

- Darshan, S. M. and Suresha, B., 2021, Effect of basalt fiber hybridization on mechanical properties of silk fiber reinforced epoxy composites, *Materials Today: Proceedings*, 43, 986-994.
- De Carvalho, L. H., Cavalcante, J. M. F. and d'Almeida, J. R. M., 2006, Comparison of mechanical behavior of plain weave and plain weft knit jute fabric-polyester-reinforced composites, *Polymer Plastics Technology and Engineering*, 45 (7), 791-797.
- Dittenber, D. B. and GangaRao, H. V. S., 2012, Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 43 (8), 1419-1429.
- Djafari Petroudy, S. R., 2017, Physical and mechanical properties of natural fibers, *Advanced High Strength Natural Fibre Composites in Construction*, 59–83.
- Feng, N. L., Malingam, S. D., Razali, N. and Subramonian, S., 2020, Alkali and silane treatments towards exemplary mechanical properties of kenaf and pineapple leaf fibre-reinforced composites, *Journal of Bionic Engineering*, 17 (2), 380–392.
- Ganesan, K., Kailasanathan, C., Rajini, N., Ismail, S. O., Ayrimis, N., Mohammad, F., Al-Lohedan, H., Tawfeek, A. M., Issa, Z. A. and Aldhayan, D. M., 2021, Assessment on hybrid jute/coir fibers reinforced polyester composite with hybrid fillers under different environmental conditions, *Construction and Building Materials*, 301, 124117.
- Genc, G., Akkus, N. ve Yalcın, F., 2013, Keten/epoksi bio-kompozit malzemenin titreşim yöntemi ile elastiklik modülünün belirlenmesi, *7th International Advanced Technologies Symposium (IATS'13)*, Istanbul, Turkey.
- Gopinath, A., Senthil Kumar, M. and Elayaperumal, A., 2014, Experimental investigations on mechanical properties of jute fiber reinforced composites with polyester and epoxy resin matrices, *Procedia Engineering*, 97, 2052–2063.
- Giridharan, R., 2019, Preparation and property evaluation of Glass/Ramie fibers reinforced epoxy hybrid composites, *Composites Part B: Engineering*, 167, 342-345.
- Gudayu, A. D., Steuernagel, L., Meiners, D. and Gideon, R., 2020, Effect of surface treatment on moisture absorption, thermal, and mechanical properties of sisal fiber, *Journal of Industrial Textiles*, 1–21. <https://doi.org/10.1177/1528083720924774>.
- Hacıaloğlu, İ. H., 2013, Türkiye 10. kalkınma planı projeksiyonunda kompozit sektörü genel değerlendirmesi, *Türk Kompozit 2013-Kompozit Zirvesi*, 3-5 Ekim 2013, İstanbul.
- Hamamcı, B., Çiftci, M. ve Aktaş, T., 2018, Yeşil kompozitlerde biyopolimerlerin kullanımının önemi, *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 8 (1), 12-24.

- Hodzic, A. and Shanks, R., 2014, Natural Fibre Composites Materials, Processes and Properties, Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering: Number 47.
- Hu, C., Zhou, Y., Zhang, T., Jiang, T. and Zeng, G., 2020, Effect of fiber modified by alkali/polyvinyl alcohol coating treatment on properties of sisal fiber plastic composites, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 39 (23-24), 880-889.
- Huo, S., Thapa, A. and Ulven, C. A., 2013, Effect of surface treatments on interfacial properties of flax fiber-reinforced composites, *Advanced Composite Materials*, 22 (2), 109-121.
- İlhan, R. ve Feyzullahoğlu, E., 2019, Cam elyaf takviyeli polyester (CTP) kompozit malzemelerde kullanılan doğal elyaflar ve dolgu maddeleri, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 6 (2), 355-381.
- İnkaya, S., 2011, Dünya’da ve Türkiye’de kompozit sektörü, *Mühendis ve Makina*, 52 (613), 31-34.
- Kamaraj, M., Dodson, E. A. and Datta, S., 2020, Effect of graphene on the properties of flax fabric reinforced epoxy composites, *Advanced Composite Materials*, 29 (5), 443-458.
- Kandas, H. ve Özdemir, O., 2021, Çam ve meşe palamudu tozu takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 23 (67), 147-155.
- Karabulut, N. ve Aktaş, M., 2014, Jüt lifi takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerinin yüzey modifikasyon işlemiyle iyileştirilmesi, *Mühendislik ve Makine*, 55 (649), 43-49.
- Karaduman, Y., 2018, Doğal lif takviyeli mantar esaslı sandviç kompozitlerin viskoelastik özellikleri, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24 (7), 1257-1261.
- Kartal, I., Naycı, G. ve Demirer, H., 2019, Cam ve bambu lifleriyle takviyelendirilmiş vinilester kompozitlerinin mekanik özelliklerinin incelenmesi, *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, 3 (1), 34-37.
- Kaya, S. ve Oner, E., 2020, Kenevir liflerinin eldesi, karakteristik özellikleri ve tekstil endüstrisindeki uygulamaları, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11 (1), 108-123.
- Keskin, O. ve Demirkale, S. Y., 2020, Su kabağı lifi (*Luffa Cylindrica*)-epoksi kompozitinde sesin yutulma performansını etkileyen parametreler, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24 (1), 201-208.
- Khalid, M. Y., Al Rashid, A., Arif, Z. U., Sheikh, M. F., Arshad, H. and Nasir, M. A., 2021, Tensile strength evaluation of glass/jute fibers reinforced composites: An experimental and numerical approach, *Results in Engineering*, 10, 100232.

- Khan, A., Asiri, A. M., Jawaid, M. and Saba, N., 2020, Effect of cellulose nano fibers and nano clays on the mechanical, morphological, thermal and dynamic mechanical performance of kenaf/epoxy composites, *Carbohydrate Polymers*, 239, 116248.
- Khan, Z., Yousif, B. F. and Islam, M., 2017, Fracture behaviour of bamboo fiber reinforced epoxy composites, *Composites Part B: Engineering*, 116, 186-199.
- Koronis, G., Silva, A. and Fontul, M., 2013, Green composites: A review of adequate materials for automotive applications, *Composite Part B: Engineering*, 44 (1), 120-127.
- Kumar, A. and Srivastava, A., 2017, Preparation and mechanical properties of jute fiber reinforced epoxy composites, *Industrial Engineering & Management*, 6 (4), 1000234.
- Kumar, B. R. and Hariharan, S. S., 2021, Experimental investigation on mechanical properties of jute and hemp fibre based epoxy composites, *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1132 (1), 012031. IOP Publishing.
- Liu, Y., Ma, Y., Yu, J., Zhuang, J., Wu, S. and Tong, J., 2019, Development and characterization of alkali treated abaca fiber reinforced friction composites, *Composite Interfaces*, 26 (1), 67-82.
- Lokesh, P., Kumari, T. S., Gopi, R. and Loganathan, G. B., 2020, A study on mechanical properties of bamboo fiber reinforced polymer composite, *Materials Today: Proceedings*, 22, 897-903.
- Mazumdar, S. K., 2002, Composites manufacturing, *Materials, Product, and Process Engineering (1st Edition)*, CRC Press, ISBN 9780849305856.
- Mbeche, S. M. And Omara, T., 2020, Effects of alkali treatment on the mechanical and thermal properties of sisal/cattail polyester commingled composites, *PeerJ Materials Science*, 2, e5.
- Megep, 2014, Doğal lifler, Tekstil Teknolojisi, Ankara. http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Do%C4%9Fal%20Lifler.pdf [Ziyaret Tarihi: 15 Mayıs 2021].
- Merdan, N., Koçak, D. ve Acar, K., 2012, Kenevir liflerinin konvansiyonel ve mikrodalga yöntemine göre maleik anhidrit ile yüzey modifikasyonu, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11 (22), 71-78.
- Mohanavel, V., Raja, T., Yadav, A., Ravichandran, M. and Winczek, J., 2021, Evaluation of mechanical and thermal properties of jute and ramie reinforced epoxy-based hybrid composites, *Journal of Natural Fibers*, 1-11.
- Mohanty, S., Verma, S. K. and Nayak, S. K., 2006. Dynamic mechanical and thermal properties of MAPE treated jute / HDPE composite, *Composites Science and Technology*, 66 (1-3), 538-547.

- Motaleb, K. Z. M. A., Milašius, R. and Ahad, A., 2020, Influence of gamma radiation on mechanical properties of jute fabric-reinforced polymer composites, *Fibers*, 8(9), 58.
- Mukhammad, A. F. H., Nurhadiyanto, D., Hassan, S. A. and Riyadi, T. W. B., 2020, Preliminary study of fragment simulating projectile on epoxy-ramie composite, In *Journal of Physics: Conference Series*, 1446 (1), 1-8, IOP Publishing.
- Mwaikambo, L. Y. and Bisanda, E. T. N., 1999, The performance of cotton kapok fabric polyester composites, *Polymer Testing*, 18 (3), 181-198.
- Neves, A. C. C., Rohen, L. A., Mantovani, D. P., Carvalho, J. P., Vieira, C. M. F., Lopes, F. P., Simonassi, N. T., Luz, F. S. and Monteiro, S. N., 2020, Comparative mechanical properties between biocomposites of epoxy and polyester matrices reinforced by hemp fiber, *Journal of Materials Research and Technology*, 9 (2), 1296-1304.
- Öndürücü, A. ve Muzoğlu, M., 2019, Doğal lif takviyeli kompozitlerin burkulma davranışına deniz suyunun etkisi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23 (1), 30-39.
- Özes, Ç. ve Taşkın, A. E., 2016, Jüt kumaş ve yün keçe esaslı kompozitlerin darbe davranışının belirlenmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 18 (54), 513-520.
- Panigrahi, A., Jena, H. and Surekha, B., 2018, Effect of clams shell in impact properties of jute epoxy composite, *Materials Today: Proceedings*, 5 (9), 19997-20001.
- Radzuan, N. A. M., Tholibon, D., Sulong, A. B., Muhamad, N. and Haron, C. H. C., 2020, Effects of high-temperature exposure on the mechanical properties of kenaf composites, *Polymers*, 12 (8), 1643.
- Raghavendra, G., Kumar, K. A., Kumar, M. H., RaghuKumar, B. and Ojha, S., 2017, Moisture absorption behavior and its effect on the mechanical properties of jute-reinforced epoxy composite, *Polymer Composites*, 38 (3), 516-522.
- Rahman, F., Eiamin, M. A., Hasan, M. R., Islam, M. S., Haque, M. M., Gafur, M. A. and Dhar, S. A., 2020, Effect of fiber loading and orientation on mechanical and thermal properties of jute-polyester laminated composite, *Journal of Natural Fibers*, 1–15. <https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1788485>.
- Rahman, M. Z., 2021, Mechanical and damping performances of flax fibre composites—A review, *Composites Part C: Open Access*, 4, 100081.
- Ranakoti, L. and Rakesh, P. K., 2020, Physio-mechanical characterization of tasar silk waste/jute fiber hybrid composite, *Composites Communications*, 22, 100526.
- Ricciardi, M. R., Papa, I., Lopresto, V., Langella, A. and Antonucci, V., 2019, Effect of hybridization on the impact properties of flax/basalt epoxy composites: Influence of the stacking sequence, *Composite Structures*, 214, 476-485.

- Saadati, Y., Lebrun, G., Chatelain, J. F. and Beauchamp, Y., 2020, Experimental investigation of failure mechanisms and evaluation of physical/mechanical properties of unidirectional flax–epoxy composites, *Journal of Composite Materials*, 54 (20), 2781–2801.
- Sánchez, M. L., Patiño, W. and Cárdenas, J., 2020, Physical-mechanical properties of bamboo fibers-reinforced biocomposites: Influence of surface treatment of fibers, *Journal of Building Engineering*, 28, 101058.
- Sarıkaya, E., 2019, Doğal fiber takviyeli kompozit üretimi ve mekanik özelliklerinin tespiti, Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı*, Denizli.
- Savaş, M., 2012, Doğal elyaf takviyeli tabakalı karma malzemelerin otomotiv uygulamalarında kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul.
- Seki, Y., 2009, Innovative multifunctional siloxane treatment of jute fiber surface and its effect on the mechanical properties of jute/thermoset composites, *Materials Science and Engineering A*, 508 (1-2), 247-252.
- Selli, F., Seki, Y. ve Erdoğan, Ü. H., 2018, Kompozit üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılabilecek çeşitli hayvansal liflere uygulanan yüzey modifikasyonlarının lif özelliklerine etkisi. *Tekstil ve Mühendis*, 25 (112), 292-302.
- Sinha, A. K., Bhattacharya, S. and Narang, H. K., 2021, Abaca fibre reinforced polymer composites: a review, *Journal of Materials Science*, 56 (7), 4569–4587.
- Sinha, A. K., Narang, H. K. and Bhattacharya, S., 2017, Mechanical properties of natural fibre polymer composites, *Journal of Polymer Engineering*, 37 (9), 879–895.
- Sinha, A. K., Narang, H. K. and Bhattacharya, S., 2018, Evaluation of bending strength of abaca reinforced polymer composites, *Materials Today: Proceedings*, 5 (2), 7284-7288.
- Sinha, A. K., Narang, H. K. and Bhattacharya, S., 2020, A fuzzy logic approach for modelling and prediction of mechanical properties of hybrid abaca-reinforced polymer composite, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 42 (6), 1–11.
- Siva, R., Kesavaram, B., Martin, J. J., Mathiselvan, G., Navas, K. B. and Sangeetha, M., 2021, Mechanical behavior of sisal and banana fiber reinforced hybrid epoxy composites, *Materials Today: Proceedings*, 44, 3692-3696.
- Sivakandhan, C., Murali, G., Tamiloli, N. and Ravikumar, L., 2020, Studies on mechanical properties of sisal and jute fiber hybrid sandwich composite, *Materials Today: Proceedings*, 21, 404-407.

- Summerscales, J., Dissanayake, N. P. J., Virk, A. S. and Hall, W., 2010, A review of bast fibres and their composites. Part 1 – Fibres as reinforcements, *Composites: Part A*, 41, 1329-1335.
- Sur, G., 2008, Karma takviyeli alüminyum matriksli kompozitlerin üretimi, mekanik özellikler ve işlenebilirliğin incelenmesi, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı*, Ankara.
- Şahin, A. Ş. ve Sayer, S., 2020, Doğal lif takviyesinin poliolefin bazlı hibrit kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26 (4), 605-612.
- Şahin, B. G., 2010, Hidroksiapatit katkılı yapay kemik kompozitlerin mekanik özelliklerine bağlayıcı ajanların etkileri, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul.
- Şahin, Y., 2006, Kompozit malzemelere giriş: Kompozit – nanokompozit malzemeler ve istatistiksel modeller oluşturulması, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Tsai, S. W. and Hahn, H. T., 1980, Introduction to Composite Materials (2nd Edition). Routledge. <https://doi.org/10.1201/9780203750148>.
- Udhayasankar, R. and Karthikeyan, B., 2015, A review on coconut shell reinforced composites, *International Journal of ChemTech Research*, 8 (11), 624-637.
- Vasiliev, V. V. and Morozov, E. V., 2001, Mechanics and analysis of composite materials, Elsevier, ISBN:0-08-042702-2.
- Venkatesan, K. and Bhaskar, G. B., 2020, Evaluation and comparison of mechanical properties of natural fiber abaca-sisal composite, *Fibers and Polymers*, 21 (7), 1523–1534.
- Vinod, A., Tengsuthiwat, J., Gowda, Y., Vijay, R., Sanjay, M. R., Siengchin, S. and Dhakal, H. N., 2022, Jute/Hemp bio-epoxy hybrid bio-composites: Influence of stacking sequence on adhesion of fiber-matrix, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 113, 103050.
- Wang, H., Memon, H., Hassan, E. A. M., Miah, M. S. and Ali, M. A., 2019, Effect of jute fiber modification on mechanical properties of jute fiber composite, *Materials*, 12 (8), 1226.
- Yalçın, R., 2020, Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozları ile küllerinin karakterizasyonu ve kompozit özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı*, Batman.
- Yıldızhan, H., 2008, Polimer matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı*, Isparta.

- Yogeshwaran, S., Natrayan, L., Udhayakumar, G., Godwin, G. and Yuvaraj, L., 2021, Effect of waste tyre particles reinforcement on mechanical properties of jute and abaca fiber-epoxy hybrid composites with pre-treatment, *Materials Today: Proceedings*, 37 (Part 2), 1377–1380.
- Yöney, H., Yükseloğlu, S. M., ve Demirel, H., 2008, Keten lif takviyesinin vinilester matrisli kompozitlerin darbe mukavemeti üzerindeki etkisinin incelenmesi, *II. Ulusal Polimer Bilim ve Teknolojisi Kongresi ve Sergisi*, Şanlıurfa, Türkiye.
- Zainudin, Z., Yusoff, N. I. S. M. and Wahit, M. U., 2020, Characteristics of continuous unidirectional silk fibre reinforced epoxy composites, *Journal of Advanced Research in Materials Science*, 69 (1), 16-28.
- Zor, M., 2022, *Kompozit malzeme mekaniği ders notları* [online], DEU Makine Mühendisliği Bölümü, <http://mehmetzor.com>, *Kompozit malzemeler hakkında genel bilgiler*, <https://drive.google.com/file/d/14zGodTZKhdbmsFA3PFyViOKqURM4uKMv/view> [Ziyaret Tarihi: 30 Haziran 2022].

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Özlem KELEŞ
Uyruğu : T.C.

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Üniversite	: Karabük Üniversitesi, Karabük	2019
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi, Batman	
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
-----	-------	--------

UZMANLIK ALANI : Malzeme ve İmalat

YABANCI DİLLER : İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR