

T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİLİĞİ ANA BİLİM DALI



KENEVİR LİFİ TAKVİYELİ EPOKSİ MATRİSLİ
KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

BUKET ATASAYAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DR. ÖĞR. ÜYESİ ÖZKAN ESKİ

NİSAN - 2023
KASTAMONU

TEZ ONAYI

Buket ATASAYAR tarafından hazırlanan “**KENEVİR LİFİ TAKVİYELİ EPOKSİ MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı **07.04.2023** tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Dr. Öğr. Üyesi Özkan ESKİ Kastamonu Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Serkan ISLAK Kastamonu Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Harun ÇUĞ Karabük Üniversitesi	

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Enstitü Müdürü V.

Doç. Dr. Osman ÇİÇEK

.....

TAAHHÜTNAME

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu; ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.

Buket ATASAYAR

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KENEVİR LİFİ TAKVİYELİ EPOKSİ MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

BUKET ATASAYAR

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
DANIŞMAN:DR. ÖĞR. ÜYESİ ÖZKAN ESKİ

Bu çalışmada sürdürülebilir doğal lif çeşidi olan kenevir liflerinin, kompozit malzeme üretimlerinde alternatif takviye elemanı olarak kullanılabilme ve farklı açılı dizilimlerinin malzeme mukavemet değerlerini değiştirme durumu incelenmiştir. Dokunmamış halde temin edilen kenevir lifleri eşit ebatlarda boyutlandırılarak 20x20 cm'lik hazırlanan kalıp içerisine 90°, 60° ve 45° açılarla dizilip, epoksi matris malzemesi ile beslenmesi sağlanmıştır. Toplamda 4 kat olup ve her katı bir önceki katın tersi açı ile serilen numuneler, epoksi matrisle birleştirilip basınç altında sıkıştırılmışlardır. Sıkıştırılma işlemleri biten numuneler bir gün boyunca açık havada sertleşmeye bırakılmışlardır. Kompozit malzeme üretimlerinde yaygın kullanıma sahip olan karbon elyaf lifleri de bu çalışmada kullanılarak kenevir liflerin karbon elyaf ile takviyelendirilmesi sonucu numunelerin sergiledikleri performanslar çalışma içerisinde analiz edilmiştir. Açılar ve serim yöntemleri aynı kalmak koşuluyla karbon elyafın takviye edilmesiyle üretilen sandviç kompozit numuneler, basınç altında preslenmiş ve açık havada sertleşmeye bırakılmışlardır. Bu numunelerin yanında atık kenevir liflerinin değerlendirilmesi bazında 1 cm ve 2 cm şeklinde boyutlandırılan lifler de sadece kenevir lifi ve karbon elyaf kullanılarak aynı yöntemle üretilmişlerdir. Üretilen numunelere üç nokta eğme ve darbe testi yapılmıştır. ASTM D790 standartlarında numuneler elde edilerek eğilme mukavemetleri tespit edilmiş ve mikroskopik görüntüleri elde edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 90° kenevir lifi+ karbon elyaf numunesinin diğer numunelerden daha yüksek eğilme mukavemeti değeri sergilediği görülmüştür. Sadece karbon elyaf numunesinin eğilme mukavemet değeri, kenevir takviyeli numuneden düşük çıkmıştır. Atık kenevir liflerinin değerlendirilmesi açısından üretilen numunelerin mukavemet değerlerine bakıldığı zaman kenevir liflerinin boyunun kısalması ve karbon elyaf ile takviyelendirilmesi eğilme mukavemet değerlerinde artışa sebep olmuştur. ASTM D256 standartlarına uygun numuneler üretilerek darbe testleri gerçekleştirilmiştir. Darbe testi sonuçlarına göre 45° açılı numunelerde kırılmaların kayma düzlemi üzerinde gerçekleştiği gözlemlenirken, darbe tokluk değerini en yüksek 90° kenevir lifi+ karbon elyaf numunesinin verdiği görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELER: Kenevir lifi, epoksi, karbon elyaf, kompozit

Nisan 2023, 112 Sayfa

ABSTRACT

MSC THESIS

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF HEMP FIBER REINFORCED EPOXY MATRIX COMPOSITES

BUKET ATASAYAR

**KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
SUPERVISOR:ASSIST. PROF. DR. ÖZKAN ESKİ**

In this study, the ability of hemp fibers, which are sustainable natural fibers, to be used as alternative reinforcement elements in composite material production and the change in material strength values of different angle arrangements were investigated. Hemp fibers provided in non-woven form were sized in equal sizes and arranged in a 20x20 cm mold with 90°, 60° and 45° angles and fed with epoxy matrix material. The specimens, which have 4 layers in total and each layer is laid at an angle opposite to the previous layer, are combined with the epoxy matrix and compressed under pressure. After compression, the specimens were left to harden in the open air for one day. Carbon fiber fibers, which are widely used in the production of composite materials, were also used in this study and the performances of the samples were analyzed in the study as a result of the reinforcement of hemp fibers with carbon fibers. The sandwich composite specimens produced by reinforcing carbon fiber with the same angles and lay-up methods were pressed under pressure and left to harden in the open air. In addition to these specimens, fibers sized as 1 cm and 2 cm based on the utilization of waste hemp fibers were produced by the same method using only hemp fiber and carbon fiber. Three-point bending and impact tests were performed on the produced specimens. Specimens were obtained in accordance with ASTM D790 standards, bending strengths were determined and microscopic images were obtained. When the results were examined, it was seen that the 90° hemp fiber + carbon fiber sample exhibited a higher bending strength value than the other samples. Only the flexural strength value of the carbon fiber sample was lower than the hemp reinforced sample. When the strength values of the samples produced in terms of the utilization of waste hemp fibers are examined, the shortening of the length of hemp fibers and reinforcement with carbon fiber caused an increase in flexural strength values. Impact tests were performed by producing specimens in accordance with ASTM D256 standards. According to the impact test results, it was observed that the fractures in the 45° angle specimens occurred on the shear plane, while the 90° hemp fiber + carbon fiber specimen gave the highest impact toughness value.

KEYWORDS: Hemp fiber, epoxy, carbon fiber, composite

April 2023, 112 Page

TEŞEKKÜR

Tez danışmanlığımı üstlenerek çalışma konumun belirlenmesi ve başından sonuna kadar çalışma sürecimin ilerlemesinde bilgisinden ve önerilerinden faydalandığım, yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Dr. Öğr. Üyesi Özkan ESKİ'ye teşekkürlerimi borç bilir, şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmam kapsamında deneysel ve analizsel çalışmalarına imkan sağlayan Kastamonu Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesine, Merkezi Araştırma Laboratuvarı'na teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimimin bilhassa da tez çalışmamın bugünlere kadar gelmesinde her zaman yanımda olup, destekçim ve dayanağım olan sevgili ailem ve eşim Ufuk KARTALCI'ye teşekkür ederim.

BUKET ATASAYAR

Kastamonu, 2023

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ ONAYI	ii
TAAHHÜTNAME	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1.GİRİŞ	1
1.1 Literatür Çalışmaları	2
2.KOMPOZİT MALZEME	13
2.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	15
2.1.1 Matris Malzemeye Göre Sınıflandırılma	15
2.1.1.1 Metal matrisli kompozit malzemeler	16
2.1.1.2 Seramik matrisli kompozit malzemeler	17
2.1.1.3 Polimer matrisli kompozit malzemeler	17
2.1.1.4 Karbon-Karbon kompozit malzemeler	19
2.1.1.5 Nano-Kompozit malzemeler	19
2.1.2 Takviye Malzemelere Göre Sınıflandırılma	20
2.1.2.1 Levhasal kompozit malzemeler	21
2.1.2.2 Fiber takviyeli kompozit malzemeler	22
2.1.2.3 Partikül takviyeli kompozitler	22
2.1.2.4 Tabakalı kompozitler	24
2.1.2.5 Hibrit kompozitler	24
3.KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ	26
3.1 Açık Kalıplama Yöntemleri	26
3.1.1 Elle Yatırma Yöntemi	26
3.1.2 Püskürtme Yöntemi	28
3.1.3 Elyaf Sarma Yöntemi	29
3.1.4 Vakumlu Kalıplama Yöntemi	32
3.1.5 Otoklav Yöntemi	37
3.2 Kapalı Kalıplama Yöntemi	38
3.2.1 Reçine Transfer Kalıplama Yöntemi	38
3.2.2 Pultrüzyon Kalıplama Yöntemi	40
3.2.3 Ekstrüzyon Yöntemi	41
3.2.4 Hazır Kalıplama Yöntemi	43
3.2.4.1 BMC hazır kalıplama	44
3.2.4.2 SMC hazır kalıplama	44
3.2.5 Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi	45
3.2.6 Savurma Yöntemi ile Kalıplama	46
4.KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİMİNDE KULLANILAN DOĞAL LİFLER.....	47
4.1 Tohum Fiberler	48

4.2 Kabuk Fiberler	48
4.3 Yaprak Fiberler	49
4.4 Kamış Fiberler	49
5.BİYOKOMPOZİTLER.....	51
6.DOĞAL LİF TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELER	52
6.1 Kenevir Lifleri	53
6.1.1 Kenevir Liflerinin Yapısı ve Özellikleri.....	55
6.1.1.1 Kimyasal özellikleri.....	55
6.1.1.2 Fiziksel özellikleri	56
6.2 Dünyada Kenevir	56
6.3 Türkiye’de Kenevir.....	58
6.4 Kenevirin Üretimi.....	60
6.5 Kenevir Liflerinin Kompozit Malzemelerde Kullanım Alanları	64
7.DENEYSEL ÇALIŞMA	66
7.1 Deney Malzemeleri.....	66
7.2 Numunelerin Üretim Aşamaları	66
8.BULGULAR VE TARTIŞMA.....	72
8.1 Kompozit Numunelerin 3 Nokta Eğme Testi ve Sonuçları	72
8.2 Kompozit Numunelerin Darbe Testi	79
8.3 Mikroskop Görüntüleri	86
8.4 Numunelerin Yoğunluk Analizleri	94
8.5 Kompozitlerin Eğilme Testleri	97
9.SONUÇ	101
KAYNAKLAR	105
ÖZGEÇMİŞ.....	112

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Takviye türüne göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması	21
Şekil 2.2. Levhasal kompozit malzeme.....	21
Şekil 2.3. Fiber takviyeli kompozit malzeme	22
Şekil 2.4. Partikül takviyeli kompozit malzeme	23
Şekil 2.5. Tabakalı kompozit malzemeler.....	24
Şekil 3.1. Elle yatırma yöntemi gösterimi.....	27
Şekil 3.2. Püskürtme yöntemiyle üretim gösterimi.....	29
Şekil 3.3. Elyaf sarma yöntemi	30
Şekil 3.4. Vakumlu kalıplama yöntemi çalışma mantığı	33
Şekil 3.5. Vakum Torbalama Yönteminin Şematik Gösterimi	33
Şekil 3.6. Etrafindan vakumlanıp reçinenin ortadan verildiği sistem	34
Şekil 3.7. Vakum ve reçine hatlarının karşılıklı yerleştirildiği sistem.....	34
Şekil 3.8. Otoklav yönteminin uygulandığı sistem	38
Şekil 3.9. Otoklav sistemi	38
Şekil 3.10. Reçine transfer kalıplama	39
Şekil 3.11. Pultrüzyon makinesi şematik gösterimi	40
Şekil 3.12. Pultrüzyon yöntemiyle üretilmiş profil detayı	41
Şekil 3.13. Ekstrüzyon yöntemi şematik gösterimi.....	42
Şekil 3.14. Hazır kalıplama yöntemi şematik gösterimi	43
Şekil 3.15. SMC Hazır kalıplama şematik gösterimi	44
Şekil 3.16. Savurma yöntemi ile kalıplama şematik gösterimi.....	46
Şekil 4.1. Jüt liflerinin mikroskop altında x7600 görüntüsü.....	48
Şekil 4.2. Palmiye bitkisi kabuk atığı.....	49
Şekil 4.3. Selülozun mikro yapısı	50
Şekil 6.1. Kenevir bitkisi.....	53
Şekil 6.2. Kenevir bitki türleri	54
Şekil 6.3. Dünya genelinde kenevirin yetiştirme sınırları	58
Şekil 6.4. Türkiye'de kenevir ekim alanları	59
Şekil 6.5. Türkiye'de yıllara göre kenevir lifi ve tohum üretimi.....	60
Şekil 6.6. Kenevir ekim alanlarının 1990 yılı illere göre dağılımı.....	61
Şekil 6.7. Kenevir ekim alanlarının 2000 yılı illere göre dağılımı.....	62
Şekil 6.8. Kenevirin yıllara göre lif için üretimi	62
Şekil 6.9. Kenevirin yıllara göre tohum için üretimi	63
Şekil 7.1. Kenevir liflerinin boyutlandırılması	66
Şekil 7.2. Üretilen kenevir lifleri numuneleri; a) 90° açılı numune, b) 60° açılı numune, c) 45° açılı numune	67
Şekil 7.3. Numune üretimi; a) Karbon elyaf malzemesi, b) Karbon elyafın takviyesiyle üretilen sandviç yapıdaki kompozit numune	68
Şekil 7.4. a) Kırpık kenevir liflerinin rastgele serimi, b) Kırpık kenevir liflerinin epoksi uygulanması sonucu üretilen numune.....	69
Şekil 7.5. a) Hazırlanan numuneler, b) Zımparalanan numuneler	70
Şekil 7.6. Zımpara makinesi.....	70
Şekil 7.7. Nikon ECLIPSE MA100 marka mikroskop	71
Şekil 8.1. Üç nokta eğme deneyinin gösterimi	72

Şekil 8.2. a) Üç nokta eğme makinesi, b) Eğme işlemi başlayan numune	73
Şekil 8.3. Eğme testi uygulanan numuneler	73
Şekil 8.4. Numunelerin eğme grafiği	74
Şekil 8.5. Karbon elyaf takviyeli 1. numunelerin eğme grafiği	75
Şekil 8.6. Düşük basınç altında kırpık liflerin eğme grafiği	76
Şekil 8.7. 2. Numunelerin eğme grafiği	77
Şekil 8.8. Karbon elyafla takviyelendirilmiş 2. numunelerin eğme grafiği	77
Şekil 8.9. Yüksek basınç altında kırpık liflerin eğme grafiği	78
Şekil 8.10. Farklı basınç altında karbon elyafın eğme grafiği	79
Şekil 8.11. Charpy darbe cihazı	79
Şekil 8.12. Darbe testi uygulanmış numunelerin kırık yüzey görüntüleri	85
Şekil 8.13. 90° Kenevir liflerinin mikroskopik görüntüsü	86
Şekil 8.14. 90° Kenevir liflerinin iç yapı görüntüsü	86
Şekil 8.15. 90° Kenevir lifi+Karbon elyaf mikroskopik görüntüsü	87
Şekil 8.16. Kenevir lifi+ Karbon elyafın iç yapı görüntüleri	87
Şekil 8.17. 60° Kenevir lifleri mikroskopik görüntüsü	88
Şekil 8.18. 60° Kenevir lifi+Karbon elyaf mikroskopik görüntüsü	88
Şekil 8.19. 60° Kenevir lifi+ karbon elyaf iç yapı görüntüsü	89
Şekil 8.20. 45° Kenevir lifi mikroskopik görüntüsü	89
Şekil 8.21. 45° Kenevir lifi iç yapı görüntüsü	89
Şekil 8.22. 45° Kenevir lifi+Karbon elyaf mikroskopik görüntüsü	90
Şekil 8.23. 1 cm kırpık kenevir görüntüsü	90
Şekil 8.24. 1 cm kırpık kenevir liflerinin iç yapı görüntüleri	91
Şekil 8.25. 1 cm Kenevir lifi+Karbon elyaf mikroskopik görüntüsü	91
Şekil 8.26. 2 cm kırpık kenevir lifleri mikroskopik görüntüsü	92
Şekil 8.27. 2 cm Kenevir lifi+ Karbon elyaf mikroskopik görüntüsü	92
Şekil 8.28. Karbon elyaf mikroskopik görüntüsü	93
Şekil 8.29. Karbon elyaf iç yapı görüntüsü	93
Şekil 8.30. Kenevir lifi numunelerinin eğilme mukavemeti değerleri	97
Şekil 8.31. Kenevir lifi numunelerinin eğilme mukavemeti değerleri	98
Şekil 8.32. Numunelerin uzamaları a) Açılı numuneler, b) Kırpık numuneler	98
Şekil 8.33. Kenevir lifi numunelerinin eğilme modülü değerleri	99
Şekil 8.34. Kırpık kenevir lifi numunelerinin eğilme mukavemeti değerleri	100

TABLolar DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Doğal liflerin özellikleri.....	14
Tablo 2.2. Doğal lifli kompozitlerin kullanım alanları	15
Tablo 4.1. Doğal liflerin kimyasal bileşenleri.....	50
Tablo 6.1. Dünya tohum üretim amaçlı kenevir üretim miktarı	56
Tablo 6.2. Dünya tohum üretim amaçlı kenevir ekim alanı.....	57
Tablo 6.3. Dünya tohum dışı kenevir üretim miktarı.....	57
Tablo 6.4. Dünya tohum dışı kenevir ekim alanı	57
Tablo 6.5. Seçilmiş yıllara göre kenevir üretimi (ton).....	64
Tablo 8.1. 1. Numunelerin eğme testi sonuçları	74
Tablo 8.2. 2. Numunelerin eğme testi sonuçları	76
Tablo 8.3. Numunelerin darbe tokluk değerleri	80
Tablo 8.4. 1. ve 2. numunelerin gözeneklilik oranları	93
Tablo 8.5. Kompozit numunelerinin (1.Numuneler) yoğunluk ve mekanik özellikleri.....	94
Tablo 8.6. Kompozit numunelerinin (2. Numuneler) yoğunluk ve mekanik özellikleri.....	95
Tablo 8.7. Numunelerdeki kenevir lifi yoğunlukları	96
Tablo 8.8. 1. Numunelerin yoğunluk ve yüzde gözeneklilik değerleri.....	96
Tablo 8.9. 2. Numunelerin yoğunluk ve yüzde gözeneklilik değerleri.....	96

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Ti	: Titanyum
Al	: Alüminyum
Fe	: Demir
Mo	: Molibden
Co	: Kobalt
Ni	: Nikel
Nb	: Niyobyum
W	: Tungsten
P	: Kuvvet
L	: Parça Uzunluğu
Al₂O₃	: Alüminyum Oksit
Si₃N₄	: Silisyum Nitrür
SiC	: Silisyum Karbür
NaOH	: Sodyum Hidroksit
MgO	: Magnezyum Oksit
Cr	: Krom
TiO₂	: Titanyum Dioksit
c	: Nötral eksenenden kesitin uç noktasına olan uzaklık
I_x	: Atalet Momenti
M_e	: Eğilme Momenti
ρ_{deneyssel}	: Deneyssel yoğunluk
ρ_{teorik}	: Teorik yoğunluk
ρ_b	: Bağıl yoğunluk

Kısaltmalar

MMK	: Metal Matrisli Kompozit
SMK	: Seramik Matrisli Kompozit
PMK	: Polimer Matrisli Kompozit
CCC	: Karbon-Karbon Kompozit
RTM	: Reçine Transfer Kalıplama
PP	: Polipropilen
PVC	: Polivinilklorür
PS	: Polistiren
PA	: Naylon
PE	: Polietilen
PHA	: Polihidroksialkanoat
PHB	: Polihidroksibütirat
THC	: Tetrahidrokanabinol
KL	: Kenevir Lifi

KE	: Karbon Elyaf
FTIR	: Fourier-transform kızılötesi spektroskopisi
XRD	: X-Işını Difraktometresi
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
XPS	: X-ışını fotoelektron spektroskopisi
CNT	: Karbon Nanotüp



1. GİRİŞ

Günümüzde endüstriyel ihtiyacın büyük bir bölümünü kompozit malzemeler oluşturmaktadır. Kompozit malzemeler, iki ya da daha fazla malzemenin birbiri içerisinde çözünmeden bir araya getirilmesi ile oluşan malzeme çeşididir. Kompozit malzemeler genel olarak takviye malzeme, matris malzeme ve dolgu malzemelerinin bir araya gelmesiyle oluşurlar. Kullanım alanlarının yaygın ve çeşitli olmasından dolayı kompozit malzemeler bir hayli önem taşımaktadır. Bu sebepten dolayı kompozit malzemelerin etkinliğinin artırılması, performanslarının detaylı analiz edilmesi ve ihtiyaç duyulan kullanım alanlarına göre çeşitli malzemelerle takviyelendirilebilmeleri amaçlanmaktadır. Sadece kompozit malzemelerin yaygın kullanılması değil aynı zamanda ekolojik anlamda çevremizin ve dünyanın yaşadığı sıkıntılar da göz önünde bulundurulduğu zaman doğaya zararı çok olup maliyeti yüksek olan petrol türevli takviye elemanları yerine mevcut ve dönüştürülebilir kaynakların takviye elemanı olarak kompozit malzeme üretimlerinde kullanılması gelişim göstermekte olan çeşitlenmenin en büyük etkenlerindendir.

Kompozit malzeme kullanımının yaygın olmasından dolayı karbon fiber ve cam fiber gibi sentetik fiberlerden üretilen kompozitlerin yanı sıra, günümüzde hızla gelişim gösteren keten, jüt, sisal, kenaf, kendir gibi doğal fiberler kullanılarak üretilen kompozitlerin kullanım yaygınlığı artmaktadır. Bu malzemeler arasında özellikle kenevir takviyeli kompozitler mekanik ve fiziksel özellikleri bakımından endüstride kullanıma daha fazla yakınlık gösterirler. Üretiminin belirli dönemlerde ve kontrol altında yapıldığı kenevir, ekonomik ve çevresel katkıları göz önünde bulundurulduğu zaman mühendislik alanlarının yanı sıra çeşitli kullanım alanlarına da kaynak sağlamaktadır. Bitkisel fiberler geri dönüştürülebiliyor olmaları, doğada biyolojik olarak parçalanabiliyor olmaları, maliyetlerinin az olması, yenilenebilir kaynaklar olmaları, düşük yoğunluğa sahip olmaları ve yüksek dayanım özellikleri göstermeleri gibi bazı avantajlarından dolayı son zamanlarda popüler malzemeler arasına katılarak, kompozit malzemelerde alternatif takviye elemanı kategorisinde yer almaya başlamışlardır. Özellikle endüstriyel alanda yoğun olarak kompozit üretiminde kullanılan doğal lifler üzerine yapılan araştırmalar, liflerin farklı alanlarda kullanımına

olarak sağlayacak özellikler içerdği, kullanım alanları ve koşullarına göre bazı sentetik liflere kıyasla daha üstün performanslar sergilemeleri gibi olumlu yönlerinin yanı sıra, doğal liflerin kompozit malzemelerde takviye madde olarak kullanımını sınırlandırabilecek olumsuz yanları da mevcuttur. Doğal liflerin termoset matris malzeme ile kullanımı sırasında karakterizasyonlarında zayıflıklar görülmesi, bazı mekaniksel özelliklerinin beklenen performans seviyelerine ulaşamaması, başta kenevir lifleri olmak üzere diğer doğal liflerin de kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılmasını sınırlandıran olumsuz etkenlerdendir. Karşılaşılan bu sıkıntıların üretim yöntemlerine, kullanılan malzemelere veya işlem adımlarına bağlı olarak gelişip gelişmediği doğal liflerin kompozit malzemelere kazandırılması aşamasında üzerinde çalışılması gereken bir husustur.

Kullanılan termoset malzeme çeşitliliği veya numune hazırlama yöntemlerinin farklılık göstermesi gibi nedenlerden dolayı kompozit malzemenin mukavemeti, üretilebilirliği ve performanslarını etkileyen mekaniksel özellikleri bakımından zayıf performans sergileyebilen kenevir takviyeli kompozit malzemelerin bahsi geçen özellikleri bakımından iyileştirilmesi ve geliştirilmesi, ülkemizin ve dünyanın temel sorunu olan küresel ısınmanın bir nebze de olsa önüne geçebilmek, mevcut endüstriyel ihtiyaçları karşılayabilmek ve ekonomik açıdan destek noktası oluşturabilmek adına son derece önem taşıyan bir konudur.

Bu tezde yukarıda anlatılan olumsuz gelişmelere sebep olabilecek noktaların tespit edilmesi, alternatif ve sürdürülebilir doğal kaynaklı malzeme arayışı içerisinde bulunan bu dönemde, yaygın kullanıma sahip olan sentetik liflerin kullanımını azaltabilmek amacıyla kenevir lifi takviyeli kompozitlerin epoksi matris kullanılarak, elle yatırma yöntemi ile numunelerin üretilmesi ve üretilen numunelerin mekaniksel özelliklerinin araştırılması hedeflenmektedir.

1.1 Literatür Çalışmaları

Çoğu endüstri alanında olduğu gibi plastik malzeme üretim sektörünün de ürettikleri malzemelerde performansa bağlı özelliklerin daha üst seviyelere çıkarılması amacıyla, malzeme üretimlerinde ağırlıklı olarak kullanmış oldukları kalsiyum, mika, talk, cam

fiberler ve karbon fiberler gibi inorganik malzemelerin yerine doğal lifler kullanılarak plastik kompozit malzeme üretiminin geliştirilebilirliği üzerine Çavdar vd. (2016), araştırmalar yapmış, çalışmaları doğrultusunda doğal liflerin plastik kompozit malzemelerde kullanılabilirliğini deneyimlemişlerdir.

Mishra vd. (2003), kenevir, kenaf, keten, hint keneviri gibi doğal liflerin termoset veya termoplastik malzemelere katılarak elde edilen malzemelerin yapı sektörü, ulaşım ve paketleme sektörlerinde geniş kullanım alanlarına sahip olabileceği ve cam elyaf-doğal liflerin takviyelendirilmesi ile elde edilen hibrit kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini incelemek üzere araştırmalar yapmıştır. Araştırmaları neticesinde doğal liflerin, kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılması sonucunda araştırılan sektörler bazında alternatif, kullanıma uygun malzeme üretimine katkı sağlayabileceklerini göstermişlerdir.

Ramesh vd. (2016), yapmış oldukları çalışmada kenevir lifi ve cam elyafını kullanarak kompozit malzeme üretilip, mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Lifler 0° ve 90° açılarla dizilmiştir. Üretilen numunelere çekme, üç nokta eğme ve darbe testleri yapılarak mekanik özellikleri incelenmiştir. Çekme testi uygulanan 90° açılı numunelerde çekme mukavemet değeri 69,82 MPa olarak hesaplanırken 0° açılı numunede 49,27 MPa hesaplanmıştır. Üç nokta eğme testine göre 90° açılı numune 162,56 MPa eğilme mukavemeti gösterirken 0° açılı numune 164,35 MPa eğilme mukavemeti göstermiştir.

Doğal liflerin ilerleyen dönemlerde geniş kullanım alanlarına yayılabileceğini ön gören Göre vd. (2021), düşüncelerinde haklı çıkmıştır. Brezilya'da bulunan Mercedes Benz firması 1992 yılında ABD'den 1,4 milyon dolar destek alarak kenevir lifi üretimine yatırım yapmıştır. 2002 yılına gelindiğinde ise bitkisel esaslı kompozit malzeme üretim değerinin 775 milyon dolar olduğu, Avrupa ve Kuzey Amerika'da üretim miktarının ise 685 bin tona yükseldiğini yapmış oldukları çalışmayla gözler önüne sermiş ve doğal lif olan kenevir liflerinin sahip oldukları potansiyelin büyüklüğüne de dikkat çekmeye çalışmıştır.

Kenevir liflerinin ısıya karşı dayanım özelliklerini baz alarak izolasyon malzemesi üretimi üzerine çalışmalar yapan Freivalde vd. (2014), doğal liflerin yanıcılık özellikleri üzerine bir araştırma yapmıştır. Yanıcılık özellikleri kısıtlı olan ve doğal liflerin takviye edilmesiyle üretilen kumaşların geliştirilebilirlikleri kenevir, keten, yün gibi doğal liflerin kullanıma katılması ile nasıl değişebileceğini araştırmışlardır. Kenevir liflerinin ısı iletim performansının iyi olması, kumaşa artı değer katmış ve kenevir katkısıyla üretilen kumaş malzemelerin ısı işlemlere karşı daha fazla direnç gösterebildiğini açıklamıştır.

Alternatif kompozit malzeme üretiminde takviye elemanı olarak kenevir liflerinin kullanılması ile numune üreterek, kompozit numunelerin çekme özelliklerini inceleyen Neves vd. (2018), yaptıkları çalışmada farklı oranlarda kenevir lifleri kullanmışlardır. %0; %10; %20 ve %30 oranlarında kenevir lifleri kullanılarak kompozit numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler çekme testlerine tabi tutularak numunelerin elastik modül ve çekme mukavemeti değerleri hesaplanmıştır. Kenevir lifi miktarlarının artması kompozit malzemenin mukavemet değerlerinde artmalara sebep olmuştur. Üretilen numuneler içerisinde elastiklik modülü en yüksek %30 oranında kenevir lifi içeren numunede saptanmıştır.

Clemons (2002), yaptığı çalışmalar sonucunda doğal lif takviyeli kompozitlerin kullanım alanlarının tarihsel gelişim sürecinde çeşitlenmesine katkısı olan bazı içerikleri açıklayabilmek için araştırmalar yapmıştır. Melamin formaldehit ve fenol formaldehit esaslı olarak üretilen kompozitler, 20. yüzyılın başlarında elektrik yalıtımının gerekli olduğu alanlarda kullanılan kompozit türleri olmuşlardır. Otomotiv sektöründe, araçların koltuklar başta olmak üzere birçok iç kısım parçalarında kullanılan ve hindistan cevizi lifleri ile odun ununun harmanlanması ile elde edilen ve adına polipropilen kompozit denilen malzemeler 1960'lı yıllarda sık tercih edilen malzemeler olarak kullanılmıştır. 1990'lı yıllara gelindiğinde ise doğal lifler bünyesinde bulunan kenevir lifleri ile kompozit malzeme üretimi çeşitlenmiştir. Clemons, yaptığı araştırmalar sonucunda fiber kompozit malzemelerin gelişim süreçlerini incelerken, bu süreç içerisinde kenevir liflerinin hızla gelişimine dikkat çekmek istemiştir.

Kenevir liflerinin çekme kuvvetlerine karşı gösterdikleri dayanımları, cam elyaflarla eşit seviye değerlerine getirebilmek ve kenevir liflerinin termoset matris malzemeler içerisinde dolgu malzemesi olarak kullanılması ve geliştirilmesi sayesinde, kenevir liflerinin mobilya imalat sektöründe alternatif malzeme olarak kullanılabilmesi üzerine araştırmalar yapan Mutje vd. (2007), kenevir liflerinden faydalanarak mobilya sektörüne avantajlı, alternatif malzemeler üretilebileceğini göstermeye çalışmışlardır. Takviye elemanı olarak boyları uzun kenevir lifleri kullanılırken matris malzeme olarak epoksi reçinenin kullanılması sonucu doğal lif takviyeli kompozit malzeme geliştirilmiştir. Bu malzemelerin tabi tutulan eğme testleri sonuçlarında mukavemet değerlerinin oldukça yüksek çıkması, kenevir liflerinin boyları göz önünde bulundurulmak koşuluyla mobilya üretim sektöründe performansı güzel alternatif bir malzeme olarak tercih edilebilmelerine olanak sağladığı Mutje'nin yapmış olduğu çalışmasında açıklık kazanmıştır.

Kenevir lifleri ile takviyelendirilerek üretilen kompozit malzemelerin, kenevir liflerinin işlem görmüş ve işlem görmemiş lifler şeklinde üretilmeleri durumunda ne gibi özellikler sergileyebileceklerini yaptıkları çalışma ile açıklamak isteyen Kaya vd. (2020), çalışmaları sonucunda aradıkları cevapları bulmuşlardır. Kenevir liflerinin alkali işleme tabi tutulması ile üretimi gerçekleşen kompozit malzemelerin, işlem görmemiş kenevir lifleri ile üretilen malzemelere kıyasla yapılan eğme testlerinde daha iyi performanslar sergilediklerini gözlemlemişlerdir. Alkali işlem sonrasında kenevir liflerinin kompozit malzemeye olumlu özellikler kazandırdığını ve kompozit malzemelerin üretim aşamalarında matris malzeme olarak epoksi reçinelerin kullanılmasının kompozit malzemeye dayanım noktasında olumlu özellikler kazandırdığını tespit etmişlerdir.

Tserki vd. (2005), yaptıkları çalışmalarda, selüloz, lignin ve hemiselüloz maddelerinin bir araya gelerek oluşturdukları sert yapı olan lignoselülozun, farklı özelliklere sahip türevleri üzerinde katalizörü olmayan bir matris malzeme ile maliyeti az ve doğa dostu alternatif malzeme üretiminin mümkün olabilirliğini araştırmışlardır. Kenevir, keten, odun lifleri gibi lifler lignoselüloz özelliğe sahip olan lif çeşitleridir. Tserki ve arkadaşları bu lifleri eşleştirerek Fourier-transform kızılötesi spektroskopisi (FTIR), X-Işını Difraktometresi (XRD), Taramalı elektron mikroskopu (SEM) ve X-ışını

fotoelektron spektroskopisi (XPS) kullanarak araştırmalarda bulunmuşlardır. Yaptıkları alışmalar sonucunda, birleştirilen liflerin i bileşenleri incelenmiş, i yapılarında bulunan ester oranının, liflerdeki lignin/hemiselüloz oranına bağlı olarak değiştiğini göstermişlerdir.

Manaia vd. (2019), yaptıkları çalışmada, son yıllarda hızla artış gösteren doğal liflerin sağlamış oldukları pek çok faydanın yanı sıra doğal liflerin kullanımının artmasına sebep olabilecek bir diğer önemli faydasının da az miktarda enerjiye ihtiyaç duyuyor olmaları olduğunu göstermek istemişlerdir. Bu doğrultuda yaptıkları çalışmalar sonucunda kenevir lifi, karbon elyaf ve cam elyaf kullanarak kıyaslamalar yapmışlar, bu kıyaslamalar sonucunda ise kenevir lifinin ve diğer doğal liflerin karbon elyaflar ve cam elyaflara göre üretim aşamalarında kullanılan enerjinin %60 oranında daha az olduğunu tespit etmişlerdir.

Lei vd. (2007), ise yaptıkları çalışmalar sonucunda doğal liflerin uygulama alanlarında tercih edilme özelliklerinin arasına bir yenisini daha eklemişlerdir. Kompozit malzeme formuna getirilen doğal lifler, üretildikleri malzemelere yüksek dayanım özellikleri sağlayabilmektedirler. Buna ek olarak kompozit malzemelerin doğaya ve insan sağlığına zarar vermeyecek özelliklere sahip olması da doğal liflerin kompozit malzemelerin üretiminde önemli bir yere sahip olduğunu göstermiştir.

Madsen vd. (2007), bitki liflerinden elde edilen ipliklerin sahip oldukları mukavemet değerlerini arttırabilmek için ipliklerin etrafında sarılı halde bulunan çok sayıda iplikçikler olduğunu söylemişlerdir. Jüt, kenevir, pamuk, keten gibi doğal liflerin ipliklerini kıyasladıkları zaman kenevir liflerinin daha iyi mekanik özellikler sergilediğini gözlemlemişlerdir. Tekstil sektöründe kullanılmalarının yanı sıra kenevir lifi iplikleri, kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılması durumunda iplik yapılarında gelişen değişimler incelenmiştir. Farklı zamanlarda temin edilen kenevir iplikleri incelenmiş ve bu incelemeler sonucunda kenevir lifi ipliklerinin kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılması durumunda ipliklerin yüksek mukavemet değerleri sergilediklerini göstermişlerdir.

Kostic vd. (2008), yapmış oldukları çalışmada, çözünmez tuz bileşeni olan Na⁺ maddenin fazla birikerek meydana getirdiği solonizasyon etkisi altında kenevir liflerin nasıl özellikler sergilediklerini incelemişlerdir. Bu çalışmada kenevir lifleri zaman aralıkları ve ortam sıcaklıkları farklı olmak şartıyla sodyum hidroksit çözeltisiyle temas edecek durumda bırakılmışlardır. Bu yöntemle kenevir liflerinin suya toleransları, mekanik performansları, kimyasal bileşenleri gibi özellikleri incelenmiştir. Elde edilen bulgular sonucunda ise kenevir liflerinin kimyasal bileşenlerinden olan lignin maddesinin miktarı azaltılarak liflerin esneklik özelliklerinde iyileştirilmeler yapılabileceğini göstermişlerdir.

Stankovic (2008), çalışmasını tekstil endüstrisinde kenevir lifinden elde edilen ipliklerin, üretilen malzemeleri ne kadar baskıladıkları üzerine incelemeler yaparak gerçekleştirmiştir. Kenevir/ filament iplikler, ürünlerin örülmesi ile üretimi aşamasında oluşan baskılamayı azaltabilmek için kenevir liflerinin hangi özelliklerinin değiştirilmesi gerektiği üzerine gözlemlerde bulunmuştur.

Ashori (2008) ve Hill vd. (2012) çalışmalarında, Ford ile beraber Fiat, Toyota, Volkswagen, BMW gibi otomobil üreticisi olan firmaların araçlarında koltuk arkalıklarında, motor ve vites kutusu kapağında, tavan döşemelerinde, araç gövde panelinde, bagaj pervaz kaplamasında, radyatör deposu altında, hoparlör gibi bir çok kısmında plastik kompozit olarak Hindistan cevizi, buğday sapları, muz lifleri, kenevir, manila kendiri, sisal ve keten gibi doğal liflerin kullanıldığını göstermiş olup, doğal liflerin kompozit malzemelere yüksek mukavemet özellikleri kazandırdıkları için sektör tarafından tercih edilebilirlik seviyelerinin hızla arttığını göstermişlerdir.

Faruk (2009), yaptığı çalışma ile Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan mevcut otomobil üreticilerinin, üretimini gerçekleştirdikleri araçların yaklaşık olarak 1,5 milyonunda doğal lif olan keten, kenevir, kendir gibi liflerin kullanılarak kompozit malzeme ürettiklerini ve bu malzemelerin araç iç kısımlarının çeşitli bölümlerinde kullanıldıklarını yaptığı çalışma ile göstermiştir.

Neves vd. (2019), yapmış oldukları çalışmada matris malzemenin polyester ve takviye elemanının kenevir lifleri olduğu kompozit numuneler üretmişlerdir. Kompozit

üretiminde kenevir lifleri ağırlıkça %10; %20; %30 olarak kullanılmıştır. ASTM D790 standartlarında üç nokta eğme testi için numuneler hazırlanmıştır. Bu çalışmada takviye elemanı sabit kalmakla beraber matris malzeme polyester ve epoksi arasında değişiklik göstermiştir. Her iki matris malzeme de kullanılarak üretilen numunelerin eğilme dayanımları ve çekme mukavemet değerleri incelenmiştir. İki farklı matris malzemeye üretilen ayrı numunelerin eğilme dayanımlarına bakıldığı zaman epoksi kullanılan numunelerde kenevir liflerinin artması ile dayanım artarken polyesterin kullanıldığı numunelerde kenevir lifinin %20'nin üzerine çıkması mukavemet değerlerinde azalışların olduğunu göstermiştir.

Ariyakuare (2010), çalışması sonucunda, keten, pamuk, ananas, rami, keneviri lifleri gibi doğal lifler ile atık ürün olarak değerlendirilen koza liflerinin birleştirilmesi ile tekstil sektöründe kullanıma uygun iplikler elde edilebileceğini savunmuştur. Nihayetinde çalışması sonucunda üretilen iplikler ve bu iplikler kullanılarak üretilen ürünler, bazı diğer bitki lifleri ile teste tabi tutulmuş ve kozalak liflerinin kopma mukavemetinin yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Kozalağa bu yüksek mukavemet değerini kazandıran en önemli bileşenin kenevir lifi olduğu düşünülmektedir. Bu özelliğinden dolayı kenevir lifleri ile birleştirilen koza liflerinden elde edilen liflerle tekstil endüstrisinde üretime önemli katkılar sağlanabileceği gösterilmiştir.

Shahzad (2011), çalışmasında kompozit malzemelerde kullanılan matris malzemelerin sahip oldukları arayüzey ilişkilerini geliştirmek için bazı değişiklikler yapılabileceğinden bahsetmiştir. Bu amaçla incelenen kenevir liflerinin matris malzeme ile kullanımı lif arayüzeyinde iyileşmeler göstermesine sebep olduğu görülmüştür. Kullanılan matris malzemeye göre değişiklik gösteren arayüzey özellikleri bazı noktalarda gelişmeler göstermiştir. Bu gelişmeler kullanılan doğal lifin de bazı özelliklerinin iyileşmesine katkı sağlamıştır. Aynı zamanda Shahzad çalışmasında, kompozit malzemelerde takviye malzeme olarak yaygın kullanıma sahip olan cam fiberlerin, kenevir lifleriyle takviyelendirilerek kullanılmasının malzeme performansına olumlu özellikler kattığını açıklamıştır.

Marrot vd. (2013), yaptıkları çalışmada kenevir liflerinin kullanım alanlarının çeşitlenmesi durumunda oluşabilecek zayıf mekanik özellikler sergilenmesi

durumunda, beklenen performansın yerine getirilebilmesi için ne gibi özelliklerin iyileştirilebileceğini açıklamaya çalışmışlardır. Yaptıkları araştırma kapsamında kenevir lifinin kimyasal yapısı, kenevir sapının özellikleri ve bu parametrelerin kenevir liflerinin kullanıldığı kompozit malzemeye sağladıkları özellikler incelenmiştir. Mekanik özellikleri etkileyen bir parametrenin kenevir liflerinin değişken sertlik değerleri sergiliyor olmaları olduğunu gözlemlemişlerdir. Kenevir liflerinin sertlik değerlerinin sürekli değişiyor olmasının nedenini anlayabilmek için gövde kısımları üzerinde sertlik testleri yapılarak bu olumsuz gelişime açıklama getirilmeye çalışılmıştır.

Richardson vd. (2001), yaptıkları çalışmada kenevir lifinin çeşitli kimyasal bileşenlerinin, kenevir liflerinin sahip oldukları mekanik özelliklere ne gibi katkıları olduğunu araştırmışlardır. Araştırmalarında dokuya sahip olmayan bir yüzey kullanılmış ve meydana gelebilecek değişiklikler not edilmiştir. Kenevirin yüzey ile birleştirilmesiyle kenevirin bileşenlerinin gösterdiği eğilme direnci artmıştır. Kenevir liflerinin enine daha fazla genişlemesi sonucu açık alanların daha az inmesi kenevir kullanılan dokusuz yüzeyin darbelere karşı dayanımını arttırmıştır. Gelişen bu olumlu özellik kapsamında, kenevir liflerinin kullanılmasıyla yapılardaki boşluk oranlarının azalması, bu azalmaya bağlı olarak da kenevir liflerinin dayanımının önemli oranda artabileceği açıklanmıştır.

Seki vd. (2017), yaptıkları çalışmada, kompozit malzemelerde doğal lif takviyelerinin arttırılması amacıyla bitkisel liflerin hem kimyasal hem de fiziksel özellikleri araştırılmıştır. Kompozit malzemelerde yaygın olarak kullanılan doğal lifler arasında bulunan muz lifleri, hindistan cevizi lifleri, kenevir lifleri, sisal, jüt ve ketenin suda çözünebilecek şekilde çeşitlendirilmesi yapılmıştır. Bu işlem aslında doğal lif takviyesi ile üretilen kompozit malzemelerin suya dayanımlarının arttırılması amacıyla yapılmıştır. Liflerin morfolojik yapıları ve kimyasal özellikleri incelenerek bu duruma açıklama getirilmeye çalışılmıştır.

Muneer (2012), bu çalışmasını buğday glüteninin kenevir lifleri ile takviyelendirilmesi ile oluşan kompozitlerin incelenmesi ve geliştirilmesi üzerine yapmıştır. Muneer, yaptığı araştırmada buğday glüteninin kenevir lifleri ile birleştirilmesi ile üretilen

kompozit malzemelerin, kenevir lifi katılmadan elde edilen malzemelere göre daha yüksek mukavemet değerleri sergiledikleri görülmüştür. Buğday gluteni yapısında bulunan gliadin ve glutenin maddelerinin kompozit malzemeye ne gibi özellikler kazandırdığını da araştırılmıştır. Araştırmalar sonucunda gliadin maddesinin kompozit malzemeye az mukavemet çok esneklik özelliğini kattığı görülürken, glutenin malzemeye çok mukavemet az esneklik özelliği katmıştır. Çalışma kenevir liflerinin baskı altında sıkıştırılıp belirli ölçülerde küçültülmesi ve bu parçaların üzerine glutenin ve gliadin maddelerinin toz formda katılması ile başlatılmıştır. Tekrar baskı altında sıkıştırma işlemi gerçekleştirilen parçalar mukavemet özelliklerinin ölçülmesi açısından teste tutulmuşlardır. Test sonuçlarında kenevir lifi ile takviyelendirilerek üretilen kompozit malzemeler daha yüksek mukavemet değerleri vermiştir.

Sullins vd. (2016), yaptıkları çalışmalarda polipropilen kompozit malzemelerin kenevir lifleri ile birleştirilmesi sonucu oluşan yapıya NaOH (sodyum hidroksit) uygulanarak veya polipropilen malzemeye maleik anhidrit malzemesinin eklenmesiyle oluşan polipropilen maddesinin katılması sonucu, kompozit malzemenin mekanik davranışlarında meydana gelebilecek değişiklikler gözlemlenmek istenmiştir. Bu araştırmada amaç, polipropilen matris ile kenevir liflerinin mevcut bağ oluşumunu destekleyerek güçlendirmektir. Yapılan çalışmalar maleik anhidrit polipropilenin kenevir ile kuvvetlendirilmiş formunun gerilme direnci ve eğilme mukavemetinin daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Bhoopathi vd. (2014), yapmış oldukları çalışmada matris malzeme epoksi reçine takviye eleman olarak ise kenevir lifi ve cam elyafı kullanmışlardır. Alternatif kompozit malzeme üretimi konusunda numune üretimleri elle yatırma yöntemi kullanılarak ve 5 kat olacak şekilde epoksi ve kenevir lifleri serilerek üretim gerçekleştirilmiştir. Kompozit numunelerin form kazanması sağlandıktan sonra numuneler eğilme, çekme ve darbe testlerine tabi tutulmuşlardır. Darbe testi değer aralığı 4,99 J ila 5,83 J arasında değişkenlik göstermiştir. Üç nokta eğme testi sonuçları ise 38,47 MPa ile maksimum gerilme değerinin elde edildiği tespit edilmiştir.

Pappu vd. (2019), çalışmalarını kompozit malzeme üretiminde doğal liflerin sağladıkları avantajların yanı sıra sergiledikleri olumsuz özelliklerini irdelemek

amacıyla yapmışlardır. Göstermiş oldukları olumsuzlukların başını ise doğal liflerin neme karşı göstermiş oldukları zaafı çekmektedir. Pappu ve arkadaşları, araştırmalarında kenevir ve sisal lifleriyle polilaktik asidi enjeksiyon kalıplama yöntemini uygulayarak hibrit kompozit malzemeye dönüştürme işlemini incelemişlerdir. Enjeksiyon kalıplama yöntemi kullanılarak, karıştırılmış olan kenevir ve sisal laktik asit esaslı polyester ile üretimi gerçekleştirilerek malzemenin sergilediği davranışlar incelenmiştir. Araştırmalar sonucunda ise neme gösterdikleri ilginin az olması, mukavemetli yapıya sahip olmaları, yoğunluklarının az olması gibi etkenlerden dolayı hibrit kompozitlerin otomotiv sektöründen dekoratif malzeme üretimine kadar farklı kullanım alanlarında kendisine yer bulabileceğini göstermişlerdir.

Corbin vd. (2020), kenevir liflerinin kompozit malzeme üretiminde kullanılması sırasında örülme şekillerinin ve dokunma yöntemlerinin değişik olması gibi durumların malzemeler üzerinde nasıl etkiler doğurabileceğini araştırmışlardır. Bu araştırmada, dokuma şekilleri farklı olan ve elle üretimi gerçekleştirilen bir tezgâh yardımıyla üç çeşit numune kumaş hazırlanmıştır. Dokunan kenevir kumaşlarının epoksi ile birleştirilmesi sonucu belirli ebatlarda numuneler elde edilmiştir. Üretimi yapılan diğer kompozit ise kenevir elyaflarının top halinde reçineye emdirilmesi ile oluşturulmuştur. Çeşitli testlere maruz bırakılan numuneler arasında performansı en iyi çapraz katlı örgü kumaşlarla yapılmış numunenin sergilediğini göstermiştir. Kompozit malzeme üretiminde lif dizilimlerinin, lamine kat sayısının, lif açılarının malzeme performans açısından önemli noktalar olduğunu göstermişlerdir.

Nachippan vd. (2021), yaptıkları çalışmada kenevir liflerinin işlenmiş ve işlenmemiş hallerinin cam elyaflar ile takviyelendirilmesi sonucu oluşan performans özelliklerini incelemişlerdir. Test örnekleri elle yatırma yöntemi uygulanarak üretilmiştir. Örnekler epoksi reçine ile hazırlanmış kompozit malzeme-cam elyaf, işlenmiş kenevir liflerinden oluşan kompozit malzeme-cam elyaf ve işlenmemiş kenevir liflerinden oluşan kompozit malzeme-cam elyaf olacak şekilde oluşturulup darbe, sertlik ve çekme testleri uygulanmıştır. Test sonuçları işlenmemiş kenevir lifleriyle takviyelendirilmiş kompozit malzemelerin diğer numunelere kıyasla darbe

dayanımının daha yüksek olduğunu ve gerilme mukavemet değerlerinin az olduğunu göstermiştir.



2. KOMPOZİT MALZEME

İki veya daha fazla malzemenin bir araya gelmesi ile oluşan yapıya kompozit denir. Makro ölçülerde birleşim sağlayarak oluşan kompozit malzemeler, kolay çeşitlendirilebilmeleri ve kullanım alanlarında sağladıkları avantajlar doğrultusunda birçok mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Fakat bu kullanım alanlarının çeşitli koşulları bir arada bulundurması, malzemelerde birden fazla özelliğin bir arada bulunmasını gerektirmiştir. İstenilen özellikleri tek başına bünyesinde barındıramayan polimerler, farklı özelliklere sahip liflerle farklı oranlarda karıştırılarak kullanım alanlarında malzemenin istenilen özellikler çerçevesinde adaptasyon sağlamaları amaçlanmıştır.

Mühendislik malzemelerine bakıldığı zaman, bir malzemenin kullanım alanına ve şartlarına göre dayanıklı olması, tok davranış göstermesi, gerekli durumlarda esnek olabilmesi, estetik bir görünüm sağlayabilmesi, zamana bağlı meydana gelen yorulmalara karşı direnç gösterebilmesi, darbelere karşı dayanımlarının yüksek olması gibi birçok özelliği bir malzemede bulabilmek oldukça düşük ihtimaldir. Meydana gelen bu gibi sorunları giderebilmek, ihtiyaçları karşılayabilmek amacıyla kompozit malzemelerin üretimi hızlı bir şekilde yaygınlık kazanmıştır. Kendisini meydana getiren malzemelerden tamamen farklı özelliklere sahip olan kompozit malzemeler, matris malzeme ve takviye malzeme adı verilen iki ana bileşenin bir araya gelmesi ile oluşmaktadır. Kompozit malzemelerin hafifliği, ısı ve elektrik iletkenliği, ekonomikliği gibi durumlar değerlendirildiği zaman kompozit malzemenin takviye elemanının seçimi gerçekleştirilirken, matris malzeme ise yapıya katılan liflerin korozyon dirençleri, darbelere karşı dayanımları, yük karşısında oluşabilecek gerilimi iletebilmeleri gibi özelliklerin değerlendirilmesi sonucu seçilebilmektedir (Kaya, 2016).

Birçok bileşenle çeşitlendirilebilecek olan kompozit malzemeler oldukça geniş alanlarda kullanılmaktadırlar. Otomotiv sektörü başta olmak üzere, havacılık sektörü, savunma sanayii, inşaat sektörü, sağlık sektörü, rüzgar türbinleri, raylı sistemler ve spor ekipmanları gibi birçok alanda kullanılmaktadırlar. Geniş kullanım alanlarına

sahip olan kompozit malzemelerin üretiminde, takviye malzeme olarak karbon elyaf, aramid ve cam elyaf gibi sentetik lifler sıklıkla kullanılmaktadır. Ana görevi, tasarımı gerçekleştirilen malzemenin şeklini koruyarak bir arada tutmak ve bir darbe karşısında oluşabilecek olan hasarı minimize ederek, darbenin etkisini dağıtmak olan matris ise kullanım koşullarına göre polimer, seramik ve metal malzemelerden oluşabilmektedir. Geniş kullanım alanlarına sahip olan kompozit malzemeler gerek yasal düzenlemeler neticesinde gerekse doğa dostu nitelikte olmaları bakımından son yıllarda doğal liflerle takviyelendirilmiş kompozit malzemeler üzerine yapılan araştırmalar artmıştır. Doğal lifler bitki, hayvan veya minerallerden elde edilebilen liflerdir. Hayvansal liflerin içerisinde yün, saç, tüy, ipek vb. lifler bulunurken, mineral lifler arasında bulunan asbest ise içerisinde metal ve seramik lifleri bulundurmaktadır.

Bitki liflerinin yapısında ise lignin, hemiselüloz ve selüloz bulunur. Bitki lifleri kullanılarak takviyelendirilen kompozit malzemelerde sıklıkla kenaf, jüt, kendir, hindistancevizi, pamuk ve rami lifleri kullanılmaktadır (Bulut, 2011). Bu doğal liflerin bazı özellikleri Tablo 2.1’de ve kullanım alanlarına örnekler Tablo 2.2’de verilmiştir. Doğal liflerin yenilenebilir ve sürdürülebilir olmaları, mukavemetlendirilebilmeleri ve bileşenlerinde oynamalar yapılarak özellikler kazandırılabilmesi bugün ve yarınların değerli malzemeleri arasında bulunmasına sebep olmaktadır.

Tablo 2.1. Doğal liflerin özellikleri

Fiber	Yoğunluk (g/cm³)	Gerilme Dayanımı (MPa)	Young Modülü (GPa)	Kopma Uzaması (%)
Keten	1,4	88-1500	60-80	1,2-1,6
Kenevir	1,48	550-900	70	1,6
Jüt	1,46	400-800	10-30	1,8
Rami	1,5	500	44	2
Hindistan Cevizi	1,25	220	6	15-25
Sisal	1,33	600-700	38	2-3
Abaka	1,5	980	-	-
Pamuk	1,51	400	12	3-10
Kenaf (kabuk)	1,2	295	2,7	6-9
Şeker Kamışı	1,2	20-290	19,7-27,1	1,1
Ananas	1,5	170-1672	82	53
Muz	1,35	355	33,8	53

Tablo 2.2. Doğal lifli kompozitlerin kullanım alanları

Fiber	Bina, inşaat ve diğer uygulamalar
Kenevir Lifi	İnşaat ürünleri, tekstil, kağıt, mobilya, elektrik, boru imalatı, otomotiv sektörü
Palmiye Elyafı	Pencere, kapı, yapısal yalıtımlı panel yapı sistemleri, çatı kaplama ve diğer yapı malzemeleri
Ağaç Elyafı	Pencere, paneller, kapı kepenkleri, zemin kaplaması, korkuluk sistemleri
Keten Elyaf	Paneller, tenis raketi, korkuluk sistemleri, sele
Pirinç Kabuğu Lifi	Tuğla, zemin kaplaması ve yapı malzemeleri
Şeker Kamışı	Pencere çerçevesi, paneller, korkuluk sistemleri
Sisal Fiber	İnşaat endüstrisinde kapama plakası, çatı kaplama, kağıt ve kağıt hamuru
Pamuk Lifi	Mobilya ve tekstil endüstrisi
Hindistan cevizi lifi	Ayna gövdesi, halat, paspas, çanta, koltuk döşemesi, bina panelleri
Rami Lifi	Endüstriyel dikiş ipliği, ambalaj malzemeleri, balık ağları
Jüt Lifi	Jeotekstil, ambalaj, kapı kepenkleri

2.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Malzemeler genel olarak seramik malzemeler, metal malzemeler ve organik malzemeler olarak kaba bir sınıflandırmaya tabi tutulabilirler. Bu malzemelerin eksik yönlerinin başka malzemelerdeki avantajlı özellikleriyle bir araya getirilerek oluşturulan kompozit malzemelerin sınıflandırılması da genel olarak bu üç malzeme etrafında meydana gelmektedir. Birden fazla malzemenin bir araya gelmesiyle oluşan kompozit malzemelerin sınıflandırılması, farklı etkenler doğrultusunda yapılabilmektedir. Kompozitleri anlayabilmek adına en sağlıklı yöntem, bünyesinde bulunan matris malzemeye ve ilave edilen takviye malzemelerine göre sınıflandırmaktır.

2.1.1 Matris Malzemeye Göre Sınıflandırılma

Kompozit malzemeler kullanım alanları ve amaçlarına göre metal matrisli kompozitler, seramik matrisli kompozitler, polimer matrisli kompozitler, karbon-karbon kompozitler ve nano-kompozitler şeklinde sınıflandırılmaktadırlar (Sarıkaya, 2019).

2.1.1.1 Metal matrisli kompozit malzemeler

Metal matrisli kompozit malzemeler (MMK), yüksek sertlik değerlerine sahip elyaflarla takviye edilmiş karbürler ve metal-seramik karışımları ile magnezyum veya alüminyumda barındırabilmektedir içerisinde (Groover, 2016). Genel olarak tanımlamak gerekirse MMK'ler temel bileşenleri metal alaşımı ve metal çeşitleri olan yapılardır. Metal matrisli kompozitlerin içerisinde bulunan takviye fazı farklı şekillerde bulunabilmektedir. Her ne kadar takviye edilmiş olsalar da aslında metal malzemeler takviye elemanlarına kıyasla özellik bakımından üstündürler. Metal matrisli kompozitlerin üretilmeye başlanması ise boron ve silikon karbür fiberlerin imal edilmesiyle başlamıştır. MMK'lerin diğer kompozit türlerine göre avantajlı olmasına sebep olan artıları sıcaklık dayanımının yüksek olması, nem absorbe etme özelliğinin çok az olması, elektrik ve ısı iletimi sağlayabilmeleri, rijitliklerinin yüksek olması, tok malzemeler olmaları ve dayanımlarının fazla olması gibi etkenler gösterilebilmektedir. Bu avantajları sayesinde uzun süreli yorulmalara ve kullanıma maruz kalınacak alanlarda polimer matrisli kompozitlerin önüne geçmiştir (Kalemtaş, 2015; Song, 2016). Otomotiv sektöründen savunma sanayiine kadar geniş kullanım alanlarına sahip olan MMK'ler maliyetlerinin yüksek olması ve ağır malzeme sınıfında değerlendirilmeleri neticesinde alternatiflerinin araştırılmasını gerekli kılmıştır. Metal matrisli kompozitlerde titanyum (Ti), alüminyum (Al), demir (Fe), molibden (Mo), kobalt (Co) ve nikel (Ni) gibi metaller ve alaşımları kullanılmaktadır. Bu malzemeler, alaşıma kazandırılmak istenilen özelliklere bağlı olarak yapıya ilave edilmektedir. Örneğin MMK'ler düşük sıcaklık değerlerine sahip alanlarda kullanılacaklarsa kompozitin yapısına Fe, Ni ve bakır (Cu) gibi elementler katılmalıdır. Veya yüksek sıcaklığa sahip ortamlarda kullanımı gerekli kompozitler elde edilmek istenirse kompozit yapısına niyobyum (Nb), Mo ve tungsten (W) elementleri eklenmelidir (Uygur, 2004). MMK'lerin eldesinde matris malzeme olarak, şekillendirilmelerinin kolay olması, hafif olmaları, yoğunluklarının düşük olması, korozyon dirençlerini yüksek olması gibi pek çok avantajından dolayı yaygın olarak alüminyum kullanılmaktadır. Alüminyumla takviyelendirilmiş kompozit malzemeler başta otomotiv, havacılık ve denizcilik olmak üzere farklı pek çok kullanım alanında kendisine yer bulmuştur (Güler, 2012).

2.1.1.2 Seramik matrisli kompozit malzemeler

Seramik matrisli kompozitler (SMK), kullanım alanları az olan kompozit malzeme türleridir. Oksidasyon dirençleri yüksek olduğu için yüksek ısıl işlemlere maruz kalınan ortamlarda sıklıkla kullanılmaktadırlar (Groover, 2016). Seramiklerin düşük yoğunluğa sahip olmaları bu malzemelere önemli bir avantaj sağlarken kırılma dirençlerinin düşük olması ise büyük bir dezavantaj sağlamaktadır. Yapılarının sert olması ve yüksek erime sıcaklık değerlerine sahip olmalarından dolayı şekillendirilmeleri oldukça zordur. Bütün bu olumsuz yönler değerlendirildiğinde seramik malzemelerin kullanım alanları sektörler bazında sınırlandırılmak zorunda kalmıştır. Kullanım alanlarının çeşitliliğini arttırmak, alternatif malzemeler elde edebilmek için var olan seramiği kompozit malzemelerle iyileştirme ihtiyacı doğmuştur. SMK'lerde genel olarak Al_2O_3 , Si_3N_4 ve SiC takviye elemanı olarak kullanılmaktadır. Seramik malzemeler çatlak oluşumuna karşı oldukça hassas yapılardır. Akışkanlık özelliklerinin yüksek olması ve ısı genleşme farkından dolayı soğuma işlemi sırasında çatlak oluşum ihtimali çok yüksektir ki bu durum da seramik malzemelerin uygulama alanlarını sınırlandırmak için başlıca bir etkidir. Bu olumsuzlukların düzeltilmesi için kompozit malzemenin iç yapısı ve üretim metodu önem arz etmektedir (Kalemtaş, 2015; Song, 2016; Zhao vd. 2014). Seramik malzemelerin avantajları ile metal malzemelerin üstün özellikleri birleştirilerek yüksek mukavemete sahip malzemeler elde edilebilmektedir. SMK'ler ağırlıklı olarak yüksek sıcaklıklar altında kullanılması gereken parçalar için kullanılırlarken düşük tokluk ve süneklığe sahip olmaları ve ani ısı değişimlerine karşı dayanıksız olmaları seramik matrisli kompozit malzemeleri dezavantajlı duruma düşürmektedir (Seydibeyoğlu, 2012).

2.1.1.3 Polimer matrisli kompozit malzemeler

Malzemeler arasında polimerler, seramik ve metal malzemelere göre daha kompleks yapıya sahiptirler. Polimer matrisli kompozitler (PMK) diğer kompozit türlerine göre uzun vadede kullanıma elverişlidirler. Kolay şekillendirilebilirler ve darbeyi absorbe etme özellikleri oldukça iyidir. Korozyona dayanıklı olup, aşınmalara karşı direnç gösterebilen malzemeler sınıfındadırlar. Bu avantajlarının aksine kullanım

alanlarında düşük sıcaklık değerleri isterler, yüksek sıcaklık değerlerinde kullanımlar için elverişsizdirler. Son yıllarda popülerliğini korusa da piyasa maliyetinin yüksek olması, geri dönüşümünün zor olması ve endüstrinin bu malzemeye henüz yabancı olması ve diğer olumsuz faktörler polimer matrisli kompozit malzemelerin kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır (Gülmez, 2018). PMK'ler sürekli elyaf kompozitler ve parçacık dolgulu kompozitler olarak genelde iki grupta incelenirler. Sürekli elyaf takviyeli kompozitlerde kullanılan polimer matrisler, termoplastik ve termoset olarak gruplandırılmaktadırlar. Takviye elemanı olarak karbon fiber, cam fiber, bor fiber ve kevların kullanılıp, matris malzeme olarak epoksi reçine veya polyesterin kullanılmasıyla ortaya çıkan yeni malzeme, istenilen kullanım alanlarına göre yüksek performanslar gösterebilmektedir. Parçacık dolgulu kompozitler ise parçacık halinde bulunan bir malzemenin başka bir matris malzeme içerisinde dağılması halinde meydana gelen yapılardır. Parçacık dolgulu kompozit malzemelerin sertlikleri, yapı içerisine katılan parçaların sertliğiyle doğru orantılıdır. Endüstride yaygın olarak kullanılan türü, plastik matris içerisinde metal parçacıkların meydana getirdiği kompozit türüdür (Gülmez, 2018; Kaya, 2016; Subaşı vd., 2017).

Kompozit malzeme üretiminde liflerin takviyelendirilmesi ile oluşan kompozit türünde matris malzeme olarak termoset matrisler kullanılır. Termoset matrisler, sıvı halde bulunan malzemelerdir ve bir katılaştırıcı yardımıyla hafif jel formunu alırlar ve akabinde de katılaşma işlemleri başlar. Termosetleri termoplastiklerden ayıran en önemli özellikleri termosetlerin kalıcı bağlar oluşturmaları ve eski hallerine dönememeleridir. Termoset reçineler yüksek sıcaklıklara dayanabilmeleri, büyük-küçük her türlü parça üretiminde kullanılabilmeleri, esnek parça üretimine olanak sağlamaları ve uzun ömürlü olmaları gibi özelliklerinden dolayı kompozit üretiminde çok kullanılırlar. Aynı zamanda sızdırmazlık özelliği de bulunmaktadır. Termoset polimerlere örnek polyesterler, epoksiler, silikonlar ve poliüretanlar gösterilebilir (Kaya, 2016). Termoset matrislerin aksine termoplastik matrisler sıvı halde bulunup katılaşması beklenen bir malzeme değildir. Termoplastik matrisler katı granüller şeklinde bulunup, ısıtıldıkça sıvı forma geçen yapılardır. Sıvı haldeyken şekillendirme işlemi uygulanır ve malzemenin şekli elde edildikten sonra soğutma işlemi uygulanarak malzemenin katılaşması sağlanır. Viskozitelerinin yüksek olmasından dolayı ağıdalı bir yapıya sahip olmaları, termoplastik matrisleri elyaf gibi malzemelerle

karıştırma işlemlerinde zorluk çıkartmaktadır. Piyasa maliyetinin üretim açısından yüksek olması ve üretiminin zor olması gibi etkenlerden dolayı matris malzeme olarak kullanımı çok tercih edilmemektedir (Subaşı vd., 2017).

2.1.1.4 Karbon-Karbon kompozit malzemeler

Karbon- karbon kompozitler (CCC) adından da anlaşılacağı üzere takviye malzemesi karbon olup matris malzemesi de karbon olan kompozitlerdir. Karbon-karbon kompozitleri, üzerlerinde herhangi bir kaplama veya kimyasal yollarla gerçekleştirilen modifiye işlemleri uygulanmazsa, oksijenin varlığında ve belirli sıcaklıklarda bozulabilmektedirler. Özelliklerini 2000°C'nin üzerindeki sıcaklıklara kadar koruyabilmektedirler (Gürbüz, 2019). Hafif malzemelerdir, kırılma dayanımları ve termal iletkenlikleri oldukça yüksektir. CCC'lerin en önemli olumsuz özellikleri oksitlenmeleridir. Koruyucu kaplama yapılmazsa 400-500°C'lerde bile malzemelerde oksitlenme görülebilir bu da mühendislik açısından oldukça olumsuz bir durumdur. Avantajlı özelliklerinden dolayı fren disklerinde, roket başlıklarında, sıcak presleme kalıpları, içten yanmalı motorların pistonlarında, uzay mekiklerinin kanatları gibi birçok ısı ve oksijene bağlı yanmanın gerçekleşebileceği alanda kullanımı mümkündür. Karbon-karbon kompozitler üretim zorluklarından dolayı maliyetli kompozitlerdir (Mallick, 1997).

2.1.1.5 Nano-Kompozit malzemeler

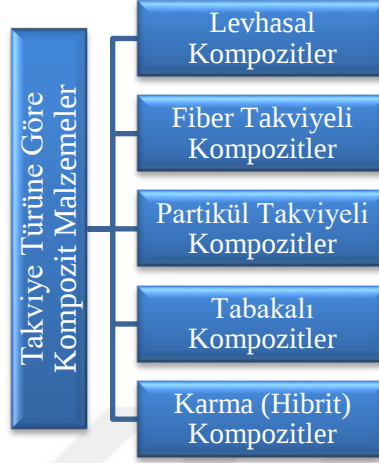
Nano kompozitler, 0,1 mikrondan küçük boyutlardaki parçaların bir matris malzeme içerisinde bulunmasıyla oluşan malzemelerdir. Bir malzemenin makro boyutlarındaki sahip olduğu özellikler ile mikro boyutlarda sahip olduğu özellikler arasında farklılıklar bulunmaktadır. Dolayısıyla kompozit malzeme üretiminde nano parçacıkların kullanımı oluşturulan nano-kompozit malzemenin elastiklik modülünü, ısı direncini, yanıcılığının azalmasını, gaz kaçaklarının engellenmesi gibi özellikler kazandırabilmektedir (Sarıkaya, 2019). Nanokompozit malzemelerin takviye malzemeli kompozitler içerisinde önemli olmasının bir diğer sebebi ise matris malzeme içerisine katılan nano boyutlardaki parçacıkların sahip oldukları boyutsal özelliklerinden dolayı, yüzeyler arasında yapışma olarak tanımladığımız adezyon

kuvvetini üst sınır seviyelerine çıkarabiliyor olmasıdır. Bu sayede polimer matris ve ilave edilen nano parçacıklar arasındaki etkileşim mümkün mertebe artmış olur. Nanokompozit malzemeleri bağlanabildikleri matris türlerine göre sınıflandırabilmek mümkündür. Al_2O_3/TiO_3 , Al_2O_3/SiC , Si_3N_4/SiC gibi birleşimler seramik matrisli nanokompozitleri oluştururken; Fe-MgO, Fe-Cr/ Al_2O_3 gibi bileşimler ise metal matrisli nanokompozitleri oluşturmaktadır. Bir diğer nanokompozit türü olan polimer matrisli nanokompozitleri ise poliester/ TiO_2 ve polimer/CNT birleşimleri oluşturabilmektedir. Diğer kompozit malzemeler gibi nanokompozit malzemeler de birçok endüstriyel alanda aktif olarak kullanılmakta olup, üzerinde çalışmaların devam ettiği bir malzeme türü olmuştur. Yapılan bir çalışma, çelikten hafif olup aynı zamanda yine çelikten daha dayanıklı olan grafen malzemesinin ilavesi ile oluşturulan poliester/grafen nanokompozit malzemesinin karışıma dahil olmayan poliestere göre daha iyi özellikler sergilediğini göstermiştir (Subaşı vd., 2017). Nanokompozit malzemelerin elde edilmesinde ağırlıklı olarak nanokiller, cam elyaflar, karbon elyaflar, karbon nanotüpler, polivinil alkoller gibi sentetik olan malzemeler kullanılmaktadır. Fakat bu sentetik malzemeler, bileşenlerini yağ ve gazın oluşturmamasından ve bu kaynakların günümüzde azalıyor olmasından dolayı, yine bu malzemelerin çevresel sıkıntımız olan küresel ısınmayı tetikler niteliklere sahip olması, aynı şekilde çevre dostu olmayıp geri dönüşüm imkanlarının kısıtlı olması ve ekonomik olarak piyasasının pahalı olması gibi etkenlerden dolayı nanokompozit malzemelerin üretimi için bitkisel bileşenlere sahip nano malzemeler ve beraberinde nanokompozitlerin üretimi söz konusu olmaktadır (Leja, 2010).

2.1.2 Takviye Malzemelere Göre Sınıflandırılma

Takviye elemanları, kompozit malzemelerin kullanım alanlarındaki şartlara göre matris malzemesinin özelliklerinin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi için kullanılır. Kompozit malzemelerde aranan hafiflik, ekonomiklik, çevre dostu olması, dayanımının iyi olması, yorulma direncinin yüksek olması gibi belirli kıstasları sağlayabilmek için sadece matris malzeme kullanımı yeterli değildir. Matris malzeme ile beraber uygun takviye malzemenin kullanılması ve uygun yöntemler ile üretimin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Temel olarak takviye elemanlarına göre kompozit

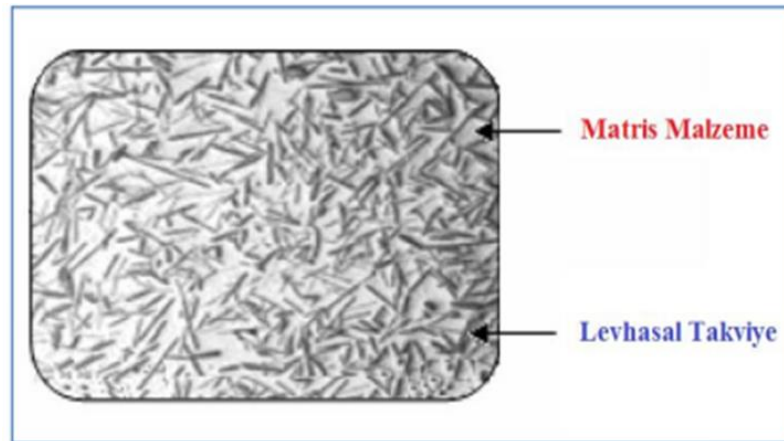
malzemelerin sınıflandırılması Şekil 2.1’de verildiği gibi 5 ana gruba ayrılmaktadır (Kalemtaş, 2014; Kısasöz, 2018).



Şekil 2.1. Takviye türüne göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması

2.1.2.1 Levhasal kompozit malzemeler

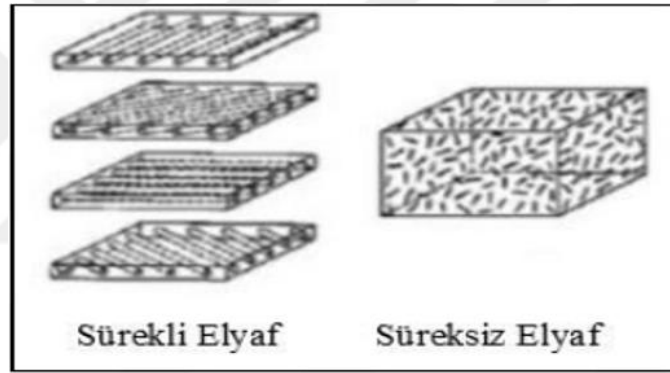
Matris fazında, takviye elemanının levha şeklinde bulunması sonucu oluşan kompozit yapılar olup Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Levhasal kompozit malzemelere pullar, camlar, mika malzemeler, Alüminyum-Grafit levhalar örnek verilebilir (Sarıkaya, 2019).



Şekil 2.2. Levhasal kompozit malzeme

2.1.2.2 Fiber takviyeli kompozit malzemeler

Fiber takviyeli kompozit malzemelerde, matris yapının içerisinde Şekil 2.3’de gösterildiği gibi elyaflar bulunmaktadır. Bu elyafların matris malzemede dağılımları, kompozit malzemenin özelliklerinin belirlenmesinde etkin rol oynamaktadırlar. Örneğin çekme kuvveti uygulanacak elyaf takviyeli kompozit bir yapıda liflerin dizilimi kuvvetin uygulanacağı yöne dik yerleştirilir ise az mukavemet gözlemlenirken, lifler kuvvetle aynı doğrultuda matris içerisine yerleştirilir ise yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Fiber takviyeli kompozit malzemelerde malzeme özelliklerinin değişim göstermesinde, takviye malzemenin türü, yapıda kullanılan fiberin hacmi, fiberlerin dizilim şekli, fiber malzemenin kalınlığı, matris malzemenin türü gibi faktörler etkili olmaktadır (Bayraktar, 2013).

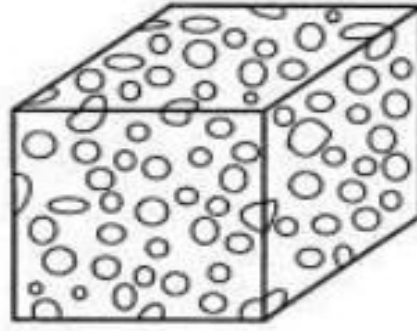


Şekil 2.3. Fiber takviyeli kompozit malzeme

Yüksek mekanik özellikler gösterebilen fiber takviyeli kompozit malzemeler, üretim sürecinin karmaşık olması, üretilen kompozit yapının izotropik olmayan davranışlar sergileyebilmeleri ve maliyetinin yüksek olması gibi etkenlerden dolayı endüstride kullanımını sınırlıdır (Kısasöz, 2018).

2.1.2.3 Partikül takviyeli kompozitler

Herhangi bir matris malzeme ve matris malzemedan farklı kimyasal özelliklerde ve yapısı sert takviye fazının fiziksel yollarla bir araya gelmesi ile oluşan yeni yapıya partikül takviyeli kompozit adı verilir. Partikül takviyeli kompozit malzeme temsili Şekil 2.4’de gösterilmiştir.



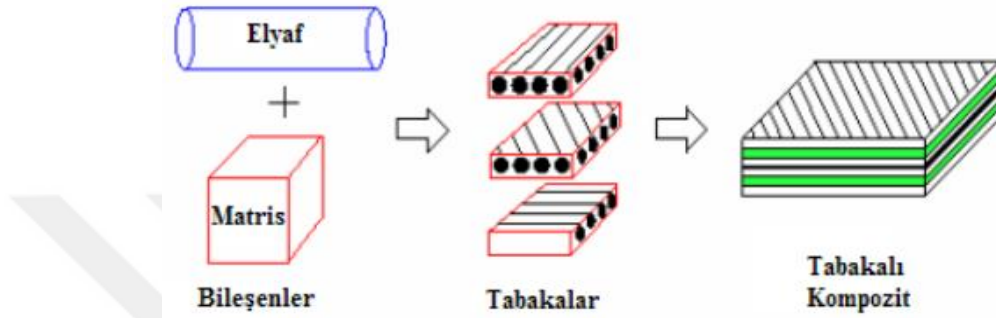
**Partikül Takviyeli
Kompozit**

Şekil 2.4. Partikül takviyeli kompozit malzeme

Endüstride partikül takviyeli kompozit malzemeler, elyaf takviyeli kompozit malzemelere kıyasla daha çok kullanılmaktadır. Bu durumun asıl sebebi ise partikül takviyeli kompozit malzemelerin üretimlerinin ekonomik, daha hızlı ve kolay olmasıdır. Bunlara ek olarak partikül takviyeli üretimi sağlanan kompozit malzemeler gerekli durumlarda ikincil işlem olarak haddeleme, dövme ve ekstrüzyona da maruz kalabilmektedirler. Partikül takviyeli kompozitlerin bir avantajı ise yüksek aşınma dayanımı gösterebilmeleridir. Bu performansı sergileyebilmelerinde partikül halinde bulunan takviye elemanın, içine katıldığı matris malzemeden daha sert olmaları etkilidir. Bu kompozit türünde, takviye eleman olarak genelde seramik esaslı olan Al_2O_3 , TiB_2 ve SiC bileşenler kullanılmaktadır. Sert kompozit elde edilmek istenirse partiküllerin hacimsel olarak viskoziteyi artırması yeterli olmaktadır. Partikül takviyeli kompozit malzemelerde dislokasyon adını verdiğimiz çizgisel kusurların oluşumu, yapıda bulunan partiküller yardımıyla engellendiği için üretilen malzemenin sertliği arttırılmış olur. Üretimi bu şekilde gerçekleştirilen kompozit malzemeler yüksek sıcaklık değerlerinde yapısal özelliklerini koruyabilmekte olup, daha uzun kullanım imkanı sağlamaktadırlar. Partikül takviyeli kompozit malzemelerde, ürünün çalışma performansını etkileyebilen birçok faktör mevcuttur. Bu faktörlere partiküller arası boşluklar, partiküllerin çapı, matris malzeme içerisinde partiküllerin hacimsel oranları, partiküllerin homojen dağılma durumları gösterilebilmektedir (Ahlatcı, 2003; Aydın vd., 2015).

2.1.2.4 Tabakalı kompozitler

Tabakalı kompozit malzemeler, kullanımları çok eskiye dayanan ve en sık kullanılan kompozit türünü oluşturmaktadırlar. Elyafların Şekil 2.5’de gösterildiği gibi farklı yönlendirilmeleri ile üretilen tabakaların, farklı eksenler doğrultusunda üst üste konulması ile üretilirler.



Şekil 2.5. Tabakalı kompozit malzemeler

Metal malzemelere kıyasla hafif olmaları ve yüksek mukavemet değerleri gösterebilmeleri bu kompozit yapıların yaygın olarak kullanılmasına sebep olan başlıca nedenlerdendir. Neme ve ısıya karşı dayanıklı olmaları, maliyetlerinin düşük olup üretim aşamalarının kolay ilerlemesi, darbeleri tolere edebilmeleri ve yük taşıyabilmeleri gibi özellikleri de bu kompozitlerin çeşitli mühendislik alanlarında kullanılmasına olanak sağlamaktadır (Eskizeybek, 2006; İmak, 2015).

2.1.2.5 Hibrit kompozitler

Aynı matris malzeme içerisinde iki veya daha fazla takviye elemanının oluşturduğu kompozit türüdür. Karma kompozitler, tek bileşenden oluşan kompozit yapılara göre daha kullanışlı olup yeni nesil malzemeler için alternatif oluşturmaktadırlar. Cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli polimer matristen oluşan yapı hibrit kompozitlerin yaygın bilinen örneğidir. Maliyeti ve basma dayanımı düşük olan kevlar malzeme ile pahalı ve düşük tokluğa sahip grafit malzemenin birleştirilmesi ile oluşan hibrit kompozit malzeme, tokluk değeri ve basma dayanımı yüksek yeni bir kompozit yapı meydana getirebilmektedir (Kaya, 2016). Aynı şekilde maliyeti ve rijitliği yüksek fakat yoğunluğu düşük olan karbon elyaf ile maliyeti ve rijitliği düşük cam elyafın birleştirilmesiyle oluşan hibrit kompozit yapı, darbe dayanımı yüksek, tok ve maliyeti

düşük malzeme oluşturulmasına sebep olur. Hibrit kompozit malzemelerin kullanım alanları da değerlendirildiği zaman takviye malzemelerin seçimini etkileyen faktörlerin başlıcaları maliyet, elastise modülü, yoğunluk, malzeme bileşenlerinin kimyasal kararlılık göstermesi ve darbe dayanımları olarak gösterilebilir (Ahlatcı, 2003).



3. KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Kompozit malzemelerin üretimi, malzemelerin kullanım alanlarındaki mevcut şartlara, malzemenin kalitesine, malzemedan beklenen performans, sayı adedine, maliyeti gibi özelliklerine göre farklı yöntemler uygulanarak gerçekleştirilmektedir. Bu üretim yöntemlerini temel olarak iki ana başlıkta toplamak mümkündür.

1. Açık Kalıplama Yöntemleri: Bu yöntemde elyaf, takviye malzemeleri ve reçineler gibi ham halde bulunan malzemelerin sertleşme işlemleri hava teması ile sağlanmaktadır.

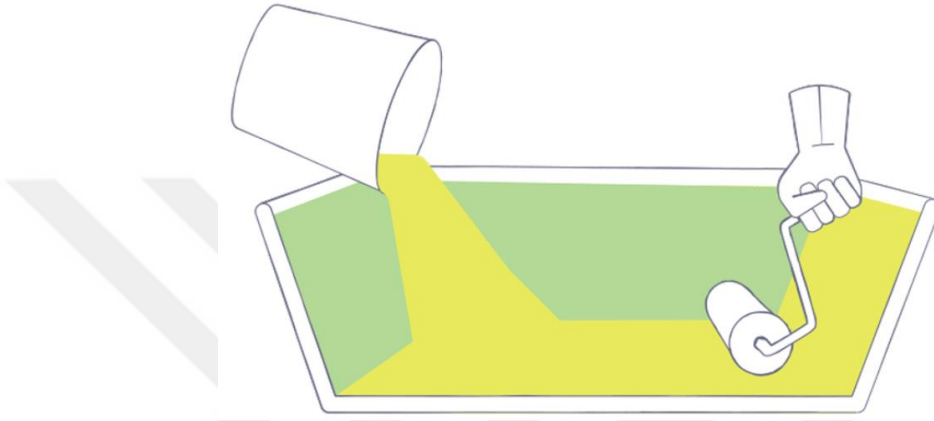
2. Kapalı Kalıplama Yöntemleri: Kapalı kalıplama yöntemi açık kalıplama yönteminden farklı olarak kullanılan reçineler ve fiber ham maddeleri havadan izole edilmiş bir kalıp veya vakum makinesi yardımıyla kompozit formu kazanması sağlanarak gerçekleştirilir.

3.1 Açık Kalıplama Yöntemleri

3.1.1 Elle Yatırma Yöntemi

Elle yatırma yöntemi, minimum ekipman gerektirdiği için geçmişten günümüze açık kalıplama yöntemleri arasından en uygun ve en sık kullanılan yöntem olmuştur. Küçük parçaların üretimi sağlanabildiği gibi yüzeylerinde pürüzsüzlük aranan büyük boyutlardaki parçaların üretimleri de elle yatırma yöntemi kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Elle yatırma yöntemi sık kullanılan bir yöntem olsa da yoğun emek ve işçilik gerektirdiği için seri üretim boyutlarında parça üretimi için uygun bir yöntem değildir (Arıcasoy, 2006). Bu yöntemde ilk olarak üretilen malzemenin kalıplaması yapılır. Yapılan kalıp içerisine, kompozit malzemenin kalıptan kolay ve düzgün ayrılmasını sağlamak ve yüzey kalitesini arttırmak için püskürtme tabancası kullanılarak jelkot uygulanır. Jelkotlar partiküllü yapıya sahiptirler. Kuruyup yeterince sertleşmiş olan jelkot malzemenin üzerine tabaka formu verilen takviye edici malzemeler konulur. Takviye edici malzemeler kalıp içerisinde yerini düzgün bir şekilde aldıktan sonra kullanılacak olan reçine Şekil 3.1’de

gösterildiği gibi elle kalıp içerisine yerleştirilir. Rulolar kullanılarak reçineler içerisinde oluşan hava boşluklarının malzeme içerisinde yayılarak dışarı atılması sağlanır. Kompozit malzeme ne kadar kalınlığa sahip olacaksa takviye malzemenin eklenmesi devamında reçine emdirilmesi işlemleri aynı şekilde devam eder. Takviye malzemeye uygulanan reçinelerin istenilen sertlik değerlerine ulaşması sonucunda kompozit malzeme kalıptan ayrılır.



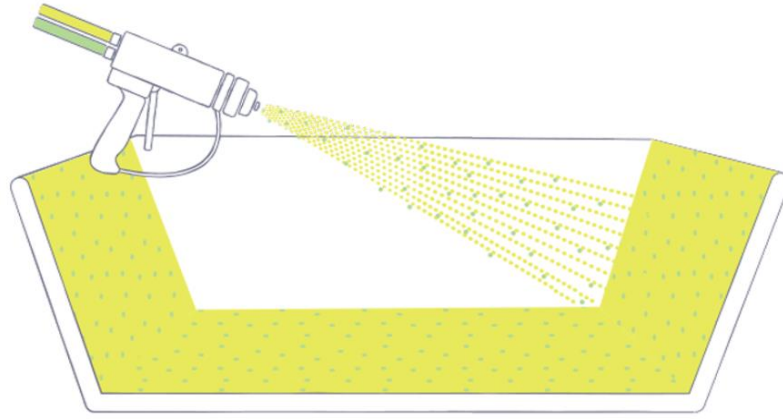
Şekil 3.1. Elle yatırma yöntemi gösterimi

Elle yatırma yönteminde, örülmüş kumaşlardan kırılmış elyaf parçalarına kadar çeşitli kumaş türlerinin kalıba yatırılarak kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Bu yöntemde parça üretimi için polyester, epoxy, vinylester gibi herhangi bir termoset reçine kullanılabilirken takviye malzeme olarak piyasada yaygın olarak kullanılan cam elyaf, karbon elyaf, doğal lifler ve türevleri kullanılmaktadır. Reçinelerin yapısına katılan katalizör ve hızlandırıcılar gibi etken maddeler yardımıyla üretimi sağlanacak olan kompozit malzemenin dışarıdan herhangi bir ısı kaynağına ihtiyaç duymadan bulunduğu ortamda formunu kazanması mümkün olmaktadır. Reçine kullanılarak üretilen kompozit malzemelerin hafif olduğu kadar mukavemetlerinin yüksek olmasını da reçineler içerisinde oluşan kimyasal reaksiyonlar sonrası malzemeye sertlik kazandırmaları sebep olmaktadır (Arkaz, 2016). Elle yatırma yönteminde reçine çeşitlerinden, epoksi ve polyester reçineler daha yaygın kullanılmaktadırlar. Bu iki reçine de farklı kullanım alanları gerektiren durumlarda kullanılabilirler. Epoksi reçinelerin polyester reçinelere göre yapışma özelliği daha kuvvetli olmakla beraber epoksi reçineler yüksek termal sıcaklıklarda polyester reçinelere göre daha aktif kullanılabilirler. Epoksi

reçineler daha pahalı olup, uygulamaları polyester reçinelerde daha kolaydır. Elle yatırma yönteminde üretim maliyetinin düşük olması, esnek tasarımlara imkan sağlaması, üretilen malzemelerin boyutsal kısıtlamalarının olmaması gibi avantajları sağlarken yoğun işçilik gerektirmesi, üretilen malzemelerin sadece bir yüzeyinin düzgün çıkması, malzeme kalitesinin üretimi yapan işçiye bağlı olarak değişebilmesi gibi dezavantajlı durumları da beraberinde getirmesi elle yatırma yönteminin kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır. Genelde bu yöntem, otomobil gövde panelleri, küçük ev aletleri, yüzme havuzları ve tekne gövdeleri gibi birçok farklı alanda ekipmanlar üretilmesinde kullanılmaktadırlar.

3.1.2 Püskürtme Yöntemi

Püskürtme yöntemi elle yatırma yöntemindeki işçi yoğunluğunu azaltmak, daha homojen dağılmış malzemeler üretmek amacıyla geliştirilmiştir. Bir tabanca başlığı ile takviye elemanı ve reçine kalıp içerisine püskürtülerek Şekil 3.2’de gösterildiği gibi katmanlama işlemi gerçekleştirilir. Takviye malzeme olan elyaflar tabanca içerisinde kırılırken aynı zamanda matris malzemenin sertleştiricisinin de karıştırılması yine tabanca içerisinde gerçekleştirilmektedir. Üretilen malzemenin kalıbı oluşturulduktan sonra kompozit malzemenin kolay ayrılmasını sağlayacak olan ayrıştırıcı malzeme uygulanır ve üzerine bir kat jel tabaka uygulanır ve tabakanın ortam şartlarında sertleşmesi beklenir. Daha sonra tabanca içerisine takviye ve matris elemanlar ilave edilir ve püskürtme işlemi yüzeye dik olacak şekilde gerçekleştirilir. Her yüzey için püskürtme işleminin akabinde yüzey üzerinden rulo ile geçilerek matris malzeme içerisinde kalmış olan hava kabarcıkları çıkartılmış olur (Arıcasoy, 2006). Reçine malzemeye hızlandırıcısı önce katılmış, katalizörü daha sonra farklı bir aracı ile ilave eden katalizör tabancaları püskürtme yönteminde sık kullanılan tabancalardan birisidir. Bir diğer tabanca çeşidi ise çift kaba sahip olan püskürtme tabancalarıdır. Bu tabancalarda birbirinden ayrı iki kap mevcuttur ve bu kaplara reçine malzeme bölüştürülür. Kapların birisinde reçine malzemeye hızlandırıcı eklenirken diğer kaptaki reçine malzeme içerisine katalizör eklenmektedir. Püskürtme işlemine başlandığı zaman ise ayrı iki kaptan çıkan reçineler tabanca dışında birleşerek beraber bir püskürtme işlemi gerçekleştirmesine olanak sağlamış olurlar (Bedir, 2006).



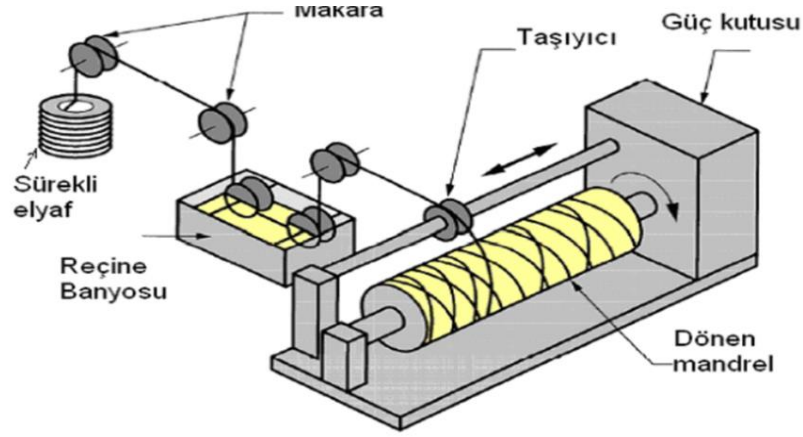
Şekil 3.2. Püskürtme yöntemiyle üretim gösterimi

Püskürtme tabancaları çalışma mantığı bakımından da hava püskürtmeli tabancalar ve havasız tabancalar olarak ikiye ayrılırlar. Püskürtme işlemi kontrolünün daha net sağlanabiliyor olması ve havaya dağılan parçacıkların az olmasından dolayı çalışanların sağlığına minimum zarar vermesi sebebiyle havasız tabancalar, havalı tabancalara kıyasla daha yaygın kullanılmaktadırlar. Açık kalıplama yöntemlerinden olan elle yatırma yöntemindeki gibi büyük tekne gövdeleri, tanklar, nakliye ekipmanları gibi birçok malzemenin üretimi gerçekleştirilmektedir. Elle yatırma yönteminden farklı olarak püskürtmeli kalıplama yönteminde üretilen kalıpların maliyeti daha az olup, reçine malzemedan ve uygulama zamanından tasarruf sağlanabilmektedir.

3.1.3 Elyaf Sarma Yöntemi

Filament sarım yöntemi veya fiber yerleştirme yöntemi olarak da bilinen elyaf sarma yöntemi ile biçimce farklı ve özel ürünlerin üretimi gerçekleştirilmektedir. Sürekli formdaki elyaf malzemenin sarım işlemi sırasında makaralar aracılığıyla reçine banyosundan malzeme çekilirken reçineye bulanması ve ardından da hareketli bir kalıp üzerine farklı geometrik açılarla sarılması işlemidir. Dönen kalıp üzerine sürekli elyaf malzemenin farklı açılarda ve katlarda sarılması, farklı özelliklere sahip ürünlerin üretilmesine sebep olmaktadır. Belirli sayılara ulaşan elyaf katları sarılma işlemi bitirdikten sonra malzeme sertleşmeye bırakılır ve sarımı yapılan hareketli kalıp üzerinden ayrılır. Üretimi bu şekilde yapılan malzemeler genellikle su tankları,

borular, gemi direkleri, araba şaftları gibi malzemelerdir. Elyaf sarma yöntemi ekipmanlarıyla beraber Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3. Elyaf sarma yöntemi

Bu yöntemle elde edilen malzemelerin yüzey kaliteleri diğer yöntemlere göre daha iyidir. Sarım işlemlerinde reçine olarak silikon, polyester ve epoksi reçine kullanılabilir. Dönen mandrelın çapına bağlı olarak çok büyük boyutlarda yapılar elde edilebilmektedir (Işık, 2008). İmalat yöntemi kolay ve parça boyutlarına göre üretim maliyeti uygundur. Seri üretim için otomatize edilebilen bir sisteme sahiptir. Birçok avantajı bulunan bu yöntemin, mandrelinin pahalı olması, iç yüzeyin kuvvetli olurken dış yüzeyin zayıf kalması, içbükey yapıya sahip malzemelerin üretimine olanak sağlamaması ve sarım yönteminin kolaylıkla değiştirilememesi gibi dezavantajlara da sahiptir. Elyaf sarma yöntemi, açılı elyaf sarma yöntemi ve sürekli elyaf sarma yöntemi olarak ikiye ayrılır. Dönen mandrel üzerine reçine emdirilmiş elyafların belirli açılarla ve gergin bir şekilde sarılması yöntemine açılı elyaf sarma yöntemi denilir. Bazı uygulamalarda ise elyaflar reçine içerisinden geçirilemez. Bu durumlarda kırılmış elyaf demetlerinin kullanılması gerekir. Kırılmış elyaflar mandrel üzerine dökülürken aynı anda reçine de malzeme üzerine püskürtülür ve bir yandan da mekanik baskı kuvveti uygulanarak sıkıştırma işlemi gerçekleştirilir. Bu şekilde malzeme üretmeye ise sürekli elyaf sarma yöntemi denilmektedir. Performansı yüksek ürünler elde edilmek istendiğinde ön ısıtma işlemine tabii tutulmuş elyaflar kullanılır bunlara da prepreg veya reçine emdirilmiş ürün adı verilmektedir. Maliyeti yüksek bir sistem olmasına karşılık yoğun olarak kullanılan bir sistemdir. Bunun da sebebi reçineyi kontrollü kullanmaya olanak sağlayabilmesi ve kompleks parçalarda elyaf malzemelerin daha esnek yerleşim imkanı sağlayabilmesidir. Termosetlerde aktif

olarak kullanılan elyaf sarma yöntemi, termoplastik malzemeler içinde yaygın kullanım sağlamaktadır. Termoplastik reçinelerle üretim sağlanacak olursa takviye malzeme ve reçine malzeme mandrel üzerine sarılabilmek için önceden bazı yöntemler kullanılarak birleştirilir ve mandrelin ısıtılması ile beraber malzeme üretimi sağlanmış olur (Demir, 2019).

Elyaf sarma yönteminde yaygın olarak çelik mandrel kullanılmaktadır. Çelik mandrellerin dış kısmı krom ile kaplanır. Bu kaplama işleminin sebebi kompozit malzemenin iç yapısının parlak ve pürüzsüz olması aynı zamanda mandrelin daha rahat dönme hareketini devam ettirebilmesidir. Mandreller genellikle değiştirilebilen parçalardır. Fakat bazı uygulamalarda mandreller çıkartılamaz ve kompozit yapı ile beraber kalırlar. Bu tür uygulamalar basınçlı sıvı ve gazların sızdırılmaması istenilen durumlarda kullanılacak olan boru ve hortum üretimlerinde kullanılmaktadırlar (Gülmez, 2018). Elyaf sarma yöntemleri boru parçaları, tank parçaları, uçakların yakıt tankları, gaz basınç hatları, su arıtımı için kullanılan borular, şaftlar, petrol ve gaz tankları, golf sopaları, taşımacılıkta kullanılan trenlerin vagonları, silah namluları, gemi direkleri, teleskopik direkler gibi birçok malzemenin üretiminde uygulanan bir yöntemdir. Elyaf sarma yöntemleri değişik ekipmanlarla sağlanabilmektedir. Bu ekipmanlar şu şekildedir:

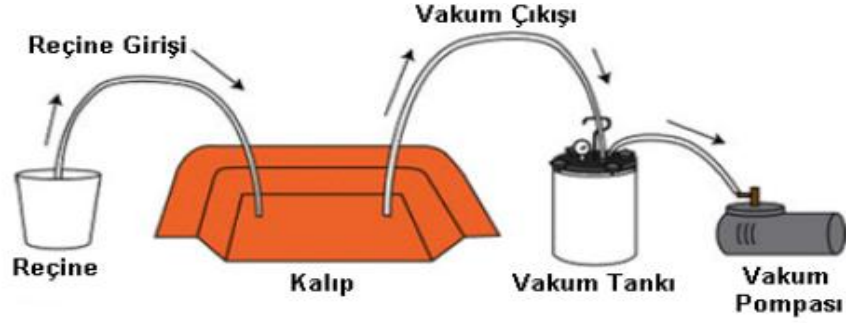
1. *Kutupsal Sarma*: Mandreller iki ekseninde ve kapalı silindir oluşturarak dönerler.
2. *Kontinü Sarma*: Kesintisiz borunun üretimini sağlayan reçine ve takviye malzemelerin, sürekli hareketli olan kalıp malzeme üzerine uygulanması ile olur.
3. *Sürekli Sarıcı*: Sarma işlemine sürekli olarak devam eden sarma mekanizması arasında hareketsiz halde mandrelin bulunduğu sistemdir.
4. *Kırpma Çemberi*: Uygulama boyutları büyük olan malzemelerde kullanılır. Elyaf sarma ve püskürtme yöntemlerinin birleşimi şeklinde çalışma mantığına sahiptir.
5. *Örgü Sarıcı*: Dairesel bir sarıcıdan malzemenin geçirilmesi işlemi yaparak yapının elde edilmesini sağlar (URL-1, 2022).

3.1.4 Vakumlu Kalıplama Yöntemi

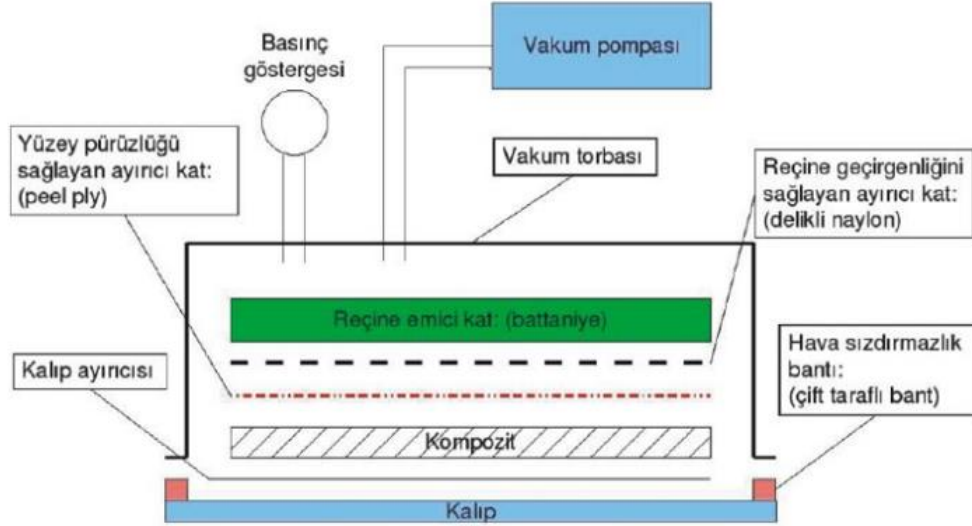
Yaklaşık 40 yıllık bir geçmişe sahip olan vakumla kalıplama yöntemi dünyanın birçok yerinde çeşitli sanayi alanlarında kompozit malzemelerin üretilmesi aşamasında kullanılmaktadır. Lamine hale getirilmiş parçaların vakum torba içerisinde reçine emdirilmesi ve malzeme üzerine 1 atmosfer basıncın uygulanması ile kompozit malzemenin kürleşme işlemi bitene kadar vakum etkisinin devam etmesi prensibinde çalışan bir yöntemdir. Günümüzde oda sıcaklıklarında katılaşabilen reçine malzemelerin yaygınlaşması ile birlikte bu yöntem maliyeti yüksek ekipmanlara gerek duymadan oda şartlarında basit ekipmanlarla da gerçekleştirilebilmektedir. Elle yatırma ve reçine transfer kalıplama yöntemlerinin devamı niteliğinde olan bir üretim yöntemidir. Çok yüksek basınçlara ihtiyaç duyulmaması, ekipman maliyetinin az olması ve matris malzemenin minimum kaybının sağlanıyor olması vakum infüzyon kalıplama yöntemini reçine transfer kalıplama yönteminden ayıran en önemli etkenlerdir (Fiedler vd., 2006).

Elle yatırma yöntemindeki gibi matris malzeme ile ıslatılan takviye elemanlar vakumlu kalıplama yönteminde el teması olmadan üretim imkanı sağlamaktadır. Basit malzemelerin üretimi sağlandığı gibi kompleks yapıda ve büyük malzemelerin üretimi de bu yöntem aracılığıyla gerçekleştirilebilmektedir. Önemli olan bu üretim çeşidinde matris malzemenin olan reçinelerin hızlı bir şekilde malzemeye emdirilme işlemlerini sağlayabilmektir (Durgun, 2013; Gülmez, 2018). Vakumlu kalıplama yönteminde lamine haldeki fiberler birbiri üzerine yerleştirilirler ve hava geçirmeyen bir sistem içerisine konulurlar. Sistem bir tarafı kalıp yüzeyi bir tarafı hava geçişini engelleyen naylondan meydana gelmektedir. Vakum işlemini yapacak olan torba fiber malzemelerin üzerine kapatılarak malzemenin ortam ile hava temasını keser. Bu sırada torba altında kalan ortam ve dış ortamın hava basınçları eşit durumdadır. Vakumlama işlemini gerçekleştirecek olan pompanın çalıştırılması ile torba içerisindeki hava yavaşça dışarı çekilerek iç ortamın basıncı düşürülür. Vakumlama işlemi doğrultusunda üretimi sağlanacak olan kompozit malzeme, yerleştirilen kalıbın şeklini almaya başlar. İç ortamın havası tamamen alındıktan sonra kalıbın şekline giren prepreg malzeme, ısınan sistemin reçineyi reaksiyona sokmasıyla sertleşme aşamasına geçer. Vakumla sıkıştırılan malzemenin kenarlarından reçinenin fazlasının dışarı

atılmasıyla daha hafif malzeme üretimi gerçekleştirilir (Dinkci, 2020). Vakumlu kalıplama yöntemi çalışma yöntemi Şekil 3.4 ve Şekil 3.5’de verilmiş olup, reçine kovası, kalıp, vakum tankı ve vakum pompası kısımlarından oluşan bir sistemdir.

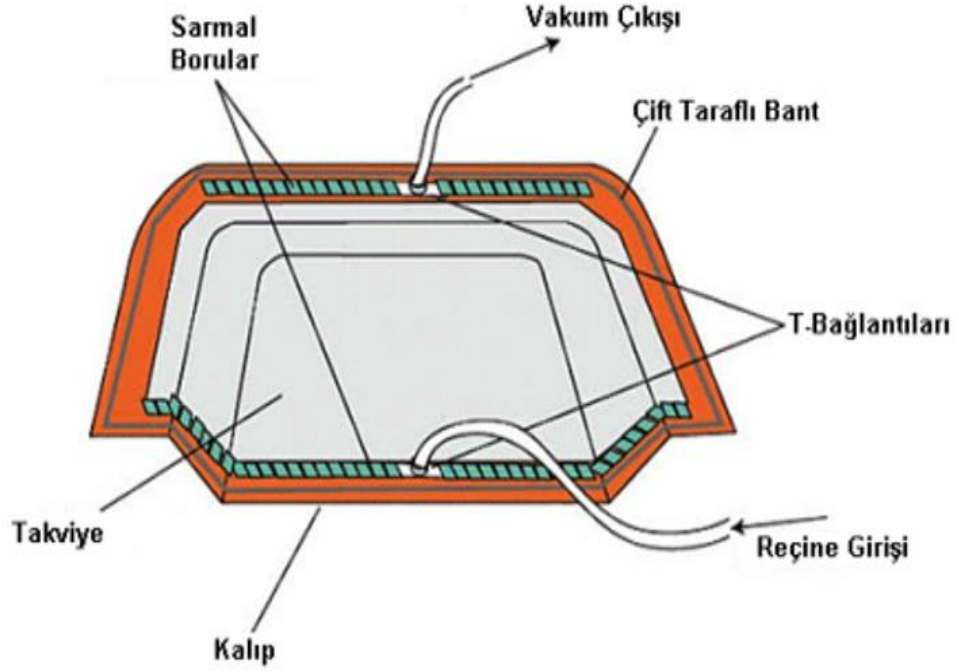


Şekil 3.4. Vakumlu kalıplama yöntemi çalışma mantığı

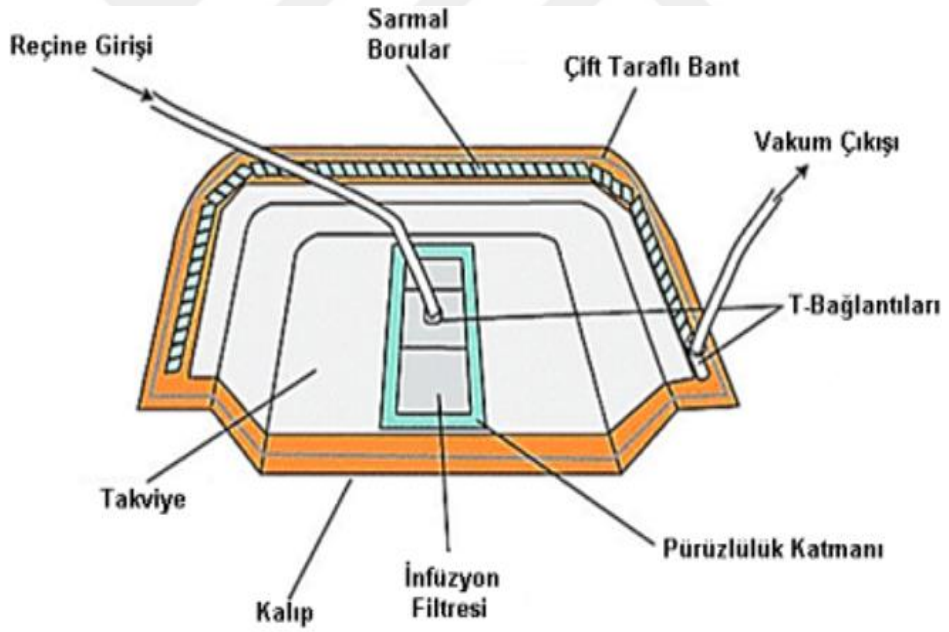


Şekil 3.5. Vakum Torbalama Yönteminin Şematik Gösterimi

Vakumlu kalıplama yöntemi iki farklı çalışma prensibine bağlı gerçekleştirilebilmektedir. Bunlardan ilki sistemin ortasından reçine verilip etrafından vakumlama işlemi yapan Şekil 3.6’da verilen sistemken, diğeri Şekil 3.7’de verilen reçine transfer işlemi yapacak hat ile vakum işlemini gerçekleştirecek hattın karşılıklı yerleştirilmesi sonucu oluşan sistemdir.



Şekil 3.6. Etrafindan vakumlanıp reçinenin ortadan verildiği sistem



Şekil 3.7. Vakum ve reçine hatlarının karşılıklı yerleştirildiği sistem

Vakumlu Kalıplama Yöntemiyle Parça Üretimi

1. Kompozit malzeme için üretilen kalıp yüzeyi, yabancı maddelere karşı temizlenmelidir.

2. Yüzey temizliği sağlanan kalıp içerisine kompozit malzemenin sorunsuz ayrılabilmesi için kalıp ayırıcı uygulanmalıdır.
3. Ortam şartlarına uygun temin edilen jelkot, püskürtme veya fırça vasıtasıyla yüzeye uygulanmalıdır.
4. Kullanılacak takviye malzemeleri lamine bir şekilde yerleştirilir ve kenarlarındaki fazlalıklar kalıba uygun olacak şekilde alınır.
5. Pell ply adı verilen ve yüzey pürüzlülüğünü sağlayan katman kalıbın üst kısmına yerleştirilir ve yapıştırıcı bir madde vasıtasıyla takviye malzemelerin en üstüne yapıştırılması sağlanır.
6. Kalıba göre vakum hatları ve transferi sağlayacak olan reçine hatları yerleştirilir.
7. Üst katmandaki kumaşın üzerine delikleri bulunan bir tabaka yerleştirilir.
8. Vakum torbası kalıba uygun kesilir ve kalıbın etrafına sızıntıyı engelleyebilmesi için infüzyon macunu yardımıyla sabitlenir.
9. Vakumlama sisteminde bir kaçak olup olmadığı sisteme bağlanan kaçak dedektörü ve vakum göstergesiyle kontrol edilir.
10. Reçine transferini sağlayacak olan borular sisteme eklenir.
11. Kompozit malzemenin üretiminde kullanılacak olan reçine miktarı, boru içerisinde kalacak kısımda hesaba katılarak hazırlanır ve sisteme dahil edilir.
12. Reçine transfer sistemi aktif hale getirilerek kalıp içerisindeki takviye malzemenin reçine tarafından iyice ıslanması beklenir.
13. Islanma işlemi tamamlandıktan sonra transferi sağlayan borular kapatılır.
14. Kompozit malzeme uygulanan vakumla beraber sertleşene kadar beklenir. İşlem bittikten sonra vakum etkisi kaldırılarak malzeme kalıptan ayrılır.

Yöntemin Avantajları

1. Elle yatırma yönteminde reçine ve elyaf karışım oranları, %70 ağırlıkta reçine uygulanması ve %30 oranında da elyaf takviyesiyle gerçekleştirilirken, vakumlu kalıplama yönteminde bu oran elyaf malzemenin %70'lere çıkarken reçine malzemenin %30'lara inmesine olanak sağlamıştır. Dolayısıyla buda üretilen kompozit malzemenin dayanımını bir hayli arttırmaktadır.
2. Elle yatırma yönteminde kullanılan reçine miktarı, yapılacak olan malzeme miktarı ve kişisel tercihlere bağlı olarak değişiklikler gösterebilirken, vakumlu kalıplama yönteminde sabit kalabilmektedir.
3. İnfüzyonla kompozit malzeme üretiminde, reçine malzeme yüzey tarafından iyice emildiği ve orantılı bir şekilde dağılım sergilediği için vakumlama sırasında malzeme içerisinde reçineyle nüfuziyet sağlamamış alan kalmazken homojen bir yapının elde edilmesi sağlanmış olur.
4. Üretim kalıbının tek taraflı olması yeterken yüksek dayanıma sahip malzemelerden üretilmesine gerek yoktur.
5. Büyük malzemelerin üretimi gerçekleştirilebilmektedir.

Yöntemin Dezavantajları

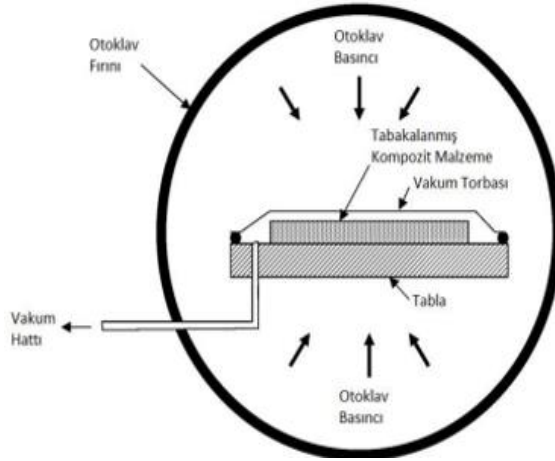
1. Diğer kompozit malzeme üretim yöntemlerine göre ekipmanları sayıca fazla olduğu için ek bir iş gücü gerektirmektedir.
2. Genelde reçine emilmemiş alan kalmazken, reçineye değmemiş alanların veya reçineyi yeterince emmemiş alanların kalabilmesi büyük malzeme üretimlerinde ciddi maliyet kaybı meydana getirebilmektedir.
3. Üretim aşamaları biraz kompleks bir haldedir.

3.1.5 Otoklav Yöntemi

Otoklav yöntemle kompozit malzeme üretimi, basınçlı kalıpla kompozit üretimi ve vakumlu kalıplama yöntemiyle kompozit üretim yöntemlerinin bir arada uygulanmasıyla oluşturulmuş Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da gösterilen gibi bir üretim sistemidir. Kompozit malzemelerin termoset reçinelerle birleştirilmiş türevlerinde malzeme kalitesini ve dayanımını arttırabilmek için reçinenin sebep olduğu hava boşluklarını ortadan kaldırmak ve elyaf-reçine miktarının artmasını sağlamak gerekmektedir. Bu işlemlerin gerçekleştirilebilmesi ise yüksek basınç ve ısı değerlerinin ortamda bulunuyor olmasına bağlıdır. Bu noktada da otoklav sistem, ısıtma, soğutma, basınç ve vakum etkilerini tek bir mekanizma içerisinde sağlayabilmektedir. Otoklav kompozit üretim yöntemi, uygulanan malzeme içerisinde bulunabilecek olan hava boşluklarını en az seviyeye indirerek daha homojen bir yapının oluşmasını sağlamaktadır. Vakum uygulanarak kapalı bir kap içerisine alınan malzemenin üzerindeki basınç artacaktır. Basıncın artması, takviye malzemesi olarak kullanılan yapıların arasında ve lamine yapıların katları üzerinde basınç etkisinin artmasına sebep olacaktır. Katlar arası artan basınç lamine tabakaların birbiri ile daha bütünleşik bir form kazanmalarını sağlar. Malzemenin konulduğu sistem iki aşamadan oluşan ısıtma sistemine sahiptir. İlk ısıtma kademesinde kapalı kap içerisi belirli bir sıcaklık değerlerine ulaştırılır ve matris reçinenin azalan viskozitesinden dolayı yapıda oluşan hava kabarcıklarının uzaklaştırılması sağlanmış olur. İkinci ısıtma kademesinde ise monomer halde bulunan bileşenlerin polimer faza geçerek polimerizasyon işlemlerinin tamamlanmasına olanak sağlanmış olur. Maliyeti yüksek bir üretim yöntemi olduğu için endüstriyel kullanım alanları havacılık ve uzay sanayinde sınırlı kalmıştır (Erol vd., 2012; Gülmez, 2018; Metin, 2021).



Şekil 3.8. Otoklav yönteminin uygulandığı sistem



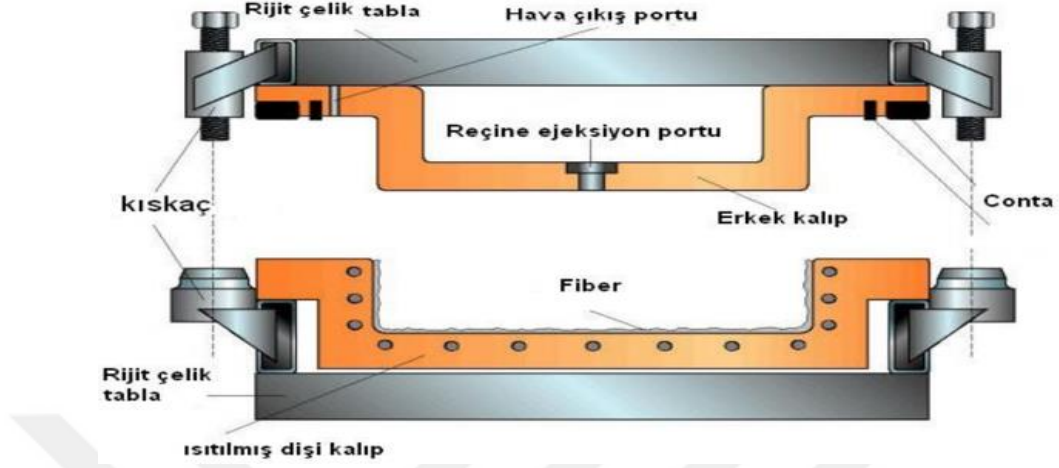
Şekil 3.9. Otoklav sistemi

3.2 Kapalı Kalıplama Yöntemi

3.2.1 Reçine Transfer Kalıplama Yöntemi

Reçine transfer kalıplama (RTM) yöntemi 1980'lerden bu yana kompleks yapıya sahip, elyaf takviye elemanlarıyla desteklendirilmiş kompozit malzemelerin üretiminin sağlandığı sistemdir. Performansı yüksek, hafif, büyük veya küçük çaplı kompozit yapıların üretiminde kullanılmaktadır. Bu kalıplama yönteminde Şekil 3.10'da verildiği gibi iki parçadan oluşan bir kalıp kullanılmaktadır. Bu kalıplar çelik olabildikleri gibi maliyeti düşürmek için kompozit yapıdan da üretilmektedirler.

Bu yöntemle, iki yüzeyinde de pürüzsüzlüğün önemli oldu malzemelerin üretilme sıklığı çok fazladır.

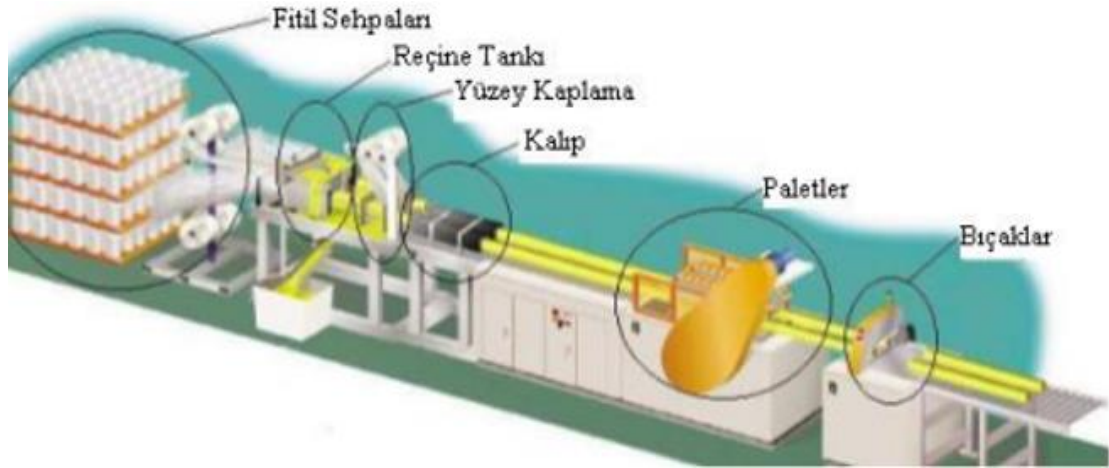


Şekil 3.10. Reçine transfer kalıplama

Takviye malzeme olarak elyaf türleri, keçeler veya kumaş kombinasyonları kullanılmaktadır. Kalıbın şekli oluşturulduktan sonra takviye malzeme olarak ne kullanıyor ise kalıbın şeklini alacak şekilde kalıp içerisine yerleştirilir. Takviye malzemeyi bir arada tutacak olan reçine malzeme ise basınç altında kalıp içerisine uygulanır. Reçinenin kalıp içerisine takviye edilmesini sağlayan enjeksiyonun basıncı kalıbın boyutlarına, reçinenin kürlenebilme yeteneğine, kalıp içerisindeki vakum kuvvetine ve reçinenin sahip olduğu viskoziteye bağlıdır. Kalıp içerisinde oluşan havanın dışarı atılması için sistemde hava çıkış devresi mevcuttur. İşlem sırasında özellikle basınç işin içerisine girdiği için kalıpların basınca dayanıklı olarak üretilmeleri gerekmektedir. Kalıpların kapalı olması, elle yatırma gibi açıktan yapılan yöntemlerde açığa çıkan zararlı gazların yayılmasını engellemektedir. Basınca dayanıklı kapların üretiminin pahalı olması, çok küçük veya çok büyük boyutlarda parçaların üretimine olanak vermemesi gibi nedenlerden dolayı çok tercih edilmeyen bir yöntemdir. Bazı tıbbi cihazlar, otobüs panelleri, otomobillerin koltukları ve gösterge panelleri, teknelerin belirli kısımları ve denizcilikte kullanılan bazı ekipmanlar, rüzgar enerjisi eldesi için kurulan türbin kanatları, bisikletlerin iskeletleri, uçakların bazı parçaları reçine transfer kalıplama yöntemi ile üretilen malzemelere örnek verilebilir (Jacob, 2010; Ömercikoğlu, 2009; Sözer vd., 2012; Uzun vd., 2020).

3.2.2 Pultrüzyon Kalıplama Yöntemi

Pultrüzyon yöntemi ile kompozit malzeme üretimi 1940'lı yıllara dayanmaktadır. Aslında bu yöntem kanal boruları, rijit lamalar ve kiriş gibi endüstriyel malzemelerin elde edilmesi amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. Üretilecek malzemenin bir kalıp boyunca çekilerek elde edilmesi mantığına dayanarak çalışır ve çalışma hattı Şekil 3.11'de verilmiştir. Pultrüzyon makinesinde, makine bünyesinden ayrı olarak bulunan reçine tankı vardır. Takviye malzeme reçine tankı içerisinden geçirilerek reçinenin malzemeye emdirilmesi sağlanır. Daha sonra reçine banyosundan çekilerek çıkartılan malzeme yaklaşık 120-150°C'ye kadar ısıtılmış olan ve malzemeye şeklini verecek olan kalıplardan geçirilerek ısı vasıtasıyla reçinenin sertleştirilmesi sağlanır. Sistemin ön kalıbından çıkan malzemeler kullanım alanlarında maruz kalacakları dış etmenlerden korunabilmeleri için asıl kalıba girmeden evvel malzemelerin dış yüzeyleri kaplanır. Bu bölümden de çıkan malzemeler paletler aracılığı ile çekilmeye devam edilir. Üretilen malzemenin boyu ne kadar olacaksa, malzeme o uzunluğa eriştiği zaman bıçaklar aracılığıyla kesilerek pultrüzyon işlemine son verilmiş olunur (Hüner, 2008; Leblebici vd., 2022; Sarıbiyık, 2007).



Şekil 3.11. Pultrüzyon makinesi şematik gösterimi



Şekil 3.12. Pultrüzyon yöntemiyle üretilmiş profil detayı

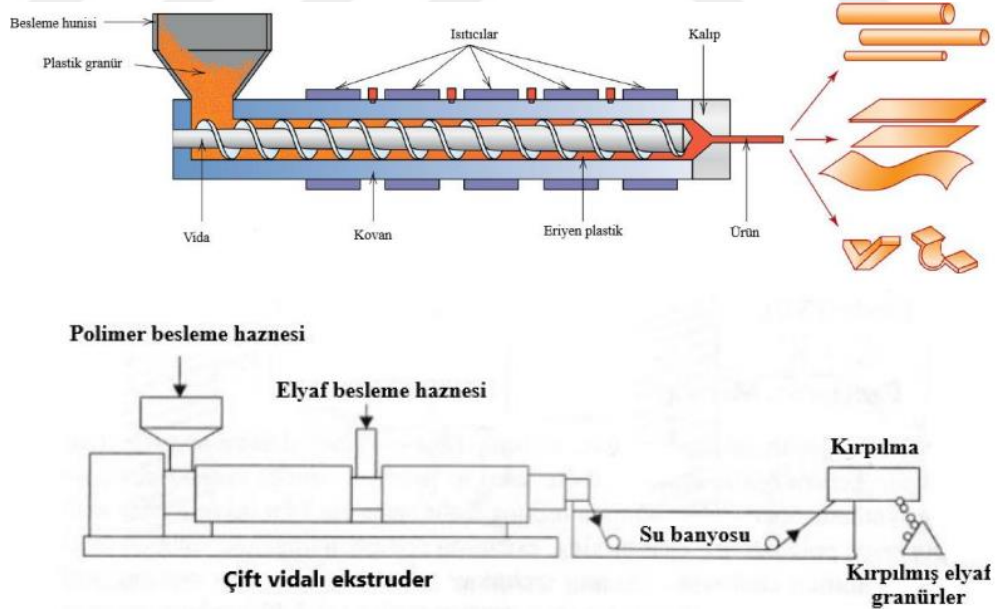
Pultrüzyon işlemiyle üretilen malzemeler Şekil 3.12’de gösterildiği gibi boyuna uzun olan malzemeler olduğu için mukavemetleri de boyuna yüksek olan malzemelerdir. Eğer üretilen malzemenin enine mukavemetlenmesi istenirse malzeme yüzeyi keçe, eksenel yönleri farklı cam kumaşlar veya elyaf kumaşlar ile kaplanabilmektedir. Malzemelerin yüzeylerinin pürüzsüz olması ve dış kuvvetlerin etkilerinin azaltılabilmesi için malzeme yüzeyi termoplastik tül ile kaplanmaktadır. Pultrüzyon yönteminin önemli bir avantajı, üretilen malzemenin ne gibi performanslar sergilemesi bekleniyorsa malzemenin reçinesine o özellikleri sağlayacak yapıların eklenebiliyor olmasıdır. Örneğin malzeme ısıya dayanıklı bir ortamda kullanılacak ise reçine yapısına alüminyum hidroksit eklenmesi malzemenin ısısal dayanımını kuvvetlendirecektir. Malzeme maliyeti yüksek ve bu maliyet düşürülmek istenirse reçine içerisine kalsit yapısının eklenmesi yeterli olacaktır. Malzemenin elektrik iletiminin olmaması istenirse yine reçine yapısına alüminyum trihidrat eklenmelidir.

3.2.3 Ekstrüzyon Yöntemi

Ekstrüzyon yöntemi özellikle plastik esaslı kompozit malzemelerin üretiminde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Yöntemin şematik gösterimi Şekil 3.13’de verilmiştir. Isıtılarak akışkan hale getirilen termoplastik, basıncın uygulanması ile kalıp içerisinden geçirilerek biçimlendirilmesine dayanan bir üretim yöntemidir. Üretilen parçanın şekline, takviye olarak katılacak olan malzemenin türüne ve boyutuna, kompozit malzemenin maliyetine ve üretimi gerçekleştirilecek olan kompozit malzemenin kullanım alanına göre ekstrüzyon yönteminin hangi koşullarda şekillendirme yönteminin gerçekleştirileceği belirlenir. Esasında katı halde bulunan

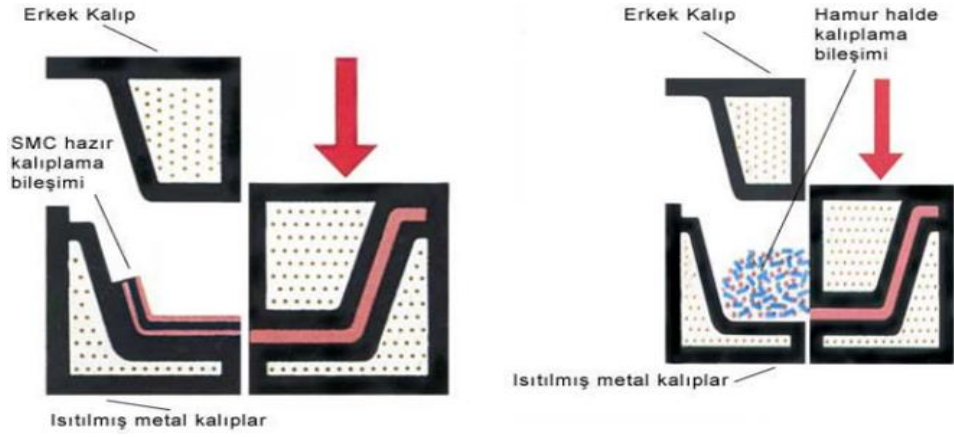
prepreg malzemeler, bir helezon veya bir vida aparatıyla ilerletilirken hem sıkıştırma işlemi yapılır hem de sıkıştırma işlemi süresince ısı verilerek eritme işlemi gerçekleştirilir. Ekstrüzyon işlemi ise viskoz hale getirilmiş malzemenin kalıp içerisine itildiği noktada gerçekleşir. Ekstrüzyon işlemine tabi tutulan viskoz malzemenin katılma işlemleri su banyosu, hava üfleme veya su spreyi gibi takviye kısımlarla desteklenerek sağlanmaktadır (Göde, 2011).

Ekstrüzyon işlemi sürekli bir işlem olup işlem hızı oldukça yüksektir ve seri üretim gerektiren parçaların üretimi için uygun bir yöntemdir. Bu yöntem kullanılarak levha, film, boru, profil, uzun elyaf gibi malzemelerin üretimi gerçekleştirilmektedir. Plastik ekstrüzyon üretim yönteminde genellikle polipropilen (PP), polivinilklorür (PVC), polistiren (PS), naylon (PA) gibi termoplastik malzemeler kullanılmaktadır. Ekstrüzyon yöntemiyle kompozit malzeme üretimi, hammaddesi saf malzemelerden elde edilerek gerçekleştirilebileceği gibi takviye elemanlar kullanılarak da kompozit malzeme üretimi gerçekleştirmeye imkan sağlayan bir üretim yöntemidir. Bu özelliği de bu yöntemin yaygın kullanımını desteklemektedir (Arı, 2022; Ekşi, 2007).



Şekil 3.13. Ekstrüzyon yöntemi şematik gösterimi

3.2.4 Hazır Kalıplama Yöntemi



Şekil 3.14. Hazır kalıplama yöntemi şematik gösterimi

Basınçla kalıplama yöntemi olarak da adlandırılan hazır kalıplama yöntemi, daha önceden hazırlanarak hamur kıvamı verilen ve yapısı cam elyaf-polyester elyaf, katkı malzemeleri ve reçineden oluşan malzemenin sıcak pres uygulanması sonucu ürün elde edilmesi yöntemidir. Bu yöntem kullanılarak diğer kompozit malzeme üretiminde kullanılan yöntemlerden farklı olarak, malzeme yapısında delik gibi komplike kısımların oluşturulması sağlanabilmektedir. Yüksek üretim kapasitesi gerektirmesinin yanı sıra malzeme içerisine yerleşmesi gereken metal aksamların yerleştirilmesi, kompleks şekilli parçaların üretilebilmesi, et kalınlıkları farklı malzemelerin üretilebilmesi gibi birçok avantajı da sağlayabilmektedir. Üretimde kullanılan kalıpların metal olması, üretim yöntemini maliyetli hale getirmektedir. Bu yöntemin en büyük dezavantajı kalıplamada kullanılan parçaların buzdolabında saklanması gerektiğidir.

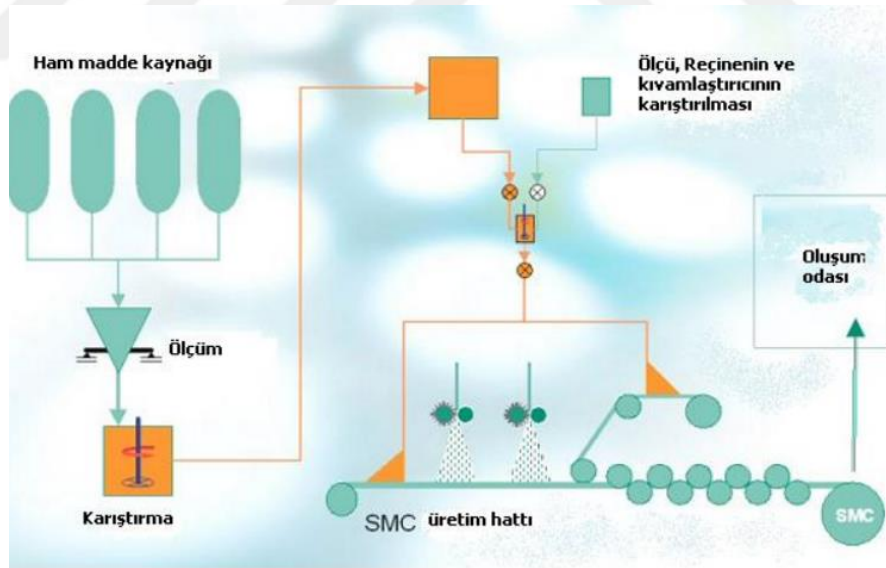
Hazır kalıplama yönteminde Şekil 3.14’de gösterilen ve önceden ısıtılmış dişi ve erkek kalıplar arasında kalıplamada kullanılacak malzemeler konulur ve basınç uygulanarak malzemenin kalıbın şeklini alması sağlanır. Kalıbın, alt kalıba hareket etmesi sonucu arada sıkışan malzeme, kalıp içerisinin şeklini alırken yapısında kalan hava kabarcıkları da basıncın etkisiyle ağız kısımlarından dışarı atılmaktadır. Dişi ve erkek kalıp arasında şekillenme işlemini tamamlayacak olan kompozit malzemenin yüzey kalitesinin artırılabilmesi için metal kalıp yüzeyleri nikel ve krom ile kaplanmaktadır. Hazır kalıplama yöntemi ile kompozit malzeme üretimi temel olarak dört ana başlığa ayrılmaktadır:

1. BMC hazır kalıplama (hacimli kalıp bileşeni)
2. SMC hazır kalıplama (tabaka kalıp bileşeni)
3. Takviyeli termoplastik levha presleme işlemi
4. Islak keçeleri ve preformları presleme işlemi

3.2.4.1 BMC hazır kalıplama

Kalıplar arasında hamur halde bulunması gereken malzemeye reçine, dolgu maddesi, ürün performans artırıcısı ve fitil parçaları katılarak kalıbın kalıplama bileşiği hazırlanır. Oluşturulan bu malzeme araçların vites kutularının üretimi, otomobil farları, ev aletlerinin kimi parçalarının üretimi gibi alanlarda kullanılmaktadır.

3.2.4.2 SMC hazır kalıplama



Şekil 3.15. SMC Hazır kalıplama şematik gösterimi

Sıkıştırma kalıplarında kullanılan cam elyaf takviyeli polyester malzemesidir. Bir nevi levha formundaki çelik malzemenin kompozit türevi de sayılabilir. Toz veya sıvı haldeki bütün SMC malzemeleri Şekil 3.15’de gösterilen üretim şeması üzerinden ilerleyip, karıştırma ünitesinde karıştırılarak macun formu kazandırılır. Elde edilen bu macunsu yapının üzerine kırılmış halde bulunan elyaf parçaları alttan ve üstten

yedirilerek sandviç bir yapı elde edilir. Bu sandviç yapı bant üzerinde rulolara iletilir ve burada sıkıştırılır. Yapısındaki reçine firesinin önlenmesi için ise paketlenerek ısı kontrol sağlanabilen odalarda muhafaza edilir (Işık, 2008; İstif, 2016).

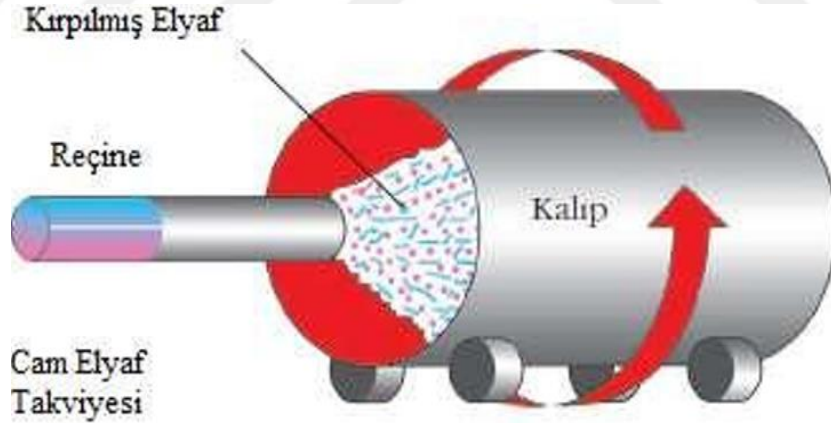
3.2.5 Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi

Kompozit malzeme ve plastik malzemelerin üretiminde kullanılan bir yöntemdir. Enjeksiyon kalıplama cihazı 1865 yıllarında üretilmiş olsa da 1930'lu yıllara kadar aktif kullanımı olmamıştır. Çoğu termoplastik ve polimer malzemelerin üretimi enjeksiyon kalıplama yöntemi kullanılarak gerçekleştirilir. Enjeksiyon kalıplama yöntemi, katı fazda bulunan termoplastik malzemenin viskoz özellik elde edene kadar ısıtılarak basınç yardımıyla kalıp içerisine iletilip katılaşması esasına dayanarak çalışır.

Malzeme üretiminde kullanılan polimerler termoplastik ve termoset polimerler olarak gruplandırılırlar. Termoplastik malzemeler, normal şartlar altında katı malzemelerdir. Formları, ısı almalarına bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Ergiyik hale geçen termoplastik malzemeler kalıp içerisine iletilerek soğutulması sağlanır. Termoset polimerler ise normal şartlar altında katı fazda bulunabildikleri gibi sıvı fazda da bulunabilmektedirler. Üretilmek istedikleri şekli almaları, kalıplama işlemi gerçekleştikten sonra ısıtılmalarına bağlıdır (Yumakgil, 2009). Termoplastik malzemeler termoset malzemelerden, yeniden ısıtılıp şekillendirilebilmeleri bakımından farklılık gösterirler. Termoplastik malzemeler oda şartlarında katı fazda olurken, termoset malzemeler oda şartlarında sıvı da olabilmektedirler. Seri üretime uygun bir üretim yöntemidir. Vida hareketini hidrolik kısım sağlamaktadır. Polimer malzeme erime sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklık değerine kadar ısıtılarak akışkanlık kazandırılması sağlanır. Akışkan olan polimer malzeme vidanın hareket etmesi ve basıncın yardımıyla kalıp içerisine itilir, katılaşması beklenir. Kalıp içerisinde bekletilen malzeme soğur. Enjeksiyon kalıplama yönteminde polimer malzemeyi kalıp içerisine iten vida hızı, enjeksiyon kısmının basıncı ve hızı, kalıbın sıcaklığı ve soğuma zamanı üretim yönteminde dikkat edilen hususlar arasındadır. Polimer malzemenin özellikleri, kalıbın geometrik şekli, çıkış esnasındaki basınç enjeksiyon kalıplama ile üretim safhalarında önemli diğer hususlardır (URL-2, 2022).

3.2.6 Savurma Yöntemi ile Kalıplama

Silindirik, hareketli ve içi boş kalıbın içerisine takviye malzemenin ve matris malzemenin konulup, yüksek hızla çevrilerek malzeme üretiminin gerçekleştirildiği üretim yöntemidir. Kalıbın içerisine Şekil 3.16’da gösterildiği gibi ufaltılmış takviye elemanı matris malzeme ile karıştırılarak püskürtülür. Yüksek dönme hızının etkisiyle meydana gelen merkezkaç kuvveti matris malzemeye bulanmış olan takviye elemanının kalıp yüzeyine oturmasını sağlar. Üretimi sağlanan malzemenin kimyasal yapısını iyileştirip dayanımını arttırmak için kompozit malzemenin iç kısmına ince olmak suretiyle saf haldeki matris malzemenin temas etmesi sağlanabilir. Kompozit malzemenin kimyasal yapısında iyileşmelere sebep olan bu yöntem aynı zamanda malzemenin iç yüzeyinin daha düzgün bir forma kavuşmasına neden olur. Savurma yöntemi ile kompozit malzeme üretiminde silindir kalıp içerisindeki malzeme istenilen şekle kavuştuğu zaman kalıp, basınçlı hava verilerek veya soğutma sıvısı uygulanarak soğutulur. Bu yöntem ile tank, depo, boru gibi silindir forma sahip malzemeler üretilmektedir.



Şekil 3.16. Savurma yöntemi ile kalıplama şematik gösterimi

4. KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİMİNDE KULLANILAN DOĞAL LİFLER

Kalabalıklaşan nüfusla beraber endüstriyel alanda oluşan taleplerin karşılanabilmesi için daha iyi özellikler sergileyebilen ve kolay temin edilebilen malzemelerden üretim yapabilmek önemli bir arayış noktası olmuştur. Bu noktada kompozit malzemelerin nasıl daha düşük maliyetlere üretilbileceği, nasıl daha çevre dostu ürünler elde edilebileceği, geri dönüşüme olanak sağlayabilmeleri ve dayanımı yüksek malzemeler olarak geliştirilebilmeleri hususunda önemli araştırmalar yapılmaktadır. Birçok etken göz önünde bulundurulduğu zaman yaygın kullanıma sahip olan kompozit malzemelerin sürdürülebilir ve biyobozunur olmalarından dolayı doğal liflerle takviye edilen türlerinin üretimi üzerine yoğun uğraşlar bulunmaktadır. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan doğal lifler, bitkisel ve hayvansal lifler olarak sınıflandırılmaktadırlar. Kompozit malzeme üretiminde meyve-yaprak lifleri ve sak lifleri gibi selülozik içeriğe sahip olan bitkisel lifler ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. Otomotiv sektörü başta olmak üzere birçok sektörde kullanım alanına sahip olan kompozit malzemeler sentetik liflerin yanı sıra kenevir, keten, jüt, sisal, hindistan cevizi lifleri, pamuk lifleri gibi doğal liflerle de takviyelendirilmesi artış göstermektedir (Bulut vd., 2011; Karabulut vd., 2014). Kompozit endüstrisinde takviye lifi olarak yaygın bir şekilde kullanılan aramid, karbon lifleri ve cam lifleri kompozit malzemeden beklenen özellikleri karşılayabilecek şekilde donanımlandırılabilirken, doğal liflerle üretimi yapılan kompozit malzemelerin yapısal özelliklerini, bitkinin üretildiği ortamın iklim koşulları, bitki iç yapısının özellikleri gibi bazı kıstaslar etki göstermektedir. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan doğal fiber çeşitleri şu şekildedir:

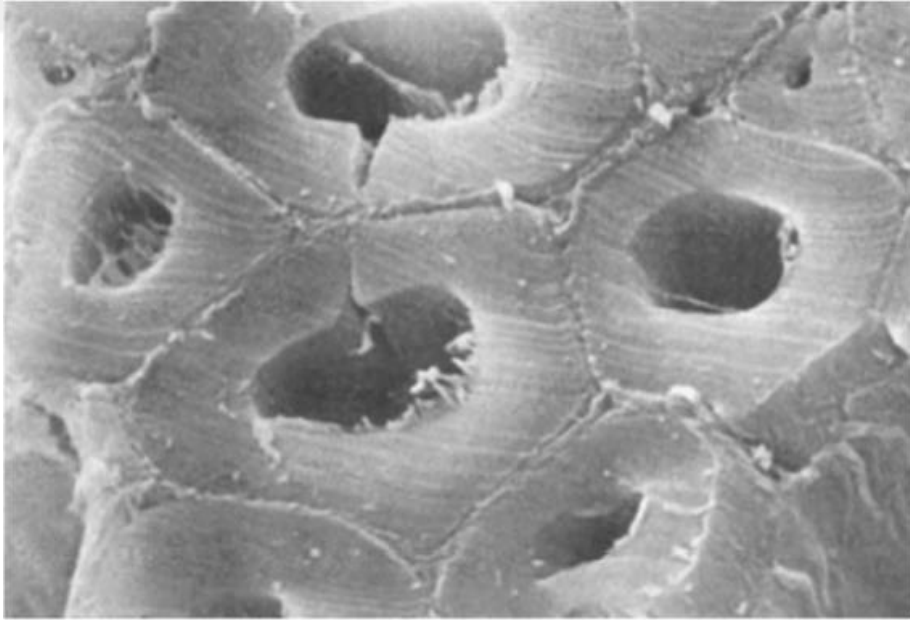
1. Tohum Fiberler: Pamuk, Hindistan cevizi
2. Kabuk Fiberler: Jüt, kenevir, keten, kenaf
3. Yaprak Fiberler: Muz, ananas yaprakları, sisal, abaka
4. Kamış Fiberler: Mısır, pirinç, buğday (Faruk vd., 2012).

4.1 Tohum Fiberler

Tek hücreli fiberler olarak da adlandırılırlar. Bitki tohumunun üzerinde mevcut olan liflerden elde edilen yapılardır. Pamuk lifleri, hindistan cevizi lifleri, palmiye meyvesinin lifleri bu türün bilinen en yaygın örnekleridir.

4.2 Kabuk Fiberler

Bitki gövdesinin en dışını oluşturan katmana kabuk fiberler denir. Kabuk fiberleri, bir lif üzerinde birden fazla hücre barındırdıkları için çok hücreli lifler olarak da bilinirler. Jüt, rami, kenevir, keten bu grubun bilinen en yaygın örnekleridir. Dünya üzerinde pamuktan sonra üretiminin en fazla gerçekleştirildiği bitki Şekil 4.1’de lif yapısı verilen jüt bitkisidir. Tropik iklim koşullarında yetişen bu bitki yaklaşık olarak 2,5-3,5 metre boyutlarına sahiptir. Genel olarak tekstil sektöründe kendisine kullanım alanı bulmaktadır. Kabuk kısımlarından faydalanan bir diğer bitki ise Şekil 4.2’de kabuklarının atık kısmı gösterilen palmiye bitkisidir.



Şekil 4.1. Jüt liflerinin mikroskop altında x7600 görüntüsü



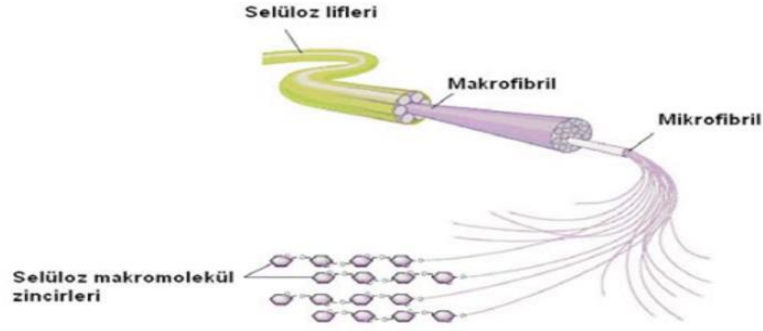
Şekil 4.2.Palmye bitkisi kabuk atığı

4.3 Yaprak Fiberler

Bitkilerinin yapraklarının bazı işlemlerden geçirilmesi ile elde edilen liflerdir. Bu lifler tropik bölgelerde yetiştirilen ve büyük yapraklara sahip olan abaka, sisal, ananas gibi türlerden elde edilir. Yaprak fiberler içerisinde en sık kullanılanı sisal lifleridir. Kompozit malzemelerin sisal ile takviyelendirilmiş türleri otomotiv sektöründe kullanılmaktadır. Aynı şekilde ananas yapraklarından elde edilen ananas lifleri de otomotiv sektöründe kompozit malzemelere takviye elemanlar olarak kullanılmaktadır (Mohanty vd., 2005).

4.4 Kamış Fiberler

Otsu bitkiler olup kamış şeklinde büyüyen mısır, pirinç, buğday gibi bitkilerden elde edilen liflerdir. Mısır kabuklarından kompozit malzeme üretiminde takviye eleman olarak yararlanılmak istenilmiştir. Kopmalara karşı yüksek dayanım sergilemekle beraber gevrek formdadırlar. Pirinç ise ülkemizde çok tüketilen ve çeltiği çok çıkan bir türdür. Polipropilen matris kullanılarak pirinç çeltiği üzerinde incelemeler yapılmıştır (Faruk vd., 2012). Yapılarının temelini selülozun oluşturduğu bitki lifleri, lignin ve hemiselüloz yapı içerisinde mikrofibriller içerirler. Bu mikrofibriller, lifler boyunca süreklilik gösteren yapıdadırlar. Doğal liflere dayanım özelliğini ise liflerin yapısında bulunan hidrojen ve bazı farklı bağlar sağlamaktadır. Doğal liflerin iç yapılarında bulunan lignin, hemiselüloz ve mikrofibriller takviye elemanı olarak düşünülebilirler. Aslında bitki lifleri, yapıları neticesinde kendi içlerinde kompozit yapı sergilemektedirler.



Şekil 4.3. Selülozun mikro yapısı

Doğal liflerin yapısı Şekil 4.3’de gösterilmiş olup, yapılarında bulunan hemiselüloz, selüloz ve lignin lifleri oluşumlarını sağlayan önemli bileşenlerdir. Bazı doğal liflerin kimyasal bileşenleri Tablo 4.1’de verilmiştir. Selüloz, bir polisakkarit çeşidi olup, bitki liflerinin doğal yapısının çoğunluğunu oluşturmaktadır. Selülozlar yapıda hidrojenler ile köprü kurarak bağlantı sağlarlar. Selüloz maddesi sudan kaçınma özelliği sergileyebilen bir polimerle takviyelendirildiği zaman oluşan lif/matris arayüzeyi zayıflayacaktır. Buda malzemenin nemlenme özelliği kazanmasına sebep olur. Liflerin kompozit malzemelere sağladıkları özellikleri liflerin dizilimleri, iç yapıları, kimyasal bileşenleri gibi faktörler etkilemektedir.

Tablo 4.1. Doğal liflerin kimyasal bileşenleri

Lif	Selüloz (%)	Lignin (%)	Hemiselüloz (%)	Pektin (%)
Jüt	61-71,5	12-13	13,6-20,4	0,2
Keten	71	2,2	18,6-20,6	2,3
Kenevir	70,2-74,4	3,7-5,7	17,9-22,4	0,9
Rami	68,6-76,2	0,6-0,7	13,1-16,7	1,9
Kenaf	31-39	15-19	21,5	2
Sisal	67-78	8-11	10,0-14,2	10,0
Hindistan Cevizi	36-43	41-45	0,15-0,25	3-4
Pamuk	82-96	0,5-1	2-6	5-7
Abaca	61-64	12	21	0,8
Ananas Yaprağı	80-81	4,6-12	16-19	2-3
Muz Lifi	60-65	5-10	6-19	3-5

5. BİYOKOMPOZİTLER

Kompozit malzemeyi meydana getiren takviye elemanları veya matris malzemelerinden bir tanesinin veya iki tanesinin doğal ve sürdürülebilir kaynaklardan elde edilmesiyle oluşan kompozit türüne biyokompozitler denilir (Avcı vd., 2021). Mevcut kompozit malzemeler ve türevlerine alternatif teşkil etmesi amacıyla üretilen biyokompozitler, polimer matris malzemeye doğal liflerin dahil edilmesiyle elde edilirler. Biyokompozit malzemeler üretilirken PP, PE, PS gibi temeli petrole dayalı matrisler veya PHA ve PHB gibi biyopolimer türevleri ve doğal lifler matris olarak kullanılırlar. Bir biyokompozit malzemenin hem takviye elemanı hem de matris malzemesi doğal kaynaklar kullanılarak üretilmişse bu yapıya yeşil kompozit adı verilir. Temeli biyolojik olan bütün polimerler biyobozunur kabul edilmesinin yanı sıra temeli petrol malzemesine dayanan bazı polimer malzemelerde gerek hidroliz yoluyla gerekse mikroorganizmaların işlevlerin sonucu bozulabilmektedir. Biyobozunurluk dediğimiz bu biyolojik bozulma evresi, malzemelerin sahip olduğu polimerik yapısı ile alakalıdır. Biyokompozit malzemeler, kompozit malzemelere alternatif teşkil etmelerinin yanı sıra ana bileşenleri petrol olan kompozit malzemelerin çevre dostu olmamaları ve maliyetlerinin yüksek olması gibi etkenlerden dolayı da aktif olarak araştırılıp geliştirilmeye çalışılan malzemeler olmaktadır. Kompozit üretim sektöründe yaygın olarak kullanılan karbon elyaf ve cam elyaf malzemelerin sergiledikleri mekanik özelliklerin doğal lifler ile üretilen kompozit malzemelerde de sergilendiğinin gözlemlenmesi üzerine endüstriyel uygulamalarda doğal liflerin kullanımı yaygınlık kazanmıştır. Aynı zamanda cam, karbon, seramik ve aramid gibi lifler her ne kadar seri üretimde ve mekanik özellikler bakımından iyi performanslar sergileseler de barındırdıkları çevresel ve küresel tehditlerden dolayı kullanım alanlarında yerlerini doğal liflere bırakmaktadır. Birçok alanda faydası bulunan biyokompozit malzemeler çevre dostu olmakla beraber dünya nüfusunun sağlığını da göz önünde bulunduran bir malzeme türü olmuştur (Çelik vd., 2020).

6. DOĞAL LİF TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELER

İnsanoğlunun atmosfere salmış olduğu sera gazları, küresel ısınmanın en büyük etkenidir. Fosil yakıt türleri günümüzde küresel ısınmanın sebebi olan CO₂'nin atmosfer ortamına yayılmasına sebep olmaktadır. Yapılan araştırmalar doğrultusunda küresel ısınmanın artmasının büyük çoğunluğunun insanlara ait olduğu saptanmıştır. Bu olumsuz tutumun azaltılabilmesi için CO₂ salınımına sebep olan uygulamaların minimize edilmesine ve doğa dostu kaynakların kullanımının artmasına özen göstermek gerekliliği doğmuştur. Kompozit endüstrisinde yaygın bir şekilde kullanılan aramid, cam elyaf, karbon elyaf gibi malzemeler iyi mekanik özellikler gösterebilirler de geri dönüşümlü olmamaları, üretim sürecinde CO₂ açığa çıkararak çevreye zarar vermeleri, üretim maliyetinin yüksek olması gibi nedenlerden dolayı kullanımlarını doğal içeriğe sahip liflere bırakmaktadırlar. Doğal lif takviyeli kompozit malzemeler daha iyi mekanik özellikler sergileyebilmektedirler (Bulut vd., 2011; Öndürücü vd., 2018).

Kompozit malzeme üretiminde doğal liflerin yaygınlaştırılmasının bir sebebi ise sentetik liflere kıyasla doğal liflerin yoğunluk değerlerinin daha düşük olması ve insan sağlığına sentetik lifler kadar zarar vermemeleridir. Yeşil kompozitler, biyokompozitler veya eko-kompozitler olarak da adlandırılabilen doğal lif takviyeli kompozitler, termoplastik veya termoset bir matrise liflerin takviye elemanı olarak eklenmesiyle elde edilirler. Bu kompozitlerin en büyük dezavantajları suya karşı gösterdikleri zaafırlardır. Hidrofil özellik sergileyen polimer bir matrise dahil edildikleri zaman bu özelliklerinden dolayı zayıf bağlantı yüzeyinin oluşmasına sebep olurlar. Bu da üretilen kompozit malzeme istenilmeyen durum olan zayıf mekanik özellikler göstermesine sebep olacaktır. Bu gibi olumsuzlukları ortadan kaldırmak için lif-matris arasındaki bağları güçlendirmek için lif-polimer arayüzey tipleri geliştirilmektedir. Bir kompozit yapının sergilemiş olduğu mekanik davranışları, kompozit malzemenin üretim yöntemi, matris ve lif seçimi, liflerin dağılım şekilleri, arayüzey bağını sağlayan modifikasyon türleri gibi parametreler belirlemektedir. Hafif olmaları, sentetik liflere göre maliyetlerinin daha uygun olması, özgül dayanımlarının yüksek olması doğal lif takviyeli kompozit üretim ve kullanımının daha da

yaygınlaşması açısından önemli olan artı özelliklerdir. Bu doğal lifler sayesinde geliştirilen ve özelleştirilen kompozitler otomotiv sektöründen, savunma sanayine kadar çok geniş alanlarda kullanımı mevcut hale getirmiş ve bu mevcudiyetin daha da geniş alanlara yayılabileceğini göstermiştir (Uğural, 2021). Yeşil kompozitlerde polimer malzemeyi güçlendirmek için keten, kenevir, jüt, sisal gibi doğal lifler güzel mekanik özellikler sağlayan takviye elemanları olarak kullanılmaktadırlar. Airbus A380 ve A350 gibi yolcu uçaklarının üretim aşamasında ağırlıklı olarak doğal kompozitlerden faydalanılmaktadır (Güneşkaya, 2017).

6.1 Kenevir Lifleri

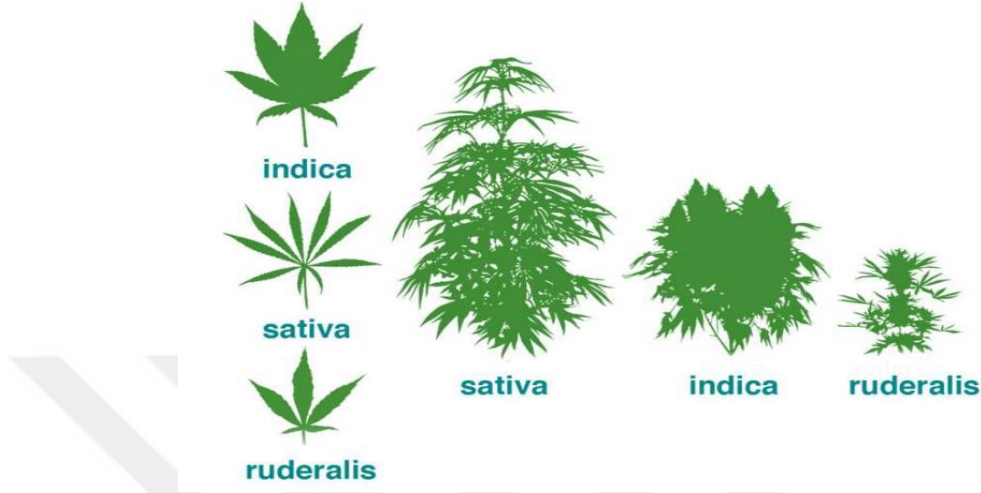
Doğal kompozit malzemelerin üretiminin ve geliştirilmesinin yaygınlaştırılması üzerine yapılan çalışmalarda kenevir bitkisinin araştırılma oranı hızla artmaktadır. Tekstil sektörü, gıda sektörü, kompozit malzeme sektörü gibi birçok alanda kullanılması nedeniyle yıllar boyunca tarımı gerçekleşen bitki türü olmuştur (Demirbek vd., 2021).



Şekil 6.1. Kenevir bitkisi

Şekil 6.1’de görseli verilen kenevir diğer adıyla Cannabis bitkisi, tek yıllık bir bitki olup *Cannabaceae* bitki familyasına aittir. İki alt kategorisi bulunmaktadır. Bunlar Şekil 6.2’de verilen *Cannabis Sativa* ve *Cannabis İndica*’dır. Kenevir bitkisinin anavatanı Asya kabul edilmekte olup, dünya geneline buradan yayıldığı düşünülmektedir. Kompozit malzeme üretiminde lif olarak kullanımı, Cannabis Sativa türünden elde edilmektedir. Keyif verici özelliğinin var olduğu bilinen Cannabis

İndica türünün üretimi bütün dünyada yasaklanmıştır. Geçmişi çok eskilere dayanan ve insanoğlunun varlığıyla beraber bilinen en eski bitki türlerinden birisi olduğu düşünülmektedir (Kaya vd., 2020).



Şekil 6.2. Kenevir bitki türleri

Bilimsel araştırmalar neticesinde Cannabis Sativa türünün M.Ö. 2700’lü yıllarda ilaç üretmek amacıyla Çin’de yetiştirildiği bilinmektedir. Kenevirden elde edilen lifler geçmişten günümüze genellikle tekstil sektörüne katkı sağlaması amacıyla kullanılmışlardır. Tekstil sektörünün hammadde ihtiyacında %80’lik bir kullanım payına sahip olan kenevir, teknolojinin gelişmesi ve artan talepleri karşılayabilmek amacıyla çağımız endüstrisinde alternatif malzeme olarak kullanılmaya başlanmıştır. Kenevir bitkisinin tohumları hayvan yemi üretiminde ve yağ yapımında kullanılırken liflerinden de kağıt yapımı mevcuttur. Ülkemizde Kütahya, Samsun, Amasya, İzmir, Kayseri, Kastamonu ve Sivas illerinde ekimi gerçekleştirilmiştir. 1930’lu yıllarda uyuşturucu maddelere karşı çıkartılan yasalar gereğince kenevir tarımının yapılması büyük ölçüde yasaklanmıştır. Fakat savunma sanayinde sentetik liflere ek ve alternatif olarak kenevir gibi doğal liflerin kullanılmaya başlanması, kenevir tarımının belirli bölgelerde devlet denetimi altında yeniden yapılmasını zorunlu kılmıştır. Şu an bilinen ve yasal olan ekim alanları Samsun ili, Vezirköprü ilçesi ve Kütahya ilidir. Bu illerde yetiştirilen kenevirler liflerinden faydalanılabilmek için üretilmektedirler (Kaya vd., 2020; Taşlıgil vd., 2019).

6.1.1 Kenevir Liflerinin Yapısı ve Özellikleri

Üretimi tek yıllık olan bitkilerdir. Uzun bir sap gövdesine sahiptir. Dişi ve erkek eşeyli bireyleri vardır. Gövde kısmının kabuk alanında lifler bulunmaktadır ve bu lifler endüstriyel alanda kullanılan kenevir lifleridir. Bir lif demetinde, yaklaşık olarak 35-50 lif hücresi mevcuttur ve bu hücreler mikron mertebesinde ince yapıya sahiptirler. Kenevirin Cannabis Sativa çeşidinin erkek eşeyli kısmı tekstil ürünlerinin eldesinde kullanılmaktadır. Kenevirin yapısında bulunan lifler, bitki büyüme evresindeyken sayıca artış göstermezler bunu yerine lif boylarında bitki uzamasına bağlı olarak uzamalar meydana gelir. Liflerin kalınlığı, bitki gövdesinin alt kısımlarda kalınlaşması sonucunda artış göstermektedir. Liflerin boy uzunluklarını da gövde boğumları belirlemektedir. İki boğum arasındaki mesafe o boğumlar içerisinde bulunan liflerin boyunu tayin etmektedir (Demirbek vd., 2021). Bir kenevir lifinin özelliklerinin belirlenmesinde bitkinin sahip olduğu olgunluk yaşı da önemli kriterdir. Hasat işleminin yapılacağı zaman, bitki liflerinden beklenen özellikler göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmektedir. Kendir liflerinin kompozit malzeme üretiminde kullanılması aşamasında liflerin malzemeye kazandırabileceği özellikleri belirleyebilmek için lif yapılarını ve lif bileşenlerini iyi biliyor olmak gerekir (Kaya vd., 2020). Lif yapısında bulunan maddeler, malzeme içerisinde kenevir liflerinin sergileyeceği davranışları belirlerken üretim yolunun seçilmesinde de temel kriterlerden birisi olmaktadır.

6.1.1.1 Kimyasal özellikleri

Kenevir lifleri yapısında selüloz başta olmak üzere pektin, hemiselüloz, bal mumu ve lignin içermektedir. Kenevirin su tutma özelliğine sahip olmasına pektin maddesi sebep olmaktadır. Pektinler bitki gövdesinin duvarları ile lamelleri arasında bulunan yapılardır. Kenevir lifleri sert lifler olup kırılma özelliği gösterebilmektedirler. Liflere bu özelliği sağlayan yapı ise lignindir. İzotopik bir yapıya sahip olan lignin maddesi, bir fenilpropan çeşidi olarak bilinmektedir. Kimyasal uyarıcılar karşısında direnç gösterebilen lignin maddesi kolaylıkla ayrıştırılamaz kuvvetli bir yapıya sahiptir. Kenevir lifleri nefes alabilen doğal liflerdir. Liflere bu özelliği ise bünyesinde bulunan hemiselüloz maddesi kazandırmaktadır (Kaya vd., 2020).

6.1.1.2 Fiziksel özellikleri

Doğal lifler arasında en kuvvetli forma sahip olan lif ramiye aittir. Ramiden sonra ise kenevir lifleri gelmektedir. Kenevir lifleri sıcaklık değişimlerinden kolay etkilenmezler ve artan sıcaklık değerlerinde bile performanslarını muhafaza edebilirler. Mukavemeti yüksek liflerdir. Nem tutabilme özelliğine sahip liflerdir. Artan bağıl nemin etkisiyle nem tutuma kapasitesinde de artışlar görülebilmektedir. Nem tutma özellikleri çerçevesinde keten ve pamuk lifleri de benzer özellikleri sergilemektedir. Pamuk liflerinin kullanıldığı birçok uygulamada yaklaşık performansları kenevir liflerinden elde edebilmek mümkündür. Kenevir, yetiştirilmesinde fazla suya ihtiyaç duyan bir bitki türü değildir. Aynı zamanda yetiştiriciliği sırasında tarım ilaçları ve gübreye de gereksinim duymaz. Organik tarım çerçevesinde toprağın korunabiliyor olması kenevire bakış açısını olumlu kılmaktadır (Göre vd., 2021).

6.2 Dünyada Kenevir

Günümüzde kenevir bitkisi ülkeler açısından kutuplaşmalar yaratan bir bitki türü olmuştur. Bu kutuplaşmaların sebebi kenevirin narkotik etki göstermesinin yanı sıra endüstriyel anlamda da birçok faydasının bulunuyor olmasıdır. Tohumundan ve liflerinden faydalanan kenevir, son yıllarda dünya ülkeleri üzerinde özellikle tohum için üretimi sağlanmış olup, bu üretim Tablo 6.2’de görüldüğü gibi 32.140 hektar seviyesine ulaşmıştır. Ekim alanının sürekli artış göstermesiyle üretimi yapılan tohum oranı da Tablo 6.1’de görüldüğü gibi 142.883 tonu bulmuştur. Keneviri tohumu için yetiştiren ülkelerin başını Fransa, Çin ve Rusya çekmektedir (Yılmaz vd., 2022).

Tablo 6.1. Dünya tohum üretim amaçlı kenevir üretim miktarı

Üretim (Ton)	2014	2015	2016	2017	2018
Dünya	103.097	78.195	99.842	146.223	142.883
Fransa	84.097	61.841	84.191	129.624	125.362
Çin	15.595	13.146	11.885	11.854	11.822
Rusya	520	275	589	1.078	2.117
Şili	1.466	1.484	1.496	1.515	1.533
Macaristan	409	402	402	396	390
Ukrayna	589	594	599	597	596
TOPLAM	102.676	77.742	99.162	145.064	141.820
Dünyadaki payı (%)	99,59	99,42	99,32	99,21	99,26

Tablo 6.2. Dünya tohum üretim amaçlı kenevir ekim alanı

Ekim Alanı (Hektar)	2014	2015	2016	2017	2018
Dünya	24.604	23.939	27.091	32.058	32.140
Fransa	10.874	11.779	13.863	17.658	16.511
Çin	5.833	4.748	4.399	4.370	4.342
Rusya	1.969	1.261	2.333	3.600	4.691
Şili	2.282	2.518	2.735	2.555	2.660
Macaristan	1.369	1.387	1.441	1.518	1.606
Ukrayna	1.118	1.111	1.165	1.149	1.133
TOPLAM	23.445	22.804	25.936	30.850	30.943
Dünyadaki payı (%)	95,29	95,26	95,74	96,23	96,28

Kenevir üretiminin tohum harici olarak gerçekleştirilen miktarı Tablo 6.3’de verilmiş olup, tohum dışı ekim alanına ait veriler Tablo 6.4’de gösterilmiştir.

Tablo 6.3. Dünya tohum dışı kenevir üretim miktarı

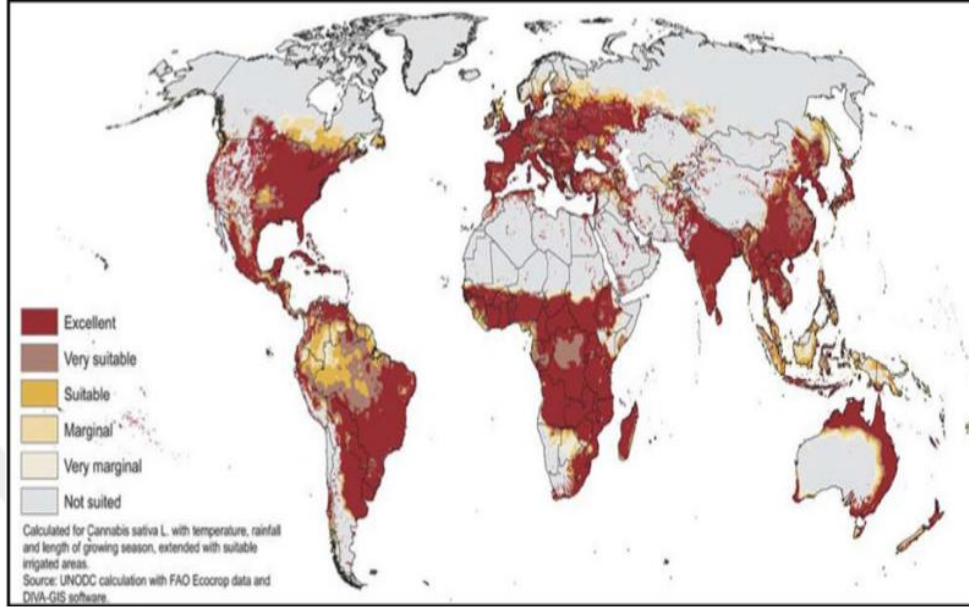
Ekim Alanı (Ton)	2014	2015	2016	2017	2018
Dünya	76.707	62.475	66.796	55.826	60.657
Kuzey Kore	14.250	14.610	14.623	14.757	14.891
Hollanda	13.065	14.596	17.417	9.539	13.851
Çin	32.000	15.521	15.178	13.391	12.623
Şili	4.162	4.236	4.194	4.166	4.146
Romanya	3.203	2.910	2.751	2.955	2.872
Fransa	1.155	1.041	1.229	1.256	1.283
Rusya	1.420	1.214	1.287	1.271	1.256
Ukrayna	740	698	713	708	703
TOPLAM	69.995	54.826	57.392	48.043	51.625
Dünyadaki payı (%)	91,25	87,76	85,92	86,06	85,11

Tablo 6.4. Dünya tohum dışı kenevir ekim alanı

Ekim Alanı (Hektar)	2014	2015	2016	2017	2018
Dünya	43.756	41.794	42.436	40.983	41.587
Kuzey Kore	20.466	20.963	21.080	21.268	21.457
Çin	7.700	5.490	5.318	4.730	4.449
Rusya	3.651	3.121	3.344	3.303	3.262
Şili	4.411	4.468	4.430	4.403	4.386
Romanya	1.979	1.791	1.827	2.015	1.996
Hollanda	1.633	2.041	2.262	1.272	1.812
Ukrayna	1.554	1.467	1.480	1.480	1.480
Fransa	693	619	744	758	773
TOPLAM	42.087	39.960	40.485	39.229	39.615
Dünyadaki payı (%)	96,19	95,61	95,40	95,72	95,26

Dünya üzerinde kenevir üretiminin yayılması Şekil 6.3’de gösterilmiştir. Kenevir tohumu için üretim yapmayan ülkelerin başını ise Kore, Çin, Şili ve Hollanda çekmektedir. Üretimi tohum amaçlı olsun veya tohum amaçlı olmasın, ekim ve

üretimini en fazla üstlenen ülkeler ise başta Çin ve Şili olmak üzere Fransa, Ukrayna ve Rusya'dır.



Şekil 6.3. Dünya genelinde kenevirin yetiştirme sınırları

Kenevirin yapısında bulunan tetrahidrokanabinol (THC) maddesi, kuru kenevirde %0,3 miktarında bulunurken uyuşturucu etkisi için üretimi yapılan kenevir bitkilerinde bu oran %0,3'un çok üzerinde değerlere sahiptir. Bu neden başta olmak üzere ekim ve üretiminin yasak olduğu kimi ülkeler son yıllarda kenevir bitkisinin kullanım alanlarının çeşitlenmesi ve sağladıkları faydalardan dolayı konulan yasakları esnetmiş durumdadırlar (Akpınar vd., 2019).

Dünyada kenevir yetiştiriciliğinde 44.000 ton üretim ile Çin üretim zincirinin başını çekmektedir. Kenevirin tohumlarından elde edilen kenevir protein tozu ve kenevir yağı gibi maddelerin elde edilmesinde de Kanada ülkesi başta gelmektedir. Günümüzde alternatif takviye elemanı olarak kullanılmaya başlanan kenevirin otomotiv ve inşaat sektörlerinde kullanımını başta Romanya olmak üzere Macaristan ve Rusya takip etmektedir (Göre vd., 2021).

6.3 Türkiye'de Kenevir

Kenevirin Türkiye'de üretimi son zamanlarda artış göstermektedir. 2019 yılında yapılan incelemeler kenevirin tohumundan faydalanabilmek için ekim alanlarının 536

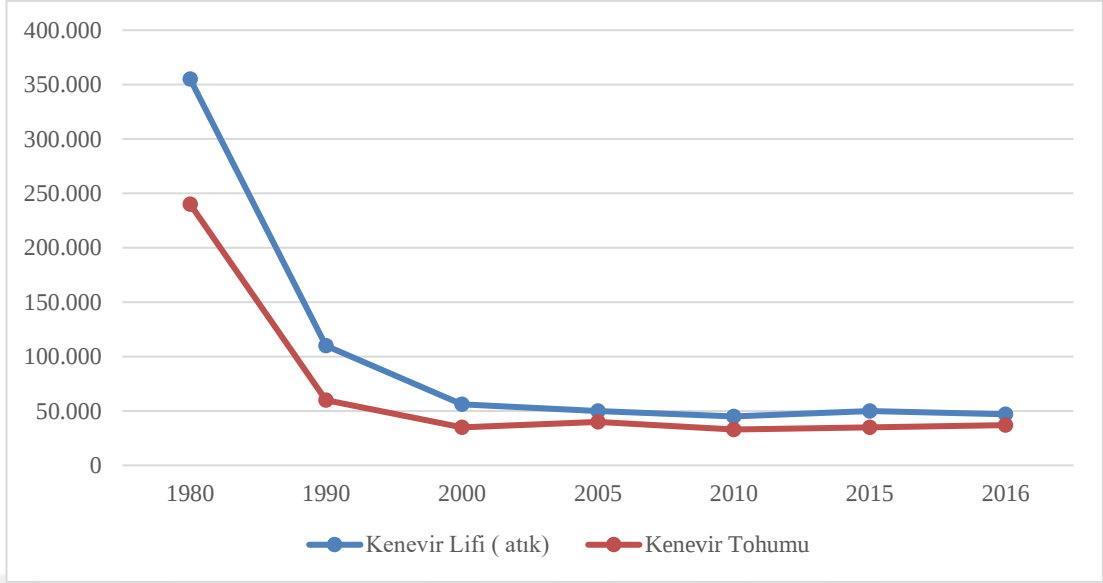
dekara çıktığını aynı zamanda üretim kapasitesinin de 20 tona ulaştığını göstermektedir. Kenevirin ülkemizde liflerinden faydalanabilmek için oluşturulan ekim alanları 160 dekar iken üretim kapasitesi 19 tonu bulmuştur. Kenevirin ülkemizde üretimi Şekil 6.4’de verilmiş olup, 2016 yılında başta Samsun, Kastamonu, Amasya olmak üzere Antalya, Bartın, Çorum, Burdur, İzmir, Karabük, Kayseri, Kütahya, Rize, Ordu, Malatya, Sinop, Yozgat, Uşak, Zonguldak ve Tokat illerinde üretilmesine izin verilmiştir.

Samsun bu iller arasında kenevir çalışmaları ve ekimleri üzerine daha yoğun çalışmalar göstermektedir. Kenevir ekiminin geliştirilmesi ve kenevirden daha fazla fayda sağlayabilmek adına Bozok Üniversitesi ve Ondokuz Mayıs Üniversitesi’nde “Kenevir Araştırma Enstitüsü” bulunmaktadır. Kenevirin üretiminin sadece tohum odaklı yapıldığı iller ise Kayseri, Kastamonu, Samsun, Kütahya ve Yozgat’tır. Bu iller arasından Samsun ekim alanları ve üretim miktarı bakımından önde gelmektedir. Kenevirin diğer amaçlar için üretimi ise sadece Samsun ilinde yapılabilmektedir.



Şekil 6.4. Türkiye’de kenevir ekim alanları

1971’li yıllarda Türkiye’de kenevir üretimi neredeyse durma noktasına gelmiştir. Aradan geçen yıllar, kenevirin kullanım alanlarının yaygınlaşmasına ve çeşitlenmesine sebep olduğu için 1990’lı yıllara gelindiğinde kenevir yetiştiriciliği kontrollü olmak koşuluyla alınan kararlar eşliğinde yeniden hareketlenmiştir. Fakat oluşan talep ihtiyacının nasıl karşılanabileceği konusunda bilinçsiz kalınınca bitkinin üretimi yeniden tamamen durma noktasına gelmiştir. Yıllara göre ülkemizde kenevir bitkisinin üretim miktarları Şekil 6.5.’deki gibidir.



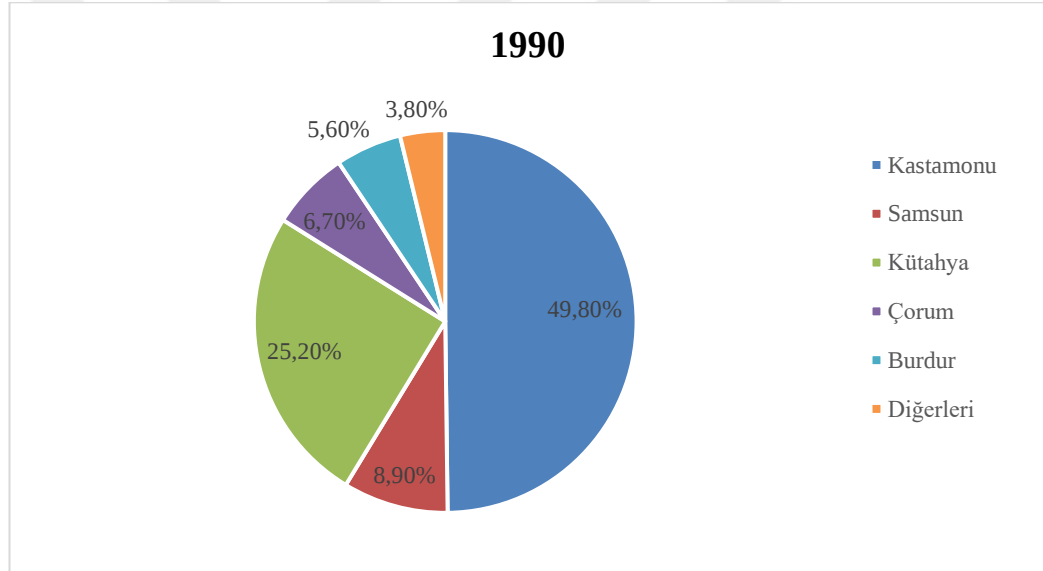
Şekil 6.5. Türkiye'de yıllara göre kenevir lifi ve tohum üretimi

Araştırma verilerine göre 1988 yılında üretilen kenevir tohumunun miktarı 1.200 ton iken, bu miktar 2013 yılında 1 tonun altında değerler göstermektedir. Ülkemizde bu durum böyle iken dünyada 2017 yılında yaklaşık olarak 2 milyon ton kenevir üretilmiştir. Avrupa Endüstriyel Kenevir Organizasyonu'nun öngörülerine göre kompozit malzemede kenevir liflerinin kullanılmasıyla oluşan kompozitlerin 4 kat artış göstermesi beklenmektedir.

6.4 Kenevirin Üretimi

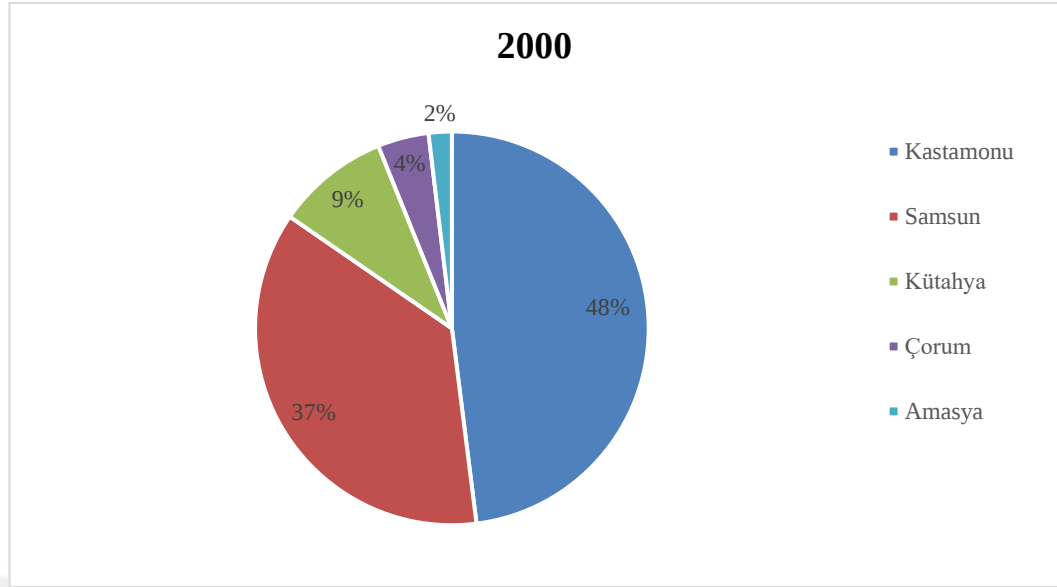
Türkiye'de kenevirin üretimi aslen Osmanlı İmparatorluğu dönemine dayanmaktadır. Özellikle Karadeniz kesimlerinde bazı bölgeler kenevir yetiştiriciliğinde merkez olarak kabul edilmiştir. Bu bölgelerin başını ise Samsun çekmektedir. Samsun bölgesinde bulunan Canik Sancağında kenevir üretiminden sorumlu olan kendir eminliği kurulmuştur. Osmanlı döneminde Samsun, kenevirden yapılan ve denizcilik faaliyetlerinde kullanılan ipleriyle tanınmaktadır. Samsun'la beraber İzmir-Ödemiş de kenevir uğraşlarıyla meşhur olan bir diğer bölgedir. 1800'lü yıllarda bu bölgede kenevir yetiştiriciliği faaliyetlerinin fazla olması beraberinde urgancılığın gelişimini getirmiştir. Bu dönemde Ödemiş, bitki üretiminin %30'luk kısmını kenevir üretimi teşkil etmiştir. Yakın tarihe kadar Kastamonu'da kenevir yetiştiriciliği üzerindeki önemini korumaktadır. Kenevir kullanılarak üretilen ürünler ve tarım ürünleri Osmanlı Devleti döneminde düzenlenen ve başka ülkelerde katıldığı bir etkinlikte

tanıtılmışlardır (Gül, 2018; Kaya vd., 2020). ABD'nin kenevire karşı olumsuz yaklaşımları kenevir ekiminin büyük oranda gerilemesine neden olmuştur. Gerileme süresi II. Dünya Savaşı dönemlerinde başlayarak 1950'lere kadar devam etmiştir. 1970'li yıllara gelindiğinde 60.000 hektardan fazla üretim alanına sahip olan kenevir 10.000 hektardan daha az alanlarda kendisine yer bulabilmiştir. 1980'lere geldiği zaman ise bu alan yaklaşık 5.000 hektara kadar gerilemiştir. Ekim alanlarının ciddi oranlarda azalmasıyla kenevir bitkisi neredeyse üretimine son verilecek noktaya gelmiştir. 2016 yılına gelindiğinde yapılan yeni düzenlemeler ve kenevirin kullanım alanlarının göz önünde bulundurulmasıyla beraber kenevir, Türkiye'nin Şekil 6.4'de görüldüğü gibi 19 ilinde kontrollü bir şekilde yeniden üretilmeye başlanmıştır. 1990 yılı kenevir ekim alanı verileri Şekil 6.6'da verilmiştir.

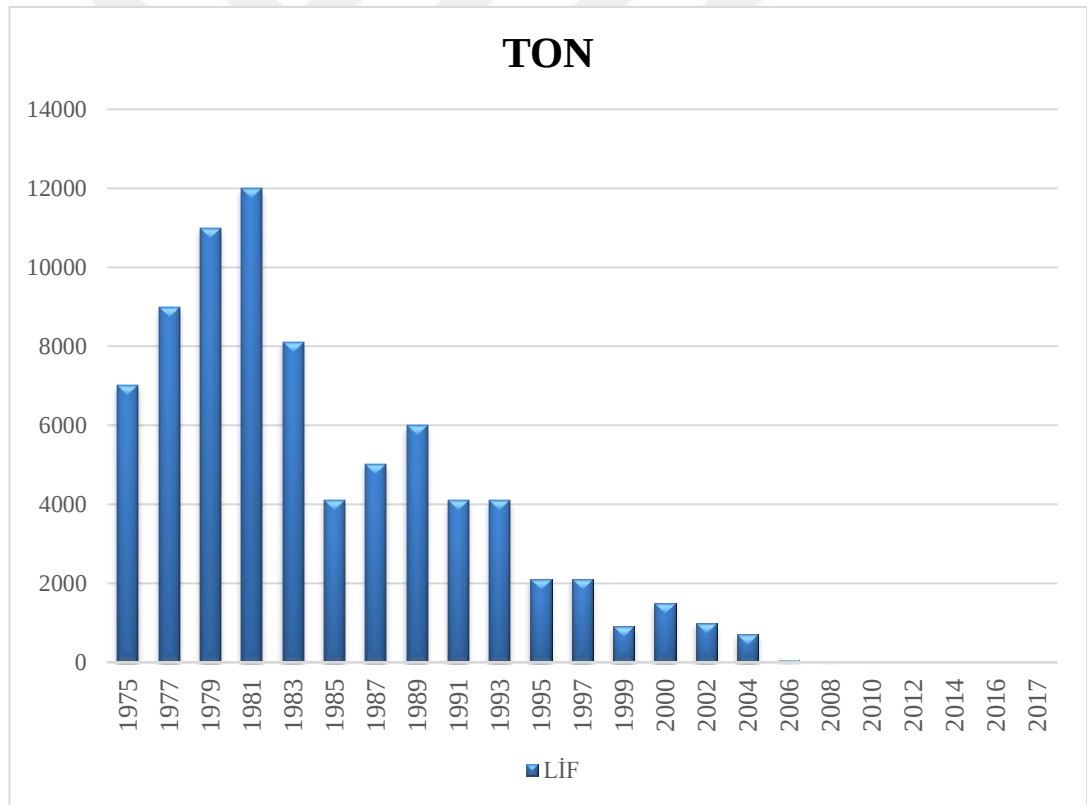


Şekil 6.6. Kenevir ekim alanlarının 1990 yılı illere göre dağılımı

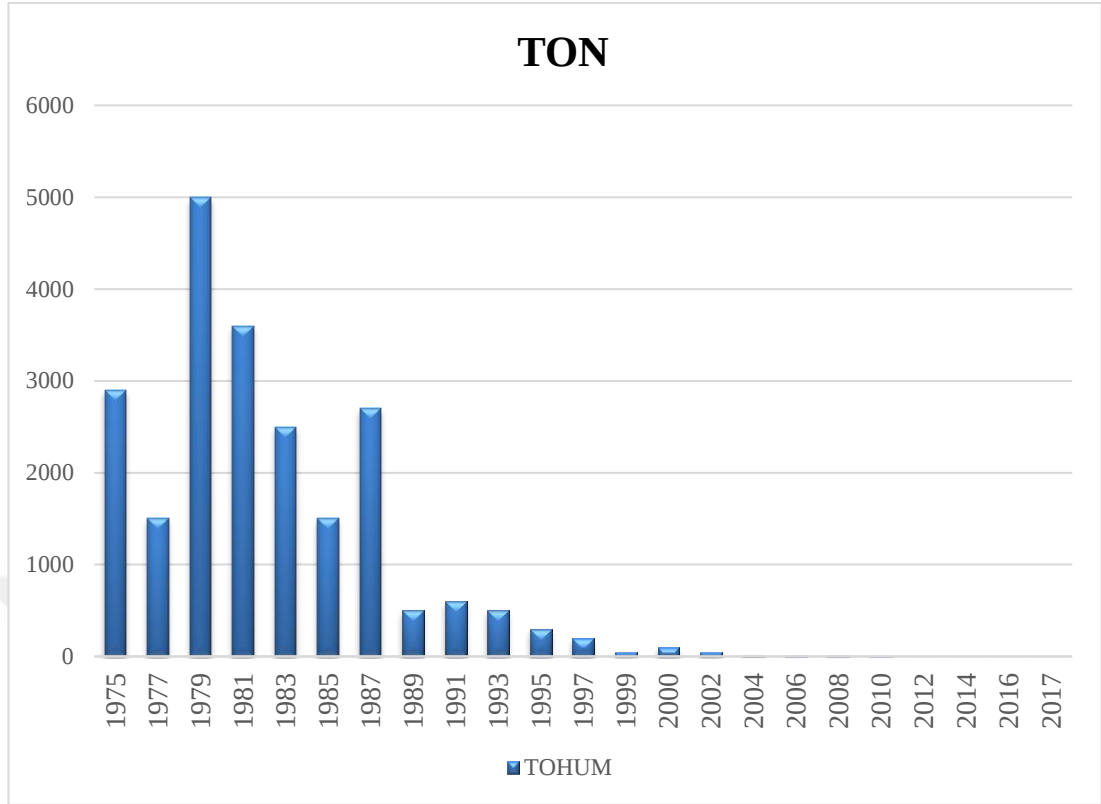
2000'li yıllara geldiği zaman ülkemizdeki kenevir ekim alanlarını değişimini Şekil 6.7'den görebilmek mümkündür. Kenevirin lif üretimi son yıllarda önemini yitirse de yıl bazında üretim miktarı Şekil 6.8'de verilmiştir.



Şekil 6.7. Kenevir ekim alanlarının 2000 yılı illere göre dağılımı



Şekil 6.8. Kenevirin yıllara göre lif için üretimi



Şekil 6.9. Kenevirin yıllara göre tohum için üretimi

Kenevir üretimi, tohum ve lif bazlı olmak üzere ikiye ayrılır. 1975-1981 yılları arasında kenevirin lif için üretimi ciddi oranlarda yüksekken 1983 yılında ve ilerleyen yıllarda bu oran hızla azalışa geçmiştir. 1997 yılında kenevir lifi üretimi 2.300 ton iken 2004 yılında 600 tona düşmüştür. Yakın zaman verilerine bakıldığı zaman ise kenevir lifi üretiminin 2017 yılında 7 ton değerlerine düştüğü görülmektedir. Kenevir liflerinde görülen gerileme kenevir tohumu içinde benzer seyri göstermiş olup Şekil 6.9'da görülmektedir. 1975 yılında kenevir tohum üretimi 2.800 tonları görürken 1977 yılında bu değer 1.500 tona kadar düşmüştür. Düzensiz bir artış-azalış gösteren kenevir tohumu, 1979 yılında 5.000 tona kadar yükselmiştir. 2000 yılında 140 ton, 2010 yılında 7 ton ve 2017 yılında 1 ton mahsul elde edilmiştir. Kenevir bitkisinden lif eldesi konusunda özellikle Kastamonu başta gelirken, Amasya'da ise kalitesi çok yüksek tohum üretimi mevcuttur (Aydoğan vd., 2020). TÜİK Verilerine bakıldığı zaman Türkiye'de 1990-2017 yılları arası ekimi gerçekleştirilen iller adına kenevir üretim miktar verileri Tablo 6.5'de verilmiştir.

Tablo 6.5. Seçilmiş yıllara göre kenevir üretimi (ton)

İller	1990	2000	2005	2010	2017
Kastamonu	2.273	795	6	-	-
Kütahya	747	83	1	-	-
Samsun	226	310	47	10	7
Çorum	168	37	1	-	-
Burdur	129	-	-	-	-
Amasya	51	19	-	-	-
Konya	4	-	-	-	-
Zonguldak	2	-	-	-	-
TOPLAM	3.600	1.244	55	10	7

6.5 Kenevir Liflerinin Kompozit Malzemelerde Kullanım Alanları

Oluşan taleplerin karşılanabilmesi, alternatif, doğa dostu malzemelerin üretilmesi gibi faktörler neticesinde kenevirin kullanım alanları hızla yayılmaktadır. Tohumu, sapı ve kenevirin yağından birçok sektör faydalanabilmektedir. Kenevirin tohumundan protein tozu elde edilirken hayvanların besin kaynakları arasında da yerini almaktadır. Yine aynı şekilde kenevirden elde edilen yağ ile kozmetik sektörü, boya sanayii, ilaç sektörü gibi pek çok alan da yararlanılabilmektedir. Lif özellikleri bakımından doğru yöntemlerle üretilip uygun matris malzemeyle birleştirilmeleri durumunda savunma sanayinden, otomotiv sektörüne, kağıt üretimi, inşaat sektörü ve tekstil sektörü aktif malzeme olarak kullanabilmektedir (Çavdar vd., 2016; Kaya vd., 2020). Kenevir lifleri morfolojik yapıları gereği birden fazla özelliği sergilemektedirler. Neme karşı duyarlılıkları yüksektir. Yüksek mukavemet özelliği gösterirler. Tekstil sektöründe kullanılmasına sebep olan özelliği ise nefes alabilen bir yapıya sahip olmasıdır. Bu ve diğer pek çok özelliği sayesinde kullanım alanları ve kullanım şartlarına göre kolay bir şekilde çeşitlendirilebilirler (Gedik vd., 2010).

Kenevir lifleri kullanılarak oluşturulan malzemeler biyobozunur olarak kabul edilirler. Bu özelliği sergilemeleri kenevir bitkisini, yenilenebilir kaynak arayışında olduğumuz bu zamanlarda değerlendirilecek kaynaklar arasına sokmaktadır. Kompozit malzemelerde kullanılmaları, malzemelere yüksek dayanım özelliği sağlarken aynı zamanda yoğunluğu az malzemelerin üretimini de mümkün kılmaktadır. Kenevir lifleri düşük ısı iletim katsayılarına sahip oldukları için inşaat sektöründe

kullanılmaktadırlar. Kenevir liflerinin yüksek mukavemet değerleri göstermesi bu lifleri otomotiv sektöründe kullanılabılır malzeme kılmıştır. Otomotiv sektöründe kenevir liflerinin kompozit malzeme olarak kullanılması konusunda Amerika ilk sırada gelmektedir. Amerika’da bulunan otomotiv şirketleri doğal liflerle takviye edilmiş kompozit malzemeleri araç parçalarında kullanılmaktadırlar (avdar vd., 2016). Aynı şekilde Mercedes otomotiv şirketi de doğal lif takviyeli kompozitleri araç üretimlerinde kullanmaktadır. Kenevir gibi doğal liflerle oluşturulan bu kompozit malzemeler araçların kapılarında, amurluk kısımlarında, tavan döşemelerinde, bagaj kısmında, n panelde ve vites kutusunun kapağı gibi birçok alanda kullanılmaktadırlar.

Kenevir dişi ve erkek tre sahip tek yıllık bitkilerdir. Bu bitkiler yapılarında bulundurdıkları selüloz nedeniyle kağıt üretiminde de kullanılmaktadırlar. Türkiye’de yetiştirilen kenevirlerden selüloz maddesi yardımıyla sigara kâğıdı üretimi gerçekleştirilmektedir (Hill vd., 2012). Kenevir geçmişte anti-atopik, anti-enflamatuar gibi tedavi amaçlı kullanılan bir bitkidir. Günümüzde ise yüksek tansiyon, kolestrol gibi rahatsızlıkların iyileştirilmesine sağladığı katkılardan dolayı tıbbi kullanımlarının yasal olması için çıkarılmış yasalar mevcuttur. Tıp sektöründe AIDS, kanser, epilepsi gibi hastalıkların tedavisinde etken madde olarak kullanılmaktadır. Tıbbi faydalarının yanında cilt bakım sektöründe de birçok ürünün içerik maddesi olarak kenevir tohumunun yağı kullanılır. Bu yağ E vitamini konusunda oldukça zengindir. Ciltle nüfusu oldukça hızlıdır (Ashori, 2008). Kenevir liflerinin saman haline getirilmesi imento maddesine mukavemet arttırma özelliği kazandırır ve inşaat sektöründe kenevir liflerinin kullanılmasını sağlar. Kenevir lifinin su emme özelliğinden dolayı kaplama ekipmanı olarak kullanmak da mümkündür. Kenevir liflerinden iplik elde edip, dokuma gerçekleştirmek mümkündür.

7. DENEYSEL ÇALIŞMA

7.1 Deney Malzemeleri

Bu araştırmada takviye elemanı olarak kenevir lifleri ve matris malzeme olarak epoksi reçinesi kullanılmıştır. Kenevir lifleri Kastamonu çarşısındaki yerel bir iplikçiden tedarik edilmiştir. Örgü forma sahip lifler bulunamadığı için kendir lifleri saçak şeklinde temin edilmiştir. Epoksi reçine ise POLYMEX marka olup trendyol.com adresinden temin edilmiştir.

7.2 Numunelerin Üretim Aşamaları

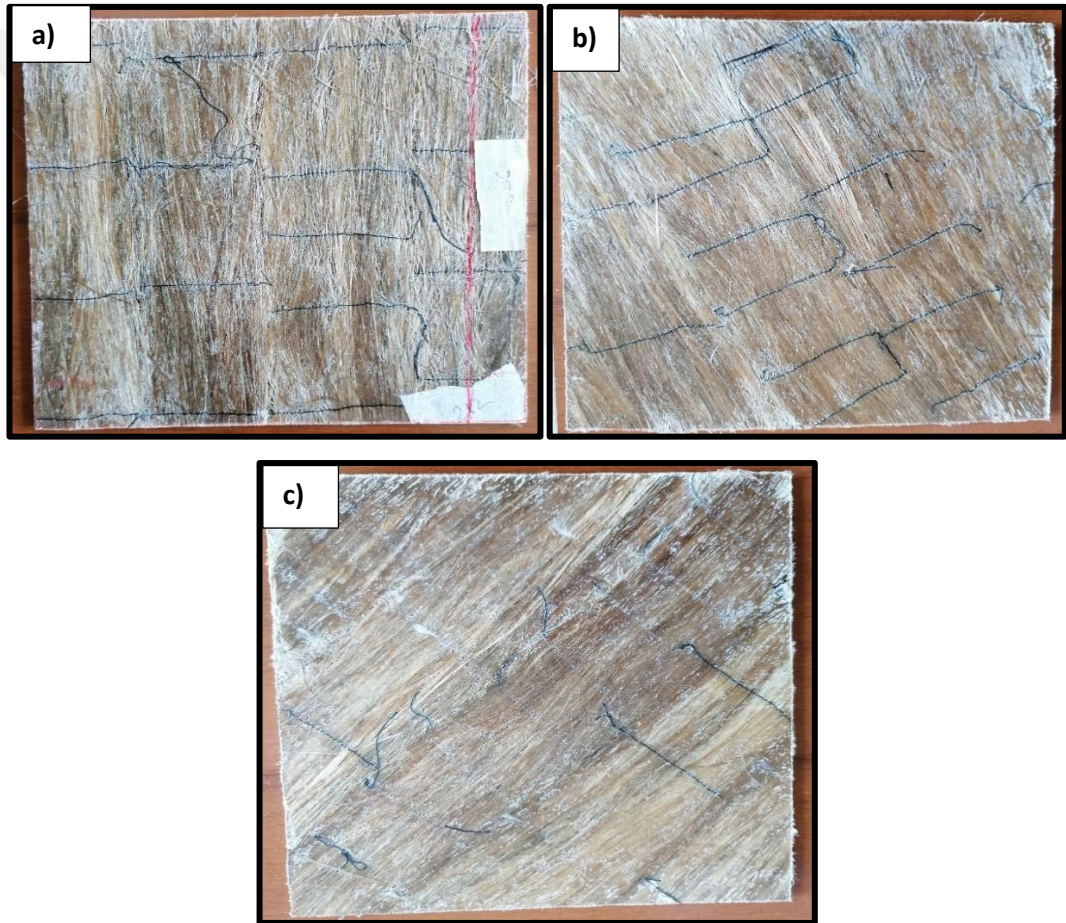
Kenevir liflerinin örgü formda olmaması, çalışma için liflerin simetrik dizilim sağlayacak şekilde şekillendirilmesini gerektirmiştir. Temin edilen kenevir lifleri, saçaklar şeklinde eşit miktarlar kullanılarak en, boy oranları da eşit olacak Şekil 7.1.'de gösterildiği gibi şekillendirilmeye başlanmıştır.



Şekil 7.1. Kenevir liflerinin boyutlandırılması

Bu tezde amaç kenevir liflerinin farklı açılarda ve farklı dizimlerde ne gibi özellikler sergileyeceğini incelemek olduğu için araştırma işlemlerine öncelikle kenevirlerin oturtulacağı bir kalıp imalatı ile başlanmıştır. 20x20 cm'lik üretilen kalıp içerisine kenevir lifleri öncelikle 90° açı yapacak şekilde boyutlandırılarak yerleştirilmiştir. 4 kat olacak şekilde yerleştirilerek üretilen numunede 90 gr kenevir lifi kullanılırken

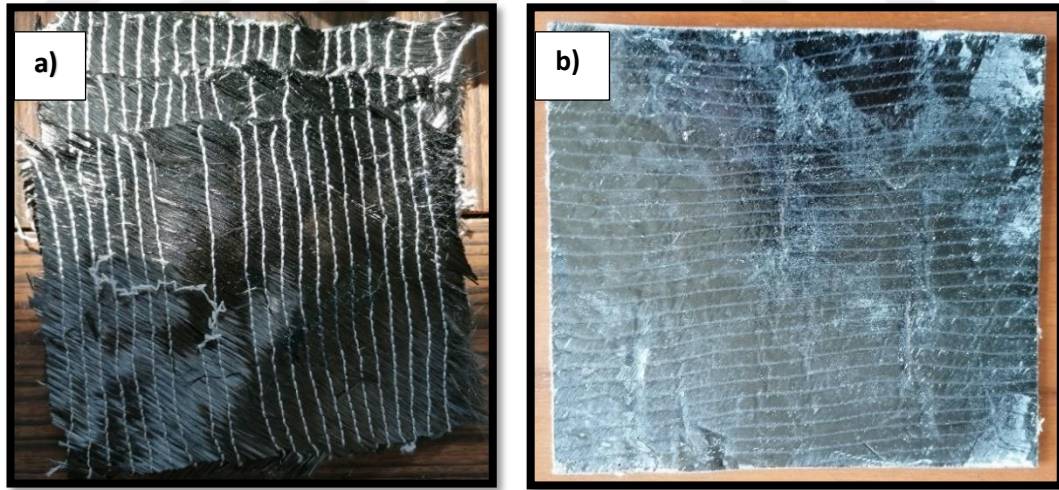
matris malzeme olan epoksiden 120 gr (80 gr A + 40 gr B) kullanılmıştır. Kalıp içerisine numunenin kolay ayrılmasını sağlamak için ayırıcı spreyseliktikten sonra, 90° açiya uygun yerleştirilen kenevir liflerinin ilk katına epoksi reçine elle yatırma yöntemi uygulanarak iyice emdirilmiştir. Bu işlem diğer üç kat için de uygulanmıştır. Epoksi emdirme işlemi bittikten sonra numune pres makinesinde sıkıştırılma işlemine tabi tutulmuştur. Kenevir liflerinin mukavemet değerlerinin kıyaslanabilmesi için farklı açılarda dizimler sergileyecek şekilde numunelerin üretilmesi gerekmektedir. Bu nedenle şekil 7.2’de görüldüğü gibi 90° kenevir liflerinin yanı sıra 60° ve 45° de numuneler de aynı yöntem ve aynı kalıp ebatları kullanılarak hazırlanmıştır.



şekil 7.2. Üretilen kenevir lifleri numuneleri; a) 90° açılı numune, b) 60° açılı numune, c) 45° açılı numune

60° açılı ve 4 kat serilen, her bir katın yönelimi bir önceki katın tam tersi olacak şekilde konumlandırılan kenevir lifleri, hassas tartı yardımıyla tartılmıştır. 90 gr gelen kenevir lifleri için 120 gr (80 gr A+ 40 gr B) epoksi kullanılmıştır. Her bir kenevir katı için epoksi nüfuziyeti sağlandıktan sonra numuneler pres makinesi altında preslenmiştir.

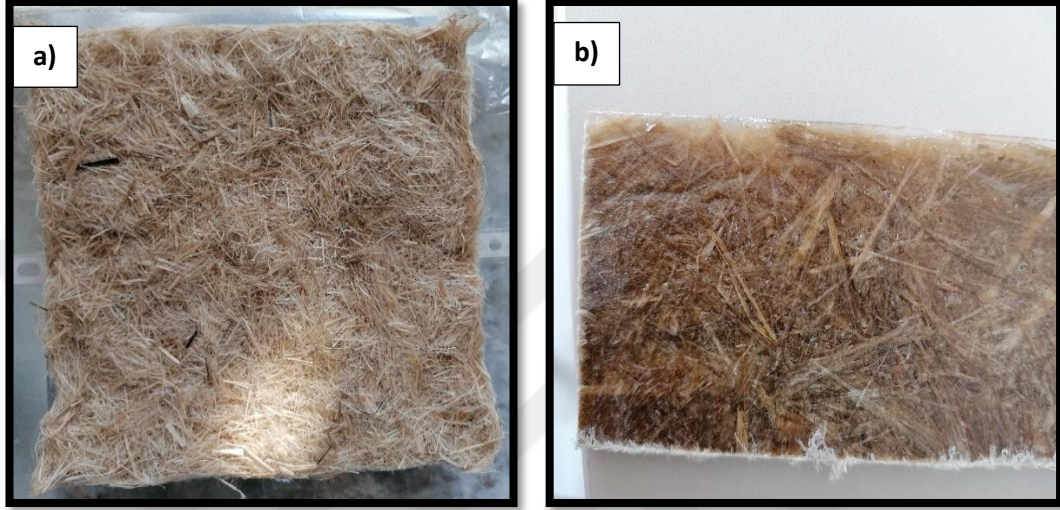
Preslenen numuneler bir gün boyunca basınç altında bırakılmış olup, numuneler makineden çıkarıldıktan sonra açık hava koşullarında tamamen sertleşmesi için kurumaya bırakılmıştır. Aynı işlem basamakları uygulanarak ve aynı kalıp kullanılarak 90 gr ve 45° açıyla yerleştirilen kenevir lifleri 120 gr (80 gr A+ 40 gr B) epoksi kullanılarak üretilmiştir. Çalışmanın bir diğer amacı olan kenevir liflerinin karbon elyafla takviyelendirilmesi neticesinde nasıl performanslar sergileyebileceklerini incelemek olduğu için karbon elyaf takviyeli numuneler Şekil 7.3'deki gibi hazırlanmıştır. Bu numuneler 20x20 cm'lik kalıplar kullanılarak en alt ve en üst katmanları örgü karbon elyaf olup aradaki diğer dört kat yukarıda açıklanan işlem adımları kullanılarak kenevir liflerinin yerleştirilmesi ile üretilmiştir. Karbon elyaf takviyesi ile üretilen numuneler 90°; 60° ve 45° derece açılara sahip kenevir liflerinin, her katın dizilimi bir önceki katın diziliminin tersi olacak şekilde yerleştirilerek yapılmıştır. Kalıp içerisine yerleştirilen her kat için epoksi malzemesi uygulanmıştır. Numuneler istenilen formu kazanabilmeleri için pres makinesinde bırakılmışlardır. Makineden çıkarılan numuneler bir gün süreyle ortam şartlarında kurumaya bırakılmıştır.



Şekil 7.3. Numune üretimi; a) Karbon elyaf malzemesi, b) Karbon elyafın takviyesiyle üretilen sandviç yapıdaki kompozit numune

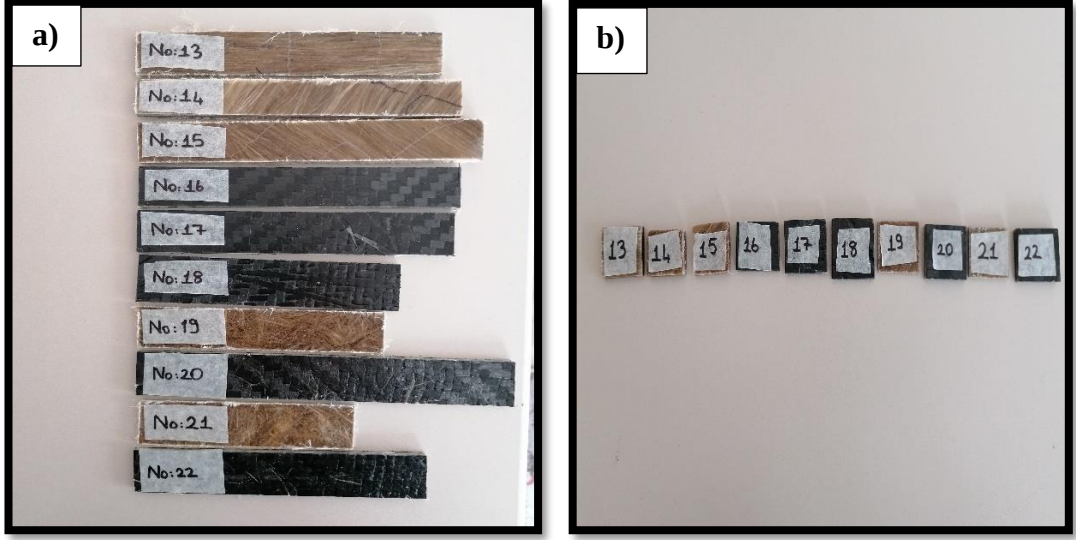
Sürdürülebilir kaynak olan kenevir liflerinin atık kenevir performansının da incelenmesi, çalışma kapsamında uygun numunelerin hazırlanmasını gerekli kılmıştır. Bunun için 1 cm ve 2 cm boyutlarında kenevir lifi kırıkları oluşturulmuştur. Bu kırıklar 20x20 cm'lik kalıplara 90 gr olup, Şekil 7.4'de gösterildiği gibi rastgele

serilerek epoksi reçine ile nüfuziyetleri sağlanmıştır. 1 cm ve 2 cm olarak üretilen numuneler de pres makinesinde sıkıştırılıp, açık hava koşullarında sertleşmeye bırakılmıştır. Karbon elyafın kenevir liflerinde kullanımını kıyaslamak amacıyla kırpık formdaki kenevir lifleri ile karbon elyaflar aynı sandviç yapı üretim basamaklarından geçirilerek üretilmişlerdir.



Şekil 7.4. a) Kırpık kenevir liflerinin rastgele serimi, b) Kırpık kenevir liflerinin epoksi uygulanması sonucu üretilen numune

Üretilen numuneler öncelikle ASTM D790 standardı gereğince Şekil 7.5.a)'da verildiği gibi boyutlandırılmış, düzgün olmayan noktalar kereste atölyesinde kesilerek numuneden uzaklaştırılması sağlanmıştır. Daha sonra numuneler Şekil 7.5.b)'de verildiği gibi 2x2 cm ebatlara getirilecek şekilde boyutlandırıldıktan sonra dört bir yüzeyi de kalın taneden ince taneye doğru giden kağıt zımparalar yardımıyla laboratuvarındaki Şekil 7.6'da gösterilen zımpara makinesi kullanılarak zımparalama işlemlerine tabi tutulmuşlardır. Zımparalama işlemleri numunelerde kuru olarak uygulanmıştır. Bazı numuneler ise iç boşlukların giderilebilmesi ve pürüzsüz bir yüzeyin elde edilebilmesi için daha uzun ve daha detaylı zımparalama işlemi gerektirmiştir.



Şekil 7.5. a) Hazırlanan numuneler, b) Zımparalanan numuneler



Şekil 7.6. Zımpara makinesi

Zımparalanan numune yüzeyleri tozdan ve nemden uzaklaştırılarak iç yapı görüntüleri Şekil 7.7’de gösterilen Nikon ECLIPSE MA100 marka mikroskopta incelenmişlerdir.



Şekil 7.7. Nikon ECLIPSE MA100 marka mikroskop

8. BULGULAR VE TARTIŞMA

8.1 Kompozit Numunelerin 3 Nokta Eğme Testi ve Sonuçları

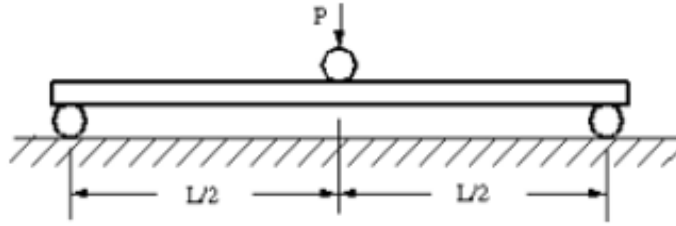
Yüksek lisans tezinde numunelerin test aşamasına kadar, doğal elyaf takviyeli kompozit malzeme üretiminde kalıplar çerçevesinde plakalar haline getirilen kenevir lifleri epoksi reçinenin takviyelendirilmesi ile kenevir takviyeli kompozit numune üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen bu numunelerin eğilme özelliklerinin tayin edilmesi için numunelere eğme testleri yapılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Üç nokta eğme testinin şematik gösterimi Şekil 8.1’de verilmiştir. Numunelere uygulanan eğme testi aşağıda verilen formüle göre hesaplanmıştır.

$$\sigma_e = \frac{M_e}{\frac{I_x}{c}} \quad (8.1)$$

M_e = Eğilme Momenti

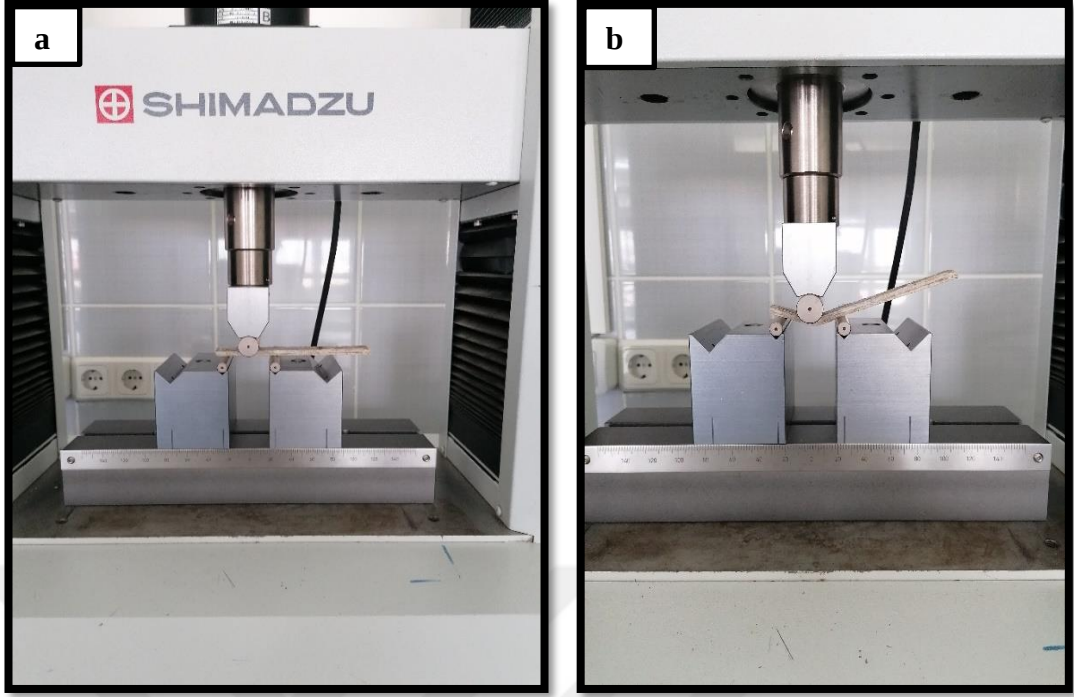
I_x = Atalet Momenti

c = Nötral eksen den kesitin uç noktasına olan uzaklık



Şekil 8.1. Üç nokta eğme deneyinin gösterimi

Tamamen sertleşen numuneler ASTM D790 standartlarında boyutlandırılarak test edilebilir formata getirilmişlerdir. Numunelerin eğilme davranışlarının belirlenmesi için Şekil 8.2’de gösterilen, 4 mm/dk deformasyon hızıyla ilerleyen ve 50 kN kapasiteye sahip AG-IC SHIMADZU marka makine kullanılmıştır. Mesnet açıklığı 50 mm olarak alınmıştır. Eğme testine tabi tutulan numunelerin görüntüleri Şekil 8.3’de verilmiştir.



Şekil 8.2. a) Üç nokta eğme makinesi, b) Eğme işlemi başlayan numune

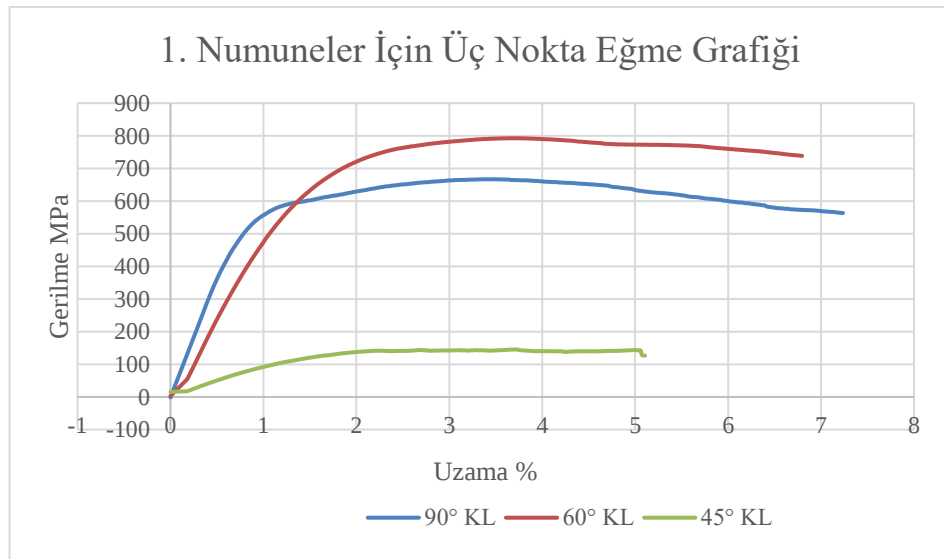


Şekil 8.3. Eğme testi uygulanan numuneler

Tablo 8.1. 1. Numunelerin eğme testi sonuçları

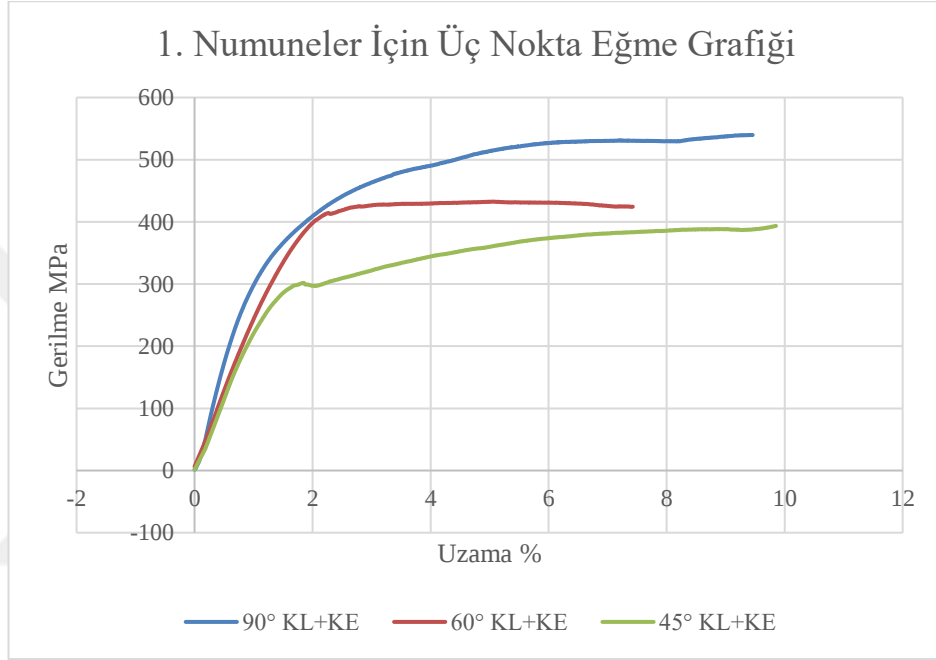
1. Numuneler	Et Kalınlığı (mm)	Maksimum Kuvvet (N)	Maksimum Uzama (mm)	Maksimum Gerilme (N/mm ²)	Birim Uzama (%)
90° KL	6,050	666,938	3,495	54,038	2,455
60° KL	6,150	792,688	3,752	97,587	3,784
45° KL	5,010	145,438	3,709	19,254	4,441
90° KL + KE	6,080	539,813	9,425	65,741	4,659
60° KL + KE	5,170	432,516	5,070	65,367	5,251
45° KL + KE	6,520	393,484	9,850	29,022	2,365
1 cm KL	4,590	253,297	4,366	42,493	3,875
1cm KL + KE	8,440	2257,66	3,315	109,997	5,265
2 cm KL	5,830	429,219	4,545	46,133	4,326
2 cm KL + KE	7,380	1318,67	4,427	84,302	4,889
KE	2,720	308,406	4,134	153,866	6,475

Tablo 8.1’de düşük basınç altında 90°; 60° ve 45° açı dizilimleriyle üretilen gerçekleştirilen numunelerin üç nokta eğme testine karşı göstermiş oldukları uzama-gerilme değerleri verilmiştir. Maksimum gerilmeyi 60° açığa sahip numune gerçekleştirirken 45° açılı numunenin %80,27 oranında maksimum gerilme değerinde bir azalma sergilediği görülmektedir. Kayma düzlemi 45° üzerinde bulunduğu için üç nokta eğme testinde en zayıf kalan numunenin 45° açığa sahip olan numune olduğu görülmektedir. Şekil 8.4’de verilen uzama grafiği incelendiğinde 45° açılı kenevir lifleriyle üretilen kompozit numunenin daha sünek özellik gösterdiği görülmektedir. 60° lif dizilimli numunenin ise gevrek performans sergilediği görülmektedir.



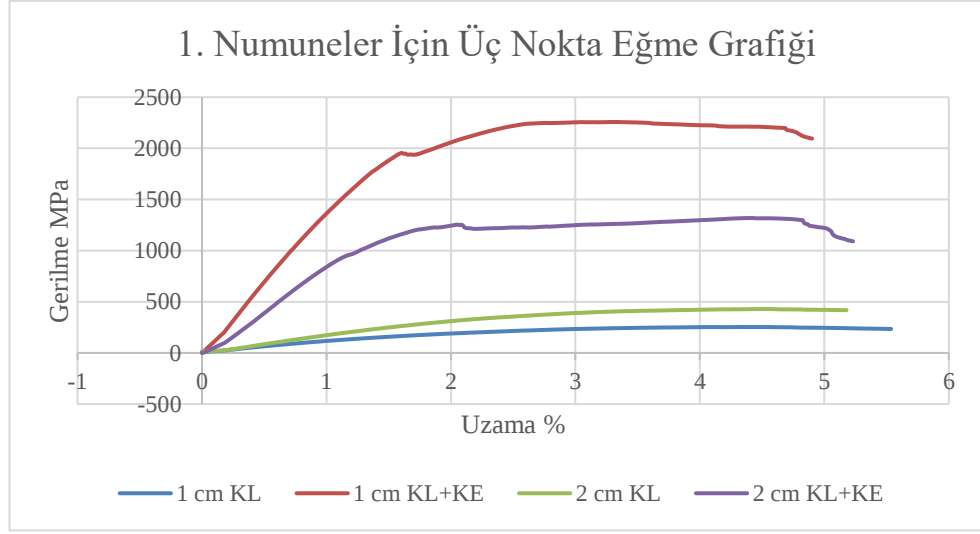
Şekil 8.4. Numunelerin eğme grafiği

Kenevir liflerinin dizilim açıları korunarak liflere ek karbon elyafın bünyeye katılması ile üretilen kompozit numunelerin üç nokta eğme test sonuçları Tablo 8.1’de verilmiştir. 90° ve 60° açılı numuneler 65 MPa maksimum gerilme değeri gösterirken 45° açılı dizilimli sandviç kompozit numune 29,02 MPa gerilme değeri vermiştir. Şekil 8.5’de verilen üç nokta eğme grafiğinde 90° kenevir lifi ve karbon elyaf kompozit numunesinin gevrek bir davranış sergilediği görülmektedir.



Şekil 8.5. Karbon elyaf takviyeli 1. numunelerin eğme grafiği

Süreksiz liflerin değerlendirilmesi hususunda 1 cm ve 2 cm olacak şekilde farklı boyutlarda kırık forma getirilerek üretilen kenevir liflerinin eğme testi uzama grafiği Şekil 8.6’da verilmiştir. 109,99 MPa ile en yüksek performansı karbon elyafın takviyelendirilmesi ile üretilen 1 cm kırık lifler göstermiştir. 2 cm kenevir lifleri kullanılarak üretilen numunelerin %23,35’lik azalma göstermiştir. Kırık kenevir liflerinin üç nokta eğme testleri sonucunda kenevir lifi uzunluklarının azalması mukavemeti artırıcı yönde etki sergilediği gözlemlenmiştir.

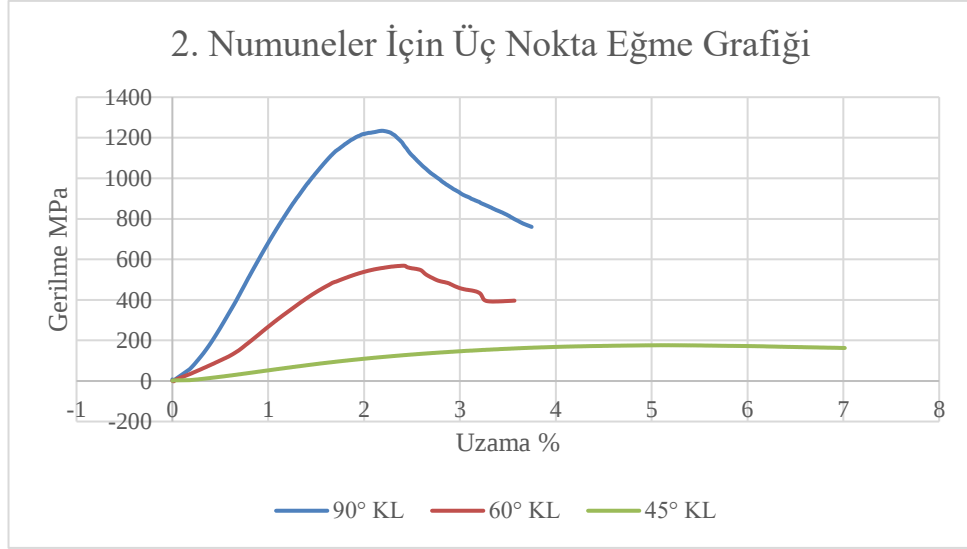


Şekil 8.6. Düşük basınç altında kırık liflerin eğme grafiği

Yüksek basınç altında 90°; 60° ve 45° açı dizilimiyle üretilen kenevir numuneleri içerisinde 122,70 MPa dayanım ile 60° numunelerin en yüksek performansı sergilediği görülmüştür. Kayma düzlemlerinin 45° üzerinde bulunmasının bir dezavantaj olduğunu basıncın artırılmasına rağmen bu numunelerde dayanımın düşük çıkmasından görmekteyiz. 90° lif dizilimine sahip numunelerde ise eğme yüklerine karşı dayanımın düşük çıkması katmanlar arasında tabakalaşmaların olduğunu göstermektedir.

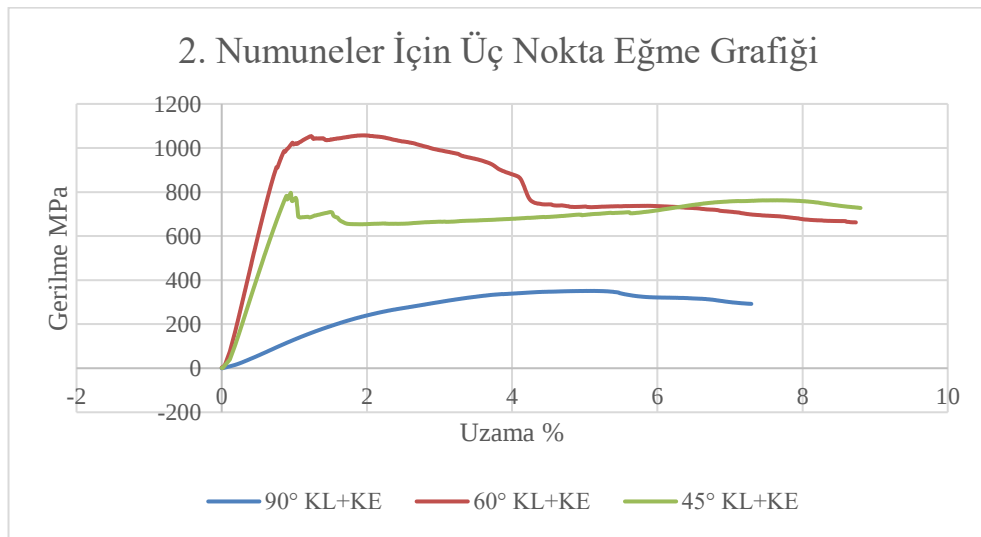
Tablo 8.2. 2. Numunelerin eğme testi sonuçları

2. Numuneler	Et Kalınlığı (mm)	Maksimum Kuvvet (N)	Maksimum Uzama (mm)	Maksimum Gerilme (N/mm ²)	Birim Uzama (%)
90° KL	8,780	1234,45	2,182	57,300	1,413
60° KL	3,750	568,719	2,412	122,701	2,142
45° KL	4,550	176,469	5,135	30,959	1,100
90° KL + KE	4,600	351,047	5,029	54,429	1,608
60° KL + KE	4,480	1057,34	1,972	173,905	3,542
45° KL + KE	4,040	796,563	0,952	146,647	2,658
1 cm KL	3,900	768,438	6,665	64,651	1,865
1cm KL + KE	2,560	133,719	5,542	139,976	2,659
2 cm KL	4,120	833,563	12,388	54,920	1,784
2 cm KL + KE	2,960	161,938	4,150	145,459	3,210
KE	4,160	724,438	7,877	129,043	4,965



Şekil 8.7. 2. Numunelerin eğme grafiği

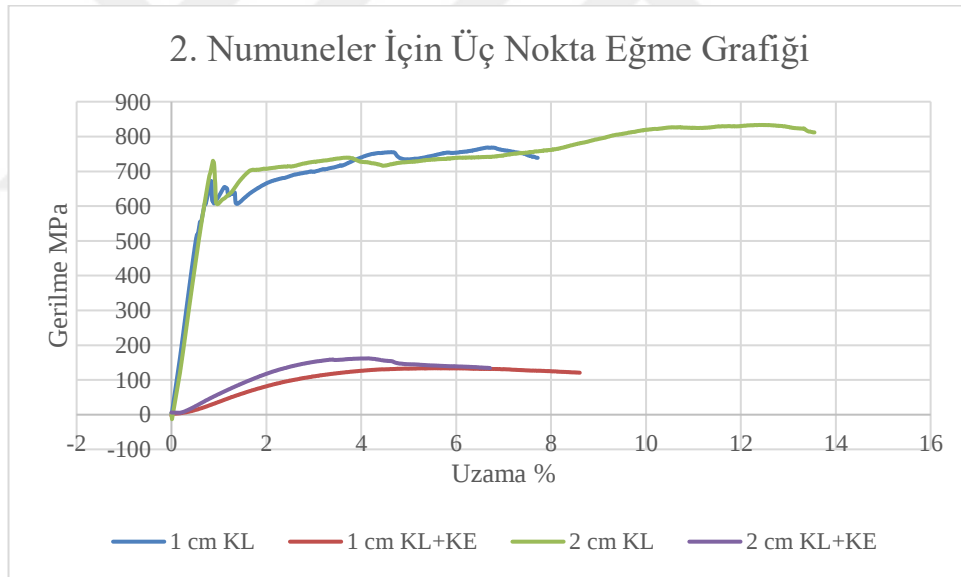
Karbon elyafın takviyelendirilmesi ile yüksek basınç altında üretilen numunelerin eğme grafiği Tablo 8.2’de verilmiştir. Tablo 8.2. incelendiğinde 173,90 MPa ile en yüksek maksimum gerilme değerini 60° lif dizilimine sahip numune gerçekleştirirken 90° numunelerde ise 54,42 MPa maksimum gerilme değeri tespit edilmiştir. Sadece kenevir liflerinin matris malzeme olan epoksi ile birleştirilmesi ile üretilen numunelerin eğme yüklerine karşı yüzde uzama değerleri Şekil 8.7’de verilmiştir. 90° açılı kenevir lifleri gevrek performans gösterirken 45° açılı kenevir lifleri daha sünek bir yapı oluşturmuştur.



Şekil 8.8. Karbon elyafla takviyelendirilmiş 2. numunelerin eğme grafiği

200 N/cm² basınç altında karbon elyafın yapıya katılması ile üretilen kompozit numunelerin eğme yükleri sonucu Tablo 8.2’de verilmiştir. Maksimum gerilme değeri 54,42 MPa ile en düşük sonucu 90° kenevir lifi+ karbon elyaf sandviç numunesi gösterirken, 60° kenevir lifi+ karbon elyaf numunesi 173,90 MPa maksimum gerilme değeri göstermiştir. Şekil 8.8’de verilen eğme grafiğine göre 60° açılı numunenin gevrek yapıda olduğu görülmektedir.

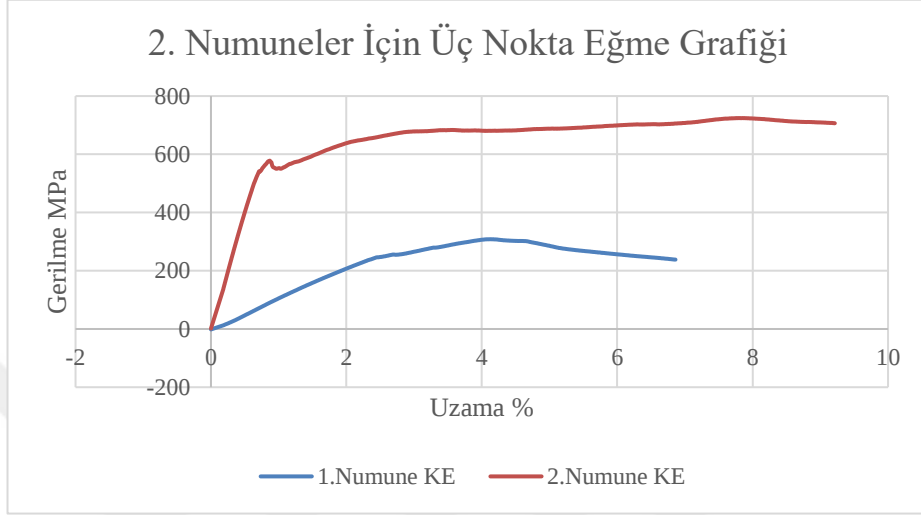
Atık kenevir liflerinin değerlendirilmesi için 1 cm ve 2 cm ebatlarında kırpık forma getirilen kenevir lifleri ve buna ek olarak karbon elyaf liflerinin takviye edilmesi ile üretilen sandviç formdaki numunelerin eğme testi sonucu değerleri Tablo 8.2’de verilmiştir. Karbon elyafın yapıya katılması mukavemet değerlerinde artışa sebep olmuştur. Maksimum gerilme değerini 145 MPa ile karbon elyaf takviyeli kırpılmış numune göstermiştir.



Şekil 8.9. Yüksek basınç altında kırpık liflerin eğme grafiği

Kenevir liflerinin karbon elyaflar ile takviyelendirilmesi sonucu kompozit malzemelerin mukavemet değerlerinde oluşabilecek değişimleri incelemek için çalışmada kullanılan karbon elyafın, epoksi matris ile birleştirilmesi sonucu üretilen numuneler üç nokta eğme testine tutulmuşlardır. Test sonuçlarına göre oluşturulan uzama grafiği Şekil 8.9’da verilmiştir. Grafik incelendiğinde 2 cm kenevir lifi ve karbon elyaftan üretilen numunenin 145,54 MPa dayanım gösterdiği görülmektedir. Farklı basınçlar altında değerlendirmesi yapılan bir diğer takviye elemanı ise karbon

elyaftır. Bu malzemenin 1,25 N/cm² alçak basıncı ve 200 N/cm² yüksek basıncı altında üretilmesi ile eğme yüklerine karşı göstermiş oldukları uzama grafiği Şekil 8.10’da verilmiştir. Bu numunenin maksimum gerilme değeri 129,04 MPa olarak tespit edilmiş olup malzeme ilk numuneye göre daha gevrek bir form sergilemiştir.



Şekil 8.10. Farklı basınç altında karbon elyafın eğme grafiği

8.2 Kompozit Numunelerin Darbe Testi

Kenevir liflerinin epoksi matris ile birleştirilmesi sonucu üretilen kompozit numunelerin darbe dayanımlarının değerlendirilebilmesi için Charpy darbe testi, Şekil 8.11’de gösterilen Hardway marka test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deney numuneleri ASTM D256 standartlarına uygun üretilmiş olup, darbe testi uygulanan numunelerin darbe toklukları Tablo 8.3’de verilmiştir.



Şekil 8.11. Charpy darbe cihazı

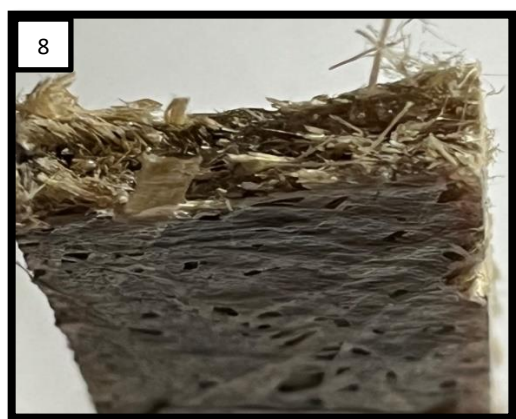
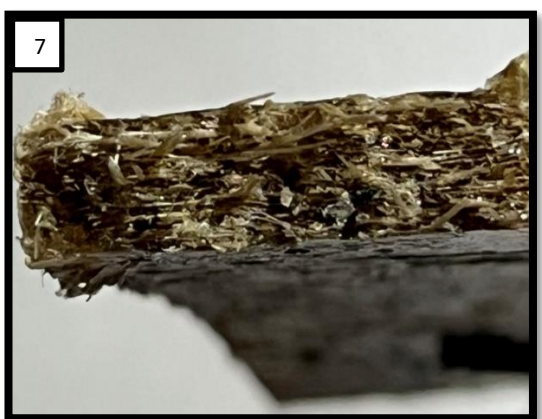
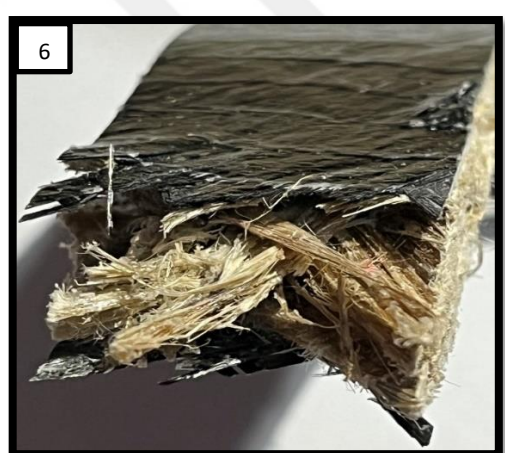
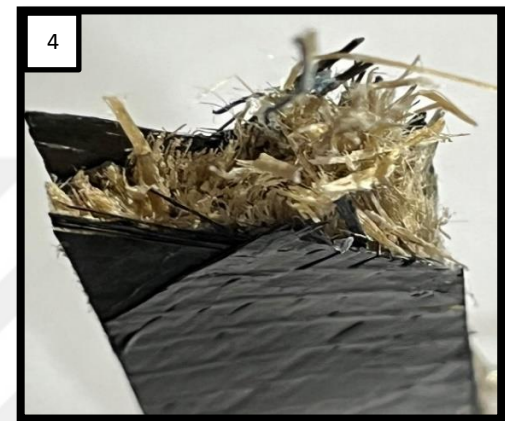
Tablo 8.3. Numunelerin darbe tokluk değerleri

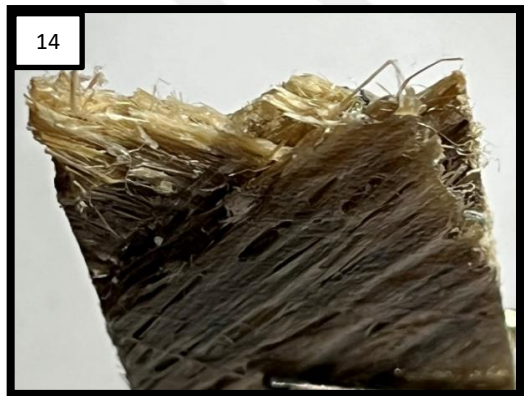
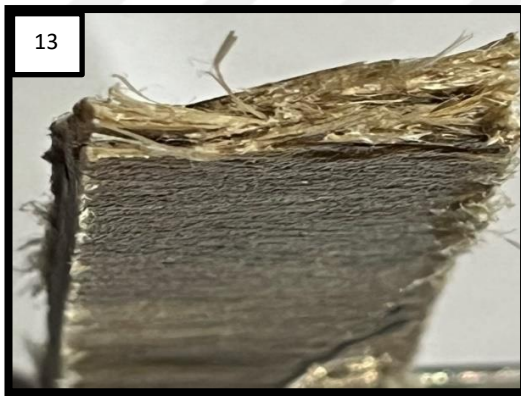
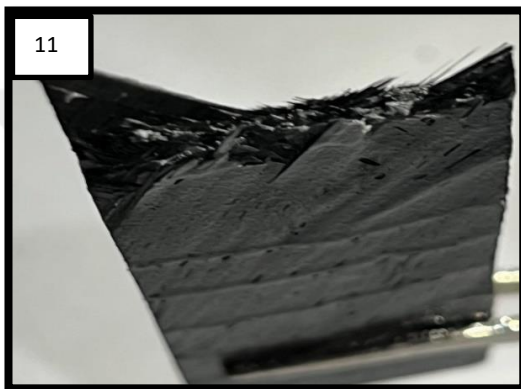
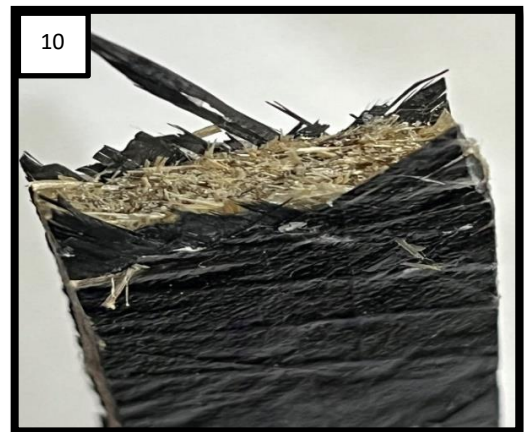
NUMUNELER	Darbe Tokluğu (Joule/cm ²)	
	1. Numuneler	2. Numuneler
90° KL	17,35	25,61
60° KL	15,19	24,82
45° KL	11	20,43
90° KL + KE	24,42	38,30
60° KL + KE	22,38	36,33
45° KL + KE	21,87	33
1 cm KL	19,23	32,69
1 cm KL + KE	3,91	36,69
2 cm KL	8,33	33,51
2 cm KL + KE	4,76	36,62
KE	38,23	42,25

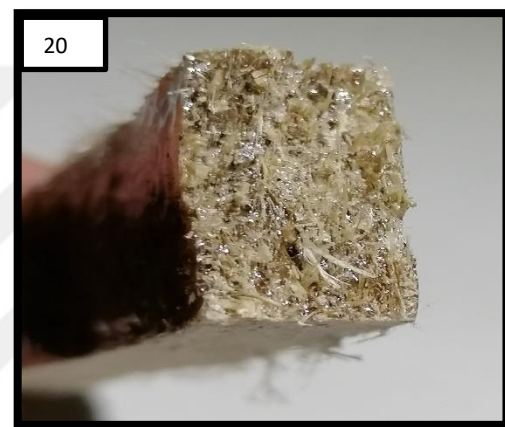
Üretimi gerçekleştirilen ilk numunelerin darbe tokluk değerleri 3,91-38,23 Joule/cm² aralığında değişim gösterirken, ikinci numunelerin 20,43-42,25 Joule/cm² aralığında darbe tokluk değerine sahip olduğu görülmüştür. Şekil 8.12’de darbe testi uygulanan numunelerin kırık yüzey görüntüleri verilmiştir.

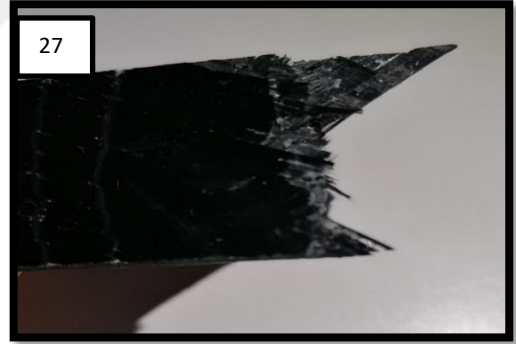
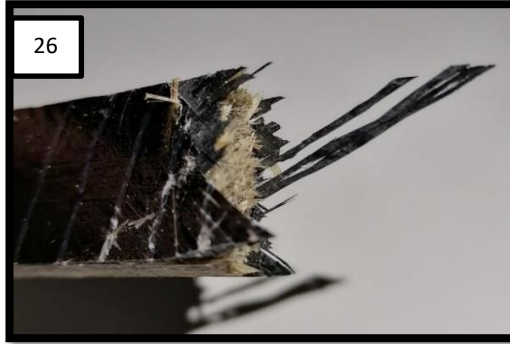
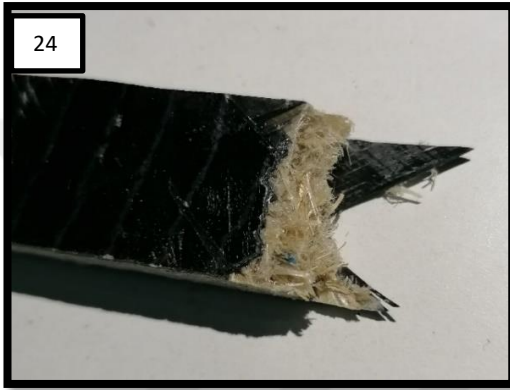
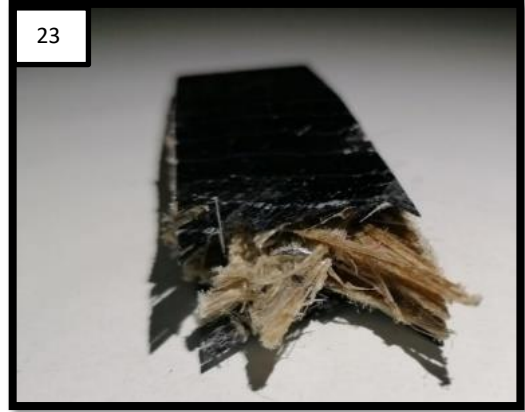
- Takviye elemanı olarak 90° açı dizilimli kenevir lifleri ve matris malzeme olarak epoksinin kullanılmasıyla 1,25 N/cm² basınç altında üretilen numunelerde darbe testi sonucu oluşan kırık yüzeyi Şekil 8.12’de 1 numaralı resimde verilmiştir. Tabakalar arası matris malzemenin yeterince emdirilememesi ve mukavemetin zayıf kalması kırık yüzeyinde tabakalar şeklinde ayrılmasına sebep olmuştur.
- 45° açı dizilimli kenevir liflerinin Şekil 8.12’de 3 numaralı resimde düşük basınç altında üretiminde meydana gelen kırılma, Şekil 8.12’de 14 numaralı resimde ise yüksek basınç altında üretilen numunelerin darbe testi sonucu yüzey kırıkları görülmektedir. Darbe yüklerine karşı kopmalar, kayma düzlemi açısı üzerinde oluşmuştur.
- 90° açılı kenevir liflerinin karbon elyaf ile takviyelendirilmesi ile 1,25 N/cm² basınç altında üretilen ilk numunenin darbe sonucu kırık yüzey görüntüleri Şekil 8.12’de 4 numaralı resimde verilirken, 200 N/cm² basınç altında üretilen numunenin kırık yüzey görüntüsü Şekil 8.12’de 17 numarada verilmiştir. Alçak basınç altındaki numunenin kırık yüzeyinde kenevir lifleri uzama gösterirken karbon elyafın daha gevrek bir kırılma sergilediği görülmektedir. Yüksek basınç altında üretilen numunede ise gevrek kopmalar oluşmuştur.

- Kenevir liflerinin 45° açı dizilimi ve karbon elyaf ile birleştirilmesi sonucu üretilen sandviç numunenin kırılma sonrası alçak ve yüksek basınç altında yüzey görüntüleri sırasıyla Şekil 8.12’de 6 numaralı resim ve 15 numaralı resimde verilmiştir. Her iki numune içinde kırılmalar kayma düzlemi üzerinde gerçekleşmiş olup, kenevir liflerine göre karbon elyafın kopma uzamasının daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.
- 1 cm kırık kenevir liflerinin takviye elemanı olarak kullanılması ile üretilen numunelerin darbe testi sonrası kırık yüzey görüntüleri Şekil 8.12’de 7 ve 18 numaralı resimlerde verilmiştir. Kırık yüzeylerine bakıldığında gevrek bir kırılmanın oluştuğu görülmektedir.
- Takviye elemanı olarak karbon elyafın tek başına kullanılmasıyla oluşturulan numunelerin kırık yüzey görüntüleri Şekil 8.12’de 11 ve 7 numarada verilmiştir. Karbon elyafının sorunsuz şekilde koptuğu görülmektedir.
- 60° açı dizilimiyle yüksek basınç altında üretilen numunelerin yüzey görüntüleri Şekil 8.12’de 16 numaralı resimde verilmiştir. Bu numunede kırılmalar gevrek olurken, numune içerisinde homojen dağılım sergileyemeyen matris malzemesinin yığılmalara sebep olduğu görülmektedir.
- 2 cm kırık kenevir liflerinin değerlendirilmesi ile 200 N/cm² basınç altında üretilen ikinci numunenin darbe tokluk değeri, ilk numuneye göre %25,18’lik artış göstermiştir.
- Lif dizilimi 60° olarak üretilen numunelerin kırık yüzey görüntüleri Şekil 8.12’de verilmiştir. Liflerin epoksi matris malzeme ile kullanılmasıyla üretilen numunelerin kırık yüzeylerinde kenevirin liflendiği gözlemlenmiştir. Aynı açı dizilimi sabit kalmak şartıyla karbon elyafın yapıya katılması ile üretilen sandviç kompozit numunede ise kırılma yüzeylerinde bölgesel olarak kenevir liflerinde yığılmaların olduğu gözlemlenmiştir.
- Karbon elyafın takviye edildiği sandviç kompozit numuneler, kenevir liflerinin kullanılarak üretildiği kompozit numunelere göre mukavemet yönünden daha üstün değerler ortaya koymuşlardır.





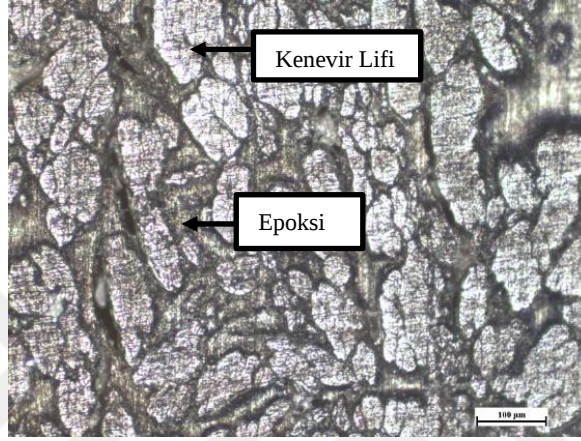




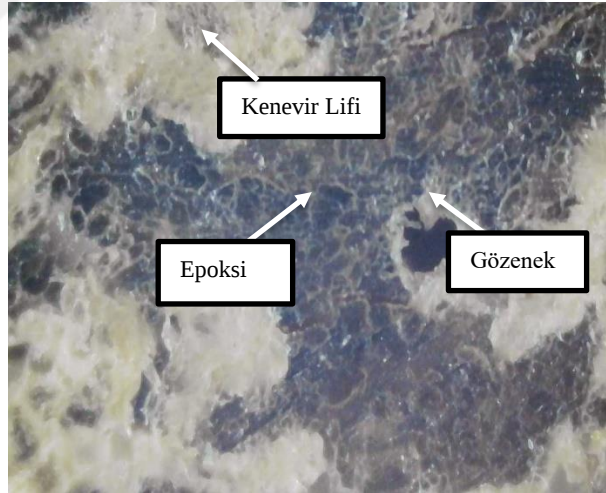
Şekil 8.12. Darbe testi uygulanmış numunelerin kırık yüzey görüntüleri

8.3 Mikroskop Görüntüleri

Mikroskop görüntüleri alınan numunelerden ilki olan kenevir liflerinin 4 kat ve 90° açıyla dizilip, epoksi matris ile takviyelendirilerek elde edilen numunenin mikroskobik görüntüsü Şekil 8.13’de verilmiştir. Kenevir lifleri ve epoksi hariç yapıda oluşan gözenekler Şekil 8.14’de gösterilmiştir.



Şekil 8.13. 90° Kenevir liflerinin mikroskobik görüntüsü

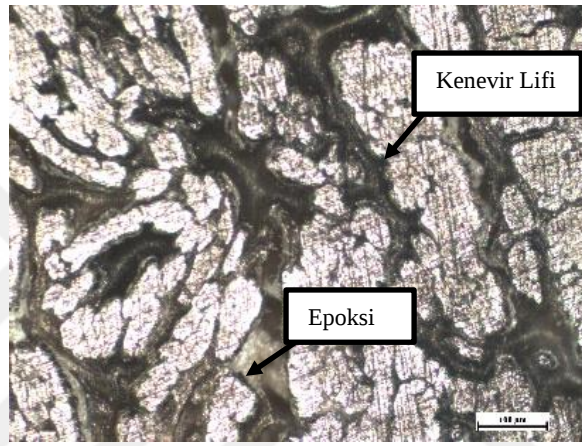


Şekil 8.14. 90° Kenevir liflerinin iç yapı görüntüsü

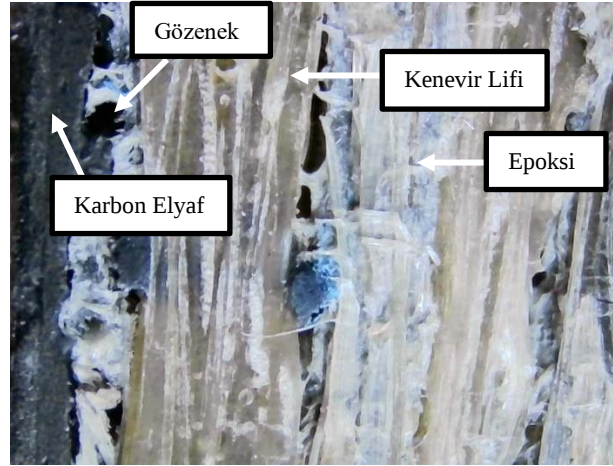
Numunelerin basınç farklılıklarına bağlı olarak değişebilecek yapısal ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için 1,25 N/cm² ve 200 N/cm² olarak iki farklı basınç değerinde presleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Numuneler ikişer adet üretilmiş olup ilk numuneler 1,25 N/cm² basınç altında preslenirken, ikinci numuneler 200 N/cm² basınç altında preslenmiştir. Numunelerin gözeneklilik oranlarına bakıldığı zaman

düşük basınç altında preslenen ilk numune, yüksek basınç altında preslenerek üretilen ikinci numuneye göre %22,48'lik bir oranla daha yüksek gözeneklilik göstermiştir.

Karbon elyaf takviyeli sandviç numuneler, tek başına kenevir lifleri kullanılarak üretilen numunelerle kıyaslanabilmeleri amacıyla üretilmiştir. Epoksi matris içerisinde 90° açı ile 4 kat döşenen kenevir lifi numunelerinin alt ve üst katmanının karbon elyaflarla takviyelendirilmesi ile elde edilen sandviç yapının mikroskopik görüntüsü ise Şekil 8.15'de ve Şekil 8.16'da verilmiştir.



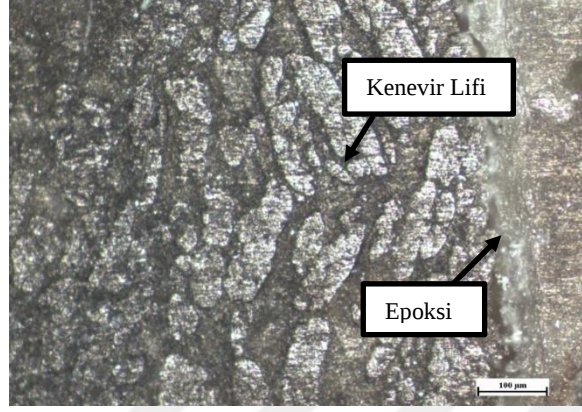
Şekil 8.15. 90° Kenevir lifi+Karbon elyaf mikroskopik görüntüsü



Şekil 8.16. Kenevir lifi+ Karbon elyafın iç yapı görüntüleri

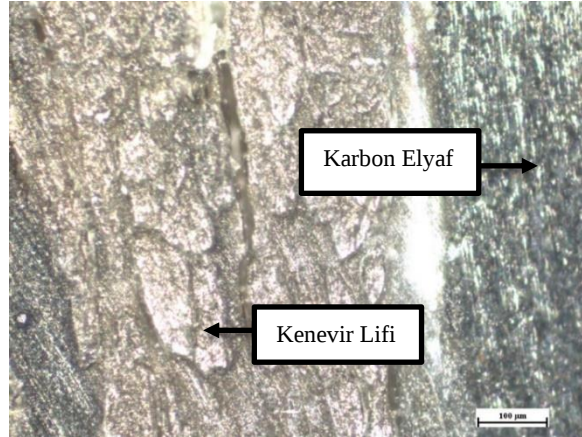
Karbon elyafın eklenmesiyle $1,25 \text{ N/cm}^2$ basınç altında üretilen numune %15,87 oranında gözenekli yapı sergilemiş olup, sadece kenevir lifleriyle üretilen numuneye kıyasla karbon elyaf takviyesi gözeneklilik oranını azaltmıştır.

Kenevir liflerinin farklı açılarda dizilmesinin numunelere kazandırdığı özelliklerin değerlendirilebilmesi için üretilen 60° açılarla ve 4 kat olacak şekilde dizilmiş kenevir kompozit numunesinin mikroskopik görüntüsü Şekil 8.17’de verilmiştir.

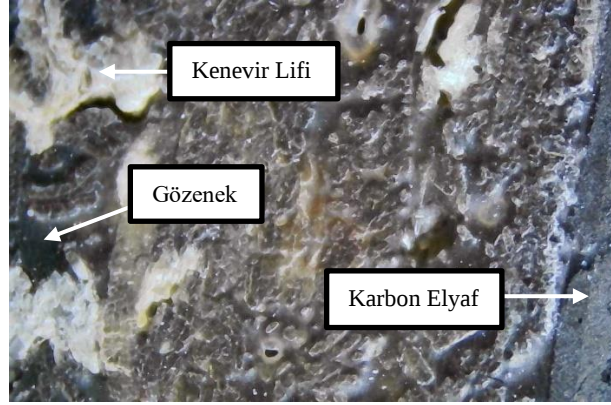


Şekil 8.17. 60° Kenevir lifleri mikroskopik görüntüsü

Liflerin gözeneklilik miktarına bakıldığında düşük basınç uygulanması sonucu üretilen ikinci numunede %12,79 oranıyla ilk numuneye göre gözeneklilik azalmıştır. 60° açılı kenevir lifleri ve karbon elyaf ile elde edilen sandviç numunenin mikroskopik görüntüleri Şekil 8.18’de ve Şekil 8.19’da verilmiştir.

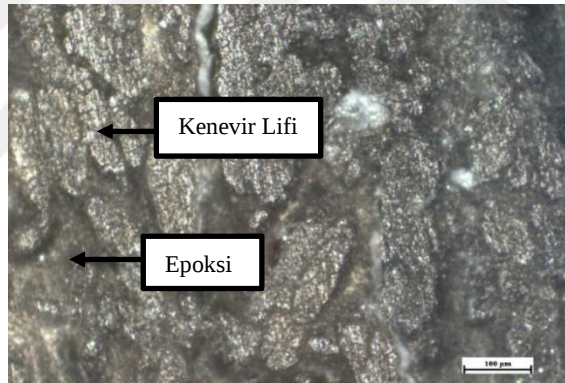


Şekil 8.18. 60° Kenevir lifi+Karbon elyaf mikroskopik görüntüsü

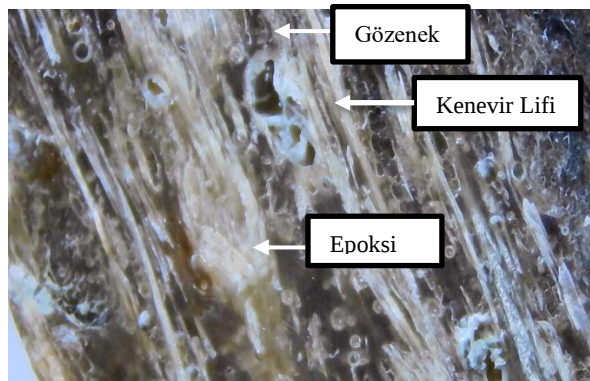


Şekil 8.19. 60° Kenevir lifi+ karbon elyaf iç yapı görüntüsü

Bu numune de aynı şekilde düşük basınç altında üretilen ilk numune, ikinci numuneye göre %57,48 daha fazla gözeneklilik oranı tespit edilmiştir. Üretilen bir diğer numune ise 45° açıyla dizilmiş kenevir lifleridir. Bu numunelerin mikroskopik görüntüleri Şekil 8.20’de ve Şekil 8.21’de verilmiştir.



Şekil 8.20. 45° Kenevir lifi mikroskopik görüntüsü

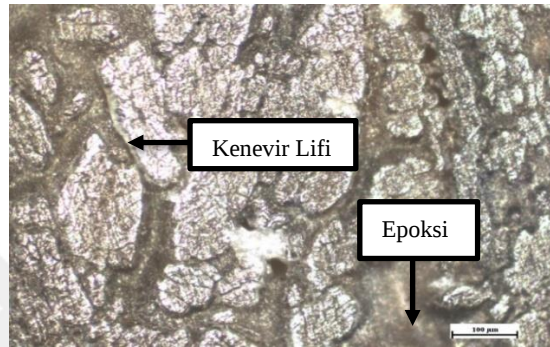


Şekil 8.21. 45° Kenevir lifi iç yapı görüntüsü

Numuneler değerlendirildiğinde 200 N/cm² basınç altında preslenme işlemi gerçekleşen ikinci numune %4,71 gözenekliliğe sahiptir. Üretilen ilk numunenin ise

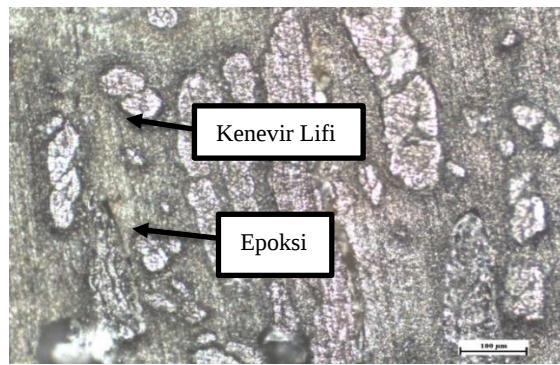
1,25 N/cm² düşük basınç değeri altında preslendiği için numune presi yeterince sağlanamamış, gözenekli yapı miktarı daha çok çıkmıştır.

45° açı dizilimiyle 4 kat serimi yapılan numune karbon elyaf malzeme ile takviyelendirilerek üretimi gerçekleştirilmiştir. Numunenin mikroskobik görüntüsü Şekil 8.22’de verilmiştir. 45° açığa sahip ve 1,25 N/cm² basınç altında üretilen ilk numune, ikinci numuneden %48,92 daha fazla gözenekli yapı sergilemiştir.

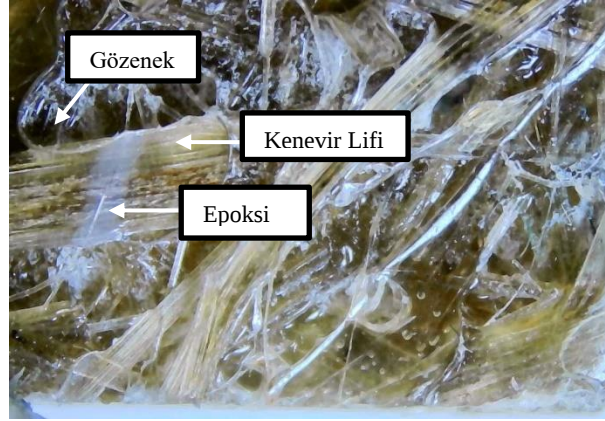


Şekil 8.22. 45° Kenevir lifi+Karbon elyaf mikroskobik görüntüsü

Epoksi matris içerisine 1 cm boyutlarında kırılmış kenevir liflerinin katılmasıyla üretilen numunenin iç yapısının görüntüsü Şekil 8.23. ve Şekil 8.24.’deki gibidir. Kırılmış liflerle üretilen numunelerin düzgün dağılım sergilemediği ve istenilen şekilde homojen dağılımlı bir numunenin elde edilemediği gözlemlenmiştir.

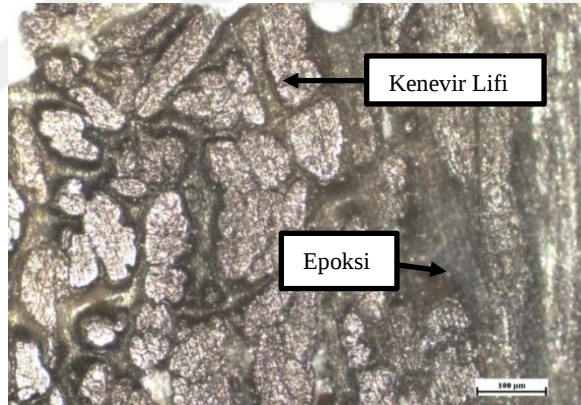


Şekil 8.23. 1 cm kırık kenevir görüntüsü



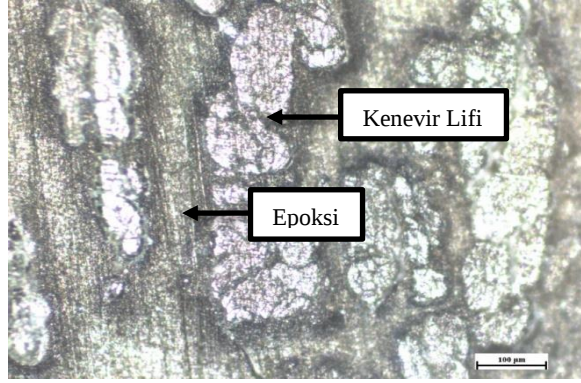
Şekil 8.24. 1 cm kırık kenevir liflerinin iç yapı görüntüleri

1 cm kırık kenevir liflerinin epoksi matris birleşimi ile üretilen ilk numune 1,25 N/cm² basınç altında %19,26'lık gözenekli yapıya sahip olmuştur. 1 cm'lik kırılmış kenevir liflerinin de mukayese edilebilmesi için aynı miktarlarda ve ebatlardaki kenevir lifleri epoksi matrisle birleştirilmiş ve numunenin karbon elyaf takviyesi sağlanmıştır. Üretilen numunelerin görüntüsü Şekil 8.25'de verilmiştir.



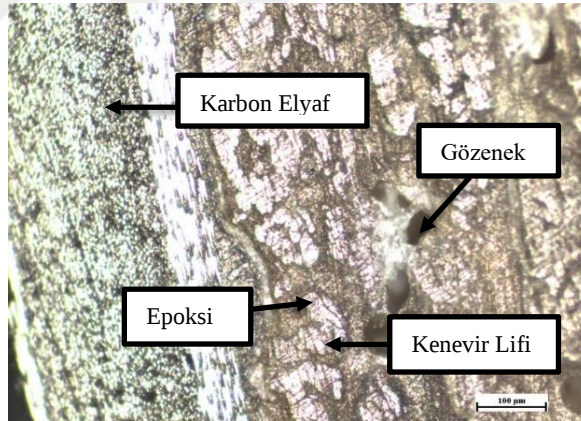
Şekil 8.25. 1 cm Kenevir lifi+Karbon elyaf mikroskobik görüntüsü

Sadece 1 cm kenevir lifleri kullanılarak üretilen numuneye kıyasla karbon elyafın takviyelendirilerek 200 N/cm² basınç altında üretilen numune daha homojen bir dağılım sergilemiştir. Gözeneklilik oranı, 200 N/cm² basınç altında üretilen ikinci numunede %3,22 olarak tespit edilmiştir. Kenevir liflerinin atık olarak değerlendirilmesi kapsamında lif ebatlarının malzeme özelliklerine katkılarını inceleyebilmek için 1 cm kırık liflerin yanında 2 cm kırık liflerle de numune üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu numunelerin iç yapı görüntüleri Şekil 8.26'da verilmiştir.



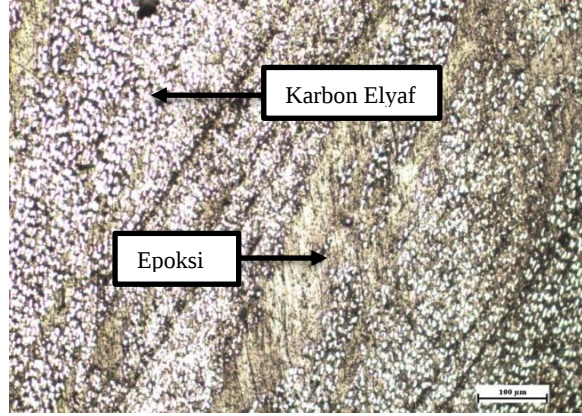
Şekil 8.26. 2 cm kırık kenevir lifleri mikroskopik görüntüsü

1 cm kırık kenevir numuneleri, 2 cm kırık kenevir numuneleri göre matris malzeme içerisinde daha homojen dağılım sergilemiştir. 200 N/cm² basınç altında üretilen ikinci numune %14,28 gözenekli yapı sergilemiş olup, düşük basınç altında üretilen ilk numuneden daha az gözenekli yapıya sahiptir. Atık kenevir liflerinin değerlendirilmesi kapsamında yapılan numunelerin karbon elyaf katkılı türevlerinin performanslarını incelemek üzere 2 cm'lik kenevir kırıklarının karbon elyaf takviyeli hale getirilmesiyle oluşan numunelerin iç yapı görüntüleri Şekil 8.27'de verilmiştir.

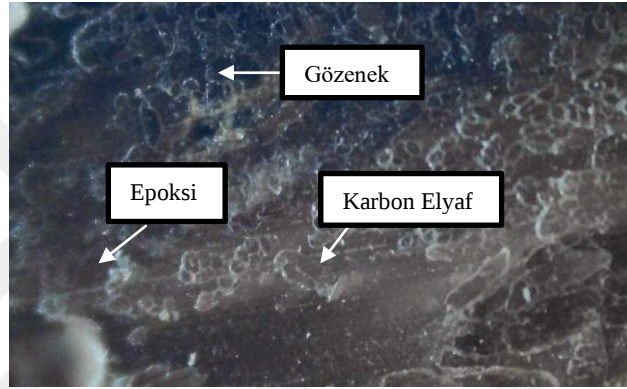


Şekil 8.27. 2 cm Kenevir lifi+ Karbon elyaf mikroskopik görüntüsü

2 cm kırık kenevir lifleri ve karbon elyaf yardımıyla üretilen ikinci numune %14,43 gözenekli yapıya sahiptir. Son olarak bu çalışmada mukayese malzemesi olarak kullanılan karbon elyafların 4 kat epoksi matris içerisinde takviyelendirilerek üretilen numunelerinin iç yapı görüntüleri Şekil 8.28 ve Şekil 8.29'da verilmiştir.



Şekil 8.28. Karbon elyaf mikroskopik görüntüsü



Şekil 8.29. Karbon elyaf iç yapı görüntüsü

Tablo 8.4. 1. ve 2. numunelerin gözeneklilik oranları

NUMUNE ADI	1,25 N/cm ² Basınç Altında Gözeneklilik Oranı (1. Numuneler)	200 N/cm ² Basınç Altında Gözeneklilik Oranı (2. Numuneler)
90° Kenevir Elyaf	%20,51	%15,90
60° Kenevir Elyaf	%12,79	%7,69
45° Kenevir Elyaf	%6,89	%4,71
90° Kenevir Elyaf + Karbon Elyaf	%15,87	%7
60° Kenevir Elyaf + Karbon Elyaf	%15,50	%6,59
45° Kenevir Elyaf + Karbon Elyaf	%20,32	%10,38
1 cm Kenevir	%19,26	%3,22
1 cm Kenevir + Karbon Elyaf	%23,72	%12,22
2 cm Kenevir	%21,83	%14,28
2 cm Kenevir + Karbon Elyaf	%18,48	%14,43
Karbon Elyaf	%22,58	%15,44

Tablo 8.5’den de anlaşılabacağı üzere 200 N/cm² basınç altında üretilen numuneler gerek sadece kenevir lifleri ile olsun gerekse karbon elyaf ile takviyelendirilen türleri için olsun, daha az gözenekli yapı meydana geldiği görülmektedir. Basıncın, matris malzeme ve takviye malzemelerin nüfuziyetleri üzerinde önemli etkisi olduğunu söylemek mümkündür.

8.4 Numunelerin Yoğunluk Analizleri

Elde edilen kompozit numunelerinin çeşitlerine göre yoğunluk ölçümleri Tablo 8.5 ve Tablo 8.6’da verilmiştir. Ölçüm değerlerine bakıldığı zaman kenevir liflerinin karbon elyafa kıyasla daha az yoğunluğa sahip olduğu, kenevir liflerinin karbon elyaf ile takviyelendirilmesi sonucu elde edilen numunelerin yoğunluğunun saf halde bulunan karbon elyafa göre daha düşük değerlere sahip olabileceği açık bir şekilde görülmektedir.

Tablo 8.5. Kompozit numunelerinin (1.Numuneler) yoğunluk ve mekanik özellikleri

Numune Adı	Yoğunluk (gr/cm ³)	Eğilme Mukavemeti (MPa)	Eğilme Modülü (GPa)
90° KL	0,78	54	3,7
60° KL	0,86	97	5,3
45° KL	0,87	19	2,1
90° KL+KE	1,26	66	3,4
60° KL+KE	1,29	65	5,6
45° KL+KE	1,23	29	1,7
1 cm KL	1,09	42	3,7
1 cm KL+KE	1,18	109	3,6
2 cm KL	0,87	46	1,6
2 cm KL+KE	1,19	84	3,3
KE	1,24	154	9,8

Kenevir lifleri ile üretilen numuneler lif dizilim açıları, karbon elyaf takviyesi ve atık liflerin performansları açısından değerlendirilmiştir. Bir diğer değerlendirme noktası ise farklı basınçlar altında üretilen numunelerin mekaniksel özellikleridir. Bunun için numuneler aynı basamaklar izlenerek ve aynı malzeme miktarları uygulanarak 2’şer adet üretilmiş olup, numunelerin ilk kısmı 1,25 N/cm² basınç altında preslenmiş, ikinci kısmı 200 N/cm² basınç altında preslenerek üretilmiştir. Üretilen kompozit malzeme numunelerinin ilk kısmının yoğunluk değerleri ve eğme testi sonuçlarına göre

mekaniksel özellikleri Tablo 8.6’da belirtildiği gibidir. İkinci kısım üretilen numunelerin yoğunluk değerleri ve mekaniksel özellikleri Tablo 8.6’da verilmiştir.

Tablo 8.6. Kompozit numunelerinin (2. Numuneler) yoğunluk ve mekanik özellikleri

Numune Adı	Yoğunluk (gr/cm ³)	Eğilme Mukavemeti (MPa)	Eğilme Modülü (GPa)
90° KL	0,88	128	9,0
60° KL	1,04	50	6,5
45° KL	1,06	34	2,0
90° KL+KE	1,00	173	20,62
60° KL+KE	0,91	161	18,90
45° KL+KE	0,77	139	19,32
1 cm KL	0,93	92	3,7
1 cm KL+KE	0,90	145	7,5
2 cm KL	0,98	100	3,3
2 cm KL+KE	0,97	129	4,7

Kompozit numunelerin teorik yoğunlukları aşağıdaki formül baz alınarak hesaplanmıştır.

$$\rho_t = [(\%W_1) \times \rho_1] + [(\%W_2) \times \rho_{12}] + \dots \dots \dots + [(\%W_n) \times \rho_s] \quad (8.2)$$

%W= Ağırlıkça yüzde takviye elemanı

ρ = Takviye elemanının yoğunluğu

Bağıl yoğunluk hesabı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\rho_b = \frac{\rho_{deneysel}}{\rho_{teorik}} \times 100 \quad (8.3)$$

$\rho_{deneysel}$ = Deneysel yoğunluk

ρ_{teorik} = Teorik yoğunluk

ρ_b = Bağıl yoğunluk

Numunelerin üretiminde kullanılan takviye elemanı kenevir lifinin yoğunluğu 1,4 g/cm³ ve matris malzeme olan epoksinin yoğunluğu 1,2 g/cm³’tür.

Tablo 8.7. Numunelerdeki kenevir lifi yoğunlukları

Numuneler	Kenevir Lifi Yoğunluğu (g/cm ³)	
	1. Numuneler	2. Numuneler
90° KL	0,22	0,25
60° KL	0,19	0,32
45° KL	0,21	0,28
90° KL + KE	0,22	0,31
60° KL + KE	0,30	0,41
45° KL + KE	0,25	0,33
1 cm KL	0,17	0,27
1 cm KL + KE	0,23	0,32
2 cm KL	0,21	0,36
2 cm KL + KE	0,16	0,38
KE	0,19	0,28

Tablo 8.8. 1. Numunelerin yoğunluk ve yüzde gözeneklilik değerleri

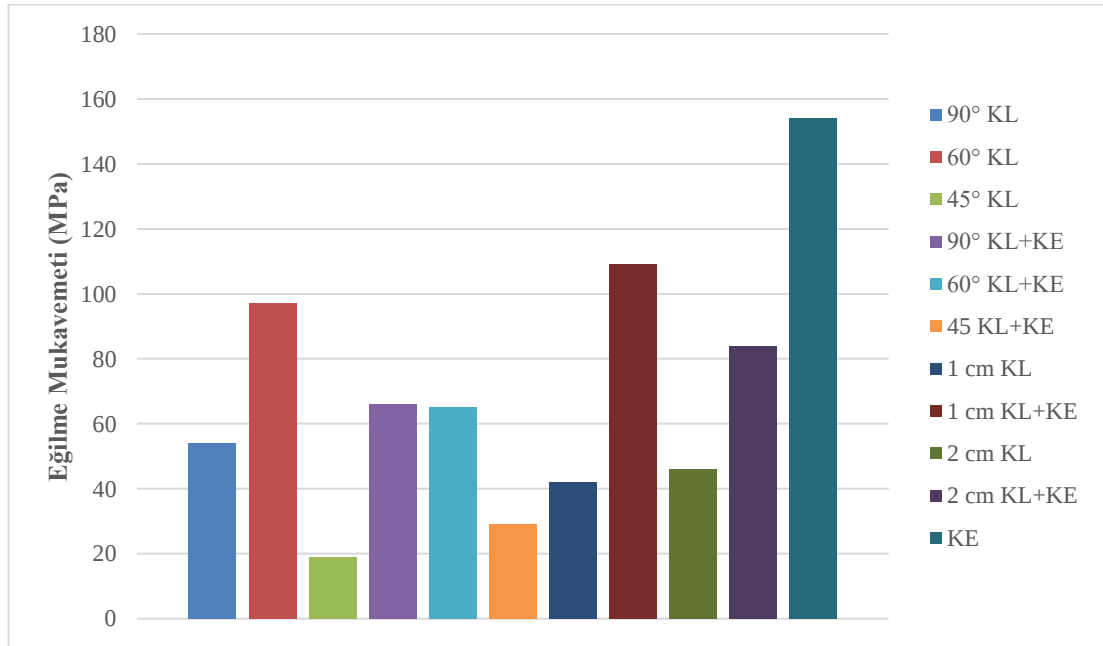
1. Numuneler	Teorik Yoğunluk (g/cm ³)	Deneyisel Yoğunluk (g/cm ³)	Bağıl Yoğunluk (%)	Gözeneklilik (%)
90° KL	0,78	0,62	79,48	20,51
60° KL	0,86	0,75	87,20	12,79
45° KL	0,87	0,81	93,10	6,89
90° KL+KE	1,26	1,06	84,12	15,87
60° KL+KE	1,29	1,09	84,49	15,50
45° KL+KE	1,23	0,98	79,67	20,32
1 cm KL	1,09	0,88	80,73	19,26
1 cm KL+KE	1,18	0,90	76,27	23,72
2 cm KL	0,87	0,68	78,16	21,83
2 cm KL+KE	1,19	0,97	81,51	18,48
KE	1,24	0,96	77,41	22,58

Tablo 8.9. 2. Numunelerin yoğunluk ve yüzde gözeneklilik değerleri

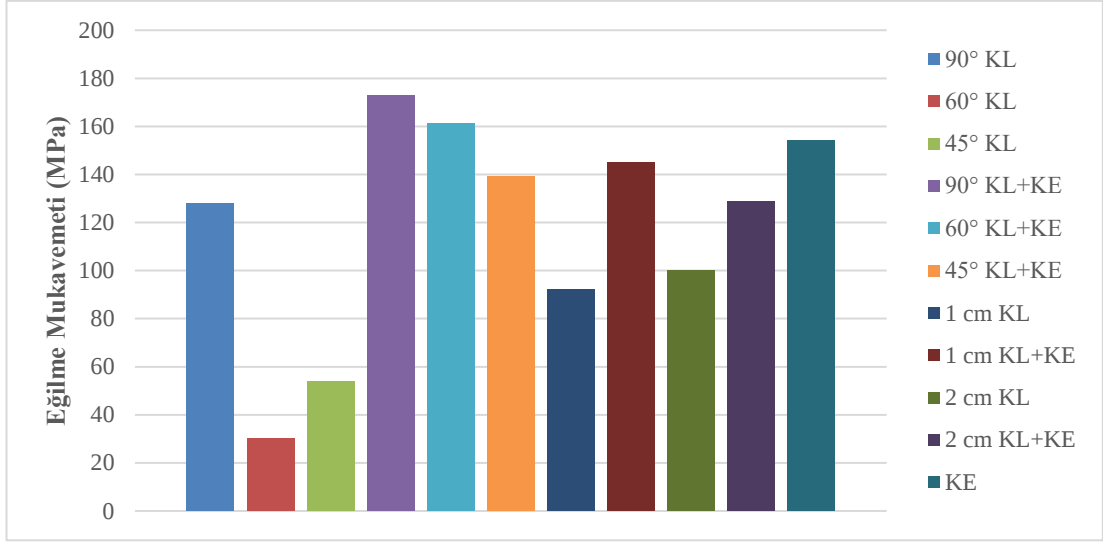
2. Numuneler	Teorik Yoğunluk (g/cm ³)	Deneyisel Yoğunluk (g/cm ³)	Bağıl Yoğunluk (%)	Gözeneklilik (%)
90° KL	0,88	0,74	84,09	15,90
60° KL	1,04	0,96	92,30	7,69
45° KL	1,06	1,01	95,28	4,71
90° KL+KE	1,00	0,93	93	7
60° KL+KE	0,91	0,85	93,40	6,59
45° KL+KE	0,77	0,69	89,61	10,38
1 cm KL	0,93	0,90	96,77	3,22
1 cm KL+KE	0,90	0,79	87,77	12,22
2 cm KL	0,98	0,84	85,71	14,28
2 cm KL+KE	0,97	0,83	85,56	14,43
KE	1,36	1,15	84,55	15,44

8.5 Kompozitlerin Eğilme Testleri

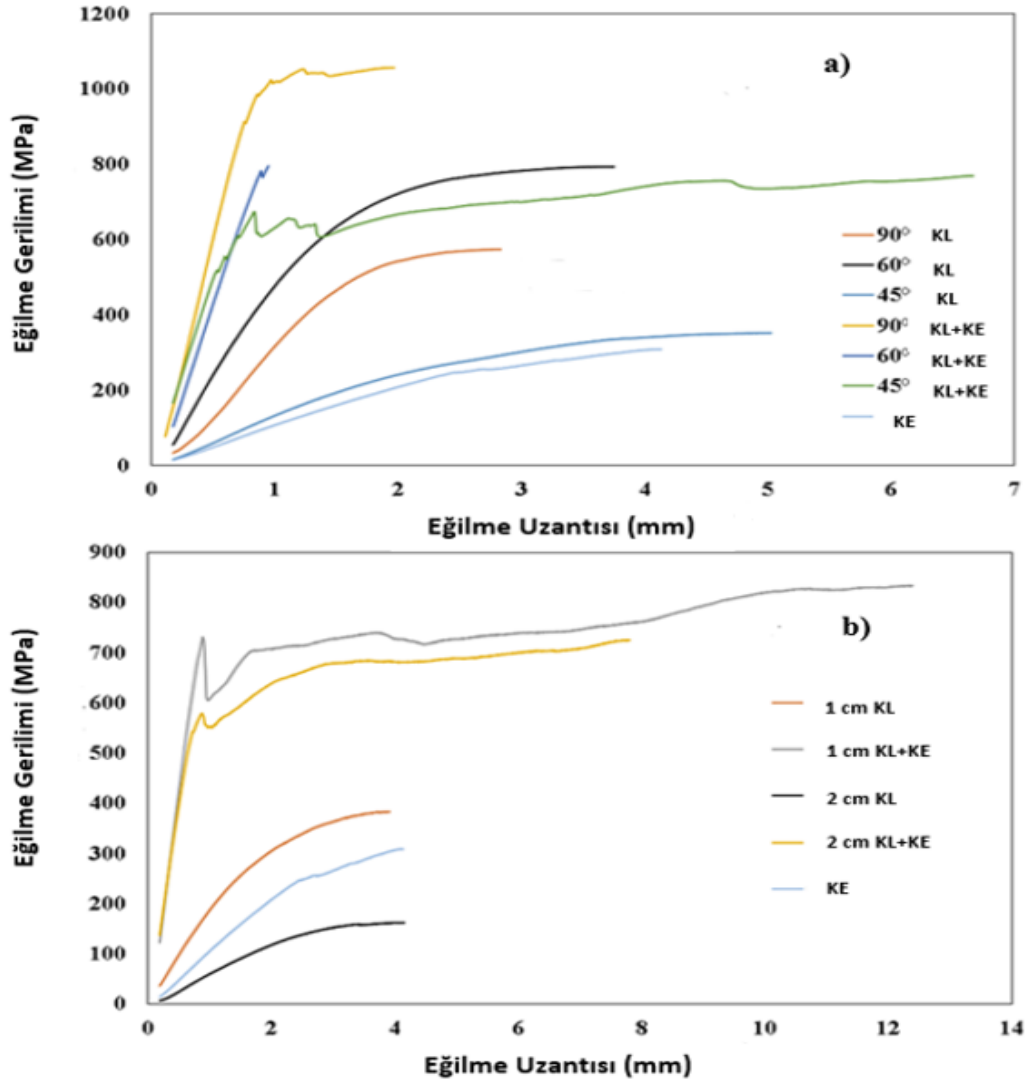
3 nokta eğme testi uygulanan kompozit malzemelerin sergilemiş oldukları eğilme mukavemet değerleri Tablo 8.5 ve Tablo 8.6’da verilmiştir. Birinci ve ikinci numunelerin eğilme mukavemet değerleri değerlendirildiği zaman sadece kenevir lifleri kullanılarak ve 90° açı ile serimi yapılarak üretilen ikinci numunenin 128 MPa’lık değer ile eğilme mukavemetinin diğer açılı kenevir lifi numunelerinin önüne geçtiği görülmektedir. Karbon elyaf ile birleştirilen kenevir liflerinin oluşturduğu ve 90° açığa sahip ikinci hibrit numune 173 MPa eğilme mukavemeti ile en yüksek performansı sergilemiştir. Düşük basınç altında üretilen hibrit numunelerin ise eğilme mukavemet değerleri düşük çıkmıştır. Atık kenevir liflerinin değerlendirilebilmesi için üretilen numuneler incelendiği zaman kenevir lifi boylarının uzaması mukavemet değerlerini arttırıcı özellik sağlamıştır. Sadece karbon elyafın kullanılması ile elde edilen numune incelendiği zaman eğilme mukavemetinin 154 MPa değerinde olduğu ve düşük basınç altında preslenerek üretilen numuneler arasında en yüksek değere sahip olduğu görülmektedir. 90° kenevir+karbon elyaf olarak üretilen ikinci numunenin eğilme mukavemet değeri, yüksek basınç altında sade karbon elyafın kullanıldığı numunenin eğilme mukavemet değerini geçmiştir.



Şekil 8.30. Kenevir lifi numunelerinin eğilme mukavemeti değerleri

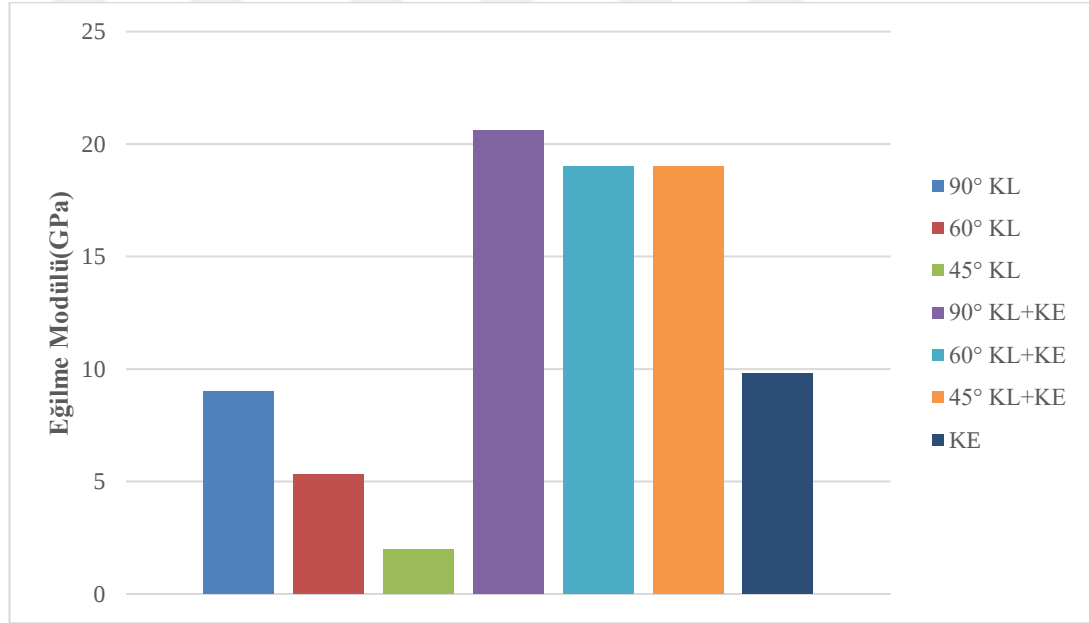


Şekil 8.31. Kenevir lifi numunelerinin eğilme mukavemeti değerleri



Şekil 8.32. Numunelerin uzamaları a) Açılı numuneler, b) Kırpık numuneler

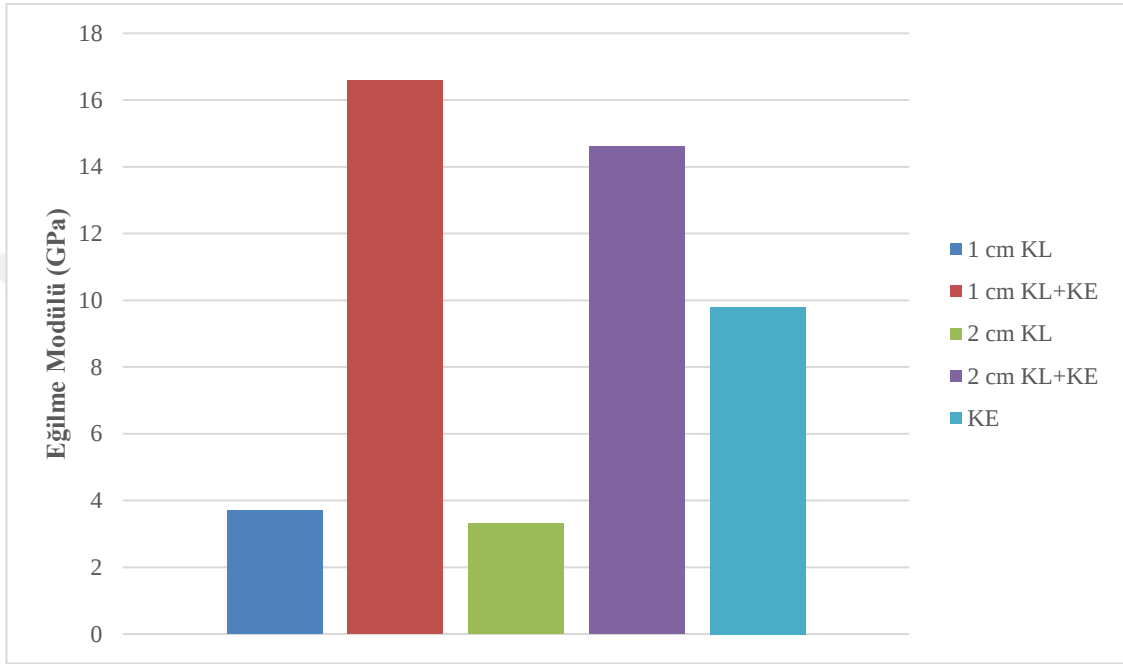
Üretilen numunelerin eğme gerilimi/uzama grafikleri Şekil 8.32’de gösterilmiştir. Kırpık kenevir liflerinin boy uzunlukları arttığı zaman eğme gerilimi karbon elyaf numunesine göre daha fazla iken uzama miktarları yakın değerler göstermiştir. Kenevir liflerinin farklı açılarda serilmesi ve karbon elyaf ile takviyelendirilmesi sonucu üretilen numunelere bakıldığında eğilme gerilimi ve uzama değerlerinin sadece kenevir lifleriyle üretilen numunelere kıyasla daha gevrek davranış sergiledikleri görülmektedir. Buradan da karbon elyaf ile takviyelendirilen kenevir liflerinin mukavemet bakımından daha üstün olduğunu söylemek mümkündür. Numunelerin uzama performansları incelendiğinde sadece karbon elyaf numune ve 45° kenevir lifleri ile üretilen numunenin birbirine yakın ve en fazla uzama performansını sergiledikleri görülmektedir.



Şekil 8.33. Kenevir lifi numunelerinin eğilme modülü değerleri

Eğilme modülü (GPa), numunelere eğilme testi uygulanması sırasında numunenin elastik şekil değiştirmesi ve bu anda da numune üzerine etki eden basıncın numunede meydana gelen şekil değişimine oranı olarak tanımlanmaktadır. Numunelerin eğilme modül değerleri Şekil 8.33 ve Şekil 8.34’te gösterilmiştir. Farklı yönelim açılarıyla üretilen ve sadece kenevir liflerinin kullanıldığı numuneler incelendiğinde en yüksek eğme modülü değerine 90° açıyla serilmiş olan numune 9 GPa’lık değerle sahip olmuştur. Karbon elyafın takviyelendirilmesi ile üretilen numuneler incelendiğinde ise 90° kenevir lifleri ve karbon elyaf birleşiminin 20,62 GPa’lık eğme

modülü değeriyle en yüksek performansı sergilediği gözlemlenmiştir. 1 cm ve 2 cm şeklinde boyutlandırılan kenevir liflerinin karbon elyafla oluşturduğu kompozit numune ise 7,5 GPa'lık eğilme modülü değerine sahiptir. Sadece karbon elyaf malzemesi hibrit numunelerin gerisinde kalmış ve 9,8 GPa eğilme modülü değeri sergilemiştir.



Şekil 8.34. Kırpık kenevir lifi numunelerinin eğilme mukavemeti değerleri

9. SONUÇ

Günümüzde pek çok alanda kullandığımız kompozit malzemelerin kolay ulaşılabilir, yenilenebilir ve en önemli etkenlerden birisi olarak biyobozunur yapıya sahip olmalarını istememiz, bizleri alternatif kompozit malzeme arayışına sokmuştur. Kompozit üretiminde sık kullanılan sentetik liflerin yerini doğal kaynaklı liflerin alabilme ihtimali bu çalışmanın bel kemiğini oluşturmaktadır. Bu çalışmada kenevir lifleri kullanılarak farklı lif açılarında ve atık lif değerlendirilmesi bazında kırpık formdaki kenevir liflerinin epoksi matris kullanılarak üretilen kompozit malzemelerin, sektörde yaygın kullanım alanlarına sahip olan karbon elyaf kompozitlerine alternatif teşkil edip edemeyeceği araştırılmıştır. Farklı açılarda numuneler üretilmiş, bazı numuneler karbon elyaflarla takviyelendirilmiş ve numunelere eğme testi uygulanmıştır. Yapılan çalışmaların sonuçlarına göre;

- ✓ Kenevir liflerinin 90° açılarla dizilmesi numuneyi, uygulanan eğme yüklerine karşı mukavemetlendirdiği, 60° ve 45° açılarla dizim gerçekleştirilen numunelerde mukavemet özelliklerinin yakın değerler gösterdiği tespit edilmiştir. Numunelerin üretimlerinde eşit miktarlarda epoksi reçine ve takviye elemanı kullanılmış olmasına rağmen eğilme testi değerlerinde farklılıkların oluşmasının sebebi fiberlerin yönlendirilme açılarının farklılıklar olduğu saptanmıştır.
- ✓ Karbon elyaf ile oluşturulan sandviç kompozit numunelerde, açılarının yönelimleri incelendiği zaman 200 N/cm² basınç altında preslenen numunelerde 90° açılı liflerin mukavemet değerinin 173 MPa ile maksimum değeri verdiği görülmüştür.
- ✓ Numune 1 ve Numune 2 olarak üretimi gerçekleştirilen kompozit malzemeler içerisinde üç nokta eğme deneyinde 45° açılıya sahip liflerin düşük değerler sergilediği görülmüştür. Bunun sebebi kayma düzleminin 45° olmasıdır.
- ✓ 90° açılıya sahip lif dizilimi ile üretilen numunelerin üç nokta eğme deneylerinde, kenevir liflerinin dik kuvvetlere karşı dayanımının yüksek olduğu görülmüştür.

- ✓ Kenevir elyafın karbon elyaf ile takviyelendirilmesi sonucu üretilen numuneler kıyaslandığı zaman üç nokta eğme dayanımlarında 90° açığa sahip Numune 2'nin Numune 1'e göre %162,12 artış sergilediği gözlemlenmiştir. Aynı şekilde 60° açı dizilimli Numune 2'nin de Numune 1'e göre %147,70 oranında artış sergilediği gözlemlenmiştir. 45° açı dizilimli numuneler kıyaslandığı zaman Numune 2'nin %380'lik bir artış performansı sergilediği görülmüştür. Bunun sebebi farklı lif dizilimleri üzerine uygulanan basıncın farklılık göstermesidir. Yüksek basınç altında mukavemet değerlerinin iyileştiği açık bir şekilde görülmektedir.
- ✓ Atık kenevir lifi mukayesesi kapsamında 1 cm ve 2 cm liflerden hazırlanan numuneler sadece kenevir lifi ve karbon elyaf takviyeli olan numune türleri bazında değerlendirildiği zaman, karbon elyafın takviyesi ve numunenin 200 N/cm^2 basınç değeri altında preslenmesi, numunelerin eğme kuvvetlerine karşı dayanımlarını ciddi oranda arttırdığı gözlemlenmiştir.
- ✓ Kenevir liflerinin sürekli ve uzun olması, kısa liflere kıyasla mukavemet değerlerini önemli ölçüde dayanımın artması yönünde etkilediği görülmüştür.
- ✓ Kenevir liflerinin yüksek performans değerlerine sahip olduğu görülmüş, karbon elyafın takviyelendirilmesi ile üretilen numunelerin mukavemet değerlerinde artışların olduğu tespit edilmiştir. Kompozit malzeme üretimi hususunda kenevir liflerinin karbon elyaf ile kullanımında çalışma performansı yüksek malzemelerin üretilebileceği görülmüştür.
- ✓ 200 N/cm^2 basınç altında preslenen numunelerde, tek başına kenevir liflerinin kullanılması veya karbon elyafın takviyelendirilmesi ile üretilen numunelerde, takviye malzeme ve matris malzeme arasındaki nüfuziyetin, uygulanan basıncın artmasıyla arttığı tespit edilmiştir.
- ✓ $1,25 \text{ N/cm}^2$ basınç altında üretilen numunelerin daha fazla gözenekli yapıya sahip oldukları tespit edilirken, basıncın 200 N/cm^2 yükseltilmesi ile bu gözeneklilik oranlarının azaldığı gözlemlenmiştir.

- ✓ Kompozit numuneler içerisinde karbon elyafa kıyasla kenendir liflerinin yoğunluğu azaltıcı performans sergilediği gözlemlenmiştir.
- ✓ Yüksek basınç altında üretilen numuneler arasından en yüksek darbe tokluk değeri 38,30 Joule/cm² ile 90° kenendir lifi ve karbon elyaf numunesi vermiştir.
- ✓ Düşük basınç altında üretilen numunelerin gözeneklilik oranları yüksek çıkarken basıncın artırılması ile gözeneklilik oranlarında azalmalar meydana gelmiştir. Yapıda gözenegin olması malzemenin dayanımını zayıflatacağı için, kenendir liflerinin kullanıldığı bu çalışmada yüksek basınç malzemelerin dayanımını arttırmıştır.
- ✓ Kenendir liflerinin kopma uzaması %2,38 iken karbon elyafın yüzde uzaması %1,6'dır. Bu sebepten karbon elyaf darbe testi sırasında koparken kenendir liflerinde uzamalar meydana gelmiştir.
- ✓ Darbe testi sonucunda 1,25 N/cm² basınç altında 90° açi dizilimi ile kenendir liflerin üretilen kompozit numunenin tabakalarına ayrıldığı görölmektedir. Bu tabakalaşmaya sebep basıncın düşük olmasıdır. Yüksek basınç altında tabakalaşmalar olmamış kenendir lifleri doğrusal uzamalar gerçekleştirerek kopmuştur.

Tez kapsamında yapılan araştırmalar ve incelemeler neticesinde biyobozunur olan kenendir liflerinin yaygın kullanılan kompozit malzemelerde üretim koşulları ve kullanım alanlarının durumu da göz önünde bulundurulduğunda karbon elyaflara kıyasla daha iyi performanslar sergilediği görölmüştür. Bu incelemeler neticesinde kenendir lifleri hem çevreci özellikleri hem düşük maliyetli olmaları hem de göstermiş oldukları performanslar göz önünde bulundurulduğu zaman kompozit malzemeler içerisinde alternatif takviye malzemesi olarak kullanılabilmeleri mümkündür.

Daha önce kenendir üzerine yapılmış çalışmalar incelendiği zaman yöntemler ve matris malzemeler farklı olacak şekilde, kenendir liflerinin kompozit malzeme üretiminde takviye elemanı olarak kullanılabılme durumlarını ele alan çalışmalar mevcuttur. Fakat çalışmalar kenendir liflerinin nem alma özelliğinin irdelenmesinden ısı iletimi,

ses yalıtımı özelliklerine kadar pek çok farklı kriter değerlendirilmesi bazında yapılmıştır. Bu hususta kenevir liflerinin eğme kuvvetlerine karşı mukavemet değerlerinin analiz edilmesi adına, dokunmamış formda epoksi matris ile elde yatırma yöntemi uygulanarak basınç altında üretilip, incelenmesi üzerine çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılan bu çalışmanın, kompozit malzemelerde takviye malzemelerinin çeşitlendirilmesi adına arayışın devam ettiği günümüz koşullarında, kenevir lifleri üzerine yapılabilecek çalışmalara yol göstermesi umut edilmektedir.



KAYNAKLAR

- Ahlatcı, H. (2003). Alüminyum-Silisyum Karbür Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine ve Aşınma Davranışına Takviye Boyutunun ve Matris Bileşiminin Etkisi. Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Akpınar, D., & Nizamoğlu, A. (2019). Osmanlı'dan Cumhuriyet'e Kenevir Üretimi. *Turkish Studies Social Sciences*, 14 (4), 1223-1236.
- Arıcasoy, O. (2006). Kompozit Sektör Raporu. İstanbul Ticaret Odası, İstanbul.
- Arı, A. (2022). Polimer Matrisli Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, *Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Bursa.
- Ariyakuare, K. (2010). The Development of New Mixed Fiber from Waste Cocoon and Other Plant Fibers. *The 2 RMUTP International Conference: Green Technology and Productivity*, 369-375.
- Arkaz, H. (2016). Elle Yatırma Yöntemi (Hand Lay Up) ile Kompozit Malzeme Üretimi. *Erciyes Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği*. Kayseri.
- Ashori, A. (2008). Wood-Plastic Composites As Promising Green-Composites for Automotive Industries. *Bioresource Technology*, 99,4661-4667.
- Avcı, A., Eker, A. A., & Bodur, M. S. (2021). Yeşil Kompozit Malzemelerin Performans Özellikleri ve Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(4), 3035-3054.
- Aydın, E., Erzi, E., Yüksel, Ç., & Dışpınar, D. (2015). SIMA Yöntemi ile SiC Takviyeli A380 ve 6063 Kompozit Üretimi. 7. Alüminyum Sempozyumu, 8-9 Ekim, İstanbul.
- Aydoğan, M., Terzi, Y. E., Gizlenci, Ş., Acar, M., Esen, A., & Meral, H. (2020). Türkiye'de Kenevir Yetiştiriciliğinin Ekonomik Olarak Yapılabilirliği: Samsun İli Vezirköprü İlçesi Örneği. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 35, 35-50.
- Bayraktar, Ş., & Turgut, Y. (2013). Elyaf Takviyeli Polimer Kompozit Malzemelerin Talaşlı Şekillendirilebilirliği. *1st International Symposium on Plastic and Rubber Technologies and Exhibition*, 29-31 Mayıs, Ankara.
- Bedir, F. (2006). Alüminyum Kompozitlerin Üretimi, Karakteristik Özellikleri ve Endüstriyel Uygulamaları. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 47(554), 28-35.
- Bulut, Y., & Erdoğan, Ü. H. (2011). Selüloz Esaslı Doğal Liflerin Kompozit Üretiminde Takviye Materyali Olarak Kullanımı. *The Journal of Textiles and Engineers*, 18 (82), 26-34.

- Bhoopathi, R., Ramesh, M., & Deepa, C.(2014). Fabrication and Property Evaluation of Banana-Hemp-Glass Fiber Reinforced Composites. *Procedia Engineering*, 97, 2032-2041.
- Clemons, C. (2002). Wood-Plastic Composites in The United States: The Interfacing of Two Industries. *Forest Products Journal*,2,10-18.
- Corbin, A., Soulat, D., Ferreira, M., Labanieh, A., Gabrion, X., Malecot, P., & Placet, V. (2020). Towards Hemp Fabrics for High-Performance Composites: Influence of Weave Pattern and Features. *Composites Part B: Engineering*, 181, 1-21.
- Çavdar, A. D., & Boran, S. (2016). Doğal Liflerin Otomotiv Sanayinde Kullanımı. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 16(1), 253-263.
- Çelik, M., & Kılıç, E. (2020). Bitkisel Kaynaklı Biyopolietilenin Biyokompozit Üretiminde ve Polimer Karışımlarında Kullanımı. *Journal of Textiles and Engineer*, 27(119), 197-215.
- Demir, F. K. (2019). Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerde Üretim Parametrelerinin Malzemenin Mekaniksel ve Fiziksel Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Uşak.
- Demirbek, D. M., & Bulut, M. O. (2021). Kenevir Liflerinin Eldesi, Özellikleri ve Kompozit Uygulama Alanları. *Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences*, 4(2), 176-191.
- Dinkci, H. (2020). Vakum Torbalamada Basınç Değişkeninin Karbon Elyaf Matrisli Epoksi Yapılarda Estetik ve Mekanik Özelliklere Etkisi. *International Journal Of Science, Technology And Desing*, 1(1), 1-21.
- Durgun, İ. (2013). Vakum İnfüzyon Yöntemi ile Karbon Fiber Motor Kaput Üretimi. *II. Ulusal Ege Kompozit Malzemeler Sempozyumu*, Bursa.
- Ekşi, O. (2007). Plastik Esaslı Malzemelerin Isıl Şekil Verme Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Edirne.
- Erol, D., & Ulutaş, B. (2012). Kompozit Malzeme Süreçler. *İmalat Süreçleri*. 2, Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Eskizeybek, V. (2006). Paslanmaz Çelik Elyaf Takviyeli Alüminyum Kompozitlerde Yorulma Çatlak İlerlemesi. Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Faruk, O. (2009). Cars from Jute and Other Bio-Fibers. 1-10.
- Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H. P., & Sain, M. (2012). Biocomposites Reinforced With Natural Fibers: 2000–2010. *Progress in Polymer Science*,37 (11), 1552-1596.

- Fiedler, B., Gojny, F. H., Wichmann, M. H. G., Nolte, M. C. M., & Schulte, K. (2006). Fundamental Aspects of Nano-Reinforced Composite. *Composites Science and Technology*, 66 (16), 3115-3125.
- Freivalde, L., Kukle, S., Andzs, M., Buksans, E., & Gravitis, J. (2014). Flammability of Raw Insulation Materials Made of Hemp. *Freivalde et al. Composites: Part B*, 67, 510-514.
- Gedik, G., Avinç, O. O., & Yavaş, A. (2010). Kenevir Lifinin Özellikleri ve Tekstil Endüstrisinde Kullanımıyla Sağladığı Avantajlar. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(3), 39-48.
- Gül, S. (2018). Kültür Coğrafyası Bağlamında Vezirköprü’de Kendircilik ve Urgancılık. *Uluslararası Afro-Avrasya Araştırmaları Dergisi*, 6, 201-219.
- Güler, K.A., Kısasöz, A., Yüksel, Ç., & Karaaslan, A. (2012). Mechanical Properties of A6063/ SiC Composites Produced Using The Lost Foam Casting Process. *Mechanical testing*, 54, 189-192.
- Gülmez, S. (2018). Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler. Tezsiz Yüksek Lisans Projesi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Denizli.
- Güneşkaya, O. (2017). Meyan Kökü Lifi Takviyeli Termoplastik Esaslı Kompozit Malzemelerin Isı Geçirgenlik ve Ses Yutum Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Bartın.
- Gürbüz, M., & Mutuk, T. (2019). Karbon Esaslı Malzeme Takviyeli Titanyum Kompozitler ve Grafen Üzerine Yeni Eğilimler. *Mühendis ve Makine*, 60(695), 101-118.
- Göde, C. (2011). TM ile Üretilmiş Alumix-231 SiCp ve B4Cp Kompozitlerin Farklı Üretim Yöntemlerinin Mekanik Özelliklere Etkisi. Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli.
- Göre, M., & Kurt, O. (2021). Bitkisel Üretimde Yeni Bir Trend: Kenevir. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 4(1), 138-157.
- Groover, M. P. (2016). Polimerler ve Kompozit Malzemeler. M. Yurdakul & Y. T. İç (Eds), *Modern İmalatın Prensipleri*. 4, Ankara: Nobel Yayıncılık.
- Hill, K., & Swiecki, B. (2012). The Bio-Based Materials Automotive Value Chain. *Center for Automotive Research*, 6-16.
- Hüner, Ü. (2008). Plastik Esaslı Kompozit Malzemelerin Sıcak Birleştirme İşlemlerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Edirne.
- Işık, A. (2008). Kompozit Malzemeden İmal Edilmiş Bir Takviye Elemanının Eğilme ve Burulma Yükü Altında Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.

- İmak, A. (2015). Tabakalı Hibrit Kompozit Malzemelerin Yorulma Davranışlarının Analizi. Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Elâzığ.
- İstif, M. (2016). Kompozit Üretim Sektöründe Stiren, Toz ve Gürültü Maruziyetinin Değerlendirilmesi. İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, *Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü*. Ankara.
- Jacob, A. (2010). BMW Counts On Carbon Fibre For Its Megacity Vehicle. *Reinforced Plastics*, 54 (5), 38-41.
- Kalemtaş, A. (2014). Metal Matrisli Kompozitlere Genel Bir Bakış. *Putech & Composite Poliüretan ve Kompozit Sanayi Dergisi*, 18-28.
- Kalemtaş, A. (2015). Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler. *Putech & Composite Poliüretan ve Kompozit Sanayi Dergisi*, 20-26.
- Karabulut, N., & Aktaş, M. (2014). Jüt Lifi Takviyeli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Yüzey Modifikasyon İşlemiyle İyileştirilmesi. *Mühendis ve Makine*, 55 (649), 43-49.
- Kaya, A. İ. (2016). Kompozit Malzemeler ve Özellikleri. *Putech & Composite Poliüretan ve Kompozit Sanayi Dergisi*, 29, 38-45.
- Kaya, S., & Öner, E. (2020). Kenevir Liflerinin Eldesi, Karakteristik Özellikleri ve Tekstil Endüstrisindeki Uygulamaları. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 108-123.
- Kırsasöz, A. A. (2018). Alüminyum Matrisli Titanyumdiborür İn Situ Takviyeli Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Kostic, M., Pejic, B., & Skundric, P. (2008). Quality of Chemically Modified Hemp Fibers. *Bioresource Technology*, 99, 94–99.
- Leblebici, B., & Asi, O. (2022). Pultrüzyon Yöntemi ile Üretimi Yapılan Kompozit Malzemelerin Sıcaklık Şoku Testi Sonucunda Mekaniksel Özelliklerinin İncelenmesi. *Uşak Üniversitesi Fen ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1-10.
- Lei, Y., Wu, Q., Yao, F., & Xu, Y. (2007). Preparation And Properties of Recycled HDPE/Natural Fiber Composites. *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, 38 (7), 1664- 1674.
- Leja, K., & Lewandowicz, G. (2010). Polymer Biodegradation and Biodegradable Polymers-a Review. *Polish Journal of Environmental Studies*, 19(2), 255-266.
- Madsen, B., Hoffmeyer, P., Thomsen, A. B., & Lilholt, H. (2007). Hemp Yarn Reinforced Composites – I. Yarn Characteristics. *Composites: Part A* 38, 2194-2203.
- Mallick, P. K. (1997). *Composites Engineering Handbook*. New York.

- Manaia, J.P., Manaia, A.T., & Rodrigues, L. (2019). Industrial Hemp Fibers: An Overview. *MDPI Fibers*, 7(106), 2-14. doi:10.3390/fib7120106.
- Marrot, L., Lefeuvre, A., Pontoire, B., Bourmaud, A., & Baley, C. (2013). Analysis of The Hemp Fiber Mechanical Properties and Their Scattering (fedora 17). *Industrial Crops and Products* 51, 317–327.
- Metin, F. (2021). Elektroegirme Nanofiber Takviyeli Cam/Epoksi Kompozitlerin Düşük Hızlı Darbe Hasar Davranışları ve Sonlu Elemanlar Simülasyonu. Doktora Tezi, *Konya Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Konya.
- Mishra, S., Mohanty, A.K., Drzal, L.T., Misra, M., Parija, S., Nayak, S.K., & Tripathy, S.S. (2003). Studies On Mechanical Performance of Biofibre/Glass Reinforced Polyester Hybrid Composites. *Composites Science and Technology*, 63(10), 1377–1385.
- Mohanty, A. K., Misra, M., & Drzal, L. T. (2005). Plant Fibers as Reinforcement for Green Composites. *Natural Fibers, Biopolymers and Biocomposites*, Boca Raton: CRC Press.
- Muneer, F. (2012). Evaluation of The Sustainability of Hemp Fiber Reinforced Wheat Gluten Plastics. *Swedish University of Agricultural Sciences*, 11-32.
- Mutje, P., Lopez, A., Vallejos, M.E., Lopez, J.P., & Vilaseca, F. (2007). Full Exploitation of Cannabis Sativa as Reinforcement/Filler of Thermoplastic Composite Materials. *Composites: Part A*, 38, 369–377.
- Nachippan, N.M., Alphonse, M., Raja, V., Shasidhar, S., Teja, G.V., & Reddy, R.H. (2021). Experimental Investigation of Hemp Fiber Hybrid Composite Material for Automotive Application. *Materials Today: Proceedings*, 44 (5), 3666–3672.
- Neves, A., Rohen, L., Vieira, C., Castro, R., Margem, F., & Monteiro, S. (2018). Tensile properties of epoxy composites reinforced with hemp fibers. *ResearchGate* 70 (2156/2161).
- Neves, A., Rohen, L., Mantovani, D., Carvalho, J., & Mauricio, C. (2019). Comparative Mechanical Properties Between Biocomposites of Epoxy and Polyester Matrices Reinforced by Hemp Fiber. *Journal of Materials Research and Technology*.
- Ömercikoğlu, A. (2009). Metal Katmanlar İçeren Hibrit Katmanlı Kompozit Plakların Anlık Basınç Yüğü Altındaki Dinamik Cevabının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Öndürücü, A., & Muzoğlu, M. (2018). Doğal Lif Takviyeli Kompozitlerin Burkulma Davranışına Deniz Suyunun Etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(1), 30-39.
- Ramesh, M., & Nijanthan, S. (2016). Mechanical Property Analysis of Kenaf–Glass Fibre Reinforced Polymer Composites Using Finite Element Analysis. *Bulletin of Materials Science*, 39(1), 147-157.

- Pappu, A., Pickering, K. L., & Thakur, V.K. (2019). Manufacturing and Characterization of Sustainable Hybrid Composites Using Sisal and Hemp Fibres as Reinforcement of Poly (Lactic Acid) Via Injection Moulding. *Industrial Crops and Products*, 137, 260-269.
- Ramesh, M., & Nijanthan, S. (2016). Mechanical Property Analysis of Kenaf–Glass Fibre Reinforced Polymer Composites Using Finite Element Analysis. *Bulletin of Materials Science*, 39(1), 147-157.
- Richardson, M., & Zhang, Z. (2001). Nonwoven Hemp Reinforced Composites. *Reinforced Plastics*, 45(4), 40–44.
- Sarıbıyık, M. (2007). Hafif Yapı Tasarımında Pultrüzyon Metodu İle Üretilen Cam Elyaf Takviyeli Plastiklerin Kullanılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22 (1), 199-205.
- Sarıkaya, E. (2019). Doğal Fiber Takviyeli Kompozit Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin Tespiti. Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Denizli.
- Seki, Y., Selli, F., Şen, K., & Erdoğan, Ü.H. (2017). Kompozit Malzeme Üretiminde Kullanılacak Bitkisel Liflerin Alkali Modifikasyonu Sonrası Morfolojik ve Kimyasal Yapılarındaki Değişimin İncelenmesi. *Tekstil ve Mühendis*, 24(108), 222- 232.
- Seydibeyoğlu, M. Ö. (2012). A Novel Partially Biobased PAN-Lignin Blend as a Potential Carbon Fiber Precursor. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 2-8.
- Shahzad, A. (2011). Hemp Fiber and Its Composites – A Review. *Journal of Composite Materials*, 46(8), 973–986.
- Song, X. (2016). Slurry Based Stereolithography: A Solid Freeform Fabrication Method of Ceramics and Composites. Doctor of Philosophy, University of Southern California, Kaliforniya.
- Sozer, E. M., Simacek, P., & Advani, S. G. (2012). Resin Transfer Molding (RTM) in Polymer Matrix Composites. *Manufacturing Techniques for Polymer Matrix Composites (PMCs)*, 245-309.
- Stankovic, S.B. (2008). Static Lateral Compression of Hemp/Filament Hybrid Yarn Knitted Fabrics. *Fibers and Polymers*, 9(2), 187-193.
- Subaşı, A., Zurnacı, M., Kahyaoğlu, A., & Demir, E. (2017). Polyester/Grafen Kompozitlerin Mekanik ve Termal Özelliklerinin İncelenmesi. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4(3), 472-481.
- Sullins, T., Pillay, S., Komus, A., & Ning, H. (2016). Hemp Fiber Reinforced Polypropylene Composites: The Effects of Material Treatments. *Composites Part B: Engineering*, 114, 15-22.

- Taşlıgil, N., & Şahin, G. (2019). Türk Tarım Hayatında Kenevir / Kendir (Cannabis sativa L.) Yetiştiriciliğinin Yeniden Başlaması ve Yaşanan Gelişmeler. 1. *İstanbul Uluslararası Coğrafya Kongresi Bildiri Kitabı*, 457-478.
- Tserki, V., Zafeiropoulos, N.E., & Panayiotou, C. (2005). A Study of The Effect of Acetylation and Propionylation On The Interface of Natural Fibre Biodegradable Composites. *Composites Part an Applied Science and Manufacturing*, 14(2), 65-71.
- Uğural, B. K. (2021). Gürültü Bariyeri için Çevre Dostu Alternatif: Doğal Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Özel Sayı* 32, 1006-1010.
- URL-1.<https://levtems.com/kompozit-malzemelerin-uretim-yontemleri/>Erişim Tarihi: 03/09/2022.
- URL-2 <https://gokerplast.com.tr/enjeksiyon-kaliplama/> Erişim Tarihi: 06/09/2022.
- Uygur, İ., & Saruhan, H. (2004). Alüminyum Esaslı Metal Matris Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri. *SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8 (1), 167-174.
- Uzay, Ç., & Geren, N. (2020). Advanced Technologies For Fiber Reinforced Polymer Composite Manufacturing: A Review. *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(4), 237-248.
- Yılmaz, G., & Yazici, L. (2022). Dünya’da Yükselen Değer; Endüstriyel Kenevir (Cannabis sativa L.). *Bozok Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1(1), 54-61.
- Yumakgil, H. K. (2009). Yüksek Enerjili Öğütme Sistemleriyle İnce Gümüş Tozlarının Üretimi ve Enjeksiyon Kalıplama Yöntemiyle Gümüş Takviyeli Polimer Kompozit Yapıların Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Zhao, G., Huang, C., Liu, H., Zou, B., Zhu, H., & Wang, J. (2014). Microstructure and Mechanical Properties of TiB₂-SiC Ceramic Composites by Reactive Hot Pressing. *Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 42, 36-41.