



T.C.

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**CAM ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT
MALZEMELERİN MİKROPARTİKÜL
İLAVESİ İLE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İYİLEŞTİRİLMESİ**

Veysel Felat BEZEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Ocak-2024
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Veysel Felat BEZEK tarafından hazırlanan “Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Mikropartikül İlavesi İle Mekanik Özelliklerinin İyileştirilmesi” adlı tez çalışması 25/01/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Ahmet YARDIMEDEN

Danışman

Prof. Dr. Bahattin İŞCAN

Üye

Doç. Dr. Tolga Topkaya

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Murat ÖTER
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdür V.

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

Veysel Felat BEZEK

Tarih: 25.01.2024

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CAM ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELERİN MİKROPARTİKÜL İLAVESİ İLE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Veysel Felat BEZEK

**Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Bahattin İŞCAN

2024, 68 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Ahmet YARDİMEDEN

Prof. Dr. Bahattin İŞCAN

Doç. Dr. Tolga Topkaya

Elyaf takviyeli kompozit malzemeler teknolojinin giderek ilerlemesi ile sanayide, havacılık ve uzay teknolojilerinde, gıda ve otomotiv gibi sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Buna ek olarak cam elyaflardan üretilen kompozit malzemeler metal alaşımlı malzemelere kıyasla, daha yüksek mekanik özellikler gösterebilirler. Cam elyaf kompozit malzemeleri çeşitli mikropartiküllerle takviyelendirerek mekanik özelliklerini arttırmak mümkündür.

Bu tez çalışmasında cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler takviyesiz ve %1, %3 ve %5 gibi farklı oranlarda Al_2O_3 , SiO_2 ve mika mikropartikül takviyeli olarak elle yatırma yöntemi ile üretilmiştir. Üretilen bu cam elyaf kompozit malzemeler çekme ve eğme testlerine tabi tutulmuştur. Çekme ve eğme testleri Shimadzu marka AG-IC test cihazı ile oda koşullarında ve 1 mm/dk sabit hızda yapılmıştır. Üretilen her kompozit malzeme için üç adet çekme ve eğme numunesi test edilmiştir. Sonuç olarak en yüksek çekme ve eğme mukavemeti değerlerine %1 Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde ulaşılmıştır. En düşük çekme ve eğme mukavemeti değerlerine ise %5 Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde ulaşılmıştır. SEM analizlerinde ise cam elyafların matris malzeme içerisinde homojen dağılmadığı, fiberlerin ve matris malzemesinin kırıldığı, fiber demetleri arasında boşluklar oluştuğu, fiberlerin matris malzemedan ayrıldığı ve bazı bölgelerde demetler halinde koptukları gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çekme, eğme, kompozit, mikropartikül, SEM

ABSTRACT

MS THESIS

IMPROVING THE MECHANICAL PROPERTIES OF GLASS FIBER COMPOSITES WITH MICROPARTICLE ADDITION

Veysel Felat BEZEK

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF DOCTOR OF SCIENCE IN MECHANICAL ENGINEERING
Advisor: Title Unvanı Adı SOYADI**

2024, 68 Pages

**Jury
Prof. Dr. Ahmet YARDIMEDEN
Prof. Dr. Bahattin İŞCAN
Doç. Dr. Tolga Topkaya**

Fiber-reinforced composite materials are used in industry, aviation and space technologies, food and automotive sectors with the gradual advancement of technology. In addition, composite materials produced from glass fibers can show higher mechanical properties compared to metal alloy materials. It is possible to increase the mechanical properties of glass fiber composite materials by reinforcing with various microparticles.

In this study, glass fiber reinforced composite materials were produced by hand lay-up technique, without reinforcement and with Al_2O_3 , SiO_2 and mica microparticle reinforcement at various ratios such as 1%, 3% and 5%. These glass fiber composite materials were subjected to tensile and bending tests. Tensile and bending tests were performed with a Shimadzu brand AG-IC test device at room conditions and with a constant speed of 1 mm/min. At least two tensile and bending samples were tested for each composite material produced. As a result, the highest tensile and bending strength values were obtained in 1% Al_2O_3 microparticle reinforced composite materials. The lowest tensile and bending strength values were obtained in 5% mica microparticle reinforced composite materials. In SEM analysis, it was observed that the glass fibers were not distributed homogeneously in the matrix material, the fibers and the matrix material were broken, voids were formed among the fiber bundles, the fibers were separated from the matrix material and they fractured as bundles in some regions.

Key Words: Tensile, bending, composite, microparticle, SEM

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmalarımın her aşamasında katkılarını asla esirgemeyen, her türlü imkanı sunan ve rehberlik eden danışman hocam Sayın Prof. Dr. Bahattin İŞCAN'a,

Yüksek lisans çalışmalarına her türlü desteği veren Arş. Gör. Dr. Raşit Koray ERGÜN'e

Eğitim hayatım boyunca her türlü fedakârlığı yapan, sevgileriyle bana destek olan ve moral veren, başta babam İlhan BEZEK annem Kadriye BEZEK olmak üzere abim Hasan BEZEK'e ve tüm aileme arkadaşlarım Furkan ÖZDEMİR, Emre BAYTAR, Ramazan BAYTAR, ve Sezai KIZAR'a

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Veysel Felat BEZEK
BATMAN-2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Kompozit malzemeler	1
1.1.1. Kompozit malzeme özellikleri.....	2
1.1.2. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması	3
1.2. Mikropartiküller.....	5
1.2.1. Alüminyumoksit (Al_2O_3)	5
1.2.2. Silisyumoksit (SiO_2)	6
1.2.3. Mika	6
1.3. Mekanik deneyler.....	7
1.3.1. Çekme deneyi	7
1.3.2. Eğilme deneyi	8
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	9
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	14
3.1. Kompozit malzeme üretim aşamaları	14
3.2. Kompozit malzeme test aşamaları	22
3.3. SEM analiz cihazı	24
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	25
4.1. Çekme test sonuçları	27
4.1.1. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin çekme davranışları	28
4.1.2. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında SiO_2 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin çekme davranışları	30
4.1.3. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin çekme davranışları	32
4.1.4. Takviyesiz ve %1 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin çekme davranışları	34
4.1.5. Takviyesiz ve %3 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin çekme davranışları	37

4.1.6. Takviyesiz ve %5 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin çekme davranışları	40
4.2. Eğme test sonuçları	44
4.2.1. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin eğme davranışları	45
4.2.2. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında SiO_2 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin eğme davranışları	48
4.2.3. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin eğme davranışları	50
4.2.4. Takviyesiz ve %1 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin eğme davranışları	52
4.2.5. Takviyesiz ve %3 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin eğme davranışları	55
4.2.6. Takviyesiz ve %5 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin eğme davranışları	58
4.3. SEM analiz sonuçları	61
4.3.1. Çekme numuneleri için SEM analiz sonuçları	61
4.3.2. Eğme numuneleri için SEM analiz sonuçları	64
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	67
5.1. Sonuçlar	67
5.2. Öneriler	68
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	73

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Cam fiber kumaş.....	14
Şekil 3.2. Ultrasonik banyo cihazı.....	16
Şekil 3.3. 6 katmanlı olarak üretilen kompozit plakalar.....	18
Şekil 3.4. Çekme deney numunesi.....	19
Şekil 3.5. 24 katmanlı olarak üretilen kompozit plakalar.....	20
Şekil 3.6. Eğme deney numuneleri.....	21
Şekil 3.7. CNC MJT-W3-3020 sujeti cihazı.....	21
Şekil 3.8. Çekme aparatlı Shimadzu AG-IC (250 kN) cihazı.....	22
Şekil 3.9. Eğme aparatlı Shimadzu AG-IC (250 kN) cihazı.....	23
Şekil 3.10. Quanta 650 Field Emission SEM analiz cihazı.....	24
Şekil 4.1. Hasara uğramış çekme deney numunesi.....	25
Şekil 4.2. Hasara uğramış eğme deney numunesi.....	26
Şekil 4.3. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında Al ₂ O ₃ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Gerinim grafiği.....	28
Şekil 4.4. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında Al ₂ O ₃ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin sütun grafikleri.....	29
Şekil 4.5. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında SiO ₂ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Gerinim grafiği.....	30
Şekil 4.6. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında SiO ₂ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin sütun grafikleri.....	31
Şekil 4.7. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Gerinim grafiği.....	32
Şekil 4.8. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin sütun grafikleri.....	33
Şekil 4.9. Takviyesiz ve %1 oranında Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Gerinim grafiği.....	34
Şekil 4.10. Takviyesiz ve %1 oranında Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin sütun grafikleri.....	36
Şekil 4.11. Takviyesiz ve %3 oranında Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Gerinim grafiği.....	37
Şekil 4.12. Takviyesiz ve %3 oranında Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin sütun grafikleri.....	39
Şekil 4.13. Takviyesiz ve %5 oranında Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Gerinim grafiği.....	40
Şekil 4.14. Takviyesiz ve %5 oranında Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin sütun grafikleri.....	

.....	42
Şekil 4.15. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Birim Uzama grafiği.....	45
Şekil 4.16. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin sütun grafikleri.....	47
Şekil 4.17. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında SiO_2 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Birim Uzama grafiği.....	48
Şekil 4.18. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında SiO_2 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin sütun grafikleri.....	49
Şekil 4.19. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Birim Uzama grafiği.....	50
Şekil 4.20. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin sütun grafikleri.....	51
Şekil 4.21. Takviyesiz ve %1 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Birim Uzama grafiği.....	52
Şekil 4.22. Takviyesiz, %1 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin sütun grafikleri.....	54
Şekil 4.23. Takviyesiz ve %3 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Birim Uzama grafiği.....	55
Şekil 4.24. Takviyesiz, %3 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin sütun grafikleri.....	57
Şekil 4.25. Takviyesiz ve %5 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Birim Uzama grafiği.....	58
Şekil 4.26. Takviyesiz, %5 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin sütun grafikleri.....	60
Şekil 4.27. Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozitlerde fiber hasar mekanizmaları-I.....	61
Şekil 4.28. Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozitlerde fiber hasar mekanizmaları-II.....	62
Şekil 4.29. Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozitlerde fiber demetleri hasar mekanizmaları.....	63
Şekil 4.30. Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozitlerde fiber hasar mekanizmaları-I.....	64
Şekil 4.31. Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozitlerde fiber hasar mekanizmaları-II.....	65
Şekil 4.32. Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozitlerde matris ve fiber demetleri hasar mekanizmaları	66

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Cam fiber kumaş özellikleri	14
Tablo 2. Al ₂ O ₃ , SiO ₂ ve Mika mikropartikül malzeme özellikleri	15
Tablo 3. Çekme numuneleri kompozit malzeme bileşenleri	15
Tablo 4. Eğme numuneleri kompozit malzeme bileşenleri	16
Tablo 5. Sem Analiz Cihazı Teknik özellikler	24
Tablo 6. Çekme numuneleri gerilme değerleri ve ortalama gerilmeler.....	27
Tablo 7. Çekme numuneleri uzama değerleri ve ortalama uzamalar	27
Tablo 8. Kompozit malzeme çekme numuneleri standart sapma değerleri.....	43
Tablo 9. Eğme numuneleri gerilme değerleri ve ortalama gerilmeler.....	44
Tablo 10 . Eğme numuneleri sehim değerleri ve ortalama sehim değerleri	44



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Al	: Aliminyum
Al₂O₃	: Aliminyum Oksit
Mgo	: Magnezyum Oksit
SiO₂	: Silisyum Oksit
SiC	: Silisyum Karbür
TiO₂	: Titanyum Dioksit
WC	: Tungsten Karbür
ν	: Gerilme
P	: Kopma Yüğü
L	: Destekler Arası Mesafe
b	: Numune Genişliğı
t	: Numune Kalınlığı

Kısaltmalar

ASTM	: American Society for Texting and Material
FRP	: Elyaf Takviyeli Polimer
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu

1. GİRİŞ

Cam fiber takviyeli kompozit malzemelerde mekanik özellikleri mikropartikül takviyesi ile arttırmak mümkündür. Bu şekilde cam fiber takviyeli kompozit malzemelerde oluşabilecek hasarlar önlenabilir veya geciktirilir. Bu tez çalışmasının amacı, cam fiber takviyeli kompozit malzemelere çeşitli yüzdelerde ve farklı mikropartiküller ilave ederek mekanik özelliklerini iyileştirmektir.

Bu tez çalışmasında baz alınan cam fiber kompozit malzemeler ile ilgili literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Özellikle cam fiber kompozit malzemelerde epoksi matris içerisine mikropartikül takviyesi sıklıkla karşımıza çıkmaktadır.

Cam fiber kompozit malzemelerde mikropartiküller ve takviye oranları farklılaştıkça mekanik özellikler de değişkenlik göstermektedir.

Bu tez çalışmasının farkı; Al_2O_3 , SiO_2 ve Mika gibi mikropartiküllerin çeşitli yüzdelik oranlarda cam fiber kompozit malzemelere takviye edilerek değişen mekanik özellikleri incelemek ve en iyi mekanik özellikleri gösteren mikropartikül takviyeli cam fiber kompozit malzemeleri tespit etmektir. Ayrıca hasar gören cam fiber kompozit malzemelerin mikro yapıları da SEM analizleri ile gözlemlenmiştir.

1.1. Kompozit malzemeler

1935’li yıllarda cam elyafın üretimi ile beraber polimer endüstrisi ortaya çıkmıştır. 1938’de epoksi yapıştırıcılar gibi yüksek performans gösteren reçineler kullanılmaya başlanmıştır. 2. Dünya savaşının ilk yıllarında FRP endüstrisinde araştırma aşamalarından üretime proseslerine geçilmiştir. Cam elyaf malzemelerde yüksek mukavemet değerlerinin yanı sıra radyo frekanslarına karşı da şeffaf olduğu keşfedilmiştir. 1947 yılında gövdesi kompozit malzemeden üretilen bir otomobilin testleri yapılmıştır. Türk Otomotiv sektöründe 1960’lı yılların başında Anadol otomobillerin kaportalarında kompozit kullanılmaya başlanmış ve 1970’li yıllarda farklı ticari araçların üretiminde de önem verilmiştir. Özetle kompozit malzemeler, hızlı bir şekilde gelişerek günümüze kadar gelmiştir. Dolayısıyla kompozit malzemeler geleceğin malzemesi olarak konumlandırılabilir.

En az iki farklı malzemenin kombinasyonu ile oluşan ve bu farklı malzemeler beraber kullanıldığında başka özellikler sergileyen malzemelere kompozit malzeme denir.

Kompozit malzemeyi oluşturan bileşenler genel olarak özelliklerini kaybetmezler. Kompozit malzeme üretiminde mukavemeti yüksek takviye malzemesi, takviye malzemesinden daha yumuşak olan matris içerisine yerleştirilir. Matris, kompozit malzeme içerisinde sürekliliğe sahiptir ve genelde takviye miktarından fazladır. Takviye malzemesi, elyaf veya parçacık şeklinde olabilir ve matris malzemesinin mekanik özelliklerini iyileştirir.

1.1.1. Kompozit malzeme zellikleri

Kompozit malzemeler, boyut, ısı kararlılık, sertlik, aşınma direnci ve yüksek mukavemet değerleri gibi bazı özelliklerde çoğu endüstriyel ürüne göre avantajlıdırlar. Bazı kompozit malzemeler ise sertlik ve mukavemet değerleri açısından metal malzemelere yakın özelliklerde olup metal malzemelere kıyasla daha hafiftirler. Kompozit malzemelerde, reçine ve takviye malzemesinde dizilimlerin değişmesi, mekanik ve kimyasal özellikleri değiştirdiğinden imalat malzemelerinden daha fazla varyasyona sahiptirler. Bu da kompozit malzemelerin sürekli gelişime açık olduğunu kanıtlar niteliktedir.

1.1.2. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Kompozit malzeme imalatında neredeyse sınırsız sayıda malzeme kombinasyonu bulunur. Bu yüzden kompozit malzeme sınıflandırılmasında kesin sınırlar çizilemez. Kompozit malzemeler, matris ve takviye elemanı cinsine göre sınıflandırılabilir.

-Matris malzemesine göre sınıflandırma:

- a) Polimer matrisli kompozitler
- b) Seramik matrisli kompozitler
- c) Metal matrisli kompozitler

-Takviye elemanına göre sınıflandırma:

- a) Elyaf takviyeli kompozit malzemeler
- b) Parçacık takviyeli kompozit malzemeler
- c) Tabakalı kompozitler
- d) Karma(hibrit) kompozitler

1.1.2.1. Elyaf takviyeli kompozit malzemeler

Elyaf takviyeli kompozitler malzemelerde elyaflar matris içinde yer alır. Elyafların matris içine yerleşim şekli kompozit malzemenin mekanik özelliklerini doğrudan etkiler. Elyafların matris içinde paralel yerleştirilmesi elyaf doğrultusunda yüksek mukavemet elde edilmesini sağlarken, elyaflara dik doğrultuda ise düşük mukavemet elde edilmesini sağlar. Bununla birlikte iki yönde yerleştirilen elyaflar, iki yönden uygulanan kuvvetlere mukavemet göstereceğinden her iki yönde de yüksek mukavemet gözlemlenir.

Kompozit malzeme matrisinde kullanılan elyaf türleri aşağıda verilmiştir:

- Aramid elyafı
- Karbon elyafı
- Cam elyafı
- Doğal organik elyaflar
- Bor elyafı
- Polietilen elyafı
- Polyester elyafı

- Poliamid elyafı
- Oksit elyafı

Aramid, karbon ve cam en çok kullanılan elyaf türlerindendir.

Cam elyafların özellikleri

- Çekme mukavemetleri yüksektir.
- Isıl dayanımları düşük olduğundan yüksek sıcaklıklarda yumuşama özelliği gösterirler.
- Takviye elemanı olarak kullanıldığında maruz kaldıkları kimyasallara karşı direnç gösterirler.
- Cam elyafı, nemi absorbe edemez.
- Cam elyaflar elektriği iletmezler.
- Cam elyaflar, dış kaplamalarda sıklıkla tercih edilirler. Bunun sebebi pasa, rüzgâra, sıcak ve soğuk hava şartlarına karşı gösterdikleri dirençtir.
- Uzun ömürlü olmaları ve bakıma ihtiyaç duymaması, bu malzemeyi önemli kılmaktadır.

1.2. Mikropartiküller

1.2.1. Alüminyumoksit (Al_2O_3)

Alüminyumoksit, alüminyumun oksijen ile tepkimesinden meydana gelir. Dünyada en çok bulunan oksitlerdendir. Ergime noktası 2072 °C olan alüminyumoksitler saf halindeki alüminyumun yaklaşık olarak üç katı kadardır.

1.2.1.1. Alüminyumoksit kullanım alanları;

- Cam sanayi
- Seramik sanayi
- Refraktör endüstrisi
- Öğütme malzemeleri imalatı
- Birincil alüminyum imalatı
- Şeffaf zırh imalatı

Alüminyumoksit partikülleri güçlü mukavemet ve yüksek boyutsal kararlılık gösterir. Alüminyumoksit plastik, kauçuk ve seramik için dayanımı, aşınma mukavemeti, ısıl yorulma mukavemeti ve yoğunluk gibi mekanik özellikleri güçlendirmek için kullanılmaktadır. Alüminyumoksitler yüksek dayanımlı alüminyumoksit seramikte, yüksek oranlı saflıktaki potalarda, fırın tüplerinde ve kesici malzemelerde kullanılmaktadır. Metal bazlı malzemelere, sime iletkenlere, bantlara, parlatma ürünlerine ve cam malzemelerine ilave edilir. Alüminyum oksit nanopartikülleri uzak kızılötesi emisyon için çok iyi özellik sağlar. Fiber kumaş ürünlerinde ise ısı yalıtım ürünü olarak yüksek oranda basınçlı sodyum lambasında kullanılmaktadır. Bunlara ilave olarak katalizör ve katalizör taşıyıcı olarak da kullanılır.

1.2.2. Silisyumoksit (SiO₂)

Silisyumoksit, oksijen ve silüsyum içeren kimyasal bir bileşiktir. 16.yüzyıldan beri bilinmektedir. Silika olarak ta bilinen silisyumoksit kuvars kumundan oluşmaktadır. Silisyumoksit dünya da en fazla bulunabilen kimyasal bileşikler arasındadır. Silisyumoksit tekstil kumaşlarında mukavemet arttırma ve koyulaştırma için kullanılır. Genel olarak boyalar ve kaplamalar, doymamış polyester reçineleri, baskı mürekkepleri, jeller, gıda, kozmetik ürünleri, ilaç sanayisinde tablet yapımı ve daha birçok alanda kullanılmaktadır.

Silisyumoksit nanopartikülleri, bir çok üründe katkı maddesi olarak kullanılabilir. Beton ve inşaat kompozit malzemelerine güçlendirici dolgu maddesi olarak eklenir. Ayrıca ilaç dağıtımı gibi biyomedikal alanlarda ve çevre koruyucu ürünlerde de kullanılmaktadır.

1.2.3. Mika

Mika, bir düzlemde, dilinimli yapıya sahip, genelde cam gibi renksiz, bazı mineraller içeren bir malzemedir. İçindeki bileşenlere göre renkli bir yapıda olabilen Mika içerisinde; flüor, kalsiyum, lityum, demir gibi maddeler bulunmaktadır.

Mika tozunun bazı üstün özellikleri aşağıda sıralanmıştır:

- Yüksek gerilme ve bükülmeye karşı mukavemetlidir.
- Isıl direnci yüksek bir mazemedir.
- Neme, yanmaya ve erimeye karşı dayanıklıdır.
- Sıcaklık artış ve azalmaları sonucunda toz mikada herhangi bir bozulma meydana gelmez.
- Başka malzemelerle kombinasyonunda ortaya çıkan ürünü güçlendirir, sertleştirir, iletkenliğini azaltır ve ısı yalıtımını iyileştirir.
- Ultraviyole ışınları geçirme özellikleri sayesinde; güneş ışığı ve atmosferik gazların zararlı etkilerini önler.
- Muskovit taneleri ile, yapışmaya ve sürtünmeye karşı dirençlidir.
- Ayrıca muskovit tanelerinden dolayı, dekoratif görünüm sağlar.
- Kimyasal yapısı kararlıdır.
- Dielektrik dayanımı vardır.
- Yüksek ısılara karşı da kararlıdır.

Mika, iletken olmadığı için ve ısıya da dayanıklı olduğundan ok geniş alanlarda kullanılmaktadır. Mikaların kullanıldığı bazı sektörleri elektrik ve elektronik, endüstri, boya, plastik ve kauçuk sanayileri şeklinde özetleyebiliriz.

1.2. Mekanik deneyler

Mekanik deneyler bir malzemenin veya bileşenin amaçlanan uygulama için uygunluğunu belirleyebilen çeşitli testlerden oluşur. Çekme mukavemeti, eğilme mukavemeti, süneklik, uzama, sertlik, tokluk, darbe direnci, ve yorulma limiti gibi bazı özellikler mekanik deneyler yardımıyla tespit edilir.

Mekanik deneyler statik ve dinamik yüklerle uygulanır.

Statik yük altında yapılan deneyler:

- Basma deneyi
- Çekme deneyi
- Eğilme deneyi
- Sertlik deneyi
- Burulma deneyi
- Sürünme deneyi

Dinamik yük altında yapılan deneyler:

- Darbe deneyi
- Yorulma deneyi

1.3.1. Çekme deneyi

Çekme deneyi, malzemelerde mekanik özelliklerin tespitinde yaygın olarak kullanılan bir mekanik deneydir. Çekme deneyi, boyutları standartlara uygun olarak hazırlanan numunelere statik bir yük uygulandığında sabit bir çekme hızı ve sıcaklıkta, numunenin kopana kadar yüklenmesi esasına dayanır.

Çekme deneyi neticesinde malzemelerin elastik modülleri, akma mukavemet değerleri ve kopma yükleri gibi mukavemet değerleri ile kopma uzaması ve büzülmesi ve tokluk gibi süneklik özellikleri bulunur. Bu özellikler genel olarak deney yapılan malzemenin türüne, kimyasal bileşenlerine ve metalografik yapısına bağlıdır.

1.3.2. Eğilme deneyi

Eğilme deneyi malzemelerde eğilme mukavemet değerleri hakkında dizayn parametrelerini belirlemek ve malzemenin eğilme yüklerine karşı mekanik özelliklerinin tespiti için yapılır.

Eğme deneyi sonucunda;

- Eğme momenti
- Elastisite modülü
- Eğilme gerilmesi
- Sehım miktarı değerleride bulunmaktadır.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Literatürde kompozit malzemeler ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Çalışmaların bazıları aşağıda özetlenerek verilmiştir.

Bajaj (2011), ağırlık olarak %2,5 SiC,%5 Al ve %7,5 Al+SiC ekleyerek alüminyum döküm alaşımı (LM6) matrisli kompozit malzeme imal etmiştir. Yaptığı bu çalışmada karıştırma ve döküm yöntemini kullanarak üretim yapılmış olup, üretilen kompozit malzemelerin çekme, sertlik ve darbe deneyleri ile mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda eklenen oranların artışı ile çekme dayanımı, sertlik ve darbe direncinde yükselme meydana geldiği görülmüştür.

Türkmen ve ark. (2013), farklı cam elyaf katman sayısına sahip el yatırması yöntemi ile kompozit malzeme üretmiş ve ürettikleri bu malzemelerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Üretim yaptıkları kompozit malzemelerin üç nokta eğme, çekme deneyleri yapılarak ortalama dayanım değerlerini ve düşük darbe testi yaparak darbe dayanımını tespit etmişlerdir. Yapmış oldukları bu çalışma sonucunda, elyaf katman sayısına göre değişkenlik gösteren kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinde artış olduğu gözlemlenmiştir.

De Paiva ve ark. (2005) çalışmalarında havacılık sektöründe kullanılan dört grup karbon fiber takviyeli kompozit malzemelerin eğilme ve katmanlar arası kayma deneyleri üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Yapılan testler otoklavda elle yatırma yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. F155 epoksi 121 C°'de F584 epoksi ise 177 C°'de sertleştirilmiş olup kayma ve sıkıştırma testi için ASTM standartlarında numuneler kesilmiştir. Bu numunelere yapılan testler sonucunda F584 epoksi kullanılan numunelerin F155 epoksi kullanılan numunelere göre daha yüksek mekanik özellik gösterdiği tespit edilmiştir.

Shen ve ark. (2013) yapmış oldukları çalışmada; karbon elyaf/epoksi kompozitlere grafen nanoplatelet ilave ederek mekanik özelliklerini iyileştirmeyi amaçlamışlardır. Karbon elyaf/epoksi kompozitlere ağırlıkça %0,25 grafen nanoplatelet eklenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda grafen nanoplatelet eklenen kompozitlerde çekme mukavemeti ve bükülme dayanımında önemli derecede artış olduğu bulunmuştur.

Verma ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada, AL356 matrisine yardımcı malzeme olarak ağırlık oranı %10 Al_2O_3 ve %10 SiC ekleyerek kompozit malzeme imalatı yapmışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda mikroyapı analizinde yardımcı malzemelerin matris içinde eşit bir şekilde dağıldığı tespit edilmiştir. AL356/SiC kompozit malzemesinin çekme direncinin, darbe ve kesme direncine göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Dong ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada, cam fiber ve karbon fiber ile güçlendirilmiş hibrit(karma) kompozitlerin eğilme özellikleri üzerinde incelemeler yapmışlardır. Kompozit malzemelerin üretiminde elle yatırma metodu kullanılarak malzemeler üretilmiştir. ASTM boyutlarına göre kesilen numunelere üç nokta eğilme testi uygulanmıştır. Eğilme modülü, eğilme mukavemeti ve kırılmaya karşı dayanım analizi yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda cam elyaf oranının artmasıyla eğilme modülünde düşüş meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Hindi ve ark. (2015) yapmış oldukları çalışmada, AL6063 alüminyum alaşımına ağırlık oranları sırasıyla %2, %4 ve %6 SiC ekleyerek kompozit malzeme üretimini gerçekleştirmişlerdir. Bu malzeme üretiminde karıştırma döküm yöntemi kullanılarak malzemeler üretilmiştir. Üretilen malzemeler ASTM standartlarına göre kesilip çekme, sertlik ve darbe testleri uygulanmıştır. Yapılan deneyler neticesinde; SiC oranının artmasıyla sertlik ve çekme mukavemetlerinde artış olduğu belirlenmiştir.

Banakar ve Sihivananda (2012) yaptıkları çalışmada, karbon elyaf takviyeli kompozitlere epoksi reçine ilave ederek kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Üretilen malzemeler uluslararası standartlara göre kesilmiştir. Kesilen numunelere çekme ve eğilme testleri yapılmıştır. Sonuç olarak kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin elyaf yönüne bağlı olduğu tespit edilmiştir.

Boumbimba ve ark. (2014) çalışmalarında, cam elyaf/epoksi reçineden yapılmış kompozit malzemelere nanogüçlendirici ilave ederek termomekanik özellikleri ve darbe dayanımları incelenmiştir. Düşük hızlı darbe testleri için bir düşme ağırlığı kulesi kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda epoksi matris karışımına nanogüçlendirici ilave edilmesi ile kompozit malzemelerin mukavemet ve darbe dayanımında iyileşmeler olduğu tespit edilmiştir.

Khan. (2019) yapmış olduğu çalışmada, Al_2O_3 seramik tozu katkılı sandviç plakaların eğilme dayanımlarını test etmiştir. Al_2O_3 seramik tozu ağırlıkça %0-%10 oranlarında kullanılmıştır. Al_2O_3 seramik tozunun sandviç plaka üzerindeki morfolojik etkisini incelemek için SEM analizinden yararlanılmıştır. Yapılan çalışmada bütün numuneler ASTM standartlarına göre kesilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda Al_2O_3 ilave edilen numunelerde eğilme mukavemet değerlerinde önemli derecede artış olduğu tespit edilmiştir.

Kıratlı ve Aslan (2018) yapmış oldukları çalışmada, cam elyaf takviyeli kompozit malzemelere grafen nanopul takviye ederek eğme mukavemeti üzerinde incelemeler yapmışlardır. Kompozit malzemeleri elle yatırma yöntemi ve vakum torbalama yöntemiyle üretmişlerdir. Epoksi içine ağırlıkça üç farklı oranda %0,25 ,%0,5 ve %1 grafen nanopul takviye edilmiştir. İmal edilen numuneler su jeti ile kesilmiştir. Bu numunelere ASTM D790 standartına göre üç nokta eğme testleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda; epoksi içerisine grafen nanopul eklenen numunelerin, eğme mukavemetinde artış olduğu gözlemlenmiştir.

Alam ve ark. (2020) çalışmalarında; cam elyaf/epoksi takviyeli kompozit malzemelere Al_2O_3 , MgO ve TiO_2 ilave ederek eğme ve çekme mukavemetini incelemişlerdir. Üretim yaptıkları kompozit malzemeleri ASTM standartlarına uygun bir şekilde üretmişlerdir. Yapmış oldukları deneyler sonucunda; katkı maddesi olarak ilave ettikleri Al_2O_3 , MgO ve TiO_2 takviyeli kompozit malzemelerin, katkısız kompozit malzemelerle karşılaştırıldığında çekme ve eğme mukavemetinde artış olduğu gözlemlenmiştir.

Ulus ve ark. (2015) yapmış oldukları çalışmada; epoksi reçine ve karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelere bor nitrür nano parçacığı ve karbon nanotüp ilave ederek kompozit malzemelere eğme, çekme ve kayma testleri uygulamışlardır. Yapılan testler sonucunda kompozit malzemelere nanopartikül ilave edilmesiyle eğme, çekme ve kayma mukavemetlerinde önemli derecede artış olduğu tespit edilmiştir. Test yapılan numunelerde hasar oluşumunun belirlenmesi için taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır.

Zhou ve ark. (2012) yapmış oldukları çalışmada; karbon elyafı ile SC-15 epoksi reçine içerisine ağırlıkça oranları %1, %2, %3 ve %4 kil dolgusu katarak ürettikleri kompozit malzemelere eğme, çekme ve yorulma deneyleri yapmışlardır. Ürettikleri kompozit malzemeleri vakum destekli reçine transfer kalıplama yöntemi ile imal etmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda katkısız numuneler ile kil dolgusu katılarak üretilen numuneler karşılaştırılmış ve sonuç olarak kil dolgusu katılarak yapılan kompozit malzemelerin katkısız numunelere oranla eğme ve çekme mukavemetlerinde artış olduğu tespit edilmiştir.

Kamar ve ark. (2015) yapmış oldukları çalışmada; cam elyaf takviyeli çok katmanlı kompozit malzemelere grafen nanoplatelet ilave ederek mekanik özelliklerini iyileştirmek için çalışmalar yapmışlardır. Cam elyaf takviyeli kumaşların katmanları arasına grafen nanoplatelet ilave edilmiş, vakum destekli reçine transfer kalıplama yöntemi kullanılmıştır. Yaptıkları deneyler sonucunda; sadece ağırlıkça oranı %0,25 grafen nanoplatelet eklenen numunelerin katkısız numunelere oranla eğme mukavemetinde iyileşme olduğu gözlemlenmiştir.

Dhas ve ark. (2019) çalışmalarında; alüminyum metal matrisli kompozit malzemelere tungsten karbür (WC) ve grafit parçacıkları ilave etmişlerdir, diğer alüminyum metal matrisli kompozitlere ise silisyum karbür (SiC) ve grafit parçacıkları ilave ederek üretilen iki kompozit malzemenin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda; tungsten karbür (WC) ve grafit parçacıkları ilave edilen kompozit numunelerin, silisyum karbür (SiC) ve grafit parçacıkları eklenen numunelere kıyasla çekme mukavemetinde artış olduğu tespit edilmiştir.

Hossain ve ark. (2015) yapmış oldukları çalışmada; karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirmeyi hedeflemişlerdir. Karbon elyaf takviyeli ve EPON 828 reçine içerisine güçlendirici olarak ağırlıkça oranları %0.1, %0.2, %0.3, %0.4 ve %0.5 grafit nanokristal ilave edilmiş ardından grafen nanoplatelet üç silindirik öğütme makinesinden geçirilip EPON 828 reçinesine aşılanmıştır. ASTM standartlarına göre eğme ve çekme testleri yapılmıştır. Yapılan testler ve karşılaştırmalar sonucu ağırlıkça oranı %0,4 grafen nanoplatelet aşıl原因an numunelerin eğme ve çekme deneyinde en iyi sonuçlar verdiği ve mekanik özelliklerinde en iyi artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Nayak ve ark. (2014) çalışmalarında; cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirmek için araştırmalar yapmışlardır. Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelere Al_2O_3 , SiO_2 , ve TiO_2 mikropartikülleri ilave ederek deneyler yapmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda; SiO_2 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin, Al_2O_3 ve TiO_2 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelere göre eğilme dayanımlarının daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Xu ve ark. (2008) yapmış oldukları çalışmada; karbon elyaf takviyeli/epoksi kompozit malzemelere nanokil ilave edip mekanik özellikleri üzerinde incelemeler yapmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda; karbon elyaf takviyeli/epoksi kompozitlerine az miktarda eklenen nanokil eğilme dayanımını artırdığını gözlemlemişlerdir.

Dwivedi ve ark. (2019) çalışmalarında, deri atıklarından biyokompozit malzeme üretmek için çalışmalar yapmışlardır. Deri atıklarından üretilen biyokompozit malzemelere seramik Al_2O_3 takviye ederek çekme ve eğme dayanımı araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda; Al_2O_3 takviye edilerek üretilen biyokompozit malzemelerin takviyesiz biyokompozit malzemelere göre çekme ve eğme mukavemetlerinde iyileşmeler olduğu görülmüştür.

Nayak ve ark. (2020) yapmış oldukları çalışmada; cam elyaf takviyeli/epoksi kompozitlere nanosilika ve nanokil ilave ederek mekanik özellikleri incelemişlerdir. Epoksi içerisine ağırlıkça oranı %1 silika nano parçacıkları ve %2 nanokil ilave edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda; nanosilika ve nanokil eklenen kompozit numunelerin katkısız kompozit numunelerle karşılaştırıldığında eğme mukavemetinin arttığı gözlemlenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Kompozit malzemeler günümüz koşullarında yaygınlaşarak hemen hemen bütün sektörlerde kullanılmaya başlanmıştır. Kompozit malzemeler üretilirken genel olarak cam, aramid ve karbon gibi fiber takviyeleri kullanılır.

Ülkemizde cam elyaf alanında sektörel gelişmeler yoğunlaştığından cam elyaf takviye malzemelerine düşük maliyetlerde ve kolaylıkla ulaşılabilmektedir.

Bu çalışmada cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler mikropartikül takviyesiz ve %1, %3 ve %5 gibi çeşitli oranlarda alüminyumoksit, silisyumoksit ve mika mikropartikül takviyeli olarak elle yatırma yöntemi ile üretilmiştir. Daha sonra üretilen kompozit malzemelere çekme ve eğme testleri uygulanmıştır. Çekme ve eğme testleri sonrasında elde edilen grafikler değerlendirilmiş, standart sapmalar tespit edilerek yorumlar yapılmıştır. Ayrıca kompozit malzemelerin kopmasıyla oluşan hasar mekanizmalarının tespiti ve yorumlanması için SEM analizleri de yapılmıştır.

3.1. Kompozit malzeme üretim aşamaları

Dost Kimya (İstanbul), şirketinden temin edilen cam fiber kumaşların özellikleri Tablo 1.'de verilmiştir. Cam fiber kumaş ise Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Cam fiber kumaş özellikleri

Atkı elyafı	EC9 136x/6
Çözü elyafı	EC9 136x/8.9
Kalınlık (t)	0.15 mm
Dokuma açısı	[(0°/ 90°)]
Dokuma tipi	Plain
Ağırlık	200gr/m2



Şekil 3.1. Cam fiber kumaş

Al_2O_3 ve SiO_2 mikropartikülleri Nanografi Nano Teknoloji (Ankara), şirketinden ve mika mikropartikülleri ise Töreci Makine Ticaret (İstanbul), şirketinden temin edilmiştir. Al, SiO_2 ve Mika mikropartikül malzeme özellikleri Tablo 2.'de verilmiştir.

Tablo 2. Al_2O_3 , SiO_2 ve Mika mikropartikül malzeme özellikleri

	Al_2O_3	SiO_2	Mika
Safılık Yüzdesi	99.5+	99.8	95
Boyut (μm)	45-75	<15	30-50

Matris malzeme olarak kullanılan ARC-152 kodlu epoksi ve W-152 kodlu sertleştirici ARC-MARIN (İstanbul), şirketinden temin edilmiştir. Bu matris malzeme içerisinde epoksi/sertleştirici oranı 4/1 olarak ayarlandığında daha yüksek dayanımlar gözlemlenmektedir. Bu epoksi matris malzemesi cam fiber kumaşlarla mükemmel uyum sağladığından, farklı sertleştiricilerle de uzun çalışma süreleri elde edildiğinden ve cam elyaf kumaşları yapıştırmak için uygun olduğundan tercih edilmiştir.

Kompozit malzeme üretim aşamasında çekme deney numuneleri için cam fiber kumaşlar 330x330 mm ebatlarında kesilerek hazırlanmıştır. Kompozit malzeme üretiminde kullanılacak epoksi matris malzemesi toplam ağırlığı çekme numuneleri üretimi için 150 gr olarak ayarlanmıştır. Kompozit malzeme bileşenleri Tablo 3.'te verilmiştir.

Tablo 3. Çekme numuneleri kompozit malzeme bileşenleri

	ARC-152 (gr)	W-152 (gr)	Partikül (gr)
Partikülsüz	120	30	0
%1 Al_2O_3	118.8	29.7	1.5
%3 Al_2O_3	116.4	29.1	4.5
%5 Al_2O_3	114	28.5	7.5
%1 SiO_2	118.8	29.7	1.5
%3 SiO_2	116.4	29.1	4.5
%5 SiO_2	114	28.5	7.5
%1 Mika	118.8	29.7	1.5
%3 Mika	116.4	29.1	4.5
%5 Mika	114	28.5	7.5

Kompozit malzeme üretim aşamasında eğme deney numuneleri için cam fiber kumaşlar 100x100 mm ebatlarında kesilerek hazırlanmıştır. Kompozit malzeme üretiminde kullanılacak epoksi matris malzemesi toplam ağırlığı eğme numuneleri üretimi için 200 gr olarak ayarlanmıştır. Kompozit malzeme bileşenleri Tablo 4.'te verilmiştir.

Tablo 4. Eğme numuneleri kompozit malzeme bileşenleri

	ARC-152 (gr)	W-152 (gr)	Partikül (gr)
Partikülsüz	160	40	0
%1 Al₂O₃	158.4	39.6	2
%3 Al₂O₃	155.2	38.8	6
%5 Al₂O₃	152	38	10
%1 SiO₂	158.4	39.6	2
%3 SiO₂	155.2	38.8	6
%5 SiO₂	152	38	10
%1 Mika	158.4	39.6	2
%3 Mika	155.2	28.8	6
%5 Mika	152	38	10

Tablo 3’te ve Tablo 4’te verilen ağırlıklarda ARC-152 kodlu epoksi, W-152 kodlu sertleştirici ve mikropartikül karışımlarında homojen dağılımın sağlanabilmesi için ultrasonik banyo cihazı kullanılmıştır. Mikropartiküllerin epoksi matris içerisine homojen dağılımı için kullanılan ultrasonik banyo cihazı Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Ultrasonik banyo cihazı

Elle yatırma yöntemi ile üretilen kompozit plakalar ve çekme numuneleri üretim aşamaları aşağıda sıralanmıştır.

- Cam fiber kumaşları katman katman dizebilmek için 550x550 mm ebatlarında kalıp üretilmiştir.
- Çekme ve eğme testleri için kompozit plakalar aynı kalıpta üretilmiştir.
- Epoksi malzeme ile kalıp arasındaki yapışmaları engellemek amacıyla kalıp malzemeye jelkot sürülmüştür.
- Sürülen jelkot üzerine çekme testlerinde kullanılacak kompozit numuneler üretebilmek için 330x330 mm ebatlarında kesilen bir adet cam fiber kumaş konulmuştur.
- Epoksi yapıştırıcı matris malzeme toplam ağırlığı 150 gr olduğundan ve üretilen kompozit malzemeler 6 katmanlı olacağından her bir cam elyaf kumaş üzerine eşit miktarda ve 25 gr epoksi dökülmüştür.
- Epoksi matris malzemesi rulo yardımıyla cam elyaf kumaşlara eşit miktarlarda emdirilmiş ve hava kabarcıkları oluşmaması için özen gösterilmiştir.
- Bu işlemlere 6 katmana ulaşılan kadar devam edilmiştir.
- Epoksi malzemenin kürleşmesi için 6 katmanlı olarak üretilen takviyesiz ve mikropartikül takviyeli kompozit malzemeler kalıp içerisinde, kompozit üretim laboratuvarında, normal şartlarda (25⁰ sıcaklıkta ve 1 atm basınç altında) 24 saat bekletilmiştir.

Elle yatırma yöntemi ile 6 katmanlı olarak üretilen kompozit plakalar Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. 6 katmanlı olarak üretilen kompozit plakalar

Daha sonra üretilen kompozit plakalardan çekme numuneleri ASTM D3039 standartlarına uygun olarak 250x25 mm ebatlarında CNC MJT-W3-3020 Sujeti cihazı kullanılarak her bir parametreden üçer adet olacak şekilde kesilmiştir.

Çekme testlerine başlamadan, kompozit malzeme uçlarının tutturulduğu çekme cihazı çenelerine yakın kısımlarda erken kopmaları engellemek amacıyla kompozit malzeme uç kısımlarına 40x25 mm ebatlarında parçalar yapıştırılmıştır. 1 adet çekme deney numunesi Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Çekme deney numunesi

Elle yatırma yöntemi ile üretilen kompozit plakalar ve eğme numuneleri üretim aşamaları aşağıda sıralanmıştır.

- Cam fiber kumaşları katman katman dizebilmek için 550x550 mm ebatlarında kalıp üretilmiştir.
- Çekme ve eğme testleri için kompozit plakalar aynı kalıpta üretilmiştir.
- Epoksi malzeme ile kalıp arasındaki yapışmaları engellemek amacıyla kalıp malzemeye jelkot sürülmüştür.
- Sürülen jelkot üzerine eğme testlerinde kullanılacak kompozit numuneler üretebilmek için 100x100 mm ebatlarında kesilen bir adet cam fiber kumaş konulmuştur.
- Epoksi yapıştırıcı matris malzeme toplam ağırlığı 200 gr olduğundan ve üretilen kompozit malzemeler 24 katmanlı olacağından her bir cam elyaf kumaş üzerine eşit miktarda ve yaklaşık 8.33 gr epoksi dökülmüştür.
- Epoksi matris malzemesi rulo yardımıyla cam elyaf kumaşlara eşit miktarlarda emdirilmiş ve hava kabarcıkları oluşmaması için özen gösterilmiştir.
- Bu işlemlere 24 katmana ulaşılan kadar devam edilmiştir.
- Epoksi malzemenin kürleşmesi için 24 katmanlı olarak üretilen takviyesiz ve mikropartikül takviyeli kompozit malzemeler kalıp içerisinde, kompozit üretim laboratuvarında, normal şartlarda (25⁰ sıcaklıkta ve 1 atm basınç altında) 24 saat bekletilmiştir.

Elle yatırma yöntemi ile 24 katmanlı olarak üretilen kompozit plakalar Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. 24 katmanlı olarak üretilen kompozit plakalar

Daha sonra üretilen kompozit plakalardan eğme numuneleri ASTM D7264 standartlarına uygun olarak 60x13 mm ebatlarında her bir parametreden üçer adet olacak şekilde CNC MJT-W3-3020 Sujeti cihazı kullanılarak kesilmiştir.

Kompozit numunelere eğme testleri uygulanırken ASTM D7264 standartlarına uygun olarak destek açıklığı 60 mm olarak ayarlanmıştır. Bunun sebebi ASTM D7264 standartlarında numune boyunun destek açıklığından %20 fazla olmasıdır.

Üç adet eğme deney numunesi Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.6. Eğme deney numuneleri

CNC MJT-W3-3020 Sujeti cihazı Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7. CNC MJT-W3-3020 sujeti cihazı

3.2. Kompozit malzeme test aşamaları

Bütün çekme ve eğme testleri Shimadzu AG-IC (250 kN) cihazı ile oda şartlarında, %50 nemli ortamda ve 1 mm/dk'lık sabit hızda yapılmıştır. Her parametre için üçer adet çekme ve eğme numuneleri test edilmiştir. Shimadzu AG-IC (250 kN) cihazı çekme aparatları takılı olarak Şekil 3.8'de ve eğme aparatları takılı olarak da Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.8. Çekme aparatlı Shimadzu AG-IC (250 kN) cihazı



Şekil 3.9. Eğme aparatlı Shimadzu AG-IC (250 kN) cihazı

3.3. SEM analiz cihazı

Hasarlı deney numunelerinin SEM analizleri, Quanta 650 Field Emission SEM analiz cihazı ile yapılmıştır. Quanta 650 Field Emission SEM analiz cihazı Şekil 3.10'da ve teknik özellikleri ise Tablo 5.'te verilmiştir.



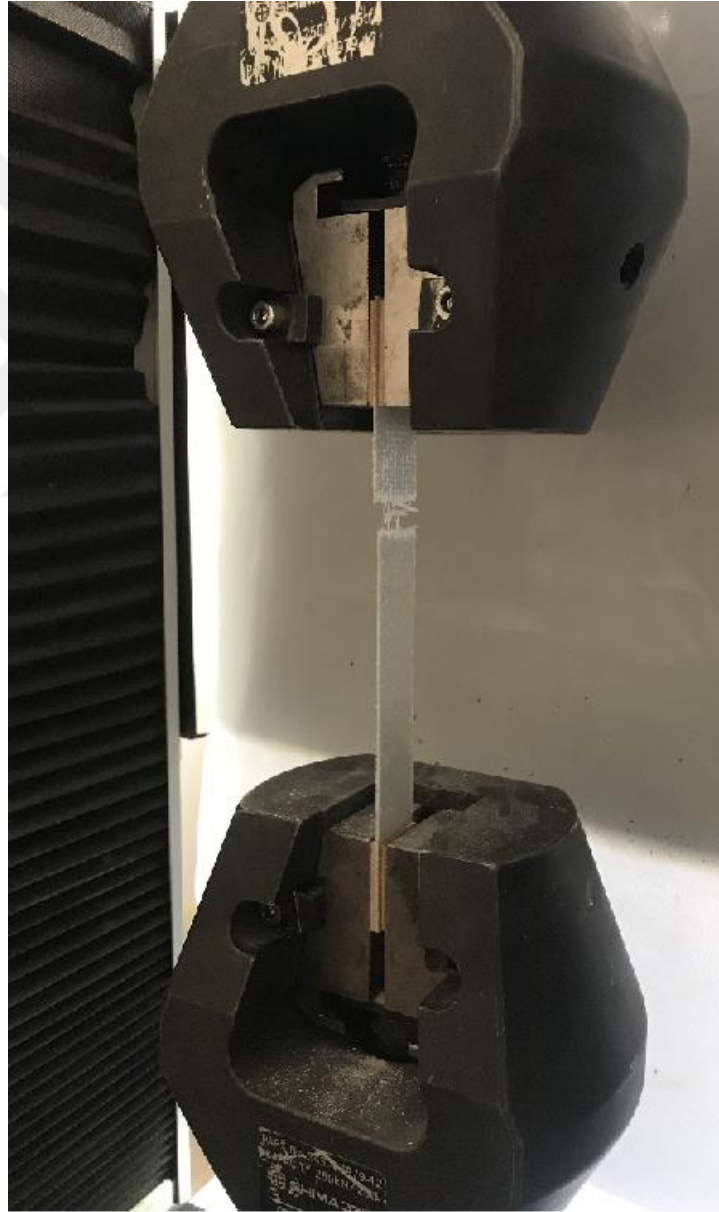
Şekil 3.10. Quanta 650 Field Emission SEM analiz cihazı

Tablo 5. Sem Analiz Cihazı Teknik özellikler

Yüksek Vakumlu SE ve Geri Çağırılabilir 4 Segmentli BSE Dedektör
Yüksek Vakumlu Incolumn SE ve BSE Dedektör
Enerji Dağılımlı X-Işını Spektrometresi
GSED Dedektör
Geri Çağırılabilir STEM Dedektör
Düşük Vakum ile Çalışabilen BSE Dedektör
Hızlandırma Voltajı 100V-30kV
Probe Akımı 100nA
Büyütme 6-1000000 kat

4. ARAşTIRMA SONUÇLARI VE TARTIşMA

Bu çalışmada cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler mikropartikül takviyesiz ve %1, %3 ve %5 gibi çeşitli oranlarda Al₂O₃, SiO₂ ve Mika mikropartikül takviyeli olarak elle yatırma yöntemi ile üretilmiştir. Daha sonra üretilen kompozit malzemelere çekme ve eğme testleri uygulanmıştır. Çekme testleri sonucunda hasara uğrayan bir adet çekme numunesi şekil 4.1’de ve eğme testleri sonucunda hasara uğrayan bir adet eğme numunesi ise şekil 4.2’de gösterilmiştir.



şekil 4.1. Hasara uğramış çekme deney numunesi



Şekil 4.2. Hasara uğramış eğme deney numunesi

Çekme ve eğme testleri sonrasında elde edilen grafikler değerlendirilmiş, standart sapmalar tespit edilerek yorumlar yapılmıştır. Ayrıca kompozit malzemelerin kopmasıyla oluşan hasar mekanizmalarının tespiti ve yorumlanması için SEM analizleri de yapılmıştır.

4.1. Çekme test sonuçları

Takviyesiz ve mikropartikül takviyeli kompozit çekme deney numunelerinin gerilme değerleri, ortalama gerilmeleri Tablo 6’da, çekme deney numunelerinin uzama değerleri ve ortalama uzamaları ise Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 6. Çekme numuneleri gerilme değerleri ve ortalama gerilmeler

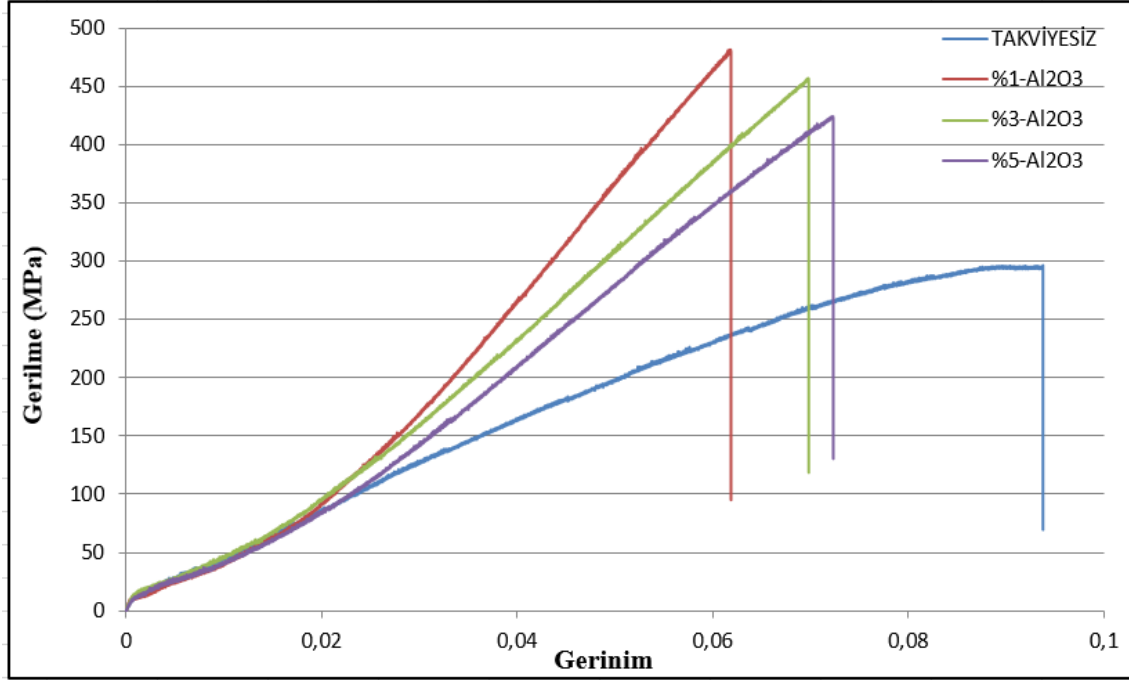
Kompozit Malzemeler	Çekme Gerilmesi Değerleri (MPa)			
	Numune-1	Numune-2	Numune-3	Ortalama
Takviyesiz	296.25	306.56	312.19	305
%1 Al ₂ O ₃	481.25	603.12	495.62	526.7
%3 Al ₂ O ₃	408.12	456.87		432.49
%5 Al ₂ O ₃	424.06	416.56		420.3
%1 SiO ₂	445.3	487.5	440.3	457.7
%3 SiO ₂	408.12	374.68	446.87	409.9
%5 SiO ₂	370	412.5		391.2
%1 Mika	437.5	376.25	334.68	382.81
%3 Mika	296.25	200.32		248.3
%5 Mika	263.44	204.68		234.06

Tablo 7. Çekme numuneleri uzama değerleri ve ortalama uzamalar

Kompozit Malzemeler	Uzama Değerleri (mm)			
	Numune-1	Numune-2	Numune-3	Ortalama
Takviyesiz	15.944	18.513	23.67	19.37
%1 Al ₂ O ₃	10.519	12.837	10.101	11.152
%3 Al ₂ O ₃	11.981	13.036		12.508
%5 Al ₂ O ₃	12.297	10.862		11.579
%1 SiO ₂	10.944	13.992	11.031	11.989
%3 SiO ₂	7.565	7.041	14.546	9.71
%5 SiO ₂	12.416	13.619		13.01
%1 Mika	12.836	10.945	17.292	13.69
%3 Mika	12.532	10.789		11.66
%5 Mika	12.416	9.325		10.87

4.1.1. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında Al₂O₃ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin çekme davranışları

Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında Al₂O₃ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Gerinim grafiği Şekil 4.3'te, sütun grafikleri ise Şekil 4.4'te verilmiştir.



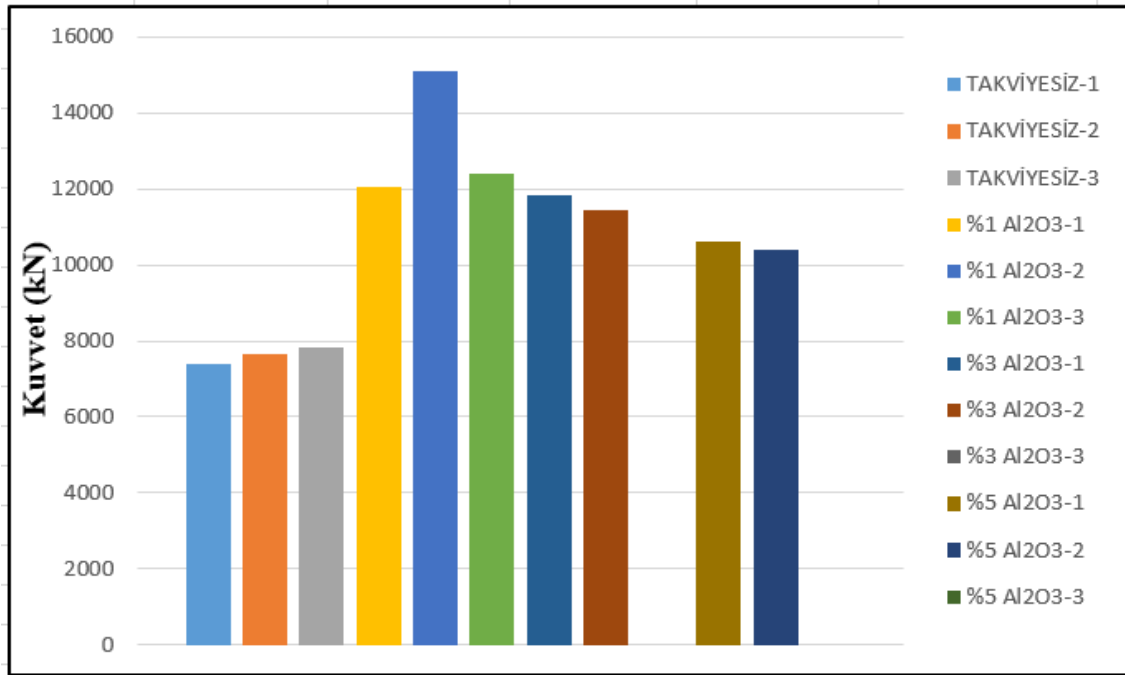
Şekil 4.3. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında Al₂O₃ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Gerinim grafiği

Şekil 4.3'te gösterilen Gerilme (MPa) – Gerinim grafiğine göre takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında Al₂O₃ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin maksimum kopma gerilmeleri sırasıyla 296.25 (MPa), 481.25 (MPa), 456.87 (MPa) ve 424.06 (MPa) olarak bulunmuştur. Mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemeler hariç olmak üzere kopma gerilmelerinde en yüksek artışlar %1 Al₂O₃ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, en düşük artış değerleri ise %5 Al₂O₃ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde tespit edilmiştir. %1, %3 ve %5 oranlarında Al₂O₃ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yüzdelik artış oranları sırasıyla %62.4, %54.2 ve %43.1 olarak hesaplanmıştır. Megahed ve arkadaşları (2021) çalışmalarında, cam elyaf takviyeli kompozit malzemelere mikro ölçekte alüminyum

partikülleri takviye etmişler ve sonuç olarak cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin kopma gerilmelerinde artışlar gözlemlenmiştir.

Takviyesiz %1, %3 ve %5 oranlarında Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin maksimum uzama değerleri sırasıyla 15.944 (mm), 10.519 (mm), 11.981 (mm) ve 12.297 (mm) olarak bulunmuştur. Mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemeler hariç olmak üzere kopma yüklerinde en yüksek oranda azalmalar %1 Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, en düşük oranda azalma değerleri ise %5 Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde tespit edilmiştir. %1, %3 ve %5 oranlarında Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yüzdelik azalma oranları sırasıyla %34, %24.8 ve %22.9 olarak hesaplanmıştır.

Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde uzama değerlerinin Al_2O_3 mikropartikül takviye oranları arttıkça azalması, seramik sınıfına dahil olan Al_2O_3 mikropartiküllerin gevrek yapısından kaynaklanmaktadır.



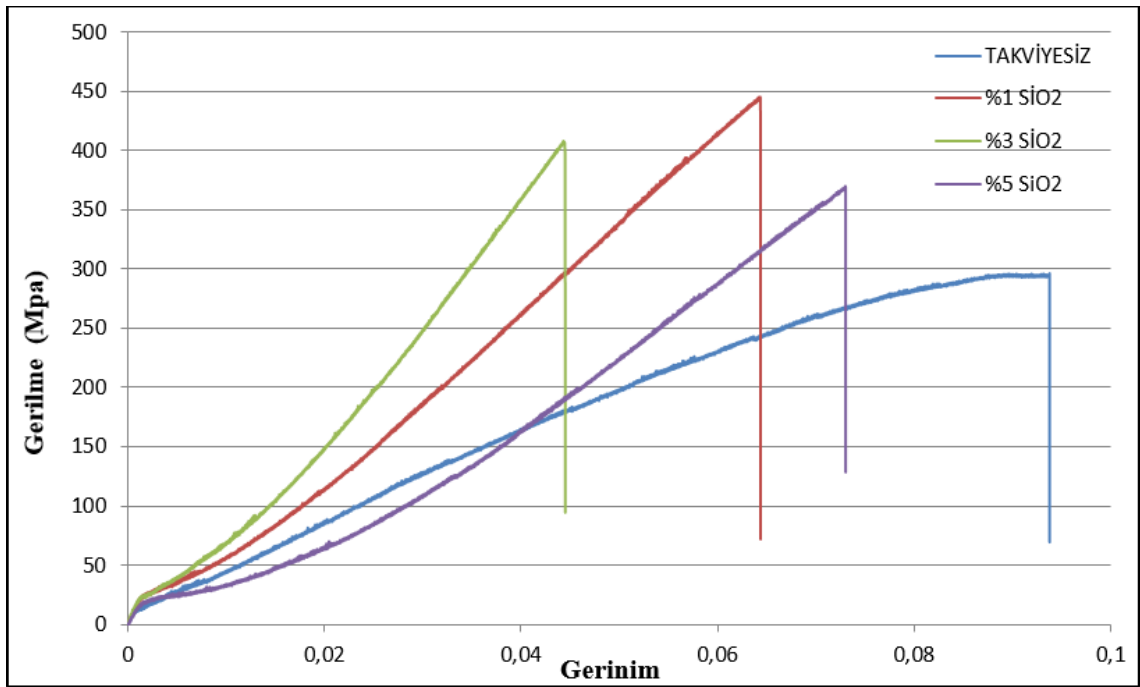
Şekil 4.4. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin sütun grafikleri

Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin sütun grafikleri Şekil 4.4'te verilmiştir. Her bir parametreden üçer çekme testi yapılmıştır. Kompozit malzemelere uygulanan çekme testlerinde kopma yükleri ilk iki test için yakınsaklık gösterdiğinde üçüncü bir teste ihtiyaç duyulmamıştır. Çekme

testleri uygulanan kompozit malzemeler için kopma yükleri sütun grafiklerinde görülmektedir.

4.1.2. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında SiO₂ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin çekme davranışları

Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında SiO₂ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Gerinim grafiği Şekil 4.5’te, sütun grafikleri ise Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.5. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında SiO₂ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Gerinim grafiği

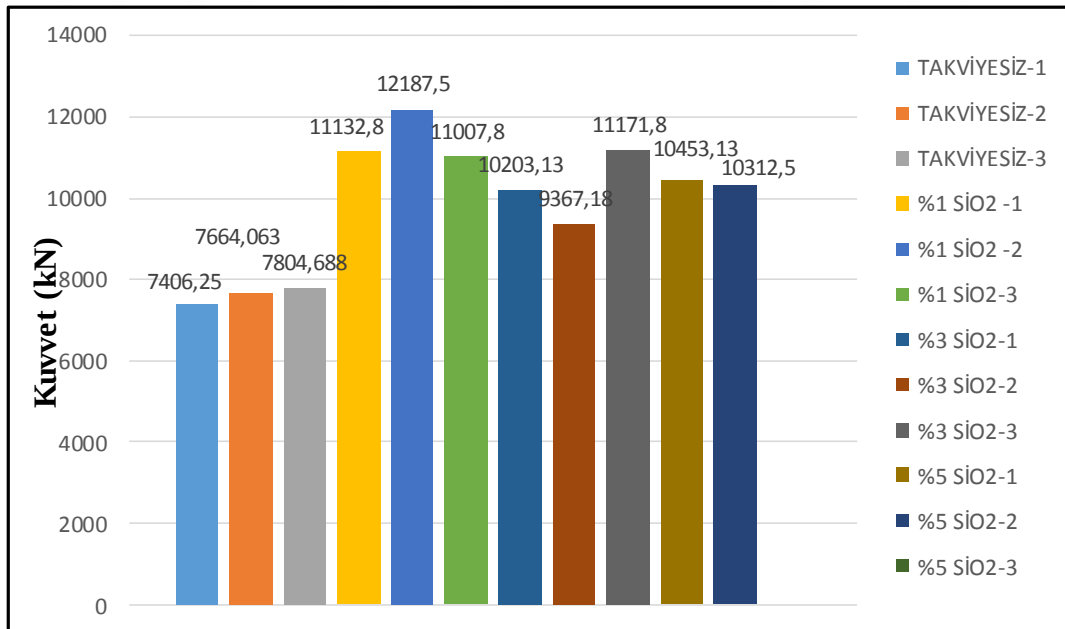
Şekil 4.5’te gösterilen Gerilme (MPa) – Gerinim grafiğine göre takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında SiO₂ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin maksimum kopma gerilmeleri sırasıyla 296.25 (MPa), 445.3(MPa), 408,12 (MPa) ve 370 (MPa) olarak bulunmuştur. Mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemeler hariç olmak üzere kopma gerilmelerinde en yüksek artışlar %1 SiO₂ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, en düşük artış değerleri ise %5 SiO₂ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde tespit edilmiştir. %1, %3 ve %5 oranlarında SiO₂ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yüzdelik artış oranları sırasıyla %50.3, %37.7ve %24.8 olarak hesaplanmıştır. Nayak ve arkadaşları (2014) yapmış oldukları çalışmada, cam

elyaf takviyeli kompozit malzemelere SiO₂ mikropartikül takviye etmişler ve sonuç olarak cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinde artışlar gözlemlemişlerdir.

Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında SiO₂ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin maksimum uzama değerleri sırasıyla 15.944 (mm), 10.944 (mm), 7.565 (mm) ve 12.416 (mm) olarak bulunmuştur.

Mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemeler hariç olmak üzere kopma yüklerinde en yüksek oranda azalmalar %3 SiO₂ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, en düşük oranda azalma değerleri ise %5 SiO₂ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde tespit edilmiştir. %1, %3 ve %5 oranlarında SiO₂ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yüzdelik azalma oranları sırasıyla %31.3, %52.5 ve %22.1 olarak hesaplanmıştır.

SiO₂ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde uzama değerlerinin SiO₂ mikropartikül takviye oranları arttıkça mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla azalması, seramik sınıfına dahil olan SiO₂ mikropartiküllerin gevrek yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir.

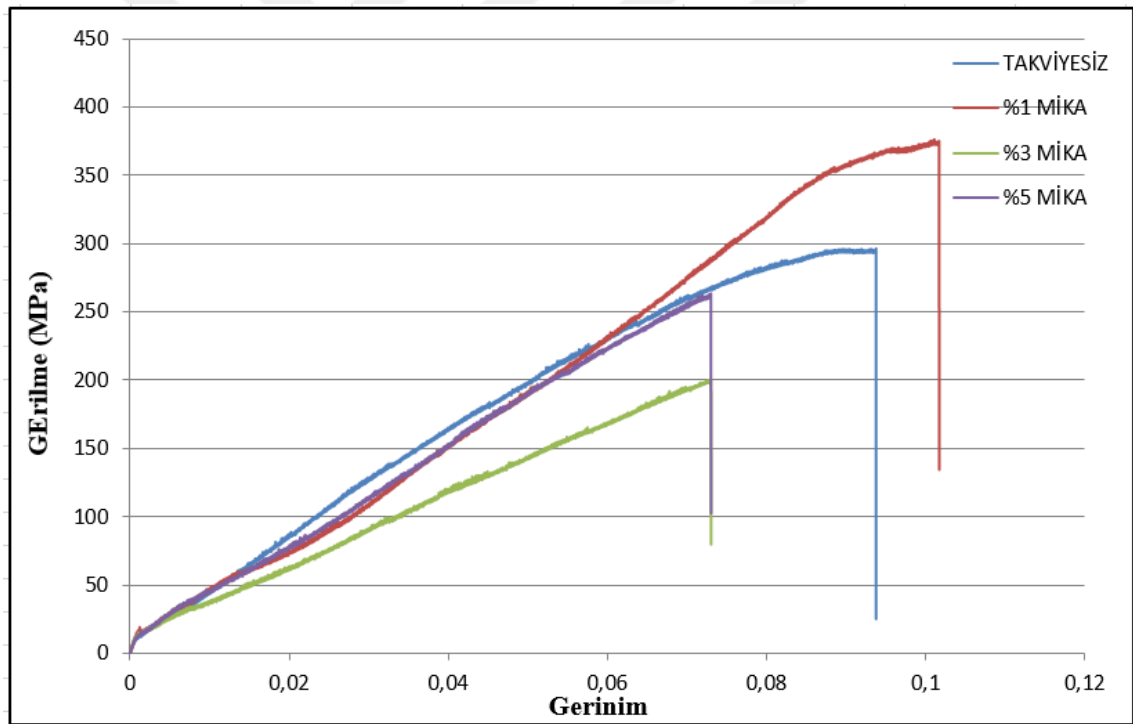


Şekil 4.6. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında SiO₂ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Kuvvet (kN) – Uzama (mm) grafiği

Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında SiO₂ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin sütun grafikleri Şekil 4.6’da verilmiştir. Her bir parametreden üçer çekme testi yapılmıştır. Kompozit malzemelere uygulanan çekme testlerinde kopma yükleri ilk iki test için yakınsaklık gösterdiğinde üçüncü bir teste ihtiyaç duyulmamıştır. Çekme testleri uygulanan kompozit malzemeler için kopma yükleri sütun grafiklerinde görülmektedir.

4.1.3. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin çekme davranışları

Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Gerinim grafiği Şekil 4.7’de, sütun grafikleri ise Şekil 4.8’de verilmiştir.



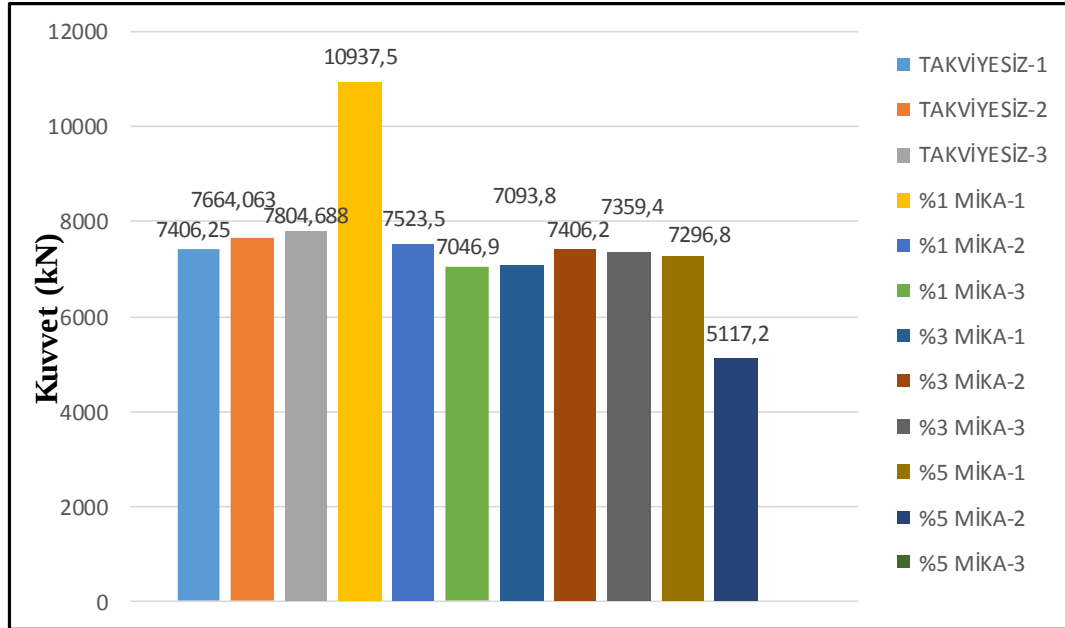
Şekil 4.7. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Gerinim grafiği

Şekil 4.7’de gösterilen Gerilme (MPa) – Gerinim grafiğine göre takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin maksimum kopma gerilmeleri sırasıyla 296.25 (MPa), 376.25 (MPa), 200.32 (MPa) ve 263.44 (MPa) olarak bulunmuştur. Mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemeler hariç olmak üzere kopma gerilmelerinde en yüksek artış %1 mika mikropartikül

takviyeli kompozit malzemelerde gözlemlenmiştir. %3 ve %5 mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde ise takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla kopma gerilmelerinde azalmalar tespit edilmiştir. %1 mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yüzdelik artış oranı %27, %3 ve %5 oranlarında mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde ise mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yüzdelik azalma oranları sırasıyla %32.3 ve %11 olarak hesaplanmıştır.

Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin maksimum uzama değerleri sırasıyla 15.944 (mm), 17.292 (mm), 12.532 (mm) ve 12.416 (mm) olarak bulunmuştur. Mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemeler hariç olmak üzere uzama değerlerinde en yüksek artış %1 mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde gözlemlenmiştir.

Mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemeler hariç olmak üzere uzama değerlerinde azalma oranları %3 ve %5 mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde birbirine yakınsamıştır. %1 mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yüzdelik artış oranı %8.4, %3 ve %5 oranlarında mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde ise mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yakınsaklık gösteren yüzdelik azalma oranı %21.3 olarak hesaplanmıştır.

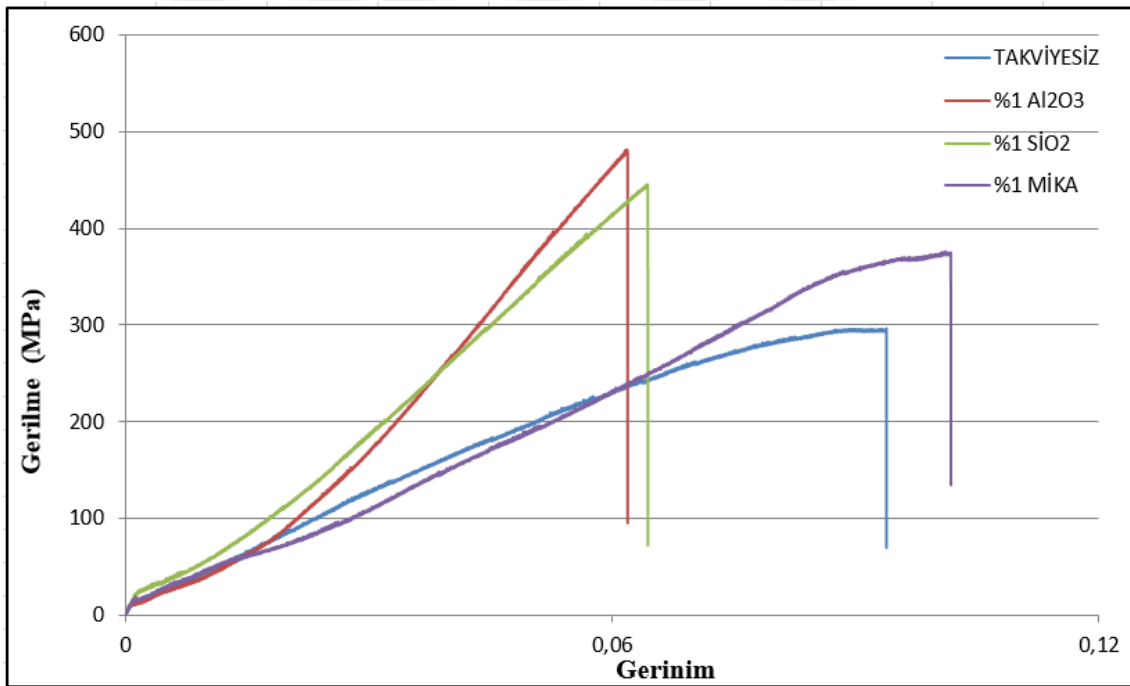


Şekil 4.8. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Kuvvet (kN) – Uzama (mm) grafiği

Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin sütun grafikleri Şekil 4.8’de verilmiştir. Her bir parametreden üçer çekme testi yapılmıştır. Kompozit malzemelere uygulanan çekme testlerinde kopma yükleri ilk iki test için yakınsaklık gösterdiğinde üçüncü bir teste ihtiyaç duyulmamıştır. Çekme testleri uygulanan kompozit malzemeler için kopma yükleri sütun grafiklerinde görülmektedir.

4.1.4. Takviyesiz ve %1 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin çekme davranışları

Takviyesiz ve %1 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Gerinim grafiği Şekil 4.9’da, sütun grafikleri ise Şekil 4.10’da verilmiştir.



Şekil 4.9. Takviyesiz ve %1 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Gerinim grafiği

Şekil 4.9’da gösterilen Gerilme (MPa) – Gerinim) grafiğine göre takviyesiz ve %1 oranında Al, SiO_2 , mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin maksimum kopma gerilmeleri sırasıyla 296.25 (MPa), 481.25 (MPa), 445.3 (MPa) ve 376.25 (MPa) olarak bulunmuştur. Mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemeler hariç olmak üzere kopma gerilmelerinde en yüksek artışlar %1 Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, en düşük artış değerleri ise %1 Mika mikropartikül

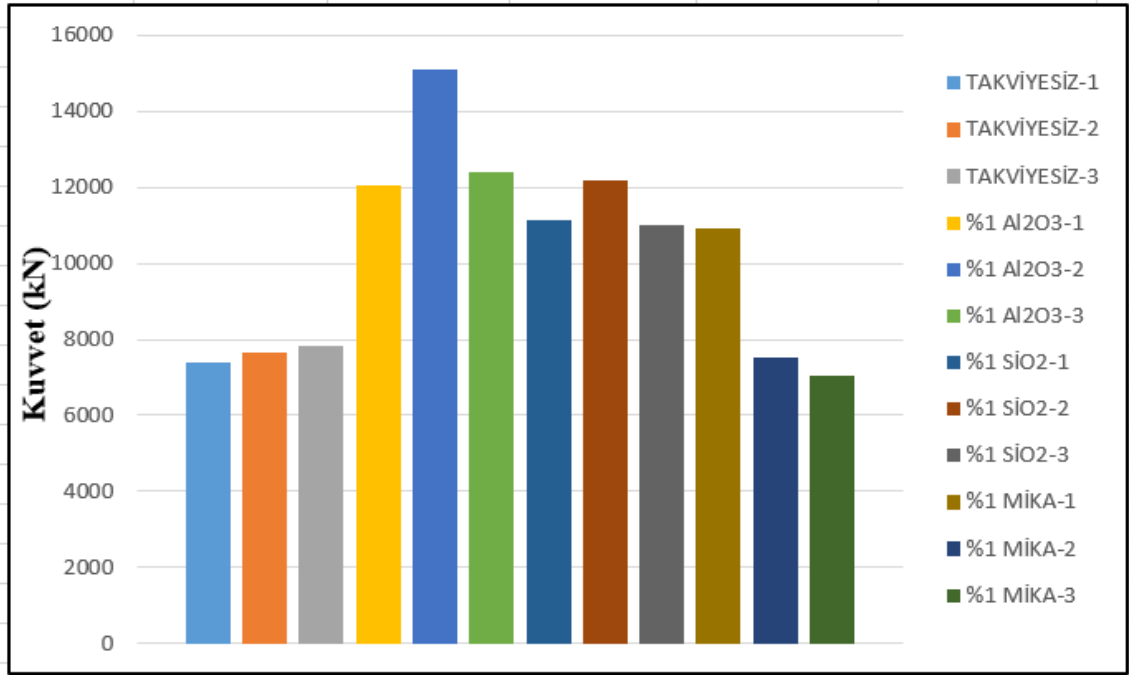
takviyeli kompozit malzemelerde tespit edilmiştir. %1 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yüzdelik artış oranları sırasıyla %62.4, %50.3 ve %27 olarak hesaplanmıştır.

Akram ve arkadaşları (2023) yapmış oldukları çalışmada, Al_2O_3 ve SiO_2 mikropartikül takviyeli E-glass epoksi kompozit malzemelerin kopma yüklerini araştırmışlar ve sonuç olarak Al_2O_3 mikropartikül takviyeli E-glass epoksi kompozit malzemelerin kopma yüklerinin SiO_2 mikropartikül takviyeli E-glass epoksi kompozit malzemelere kıyasla daha yüksek olduğunu deneysel olarak ispatlamışlardır.

Takviyesiz ve %1 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin maksimum uzama değerleri sırasıyla 15.944 (mm), 10.519 (mm), 10.944 (mm) ve 17.292 (mm) olarak bulunmuştur. Mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemeler hariç olmak üzere kopma yüklerinde en yüksek oranda azalmalar %1 Al_2O_3 ve %1 SiO_2 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemeler hariç olmak üzere kopma yüklerinde en yüksek oranda artış %1 Mika olduğu tespit edilmiştir. %1 oranında Al_2O_3 , SiO_2 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yüzdelik azalma oranları sırasıyla %34 ve %31.3 olarak gözlemlenmiştir. %1 Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde ise mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yüzdelik artış oranı %7.8 olarak hesaplanmıştır.

Ai ve arkadaşları (2015) çalışmalarında, epoksi kompozit malzemelere Al_2O_3 ve SiO_2 partikülleri takviye etmişler ve sertlik değerlerini ölçmüşlerdir. Sonuç olarak Al_2O_3 ve SiO_2 partikül takviyeli epoksi kompozit malzemelerin sertlik değerlerinin birbirine yakınsadığını tespit ederek grafikte göstermişlerdir.

Al_2O_3 ve SiO_2 partikül takviyeli epoksi kompozit malzemelerin sertlik değerlerinin yakınsaklık göstermesi çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlarla da uyumludur.

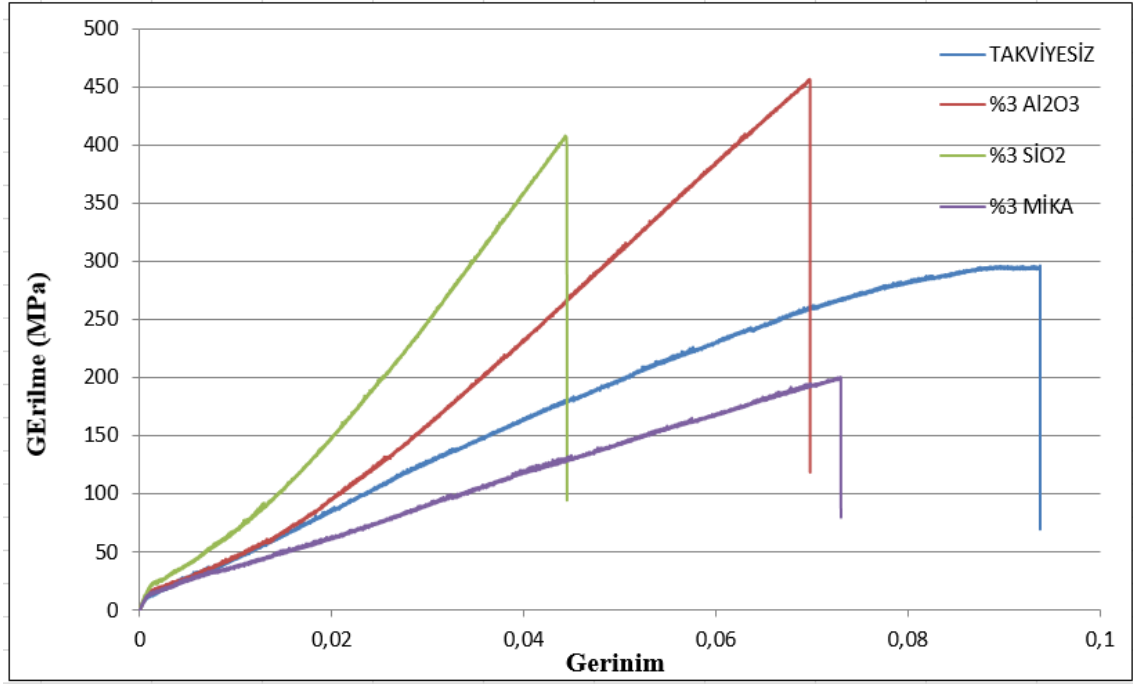


Şekil 4.10. Takviyesiz ve %1 oranında Al₂O₃, SiO₂, Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Sütun grafiği

Takviyesiz ve %1 oranında Al₂O₃, SiO₂, Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin sütun grafikleri Şekil 4.10'da verilmiştir. Her bir parametreden üçer çekme testi yapılmıştır. Çekme testleri uygulanan kompozit malzemeler için kopma yükleri sütun grafiklerinde görülmektedir.

4.1.5. Takviyesiz ve %3 oranında Al₂O₃, SiO₂, Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin çekme davranışları

Takviyesiz ve %3 oranında Al₂O₃, SiO₂, Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Gerinim grafiği Şekil 4.11’de, sütun grafikleri ise Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.11. Takviyesiz ve %3 oranında Al₂O₃, SiO₂, Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Gerinim grafiği

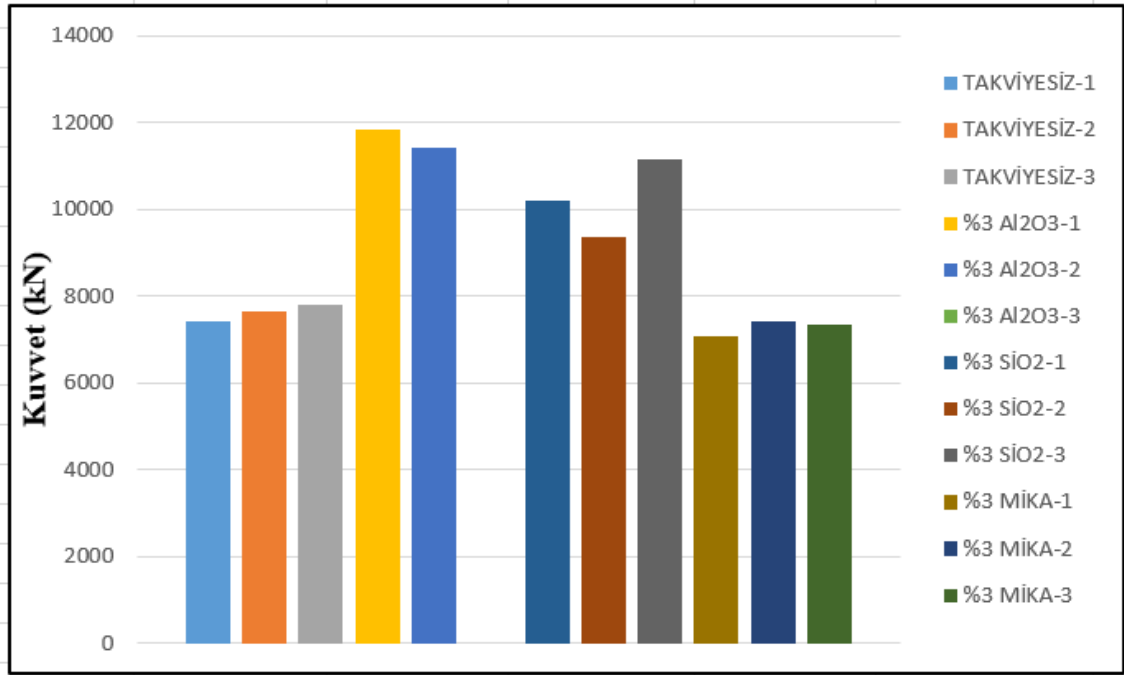
Şekil 4.11’de gösterilen Gerilme (MPa) – Gerinim grafiğine göre takviyesiz ve %3 oranında Al₂O₃, SiO₂, Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin maksimum kopma gerilmeleri sırasıyla 296.25 (MPa), 456.87(MPa), 408.12(MPa) ve 200.32 (MPa) olarak bulunmuştur. Mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemeler hariç olmak üzere kopma gerilmelerinde en yüksek artışlar %3 Al₂O₃ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, en yüksek azalma değerleri ise %3 mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde tespit edilmiştir. %3 oranında Al₂O₃, SiO₂ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yüzdelik artış oranları sırasıyla %54.2, %37.7 olarak hesaplanmıştır. %3 oranında Mika mikropartikül takviyeli kompozit

malzemelerde ise mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yüzdelik azalış oranı %47.8 olarak hesaplanmıştır.

Akram ve arkadaşları (2023) yapmış oldukları çalışmada, Al_2O_3 ve SiO_2 mikropartikül takviyeli E-glass epoksi kompozit malzemelerin kopma yükleri üzerinde deneysel çalışmalar yapmışlardır. Yapmış oldukları çalışmalar sonucunda; SiO_2 mikropartikül takviyeli E-glass epoksi kompozit malzemelerin Al_2O_3 mikropartikül takviyeli E-glass epoksi kompozit malzemelerle karşılaştırıldığında kopma yüklerinin daha düşük değerlerde olduğunu kanıtlamışlardır.

Takviyesiz ve %3 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin maksimum uzama değerleri sırasıyla 15.944 (mm), 11.871(mm), 7.565 (mm) ve 12.416 (mm) olarak bulunmuştur. Mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemeler hariç olmak üzere kopma yüklerinde en yüksek oranda azalmalar %3 SiO_2 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, en düşük oranda azalma değerleri ise %3 mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde tespit edilmiştir. %3 oranlarında Al_2O_3 , SiO_2 , mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin, mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yüzdelik azalma oranları sırasıyla %25.5, %52.5 ve %2.2 olarak hesaplanmıştır.

Akram ve arkadaşları (2023) yapmış oldukları çalışmada, E-cam elyaf takviyeli kompozit malzemelere Al_2O_3 ve SiO_2 partikülleri takviye etmişler ve sertlik değerlerini tespit etmişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda, SiO_2 partikül takviyeli kompozit malzemelerin sertlik değerlerinin, Al_2O_3 partikül takviyeli kompozit malzemelerden daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. SiO_2 partikül takviyeli kompozit malzemelerin sertlik değerlerinin yüksek olması bu kompozit malzemelerin daha gevrek olduğunu ve uzama değerlerinin de azalacağını ispatlamaktadır. Bu durum çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlarla da uyum sağlamaktadır.

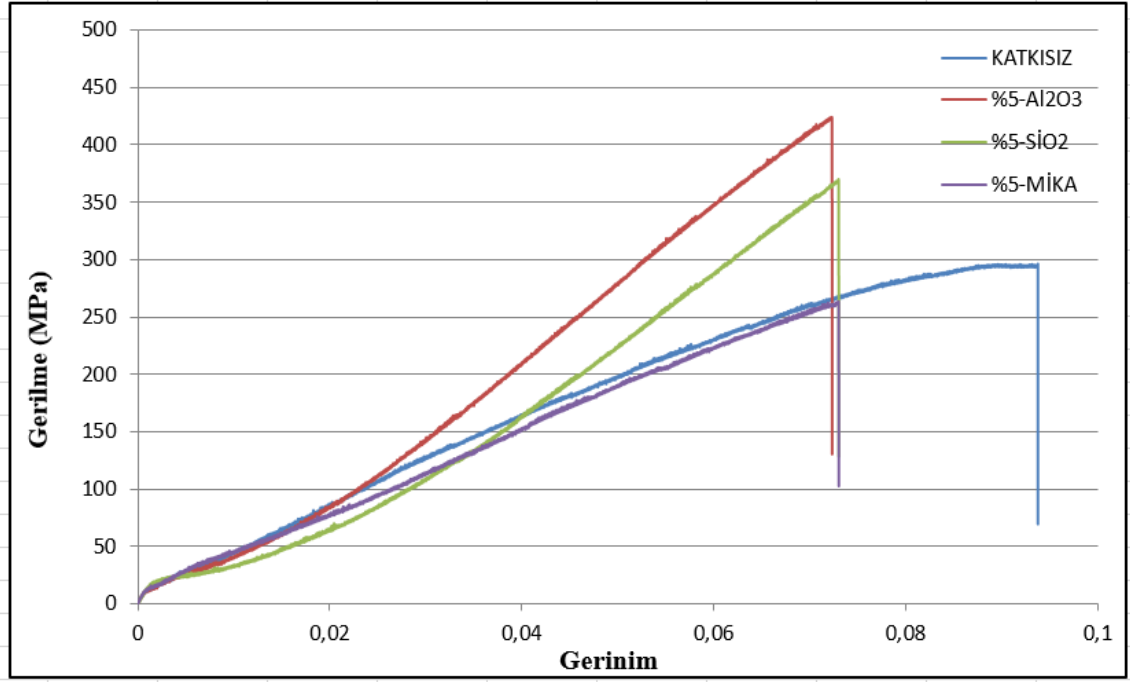


Şekil 4.12. Takviyesiz ve %3 oranında Al₂O₃, SiO₂, Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Kuvvet (kN) – Uzama (mm) grafiği

Takviyesiz ve %3 oranında Al₂O₃, SiO₂, Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin sütun grafikleri Şekil 4.12’de verilmiştir. Her bir parametreden üçer çekme testi yapılmıştır. Kompozit malzemelere uygulanan çekme testlerinde kopma yükleri ilk iki test için yakınsaklık gösterdiğinde üçüncü bir teste ihtiyaç duyulmamıştır. Çekme testleri uygulanan kompozit malzemeler için kopma yükleri sütun grafiklerinde görülmektedir.

4.1.6. Takviyesiz ve %5 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin çekme davranışları

Takviyesiz ve %5 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Gerinim grafiği Şekil 4.13’te, sütun grafikleri ise Şekil 4.14’te verilmiştir.



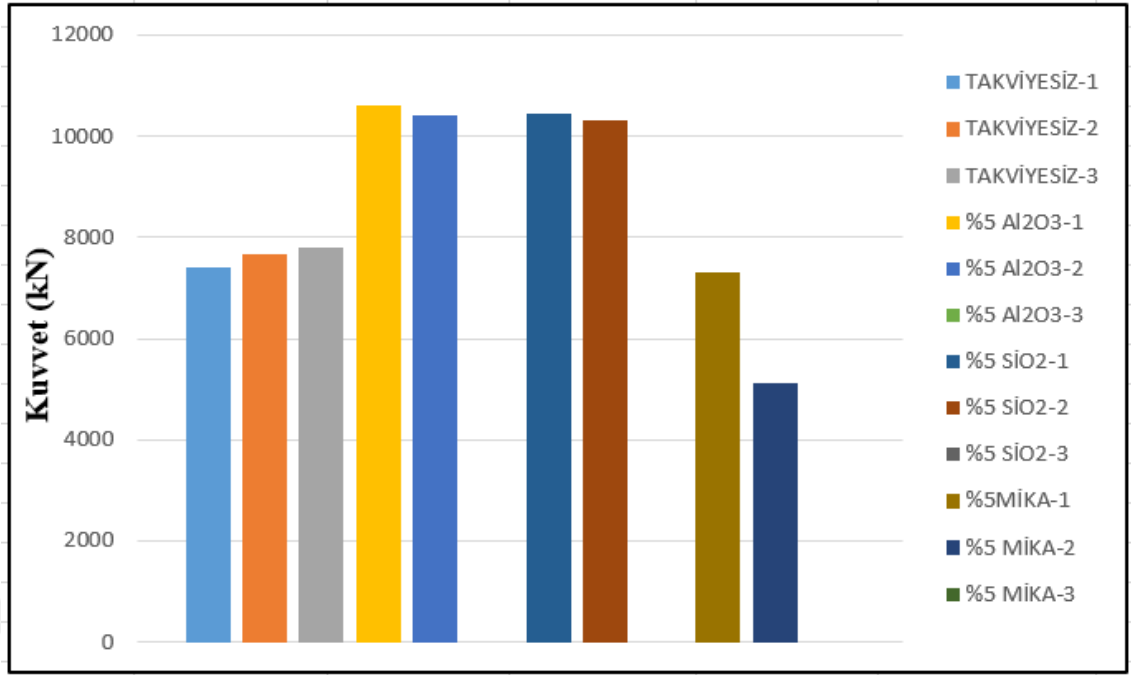
Şekil 4.13. Takviyesiz ve %5 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Gerinim grafiği

Şekil 4.13’te gösterilen Gerilme (MPa) – Gerinim grafiğine göre takviyesiz ve %5 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin maksimum kopma gerilmeleri sırasıyla 296.25 (MPa), 424.06(MPa), 370 (MPa) ve 263.44 (MPa) olarak bulunmuştur. Mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemeler hariç olmak üzere kopma gerilmelerinde en yüksek artışlar %5 Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, en yüksek azalma değerleri ise %5 mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde tespit edilmiştir. %5 oranında Al_2O_3 , SiO_2 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yüzdelik artış oranları sırasıyla %43.8, %24.8 olarak hesaplanmıştır. %5 oranında Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde ise mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yüzdelik azalış oranı %12.4 olarak hesaplanmıştır.

Akram ve arkadaşları (2023) yapmış oldukları çalışmada, Al_2O_3 ve SiO_2 mikropartikül takviyeli E-glass epoksi kompozit malzemelerin kopma yükleri etkileri üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Yaptıkları çalışmalar sonucunda Al_2O_3 mikropartikül takviyeli E-glass epoksi kompozit malzemelerin kopma yüklerinin SiO_2 mikropartikül takviyeli E-glass epoksi kompozit malzemelere kıyaslandığında daha yüksek sonuçlar elde ettiklerini deneysel olarak ispatlamışlardır.

Takviyesiz ve %5 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin maksimum uzama değerleri sırasıyla 15.944 (mm), 12.297(mm), 11.868(mm) ve 12.416 (mm) olarak bulunmuştur. Mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemeler hariç olmak üzere kopma yüklerinde en yüksek oranda azalmalar %5 SiO_2 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, en düşük oranda azalma değerleri ise %5 mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde tespit edilmiştir. %5 oranlarında Al_2O_3 , SiO_2 ve Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin, mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yüzdelik azalma oranları sırasıyla %29.6, %34.3 ve %28.4 olarak hesaplanmıştır.

Akram ve arkadaşları (2023) yapmış oldukları çalışmada, E-cam elyaf takviyeli kompozit malzemelere Al_2O_3 ve SiO_2 partikülleri takviye etmişler ve sertlik değerlerini ölçmüşlerdir. Sonuç olarak SiO_2 partikül takviyeli kompozit malzemelerin sertlik değerlerinin Al_2O_3 partikül takviyeli kompozit malzemelerden daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. SiO_2 partikül takviyeli kompozit malzemelerin sertlik değerlerinin yüksek olması bu kompozit malzemelerin daha kırılğan olduğunu ve uzama değerlerinde azalmalar olacağını kanıtlamaktadır. Bu durum yapmış olduğumuz çalışmada elde ettiğimiz sonuçlarla da uyum sağlamaktadır.



Şekil 4.14. Takviyesiz ve %5 oranında Al₂O₃, SiO₂, Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Kuvvet (kN) – Uzama (mm) grafiği

Takviyesiz ve %5 oranında Al₂O₃, SiO₂, Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin sütun grafikleri Şekil 4.14'te verilmiştir. Her bir parametreden üçer çekme testi yapılmıştır. Kompozit malzemelere uygulanan çekme testlerinde kopma yükleri ilk iki test için yakınsaklık gösterdiğinde üçüncü bir teste ihtiyaç duyulmamıştır. Çekme testleri uygulanan kompozit malzemeler için kopma yükleri sütun grafiklerinde görülmektedir.

Tablo 8. Kompozit malzeme çekme numuneleri standart sapma değerleri

Kompozit Malzemeler	Ortalama Çekme Gerilmesi (MPa)	Standart Sapma (MPa)
Takviyesiz	305,0001333	6,59977115
%1 Al ₂ O ₃	526,6666667	54,38094925
%3 Al ₂ O ₃	432,49	8,28
%5 Al ₂ O ₃	420,314	3,75
%1 SiO ₂	457,708	21,16478912
%3 SiO ₂	409,8958667	29,49741127
%5 SiO ₂	391,2	2,812
%1 Mika	382,81	42,24569358
%3 Mika	248,3	0,937
%5 Mika	234,06	43,5938

Kompozit malzeme çekme numuneleri standart sapma değerleri Tablo 8.'de verilmiştir. Düşük standart sapma verileri, kompozit malzemelere uygulanan çekme testlerinin doğru ve tekrarlanabilen özellikte olduğunu kanıtlamaktadır. %1 Al₂O₃, %1 Mika ve %5 Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerdeki yüksek standart sapmaların nedeni, bazı kompozit malzemelerin erken kopmasıdır.

4.2. Eğme test sonuçları

Takviyesiz ve mikropartikül takviyeli kompozit eğme deney numunelerinin gerilme değerleri, ortalama gerilmeleri Tablo 9.'da ve eğme deney numunelerinin sehim değerleri, ortalama sehim değerleri Tablo 10'da verilmiştir. Bu tez çalışmasında, eğilme gerilme değerleri,(v) ASTM 7264 standartlarına uygun olarak, aşağıdaki formülden hesaplanmıştır:

$$\sigma_{\text{eğilme}} = (3 \cdot P \cdot L) / (2 \cdot b \cdot t^2)$$

Tablo 9. Eğme numuneleri gerilme değerleri ve ortalama gerilmeler

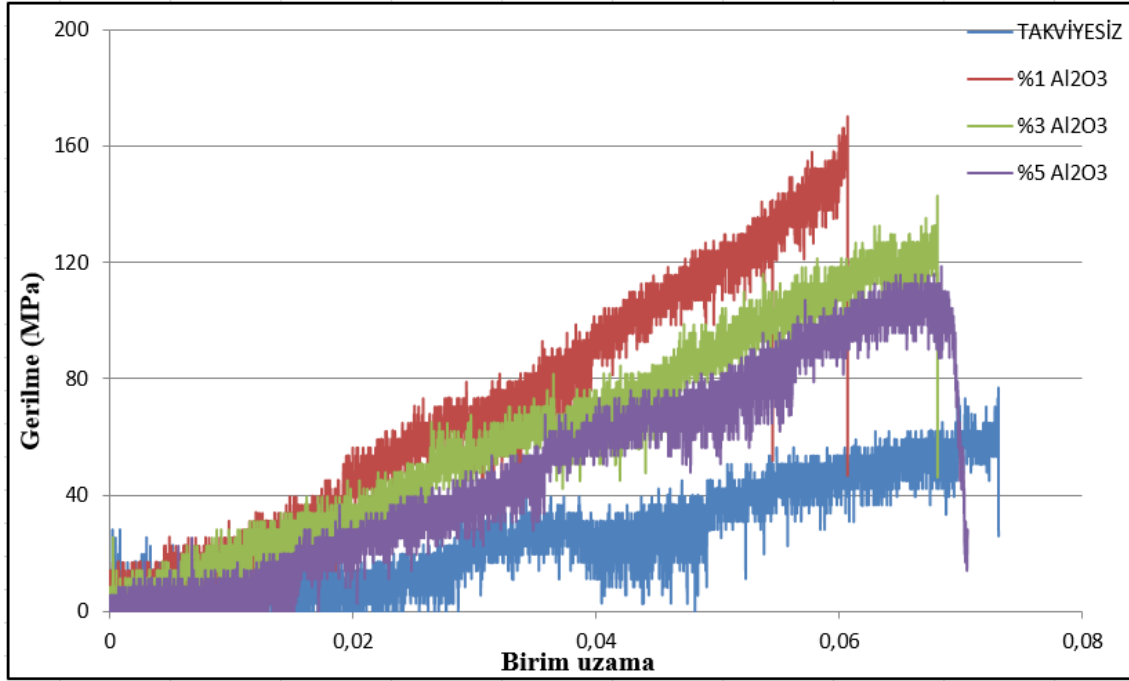
Kompozit Malzemeler	Eğme Gerilmesi Değerleri (MPa)			
	Numune-1	Numune-2	Numune-3	Ortalama
Takviyesiz	76.05	73.24	76.05	75.11
%1 Al ₂ O ₃	169.02	151.59	140.85	153.82
%3 Al ₂ O ₃	126.76	140.85		133.8
%5 Al ₂ O ₃	104.22	118.3		111.27
%1 SiO ₂	126.76	143.66	140.3	135.21
%3 SiO ₂	112.68	138.03	143.66	131.46
%5 SiO ₂	118.3	126.76		122.53
%1 Mika	87.32	92.96	81.69	87.32
%3 Mika	87.32	90.26	84.51	87.36
%5 Mika	64.79	70.42		67.6

Tablo 10 . Eğme numuneleri sehim değerleri ve ortalama sehim değerleri

Kompozit Malzemeler	Sehim Değerleri (mm)			
	Numune-1	Numune-2	Numune-3	Ortalama
Takviyesiz	7.613	6.59	7.37	7.191
%1 Al ₂ O ₃	6.32	6.70	6.78	6.6
%3 Al ₂ O ₃	7.09	7.26		7.175
%5 Al ₂ O ₃	7.34	7.27		7.305
%1 SiO ₂	6.37	6.21		6,29
%3 SiO ₂	7.427	6.89	7.35	7.22
%5 SiO ₂	7.517	8.08		7.79
%1 Mika	6.49	8.61	7.89	7.66
%3 Mika	6.123	6.04	7.09	6.41
%5 Mika	7.63	7.91		7.77

4.2.1. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında Al₂O₃ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin eğme davranışları

Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında Al₂O₃ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Birim Uzama grafiği Şekil 4.15'te, sütun grafikleri ise Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.15. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında Al₂O₃ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Birim Uzama grafiği

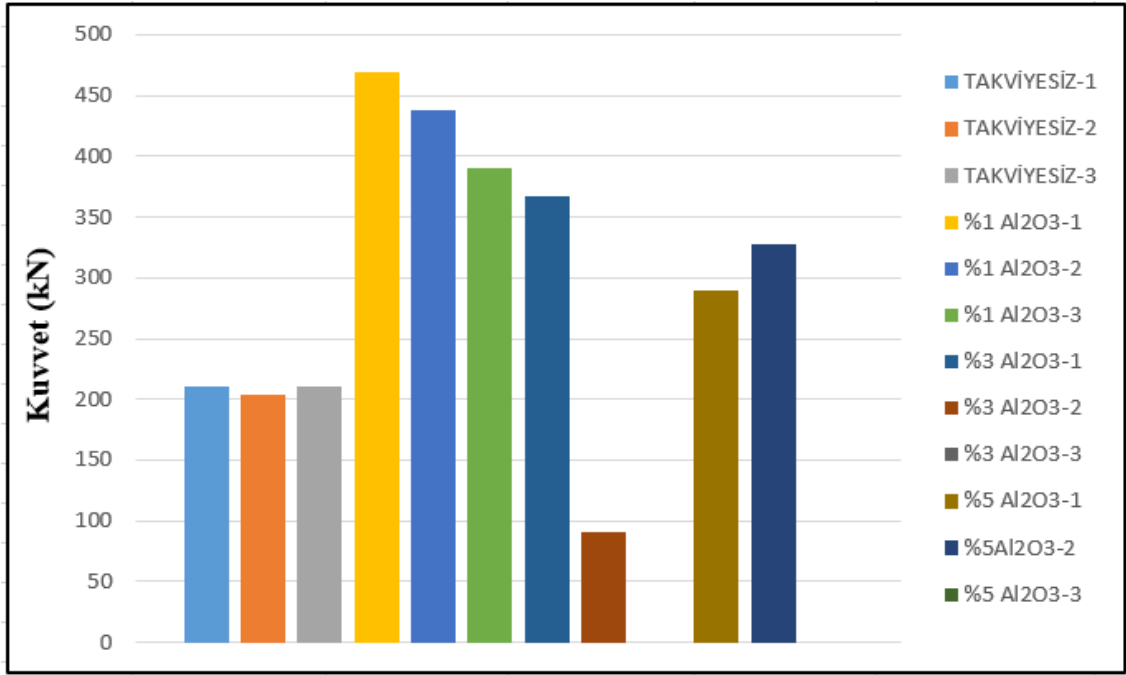
Şekil 4.15'te gösterilen Gerilme (MPa) – Birim Uzama grafiğine göre takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında Al₂O₃ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin maksimum kopma gerilmeleri sırasıyla 76.05 (MPa), 169.02 (MPa), 140.85 (MPa) ve 118,3 (MPa) olarak bulunmuştur. Mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemeler hariç olmak üzere kopma gerilmelerinde en yüksek artışlar %1 Al₂O₃ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, en düşük artış değerleri ise %5 Al₂O₃ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde tespit edilmiştir. %1, %3 ve %5 oranlarında Al₂O₃ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yüzdelik artış oranları sırasıyla %122,2, %85 ve %55,5 olarak hesaplanmıştır.

Megahed ve arkadaşları (2021) çalışmalarında, cam elyaf takviyeli kompozit malzemelere mikro ölçekte alüminyum partikülleri takviye etmişler ve yapmış oldukları çalışmalar neticesinde cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin kopma yüklerinde artış olduğu sonucuna varmışlardır.

Kaykılarli ve arkadaşları (2023) çalışmalarında, cam/karbon elyaf takviyeli hibrit kompozit malzemelere mikro ölçekte Al_2O_3 partikülleri takviye etmişler ve sonuç olarak cam/karbon elyaf takviyeli hibrit kompozit malzemelerin kopma yüklerinde en yüksek artış değerlerini, en düşük oranda Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozitlerde tespit etmişlerdir. Bu çalışmanın sonucu yapmış olduğumuz çalışmaları desteklemektedir.

Şekil 4.15'te gösterilen Gerilme (MPa) – Birim Uzama grafiğine göre takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin maksimum sehim değerleri sırasıyla 7.613(mm), 6.32(mm), 7.09(mm) ve 7.34(mm) olarak bulunmuştur. Mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemeler hariç olmak üzere sehim değerlerinde azalma oranları %1, %3 ve %5 Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde gözlemlenmiştir. %1,%3 ve %5 oranlarında Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere yüzdelik azalma oranları sırasıyla %16.9 %6.8 ve % 3.5 olarak hesaplanmıştır.

Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde sehim değerlerinin azalması, seramik sınıfına dahil olan Al_2O_3 mikropartiküllerin gevrek yapısından kaynaklanmaktadır.

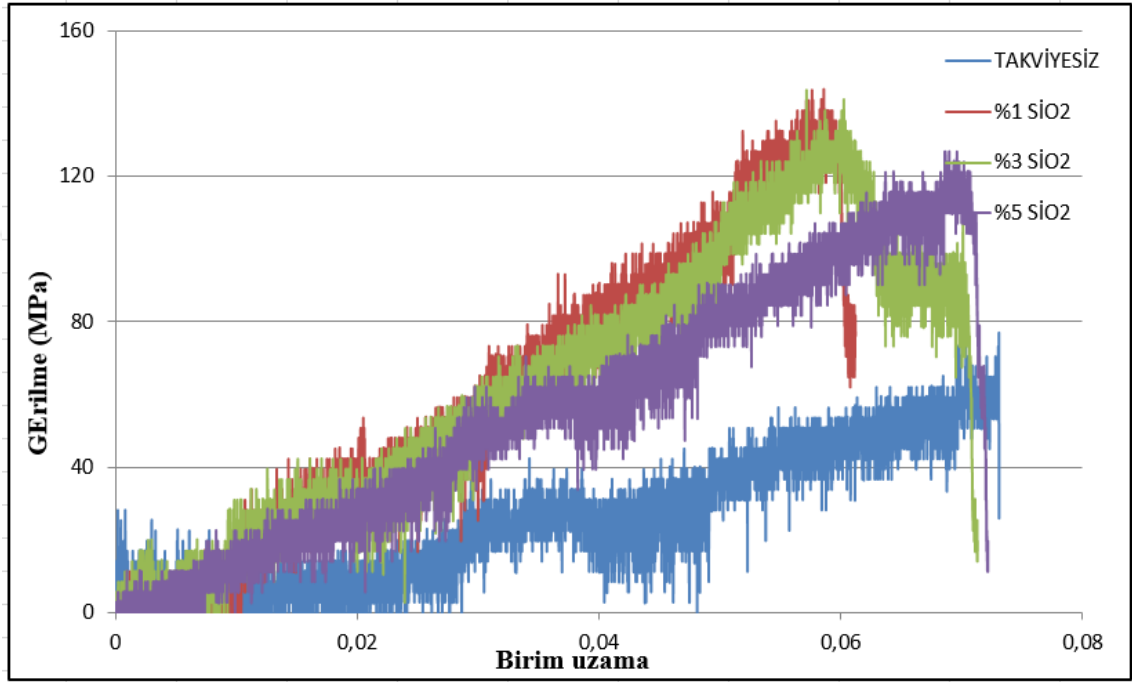


Şekil 4.16. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında Al₂O₃ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin sütun grafikleri

Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında Al₂O₃ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin sütun grafikleri Şekil 4.16’da verilmiştir. Her bir parametreden üçer eğme testi yapılmıştır. Kompozit malzemelere uygulanan eğme testlerinde kopma yükleri ilk iki test için yakınsaklık gösterdiğinde üçüncü bir teste ihtiyaç duyulmamıştır. Eğme testleri uygulanan kompozit malzemeler için kopma yükleri sütun grafiklerinde görülmektedir.

4.2.2. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında SiO₂ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin eğme davranışları

Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında SiO₂ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Birim Uzama grafiği Şekil 4.17’de, sütun grafikleri ise Şekil 4.18’de verilmiştir.

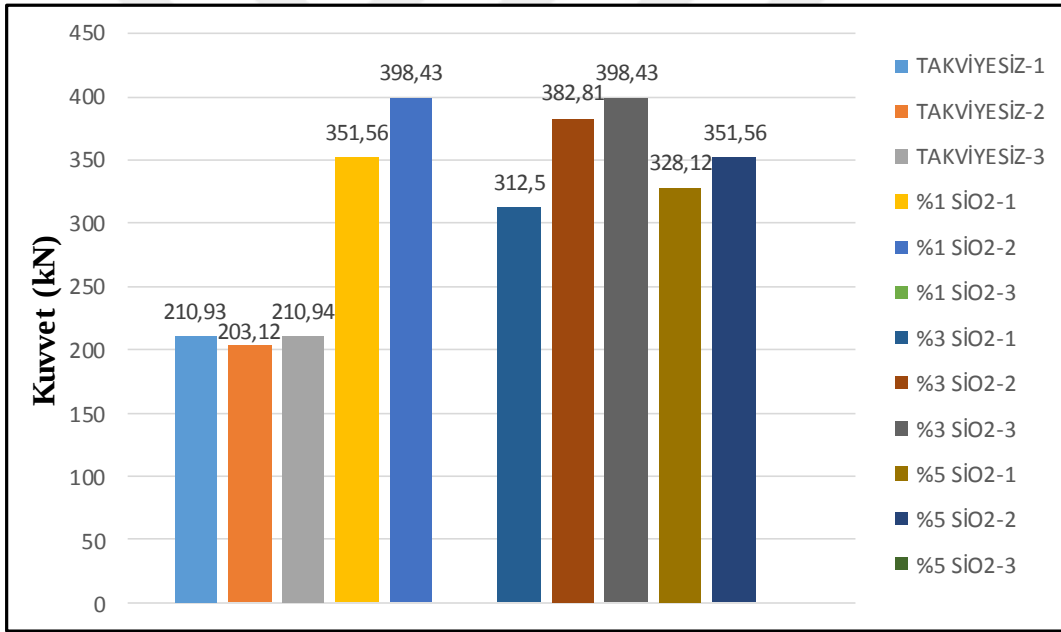


Şekil 4.17. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında SiO₂ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Birim Uzama grafiği

Şekil 4.17’de gösterilen Gerilme (MPa) – Birim Uzama grafiğine göre takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında SiO₂ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin maksimum kopma gerilmeleri sırasıyla 76.05 (MPa), 143.66 (MPa), 140.91 (MPa) ve 126.76 (MPa) olarak bulunmuştur. Mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemeler hariç olmak üzere kopma gerilmelerinde en yüksek artışlar %1 SiO₂ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, en düşük artış değerleri ise %5 SiO₂ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde tespit edilmiştir. %1, %3 ve %5 oranlarında SiO₂ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yüzdelik artış oranları sırasıyla %88.9, %85.2 ve %66.6 olarak hesaplanmıştır.

Mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde mikropartikül takviye oranları azaldıkça kopma yüklerinin artması bir çok literatür çalışmasında görülmüştür.

Şekil 4.17’de gösterilen Gerilme (MPa) – Birim Uzama grafiğine göre takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında SiO₂ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin maksimum sehim değerleri sırasıyla 7.613 (mm), 6,376 (mm), 7,427 (mm) ve 7.517 (mm) olarak bulunmuştur. Mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemeler hariç olmak üzere sehim değerlerinde en yüksek oranda azalmalar %1 SiO₂ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, en düşük oranda azalma değerleri ise %5 SiO₂ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde tespit edilmiştir. %1, %3 ve %5 oranlarında SiO₂ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yüzdelik azalma oranları sırasıyla %16.2, %2.4 ve %1.2 olarak hesaplanmıştır.

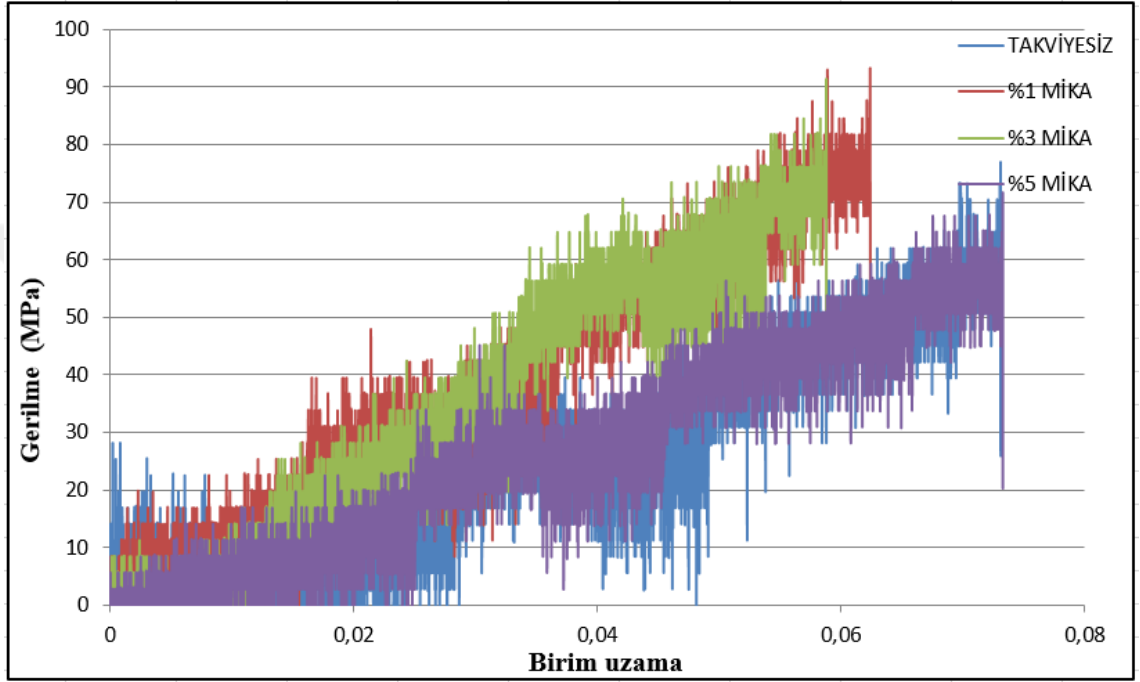


Şekil 4.18. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında SiO₂ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin sütun grafikleri

Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında SiO₂ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin sütun grafikleri Şekil 4.18’de verilmiştir. Her bir parametreden üçer eğme testi yapılmıştır. Kompozit malzemelere uygulanan eğme testlerinde kopma yükleri ilk iki test için yakınsaklık gösterdiğinde üçüncü bir teste ihtiyaç duyulmamıştır. Eğme testleri uygulanan kompozit malzemeler için kopma yükleri sütun grafiklerinde görülmektedir.

4.2.3. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin eğme davranışları

Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Birim Uzama grafiği Şekil 4.19’da, sütun grafikleri ise Şekil 4.20’de verilmiştir.



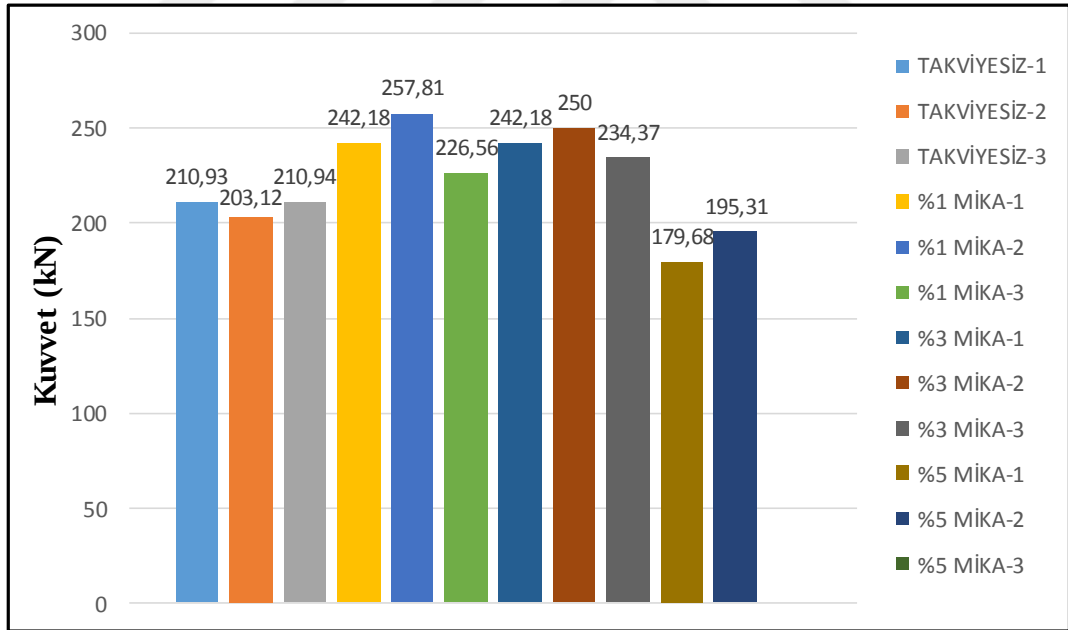
Şekil 4.19. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Birim Uzama grafiği

Şekil 4.19’da gösterilen Gerilme (MPa) – Birim Uzama grafiğine göre takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin maksimum kopma gerilmeleri sırasıyla 76.05 (MPa), 92.96(MPa), 90.26 (MPa) ve 70.42 (MPa) olarak bulunmuştur. Mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemeler hariç olmak üzere kopma gerilmelerinde en yüksek artış %1 Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde gözlemlenmiştir.%3 ve %5 Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde ise takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla kopma gerilmelerinde azalmalar tespit edilmiştir.%1 Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yüzdelik artış oranı %22.2, %3 mika mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yüzdelik artış oranı %18.5 ve %5 mika mikropartikül takviyeli kompozit

malzemelerde ise mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yüzdelik azalma oranı %7.4 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.19’da gösterilen Gerilme (MPa) – Birim Uzama grafiğine göre takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin maksimum sehim değerleri sırasıyla 7.613 (mm), 6.498 (mm), 6.123 (mm) ve 7.632 (mm) olarak bulunmuştur. Mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemeler hariç olmak üzere sehim değerlerinde en yüksek artış %5 mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde gözlemlenmiştir.

Mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemeler hariç olmak üzere sehim değerlerinde azalma oranları %1 ve %3 mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde birbirine yakınsamıştır. %5 mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yüzdelik artış oranı %0.02, %1 ve %3 oranlarında mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde ise mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yakınsaklık gösteren yüzdelik azalma oranı %19.5 olarak hesaplanmıştır.

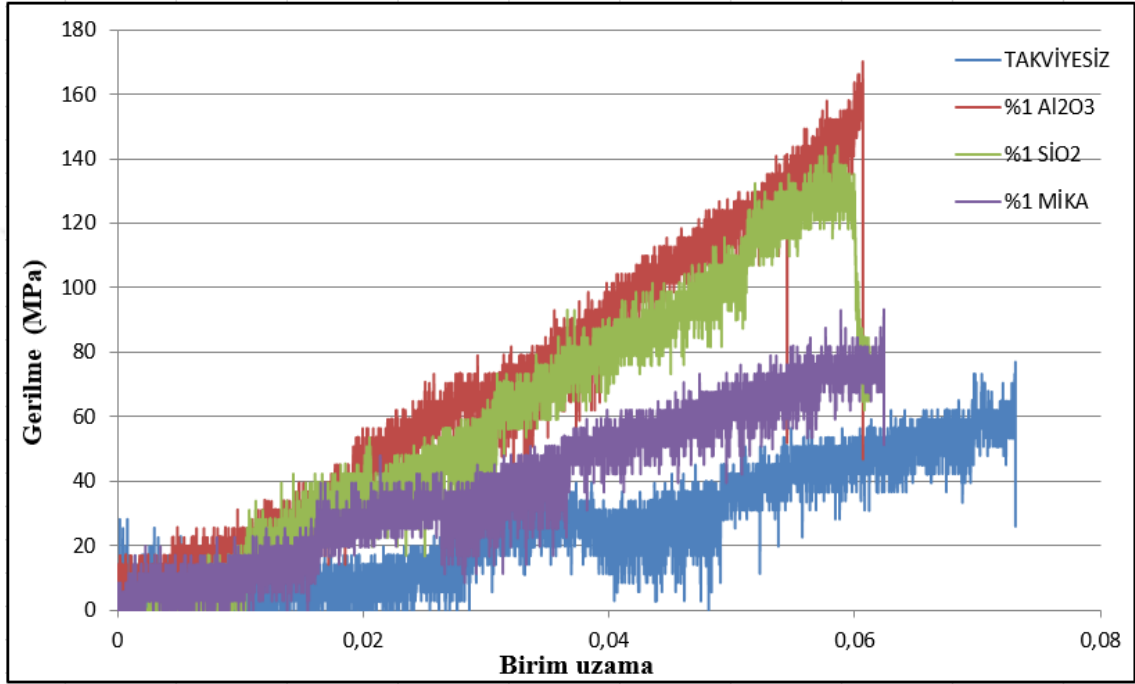


Şekil 4.20. Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin sütun grafikleri

Takviyesiz, %1, %3 ve %5 oranlarında Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin sütun grafikleri Şekil 4.20’de verilmiştir. Her bir parametreden üçer eğme testi yapılmıştır. Kompozit malzemelere uygulanan eğme testlerinde kopma yükleri ilk iki test için yakınsaklık gösterdiğinde üçüncü bir teste ihtiyaç duyulmamıştır.

4.2.4. Takviyesiz ve %1 oranında Al₂O₃, SiO₂, Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin eğme davranışları

Takviyesiz ve %1 oranında Al₂O₃, SiO₂, Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Birim Uzama grafiği Şekil 4.21’de, sütun grafikleri ise Şekil 4.22’de verilmiştir.



Şekil 4.21. Takviyesiz ve %1 oranında Al₂O₃, SiO₂, Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Birim Uzama grafiği

Şekil 4.21’de gösterilen Gerilme (MPa) – Birim Uzama grafiğine göre takviyesiz ve %1 oranında Al₂O₃, SiO₂, Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin maksimum kopma gerilmeleri sırasıyla 76.05 (MPa), 169.02(MPa), 143.66 (MPa) ve 92.96 (MPa) olarak bulunmuştur. Mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemeler hariç olmak üzere kopma gerilmelerinde en yüksek artış %1 Al₂O₃ mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde tespit edilmiştir. %1 oranında Al₂O₃, SiO₂ ve Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yüzdelik artış oranları sırasıyla %122.2, %88.8, %22.2 olarak hesaplanmıştır.

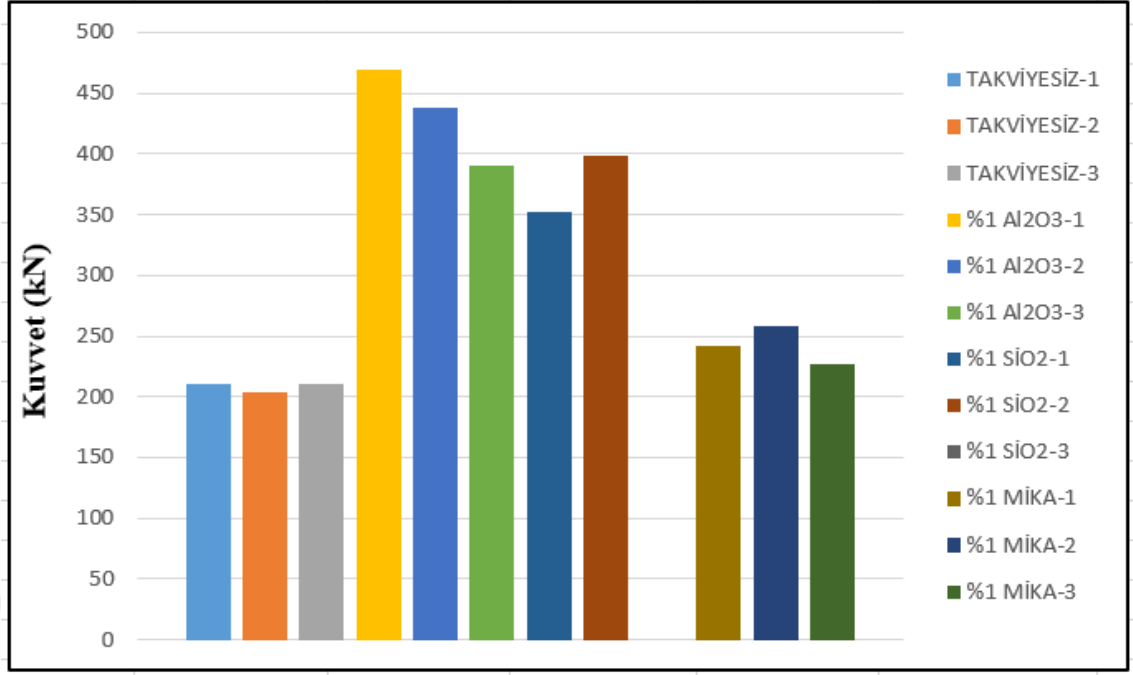
Mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde mikropartikül takviye oranları azaldıkça, kopma yüklerinde artış meydana gelmesi bir çok literatür çalışmasında görülmüştür.

Şekil 4.21’de gösterilen Gerilme (MPa) – Birim Uzama grafiğine göre takviyesiz ve %1 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin maksimum sehim değerleri sırasıyla 7.613 (mm), 7.9 (mm), 6.376 (mm) ve 6.49(mm) olarak bulunmuştur. Mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemeler hariç olmak üzere sehim değerlerinde en yüksek artış %1 Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde gözlemlenmiştir.

Mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemeler hariç olmak üzere sehim değerlerinde azalma oranları %1 SiO_2 ve %1 mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde birbirine yakınsamıştır. %1 Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yüzdelerik artış oranı %3.7, %1 oranında SiO_2 ve Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde ise mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yakınsaklık gösteren yüzdelerik azalma oranı %19.5 olarak hesaplanmıştır.

Ai ve arkadaşları (2015) çalışmalarında, epoksi kompozit malzemelere Al_2O_3 ve SiO_2 partikülleri takviye etmişler ve sertlik değerlerini ölçmüşlerdir. Yapılan ölçümler sonucu Al_2O_3 ve SiO_2 partikül takviyeli epoksi kompozit malzemelerin sertlik değerlerinin birbirine yakınsadığını tespit ederek grafikte göstermişlerdir.

Al_2O_3 ve SiO_2 partikül takviyeli epoksi kompozit malzemelerin sertlik değerlerinin yakınsaklık göstermesi çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlarla da uyumluluk göstermektedir.

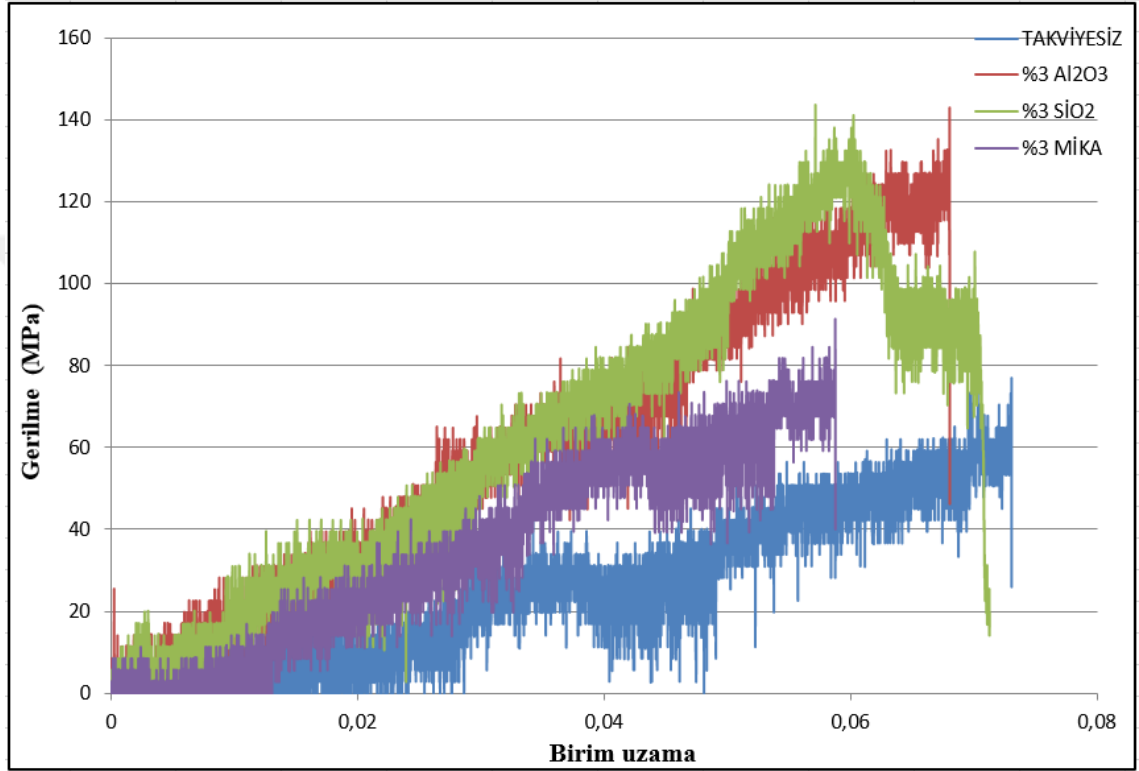


Şekil 4.22. Takviyesiz, %1 oranında Al₂O₃, SiO₂, Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin sütun grafikleri

Takviyesiz ve %1 oranında Al₂O₃, SiO₂, Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin sütun grafikleri Şekil 4.22’de verilmiştir. Her bir parametreden üçer eğme testi yapılmıştır. Kompozit malzemelere uygulanan eğme testlerinde kopma yükleri ilk iki test için yakınsaklık gösterdiğinde üçüncü bir teste ihtiyaç duyulmamıştır. Eğme testleri uygulanan kompozit malzemeler için kopma yükleri sütun grafiklerinde görülmektedir.

4.2.5. Takviyesiz ve %3 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin eğme davranışları

Takviyesiz ve %3 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Birim Uzama grafiği Şekil 4.23'te, sütun grafikleri ise Şekil 4.24'te verilmiştir.



Şekil 4.23. Takviyesiz ve %3 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Birim Uzama grafiği

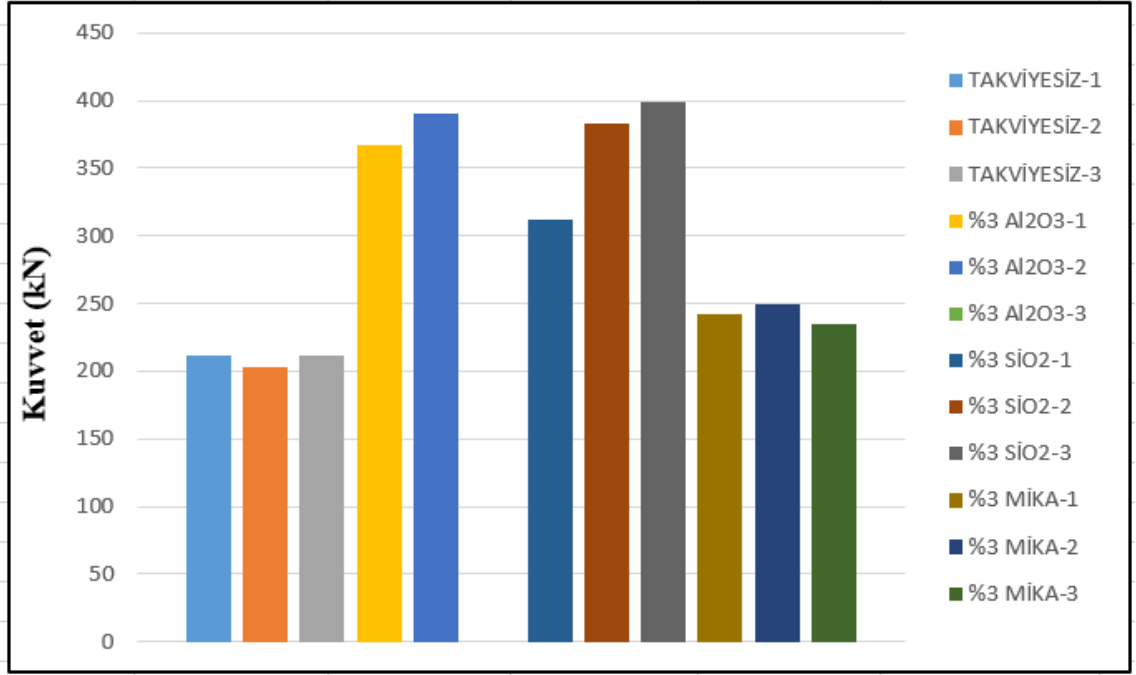
Şekil 4.23'te gösterilen Gerilme (MPa) – Birim Uzama grafiğine göre takviyesiz ve %3 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin maksimum kopma gerilmeleri sırasıyla 76.05 (MPa), 140.85(MPa), 143.66(MPa) ve 90.26 (MPa) olarak bulunmuştur. Mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemeler hariç olmak üzere kopma gerilmelerinde en yüksek artışlar %3 SiO_2 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde tespit edilmiştir. %3 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yüzdelik artış oranları sırasıyla %85, %88.8, %18.5 olarak hesaplanmıştır.

Nayak ve arkadaşları (2014) yapmış oldukları çalışmada, cam elyaf takviyeli kompozit malzemelere Al_2O_3 ve SiO_2 mikropartikülleri takviye etmişler ve sonuç olarak SiO_2 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin kopma yüklerinin Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerden yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir.

Şekil 4.23'te gösterilen Gerilme (MPa) – Birim Uzama grafiğine göre takviyesiz ve %3 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin maksimum sehim değerleri sırasıyla 7.613 (mm), 7.09(mm), 7.427 (mm) ve 6.12 (mm) olarak bulunmuştur. Mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemeler hariç olmak üzere sehim değerlerinde en yüksek oranda azalmalar %3 Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, en düşük oranda azalma değerleri ise %3 SiO_2 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde tespit edilmiştir. %3 oranlarında Al_2O_3 , SiO_2 , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yüzdelik azalma oranları sırasıyla %7.3,%2.5 ve %24.3 olarak hesaplanmıştır.

Ai ve arkadaşları (2015) çalışmalarında, epoksi kompozit malzemelere Al_2O_3 ve SiO_2 partikülleri takviye edererek sertlik değerlerini ölçmüşlerdir. Sonuç olarak Al_2O_3 ve SiO_2 partikül takviyeli epoksi kompozit malzemelerin sertlik değerlerinin birbirine yakın değerler çıktığını tespit ederek grafikte göstermişlerdir.

Al_2O_3 ve SiO_2 partikül takviyeli epoksi kompozit malzemelerin sertlik değerlerinin yakın değerler göstermesi çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlarla da uyumludur.

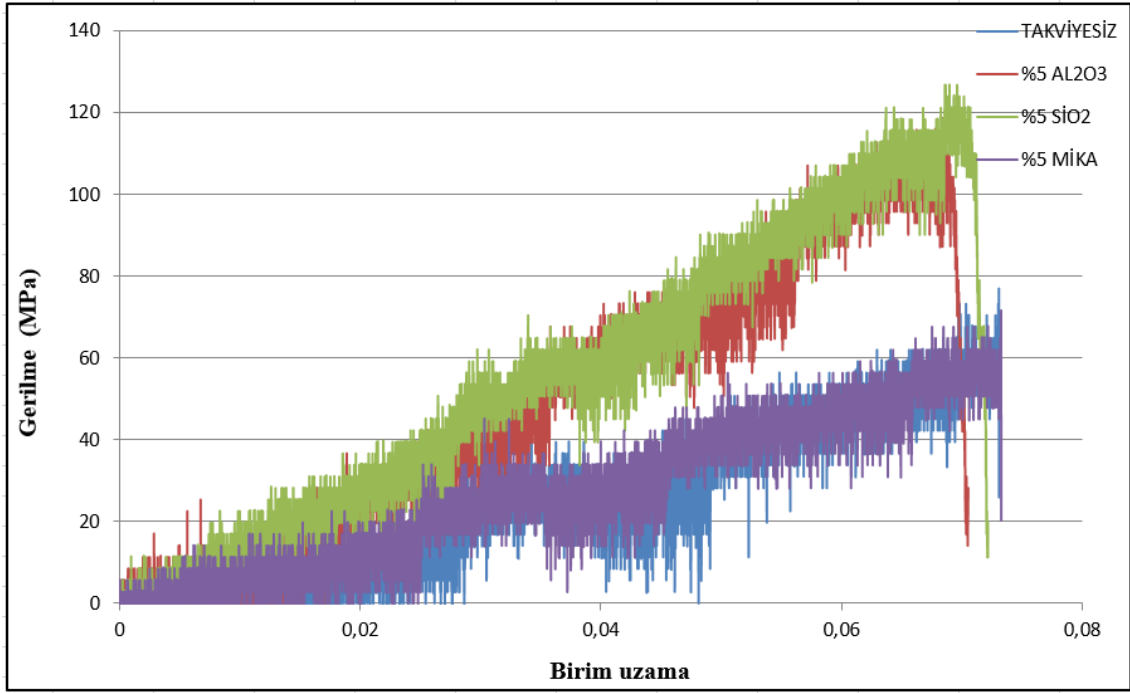


Şekil 4.24. Takviyesiz, %3 oranında Al₂O₃, SiO₂, Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin sütun grafikleri

Takviyesiz ve %3 oranında Al₂O₃, SiO₂, Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin sütun grafikleri Şekil 4.24'te verilmiştir. Her bir parametreden üçer eğme testi yapılmıştır. Kompozit malzemelere uygulanan eğme testlerinde kopma yükleri ilk iki test için yakınsaklık gösterdiğinde üçüncü bir teste ihtiyaç duyulmamıştır. Eğme testleri uygulanan kompozit malzemeler için kopma yükleri sütun grafiklerinde görülmektedir.

4.2.6. Takviyesiz ve %5 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin eğme davranışları

Takviyesiz ve %5 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Birim Uzama grafiği Şekil 4.25'te, sütun grafikleri ise Şekil 4.26'da verilmiştir.



Şekil 4.25. Takviyesiz ve %5 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin Gerilme (MPa) – Birim Uzama grafiği

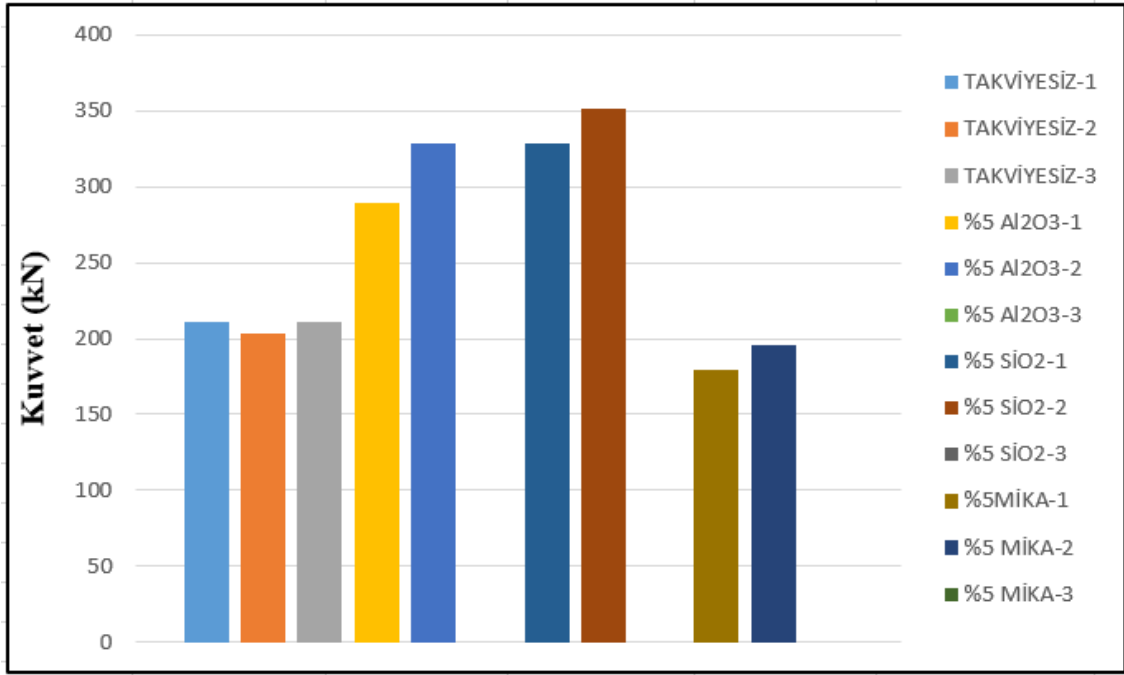
Şekil 4.25'te gösterilen Gerilme (MPa) – Birim Uzama grafiğine göre takviyesiz ve %5 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin maksimum kopma gerilmeleri sırasıyla 76.05 (MPa), 118.3 (MPa), 126.76 (MPa) ve 70.42 (MPa) olarak bulunmuştur. Mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemeler hariç olmak üzere kopma gerilmelerinde en yüksek artışlar %5 SiO_2 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, en yüksek azalış değerleri ise %5 Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde tespit edilmiştir. %5 oranında Al_2O_3 , SiO_2 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde, mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yüzdelik artış oranları sırasıyla %55.5, %66.6 olarak hesaplanmıştır. %5 oranında Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde ise mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yüzdelik azalış oranı %7.9 olarak hesaplanmıştır.

Nayak ve arkadaşları (2014) yapmış oldukları çalışmada, cam elyaf takviyeli kompozit malzemelere Al_2O_3 ve SiO_2 mikropartikülleri takviye etmişler ve sonuç olarak SiO_2 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin kopma yüklerinin Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerden yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir.

Şekil 4.25'te gösterilen Gerilme (MPa) – Birim Uzama grafiğine göre takviyesiz ve %5 oranında Al_2O_3 , SiO_2 , Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin maksimum sehim değerleri sırasıyla 7.613 (mm), 7.347(mm), 7.517(mm) ve 7.632 (mm) olarak bulunmuştur. Mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemeler hariç olmak üzere sehim değerlerinde en yüksek oranda azalmalar %5 Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde tespit edilmiştir. %5 oranlarında Al_2O_3 , SiO_2 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin, mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yüzdelik azalma oranları sırasıyla %3.6, %1,2 olarak hesaplanmıştır. %5 Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde ise mikropartikül takviyesiz üretilen kompozit malzemelere kıyasla yüzdelik artış oranı %0.2 olarak hesaplanmıştır.

Ai ve arkadaşları (2015) çalışmalarında, epoksi kompozit malzemelere Al_2O_3 ve SiO_2 partikülleri takviye etmişler ve sertlik değerlerini ölçmüşlerdir. Sonuç olarak Al_2O_3 ve SiO_2 partikül takviyeli epoksi kompozit malzemelerin sertlik değerlerinin birbirine yakınsadığını tespit ederek grafikte göstermişlerdir.

Al_2O_3 ve SiO_2 partikül takviyeli epoksi kompozit malzemelerin sertlik değerlerinin yakınsaklık göstermesi çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlarla da uyumludur.



Şekil 4.26. Takviyesiz, %5 oranında Al₂O₃, SiO₂, Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin sütun grafikleri

Takviyesiz ve %5 oranında Al₂O₃, SiO₂, Mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerin sütun grafikleri Şekil 4.26’da verilmiştir. Her bir parametreden üçer eğme testi yapılmıştır. Kompozit malzemelere uygulanan eğme testlerinde kopma yükleri ilk iki test için yakınsaklık gösterdiğinde üçüncü bir teste ihtiyaç duyulmamıştır. Eğme testleri uygulanan kompozit malzemeler için kopma yükleri sütun grafiklerinde görülmektedir.

Tablo 11. Kompozit malzeme eğme numuneleri standart sapma değerleri

Kompozit Malzemeler	Ortalama Eğme Gerilmesi (MPa)	Standart Sapma (MPa)
Takviyesiz	75,11983173	1,327694968
%1 Al ₂ O ₃	153,8215144	11,60776871
%3 Al ₂ O ₃	133,8079327	7,042427885
%5 Al ₂ O ₃	111,271875	7,042427885
%1 SiO ₂	135,2165264	8,451021635
%3 SiO ₂	131,4604567	13,47730363
%5 SiO ₂	122,5399038	4,225600962
%1 Mika	87,32740385	4,600153513
%3 Mika	87,36742788	2,349413664
%5 Mika	67,60835337	2,817007212

Kompozit malzeme eğme numuneleri standart sapma değerleri Tablo 11.’de verilmiştir. Düşük standart sapma verileri, kompozit malzemelere uygulanan eğme testlerinin doğru ve tekrarlanabilen özellikte olduğunu kanıtlamaktadır.

4.3. SEM analiz sonuçları

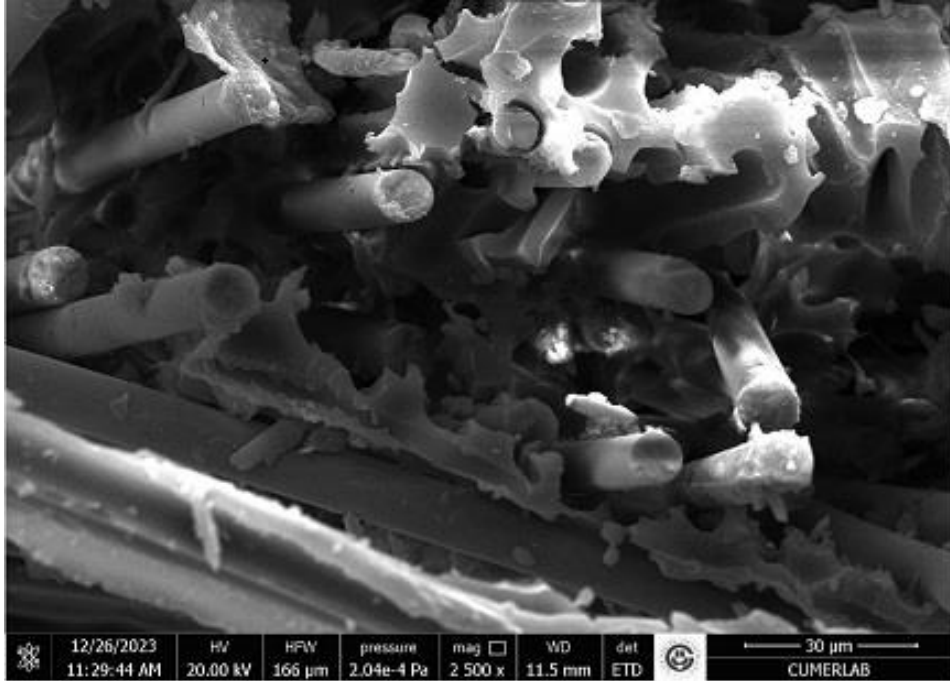
SEM analizleri, Çümerlab Mikroskopik Analiz Laboratuvarında yer alan Quanta650 Field Emission SEM analiz cihazı ile yapılmıştır.

Hasara uğramış mikropartikül takviyeli kompozit malzemeler 1cm x 1cm boyutlarında kesilmiş ve hasar mekanizmalarını araştırmak için SEM görüntüleri alınmıştır.

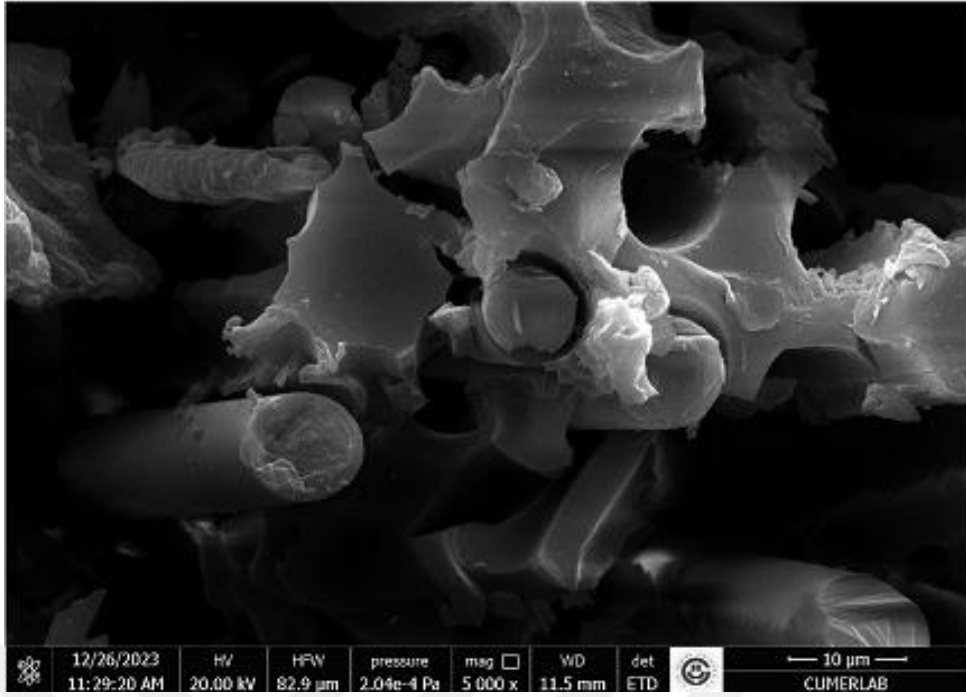
Çümerlab Mikroskopik Analiz Laboratuvarına gönderilen iletken olmayan kompozit numuneler Altın-Paladyum kaplama cihazı ile kaplanmış ve iletken özellik göstermeleri sağlanmıştır. Bu kaplama işleminden sonra kompozit numuneler SEM görüntüleme analizleri için hazır hale gelmiştir.

4.3.1. Çekme numuneleri için SEM analiz sonuçları

Çekme testleri sonucunda %1, %3 ve %5 oranlarında Al_2O_3 mikropartikül takviyeli üretilen kompozit malzemelerin, SEM analizleri ve oluşan hasar mekanizmaları sırasıyla 2500 kat büyütülmüş şekli Şekil 4.27’de, 5.000 kat büyütülmüş şekli Şekil 4.28’de ve 250 kat büyütülmüş şekli ise Şekil 4.29’da verilmiştir.



Şekil 4.27. Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozitlerde fiber hasar mekanizmaları-I



Şekil 4.28. Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozitlerde fiber hasar mekanizmaları-II

Al_2O_3 mikropartikül takviyeli üretilen kompozit malzemelerde çekme testleri sonucunda oluşan hasar mekanizmaları SEM görüntüleri 2500 kat büyütülmüş şekli Şekil 4.27’de ve 5000 kat büyütülmüş şekli Şekil 4.28’de verilmiştir. Şekil 4.27 ve Şekil 4.28’de mikropartikül takviyeli üretilen kompozit malzeme içerisindeki takviye elemanları olan fiberlerde hasar mekanizmaları gözlemlenmiştir.

Şekil 4.27 ve Şekil 4.28’de verilen Al_2O_3 mikropartikül takviyeli üretilen kompozit malzemelerin SEM grafikleri incelendiğinde fiberlerin matris malzeme içerisine homojen bir şekilde dağılmadığı görülmektedir. Fiberler ve matris malzeme arasında homojen bir dağılım gerçekleşmemesine sebep olarak epoksi malzeme ile kompozit malzeme matrisinin tam uyumlu bir şekilde çalışmaması gösterilebilir. Buna ek olarak Şekil 4.27 ve Şekil 4.28’de verilen Al_2O_3 mikropartikül takviyeli üretilen kompozit malzemelerde fiber kopmaları açıkça belli olmaktadır. Bu fiber kopmaları, fiberler ve matris malzeme arasındaki zayıf bağların ispatıdır.

Şekil 4.27 ve Şekil 4.28’de verilen Al_2O_3 mikropartikül takviyeli üretilen kompozit malzemelerin SEM grafikleri incelendiğinde çekme yükleri neticesinde fiber demetleri arasında oluşan boşluklar, kompozit malzeme deformasyona uğradığı zaman fiberlerin matris malzeme içerisinden çıkması sonucu oluştuğu düşünülmektedir.



Şekil 4.29. Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozitlerde fiber demetleri hasar mekanizmaları

Al_2O_3 mikropartikül takviyeli üretilen kompozit malzemelerde çekme testleri sonucunda oluşan hasar mekanizmaları SEM görüntüleri 250 kat büyütülmüş şekli Şekil 4.29’da verilmiştir. Şekil 4.29’da mikropartikül takviyeli üretilen kompozit malzemede meydana gelen hasar mekanizmaları fiber kopmaları ve dağılmaları şeklinde gözlemlenmiştir.

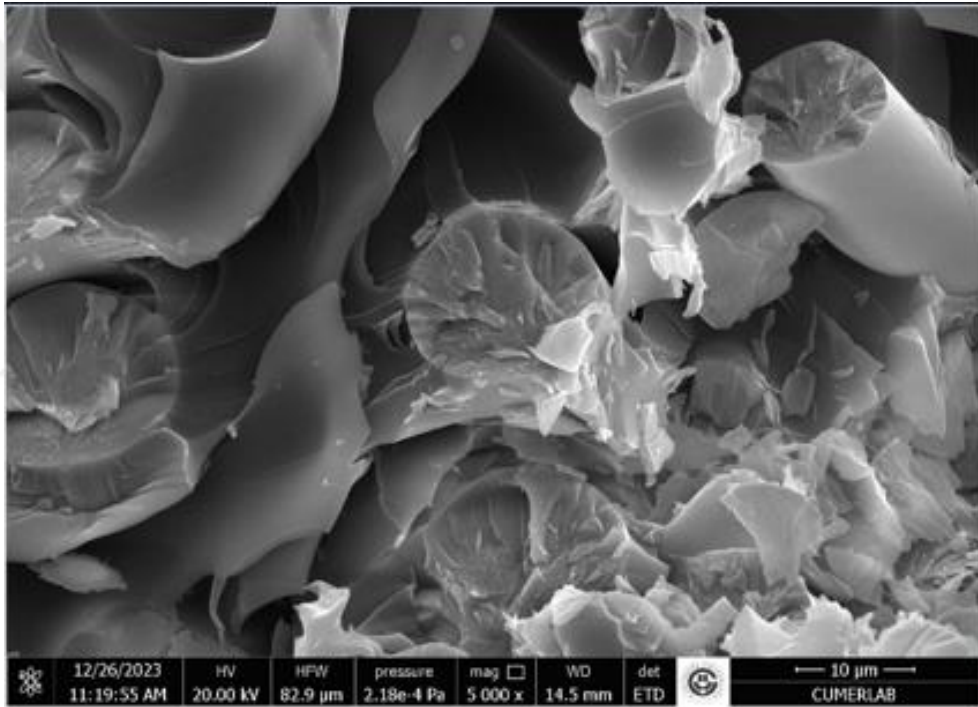
Şekil 4.29’da verilen Al_2O_3 mikropartikül takviyeli üretilen kompozit malzemelerin SEM görüntülerinde yoğun fiber demetlerinin matris malzeme içerisinde koparak homojen bir şekilde dağılmadıkları da görülmektedir. Çok sayıda fiber kopmaları matris malzeme içerisinde bulunmaktadır.

Şekil 4.29’da verilen Al_2O_3 mikropartikül takviyeli üretilen kompozit malzemelerde fiberlerin matris malzeme içerisinde demetler halinde bulunduğu ve bazı bölgelerde fiber demetlerinin koparak dağıldığı gözlemlenmiştir. Bu olay fiber demetlerinin, matris malzeme ile kuvvetli bağlar oluşturamamasının sonucu olarak fiber kırılmaları meydana gelip, özellikle %3 ve %5 gibi yüksek oranlarda Al_2O_3 mikropartikül takviyeli üretilen kompozit malzemelerin çekme yükleri neticesinde daha düşük kopma yükleri gösterdiğini açıklamaktadır.

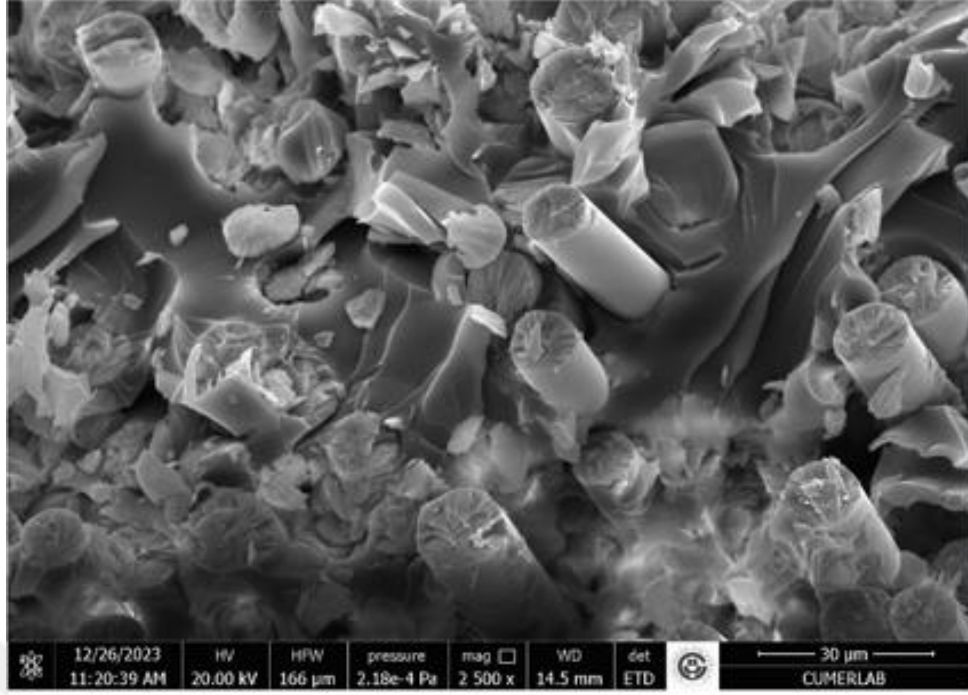
Al_2O_3 mikropartikül takviyeli üretilen kompozit malzemelerde çekme yükleri sonucunda oluşan hasarların kanıtı olarak, fiberlerin matristen çekilmesi, fiber ve matris ara yüzey bağlarının çözülmesiyle birlikte fiberlerin matristen ayrılması ve kompozit malzemelerde ise çatlak başlangıcı ile devam eden kopmalar gözlemlenmiştir.

4.3.2. Eğme numuneleri için SEM analiz sonuçları

Eğme testleri sonucunda %1, %3 ve %5 oranlarında Al_2O_3 mikropartikül takviyeli üretilen kompozit malzemelerin, SEM analizleri ve oluşan hasar mekanizmaları sırasıyla 5000 kat büyütülmüş şekli Şekil 4.30'da, 2500 kat büyütülmüş şekli Şekil 4.31'de ve 250 kat büyütülmüş şekli Şekil 4.32'de verilmiştir.



Şekil 4.30. Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozitlerde fiber hasar mekanizmaları-I

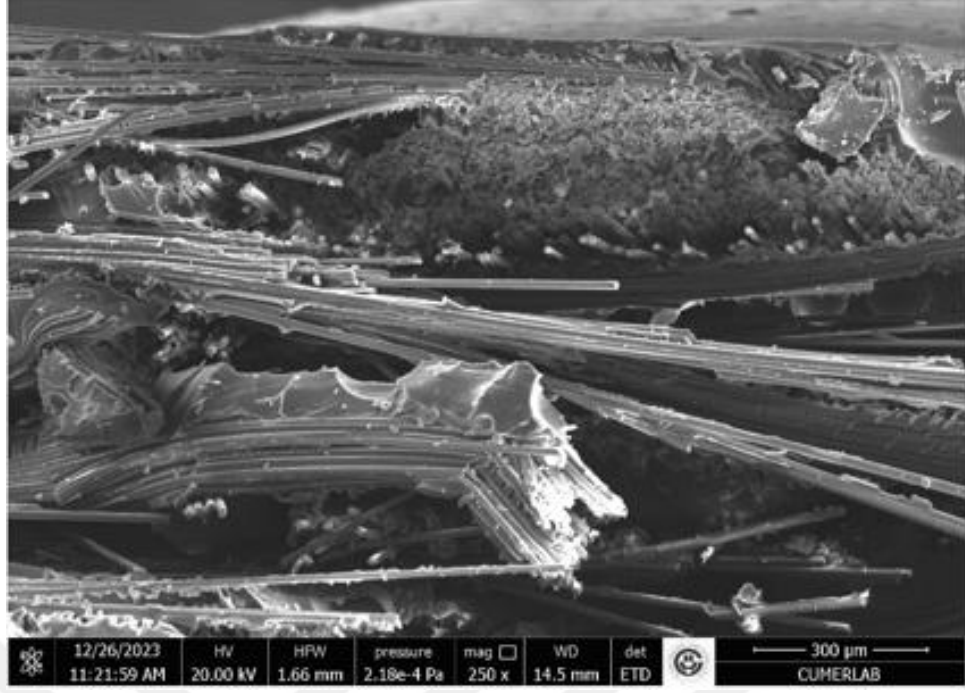


Şekil 4.31. Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozitlerde fiber hasar mekanizmaları-II

Al_2O_3 mikropartikül takviyeli üretilen kompozit malzemelerde eğme testleri sonucunda oluşan hasar mekanizmaları SEM görüntüleri 5000 kat büyütülmüş şekli Şekil 4.30’da ve 2500 kat büyütülmüş şekli Şekil 4.31’de verilmiştir. Şekil 4.30 ve Şekil 4.31’de mikropartikül takviyeli üretilen kompozit malzeme içerisindeki fiber ve fiber demetlerinde hasar mekanizmaları gözlemlenmiştir.

Şekil 4.30’da verilen Al_2O_3 mikropartikül takviyeli üretilen kompozit malzemelerin SEM grafikleri incelendiğinde eğme yükleri neticesinde fiber demetleri arasında oluşan boşlukların fazla olması epoksi malzeme ile kompozit malzeme matrisinin tam uyumlu bir şekilde çalışmadığını göstermektedir.

Şekil 4.31’de verilen Al_2O_3 mikropartikül takviyeli üretilen kompozit malzemelerin SEM grafikleri incelendiğinde eğme yükleri neticesinde fiber demetleri arasında oluşan boşluklar kompozit malzeme deformasyona uğradığı zaman fiberlerin matris malzeme içerisinde çıkması sonucu oluştuğu düşünülmektedir.



Şekil 4.32. Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozitlerde matris ve fiber demetleri hasar mekanizmaları

Al_2O_3 mikropartikül takviyeli üretilen kompozit malzemelerde eğme testleri sonucunda oluşan hasar mekanizmaları SEM görüntüleri 250 kat büyütülmüş şekli Şekil 4.32’de verilmiştir. Şekil 4.32’de mikropartikül takviyesi ile üretilen kompozit malzeme içerisindeki fiber ve fiber demetlerinde hasar mekanizmaları gözlemlenmiştir.

Şekil 4.32’de verilen Al_2O_3 mikropartikül takviyeli üretilen kompozit malzemelerin SEM görüntülerinde yoğun fiber demetlerinin matris malzeme içerisinde beraber koptukları tespit edilmiştir.

Şekil 4.32’de verilen Al_2O_3 mikropartikül takviyeli üretilen kompozit malzemelerin maruz kaldıkları eğme yükleri, çekme yüklerine göre daha düşük değerlerde olduğundan yoğun fiber demetlerinin matris malzeme içerisinde lineer olarak bazı bölgelerde koptuğu ve bazı bölgelerde ise kopmadan devam ettiği ve yoğun fiber demetlerinin matris malzeme içerisinde beraber hasara uğradıkları SEM görüntülerinde gözlemlenmiştir.

Ayrıca Şekil 4.32’de mikropartikül takviyeli üretilen kompozit malzeme matris yapısındaki hasar mekanizmaları matris malzeme kırılmaları ve fiber demetlerinde kopmalar şeklinde gözlemlenmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler mikropartikül takviyesiz ve %1, %3 ve %5 gibi çeşitli oranlarda Al_2O_3 , SiO_2 ve mika mikropartikül takviyeli olarak elle yatırma yöntemi ile üretilmiştir. Daha sonra üretilen kompozit malzemelere çekme ve eğme testleri uygulanmıştır. Çekme ve eğme testleri sonrasında elde edilen grafikler değerlendirilmiş, standart sapmalar tespit edilerek yorumlar yapılmıştır. Ayrıca kompozit malzemelerin kopmasıyla oluşan hasar mekanizmalarının tespiti ve yorumlanması için SEM analizleri de yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Elle yatırma yöntemi ile üretilen kompozit malzemelere farklı yüzdelerde mikropartikül takviyesinin çekme ve eğme kopma yüklerini etkilediği tespit edilmiştir.
- Epoksi matris malzemesine takviye edilen mikropartikül yüzdelik oranları azaldıkça çekme ve eğme mukavemet değerleri ters orantılı olarak yükselmiştir. En yüksek çekme ve eğme mukavemet değerleri %1 Al_2O_3 mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde gözlemlenmiş ve en düşük çekme ve eğme mukavemet değerlerine ise %5 mika mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde ulaşılmıştır. Yüksek yüzdelik oranlarda mikropartikül takviyeli kompozit malzemelerde çekme ve eğme mukavemet değerlerinin daha düşük çıkmasına sebep olarak, epoksi matris malzemesine yüksek yüzdelik oranlarda mikropartikül takviye edildiğinde bu mikropartiküllerin matris ve epoksi malzemesi arasındaki ara yüzey bağ kuvvetlerini azaltması gösterilebilir.
- Kompozit malzeme eğme ve çekme numunelerinden hesaplanan standart sapma değerleri düşük çıktığından kompozit malzemelere uygulanan eğme ve çekme testlerinin doğru ve tekrarlanabilen özellikte olduğu düşünülmektedir.
- Eğme ve çekme yükleri uygulanan mikropartikül takviyeli kompozit malzeme içerisindeki fiberler ve fiber demetlerinde yoğun olarak sıralı bir şekilde kopmalar gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, fazla sayıda fiber demetlerinin

kompozit malzeme matrisinden ayrılarak kopması, mikropartikül takviyeli üretilen kompozit malzemelerde hasarlara sebebiyet vermiştir.

5.2. Öneriler

Yüksek lisans çalışmamızda değişik mikropartiküllerin farklı yüzdelik oranlarda matris malzeme içerisine takviyesinin üretilen kompozit malzemelerde çekme ve eğme yükleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Cam elyaf takviye malzemesi yerine farklı elyaflar kullanılarak daha yüksek mukavemete sahip kompozit malzemeler üretilebilir. Kompozit malzeme imalatında elle yatırma yönteminden farklı yöntemler kullanılabilir. Buna ek olarak farklı özellikteki kumaşlar birleştirilerek hibrit kompozit malzeme üretimleri gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

Ai, N.A. Hussein, S.I. Jawad, M.K. Al-Ajaj, I., 2015, Effect of Al_2O_3 and SiO_2 nanopartical on wear, hardness and impact behavior of epoxy composites, *Chemistry and materials Research*, 7(4), 34-40.

Akram, W. Chaturvedi, S.K. Syed, M.A., 2023, Comparative Study Of Mechanical Properties Of E-Glass/Epoxy Composite Materials with Al_2O_3 , $CaCO_3$, SiO_2 and PBO Fillers, *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2 (7), 1029-1034.

Alam, M.S. Chowdhury, M.A., 2020, Characterization of epoxy composites reinforced with $CaCO_3$ - Al_2O_3 - MgO - TiO_2 - CuO filler materials, *Alexandria Engineering Journal*, 59(6), 4121-4137.

Anonymous, 2023, <https://malzemebilimi.net/cam-elyaf-nedir-nasil-uretilir.html> [Ziyaret Tarihi: 02 Eylül 2023].

Anonymous, 2023, https://www.atamanchemicals.com/aluminium-oxide_u25614/?lang=TR [Ziyaret Tarihi: 02 Eylül 2023].

Anonymous, 2023, http://cdn.hitit.edu.tr/mf/files/39932_1703231357926.pdf [Ziyaret Tarihi: 12 Eylül 2023].

Anonymous, 2023, <https://blog.tekyaz.com/kompozit-malzemelerin-genel-ozellikleri-ve-kullanimi/> [Ziyaret Tarihi: 02 Eylül 2023].

Anonymous, 2023, <https://cumerlab.cu.edu.tr/cu/laboratuvarlar/cihazlar-listesi/sem> [Ziyaret Tarihi: 12 Eylül 2023].

Anonymous, 2023, <https://kalkanci.com/tr/aluminyum-kullanim-alanlari/> [Ziyaret Tarihi: 02 Eylül 2023].

Anonymous, 2023, <https://kingcert.com/blog/urun-belgelendirme/mekanik-test/tr/#:~:text=Mekanik%20test%2C%20bir%20malzemenin%20veya,yorulma%20limiti%20gibi%20%C3%B6zellikleri%20%C3%B6l%C3%A7er.> [Ziyaret Tarihi: 06 Eylül 2023].

Anonymous, 2023, <https://malzemebilimi.net/malzemelere-uygulanan-mekanik-testler.html> [Ziyaret Tarihi: 06 Eylül 2023].

Anonymous, 2023, <https://nanografi.com/microparticles/aluminum-oxide-al2o3-micron-powder-purity-99-5-size-45-75-m/> [Ziyaret Tarihi: 12 Eylül 2023].

Anonymous, 2023, <https://nanografi.com/microparticles/silicon-dioxide-sio2-micron-powder-size-15-micron-purity-99-8/> [Ziyaret Tarihi: 12 Eylül 2023].

Anonymous, 2023, <https://shop.nanografi.com.tr/aluminyum-oksit-al2o3-nano-tozu-gama-safl-k-99-5-boyut-18-nm-hidrofilik/> [Ziyaret Tarihi: 05 Eylül 2023].

Anonymous, 2023, <https://www.ansiklopedikbilgiler.com/mika-nedir-hangi-alanlarda-kullanilir/> [Ziyaret Tarihi: 06 Eylül 2023].

Anonymous, 2023, <https://www.celikleraluminyum.com.tr/aluminyum/> [Ziyaret Tarihi: 02 Eylül 2023].

Anonymous, 2023, [https://mm.ksu.edu.tr/depo/belgeler/ks%C3%BC%20%C3%A7ekme%20\(1\)_1702221612397020.pdf](https://mm.ksu.edu.tr/depo/belgeler/ks%C3%BC%20%C3%A7ekme%20(1)_1702221612397020.pdf) [Ziyaret Tarihi: 11 Eylül 2023].

Bajaj, P. Singla, Y.K.G. Kalra, A.G., 2011, Mechanical behaviour of aluminium based metal matrix composites reinforced with SiC and alümina, (Doctoral dissertation).

Banakar, P. Shivananda, H.K., 2012, Preparation and characterization of the carbon fiber reinforced epoxy resin composites, *OSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 1(2), 15-18.

Boumbimba, R.M. Froustey, C. Viot, P. Olive, J.M. Léonardi, F. Gerard, P. Inoubli, R., 2014, Preparation and mechanical characterisation of laminate composites made of glass fibre/epoxy resin filled with tri bloc copolymers, *Composite Structures*, 116, 414–422.

Demir, F.K., 2019, Elyaf takviyeli kompozit malzemelerde üretim parametrelerinin malzemenin mekaniksel ve fiziksel özelliklerine etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uşak

Dhas, D.E.J. Velmurugan, C. Wins, K.L.D. BoopathiRaja, K.P., 2019, Effect of tungsten carbide, silicon carbide and graphite particulates on the mechanical and microstructural characteristics of AA 5052 hybrid composites, *Ceramics International*, 45(1), 614-621.

Dong, C. Ranaweera-Jayawardena, H.A. Davies I. J., 2012, Flexural properties of hybrid composites reinforced by S-2 glass and T700S carbon fibres, *Composites Part B: Engineering*, 43 (2), 573-581.

Dwivedi, S.P. Dixit, A. Bajaj, R., 2019, Development of bio-composite material by utilizing chrome containing leather waste with Al₂O₃ ceramic particles. *Materials Research Express*, 6(10), 105105.

Fidan, S. 2011, Polimer matrisli kompozitlerin darbe davranışlarının incelenmesi ve oluşan hasarların mikro tomografi yöntemiyle incelenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli

Hindi, J. Kini, A.U. Sharma, S.S. Gurumurthy, B.M. Shankar, G., 2015, Mechanical Characterization of Stir Cast Al 6063 Matrix SiC Reinforced Metal Matrix Composites, 5th International Conference on Automotive, Bali, Indonesia

Hossain, M.K. Chowdhury, M.M.R. Bolden, N.W., 2015, Optimized mechanical performance of carbon fiber-epoxy composite using amino-functionalized graphene nanoplatelets, In ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, 57526, V009T12A057.

İlhan, R. Feyzullahoğlu, E., 2019, Cam elyaf takviyeli polyester (ctp) kompozit malzemelerde kullanılan doğal elyaflar ve dolgu maddeleri, *El-Cezeri*, 6(2), 355-381.

Kamar, N.T. Hossain, M.M. Khomenko, A.M. Drzal, L.T. Loos, A., 2015, Interlaminar reinforcement of glass fiber/epoxy composites with graphene nanoplatelets, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 70, 82-92.

Kaykilarli, C. Haydarov, A. Köse, D. Yeprem, H.A., 2023, Mechanical and Tribological Properties of Carbon Fiber/Glass Fiber-Reinforced Epoxy Hybrid Composites Filled with Al₂O₃ Particles, *Hittite Journal of Science and Engineering*, 10(4), 317-322.

Khan, T., Al₂O₃ seramik tozu katkılı poliüretan köpük çekirdekli sandviç plakların titreşim ve burkulma davranışları, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum

Kıratlı, S. Aslan, Z., 2018, Flexural behavior of graphene nanoplatelets reinforced cross-ply E-glass/epoxy laminated composite materials, *Cumhuriyet Science Journal*, 39(2), 531-542.

Megahed, M. Fathy, A. Morsy, D. Shehata, F., 2021, Mechanical performance of glass/epoxy composites enhanced by micro-and nanosized aluminum particles, *Journal of Industrial Textiles*, 51(1), 68-92.

Nayak, B.A. Prusty, R.K. Ray, B.C., 2020, Effect of nanosilica and nanoclay reinforcement on flexural and thermal properties of glass fiber/epoxy composites, *Materials Today: Proceedings*, 33, 5098-5102.

Nayak, R.K. Dash, A. Ray, B.C., 2014, Effect of epoxy modifiers (Al₂O₃/SiO₂/TiO₂) on mechanical performance of epoxy/glass fiber hybrid composites, *Procedia materials science*, 6, 1359-1364.

Paiva, J.M.F.D. Mayer, S. Rezende, M.C., 2005, Evaluation of mechanical properties of four different carbon/epoxy composites used in aeronautical field, *Materials Research*, 8, 91-97.

Shen, M.Y. Chang, T.Y. Hsieh, T.H. Li, Y.L. Chiang, C.L. Yang, H. Yip, M.C., 2013, Mechanical properties and tensile fatigue of graphene nanoplatelets reinforced polymer nanocomposites, *Journal of Nanomaterials*, 2013, 1-9.

Türkmen, İ. Köksal, N.S., 2012, Cam elyaf takviyeli polyester matrisli kompozit malzemelerde (CTP) elyaf tabaka sayısına bağlı mekanik özelliklerin ve darbe dayanımının incelenmesi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8 (2), 17 –30.

Ulus, H. Şahin, Ö.S. Avcı, A., 2015, Enhancement of flexural and shear properties of carbon fiber/epoxy hybrid nanocomposites by boron nitride nano particles and carbon nano tube modification, *Fibers and Polymers*, 16, 2627-2635.

Verma, R. Sharma, S. Kumar, D., 2017, Analysis of mechanical properties of aluminium based metal matrix composites reinforced with alumina and SiC, *International Journal of Engineering Research & Technology*, 6 (03), 454-459.

Xu, Y. Van Hoa, S., 2008, Mechanical properties of carbon fiber reinforced epoxy/clay nanocomposites, *Composites Science and Technology*, 68(3-4), 854-861.

Zhou, Y. Hosur, M. Jeelani, S. Mallick, P.K., 2012, Fabrication and characterization of carbon fiber reinforced clay/epoxy composite, *Journal of Materials Science*, 47, 5002-5012.

