



MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERDE
İLAVE OLARAK KULLANILAN PARÇACIKLARIN
GEOMETRİSİNİN KOMPOZİT MALZEMELERİN
FİZİKSEL VE MEKANİKSEL ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

DİLEK ASİ

**HAZİRAN 2018
UŞAK**

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

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERDE İLAVE OLARAK
KULLANILAN PARÇACIKLARIN GEOMETRİSİNİN KOMPOZİT
MALZEMELERİN FİZİKSEL VE MEKANİKSEL ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

DİLEK ASİ

HAZİRAN 2018

UŞAK

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

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERDE İLAVE OLARAK
KULLANILAN PARÇACIKLARIN GEOMETRİSİNİN KOMPOZİT
MALZEMELERİN FİZİKSEL VE MEKANİKSEL ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

DİLEK ASİ

UŞAK 2018

Dilek ASİ tarafından hazırlanan Polimer Matrisli Kompozit Malzemelerde İlave Olarak Kullanılan Parçacıkların Geometrisinin Kompozit Malzemelerin Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerine Etkisinin Araştırılması adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Halit GÜN
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Numan Behlül BEKTAŞ
Makine Mühendisliği, Pamukkale Üniversitesi



Prof. Dr. Halit GÜN
Makine Mühendisliği, Uşak Üniversitesi



Doç. Dr. Canan KANDİLLİ
Makine Mühendisliği, Uşak Üniversitesi



Doç. Dr. Yaser AÇIKBAŞ
Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği, Uşak Üniversitesi



Doç. Dr. Yusuf ARMAN
Makine Mühendisliği, Dokuz Eylül Üniversitesi



Tarih: 29/06/2018

Bu tez ile U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. İsa YEŞİLYURT
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yaptığımı bildiririm.

Dilek AŞI



**POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERDE İLAVE
OLARAK KULLANILAN PARÇACIKLARIN GEOMETRİSİNİN
KOMPOZİT MALZEMELERİN FİZİKSEL VE MEKANİKSEL
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

(Doktora Tezi)

Dilek ASİ

**UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2018**

ÖZET

Polimer matrisli kompozit malzemeler otomotiv, uçak, uzay, savunma, gıda, tekstil sanayi, spor malzemeleri gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Polimer matrisli kompozit malzemelerin dayanım değerlerini artırmak için genellikle takviye elemanı olarak cam, karbon ve aramid gibi elyaflar kullanılmaktadır. Bunun yanında polimer matris malzemelerinin özellikle eğilme dayanımı, rijitlik ve aşınma dayanımı gibi özelliklerinin düşük olmasından dolayı, polimer malzemeler farklı partiküllerle modifiye edilmektedir. Partikül takviyesi polimer malzemelerin fiziksel ve mekaniksel özelliklerini önemli oranda etkilemektedir. Bu çalışmada; cam elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit malzemelerde ilave parçacık olarak kullanılan Al_2O_3 - TiO_2 seramik tozlarının karışım oranlarının (üç farklı, Al_2O_3 - %3 TiO_2 , Al_2O_3 - %13 TiO_2 , Al_2O_3 -%40 TiO_2), boyutunun ve geometrisinin üretimi yapılan kompozit malzemelerin fiziksel ve mekaniksel özelliklerine etkisi incelenmiştir. Kompozit malzemelerin üretimi için, takviye olarak 270 gr/m^2 'lik cam elyaflı dokuma kumaşlar, matris malzemesi olarak Epikote Resin 828 epoksi reçine kullanılmıştır. Al_2O_3 - TiO_2 seramik tozları reçinenin içerisine % 0, %5, %10, %15 katkı oranlarında ilave edilmiştir. Kompozit malzemeler el yatırma yöntemi ile üretilmiştir. Numunelerin fiziksel özelliklerinden kalınlık, elyaf ağırlık oranı, yoğunluk, porozite değerleri ile mekaniksel özelliklerini belirlemek için çekme, eğme, kayma ve çentik darbe deneyleri yapılmıştır. Deneyler ilgili ASTM standartlarına göre yapılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre; cam elyaf

takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemelerin üretimi esnasında reçine matris içine ilave edilen seramik tozların karışım oranları, boyutları ve geometrileri üretilen kompozit malzemelerin fiziksel özelliklerini ve mekaniksel özelliklerini önemli oranda etkilediği tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 625.02.05

Anahtar Kelimeler : Kompozit malzeme, cam elyafı, epoksi reçine, fiziksel özellikler, mekaniksel özellikler.

Sayfa Adedi : 174

Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Halit GÜN

**THE INVESTIGATION OF THE EFFECT OF PARTICLE GEOMETRY ON
THE MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF POLYMER
MATRIX COMPOSITE MATERIALS FILLED PARTICLE**

(Ph. D. Thesis)

Dilek ASİ

**UNIVERSITY OF USAK
GRADUATE SCHOOL of NATURAL and APPLIED SCIENCES**

June 2018

ABSTRACT

Polymer matrix composite materials are widely used in many areas such as automotive, aircraft, space, defense, food, textile industry, sporting goods. Fibers such as glass, carbon and aramid are usually used as reinforcing elements to increase the strength values of polymer matrix composite materials. However, due to the low properties of the polymer matrix materials such as flexural strength, stiffness and wear resistance, the polymer materials are modified with different particles. Particle reinforcement significantly affects the physical and mechanical properties of polymer materials. In this study, an experimental study has been carried out to investigate the physical and mechanical properties of glass fibre reinforced epoxy composite filled with different form, size and proportions of Al_2O_3 - TiO_2 particles. For the production of composite materials, a commercially available plain-weave woven fabric with areal weight of the fabric is 270 g/m^2 was used as reinforcement material and the type of epoxy resin used in the matrix material was Epikote Resin 828. Al_2O_3 - TiO_2 particles were used by three different proportions (Al_2O_3 – wt.3% TiO_2 , Al_2O_3 – wt.13% TiO_2 , Al_2O_3 – wt.40% TiO_2), size and geometry. The weight fractions of the filler in the matrix were 0, 5, 10, and 15%. Composites were fabricated in conventional hand lay-up technique.

The physical (thickness, density fiber weight ratio, porosity) and mechanical (tensile, flexural, shear and impact) properties of composites were determined as per ASTM

standards. According to the results of the study; it has been found that the particle weight fractions, sizes and geometries of the ceramic powders added into the resin matrix during the production of glass fiber reinforced epoxy matrix composite materials significantly affect the physical and mechanical properties of the composite materials produced.

Science Code : 625 . 02. 05

Key Words : Composite material, glass fibre, epoxy resin, physical properties, mechanical properties.

Page Number : 174

Adviser : Prof. Dr. Halit GÜN

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın planlanması, araştırılması, yürütülmesi ve oluşumu aşamalarında ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendirmemi sağlayan sayın Prof. Dr. Halit GÜN'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince bakış açımı zenginleştirmemi sağlayan değerli görüş ve önerilerinden son derece faydalandığım değerli tez izleme komitesi üyeleri sayın Doç Dr. Canan KANDİLLİ ve sayın Doç Dr. Yaser AÇIKBAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

2014/TP011 numaralı proje ile bu tez çalışmamı destekleyen Uşak Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (UBAP) teşekkür ederim.

Tez çalışmamda deneylerin yapımı esnasında bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Arş Gör. Önder YEŞİL'e teşekkür ederim. Tez çalışmamda yaptığım deneylerde laboratuvarlarından son derece faydalandığım Pull Tech firmasından sayın Mehmet ÇAKIN 'a, yine tezim için gerekli ölçümler için laboratuvar imkanlarını kullanmamı sağlayan Özgüneşler Geri Dönüşüm firmasından sayın Mehmet KARAGÖZ'e teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca bilgi ve deneyimlerinden her daim faydalandığım, tıkanıp gittiğim noktalarda bana yol gösteren iyi bir iş arkadaşı ve aile hayatımda da mükemmel bir eş ve baba olan hayatımda olduğu için her zaman şükrettiğim sevgili eşim sayın Prof. Dr. Osman ASİ'ye ve tez çalışmamla uğraşırken bazı zamanlar kendilerini ihmal etmeme rağmen anlayış gösteren sevgili oğullarım Melih ve Fatih' e de teşekkür ederim. Son olarak bugünlere gelene kadar hiçbir şeyi benden esirgemeyen olumlu düşünceleri ile beni destekleyen, yönlendiren ve her zaman yanımda olan hayatımda oldukları için kendimi her zaman çok şanslı hissettiğim değerli ve çok sevgili babam Hüseyin IŞIK, annem Medine IŞIK ve ağabeylerim Turgay IŞIK ve Mustafa IŞIK'a da teşekkürü bir borç bilirim.

Dilek ASİ

(Makine Mühendisi, Öğr.Gör.)

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|---|-------|
| ÖZET..... | iii |
| ABSTRACT..... | v |
| TEŞEKKÜR..... | vii |
| İÇİNDEKİLER..... | viii |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ..... | x |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ..... | xi |
| RESİMLERİN LİSTESİ..... | xiii |
| SİMGELER ve KISALTMALAR..... | xviii |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI ve TEZ ÇALIŞMASININ AMACI..... | 3 |
| 2.1. Literatür Araştırması..... | 3 |
| 2.2. Tez Çalışmasının Amacı ve Kapsamı..... | 11 |
| 3. KOMPOZİT MALZEMELER ve ÜRETİM YÖNTEMLERİ..... | 13 |
| 3.1. Kompozit Malzeme..... | 13 |
| 3.2. Kompozit Malzeme Bileşenleri..... | 17 |
| 3.2.1. Matris..... | 17 |
| 3.2.1.1. Metal Matrisli Kompozitler..... | 18 |
| 3.2.1.2. Seramik Matrisli Kompozitler..... | 19 |
| 3.2.1.3. Polimer Matrisli Kompozitler..... | 19 |
| 3.2.2. Takviye Elemanları..... | 24 |
| 3.3. Kompozit Malzemelerin Takviye Elemanlarının Şekil veya Yerleştirilme Biçimine Göre Sınıflandırılması..... | 28 |
| 3.3.1. Elyaf Takviyeli Kompozitler..... | 29 |
| 3.3.2. Parçacık Takviyeli Kompozitler..... | 30 |
| 3.3.3. Tabakalı Kompozitler..... | 30 |
| 3.3.4. Karma(Hibrit) Kompozitler..... | 31 |
| 3.4. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri..... | 31 |
| 3.4.1. Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri..... | 32 |
| 3.4.2. Polimer Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri..... | 32 |

| | |
|---|-----|
| 3.4.2.1. El Yatırma Yöntemi..... | 33 |
| 3.4.2.2. Püskürtme Yöntemi..... | 34 |
| 3.4.2.3. Reçine Transfer Kalıplama Yöntemi..... | 35 |
| 3.4.2.4. Helisel Sarma Yöntemi..... | 35 |
| 3.4.2.5. Vakum Torbalama..... | 36 |
| 3.4.2.6. Pultrüzyon Yöntemi..... | 37 |
| 4. MATERYAL ve METOD..... | 38 |
| 4.1. Cam Elyaf Takviyeli Polimer Matrisli İlave Parçacıklı Kompozit Malzemelerin Üretimi..... | 38 |
| 4.2. Üretilen Cam Elyaf Takviyeli Polimer Matrisli İlave Parçacıklı Kompozit Malzemelere Uygulanan Deneyler..... | 49 |
| 4.3. Üretilen Cam Elyaf Takviyeli Polimer Matrisli İlave Parçacıklı Kompozitlere Uygulanacak Olan Deneyler İçin Numunelerin Hazırlanması..... | 50 |
| 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR ve BULGULAR..... | 53 |
| 5.1. Kalsinasyon Deneyi..... | 53 |
| 5.2. Yoğunluk Ölçümü..... | 59 |
| 5.3. Kompozit Malzemelerin Porozite Değerlerinin Belirlenmesi | 62 |
| 5.4. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) Mikroskop İncelemesi..... | 66 |
| 5.4. 1. Seramik Tozların SEM Görüntüsünün Alınması..... | 67 |
| 5.5. Çekme Deneyi..... | 73 |
| 5.6. Eğilme Deneyi..... | 84 |
| 5.7. Çentik Darbe Deneyi..... | 98 |
| 5.8. Kayma Deneyi..... | 104 |
| 5.9. Çekme, Eğilme, Çentik Darbe Deney Numunelerinin Kırılma Yüzeylerinin SEM Görüntüsünün Alınması..... | 109 |
| 6. SONUÇ ve ÖNERİLER..... | 134 |
| 6.1. Sonuçlar..... | 134 |
| 6.2. Öneriler..... | 140 |
| KAYNAKLAR..... | 141 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 152 |
| YAYINLAR..... | 153 |

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| Çizelge | Sayfa |
|---|-------|
| Çizelge 4.1. Dolgu malzemesi olarak kullanılacak olan seramik tozlar..... | 39 |
| Çizelge 4.2. Kompozit malzemelere uygulanan deney türleri ve standartları | 49 |
| Çizelge 5.1. Kalsinasyon deneyi sonuçları..... | 56 |
| Çizelge 5.2. Yoğunluk deneyi sonuçları..... | 60 |
| Çizelge 5.3. Epoksi reçine, cam elyafı ve seramik tozların firmadan alınan yoğunluk değerleri..... | 63 |
| Çizelge 5.4. Kompozit malzemelerin porozite değerleri | 64 |
| Çizelge 5.5. Çekme deneyi sonucunda elde edilen maksimum çekme dayanımı sonuçları..... | 78 |
| Çizelge 5.6. Çekme deneyi elastisite modülü sonuçları..... | 81 |
| Çizelge 5.7. Kompozit malzemelerin eğilme dayanımı değerleri | 89 |
| Çizelge 5.8. Eğilme deneyi eğilme modülü sonuçları..... | 92 |
| Çizelge 5.9. Eğilme deneyi çökme miktarı sonuçları..... | 95 |
| Çizelge 5.10. Çentik darbe deneyi çentik darbe tokluğu sonuçları..... | 101 |
| Çizelge 5.11. Kompozit malzemelerin kayma gerilmesi değerleri | 107 |
| Çizelge 5.12.Çekme, eğilme, kayma, çentik darbe, yoğunluk, porozite, kalsinasyon deneyleri sonucunda elde edilen değerler | 135 |

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil | Sayfa |
|--|-------|
| Şekil 2.1. Epoksi malzemelerde silica partikül takviyesinin çekme dayanımına etkisi | 5 |
| Şekil.2.2. Cam partikül takviyeli PP malzemede meydana gelen porozite | 5 |
| Şekil.2.3. Epoksi/ Al ₂ O ₃ nanomalzemede partikül oranına göre charpy darbe enerjisinin değişimi | 7 |
| Şekil 3.1. Kompozit malzemelerin bazı uçak, helicopter ve otomobillerdeki kullanım alanları a)Yolcu uçağı, b) Helikopter, c)Otomobil..... | 16 |
| Şekil 3.2. Cam elyaf üretiminin sistematiğı | 26 |
| Şekil 3.3. El yatırma yöntemi..... | 34 |
| Şekil 3.4. Püskürtme yöntemi..... | 34 |
| Şekil 3.5. Reçine transfer kalıplama yöntemi..... | 35 |
| Şekil 3.6. Helisel sarma yöntemi..... | 36 |
| Şekil 3.7. Vakum torbalama yöntemi. | 36 |
| Şekil 3.8. Pultrüzyon yöntemi..... | 37 |
| Şekil 5.1.Üretilen kompozit malzemelerin elyaf ağırlık oranı değerleri(%). | 57 |
| Şekil 5.2. Üretilen kompozit malzemelerin yoğunluk değerleri..... | 61 |
| Şekil 5.3.Üretilen kompozit malzemelerin porozite oranı değerleri (%)..... | 65 |
| Şekil 5.4. Çekme deney numunesi..... | 74 |
| Şekil 5.5. Çekme deneyi sonucunda dokuz farklı numune türü için kuvvet-uzama garfiklerine örnekler..... | 77 |
| Şekil 5.6. Üretilen numunelerin maksimum çekme dayanımı değerleri | 79 |
| Şekil 5.7. Üretilen numunelerin çekme deneyi elastisite modülü değerleri..... | 82 |
| Şekil 5.8. Eğilme deney numunesi..... | 85 |
| Şekil 5.9. Eğilme deneyi sonucunda elde edilen kuvvet-uzama diyagramları..... | 88 |
| Şekil 5.10. Üretilen numunelerin eğilme deneyi eğilme dayanımı değerleri..... | 90 |
| Şekil 5.11. Üretilen numunelerin eğilme deneyi eğilme modülü değerleri..... | 93 |
| Şekil 5.12. Üretilen numunelerin eğilmedeki çökme miktarı değerleri..... | 96 |
| Şekil 5.13. Çentik darbe deney numunesi..... | 98 |
| Şekil 5.14. Üretilen numunelerin çentik darbe deneyi çentik darbe tokluğu değerleri | 102 |

| | |
|--|-----|
| Şekil 5.15. Kayma deney numunesi..... | 104 |
| Şekil 5.16 Üretilen numunelerin kayma deneyi kayma gerilmesi değerleri | 108 |



RESİMLERİN LİSTESİ

| Resim | Sayfa |
|---|-------|
| Resim 3.1. Kompozit malzemelerin kullanım alanlarına bazı örnekler a)Yolcu uçağı, b)Askeri helicopter , c)Uzay gemisi, d)Yarış otomobili, e)Yarış bisikleti, f) Yat..... | 15 |
| Resim 4.1. Dokuma cam elyaf kumaşlarının genel görünüşleri a-) Cam elyaf takviye malzemesinin dokuma şekli b-) Cam elyaf takviye malzemesinin kenar kısımlarının görünüşü..... | 38 |
| Resim 4.2. Farklı üretim yöntemleri ile üretilen seramik tozların SEM mikroskobu görüntüleri..... | 40 |
| Resim 4.3. İlave parçacık olarak kullanılacak seramik tozların ambalaj görüntüsü.... | 40 |
| Resim 4.4. İlave parçacık olarak kullanılacak seramik tozların görüntüsü a) Amdry 6228, b) Amdry 6200, c) GTV 40.30.0, d) GTV 40.31.1, e) GTV 40.01.2, f) GTV 40.31.0, g) Metco 130 SF, h) Metco 131 VF..... | 41 |
| Resim 4.5. Tozların hassas terazide tartılması..... | 42 |
| Resim 4.6. Hazırlanan reçine ve seramik tozun mekanik karıştırıcı ile karıştırılması.. | 43 |
| Resim 4.7. Kompozit malzemenin el yatırma yöntemi ile imal edilmesi..... | 43 |
| Resim 4.8. Kompozit malzemeye reçine sürülmesi..... | 44 |
| Resim 4.9. Kompozit malzemelerin prese konulmadan önceki görünüşleri..... | 44 |
| Resim 4.10. Kompozit malzemenin prese yerleştirilmesi..... | 45 |
| Resim 4.11. Kompozit malzemenin presten çıkarılması..... | 45 |
| Resim 4.12. Kompozit malzemenin presten çıkarıldıktan sonraki hali..... | 46 |
| Resim 4.13. Kompozit malzemenin kenarlarının kesilmesinde kullanılan testere..... | 46 |
| Resim 4.14. Kompozit malzemenin kenarlarının istenilen boyutlara getirilmesi..... | 47 |
| Resim 4.15. Üretilen cam elyaf takviyeli polimer matrisli ilave parçacıklı kompozit malzeme plakalarının genel görünüşü a-) Katkısız b) Grup A c) Grup B d) Grup C e) Grup D f) Grup E g) Grup F h) Grup G ı) Grup H..... | 48 |
| Resim 4.16. Çekme, eğilme, çentik darbe ve kayma numunelerinin genel görüntüsü | 50 |
| Resim 4.17. Çekme, kayma, eğilme ve çentik darbe deney numunelerinin genel görünümü..... | 50 |
| Resim 4.18. Çekme deney numuneleri..... | 51 |

| | |
|---|----|
| Resim 4.19. Kayma deney numuneleri..... | 51 |
| Resim 4.20. Eğilme deney numuneleri..... | 52 |
| Resim 4.21. Çentik darbe deney numuneleri..... | 52 |
| Resim 5.1. Kalsinasyon deneyi öncesi hazırlık işlemleri a) Boş krozenin hassas terazide tartılması, b) Boş kroze ve numunenin kül fırınına girmeden önceki hasas terazide tartılması, c) Kül fırınının genel görüntüsü, d) Kül fırınının çeker ocakla birlikte görüntüsü..... | 54 |
| Resim 5.2. Kalsinasyon deneyi esnasındaki görüntüler. a) Deney numunelerinin kül fırınına yerleştirmiş hali, b) Deney numunelerinin kül fırınından çıktıktan sonraki görüntüleri, c) Kül fırınından çıkan numune ve krozenin oda sıcaklığına geldikten sonra hasas terazide tartılması, d) Kül fırınından çıkan numunenin makro görüntüsü..... | 55 |
| Resim 5.3. Numunelerin yoğunluklarının yoğunluk ölçüm cihazında ölçümü. a) Numunenin havadaki ağırlığı, b) Numunenin saf su içerisindeki ağırlığı, c) Numunenin ölçülen yoğunluğu..... | 59 |
| Resim 5.4. SEM mikroskobunun genel görünüşü..... | 66 |
| Resim 5.5. Seramik tozlarının SEM mikroskobunda görüntü alınacak şekilde hazırlanması..... | 67 |
| Resim 5.6. Amdry 6200 SEM Görüntüleri..... | 68 |
| Resim 5.7. GTV 40.01.2 SEM Görüntüleri..... | 68 |
| Resim 5.8. Amdry 6228 SEM görüntüleri..... | 69 |
| Resim 5.9. Metco 130 SF SEM görüntüleri..... | 69 |
| Resim 5.10. GTV 40.30.0 SEM görüntüleri..... | 70 |
| Resim 5.11. GTV 40.31.0 SEM görüntüleri..... | 70 |
| Resim 5.12. GTV 40.31.1 SEM görüntüleri..... | 71 |
| Resim 5.13. Metco 131 VF SEM görüntüleri..... | 71 |
| Resim 5.14. Örnek çekme deney numunesi..... | 74 |
| Resim 5.15. Çekme deney cihazının genel görünümü..... | 75 |
| Resim 5.16. Çekme deneyi uygulanan deney numunelerinden bazılarının fotoğrafları | 75 |
| Resim 5.17. Örnek eğilme deneyi numunesi..... | 85 |
| Resim 5.18. Eğilme deney cihazının genel görünümü..... | 86 |

| | |
|---|-----|
| Resim 5.19. Üç noktadan eğilme uygulanan deney numunelerinden bazılarının deney esnasındaki fotoğrafları..... | 86 |
| Resim 5.20. Çentik darbe deneyi ve kayma deneyi numunelerine istenilen derinlikte çentik açmak için kullanılan makine..... | 97 |
| Resim 5.21. Örnek çentik darbe deney numunesi..... | 98 |
| Resim 5.22. Çentik darbe deney cihazının genel görünümü..... | 100 |
| Resim 5.23. Örnek kayma deney numunesi..... | 104 |
| Resim 5.24. Kayma deneyi yapılan çekme cihazının genel görünümü..... | 105 |
| Resim 5.25. Kayma deneyinin yapılması için çekme deney cihazına bağlanan kayma deneyi aparatlarının fotoğrafı..... | 105 |
| Resim 5.26. Kayma deneyi uygulanan deney numunelerinden bazılarının deney esnasındaki fotoğrafları..... | 106 |
| Resim 5.27. Çekme, eğilme, çentik darbe deneyi numunelerinin kırılma yüzeylerinin SEM mikroskobunda görüntüsünün alınabilmesi için yüzeylerinin karbon kaplanmak üzere hazırlanarak cihaza yerleştirilmesi..... | 110 |
| Resim 5.28. Katkısız çekme deney numunesinin deney öncesi ve sonrasındaki görünüşleri | |
| a-) Katkısız çekme deney numunesi görüntüsü | |
| b-) Katkısız çekme deney numunesinin deney sonrası görüntüsü | |
| c-) Katkısız çekme deney numunesinin kırılma yüzeylerinin görüntüsü..... | 110 |
| Resim 5.29. Katkısız çekme deney numunesi kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri.... | 111 |
| Resim 5.30. Grup D çekme deney numunesinin deney öncesi ve sonrasındaki görünüşleri | |
| a-) Grup D çekme deney numunesi görüntüsü | |
| b-) Grup D çekme deney numunesi deney sonrası görüntüsü | |
| c-) Grup D çekme deney numunesi kırılma yüzeylerinin görüntüsü..... | 112 |
| Resim 5.31. Grup D çekme deney numunesi kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri..... | 113 |
| Resim 5.32. Grup G Çekme deney numunesinin deney öncesi ve sonrasındaki görünüşleri | |
| a) Grup G çekme deney numunesi görüntüsü | |
| b) Grup G çekme deney numunesi deney sonrası görüntüsü | |
| c) Grup G çekme deney numunesi kırılma yüzeylerinin görüntüsü..... | 114 |

| | |
|---|-----|
| Resim 5.33. Grup G çekme deney numunesi kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri..... | 115 |
| Resim 5.34. Grup H Çekme deney numunesinin deney öncesi ve sonrasındaki görünüşleri | |
| a-) Grup H çekme deney numunesi görüntüsü | |
| b-) Grup H çekme deney numunesi deney sonrası görüntüsü | |
| c-) Grup H çekme deney numunesi kırılma yüzeylerinin görüntüsü..... | 116 |
| Resim 5.35. Grup H çekme deney numunesi kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri..... | 117 |
| Resim 5.36. Katkısız eğilme deney numunesinin deney öncesi ve sonrasındaki görünüşleri | |
| a-) Katkısız eğilme deney numunesi görüntüsü | |
| b-) Katkısız eğilme deney numunesi deney sonrası görüntüsü | |
| c-) Katkısız eğilme deney numunesi kırılma yüzeylerinin görüntüsü..... | 118 |
| Resim 5.37. Katkısız eğilme deney numunesi kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri..... | 119 |
| Resim 5.38. Grup D eğilme deney numunesinin deney öncesi ve sonrasındaki görünüşleri | |
| a-) Grup D eğilme deney numunesi görüntüsü | |
| b-) Grup D eğilme deney numunesi deney sonrası görüntüsü | |
| c-) Grup D eğilme deney numunesi kırılma yüzeylerinin görüntüsü..... | 120 |
| Resim 5.39. Grup D eğilme deney numunesi kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri..... | 121 |
| Resim 5.40. Grup G eğilme deney numunesinin deney öncesi ve sonrasındaki görünüşleri | |
| a-) Grup G eğilme deney numunesi görüntüsü | |
| b-) Grup G eğilme deney numunesi deney sonrası görüntüsü | |
| c-) Grup G eğilme deney numunesi kırılma yüzeylerini görüntüsü..... | 122 |
| Resim 5.41. Grup G eğilme deney numunesi kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri..... | 123 |
| Resim 5.42. Grup H eğilme deney numunesinin deney öncesi ve sonrasındaki görünüşleri | |
| a-) Grup H eğilme deney numunesi görüntüsü | |
| b-) Grup H eğilme deney numunesi deney sonrası görüntüsü | |
| c-) Grup H eğilme deney numunesi kırılma yüzeylerinin görüntüsü..... | 124 |
| Resim 5.43. Grup H eğilme deney numunesi kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri..... | 125 |

| | |
|--|-----|
| Resim 5.44. Katkısız çentik darbe deney numunesinin deney öncesi ve sonrasındaki görünüşleri | |
| a-) Katkısız çentik darbe deney numunesi görüntüsü | |
| b-) Katkısız çentik darbe deney numunesi deney sonrası görüntüsü | |
| c-) Katkısız çentik darbe deney numunesi kırılma yüzeylerinin görüntüsü..... | 126 |
| Resim 5.45. Katkısız çentik darbe deney numunesi kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri..... | 127 |
| Resim 5.46. Grup D çentik darbe deney numunesinin deney öncesi ve sonrasındaki görünüşleri | |
| a-) Grup D çentik darbe deney numunesi görüntüsü | |
| b-) Grup D çentik darbe deney numunesi deney sonrası görüntüsü | |
| c-) Grup D çentik darbe deney numunesi kırılma yüzeylerinin görüntüsü..... | 128 |
| Resim 5.47. Grup D çentik darbe numunesi kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri..... | 129 |
| Resim 5.48. Grup G çentik darbe deney numunesinin deney öncesi ve sonrasındaki görünüşleri | |
| a-) Grup G çentik darbe deney numunesi görüntüsü | |
| b-) Grup G çentik darbe deney numunesi deney sonrası görüntüsü | |
| c-) Grup G çentik darbe deney numunesi kırılma yüzeylerinin görüntüsü..... | 130 |
| Resim5.49. Grup G çentik darbe deney numunesi kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri..... | 131 |
| Resim 5.50. Grup H çentik darbe deney numunesinin deney öncesi ve sonrasındaki görünüşleri | |
| a-) Grup H çentik darbe deney numunesi görüntüsü | |
| b-) Grup H çentik darbe deney numunesi deney sonrası görüntüsü | |
| c-) Grup H çentik darbe deney numunesi kırılma yüzeylerinin görüntüsü..... | 132 |
| Resim 5.51. Grup H çentik darbe deney numunesi kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri..... | 133 |

SİMGELER ve KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

| Simgeler | Açıklama |
|---------------------------------|----------------------------|
| V | Porozitenin hacimsel oranı |
| F | Kuvvet |
| σ | Gerilme |
| ϵ | Birim uzama |
| E | Elastisite modülü |
| σ_{fs} | Eğilme gerilmesi |
| E_B | Eğilme modülü |
| KV | Çentik darbe işi |
| S_0 | Kesit alanı |
| a_k | Kırılma tokluğu |
| τ | Kayma gerilmesi |
| m_f | Fiber kütle oranı |
| ρ | Yoğunluk |

| Kısaltmalar | Açıklama |
|--------------------|--|
| UV | Ultraviyole |
| MMK | Metal matrisli kompozit |
| CMK | Seramik matrisli kompozit |
| PMK | Polimer matrisli kompozit |
| ASTM | American Society for Testing and Materials |
| CTP | Cam elyaf takviyeli polimer |
| TSE | Türk Standartları Enstitüsü |
| EN | European Standards |
| SEM | Scanning Electron Microscope |

1. GİRİŞ

Kompozit malzeme; farklı fiziksel, kimyasal ve mekaniksel özelliklere sahip iki veya daha fazla malzemenin birleştirilmesi ile meydana gelen yeni ve kendini oluşturan malzemelerden daha iyi özelliklere sahip olan malzeme olarak adlandırılabilir. Kompozit malzemeler otomotiv, uzay ve havacılık, savunma, gıda, tekstil sanayi, spor malzemeleri gibi birçok alanda artık yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompozit malzeme sektörü dünyada ve ülkemizde sürekli artan ivme ile kullanım alanı artan bir sektördür. Özellikle kompozit malzemeyi oluşturan matris malzemeleri ile takviye elemanı olan elyaflar üzerinde yapılan yenilikler sayesinde yeni kombinasyonlara sahip kompozit malzemeler üretilerek diğer konvansiyonel malzemelere göre fiziksel, mekaniksel ve kimyasal özellikleri daha yüksek olan yeni malzemeler ortaya çıkmaktadır. Polimer matrisli kompozit malzemeler kompozit malzemeler içinde en yaygın kullanılan türlerindedir. Kompozit malzemelerin kullanım yerlerine göre sahip olması istenilen birçok özellik vardır ve bu özelliklerin önceden bilinmesi gereklidir. Polimer matrisli kompozit malzemelerin dayanım değerlerini artırmak için genellikle takviye elemanı olarak cam, karbon ve aramid gibi elyaflar kullanılmaktadır. Bunun yanında polimer matris malzemelerinin özellikle eğilme dayanımı, rijitlik ve aşınma dayanımı gibi özelliklerinin düşük olmasından dolayı inorganik partiküllerle modifiye edilmektedir. Partikül takviyesi polimer malzemelerin fiziksel ve mekaniksel özelliklerini önemli oranda etkilemektedir.

Daha önceki yapılan çalışmalarda; polimer matris malzemeye farklı partiküller ilave edildiğinde malzemenin mekaniksel ve fiziksel özelliklerinin nasıl değiştiği ile ilgili pek çok çalışma bulunmasına rağmen, kompozit malzemeler arasında en çok kullanılan tipi olan cam elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit malzemelere seramik tozları ilave edildiğinde, ilave edilen seramik tozların karışım oranlarının, boyutunun ve geometrilerinin üretilen kompozit malzemenin çekme dayanımı ve özellikle darbe dayanımına etkisinin nasıl olduğu ile ilgili çok az çalışma bulunmaktadır. Bu nedenle, bu çalışma ile cam elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit malzemelerde ilave parçacık olarak kullanılan Al_2O_3 - TiO_2 seramik tozlarının karışım oranlarının, boyutunun ve geometrisinin üretimi yapılan malzemenin darbe dayanımı özelliklerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

Bu tez çalışması şu şekilde organize edilmiştir; Bölüm 1’de kompozit malzemeler hakkında ve doktora tez çalışmasının amacı hakkında genel bilgilendirmeler yapılmıştır. Bölüm 2’de partikül takviyeli kompozit malzemelerin fiziksel, kimyasal ve mekaniksel özellikleri hakkında literatürde yer alan çalışmalar incelenmiştir. Bölüm 3’de kompozit malzemeler hakkında genel bilgiler verilmiştir. Bölüm 4’de çalışma kapsamında tasarlanan kompozit malzemelerin üretimi, özelliklerinin belirlenmesi için uygulanan test yöntemleri hakkında bilgiler verilmiştir. Bölüm 5’de üretimi yapılan kompozit malzemelerin fiziksel ve mekaniksel özelliklerini belirlemek için ilgili standartlara göre hazırlanmış numunelerde testler yapılmış ve elde edilen bulgular verilmiştir. Bölüm 6’da ise, yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen değerlerin değerlendirilmesi ve polimer matrisli kompozit malzemelerde seramik toz partiküllerinin ilavesinin üretilen kompozit malzemelerin özelliklerini nasıl etkilediği ile ilgili ortaya çıkan sonuçlar verilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI ve TEZ ÇALIŞMASININ AMACI

2.1. Literatür Araştırması

Polimer matrisli kompozit malzemeler otomotiv, uçak, uzay, savunma, gıda, tekstil sanayi, spor malzemeleri gibi birçok alanda artık yaygın olarak kullanılmaktadır [1-2]. Bu alanlarda kullanılan kompozit malzemelerin kullanım yerlerine göre sahip olması istenilen birçok özellik vardır ve bu özelliklerin önceden bilinmesi gereklidir. Polimer matrisli kompozit malzemelerin dayanım değerlerini artırmak için genellikle takviye elemanı olarak cam, karbon ve aramid gibi elyaflar kullanılmaktadır [1-2]. Bunun yanında polimer matris malzemelerinin özellikle eğilme dayanımı, rijitlik ve aşınma dayanımı gibi özelliklerinin düşük olmasından dolayı, farklı inorganik partiküllerle modifiye edilmektedir [3]. Literatürde, kompozit malzemelere ilave partiküller ilave edildiği zaman, parçacık oranlarının ya da parçacık boyutlarının malzemenin fiziksel ve mekaniksel özelliklerine etkilerini inceleyen pek çok çalışmalar bulunmaktadır [4-17]. Partikül takviyesi polimer malzemelerin fiziksel ve mekaniksel özelliklerini önemli oranda etkilemektedir. Polimer malzemelere mikro ve nano boyutlarda belli oranlarda partikül takviyesi yapıldığı zaman genellikle malzemenin eğilme dayanımını, elastisite modülünü, rijitliğini ve aşınma dayanımını artırmaktadır [4]. Ancak partikül takviyeli polimer malzemenin dayanımı partiküller ile matris malzemesi arasındaki gerilme transferine güçlü bir şekilde bağlıdır [4]. İyi bağlanmış partiküller uygulanan gerilmeleri matris malzemesinden partiküllere verimli bir şekilde transfer edilmesini sağlar ve bu durumda polimer malzemenin dayanımını artırır [18-23]. Ancak, zayıf bağlanmış mikro boyuttaki partiküller malzemenin dayanım değerini düşürmektedir [24-26]. İnorganik partiküller termoset reçine polimer malzemelerin tokluk değerlerini artırmaktadır [27-28]. Rijit partikül takviyeli termoplastik malzemelerin kırılma tokluk değerleri önemli oranda düşmektedir. Ancak literatürde bazı polimer matris malzemelere rijit partiküllerin takviyesi malzemenin tokluk değerlerini ve darbe dayanımı değerlerini artırdığı gözlemlenmiştir [4].

Partikül takviyeli kompozit malzemelerin mekaniksel özellikleri partikül boyutu, partikül matris arayüzey bağına ve partikül miktarına önemli oranda bağlıdır [4]. Partikül boyutu azaldıkça kompozit malzemenin dayanım değerleri artmaktadır. Özellikle nano boyut takviyeli polimer matrisli kompozit malzemelerin dayanım değerleri önemli oranda olumlu olarak etkilenmektedir. Bazı polimer matrisli kompozit malzemelerde partikül takviyesinin artmasıyla belli orana kadar mekaniksel özellikler olumlu yönde etkilenirken, belli değerden sonraki partikül takviyesinde olumsuz olarak etkilenmektedir [4].

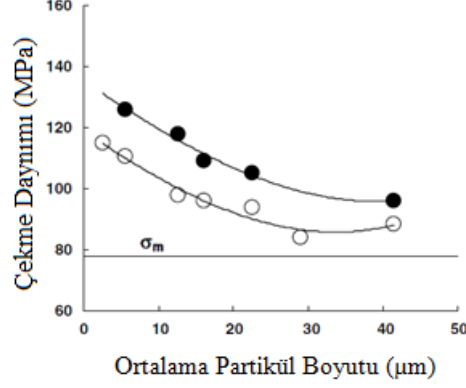
Polimer matrisli kompozit malzemelere mikro ve nano boyuttaki partiküllerin ilave edilmesi genellikle matris malzemesinin rijitliğini yükseltmektedir. Bunun nedeni; ilave edilen sert partiküllerin rijitliğinin matris malzemesinin rijitliğinden daha yüksek olmasından dolayıdır. Partikül boyutunun kompozit malzemenin rijitliğine etkisi çok düşük olmaktadır. Yapılan pek çok çalışmaya göre, partikül takviyeli kompozit malzemelerde partikül matris arayüzey bağının malzemenin elastisite modülüne etkisinin çok düşük olduğu şeklindedir [4].

Partikül takviyeli kompozit malzemelerde partikül miktarının artmasıyla kompozit malzemenin elastisite modülü yükselmektedir. Elastisite modülünün artmasının nedeni ile ilgili literatürde pek çok teoriksel çalışmalar bulunmaktadır [4].

Mikro ve nano boyuttaki partikül takviyeli kompozit malzemenin çekme dayanımı matris malzemesi ile dolgu malzemesi olan partikül arasındaki gerilme transferine önemli oranda bağlıdır. Genel olarak, partikül boyutu azaldıkça kompozit malzemenin dayanımı yükselmektedir [20]. Verilen bir partikül takviyesinde daha düşük partikül takviyesi daha fazla yüzey alanına sahiptir. Partikül takviyeli kompozit malzemelerde partikül takviyesinde yüzey alanının büyümesi ile dayanım değerinde yükseliş meydana gelmektedir. Ancak, partikül miktarı arttıkça dayanım değeri düşmektedir. Ayrıca, partikül boyutu arttıkça kompozit malzemenin dayanım değeri düşmektedir [4].

Elyaf takviyeli kompozit malzemelerde, arayüzey bağının çok önemi vardır. Bileşenler arasındaki adhezyon dayanımı kompozit malzemelerin dayanımını belirlemektedir [4]. Elastisite modülü bu durumdan pek fazla etkilenmez iken, kompozit malzemenin dayanımı ve tokluk değerleri adhezyon dayanımına önemli derecede bağlıdır.

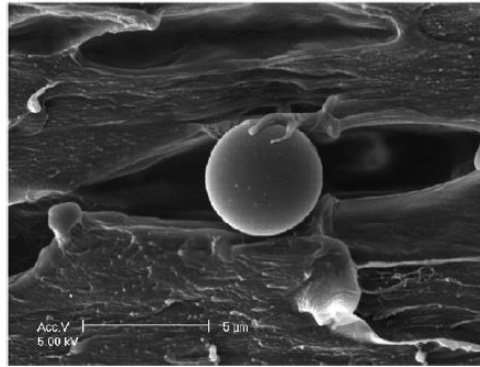
Aşağıdaki Şekil 2.1.'de epoksi/silica kompozit malzemelerde silica partikül boyutunun malzemenin çekme dayanımına etkisini göstermektedir. Partikül boyutu azaldıkça malzemenin çekme dayanımı artmaktadır [29].



Şekil 2.1. Epoksi malzemelerde silica partikül takviyesinin çekme dayanımına etkisi [29].

Partikül takviyesinde partikül ile matris malzeme arasında iyi bağ meydana gelmez ise partiküller herhangi bir yükü taşıyamazlar ve bu durumda partikül oranı arttıkça kompozit malzemenin dayanımı düşmektedir. Ayrıca partikül takviyeli kompozit malzemelerde partiküller ile matris malzemesi arasında iyi bir bağ olmadığında partiküller çevresinde boşluklar olmakta, keskin köşeler meydana gelmekte ve bunlarda ekstra gerilme yığılmasına neden olmaktadır [4].

Şekil 2.2'de partikül takviyeli bir malzeme mikroyapısında partikül çevresinde meydana gelen boşluk oluşumunu göstermektedir.



Şekil.2.2. Cam partikül takviyeli PP malzemede meydana gelen porozite [30].

Partikül takviyeli kompozit malzemelerde yüksek dayanım için partiküllerin yüzeyi

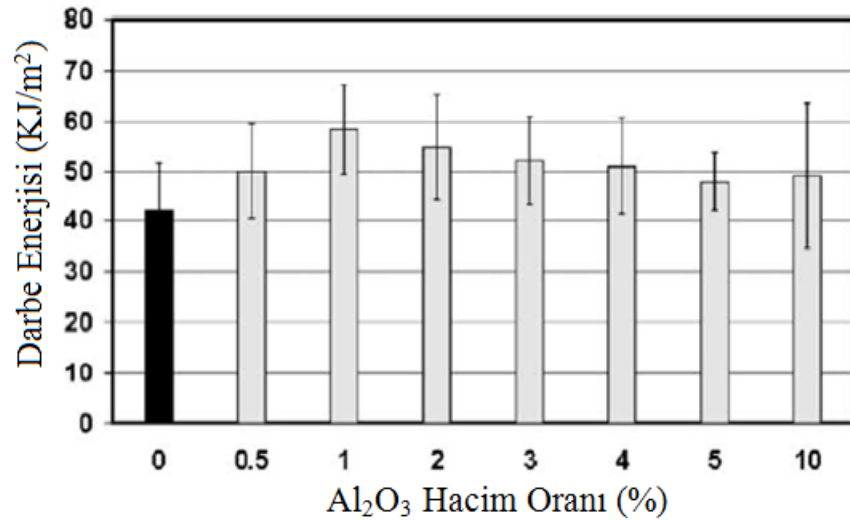
farklı işlemler ile modifiye edilerek partikül/matris adhezyonu iyileştirilmektedir [4]. Bu durumda kompozit malzemeler iyi partikül dağılımına, iyi polimer/partikül arayüzey adhezyon bağına ve verimli gerilme transferine sahip olmaktadır. Ayrıca partikül takviyeli kompozit malzemelerde partikül miktarı % 5'i geçtiğinde genellikle belli bölgelerde partikül agregasyonu meydana gelmektedir [4, 31]. Bu durum partikül miktarı arttıkça, kompozit malzemenin dayanımında azalmalara neden olmaktadır. Literatürde, partikül takviyeli kompozit malzemenin çekme dayanımı partikül miktarının belli bir değerine kadar olumlu etkilenirken belli bir değerden sonra olumsuz olarak etkilenmektedir. Partikül oranının etkisi hakkında değişik çalışma sonuçları bulunmaktadır [4]. Çünkü partikül takviyeli kompozit malzemelerin dayanım değerlerini partikül boyutu, partikül/matris arayüzey adhezyonu ve partikül miktarı önemli derecede etkilemektedir. Bu üç faktörün etkisini birbirinden ayırmak çok kolay değildir.

Sert partikül takviyeli kompozit malzemelerde çekme dayanımı iki durumdan önemli oranda etkilenmektedir. Dayanımı zayıflatan durum, partikül çevrelerinde meydana gelen gerilme yığılması durumudur. Dayanımı olumlu yönde etkileyen durum ise partiküllerin çatlak ilerlemesini engelleyen bariyer bölgeleri oluşturmasıdır. Bazı durumlarda dayanımı düşüren gerilme yığılmaları daha baskın olmakta ve bu durumda kompozit malzemenin dayanım değeri partikül takviyesiz matris malzemenin dayanım değerinden daha düşük olmaktadır [4, 34]. Partikül takviyeli kompozit malzemelerin çekme dayanımlarının belirlenmesi hakkında literatürde pek çok teorik yaklaşımlar bulunmaktadır. Partikül/ matris malzemeleri arasındaki bağların iyi olması durumu ve partikül geometrisine göre farklı teoriler ortaya sunulmuştur. Ancak, partikül takviyeli kompozit malzemelerin dayanım değerlerinin hesaplanmasında, partikül boyutu, partikül/matris arayüzey adhezyonu, partikül oranı ve tüm koşulların göz önüne alındığı tek bir teorik formül bulunmamaktadır.

Partikül takviyesi sünek matrisli malzemelerde kompozit malzemenin kırılma dayanımını (gevrekliğini) artırırken, gevrek matrisli malzemelerde kırılma dayanımını düşürmektedir. Partikül çevresinde mikro kaviteasyonlar ve mikro ayrışmalar kolaylıkla meydana gelmekte, bu durum ise dikkate değer ölçüde çatlaklara neden olmaktadır [4].

Partikül takviyeli kompozit malzemelerde partikül boyutu ve miktarı arttıkça genellikle kompozit malzemenin kırılma tokluğu değerleri yükselmektedir. Mikro boyutlu partikül takviyeli kompozit malzemelerde partikül boyutu arttıkça kompozit malzemenin kırılma tokluğu değerleri yükselmektedir [4].

Şekil 2.3.'de epoksi matris malzemesinin içine Al_2O_3 nano partikül takviyesi yapıldığında malzemenin Charpy darbe enerjisinin nasıl değiştiğini göstermektedir.



Şekil.2.3. Epoksi/ Al_2O_3 nanomalzemede partikül oranına göre Charpy darbe enerjisinin değişimi [35].

Genellikle partikül ile matris malzemesi arasındaki arayüzey adhezyonu kompozit malzemelerin kırılma tokluğu değerlerini önemli oranda etkilemektedir. Termoplastik matrisli kompozit malzemelerde güçlü adhezyon yüksek tokluk değerlerine neden olurken, termoset matrisli kompozit malzemelerde farklı hasar mekanizmaları nedeniyle çok önemli olmamaktadır [4, 36-40].

Polimer malzemelere ve elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit malzemelere partikül takviye edilmesiyle malzemelerin fiziksel, kimyasal ve mekaniksel davranışlarının nasıl etkilendiği ile ilgili pekçok çalışmalar bulunmaktadır. Aşağıda yapılan bu çalışmalara ve elde edilen sonuçlara ait literatür araştırmaları verilmiştir.

Singh ve arkadaşları [41] epoksi kompozit malzemeye mikro ve nano boyutta, farklı oranlarda TiO_2 ilave edildiği durumda malzemenin termo-mekaniksel davranışını incelemiştir. Çalışmalarının sonucunda mikro boyutta % 4 TiO_2 partikül takviyeli malzemelerin en yüksek çekme dayanımına ve kırılma tokluğu değerlerine sahip olduğunu bulmuşlardır. Bunun yanında nano boyutta % 6 TiO_2 partikül takviyeli malzemelerin en yüksek çekme dayanımına ve kırılma tokluğu değerlerine sahip olduğunu ve bu değerlerin makro partikül takviyeli olanlar ile takviyesiz epoksi malzemelerin değerinden daha yüksek olduğunu bulmuşlardır.

Yesgat ve Kitey [42] cam partikül takviyeli epoksi kompozit malzemelerdeki kırılma mekanizmasına partikül takviyesinin etkisini incelemek için yapmış oldukları araştırmada epoksi malzeme içine küresel şekilde ve öğütülmüş cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler üretimi yapılmıştır. Beş farklı oranda partikül takviyesi yapılmıştır. Üretimi yapılan kompozit malzemelerin eğilme ve kırılma tokluğu özellikleri belirlenmiştir. Çalışmalarında küresel partikül takviyeli kompozit malzemelerin en iyi eğilme dayanımı özelliklerine sahip olduklarını bulmuşlardır. Kompozit malzemelerde partikül takviyelerinin bulunduğu bölgede çatlakların ve ayrılmaların olduğunu gözlemlemiştir.

Shi ve arkadaşları [43] partikül takviyeli kompozit malzemelerin sürtünme ve aşınma performanslarını belirlemek için yapmış oldukları çalışmalarında epoksi malzeme içine farklı oranlarda nano boyutta Si_3N_4 partiküllerini takviye ederek kompozit malzemelerin üretimlerini yapmışlardır. Üretilen kompozit malzemelerin eğilme davranışı, Charpy çentik darbe dayanımlarını ve kuru sürtünme aşınma davranışlarını incelemiştir. Çalışmalarında Si_3N_4 partikül takviyeli kompozit malzemelerin eğilme dayanımı, eğilme modülü, Charpy çentik darbe dayanımının partikül takviyesi ile doğru orantılı bir şekilde arttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, epoksi malzeme içine Si_3N_4 partikül takviyesi kompozit malzemenin kuru sürtünme koşullarında sürtünme katsayısı ile aşınma oranını önemli oranda düşürdüğünü tespit etmişlerdir.

McGrath ve arkadaşları [44] alümina takviyeli epoksi kompozitlerin termal, mekaniksel ve kırılma özelliklerini incelemek için yaptıkları çalışmalarında, epoksi reçine içine farklı oranlarda, boyutlarda ve şekillerde Al_2O_3 partikül takviyesi ilave ederek kompozit malzemelerin üretimlerini yapmışlar ve malzemelerin termal, mekaniksel ve kırılma özelliklerini incelemiştir. Çalışmalarının sonucunda epoksi-partikül arasında zayıf bağlardan dolayı çatlakların meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca, kompozit malzeme içinde partikül takviye oranı yükseldikçe malzemenin kırılma tokluğu değerlerinin yükseldiğini tespit etmişlerdir.

Jerabek ve arkadaşları [45] partikül takviyeli polipropilen kompozit malzemelerin çekme zorlaması altındaki deformasyon durumundaki partikül matris ayrılmalarını ve mikro mekanizmalarını incelemek için yapmış oldukları çalışmalarında PP malzeme içine farklı oranlarda cam kürecik ve talk partiküllerini ilave ederek kompozit malzemelerin üretimlerini yapmışlar, çekme deneyi koşullarında malzemede meydana gelen deformasyonun mikro mekanizmasını tespit etmeye çalışmışlardır. Çalışmalarının sonucunda oda sıcaklığında yüksek çekme hızlarında bölgesel kaviteleşme mekanizmalarının (mikro porozite ve mikro çatlak) partikül ayrılmalarının ana hasar mekanizmalarını oluşturduğunu tespit etmişlerdir.

Dittane ve Pearson [46] silika partikül takviyeli epoksi reçine malzemenin tokluk mekanizmasına partikül boyut dağılımının etkisini incelemek için yapmış oldukları çalışmalarında epoksi malzeme içine beş farklı oranlarda mikro boyutta ve nano boyutta silika partikül ilave edilerek kompozit malzemelerin üretimlerini yapmışlar, daha sonra üretilen kompozit malzemelerin camsı geçiş sıcaklığı, termal genleşme katsayısı, elastisite modülü, akma dayanımı ve kırılma tokluğu değerlerinin nasıl değiştiğini araştırmışlardır. Mikro ve nano boyut takviyeli kompozit malzemelerin kırılma tokluğu değerlerinin arttığını bulmuşlardır. Tüm partikül takviyeli kompozit malzemelerin termal genleşme katsayılarının epoksi reçinenin termal genleşme katsayısından düşük olduğunu, bunun yanında partikül takviyeli kompozit malzemelerin elastisite modüllerinin daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Kompozit malzemelerin akma dayanımlarında önemli bir değişiklik meydana gelmemiştir.

Lauke [47] polimer kompozit malzemelerin kırılma tokluğuna partikül boyut dağılımının etkisini incelemek için yapmış olduğu teorik çalışmasında, partikül takviyeli kompozit malzemelerin kırılma tokluk değerlerinin ilave edilen partiküllerin boyut dağılımından önemli oranda etkilendiğini ve bu durumun nedeninin partikül ayrılmaları, matris kayma bandları ve plastik porozitenin neden olabileceğini belirtmektedir. Malzemelerin kırılma tokluk değerlerinin partikül çaplarının artmasıyla yükseldiğini belirtmektedirler.

Baptista ve arkadaşları [48] grafit partikül takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemelerin mekaniksel ve tribolojik özelliklerini incelemek için yapmış oldukları çalışmada yüksek miktarlarda (%0-30) grafit partikül takviyeli karbon elyafı epoksi matrisli kompozit malzemelerin mekaniksel ve tribolojik özelliklerini deneysel ve nümerik olarak incelemiştir. Çalışmalarında, partikül takviyesi arttıkça malzemelerin çekme elastisite modüllerinin, kayma ve eğilme modüllerinin yükseldiğini tespit etmişlerdir. Bunun yanında epoksi reçine partikül takviyesi arttıkça kompozit malzemenin çekme dayanımı azalmıştır. Yazarlar çalışmalarında ayrıca partikül takviyeli kompozit malzemelerin aşınma dayanımlarının daha yüksek olduğunu ve grafitin aşınma koşulları altında ilave yağlama özelliğini gösterdiğini belirtmektedirler.

Das ve Satapathy [49] çalışmalarında polipropilen (PP) malzemeye farklı oranlarda cenosphere partikül takviyesi yapıldığı durumdaki kompozit malzemelerin çekme, eğme ve darbe dayanımlarını incelemiştir. Çalışmalarının sonucunda, kompozit malzeme içindeki partikül takviyesi arttıkça malzemenin elastisite modülünde yükselme meydana gelirken, çekme dayanımı ile darbe dayanımında azalma meydana geldiğini belirlemiştir.

Sayer [50] çalışmasında SiC, Al₂O₃ ve B₄C partikül takviyeli cam elyaf – epoksi kompozit malzemelerin elastik özelliklerini ve burkulma zorlaması altındaki yük taşıma kapasitelerini deneysel ve nümerik olarak incelemiştir. Çalışmasının sonucunda, kompozit malzemelerin yük taşıma kapasitelerinin partikül ağırlık oranına, farklı partikül boyutuna ve partikül tipine bağımlı olduğunu tespit etmiştir.

2.2. Tez Çalışmasının Amacı ve Kapsamı

Polimer malzemeler ve polimer malzemeleri matris malzemesi olarak kullanılarak üretilen kompozit malzemeler günümüzde kullanım alanı en hızlı artan malzeme çeşitlerindedir. Polimer matrisli kompozit malzeme üretimi esnasında matris malzemeleri olarak genellikle epoksi, polyester, vinilester reçineler ile takviye malzemesi olarak cam, karbon ve aramid elyafları kullanılmaktadır. Üretilen kompozit malzemelerin kullanıldığı yerlerde istenilen ve ilgili standartlarda belirtilen minimum değerleri sağlaması gereken fiziksel, mekaniksel, termal ve tribolojik değerleri vardır. Bu nedenle, kompozit malzeme üretimi esnasında istenilen özellikleri elde edebilmek için matris malzemesi ile takviye malzemelerinin modifiye edilmesi gerekebilmektedir. Polimer matrisli kompozit malzemeler organik veya inorganic partiküller ile takviye edilerek bazı yerlerde üstün özelliklere sahip olması hedeflenmektedir. Polimer malzemelere partikül takviyesi genellikle, malzemenin rijitlik, eğilme dayanımı, aşınma dayanımı, sertlik, kırılma tokluğu, maliyet azaltma, proses sürecini geliştirme, yoğunluk, ısıl iletkenlik ve termal genleşme kontrolü gibi durumlarda tercih edilmektedir. Özellikle üretilen kompozit malzemelerin fiziksel, mekaniksel ve termal özelliklerinin iyileştirilmesi için Al_2O_3 , SiC, SiO_2 , $CaCO_3$, WC, ZrO_2 ve TiO_2 gibi inorganic seramik partiküller tercih edilmektedir.

Literatür çalışmaları incelendiğinde, polimer matris malzemeye farklı partiküller ilave edildiğinde malzemenin mekaniksel ve fiziksel özelliklerinin nasıl değiştiği ile ilgili pek çok çalışma bulunmasına rağmen, kompozit malzemeler arasında en çok kullanılan tip olan cam elyaf takviyeli epoksi reçine polimer matrisli kompozit malzemelere seramik tozları ilave edildiğinde, ilave edilen seramik tozların karışım oranlarının, boyutunun ve geometrilerinin üretilen kompozit malzemenin fiziksel ve mekaniksel özelliklerine etkisinin nasıl olduğu ile ilgili çok az çalışma bulunmaktadır. Bu nedenle, bu çalışma ile cam elyaf takviyeli epoksi polimer matrisli kompozit malzemelerde ilave parçacık olarak kullanılan Al_2O_3 - TiO_2 seramik tozlarının karışım oranlarının, boyutunun ve geometrisinin üretimi yapılan kompozit malzemelerin fiziksel ve mekaniksel özelliklerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

Bu çalışmada, yüksek kimyasal, mekaniksel ve termal özelliklere sahip olan termoset grubundan epoksi reçine matris malzemesi olarak seçilmiştir. Epoksi reçineler cam, karbon ve aramid elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit malzemelerin üretiminde

kullanılan en yaygın reçinedir. Takviye malzemesi olarak cam elyafından üretilmiş dokuma kumaşlar kullanılmıştır. Cam elyafının dokuma kumaş şeklinde kullanılması üretilen kompozit malzemelerin farklı yönlerdeki özelliklerinin de yüksek olmasını sağlamaktadır. Matris malzemeye partikül takviyesi olarak farklı boyutlarda ve geometrilere sahip olan Al_2O_3 - %3 TiO_2 , Al_2O_3 - %13 TiO_2 ve Al_2O_3 - %40 TiO_2 seramik toz partikülleri kullanılmıştır. Seramik tozlar matris malzemenin içine %5, %10, %15 olacak şekilde üç farklı ağırlık oranında ilave edilmiştir. Bu çalışmada Al_2O_3 - TiO_2 seramik tozlarının tercih edilmesinin nedeni; bu tozların yüksek aşınma dayanımı, yüksek dielektrik ve termal kararlılık, oksidasyon dayanımının istenildiği yerlerde yaygın olarak tercih edilmesinden dolayıdır. Al_2O_3 - TiO_2 seramik tozlarında TiO_2 oranı arttıkça seramik tozun sertliği azalırken tokluğu yükselmektedir. Üretilen kompozit malzemelerin tokluk değerlerine etkisini araştırmak için üç farklı oranda TiO_2 içeren Al_2O_3 - TiO_2 seramik tozları tercih edilmiştir. Tez çalışmasında epoksi reçine ilave edilen seramik partiküllerin geometrisinin malzemenin fiziksel ve mekaniksel özelliklerine etkisini incelemek için üretim yöntemlerinden kaynaklanan farklı geometrilere sahip seramik partiküller kullanılmıştır.

El yatırma yöntemi ile üretilen seramik toz ilaveli cam elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemelerden ilgili standartlara göre hazırlanmış numuneler ile malzemelerin yoğunluk, elyaf ağırlık oranı, porozite miktarları, çekme, eğme, kayma ve çentik darbe deneyleri ile mekaniksel özellikleri deneysel olarak incelenmiştir.

3. KOMPOZİT MALZEMELER ve ÜRETİM YÖNTEMLERİ

3.1. Kompozit Malzeme

Kompozit malzeme; en az iki ya da daha fazla sayıda aynı yada farklı gruptaki malzemelerin birbiri içerisinde çözünmeden, atomsal bir alışveriş olmadan, gözle görülebilecek düzeylerde bir araya getirilerek, bileşenlerindeki malzemelerin üstün özelliklerini bir malzeme toplatarak istenilen özelliklere sahip olan yeni bir malzeme türü olarak adlandırılır. Kompozit malzemelerin alışılmış diğer malzemelere göre pek çok üstün özellikleri bulunmaktadır [51-54].

Kompozit malzemelerin üstün özellikleri şunlardır;

1. Yüksek mukavemet/yoğunluk oranı
2. Yüksek rijitlik/yoğunluk oranı
3. Yüksek korozyon dayanımı
4. Yüksek aşınma direnci
5. Yüksek sıcaklık dayanımı
6. Yüksek kimyasal direnç
7. Hava koşulları ve UV ışınlarına karşı dayanım
8. İyi termal ve ısı iletkenliği
9. Çok iyi elektrik ve termik yalıtım özelliği
10. Hafiflik
11. İşlenebilirlik
12. Kalıcı renklendirme
13. Titreşim sönümlenme [51, 53-60].

Kompozit malzemelerin üretim metodları ve kullanılan malzemelere bağlı olarak avantajları yanında bir takım dezavantajları da bulunmaktadır.

Kompozit malzemelerin dezavantajları şunlardır;

1. Kompozit malzemelerin imal edilirken kullanılan üretim metodlarının kalitesiyle alakalı olarak her zaman ideal özellikler elde edilemez. Aynı kompozit malzeme için bile farklı mukavemet özellikleri gözlenebilir.

2. Üretiminin zor olması

3. İşlenme güçlüğü

4. Geri dönüşümünün olmaması

5. Maliyetinin yüksek olması [52-54-60-61].

Kompozit malzemelerin bahsedilen avantaj ve dez avantajları göz önünde bulundurulduğunda üstün özelliklerinin daha fazla olması dolayısıyla sanayide çok geniş bir yelpazede kullanım alanına sahiptir. Kompozitlerin uygulama alanları arasında inşaat ve yapı sektörü, savunma sanayi, otomotiv sektörü, havacılık ve uzay sanayi, denizcilik sektörü, enerji sektörü, spor malzemeleri imalatı, gıda ve tarım sektörü gibi daha birçok alan sayılabilir.

Kompozit malzemeler bu uygulama alanlarındaki sektörlerde çok farklı amaçlar için kullanılmaktadırlar. Örneğin; inşaat ve yapı sektöründe kompozit malzemeler; taşıyıcı konstrüksiyon, bina balkon korkuluğu, köprüler, prefabrik binalar, beton kalıpları, kapı ve pencere elemanları, mutfak ve banyo malzemeleri, çatı kaplama elemanları, gibi yerlerde kullanılırken; savunma sanayinde; balistik zırhlarda, koruyucu giysi ve başlık, çeşitli mühimmat parçaları, hava taşıtları ve hücum bot parçalarında kullanılmaktadır. Otomotiv sektöründe ise kompozit malzemeler; otomobillerin kaportalarında, otomobil lastiklerinde ve emniyet kemeri, hava yastığı gibi birçok iç aksanlarında çeşitli avantajlarından dolayı tercih edilmektedirler [62-63]. Diğer taraftan havacılık ve uzay sanayinde de uçaklar, helikopterler, uzay araçları ve uyduların gövde tasarımları, iç donanımları, yakıt tankları, roket gövdeleri ya da türbin kanatları gibi parçalarında kullanılmaktadırlar. Denizcilik sektöründe ise iskeleler, dubalar, şamandıralar ya da kano, tekne, flika gibi deniz taşıtlarında da kompozitler kullanılmaktadırlar.

Kompozitlerin bir diğer kullanım alanında enerji sektöründeki rüzgar türbinleri, izolatörler, doğalgaz servis kutuları, elektrik direkleri, antenler gibi örneklendirilebilir. Kompozit malzemeler hafif dayanıklı ve estetik görüntüsü dolayısıyla spor malzemelerinin yapımında dahi en çok tercih edilen malzemelerdir. Spor malzemeleri olarak kano, yarış bisikleti, kayak takımları, golf sopaları, tenis racketleri, sörf tahtaları, yüksek atlama sıırıkları, oltalar, ok gövdeleri, yüzme paletleri gibi sayısız alanda kullanılmaktadır. Son olarakta seralar, gıda depolama tankları, sulama kanalları, kültür balıkçılığı ekipmanlarında gıda ve tarım sektöründe kompozit malzemelerin kullanım alanları olarak örneklendirilebilir. Tabiki bahsedilen alanlar kompozit malzemelerin kullanıldığı bazı alanlardır bu örnekleri daha da artırmak mümkündür [59-63-64].



a)



b)



c)



d)



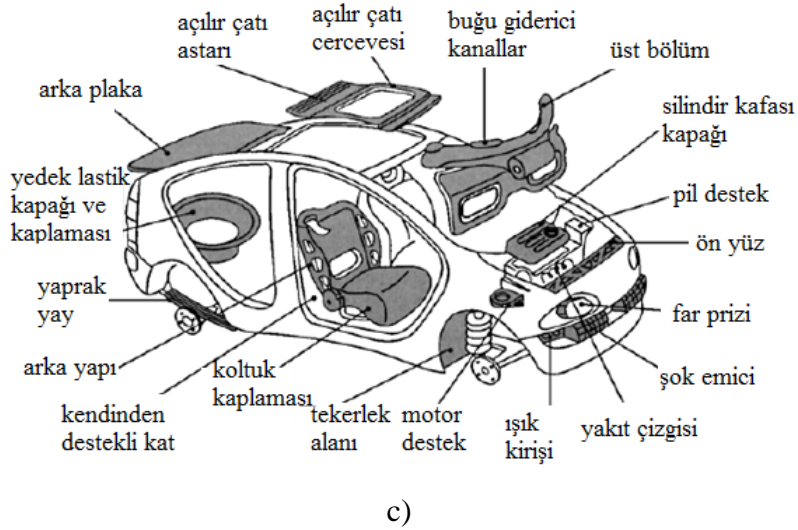
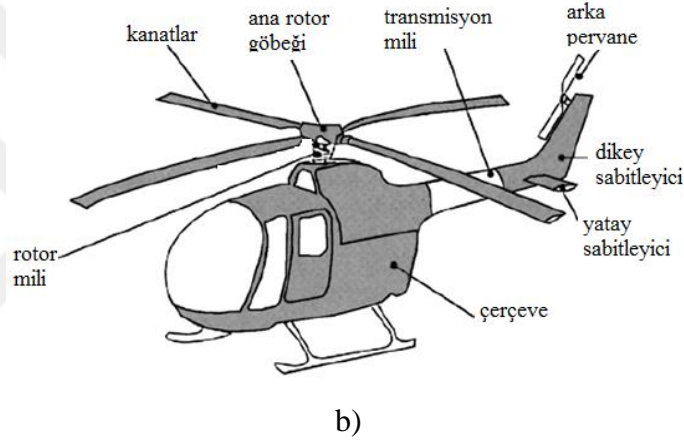
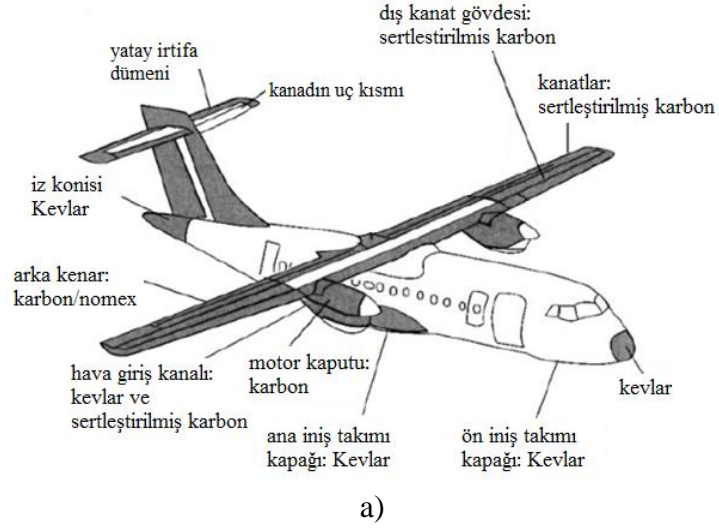
e)



d)

Resim 3.1. Kompozit malzemelerin kullanım alanlarına bazı örnekler

- a) Yolcu uçağı [65], b) Askeri helicopter [66], c) Uzay gemisi [65], d) Yarış otomobili [67],
e) Yarış bisikleti [68], f) Yat [69].



Şekil 3.1. Kompozit malzemelerin bazı uçak, helikopter ve otomobillerdeki kullanım alanları

a)Yolcu uçağı [63], b) Helikopter [63], c) Otomobil [63]

3.2. Kompozit Malzeme Bileşenleri

Kompozit malzemeler matris ve takviye elemanı adı verilen iki malzemeden oluşur. Burada kompozit malzemelerin davranışının anlaşılabilmesi için matris ve takviye elemanlarının görevlerinin bilinmesi önemlidir [70].

3.2.1. Matris

Elyaf takviyeli kompozitlerin matris fazı; metal, polimer veya seramik olabilir [63]. Elyaf takviyeli kompozitlerde, matris fazının bazı fonksiyonları yerine getirme görevi vardır böylece takviye elemanından istenilen başarıyı elde edebiliriz.

Matrisin kompozit malzemeye kazandırdığı özellikleri şu şekilde sıralamak mümkün; matrisin ilk görevi elyafları bir arada tutarak elyafların tek başına hareket etmesini engelleyip dışarıdan uygulanan gerilmeyi elyafa iletmek ve bu gerilmenin homojen bir şekilde dağılımını sağlamaktır; burada gerilmenin çok küçük bir kısmı matris tarafından taşınmaktadır. Ayrıca matris malzemesi sünek olmalıdır. Bunun yanında elyafın elastiklik modülü matristen çok daha yüksek olmalıdır. Matrisin ikinci görevi ise elyafın yüzeyini mekanik aşınma gibi fiziksel zararlar ve kimyasal reaksiyon gibi çevresel etkilerden korumaktır. Bu tür çevresel etkiler yüzeyde daha çok çekme dayanımına neden olabilecek yüzey kusurlarına yol açabilir. Matrisin üçüncü görevi kompozit malzemeye şekil vermek ve rijit durmasını sağlamaktır. Son olarak matris elyafı birbirinden ayırarak göreceli bir süneklik ve plastiklik sağlayarak oluşan çatlakların elyaftan elyafa geçişini engelleyerek, ani kırılmayı önler. Böylece matris çatlak ilerlemesini önleyen bir engel görevi görmüş olur. Elyaf tek tek hasar görse bile, tüm kompozitin hasarı çok sayıda birbirine komşu elyafın kırılması kritik bir değere ulaşana kadar gerçekleşmez [59-61-70-71].

Elyafın matristen ayrılmaması için, matris-elyaf arasındaki ara yüzey bağ kuvvetinin, yüksek olması gerekir. Bu nedenle matris –elyaf ikilisi seçiminde, ara yüzey dayanımı önemli bir seçim kriterini oluşturur. Kompozitin dayanımı büyük ölçüde bu ara yüzey bağ kuvvetine bağlı olup, gerilmenin düşük dayanımlı matristen yüksek dayanımlı takviyeye iletilmesi için, bağ kuvvetinin yeterince yüksek olması gerekir [51-54-72-73-74]. Kompozit malzemelerin ana bileşenlerinden birisi olan matris; elyafı bir arada tutarak uygulanan gerilmeyi elyafa ileterek eşit bir dağılım olmasını sağlar.

Malzemeye rijitlik ve şekil verir. Matris aynı zamanda elyaf yüzeyinin mekanik ve kimyasal etkilere karşı daha dayanıklı olmasını sağlar. Ayrıca elyafı birbirinden ayırarak süneklik ve plastiklik özelliği kazanmasını sağlayıp kompozit malzemedeki oluşabilecek çatlakların ilerleyerek malzemenin aniden kırılmasını engeller [54-72-73].

Matris malzeme cinsine göre üçe ayrılır:

1. Metal matrisli kompozitler (MMK)
2. Seramik matrisli kompozitler (CMK)
3. Polimer matrisli kompozitler (PMK) [59-74].

3.2.1.1. Metal Matrisli Kompozitler

Metal matrisli kompozitlerde metal matris malzemeleri kullanılmaktadır. Metal matrisli kompozit malzemelerin üretilmesinde matris malzemesi olarak metal alaşımı tercih edilmekle beraber tüm mühendislik malzemelerinde kullanılabilir. Örneğin Al, Ti, Mg, Cu, Fe, Co, Mo ve Ni gibi metaller ve alaşımları yeterli mukavemet ve yüksek süneklik özellikleri dolayısıyla en çok tercih edilen matris malzemeleridir. Metal matrislerle takviye malzemesi olarak karbon veya silikon karbürler kullanılır. Bunlar Al_2O_3 , SiC, Gr, Br, TiB_2 , TiC, WC, W ve C gibi seramik malzemelerdir böylece metallerle kolayca bağ oluşturabilirler. Bu malzemeler elyaf parçacık plakalar ya da lifler halinde kompozit malzemeye takviye edilebilir. Bu malzemelerin kazandırdığı birtakım özellikler vardır. Bu özelliklerin birincisi matris malzemesi ile uyumlu olmalarıdır diğerleri ise malzemeye yüksek elastik modül, yüksek çekme mukavemeti, yüksek ergime sıcaklığı ve düşük yoğunluk gibi özellikler kazandırmalarıdır [51-59-75].

Metal matrisli kompozitler matris olarak metal malzemelerin kullanıldığı takviye elemanı olarak da genellikle seramik malzemelerin tercih edildiği özellikle uzay, havacılık ve otomotiv gibi sektörlerde kullanılan kompozit malzemelerdir [51-54]. Metal matrisli kompozit malzemeler özellikle aşınma dayanımı, yüksek sıcaklığa dayanım, hafiflik, ısı iletkenlik, özgül rijitlik, ve yüksek dayanımın istendiği yerlerde tercih edilmektedir [51-76]. Ancak pahalı olduklarından dolayı kullanım alanları daha azdır [72].

3.2.1.2.Seramik Matrisli Kompozitler

Bir veya birden fazla metalin, ametallerle birleşmesi sonucu oluşan organik olmayan bileşiklere seramik denir. Genellikle kayaların dış etkiler altında parçalanarak ortaya çıkan kil, kaolen gibi maddelerin yüksek sıcaklıkta pişirilmesi ile meydana gelirler. Tuğla, kiremit, porselen ayrıca oksitler, nitritler, boridler, karbitler, silikatlar ve sülfidlerde seramik gurubuna ait malzemelerdir [51-54-59-75].

Seramik matris kompozit malzemeye; sertlik, basma dayanımının yüksek olması, ergime sıcaklığı ve yalıtım özelliklerinin yüksek olması, aşındırıcı özelliğe sahip olması gibi özellikler kazandırır [51-59-75-76].

3.2.1.3. Polimer Matrisli Kompozitler

Polimer matrisli kompozitlerde; matris malzemesi olarak polimer reçine, takviye elemanı olarak elyaf kullanılır. Kolay üretilebilmesi ve maliyetinin düşük olması sebebiyle en yaygın kullanım alanına sahip kompozitler polimer matrisli kompozitlerdir [51-59-72-75]. Kompozit malzemelerde matris malzemesi olarak kullanılan reçineler polimer malzemelerin termosetler grubu içerisinde yer alırlar. Polimer malzemeler termosetler, termoplastikler ve elastomerler olarak üçe ayrılırlar [51-54-59-75].

Termoset Malzemeler:

Termosetler termoplastların aksine sadece bir defaya mahsus ısıtılıp şekillendirilebilirler. Bir daha ısıtıldığında şekil verilemez şekli bozulur. Bunun nedeni, termosetlerin uzun molekül zincirlerinin çapraz bağlarla birbirlerine bağlanmaları ve tekrar ısı verildiğinde ise birbirlerinin üzerinde kayma yeteneklerini kaybetmeleridir. Termoset malzemeler genellikle ısı ve basınç etkisiyle kompozit malzemelerde son halini alırlar. Termoset reçinelerin kullanım alanları içmekan mobilyaları, deniz taşıtları, inşaat sektöründe çeşitli yapı elemanları, otomotiv sanayi gibi sıralanabilir [75].

Termoset Plastik Malzemeler:

Termoset plastik malzemelerin çok farklı türleri vardır.

Termoset plastik malzemeler;

1. Epoksi reçineler
2. Polyester reçineler
3. Fenolik reçineler
4. Silikon
5. Poliimid
6. Poliüretan
8. Siyanet Ester olarak sınıflandırılır [53-59-75].

Bu sınıflandırılan termoset plastik malzemelerin her biri farklı özelliklere sahiptir. Böylece üretilen kompozit malzemelerde farklı özellikler kazandırmaktadırlar.

Termoset plastik malzemeler ve özellikleri aşağıda verilmiştir;

Epoksi

Epoksi, yapıştırıcı özelliğe sahip bir kimyasal reçinedir. Epoksi reçineleri sertleştirmede kullanılan sertleştiricinin türüne göre kompozit malzemelerin özellikleride değişir. Epoksilerde reçine ve serleştirici karışım oranları malzemenin özelliklerine etkisi bakımında önemlidir. Epoksi reçinelerin termik özellikleri, asit ve kimyasallara karşı mukavemetleri çok iyidir. Epoksi reçinelerin düşük mukavemet özellikleri elyaf malzemelerle iyi bir bağ oluşturabildikleri için lifli olan güçlendiriciler ile birlikte bu özellikleri iyileştirilmektedir. Mekanik dayanımlarıda iyidir. Aşınma ve sürtünmeye karşı gösterdikleri dirençte çok yüksektir. Ayrıca bu reçinelerin havada ve suda dayanıklılıklarıda iyidir. Estetik görünümleri yanısıra maliyetleri yüksektir. UV ışınlar epoksinin moleküler bağlarını bozarak epoksiyi zayıflamasına neden olur. Ciltle uzun süreli temaslarında alerjik etki yapar ayrıca epoksinin tozu ve buharı göz ve solunum sistemine olumsuz etki eder.

Epoksi ile ilgili olarak yukarıdaki tüm özellikler göz önünde bulundurulduğunda epoksi reçineler cam elyaf takviyeli kompozitlerin imalatı, elektronik cihazların yapımında, otomotiv sanayinde (kimyasallara karşı direncinin yüksek olması, yapışma özelliğinin iyi olması ve sertliği nedeniyle tercih edilir), inşaat sektöründe (çatlak ve boşlukların doldurulması ve tamiratında, taze betonu eski betona bağlamak için yapıştırıcı olarak, su altı yapılarında duvar boyalarında), metal, taş, ahşap benzeri malzemelerin yapıştırılması ve tamiratında ve buna benzeyen birçok alanda kullanılmaktadır [53-59-75].

Polyester

Teraftalik asit ve etilen glikolün polimerleşmesi ile oluşan malzemeye polyester denir. Polyester reçineler CTP (cam elyafı takviyeli plastik) uygulamalarında kullanımı en yaygın olan reçine türüdür. Polyester reçinelerin çeşitli kullanım alanları arasında; yapı sektöründe cephe giydirme, prefabrik yapılar, tavan, kubbe yapımı, dekoratif havuz yapımı, mimari alanda dekoratif objelerin imalatında, denizcilik sektöründe yat, tekne gövdeleri, gemi iskeleti yapımında, metallerin korozyona karşı korunmasında, su ve izolasyon kaplamalarında, otomotiv gövdesi ve parçalarının imalatında, kalıp imalatı, boru, kabin, muhafaza kutusu, kimyasal madde havuzları gibi alanlarda elyaf takviyesi yapılmış polyesterler kullanılır.

Polyester reçineler; polyesterin bağ şeklinde değişiklikler yapılarak farklı özellikler elde edilebilirler, bu reçineler sertleşmeden önce düşük viskoziteye sahip olduğundan cam elyafında iyi bir ıslatma sağlayarak iyi bir kompozit malzeme üretilebilmesini sağlarlar. Polyester reçineler çeşitli kalıplama tekniklerine uygun olması, 100 °C' nin altındaki sıcaklıklarda kimyasal ve mekanik olarak dayanımlarının iyi olması, elektrik yalıtım özelliğinin yüksek olması, ahşap, demir, beton gibi yüzeylere yapışma özelliğinin, şeffaflık özelliğinin iyi olması, maliyetinin düşük olması, her türlü karmaşık, basit, dekoratif ya da fonksiyonel amaçlı tasarlanabilmesi bakımından tasarım esnekliğine sahiptirler.

Polyester reçinelerin bir takım dezavantajları da vardır bunlar; katılaştırırken çekme gerilmesi meydana gelmesi sebebiyle düzgün yüzeyler elde edilememesi, elyafların üzerine basma gerilmesi uygulandığında burkularak hasara uğraması, bazı ortam şartlarında korozyon dayanımının düşük olması gibi durumlardır [53-59-75].

Fenolik Reçineler:

Fenolik reçineler fenol (C₆ H₅OH) ile formaldehit (CH₂O) 'ten elde edilirler. Fenolik reçinelerde katı ya da sıvı reçine türleri mevcuttur. Fren ve debriyaj balatalarında, elektrikli ev aletlerinde, koruyucu kaplama izolasyon amaçlı kullanılabilir. Fenolik reçinelerle üretilen kompozitlerin en önemli özelliklerinden biri yüksek sıcaklık dayanımı göstermeleridir. Alev dayanımları mükemmeldir. Bu kompozit malzemeler 300 °C ye kadar sürekli, takviye elemanı olarak asbest kullanıldığında 1000 °C ye kadar kısa süreli kullanma imkanı sağlayabilir. Fenolik kompozitler ışık ve oksijene maruz kaldıklarında renklerini kaybettikleri için renk pigmentleri siyah, kırmızı, kahverengi gibi birkaç renkle sınırlıdır. Yüksek viskoz özelliğe sahiptirler, üretimleri sırasında gözenek oluşma durumu söz konusu olduğu için kalıplamanın yüksek basınçta yapılması gerekir [53-59-75].

Silikon:

Silikon, oksijen ve çeşitli hidrokarbonlar içeren sentetik bir polimerdir. Silikonlar; yüksek sıcaklığa (250 °C), korozyona dayanıklıdır, düşük sıcaklıklarda dahi esneklik özelliğini korur, hava koşullarına karşı dayanıklıdır, su iticilik özellikleri vardır. Ortam kürlenmeli silikon reçinelerle kaplanacak malzemelerin boyutları fırın boyutuyla sınırlı kalmaz. Yüksek sıcaklıklarda kürlenmiş türdeki silikon reçinelerde ise kürlenmenin tamamlanması ve kaplamanın sert olabilmesi için 250 °C'de 30 dakika fırınlanmalıdır [53-59-75].

Poliimid Reçineler:

Poliimid reçineler yüksek sıcaklık reçineleridir. Üretilmeleri zor ve maliyetli olan bir reçine türüdür [53-59-75].

Poliüretan:

Poliüretanda bir polimer çeşididir. Mobilya, otomotiv, soğutma, tekstil, ayakkabı tabanı, suni deri, ısı ve ses yalıtım malzemesi, yüksek performanslı yapıştırıcı, gibi pek çok alanda kullanılmaktadır [53-59-75].

Siyanat Ester

Siyanat Esterler; elektronik ve havacılık gibi bazı sektörlerde oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Siyanat esterlerin metal, cam, karbon esaslı malzemelere yapışma özelliğinin çok iyi olması, alev ve radyasyona karşı daha dirençli olması gibi birçok üstün özellikleri vardır [53-59-75].

Termoplastikler

Termoplastik malzemeler termoset malzemelerin aksine ısıtıldığında yumuşayan akışkan soğutulduğunda ise katılaştıran bir malzemedir. Bu işlemi tekrarlamak termoplastik malzemelerin ısıtıldığında özelliğini kaybetmemesi dolayısıyla mümkündür. Dolayısıyla termoplastikler yeniden işlenebilme özelliğine sahiptir. Termal iletkenlikleri metallere daha düşük olmasına rağmen termal genleşme katsayıları metallere beş kat fazladır. Elektrik yalıtkanlıkları çok iyidir, darbe dayanımları yüksektir, sertlik ve rijitlik bakımından mukavemetleri düşüktür, Sünekler, oda sıcaklığında işlenmeleri zordur. Kullanım alanları havacılık ve otomotiv sektörleri gibi alanlardır [54-59-75].

Elastomerler

Elastomerler çapraz bağlı polimerler dolayısıyla çekme kuvveti etkisi altında %500 gibi çok yüksek bir uzama gösteren kuvvet kaldırıldığında ise hemen eski haline dönen ağısı bir yapıdır. Doğal kauçuklar ve sentetik kauçuklar yaygın olarak bilinen iki çeşit elastomerdir [54-59-75].

3.2.2. Takviye Elemanları

Kompozit malzemelerde takviye elemanının çok önemli bir görevi vardır. Takviye elemanı malzemenin üzerine gelen yükü yaklaşık %90 oranında taşır, matris malzemesine rijitlik kazandırır, malzemenin mukavemetini artırır, elektrik iletkenliği yada yalıtkanlığı, yüksek sıcaklık dayanımı, yüksek elastik modül, yüksek sertlik gibi özellikler kazandırır. Tabiki takviye elemanının kompozit malzemeye gelen yükün büyük kısmını taşıyabilmesi için takviye elemanı ve matrisin ara yüzey bağ kuvvetinin çok iyi olması gerekir. Bunun haricinde kompozit malzemeye gelebilecek kuvvete göre elyaf yönlenmesinin ayarlanması, uygun takviye elemanının seçilmesi, takviye elemanının boyutları ve matrisin elyafı iyi bir şekilde ıslatması gibi kriterlerde dikkat etmek gereklidir. Kompozit malzemelerde takviye elemanları farklı formlarda bulunabilirler. Bu formlar parçacık, sürekli ve süreksiz elyaf şeklinde olabilir. Kullanılacak bu formların her biri malzemeye olumlu birçok katkıda bulunur [54].

Elyafların malzemelerine göre birçok çeşitleri vardır bunlar;

1. Cam elyafı,
2. Karbon (Grafit) elyafı,
3. Aramid (Kevlar) elyafı,
4. Bor elyafı,
5. Silisyum Karbür
6. Alüminyum Oksit
7. Organik elyaflardır.

Bu elyaf malzemeleri arasından en çok cam, karbon, bor ve aramid elyafları kullanılmaktadır [54-73-74].

Cam elyafı:

Cam elyafı temel madde olarak siliskumu (SiO_2) ve buna ilaveten sodyum, bor, alüminyum, kalsiyum gibi elementlerin oksitlerinden belli oranlarda ilave edilerek 1600 °C' lerde elde edilen eriyik haldeki camın üzerinde yüzlerce delik bulunan kovanlarda çekilmesi ve hızla soğutulması sonucu 5-24 mikron kalınlığında mono cam lifleri üretilir [73-74]. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan elyaf türleri arasında cam elyafı büyük bir yer tutar. Camın farklı türleri vardır bu türler sahip oldukları özellikler bakımında farklı kullanım alanlarına sahiptirler [63-74].

Cam türleri şunlardır:

1. A Camı: Yüksek oranda alkali içeren A camı daha çok pencerelerde ve şişe imalatında kullanılan bir cam çeşidi olup kompozit üretiminde çok fazla kullanılmaz. Elektriksel yalıtkanlığı düşük fakat kimyasal direnci yüksek olan bir cam türüdür.
2. C Camı: Kimyasallara karşı korozyon direnci yüksektir. Depolama tanklarında kullanılır.
3. E Camı: Mukavemet, elektirksel yalıtkanlık, düşük su emiş oranı gibi özellikler bakımından iyi olan E-camı takviye elyaflarının üretiminde yaygın olarak kullanılan bir cam türüdür.
4. S Camı: Mukavemeti yüksek, yüksek sıcaklıklarda yorulma direnci iyi bir malzemedir. S camındaki elyaf çapları E camı ile kıyaslandığında S camındaki tellerin çapları %50 daha düşüktür dolayısıyla lif sayısındaki artış üretilen kompozit malzemelerin çok üstün özelliklerde olmasını sağlar. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan cam malzemeler takviye elemanı olarak kullanılabilmesi için elyaf haline getirilmelidir [55-59-74].

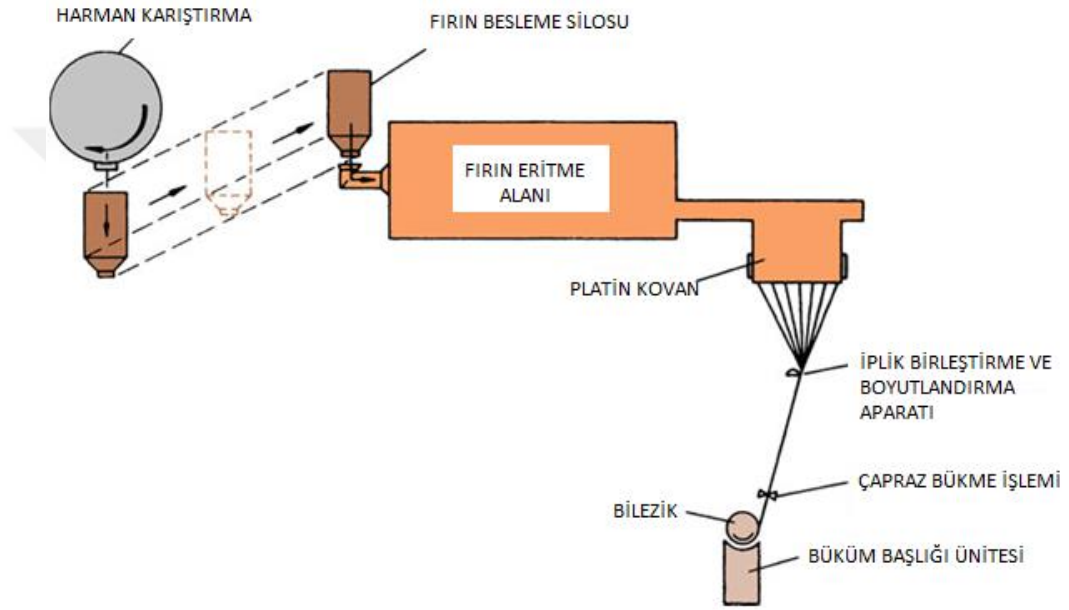
Cam Elyafı Üretimi:

Silika, soda, alüminyum oksit, magnezyum oksit, kolemanit den oluşan cam elyafı bileşiminden oluşan cam elyafı hammadde bileşimi, çok küçük parçalar halinde öğütülerek, homojen bir karışım elde etmek için karıştırılır. Bu karışım 1200 °C – 1500 °C sıcaklıktaki bir fırında ergitilerek sıvı hale geçer. Bu eriyik platin alaşımli bir potanın altında açılmış mikron seviyesinde binlerce delikten basınç etkisiyle 50-70 m/sn gibi

yüksek bir hızda aşağı doğru demetler halinde çekilerek yıpranmaya karşı dayanımın artması için kaplama işlemi yapılarak makaralara sarılır.

Cam elyafının bu kaplama malzemeleriyle kaplanma sebebi nemin elyaf tabakasının içerisine girerek elyafın yapısının bozmasından dolayıdır.

İşlem sonrasında makaralara sarılı cam elyafından çok uçlu bobin, keçe ya da kırılmış elyaf üretililerek kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılacak hale getirilirler [54-73-74].



Şekil 3.2. Cam elyaf üretiminin sistematığı [74].

Karbon Elyafı:

Cam elyafı kompozit malzemelerde en çok kullanılan takviye malzemesi olsa da karbon elyafı yüksek performanslı kompozit malzemelerin üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Karbon elyafı takviyeli kompozitler cam elyaf takviyeli olanlara göre daha hafif, mukavemet ve rijitlik gibi mekanik özellikler bakımından daha üstün olması nedeniyle karbon elyafının kullanımı artmaktadır. Organik elyaf olarak kabul edilen karbon ve grafit elyaflarda hammadde olarak poli-akro-nitril (PAN), Selüloz (Rayon) ve Zift (Pitch) kullanılır.

Daha çok suni ipek ve poliakrilonitrilden (PAN) ve zift gibi hammaddelelerden üretilir. İlk olarak mekanik özelliklerinde iyileştirme sağlamak için boylarının beş on katı uzatıldıktan sonra üç farklı ısıtmaya tabi tutulur bu ısıtma işlemlerinden ilki daha sonraki ısıtma işlemlerinde fiberin boyutlarını sabitlemek için 300 °C fırından geçirilir. Daha sonra 1000 - 1500 °C lerde karbonizasyon yapılır. 2500 °C' nin üzerinde grafitleşme işlemine tabi tutulur. Grafit ve karbon elyafı aynı malzeme kabul edilseler de grafit elyafındaki karbon oranı karbon elyafından fazladır. Karbon ve grafit elyafları aynı malzeme gibi görülmesine rağmen karbon içerikleri bakımından karşılaştırıldığında karbon elyafı yaklaşık %93 - 95 arasında karbon içerirken; grafit elyafında bu oran %100' e yakındır. Karbon elyafı piyasada sürekli ve kırılmış elyaf olarak farklı formlarda temin edilebilir. Sürekli elyaflar dokuma kumaş ve prepreg şeklinde kullanılırken kırılmış karbon elyafları daha çok kalıpla üretilen kompozitlerin üretiminde tercih edilir aynı zamanda karbon elyafının avantaj getiren bir diğer özelliği ise hemen hemen her tür reçine ile uyumlu olabilmesidir. Bunun haricinde karbon elyafı kompozit malzemenin sertlik, korozyon dayanımı, yüksek sıcaklık dayanımı, yüksek mukavemet ve titreşim sönümlenme gibi özellikleri nedeniyle havacılık, uzay ve savunma sanayi, spor malzemeleri yapımı gibi pek çok endüstriyel alanda tercih edilmektedir [53-54-73-74].

Aramid (Kevlar) Elyafı

Aramid, bir çeşit naylon olan aromatik poliamiddir. Aramid elyafı adı verilen takviye elemanı piyasada daha çok ticari isimleri Kevlar ve Twaron isimleri ile anılmaktadırlar. En çok kullanılan Kevlar (Aramid) elyafları Kevlar 29 ve Kevlar 49' dur. özgül rijitlik bakımından Kevlar 49 daha iyi performans gösteren bir malzemedir. Aramid elyafların avantajlı özellikleri yanında bazı dezavantajlı özellikleride vardır. Bunlar; bazı türlerinin ultraviyole ışın, asit ve tuzlara karşı hassas olması, malzemenin kumaş ya da lif halinde iken kesme ve katlama gibi işlenmesinin zor olması, matris malzemesi ile iyi birleşme olmaması durumunda ise oluşan mikro çatlakların malzemenin su emmesine neden olmasıdır. Aramid elyaflar askeri alanda, denizcilik, havacılık ve otomotiv gibi sektörlerde çok farklı amaçlarla kullanılırlar. Örneğin; askeri alanda balistik amaçlı delinmeme özelliği sayesinde askeri kask, kurşun geçirmeyen yelek ve zırh üretiminde, çeşitli alanlar için koruyucu giysi üretiminde (yanmayan giysi, eldiven, motorsiklet

koruyucu giysileri gibi), denizcilik, havacılıkta ve otomotiv sanayinde (Emniyet kemeri, lastik, yekeli direği, uçak ve tekne gövdesi gibi), fiberoptik kablolarda, endüstride (debriyaj balataları, basınçlı kap, yüksek basınç ve ısıya dayanan conta imalatı gibi) alanlarda kullanılırlar [53-72-74].

Bor Elyafı

Bor elyafı oda sıcaklığında katı halde bulunan hafif elementlerden birisidir. Çok seyrek olması dolayısıyla ile klasik yöntemlerle üretilmez. Çekirdek olarak adlandırılan tungsten ya da karbon ince bir telin üzerine çökeltme yöntemiyle bor kaplanarak imal edilir. Bu işlem için çekirdek olarak karbon kullanılması yoğunluğun düşmesini sağlar. Bor liflerinin bükme, dokuma gibi işlemlerle elyaf ve kumaş haline getirilmelerinde ki zorluğun nedeni bor elyafının cam elyafından 5 kat daha sert olmasıdır. Basma mukavemeti bakımından karbon elyafına göre yaklaşık iki kat daha dayanıklıdır. Mekanik özellikleri yüksek bir malzemedir. Maliyeti diğer elyaf türlerinden daha yüksektir [54-74].

3.3. Kompozit Malzemelerin Takviye Elemanlarının Şekil veya Yerleştirilme Biçimine Göre Sınıflandırılması

Kompozit malzemelerin takviye elemanlarının şekil veya yerleştirilme biçimine göre sınıflandırılması kendi arasında dörde ayrılır:

- a. Elyaf takviyeli kompozitler
- b. Parçacık takviyeli kompozitler
- c. Tabakalı kompozitler
- d. Hibrit kompozitler [52].

3.3.1. Elyaf Takviyeli Kompozitler:

Elyaf takviyeli kompozitler adındanda anlaşılacağı gibi takviye malzemesi olarak elyafın kullanıldığı kompozitlerdir. Takviye elemanı olarak elyaf kullanılmayan kompozit malzemelerde basma dayanımı iyi olmasına karşın çekme, eğme, çentik darbe dayanımı gibi birçok mekanik özellikler düşüktür. Bu mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla takviye elemanı olarak elyaf kullanılır. Elyaf takviyeli kompozit malzemelerde matris malzemesi elyaf takviye elemanını bir arada tutarak ona rijitlik kazandırır. Elyaf ve matris malzemesinin kompozit malzemedeki hacimsel oranları kompozit malzemenin mekanik özelliklerini değiştirir. Kompozit malzemedeki elyaf oranı belli bir orana kadar arttıkça malzemenin mekanik özellikleri artar elyaf oranı daha da arttırılırsa kompozit malzemedeki matris malzeme miktarı düşüceğinden matris malzemesi elyafları birbirine bağlayamaz ve tam tersi mukavemeti düşürücü bir etki yaratır [54].

Kompozit malzemenin mukavemetini belirleyen bir diğer özellik ise elyafların çapıdır. Ne kadar ince çapta elyaf kullanılırsa reçine elyafı o ölçüde daha iyi ıslatır ve reçine ile elyaf arasında iyi bir bağ kuvveti oluşur buda daha homojen bir yük dağılımı sağlayarak üretilen kompozit malzemenin mukavemetini artırır [54]. Elyaf takviyesi kullanmanın bir avantajı da elyaf demeti dışarıdan uygulanan yük nedeniyle kopma, kırılma, çizilme gibi hasara uğrasada bu hasar diğer elyaf demetlerine iletilmez. Aynı yük elyaf değilde yığın halindeki bir cam malzemedeyse meydana gelse çatlak ilerleyerek tüm malzemenin hasara uğramasına neden olabilir [77]. Elyaf demetlerinin kompozit malzemedeyse hangi yönlerde yerleştirildiğide üretilen kompozitin mukavemetinde büyük önem taşır. Çünkü yük malzemeye elyaf yönünde uygulanırsa malzemenin mukavemeti yüksek çıkarken elyafa dik doğrultuda uygulanacak bir yük kompozitin mukavemetinin düşük çıkmasına neden olur. Bu nedenle kullanılacak elyaf malzeme birbirine dik iki yönde yerleştirildiğinde ya da farklı dokuma şeklinde elyaf kumaş kullanıldığında farklı yönlerde de mukavemetin arttığı görülmüştür [54]. Ayrıca elyaf takviyeli kompozit malzemelerin yorulma dayanımı ve korozyon dayanımlarıda çok iyidir. Bu özellikleri bakımından otomotiv, denizcilik, uzay, havacılık, kimya endüstrisi, inşaat sektörü gibi birçok alanda tercih edilirler [77].

3.3.2. Parçacık Takviyeli Kompozitler:

Parçacık takviyeli kompozit malzemeler matris malzemesi ile parçacık halinde bulunan takviye elemanının birbiri içinde çözünmeden makro ya da mikro partiküller boyutunda birleştirilmesi ile oluşturulur. Parçacık takviyesi kompozit malzemelerde mekanik özelliklerin iyileştirilmesinden çok üretilen kompozit malzemenin aşınma performansı, elektrik iletkenliği, sertlik, yüksek sıcaklık dayanımı gibi özelliklerini iyileştirmede tercih edilir.

Parçacık takviyeli kompozitlerin üretiminde görülen bir takım olumsuz durumlar vardır bunlar matris malzemesi ile parçacıkların homojen bir karışım sağlayamaması ve matris malzemesi tarafından parçacıkların tam anlamıyla ıslatılamamasıdır. Genel olarak parçacık takviyesi kompozit malzemenin mekanik özelliklerini düşürücü bir etki oluşturur. Bundan dolayıda daha çok dekoratif amaçlı kullanılan ürünlerin üretiminde tercih edilirler. Kompozit malzemeye uygulanan yükün matris ve takviye elemanından hangisi tarafından daha çok taşındığı kıyaslanacak olursa; elyaf takviyeli kompozitlerde eğer elyaflar demet halinde yerleştirilmişse yükün %90 a varan kısmı elyaf demetleri tarafından karşılanırken parçacık takviyeli kompozitlerde yük matris ve parçacıklar tarafından eşit olarak taşınır [54-72-78].

3.3.3. Tabakalı Kompozitler:

Tabakalı kompozit malzemeler için matris malzemesi ile elyaf, çubuk, örgü gibi takviye elemanları birleştirilerek bir kompozit tabaka oluşturulur. Oluşturulan bu kompozit tabakaların birden fazlarının birleştirilmesi ile tabakalı kompozit yapı oluşturulur. Tabakalı kompozitler yüksek mukavemet, yüksek ısı ve korozyon dayanımı, hafiflik gibi özelliklere sahiptirler [52-57-59-77]. Tabakalı kompozitler; tabakalar arasında iyi bir bağ kuvveti oluşturabilecek bir matris malzemesi ile fiber, levha ya da kaplama şeklinde olan aynı ya da farklı malzeme gruplarından en az iki tanesinin bir araya getirilmesiyle malzemelerin mevcut özelliklerinin geliştirilerek kompozit malzemeye farklı birçok özelliğin kazandırılmasını sağlayan bir kompozit türüdür [78].

Kompozit malzemelerin tabakalı olarak üretilmesiyle; malzemenin mekaniksel (çekme, eğme, basma, çentik darbe, aşınma performansı gibi), fiziksel (ısı ve elektrik iletkenliği, hafiflik gibi) ve kimyasal özelliklerinin (korozyon dayanımı gibi) iyileştirilmesi sağlanmaktadır [59]. Örneğin iki farklı metal levha bir araya getirilerek istenilen ısı ya da elektrik iletkenliği gibi özelliklerin malzemeye kazandırılabilir. Farklı yönlendirilmiş fiber tabakaların bir araya getirilmesi ile istenilen birçok mekaniksel özelliklerin tek bir malzemede oluşturulması sağlanabilir. Bir metalin farklı bir başka metal malzeme ile kaplanarak korozyon ya da aşınmaya dayanım gibi farklı birçok özelliklere sahip olması sağlanabilir.[78]. Tabakalı kompozitlere havacılık alanında kullanılan sandviç yapılar örnek olarak gösterilebilir [78].

3.3.4. Karma (Hibrit) Kompozitler:

Aynı kompozit malzemede en az iki elyaf çeşidinin kullanılması ile üretilen kompozitler hibritkompozit olarak adlandırılırlar. Hibrit kompozitler en az iki ve daha fazla elyaf çeşidinin kullanılması ile hazırlanan kompozit malzemelere denir. Burada da kullanılan belli türlerdeki fiberlerin farklı fiziksel, mekaniksel, kimyasal olarak sahip oldukları iyi özellikler bir başka türdeki fiberlerin sahip olduğu üstün özelliklerle artırılarak tek bir fiberden elde edemeyeceğimiz özelliklerin yeni üründe elde edilmesini sağlarlar. Aynı zamanda hibrit kompozitler ile yeni nesil daha ekonomik kompozitler geliştirilebilir [57].

3.4. Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

Kompozitlerin üretiminde farklı ihtiyaçları karşılamak adına birçok üretim yöntemi mevcuttur. Bu yöntemlerin her birinin çeşitli avantajları mevcuttur. Bu nedenle kompozite istenilen şekli vererek ürünün son halinde istenilen kaliteye ulaşabilmek için malzemeye uygun üretim yöntemini uygulamak gerekir.

Bu üretim yöntemleri kompozit malzemenin matris türüne göre metal ve polimer matrisli kompozitler için ikiye ayrılır.

1. Metal matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri
2. Polimer matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri

3.4.1. Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

1. Sıcak presleme
2. Toz metalürjisi
3. Sıvı metal emdirme
4. Elektroliz yöntemi
5. Buhar çökeltme
6. Haddeleme [64-51].

3.4.2. Polimer Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

Polimer matrisli kompozitler termoset ve termoplast reçineli olmak üzere iki tiptir. Buna göre üretim yöntemleride değişiklik göstermektedir.

Termoset reçineli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri

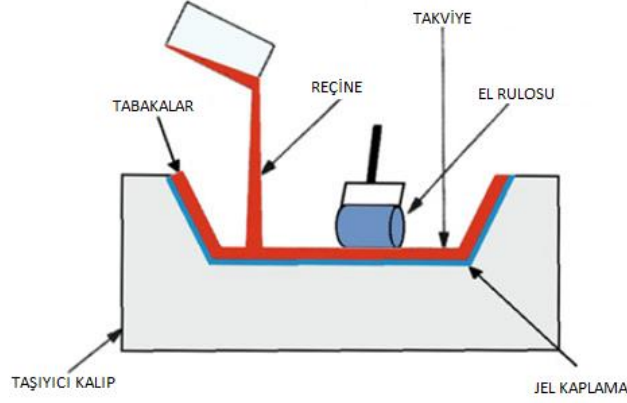
1. El yatırma yöntemi
2. Püskürtme yöntemi
3. Reçine transfer kalıplama yöntemi
4. Helisel sarma yöntemi
5. Vakum torbalama yöntemi
6. Pultrüzyon yöntemi [54].

3.4.2.1. El yatırma yöntemi

El yatırma yöntemi cam elyaf takviyeli kompozitlerin üretiminde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemle otomobil, kamyon, tekne gibi taşıtlarda gövde panelleri, yapı sektöründe ise havalandırma sisteminin kanalları, depolama için kullanılan tank gövdeleri, havuzlar gibi pek çok alanda kullanılmaktadır [51- 64]. El yatırma yöntemi polimer matrisli kompozitlerin üretiminde kullanılan açık bir kalıplama yöntemidir. Bu yöntemin ucuza mal olması öncelikle üretiminde kullanılan aletlerin ucuz olmasındandır. Eğer seri üretim yapılmayacaksa yani prototip ya da model üretimi söz konusuysa el yatırma yöntemi tercih edilir [71].

El yatırma yönteminin çeşitli avantajları vardır. Bunlar; kalıp maliyetlerinin düşük olması, üretilecek parçaların boyutlarında herhangi bir sınırlama olmaması, değişik şekillerde kalıp üretilebilmesi gibi avantajları bakımından çok tercih edilen bir yöntemdir. Bu yöntemin bir takım dezavantajları da vardır; bunlar el yatırma yöntemini uygulayan kişinin profesyonelliği ile bağlantılı olarak; üretilen kompozitin boyutlarında çeşitli sapmalar olabilir, elyaf dağılımının düzensiz olduğu yerlerde ya da reçinenin homojen dağılmadığı yerlerde kalınlıkta farklılıklar olabilir, ayrıca işlem sırasında hava kabarcıklarının kalması, elyafların serilirken düzgün yerleşmemesi dolayısıyla malzemenin mekaniksel özelliklerini oldukça etkileyecek değişiklikler olabilir [71]. Bu yöntemde polivinil alkol, silikon, madeni yağlar ve vaks gibi malzemeler kullanılarak reçinenin kalıp yüzeyine yapışması önlenir böylece kompozit malzemenin kalıptan rahat çıkması sağlanır [64]. Bu yöntemde genellikle takviye elemanı olarak elyaf, dokuma, keçe gibi malzemeler seçilir. Seri üretim olmayan model üretimi ya da prototip yapılmak istendiği durumlarda kalıp maliyetlerinin düşük olması, üretilecek parçaların boyutlarında herhangi bir sınırlama olmaması, değişik şekillerde kalıp üretilebilmesi gibi avantajları bakımından çok tercih edilen bir yöntemdir.

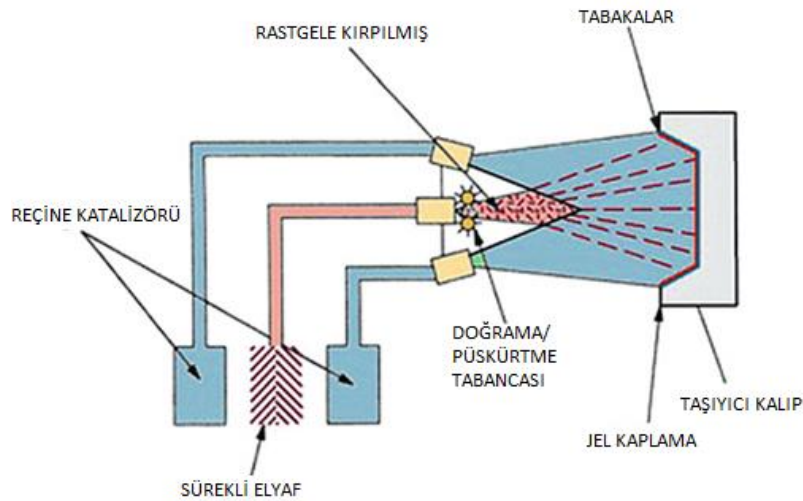
El yatırma yöntemi Şekil 3.3.' deki gibi uygulanır kalıp ayırıcı malzeme sürüldükten sonra elyaf serilerek üzerine reçine rulo şeklindeki bir fırça yardımıyla hava kabarcığı kalmayacak şekilde uygulanır. İstenilen kalınlığı elde edene kadar elyaf ve reçine uygulanmasına devam edilerek işlem sonlandırılır [51-54-56-64-71-73-74]. Ayrıca el yatırması yönteminde elyaf hacim oranı % 25-35 civarındadır [56].



Şekil 3.3. El yatırma yöntemi [74].

3.4.2.2. Püskürtme Yöntemi

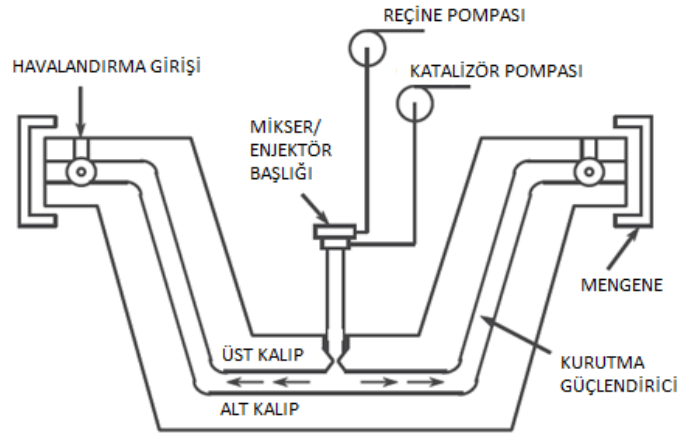
Püskürtme yöntemi genel itibariyle el yatırma yöntemine benzeyen ancak kullanılan takviye malzemesinin kırılmış halde kullanıldığı daha çok kayak, otomobil kaportası, tekne, tank gibi alanlarda kullanılan bir üretim yöntemidir. Püskürtme yönteminde Şekil 3.4.'deki gibi özel bir tabanca yardımıyla kırılarak küçük parçacıklar haline alan sürekli elyaflar uygun bir hızda reçine ve serleştirici karışımı ile birlikte kalıba püskürtülür. Püskürtme işlemine istenilen kalınlığa ulaşıldığında son verilir. Bu yöntemde de oluşabilecek hava kabarcıklarında bir rulo yardımıyla giderilir. Böylece reçinenin elyafları ıslatma oranında artar. Bu yöntemde kullanılan araç gerecin ucuz olması, işçilik maliyetlerinin düşük olması, üretilen parçalarda boyut sınırlaması olmaması, karmaşık şekilli parçalarında bu yöntemle üretilmesi bakımından avantajlı bir yöntemdir [54-64-71-74-75].



Şekil 3.4. Püskürtme yöntemi [74].

3.4.2.3. Reçine Transfer Kalıplama Yöntemi

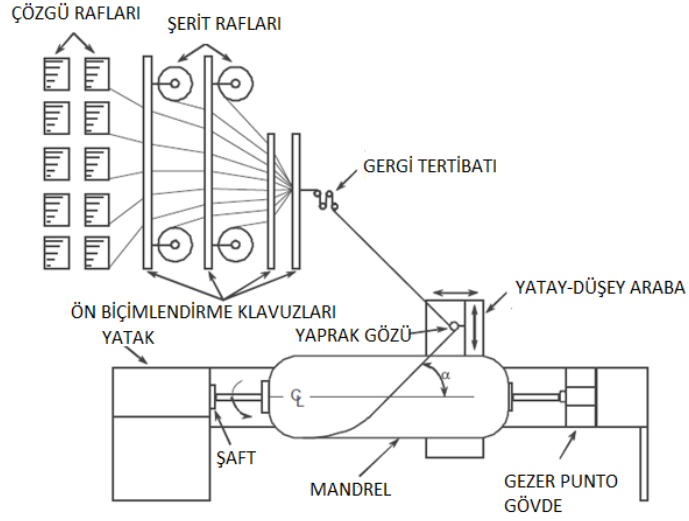
Reçine transfer kalıplama yöntemi Şekil 3.5.'deki gibi üst ve alt kalıp olmak üzere iki kalıptan oluşan kapalı bir kalıplama yöntemidir. Bu yöntemde kullanılan takviye malzemeleri elyaf kumaş ya da keçe olabilir. Alt kalıba serilen kumaşın üzerine reçine ve sertleştirici malzemesi uygun oranlarda pompa vasıtasıyla enjekte edilir. Enjekte edilen reçine ve sertleştirici karışımı kalıbı doldurduktan sonra oda sıcaklığında ya da kalıplara belli miktarda ısı verilerek sertleşme sağlanır. Daha sonra üretilen kompozit malzeme kalıptan çıkartılır. Eğer işlemden önce kalıplara jelkot sürülürse hem kalıptan ayrılma hemde üretilen ürünün yüzeyinin düzgün olması sağlanır [64-71-73]. Bu yöntem genellikle daha karmaşık şekilli parçaların üretiminde kullanılır [54].



Şekil 3.5. Reçine transfer kalıplama yöntemi [73].

3.4.2.4. Helisel Sarma Yöntemi

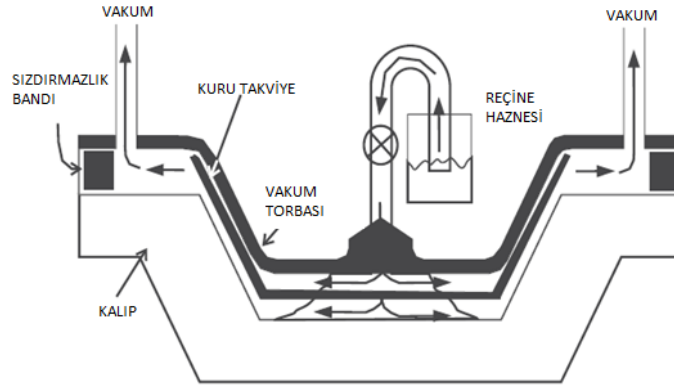
Helisel sarma yöntemiyle roket gövdesi, boru, basınçlı tank, direk gibi silindirik şekilde parçalar imal edildiği bir açık kalıp yöntemidir. Bu yöntemde genellikle dönen çelik bir mil kullanılır. Bazı özel uygulamalar için ise şişirilip üretim sona erince ise söndürülebilir esnek millerde kullanılabilir. Bu yöntemde Şekil 3.6.'daki gibi reçine bulunan bir haznedan geçirilen sürekli elyaf lar milin üzerine olmasını istediğimiz açılarda ayarlanarak sarılır sarma işlemi milin boyunca ileri geri hareket veren bir arba yardımıyla belli bir gerginlikte arzu edilen kalınlık elde edilinceye kadar sarılır. Üründeki reçine sertleştikten sonra ürün milin üzerinden çıkartılarak işlem sonlandırılır [54-73-75].



Şekil 3.6. Helisel sarma yöntemi [73].

3.4.2.5. Vakum Torbalama Yöntemi

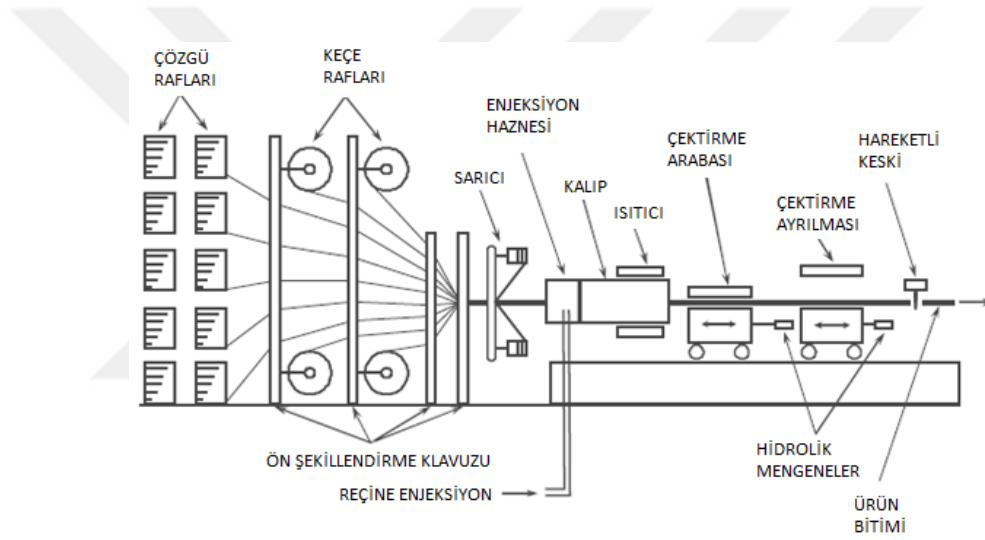
Bu yöntemde el yatırma yöntemine benzer bir şekilde kalıba yerleştirilen takviye elemanının üzerine reçine sürüldükten sonra kalıbın üzeri vakum torbası ile kapatılır daha sonra vakum torbasının kenar kısımları sızdırmazlık sağlayan özel bantlar ile kapatılır. Daha sonra torbadaki hava; vakum sistemi ile boşaltılır böylece torbanın dışındaki atmosfer basıncı sayesinde reçinenin takviye elemanına iyi bir şekilde nüfuz etmesi sağlanır. Diğer yöntemlerde olduğu gibi sertleşme olunca vakum işlemi sona erdirilerek ürün kalıptan çıkartılır. Bu yöntem mekanik özellikleri daha iyi olan ürünlerin elde edilebilmesini sağlar [59-60-71-73].



Şekil 3.7. Vakum torbalama yöntemi [73].

3.4.2.6. Pultrüzyon Yöntemi

Pultrüzyon yöntemi sürekli ve sabit kesitli üretilecek olan yapı, inşaat sektörü, seracılık, açık alanlarda kullanılacak mobilyalar gibi tasarımlarda kullanılır. Bu yöntemde cam elyaf ve keçe takviye elmanı olarak kullanılır. Takviye elemanı öncelikle ön bir ıslatma için içinde reçine olan bir hazneden geçirilir daha sonra ısıtma özelliği olan kalıplardan geçirilerek istenilen şekil verilir. İstenilen şekil verilen ürün çekme ünitesinde istenilen boyuta getirildikten sonra belli boylarda kesilerek son haline getirilir. Düşük yatırım maliyeti ve uygulama alanının geniş olması sebebiyle yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir [59-60-64-71-73].



Şekil 3.8. Pultrüzyon yöntemi [73].

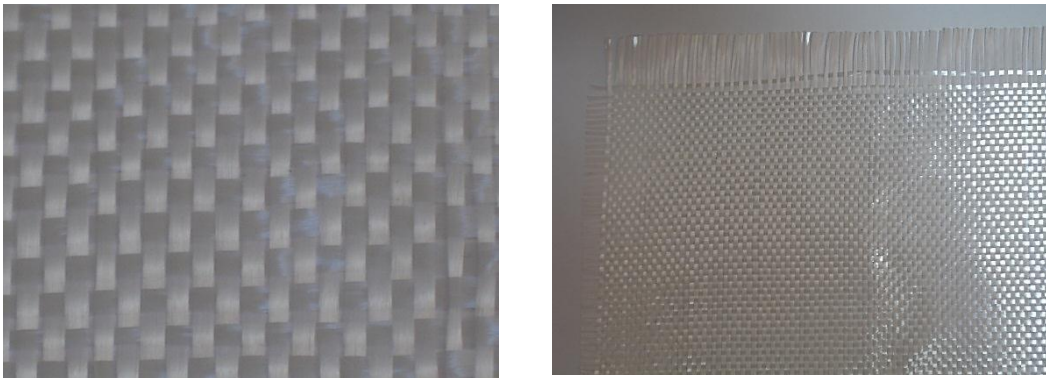
4. MATERYAL ve METOD

4.1. Cam Elyaf Takviyeli Polimer Matrisli İlave Parçacıklı Kompozit Malzemelerin Üretimi

Cam elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit malzemelerde kullanılan parçacıkların geometrisinin malzemelerin fiziksel ve mekaniksel özelliklerine etkisini incelemek için, hazır olarak sunulan dokuma cam elyaf kumaşları, ilave parçacık olarak $Al_2O_3 - TiO_2$ (%97-3), $Al_2O_3 - TiO_2$ (%87-13), $Al_2O_3 - TiO_2$ (%60-40) seramik tozları, matris malzemesi olarak epoksi reçine kullanılmıştır.

Dokuma kumaş olarak; aşağıdaki Resim 4.1.' de gösterilen $0^\circ - 90^\circ$ (Woven) 270 gr/m^2 lik cam elyaf kumaşlar kullanılmıştır. Matris malzemesi olarak ise epoksi reçine kullanılmıştır. Kullanılan reçine olarak EPIKOTE Resin 828 (Momentive Marka) Bisphenol - A - (Epichlorhydrin), sertleştirici olarak Epikure Curing Agent 875 (Momentive Marka) Tetrahydromethylphthalicanyhydride kullanılmıştır. Reçine sertleştirici karışım oranı 100 : 80' dir.

Kompozit malzemenin üretimi için hazır olarak kullanılacak olan dokuma şeklindeki kumaşlar ve kompozit malzemenin üretimi İzmir' de bulunan İzoreel Kompozit İzole Malzemeler San. ve Tic. Ltd.' de gerçekleştirilmiştir. Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan dokuma elyaf kumaşların görüntüleri Resim 4.1.' de verilmiştir.



a)

b)

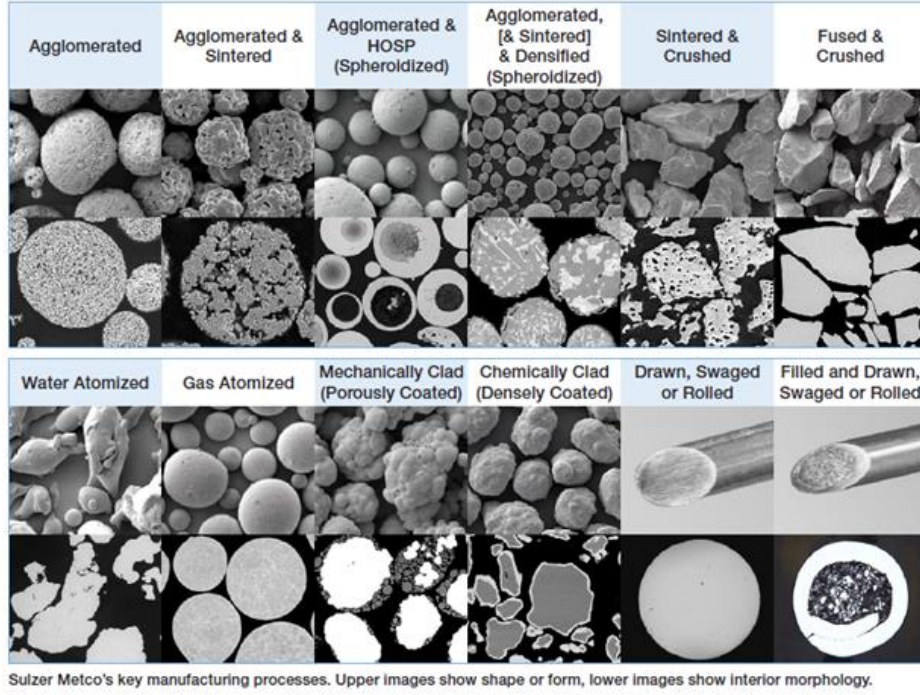
Resim 4.1. Dokuma cam elyaf kumaşlarının genel görünüşleri
a-) Cam elyaf takviye malzemesinin dokuma şekli
b-) Cam elyaf takviye malzemesinin kenar kısımlarının görünüşü

Polimer matrisli kompozit malzemelerde ilave olarak kullanılan parçacıkların geometrisinin kompozit malzemelerin fiziksel ve mekaniksel özelliklerine etkisini araştırmak için ilave parçacık olarak Al₂O₃ - TiO₂ seramik tozları kullanılmıştır. Farklı partikül büyüklüğü ve farklı geometrik şekile sahip olan Al₂O₃ - TiO₂ seramik tozları farklı karışım oranlarında ilave edilerek kompozit malzemelerin üretiminde kullanılmıştır. Aşağıdaki Çizelge 4.1. 'de dolgu malzemesi olarak kullanılacak olan Al₂O₃ - TiO₂ seramik tozlarının partikül tipi, partikül büyüklüğü, ürün kodu, üretim yöntemi ve katkı oranları verilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerden dokuz farklı tür üretilmiştir. Herbir tür Çizelge 4.1.' de gösterildiği gibi Katkısız, Grup A, Grup B, Grup C, Grup D, Grup E, Grup F, Grup G, Grup H olmak üzere gruplandırılmıştır. Seramik tozlar SULZER METCO EUROPE GmbH firmasının Türkiye'de bulunan distribütöründen temin edilmiştir.

Çizelge 4.1. Dolgu malzemesi olarak kullanılacak olan seramik tozlar

| Grup Adı | Seramik Partikül Tipi | Partikül Büyüklüğü | Ürün Kodu | Üretim Yöntemi | Kompozit Malzeme Üretimindeki Katkı Oranı (Ağırlık Oranı) |
|----------|--|--------------------|--------------|---|---|
| KATKISIZ | - | - | - | - | - |
| GRUP A | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (% 97-3) | -22+5 µm | Amdry 6200 | Fused and Crushed (Ergitilmiş ve öğütülmüş) | %5, %10, %15 |
| GRUP B | | -90+45 µm | GTV 40.01.2 | Fused and Crushed (Ergitilmiş ve öğütülmüş) | %5, %10, %15 |
| GRUP C | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (% 87-13) | -45 + 15 µm | Amdry 6228 | Fused,Crushed and Blended (Ergitilmiş,öğütülmüş ve harmanlanmış) | %5, %10, %15 |
| GRUP D | | -45 + 5 µm | Metco 130 SF | Mecanically clad (Mekanik olarak kaplanmış) | %5, %10, %15 |
| GRUP E | | -22+5 µm | GTV 40.30.0 | Fused and Crushed (Ergitilmiş ve öğütülmüş) | %5, %10, %15 |
| GRUP F | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (% 60-40) | -25 + 5 µm | GTV 40.31.0 | Fused and Crushed (Ergitilmiş ve öğütülmüş) | %5, %10, %15 |
| GRUP G | | -45 + 20 µm | GTV 40.31.1 | Fused and Crushed (Ergitilmiş ve öğütülmüş) | %5, %10, %15 |
| GRUP H | | -45 + 5 µm | Metco 131 VF | Agglomerated (Aglomera olmuş) | %5, %10, %15 |

Aşağıda Resim 4.2.' de tez çalışmasında kullanılan seramik tozların üretim yöntemlerine göre elde edilen geometrik şekillerini gösteren üretici firmanın vermiş olduğu mikroskop görüntüleri verilmiştir. Resim 4.3. ve Resim 4.4.' de tez çalışmasında kullanılan seramik tozların temin edildikten sonraki ambalaj görüntüleri ve genel görünüşleri verilmiştir.

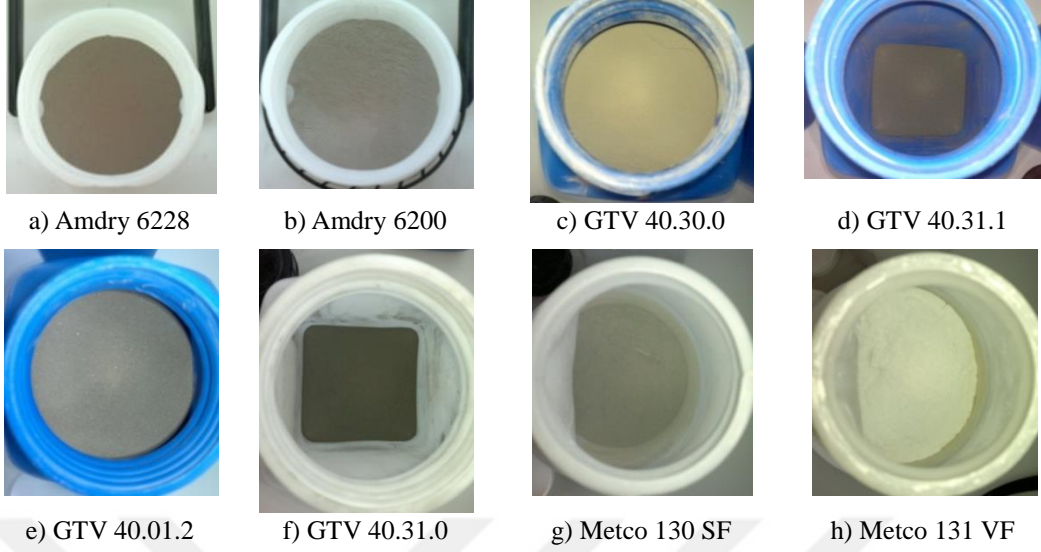


Resim 4.2. Farklı üretim yöntemleri ile üretilen seramik tozların SEM mikroskobu görüntüleri [79].



Resim 4.3. İlave parçacık olarak kullanılacak seramik tozların ambalaj görüntüsü

SERAMİK TOZLARIN GÖRÜNTÜSÜ



Resim 4.4. İlave parçacık olarak kullanılacak seramik tozların görüntüsü
a) Amdry 6228, b) Amdry 6200, c) GTV 40.30.0, d) GTV 40.31.1, e) GTV 40.01.2,
f) GTV 40.31.0, g) Metco 130 SF, h) Metco 131 VF

Cam elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit malzemelerde kullanılan parçacıkların geometrisinin malzemelerin fiziksel ve mekaniksel özelliklerine etkisini incelemek için kompozit malzemenin üretim aşamaları ve bunlarla ilgili resimler aşağıda verilmiştir.

Kompozit malzemelerin üretim aşamaları;

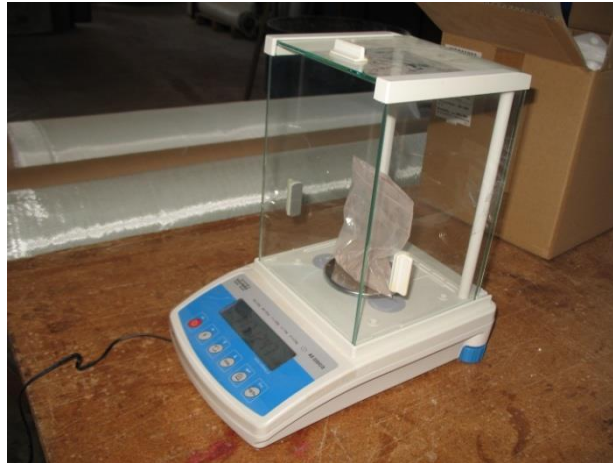
- a. Rulo halinde satılan cam elyaf dokuma kumaşın üretimi yapılacak kompozit malzeme boyutları için kesimlerinin yapılması,
- b. Kompozit malzeme üretiminde kullanılacak seramik tozlarının hassas terazide tartılarak hazırlanması (Resim 4.5),
- c. Epoksi reçineli toz takviyeli matris malzemesinin mekanik karıştırıcı vasıtasıyla hazırlanması (Resim 4.6) ,
- d. Kesilen dokuma kumaşlarının kat kat konularak aralarına matris malzemesinin konulması (Resim 4.7-4.8.),
- e. Hazırlanan dokuma kumaş –matris malzemesinin prese konulması (Resim 4.9),

- f. Preste belli bir sıcaklık ve basınçta bekletilmesi (Resim 4.10),
- g. Üretimi yapılan kompozit malzeme plakalarının presten çıkarılması ve kenarlarının kesilmesi (Resim 4.11),
- h. Üretimi yapılan kompozit malzeme plakalardan tez çalışması kapsamında yapılacak olan ilgili deneyler için ilgili standartlara uygun olarak numunelerin kesilmesi (Resim 4.13 - 4.14.)

Cam elyaf takviyeli polimer matrisli ilave parçacıklı kompozit malzemelerin üretim aşamaları aşağıdaki Resim 4.5 - 4.15' de verilmiştir.

Dokuma cam elyaf kumaş takviyeli epoksi reçineli ilave parçacıklı kompozit malzemelerin üretim aşamaları şu şekildedir:

Öncelikle dokuma cam elyaf kumaşlar belli (50 X 50 cm) ölçülerde kesilmiştir. Diğer bir yandan ise matris malzemesi olarak epoksi reçine hazırlanmıştır. (100/80) oranında reçine ve sertleştirici karıştırılmış ve uygulamaya geçilmesi için ısıtıcı bulunan bir kaba koyulmuştur. Bu ısıtıcı bulunan kaptaki epoksi reçine uygulanabileceği ideal sıcaklığa ulaşmıştır. Daha sonra reçine karışımına ilave edilmek üzere hassas terazide seramik tozlar %5, %10, %15 ağırlık oranlarında tartılmıştır. (Resim 4.5)



Resim 4.5. Tozların hassas terazide tartılması

Tartılan tozlar bir kabın içerisine alınan reçineye ilave edilerek Labor Teknik Laboratuvar malzemeleri firmasından MTOPS MS 3040 marka ve modeldeki mekanik karıştırıcı sayesinde homojen hale getirilmiştir (Resim 4.6.).



Resim 4.6. Hazırlanan reçine ve seramik tozun mekanik karıştırıcı ile karıştırılması

Bu işlemler bittikten sonra cam elyafları el yatırma yöntemi ile Resim 4.7. ve 4.8.' de gösterildiği gibi bir kat elyaf bir kat reçine malzemesi olacak şekilde birleştirilmiştir. Matris malzemesi olan epoksi reçine - seramik toz karışımı bir rulo yardımı ile cam elyaflara uygulanmıştır (Resim 4.8.). Daha sonra üzerine bir kat daha cam elyafı konulup tekrar epoksi reçine - seramik toz karışımı uygulanmıştır. Bu işlem istenilen kalınlıkta kompozit malzeme üretilmesi için dokuma cam elyaf takviyesinde 15 şer kez tekrarlanmıştır. Bu şekilde 15 kat dokuma cam elyaftan oluşan kompozit malzeme oluşturulmuştur. Elde edilen kompozit plakaların ölçüleri yaklaşık olarak 50cm x 50cm x 2,5mm' dir.



Resim 4.7. Kompozit malzemenin el yatırma yöntemi ile imal edilmesi



Resim 4.8. Kompozit malzemeye reçine sürülmesi

Resim 4.9 - 4.10.'te görüldüğü gibi; el yatırma işlemi biten malzemelerin sıcak preste pres yüzeylerine yapışmaması için altına ve üzerine jelatin serilmiştir.



Resim 4.9. Kompozit malzemelerin preste konulmadan önceki görünüşleri



Resim 4.10. Kompozit malzemenin prese yerleştirilmesi

Bu işlemden sonra kompozit malzemeler sıcak prese konulması için iki adet sac levhanın arasına konulmuştur. Bu şekilde malzemeler hasar görmeden düzgün bir şekilde preslenmiştir. Malzemeler Resim 4.9-4.10.'daki Piton serisi KP2 marka ve modeldeki sıcak preste 15 MPa basınçta 120 °C sıcaklıkta 3 saat boyunca kalmıştır. Epoksi reçinenin katılaşması preste bu basınçta bu sıcaklık altında ve bu süre zarfında gerçekleşmiştir. 3 saatin sonunda pres açıldıktan sonra malzemeler presten çıkarılmıştır. (Resim 4.11.)



Resim 4.11. Kompozit malzemenin presten çıkarılması

Presten çıkarılan kompozit malzemelerin genel görünüşleri Resim 4.12’ de verilmiştir.



Resim 4.12. Kompozit malzemenin presten çıkarıldıktan sonraki hali

Katılaşmış plaka kompozit malzemenin kenar kısmında fazlalıklar elektrikli testere yardımıyla kesilmiştir (Resim 4.13 - 4.14). Bu şekilde kompozit malzeme plakalar istenilen ölçülere (50x50 cm) getirilmiştir.



Resim 4.13. Kompozit malzemenin kenarlarının kesilmesinde kullanılan testere



Resim 4.14. Kompozit malzemenin kenarlarının istenilen boyutlara getirilmesi

Cam elyaf takviyeli polimer matrisli ilave parçacıklı kompozit malzemelerin kenar kısımlarındaki fazlalıklar alındıktan sonraki plaka şeklindeki görünüşleri Resim 4. 15.' te verilmiştir.



a)



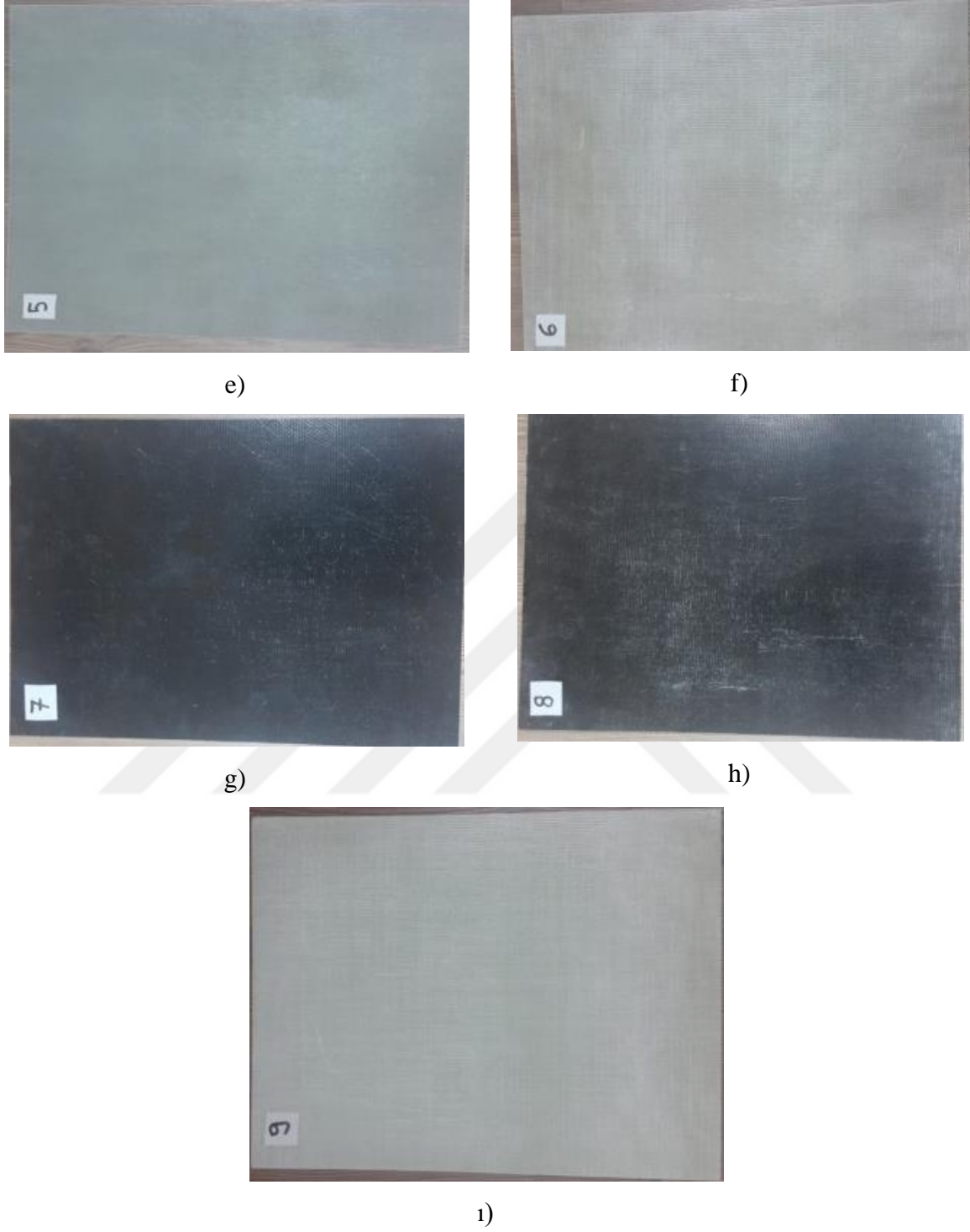
b)



c)



d)



Resim 4.15. Üretilen cam elyaf takviyeli polimer matrisli ilave parçacıklı kompozit malzeme plakalarının genel görünüşü.
a-) Katkısız b) Grup A c) Grup B d) Grup C e) Grup D f) Grup E g) Grup F h) Grup G
i) Grup H

4.2. Üretilen Cam Elyaf Takviyeli Polimer Matrisli İlave Parçacıklı Kompozit Malzemelere Uygulanan Deneyler

Üretilen kompozit malzemelerin mekaniksel (çekme deneyi, eğilme deneyi, kayma deneyleri, çentik darbe deneyi vb.) ve fiziksel (kompozit malzemenin elyaf hacim oranı, yoğunluk ölçümü, porozite oranı, hasar görmüş numunenin SEM mikroskopunda kırılma yüzey görüntüsü, seramik tozların SEM mikroskobu mikroyapı görüntüsü vb.) özelliklerini belirlemek için Çizelge 4.2.' de verilen ilgili ASTM, EN ve TSE standartlarına göre numuneler hazırlandıktan sonra, testler yapılmıştır.

Çizelge 4.2. Kompozit malzemelere uygulanan deney türleri ve standartları.

| Deney Türü | Deney Standartları |
|--------------------------------|---------------------------|
| Kalsinasyon Deneyleri | TS 1177 EN ISO 1172 |
| Yoğunluk | ASTM D 792 |
| Porozite Deneyleri | ASTM D 2734 |
| Çekme Deneyleri | ASTM D 3039 |
| Eğilme Deneyleri (Üç noktadan) | ASTM D 790 |
| Charpy Çentik Darbe Deneyleri | ASTM D 6110 |
| Kayma Deneyleri | ASTM D 5379 |

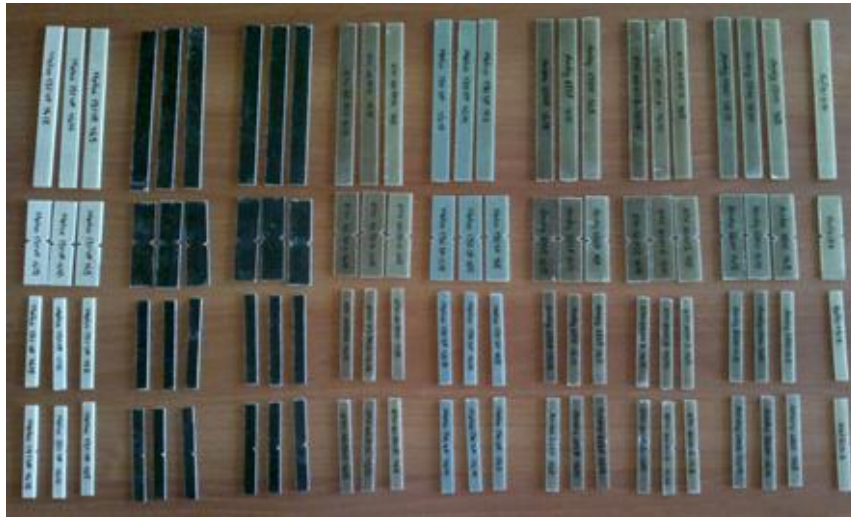
4.3. Üretilen Cam Elyaf Takviyeli Polimer Matrisli İlave Parçacıklı Kompozit Malzemelere Uygulanacak Olan Deneyler İçin Numunelerin Hazırlanması

Üretilen kompozit malzemelere uygulanacak olan deneylerin yapılması amacıyla deney numunelerini hazırlamak için üretilen plakalardan standartlara uygun olarak aşağıdaki Resim 4.16.'daki gibi boylamasına parçalar kesilerek hazırlanmıştır.



Resim 4.16. Çekme, eğilme, çentik darbe ve kayma numunelerinin genel görüntüsü

Boyuna kesilen deney numuneleri deney standartlarında belirtilen boyutlara getirilebilmesi için el testeresi ile kesilerek Resim 4.17 - 4.21' deki gibi hazırlanmıştır.



Resim 4.17.Çekme, kayma, eğilme ve çentik darbe deney numunelerinin genel görünümü



Resim 4.18.Çekme deney numuneleri



Resim 4.19. Kayma deney numuneleri



Resim 4.20. Eğilme deney numuneleri



Resim 4.21. Çentik darbe deney numuneleri

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR ve BULGULAR

5.1. Kalsinasyon Deneyi

Kalsinasyon deneyi üretilen malzemedeki hazırlanan numunelerdeki elyaf ağırlık oranının yüzdesel olarak bulunması için yapılır.

Deneyin yapılması:

Kalsinasyon deneyi TS 1177 EN ISO 1172 standardına göre yapılmıştır [80]. Kalsinasyon deneyinde kullanılan kül fırını ve hassas terazi Uşak Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon ve İmalat Laboratuvarındaki Mikrotest marka MKF 04 model Kül fırını (kalsinasyon deney cihazı) ve Radwag marka AS220/C/2 model hassas terazidir. Kalsinasyon deneyi uygulanması için üretilen tüm malzeme türlerinden (2-2,5 gram) boyutunda numuneler hazırlanmıştır. Öncelikle numunenin fırına konulacağı seramik kapın ağırlığı hassas terazide tartılmıştır. Daha sonra seramik kap ve numunenin kalsinasyon öncesi ağırlığı hassas terazide tartılmıştır. Kalsinasyon deneyi için kül fırını sıcaklığı 600 °C olarak ayarlanmıştır. Daha sonra kapların içerisine konularak hazırlanan numuneler kül fırınına yerleştirilmiştir. Numuneler 30 dk süre ile kül fırınında tutulduktan sonra numunelerdeki reçine uçmuştur. Numunelerin kül fırınından çıkarıldıktan sonraki hassas terazideki ölçümleri yapılmadan önce oda sıcaklığına kadar soğuması beklenmiştir. Son olarak kül fırınından çıkarılan seramik kap ve numunenin kalsinasyon sonrası ağırlığı hassas terazide tartılmıştır.

Her numune için cam muhtevası M_{cam} , başlangıç kütlelerinin yüzdesi olarak aşağıdaki Eş. 5.1. kullanılarak hesaplanmıştır.

$$M_{cam} = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100 \quad (5.1)$$

Burada;

m_1 : Kuru kayıkçık veya krozenin başlangıç kütlesi, (g)

m_2 : Kuru kayıkçık veya krozenin ve kurutulmuş numunenin başlangıç kütlesi, (g)

m_3 : Kayıkçık veya kroze ve kalsinasyon işleminden sonraki kalıntının son kütlesi, (g)' dir.

Aşağıda Resim 5.1.' de kalsinasyon deneyi öncesi hazırlık işlemleri ile ilgili fotoğraflar ve Resim 5.2.' de ise kalsinasyon deneyi esnasında yapılan işlemlerle ilgili fotoğraflar verilmiştir.



a)



b)



c)

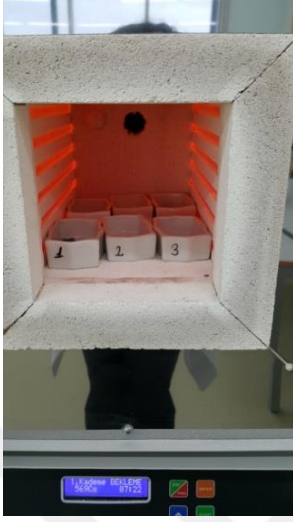


d)

Resim 5.1. Kalsinasyon deneyi öncesi hazırlık işlemleri

- a) Boş krozenin hassas terazide tartılması, b) Boş kroze ve numunenin kül fırınına girmeden önceki hassas terazide tartılması, c) Kül fırınının genel görüntüsü, d) Kül fırınının çeker ocakla birlikte görüntü

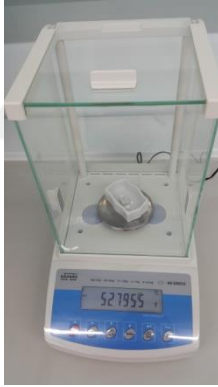
Aşağıda Resim 5.2.'de kalsinasyon deneyi esnasındaki görüntülerden bazıları verilmiştir.



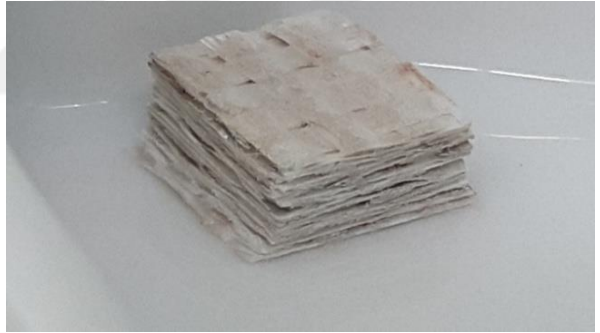
a)



b)



c)



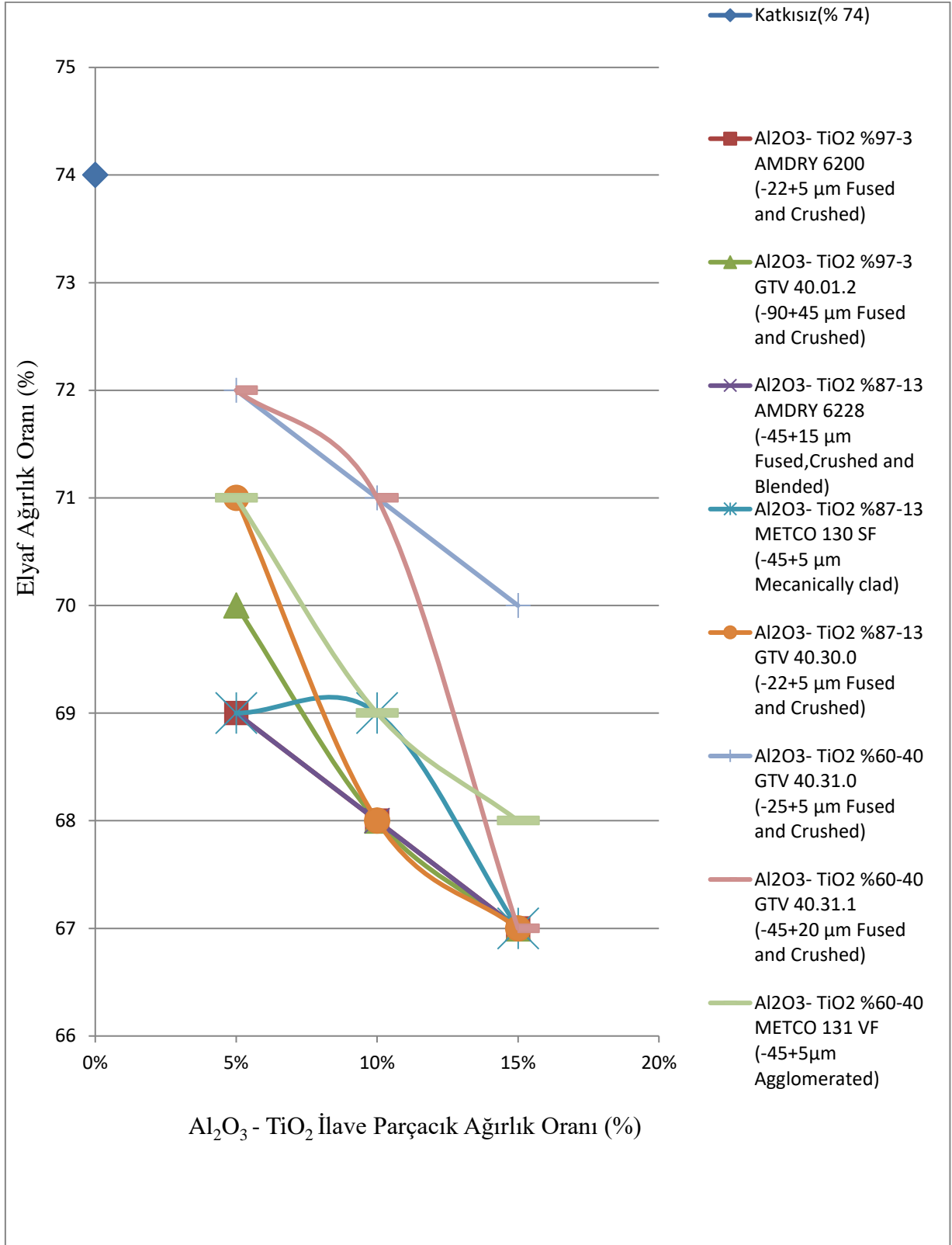
d)

Resim 5.2. Kalsinasyon deneyi esnasındaki görüntüler.

- a) Deney numunelerinin kül fırınına yerleştirilmiş hali,
- b) Deney numunelerininin kül fırınından çıktıktan sonraki görüntüleri,
- c) Kül fırınından çıkan numune ve krozenin hasas terazide tartılması,
- d) Kül fırınından çıkan numunenenin makro görüntüsü

Çizelge 5.1. Kalsinasyon deneyi sonuçları

| Grup Adı | Seramik Partikül Tipi, Ürün Kodu, Partikül Büyüklüğü, Üretim Yöntemi | Katkı oranı (%) | Kalınlık (mm) | Elyaf ağırlık oranı (%) |
|----------|---|-----------------------|------------------|----------------------------|
| KATKISIZ | - | %0 | 2,14 | 74 |
| GRUP A | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%97-3) AMDRY 6200 (-22+5 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,42 | 69 |
| | | %10 | 2,39 | 68 |
| | | %15 | 2,41 | 67 |
| GRUP B | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%97-3) GTV 40.01.2 (-90+45 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,29 | 70 |
| | | %10 | 2,5 | 68 |
| | | %15 | 2,8 | 67 |
| GRUP C | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%87-13) AMDRY 6228 (-45+15 µm), (Fused, Crushed and Blended) | %5 | 2,57 | 69 |
| | | %10 | 2,54 | 68 |
| | | %15 | 2,48 | 67 |
| GRUP D | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%87-13) METCO 130 SF (-45+5 µm), (Mecanically clad) | %5 | 2,2 | 69 |
| | | %10 | 2,3 | 69 |
| | | %15 | 2,37 | 67 |
| GRUP E | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%87-13) GTV 40.30.0 (-22+5 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,17 | 71 |
| | | %10 | 2,2 | 68 |
| | | %15 | 2,4 | 67 |
| GRUP F | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%60-40) GTV 40.31.0 (-25+5 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,21 | 72 |
| | | %10 | 2,23 | 71 |
| | | %15 | 2,31 | 70 |
| GRUP G | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%60-40) GTV 40.31.1 (-45+20 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,12 | 72 |
| | | %10 | 2,42 | 71 |
| | | %15 | 2,48 | 67 |
| GRUP H | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%60-40) METCO 131 VF (-45+5µm), (Agglomerated) | %5 | 2,12 | 71 |
| | | %10 | 2,27 | 69 |
| | | %15 | 2,35 | 68 |



Şekil 5.1. Üretilen kompozit malzemelerin elyaf ağırlık oranı değerleri (%)

Kalsinasyon deneyi sonuçlarına bakıldığında genel olarak şu görülmüştür. Katkısız numunedeki elyaf ağırlık oranı %5, %10, %15' lik seramik toz takviyeli numunelerin hepsinden daha fazladır. Katkısız numunenin elyaf ağırlık oranının seramik toz takviyeli numunelere göre daha fazla çıkması katkısız numunedeki reçine miktarının seramik toz takviyeli olanlara göre daha düşük olmasındandır. Çünkü seramik toz takviyesi sayesinde kompozit malzemedeki reçinenin viskozitesi artmaktadır. Ayrıca kompozit plakaların üretimi esnasında katılaşması için prese konulduğunda kompozit malzemedeki seramik tozlar bu kuvvete direnç gösterdiğinden reçinenin akması önlenmiş olur. Böylece üretilen plakalardaki reçine oranında artmış olur. Ayrıca %5, %10, %15' lik seramik toz katkı oranlarına sahip numuneleride birbiri ile kıyasladığımızda %5' ten %15'e doğru elyaf ağırlık oranı azalmıştır. Burada da seramik toz takviye oranı ne kadar artarsa tutulan reçine miktarıda o oranda arttığından elyaf ağırlık oranında da bir azalma olmuştur.

5.2. Yoğunluk Ölçümü

Yoğunluk ölçümü hazırlanan numunelerin yoğunluklarının ölçülmesi için yapılır. Ölçülen bu yoğunluk değeri daha sonra numunelerin porozitelerinin hesaplanmasında kullanılacaktır.

Deneyin yapılması:

Üretilen kompozit malzemelerin yoğunluk ölçümü deneyleri ASTM D 792 standardına göre yapılmıştır [81]. Yoğunluk ölçümü için üretilen tüm malzeme türlerinden 2 cm² boyutunda numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler Precia Gravimetrics markalı Resim 5.3.' de verilen yoğunluk ölçüm cihazında yapılmıştır. Yoğunluk ölçüm cihazında numunenin havadaki ağırlığını ölçmek için bir hazne, sudaki ağırlığını ölçmek içinse bir başka haznesi bulunmaktadır. Hazırlanan numunelerin öncelikle havadaki ağırlıkları ölçülmüştür. Daha sonra numunelerin saf su içerisindeki ağırlıkları ölçülmüştür. Daha önce cihaz içinde ölçüm yapılacak saf suyun yoğunluğu tanımlanarak cihaz kalibre edilmiştir. Cihazın yoğunluk ölçmek için yapılmış özel yazılımı sayesinde numunelerin yoğunlukları ölçülmüştür.



a)



b)

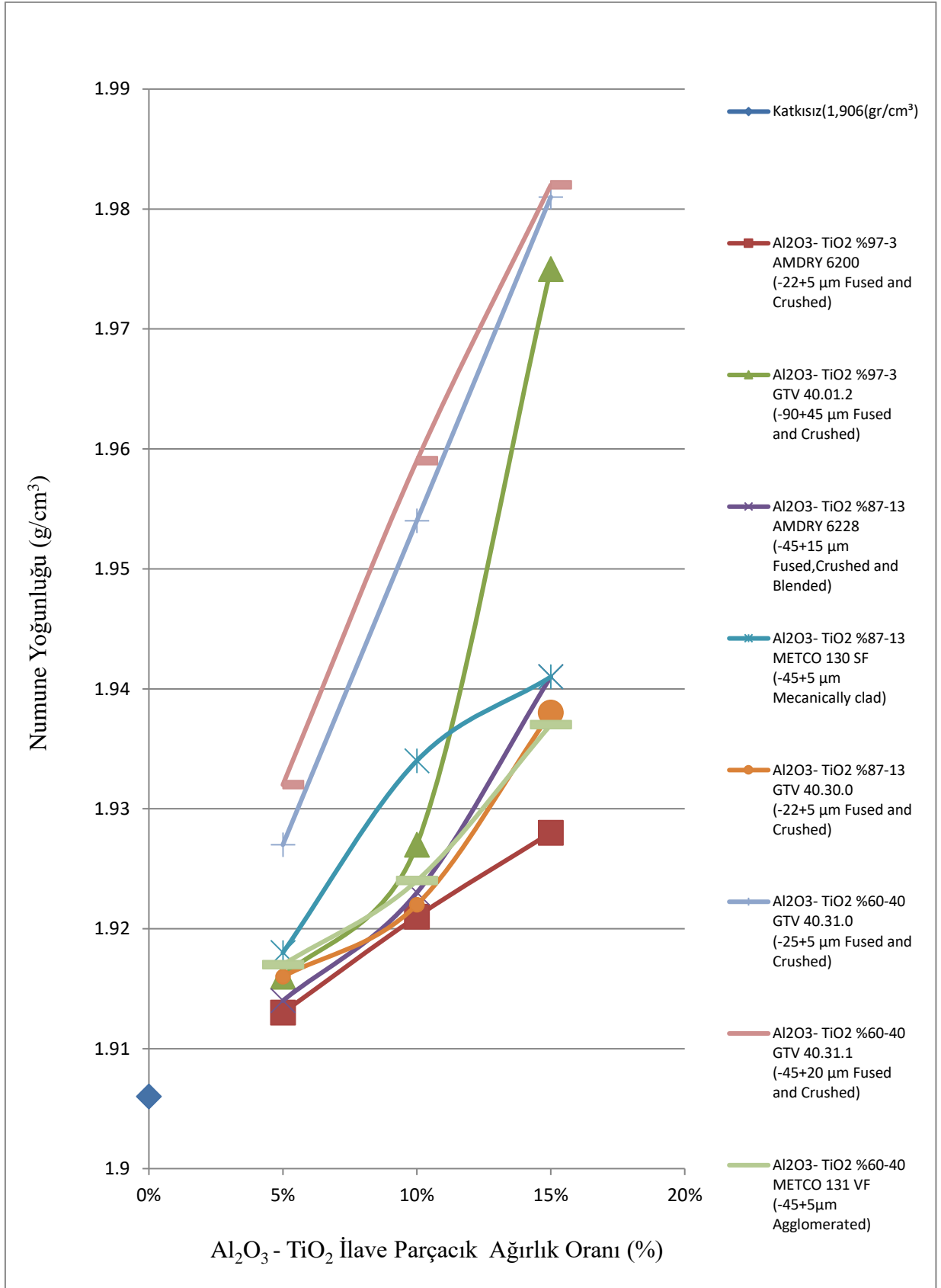


c)

Resim 5.3. Numunelerin yoğunluklarının yoğunluk ölçüm cihazında ölçümü
a) Numunenin havadaki ağırlığı, b) Numunenin saf su içerisindeki ağırlığı,
c) Numunenin ölçülen yoğunluğu

Çizelge 5.2.Yoğunluk deneyi sonuçları

| Grup Adı | Seramik Partikül Tipi, Ürün Kodu, Partikül Büyüklüğü, Üretim Yöntemi | Katkı oranı (%) | Kalınlık (mm) | Yoğunluk (g/cm ³) |
|----------|---|-----------------------|------------------|----------------------------------|
| KATKISIZ | - | %0 | 2,14 | 1,906 |
| GRUP A | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%97-3) AMDRIY 6200 (-22+5 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,42 | 1,913 |
| | | %10 | 2,39 | 1,921 |
| | | %15 | 2,41 | 1,928 |
| GRUP B | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%97-3) GTV 40.01.2 (-90+45 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,29 | 1,916 |
| | | %10 | 2,5 | 1,927 |
| | | %15 | 2,8 | 1,975 |
| GRUP C | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%87-13) AMDRIY 6228 (-45+15 µm), Fused, Crushed and Blended) | %5 | 2,57 | 1,914 |
| | | %10 | 2,54 | 1,923 |
| | | %15 | 2,48 | 1,941 |
| GRUP D | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%87-13) METCO 130 SF (-45+5 µm), (Mecanically Clad) | %5 | 2,2 | 1,918 |
| | | %10 | 2,3 | 1,934 |
| | | %15 | 2,37 | 1,941 |
| GRUP E | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%87-13) GTV 40.30.0 (-22+5 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,17 | 1,916 |
| | | %10 | 2,2 | 1,922 |
| | | %15 | 2,4 | 1,938 |
| GRUP F | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%60-40) GTV 40.31.0 (-25+5 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,21 | 1,927 |
| | | %10 | 2,23 | 1,954 |
| | | %15 | 2,31 | 1,981 |
| GRUP G | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%60-40) GTV 40.31.1 (-45+20 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,12 | 1,932 |
| | | %10 | 2,42 | 1,959 |
| | | %15 | 2,48 | 1,982 |
| GRUP H | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%60-40) METCO 131 VF (-45+5µm), (Agglomerated) | %5 | 2,12 | 1,917 |
| | | %10 | 2,27 | 1,924 |
| | | %15 | 2,35 | 1,937 |



Şekil 5.2. Üretilen kompozit malzemelerin yoğunluk değerleri

Yoğunluk ölçümünde çıkan sonuçlara göre katkısız numunenin yoğunluğu ile seramik toz takviyeli numunelerin yoğunlukları kıyaslandığında katkısız numunenin yoğunluğu en düşük çıkmıştır. Diğer numunelerde seramik toz takviyesi bulunduğu için yoğunlukları katkısız numuneden daha yüksek çıkmıştır. %5, %10, %15 seramik toz katkı oranına sahip numuneler kendi aralarında karşılaştırıldığında ise %5'ten %15'e doğru yoğunluk artmıştır. Genel olarak seramik toz katkı oranı arttıkça yoğunlukta artmıştır.

5.3. Kompozit Malzemelerin Porozite Değerlerinin Belirlenmesi

Porozite değerlerinin belirlenmesi malzemenin porozitesinin (gözeneklilik oranı) belirlenmesi için yapılır.

Porozite değerlerinin belirlenmesi:

Üretilen kompozit malzemelerin porozite değerlerinin belirlenmesi ASTM D 2734 standardına göre yapılmıştır [82]. Malzemelerin porozite değerleri aşağıdaki Eş. 5.2. kullanılarak hesaplanmıştır.

$$V = 100 - (M_d \times ((\frac{r}{d_r}) + (\frac{g}{d_g}) + (\frac{t}{d_t}))) \quad (5.2)$$

Burada;

V= porozitenin hacimsel oranı (%)

M_d= Ölçülen yoğunluk (g/cm³)

r= Reçinenin yüzdesel ağırlığı (%)

g= Cam elyafının yüzdesel ağırlığı (%)

t=Seramik tozun yüzdesel ağırlığı (%)

d_r= Reçinenin yoğunluğu (g/cm³)

d_g= Cam elyafının yoğunluğu (g/cm³)

d_t= Seramik tozun yoğunluğu (g/cm³) ' dur.

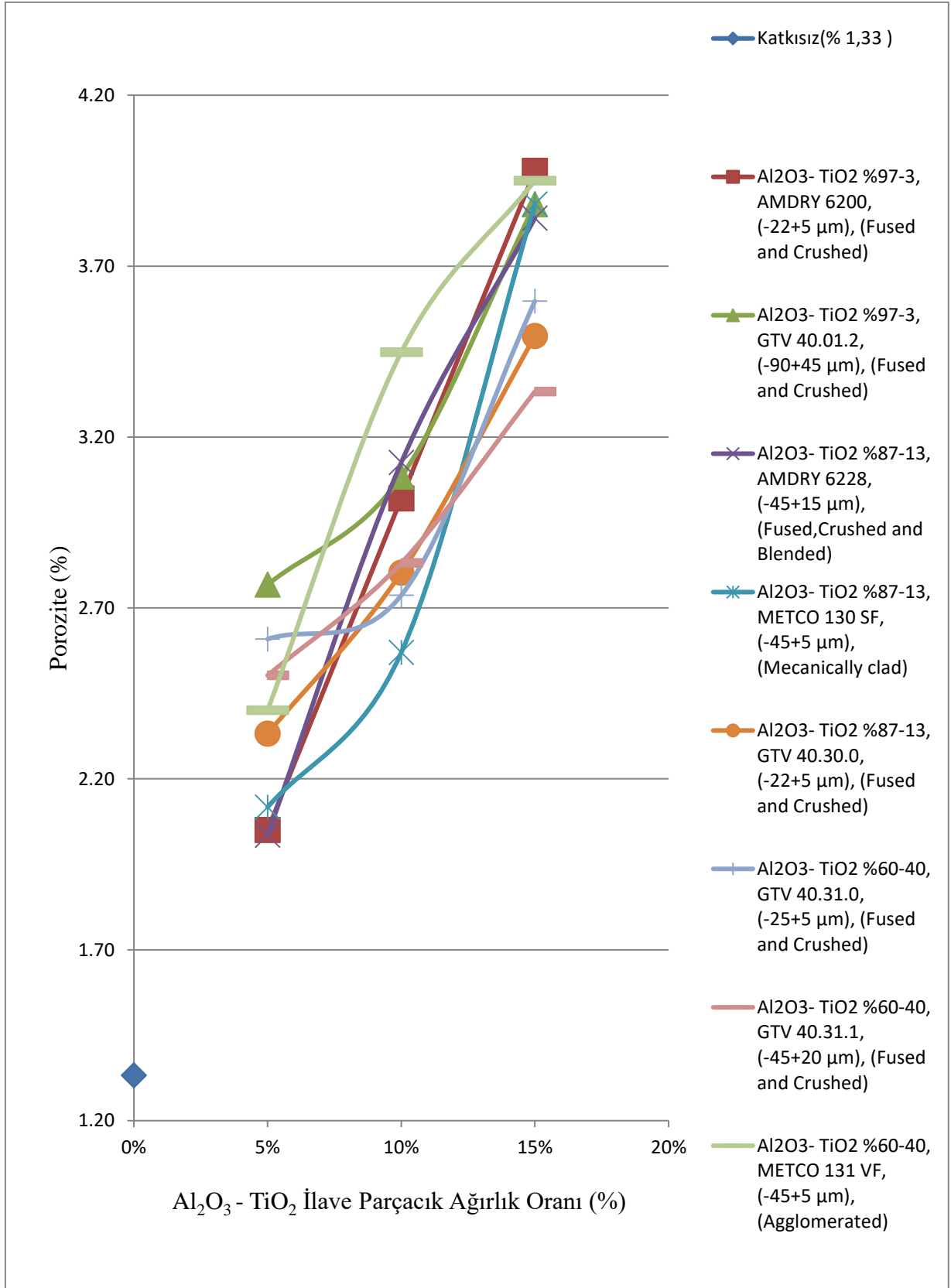
Eşitlikteki reçinenin yoğunluğu, cam elyafın yoğunluğu ve seramik tozun yoğunluğu firmadan alınan değerlerdir. Porozite hesabı yapılırken firmadan alınan reçine, cam elyafı ve seramik tozların yoğunlukları Çizelge 5.3.' deki gibi alınmıştır.

Çizelge 5.3. Epoksi reçine, cam elyafı, seramik tozların firmadan alınan yoğunluk değerleri

| | Yoğunluk (g/cm ³) |
|--|-------------------------------|
| Epoksi reçine | 1,16 |
| Cam elyafı | 2,54 |
| Seramik toz, Al ₂ O ₃ -TiO ₂ (%97-3) | 3,6 |
| Seramik toz, Al ₂ O ₃ -TiO ₂ (%87-13) | 3,5 |
| Seramik toz, Al ₂ O ₃ -TiO ₂ (%60-40) | 3,4 |

Çizelge 5.4. Kompozit malzemelerin porozite değerleri

| Grup Adı | Seramik Partikül Tipi, Ürün Kodu, Partikül Büyüklüğü, Üretim Yöntemi | Katkı oranı (%) | Kalınlık (mm) | Porozite (%) |
|----------|---|-----------------------|------------------|-----------------|
| KATKISIZ | - | %0 | 2,14 | 1,33 |
| GRUP A | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%97-3), AMDRY 6200, (-22+5 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,42 | 2,05 |
| | | %10 | 2,39 | 3,02 |
| | | %15 | 2,41 | 3,98 |
| GRUP B | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%97-3), GTV 40.01.2, (-90+45 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,29 | 2,77 |
| | | %10 | 2,5 | 3,08 |
| | | %15 | 2,8 | 3,88 |
| GRUP C | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ %87-13, AMDRY 6228, (-45+15 µm), (Fused, Crushed and Blended) | %5 | 2,57 | 2,04 |
| | | %10 | 2,54 | 3,13 |
| | | %15 | 2,48 | 3,84 |
| GRUP D | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%87-13), METCO 130 SF, (-45+5 µm), (Mecanically clad) | %5 | 2,2 | 2,12 |
| | | %10 | 2,3 | 2,57 |
| | | %15 | 2,37 | 3,88 |
| GRUP E | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%87-13), GTV 40.30.0, (-22+5 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,17 | 2,33 |
| | | %10 | 2,2 | 2,80 |
| | | %15 | 2,4 | 3,50 |
| GRUP F | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%60-40), GTV 40.31.0, (-25+5 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,21 | 2,61 |
| | | %10 | 2,23 | 2,74 |
| | | %15 | 2,31 | 3,60 |
| GRUP G | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%60-40), GTV 40.31.1, (-45+20 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,12 | 2,50 |
| | | %10 | 2,42 | 2,83 |
| | | %15 | 2,48 | 3,33 |
| GRUP H | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%60-40), METCO 131 VF, (-45+5 µm), (Agglomerated) | %5 | 2,12 | 2,40 |
| | | %10 | 2,27 | 3,45 |
| | | %15 | 2,35 | 3,95 |



Şekil 5.3.Üretilen kompozit malzemelerin porozite oranı değerleri (%)

Katkısız numunenin porozitesi seramik toz takviyeli numunelerden çok daha düşük çıkmıştır. Seramik toz takviyeli numunelerde porozite oranının katkısız numunelerden yüksek çıkması seramik tozların gözenekliliği arttırdığını göstermiştir. Aynı zamanda %5, %10, %15 seramik toz takviyeli numunelerin poroziteleri karşılaştırıldığında %5'ten %15'e doğru seramik toz takviyesi oranı arttıkça porozitede doğrusal olarak artmıştır. Bu durum seramik toz takviyesi olan numunelerde reçinenin cam elyafı ıslatma oranını düşürdüğü olarak değerlendirilebilir. Takviyesiz numunelerde porozitenin düşük çıkmasında seramik toz takviyesi olmadığı için reçinenin cam elyafı iyi ıslatması ve boşluk oranının az oluşmasından kaynaklanmıştır.

5.4. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) Mikroskop İncelemesi

Üretilen deney numunelerinde kullanılan seramik tozların mikroyapı görüntüleri ve üretilen numunelere uygulanan çekme, eğilme, çentik darbe deney sonucundaki kırılma yüzeylerinin mikroyapı görüntüleri Afyon Kocatepe Üniversitesi TUAM (Tenoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi)'deki LEO 1430 VP model SEM cihazı ile alınmıştır. Aşağıdaki Resim 5.4.'de SEM mikroskobunun genel görüntüsü verilmiştir.



Resim 5.4. SEM mikroskobunun genel görünüşü

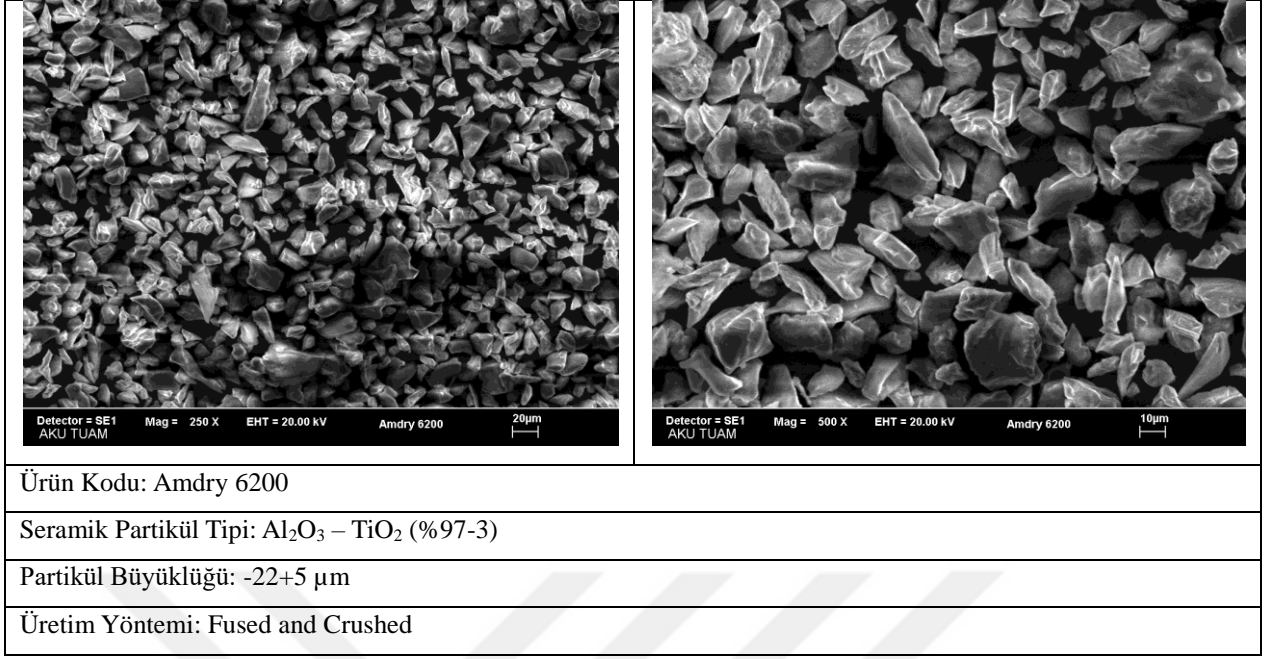
5.4.1. Seramik Tozların SEM Görüntüsünün Alınması

Seramik tozların mikroyapı incelemesinde SEM görüntüsü alınması için öncelikle seramik tozlar hazırlanmıştır. SEM cihazında görüntüsü alınacak seramik tozlarda mikroskoba yerleştirilmeden önce karbon ya da altın gibi herhangi bir kaplama uygulanmamıştır. Seramik tozların SEM cihazında incelenebilmesi için mikroskobun içine yerleştirilecek olan dairesel şeklindeki platformun üzerine takılacak küçük tablalara yerleştirilmiştir. Bu küçük tablaların üzerine çift taraflı yapışkan bant yapıştırıldıktan sonra seramik tozlar çok küçük miktarlarda bu bant üzerine konulmuştur. Daha sonra bu küçük tablalar mikroskopta inceleme yapacağımız dairesel platform üzerindeki deliklere sıra ile dizilerek hazırlandıktan sonra SEM mikroskobunun içine yerleştirilmiştir (Resim 5.5). Seramik tozların Al_2O_3 - TiO_2 'in farklı yüzdesel oranlarında, farklı partikül büyüklüklerinde ve farklı üretim yöntemleri ile üretilmiş sekiz farklı tipi bulunmaktadır. SEM mikroskobunda sekiz farklı özelliğe sahip seramik tozun farklı büyütme oranlarında görüntüleri alınmıştır.

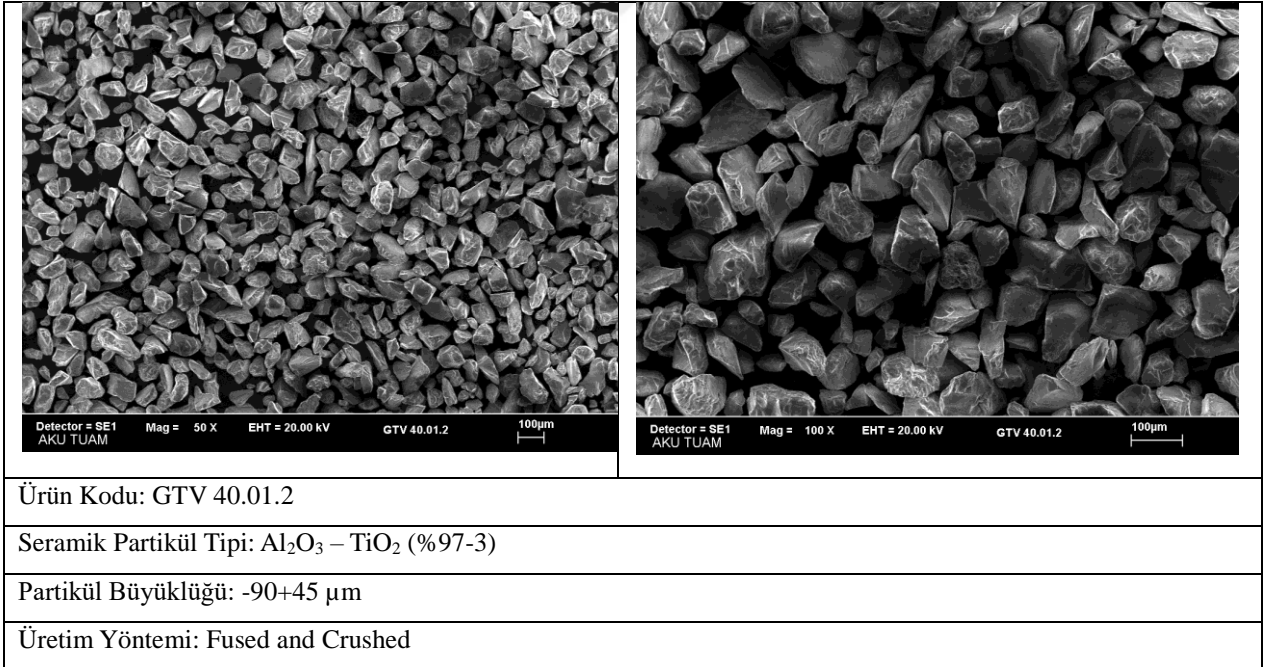


Resim 5.5. Seramik tozlarının SEM mikroskobunda görüntü alınacak şekilde hazırlanması

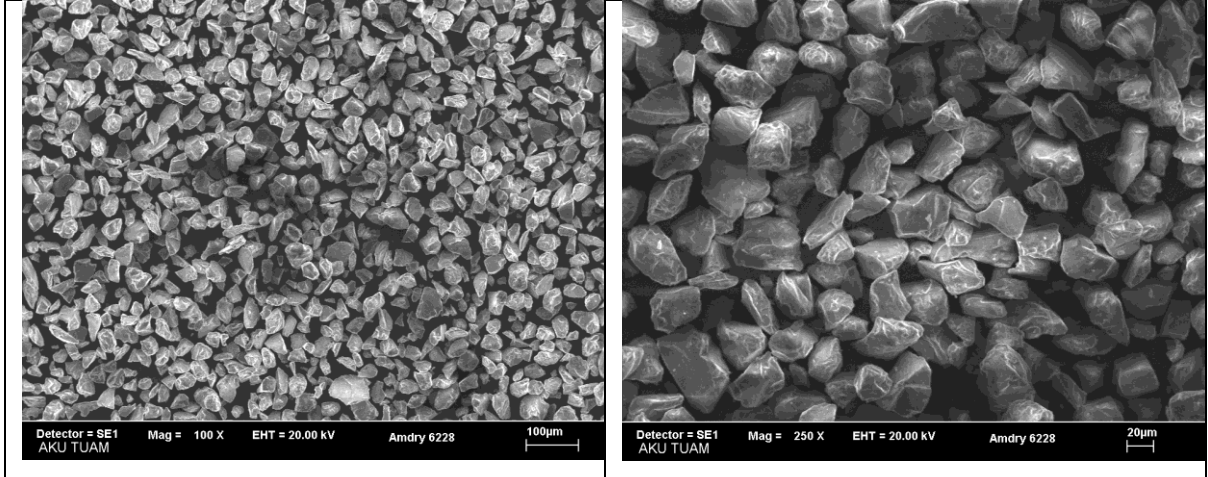
Numunelerde kullanılan sekiz farklı seramik toza ait farklı büyütme oranlarında mikroyapı görüntüleri aşağıdaki Resimler 5.6 - 5.13'de verilmiştir.



Resim 5.6. Amdry 6200 SEM görüntüleri



Resim 5.7. GTV 40.01.2 SEM görüntüleri



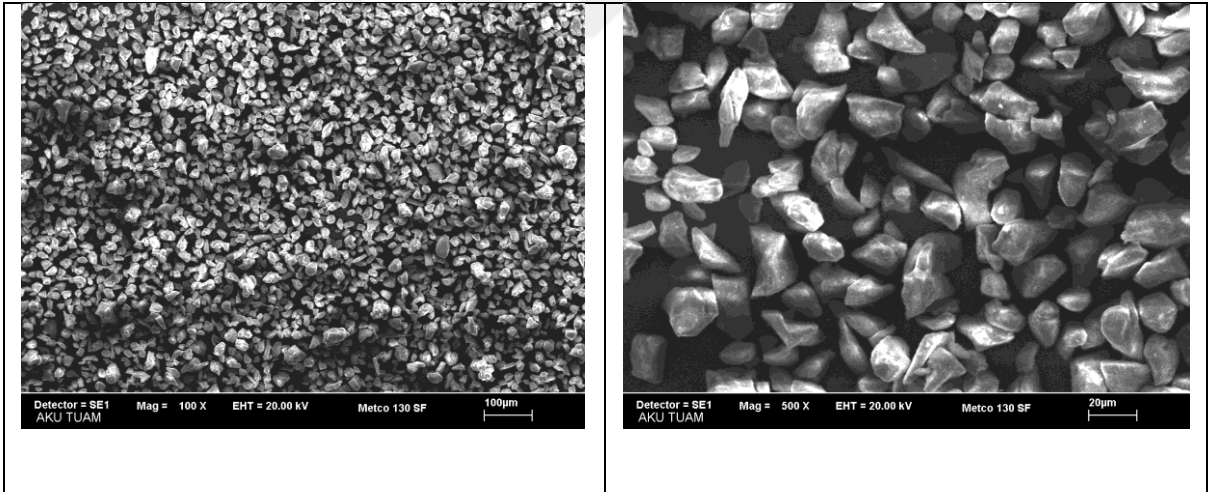
Ürün Kodu: Amdry 6228

Seramik Partikül Tipi: $Al_2O_3 - TiO_2$ (%87-13)

Partikül Büyüklüğü: $-45 + 15 \mu m$

Üretim Yöntemi: Fused, Crushed and Blended

Resim 5.8. Amdry 6228 SEM görüntüleri



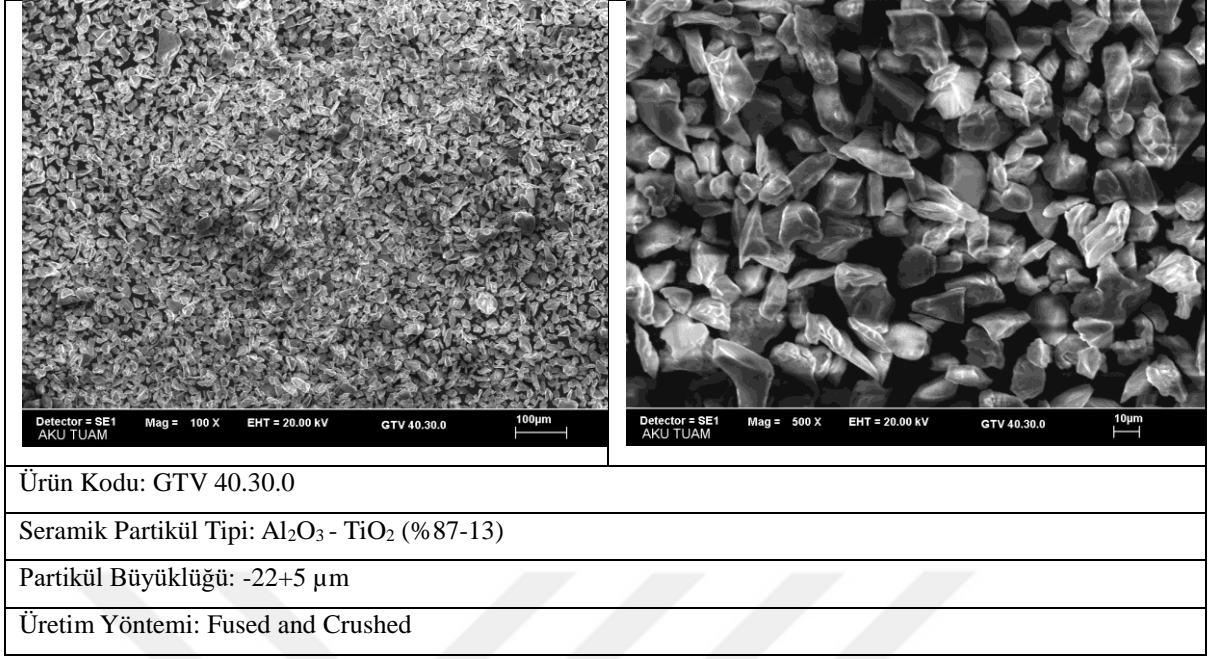
Ürün Kodu: Metco 130 SF

Seramik Partikül Tipi: $Al_2O_3 - TiO_2$ (%87-13)

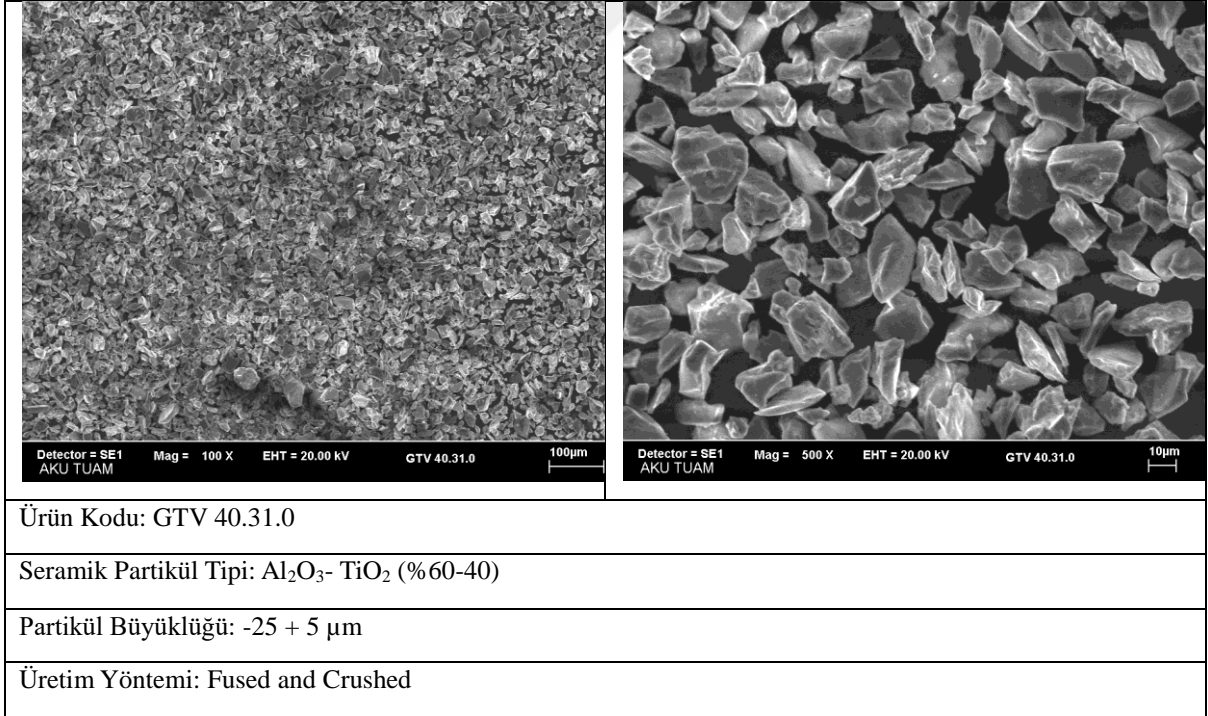
Partikül Büyüklüğü: $-45 + 5 \mu m$

Üretim Yöntemi: Mecanically clad

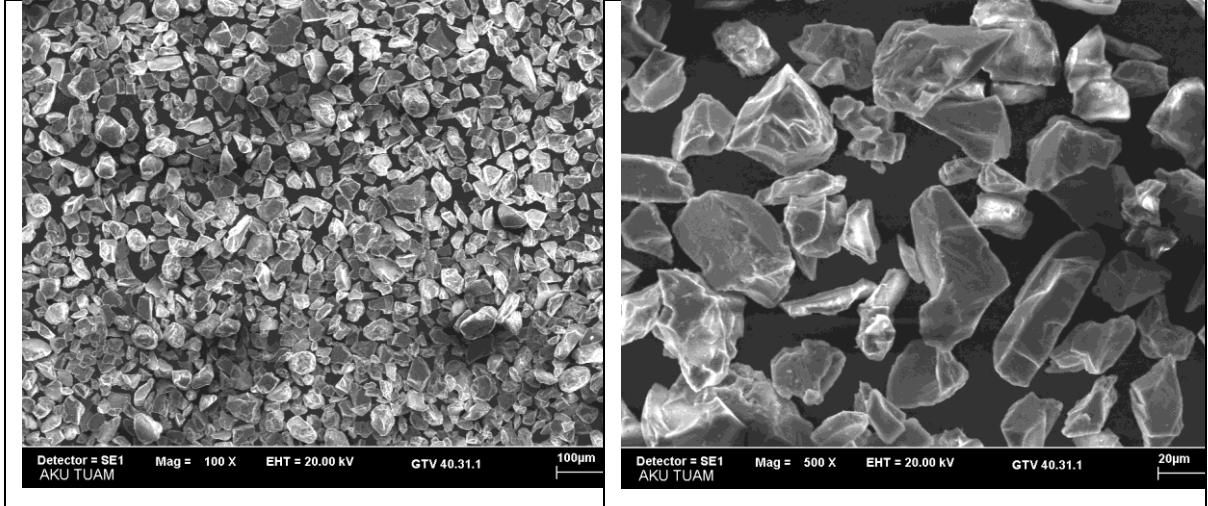
Resim 5.9. Metco 130 SF SEM görüntüleri



Resim 5.10. GTV 40.30.0 SEM görüntüleri



Resim 5.11. GTV 40.31.0 SEM görüntüleri



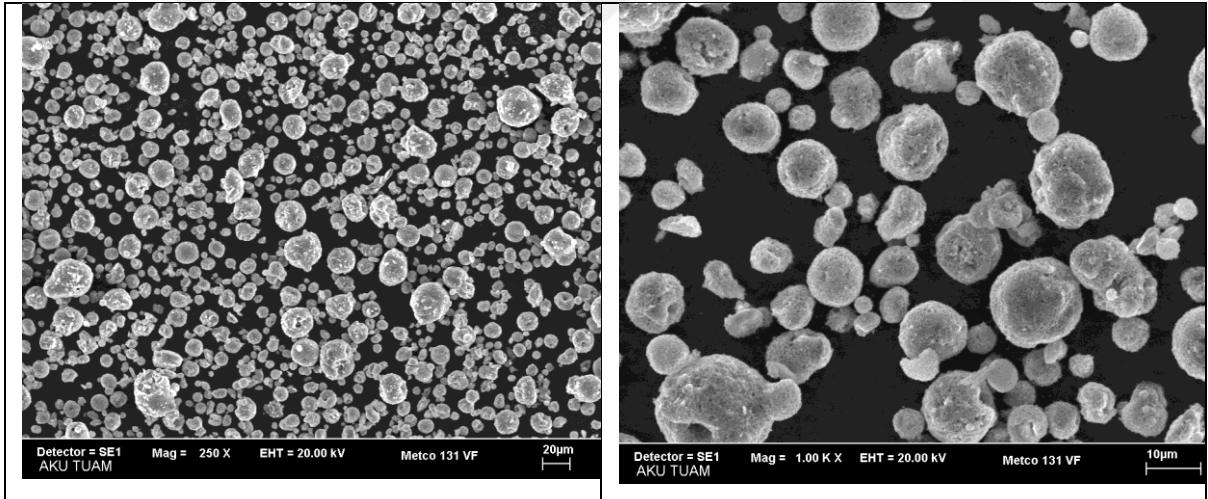
Ürün Kodu: GTV 40.31.1

Seramik Partikül Tipi: Al_2O_3 - TiO_2 (%60-40)

Partikül Büyüklüğü: -45 + 20 μm

Üretim Yöntemi: Fused and Crushed

Resim 5.12.GTV 40.31.1 SEM görüntüleri



Ürün Kodu: Metco 131 VF

Seramik Partikül Tipi: Al_2O_3 - TiO_2 (%60-40)

Partikül Büyüklüğü: -45 + 5 μm

Üretim Yöntemi: Agglomerated

Resim 5.13. Metco 131 VF SEM görüntüleri

Numunelerde ilave parçacık olarak kullanılan seramik tozların sekiz farklı partikül tipi mevcuttur. Bu sekiz farklı tip şu şekilde oluşmuştur. Tüm seramik toz içeriğinde Al_2O_3 - TiO_2 bulunmaktadır. Fakat Al_2O_3 - TiO_2 farklı yüzdesel oranlardadır. Bu oranlar şu şekilde değişmektedir. İlk seramik partikül tipi Al_2O_3 - TiO_2 (%97-3) oranında, ikinci seramik partikül tipi Al_2O_3 - TiO_2 (%87-13) oranında ve üçüncü seramik partikül tipi ise Al_2O_3 - TiO_2 (%60-40) oranındadır. İlk grup olan Al_2O_3 - TiO_2 (%97-3)' te partikül büyüklüğü (-22+5 μm) ve (-90+45 μm) olarak ikiye ayrılır. Bu iki grubunda üretim yöntemleri aynıdır. Her ikisinde Fused and Crushed (ergitilip öğütülmüş) ile üretilmiştir. İkinci grup olan Al_2O_3 - TiO_2 (%87-13)'te partikül büyüklükleri (-45+15 μm), (-45+5 μm) ve (-22+5 μm) olarak üçe ayrılır. Bu üç farklı partikül büyüklüğüne sahip olan tiplerin herbirisi farklı üretim yöntemleri ile üretilmiştir. (-45+15 μm) partikül büyüklüğüne sahip olan seramik toz Fused, Crushed and Blended (Ergitilip öğütüldükten sonra harmanlanmış) ile, (-45+5 μm) partikül büyüklüğüne sahip olan numune Mechanically Clad (mekanik olarak kaplanmış) ile ve (-22+5 μm) partikül büyüklüğüne sahip olan seramik toz ise Fused and Crushed (ergitilip öğütülmüş) yöntemi ile üretilmiştir. Üçüncü grup olan Al_2O_3 - TiO_2 (%60-40)' te ise partikül büyüklükleri (-25+5 μm), (-45+20 μm) ve (-45+5 μm) olarak üçe ayrılır. Bu üç farklı partikül büyüklüğüne sahip olan tiplerin ikisinin üretim yöntemleri aynı iken birinin üretim yöntemi farklıdır. (-25+5 μm), (-45+20 μm) partikül büyüklüklerine sahip olan seramik tozlar Fused and Crushed (ergitilip öğütülmüş) yöntemi ile üretilmiştir. (-45+5 μm) partikül büyüklüklerine sahip olan seramik toz ise Agglomerated (aglomera olmuş) yöntemi ile üretilmiştir. Böylece üretilen kompozit levhalarda sekiz farklı kombinasyona sahip seramik toz tipi kullanılmıştır.

Bu sekiz farklı seramik toz tipinin SEM mikroskobunda farklı büyütme oranlarında mikro yapı görüntüleri alınmıştır. Seramik tozlardan alınan mikro yapı görüntülerinde farklı partikül büyüklüklerine sahip olmaları ve farklı üretim yöntemleri seramik partikül tozlarının farklı şekillere sahip olmasını sağlamıştır. Fused and Crushed yöntemi önce ergitilip daha sonra öğütüldüğü için üretilen seramik tozlarda daha sivri köşler görülmektedir. Bu yöntemde üretilen seramik tozların sadece çekirdekten ibaret olduğu görülmektedir. Fused, Crushed and Blended yönteminde ise Fused and Crushed yönteminde olduğu gibi ergitildikten sonra öğütülmüş ilave olarak Blended yani harmanlanmıştır. Bu karıştırma esnasında öğütülürken oluşan keskin köşeler bir miktar azalmış daha yuvarlak bir görüntü almıştır. Bu yöntemdede yine seramik tozlar tek bir çekirdekten ibarettir.

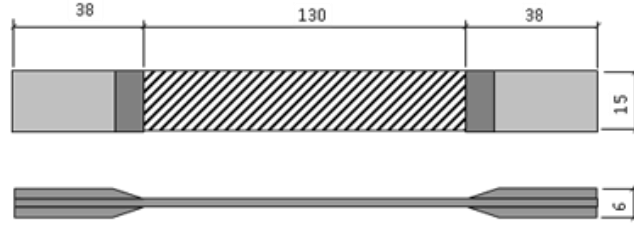
Mecanically clad yönteminde ise bir çekirdek üzerine çekirdekten daha küçük taneciklerin kaplanması ile oluşmuş bir yapı görülmektedir. Yani çekirdek gözenekli olarak kaplanmıştır. Ancak mikro yapı görüntüsünde Fused, Crushed and Blended' tan çok farklı bir görüntü oluşmamıştır. Son olarak Agglomerated yöntemine bakıldığında ise seramik toz parçacıklarının birbiri üzerine yığılarak bir araya getirilmesi ile oluşan tanecikler görülmektedir. Oluşan bu taneciklerin içyapısında gözeneklerde mevcuttur. Mikro yapı görüntüsü ise diğer tüm üretim yöntemlerinde üretilen seramik tozlardan farklı olarak yuvarlak bir görüntü oluşturmuştur.

5.5. Çekme Deneyi

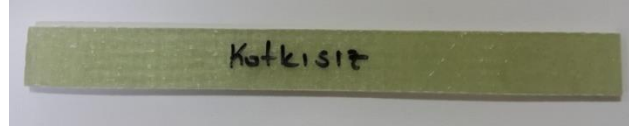
Çekme deneyi malzemenin eksenini doğrultusunda çekildiğinde göstermiş olduğu davranışları incelemek için yapılır.

Deneyin Yapılması

Tez çalışması kapsamında üretilen kompozit malzemelerin mekaniksel özelliklerinden çekme dayanımı ve elastisite modüllerini belirlemek için çekme deneyleri ASTM D 3039 standardına göre yapılmıştır [83]. Çekme deneyinde kullanılacak numunelerin ölçüleri aşağıdaki Şekil 5.4.' de verilmiştir. Çekme deneyinde numuneler 1 mm/min çekme hızı ile çekme testine tabi tutulmuşlardır. Çekme deneyleri Uşak'ta faaliyet göstermekte olan Pull Tech Frp Kompozit Yapı Tekn. İmalat San. Tic. A.Ş.'de Resim 5.15. - 5.16.'da gösterilen Universal Utest marka 7013 model çekme cihazı kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 5.4. Çekme deney numunesi



Resim 5.14. Örnek çekme deney numunesi

Çekme dayanımı aşağıdaki Eş. 5.3.' den hesaplanmıştır:

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \quad (5.3)$$

Eşitlikte;

σ = Normal gerilme (N/mm²), F= Uygulama kuvveri (N), S₀= Kesit alanı (mm²)

Birim şekil değiştirme aşağıdaki Eş. 5.4.' den hesaplanmıştır:

$$\varepsilon_e = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot 100(\%) \quad (5.4)$$

Eşitlikte;

ε_e = Elastik birim şekil değiştirme (%), ΔL = Boyca uzama miktarı (mm), L₀= İlk boy (mm)

Elastisite Modülü aşağıdaki Eş. 5.5.' den hesaplanmıştır:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_e} \quad (5.5)$$

Eşitlikte;

E= Elastisite modülü (N/mm²), σ = Normal gerilme (N/mm²), ε_e = Elastik birim şekil değiştirme (%)

Çekme deney cihazının genel görünümü Resim 5.15.' de verilmiştir.



Resim 5.15.Çekme deney cihazının genel görünümü

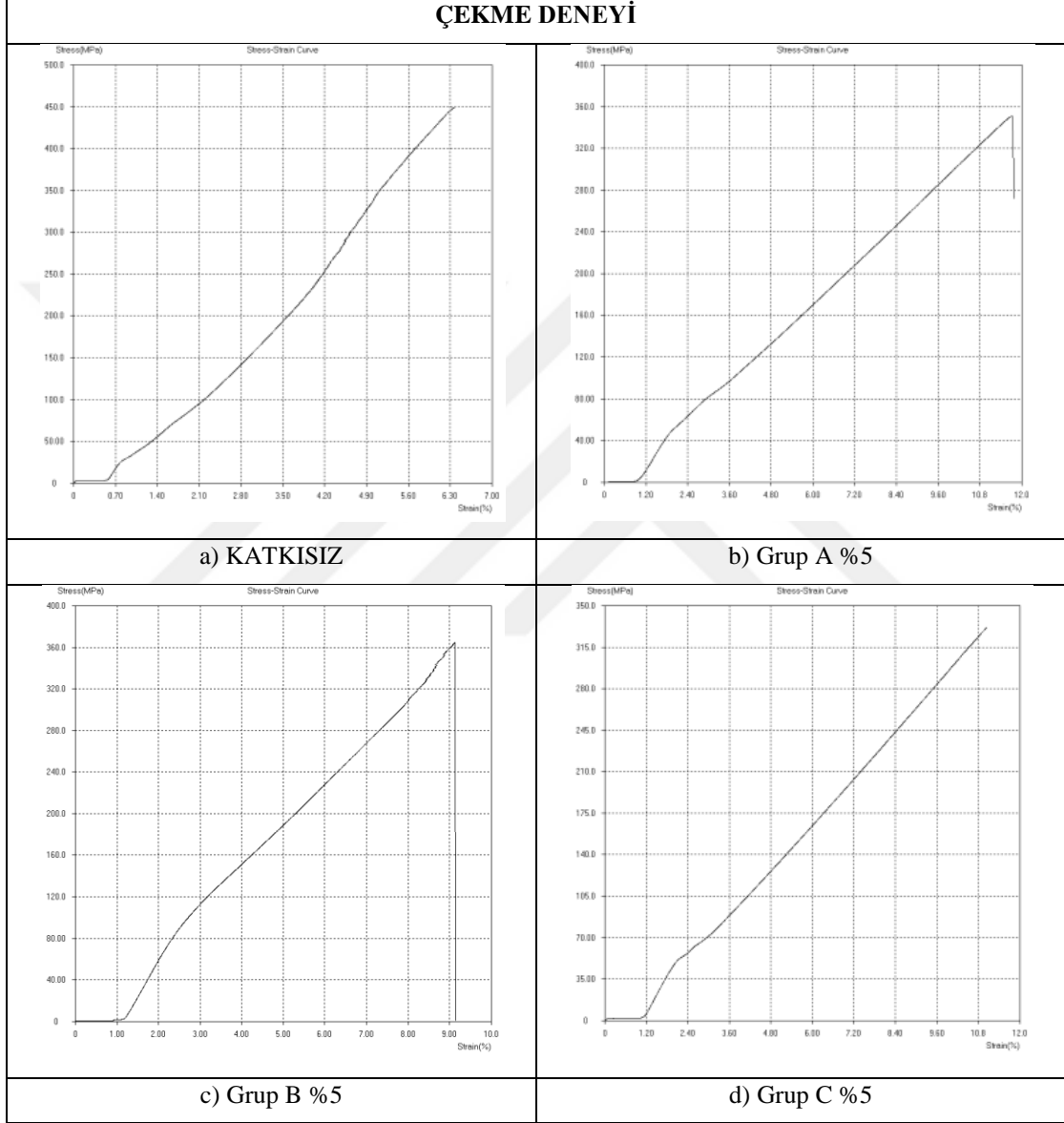
Çekme deneyi uygulanan deney numunelerinden bazılarının fotoğrafları da Resim 5.16.'da verilmiştir.

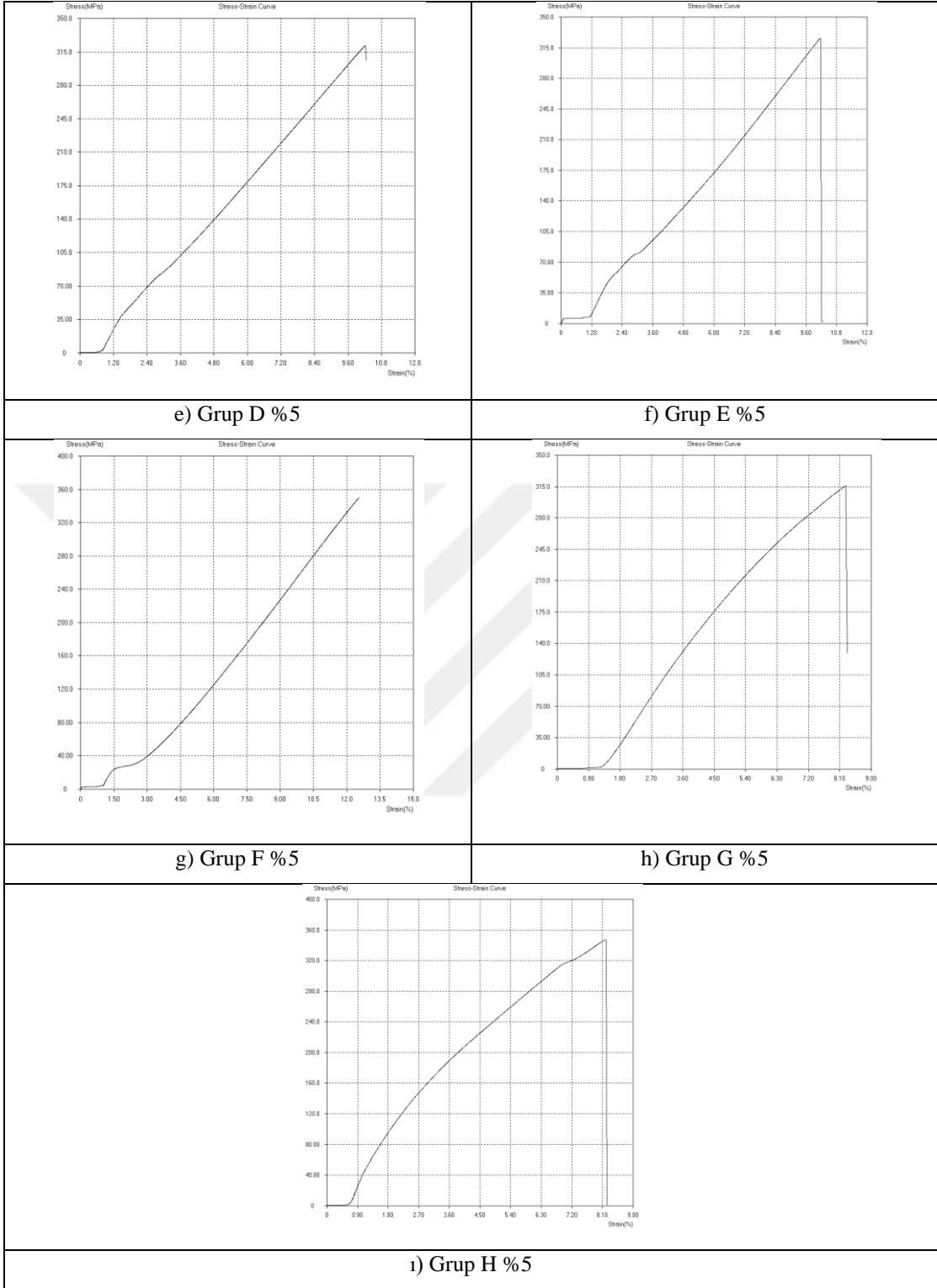


Resim 5.16. Çekme deneyi uygulanan deney numunelerinden bazılarının fotoğrafları

Çekme Deneyi Sonuçları

Aşağıdaki tabloda çekme deney cihazından alınan kuvvet – uzama diyagramına her farklı numune grubu için birer örnek verilmiştir.





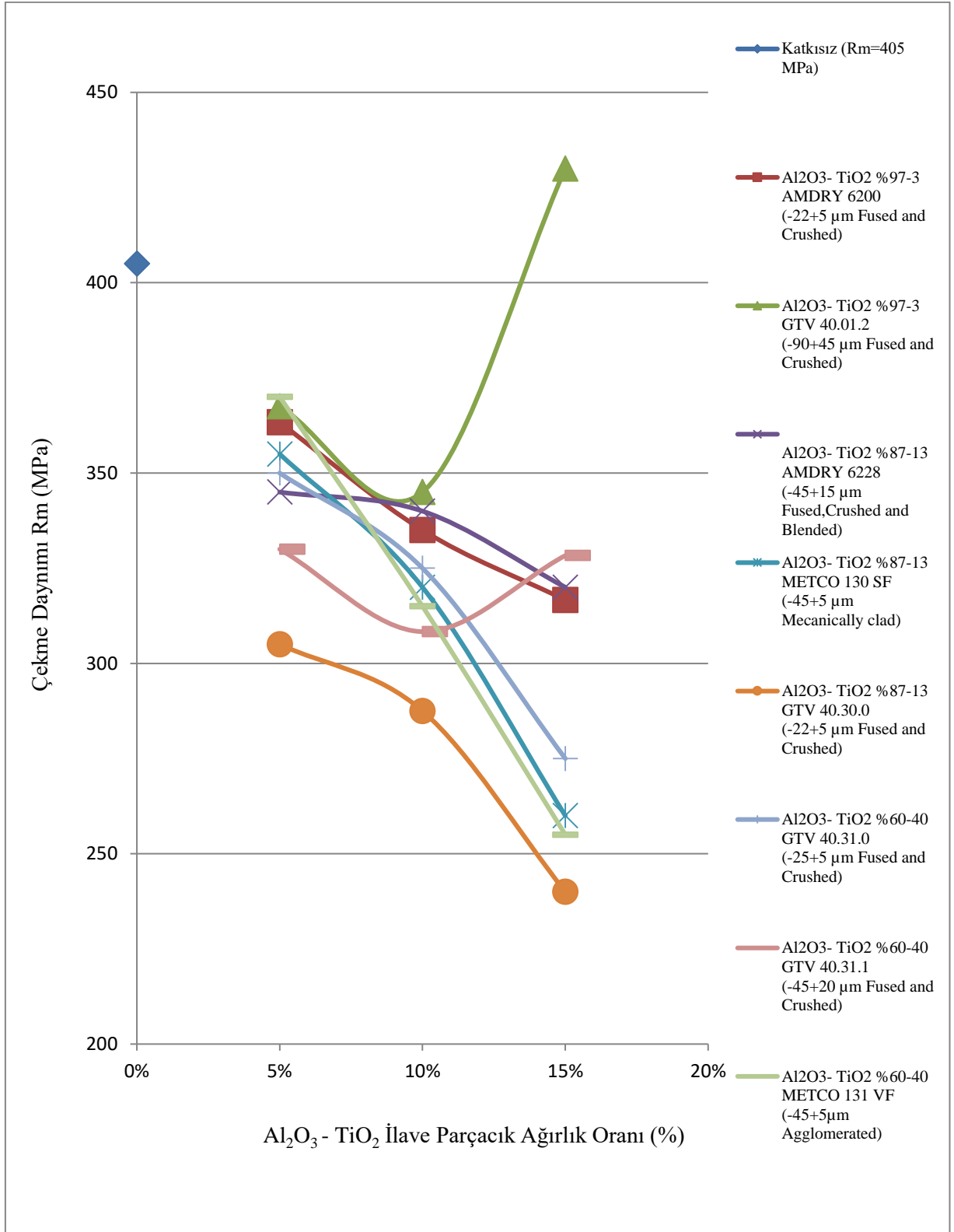
Şekil 5.5. Çekme deneyi sonucunda dokuz farklı numune türü için kuvvet - uzama grafiklerine örnekler

Kompozit Malzemelerin Çekme Deneyi Sonuçları

Üretilen kompozit malzemelerin ilgili ASTM standardına göre yapılmış durumdaki çekme deneyi sonuçları Çizelge 5.5 ve Şekil 5.6’da verilmiştir.

Çizelge 5.5. Çekme deneyi sonucunda elde edilen maksimum çekme dayanımı sonuçları

| Grup Adı | Seramik Partikül Tipi, Ürün Kodu, Partikül Büyüklüğü, Üretim Yöntemi | Katkı oranı (%) | Kalınlık (mm) | Çekme Dayanımı Rm (MPa) |
|----------|---|-----------------------|------------------|----------------------------------|
| KATKISIZ | - | %0 | 2,14 | 405 |
| GRUP A | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%97-3) AMDRY 6200 (-22+5 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,42 | 363 |
| | | %10 | 2,39 | 335 |
| | | %15 | 2,41 | 317 |
| GRUP B | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%97-3) GTV 40.01.2 (-90+45 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,29 | 368 |
| | | %10 | 2,5 | 345 |
| | | %15 | 2,8 | 430 |
| GRUP C | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%87-13) AMDRY 6228 (-45+15 µm), (Fused, Crushed and Blended) | %5 | 2,57 | 345 |
| | | %10 | 2,54 | 340 |
| | | %15 | 2,48 | 320 |
| GRUP D | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%87-13) METCO 130 SF (-45+5 µm), (Mecanically clad) | %5 | 2,2 | 355 |
| | | %10 | 2,3 | 320 |
| | | %15 | 2,37 | 260 |
| GRUP E | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%87-13) GTV 40.30.0 (-22+5 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,17 | 305 |
| | | %10 | 2,2 | 288 |
| | | %15 | 2,4 | 240 |
| GRUP F | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%60-40) GTV 40.31.0 (-25+5 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,21 | 350 |
| | | %10 | 2,23 | 325 |
| | | %15 | 2,31 | 275 |
| GRUP G | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%60-40) GTV 40.31.1 (-45+20 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,12 | 330 |
| | | %10 | 2,42 | 308 |
| | | %15 | 2,48 | 328 |
| GRUP H | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%60-40) METCO 131 VF (-45+5µm), (Agglomerated) | %5 | 2,12 | 370 |
| | | %10 | 2,27 | 315 |
| | | %15 | 2,35 | 255 |



Şekil 5.6. Üretilen numunelerin maksimum çekme dayanımı değerleri

Polimer matrisli epoksi reçineli cam elyaf takviyeli ilave parçacık olarak farklı partikül büyüklüklerinde, farklı partikül şekillerinde ve farklı yüzdesel oranlarda Al₂O₃ - TiO₂ seramik tozlarının katılmasıyla oluşturulan kompozit malzemelerden standartlara göre hazırlanmış çekme deney numunelerine yapılan çekme deneyi sonucunda maksimum çekme dayanımının seramik tozlarının yüzdesel oranlarına göre değişimi ile ilgili Şekil 5.6. 'da ki gibi bir grafik oluşmuştur. Grafiğe göre katkısız malzemenin maksimum çekme dayanımı ortalama olarak R_m= 405 MPa olarak bulunmuştur. İlave parçacık olarak seramik tozlar kullanılan farklı kombinasyondaki tüm numunelerin %5 seramik toz oranında çekme dayanımları katkısızza göre düşüş göstermiştir. Bu oran %10 ve %15 gibi artırıldığında genel anlamda çekme dayanımlarında düşüş devam etmiştir.

Ancak Al₂O₃ - TiO₂ (%97-3) GTV 40.01.2 (-90+45 µm, Fused and Crused) numunelerinin maksimum çekme dayanımı %10'a kadar düşmüş %10'dan sonra %15'e kadar yaklaşık olarak 450 MPa'a kadar artış göstererek katkısız numunedeki değer üzerinde bir çekme dayanımı değerine ulaşmıştır. Ayrıca Al₂O₃ - TiO₂ (%60-40) GTV 40.31.1 (-45+20 µm, Fused and Crused) numunelerinin maksimum çekme dayanımı %10'a kadar düşmüş %10'dan sonra %15'e kadar 320 MPa' a kadar bir artış göstermiş olsada %15'lik seramik toz katkı oranındaki çekme dayanımı değeri katkısız numunenin çekme dayanımı değerinin altında kalmıştır.

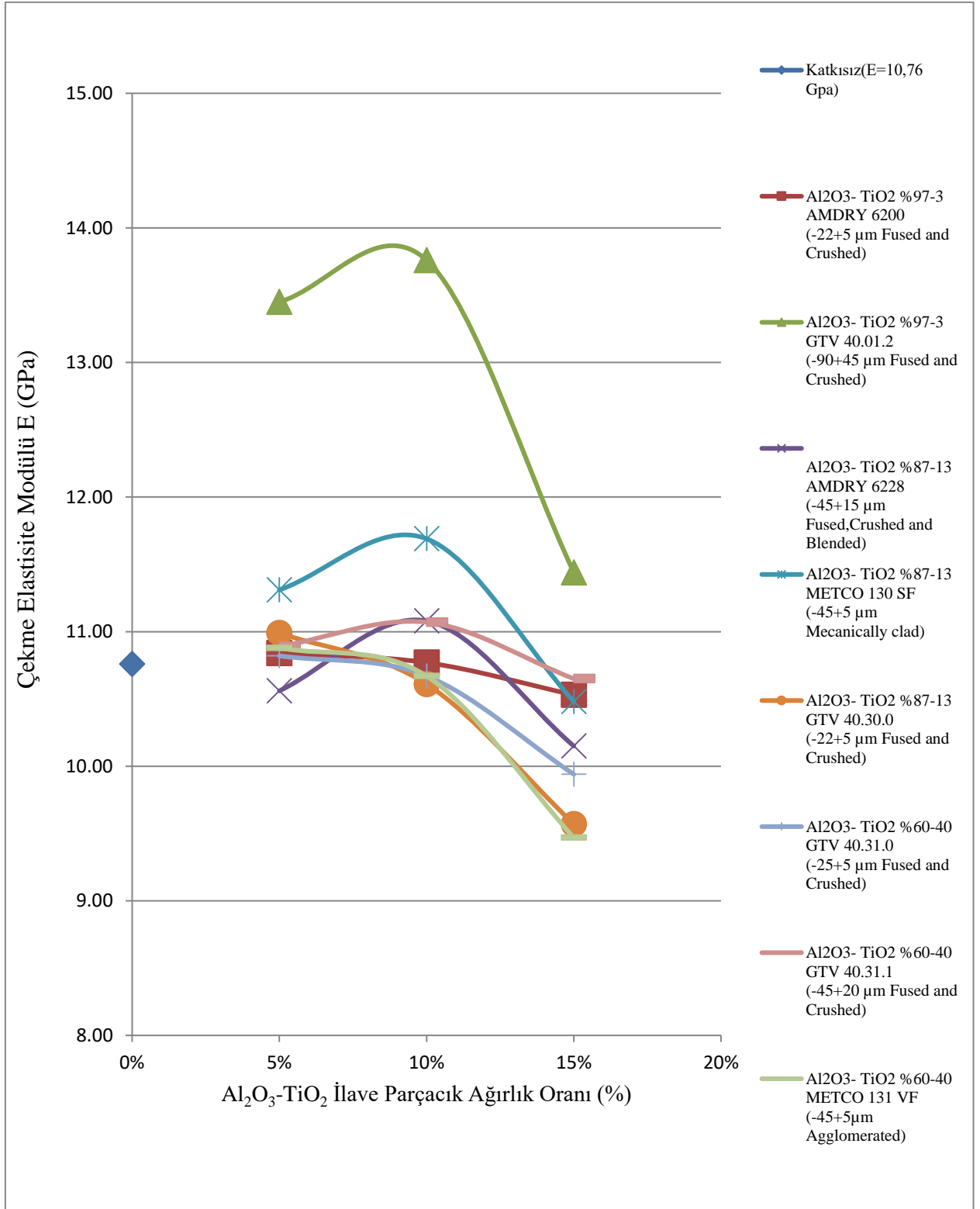
Sonuç olarak iki numune tipi hariç genel olarak seramik toz katkısı çekme dayanımını düşürücü bir etki yapmıştır. Ayrıca seramik toz katkı oranları %5'ten %15' e doğru karşılaştırıldığında yine seramik toz katkı oranı arttıkça çekme dayanımı değerlerinde düşme olmuştur. Al₂O₃ - TiO₂ (%97-3) GTV 40.01.2 (-90+45µm, Fused and Crused) numune tipindeki %5'ten %10'a kadar düşüş gösterdikten sonra %10'dan %15'e kadar katkısız numunedeki çekme dayanım değerinin üzerine çıkan bir artış göstermesi bu numune tipinde kullanılan seramik toz partikül büyüklüğünün diğer numunelerden daha büyük olmasından kaynaklanmıştır.

Kompozit Malzemelerin Çekme Deneyi Sonucunda Elde Edilen Elastisite Modülü Değerleri

Standardına göre hazırlanan çekme numunelerine yapılan çekme deneyi sonucunda elastisite modülünün ilave edilen seramik tozlarının farklı partikül büyüklüklerinin yüzdesel oranlarına göre değişiminin karşılaştırması aşağıdaki Çizelge 5.6 ve Şekil 5.7.'de verilmiştir.

Çizelge 5.6. Çekme deneyi elastisite modülü sonuçları

| Grup Adı | Seramik Partikül Tipi, Ürün Kodu, Partikül Büyüklüğü, Üretim Yöntemi | Katkı oranı (%) | Kalınlık (mm) | Çekme Deneyi Elastisite Modülü E (GPa) |
|----------|---|-----------------------|------------------|---|
| KATKISIZ | - | %0 | 2,14 | 10,76 |
| GRUP A | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%97-3) AMDRY 6200 (-22+5 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,42 | 10,84 |
| | | %10 | 2,39 | 10,77 |
| | | %15 | 2,41 | 10,53 |
| GRUP B | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%97-3) GTV 40.01.2 (-90+45 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,29 | 13,45 |
| | | %10 | 2,5 | 13,76 |
| | | %15 | 2,8 | 11,44 |
| GRUP C | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%87-13) AMDRY 6228 (-45+15 µm), (Fused, Crushed and Blended) | %5 | 2,57 | 10,56 |
| | | %10 | 2,54 | 11,08 |
| | | %15 | 2,48 | 10,15 |
| GRUP D | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%87-13) METCO 130 SF (-45+5 µm), (Mecanically clad) | %5 | 2,2 | 11,31 |
| | | %10 | 2,3 | 11,69 |
| | | %15 | 2,37 | 10,48 |
| GRUP E | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ %87-13 GTV 40.30.0 (-22+5 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,17 | 10,99 |
| | | %10 | 2,2 | 10,61 |
| | | %15 | 2,4 | 9,57 |
| GRUP F | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ %60-40 GTV 40.31.0 (-25+5 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,21 | 10,82 |
| | | %10 | 2,23 | 10,67 |
| | | %15 | 2,31 | 9,94 |
| GRUP G | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ %60-40 GTV 40.31.1 (-45+20 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,12 | 10,89 |
| | | %10 | 2,42 | 11,07 |
| | | %15 | 2,48 | 10,65 |
| GRUP H | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%60-40) METCO 131 VF (-45+5µm), (Agglomerated) | %5 | 2,12 | 10,88 |
| | | %10 | 2,27 | 10,67 |
| | | %15 | 2,35 | 9,47 |



Şekil 5.7. Üretilen numunelerin çekme deneyi elastisite modülü değerleri

Polimer matrisli epoksi reçineli cam elyaf takviyeli ilave parçacık olarak farklı partikül büyüklüklerinde, farklı partikül şekillerinde ve farklı yüzdesel oranlarda $Al_2O_3 - TiO_2$ seramik tozlarının katılmasıyla oluşturulan kompozit malzemelerden standartlara göre hazırlanmış çekme deney numunelerine yapılan çekme deneyi sonucunda elde edilen elastisite modülünün seramik tozlarının yüzdesel oranlarına göre değişimi ile ilgili Şekil 5.7. 'de ki gibi bir grafik oluşmuştur. Grafiğe göre katkısız malzemenin elastisite modülü $E=10,76$ GPa olarak çıkmıştır. İlave parçacık olarak seramik tozlar kullanılan farklı kombinasyondaki bazı numunelerin katkısız numunelere göre Elastisite modülleri %5'ten %10' a doğru artmış, bazıları ise azalmıştır. Seramik toz katkı oranı %15'e çıkartıldığında ise kendi aralarında %10'dan %15'e doğru bir azalma olsada bazı numune tiplerinin elastisite modülleri katkısız numunelerin elastisite modüllerinin üzerinde kalmıştır.

Ancak $Al_2O_3 - TiO_2$ (%97-3) GTV 40.01.2 (-90+45 μm , Fused and Crused) seramik toz partikül takviyeli numunelerinin elastisite modülü %10'a kadar yükselmiş %10'dan sonra yaklaşık olarak 11 GPa'a kadar düşüş göstermiş olsada %5, %10 ve %15'lik seramik toz katkı oranlarının hepsinde elastisite modülü katkısız numunenin elastisite modülünün üzerinde kalmıştır.

$Al_2O_3 - TiO_2$ (%87-13) AMDRY 6228 (-45+15 μm , Fused, Crused and Blended) seramik toz partikül takviyeli numunelerinin elastisite modülü %5'te katkısız numunenin altındaki bir değerde kalmış daha sonra %10'a kadar yükselerek katkısız numunenin elastisite modülü değerinin üzerine çıkmıştır. %15 seramik toz katkı oranında ise katkısızın elastisite değerinin daha altında bir değere düşmüştür.

$Al_2O_3 - TiO_2$ (%87-13) METCO 130 SF (-45+5 μm , Mecanically clad) seramik toz partikül takviyeli numunelerinin elastisite modülü %5'te katkısızın üzerinde bir elastisite değerinde iken %10'a kadar yükselmiş % 10'da katkısızın üzerinde bir değere ulaşmıştır.%10'dan sonra tekrar düşüş göstermiştir bu düşüş %15 'te katkısızın elastisite modülü değerinin daha altında bir değere düşmüştür.

$Al_2O_3 - TiO_2$ (%60-40) GTV 40.31.1 (-45+20 μm , Fused and Crused) seramik toz partikül takviyeli numunelerinin elastisite modülü ise %5'ten %10'a doğru artmış %15'te tekrar düşmüş ortalama olarak katkısız numunenin elastisite modülüne yakın değerler elde edilmiştir. Diğer numune tiplerinde ise %5, %10, %15 seramik toz katkı oranlarına bakıldığında seramik toz katkı oranı arttıkça katkısız numuneye göre elastisite modüllerinde doğrusal bir azalma olmuştur.

5.6. Eğilme Deneyi

Eğilme deneyi, malzemelerin eğilme dayanımlarının ve şekil değiştirme özelliklerinin belirlenmesi için yapılmaktadır.

Deneyin yapılması

Deney cihazında üç noktadan eğilme deneyi ASTM D 790 standardına göre yapılmıştır [84]. Eğilme deneyleri Resim 5.18' de verilen Uşak'ta faaliyet göstermekte olan Pull Tech Frp Kompozit Yapı Tekn. İmalat San. Tic. A.Ş.'de Universal Utest marka 7013 model çekme cihazında yapılmıştır.

Öncelikle standardına göre eğilme deney numuneleri hazırlanmıştır. Daha sonra Resim 5.18'de görülen cihazdaki mesnetlerin üzerine numunenin orta noktası mesnetlerin altındaki cetveli 0 noktasına gelecek şekilde ayarlanarak yerleştirilmiştir. Daha sonra cihazın üst kısmından aşağıya doğru belli bir hızla ilerleyen basma çenesi ile numune eğilmeye zorlanmıştır. Eğilmeye zorlanan numunenin içe bakan kısmı basma gerilmesine maruz kalırken dışa bakan kısmı çekme gerilmesine maruz kalmaktadır. Eğilme deneyi sonucunda maksimum eğilme gerilmesi, eğilme modülü ve eğilmedeki çökme miktarı (sehim) bulunmuştur.

Kompozit malzemelerin eğilme dayanımı değerleri aşağıdaki Eş. 5.6.' dan hesaplanmıştır:

$$\sigma_{fs} = \frac{3.F_f.L}{2.b.h^2} \quad (5.6)$$

Eşitlikte;

σ_{fs} = Eğilme dayanımı (N/mm²), F_f = Uygulanan maksimum kuvvet (N), L= Mesnetler arası mesafe (mm), b= Numune genişliği (mm), h= Et kalınlığı (mm)

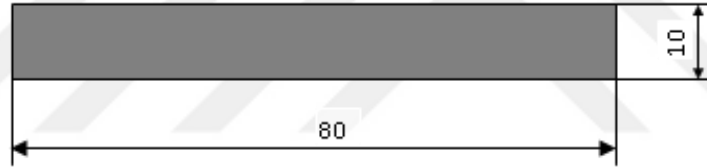
Kompozit malzemelerin eğilme modülü değerleri aşağıdaki Eş. 5.7.' den hesaplanmıştır.

$$E_B = \frac{L^3 \cdot m}{4 \cdot b \cdot d^3} \quad (5.7)$$

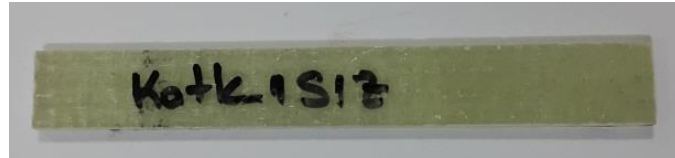
Eşitlikte;

E_B = Eğilme modülü (MPa), L = Destekler arası mesafe (mm), b = Numune genişliği (mm)
 d = Et kalınlığı (mm), m = Kuvvet - uzama diyagramının eğimi (N/mm)

Eğilme deneyinde kullanılan numunelerin ölçüleri ile örnek eğilme deney numunesinin görünüşü aşağıdaki Şekil 5.8 ve Resim 5.17'de verilmiştir.



Şekil 5.8. Eğilme deney numunesi

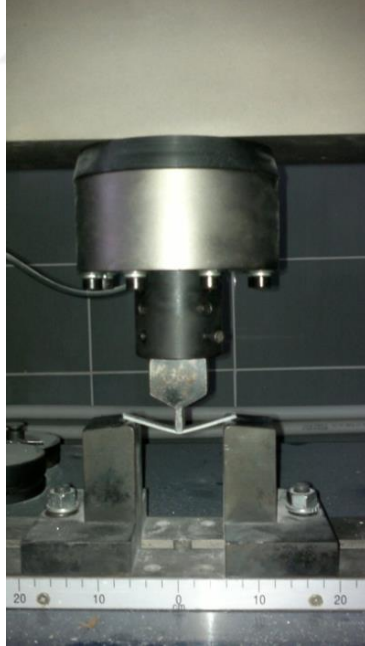


Resim 5.17. Örnek eğilme deneyi numunesi

Üretilen kompozit malzemelerinden eğilme deneyleri ilgili ASTM standardına göre hazırlanan numuneler üzerinde Resim 5.18'de verilen çekme deney cihazında tespit edilmiştir. Resim 5.19'da eğilme deneyi yapılması esnasındaki görünüş verilmektedir.



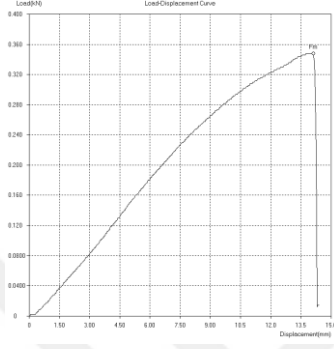
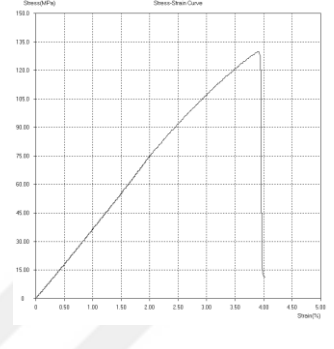
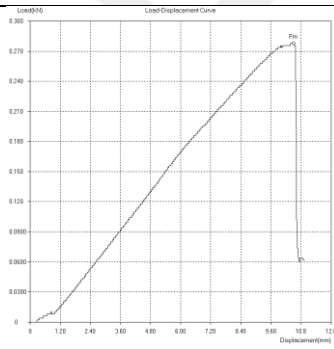
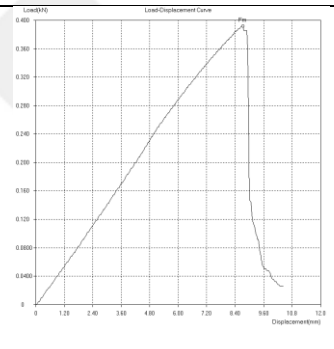
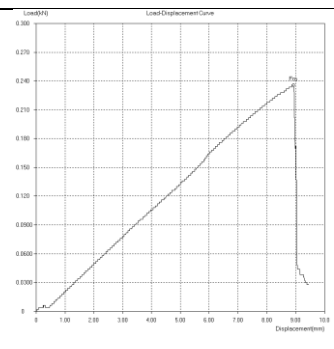
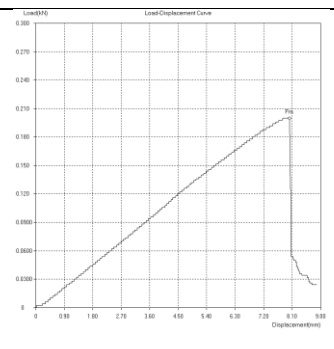
Resim 5.18.Eğilme deney cihazının genel görünümü

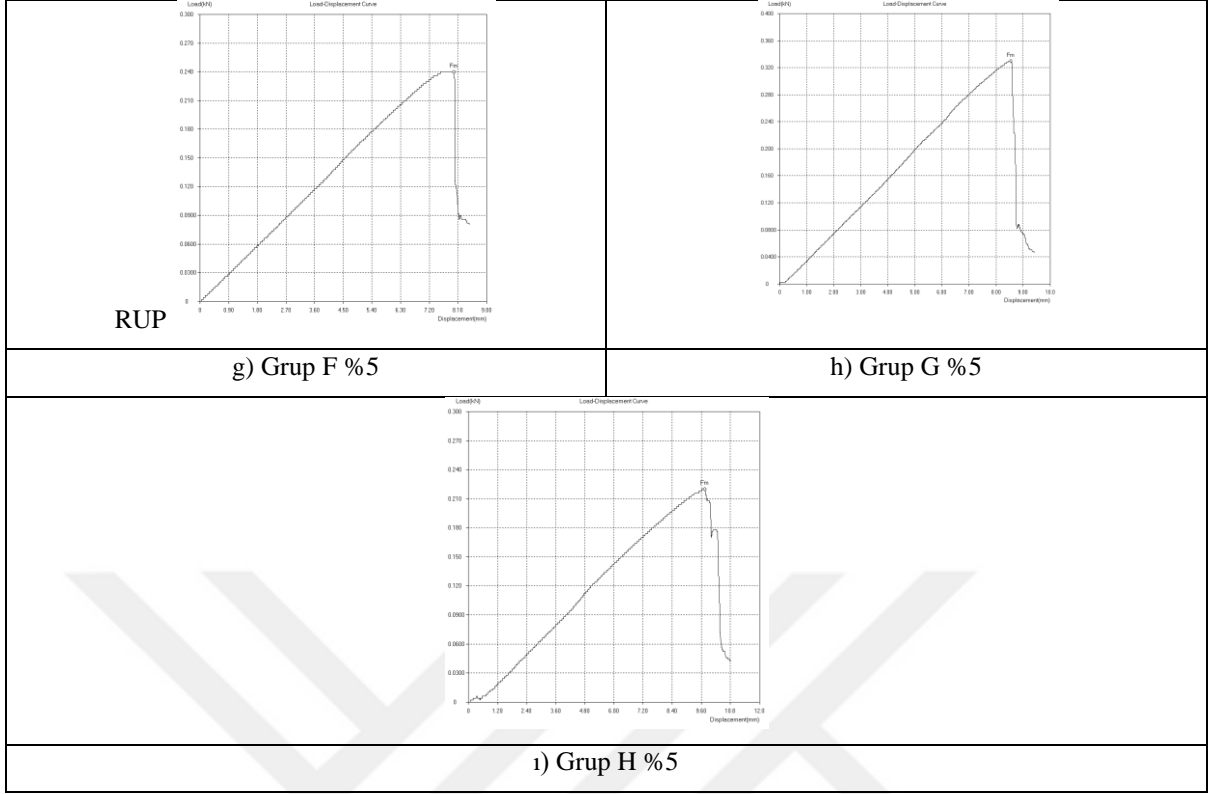


Resim 5.19. Üç noktadan eğilme uygulanan deney numunelerinden bazılarının deney esnasındaki fotoğrafları

Eğilme Deneyi Sonuçları

Aşağıdaki tabloda eğilme deney cihazından alınan kuvvet - uzama diyagramına her farklı numune tipi için birer örnek verilmiştir.

| EĞİLME DENEYİ | |
|---|--|
|  |  |
| a) Katkısız | b) Grup A %5 |
|  |  |
| c) Grup B %5 | d) Grup C %5 |
|  |  |
| e) Grup D %5 | f) Grup E %5 |



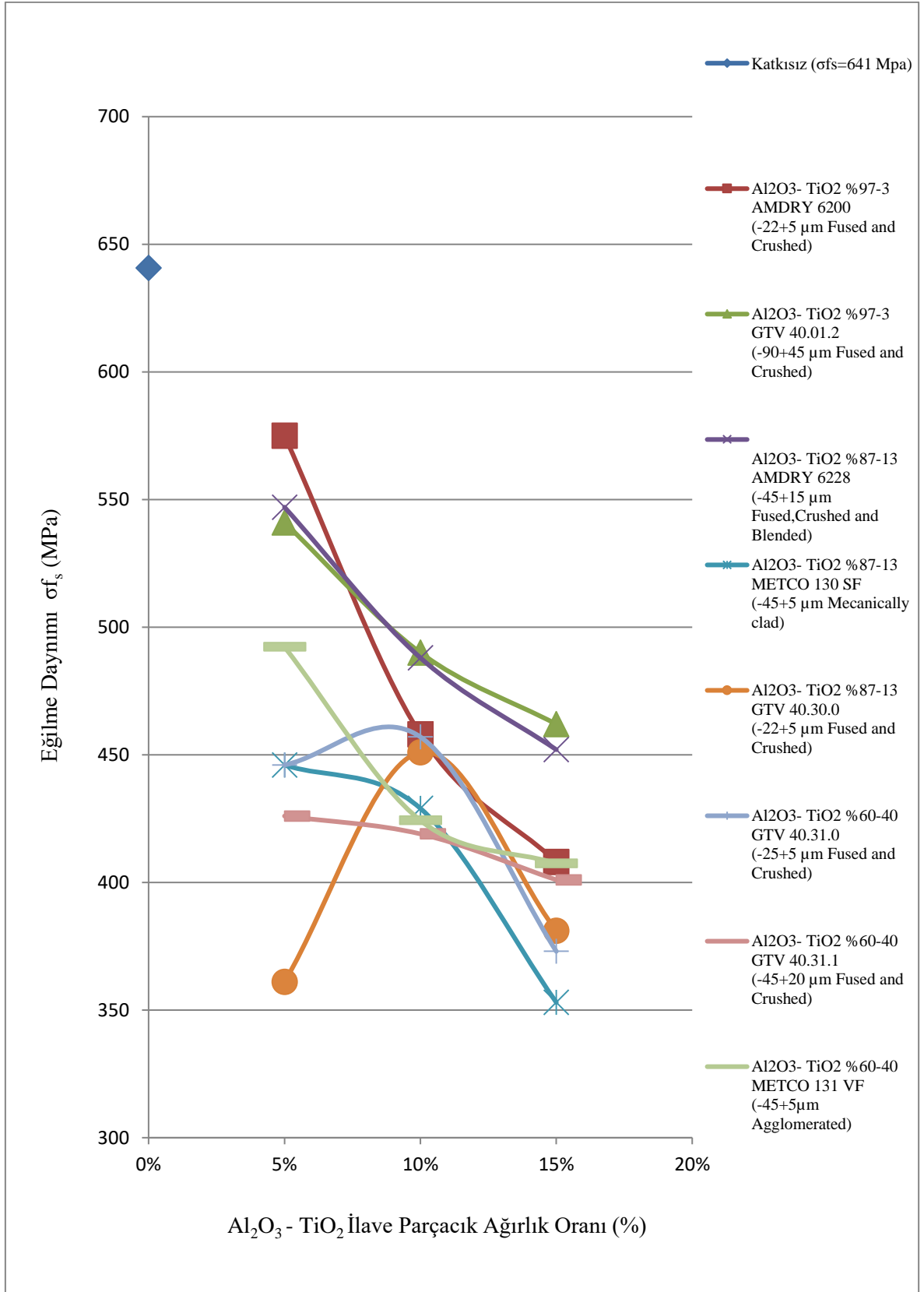
Şekil 5.9.Eğilme deneyi sonucunda elde edilen kuvvet - uzama diyagramları

Kompozit Malzemelerin Eğilme Dayanımı Değerleri

Standardına göre hazırlanan eğilme numunelerine yapılan eğilme deneyi sonucunda eğilme dayanımı değerlerinin ilave edilen seramik tozlarının farklı partikül büyüklüklerinin yüzdesel oranlarına göre değişiminin karşılaştırması Çizelge 5.7 ve Şekil 5.10.'da verilmiştir.

Çizelge 5.7. Kompozit malzemelerin eğilme dayanımı değerleri

| Grup Adı | Seramik Partikül Tipi, Ürün Kodu, Partikül Büyüklüğü, Üretim Yöntemi | Katkı oranı (%) | Kalınlık (mm) | Eğilme Dayanımı σ_f (MPa) |
|----------|--|-----------------------|------------------|---|
| KATKISIZ | - | %0 | 2,14 | 641 |
| GRUP A | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%97-3) AMDRY 6200 (-22+5 μ m), (Fused and Crushed) | %5 | 2,42 | 575 |
| | | %10 | 2,39 | 458 |
| | | %15 | 2,41 | 408 |
| GRUP B | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%97-3) GTV 40.01.2 (-90+45 μ m), (Fused and Crushed) | %5 | 2,29 | 541 |
| | | %10 | 2,5 | 490 |
| | | %15 | 2,8 | 462 |
| GRUP C | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ %87-13 AMDRY 6228 (-45+15 μ m), (Fused, Crushed and Blended) | %5 | 2,57 | 547 |
| | | %10 | 2,54 | 488 |
| | | %15 | 2,48 | 452 |
| GRUP D | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%87-13) METCO 130 SF (-45+5 μ m), (Mecanically clad) | %5 | 2,2 | 446 |
| | | %10 | 2,3 | 429 |
| | | %15 | 2,37 | 353 |
| GRUP E | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ %87-13 GTV 40.30.0 (-22+5 μ m Fused and Crushed) | %5 | 2,17 | 361 |
| | | %10 | 2,2 | 451 |
| | | %15 | 2,4 | 381 |
| GRUP F | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%60-40) GTV 40.31.0 (-25+5 μ m), (Fused and Crushed) | %5 | 2,21 | 446 |
| | | %10 | 2,23 | 457 |
| | | %15 | 2,31 | 373 |
| GRUP G | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%60-40) GTV 40.31.1 (-45+20 μ m), (Fused and Crushed) | %5 | 2,12 | 426 |
| | | %10 | 2,42 | 419 |
| | | %15 | 2,48 | 401 |
| GRUP H | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%60-40) METCO 131 VF (-45+5 μ m), (Agglomerated) | %5 | 2,12 | 492 |
| | | %10 | 2,27 | 424 |
| | | %15 | 2,35 | 407 |



Şekil 5.10. Üretilen numunelerin eğilme deneyi eğilme dayanımı değerleri

Polimer matrisli epoksi reçineli cam elyaf takviyeli ilave parçacık olarak farklı partikül büyüklüklerinde, farklı partikül şekillerinde ve farklı yüzdesel oranlarda $Al_2O_3 - TiO_2$ seramik tozlarının katılmasıyla oluşturulan kompozit malzemelerden standartlara göre hazırlanmış eğilme deney numunelerine yapılan eğilme deneyi sonucunda maksimum eğilme dayanımının seramik tozlarının yüzdesel oranlarına göre değişimi ile ilgili Şekil 5.10' da ki gibi bir grafik oluşmuştur. Grafiğe göre katısız malzemenin eğilmedeki maksimum gerilme dayanımı $\sigma_{fs} = 641$ MPa olarak bulunmuştur. İlave parçacık olarak seramik tozlar kullanılan farklı kombinasyondaki tüm numunelerin %5 seramik toz oranında maksimum gerilme dayanımları başlangıçta katısızla göre çok daha düşük bulunmuştur.

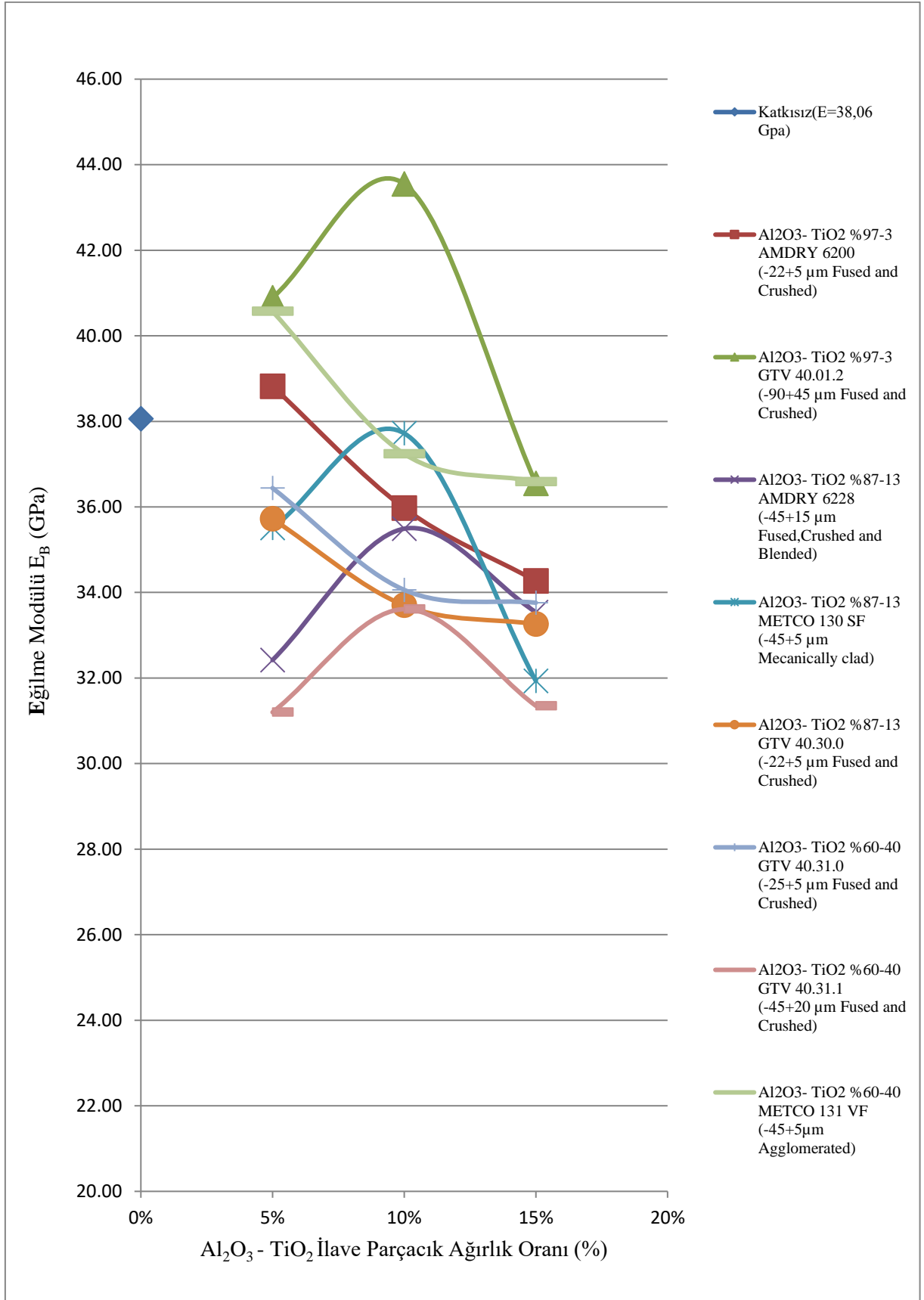
$Al_2O_3 - TiO_2$ (%87-13) GTV 40.30.0 (-22+5 μm , Fused and Crused), $Al_2O_3 - TiO_2$ (%60-40) GTV 40.31.0 (-25+5 μm , Fused and Crused) seramik toz partikül takviyeli numunelerinin eğilmedeki maksimum gerilme dayanımları %10 katkı oranına kadar artış göstermiş %10'dan sonra ise tekrar düşüş göstermiştir. Bu iki tipin haricindeki numune tiplerinde ise düşüş %5'ten %15 katkı oranına kadar devam etmiştir. Ancak %5, %10, %15 seramik toz katkı oranlarındaki eğilme dayanım değerleri katısızla kıyaslandığında bütün tiplerde eğilme dayanım değerleri katısız numunenin eğilme dayanım değerinin çok altındaki değerlerde kalmıştır.

Kompozit Malzemelerin Eğilme Deneyi Sonucunda Elde Edilen Eğilme Modülü Değerleri

Standardına göre hazırlanan eğilme numunelerine yapılan eğilme deneyi sonucunda eğilme modülünün ilave edilen seramik tozlarının farklı partikül büyüklüklerinin yüzdesel oranlarına göre değişiminin karşılaştırması Çizelge 5.8 ve Şekil 5.11’de verilmiştir.

Çizelge 5.8.Eğilme deneyi eğilme modülü sonuçları

| Grup Adı | Seramik Partikül Tipi, Ürün Kodu, Partikül Büyüklüğü, Üretim Yöntemi | Katkı oranı (%) | Kalınlık (mm) | Eğilme Modülü E _B (GPa) |
|----------|--|-----------------------|------------------|--|
| KATKISIZ | - | %0 | 2,14 | 38,06 |
| GRUP A | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%97-3) AMDRIY 6200 (-22+5 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,42 | 38,82 |
| | | %10 | 2,39 | 35,97 |
| | | %15 | 2,41 | 34,27 |
| GRUP B | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%97-3) GTV 40.01.2 (-90+45 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,29 | 40,89 |
| | | %10 | 2,5 | 43,55 |
| | | %15 | 2,8 | 36,55 |
| GRUP C | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%87-13) AMDRIY 6228 (-45+15 µm), (Fused, Crushed and Blended) | %5 | 2,57 | 32,42 |
| | | %10 | 2,54 | 35,49 |
| | | %15 | 2,48 | 33,54 |
| GRUP D | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%87-13) METCO 130 SF (-45+5 µm), (Mecanically clad) | %5 | 2,2 | 35,51 |
| | | %10 | 2,3 | 37,72 |
| | | %15 | 2,37 | 31,93 |
| GRUP E | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%87-13) GTV 40.30.0 (-22+5 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,17 | 35,72 |
| | | %10 | 2,2 | 33,70 |
| | | %15 | 2,4 | 33,26 |
| GRUP F | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%60-40) GTV 40.31.0 (-25+5 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,21 | 36,44 |
| | | %10 | 2,23 | 34,06 |
| | | %15 | 2,31 | 33,76 |
| GRUP G | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%60-40) GTV 40.31.1 (-45+20 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,12 | 31,20 |
| | | %10 | 2,42 | 33,61 |
| | | %15 | 2,48 | 31,35 |
| GRUP H | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%60-40) METCO 131 VF (-45+5µm), (Agglomerated) | %5 | 2,12 | 40,57 |
| | | %10 | 2,27 | 37,24 |
| | | %15 | 2,35 | 36,59 |



Şekil 5.11. Üretilen numunelerin eğilme deneyi eğilme modülü değerleri

Polimer matrisli epoksi reçineli cam elyaf takviyeli ilave parçacık olarak farklı partikül büyüklüklerinde, farklı partikül şekillerinde ve farklı yüzdesel oranlarda Al₂O₃-TiO₂ seramik tozlarının katılmasıyla oluşturulan kompozit malzemelerden standartlara göre hazırlanmış eğilme deney numunelerine yapılan eğilme deneyi sonucunda eğilme modülünün seramik tozlarının yüzdesel oranlarına göre değişimi ile ilgili Şekil 5.11’de ki gibi bir grafik oluşmuştur. Grafiğe göre katkısız malzemenin eğilme modülü E=38,06 GPa olarak bulunmuştur. İlave parçacık olarak seramik tozlar kullanılan farklı kombinasyondaki numunelerin eğilme modülleri katkısıza göre kıyaslandığında bazılarında artış olmuş bazılarında ise katkısıza göre azalma olmuştur.

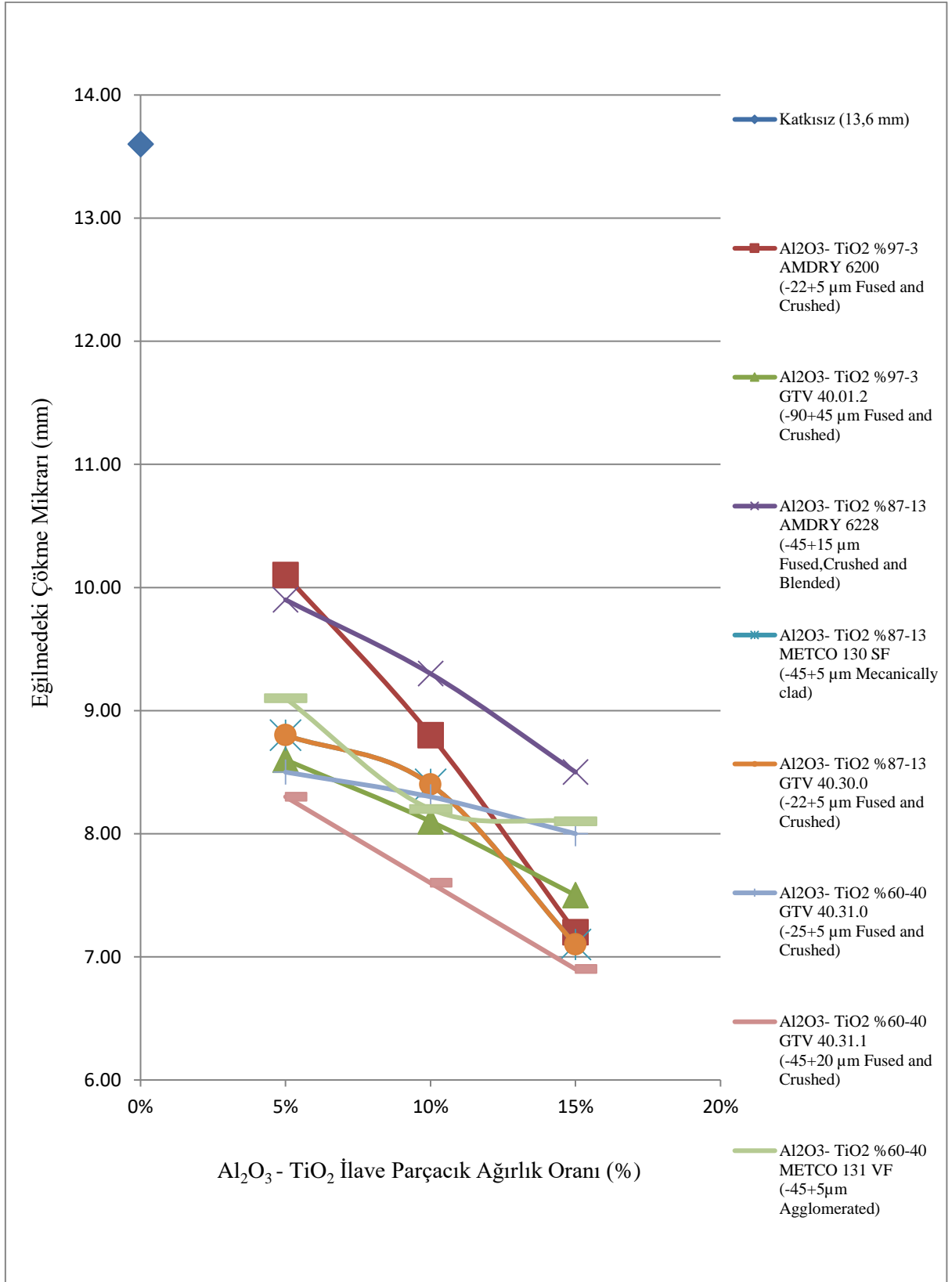
Ancak Al₂O₃ - TiO₂ (%97-3) Amdry 6200 (-22+5 µm, Fused and Crushed) seramik toz partikül takviyeli numunelerde %5’lik katkı oranında eğilme modülü katkısız numuneden daha yüksek çıkmıştır. %5’ten %15’e doğru seramik toz katkı oranı arttıkça eğilme modülü katkısıza göre düşmüştür. Al₂O₃ - TiO₂ (%97-3) GTV 40.01.2 (-90+45 µm, Fused and Crushed) seramik toz partikül takviyeli numunelerde ise %5’lik ve %10’luk seramik toz katkı oranlarına bakıldığında eğilme modülü katkısızdan daha yüksek çıkmıştır. Bu numune kendi içinde karşılaştırıldığında %10’luk seramik toz katkı oranında bir yükselme olmuş ve tekrar %15’lik seramik toz katkı oranında bir düşme olmuştur. %15’lik seramik toz katkı oranındaki değer katkısız numunenin eğilme modülünden daha aşağıda bir değer olarak ölçülmüştür. Al₂O₃ - TiO₂ (%87-13) Amdry 6228 (-45+15 µm, Fused, Crushed and Blended) seramik toz partikül takviyeli numunelerde %10’ da eğilme modülü yükselmiş %15’te tekrar düşmüştür. Elde edilen eğilme modülü değerleri katkısız numuneden daha düşük çıkmıştır. Al₂O₃ - TiO₂ (%87-13) METCO 130 SF (-45+5 µm, Mechanically clad) seramik toz partikül takviyeli numunelerde %10’ da eğilme modülü yükselmiş %15’ te tekrar düşmüştür. Al₂O₃ - TiO₂ (%60-40) GTV 40.31.1 (-45+20 µm, Fused and Crushed) seramik toz partikül takviyeli numunelerde %10’ da eğilme modülü yükselmiş %15’ te tekrar %5 seviyesine düşmüştür. Al₂O₃ - TiO₂ (%60-40) METCO 131 VF (-45+5 µm, Agglomerated) % 5’ lik seramik toz katkılı numunenin eğilme modülü katkısız numuneninkinden yüksektir; ancak %5’ ten %15’e doğru bir düşüş olmuştur. Al₂O₃ - TiO₂ (%87-13) GTV 40.30.0 (-22+5 µm, Fused and Crused) ve Al₂O₃ - TiO₂ (%60-40) GTV 40.31.0 (-25+5 µm, Fused and Crused) seramik toz partikül takviyeli numunelerde yine katkısız numuneden düşük olan eğilme modülü değerleri %5’ten %15’e doğru azalmıştır.

Kompozit Malzemelerin Eğilmedeki Deneyinde Maksimum Çökme Miktarları

Standardına göre hazırlanan eğilme numunelerine yapılan eğilme deneyi sonucunda çökme miktarının ilave edilen seramik tozlarının farklı partikül büyüklüklerinin yüzdesel oranlarına göre değişiminin karşılaştırması aşağıdaki Çizelge 5.9, Şekil 5.12’de verilmiştir.

Çizelge 5.9. Eğilme deneyi çökme miktarı sonuçları

| Grup Adı | Seramik Partikül Tipi, Ürün Kodu, Partikül Büyüklüğü, Üretim Yöntemi | Katkı oranı (%) | Kalınlık (mm) | Eğilmedeki çökme miktarı (mm) |
|----------|---|-----------------------|------------------|-------------------------------------|
| KATKISIZ | - | %0 | 2,14 | 13,60 |
| GRUP A | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%97-3) AMDRY 6200 (-22+5 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,42 | 10,10 |
| | | %10 | 2,39 | 8,80 |
| | | %15 | 2,41 | 7,20 |
| GRUP B | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%97-3) GTV 40.01.2 (-90+45 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,29 | 8,60 |
| | | %10 | 2,5 | 8,10 |
| | | %15 | 2,8 | 7,50 |
| GRUP C | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ %87-13 AMDRY 6228 (-45+15 µm), (Fused, Crushed and Blended) | %5 | 2,57 | 9,90 |
| | | %10 | 2,54 | 9,30 |
| | | %15 | 2,48 | 8,50 |
| GRUP D | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%87-13) METCO 130 SF (-45+5 µm), (Mecanically clad) | %5 | 2,2 | 8,80 |
| | | %10 | 2,3 | 8,40 |
| | | %15 | 2,37 | 7,10 |
| GRUP E | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%87-13) GTV 40.30.0 (-22+5 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,17 | 8,80 |
| | | %10 | 2,2 | 8,40 |
| | | %15 | 2,4 | 7,10 |
| GRUP F | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%60-40) GTV 40.31.0 (-25+5 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,21 | 8,50 |
| | | %10 | 2,23 | 8,30 |
| | | %15 | 2,31 | 8,00 |
| GRUP G | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%60-40) GTV 40.31.1 (-45+20 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,12 | 8,30 |
| | | %10 | 2,42 | 7,60 |
| | | %15 | 2,48 | 6,90 |
| GRUP H | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%60-40) METCO 131 VF (-45+5µm), (Agglomerated) | %5 | 2,12 | 9,10 |
| | | %10 | 2,27 | 8,20 |
| | | %15 | 2,35 | 8,10 |

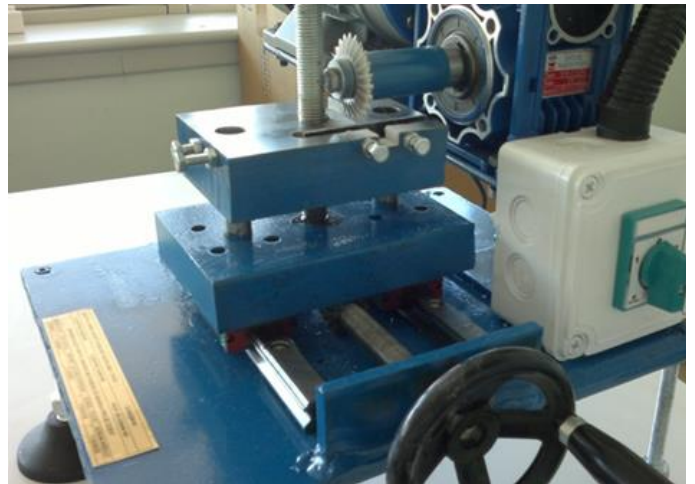


Şekil 5.12. Üretilen numunelerin eğilmedeki çökme miktarı değerleri

Polimer matrisli epoksi reçineli cam elyaf takviyeli ilave parçacık olarak farklı partikül büyüklüklerinde, farklı partikül şekillerinde ve farklı yüzdesel oranlarda Al_2O_3 - TiO_2 seramik tozlarının katılmasıyla oluşturulan kompozit malzemelerden standartlara göre hazırlanmış eğilme deney numunelerine yapılan eğilme deneyi sonucunda elde edilen eğilmedeki çökme miktarının seramik tozların yüzdesel oranlarına göre değişimi ile ilgili Şekil 5.12’de ki gibi bir grafik oluşmuştur. Grafiğe göre katkısız malzemenin eğilmedeki çökme miktarı 13,6 mm olarak bulunmuştur. İlave parçacık olarak seramik tozlar kullanılan farklı kombinasyondaki numunelerin eğilmedeki çökme miktarları katkısızla göre kıyaslandığında %5’lik seramik toz katkı oranlarında 10 mm ile 8 mm arasında değişen çökme miktarları çıkmıştır. Bu değerler %10 ve %15’lik seramik toz katkı oranlarında ise katkı oranı arttıkça daha da düşmüştür. %15’lik seramik toz katkı oranında ki eğilmedeki çökme miktarları ise 8,5 mm ile 6,9 mm arasında değişen değerlerde çıkmıştır. Buradan da seramik toz katkısı katkısız numuneye kıyaslandığında rijitliği arttırmıştır. Aynı zamanda seramik toz katkı oranı arttıkça da rijitlik artmıştır.

Çentik Darbe Deneyi ve Kayma Deneyi Numunelerindeki V Çentiklerin Açılması

Çentik darbe deneyi ve kayma deneyi numunelerindeki gerekli derinlikteki v çentikleri açmak için Resim 5.20.’de verilen cihaz kullanılmıştır.



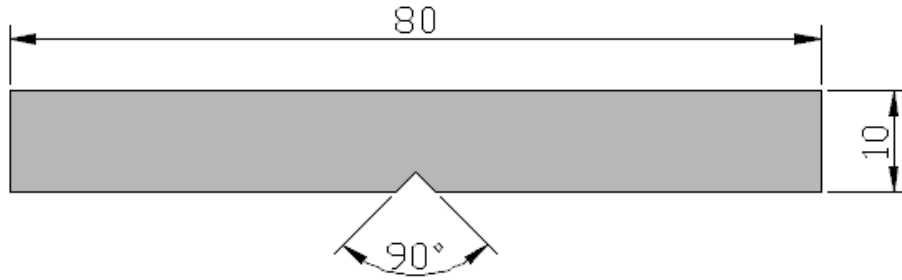
Resim 5.20. Çentik darbe deneyi ve kayma deneyi numunelerine istenilen derinlikte çentik açmak için kullanılan makine

5.7. Çentik Darbe Deneyi

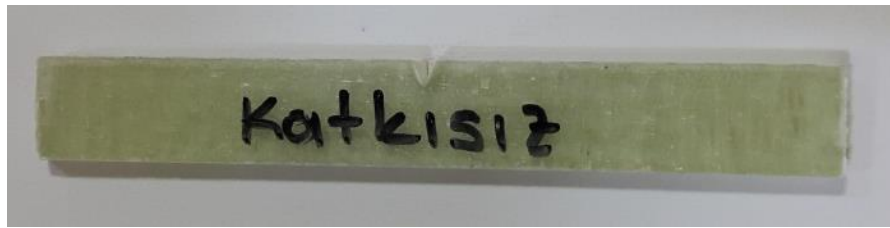
Çentik darbe deneyi; malzemelerin darbeli yükler altında kırılma davranışlarını belirlemek için yapılır.

Çentik darbe deneyi ASTM D 6110 standartına göre yapılmıştır [85]. Deney cihazı marka ve modeli Uşak' ta faaliyet göstermekte olan Pull Tech Frp Kompozit Yapı Tekn. İmalat San. Tic. A.Ş.'de Resim 5.22.'de gösterilen DEVOTRANS marka çentik darbe deney cihazında yapılmıştır.

Deney çentik darbe işi yüksek olan malzemelerde kullanılan v çentikli numuneler hazırlanarak, charpy çentik darbe deney yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Çentik darbe deneyinde kullanılacak numuneler ölçüleri ve şekilleri aşağıdaki Şekil 5.13 ve Resim 5.21'de verilmiştir.



Şekil 5.13. Çentik darbe deney numunesi



Resim 5.21.Örnek çentik darbe deney numunesi

Çentik darbe işi aşağıdaki Eş. 5.8.' den hesaplanmıştır:

$$KV = m. g. (H - h) \quad (5.8)$$

Eşitlikte;

KV: Çentik darbe işi (J), H: Çekicinin ilk bırakıldığı yükseklik (mm), h: Numune kırıldıktan sonra çıktığı yükseklik (mm)

Kırılma tokluğu (çentik darbe tokluğu) aşağıdaki Eş. 5.9.' dan hesaplanmıştır:

$$a_k = \frac{KV}{S_0} \quad (5.9)$$

Eşitlikte;

a_k = Kırılma tokluğu (çentik darbe tokluğu) (J/ mm²), KV= Çentik darbe işi (J), S_0 = Kesit alanı (mm²)

Kırılan kesit alanı aşağıdaki EŞ. 5.10.' dan hesaplanmıştır:

$$S_0 = t. b \quad (5.10)$$

Burada;

S_0 = Kırılan kesit alanı (mm²), t= Et kalınlığı (mm), b= Genişlik (mm)

Çentik darbe deney cihazının genel görünümü Resim 5.22’de verilmiştir.



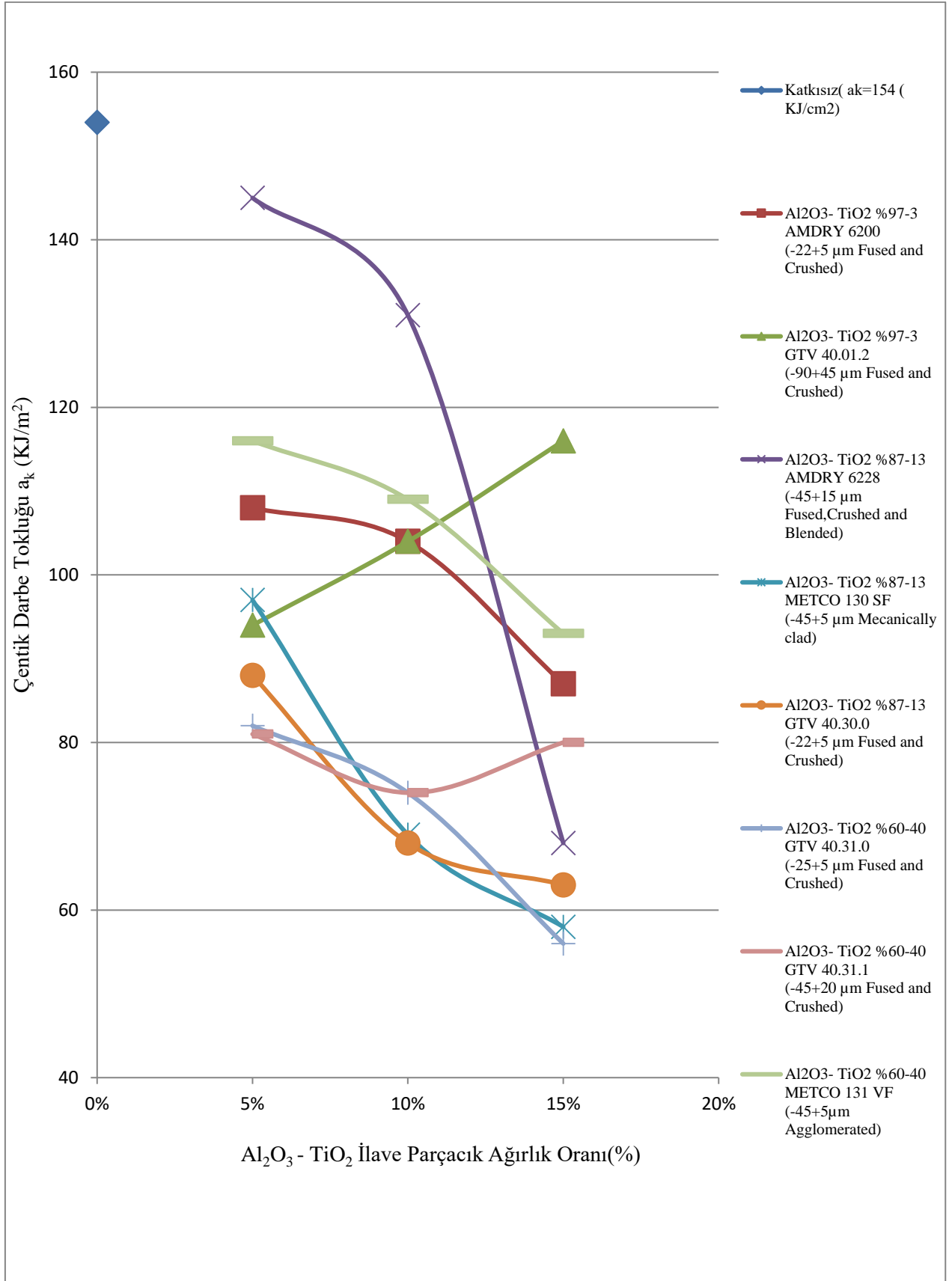
Resim 5.22. Çentik darbe deney cihazının genel görünümü

Çentik Darbe Deneyi Sonuçları

Standardına göre hazırlanan darbe deneyi numunelerine yapılan darbe deneyi darbe tokluğunun ilave edilen seramik tozlarının farklı partikül büyüklüklerinin yüzdesel oranlarına göre değişiminin karşılaştırması Çizelge 5.10. ve Şekil 5.14.'de verilmiştir.

Çizelge 5.10.Çentik darbe deneyi çentik darbe tokluğu sonuçları

| Grup Adı | Seramik Partikül Tipi, Ürün Kodu, Partikül Büyüklüğü, Üretim Yöntemi | Katkı oranı (%) | Kalınlık (mm) | Çentik Darbe Tokluğu a_k (KJ/m ²) |
|----------|--|-----------------------|------------------|--|
| KATKISIZ | - | %0 | 2,14 | 154 |
| GRUP A | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%97-3) AMDRY 6200 (-22+5 µm), (Fused and Crushed) | %5 | 2,42 | 108 |
| | | %10 | 2,39 | 104 |
| | | %15 | 2,41 | 87 |
| GRUP B | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ %97-3 GTV 40.01.2 (-90+45 µm Fused and Crushed) | %5 | 2,29 | 94 |
| | | %10 | 2,5 | 104 |
| | | %15 | 2,8 | 116 |
| GRUP C | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ %87-13 AMDRY 6228 (-45+15 µm Fused, Crushed and Blended) | %5 | 2,57 | 145 |
| | | %10 | 2,54 | 131 |
| | | %15 | 2,48 | 68 |
| GRUP D | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ %87-13 METCO 130 SF (-45+5 µm Mecanically clad) | %5 | 2,2 | 97 |
| | | %10 | 2,3 | 69 |
| | | %15 | 2,37 | 58 |
| GRUP E | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ %87-13 GTV 40.30.0 (-22+5 µm Fused and Crushed) | %5 | 2,17 | 88 |
| | | %10 | 2,2 | 68 |
| | | %15 | 2,4 | 63 |
| GRUP F | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ %60-40 GTV 40.31.0 (-25+5 µm Fused and Crushed) | %5 | 2,21 | 82 |
| | | %10 | 2,23 | 74 |
| | | %15 | 2,31 | 56 |
| GRUP G | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ %60-40 GTV 40.31.1 (-45+20 µm Fused and Crushed) | %5 | 2,12 | 81 |
| | | %10 | 2,42 | 74 |
| | | %15 | 2,48 | 80 |
| GRUP H | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ %60-40 METCO 131 VF (-45+5µm Agglomerated) | %5 | 2,12 | 116 |
| | | %10 | 2,27 | 109 |
| | | %15 | 2,35 | 93 |



Şekil 5.14. Üretilen numunelerin çentik darbe deneyi çentik darbe tokluğu değerleri

Polimer matrisli epoksi reçineli cam elyaf takviyeli ilave parçacık olarak farklı partikül büyüklüklerinde, farklı partikül şekillerinde ve farklı yüzdesel oranlarda $Al_2O_3 - TiO_2$ seramik tozlarının katılmasıyla oluşturulan kompozit malzemelerden standartlara göre hazırlanmış çentik darbe deney numunelerine yapılan darbe deneyi sonucunda çentik darbe tokluğunun seramik tozların yüzdesel oranlarına göre değişimi ile ilgili Şekil 5.14' deki gibi bir grafik oluşmuştur. Grafiğe göre katkısız malzemenin çentik darbe tokluğu $a_k = 154 \text{ KJ/m}^2$ olarak bulunmuştur. İlave parçacık olarak seramik tozlar kullanılan farklı kombinasyondaki tüm numunelerin çentik darbe tokluğu değerleri katkısız numuneden daha düşük çıkmıştır.

Ancak, $Al_2O_3 - TiO_2$ (%97-3) GTV 40.01.2 (-90+45 μm , Fused and Crushed) seramik toz partikül takviyeli numunelerde çentik darbe tokluğunun %5'ten %15'e doğru arttığı görülmektedir.

$Al_2O_3 - TiO_2$ (%60-40) GTV 40.31.1 (-45+20 μm , Fused and Crushed) seramik toz partikül takviyeli numunelerde çentik darbe tokluğu %10 seramik toz ilavesinde düşmüş %15 seramik toz ilavesinde ise tekrar yükselmiştir.

$Al_2O_3 - TiO_2$ (%97-3) GTV 40.01.2 (-90+45 μm , Fused and Crushed) ve $Al_2O_3 - TiO_2$ (%60-40) GTV 40.31.1 (-45+20 μm , Fused and Crushed) seramik toz partikül takviyeli numunelerin haricindeki diğer numunelerde ise seramik toz ilavesi %5'ten %15'e doğru azalmıştır. Genel olarak seramik toz takviye elemanı cam elyaf takviyeli kompozit malzemede çentik darbe tokluğu değerlerini düşürücü bir etki yapmıştır.

5.8. Kayma Deneyi

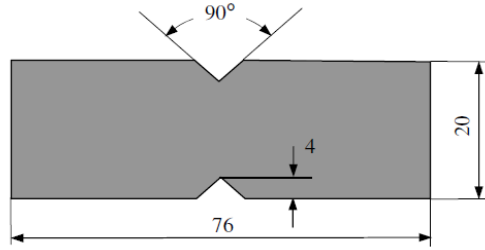
Üretilen kompozit malzemelerin kayma dayanımını belirlemek için ASTM D 5379 standardına [86] göre numuneler hazırlanmış ve deneyler yapılmıştır. Kayma deneyinin yapılması esnasında kompozit malzemelerin kayma gerilmesi aşağıdaki Eş. 5.11.' den hesaplanmıştır:

$$\tau_s = \frac{F_s}{L.t} \quad (5.11)$$

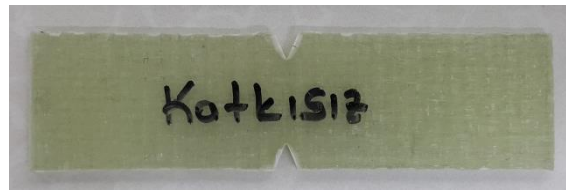
Eşitlikte;

τ_s = Kayma gerilmesi (N/mm²), F_s = Uygulanan kuvvet (N), L = Çentik dipleri arasındaki mesafe (mm), t = Et kalınlığı(mm)

Kayma deney numunesinin ölçüleri Şekil 5.15 ve örnek bir kayma deney numunesi Resim 5.23'de verilmiştir.



Şekil 5.15. Kayma deney numunesi



Resim 5.23. Örnek kayma deney numunesi

Deneyin yapılması

Kayma deneyi için Uşak Üniversitesi konstrüksiyon ve imalat atölyesindeki BESMAK Material Testing marka BMT-E Serisi çekme deney cihazı kullanılmıştır. Kayma deneyi için Resim 5.24.' de verilen çekme deney cihazının çeneleri arasında bağlanan özel bir aparat kullanılmıştır. Standardına göre hazırlanan kayma numuneleri bu aparata çekme yönüne dik bir şekilde yerleştirilerek çekilmiştir. Böylece numuneler kayma ile hasara uğramışlardır. Kayma deneyi yapılan çekme deney cihazının genel görünümü Resim 5.24.'de verilmiştir.



Resim 5.24. Kayma deneyi yapılan çekme cihazının genel görünümü

Aşağıdaki Resim 5.25.'de kayma deneyi için çekme deney cihazı çenelerine takılan özel aparatın görünüşü verilmiştir.



Resim 5.25. Kayma deneyinin yapılması için çekme deney cihazına bağlanan kayma deneyi aparatlarının fotoğrafı

Resim 5.26.' da ise kayma numunelerinin deney esnasındaki bazı fotoğrafları verilmiştir.



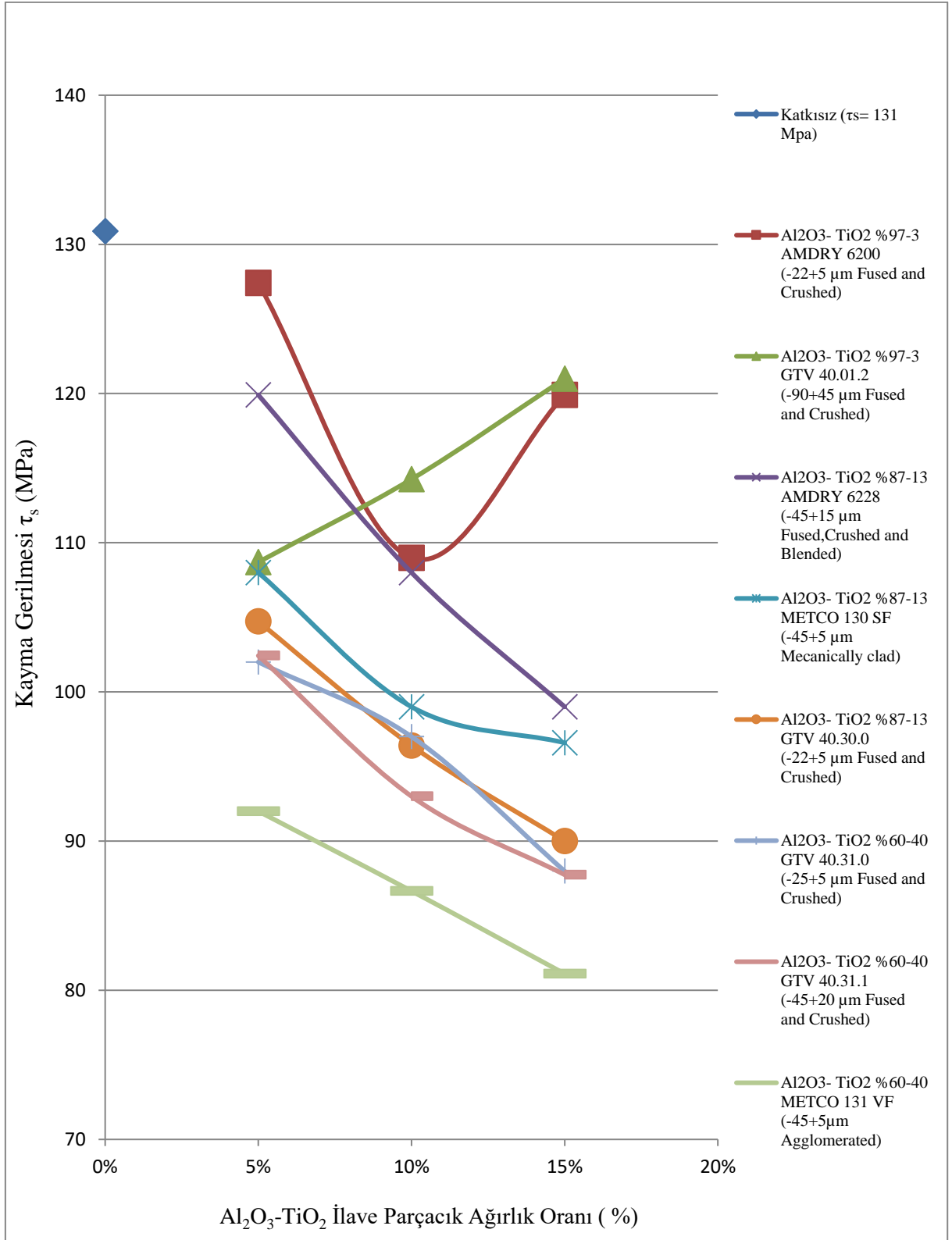
Resim 5.26. Kayma deneyi uygulanan deney numunelerinden bazılarının deney esnasındaki fotoğrafları

Kayma Deneyi Sonuçları

Standardına göre hazırlanan kayma numunelerine yapılan kayma deneyi sonucunda kayma gerilmesinin ilave edilen seramik tozlarının farklı partikül büyüklüklerinin yüzdesel oranlarına göre değişiminin karşılaştırması aşağıdaki Çizelge 5.11 ve Şekil 5.16.' da verilmiştir.

Çizelge 5.11. Kompozit malzemelerin kayma gerilmesi değerleri

| Grup Adı | Seramik Partikül Tipi, Ürün Kodu, Partikül Büyüklüğü, Üretim Yöntemi | Katkı oranı (%) | Kalınlık (mm) | Kayma Gerilmesi τ_s (MPa) |
|----------|---|-----------------------|------------------|---|
| KATKISIZ | - | %0 | 2,14 | 131 |
| GRUP A | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%97-3) AMDREY 6200 (-22+5 μ m), (Fused and Crushed) | %5 | 2,42 | 127 |
| | | %10 | 2,39 | 109 |
| | | %15 | 2,41 | 120 |
| GRUP B | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%97-3) GTV 40.01.2 (-90+45 μ m), (Fused and Crushed) | %5 | 2,29 | 109 |
| | | %10 | 2,5 | 114 |
| | | %15 | 2,8 | 121 |
| GRUP C | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%87-13) AMDREY 6228 (-45+15 μ m), (Fused, Crushed and Blended) | %5 | 2,57 | 120 |
| | | %10 | 2,54 | 108 |
| | | %15 | 2,48 | 99 |
| GRUP D | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%87-13) METCO 130 SF (-45+5 μ m), (Mecanically clad) | %5 | 2,2 | 108 |
| | | %10 | 2,3 | 99 |
| | | %15 | 2,37 | 97 |
| GRUP E | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%87-13) GTV 40.30.0 (-22+5 μ m), (Fused and Crushed) | %5 | 2,17 | 105 |
| | | %10 | 2,2 | 96 |
| | | %15 | 2,4 | 90 |
| GRUP F | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%60-40) GTV 40.31.0 (-25+5 μ m), (Fused and Crushed) | %5 | 2,21 | 102 |
| | | %10 | 2,23 | 97 |
| | | %15 | 2,31 | 88 |
| GRUP G | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%60-40) GTV 40.31.1 (-45+20 μ m), (Fused and Crushed) | %5 | 2,12 | 102 |
| | | %10 | 2,42 | 93 |
| | | %15 | 2,48 | 88 |
| GRUP H | Al ₂ O ₃ - TiO ₂ (%60-40) METCO 131 VF (-45+5 μ m), (Agglomerated) | %5 | 2,12 | 92 |
| | | %10 | 2,27 | 87 |
| | | %15 | 2,35 | 81 |



Şekil 5.16. Üretilen numunelerin kayma deneyi kayma gerilmesi değerleri

Polimer matrisli epoksi reçineli cam elyaf takviyeli ilave parçacık olarak farklı partikül büyüklüklerinde, farklı partikül şekillerinde ve farklı yüzdesel oranlarda Al₂O₃ - TiO₂ seramik tozlarının katılmasıyla oluşturulan kompozit malzemelerden standartlara göre hazırlanmış kayma deney numunelerine yapılan kayma deneyi sonucunda kayma gerilmesinin seramik tozlarının yüzdesel oranlarına göre değişimi ile ilgili Şekil 5.16. 'da ki gibi bir grafik oluşmuştur. Grafiğe göre katkısız malzemenin kayma gerilmesi $\tau_s = 131$ (MPa) olarak bulunmuştur. İlave parçacık olarak seramik tozlar kullanılan farklı kombinasyondaki numunelerin tamamında kayma gerilmesi katkısız numuneden daha düşük olduğu görülmektedir. Seramik toz takviyeli numunelerin genelinde %5'ten %15'e doğru kayma gerilmesi değerlerinde bir düşüş vardır. Ancak Al₂O₃ - TiO₂ (%97-3) AMDRY 6200 (-22+5 μ m, Fused and Crused) seramik toz partikül takviyeli numunelerinin kayma gerilmesinde ise %10'da bir azalma olmuş %15'te tekrar bir artmıştır. Al₂O₃ - TiO₂ (%97-3) GTV 40.01.2 (-90+45 μ m, Fused and Crused) seramik toz partikül takviyeli numunelerinin kayma gerilmesinde ise %5'ten %15'e doğru bir artış olmuştur

5.9. Çekme, Eğilme, Çentik Darbe Deney Numunelerinin Kırılma Yüzeylerinin SEM Görüntüsünün Alınması

Çekme, eğme ve çentik darbe deney numunelerinin kırılan yüzeylerinde kesilen parçalar kırılma yüzeyleri yukarı gelecek şekilde üzerine çift taraflı yapışkan bant yapıştırılmış dairesel platformun üzerine Resim 5.27 a)'da ki gibi sıra ile yerleştirilmiştir. Bu platform mikroskoba görüntü alınmak üzere yerleştirilmeden önce SEM görüntüsü alınırken numune yüzeylerinde parlama olmaması için karbon kaplamak üzere Resim 5.27. b)'de ki kaplama cihazına yerleştirilmiştir. Kaplaması yapılan numuneler mikroskop içine alındıktan sonra farklı açılardan ve farklı büyüklüklerde görüntüleri alınmıştır.



a)



b)

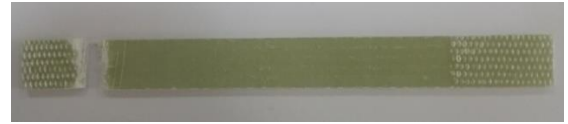
Resim 5.27. Çekme, eğilme, çentik darbe deneyi numunelerinin kırılma yüzeylerinin SEM mikroskobunda görüntüsünün alınabilmesi için yüzeylerinin karbon kaplanmak üzere hazırlanarak cihaza yerleştirilmesi

Katkısız Çekme Deney Numunesinin Kırılma Yüzey Görüntüleri

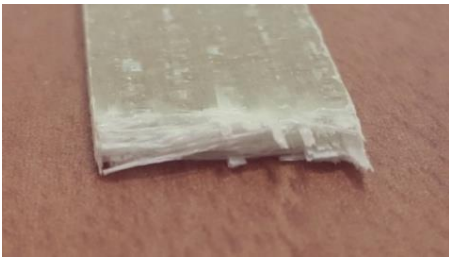
Resim 5.28.' de katkısız çekme deney numunesinin çekme deneyi öncesi ve sonrasındaki makro resimleri verilmiştir. Resim 5.29' da katkısız çekme deney numunesi kırılma yüzeylerinin SEM mikroskobu görüntüleri verilmiştir.



a)



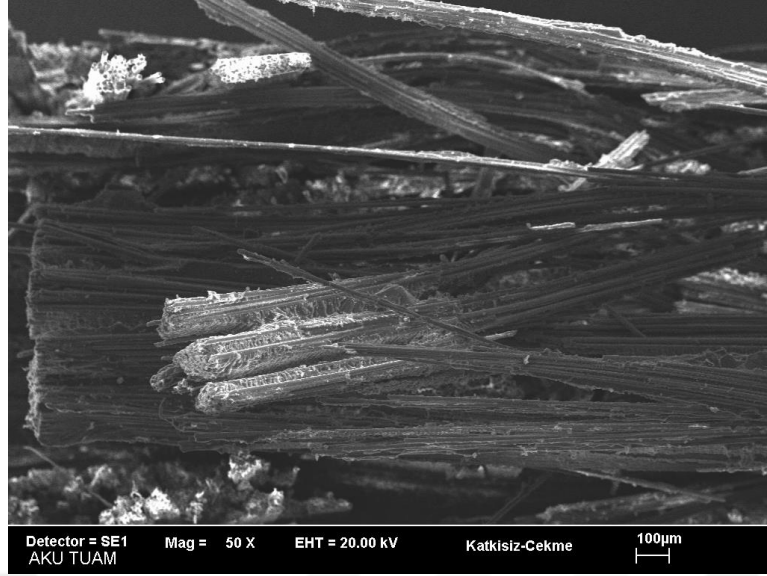
b)



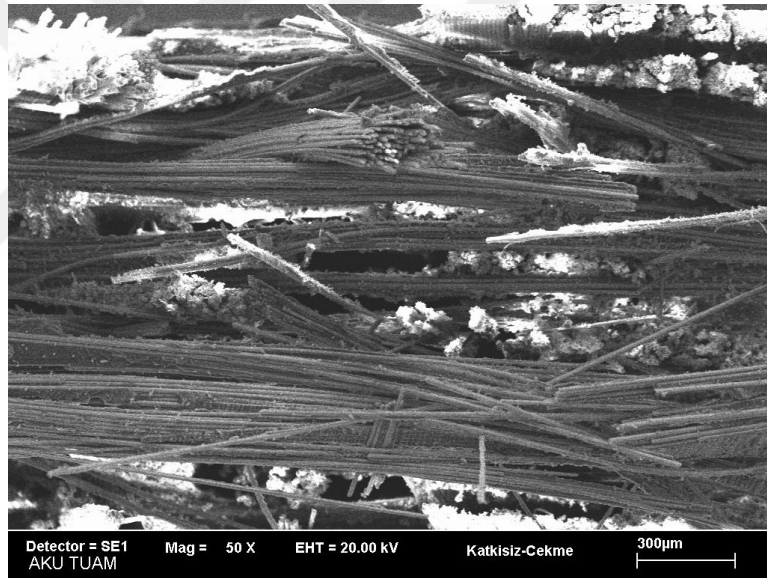
c)



Resim 5.28. Katkısız çekme deney numunesinin deney öncesi ve sonrasındaki görüntüleri
a-) Katkısız çekme deney numunesi görüntüsü
b-) Katkısız çekme deney numunesinin deney sonrası görüntüsü
c-) Katkısız çekme deney numunesinin kırılma yüzeylerinin görüntüsü



a)



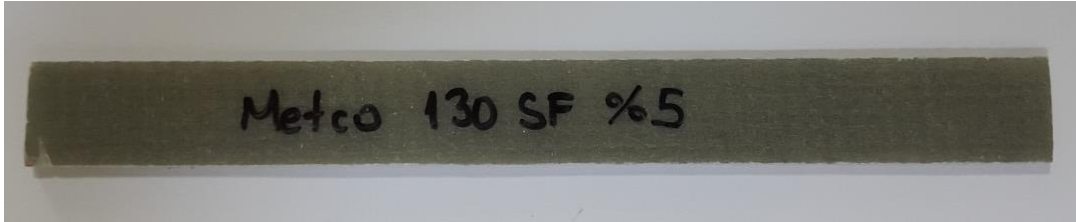
b)

Resim 5.29. Katkısız çekme deney numunesi kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri

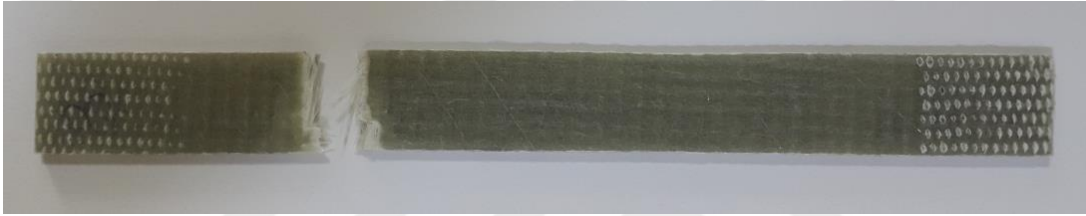
Üretilen katkısız kompozit malzemelerin çekme deneyi sonucunda kırılan yüzeylerin SEM görüntüleri incelendiğinde cam elyaflarının bir bütün olarak kırılmış olduğu bazı bölgelerde epoksi matris malzemesi ile cam elyafları arasında bağlantıların zayıf olduğu gözlemlenmiştir.

Grup D Çekme Deneş Numunesinin Kırılma Yüzey Görüntüleri

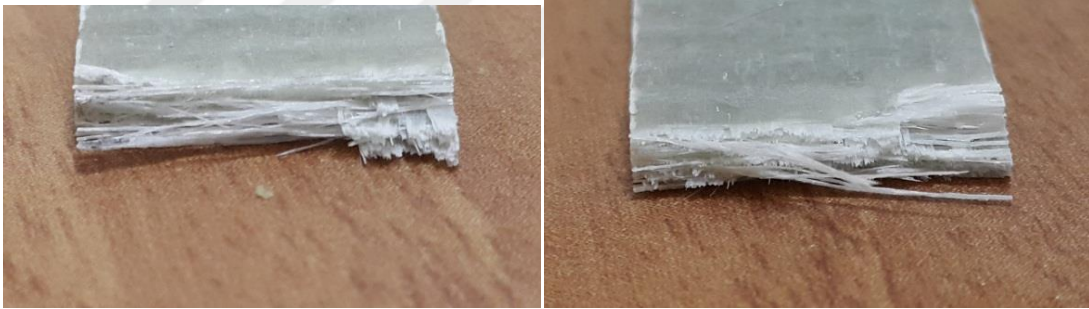
Resim 5.30.'da Grup D deneş numunesinin çekme deneş öncesi ve sonrasındaki makro resimleri verilmiştir. Resim 5.31.'de Grup D çekme deneş numunesi kırılma yüzeylerinin SEM mikroskobu görüntüleri verilmiştir.



a)



b)



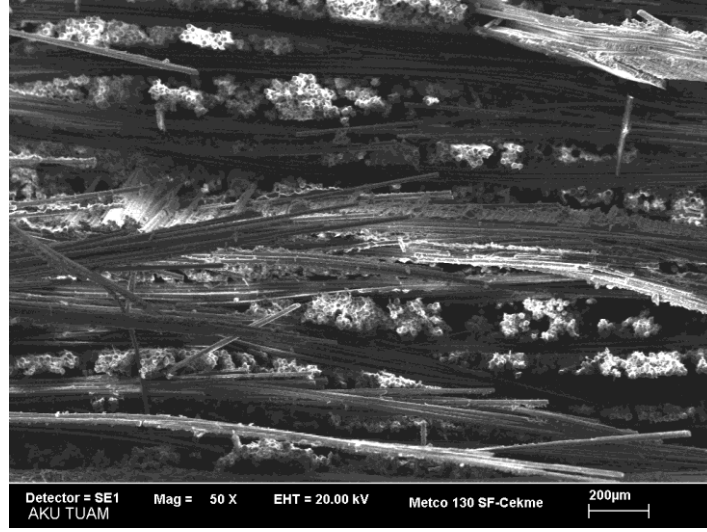
c)

Resim 5.30. Grup D çekme deneş numunesinin deneş öncesi ve sonrasındaki görüntüleri

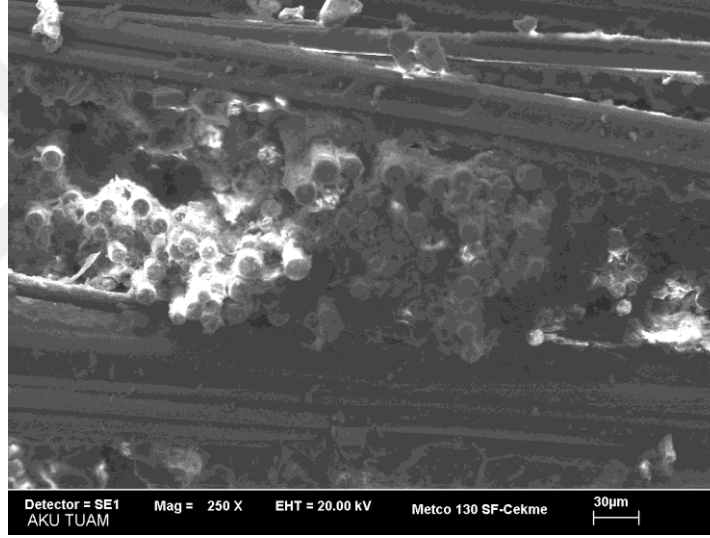
a-) Grup D çekme deneş numunesi görüntüsü

b-) Grup D çekme deneş numunesi deneş sonrası görüntüsü

c-) Grup D çekme deneş numunesi kırılma yüzeylerinin görüntüsü



a)



b)

Resim 5.31. Grup D çekme deney numunesi kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri

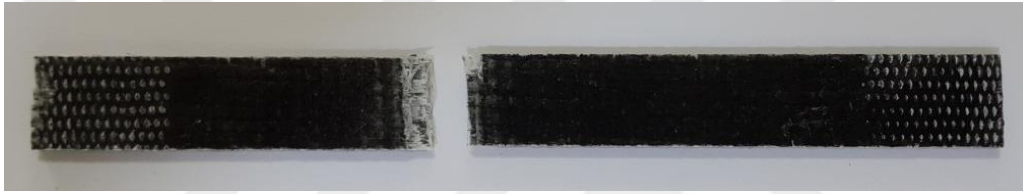
Üretilen kompozit malzemelerden Grup D numunelerinin Al_2O_3 - TiO_2 (%87-13) (-45+5 μm , Mechanically clad) çekme deneyi sonucunda meydana gelen kırılma yüzeylerinin SEM görüntüleri incelendiğinde, kırılmaların cam elyafı ile matris malzemesinde birlikte olduğu gözlemlenmiştir. Cam elyafı ile epoksi reçine arasında bağlantıların iyi olduğu açıkça görülmektedir. Bazı bölgelerde ise elyaf ile matris malzemesi arasında ayrılmalar meydana gelmiştir.

Grup G Çekme Deney Numunesinin Kırılma Yüzey Görüntüleri

Resim 5.32.'de Grup G deney numunesinin çekme deneyi öncesi ve sonrasındaki makro resimleri verilmiştir. Resim 5.33.'de Grup G çekme deney numunesi kırılma yüzeylerinin SEM mikroskobu görüntüleri verilmiştir.



a)



b)



c)

Resim 5.32. Grup G Çekme deney numunesinin deney öncesi ve sonrasındaki görünüşleri

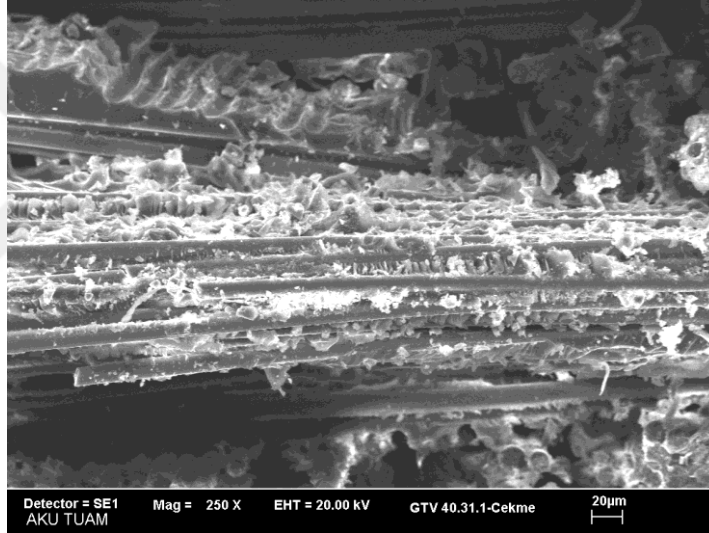
a) Grup G çekme deney numunesi görüntüsü

b) Grup G çekme deney numunesi deney sonrası görüntüsü

c) Grup G çekme deney numunesi kırılma yüzeylerinin görüntüsü



a)



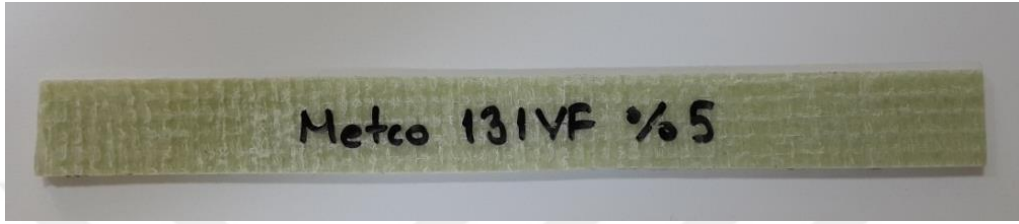
b)

Resim 5.33. Grup G çekme deney numunesi kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri

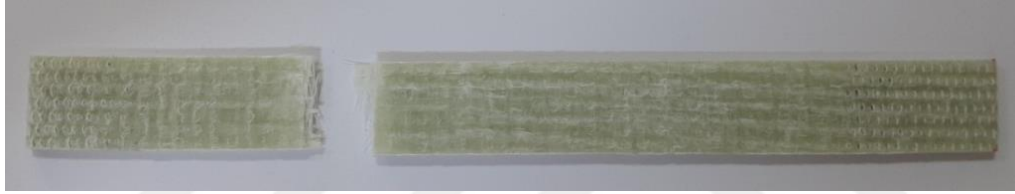
Üretilen kompozit malzemelerden Grup G numunelerinin Al_2O_3 - TiO_2 (%60-40) (-45+20 μm , Fused and Crushed) çekme deneyi sonucunda ortaya çıkan kırılma yüzeylerinin SEM görüntüleri incelendiği zaman cam elyafı ile matris malzemesi arasında bağın güçlü olduğu ve kırılmaların birlikte olduğu gözlemlenmiştir. Matris malzemesi ve elyaflar katkısız ve Grup D numunelerinin her ikisine göre çok daha iyi bir tutunma göstermiştir.

Grup H Çekme Deney Numunesinin Kırılma Yüzey Görüntüleri

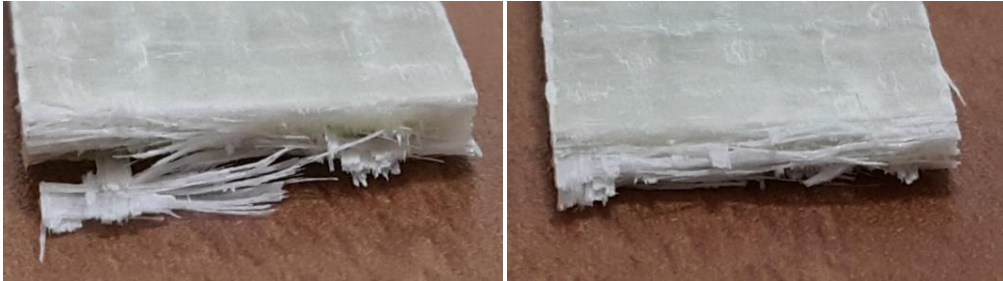
Resim 5.34.'de Grup H çekme deney numunesinin çekme deneyi öncesi ve sonrasındaki makro resimleri verilmiştir. Resim 5.35.' de Grup H çekme deney numunesi kırılma yüzeylerinin SEM mikroskobu görüntüleri verilmiştir.



a)



b)



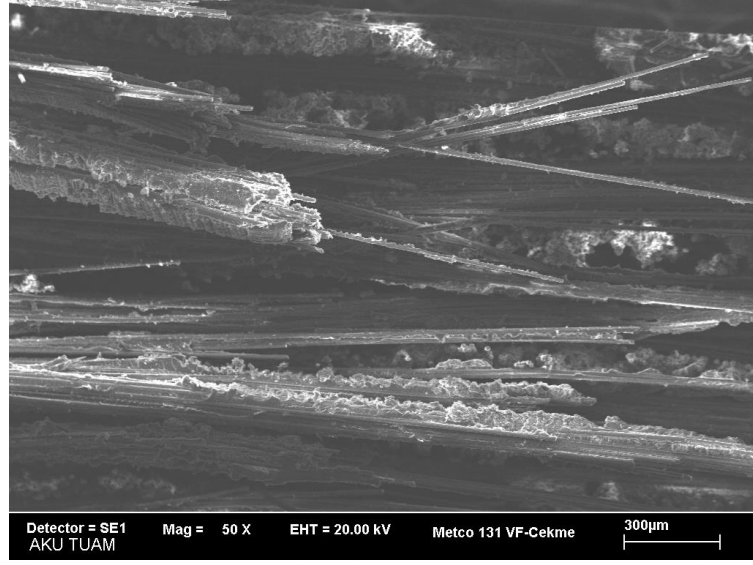
c)

Resim 5.34. Grup H Çekme deney numunesinin deney öncesi ve sonrasındaki görünüşleri

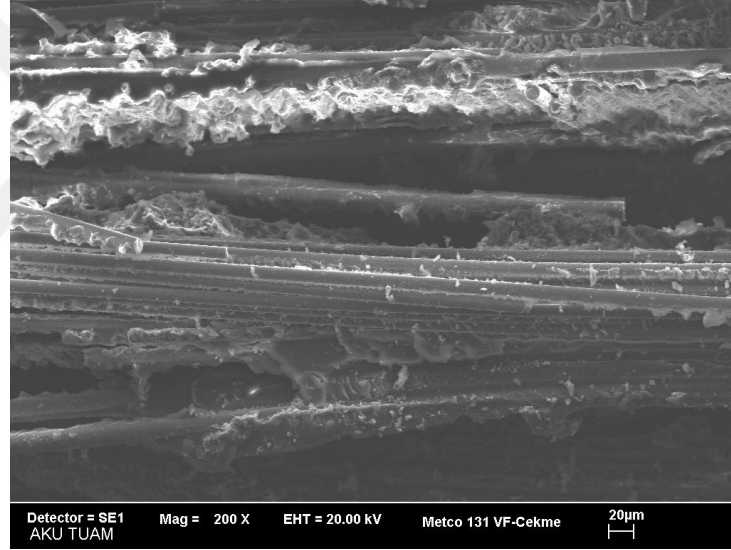
a-) Grup H çekme deney numunesi görüntüsü

b-) Grup H çekme deney numunesi deney sonrası görüntüsü

c-) Grup H çekme deney numunesi kırılma yüzeylerinin görüntüsü



a)



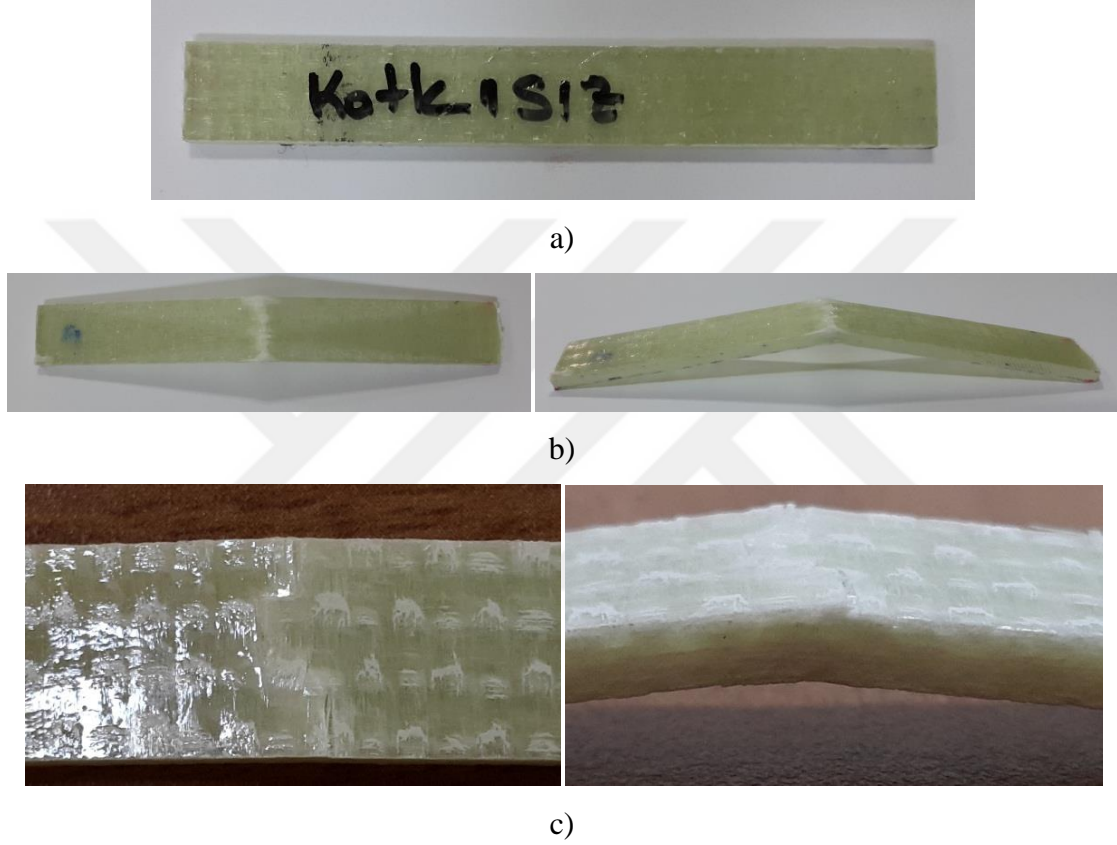
b)

Resim 5.35. Grup H çekme deney numunesi kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri

Üretilen kompozit malzemelerden Grup H numunelerinin Al_2O_3 - TiO_2 (%60-40), (-45+5 μ m, Agglomerated) çekme deneyi sonucunda ortaya çıkan kırılma yüzeylerinin SEM görüntüleri incelendiği zaman, belli bölgelerde matris malzemesi ile elyaflar arasında ayrılmaların olduğu, bazı bölgelerde ise güçlü bağların olduğu gözlemlenmiştir.

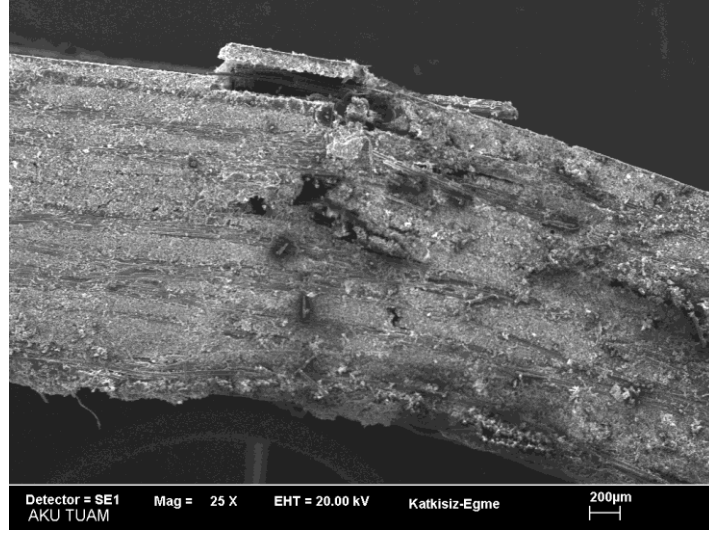
Katkısız Eğilme Deney Numunesinin Kırılma Yüzey Görüntüleri

Resim 5.36.'da Katkısız eğilme deney numunesinin eğilme deneyi öncesi ve sonrasındaki makro resimleri verilmiştir. Resim 5.37.'de katkısız eğilme deney numunesi kırılma yüzeylerinin SEM mikroskobu görüntüleri verilmiştir.



Resim 5.36. Katkısız eğilme deney numunesinin deney öncesi ve sonrasındaki görünüşleri

- a-) Katkısız eğilme deney numunesi görüntüsü
- b-) Katkısız eğilme deney numunesi deney sonrası görüntüsü
- c-) Katkısız eğilme deney numunesi kırılma yüzeylerinin görüntüsü



a)



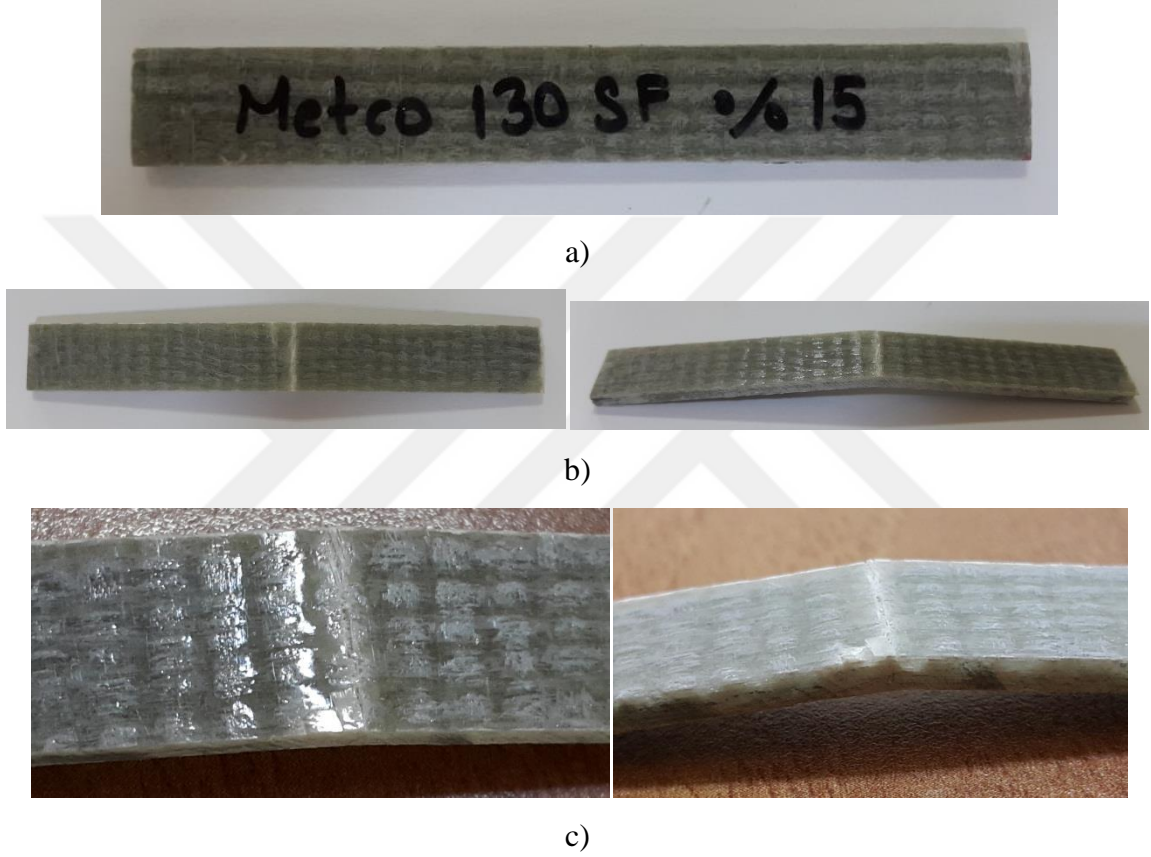
b)

Resim 5.37. Katkısız eğilme deney numunesi kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri

Üretilen katkısız kompozit malzemelerin eğilme deneyi sonucunda deformasyona uğrayan yüzeylerin SEM görüntüleri incelendiğinde, numunelerin çekme gerilmesine maruz kalan yüzeylerinde tabaka halinde kopmaların meydana geldiği, elyaflar ile matris malzemeleri arasında bağın iyi olduğu gözlemlenmiştir.

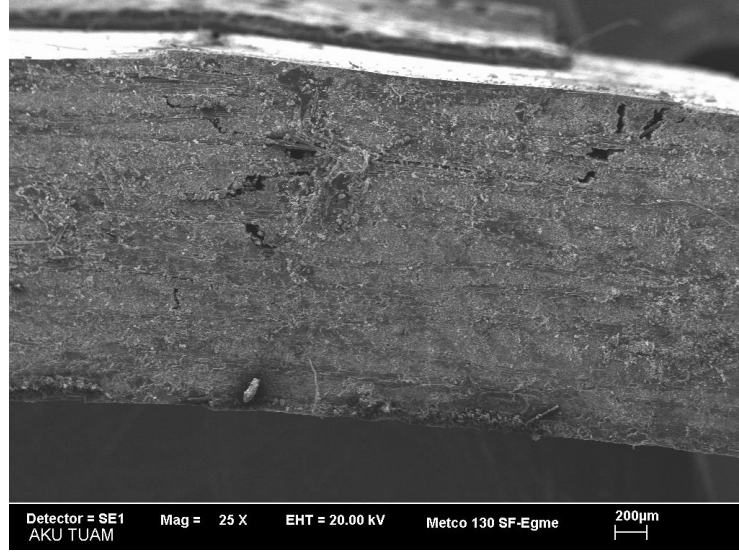
Grup D Eğilme Deney Numunesinin Kırılma Yüzey Görüntüleri

Resim 5.38.'de Grup D eğilme deney numunesinin eğilme deneyi öncesi ve sonrasındaki makro resimleri verilmiştir. Resim 5.39.' da Grup D eğilme deney numunesi kırılma yüzeylerinin SEM mikroskobu görüntüleri verilmiştir.

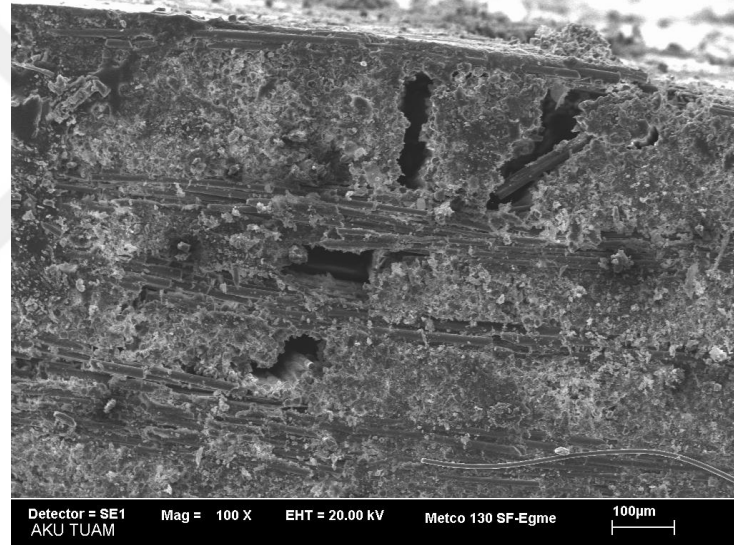


Resim 5.38. Grup D eğilme deney numunesinin deney öncesi ve sonrasındaki görüntüleri

- a-) Grup D eğilme deney numunesi görüntüsü
- b-) Grup D eğilme deney numunesi deney sonrası görüntüsü
- c-) Grup D eğilme deney numunesi kırılma yüzeylerinin görüntüsü



a)



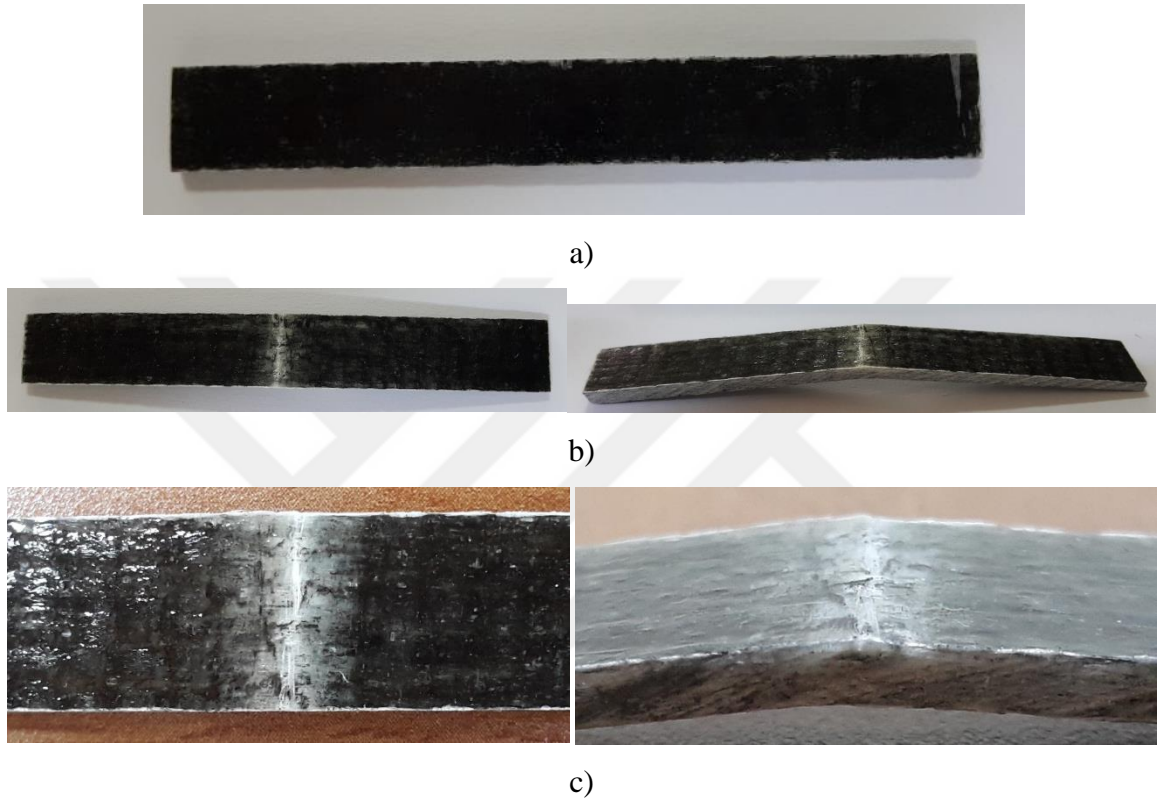
b)

Resim 5.39. Grup D eğilme deney numunesi kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri

Üretilen kompozit malzemelerden Grup D numunelerinin Al_2O_3 - TiO_2 (%87-13) (-45+5 μm , Mechanically clad) eğilme deneyi sonucunda deformasyona uğrayan yüzeylerin SEM görüntüleri incelendiğinde, numunelerin çekme gerilmesine maruz kalan bölgelerinde geniş bir alanda deformasyonun meydana geldiği, uygulanan kuvvete dik yönde çatlakların meydana geldiği ve kısmi bölgelerde elyaf ile matris malzemeleri arasında ayrışmaların meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Grup G Eğilme Deney Numunesinin Kırılma Yüzey Görüntüleri

Resim 5.40.'da Grup G eğilme deney numunesinin eğilme deneyi öncesi ve sonrasındaki makro resimleri verilmiştir. Resim 5.41.' de Grup G eğilme deney numunesi kırılma yüzeylerinin SEM mikroskobu görüntüleri verilmiştir.

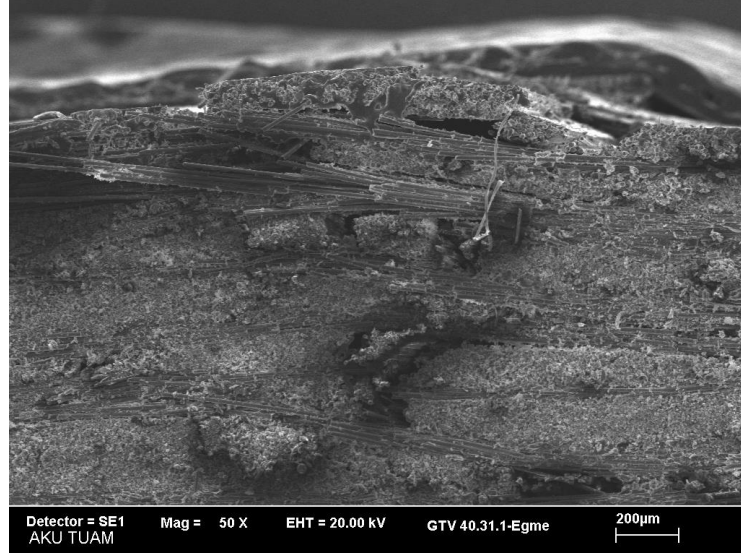


Resim 5.40. Grup G eğilme deney numunesinin deney öncesi ve sonrasındaki görünüşleri

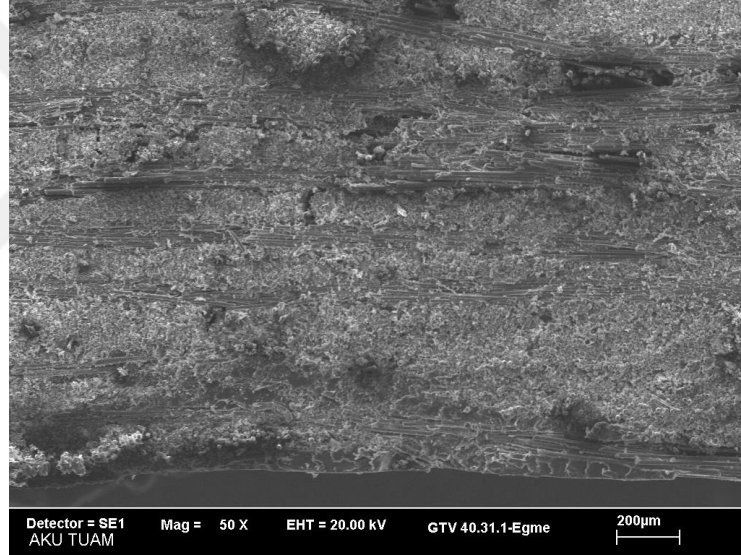
a-) Grup G eğilme deney numunesi görüntüsü

b-) Grup G eğilme deney numunesi deney sonrası görüntüsü

c-) Grup G eğilme deney numunesi kırılma yüzeylerini görüntüsü



a)



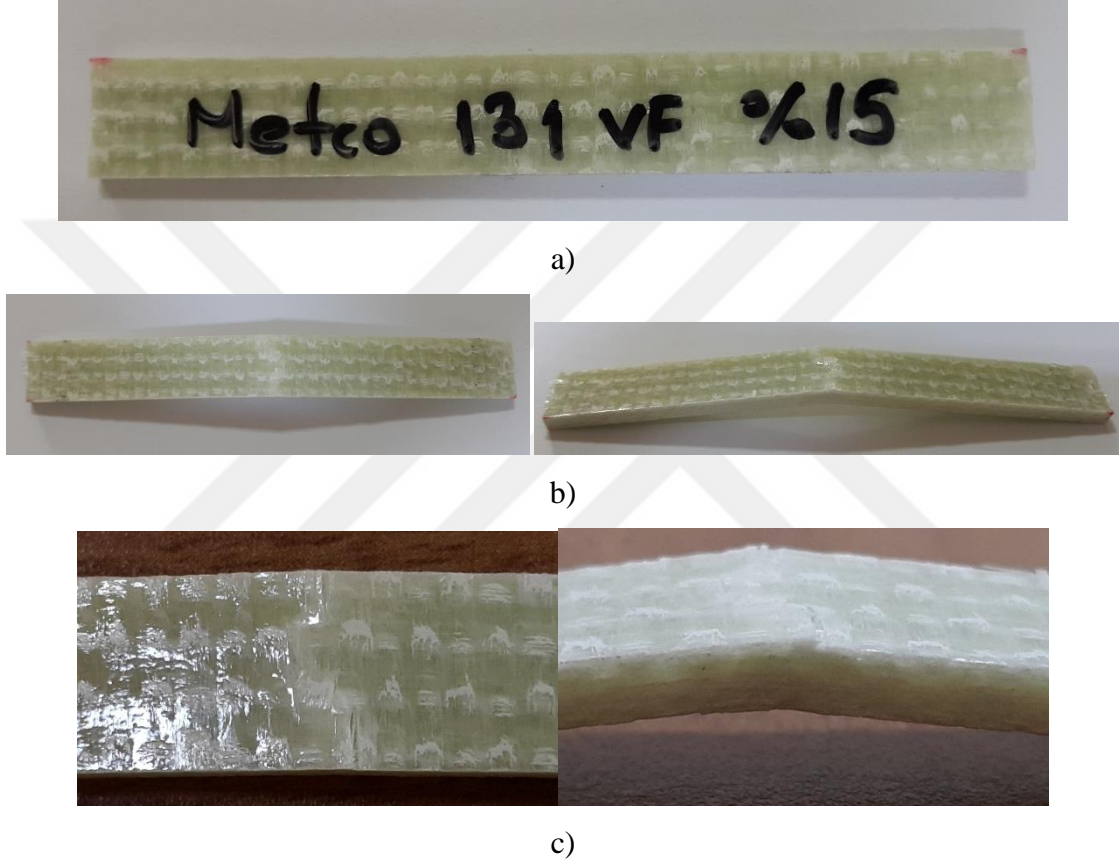
b)

Resim 5.41. Grup G eğilme deney numunesi kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri

Üretilen kompozit malzemelerden Grup G numunelerinin Al_2O_3 - TiO_2 (%60-40) (-45+20 μm , Fused and Crushed) eğilme deneyi sonucunda deformasyona uğrayan yüzeylerin SEM görüntüleri incelendiğinde, numunelerin çekme gerilmesine maruz kalan bölgelerinde küçük bir alanda deformasyonun meydana geldiği, uygulanan kuvvete dik yönde çatlakların meydana geldiği ve kısmi bölgelerde elyaf ile matris malzemeleri arasında ayrışmaların meydana geldiği ve bunun tabaka şeklinde olduğu gözlemlenmiştir.

Grup H Eğilme Deney Numunesinin Kırılma Yüzey Görüntüleri

Resim 5.42.'de Grup H eğilme deney numunesinin eğilme deneyi öncesi ve sonrasındaki makro resimleri verilmiştir. Resim 5.43.' de Grup H eğilme deney numunesi kırılma yüzeylerinin SEM mikroskobu görüntüleri verilmiştir.

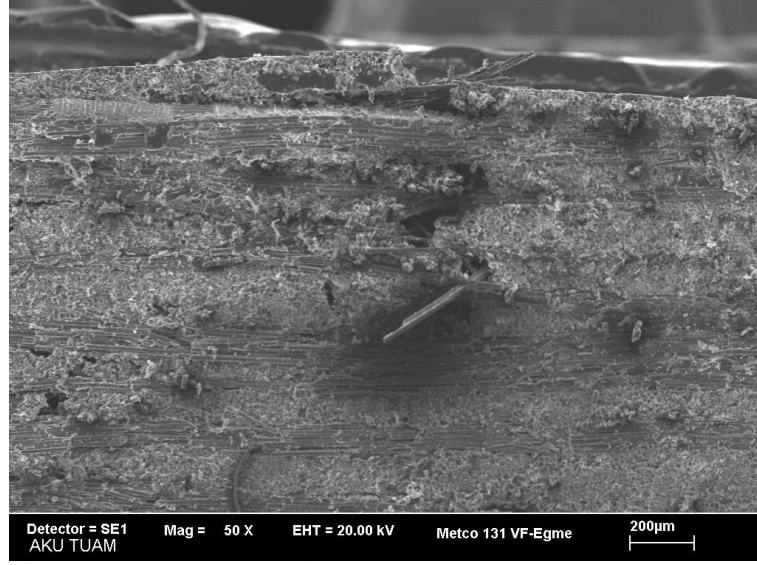


Resim 5.42. Grup H eğilme deney numunesinin deney öncesi ve sonrasındaki görüntüşleri

a-) Grup H eğilme deney numunesi görüntüsü

b-) Grup H eğilme deney numunesi deney sonrası görüntüsü

c-) Grup H eğilme deney numunesi kırılma yüzeylerinin görüntüsü



a)



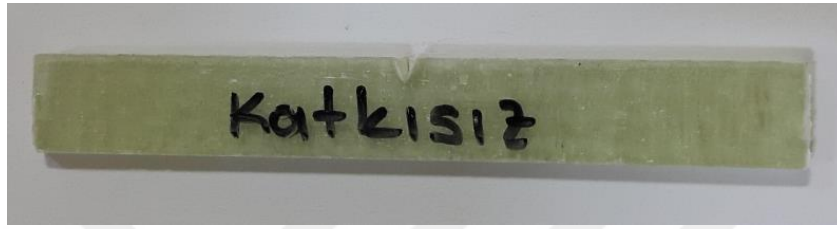
b)

Resim 5.43. Grup H eğilme deney numunesi kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri

Üretilen kompozit malzemelerden Grup H numunelerinin Al_2O_3 - TiO_2 (%60-40), (-45+5 μ m, Agglomerated) eğilme deneyi sonucunda deformasyona uğrayan yüzeylerin SEM görüntüleri incelendiğinde, numunelerin çekme gerilmesine maruz kalan bölgelerinde küçük bir alanda deformasyonun meydana geldiği, uygulanan kuvvete dik yönde çok küçük çatlakların meydana geldiği ve kısmi bölgelerde elyaf ile matris malzemeleri arasında ayrışmaların meydana geldiği ve bunun tabaka şeklinde olduğu gözlemlenmiştir.

Katkısız Çentik Darbe Deney Numunesinin Kırılma Yüzey Görüntüleri

Resim 5.44.'de katkısız çentik darbe deney numunesinin çentik darbe deneyi öncesi ve sonrasındaki makro resimleri verilmiştir. Resim 5.45.' de katkısız çentik darbe deney numunesi kırılma yüzeylerinin SEM mikroskobu görüntüleri verilmiştir.



a)



b)



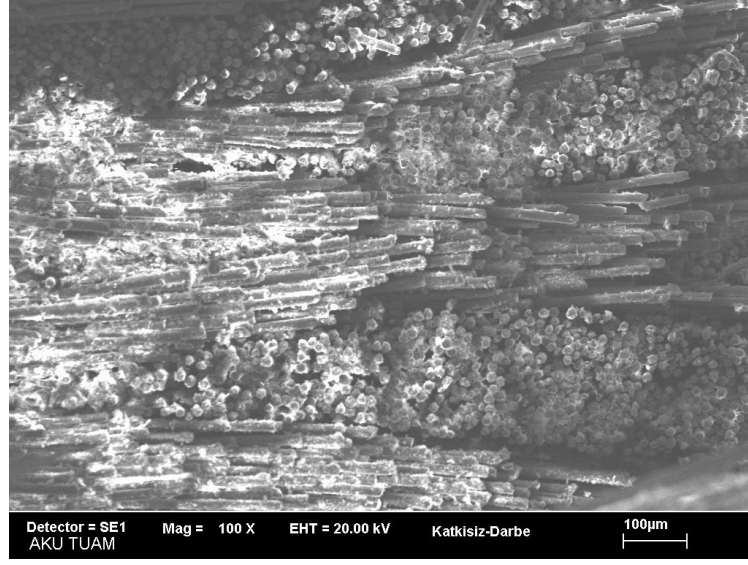
c)

Resim 5.44. Katkısız çentik darbe deney numunesinin deney öncesi ve sonrasındaki görünüşleri

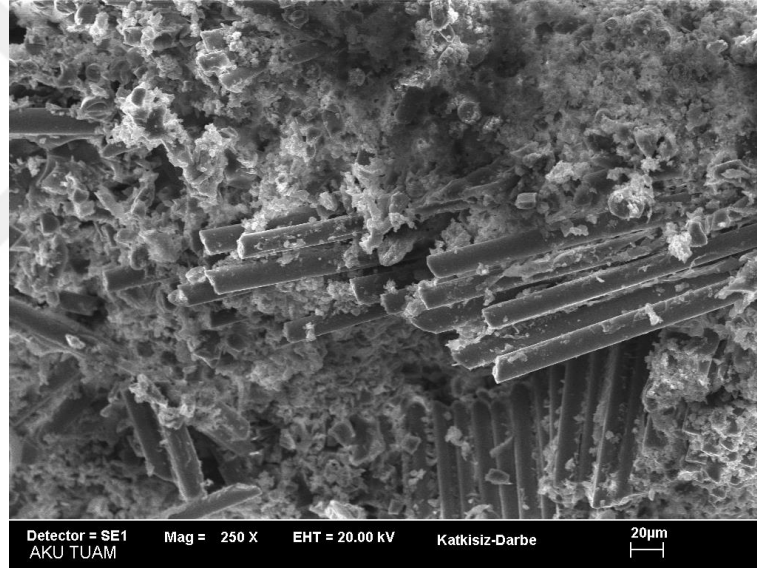
a-) Katkısız çentik darbe deney numunesi görüntüsü

b-) Katkısız çentik darbe deney numunesi deney sonrası görüntüsü

c-) Katkısız çentik darbe deney numunesi kırılma yüzeylerinin görüntüsü



a)



b)

Resim 5.45. Katkisız çentik darbe deney numunesi kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri

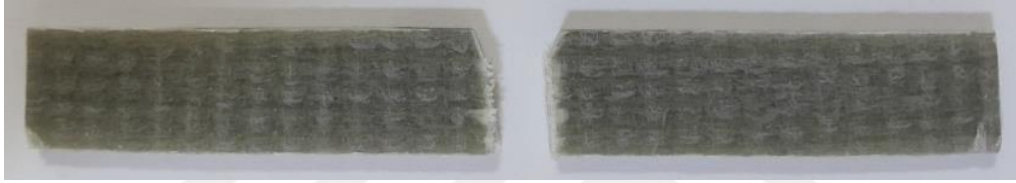
Üretilen katkisız kompozit malzemelerin çentik darbe deneyi sonucunda meydana gelen kırılma yüzeylerinin SEM görüntüleri incelendiğinde, elyafların kayma gerilmesi ile hasara uğradığı ve benzer kırılma yüzeyine sahip olduğu, kısmi bölgelerde elyaf ile matris malzemesi arasında ayrılmaların meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Grup D Çentik Darbe Deney Numunesinin Kırılma Yüzey Görüntüleri

Resim 5.46.'da Grup D çentik darbe deney numunesinin çentik darbe deneyi öncesi ve sonrasındaki makro resimleri verilmiştir. Resim 5.47.' de Grup D çentik darbe deney numunesi kırılma yüzeylerinin SEM mikroskobu görüntüleri verilmiştir.



a)



b)



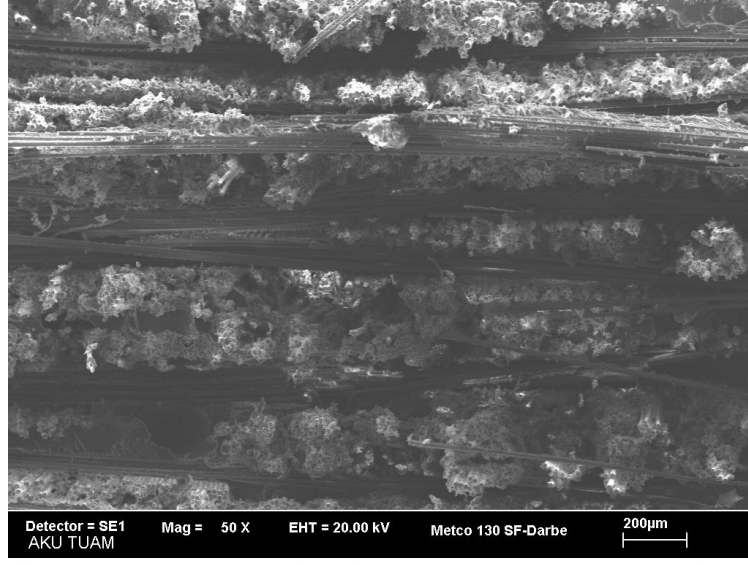
c)

Resim 5.46. Grup D çentik darbe deney numunesinin deney öncesi ve sonrasındaki görünüşleri

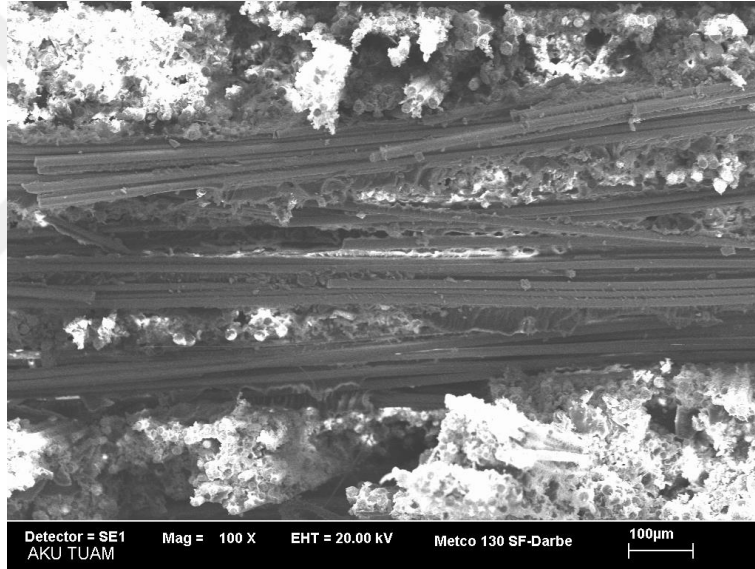
a-) Grup D çentik darbe deney numunesi görüntüsü

b-) Grup D çentik darbe deney numunesi deney sonrası görüntüsü

c-) Grup D çentik darbe deney numunesi kırılma yüzeylerinin görüntüsü



a)



b)

Resim 5.47. Grup D çentik darbe numunesi kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri

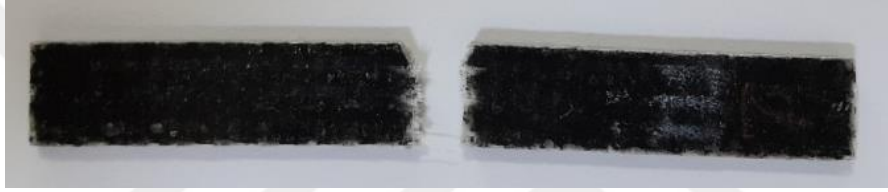
Üretilen kompozit malzemelerden Grup D numunelerinin Al_2O_3 - TiO_2 (%87-13) (-45+5 μm , Mechanically clad) çentik darbe deneyi sonucunda kırılma yüzeylerinin SEM görüntüleri incelendiğinde, elyafın kayma gerilmesi ile hasara uğradığı ve benzer kırılma yüzeyine sahip olduğu, kısmi bölgelerde elyaf ile matris malzemesi arasında ayrılmaların meydana geldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, bazı bölgelerde boşluklar meydana gelmiştir.

Grup G Çentik Darbe Deney Numunesinin Kırılma Yüzey Görüntüleri

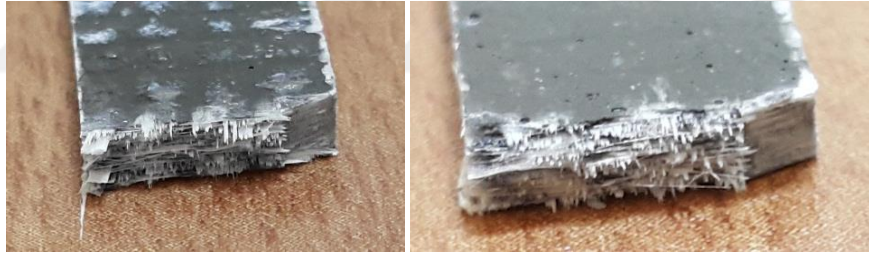
Resim 5.48.'de Grup G çentik darbe deney numunesinin çentik darbe deneyi öncesi ve sonrasındaki makro resimleri verilmiştir. Resim 5.49.' da Grup G çentik darbe deney numunesi kırılma yüzeylerinin SEM mikroskobu görüntüleri verilmiştir.



a)



b)



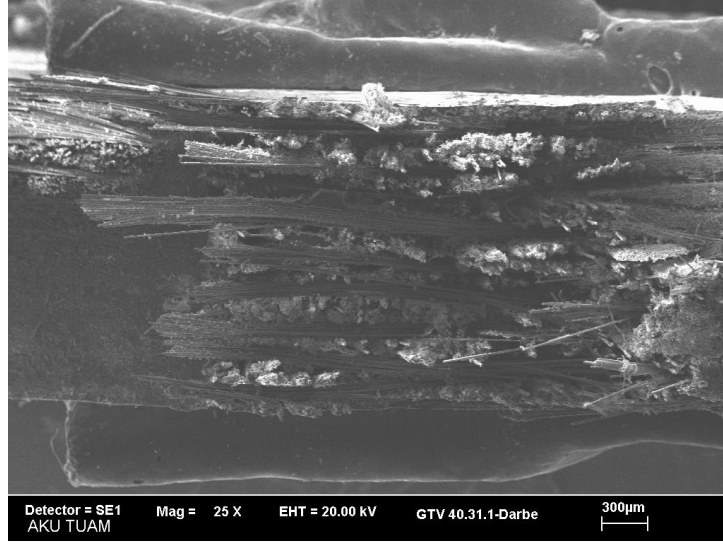
c)

Resim 5.48. Grup G çentik darbe deney numunesinin deney öncesi ve sonrasındaki görünüşleri

a-) Grup G çentik darbe deney numunesi görüntüsü

b-) Grup G çentik darbe deney numunesi deney sonrası görüntüsü

c-) Grup G çentik darbe deney numunesi kırılma yüzeylerinin görüntüsü



a)



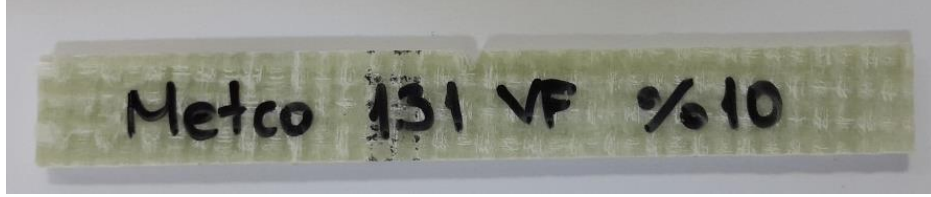
b)

Resim 5.49. Grup G çentik darbe deney numunesi kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri

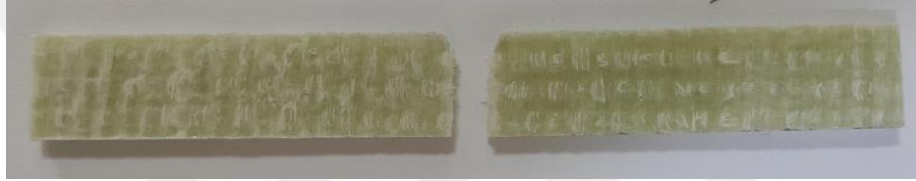
Üretilen kompozit malzemelerden Grup G numunelerinin Al_2O_3 - TiO_2 (%60-40) (-45+20 μm , Fused and Crushed) çentik darbe deneyi sonucunda kırılan yüzeylerin SEM görüntüleri incelendiğinde, elyafların kayma gerilmesi ile hasara uğradığı ve benzer kırılma yüzeyine sahip olduğu, kısmi bölgelerde elyaf ile matris malzemesi arasında ayrılmaların meydana geldiği ve bazı bölgelerde boşlukların meydana geldiği gözlemlenmiştir. Cam elyafı ile matris malzemesi arasında bağın daha zayıf olduğu açıkça görülmektedir.

Grup H Çentik Darbe Deney Numunesinin Kırılma Yüzey Görüntüleri

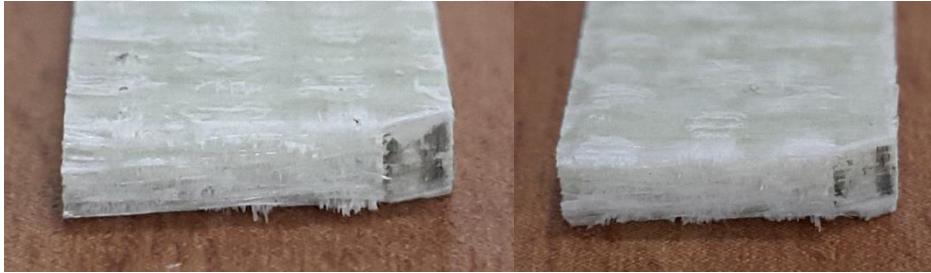
Resim 5.50.'de Grup H çentik darbe deney numunesinin çentik darbe deneyi öncesi ve sonrasındaki makro resimleri verilmiştir. Resim 5.51.' de Grup H çentik darbe deney numunesi kırılma yüzeylerinin SEM mikroskobu görüntüleri verilmiştir.



a)



b)



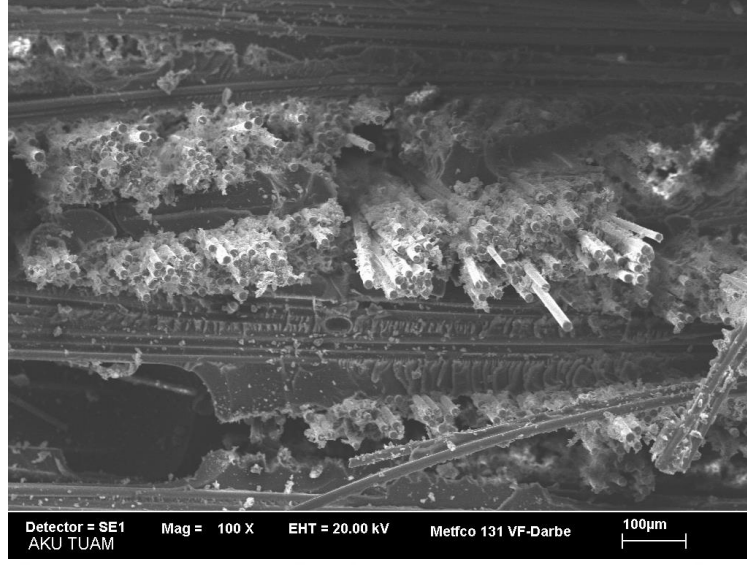
c)

Resim 5.50. Grup H çentik darbe deney numunesinin deney öncesi ve sonrasındaki görünümleri

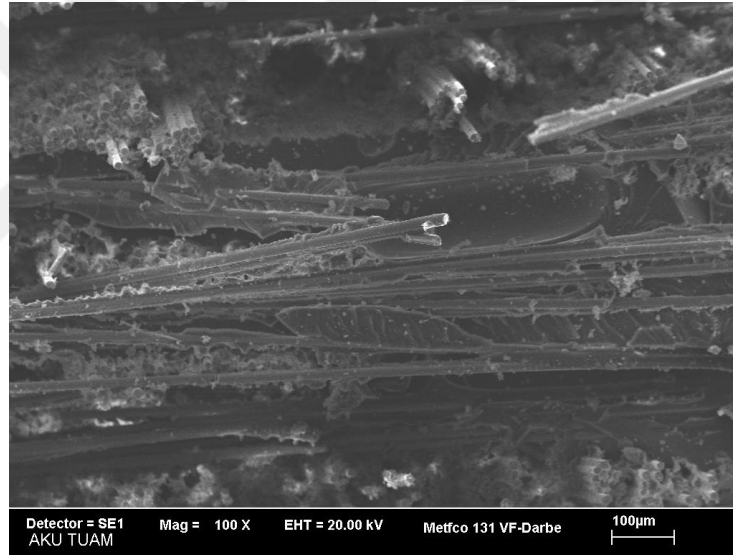
a-) Grup H çentik darbe deney numunesi görüntüsü

b-) Grup H çentik darbe deney numunesi deney sonrası görüntüsü

c-) Grup H çentik darbe deney numunesi kırılma yüzeylerinin görüntüsü



a)



b)

Resim 5.51. Grup H çentik darbe deney numunesi kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri

Üretilen kompozit malzemelerden Grup H numunelerinin Al_2O_3 - TiO_2 (%60-40), (-45+5 μ m, Agglomerated) çentik darbe deneyi sonucunda kırılma yüzeylerinin SEM görüntüleri incelendiğinde, elyafın kayma gerilmesi ile hasara uğradığı ve benzer kırılma yüzeyine sahip olduğu, kısmi bölgelerde elyaf ile matris malzemesi arasında ayrılmaların meydana geldiği ve bazı bölgelerde boşlukların meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bazı bölgelerde cam elyafı ile matris malzemesi arasında bağın daha kuvvetli olduğu ve kırılmanın birlikte meydana geldiği açıkça görülmektedir.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Üretilen kompozit malzemenin kalsinasyon deneyi, yoğunluk deneyi ve porozite ölçüm değerlerinin tespiti ile çekme, eğme, kayma ve çentik darbe deneyleri sonucunda elde edilen değerler aşağıdaki Çizelge 5.12.'de toplu olarak verilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin fiziksel özellikleri değerlendirildiğin de; epoksi reçine içine ilave edilen seramik toz takviyesi arttıkça üretilen kompozit malzemelerin kalınlıklarının arttığı, yoğunluk ve porozite değerlerinin yükseldiği tespit edilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin yüzde ağırlıkça elyaf oranları % 67 ile 74 arasında olduğu, en yüksek elyaf ağırlık oranının seramik toz ilavesi yapılmayan numunelerde meydana geldiği tespit edilmiştir. Kompozit malzemelerin yoğunluklarının yaklaşık 1.9 (gr/cm³) olduğu, en düşük yoğunluk miktarının seramik toz ilavesi yapılmayan numunelerde meydana geldiği tespit edilmiştir. Kompozit malzemelerde en düşük porozite miktarının (% 1.33) seramik toz ilavesi yapılmayan numunelerde meydana geldiği, en yüksek porozite miktarının (% 3.98) Grup A'daki %15 seramik toz ilaveli numunelerde meydana geldiği bulunmuştur. Kompozit malzemelerde porozite miktarının yüksek olması genel olarak malzemenin mekaniksel özelliklerini olumsuz olarak etkilemektedir [17]. Seramik toz ilaveli kompozit malzemelerin mekaniksel özelliklerinden çekme deneyi sonuçlarına göre, üretilen kompozit malzemelerin içindeki seramik toz katkı oranı arttıkça malzemelerin çekme dayanımlarında düşme meydana geldiği tespit edilmiştir. Genel olarak seramik toz ilave edilmeyen katkısız kompozit malzeme numunelerinin çekme dayanımının toz takviyeli kompozit malzemelerin çekme dayanımlarından yüksek olduğu, sadece Grup B'deki %15 seramik toz takviyeli kompozit malzemedan düşük olduğu belirlenmiştir.

Üretilen kompozit malzemeler arasında en yüksek çekme dayanımına sahip malzemenin Grup B' deki %15 seramik toz takviyeli kompozit malzeme olduğu, tespit edilmiştir. Bunun sebebi, ilave edilen seramik toz partikülleri ile reçine matris malzemesi arasında daha güçlü bir bağın meydana gelmesi ile ilgili olabilir [45].

| GRUP ADI | Seramik Partikül Tipi, Ürün Kodu, Partikül Büyüklüğü, Üretim Yöntemi | Katkı oranı (%) | Kalınlık (mm) | Çekme Dayanımı Rm (MPa) | Elastisite Modülü E (GPa) | Eğme Dayanımı σfs (MPa) | Eğmedeki çökme miktarı (mm) | Eğme Elastisite Modülü E (GPa) | Kayma Gerilmesi τs (MPa) | Çentik Darbe Kırılma Tokluğu ak (KJ/m ²) | Numunenin yoğunluğu (gr/cm ³) | Porozite (%) | Elyaf Ağırlık Oranı (%) |
|----------|---|-----------------|---------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------|--|---|--------------|-------------------------|
| KATKISIZ | Katkısız | %0 | 2,14 | 405 | 10,76 | 641 | 13,60 | 38,06 | 131 | 154 | 1,906 | 1,33 | 74 |
| GRUP A | Al2O3- TiO2 %97-3 AMDRY 6200 (-22+5 µm Fused and Crushed) | %5 | 2,42 | 363 | 10,84 | 575 | 10,10 | 38,82 | 127 | 108 | 1,913 | 2,05 | 69 |
| | | %10 | 2,39 | 335 | 10,77 | 458 | 8,80 | 35,97 | 109 | 104 | 1,921 | 3,02 | 68 |
| | | %15 | 2,41 | 317 | 10,53 | 408 | 7,20 | 34,27 | 120 | 87 | 1,928 | 3,98 | 67 |
| GRUP B | Al2O3- TiO2 %97-3 GTV 40.01.2 (-90+45 µm Fused and Crushed) | %5 | 2,29 | 368 | 13,45 | 541 | 8,60 | 40,89 | 109 | 94 | 1,916 | 2,77 | 70 |
| | | %10 | 2,5 | 345 | 13,76 | 490 | 8,10 | 43,55 | 114 | 104 | 1,927 | 3,08 | 68 |
| | | %15 | 2,8 | 430 | 11,44 | 462 | 7,50 | 36,55 | 121 | 116 | 1,975 | 3,88 | 67 |
| GRUP C | Al2O3- TiO2 %87-13 AMDRY6228 (-45+15 µm Fused,Crushed and Blended) | %5 | 2,57 | 345 | 10,56 | 547 | 9,90 | 32,42 | 120 | 145 | 1,914 | 2,04 | 69 |
| | | %10 | 2,54 | 340 | 11,08 | 488 | 9,30 | 35,49 | 108 | 131 | 1,923 | 3,13 | 68 |
| | | %15 | 2,48 | 320 | 10,15 | 452 | 8,50 | 33,54 | 99 | 68 | 1,941 | 3,84 | 67 |
| GRUP D | Al2O3- TiO2 %87-13 METCO 130 SF (-45+5 µm Mecanically clad) | %5 | 2,2 | 355 | 11,31 | 446 | 8,80 | 35,51 | 108 | 97 | 1,918 | 2,12 | 69 |
| | | %10 | 2,3 | 320 | 11,69 | 429 | 8,40 | 37,72 | 99 | 69 | 1,934 | 2,57 | 69 |
| | | %15 | 2,37 | 260 | 10,48 | 353 | 7,10 | 31,93 | 97 | 58 | 1,941 | 3,88 | 67 |
| GRUP E | Al2O3- TiO2 %87-13 GTV 40.30.0 (-22+5 µm Fused and Crushed) | %5 | 2,17 | 305 | 10,99 | 361 | 8,80 | 35,72 | 105 | 88 | 1,916 | 2,33 | 71 |
| | | %10 | 2,2 | 288 | 10,61 | 451 | 8,40 | 33,70 | 96 | 68 | 1,922 | 2,80 | 68 |
| | | %15 | 2,4 | 240 | 9,57 | 381 | 7,10 | 33,26 | 90 | 63 | 1,938 | 3,50 | 67 |
| GRUP F | Al2O3- TiO2 %60-40 GTV 40.31.0 (-25+5 µm Fused and Crushed) | %5 | 2,21 | 350 | 10,82 | 446 | 8,50 | 36,44 | 102 | 82 | 1,927 | 2,61 | 72 |
| | | %10 | 2,23 | 325 | 10,67 | 457 | 8,30 | 34,06 | 97 | 74 | 1,954 | 2,74 | 71 |
| | | %15 | 2,31 | 275 | 9,94 | 373 | 8,00 | 33,76 | 88 | 56 | 1,981 | 3,60 | 70 |
| GRUP G | Al2O3- TiO2 %60-40 GTV 40.31.1 (-45+20 µm Fused and Crushed) | %5 | 2,12 | 330 | 10,89 | 426 | 8,30 | 31,20 | 102 | 81 | 1,932 | 2,50 | 72 |
| | | %10 | 2,42 | 308 | 11,07 | 419 | 7,60 | 33,61 | 93 | 74 | 1,959 | 2,83 | 71 |
| | | %15 | 2,48 | 328 | 10,65 | 401 | 6,90 | 31,35 | 88 | 80 | 1,982 | 3,33 | 67 |
| GRUP H | Al2O3- TiO2 %60-40 METCO 131 VF (-45+5µm Agglomerated) | %5 | 2,12 | 370 | 10,88 | 492 | 9,10 | 40,57 | 92 | 116 | 1,917 | 2,40 | 71 |
| | | %10 | 2,27 | 315 | 10,67 | 424 | 8,20 | 37,24 | 87 | 109 | 1,924 | 3,45 | 69 |
| | | %15 | 2,35 | 255 | 9,47 | 407 | 8,10 | 36,59 | 81 | 93 | 1,937 | 3,95 | 68 |

Çizelge 5.12. Çekme, eğilme, kayma, çentik darbe, yoğunluk, porozite, kalsinasyon deneyleri sonucunda elde edilen değerler

Seramik toz takviyeli kompozit malzemelerin %5 oranında seramik toz ilaveli numuneleri arasında en yüksek çekme dayanımı Grup H'deki numunelerde meydana gelmiştir. Ayrıca, aynı toz geometrisine sahip Grup A ve Grup B'deki numunelerin çekme dayanımları karşılaştırıldığında, toz partikül boyutu daha büyük olan Grup B numunelerinin çekme dayanımı daha yüksek meydana gelmiştir. Grup F ile Grup G numuneler arasında ise toz partikül boyutu daha küçük olan Grup F numunelerinin çekme dayanımı daha yüksek meydana gelmiştir. Aynı toz büyüklüğüne sahip numuneler arasında en yüksek çekme dayanımına ise Grup H numunelerinde elde edilmiştir. Üretilen kompozit malzemeler içinde seramik toz takviyeli kompozit malzemelerin çekme dayanımlarının katkısız kompozit malzemelerin çekme dayanımına göre daha düşük çekme dayanımı göstermesinin sebebi; seramik partiküller ile epoksi matris arasında küçük kimyasal bağların olması, düzensiz şekillere sahip seramik partiküller etrafında meydana gelen porozite ve gerilme konsantrasyonunun yüksek olması nedeniyle olmaktadır [86].

Çekme deneyi sonucunda elde edilen numunelerin elastisite modülü değerleri karşılaştırıldığı zaman; en yüksek elastisite modülü değerleri toz büyüklüğü en yüksek olan Grup B'deki numunelerde elde edilmiştir. %5 oranında seramik toz takviyeli numunelerde meydana gelen elastisite modülü değerleri katkısız kompozit malzemenin elastisite modülü değerlerinden daha yüksek meydana gelmiştir. Genel olarak, reçine matris malzemesi içinde seramik toz katkı oranı arttıkça malzemelerin elastisite modülleri değerlerinde düşme meydana gelmiştir. Ancak, Grup B, C, D ve Grup G'deki malzemelerde en yüksek elastisite modülü değerleri, %10 seramik toz ilave edilmiş numunelerde meydana geldiği tespit edilmiştir. Aynı toz geometrisine sahip Grup A ve Grup B'deki numunelerin elastisite modülleri değerleri karşılaştırıldığında, toz partikül boyutu daha büyük olan Grup B numunelerinin elastisite modülü değerleri daha yüksek meydana gelmiştir.

Eğilme deneyi sonucunda elde edilen numunelerin eğilme dayanımı değerleri karşılaştırıldığı zaman; genel olarak seramik toz ilave edilmeyen katkısız kompozit malzeme numunelerinin eğilme dayanımının toz takviyeli kompozit malzemelerin eğilme dayanımlarından yüksek olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak, reçine matris malzemesi içinde seramik toz katkı oranı arttıkça malzemelerin eğilme dayanımı değerlerinde düşme meydana gelmiştir. Bunun sebebi reçine malzeme içine ilave edilen seramik partikül miktarı arttıkça belli bölgelerde aglomera meydana gelmesi olmaktadır [87]. Ancak, Grup E ve F'deki malzemelerde en yüksek eğilme dayanımı değerleri, %10 seramik toz

ilave edilmiş numunelerde meydana geldiği tespit edilmiştir. Seramik toz takviyeli kompozit malzemeler arasında ise en yüksek eğilme dayanımı değerleri Grup A' daki % 5 seramik toz takviyeli kompozit malzeme numunelerinde meydana gelmiştir. Aynı toz geometrisine sahip Grup A ve Grup B'deki numunelerin eğilme dayanımı değerleri karşılaştırıldığında, toz partikül boyutu daha küçük olan Grup A numunelerinin eğilme dayanımı değerleri daha yüksek meydana gelmiştir. Benzer olarak, aynı toz geometrisine sahip Grup F ve Grup G'deki numunelerin eğilme dayanımı değerleri karşılaştırıldığında, toz partikül boyutu daha küçük olan Grup F numunelerinin eğilme dayanımı değerleri daha yüksek meydana gelmiştir.

Eğilme deneyi sonucunda elde edilen numunelerin eğilme modülü değerleri karşılaştırıldığı zaman; genel olarak seramik toz ilave edilmeyen katkısız kompozit malzeme numunelerinin eğilme modülü değerlerinin toz takviyeli kompozit malzemelerin eğilme modülü değerlerinden yüksek olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak, reçine matris malzemesi içinde seramik toz katkı oranı arttıkça malzemelerin eğilme modülü değerlerinde düşme meydana gelmiştir. Ancak, Grup B, C, D ve G'deki malzemelerde en yüksek eğilme modülü değerleri, %10 seramik toz ilave edilmiş numunelerde meydana geldiği tespit edilmiştir. Seramik toz takviyeli kompozit malzemeler arasında ise en yüksek eğilme modülü değeri Grup B' daki % 10 seramik toz takviyeli kompozit malzeme numunelerinde meydana gelmiştir. Ayrıca, Grup H numunelerinin eğilme modülü değerleri Grup B haricindeki bütün kompozit malzemelerin eğilme modülü değerlerinden daha yüksek meydana gelmiştir. Eğilme deneyi sonucunda deney esnasında maksimum yük altında deney numunelerinde meydana gelen çökme miktarları karşılaştırıldığı zaman, seramik toz takviyeli kompozit malzemelerin çökme miktarı, katkısız kompozit malzemelerin çökme miktarından daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Seramik toz takviyesi genel olarak kompozit malzemelerin rijitliğini artırmıştır. Genel olarak, reçine matris malzemesi içinde seramik toz katkı oranı arttıkça malzemelerin çökme miktarı değerlerinde düşme meydana gelmiştir.

Üretilen kompozit malzemelerin kayma gerilmeleri değerlendirildiği zaman, en yüksek kayma gerilmesi değeri katkısız kompozit malzemelerde meydana gelmiştir. Genel olarak seramik toz takviyesi arttıkça malzemelerin kayma gerilmesi değerlerinde düşme meydana gelirken, Grup A ve Grup B numunelerinde ise seramik toz takviye miktarı arttıkça malzemelerin kayma gerilmesi değerlerinde yükselmeler meydana gelmiştir.

Üretilen seramik toz takviyeli kompozit malzemeler arasında ise en yüksek kayma gerilmesi değeri Grup A'daki % 5 seramik toz takviyeli kompozit malzemelerde meydana gelmiştir. Aynı toz geometrisine sahip Grup A ve Grup B'deki numunelerin kayma gerilmesi değerleri karşılaştırıldığında, toz partikül boyutu daha büyük olan Grup B numunelerinin % 10 ve daha yüksek toz takviyeli durumlardaki kayma gerilmesi değerleri Grup A numunelerinin aynı toz takviye oranlarındaki kayma gerilmesi değerlerinden daha yüksek meydana gelmiştir.

Malzemelerin Charpy çentik darbe deneyi sonucunda elde edilen sonuçlarına göre; en yüksek çentik darbe tokluğu değeri katkısız kompozit malzeme numunelerde meydana gelmiştir. Genel olarak kompozit malzemenin içine ilave edilen seramik toz takviye oranı arttıkça kompozit malzemenin çentik darbe tokluk değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Seramik toz takviyeli kompozit malzemeler arasında en yüksek darbe tokluk değerleri Grup C'deki malzemelerinde meydana gelmiştir. Ancak, Grup B'deki seramik toz takviyeli malzemelerde seramik toz miktarı arttıkça kompozit malzemenin çentik darbe dayanımı değerlerinde artış meydana gelmiştir. Ayrıca, Grup C'deki %5 katkı oranında en yüksek çentik darbe tokluğu değerleri elde edilmiştir. Ayrıca Grup H'daki malzemelerin aynı seramik toz katkı oranına sahip malzemeler arasında Grup C hariç diğer tüm gruptaki numunelerin çentik darbe tokluğu değerlerinden daha yüksek çentik darbe tokluğu değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi, Grup H'daki seramik tozlarının aglomera edilmiş durumdaki geometrilerinin küresel yapıya sahip olması ile toz çevrelerinde çatlak başlamasına ve ilerlemesine neden olan gerilme yığılmalarının daha düşük olmasıdır [4].

Bu çalışmada, cam elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemelerde ilave parçacık olarak kullanılan Al_2O_3 - TiO_2 seramik tozlarının karışım oranlarının, boyutunun ve geometrisinin üretimi yapılan malzemenin bazı fiziksel özellikleri ile çekme, eğme, kayma ve darbe dayanımı özelliklerine etkisini incelemek için deneysel olarak yapılan çalışmaların sonucunda aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir.

*Epoksi reçine içine ilave edilen seramik toz takviyesi arttıkça üretilen kompozit malzemelerin kalınlıklarının arttığı, yoğunluk ve porozite değerlerinin yükseldiği tespit edilmiştir.

*Polimer matrisli kompozit malzemelerde seramik toz partiküllerinin ilave edilmesi genel olarak kompozit malzemelerin çekme dayanımını düşürürken, elastisite modüllerinde artışa

neden olmaktadır. Ancak, seramik toz partikül büyüklüğü en yüksek olan ve toz katkı miktarı %15 olan kompozit malzemenin çekme dayanımı katkısız kompozit malzemenin çekme dayanımına göre %6,2 daha yüksek meydana gelmiştir. Üretilen kompozit malzemeler arasında en yüksek elastisite modülüne sahip olan malzeme, seramik toz partikül büyüklüğü en yüksek olan ve toz katkı miktarı %10 olan malzemelerde meydana gelmiştir ve bu malzemenin elastisite modülü katkısız kompozit malzemenin elastisite modülüne göre %27,88 daha yüksek meydana gelmiştir.

*Polimer matrisli kompozit malzemelerde seramik toz partiküllerinin ilave edilmesi kompozit malzemelerin eğme dayanımını düşürürken, kompozit malzemelerin bazılarında elastisite modüllerinde artışa neden olmaktadır. Eğilme modülünün en yüksek olduğu kompozit malzeme partikül boyutu en yüksek olan ve %10 seramik toz ilavesi içeren malzemelerdir ve bu malzemenin eğilme modülü katkısız kompozit malzemenin eğilme modülüne göre %14,42 daha yüksek meydana gelmiştir.

* Polimer matrisli kompozit malzemelerde seramik toz partiküllerinin ilave edilmesi eğilme zorlaması altında maksimum yük altındaki çökme miktarını düşürmektedir. Bu durum seramik toz takviyeli kompozit malzemelerin rijitliğinin yüksek olduğunu göstermektedir. Üretilen kompozit malzemeler arasında eğme zorlaması altında maksimum yük altındaki çökme miktarının en düşük olduğu malzeme, Al₂O₃ - %40 TiO₂ (-45+20 µm Fused and Crushed) seramik toz partikül takviyeli ve toz katkı miktarı %10 olan malzemelerde meydana gelmiştir ve bu malzemenin çökme miktarı katkısız kompozit malzemenin çökme miktarına göre % 49,24 daha düşük meydana gelmiştir.

* Polimer matrisli kompozit malzemelerde seramik toz partiküllerinin ilave edilmesi kompozit malzemelerin kayma gerilmesi dayanımını düşürmektedir.

*Kompozit malzemelerin charpy çentik darbe deneyi sonucunda elde edilen sonuçlarına göre; en yüksek çentik darbe tokluğu değeri katkısız kompozit malzeme numunelerde meydana gelmiştir. Genel olarak kompozit malzemenin içine seramik toz takviye oranı arttıkça kompozit malzemenin çentik darbe tokluk değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Seramik toz takviyeli kompozit malzemeler arasında en yüksek darbe tokluk değerleri seramik toz geometrisi aglomera olan kompozit malzemelerde meydana gelmiştir.

Sonuç olarak, cam elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemelerin üretimi esnasında reçine matris içine ilave edilen seramik tozların karışım oranları, boyutları ve

geometrileri üretilen kompozit malzemelerin fiziksel özelliklerini ve mekaniksel dayanımlarını önemli oranda etkilediği tespit edilmiştir.

6.2. Öneriler

Makine tasarımında malzeme seçimi yapılırken elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit malzemeler günümüzde kullanım alanı en hızlı yükselen malzeme çeşitlerindedir. Malzeme seçimi esnasında kullanım yerine göre malzemedan istenilen belli özellikler bulunmaktadır. Bunlar arasında özellikle aşınma dayanımı, yorulma dayanımı, pim veya civata bağlantısı gibi durumlardaki performansı, düşük veya yüksek sıcaklıklardaki özelliklerinin değişimi ön plana çıkmaktadır. Bu doktora tez çalışmasında epoksi reçine içine farklı seramik toz ilaveli cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin fiziksel ve mekaniksel özelliklerine seramik tozların boyutunun, geometrisinin ve katkı oranının etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlardan yola çıkarak, seramik toz ilaveli polimer matrisli kompozit malzemelerin bilgisayar destekli programlar ile modellenmesi ve analizi, aşınma performanslarının belirlenmesi, pim veya civata bağlantılarındaki performanslarının incelenmesi ve düşük veya yüksek sıcaklıklardaki mekaniksel ve termal özelliklerindeki değişimler incelenebilir. Ayrıca, literatürdeki diğer araştırmalar göz önüne alındığında seramik partiküller, elyaflar ve polimer matris malzemeleri arasındaki bağın çok daha kuvvetli olması için özel işlemlere tabii tutularak kompozit malzemelerin üretimleri yapılabilir ve bu durumdaki malzemelerin fiziksel, kimyasal, mekaniksel ve termal özellikleri incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. Mazumdar, S. K., 2002, "Composites Manufacturing Materials, Product, and Process Engineering", *CRC Press*, London, 20-39.
2. Strong, A.B., 2008, "Fundamentals of Composites Manufacturing: Materials, Methods, and Applications, 2nd ed.", *SME*, Michigan, 1-18.
3. De Armitt, C., Rotheron, R., 2017, "Particulate Fillers, Selection and Use in Polymer Composites.", *Fillers for Polymer Applications*, Editor: Rotheron R., *Springer*, Switzerland, 3-27.
4. Fu, S.Y., Feng, X.Q., Lauke, B, Mai, Y.W., 2008, "Effects of particle size, particle/matrix interface adhesion and particle loading on mechanical properties of particulate–polymer composites". *Composites Part B:Engineering*, 39(6): 933-961.
5. Manwar, H., Atsushi, N., Koichi, N., 1996, "Mechanical property improvement of carbon fiber reinforced epoxy composites by Al₂O₃, filler dispersion". *Materials Letters*, 26: 185-191.
6. Gupta, N., Brar, B.S., Woldesenbet, E., 2001, "Effect of filler addition on the compressive and impact properties of glass fibre reinforced epoxy", *Bulletin of Materials Science*, 24(2): 219-223.
7. Valek, R., Hell, J., 2011, "Impact properties of polymeric nanocomposites with different shape of nanoparticles", *Nanocon*, 9: 21-23.
8. Dittanet, P., Pearson, R. A., 2012, "Effect of silica nanoparticle size on toughening mechanisms of filled epoxy", *Polymer*, 53: 1890-1905.

9. Sreekanth, M.S., Bambole, V.A., Mhaske, S.T., Mahanwar, P.A., 2009, "Effect of particle size and concentration of flyash on properties of polyester thermoplastic elastomer composites". *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 8(3): 237.
10. Abenojar, J., Tutor, J., Ballesteros, Y., Real, J.C., Martínez, M.A., 2017, "Erosion-wear, mechanical and thermal properties of silica filled epoxy nanocomposites", *Composites Part B*, 120 (1): 42-53.
11. Patel, V.K., Dhanola, A., 2016, "Influence of CaCO₃, Al₂O₃ and TiO₂ micro fillers on physico-mechanical properties of *Luffa cylindrica*/polyester composites", *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 19(2): 676-683.
12. Aruniit, A., Kers, J., Tall, K., 2011, "Influence of filler proportion on mechanical and physical properties of particulate composite". *Agronomy Research Biosystem Engineering*, 1: 23-29.
13. Asi, O., 2009, "Mechanical properties of glass-fiber reinforced epoxy composites filled with Al₂O₃ particles", *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 28(23): 2861-2867.
14. Joa, H.S., Leea, G.W., 2017, "Investigation of mechanical and thermal properties of silica reinforced epoxy composites by using experiment and empirical model", *Materials Today: Proceedings*, 4: 6178-6187.
15. Sudheera, M., Hemantha, K., Rajua, K., Bhata, T., 2014, "Enhanced mechanical and wear performance of epoxy/glass composites with PTW/graphite hybrid fillers". *Procedia Materials Science*, 6: 975-987.
16. Asi, O., 2010, "An experimental study on the bearing strength behavior of Al₂O₃ particle filled glass fiber reinforced epoxy composites pinned joints", *Composite Structures*, 92:354-363.

17. Srinivasa, K., Bhagyashekar, M.S., 2014, "Wear Behaviour of Epoxy Hybrid Particulate Composites", *Procedia Engineering*, 97: 488-494.
18. Hsueh, C.H., 1987, "Effects of aspect ratios of ellipsoidal inclusions on elastic stress transfer of ceramic composites", *J Am Ceram Soc*, 72:344-347.
19. Young, R.J., Beaumont, P.W.R., 1977, "Effect of composition upon fracture of silica particle-filled epoxy-resin composites", *J Mater Sci*, 12:684-692.
20. Pukanszky, B., Voros, G., 1993, "Mechanism of interfacial interactions in particulate filled composites", *Compos Interf*, 1:411-427.
21. Nakamura, Y., Yamaguchi, M., Okubo, M., Matsumoto, T., 1992, "Effects of particle size on mechanical and impact properties of epoxy resin filled with spherical silica", *J Appl Polym Sci*, 45:1281-1289.
22. Reynaud, E., Jouen, T., Gauthier, C., Vigier, G., Varlet, J., 2001, "Nanofillers in polymeric matrix: a study on silica reinforced PA6", *Polymer*, 42:8759-8768.
23. Ou, Y., Yang, F., Yu, Z.Z., 1998, "A new conception on the toughness of nylon 6/silica nanocomposite prepared via in situ polymerization", *J Polym Sci Part B Polym Phys* 36:789-795.
24. Dekkers, M.E.J., Heikens, D., 1983, "The effect of interfacial adhesion on the tensile behavior of polystyrene-glass-bead composites", *J Appl Polym Sci*, 28:3809-3815.
25. Fu, S.Y., Lauke, B., 1998, "Characterization of tensile behaviour of hybrid short glass fibre calcite particle ABS composites", *Composite Part A*, 29A:575-583.
26. Fu, S.Y., Lauke, B., 1997, "Analysis of mechanical properties of injection molded short glass fibre (SGF)/calcite/ABS composites", *J Mater Sci Technol*, 13:389-396.

27. Spanoudakis, J., Young, R.J., 1984, "Crack propagation in a glass particle filled epoxy-resin. 1. Effect of particle-volume fraction and size", *J Mater Sci*, 19:473–86.
28. Lange, F.F., 1970, "The interaction of a crack front with a second phase dispersion", *Philos Mag*, 22:983–992.
29. Nakamura, Y., Yamaguchi, M., Okubo, M., Matsumoto, T., 1992, "Effects of particle size on mechanical and impact properties of epoxy resin filled with spherical silica", *J Appl Polym Sci*, 45:1281–1289.
30. Thio, Y.S., Argon, A.S., Cohen, R.E., 2004, "Role of interfacial adhesion strength on toughening polypropylene with rigid particles", *Polymer*, 45: 3139–3147.
31. Moczo, J., Pukanszky, B., 2008, "Polymer micro and nanocomposites: structure, interactions, properties", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 14 :535–563.
32. Landon, G., Lewis, G., Boden, G., 1977, "The influence of particle size on the tensile strength of particulate-filled polymers", *J Mater Sci*, 12:1605–1613.
33. Li, G., Helms, J.E., Pang, S.S., Schulz, K., 2001, "Analytical modeling of tensile strength of particulate filled composites", *Polym Compos*, 22:593–603.
34. Phipps, M.A., Pritchard, G., Abou-Torabi, A., 1995, "Role of particle strength and filler volume fraction in the fracture of alumina trihydrate filled epoxy resins", *Polym Compos*, 3:71–77.
35. Wetzela, B., Haupta, F., Zhangb, M.Q., 2003, "Epoxy nanocomposites with high mechanical and tribological performance", *Composites Science and Technology* , 63: 2055–2067.
36. Lauke, B., 2006, "Determination of adhesion strength between a coated particle and polymer matrix more composites", *Compos Sci Technol*, 66:3153–3160.

37. Gabr, M.H., Okumura, W., Ueda, H., Kuriyama, W., Uzawa, K., Kimpara, I., 2015, "Mechanical and thermal properties of carbon fiber/polypropylene composite filled with nano-clay", *Composites: Part B*, 69:94–100.
38. Wetzell, B., Rosso, P., Hauptert, F., Friedrich, K., 2006, "Epoxy nanocomposites – fracture and toughening mechanisms", *Engineering Fracture Mechanics*, 73:2375–2398.
39. Lauke, B., Fu, S.Y., 2013, "Aspects of fracture toughness modelling of particle filled polymer composites", *Composites: Part B*, 45:1569–1574.
40. Jajam, K.C., Tippur, H.V., 2012, "Quasi-static and dynamic fracture behavior of particulate polymer composites: A study of nano- vs. micro-size filler and loading-rate effects", *Composites: Part B*, 43:3467–3481.
41. Singh, S.K., Singh, S., Kumar, A., Jain, A., 2017, "Thermo-mechanical behavior of TiO₂ dispersed epoxy", *Composites Engineering Fracture Mechanics*, 184:241–248.
42. Yesgat, A.L., Kitey, R., 2016, "Effect of filler geometry on fracture mechanisms in glass particle filled epoxy composites", *Engineering Fracture Mechanics*, 160:22–41.
43. Shi, G., Zhang, M.Q., Ronga, M.Z., Wetzell, B., Friedrich, K., 2003, "Friction and wear of low nanometer Si₃N₄ filled epoxy composites", *Wear*, 254:784–796.
44. McGrath, L.M., Parnas, R.S., King, S.H., Schroeder, J.L., Fischer, D.A., Lenhart, J.L., 2008, "Investigation of the thermal, mechanical, and fracture properties of alumina epoxy composites", *Polymer*, 49:999-1014.
45. Jerabek, M., Major, Z., Renner, K., Móczó, J., Pukánszky, B., Lang, R.W., 2010, "Filler/matrix-debonding and micro-mechanisms of deformation in particulate filled polypropylene composites under tension", *Polymer*, 51:2040-2048.

46. Dittanet, P., Pearson, R. A., 2013, “Effect of bimodal particle size distributions on the toughening mechanisms in silica nanoparticle filled epoxy resin”, *Polymer*, 54:1832-1845.
47. Lauke, B., 2015, “Effect of particle size distribution on fracture toughness of polymer composites considering plastic void growth after particle debonding”, *Mechanics Research Communications*, 66:1–6.
48. Baptista, R., Mendão, A., Rodrigues, F., Figueiredo-Pina, C.G., Guedes, M., Marat-Mendes, R., 2016, “Effect of high graphite filler contents on the mechanical and tribological failure behavior of epoxy matrix composites”, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 85:113–124.
49. Das, A., Satapathy B.K., 2011, “Structural, thermal, mechanical and dynamic mechanical properties of cenosphere filled polypropylene composites”, *Materials and Design*, 32:1477–1484.
50. Sayer, M., 2014, “Elastic properties and buckling load evaluation of ceramic particles filled glass/epoxy composites”. *Composites Part B: Engineering*, 59:12-20.
51. Deniz, M.E., 2005, “Kompozit malzemelerin üretim yöntemleri ve ısı işleme presleme tekniğini kullanarak kompozit malzeme üretecek bir düzeneğin tasarım ve imalatı”, Yüksek Lisans Tezi, *Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Şanlıurfa, 4, 32-47.
52. Fidan, S., 2011, “Polimer matrisli kompozitlerin darbe davranışlarının incelenmesi ve oluşan hasarların mikro tomografi yöntemiyle incelenmesi”, Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 4-12.
53. Mazumdar, S. K., 2002, “Composites Manufacturing Materials, Product, and Process Engineering”, *CRC Press*, London, 23-51.

54. Şahin, Y., 2006, “Kompozit Malzemelere Giriş, 2. Baskı”, *Seçkin Yayınevi*, Ankara, 27-139.
55. Yıldırım, H., 2009, “Değişik kompozit malzemelerin mekanik davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 18, 22-23.
56. Mıstık, S.Ü., 2009, “Bor lifi takviyesinin polimer esaslı kompozit yüzeylerin mekanik özelliklerine etkileri”, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 6-8, 43.
57. Erbay, K., 2009, “Silah gövdeleri için polimer esaslı kompozit malzeme üretimi ve özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 4-5, 7, 8.
58. Bağcı, M., 2010, “Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin erozyon aşınma davranışının incelenmesi”, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 39-41.
59. Barut, C., 2015, “Aramid esaslı kompozit malzemelerin balistik performanslarının ve mekanik davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon, 5-34.
60. Strong, A. B., 2008, “Composites Manufacturing Fundamentals of Materials, Methods, and Applications, Second Edition”, *Society of Manufacturing Engineers*, Michigan, 2, 437-451, 395-399, 453-457.
61. Türkmen, İ., 2012, “Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerde elyaf tabaka sayısına bağlı mekanik özelliklerin ve darbe dayanımının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa, 6-9, 23-24.

62. Hallal1, A., Elmarakbi, A., Shaito1, A. and El-Hage1, H., 2014, "Overview of Composite Materials and their Automotive Applications", *Advanced Composite Materials for Automotive Applications: Structural Integrity and Crashworthiness*, First Edition, Ahmed Elmarakbi, *John Wiley & Sons, Ltd.*, United Kingdom,12-18.
63. Gay, D., Hoa, S. V. and Tsai, S.W., 2003, "Composite materials design and applications, 4th ed." , *CRC Press*, New York, 15-20,151, 168,187-209.
64. Özer, H., 2015, "Sürekli cam elyaf takviyeli termoplastik kompozit malzemelerin geliştirilmesi ve mekanik özelliklerinin deneysel olarak belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 10-37.
65. Heslehurst, R., B., 2014, "Defects and Damage in Composite Materials and Structures, cilt no", *CRC Press Taylor & Francis Group*, New York, 14, 16.
66. Soutis, C., 2015, "Introduction: engineering requirements for aerospace composite materials", *Polymer Composites in the Aerospace Industry*, Number 50, P. E. Irving and C. Soutis, *Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering*, New York, 8.
67. Boria, S. 2014, "Design solutions to Improve cfrp crash-box impact efficiency for racing applications", *Advanced composite materials for automotive applications*, Ahmed Elmarakbi, *John Wiley & sons, ltd*, United Kingdom, 206.
68. Baskin, D.M, 2016, "The automotive body lightweighting design philosophy", *Lightweight Composite Structures in Transport Design, Manufacturing, Analysis and Performance*, Number 67, J. Njuguna, New York, 83.
69. Pearson, W.E, 2016, "Textiles to composites: 3D 14 moulding and automated fibre placement for flexible membranes", *Marine Applications of Advanced Fibre-Reinforced Composites*, Number 63, J. Graham-Jones and J. Summerscales, *Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering*, New York, 312.

70. Yıldızhan, H., 2008, “Polimer Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek lisans tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta , 5-6.
71. İnançer, G., 2015, “Farklı takviye malzemeli plastik kompozitlerin darbe davranışına çevrenin etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir,13-25.
72. Bakkal M., 2011, “Kompozitler”, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Sekizinci baskıdan çeviri, Kenan Genel, *Nobel Yayınevi*, Türkiye, 629-655.
73. Barbero, E. J., 2018, “Introduction to Composite Materials Design, Third edition”, *CRC Press Taylor & Francis Group* , New York, 37-102.
74. Chawla, K.K., 2011, “Composite Materials Science and Engineering, Third Edition” *Springer* , New York, USA, 11-140.
75. Karşlı, M., 2016, “Hafif silahlar için polimer kompozit malzeme seçimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 17-25.
76. Chung, D.L., 2010, “Composite Materials Science and Materials, Second edition”, *Springer*, New York, 14-21, 25-26.
77. Demirel, A., 2007, “Karbon elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemelerin karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 10-18.
78. Kandemir, Ö., 2017, “Kompozit kaplamalı dış cephe sistemlerinin üretimi ve uygulamasında dikkat edilmesi gerekenlerin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 25-31.

79. Oerlikon Metco, April 2017, "Termal spray materials guide oerlikon" Seramik toz Kataloğu ",6.

80. TS 1177 EN ISO 1172 Textile glass-reinforced plastics - Prepregs, moulding compounds and laminates - Determination of the textile-glass and mineral-filler content - Calcination methods (ISO 1172:1996).

81. ASTM D792-13, Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013, www.astm.org.

82. ASTM D2734-16, Standard Test Methods for Void Content of Reinforced Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, www.astm.org.

83. ASTM D3039 / D3039M-17, Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org.

84. ASTM D790-17, Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org.

85. ASTM D6110-18, Standard Test Method for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018, www.astm.org.

86. ASTM D5379 / D5379M-12, Standard Test Method for Shear Properties of Composite Materials by the V-Notched Beam Method, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.

87. Rout, A.K., Satapathy, A., 2012, “Study on mechanical and tribo-performance of rice-husk filled glass–epoxy hybrid composites”, *Materials and Design*, 41:131–141.

88. Alsaadia M., Ahmet Erkliđ A., 2018, “Effect of perlite particle contents on delamination toughness of S-glass fiber reinforced epoxy matrix composites”, *Composites Part B*, 141:182–190.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ASİ, Dilek
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 16/10/1979 Sivas
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (505) 595 21 64
e-mail : dilek.asi@usak.edu.tr

Eğitim

| <u>Derece</u> | <u>Eğitim Birimi</u> | <u>Mezuniyet tarihi</u> |
|---------------|-------------------------------|-------------------------|
| Lise | Bursa Yıldırım Beyazıd Lisesi | 1996 |
| Lisans | Pamukkale Üniv./ Mak. Müh. | 2001 |
| Yüksek lisans | Afyon Kocatepe Üniversitesi | 2008 |

İş Deneyimi

| <u>Yıl</u> | <u>Yer</u> | <u>Görev</u> |
|------------|---|-------------------|
| 2001-2002 | Çağdaş Makine A.Ş.(Denizli) | Makine Mühendisi |
| 2006-2007 | Ergün Isı (Uşak) | Makine Mühendisi |
| 2007-2008 | Taner Isı (Uşak) | Makine Mühendisi |
| 2008-..... | Uşak Üniversitesi (Teknik Bilimler M.Y.O. Gaz ve Tesisatı Teknolojisi Programı) | Öğretim Görevlisi |

Yabancı Dil

İngilizce

YAYINLAR

Dilek Asi, Halit Gün, “Effect of Al₂O₃ – 40 wt. % TiO₂ ceramic particle size and shape on flexural properties of glass fibre reinforced epoxy composites”, International Journal of Engineering Science Invention (IJESI), Volume 7 Issue 5 Ver VII , May 2018 , PP 56-63

Dilek Asi , Halit Gün , Osman Asi. “Cam Elyaf Takviyeli Polimer Matrisli Kompozit Malzemelerde Kullanılan Seramik Toz Partiküllerinin Boyutunun ve Geometrisinin Malzemenin Porozite Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi” 3. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi, Kocaeli, 04-05 Mayıs 2018, 276-277.

Halit Gün, Dilek Asi, “Al₂O₃- TiO₂ (%97-3) Seramik Toz Parçacık İlaveli Cam Elyaf Takviyeli Epoksi Matrisli Kompozit Malzemelerin Mekaniksel Özelliklerinin İncelenmesi” Uşak Üniversitesi Fen ve Doğa Bilimleri Dergisi 33-40 (2017)

Osman Asi, Dilek Asi, "Sementasyon Yapılan SAE 8620 Çeliğinde Meydana Gelen Kalıntı Gerilmelerin İncelenmesi" G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 16(4):725-732, 2003