

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ATIK ALÜMİNYUM İÇECEK KUTULARI KULLANARAK GRAFEN/SiC
TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE MEKANİK
KARAKTERİZASYONU**

Özgür YILMAZ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SAMSUN
2019**

Her hakkı saklıdır.

TEZ ONAYI

Özgür YILMAZ tarafından hazırlanan “ATIK ALÜMİNYUM İÇECEK KUTULARI KULLANARAK GRAFEN/SiC TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE MEKANİK KARAKTERİZASYONU” adlı tez çalışması 21/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman Doç. Dr. Mevlüt GÜRBÜZ
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri

Başkan Doç. Dr. Mevlüt GÜRBÜZ
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye Dr. Öğretim Üyesi Sinem ÇEVİK
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye Dr. Öğretim Üyesi Aydemir Guralp URAL
Samsun Üniversitesi
Uçak-Uzay Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım.../.../20..

Prof. Dr. Bahtiyar ÖZTÜRK

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

21.06.2019

Özgür YILMAZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ATIK ALÜMİNYUM İÇECEK KUTULARI KULLANARAK GRAFEN/SiC TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE MEKANİK KARAKTERİZASYONU

Özgür YILMAZ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mevlüt Gürbüz

Bu tez çalışmasında; karıştırma döküm yöntemiyle ağırlıkça %1, %3, %5, %7 ve %9 oranlarında SiC takviyeli kompozitler, %0,05, % 0,15, % 0,30, % 0,45, % 0,60 ve % 0,75 oranlarında grafen takviyeli kompozitler ve SiC ve grafen takviyeli hibrit kompozitler üretilmiştir. Elde edilen kompozit numunelere yoğunluk, sertlik, çekme, basma, çentik darbe, aşınma dayanımı, eğme dayanımı, mikroyapı ve kristal yapı incelemeleri yapılmıştır. Mikroyapı analizlerinde kompozit yapı içinde SiC ve grafen tozları homojen şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir. SiC kompozitlerde, en yüksek sertlik 89,80 HV_{0,2} (AlSiC9), max. çekme ve basma dayanımı sırasıyla 193,47 MPa (AlSiC1) ve 763,69 MPa(AlSiC5), kırılma enerjisi 32,82 J (AlSiC1), elastisite modülü 74,9 Gpa (AlSiC5) bulunmuş. Aşınma testinde ise min. aşınma oranı AlSiC9 kompozitinde elde edilmiştir. Grafen takviyeli kompozitlerde, en yüksek sertlik 78,84 HV_{0,2} (AlGrf0,05), max. çekme ve basma dayanımı sırasıyla 223,84 MPa (AlGrf0,45) ve 756,04 MPa (AlGrf0,05), kırılma enerjisi 117,42J (AlGrf0,05), elastisite modülü 114,4 GPa (AlGrf0,75) bulunmuş. Aşınma testinde ise min. aşınma oranı AlGrf0.75 kompozitinde elde edilmiştir. Hibrit kompozitlerde takviye elemanları matris içerisinde homojen dağılım göstermiştir. Sertlik sonuçlarına göre en yüksek sertlik 75.66HV_{0,2} (AlSiC9Grf0,3), max. çekme ve basma dayanımı sırasıyla 178,56 MPa (AlSiC1Grf0,45) ve 892,48 MPa (AlSiC1Grf0,15), en yüksek kırılma enerjisi 161,53 J (AlSiC9Grf0,05), en yüksek elastisite modülü 76,8 GPa (AlSiC1Grf0,75) bulunmuş. Aşınma testinde ise min. aşınma oranı ($W=2,29 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$) AlSiC9Grf0,75 kompozitinde elde edilmiştir.

Haziran 2019, 149 sayfa

Anahtar Kelimeler: Atık alüminyum; Geri dönüşüm; Alüminyum matrisli kompozit; Grafen; SiC

ABSTRACT

Master Thesis

MECHANICAL CHARACTERISATION AND PRODUCTION OF GRAPHENE/SiC REINFORCED COMPOSITES WITH USING WASTE ALUMINIUM BEVERAGE CANS

Özgür YILMAZ

Ondokuz Mayıs University
Institute of Science
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Doç. Dr. Mevlüt Gürbüz

In this thesis; %1, %3, %5, %7 and %9 SiC, %0,05, %0,15, %0,30, %0,45, %0,60 and %0,75 graphene and SiC-graphene reinforced aluminum matrix hybrid composites were manufactured by stir casting method. Density, hardness, tensile, compression, notch impact, abrasion resistance, bending strength, microstructure and crystal structure examinations were performed on the obtained composite samples. In microstructure analysis, it was observed that SiC and graphene powders were homogeneously distributed inside the composite structure. In SiC composites, the highest hardness achieved was 89,80 HV_{0,2} (AlSiC9), maximum tensile and compressive strength were 193,47 MPa (AlSiC1) and 763,69 MPa (AlSiC5) respectively. 32,82 J (AlSiC1) of fracture toughness, 74,9 GPa (AlSiC5) of elasticity modulus were calculated. In the abrasion test, minimum wear rate was obtained in AlSiC9 composite among SiC reinforced composites. In graphene-reinforced composites, the highest hardness was 78,84 HV_{0,2} (AlGrf0,05), maximum tensile and compressive strength of 223,84 MPa (AlGrf0,45) and 756,04 MPa (AlGrf0,05), fracture toughness of 117,42J (AlGrf0,05), elasticity modulus of 114,4 GPa (AlGrf0,75) were calculated. In the abrasion test, minimum wear rate was obtained in AlGrf0,75 composite among graphene reinforced composites. In hybrid composites, the reinforcing elements showed homogeneous distribution within the matrix. According to the results, the highest hardness was 75,66 HV_{0,2} (AlSiC9Grf0,3), maximum tensile and compressive strength were 178,56 MPa (AlSiC1Grf0,45) and 892,48 MPa (AlSiC1Grf0,15), highest fracture toughness was calculated 161,53 J (AlSiC9Grf0,05), highest elasticity modulus was found 76,8 GPa (AlSiC1Grf0,75) found. In the abrasion test, minimum wear rate ($W = 2.29 \times 10^{-5} \text{ mm}^3 / \text{Nm}$) was obtained in AlSiC9Grf0,75 composite.

June 2019, 149 pages

Keywords: Waste aluminum; Recycling; Aluminum matrix of composites; Graphene; SiC

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Tez çalışmasının başlangıcından bitimine kadar her aşamada çalışmayı yönlendiren, özverili yardımlarını esirgemeyen sayın danışman hocam Doç. Dr. Mevlüt GÜRBÜZ'e teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca çalışmalarında bana büyük yardımlarda bulunan Arş. Gör. Onur YONTAR'a, Dr. Arş. Gör. Tuğba MUTUK'a, Dr. Arş. Gör. Mahmut Can ŞENEL'e, Erdem SAYIN'a, Ahmet Mesut KÜÇÜK'e, İbrahim Cem KELEŞ'e ve Bilgehan Cem TURHAN'a teşekkür ederim. Çalışmamın başından sonuna kadar yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen arkadaşım Mehmet Arif NAZİK'e çok teşekkür ederim.

Çalışmalar süresince faydalandığım Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü altyapısını oluşturmakta büyük katkıları olan sayın hocam Prof. Dr. Erdem KOÇ'a teşekkür ederim. Laboratuvar imkanlarından faydalanmamı sağlayan Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin değerlendirilmesi aşamasında bana değerli vakitlerini ayırıp, bilgi ve deneyimlerini aktaran sayın Dr. Öğr. Üyesi Aydemir Güralp URAL'a ve Dr. Öğr. Üyesi Sinem ÇEVİK'e teşekkürlerimi sunarım.

Bütün yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgileriyle beni yetiştiren saygıdeğer hocalarıma, bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan annem Ülker YILMAZ'a, babam Mustafa YILMAZ'a, ablam Tuğba YILMAZ VEREP'e, anneanneme, dayım Sonay KARA'ya ve sevdiklerime saygıyla teşekkür ederim.

Haziran 2019

Özgür YILMAZ

İÇİNDEKİLER LİSTESİ

ETİK BEYAN.....	i
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Genel Bilgiler.....	1
1.2. Tezin Kapsamı.....	2
1.3. Tezin Amacı.....	2
1.4. Özgün Değer.....	3
2. KOMPOZİT MALZEMELER.....	4
2.1. Kompozit Malzemeler ve Uygulamaları.....	4
2.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	5
2.2.1. Matris malzemesine göre kompozitler.....	6
2.2.2. Takviye elemanının şekline göre kompozitler.....	7
2.3. Metal Matrisli Kompozitler.....	8
2.3.1. Metal matrisli kompozitler de kullanılan matris malzemeleri.....	9
2.3.2. Metal matrisli kompozitler de kullanılan takviye malzemeleri.....	14
2.3.4. Metal matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri.....	20
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	27
3.1. Al-SiC Kompozitlerin Üretimi, Mekanik Özellikleri.....	27
3.2. Al-Grafen Kompozitlerin Üretimi, Mekanik Özellikleri.....	34

3.3. Al-SiC-Grafen Katkılı Hibrit Kompozitlerin Üretimi, Mekanik Özellikleri .	39
4. MATERYAL VE YÖNTEM	46
4.1. Malzeme	46
4.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Cihazlar.....	47
4.3. Deneysel Yöntem	56
4.3.1. Matris malzemesinin hazırlanması.....	57
4.3.2. İşlem parametrelerinin belirlenmesi.....	58
4.3.3. Takviye oranlarının belirlenmesi.....	59
4.3.4. SiC takviyeli kompozitlerin üretimi.....	61
4.3.5. Grafen takviyeli kompozitlerin üretimi.....	62
4.3.5. SiC/Grafen takviyeli hibrit kompozitlerin üretimi.....	64
4.4. Kristal Yapı ve Mikroyapı İncelemeleri.....	66
4.5. Yoğunluk Ölçümleri.....	69
4.6. Sertlik Ölçümleri	70
4.7. Çekme Deneyi	71
4.8. Basma Deneyi.....	72
4.9. Çentik Darbe Deneyi	73
4.10. Aşınma Deneyi	75
4.11 Eğme Deneyi	76
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	77
5.1. SiC Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Analiz Sonuçları	77
5.1.1. SiC takviyeli kompozitlerin mikroyapı ve kristalografi analizleri.....	77
5.1.2. SiC takviyeli kompozitlerin yoğunluk ölçümleri ve porozitenin belirlenmesi.....	82
5.1.3. SiC takviyeli kompozitlerin sertlik ölçüm sonuçları.....	84
5.1.4. SiC takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçları.....	85
5.1.5. SiC takviyeli kompozitlerin basma testi ölçüm sonuçları.....	86

5.1.6. SiC takviyeli kompozitlerin darbe testi ölçüm sonuçları	87
5.1.7 SiC takviyeli kompozitlerin eğme testi ölçüm sonuçları	88
5.1.8 SiC takviyeli kompozitlerin aşınma testi ölçüm sonuçları.....	89
5.2. Grafen Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Analiz Sonuçları	91
5.2.1. Grafen takviyeli kompozitlerin mikroyapı analizleri	92
5.2.2. Grafen takviyeli kompozitlerin yoğunluk ölçümleri ve porozitenin belirlenmesi.....	95
5.2.3. Grafen takviyeli kompozitlerin sertlik testi ölçüm sonuçları	97
5.2.4. Grafen takviyeli kompozitlerin çekme testi ölçüm sonuçları.....	98
5.2.5. Grafen takviyeli kompozitlerin basma testi ölçüm sonuçları.....	99
5.2.6. Grafen takviyeli kompozitlerin darbe testi ölçüm sonuçları	100
5.2.7 Grafen takviyeli kompozitlerin eğme deneyi ölçüm sonuçları	101
5.2.8 Grafen takviyeli kompozitlerin aşınma testi ölçüm sonuçları.....	102
5.3. Al-SiC1/Grafen Hibrit Kompozitlerin Analiz Sonuçları.....	106
5.3.1. Al-SiC1/Grafen Hibrit kompozitlerin mikroyapı analizleri	106
5.3.2. Al-SiC1/Grafen hibrit kompozitlerin yoğunluk ölçümleri ve porozitenin belirlenmesi	109
5.3.3 Al-SiC1/Grafen hibrit kompozitlerin sertlik testi ölçüm sonuçları.....	111
5.3.4. Al-SiC1/Grafen takviyeli hibrit kompozitlerin çekme testi ölçüm sonuçları.....	112
5.3.5. Al-SiC1/Grafen takviyeli hibrit kompozitlerin basma testi ölçüm sonuçları.....	114
5.3.6. Al-SiC1/Grafen takviyeli hibrit kompozitlerin darbe testi ölçüm sonuçları.....	115
5.3.7 Al-SiC1/Grafen yapılı hibrit kompozitlerin eğme testi ölçüm sonuçları.....	116
5.3.8 Al-SiC1/Grafen takviyeli hibrit kompozitlerin aşınma testi ölçüm sonuçları.....	117
5.4. Al-SiC9/Grafen Hibrit Kompozitlerin Analiz Sonuçları.....	119
5.4.1. Al-SiC9/Grafen Hibrit kompozitlerin mikroyapı analizleri	120

5.4.2. Al-SiC9/Grafen hibrit kompozitlerin yoğunluk ölçümleri ve porozitenin belirlenmesi	123
5.4.3. Al-SiC9/Grafen hibrit kompozitlerin sertlik testi ölçüm sonuçları	125
5.4.4. Al-SiC9/Grafen hibrit kompozitlerin çekme testi ölçüm sonuçları ..	126
5.4.5. Al-SiC9/Grafen hibrit kompozitlerin basma testi ölçüm sonuçları...	127
5.4.6. Al-SiC9/Grafen hibrit kompozitlerin darbe testi ölçüm sonuçları	128
5.4.7 Al-SiC9/Grafen hibrit kompozitlerin eğme testi ölçüm sonuçları	130
5.4.8 Al-SiC9/Grafen takviyeli hibrit kompozitlerin aşınma testi ölçüm sonuçları.....	131
5.5. Üretilen Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması.....	134
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	139
6.1. SiC Takviyeli Al Matrisli Kompozitlerin Genel Değerlendirmesi	139
6.2. Grafen Takviyeli Al Matrisli Kompozitlerin Genel Değerlendirmesi	140
6.3. Al-SiC1/Grafen Yapılı Hibrit Kompozitlerin Genel Değerlendirmesi	141
6.4. Al-SiC9/Grafen Yapılı Hibrit Kompozitlerin Genel Değerlendirmesi	143
KAYNAKLAR	146
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

Al	: Alüminyum
Al ₂ O ₃	: Alüminyum oksit
Al ₄ C ₃	: Alüminyum karbür
AlN	: Alüminyum nitrür
B	: Bor
BN	: Bor nitrür
B ₄ C	: Bor karbür
BeO	: Berilyum oksit
C	: Karbon
Ca	: Kalsiyum
CdS	: Kadmiyum sülfür
CO ₂	: Karbondioksit
Cu	: Bakır
Grf	: Grafen
Mg	: Magnezyum
MgO	: Magnezyum oksit
Mn	: Mangan
MoS ₂	: Molibden disülfid
Nb	: Niyobyum
Pb	: Kurşun
Si	: Silisyum
SiC	: Silisyum karbür
Si ₃ N ₄	: Silisyum nitrür
SO ₂	: Kükürt dioksit
SiO ₂	: Silisyum dioksit
ThO ₂	: Toryum oksit
Ti	: Titanyum
TiC	: Titanyum karbür
TiN	: Titanyum nitrür
Zn	: Çinko
ZnS	: Çinko sülfat
ZrC	: Zirkonyum karbür
ZrO ₂	: Zirkonyum oksit
ZrN	: Zirkonyum nitrür
MPa	: Megapaskal
GPa	: Gigapaskal
nm	: Nanometre
µm	: Mikrometre
mm	: Milimetre
cm	: Santimetre
m	: Metre
cm ³	: Santimetreküp
s	: Saniye

dak	: Dakika
g	: Gram
kg	: Kilogram
N	: Newton
W	: Vat
kW	: Kilovat
J	: Joule
°C	: Santigrat derece
K	: Kelvin
HV	: Vickers sertliği
HB	: Brinel sertliği
rpm	: Dakikadaki devir sayısı
θ	: Temas açısı

KISALTMALAR

AMK	: Alüminyum matrisli kompozit
CVD	: Kimyasal buhar yođuřturma
EDS	: Enerji dağılım spektrometresi
KMK	: Kullanılmış meşrubat kutusu
MMK	: Metal Matrisli Kompozit
PVD	: Fiziksel buhar yođuřturma
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	: X ışını difraktometresi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Kompozit malzeme yapısı	4
Şekil 2.2. Alüminyum üretim aşamaları	11
Şekil 2.3. Yıllara göre birincil alüminyum üretimi	12
Şekil 2.4. Kullanım yerlerine göre alüminyum dağılım yüzdeleri	13
Şekil 2.5. Dünyadaki birincil ve geri dönüştürülmüş alüminyum üretimi.....	14
Şekil 2.5. Grafit (a) ve Grafen (b) yapıları.....	17
Şekil 2.6. Grafen ve grafen temelli fulleren, nanotüp ve grafit yapıları	18
Şekil 2.7. Grafenin çeşitli özelliklerinin bilinen diğer malzemelerle karşılaştırılması	19
Şekil 2.8. Metal matrisli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri	20
Şekil 2.9. Toz metalürjisi yöntemi	21
Şekil 2.10. Difüzyon bağı yöntemi	21
Şekil 2.11. Rheocasting döküm tekniği şematik gösterimi.....	22
Şekil 2.12. Sıvı metal infiltrasyon yöntemi şematik gösterimi	23
Şekil 2.13. Sıkıştırma döküm yöntemi şematik gösterimi	24
Şekil 2.14. Plazma püskürtme yöntemi şematik gösterimi	24
Şekil 2.15. Sıvı metal karıştırma yöntemi.....	25
Şekil 4.1. Ön ergitme düzeneği.....	47
Şekil 4.2. Kompozit malzeme hazırlama düzeneği.....	48
Şekil 4.3. Elektrikli ergitme fırını şematik resmi.....	49
Şekil 4.4. Mekanik karıştırıcı.....	49
Şekil 4.5. Hassas terazi.....	50
Şekil 4.6. Ultrasonik homojenizatör	51
Şekil 4.7. Metalografik numune kesme cihazı.....	51
Şekil 4.8. Metal zımparalama ve parlatma cihazı	52
Şekil 4.9. Sertlik ölçüm cihazı	52
Şekil 4.10. 10 ton yük kapasiteli çekme-basma test cihazı.....	53
Şekil 4.11. Darbe deney cihazı.....	53
Şekil 4.12. Aşınma test cihazı.....	54
Şekil 4.13. Eğme deney cihazı	55
Şekil 4.14. X-ışını difraktometre cihazı	55
Şekil 4.15. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	56

Şekil 4.16. Kompozit malzemelerin üretim aşamaları	56
Şekil 4.17. Alüminyum içecek kutularının boya tabakasının yanması ve kutuların ergitilmesi	57
Şekil 4.18. Matris malzemesi olarak kullanılan alüminyum külçeler	58
Şekil 4.19. Sertlik değerlerinin takviye oranlarına bağlı olarak değişimi.....	60
Şekil 4.20. SiC takviyeli kompozit üretimi akış şeması	62
Şekil 4.21. Grafen etil alkol karışımı ve alüminyum külçelerin grafenle kaplanması	63
Şekil 4.22. SiC takviyeli kompozit üretimi akış şeması	64
Şekil 4.23. Grafen/SiC takviyeli kompozit üretimi akış şeması	66
Şekil 4.24. X-ışını kırınım analizi	67
Şekil 4.25. Taramalı elektron mikroskobu çalışma prensibi.....	69
Şekil 4.26. Mikro Vickers sertlik izi	70
Şekil 4.27. Metalik bir malzemenin çekme ve basma diyagramları	71
Şekil 4.28. Çentik darbe deneyinin şematik gösterimi.....	74
Şekil 5.1. SiC taneciklerinin boyut analizi.....	77
Şekil 5.2. SiC tozlarına ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri (500 X büyütme)	78
Şekil 5.3. Al (a) ve SiC (b) tozlarına ait XRD örgü desenleri	78
Şekil 5.4. SiC takviyeli Al matrisli kompozitlerin XRD örgü desenleri.....	79
Şekil 5.5. Takviyesiz ve SiC takviyeli Al kompozitlerin kırık yüzey görüntüleri: (a) Al ₀ , (b) AlSiC ₁ , (c) AlSiC ₅ , (d) AlSiC ₉	80
Şekil 5.6. Al-SiC kompozitlerin SEM-EDS haritalamayla element dağılım analizleri	81
Şekil 5.7. SiC takviye oranlarına göre deneysel ve teorik yoğunlukları.....	83
Şekil 5.8. SiC takviye oranlarının artışıyla porozite değişimi	83
Şekil 5.9. Malzemelerin sertliğinin SiC yüzde ağırlık oranı ile değişimi	85
Şekil 5.10. Malzemelerin maks. çekme dayanımının SiC yüzde ağırlık oranı ile değişimi	86
Şekil 5.11. Malzemelerin maks. basma dayanımının SiC yüzde ağırlık oranı ile değişimi	87
Şekil 5.12. Malzemelerin kırılma enerjisinin SiC yüzde ağırlık oranı ile değişimi...	88
Şekil 5.13. SiC takviyeli kompozitlerin elastisite modülünün değişimi	89
Şekil 5.14. Al/SiC kompozit yapılarda kütle kaybı değişimi.....	89
Şekil 5.15. Al/SiC kompozit yapılarda aşınma oranı değişimi	90

Şekil 5.16. (a) Al ₀ , (b) AlSiC, (c) AlSiC ₅ , (d) AlSiC ₉ kompozitlerin aşınma izleri (100 X büyütme, P=20N yük altında).....	91
Şekil 5.17. Grafen tozlarına ait taramalı elektron mikroskopu görüntüleri 5000 X büyütme.....	92
Şekil 5.18. Grafenin XRD örgü desenleri	92
Şekil 5.19. SiC takviyeli Al matrisli kompozitlerin XRD örgü desenleri.....	93
Şekil 5.20. Takviyesiz ve Grafen takviyeli Al kompozitlerin kırık yüzey görüntüleri: (a) Al ₀ , (b) AlGrf _{0,05}	93
Şekil 5.21. Al-Grafen kompozitlerin SEM-EDS haritalamayla element dağılım analizleri	94
Şekil 5.22. Grafen takviye oranlarına göre deneysel ve teorik yoğunlukları.....	96
Şekil 5.23. Grafen takviye oranlarının artışıyla porozite değişimi	96
Şekil 5.24. Malzemelerin sertliğinin grafen yüzde ağırlık oranı ile değişimi.....	98
Şekil 5.25. Malzemelerin maks. çekme dayanımının grafen yüzde ağırlık oranı ile değişimi	99
Şekil 5.26. Malzemelerin maks. basma dayanımının grafen yüzde ağırlık oranı ile değişimi	100
Şekil 5.27. Malzemelerin kırılma enerjisinin grafen yüzde ağırlık oranı ile değişimi	101
Şekil 5.28. Grafen takviyeli kompozitlerin elastisite modülünün değişimi.....	102
Şekil 5.29. Al/Grf kompozit yapılarında kütle kaybı değişimi	103
Şekil 5.30. Al/Grf kompozit yapılarında aşınma oranı değişimi.....	104
Şekil 5.31. (a) Al ₀ , (b) AlGrf _{0,05} , (c) AlGrf _{0,15} , (d) AlGrf _{0,30} , (e) AlGrf _{0,45} , (f) AlGrf _{0,60} , (g) AlGrf _{0,75} kompozitlerin aşınma izleri (100 X büyütme, P=20N yük altında).....	105
Şekil 5.32. SiC ₁ /Grafen takviyeli Al matrisli kompozitlerin XRD örgü desenleri .	106
Şekil 5.33. Takviyesiz ve SiC/Grafen takviyeli Al kompozitlerin kırık yüzey görüntüleri: (a) Al ₀ , (b) AlSiC ₁ Grf _{0,05} , (c) AlSiC ₁ Grf _{0,45} , (d) AlSiC ₁ Grf _{0,75}	107
Şekil 5.34. AlSiC ₁ /Grafen kompozitlerin SEM-EDS haritalamayla element dağılım analizleri.....	108
Şekil 5.35. Al-SiC ₁ /Grf hibrit kompozitlerin yoğunluk değişimi	110
Şekil 5.36. Al-SiC ₁ /Grf hibrit kompozitlerin porozite değişimi	110
Şekil 5.37. Malzemelerin sertliğinin grafen yüzde ağırlık oranı ile değişimi.....	112

Şekil 5.38. Malzemelerin maks. çekme dayanımının grafen yüzde ağırlık oranı ile değişimi	113
Şekil 5.39. Malzemelerin maks. basma dayanımının grafen yüzde ağırlık oranı ile değişimi	114
Şekil 5.40. Malzemelerin kırılma enerjisinin grafen yüzde ağırlık oranı ile değişimi	115
Şekil 5.41. Al-SiC1/Grafen yapılı hibrit kompozitlerin elastisite modülünün değişimi	116
Şekil 5.42. Al-SiC1/Grf hibrit kompozitlerde kütle kaybı değişimi	117
Şekil 5.43. Al/SiC1-Grf hibrit kompozitlerde aşınma oranı değişimi	118
Şekil 5.44. (a) Al0, (b) AlSiC1Grf0,05, (c) AlSiC1Grf0,15, (d) AlSiC1Grf0,30, (e) AlSiC1Grf0,45, (f) AlSiC1Grf0,60, (g) AlSiC1Grf0,75 kompozitlerin aşınma izleri (100 X büyütme, P=20N yük altında)....	119
Şekil 5.45. SiC9/Grafen takviyeli Al matrisli kompozitlerin XRD örgü desenleri .	120
Şekil 5.46. Takviyesiz ve SiC/Grafen takviyeli Al kompozitlerin kırık yüzey görüntüleri: (a) Al0, (b) AlSiC9Grf0,05, (c) AlSiC9Grf0,45, (d) AlSiC9Grf0,75	121
Şekil 5.47. Al-SiC9/Grafen kompozitlerin SEM-EDS haritalamayla element dağılım analizleri.....	122
Şekil 5.48. Al-SiC9/Grafen hibrit kompozitlerin yoğunluk değişimi	124
Şekil 5.49. Al-SiC9/Grafen hibrit kompozitlerin porozite değişimi	124
Şekil 5.50. Malzemelerin sertliğinin grafen yüzde ağırlık oranı ile değişimi.....	126
Şekil 5.51. Malzemelerin maks. çekme dayanımının SiC9/Grafen yüzde ağırlık oranı ile değişimi.....	127
Şekil 5.52. Malzemelerin maks. basma dayanımının grafen yüzde ağırlık oranı ile değişimi	128
Şekil 5.53. Malzemelerin kırılma enerjisinin grafen yüzde ağırlık oranı ile değişimi	129
Şekil 5.54. Al-SiC9/Grafen yapılı hibrit kompozitlerin elastisite modülünün değişimi	130
Şekil 5.55. Al/SiC9-Grf hibrit kompozitlerde kütle kaybı değişimi	131
Şekil 5.56. Al-SiC9/Grf hibrit kompozitlerde aşınma oranı değişimi	132

Şekil 5.57. (a) Al ₀ , (b) AlSiC ₉ Grf _{0,05} , (c) AlSiC ₉ Grf _{0,15} , (d) AlSiC ₉ Grf _{0,30} , (e) AlSiC ₉ Grf _{0,45} , (f) AlSiC ₉ Grf _{0,60} , (g) AlSiC ₉ Grf _{0,75} kompozitlerin aşınma izleri (100 X büyütme, P=20N yük altında)....	133
Şekil 5.58. Takviyesiz alüminyuma ve üretilen kompozitlere ait en yüksek deneysel yoğunluk ve en düşük gözeneklilik oranı değerleri	134
Şekil 5.59. Takviyesiz alüminyuma ve üretilen kompozitlere ait en yüksek sertlik değerleri.....	135
Şekil 5.60. Takviyesiz alüminyuma ve üretilen kompozitlere ait en yüksek basma dayanımı değerleri.....	135
Şekil 5.61. Takviyesiz alüminyuma ve üretilen kompozitlere ait en yüksek çekme dayanımı değerleri.....	136
Şekil 5.62. Takviyesiz alüminyuma ve üretilen kompozitlere ait en yüksek elastisite modülü değerleri	137
Şekil 5.63. Takviyesiz alüminyuma ve üretilen kompozitlere ait en yüksek kırılma enerjisi değerleri	137
Şekil 5.64. Takviyesiz alüminyuma ve üretilen kompozitlere ait en düşük kütle kayıbı değerleri.....	138
Şekil 5.65. Takviyesiz alüminyuma ve üretilen kompozitlere ait en düşük aşınma oranı değerleri	138

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 2.1. Kompozit malzemelerin kullanım alanları.....	5
Çizelge 2.2. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması.....	6
Çizelge 2.3. Kompozit türleri ve uygulama alanları	8
Çizelge 2.4. Saf alüminyum özellikleri (* saflık derecesine bağlı)	10
Çizelge 2.5. Çeşitli takviye malzemeleri ve özellikleri.....	15
Çizelge 2.6. SiC'in malzeme özellikleri	16
Çizelge 2.7. Bazı karbon allotroplarının fiziksel özellikleri	18
Çizelge 3.1. Al/SiC kompozitler üzerine yapılan çalışmalar	30
Çizelge 3.2. Al/Grafen kompozitler üzerine yapılan çalışmalar	36
Çizelge 3.3. Hibrit kompozitler üzerine yapılan çalışmalar.....	42
Çizelge 4.1. Al-SiC ve Al-Grafen kompozitlerinin malzeme kodlaması.....	46
Çizelge 4.2. Al-SiC+xGrafen hibrit kompozitlerin malzeme kodlaması (x=0,05, 0,15, 0,30, 0,45, 0,60 ve 0,75).....	47
Çizelge 4.3. SiC ve grafen takviyeli kompozitlerin üretimi için en uygun işlem parametreleri	59
Çizelge 4.4. Sertlik testi sonuçları	60
Çizelge 5.1. Döküm öncesi ve sonrası EDS analizi sonuçları	80
Çizelge 5.2. Takviyesiz ve SiC takviyeli numunelerin teorik ve deneysel yoğunlukları ile porozite oranları	82
Çizelge 5.3. SiC takviyeli kompozitlerin sertlik testi sonuçları.....	84
Çizelge 5.4. SiC takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçları	85
Çizelge 5.5. SiC takviyeli kompozitlerin basma deneyi sonuçları.....	86
Çizelge 5.6. SiC takviyeli kompozitlerin darbe deneyi sonuçları.....	87
Çizelge 5.7. SiC takviyeli kompozitlerin eğme deneyi sonuçları	88
Çizelge 5.8. Takviyesiz ve grafen takviyeli numunelerin teorik ve deneysel yoğunlukları ile porozite oranları	95
Çizelge 5.9. Grafen takviyeli kompozitlerin sertlik testi sonuçları.....	97
Çizelge 5.10. Grafen takviyeli kompozitlerin çekme deneyi sonuçları	98
Çizelge 5.11. Grafen takviyeli kompozitlerin basma deneyi sonuçları	100
Çizelge 5.12. Grafen takviyeli kompozitlerin darbe deneyi sonuçları.....	101
Çizelge 5.13. Grafen takviyeli kompozitlerin eğme deneyi sonuçları	102

Çizelge 5.14. Al-SiC1/Grf hibrit kompozitlerin deneysel yoğunlukları-porozite oranları.....	109
Çizelge 5.15. Al-SiC1/Grafen hibrit kompozitlerin sertlik deneyi sonuçları.....	111
Çizelge 5.16. Al-SiC1/Grafen hibrit kompozitlerin çekme deneyi sonuçları	113
Çizelge 5.17. Al-SiC1/Grafen hibrit kompozitlerin basma deneyi sonuçları	114
Çizelge 5.18. Al-SiC1/Grafen hibrit kompozitlerin darbe deneyi sonuçları.....	115
Çizelge 5.19. Al-SiC1/Grafen hibrit kompozitlerin eğme deneyi sonuçları	116
Çizelge 5.20. Al-SiC9/Grafen hibrit kompozitlerin deneysel yoğunlukları ve porozite oranları.....	123
Çizelge 5.21. Al-SiC9/Grafen hibrit kompozitlerin sertlik testi sonuçları.....	125
Çizelge 5.22. Al-SiC9/Grafen hibrit kompozitlerin çekme deneyi sonuçları	126
Çizelge 5.23 Al-SiC9/Grafen hibrit kompozitlerin basma deneyi sonuçları	127
Çizelge 5.24. Al-SiC/Grafen hibrit kompozitlerin darbe deneyi sonuçları.....	129
Çizelge 5.25. Al-SiC9/Grafen hibrit kompozitlerin eğme deneyi sonuçları	130

1.GİRİŞ

1.1. Genel Bilgiler

Son yıllarda uzay, havacılık, otomotiv vb. alanlarda kullanılan geleneksel malzemeler istenilen özelliklerde yetersiz olup, bu özellikleri karşılayacak yeni malzemelere ihtiyaç duyulmuştur ve bu amaçla kompozit malzemeler adı altında yeni malzemeler üretilmiştir (Öztop, 2017).

Kompozit malzeme gruplarından biri olan metal matrisli kompozitler (MMK) fiziksel ve mekanik özelliklerinin yüksek olmasından dolayı mühendislik malzemelerinde önemli yere sahiptir (Mindivan, 2007). Bir kompozit malzeme, metalik matris ana fazı ile bunun içinde dağılmış daha az oranda kullanılan takviye elemanından oluşmaktadır. MMK üretiminde matris malzemesi olarak genelde alüminyum (Al), titanyum (Ti), magnezyum (Mg), nikel (Ni) gibi metaller ve alaşımları kullanılmaktadır. Hafiflik, yüksek fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı alüminyum ve alaşımları MMK'da en yaygın kullanılan matris malzemesidir (Şahin, 2015).

Kompozit malzemelerin özelliklerinin iyileştirilmesinde matris malzemesi kadar takviye elemanı da önemlidir. Takviye elemanı olarak silisyum karbür (SiC), silisyum nitrür (Si₃N₄), alümina (Al₂O₃), bor karbür (B₄C), ve karbon esaslı takviye elemanları yaygın olarak kullanılmaktadır (Şenel vd, 2015).

MMK üretiminde toz metalürjisi ve karıştırmalı döküm yöntemleri en çok kullanılan yöntemlerdir. Kompozit üretim metodunun seçiminde; takviye ve matris malzeme, bunlar arasındaki reaksiyonlar, ürün kalitesi ve maliyeti etkili olmaktadır. Karıştırmalı döküm yöntemi toz metalürjisine göre hem kolay hem de az maliyetlidir (Hashim vd, 2002).

Teknolojik gelişmelere bağlı olarak malzemelerde hammadde kullanımı artmakta buna bağlı olarak da harcanan enerji, maliyet ve çevre kirliliği de yükselmektedir. Alüminyum sahip olduğu fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı içecek kutuları, otomotiv, havacılık gibi alanlardaki parça üretiminde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. İçecek kutuları alüminyumun en çok kullanıldığı yerlerden biridir ve insanlar tarafından kullanılıp hurdaya gitmektedir. Atık alüminyum içecek

kutuları geri dönüşüm yapılarak doğal kaynakların azalması, çevre kirliliğindeki artış önlenebilir (Gürbüz, 2018). Günümüzde atık içecek kutuları daha çok geleneksel malzemelerde kullanılmakta olup, ileri teknoloji uygulamalarında kullanımı mevcut değildir.

1.2. Tezin Kapsamı

Bu çalışmanın ilk bölümünde kompozit malzemeler, matris, takviye elemanları, kompozit malzeme üretim yöntemleri ve geri dönüşüm hakkında genel bilgiler verilmiştir. İkinci bölümünde kompozit malzemeler ve sınıflandırılması, metal matrisli kompozitler, matris ve takviye elemanları, alüminyum özellikleri ve geri dönüşümü, SiC ve grafenin özellikleri, kompozit malzemelerin üretim yöntemleri üzerinde durulmuştur. Üçüncü bölümde de alüminyum matrisli kompozitler (AMK), SiC ve grafen takviyeli kompozitler ile hibrit yapıli kompozitler üzerine yapılmış olan çalışmalar özetlenmiştir. Dördüncü bölümde kompozit malzemelerin özellikleri, deney ekipmanları, karakterizasyonu ve kompozit malzemelerin üretim aşamaları anlatılmıştır. Beşinci bölümde ise üretilen Al-SiC, Al-Grf, Al-SiC-Grf kompozitlerin mikroyapı analizleri, yoğunluğu, sertliği, çekme mukavemeti, basma mukavemeti, çentik darbe dayanımı ve aşınma dayanımları değerlendirilmiştir. Altıncı bölümde ise sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

1.3. Tezin Amacı

Çalışmada SiC ve grafen takviye elemanları kullanılarak alüminyum kompozit malzeme üretilerek kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Üretimi yapılacak olan kompozit malzemelerin matrisi için saf alüminyum veya ticari alüminyum alaşımları yerine atık alüminyum içecek kutuları kullanılmıştır. Atık alüminyum içecek kutuları kullanılarak aynı zamanda geri dönüşüm uygulaması yapılmıştır. Bu atık içecek kutularının geri dönüşümü sayesinde diğer kompozit malzeme üretim yöntemlerine kıyasla daha ucuz maliyetli kompozit malzeme üretimi sağlanmıştır. Üretim metodu olarak ise karıştırmalı döküm yöntemi kullanılmıştır. Farklı takviye oranlarında üretilen kompozit malzemelerin mikroyapı özellikleri, yoğunluk, sertlik, çekme ve basma dayanımı, kırılma enerjisi, elastisite modülü ve aşınma dayanımı incelenmiştir.

1.4. Özgün Değer

Çalışmanın en önemli özelliği; atık alüminyum içecek kutularının geri dönüşümü yapılarak üretimi yapılacak olan MMK matrisi için atık alüminyum içecek kutularının kullanılacak olmasıdır. Atık içecek kutuları kullanılarak hem atık içecek kutularının geri dönüşümü yapılmış olacak hem de diğer kompozit malzeme üretim yöntemlerine kıyasla daha ucuz maliyetle kompozit malzeme olacaktır.

Tezin en önemli özgün yönü, son yıllarda yaygın kullanım alanı bulan grafenin yüksek yağlayıcı, üstün mekanik ve ısıl özellikleri, SiC ise yüksek aşınma, basma dayanımı kullanılarak grafen/SiC takviyeli hibrit kompozitler ilk kez atık alüminyum içecek kutularından üretilecektir.

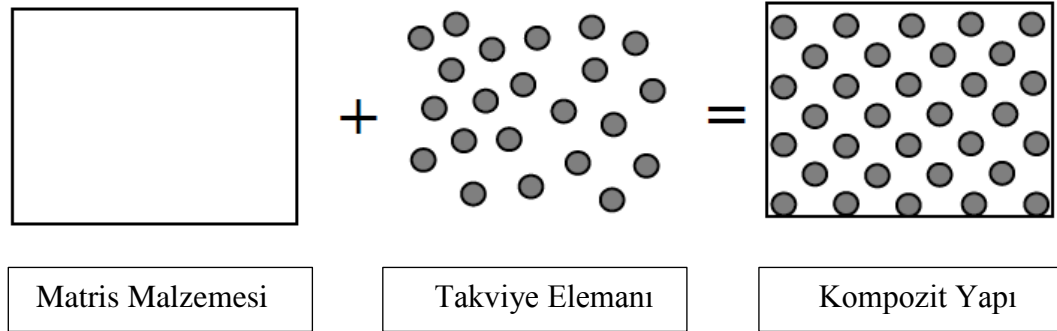


2. KOMPOZİT MALZEMELER

Bu bölümde kompozit malzemelerin tanımı yapılmış ve genel özellikleri anlatılmıştır. Daha sonra kompozit malzemelerin sınıflandırılarak metal matrisli Kompozitlerin matris ve takviye elemanları üzerinde durulmuştur. En son kısımda ise MMK malzemelerin üretim yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir.

2.1. Kompozit Malzemeler ve Uygulamaları

Mühendislikte yaygın olarak kullanılan metaller, plastikler, seramikler mekanik ve fiziksel özellikleri teknoloji karşısında belli ihtiyaçları karşılayamaz hale gelmiştir. Bu nedenle yeni malzeme geliştirme arayışları içine girilmiş ve kompozit malzeme adı altında yeni malzeme grubu ortaya çıkmıştır. En az iki malzemenin en iyi özellikleri kullanılarak makro düzeyde birleştirilmesiyle oluşan yeni malzeme grubuna 'kompozit malzemeler' denir (Nazik, 2013). Şekil 2.1'de kompozit malzemenin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Kompozit malzeme yapısı

Kompozit malzemelerde genellikle malzemelerin belli bir özelliği veya birkaç özelliğinin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu özellikler;

- Yüksek mekanik özellik (çekme, basma, eğilme, çentik darbe gibi)
- Yüksek yorulma dayanımı ve aşınma direnci,
- İyi elektriksel ve termal iletkenlik,
- Korozyon direnci,
- Düşük yoğunluk,
- Estetik görünüm,

şeklinde sıralanabilir (Pul, 2010).

Günümüzde kompozit malzemelerin kullanım alanları geniş boyutlara ulaşmıştır. Çizelge 2.1’de kompozit malzemelerin kullanım alanları verilmiştir;

Çizelge 2.1. Kompozit malzemelerin kullanım alanları (Bilir, 2014; Cilasun, 2013)

Kullanım Alanları	Kullanıldığı Parçalar
Otomotiv Endüstrisi	Motor gövdesi, piston kolları, ara gövde, akü plakaları
Havacılık Sanayisi	Uçak, motor kutuları, kanat boşlukları, türbin bıçakları
Uzay	Uzay araçları gaz türbinleri
Şehircilik	Heykel, banklar, elektrik direkleri, otobüs durakları
Elektrik ve Elektronik Endüstrisi	Motor fırçaları, pil plakaları
Tıp	Protezler, tekerlekli sandalye
İş Makinaları	İş makinaları kapakları, çalışma kabinleri
İnşaat Sektörü	İnşaat kalıpları, cephe korumaları, soğuk hava depoları, büfeler
Tarım Sektörü	Tahıl toplama siloları, su boruları, sulama kanalları, seralar
Ev Aletleri	Masa, sandalye, televizyon kabinleri, dikiş makinası parçaları,

2.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler en genel şekliyle matris malzemesine ve takviye elemanına göre sınıflandırılır. Matris malzemesine göre; metal, seramik, polimer matrisli kompozitler olarak sınıflandırılmaktadır. Takviye elemanın cinsine ve şekline göre; elyafli, parçacıklı, tabakalı kompozitler olarak ayrılırlar (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Matris Malzemesine Göre	Takviye Malzemesine Göre
Metal matrisli kompozitler	Elyaf takviyeli kompozitler
Seramik matrisli kompozitler	Parçacık takviyeli kompozitler
Polimer matrisli kompozitler	Tabakalı kompozitler

2.2.1. Matris malzemesine göre kompozitler

a) Polimer matrisli kompozitler

Matris malzemesi olarak kullanılan polimerler; maliyeti düşük, kolay şekil alabilen malzemelerdir. Bu malzemelerin düşük elastiklik modülü ve düşük kullanım sıcaklıklarına sahip olmaları nedeniyle kullanıldıkları alanlar sınırlıdır. Korozyona karşı dayanıklı olduğundan havacılık, denizcilik gibi sektörlerde çokça kullanım alanı bulmaktadır. Bunların yanında otomotiv, inşaat, dekorasyon, elektrik vb. alanlarda da sıklıkla tercih edilir. Polimer matrisli kompozitler de matris yapısı termoset veya termoplastik polimerlerden oluşur. Cam fiber, aramid fiber, bor ve karbon fiberler polimer matrisli kompozitlerde kullanılan takviye elemanlarıdır. Polimer matrisli kompozitler elle sıvama, tel sarma, kese kalıplama işlemi, pultrüzyon metodu, sıvı akış tekniği, takviyeli reaksiyon, enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon ve termo oluşum yöntemleriyle üretilir (Dengiz, 2018; Toptan, 2006).

b) Seramik matrisli kompozitler

Seramik matrisli kompozit malzemeler genellikle yüksek sıcaklıkta çalışması gereken parçalar için kullanılırlar. Sert ve kırılgan malzemeler olan seramik malzemeler, çok düşük kopma uzaması gösterirler, düşük tokluğa sahiptirler ve termal şoklara karşı dayanıksızdırlar. Buna karşılık çok yüksek basma dayanımı, düşük yoğunluğa ve çok yüksek çalışma sıcaklıklarına sahiptirler. Seramik matrisli kompozit malzemelerde matris malzemesi olarak Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 ve B_4C yaygın olarak kullanılmaktadır. Takviye elemanı olarak ta genellikle Al_2O_3 ve SiC seramik malzemeler fiber formuna getirilerek kullanılmaktadır (Smith, 2001).

c) Metal matrisli kompozitler

Metal malzemelerin iyi süneklik ve tokluk özelliklerinin, seramik malzemelerin yüksek mukavemet ve yüksek elastiklik modülü özelliklerinin bir araya getirilmesiyle oluşan MMK malzemeler, yüksek elastiklik modülü ve mukavemet, düşük yoğunluk, yüksek aşınma direnci ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilme gibi önemli özelliklere sahiptirler. Metal matrisli kompozitler için matris malzemesi olarak genellikle hafif metaller tercih edilmektedir. MMK malzemelerde matris malzemesi olarak, alüminyum ve alaşımları ilk sırayı almaktadırlar. Bu alaşımların tercih edilmesinin nedeni düşük yoğunluk, düşük ergime sıcaklığına sahip olmaları ve birçok seramik takviye elemanını kolay ıslatabilmeleridir. Metal matrisli kompozit malzemelerde en çok kullanılan takviye elemanları ise Al_2O_3 , SiC, B_4C , TiC ve C'dur (Atik vd, 2006).

2.2.2. Takviye elemanının şekline göre kompozitler

a)Elyaf (Fiber) Takviyeli Kompozitler (Tek Tabaka Kompozitler)

Bu tür malzemelerde, matris kompozite gelen yükü fibere iletir, yükün çoğu fiber tarafından taşınır ve özellikleri anizotropiktir. Fiberler, kompozit malzeme içerisinde tek yönlü şekilde ya da yönlendirilmiş olarak bulunabilmektedirler. Fiberler genel olarak, malzemeye uygulanacak yüklerin doğrultusunda konumlandırılırlar. Bunların yanı sıra fiberler örgü yapı şeklinde de kullanılmaktadır. Özellikle, uzay ve havacılık sektörlerinde ihtiyaç duyulan yüksek mukavemet, rijitlik ve hafiflik gibi özelliklere sahip fiber takviyeli kompozit malzemeler, bu sektörler için vazgeçilemez bir malzeme grubu olmaktadır (Zor, 2018).

b)Partikül Takviyeli Kompozit Malzemeler

Bu tip kompozitler, makroskobik veya mikroskobik partiküllerin matris ile oluşturdukları malzemelerdir. Ortalama gömülen parçacık boyutu $1 \mu m$ ' den büyük ve takviye hacim oranı genelde % 50'den fazla kullanılmamaktadır. Kompozit malzeme üretiminde en çok kullanılan takviye partiküller, Al_2O_3 , B_4C ve SiC gibi seramik malzemelerdir (Zor, 2018).

c)Tabakalı Kompozit Malzemeler

Bu tür kompozitler farklı bileşenli plakaların sandviç (üst üste) şeklinde birleştirilmesiyle elde edilir. Bu kompozitler, matris içerisine rasgele yönelmiş, tek yönlü veya çift yönlü fiber takviyeli tabakalardan oluşmaktadır (Zor, 2018).

2.3. Metal Matrisli Kompozitler

Metal matrisli kompozit (MMK) malzemeler; istenen özellikleri sağlamak amacıyla biri metal olan en az iki farklı malzemenin birleştirilmesiyle oluşan yeni malzemelerdir. Metal matrisli kompozitler ağırlık olarak çelik ve alüminyum gibi geleneksel malzemelerden daha üstün avantajlar elde etmek için kullanılır. Takviye işlemi sayesinde özgül rijitliği, özgül dayanımı, aşınma dayanımı, korozyon direnci, ısı iletkenliği gibi mekanik özellikleri artırılabilir.

MMK geniş kullanım alanı bulunmaktadır ve Çizelge 2. 3'te bazı metal matrisli kompozit türleri ve uygulama alanları verilmiştir. Uzay, havacılık, otomotiv, enerji, spor ve diğer malzemeler gibi birçok alanda kullanımı her geçen gün artmaktadır.

Çizelge 2.3. Kompozit türleri ve uygulama alanları (Şahin, 2015)

Kompozit türü	Uygulama alanları
Alüminyum-grafit	Yataklar
Alüminyum-grafit, Alüminyum-SiC/Al ₂ O ₃	Otomobil pistonları, Silindir gömlekleri,
Alüminyum-Al ₂ O ₃	Biyel kolları
Bakır-grafit	Kaymalı elektriksel kontaklar
Alüminyum-SiC	Turboşarj pervaneleri
Magnezyum- karbon fiber	Uzay yapıları için kompozitler
Alüminyum-zirkon	Kesici takımlar, pervaneler
Alüminyum-kömür	Düşük maliyetli malzemeler

2.3.1. Metal matrisli kompozitler de kullanılan matris malzemeleri

MMK için matris malzemesi olarak genellikle hafif metaller tercih edilmektedir. Matris malzemesi olarak genellikle Al, Ti, Mg, Ni, Cu, Co ve Zn gibi metaller ve alaşımları kullanılır. Matris malzemesi olarak MMK malzemelerde, Al, Ti ve Mg alaşımları yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu alaşımların tercih edilmesinin nedeni düşük yoğunluk ve düşük ergime sıcaklığına sahip olmaları ve birçok seramik takviye elemanını kolay ıslatabilmeleridir. Çünkü yüksek performanslı kompozit malzeme üretimi için matris malzemesi, fiberleri veya partikülleri iyi ıslatabilmeli, iyi bir ara yüzey bağı oluşturmalı, mümkün olan en düşük basınç ve sıcaklıkta hızlı şekilde katılma yapabilmeleri gerekmektedir. Bu tez kapsamında atık alüminyum kullanıldığından ayrıntılı bir şekilde bir sonraki bölümde anlatılacaktır.

a) Alüminyum ve Alaşımları

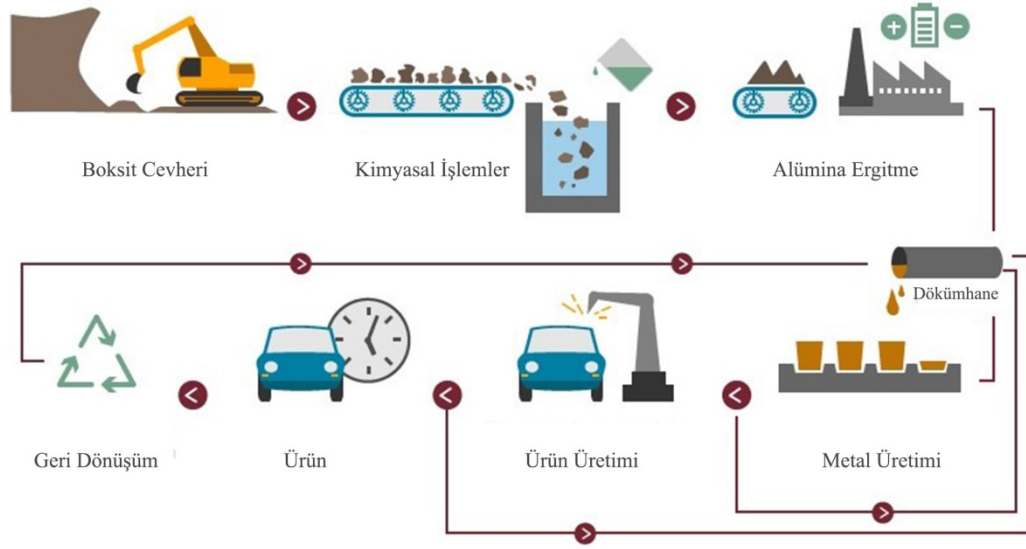
Alüminyum doğada bileşikler halinde bulunur. Yerkabuğundaki yaklaşık olarak %8 civarındaki içeriğiyle alüminyum, oksijen ve silisyumdan sonra en çok bulunan üçüncü elementtir. Bu kadar çok bulunmasına rağmen varlığı 1808 yılında İngiliz Sir Humphry Davy tarafından tespit edilen bu metalin ticari anlamda üretim teknolojisi ancak 1886 yılında Paul Louis Toussaint Héroult (Fransa) ve Charles Martin Hall (ABD) birbirlerinden habersiz şekilde ayrı ayrı çalışarak geliştirilmiştir. Günümüzde Hall- Héroult yöntemi olarak halen kullanılan bu yöntemde bu iki bilim adamı, alüminyum oksitin ergimiş kriyolit içinde çözündürülerek üzerinden güçlü bir elektrik akım geçirildiğinde, alüminyumun elektrolitin altında sıvı halde biriktiğini fark etmişlerdir. Bu yöntemin keşfinden sadece iki yıl sonra, 1888'de İsviçre'nin Neuhausen kentinde Schweizerische Metallurgische Gesellschaft tarafından Héroult patentiyle, yine aynı yıl A.B.D.'deki Pittsburgh kentinde Pittsburgh Reduction Company tarafından Hall patentiyle ilk alüminyum elektroliz haneleri kurulmuştur (Anonim, 2004). Çizelge 2.4'te saf alüminyumun özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.4. Saf alüminyum özellikleri (* saflık derecesine bağlı) (Ediz, 2011)

Özellikler	Fiziksel Sabitler
Kristal Yapısı	Yüzey merkezli kübik
Yoğunluk	2,7 g/cm ³
Isı iletkenliği	237 W/m.K
Ergime sıcaklığı	660 °C
Çekme mukavemeti	39-85 MPa *
Akma mukavemeti	10-30 MPa *
Sertlik (BHN 2.5)	12-20 HB *
Elastisite modül	70.000 MPa *
Kopma uzaması	% 30-40

b) Alüminyum Üretimi

Doğada çok bulunan metal olmasına rağmen serbest halde nadir görülen alüminyum genelde boksit cevheri halinde bulunur. Saf alüminyum, boksitten alümina çıkarılmasıyla elde edilir. Bunun gerçekleştirilmesi 1886'da Bayer prosesinin kullanılmaya başlanmasıyla ancak mümkün olmuştur. Boksitten alümina elde edildikten sonra elektroliz yöntemi ile alüminadan alüminyum elde edilir. Şekil 2.2'de alüminyum üretiminin şematik gösterimi verilmiştir.

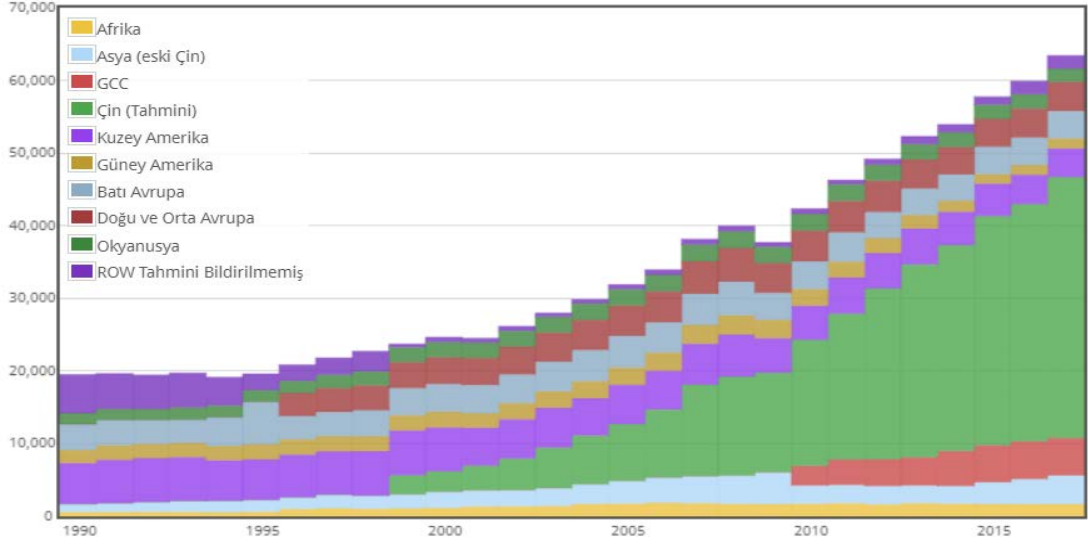


Şekil 2.2. Alüminyum üretim aşamaları (Anonim, 2017)

Günümüzde alüminyum üretiminde iki süreç vardır;

Birincil alüminyum (Cevherden alüminyum üretimi)

Boksit madenciliğiyle başlayan, boksit cevherinden bayer prosesi ile alümina, alüminadan da elektroliz yoluyla alüminyum eldesine birincil alüminyum üretimi denir. Şekil 2.3'te yıllara göre birincil alüminyum üretiminin kıtalara göre dağılımı verilmiştir.



Şekil 2.3. Yıllara göre birincil alüminyum üretimi (Anonim, 2018a)

İkincil alüminyum üretimi (Hurdadan alüminyum üretimi)

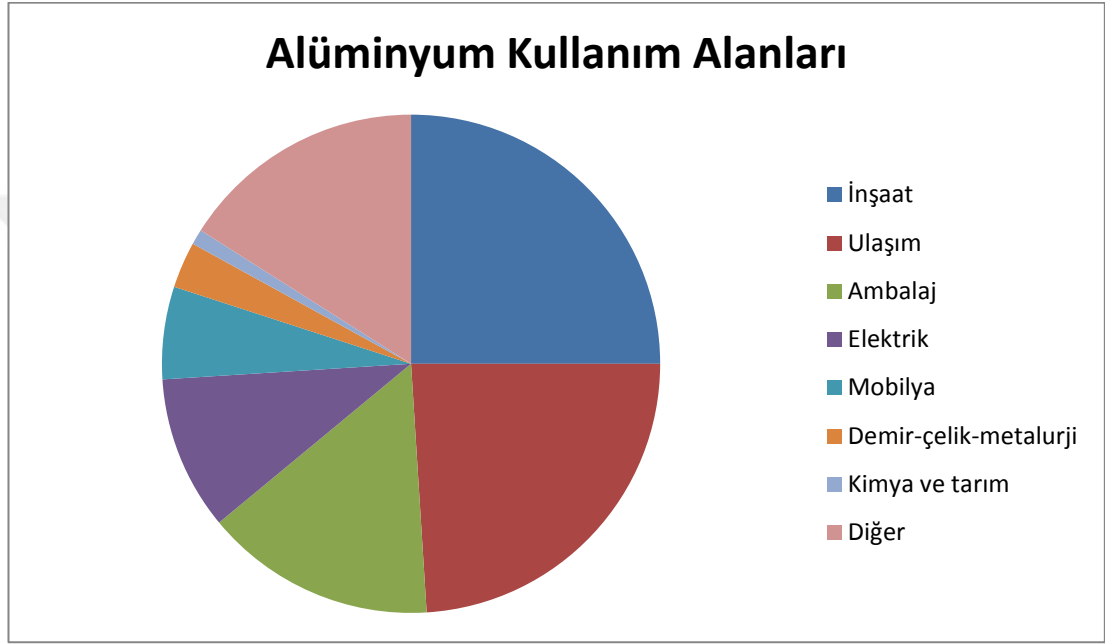
Alüminyumun geri kazanımının, cevherinden eldesine göre ekonomik olması ve %100'e yakın geri dönüştürülebilirliği sayesinde zaman içinde hurdalardan geri kazanıma verilen önem de arttırmıştır. Hurdalardan geri kazanımla alüminyum elde edilmesine ikincil alüminyum üretimi denir. İkincil alüminyum üretimi, birincil alüminyum üretimine göre %5-8 daha az enerji gerektirdiğinden ekonomiktir. Dünyada bugüne kadar üretilen alüminyumun %75'i halen kullanımdadır.

c) Alüminyumun kullanım alanları

Alüminyum fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı dünya ekonomisinde geniş uygulama alanı bulmaktadır. Şekil 2.4.'te verildiği üzere alüminyum inşaat, ulaşım, ambalaj, elektrik, mobilya, demir-çelik-metalürji, kimya ve tarım gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Alüminyum inşaat sektöründe konut ve yapılar, radyatör, seralar, kapı/pencere, merdiven, cephe/çatı kaplamaları, bina iskeleti gibi alanlarda kullanılır. Otomobillerde, uçaklarda, trenlerin yük taşıma ve insan kompartımanlarının imalinde ve gemi sanayisinde yaygın olarak tercih edilmektedir. Alüminyumun ince üretilmesi, kolay şekillenebilirliği, hava ve su geçirmez oluşundan dolayı iyi bir ambalaj malzemesidir. İyi bir iletken metal olmasından dolayı elektrik sektöründe yeraltı kablolarında, elektrik borularında, motor bobin sarımlarında tercih

edilmektedir. Alüminyumun en yaygın kullanım alanlarından biri de içecek kutularıdır. Dünya’da kullanılan metal kutuların %80’i alüminyumdan üretilmektedir. Kullanılmış alüminyum kutularının %70’i geri dönüştürülebilmektedir. Bu alanların dışında az da olsa spor ekipmanları, mutfak aletleri, havalandırma sistemleri yapımında da tercih edilmektedir (Anonim, 2004; Öztop, 2017).



Şekil 2.4. Kullanım yerlerine göre alüminyum dağılım yüzdeleri (Ediz, 2011)

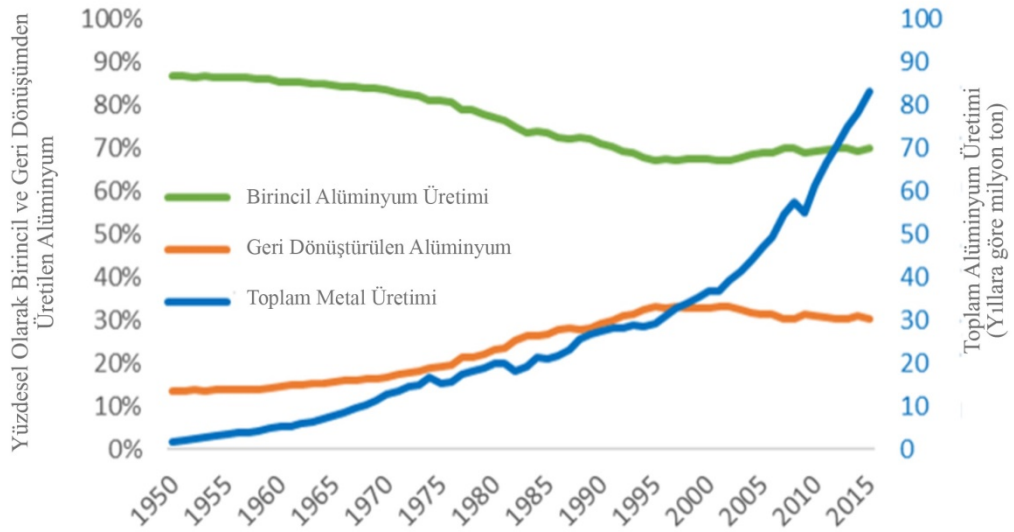
d) Alüminyum geri dönüşümü

19. yüzyıl sonundan itibaren teknoloji alanındaki yaşanan gelişmeler çevre kirliliği, enerji tasarrufu, hammadde gibi konuları ön plana çıkarmaktadır. Her türlü alandaki hızlı ve fazla üretim hammadde rezervlerini azaltmakta, kullanılan enerjiyi artırmakta ve ayrıca atık ürünler çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Bu nedenle yeniden kullanılacak atıklar çeşitli yollarla tekrar hammadde haline dönüştürülerek kullanılabilir. Bu işlemlere geri dönüşüm denilmektedir.

Teknoloji alanında metaller ve alaşımları yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu metallerin başında alüminyum gelmektedir. Yaygın kullanım alanına sahip olan alüminyumun üretimi boksitten üretim veya alüminyum hurdaları geri dönüştürülerek iki yolla yapılmaktadır. Ancak boksitten üretim prosesleri karmaşık, pahalı, harcanan enerji çok fazladır. Alüminyumun ikincil üretimi birincil

üretimimde harcanan enerjiye göre yaklaşık % 90 enerji tasarrufu sağlamaktadır. Bu yüzden geri dönüşüm olanağı olan alüminyum ikincil üretim ile üretmek doğal kaynakların azalmasını önler, ekonomik ve çevre kirliliği açısından önemli bir yere sahiptir.

2018 yılında yayınlanan rapora göre toplam alüminyum üretimi 85 milyon tona yaklaşmış ve bunun 25 milyon tonu ikincil üretimden karşılanmaktadır. Şekil 2.5'te dünyadaki birincil ve ikincil alüminyum üretiminin yıllara göre dağılımı verilmiştir. Alüminyum içecek kutuları dünyada yaygın kullanım alanına sahiptir ve geri dönüşümü yapılabilir. Dünyada alüminyum içecek kutularının toplanma oranı %69,1 iken Avrupa'da %70'tir. Bu oranlar Amerika için %54,7, İngiltere için %52, Almanya için %91, Çin için %99,5, Japonya için %92,7 ve Türkiye için %75 civarındadır.



Şekil 2.5. Dünyadaki birincil ve geri dönüştürülmüş alüminyum üretimi (Anonim, 2018b)

2.3.2. Metal matrisli kompozitler de kullanılan takviye malzemeleri

Takviye elemanı kompozit malzemeyi oluşturan en önemli elemanlardan biridir. Bir kompozit malzeme de takviye elemanı yükü taşıyarak matrisin rijitliğini ve dayanımını artırmaktadır. Kompozit malzemelerde beklenen özelliklere sahip olabilmesi için fazlar arasında fiziksel ve kimyasal uyum olması gerekir. Fiziksel

uyum matrisin ve takviye elemanının süneklik ve ısı genleşme özellikleri ile ilgilidir. Matris ile takviye elemanı arasındaki kimyasal uyum ise ara yüzey bağlarıyla ilgilidir. Kompozit malzemeler üretilirken takviye elemanı seçimi, üretim yöntemi, ıslatabilme kabiliyeti, yönlendirilmeleri kompozitin fiziksel ve mekanik özellikleri etkilemektedir (Kılıç, 2008).

MMK malzemelerin üretiminde kullanılan takviye malzemeleri, kimyasal özelliklerine (yoğunluk, tane boyutu, ısı genleşme katsayısı, ergime sıcaklığı vb. özellikleri) göre;

- Oksitler (SiO_2 , Al_2O_3)
- Karbürler (SiC , B_4C)
- Nitrürler (Si_3N_4 , AlN)
- Elementler (paslanmaz çelik, Si, C, vs) gibi dört ana gruba ayrılır.

Matris malzemesinin mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla genellikle SiC , B_4C , TiC ve Si_3N_4 gibi takviye elemanları kullanılmaktadır. Kullanılan takviye malzemelerin özellikleri Çizelge 2.5’te verilmiştir.

Çizelge 2.5. Çeşitli takviye malzemeleri ve özellikleri (Öztop, 2017)

Partikül Takviye Malzemeleri	Yoğunluk (g/cm^3)	Mukavemet (Mpa)	Elastik Modül (Gpa)
SiC	3,22	3100	324
B_4C	2,52	2579	448
TiC	4,93	55	269
ZrC	6,73	90	359
Al_2O_3	3,98	221	379
MgO	3,58	4100	417
ZrO_2	5,89	83	132
CeO_2	6,9	600	200
ThO_2	9,86	193	200
AlN	3,26	2069	310
Si_3N_4	3,18	4100	250

a) SiC ve Özellikleri

SiC MMK’de kullanılan seramik takviye elemanıdır. Silisyum doğada en çok bulunan elementlerden biridir ve yer kabuğunun yaklaşık % 25,7’ sini oluşturur. Rengi koyu gridir ve normal şartlar altında katı halde bulunur. SiC , elektrikli fırında silisyum dioksitin kok kömürü ile indirgenmesi sonucu gerçekleşen silisyum eldesi sırasında karbon kullanılması sonucunda oluşan bileşiktir. SiC , kristal kafes içinde

güçlü bağlara sahip olan tetrahedra karbon ve silikon atomlarından oluşur. Bu çok sert ve güçlü bir malzemedir. SiC, 800 °C'ye kadar olan herhangi bir asit, alkali veya erimiş tuz ile tepkimeye girmemektedir. SiC 1200 °C'de koruyucu bir silisyum oksit kaplama oluşturur ve 1600 °C'ye kadar kullanılabilir. Çizelge 2.6'da SiC'in malzeme özellikleri verilmiştir. SiC'in genel özellikleri şu şekilde sıralanabilir; düşük yoğunluklu, düşük termal genleşme, yüksek termal iletkenlik, yüksek sertlik, yüksek elastisite modülü, mükemmel termal şok direnci (Özsarı, 2018).

Çizelge 2.6. SiC'in malzeme özellikleri (Anonim, 2013)

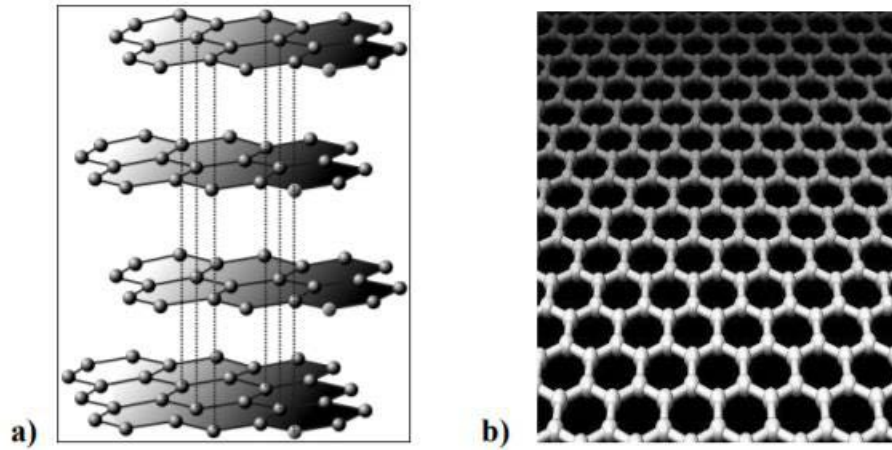
Mekanik Özellikleri	Değerler
Yoğunluk (gr/cm ³)	3,1
Renk	Siyah
Sertlik (HV)	2800
Elastiklik Modülü(GPa)	410
Basma Mukavemeti(MPa)	3900
Eğme Mukavemeti(GPa)	550
Poisson Oranı	0,14
Kırılma Tokluğu(MPa*m ^{1/2})	4,6
Termal Özellikleri	Değerler
Termal İletkenlik(W/mK)	120
Termal Genleşme Katsayısı (10 ⁻⁶ /°C)	4.0
Özgül Isı (J/Kg•°K)	750
Elektriksel Özellikleri	Değerler
Direnç(Ω)	10 ² -10 ⁶

Silisyum karbür mükemmel bir aşındırıcıdır ve yüz yıldan fazla süredir taşlama tekerlekleri ve diğer aşındırıcı ürünler haline getirilmiştir. Günümüzde SiC çok iyi mekanik özelliklere sahip yüksek kaliteli teknik sınıf seramik haline getirilmiştir. SiC ayrıca bir elektrik iletkeni yapılabilmekte ve ayrıca rezistanslı ısıtma, alev ateşleyicileri ve elektronik bileşenler uygulamalarına sahiptir. Silisyum karbürün tipik kullanım alanları;

- Sabit ve hareketli türbin bileşenleri
- Emiş kutusu kapakları
- Mühürler, rulmanlar
- Küresel vana parçaları
- Sıcak gaz akış gömlekleri
- Isı değıştirciler
- Aşındırıcılar
- Refrakterler
- Yarı iletken işlem ekipmanı (Anonim, 2013).

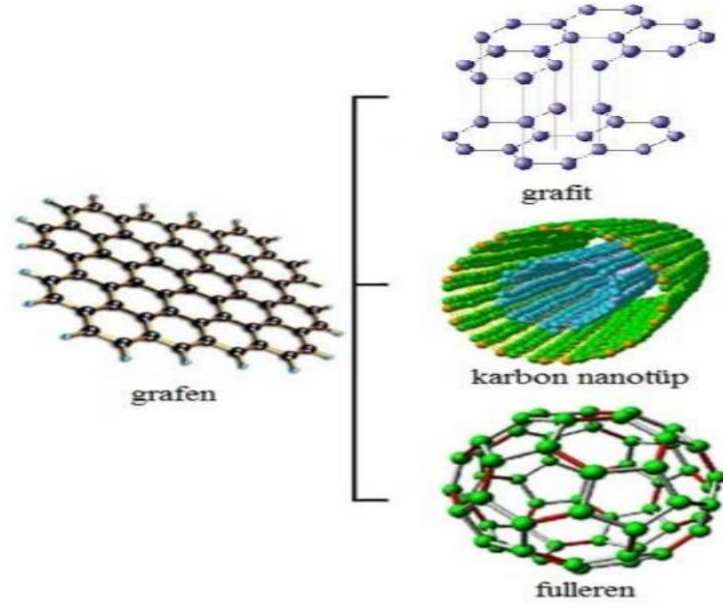
b) Grafen ve Özellikleri

Grafit ve elmas karbonun doğadaki allotroplarıdır. İki boyutlu düzlemde üst üste yığılmış, düzenli bir yapıda olan grafitin tek tabakasına grafen denilmektedir. Grafit ve grafenin arasındaki farkı anlamak için yapısal düzenlenmeleri Şekil 2.6'da gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Grafit (a) ve Grafen (b) yapıları (Doğan, 2014)

Manchester Üniversitesinden Andre Geim ve Konstantin Sergeevich Novoselov isimli bilim adamları tarafından 2004 yılında yeni bir malzeme olarak grafen ortaya çıkmıştır. İki boyutlu malzeme olan grafen kullanılarak fulleren, karbon nanotüp ve grafit malzemeleri geliştirilebilmektedir. Grafen kendi içerisinde kapalı geometri (küp) oluşturacak şekilde katlanırsa fulleren, kendi eksenini etrafında sarılırsa nanotüp, üst üste dizilirse grafit yapı elde edilir(Şekil 2.6) (Şenel, 2015).



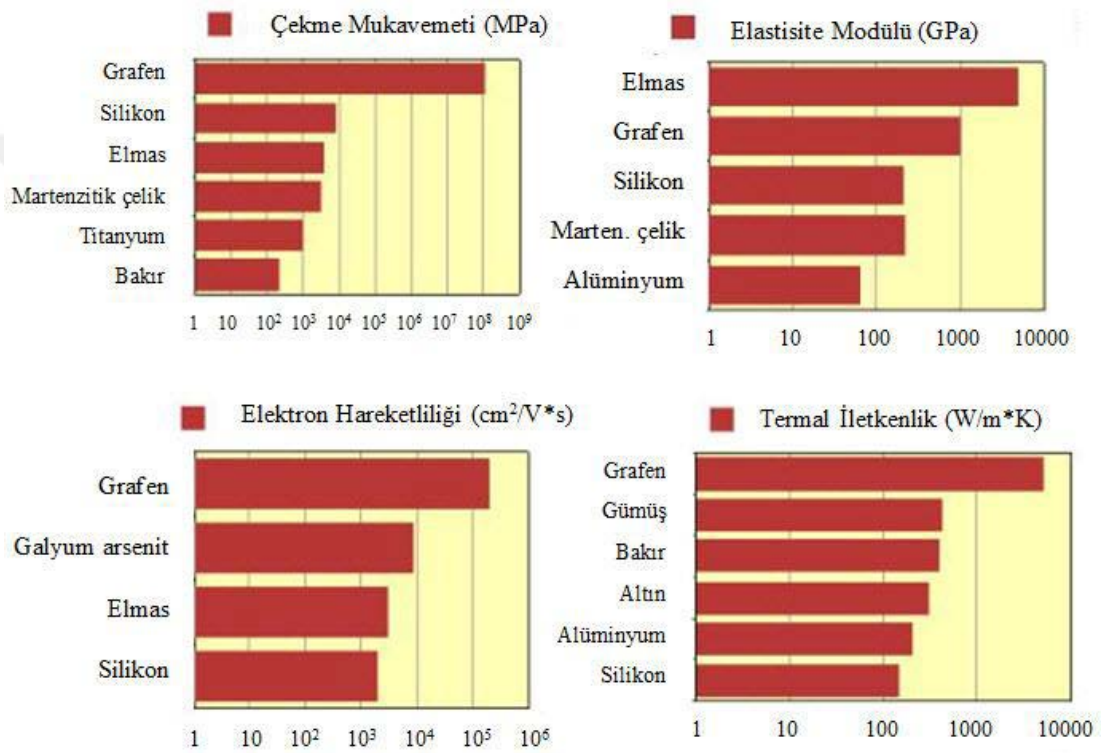
Şekil 2.6. Grafen ve grafen temelli fulleren, nanotüp ve grafit yapıları (Doğan, 2014)
Diğer karbon allotroplarının bazı fiziksel özellikleri Çizelge 2.7’de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 2.7. Bazı karbon allotroplarının fiziksel özellikleri (Wu vd, 2012)

Karbon Allotropları	Grafit	Elmas	Fulleren (C ₆₀)	Karbon nanotüp	Grafen
Hibrit Şekli	sp ²	sp ³	Çoğunlukla sp ²	Çoğunlukla sp ²	sp ²
Kristal Sistemi	Hekzagonal	Oktahedral	Tetragonal	İkosahedral	Hekzagonal
Boyut	Üç	Üç	Sıfır	Bir	İki
Yüzey Alanı (m ² g ⁻¹)	~10-20	20-160	80-90	~1300	~1500
Yoğunluk(gcm ⁻³)	2,09-2,23	3,5-3,53	1,72	>1	>1
Termal İletkenlik (Wm ⁻¹ K ⁻¹)	1500-2000, 5-10	900-2320	0,4	3500	4840-5300
Sertlik	Yüksek	Ultra yüksek	Yüksek	Yüksek	En yüksek
Elektronik Özellikleri	Elektriksel iletken	Yalıtkan, yarıiletken	Yalıtkan	Metalik ve yarı-iletken	Yarı-metal,
Elektriksel İletkenlik (Scm ⁻¹)	Anisotropik 2,3.10 ⁴	–	10 ⁻¹⁰	Yapıya bağlı	2000
Esneklik	Elastik olmayan esnek	–	Elastik	Elastik esnek	Elastik esnek
Optiksel Özellikleri	Tek eksenli	İzotropik	Doğrusal olmayan optik cevap	Yapıya bağlı özellikler	%97,7 optiksel geçirgenlik

Grafenin yapısından dolayı üstün özelliklere sahiptir. Şekil 2.7’de grafenin çeşitli özelliklerinin diğer malzemelerle karşılaştırılması verilmiştir. Şöyle ki dijital teknolojide kullanılan silisyumla karşılaştırıldığında elektronların grafen içindeki

hızları 100 kat daha hızlıdır. Bilinen en ince malzeme olmasına rağmen yapısında bulundurduğu karbon bağları sayesinde grafenin elastisite modülü çelikten 100 kat fazladır ve onu en güçlü malzeme yapmaktadır. Elmastan sert olmasına rağmen kolay şekillendirilebilir ve kaplamalarda kullanılabilir. Elektriki iyi iletmesinin yanında iyi bir ısı iletkenidir ve doğal yağlayıcılık özelliğinden dolayı aşınma dayanımı artırmaktadır. Bütün bu üstün özelliklere sahip olan grafen otomotiv, havacılık, biyokimya, tıp gibi birçok alanlarda yakın zamanda kullanılması öngörülmektedir (Şenel, 2015).



Şekil 2.7. Grafenin çeşitli özelliklerinin bilinen diğer malzemelerle karşılaştırılması (Şenel, 2015)

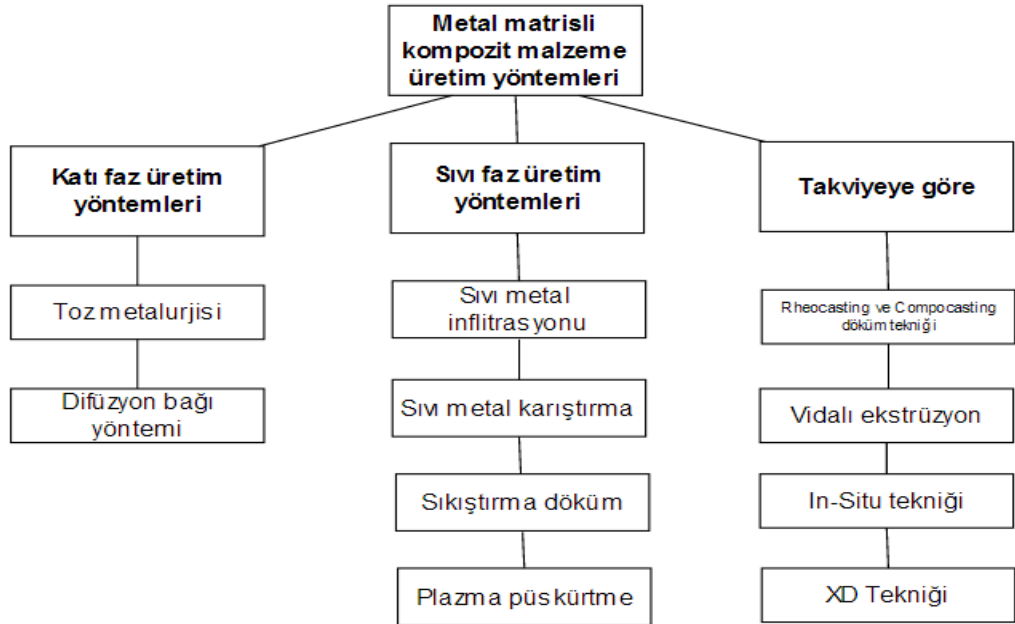
Grafenin fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı kompozit malzeme üretiminde önemli bir takviye elemanı olmuştur. Diğer takviye elemanlarına göre daha az miktarda kullanılan grafen, katkı oranının artırıldığında topaklanma eğilimine girdiği ve mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilediği gözlenmiştir. Bu nedenle grafen takviyesinde homojen dağılması ve ikincil fazların önlenmesi sağlanırsa kompozite üstün özellik katmaktadır (Şenel, 2015).

2.3.4. Metal matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri

Son yıllarda geleneksel malzemeler yerini daha üstün özelliklere sahip kompozit malzemelere bırakmaktadır. Kompozit malzemelerin geliştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar bu malzemelerin üretim yöntemleri üzerine de yoğunlaşmaktadır. Çünkü üretilecek olan malzemenin şekli, mekanik ve fiziksel özellikleri, matris ve takviye elemanı üretim yönteminin belirlenmesinde önemlidir. Üretim yöntemi belirlenirken şu parametreler dikkate alınır;

- Çalışma sıcaklığı,
- Matris ve takviye elemanlarının şekli ve birbiri arasındaki uyumu, ara yüz bağı oluşumu, aralarında oluşabilecek tepkimeler,
- Matris içinde takviye malzemesinin homojen dağılıp dağılmaması,
- Üretmek istenilen ürünün boyutu, mekanik ve fiziksel özellikleri,
- Üretim maliyeti (Cilasun, 2013)

MMK üretiminde farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar katı faz üretim yöntemleri, sıvı faz üretim yöntemleri ve diğer üretim yöntemleri olmak üzere üçe ayrılır (Şekil 2.8).

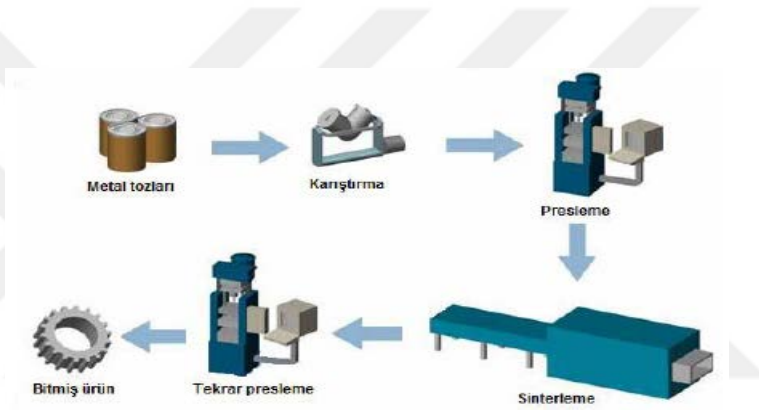


Şekil 2.8. Metal matrisli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri (Aslan, 2014)

a) Katı faz üretim yöntemleri

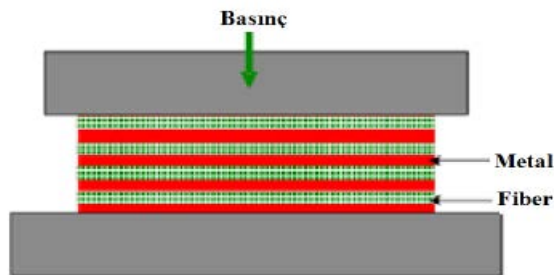
Matris malzemesinin ergime sıcaklığı altındaki bir sıcaklıkta farklı işlemler uygulanarak kompozit malzeme üretilmesidir. Katı faz üretim yöntemleri arasında toz metalürjisi ve difüzyon bağı yöntemi bulunmaktadır.

Toz metalürjisi yöntemi metal matrisli kompozit malzemelerin üretiminin en yaygın kullanılan tekniğidir. Bu yöntemde matris ve takviye elemanları karıştırılarak istenilen şekli verebilecek kalıpta basınç yardımıyla sıkıştırılır. Daha sonra tozlar arasındaki birleşmeyi sağlamak amacıyla toz karışım ergime sıcaklığı altında sinterlenir. Sinterleme sonrasında püskürtme veya haddelme gibi ikincil işlemler son şekil verme için gerekli olabilir. Böylece toz metalürjisiyle numuneler elde edilir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Toz metalürjisi yöntemi (Pul, 2010)

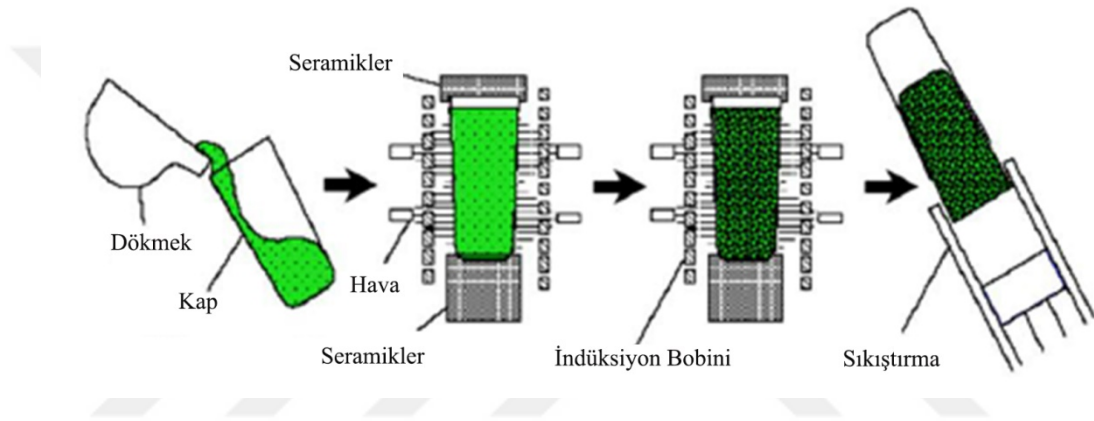
Difüzyon bağı yönteminde levha şeklindeki matris malzemesi ve yine aynı şekilde veya uzun fiber şeklindeki takviye elemanı üst üste istiflenerek ergime sıcaklığı altındaki belli bir sıcaklıkta preslenmesi işlemidir. Bu işlemdeki amaç matris ve takviye elemanı arasında difüzyon bağı oluşturarak birleşmesi sağlanır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Difüzyon bağı yöntemi (Çevik, 2015)

b) Diğer üretim yöntemleri

Rheocasting ve compocasting döküm tekniğinde matris malzemesi ergime sıcaklığı üstüne çıkarılıp ergitildikten sonra sıcaklık kontrollü şekilde düşürülerek ergiyik yaklaşık %50 katı hale geldiğinde takviye elemanı karıştırılarak eklenmeye başlanır ve sıcaklık takviye elemanının iyice ıslatılincaya kadar artırılır. Eğer düşük viskoziteli karşımdan döküm yapılırsa 'Rheocasting', karışımın ergime sıcaklığı üstünde döküm gerçekleştirilirse 'Compocasting' adı verilir ve Şekil 2.11'de şematik gösterimi verilmiştir (Bilir, 2014).



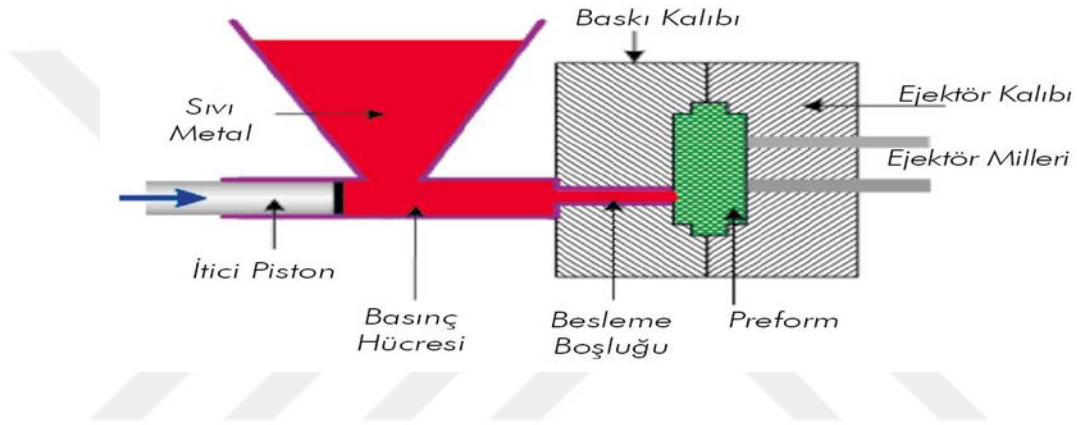
Şekil 2.11. Rheocasting döküm tekniği şematik gösterimi (Bilir, 2014)

In-Situ yönteminde malzeme içinde bir veya bazı fazların matris, diğer fazların takviye elemanı olarak davranılacak şekilde farklı faz oluşturulmasıyla kompozit malzeme üretim işlemidir. Uygulamaların çoğu alüminyum, nikel ve kobalt esaslı alaşımlar kullanılarak yapılmaktadır. Tek işlemle elde edilirler ve içyapıları oldukça kararlıdır (Cilasun, 2013).

XD tekniğinde Martin Marietta tarafından geliştirilen yöntem, takviye fazın sıvı metal içerisinde bir bileşik ilavesi ile oluşturulması prensibine dayanmaktadır. Bu yöntem ile sıvı metal fazı içerisinde pek çok seramik bileşik oluşturulabilmektedir. Partiküller sıvı metalin içinde oluşturulduğundan tek kristalli ve oksitlenmemiş ara yüzeylere sahiptir. Oluşan parçacık boyutları, süreç parametrelerinin etkisiyle 0,2-10 µm arasında değişmektedir (Karademir, 2013).

c) Sıvı faz üretim yöntemleri

Sıvı metal infiltrasyon yöntemi kalıp içine yerleştirilmiş fiberler arasına sıvı haldeki metal matrisin emdirilmesidir. İlk önce istenilen boyutlarda ön şekillendirme yapılarak fiberlerin yönlenmesi sağlanır. Bir bağlayıcı ile ön şekiller kalıba tutturulur ve ergimiş matris kalıp içerisinde emdirilerek katılaşmaya bırakılır. Hızlı ve büyük oranda üretim kapasitesine sahip olması, son ürünün istenilen ürünün şekline benzer olmasından dolayı metal matrisli kompozit malzemelerin üretiminde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır ve Şekil 2.12’de bu yöntemin şematik gösterimi verilmiştir (Bilir, 2014).

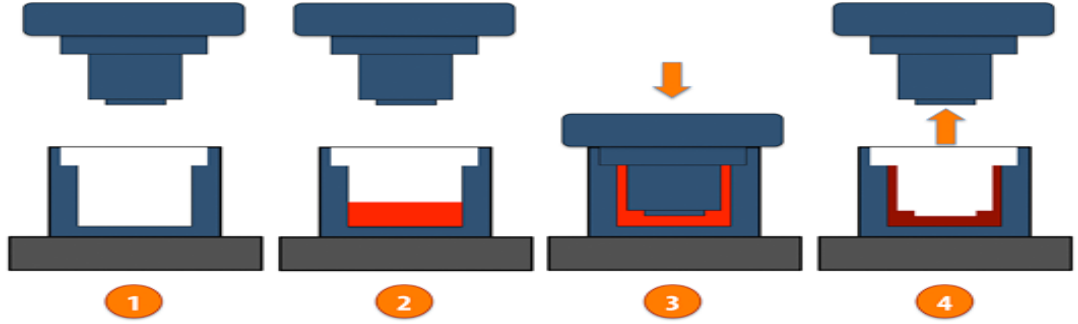


Şekil 2.12. Sıvı metal infiltrasyon yöntemi şematik gösterimi

Sıkıştırma döküm yöntemi takviye malzemesinden oluşmuş ön şeklin önceden ısıtılmış metal kalıp içerisine yerleştirilmesi ve belli bir basınç altında eriyik metalin metal kalıp içine dökülüp basınç altında katılarak kompozit malzeme üretimi olup Şekil 2.13’te sıkıştırma döküm yönteminin şematik gösterimi verilmiştir. Basınç altında döküm ve katılaşmadan dolayı dökümde oluşacak gözenek, hava boşluğu gibi hatalar yok denecek kadar az olması avantajlı yönü olmasına rağmen, yüksek basınç gereksinimi ve büyük parçaların üretilmemesi dezavantajları arasındadır (Bilir, 2014).

Sıkıştırma Döküm Yöntemi

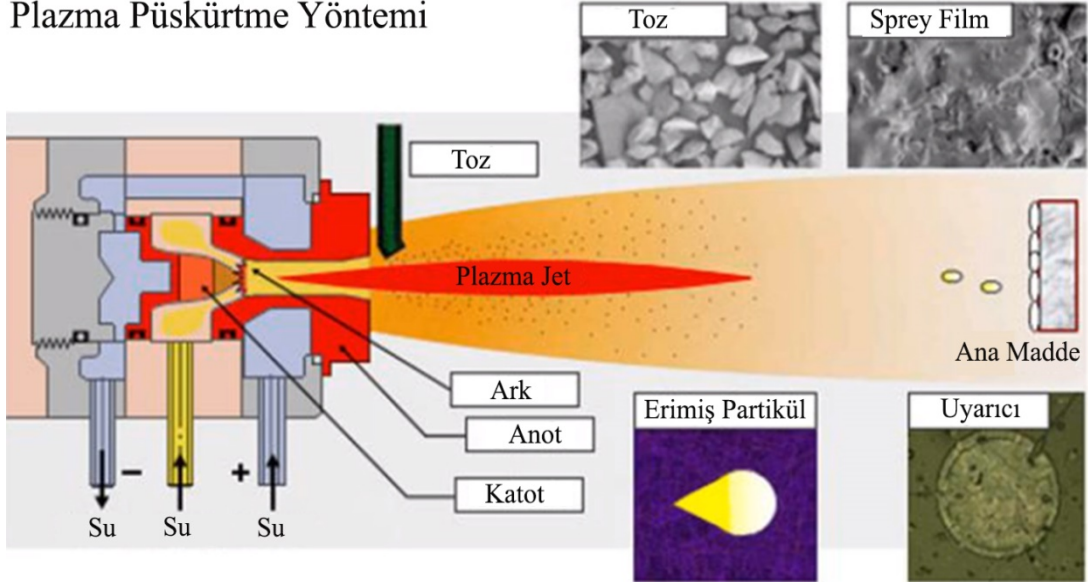
Parça üretim sürecinin şematik gösterimi



Şekil 2.13. Sıkıştırma döküm yöntemi şematik gösterimi (Günay, 2009)

Plazma püskürtme yöntemi atomize edilmiş ergimiş metal parçalarının takviye elemanları üzerine istenilen kalınlıkta püskürtülmesi işlemidir. Püskürtülen eriyik metal parçacıkları, takviye elemanlarına yapışmakta ve hızla katılaşmaya başlamaktadır(Şekil 2.14). Bu tip üretim yöntemi alüminyum gibi ergime sıcaklığı düşük olan metallerde uygulanmaktadır (Dengiz, 2018).

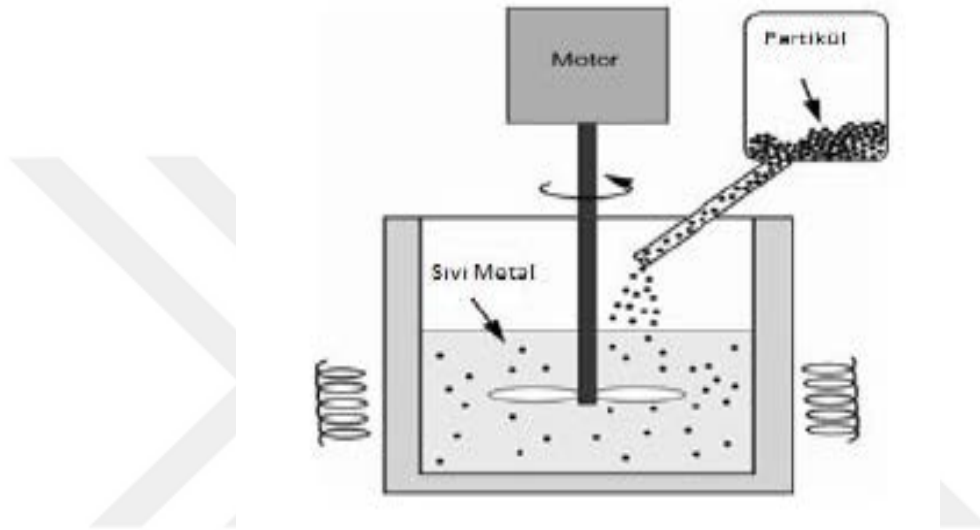
Plazma Püskürtme Yöntemi



Şekil 2.14. Plazma püskürtme yöntemi şematik gösterimi (Günay, 2009)

Sıvı metal karıştırma yönteminde eriyik metal içerisine ön işlem uygulanmış takviye malzemeleri, vorteks (girdap) oluşturan bir karıştırıcı yardımıyla karıştırıldıktan sonra karışımın bir kalıba dökülmesi işlemidir. Takviye malzemeleri olarak genellikle parçacık, kırılmış elyaf veya seramik malzemeleri

kullanılmaktadır. Seramik takviye elemanının büyüklüğü 5-100 μm dir ve %30 katkı oranına kadar karıştırılabilir. Bu üretim yöntemi mikron altı boyutlardaki takviye elemanları kullanılarak malzeme üretimi için uygun değildir. Aynı zamanda takviye elemanının %30 katkı oranından sonra topaklanmaya girdiği ve kompozit malzemenin özelliklerini olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Sıvı metal karıştırma metodu ile kompozit üretim ünitesinin şematik resmi Şekil 2.15'te görülmektedir (Bedir, 2006).



Şekil 2.15. Sıvı metal karıştırma yöntemi (Günay, 2009)

Karıştırmalı döküm metodunda yapı homojen olmakla birlikte, malzeme içinde gözenek ve boşluklar çok sık karşılaşılan sorunlardandır. Karıştırma işlemi koruyucu gaz veya vakum altında yapılması ergimiş metalin atmosferden gaz almasını önler ve böylece içinde boşluk oluşması önlenir. Bu yöntemin kolay ve ucuz olması avantajlı yönlerindedir ancak topaklanma, karışmama, istenmeyen ara yüzey reaksiyonları oluşumu gibi sorunlar dezavantajlarındandır (Hashim vd, 1999).

Üretilen metal matrisli kompozitlerinin üretimin kolay olması ve istenilen özelliklere sahip olması birçok parametreye bağlıdır. Bu parametreler şu şekilde sıralanabilir (Öztop, 2017).

- Sıvı metalin kimyasal ve fiziksel özellikleri
- Takviye elemanının boyutu, miktarı, yoğunluğu
- Karıştırıcı özellikleri
- Karıştırma işlem süresi, sıcaklığı, hızı

- Takviye ilave hızı, süresi
- Döküm işlemi ve süresi
- Döküm kalıbı malzemesi, kalıp sıcaklığı



3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tez çalışmasının bu kısmında Al-SiC, Al-Grf, Al-SiC-Grf kompozitlerin üretimi, mekanik özelliklerinin ve aşınma direncinin belirlenmesine yönelik yapılan önceki çalışmalar incelenmiştir. İncelenen bu çalışmalar üç başlıkta toplanmıştır.

3.1. Al-SiC Kompozitlerin Üretimi, Mekanik Özellikleri

Bu bölümde, Al-SiC kompozitlerin üretimi, mekanik özelliklerinin ve aşınma dirençlerinin araştırılmasına yönelik çalışmalara yer verilmiştir.

Rahman ve Rashed (2014) yaptıkları çalışmalarında karıştırma döküm yöntemiyle alüminyum matrisli SiC takviyeli kompozitler hazırlamışlardır. Ağırlıkça %0, %5, %10 ve %20 SiC takviyesiyle hazırlanan numunelere mikroyapı, Vickers sertlik, çekme dayanımı ve aşınma direnci testleri uygulanmıştır. Elde ettikleri sonuçlara göre Al matris içinde SiC parçacıklarının homojen olmayan dağılımda olduğu ve takviyenin artmasıyla birlikte gözeneklerinde arttığı belirlenmiştir. Takviye oranının artmasıyla birlikte sertlik ve çekme dayanımı artmış, maksimum değerlerine %20 SiC takviyesinde ulaşmışlardır. Ayrıca Pin-on-disk aşınma testinde SiC partikülleri ile Al matris takviyesinin aşınma direncini arttırdığını göstermiştir.

Mohanakumara vd (2014), çalışmalarında, karıştırmalı döküm yöntemiyle Al1100-Mg alaşımına ağırlıkça %0, %3, %6, %9 ve %12 SiC takviyesi yaparak kompozitler üretmiş ve %12,25 oranında ekstrüzyon yapmıştır. Elde ettikleri sonuçlara göre hem takviyeli hem de ekstüre edilmiş numunelerin Brinnell sertlik ve çekme dayanımlarının arttığı, maksimum değere %12 takviye oranında ulaşıldığı görülmüştür. Mikroyapı incelemelerinde ise homojen dağılım sergilenmemiş ve gözenekli yapı meydana gelmiştir. Aynı zamanda ikincil fazlarda oluştuğunu gözlemlemişlerdir.

Pavani ve Venkaiah (2015), çalışmalarında, ağırlıkça % 5, % 10 ve % 15 oranlarında SiC takviyesinde Al6063 matrisi kullanarak karıştırmalı döküm yöntemiyle kompozit malzemeler hazırlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Brinnell ve Rockwell sertlik değerleri hesaplanmış, artan takviye oranıyla birlikte sertlik değerleri de artmış ve % 15 takviye oranında maksimum değere ulaşmışlardır. Yapılan darbe testinde ise % 15 takviyesi yapılan numunelerin darbe dayanımları %5

ve %10 takviye oranlarına göre daha yüksek çıkmıştır. Mikroyapı analizinde ise SiC tozları homojen olarak dağılmış ve ikincil fazların oluşmadığı gözlenmiştir.

Devi vd (2012), yaptıkları çalışmalarında karıştırmalı döküm yöntemiyle Al6061 matrisine ağırlıkça % 5, % 10, % 15 ve % 20 oranlarında, 100 ve 200 mikron SiC takviyesi yaparak numuneler elde etmişler ve bu numunelere mikro yapı analizleri uygulamışlardır. Yapılan mikroyapı analizlerinde yer yer kümelenme olduğuna ve homojen olmayan bir dağılıma sahip olduğunu belirlemişlerdir.

Pawar ve Utpat (2014), çalışmalarında, ağırlıkça % 2,5, % 5, % 7,5 ve % 10 SiC takviye elemanı ve Al matrisi kullanarak karıştırma döküm yöntemiyle kompozit malzemeler hazırlamışlar. Hazırladıkları numunelere sertlik ve mikroyapı analizleri yapmışlar. Sertlik değerinin en iyi sonucu % 10 takviye oranında çıkmış ve takviye malzemesi matris içinde homojen olarak dağıldığını belirlemişlerdir. Çıkan en iyi sonuçlara göre ANSYS programında bir dişli tasarlanmış ve gerilme analizini yapmışlardır. Gerilme analizine göre, dişlilerin ucunda en yüksek gerilmelerin olduğunu göstermişlerdir.

Verma vd (2017), yürüttükleri çalışmalarında, Al356 matrisine ağırlıkça % 10 takviye oranında Al₂O₃ ve SiC takviyesi yaparak karıştırmalı döküm metoduyla kompozit malzemeler üretmişlerdir. Ürettikleri malzemelere mikroyapı analizi, sertlik, çekme, basma, darbe ve kesme testleri uygulamışlardır. Mikroyapı analizine bakıldığında takviye elemanlarının matris içinde homojen dağıldığını gözlemlemişlerdir. Al₂O₃ takviyeli matrisin sertlik değeri, basma dayanımı daha yüksek çıkmıştır. Al356/SiC kompozitin çekme dayanımının, darbe dayanımının ve kesme dayanımının daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir.

Kumar R. (2017), çalışmalarında, 220 ve 400 mesh boyutlarında ve ağırlıkça % 3,5, 6,5, 9,5 ve 12,5 oranlarında SiC takviye elemanı ve Al6063 matrisiyle karıştırmalı döküm yöntemi kullanarak metal matrisli kompozitler üretmişlerdir. Numunelere mikroyapı, sertlik ve çekme dayanımı testleri uygulamışlar. Mikroyapı analizlerinde SiC'in matris içinde homojen dağılım gösterdiği belirlenmiş. Çekme testi sonuçlarına göre de ağırlık oranı ve tane boyutu arttıkça çekme dayanımı arttığını tespit etmişlerdir. Ağırlık oranı ve tane boyutu artmasıyla sertlik değerleri de yükselmiştir.

Singla vd (2009), çeşitli oranlarda SiC (ağırlıkça % 5, % 10, % 15, % 20, % 25, ve % 30) ve Al alaşımıyla karıştırmalı döküm yöntemi kullanarak metal matrisli kompozitler üretmişlerdir. Kompozitlere mikroyapı analizi, sertlik ve darbe testi uygulamışlardır. Sonuçlara göre takviye elemanının matris içinde homojen dağıldığı ve az miktarda gözeneğe rastlandığı belirlenmiştir. Aynı zamanda %25 takviye oranında sertlik ve darbe dayanımının en yüksek değerlere bu takviye oranında ulaştığı belirlenmiştir.

Hindi vd (2015), bu çalışma ile karıştırma döküm yöntemi kullanarak, ağırlıkça % 2, 4 ve 6 oranlarında SiC parçacıkları, Al 6063 alüminyum alaşımına takviye ederek kompozit malzeme üretmişlerdir. SiC takviyesinin artışı ile sünekliğin azaldığı, sertlik ve çekme dayanımının ise arttığı tespit edilmiştir. Darbe dayanımının başlangıçta arttığı ve daha sonra SiC takviyesinin artırılması ile azaldığı gözlenmiştir.

Bajaj (2011), bu çalışmada, karıştırma döküm yöntemini kullanarak, ağırlıkça % 2.5, 5, 7.5, 10 oranlarında SiC, Al₂O₃, ve SiC+ Al₂O₃ takviyeli, alüminyum döküm alaşımı (LM6) matrisli kompozit malzeme üretimi gerçekleştirmiştir. Elde edilen numunelerin sertlik, çekme ve darbe deneyleri ile mekanik özellikleri incelenmiştir. Takviye oranının artışı ile sertliğin, çekme dayanımı ve darbe dayanımının artış gösterdiği belirlenmiştir. Mekanik özelliklerde en fazla artış, SiC ve Al₂O₃ takviye elemanlarının birlikte ilave edilmesiyle elde edilen kompozitler de tespit edilmiştir.

SiC takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzemeler üzerine yapılan çalışmalar Çizelge 3.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.1. Al/SiC kompozitler üzerine yapılan çalışmalar

Yazarlar	Malzeme	Konu	Sonuç
Rahman vd. (2014)	Matris malzemesi alüminyum, Takviye elemanı ağırlıkça % 5, 10 ve 20 oranlarında 74-53µm SiC tozu	Karıştırmalı döküm yöntemiyle SiC takviyeli alüminyum kompozitlerin üretimi ve mekanik testleri	Mikroyapı analizinde homojen olmayan dağılım ve topaklanma olduğu belirlenmiştir. Sertlik değerinin en yüksek değeri Al+%20SiC kompozitin de 24,5 HV'den 45,40 HV'ye çıkmıştır. Çekme dayanımı 28,45 MPa'dan 77,56 MPa'a Al+%20 SiC kompozitin de ulaşılmıştır. Aşınma testinde aşınma miktarı en iyi sonucunu Al+%20SiC kompozitin de elde edilmiştir.
Mohanakumara vd. (2014)	Al 1100-Mg alaşımı, Takviye malzemesi 20 µm boyutunda ve ağ. % 3, 6, 9 ve 12 oranlarında SiC tozu	Karıştırmalı döküm yöntemiyle SiC takviyeli AMK üretimi, % 12,5 oranında ekstrüzyonu ve mekanik testleri	Mikroyapı analizinde takviye elemanının matris içinde homojen dağıldığı gözlemlenmiştir. En yüksek Brinnell sertlik değeri % 12 takviye oranı için 410 BHN, ekstrüze numunesi için 49 BHN çekme dayanımı ise % 12 takviye oranında 181,2 MPa iken eksture halde için 345 MPa çıkmaktadır.
Pavani vd. (2015)	Al6063 Matrisi % 5, 10 ve 15 ağırlık oranlarında SiC tozu	Karıştırmalı döküm yöntemiyle üretilen Al6063-SiC matrisli kompozitin mekanik özellikleri	SiC tozları matris içinde homojen dağılım sergilemiştir. En yüksek sertlik değerine % 15 katkı oranında ulaşılmış, 97,5 BHN ve 27,5 HRC çıkmıştır. Darbe dayanımı ise 18 Nm değeri ile % 15 takviye yapılan kompozitte ulaşılmıştır.

Çizelge 3.1. (devam) Al/SiC kompozitler üzerine yapılan çalışmalar

Devi vd (2012)	Al6061 matrisi, 100 ve 200 µm boyutunda ağ. % 5, 10, 15 ve 20 takviye oranlarında SiC	Karıştırmalı döküm yöntemiyle üretilen Al6061-SiC metal matrisli kompozitin mikroyapı analizi	Yapılan mikroyapı analizinde yer yer topaklanma olduğu ve homojen olmayan bir dağılım görüldüğü belirlenmiştir.
Pawar vd (2014)	Alüminyum matrisi ağırlıkça % 2,5, 5, 7,5 ve 10 oranlarında SiC tozu	Karıştırmalı döküm yöntemiyle üretilen Al6061-SiC metal matrisli kompozitin sertlik ve mikroyapı analizi, optimum sonuçlara göre Ansys’de dişli çark tasarımı	Numunelerin mikro yapısına bakıldığında takviye elemanı homojen bir şekilde dağılmıştır. Sertlik değeri 28,5 BHN’den 60,3 BHN değerine %10 katkı oranına ulaşmıştır. Ansys’de yapılan gerilme analize göre en yüksek gerilmeler dişli uçlarında görülmüştür.
Verma vd (2017)	Al356 matrisi, ağ. % 10 oranında SiC tozu, ağ. % 10 oranında Al ₂ O ₃ tozu,	Karıştırmalı döküm yöntemiyle üretilen Al356/SiC ve Al356/SiC kompozitlerinin mekanik özelliklerinin analizi	Mikroyapı analizinde takviye elemanlarının matris içinde homojen dağıldığını gözlemlemişlerdir. Sertlik değeri en yüksek değeri Al356-%10Al ₂ O ₃ için 52 HRC’den 99,3 HRC’ye, çekme dayanımı max. Al356-%10 SiC için 236 MPa’dan 385 MPa’a, basma dayanımı max. Al356-%10 Al ₂ O ₃ için 398 MPa’dan 440 MPa’a yükselmiştir.

Çizelge 3.1. (devam) Al/SiC kompozitler üzerine yapılan çalışmalar

Kumar vd (2017)	Al6063 matris 220 ve 400 mesh boyutlarında ve ağırlıkça % 3,5, 6,5, 9,5 ve 12,5 oranlarında SiC takviye elemanı	Karıştırmalı döküm yöntemiyle üretilen Al6063- SiC metal matrisli kompozitin mekanik özellikleri	Mikroyapı analizlerinde SiC'in matris içinde homojen dağılım gösterdiği belirlenmiş. En iyi çekme değeri 98 MPa değerinden 169 MPa değerine yükselerek 400 mesh boyutunda % 12,5 takviye oranında çıkmıştır. Max sertlik değeri 49,8 HV'den 76,1 HV değerine artarak 400 mesh boyutunda % 12,5 takviye oranında çıkmıştır.
Singla vd (2009)	Alüminyum alaşımı, ağırlıkça % 5, % 10, % 15, % 20, % 25, ve % 30 oranlarında SiC tozu	Karıştırmalı döküm yöntemiyle üretilen Al-SiC metal matrisli kompozitin mekanik özellikleri	Takviye elemanının matris içinde homojen dağıldığı ve az miktarda poroziteye rastlandığı belirlenmiştir. % 25 takviye oranında en iyi sertlik ve darbe sonuçları elde edilmiştir. Sertlik değeri 28,5 BHN'den 45,5 BHN' ye, darbe dayanımı ise 12 Nm'den 36 Nm'ye yükselmiştir.
Hindi vd (2015)	Al6063 alaşımı, ağırlıkça % 2, 4 ve 6 oranlarında, 200- 300mesh boyutunda SiC parçacıkları	Karıştırmalı döküm yöntemiyle üretilen Al6063- SiC metal matrisli kompozitin mekanik özellikleri	Mikroyapı analizinde homojen dağılım gözlenmiş ve topaklanmaya rastlanmamıştır. Sertlik değerine %6'luk katkı oranında 57,2 HV, çekme dayanımı % 6'luk takviye de 112,2 MPa, darbe dayanımı ise % 4 katkı oranında 18,5 J değerlerinde en iyi sonuçlar belirlenmiştir.

Çizelge 3.1. (devam) Al/SiC kompozitler üzerine yapılan çalışmalar

Bajaj (2011)	Alüminyum döküm alaşımı(LM6), ağı. % 2,5, 5, 7,5 ve 10 oranlarında SiC tozu, ağı. %2,5, 5, 7,5 ve 10 oranların da Al ₂ O ₃ tozu	Karıştırmalı döküm yöntemiyle üretilen Al-SiC, Al-Al ₂ O ₃ , Al-SiC/Al ₂ O ₃ metal matrisli kompozitlerin mekanik özellikleri	Takviye oranının artışı ile sertliğin, çekme dayanımı ve darbe dayanımının artış gösterdiği belirlenmiştir. Mekanik özelliklerde en fazla artış, SiC ve Al ₂ O ₃ takviye elemanlarının birlikte ilave edilmesiyle elde edilen kompozitler de tespit edilmiştir.
Yılmaz (2019)	Atık içecek kutularından elde edilen Al alaşımı, Ağırlıkça % 1, 3, 5, 7 ve 9 oranlarında SiC tozu	Karıştırmalı döküm yöntemiyle üretilen Al-SiC takviyeli MMKlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi	Mikroyapı analizlerinde kompozit yapı içinde SiC tozları homojen şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir. SiC kompozitlerde, en yüksek sertlik 89,80 HV _{0,2} (AlSiC9), max. çekme ve basma dayanımı sırasıyla 193,47 MPa (AlSiC1) ve 763.69 MPa (AlSiC5), kırılma enerjisi 32,82 kJ (AlSiC1), elastisite modülü 74,9 GPa (AlSiC5) bulunmuş. Aşınma testinde ise min. aşınma oranı AlSiC9 kompozitinde elde edilmiştir.

3.2. Al-Grafen Kompozitlerin Üretimi, Mekanik Özellikleri

Bu bölümde, Al-Grafen kompozitlerin üretimi, mekanik özelliklerinin ve aşınma dirençlerinin araştırılmasına yönelik çalışmalara yer verilmiştir.

Prakash vd. (2017), çalışmalarında, Al7075 matrisi ile ağırlıkça % 0,5, 1, 1,5 ve 2 takviye oranlarında Grafen Nano Plakalar (GNP's) karıştırmalı dökümle kompozitler geliştirmişlerdir. Yapılan deneylere bakıldığında en iyi çekme dayanımı 155,1 N/mm² değeri ile % 1,5 takviye oranında belirlenmiştir. Mikroyapı incelemelerin de ise takviye malzemesinin matris içinde homojen dağıldığını gözlemlemişlerdir.

Şenel vd. (2015), yaptığı çalışmalarında grafen takviyeli alüminyum matrisli kompozitler ile ilgili yapılan çalışmalar, üretim yöntemleri ve aşamaları, mekanik testlerin sonuçlarını araştırmışlardır. Yaptıkları araştırmalar neticesinde genel anlamda grafenin ağırlıkça % 0,5 takviye oranına kadar kompozitlerin mekanik özelliklerini artırdığını belirlemişlerdir.

Öztop ve Gürbüz. (2017), atık alüminyum içecek kutularından elde ettikleri matris ve ağırlıkça % 0,1, 0,3 ve 0,5 oranlarında grafen takviye elemanı ile karıştırmalı döküm yöntemiyle kompozit malzemeler üretmişlerdir. Grafen takviye oranının artmasıyla sertlik 70 HV'den 80,05 HV'ye çıkmış ve en yüksek değerine % 0,1 takviye oranında ulaşmıştır. Grafenin yoğunluğunun, matrisin yoğunluğundan düşük olması nedeniyle ağırlıkça takviye oranlarının artmasıyla, kompozit malzemelerin yoğunluklarının da azaldığı görülmüştür. Porozite oranları ise kompozitler içindeki grafen takviye oranının artmasıyla artmıştır. Grafen takviyeli kompozitlerin kırık yüzey SEM görüntülerinden, grafen plakaların Al tane sınırlarına yerleştiği ve homojen dağıldığı görülmüştür.

Kumar ve Xavior (2014), çalışmalarında grafen takviyeli metal matrisli kompozitler üzerine derleme makale yazmışlardır. Grafen hakkında genel bilgiler verilmiş, önceden sentezlenen ve karakterize edilen malzemeler de dâhil olmak üzere kompozitlerde grafen dispersiyonunun hakkında genel bakış sunulmuş, üretim yöntemleri ve kuvvetlendirme mekanizmaları üzerinde durulmuştur.

Venkatesan ve Xavior (2017), karıştırmalı döküm yöntemi ile grafen takviyeli alüminyum matrisli kompozitler üretmişler ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir.

% 0,33, % 0,55, ve % 0,77 ağırlık oranlarındaki grafen takviyeli kompozitlerde uygun değere % 0,33 ağırlık oranında ulaşmışlardır.

Yang vd. (2018), döküm yöntemiyle grafen katkılı alüminyum metal matris kompozit malzeme üretmişlerdir. Alüminyum tozu içine ağırlıkça % 0,06, 0,14, 0,21 ve 0,54 oranında grafen katkısı yapılmıştır. Oda sıcaklığında katılaştıktan sonra numunelere 450°C'de sıcak ekstrüzyon uygulanmıştır. Ekstrüzyon öncesi ve sonrası numunelere testler uygulanmıştır. Buna göre; sıcak ekstrüzyon öncesi akma ve çekme dayanımındaki artış sırasıyla % 116 ve % 45 olarak ölçülmüştür. Sıcak ekstrüzyon sonrası ise akma ve çekme dayanımındaki artış sırasıyla % 228 ve % 93 olarak ölçülmüştür.

Rashad vd. (2015), çalışmalarında alüminyum-grafen nanoplaka(GNP) kompozitlerin ekstrüzyon öncesi ve sonrası mikroyapı, mekanik ve elektrokimyasal özelliklerini incelemişlerdir. Ağırlıkça % 0,25, % 0,5 ve %1 oranında takviye yapılan kompozitlerin mikroyapı incelemelerin de ikincil fazlara rastlanmamış ve takviye elemanının homojen dağıldığını belirlemişlerdir. Ekstrüzyon öncesinde çekme dayanımı % 0,25 takviye oranında en iyi çıkmasına rağmen, ekstrüzyon sonrasında ise en iyi çekme dayanımı %1 takviyesinde ulaşmışlardır. Yoğunluk ve sertlik sonuçlarına bakıldığında ise uygun değer sonuçlara % 1 takviye oranında 2,6943 g/mm³ ve ekstrüzyon öncesi sertlik 77 HV, sonrasında ise 90 HV çıkmıştır.

Çizelge 3.2'de Al matrisli grafen takviyeli kompozitler üzerine yapılan çalışmalar verilmiştir.

Çizelge 3.2. Al/Grafen kompozitler üzerine yapılan çalışmalar

Yazar	Malzeme	Konu	Sonuç
Prakash vd (2017)	Al7075 ağ. %0.5, 1, 1.5 ve 2 oranlarında, 15µm boyutunda GNP's	Karıştırmalı döküm yöntemiyle kompozit üretimi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi	% 1,5 katkı oranında çekme dayanımı en fazla çıkmıştır ve 155,1 N/mm ² 'dir. Mikroyapı analizine bakıldığında ise GNP tozları tane sınırlarına yerleşmiş ve homojen dağılım sergilemiştir.
Şenel vd (2015)	Grafen	Grafen katkılı alüminyum matrisli kompozitler hakkında genel bilgiler verilmiş,üzerineyapılan çalışmalardan bahsedilmiştir.	Yaptıkları çalışmaya göre grafenin üstün özelliklerinden dolayı birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Genel anlamda % 0,5 katkı oranına kadar grafen Kompozitlerin mekanik özelliklerini artırdığını belirtmişlerdir.
Öztop vd (2017)	Atık Alüminyum, ağırlıkça % 0,1, 0,3 ve 0,5 Grafen	Atık içecek kutularından elde edilen alüminyum matris ve takviye edilen grafen ile kompozit üretimi	SEM analizinde grafen Al tane sınırlarına yerleştiği ve homojen dağıldığı görülmüştür. Sertlik değeri % 0,1 takviye oranında 70 HV'den 80,01 HV'ye yükselmiştir. Yoğunluğa bakıldığında ise için takviye oranı arttıkça azalmış ve porozite artmıştır.
Kumar vd (2014)	Grafen	Grafen takviyeli metal matrisli kompozitler üzerine derleme makale	Yazdıkları derleme makalesinde grafenin fiziksel ve mekanik özelliklerinden bahsetmişler, kullanım alanları hakkında bilgiler verilmiş, mekanik özelliklere nasıl etkilediğini anlatmışlardır.

Çizelge 3.2 (devam) Al/Grafen kompozitler üzerine yapılan çalışmalar

Venkatesan vd.(2017)	Alüminyum, ağı. % 0,33, % 0,55, ve % 0,77 Grafen	Karıştırmalı döküm yöntemiyle grafen takviyeli kompozit üretimi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi	Çekme dayanımı 90 MPa'dan 145 MPa'a % 0,33 katkı oranında yükselmiştir. Brinnell sertlik değerleri tüm katkı oranlarında azalmıştır. SEM görüntülerinde grafen homojen dağılmış ve tane sınırlarına yerleştiği belirlenmiştir.
Rashad vd. (2015)	Alüminyum, ağı. % 0,25, % 0,5 ve %1 oranında ve 0.1µm boyutunda GNP	Alüminyum-GNP Kompozitlerin ekstrüzyon öncesi ve sonrası mikroyapı, mekanik ve elektrokimyasal özelliklerinin incelenmesi	SEM görüntülerinde grafen homojen dağılmış ve tane sınırlarına yerleştiği belirlenmiştir. Sertlik değeri saf Al için ekstrüzyon öncesi ve sonrasında 69 HV ve 76 HV'dir. Ekstrüzyon öncesi ve sonrası en yüksek sertlik değeri %1 için 77 HV ve 90 HV'dir. Ekstrüzyon öncesi ve sonrası saf Al için çekme dayanımı 100 MPa'dan 180 MPa çıkarken ekstrüzyon öncesi en yüksek sertlik değeri % 0,25 katkı oranı için 120 MPa, sonrasında ise %1 katkı oranı için 200 MPa çıkmaktadır.

Çizelge 3.2 (devam) Al/Grafen kompozitler üzerine yapılan çalışmalar

Yang vd (2018)	Alüminyum(7 μ m), ağı. % 0,06, 0,14, 0,21 ve 0,54 Grafen	Basınçlı infiltrasyon yöntemiyle grafen katkılı kompozitler üretmişler ve bu kompozitlere ekstrüzyon uygulamışlar. Ekstrüzyon öncesi ve sonrası mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır.	SEM görüntülerinde grafen homojen dağılmış ve tane sınırlarına yerleştiği belirlenmiştir. Ekstrüzyon öncesi ve sonrası en yüksek çekme dayanımı % 0,54 katkı oranında çıkmıştır. Bu değerler sırasıyla 125 MPa'dan 190 MPa'a, 130 MPa'dan 280 MPa' a artmıştır.
Yılmaz (2019)	Atık içecek kutularından elde edilen Al alaşımı, Ağırlıkça % 0,05, 0,15, 0,3, 0,45, 0,6 ve 0,75 oranlarında grafen	Karıştırmalı döküm yöntemiyle üretilen Al-grafen takviyeli MMKlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi	Mikroyapı analizlerinde kompozit yapı içinde grafen tozları homojen şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir. Grafen takviyeli kompozitlerde, en yüksek sertlik 78.84 HV _{0,2} (AlGrf0,05), max. çekme ve basma dayanımı sırasıyla 223.84 MPa (AlGrf0,45) ve 756.04 MPa (AlGrf0,05), kırılma enerjisi 117.42 kJ (AlGrf0,05), elastisite modülü 114.4 GPa (AlGrf0,75) bulunmuş. Aşınma testinde ise min. aşınma oranı AlGrf0.75 kompozitinde elde edilmiştir.

3.3. Al-SiC-Grafen Katkılı Hibrit Kompozitlerin Üretimi, Mekanik Özellikleri

Bu bölümde, Al-SiC-Grafen hibrit kompozitlerin üretimi, mekanik özelliklerinin ve aşınma dirençlerinin araştırılmasına yönelik çalışmalara yer verilmiştir.

Kaushik ve Rao (2016), karıştırmalı döküm yöntemiyle Al6082-SiC-Grafit hibrit kompozitler üretmişlerdir. Al6082 matrisi, ağırlıkça % 10 SiC_p (32µm boyutunda) ve % 5 SiC_p+ % 5 Gr (40µm boyutunda) kullanılarak hazırlanan kompozitlere mikro yapı, yoğunluk, sertlik ve aşınma testleri uygulamışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre takviye elemanlarının dağılımı homojen olduğunu tespit etmişlerdir. Yoğunluk ve sertlik değerleri sırasıyla Al6082 alaşımı için 2,7g/mm³-52 HV, Al6082-SiC için 2,79 g/mm³-67 HV, Al6082-SiC/Gr için 2,74 g/mm³-60 HV değerlerini ölçmüşlerdir.

Aybarc vd. (2018), SiC, Al₂O₃ ve Grafen takviyeli alüminyum metal matrisli kompozitler üzerine genel araştırma yapmışlardır. Kompozit malzemeler, Al₂O₃ takviyeli alüminyum metal matris kompozitler, SiC takviyeli alüminyum metal matris kompozitler ve grafen takviyeli alüminyum metal matris kompozitler üzerine yapılan çalışmaları incelemişlerdir.

Devaraju vd. (2013), sürtünmeli karıştırmalı döküm yöntemiyle Al 6061-T6 matris içine SiC+Grafit ve SiC+ Al₂O₃ takviyeli hibrit kompozitler üretmişlerdir. Ürettikleri kompozit numunelerine aşınma testi uygulayarak mikroyapı ve sertlik değerlerini ölçmüşlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre takviye elemanları matris içinde homojen bir şekilde dağılım gözlenmiştir. Matris elemanının sertlik değeri 104 HV iken Al-SiC/Gr sertlik değeri 108 HV'ye, Al-SiC/ Al₂O₃ 120HV'ye çıkmıştır. Aşınma deney sonuçlarına göre Al-SiC/Gr hibritinin sürtünme katsayısı, Al-SiC/ Al₂O₃ hibrit kompozitinden daha düşük çıkmıştır. Al-SiC/Gr hibrit kompoziti grafenin katı yağlacılık özelliğinden dolayı daha üstün aşınma direnci sergilemiştir.

Leng vd. (2008), sıkıştırılmalı döküm yöntemi kullanılarak Al-SiC/Gr hibrit kompozitleri üretmişlerdir. Bu kompozitler de kullanılan grafen katkı oranının (hacimce % 3, % 5 ve % 7) ve grafen tane boyutunun (1µm, 6 µm, 10 µm, 20 µm, 70 µm) mekanik özelliklere etkisini incelemişlerdir. Yapılan mikroyapı analizlerinde ikincil bir faz tespit edilmemiştir. Grafenin artan katkı oranı ve tane büyüklüğü ile çekme mukavameti 420 MPa'dan 235 MPa'a düşmüştür.

Krishna ve Xavier (2014), karıştırmalı döküm yöntemiyle Al/SiC ve Al/SiC-Grafit (ağırlıkça % 5, % 10 ve % 15 grafit katkı oranlarında) kompozitleri üretmişler ve bu kompozitlere çekme, yoğunluk, mikroyapı analizleri yapılmıştır. Çekme deney sonuçlarına göre Al/SiC-Gr kompozitinin çekme dayanımı 192,45 MPa, Al/SiC çekme dayanımı 150,95 MPa çıkmıştır. Yoğunluklara bakıldığında ise Al/SiC-Gr kompozitinin 2,63 gm/cc, Al/SiC kompozitinin 2,73 gm/cc olduğu belirlenmiştir. Mikroyapı analizinde ise homojen bir yapı olduğu tespit edilmiştir.

Lokesh ve Mallik (2017), Al6061 matrisi içine ağırlıkça % 3 oranında 10 µm boyutunda grafit, ağırlıkça % 3, 6 ve 9 oranında ve 30µm boyutunda SiC takviyesi yapılarak hibrit kompozitler üretilmiş, numuneler aşınma deneyine tabi tutulmuştur. Taguchi tekniğiyle istatistiksel olarak aşınma deneyi hesaplanmış ve deneysel verilere karşılaştırma yapılmıştır. Aşınma oranına bakıldığında deneysel sonuçlar ile istatistiksel sonuçlar arasındaki hata oranı yaklaşık % 3,11 çıkmıştır.

Aruri D. Vd. (2013), Sürtünmeli karıştırma döküm yöntemiyle Al-SiC/Grafit (hacimce % 8 SiC, % 4 Gr) ve Al-SiC/Al₂O₃ (hacimce % 8 SiC, % 4 Al₂O₃) hibrit kompozitler üretmişler ve farklı dönme hızlarında(900 rpm, 1120 rpm ve 1400 rpm) üretilen numunelerin aşınma ve mekanik özelliklere etkisini incelemişlerdir. Mikroyapı görüntülerinde homojen dağılım olduğu ve topaklanma olmadığı görülmüştür. Mikro sertlik değerlerine bakıldığında en yüksek sertlik değeri 130 HV değer ile 900 rpm hızda hazırlanan Al-SiC/Al₂O₃ kompozitin de ulaşılmıştır. Çekme test sonuçlarına göre Al alaşımın çekme değeri 295 MPa olmasına rağmen kompozitlerde en yüksek değer 219 MPa ile 900rpm hızda hazırlanan Al-SiC/Gr numunelerinde elde edilmiştir. Aşınma deney verilerine göre Al alaşımına göre aşınma oranları düşmüş ve en iyi sonuçlara 900 rpm hızda hazırlanan Al-SiC/Gr hibrit kompozitin de ulaşılmıştır.

Kumar (2018), çalışmasında matris olarak ZA-27 alaşımı, takviye elemanı olarak da ağırlıkça % 1, 5 SiC , % 0,5 Grafit kullanarak ultrasonik karıştırma döküm metoduyla hibrit kompozitler üretmiş. Ürettiği bu kompozitlere mikroyapı analizi, mikro sertlik, çekme testi ve farklı kombinasyonlar da aşınma testine tabii tutmuştur. Ayrıca aşınma testi için varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Hibrit kompozitin yapısına bakıldığında takviye elemanları homojen olarak dağılmış ve SiC-Gr tozları matris elemanı tanelerinin etrafında yoğunlaştığı görülmüştür. Mikro sertlik değeri ZA- Al27 alaşımı için 120,6 HV iken ZA-27+1,5% SiC+0,5% Gr hibritinde bu değer

135,4 HV'ye, çekme dayanımı ise 396 MPa'dan 428 MPa'a yükselmiştir. Aşınma test sonuçlarına göre hibrit kompozitin tüm kombinasyonlar da aşınma miktarı azalmıştır.

Çizelge 3.3'te Al matrisli SiC/grafen takviyeli hibrit kompozitler üzerine yapılan çalışmalar verilmiştir.



Çizelge 3.3. Hibrit kompozitler üzerine yapılan çalışmalar

Yazar	Malzeme	Konu	Sonuçlar
Kaushik vd (2016)	Al6082, ağ. % 10 oranında, 32µm boyutunda SiC _p ağ. % 5 oranında, 40 µm boyutunda Grafen	Al6082-SiC ve Al6082-SiC/Gr kompozitlerinin üretimi, ısıtıl işlem öncesi ve sonrası mekanik testlerinin yapılması	Al6082 alaşımının yoğunluğu 2,7 mm/cc iken kompozitinin 2,79 mm/cc ve Al6082-SiC/Gr hibrit kompozitinin 2,74mm/cc'dir. Isıtıl işlem öncesi sertlik değerleri sırasıyla 43, 54, 49 BN iken ısıtıl işlem sonrası 52, 67, 60 BN çıkmaktadır.
Aybarc vd (2018)	Alüminyum matrisli, SiC, Al ₂ O ₃ ve Grafen takviye elemanları	SiC, Al ₂ O ₃ ve Grafen takviyeli alüminyum metal matrisli kompozitler üzerine genel araştırma yapmışlardır	Kompozit malzemeler, Al ₂ O ₃ takviyeli alüminyum MMK, SiC takviyeli alüminyum MMK ve grafen takviyeli alüminyum MMK üzerine yapılan çalışmaları incelemişlerdir.
Devaraju vd (2013)	Al6061-T6 20 µm boyutlarında SiC, Grafit, Al ₂ O ₃	Al-SiC/Gr ve Al-SiC/ Al ₂ O ₃ hibrit kompozitlerinin üretimi ve mikroyapı, sertlik ve aşınma dayanımlarının incelenmesi	Al alaşımının sertlik değeri 105 HV iken Al-SiC/Gr hibritinin 110 HV ve Al-SiC/ Al ₂ O ₃ hibritinin 120 HV belirlenmiştir. Aşınma sonuçlarına göre Al-SiC/Gr hibritinin aşınma oranı en düşük çıkmıştır. Mikroyapıda ise takviye elemanları homojen bir şekilde dağılım göstermektedir.

Çizelge 3.3. (devam) Hibrit kompozitler üzerine yapılan çalışmalar

Leng vd (2008)	Al, SiC, hacimce % 3, 5, 7 oranlarında 1, 6, 10, 20, 70 µm boyutunda Grafit	Al-SiC/Gr hibrit kompozitinin farklı kombinasyonlar da üretimi ve mekanik testleri	Yapılan mikroyapı analizlerinde ikincil bir faz tespit edilmemiştir ve takviye elemanları homojen bir şekilde dağılmıştır. Çekme testine göre hibrit Kompozitlerin çekme dayanımları grafen takviyesiyle düşmüştür.
Krishna vd (2014)	Al6061, SiC (37 µm), Grafit (1 µm)	Al6061-SiC & Al6061-SiC/Gr kompozitlerinin ağırlıkça % 5, % 10 ve % 15 takviye oranlarında üretimi	Yoğunluk Al-SiC kompozitin de % 5 için 2,7 gm/cc, Al-SiC/Gr hibritinde % 15 için 2,63 gm/cc'dir.Mikroyapı analizinde ise homojen bir yapı olduğu tespit edilmiştir. Çekme dayanımı Al-SiC % 15 için 219,45 MPa, Al-SiC/Gr 150,95 MPa en yüksek çıkmıştır.
Lokesh vd (2017)	Al6061, ağ. %3 oranında 10 µm boyutunda grafit ağ. % 3, 6 ve 9 oranında ve 30 µm boyutunda SiC	Karıştırmalı döküm yöntemiyle üretilen hibrit kompozitler aşınma testine tabii tutulmuş ve Taguchi tekniğiyle istatistiksel olarak aşınma deneyi sonuçları da hesapmış ve veriler karşılaştırılmıştır.	Aşınma oranına bakıldığında deneysel sonuçlar ile istatistiksel sonuçlar arasındaki hata oranı yaklaşık % 3,11 çıkmıştır.

Çizelge 3.3. (devam) Hibrit kompozitler üzerine yapılan çalışmalar

<p>Aruri vd (2013)</p>	<p>Al6061-T6 SiC Grafit Al₂O₃</p>	<p>Sürtünmeli karıştırma döküm yöntemiyle Al-SiC/Gr (vol. % 8 SiC, % 4 Gr) ve Al-SiC/Al₂O₃ (vol. % 8 SiC, % 4 Al₂O₃) hibrit kompozitler üretmişler ve farklı dönme hızlarında(900 rpm, 1120 rpm ve 1400 rpm) üretilen numunelerin aşınma ve mekanik özelliklere etkisini incelemişlerdir</p>	<p>Alaşımın sertlik değeri 105 HV iken en yüksek sertlik değeri 135 HV ile 900 rpm dönme hızında hazırlanan Al-SiC/Al₂O₃ hibritinde çıkmıştır.Çekme dayanımı Al6061-T6'nın 295 MPa iken hibrit Kompozitlerin bu değerden düşüktür. Aşınma oranlarına bakıldığında en iyi aşınma oranına sahip kompozit 900 rpm dönme hızında hazırlanan Al-SiC/Gr 'dir.</p>
<p>Kumar (2018)</p>	<p>ZA-27 Ağ. % 1,5 SiC (50nm) Ağ. % 0,5 Gr (8 µm)</p>	<p>Ultrasonik karıştırma yöntemiyle hibrit kompozit üretmiş ve farklı kombinasyonlarda aşınma testi yapmıştır. Ayrıca aşınma testi için varyans analizi (ANOVA) yapmıştır.</p>	<p>Hibrit kompozitin yapısına bakıldığında takviye elemanları homojen olarak dağılmış ve SiC-Gr tozları matris elemanı tanelerinin etrafında yoğunlaştığı görülmüştür. Mikro sertlik değeri ZA- Al27 alaşımı için 120,6 HV iken ZA-27+1,5% SiC+0,5% Gr hibritinde bu değer 135,4 HV'ye, çekme dayanımı ise 396 MPa'dan 428 MPa'a yükselmiştir. Aşınma test sonuçlarına göre hibrit kompozitin tüm kombinasyonlar da aşınma miktarı azalmıştır.</p>

Çizelge 3.3. (devam) Hibrit kompozitler üzerine yapılan çalışmalar

Yılmaz (2019)	Atık içecek kutularından elde edilen Al alaşımı, ağı. % 1 ve 9 oranlarında SiC, ağı. % 0,05, 0,15, 0,3, 0,45, 0,6 ve 0,75 oranlarında grafen	Karıştırmalı döküm yöntemiyle üretilen Al-SiC-grafen takviyeli MMKlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi	Mikroyapı analizlerinde kompozit yapı içinde grafen tozları homojen şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir. SiC1/Grf0 hibrit kompozitlerde, en yüksek sertlik 54,4 HV _{0,2} (Al-SiC1/Grf0,3), max. çekme ve basma dayanımı sırasıyla 178,56 MPa (Al-SiC1/Grf0,45) ve 892,48 MPa (Al-SiC1/Grf0,15), kırılma enerjisi 158,01 kJ (Al-SiC1/Grf0,15), elastisite modülü 76,8 GPa (Al-SiC1/Grf0,75) bulunmuş. Aşınma testinde ise min. aşınma oranı Al-SiC1/Grf0,05 kompozitinde elde edilmiştir. SiC9/Grf0 hibrit kompozitlerde, en yüksek sertlik 75,66 HV _{0,2} (Al-SiC9/Grf0,3), max. çekme ve basma dayanımı sırasıyla 177,48MPa (Al-SiC9/Grf0,3) ve 609,79 MPa (Al-SiC9/Grf0,3), kırılma enerjisi 161,53 kJ (Al-SiC9/Grf0,05), elastisite modülü 56,9 GPa (Al-SiC9/Grf0,75) bulunmuş. Aşınma testinde ise min. aşınma oranı Al-SiC9/Grf0,75 kompozitinde elde edilmiştir.
---------------	--	--	--

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Malzeme

Bu tez kapsamında matris malzemesi olarak saf veya ticari alüminyum yerine alüminyum atık içecek kutularından elde edilen alüminyum alaşımı kullanılmıştır.

Takviye malzemesi olarak SiC ve grafen tozları seçilmiştir. SiC'in tane boyutu ortalama 44 μm 'dir. SiC özellikle yüksek basma dayanımı, aşınma direnci gibi üstün fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı seçilmiştir. SiC ağırlıkça % 1, % 3, % 5, % 7 ve %9 oranlarında takviye edilmiştir. Kullanılan grafenin kalınlığı 5-8 nm, çapı 10 μm 'dir. Son yıllarda birçok çalışmada yer alan grafen yüksek yağlayıcılık, hafiflik, yüksek mukavemet gibi özelliklerinden dolayı tercih edilmiştir. Grafen ağırlıkça % 0,05, % 0,15, % 0,3, % 0,45, % 0,6 ve % 0,75 oranlarında takviye edilmiştir. Hibrit kompozitlerde ise yapılan deneyler sonucu Al+ %1 SiC+ %xGrafen ve Al+%9 SiC+ %xGrafen olarak takviye edilmiştir.(x= 0,05, 0,15, 0,30, 0,45, 0,60 ve 0,75) Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de malzeme ve kodlamaları gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Al-SiC ve Al-Grafen kompozitlerinin malzeme kodlaması

Malzeme	Kodlama
Al	Al0
Al-%1SiC	AlSiC1
Al-%3SiC	AlSiC3
Al-%5SiC	AlSiC5
Al-%7SiC	AlSiC7
Al-%9SiC	AlSiC9
Al-%0,05Grafen	AlGrf0,05
Al-%0,15Grafen	AlGrf0,15
Al-%0,30Grafen	AlGrf0,30
Al-%0,45 Grafen	AlGrf0,45
Al-%0,60Grafen	AlGrf0,60
Al-%0,75Grafen	AlGrf0,75

Çizelge 4.2. Al-SiC+xGrafen hibrit kompozitlerin malzeme kodlaması (x=0,05, 0,15, 0,30, 0,45, 0,60 ve 0,75)

Malzeme	Kodlama
Al-%1SiC-%0,05Grafen	AlSiC1Grf0,05
Al-%1SiC-%0,15Grafen	AlSiC1Grf0,15
Al-%1SiC-%0,30Grafen	AlSiC1Grf0,30
Al-%1SiC-%0,45Grafen	AlSiC1Grf0,45
Al-%1SiC-%0,60Grafen	AlSiC1Grf0,60
Al-%1SiC-%0,75Grafen	AlSiC1Grf0,75
Al-%9SiC-%0,05Grafen	AlSiC9Grf0,05
Al-%9SiC-%0,15Grafen	AlSiC9Grf0,15
Al-%9SiC-%0,30Grafen	AlSiC9Grf0,30
Al-%9SiC-%0,45Grafen	AlSiC9Grf0,45
Al-%9SiC-%0,60Grafen	AlSiC9Grf0,60
Al-%9SiC-%0,75Grafen	AlSiC9Grf0,75

4.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Cihazlar

Ön Ergitme Düzeneği

Kompozit üretiminde matris malzemesi olarak kullanılacak olan alüminyum atık içecek kutularının üzerindeki boya ve kaplamaların giderilmesi ve alüminyum külçelerin elde edilmesi için bir ön ergitme düzeneği kurulmuştur. Bu düzenekte altı delikli bir soba kovası, bir ucu 90° dirsekli PVC boru, fön makinesi ve ince cidarlı çelik ergitme potası kullanıldı. Şekil 4.1’de ön ergitme düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Ön ergitme düzeneği

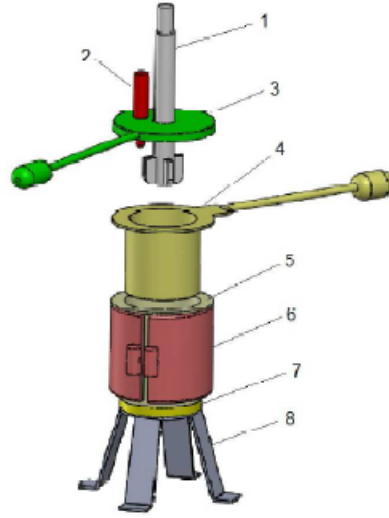
Elektrikli Ergitme Ocađı

Karıştırma döküm yöntemiyle kompozit üretimi için kompozit hazırlama düzeneği tasarlanıp, imalatı yapılmıştır. Şekil 4.2’de imalatı yapılan kompozit malzeme hazırlama fırını verilmiştir.



Şekil 4.2. Kompozit malzeme hazırlama düzeneği

Paslanmaz çelik malzemededen imal edilen dış pota üzerine 1,6 kW gücünde tek panjurlu seramik plakalı rezistans bağlanarak, sıcaklığı 1000 °C’ye kadar çıkabilen bir elektrikli fırın elde edilmiştir. Fırının içerisine yine paslanmaz çelikten yapılan bir başka pota yerleştirilmiş olup bu pota hem ergitme hem de döküm potası olarak tasarlanmıştır. Döküm işleminin rahat yapılabilmesi için bu potaya uç kısmı plastik kaplı olan metal bir sap eklenmiştir. Ergitme ve karıştırma işlemleri sırasında fırının üst kısmını kapatmak için yine uç kısmı plastik olan metal saplı bir kapak bulunmaktadır. Karıştırma işlemini gerçekleştirmek için kullanılan karıştırma mili paslanmaz çelik malzemededen ve bir ucu 40 mm çapında dört kanatlı olarak imal edilmiştir. Fırın içerisindeki ergitme işlemi için sıcaklığın kontrolü, standart 8 mm rakorlu M12 K-tip termokupl yardımıyla sağlanmıştır Şekil 4.3’de elektrikli ergitme fırını gösterilmiştir.



- | | |
|--------------------|--------------|
| 1- Karıştırma mili | 5- Dış pota |
| 2- Termokupl | 6- Rezistans |
| 3- Kapak | 7- Flanş |
| 4- Ergitme potası | 8- Sehpa |

Şekil 4.3. Elektrikli ergitme fırını şematik resmi

Mekanik karıştırıcı


Kompozit malzemelerin üretiminde, ilave edilen takviye malzemelerinin matris malzemesi içine karıştırılabilmesi için devir sayısı ayarlanabilen (200-3000 rpm) masa üstü mekanik karıştırıcı kullanılmıştır. Şekil 4.4’de kullanılan mekanik karıştırıcı gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Mekanik karıştırıcı

Hassas Terazi


Kullanılan tozların ve üretilen kompozit malzemelerin ağırlık ölçümlerinde Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında bulunan Radwag AS 220.R2 marka hassas terazi kullanılmıştır. Cihaz ve özellikleri Şekil 4.5’de verilmiştir.

	Kapasite: 220 g	Okunabilirlik: 0,1 mg
	Minumum Yük: 10 mg	Dara Ağırlığı: -220 mg
	Tekrarlanabilirlik: 0,1 mg	Lineerlik: $\pm 0,2$ mg
	Stabilizasyon Süresi : 3,5 s	Kefe Boyutu: \varnothing 85 mm
	Çalışma Sıcaklığı: +10°C - +40 °C	Net Yük/ Brüt Yük: 5,6/7,7 kg
	Kabin boyutu: 490mm x 400mm x 505 mm	Güç Kaynağı: 12-16 V DC/ 250 mA

Şekil 4.5. Hassas terazi

Ultrasonik Homojenizatör ve Ultrasonik Dağıtıcı Probu


Grafen tozunun etanol içerisinde dağıtılması için ultrasonik homojenizatör kullanılmıştır. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında bulunan Sonics marka ultrasonik homojenizatör ve ultrasonik dağıtıcı probu kullanılmıştır. Şekil 4.6’da cihaz ve özellikleri verilmiştir.

	Ultrasonik Homojenizatör	
	Marka: Sonics	Model: VCX 750
	Frekans: 20 kHz	Uzaktan Kumanda
	Ağırlık: 6,8 kg	Ölçüler: 235x190x340 mm
	Zamanlayıcı: 1-10 sn	Sıvı Miktarı : 1000ml
	Dağıtıcı Prob	
	Uç Çapı: 25 mm	Tip: Tek Parça
	Yoğunluk: Düşük	Hacim: 100-1000 ml
	Genlik: 35 μ m	Uzunluk: 122 mm

Şekil 4.6. Ultrasonik homojenizatör

Metalografik Numune Kesme Cihazı

Kompozit malzeme külçelerinden numune hazırlamak için Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında bulunan Metkon marka metalografik numune kesme cihazı kullanılmıştır. Cihaza ait bilgiler Şekil 4.7’de verilmiştir.

	Marka: Metcon	Model: Metacut 302
	Kesme Gücü: 3-4,6kW	Kesme Hızı: 2800rpm
	Kontrol: Manuel	Boyutlar:58×68×49(cm)
	Ağırlık:132kg	Soğutma Hacmi: 60lt
	Kesme kapasitesi: Ø15	Kesme kapasitesi: 50x195mm

Şekil 4.7. Metalografik numune kesme cihazı

Metal Zımparalama ve Parlatma Cihazı


Kompozit malzemelerin yüzey zımparalama ve parlatma işlemleri için Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında bulunan Metkon marka metal zımparalama ve parlatma cihazı kullanılmıştır. Cihaza ait bilgiler Şekil 4.8’de verilmiştir.

	Marka: Metkon	Model: Forcipol 2V
	Kanal Sayısı: 2	Motor Gücü: 0,75 HP
	Dönüş Hızı: 50-600 rpm	Teker Çapı: 250 mm
	Ölçüler: 700x690x340mm	Ağırlık: 40 kg

Şekil 4.8. Metal zımparalama ve parlatma cihazı

Sertlik Ölçüm Cihazı


Kompozit malzemelere sertlik ölçümü yapılması amacıyla Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında bulunan Mikro Vickers Sertlik Ölçüm cihazı kullanılmıştır. Şekil 4.8’de sertlik ölçüm cihazına ait bilgiler verilmiştir.

	Test Kuvveti: 0,098N(10 gf) – 9,807N (1000 gf)
	Test Kuvveti Uygulama Yöntemi: Otomatik Yükleme
	Mikroskobun Büyütmesi: 400 X(Ölçüm) -100 X(Gözlem)
	Test Kuvvetinin Bekleme Süresi: 0-6 s(5s’lik aralıklarla)
	Maksimum Örenek Yüksekliği: 70 mm
	İşaretleyici Orta Noktası-Dış Panel Arası Mesafe: 98 mm
	Ağırlık: 25 kg
	Güç Kaynağı: AC220V/50~60Hz

Şekil 4.9. Sertlik ölçüm cihazı

Çekme-Basma Test Cihazı

Kompozit malzemelere basma testi yapılmıştır. Bunun için Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında bulunan Mares marka çekme-basma cihazı kullanılmıştır. Cihaza ait özellikler Şekil 4.10'de verilmiştir.

	2 ve ya taşıyıcı ve 2 askı milli hidrolik sistem
	10 ton yük kapasitesi
	PC denetimi
	Dokunmatik PC denetim sistemi
	Akım tork veya servo denetimli motor sistemleri
	Farklı elektronik yük (LC) seçenekleri
	Travers uzama ölçümü
	Hassas ölçüm için yüksek ekstensometre

Şekil 4.10. 10 ton yük kapasiteli çekme-basma test cihazı

Çentik Darbe Test Cihazı

Çentik darbe testi için Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında bulunan Alşa marka darbe deney cihazı kullanılmıştır. Şekil 4.11'de test cihazına ait bilgiler verilmiştir.

	İlk potansiyel enerji (joule): 300
	Sarkaç düşme açısı (derece): 20
	Saat hızı (m/sn): 5,182
	Dönme eksenini ile vuruş merkezi arasındaki mesafe (yani sarkaç uzunluğu) (mm): 775
	Toplam kayıplar sürtünme ve kayma (%) maksimum darbe enerjisi: 0,75
	Sarkacın etkili ağırlığı (kg): 22,35
	Fiziksel sarkacın vurma merkezi ile Charpy test tüpünün merkezi arasındaki mesafe (mm): 7,75

Şekil 4.11. Darbe deney cihazı

Aşınma Test Cihazı


Malzemelerin aşınma testleri Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında bulunan Gunt marka test cihazında yapılmıştır. Şekil 4.12’de cihaza ait bilgiler verilmiştir.

	
Yük Uygulama Cihazı	DC Motor
Maksimum Yük: 80N	Hız: 3000d/dk
Manivela Kol Oranı: 2:1	Tork: 18,5 Nm
Aşındırıcı Disk Çapı: 49 mm	Sonsuz Dişli: 15:1
Dişli Çevrim Oranı: $i:0,96$	Çalışma Hızı: 0-2000d/dk
Aşınma kuvveti için kuvvet sensörü: 0-50N	Ölçüm Aralıkları: Kuvvet:0-50N Hız:0-2000d/dk

Şekil 4.12. Aşınma test cihazı

Eğme Test Cihazı


Kompozit malzemelere eğme testi yapılmıştır. Bunun için Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında bulunan Gunt marka eğme cihazı kullanılmıştır. Cihaza ait özellikler Şekil 4.13’te verilmiştir.

	Marka: Gunt	Model: WP300
	Maks. Test Gücü: 20kN	Maks. Darbe: 45mm
	Numune İçin Mevcut Alan: 165×165mm	Dinanometre Ölçüm Aralığı: 0-20kN
	Dinanometre Derecesi: 0-5kN	Cihaz Boyutu: 610×520×850 mm
	Cihaz Ağırlığı: 51kg	

Şekil 4.13. Eğme deney cihazı

X Işını Difraktometre Cihazı


Çalışmada kullanılan tozların ve üretilen kompozitlerin analizi yapılması amacıyla KİTAM bünyesinde bulunan X ışını difraktometre cihazı kullanılmıştır. Cihaza ait özellikler Şekil 4.14’da verilmiştir.

	Marka: Rigaku
	Model: Smartlab
	Bakır hedefli X-ışını tüpü
	Ani sıcaklık değişimlerini kontrol eden su soğutucusu
	Çapraz ışın optik mekanizması (CBO)
	Yüksek çözünürlükte Grafit Monokromatör
	2θ tarama yöntemi
	Grazing açısı (GIXD) minimum 0,1°

Şekil 4.14. X-ışını difraktometre cihazı

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

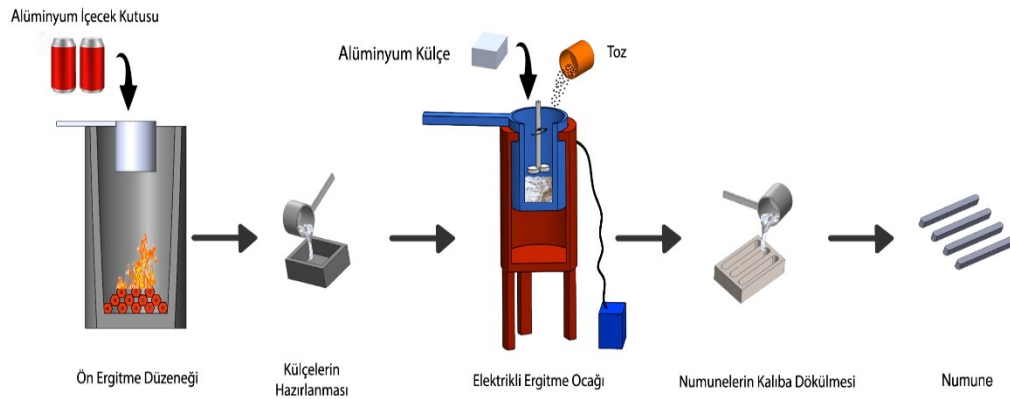
Çalışmada kullanılan tozların ve üretilen kompozitlerin analizi yapılması amacıyla KİTAM bünyesinde bulunan SEM cihazı kullanılmıştır. Cihaza ait bilgiler Şekil 4.15’de verilmiştir.

	Marka: Jeol
	Model: JSM- 7001F
	Çözümleme: 1,2 nm (30 kV), 3,0 nm (1,0 kV)
	Hızlandırıcı gerilim: 0,5-2,9 kV (10 V adımlarla), 3,0-30 kV (100 V adımlarla)
	Büyütme: 10 X- 1,000,000 X (120 mm x 90 mm mikrograf olarak basılmış)
Görüntüleme modları: SEI (secondary electron image), BEI to E/T Detector, BEI-Option	

Şekil 4.15. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

4.3. Deneysel Yöntem

Alüminyum matrisli SiC, Grafen ve SiC/Grafen takviyeli hibrit kompozitlerin karıştırımlı döküm yöntemiyle üretim aşamaları Şekil 4.16’da verilmiştir.



Şekil 4.16. Kompozit malzemelerin üretim aşamaları

4.3.1. Matris malzemesinin hazırlanması

Alüminyum matrisli kompozit üretiminde kullanılacak olan matris malzemesi için atık alüminyum içecek kutuları toplanmış, içecek kutularında herhangi bir yabancı madde kalmaması için su ile yıkanarak kurutulmuştur. İçecek kutularının üzerlerindeki boya ve kaplamaların giderilmesi için ön ergitme düzeneği kurulmuştur. Ön ergitme düzeneğinde yaklaşık 1000 °C sıcaklığa ulaşılmış ve içecek kutuları ergirmeden önce üzerlerindeki boya ve kaplamaların yanarak atmosfere atıldığı görülmüştür. Şekil 4.17'de Alüminyum içecek kutularının boya tabakasının yanması ve kutuların ergitilmesi işlemi gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Alüminyum içecek kutularının boya tabakasının yanması ve kutuların ergitilmesi

Her bir matris numunesi için 20 adet içecek kutusu ergitilerek kalıba dökülmüş ve oda sıcaklığında soğutulmak suretiyle her biri ortalama 200 g ağırlığında alüminyum külçe elde edilmiştir. (Şekil 4.18'de matris malzemesi olarak hazırlanan külçeler gösterilmiştir).



Şekil 4.17. Matris malzemesi olarak kullanılan alüminyum külçeler

4.3.2. İşlem parametrelerinin belirlenmesi

Karıştırma döküm yöntemiyle kompozit üretiminde, karışımın homojen bir şekilde sağlanabilmesi ve bunun için en uygun işlem parametrelerinin belirlenmesi amacıyla literatür araştırması yapılmıştır. SiC takviyeli kompozit üretiminde takviye elemanının ilave şekli, karıştırma hızı, karıştırma süresi, karıştırma sonrası dinlendirme süresi, karıştırma sıcaklığı, karıştırma sonrası dinlendirme sıcaklığı, makro boyutta gözenek, ıslatılabilirlik gibi işlem parametreleri etkilidir. Yapılan literatür araştırması ve denemeler sonucunda Çizelge 4.3'te ki işlem parametreleri en uygun parametreler olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.3. SiC ve grafen takviyeli kompozitlerin üretimi için en uygun işlem parametreleri (Öztop, 2017)

Takviye Elemanı	Takviye ilave şekli	Karıştırma hızı dev/dak	Karıştırma süresi(dak)	Takviye ilavesi sırasında karıştırma sıcaklığı(°C)	Dinlendirme süresi(dak)	Dinlendirme sıcaklığı(°C)	Döküm öncesi yüzeydeki oksit filminin alınması	Makro boyutta Gözenek	Takviyeye uygulanan ön işlem
SiC	Üstten ilave	400	7-10	630-650	10	700 ±10	+	Yok	Isıl işlem (1100 °C - 5 saat)
Grafen	Kaplama	400	7-10	630-650	10	700 ±10	+	Yok	-

4.3.3. Takviye oranlarının belirlenmesi

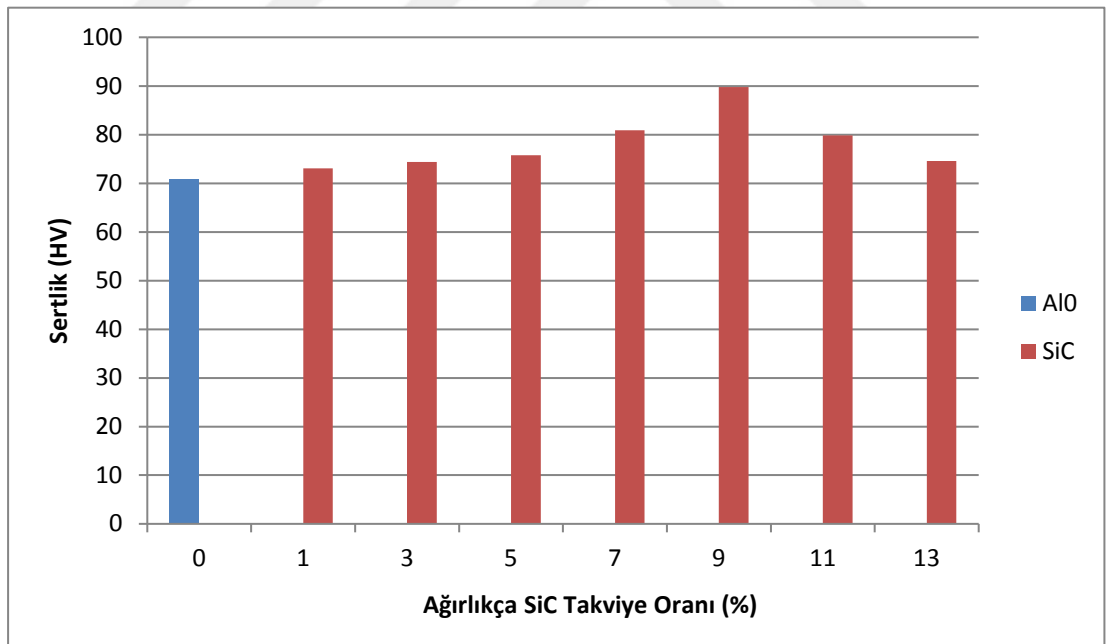
Grafen takviyeli kompozitler üzerine yapılmış olan çalışmalara bakıldığında, grafen takviye oranının ağırlıkça % 0,75'e kadar yapıldığında kompozitin mekanik özelliklerinin iyileştiği gözlenmiştir. Bu oranın üstünde yapılan ilavelerde grafenin topaklanma eğilime girdiği ve Al₄C₃ gibi ikincil fazlar oluşarak kompozitin mekanik özelliklerini olumsuz etkilediği görülmüştür. Bu nedenlerden dolayı grafen takviye oranları % 0,05, % 0,15, % 0,30, % 0,45, % 0,6 ve % 0,75 olarak belirlenmiştir.

SiC toz tane boyutu ortalama 44 µm olması ve literatürdeki yapılan çalışmalar incelendiğinde ağırlıkça takviye oranının artması kompozit malzemedeki tozun topaklanma eğilimine girdiği ve karışımın homojenliği azaldığı için yüksek oranlarda SiC tozu kullanılmamıştır. Ağırlıkça % 1, % 3, % 5, % 7, % 9, %11 ve % 13 oranlarında SiC takviyeli kompozit numuneler üretilmiş ve sertlik deneyleri yapılmıştır. Çizelge 4.4'te ve Şekil 4.19'da sertlik deneyinin sonuçları verilmiştir.

Sertlik deneyi sonuçlarına bakıldığında matris elemanının sertlik değeri 70,81 HV_{0,2} iken, takviye oranının artmasıyla sertlik değerinin de arttığı ve en yüksek sertlik değerine ağırlıkça % 9 takviye oranında (89,80 HV_{0,2}) ulaşılmıştır. Bu takviye oranının üstündeki takviye oranlarında takviye elemanı topaklanmış ve kompozit malzemenin sertliğini düşürmüştür. Bu nedenle kompozit malzeme üretimi için ağırlıkça % 1, % 3, % 5, % 7 ve % 9 oranlarında SiC takviyesi yapılmasına karar verilmiştir.

Çizelge 4.4. Sertlik testi sonuçları

Malzeme	Sertlik (HV _{0,2})
Al	70,81
AlSiC1	73,09
AlSiC3	74,36
AlSiC5	75,73
AlSiC7	80,87
AlSiC9	89,80
AlSiC11	79,85
AlSiC13	74,59



Şekil 4.18. Sertlik değerlerinin takviye oranlarına bağlı olarak değişimi

4.3.4. SiC takviyeli kompozitlerin üretimi

Atık alüminyum içecek kutuların ergitilmesiyle elde edilen alüminyum matris bloklardan 20 adet (her bir takviye oranı için 4 adet) alınarak her biri ergitme fırının potasına sığacak ölçüde üç parçaya kesilmiştir. Kesim işlemi METKON METACUT-M 250 metalografik numune kesme cihazında gerçekleştirilmiştir.

Kesim işleminin ardından alüminyum matris malzemeleri hassas terazide tartılarak ağırlıkları tespit edilmiştir. Bu ağırlıklara göre de önceden ısıl işlem fırınında 1100 °C'de 5 saat oksitlendirilen 44 µm boyutundaki SiC parçacıkları, belirlenmiş olan ağırlıkça yüzde takviye oranlarına göre tartılarak hazırlanmıştır.

Ergitme fırınının sıcaklığı 700 °C'ye çıkarılarak, matris malzemesi ergitme potasının içine konulmuştur. Potadaki matris malzemesi ergidikten sonra takviye ilavesi ve karıştırma işlemi sırasında tozun ıslanabilirliğini kolaylaştırmak ve matris takviye ara yüzeyi oluşturmak için sıcaklık 630-650 °C arasına indirilmiştir. Ergiyik matrisin içerisine bir miktar takviye malzemesi ilave edilerek 30 saniye kadar 400 rpm hızla mekanik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Sonra bir miktar daha takviye malzemesi ilave edilerek yine 400 rpm hızla 30 saniye karıştırıldıktan sonra üçüncü seferde kalan takviye malzemesi ilave edilerek 400 rpm hızla 5 dakika karıştırma işlemi uygulanmıştır. Sıcaklık 700 ± 10 °C'ye çıkarılarak karışım aynı hızla 1 dakika süreyle karıştırılarak homojenleştirme yapılmıştır. Karışım bu sıcaklıkta 10 dakika dinlendirilmiş ve metal bir kaşık yardımıyla döküm öncesi yüzeydeki oksit filmi alınmıştır. Hemen ardından karışım, önceden ısıtılmış (450-500 °C) çelik kalıba dökülmüş ve kompozit malzeme kalıp içinde bir süre bekletildikten sonra kalıptan çıkarılarak oda sıcaklığında soğuması sağlanmıştır. Bu yöntem uygulanarak alüminyum matris içine ağırlıkça % 1, % 3, % 5, % 7 ve % 9 oranlarında SiC takviye malzemesi ilave edilerek her bir oran için beşer adet kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. SiC takviyeli kompozitlerin üretimi için uygulanan iş akış şeması Şekil 4.20'de verilmiştir.



Şekil 4.20. SiC takviyeli kompozit üretimi akış şeması

4.3.5. Grafen takviyeli kompozitlerin üretimi

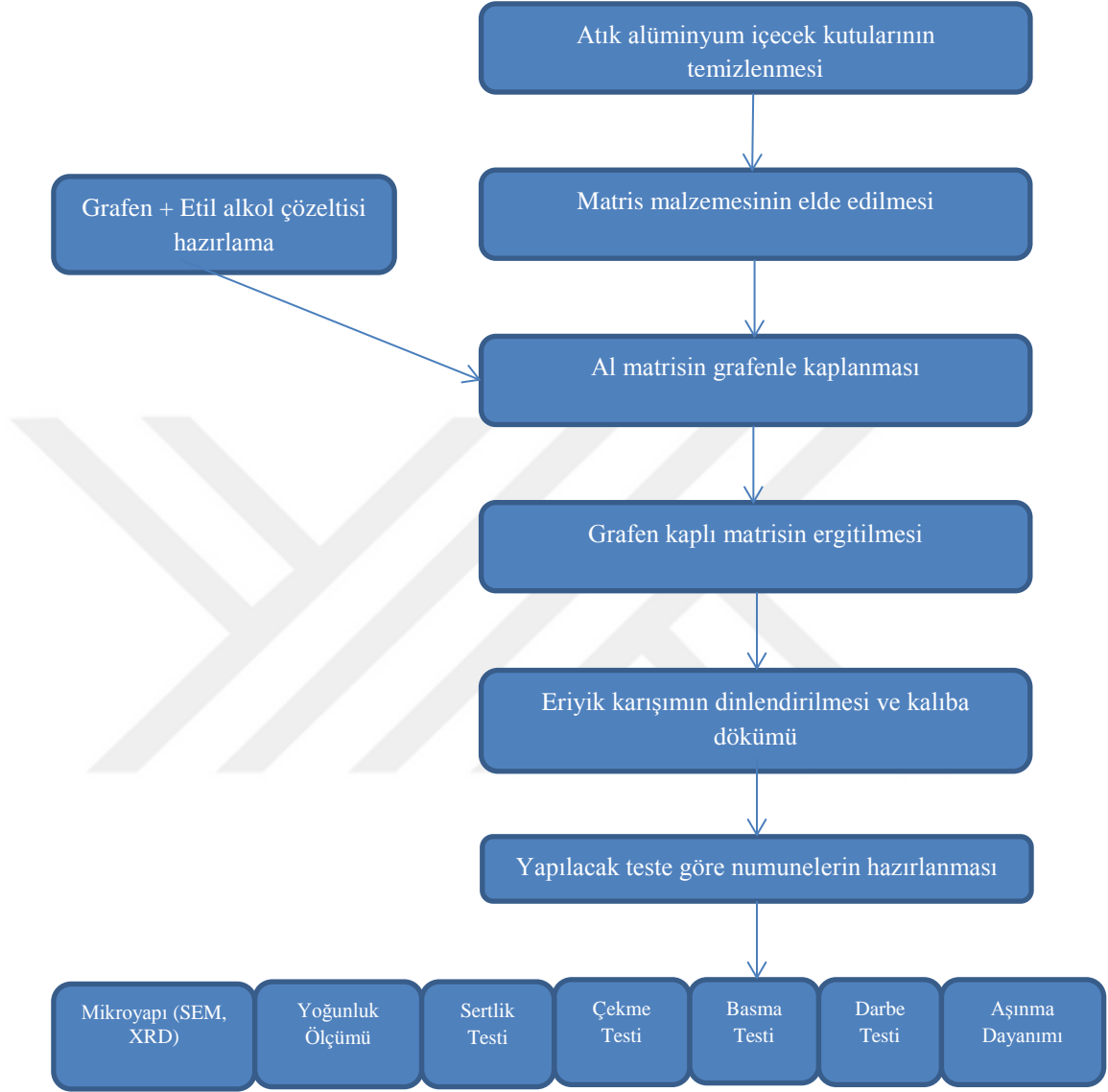
Atık alüminyum içecek kutuların ergitilmesiyle elde edilen alüminyum matris bloklardan her bir takviye oranı için 4 adet yani toplamda 20 adet alınarak her biri ergitme fırınının potasına sığacak ölçüde yine metalografik numune kesme cihazında kesilmişlerdir. Kesim işleminin ardından alüminyum matris malzemeleri hassas terazide tartılarak ağırlıkları tespit edilmiştir. Bu ağırlıklara göre de grafen parçacıkları, belirlenmiş olan ağırlıkça yüzde takviye oranlarına göre tartılarak hazırlanmıştır.

Tartımları yapılan grafen parçacıkları içerisinde etil alkol olan beherlere boşaltılarak, oluşturulan çözelti ultrasonik karıştırıcı (homojenizatör) ile karıştırılmıştır. Bu sayede grafenin alkol içerisinde topaklanmadan homojen bir şekilde dağılması sağlanmıştır (Şekil 4.21).



Şekil 4.21. Grafen etil alkol karışımı ve alüminyum külçelerin grafenle kaplanması

Hazırlanan grafen-alkol çözeltisi, ince uçlu pnömatik boya püskürtme tabancası kullanılarak çeker ocak içerisinde yaklaşık 15-20 cm mesafeden matris malzemesinin yüzeyine püskürtülerek kaplanmıştır. Grafenle kaplanan matris malzemeleri bir süre ortam sıcaklığında bekletilerek kuruması sağlanmıştır. Ergitme fırınının sıcaklığı 700-750 °C'ye çıkarılarak, grafenle kaplanmış olan matris malzemesi ergitme potasının içine konulmuştur. Potadaki matris malzemesi ergidikten sonra karıştırma işlemi sırasında tozun ıslanabilirliğini kolaylaştırmak ve matris-takviye ara yüzeyi oluşturmak için sıcaklık 630-650 °C arasına indirilmiştir. Ergiyik karışıma 400 rpm hızla 5 dakika karıştırma işlemi uygulanmıştır. Sıcaklık 700 ±10 °C'ye çıkarılarak karışım aynı hızla 1 dakika süreyle karıştırılarak homojenleştirme yapılmıştır. Karışım bu sıcaklıkta 10 dakika dinlendirilmiş ve metal bir kaşık yardımıyla döküm öncesi yüzeydeki oksit filmi alınmıştır. Hemen ardından karışım, önceden ısıtılmış (450-500 °C) çelik kalıba dökülmüş ve kompozit malzeme kalıp içinde bir süre bekletildikten sonra kalıptan çıkarılarak oda sıcaklığında soğuması sağlanmıştır. Bu yöntem uygulanarak alüminyum matris ağırlıkça % 0,05, % 0,15, % 0,3, % 0,45, % 0,6 ve ve % 0,75 oranlarında grafen takviye malzemesi ile kaplanarak her bir oran için beşer adet kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Grafen takviyeli kompozitlerin üretimi için uygulanan iş akış şeması Şekil 4.22'de verilmiştir.



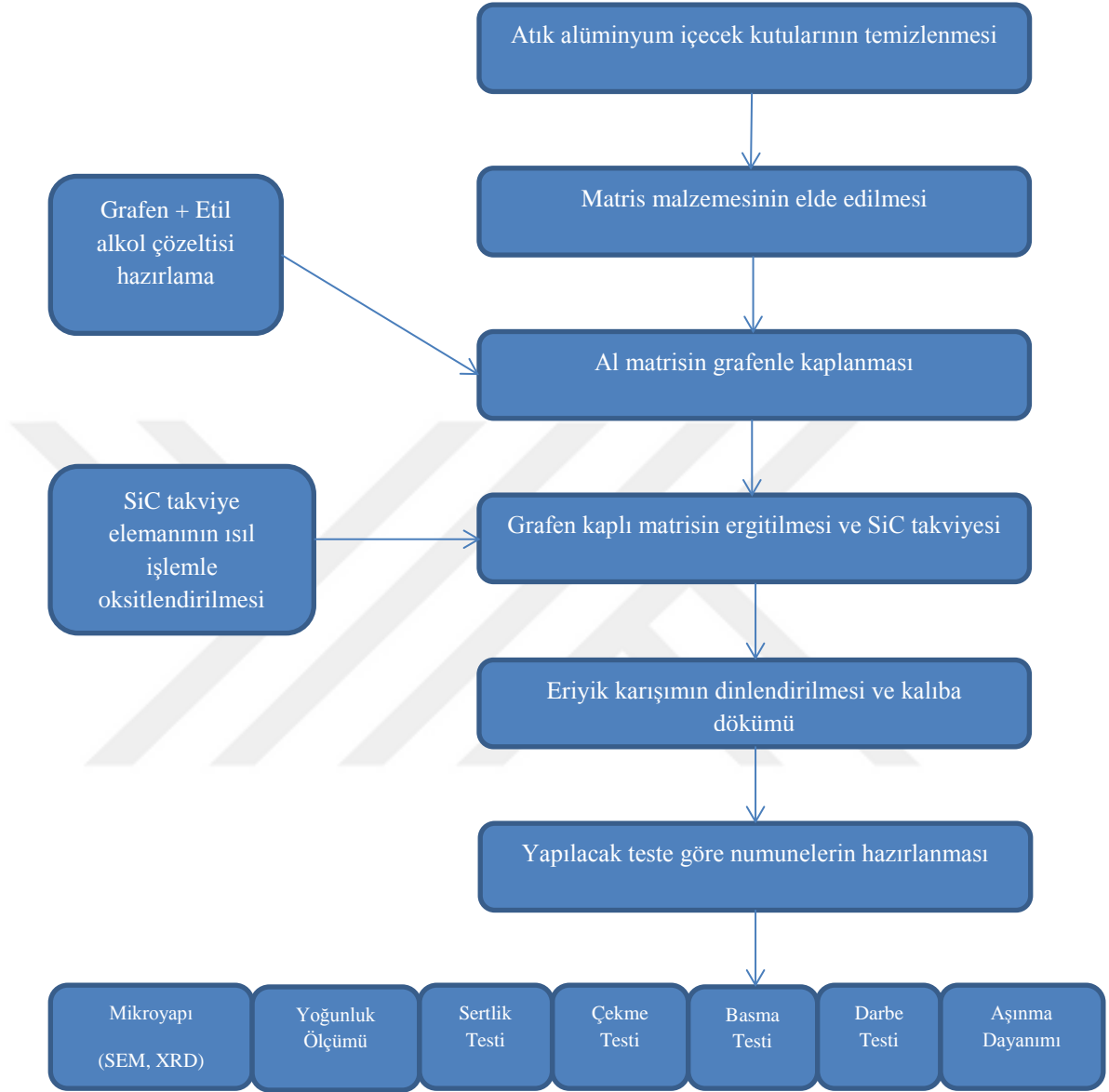
Şekil 4.19. SiC takviyeli kompozit üretimi akış şeması

4.3.5. SiC/Grafen takviyeli hibrit kompozitlerin üretimi

Atık alüminyum içecek kutularının ergitilmesiyle elde edilen alüminyum matris bloklardan her bir takviye oranı için 4 adet yani toplamda 40 adet alınarak her biri ergitme fırınının potasına sığacak ölçüde yine metalografik numune kesme cihazında kesilmişlerdir. Kesim işleminin ardından alüminyum matris malzemeleri hassas terazide tartılarak ağırlıkları tespit edilmiştir. Bu ağırlıklara göre de grafen ve SiC belirlenmiş olan ağırlıkça yüzde takviye oranlarına göre tartılarak hazırlanmıştır.

Tartımları yapılan grafen parçacıkları içerisinde etil alkol olan beherlere boşaltılarak, oluşturulan çözelti ultrasonik karıştırıcı (homojenizatör) ile karıştırılmıştır. Bu sayede grafenin alkol içerisinde topaklanmadan homojen bir şekilde dağılması sağlanmıştır. Hazırlanan grafen-alkol çözeltisi, ince uçlu pnömatik boya püskürtme tabancası kullanılarak çeker ocak içerisinde yaklaşık 15-20 cm mesafeden matris malzemesinin yüzeyine püskürtülerek kaplanmıştır. Grafenle kaplanan matris malzemeleri bir süre ortam sıcaklığında bekletilerek kurumaları sağlanmıştır.

Önceden ısıtıl işlem fırınında 1100 °C'de 5 saat oksitlendirilen 44 µm boyutundaki SiC parçacıkları, belirlenmiş olan ağırlıkça yüzde takviye oranlarına göre tartılarak hazırlanmıştır. Ergitme fırınının sıcaklığı 700-750 °C'ye çıkarılarak, grafenle kaplanmış olan matris malzemesi ergitme potasının içine konulmuştur. Potadaki matris malzemesi ergidikten sonra karıştırma işlemi sırasında tozun ıslana bilirliliğini kolaylaştırmak ve matris-takviye ara yüzeyi oluşturmak için sıcaklık 630-650 °C arasına indirilmiştir. Eriyik matrisin içerisine bir miktar SiC takviye malzemesi ilave edilerek 30 saniye kadar 400 rpm hızla mekanik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Sonra bir miktar daha takviye malzemesi ilave edilerek yine 400 rpm hızla 30 saniye karıştırıldıktan sonra üçüncü seferde kalan takviye malzemesi ilave edilerek 400 rpm hızla 5 dakika karıştırma işlemi uygulanmıştır. Sıcaklık 700 ± 10 °C' ye çıkarılarak karışım aynı hızla 1 dakika süreyle karıştırılarak homojenleştirme yapılmıştır. Karışım bu sıcaklıkta 10 dakika dinlendirilmiş ve metal bir kaşık yardımıyla döküm öncesi yüzeydeki oksit filmi alınmıştır. Hemen ardından karışım, önceden ısıtılmış (450-500 °C) çelik kalıba dökülmüş ve kompozit malzeme kalıp içinde bir süre bekletildikten sonra kalıptan çıkarılarak oda sıcaklığında soğuması sağlanmıştır. Bu yöntem uygulanarak alüminyum matris içine ağırlıkça % 1 ve % 9 oranlarında SiC takviye malzemesine ayrı ayrı % 0,05, % 0,15, % 0,3, % 0,45, % 0,6, ve % 0,75 ağırlıkça grafen ilave edilerek her bir oran için dörder adet kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Grafen/SiC takviyeli kompozitlerin üretimi için uygulanan iş akış şeması Şekil 4.23'de verilmiştir.



Şekil 4.20. Grafen/SiC takviyeli kompozit üretimi akış şeması

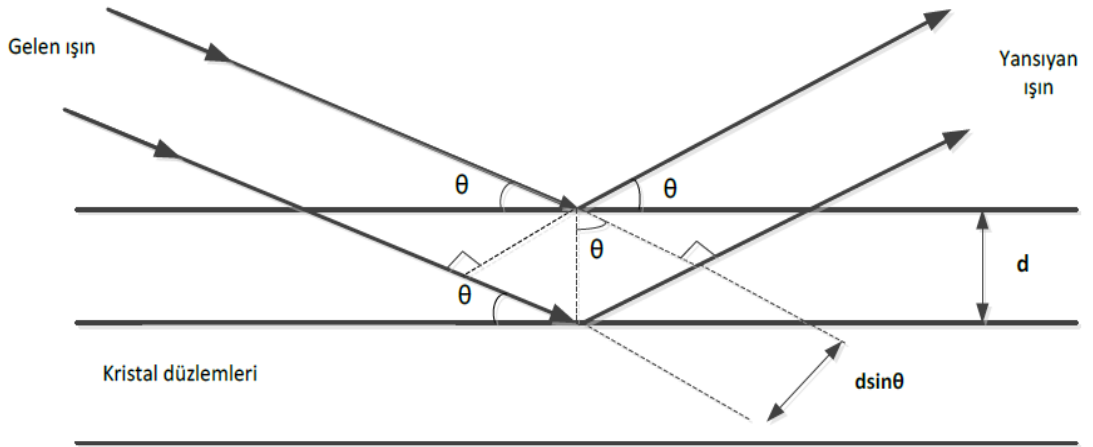
4.4. Kristal Yapı ve Mikroyapı İncelemeleri

X-ışını kırınımı analizi

X-ışınları kırınımı (XRD) yöntemi, malzemelerin fazlarının tanımlanmasında tercih edilen temel yöntemlerden biridir. XRD, her bir kristal fazın kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak X-ışınlarını karakteristik bir düzen içerisinde kırması esasına

dayanır. Her bir kristal faz için bu kırınım profilleri bir nevi parmak izi gibi o kristali tanımlar. X ışınları kısa dalga boylarına sahip yüksek enerjili bir elektromanyetik ışıma biçimidir. Dalga boyları katılardaki atomlar arası mesafeler ile aynı mertebededir. Kristalden x-ışını kırınımına uğrayan kırınım maksimumları da birim hücrenin boyutu hakkında bilgi verir. Kırınımına uğrayan ışınların şiddetleri ölçülerek birim hücredeki atomların dizilişleri hakkında bilgi elde edilir. Darbe deneyi sonrası kırılan numunelerden 10mmx10mmx10mm ölçüsünde numuneler hazırlanmıştır. Tozların ve üretilen kompozitlerin XRD faz analizi için OMÜ KİTAM’da bulunan Rigaku SmartLab model x-ışını kırınımı cihazından faydalanılmıştır.

X-ışınları yüksek enerjili elektromanyetik dalga ışımalarıdır. Malzemenin atomlarına yüksek hızda elektronların çarpmasıyla meydana gelmektedir. Malzemenin kristal yapı ve simetri tayininde önemli yer tutmaktadırlar. X-ışınları demeti malzemeye çarptığında, her atom ya da iyonla ilişkili elektronlar tarafından her yöne saçılır. Bu saçılıma X-ışını kırınımı denir. Şekil 4.24’te X-ışını kırınımı verilmektedir.



Şekil 4.21. X-ışını kırınım analizi

X-ışını dalga boyu ve atomlar arası mesafeyi, kırınan ışının açısıyla açıklayan denklem Bragg Kanunu olarak bilinmektedir. Bragg yasası en genel hali ile eşitlik 4.1 şeklinde ifade edilir.

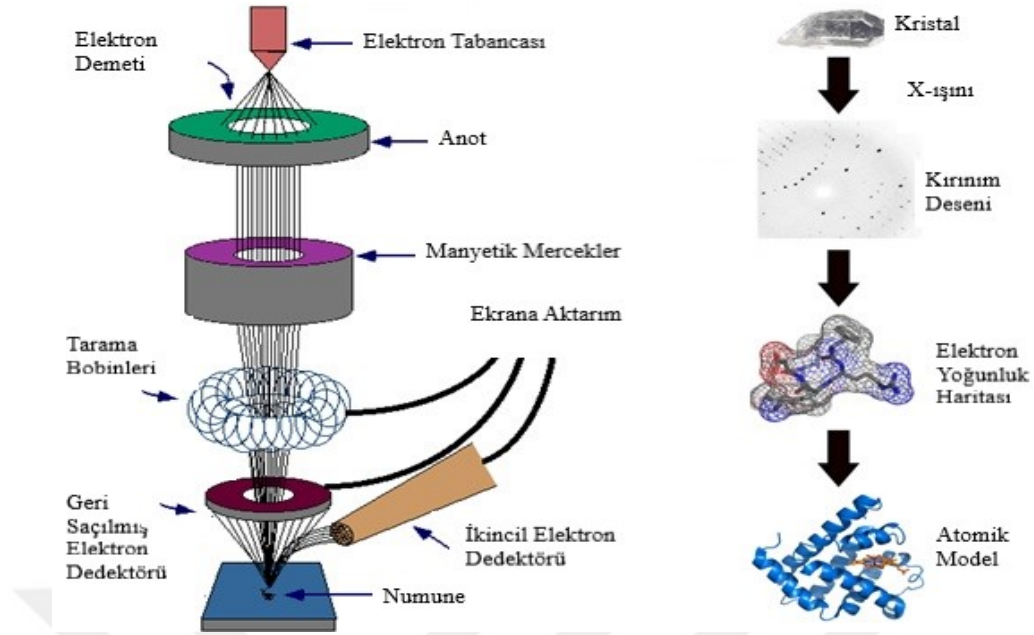
$$2d\sin\theta = n\lambda \quad (4.1)$$

Burada; n kırınım sabitini, λ dalga boyunu, d düzlemler arası mesafeyi ifade etmektedir.

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Taramalı elektron mikroskobu veya SEM (scanning electron microscope), Elektronları kullanarak numune yüzeyinden yüksek çözünürlüklü görüntü almaya yarayan sistemdir. SEM, numune yüzeyinin üç boyutlu görüntülerin elde edilmesinde kullanılır. SEM odaklanmış bir elektron demeti ile numune yüzeyini tarayarak görüntü elde eden bir elektron mikroskobu türüdür. Elektronlar numunedeki atomlarla etkileşerek numune yüzeyindeki topografi ve kompozisyon hakkında bilgiler içeren farklı sinyaller üretir. Elektron demeti raster tarama düzeni ile yüzeyi tarar ve demetin konumu, algılanan sinyalle eşleştirilerek görüntü oluşturulur. SEM ile 1 nanometreden daha yüksek çözünürlüğe ulaşılabilir. Standart SEM cihazları yüksek vakumda, kuru ve iletken yüzeyleri incelemek için uygundur. Bu tez kapsamında, tozların morfolojisi ve kompozitlerin kırık yüzey görüntüleri için OMÜ KİTAM'da yer alan Jeol marka JSM7001F model taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır.

SEM'de numune üzerine taramalı elektron demeti yollanarak analiz gerçekleştirilmektedir. Gönderilen elektronlar numune elektronlarıyla elastik olmayan etkileşimleri sonucu Auger elektronları oluşur. Oluşan bu Auger elektronları numune yüzeyleri hakkında bilgi vermektedir. Çarpışmalar sonucu enerjisini kaybeden ikincil elektronlar yüzeyin 10 nm altından geldikleri için numune hakkında yüksek çözünürlüklü topografik görüntü vermektedir. Şekil 4.25'te taramalı elektron mikroskobu çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Taramalı elektron mikroskobu çalışma prensibi(Öztop, 2017)

4.5. Yoğunluk Ölçümleri

Takviyesiz ve takviyeli kompozit malzemelerin deneysel yoğunlukları ρ_d ölçümleri Arşimet Prensibine göre tespit edilmiştir. Bu prensibe göre $8\text{mm} \times 8\text{mm} \times 10\text{mm}$ boyutlarında hazırlanan numuneler ilk önce normal şekilde hava da tartılmış (m_a) ve daha sonra su dolu cam beher içerisinde kütleleri (m_b) ölçülmüştür. Daha sonra numunelerin bu numunelerin asılı kütlelerine numunelerin tartı farklarına bölümünden deneysel yoğunlukları bulunmuştur.

$$\rho_d = m_a / (m_a - m_b) \quad (4.2)$$

Kompozit numunelerin teorik yoğunlukları (ρ_k) ise karışımlar kuralına göre hesaplanmıştır. Karışımlar kuralına göre;

$$\rho_k = [(\rho_{\text{matris}} \times \% \text{ matris ağırlık oranı}) + (\rho_{\text{takviye}} \times \% \text{ takviye ağırlık oranı})] \quad (4.3)$$

Hesaplanan teorik yoğunluk ile ölçülen gerçek yoğunluk arasındaki farkın teorik yoğunluğa bölünmesiyle numunelerin içerisindeki gözenek oranları tespit edilmiştir.

$$\% \text{ Gözenek} = [(\text{teorik yoğunluk} - \text{deneysel yoğunluk}) / \text{teorik yoğunluk}] \times 100 \quad (4.4)$$

4.6. Sertlik Ölçümleri

1924 yılında, Brinell deneyinde karşılaşılan yükün değişimi ile izin geometrik şeklinin değişiminin sebep olduğu olumsuzlukları gidermek için elmas piramit batıcı ucun kullanıldığı Vickers sertlik deneyi icat edilmiştir.

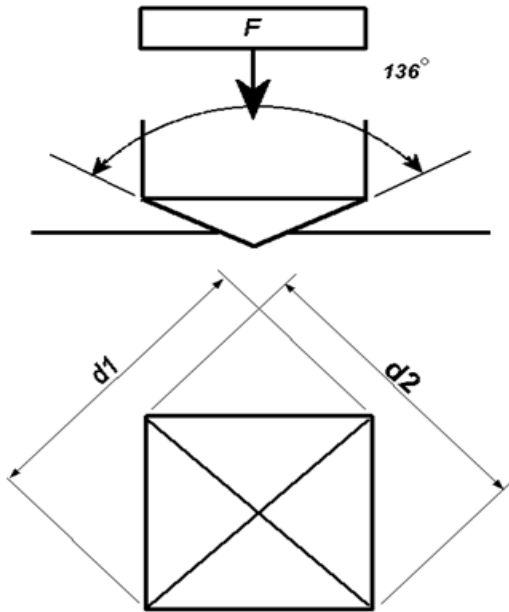
Vickers sertlik deneyinde kare tabanlı piramit üzerinde zıt yüzeyleri arasında 136° tepe açılı elmas piramit batıcı uç, 15 saniye uygulanan F yükü altında malzemeye batırılır (Şekil 4.26). Oluşan iz, taban köşegeni kare olan piramittir ve tepe açısı batıcı ucun tepe açısının aynıdır ($\sim 136^\circ$). Yük kaldırıldıktan sonra malzeme yüzeyinde kalan izin iki köşegeni (d_1 ve d_2) bir mikroskop yardımıyla ölçülür ve aritmetik olarak ortalama d hesaplanır. Vickers sertlik değeri, kg olarak ifade edilen yükün mm^2 olarak ifade edilen izin alanına bölümüdür;

$$HV = \frac{2.F.\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} \quad (4.5)$$

Burada F uygulanan yük (kg), d ortalama köşegen genişliği (mm) $d = (d_1 + d_2)/2$ ve θ piramit tepe açısıdır. Sonuç olarak;

$$HV = 1,8544 \frac{F}{d^2} \quad (4.6)$$

denklemini elde edilir.



Şekil 4.23. Mikro Vickers sertlik izi

Sertlik ölçümleri için 10mm x 10mm x 50 mm boyutunda parçalar kesilerek numuneler hazırlanmıştır. Vickers sertlik ölçüm yöntemi kullanılarak TMTECK marka HV-1000B tipi sertlik ölçüm cihazında 20 saniye süre ile 1,96 N (200 g) yük altında gerçekleştirilmiştir Her numune için beşer ölçüm yapılmış ve ölçülen değerlerin ortalamaları alınarak sertlik değerleri tespit edilmiştir.

4.7. Çekme Deneyi

Kuvvet ve şekil değiştirme arasındaki bağıntıların incelenmesi bakımından en basit deney çekme deneyidir. Çekme deneyi; malzemelerin statik yük altındaki elastik ve plastik davranışlarının (mekanik özelliklerinin) belirlenmesi, mekanik davranışlarına göre sınıflandırılması ve malzeme seçimi amacıyla yapılır. Şekil 4.27’de metalik bir malzemenin çekme ve basma diyagramları görülmektedir.



Şekil 4.24. Metalik bir malzemenin çekme ve basma diyagramları (Şenel, 2015)

Hooke kanununa göre gerilme (σ) ve şekil değiştirme (ϵ) ilişkisi Eşitlik (4.7)’da verilmiştir.

$$(\sigma = E \cdot \epsilon) \quad (4.7)$$

Bu eşitlikte, E elastisite modülüdür (MPa).

Şekil değiştirme (ϵ) miktarı ise malzemenin boyutsal değişimini ifade eden bir parametredir. %Şekil değiştirme ($\% \epsilon$) miktarı, Eşitlik (4.8) kullanılarak belirlenmektedir.

$$\% \epsilon = ((l_s - l_0) / l_0) \times 100 \quad (4.8)$$

Bu eşitlikte, l_s malzemenin çekme testi sonrasındaki son boyu (mm), l_0 ise çekme testi öncesindeki ilk boyudur (mm).

Kompozit malzemelerin ve takviyesiz matris malzemesinin mekanik davranışını değerlendirmek ve takviye oranlarının artırılmasıyla çekme mukavemetlerinde meydana gelen değişimleri tespit etmek için çekme deneyi uygulanmıştır. Hem takviyesiz matristen hem de kompozit malzemelerden 10mm x 10mm x100 mm ebatında üçer adet olmak üzere çekme deney numunesi hazırlanmıştır. Çekme deneyleri, 10 ton kapasiteli Mares marka çekme deney cihazında yapılmıştır.

Çekme deneyi tüm numuneleri için sabit 5 mm/dak hızda gerçekleştirilmiştir. Deney sırasında çekme cihazına bağlı olan bilgisayardaki yazılım ile çekme dayanımı değerleri elde edilmiştir. Her bir malzeme türü için ölçülen değerlerin ortalamaları alınarak hem takviyesiz matrisin hem de kompozit malzemelerin çekme dayanım değerleri tespit edilmiştir.

Kompozit malzemelere basma testleri Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında bulunan Mares marka çekme-basma cihazı kullanılmıştır.

4.8. Basma Deneyi

Basma deneyi, çekme deneyinin tersi olarak kabul edilebilir ve çekme basma makinelerinde basma kuvveti uygulamak sureti ile yapılır. Basma kuvvetinin etkin olduğu uygulamalarda kullanılan gevrek malzemelerin, mukavemet değerleri basma deneyi ile belirlenir. Bu nedenle basma deneyinden elde edilen sonuçlar gevrek malzemelerle yapılan tasarımda doğrudan kullanılabilirler. Basma deneyi ile malzemelerin akma dayanımı, basma dayanımı, orantı sınırı, kopma uzaması, rezilyans ve tokluk gibi mekanik özellikleri belirlenebilir.

Basma dayanımı, bir malzemenin dağılmadan dayanabileceği en yüksek basma gerilmesi olarak tanımlanır. Bu gerilme, basma diyagramındaki en yüksek gerilme olup, aşağıdaki formül ile bulunur.

$$\sigma_b = F_{max} / A_0 \quad (4.9)$$

Bu gerilmeye kadar numunenin kesiti her tarafta aynı oranda büyüdüğü halde özellikle plastik deformasyonun sonuna doğru numune kesiti büyük oranda artar ve daha büyük bir gerilmeye numune kırılır.

Gerilme ile birim uzama arasında $\sigma = E \cdot e$ bağıntısının (Hooke kanunu) geçerli olduğu doğrusal kısmı sınırlar. Bu bağıntıdaki orantı katsayısı E, elastisite modülü adını alır ve doğrunun eğimini gösterir. Bir malzemenin elastisite modülü ne kadar büyükse, rijitliği yani elastik şekil değiştirmeye karşı direnci de o oranda büyüktür. Bir malzemeye ait elastisite modülü herhangi bir ısı veya mekanik işlem yardımıyla değiştirilemez.

Basma deneyinde gerçek birim şekil değiştirme 4.10 bağıntısı ile hesaplanır.

$$e = \ln (h_0 / h) \quad (4.10)$$

Gerçek gerilme (σ_g), uygulanan kuvvetin deney parçasının o andaki kesit alanına bölünmesi ile elde edilir ve 4.11 bağıntısı ile hesaplanır.

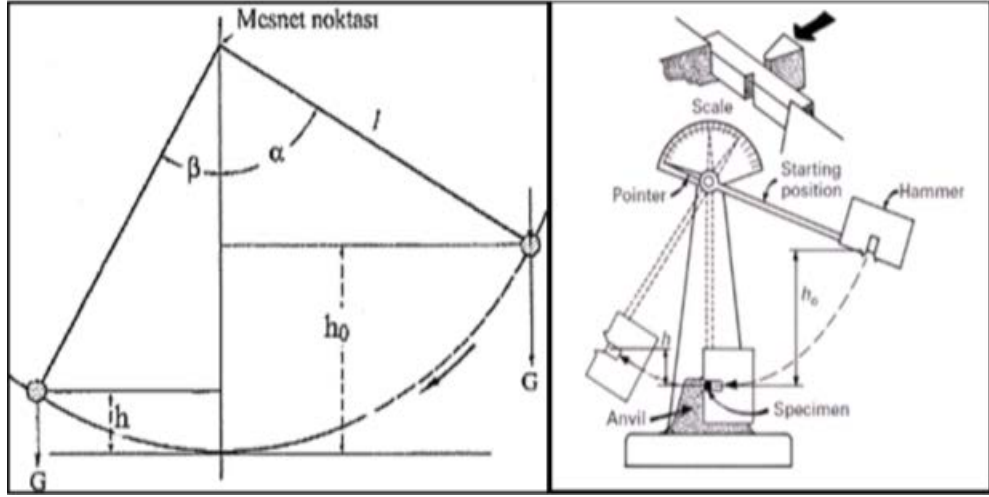
$$\sigma_g = F_i / A_i \quad (4.11)$$

Burada F_i deformasyonun herhangi bir i anında numuneye etki eden kuvvet olup, A_i ise kuvvetin uygulandığı andaki deney numunesinin kesit alanıdır (Yıldızlı, 2011).

Kompozit malzemelere basma testleri Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında bulunan Mares marka çekme-basma cihazı kullanılmıştır.

4.9. Çentik Darbe Deneyi

Darbe deneyi gevrek kırılmaya neden olabilecek şartlar altında çalışan malzemelerin mekanik özelliklerinin saptanmasında kullanılır. Darbe deneyinin genel olarak amacı, metalik malzemelerin dinamik zorlamalar altında kırılması için gerekli enerji miktarını ve sünek-gevrek geçiş sıcaklığını tespit etmektir. Deneyde numunenin dinamik zorlama altında kırılması için gereken enerji belirlenir. Bulunan değer malzemenin darbe direnci (darbe mukavemeti) olarak tanımlanır. Deney cihazı Şekil 4.28'deki gibidir.



Şekil 4.25. Çentik darbe deneyinin şematik gösterimi (Öztop, 2017)

G ağırlığına sahip sarkaç h yüksekliğine çıkarılır bu konumda $G.h$ enerjisine sahiptir. Serbest bırakılan sarkaç numuneye çarparak kırar ve h_1 yüksekliğine çıkar. Bu konumda enerjisi $G.h_1$ haline gelir. Başlangıçtaki ve sondaki iki potansiyel enerji değeri arasındaki fark numunenin kırılması için gerekli olan enerjidir. Darbe direnci olarak da adlandırılan bu değer şöyle hesaplanır:

$$E=G(h-h_1)=G.L(\cos\beta-\cos\alpha) \quad (4.12)$$

G : Sarkacın ağırlığı (kg)

L : Sarkacın ağırlık merkezinin sarkacın salınım merkezine uzaklığı (m)

h : Sarkacın ağırlık merkezinin düşme yüksekliği (m)

h_1 : Sarkacın ağırlık merkezinin çıkış yüksekliği (m)

α : Düşme açısı (derece)

β : Yükseliş açısı (derece)

Darbe direnci genellikle Joule (J) olarak verilir. Ancak, bazı durumlarda J/m^2 , Nm ya da Nm/m^2 cinsinden de verilebilir (Anonim, 2015).

Çentik darbe testi için Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında bulunan Alşa marka darbe deney cihazı kullanılmıştır.

4.10. Aşınma Deneyi

Tasarım ve malzeme seçimi kıstaslarının iyi bir şekilde uygulanmasına rağmen günlük hayatımızın farklı alanlarında kullandığımız ve çeşitli malzemelerden yapılmış cihazlarda veya teknolojik uygulamalarda kullanılan makine parçalarında çalışma esnasında oluşan çeşitli hasar tiplerinden dolayı beklenen performansın oldukça altında bir çalışma verimi ile karşılaşılabilmektedir. Hasar sebepleri incelendiğinde oluşan hasarların yanlış malzeme seçimi, tasarım ve üretim hataları, hatalı ısıl işlem, beklenmeyen ve uygun olmayan çalışma şartları ve kalite kontrol hatalarından kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Makine elemanlarının çalışma verimini düşüren ve üretim maliyetlerini artıran hasar tiplerinden biri de aşınmadır. Aşınma, kayma, yuvarlanma veya darbe sonrasında katı malzeme üzerinde oluşan hasar ya da malzeme kaybı olarak tanımlanmaktadır. Bu tanımda malzeme kaybı ifadesi yer almasına rağmen, ağırlıkta ya da hacimde herhangi bir değişim olmaksızın malzemenin cisim üzerindeki yer değiştirmesi de aşınma olarak tanımlanmaktadır (Varol, 2016).

Bu çalışmada aşındırıcı disk olarak 2379 soğuk takım çeliğinden yapılmış 20 mm yarıçapında (R) bir disk kullanılmıştır. Aşındırıcı diskin sertliği 60-65 HRC'dir. Diskin dönüş hızı (n) 200 rpm'dir. Numunelere uygulanan aşınma test süresi (t) 20 dakikadır. Buna göre kayma mesafesi (L), eşitlik 4.13 kullanılarak 500 m olarak hesaplanır.

$$L=2*\pi*R*n*t \text{ (m)} \quad (4.13)$$

Aşınan malzeme hacmi (ΔV) eşitlik 4.14'te numunenin kütle kaybının (Δm) kompozit yoğunluğuna (ρ) oranı olarak verilmiştir.

$$\Delta V=\Delta m/\rho \text{ (mm}^3\text{)} \quad (4.14)$$

Malzemelere uygulanan yük P (N) olmak üzere aşınma oranı (W) eşitlik 4.15 ile hesaplanmaktadır (Şenel vd, 2017).

$$W=\Delta V(P*L)/\text{(mm}^3\text{/N.m)} \quad (4.15)$$

Aşınma testleri, OMÜ Makina Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon ve İmalat Laboratuvarında yer alan GUNT TM260 Aşınma Deney Düzeneği'nde gerçekleştirilmiştir.

4.11 Eğme Deneyi

Eğme iki desteğe serbest olarak oturtulan, genellikle daire veya dikdörtgen kesitli düz bir deney parçasının, yön değiştirmeksizin ortasına bir eğme kuvveti uygulandığında oluşan biçim değişmesidir. Eğme deneyi malzemenin mukavemeti hakkında tasarım bilgilerini belirlemek ve malzemenin eğilmeye karşı mekanik özelliklerini tespit etmek amacı ile yapılır. Enine yük taşıyan kiriş gibi elemanlar eğilmeye maruz kalırlar. Kirişin her bir bölgesinde eğilme momentleri meydana gelir. Bu da eğilme gerilmesi ile alakalıdır. Klasik eğilme denklemlerinin geçerli olabilmesi için malzemenin homojen ve Hooke Kanunlarına uyması gerekir. Eğme deneyi kalitatif sonucun yanında, eğme momenti (M_e), eğilme dayanımı (σ_e), elastisite modülü (E_e) ve eğilme miktarı (δ) gibi kalitatif değerlerde hesaplanır.

Merkezden yüklü bir eğilme çubuğundaki sehim, F yükünün bir fonksiyonudur. Mesnetlerin aralığı L , kesit atalet momenti I ve elastik modülü E alınırsa, sehim δ eşitlik 4.16 ile bulunur.

$$\delta = \frac{FL^3}{48BI} \quad (4.16)$$

Düzlemsel atalet momenti (I), B genişliğinde ve H yüksekliğine sahip dikdörtgen kesitli bir malzeme için eşitlik 4.17 ile hesaplanabilir.

$$I = \frac{BH^3}{12} \quad (4.17)$$

Eğme testleri, OMÜ Makina Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon ve İmalat Laboratuvarında yer alan GUNT WP300.04 Eğme Deney Düzeneği'nde gerçekleştirilmiştir.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

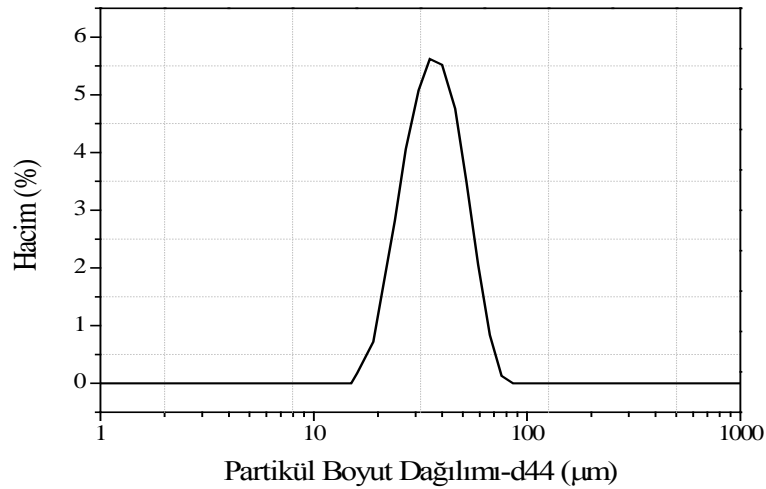
Bu bölümde, ağırlıkça farklı katkı oranlarda üretilen Al-SiC, Al-Grafen, Al-SiC/Grafen kompozitlerin yoğunluğu, mekanik özellikleri (Vickers sertliği, basma ve çekme dayanımı, eğme dayanımı ve darbe mukavemeti), aşınma test sonuçları ve mikro yapıları incelenmiştir. Ayrıca kompozitlerin SEM ve XRD analizleri bu bölümde değerlendirilmiştir.

5.1. SiC Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Analiz Sonuçları

Ağırlıkça %1, %3, %5, %7, %9 SiC takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin analiz sonuçlarına aşağıda yer verilmiştir. Bu analizler, kompozit malzeme üretiminde kullanılan tozların SEM, XRD ve tane boyut analizlerini, üretilen kompozitlerin yoğunluğunu, gözeneklilik oranını, mekanik özelliklerini (Vickers sertliğini, basma ve çekme dayanımını, darbe dayanımı ve elastisite modülü), aşınma davranışını ve mikroyapı incelemelerini kapsamaktadır.

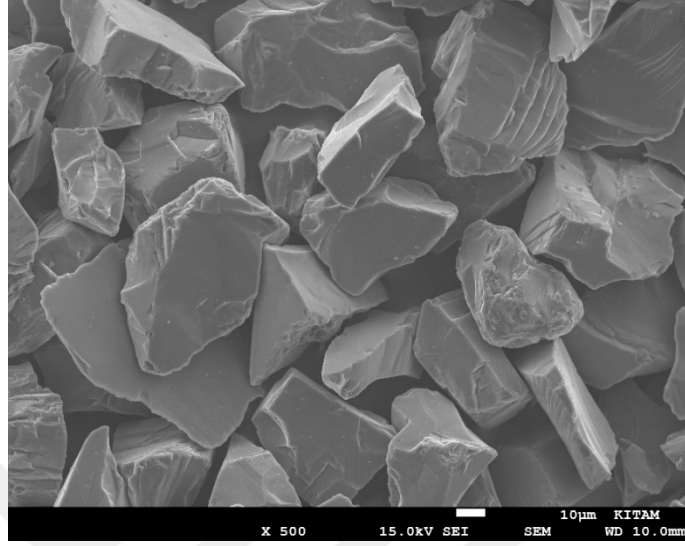
5.1.1. SiC takviyeli kompozitlerin mikroyapı ve kristalografi analizleri

SiC tozlarına ait tanecik boyut dağılımı, Mastersizer 3000 lazer tane boyut ölçüm cihazıyla ölçülmüş olup ölçüm sonuçları Şekil 5.1'de verilmiştir. Şekil üzerindeki yatay eksen tanecik boyutunu, dikey eksen tanecik boyutu belirtilen taneciklerin hangi hacimsel oranda yer aldığını ifade etmektedir. Ölçüm sonuçlarına göre; SiC tozu ortalama tane boyutu $44 \mu\text{m}$ 'dir

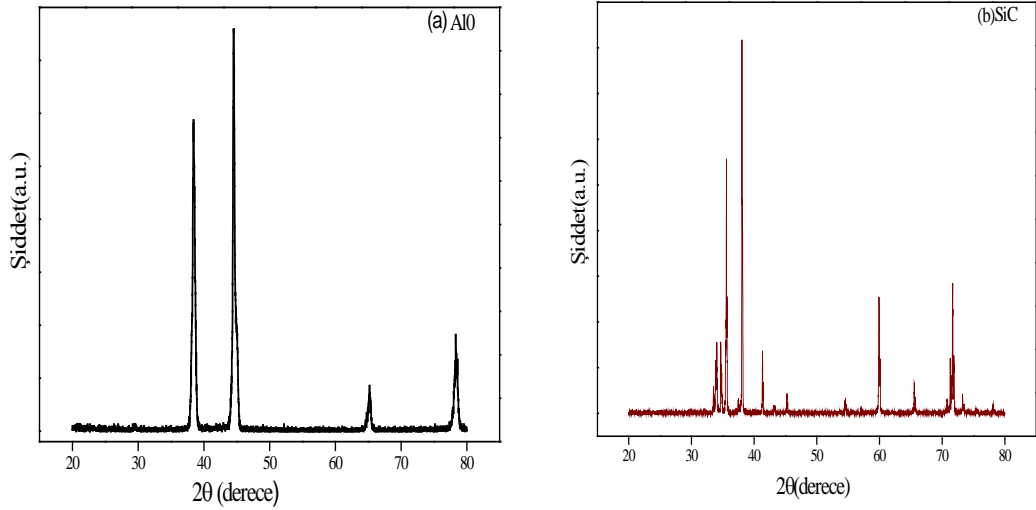


Şekil 5.1. SiC taneciklerinin boyut analizi

SiC tozlarına ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri Şekil 5.2’de verilmiş olup SiC tozlarının küresel olmayan bir morfolojide olduğu ve tane boyutunun 50 µm’nin altında olduğu tespit edilmiştir.

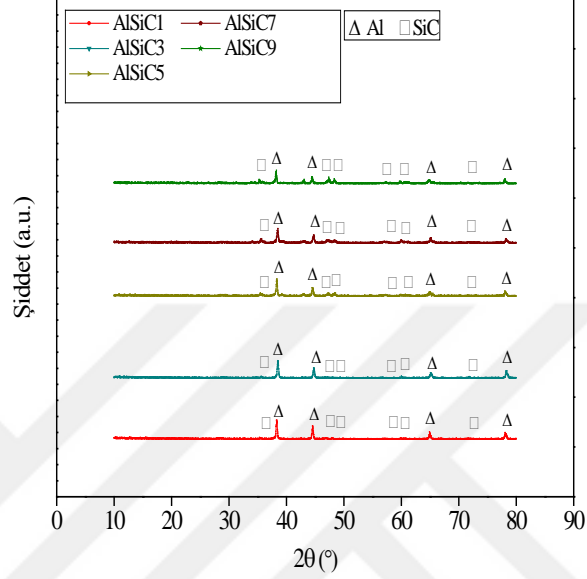


Şekil 5.2. SiC tozlarına ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri (x500 büyütme)
Kompozit malzemede alüminyum alaşımı ve SiC tozların faz analizi için Rigaku SmartLab model X-ışını kırınımı cihazı kullanılmıştır (Şekil 5.3). Alüminyumun kırınım açıları $2\theta \sim 38^\circ, 45^\circ, 66^\circ, 78^\circ$ iken; SiC tozların kırınım açıları $2\theta \sim 39^\circ, 45^\circ, 65^\circ, 78^\circ$; $2\theta \sim 35^\circ, 38^\circ, 60^\circ, 72^\circ$ olarak belirlenmiştir.



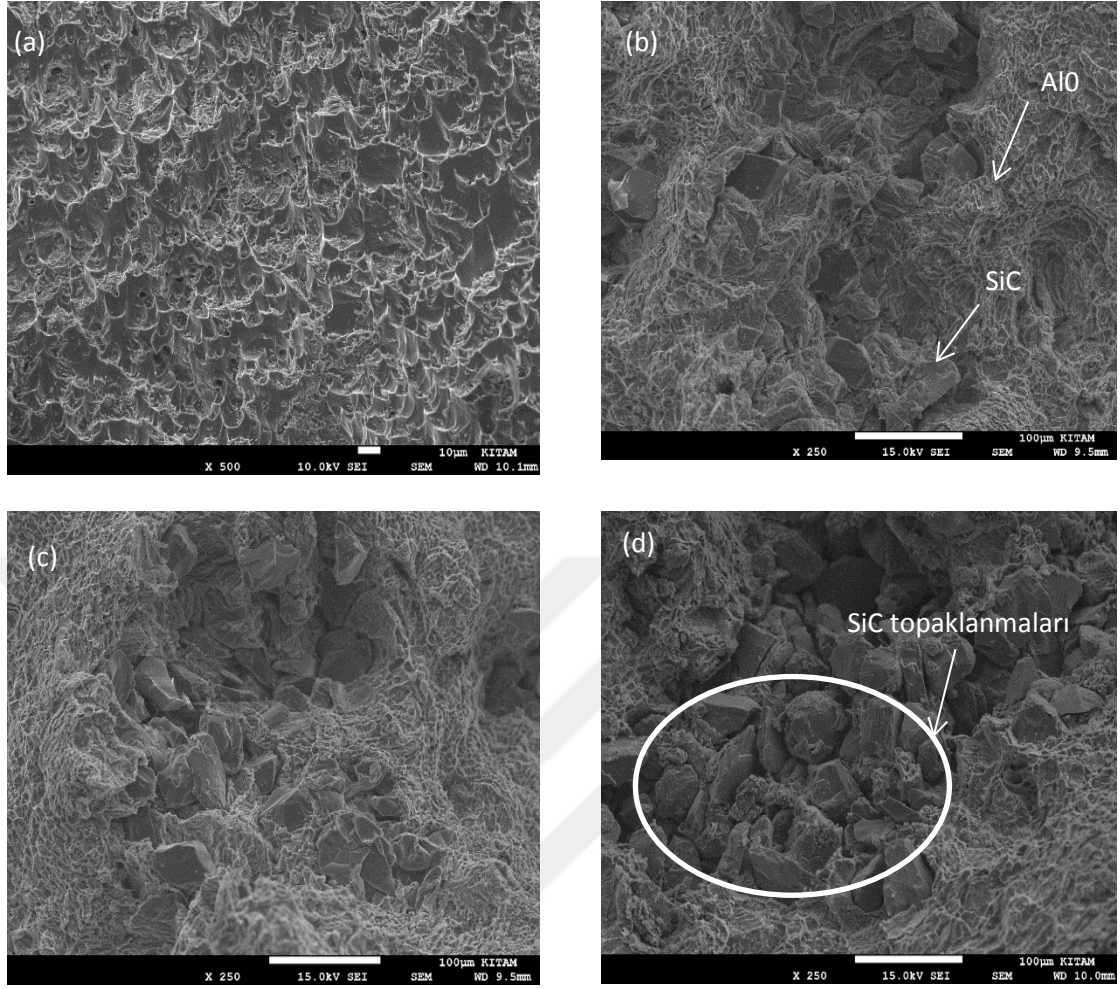
Şekil 5.3. Al (a) ve SiC (b) tozlarına ait XRD örgü desenleri

SiC takviyeli alüminyum esaslı kompozitlerin XRD örgü desenleri Şekil 5.4'te verilmiştir. XRD örgü desenindeki pikler incelendiğinde, fazların silisyum karbür ve alüminyuma ait olduğu görülmüştür. Alüminyum karbür (Al_4C_3) gibi istenmeyen ikincil fazlar ise saptanmamıştır.



Şekil 5.4. SiC takviyeli Al matrisli kompozitlerin XRD örgü desenleri

Şekil 5.5'te, üretilen kompozitlerin kırık yüzey SEM görüntüleri verilmiştir. Kırık yüzey görüntülerinde, eritme sonrasında tanelerin birleşme noktalarından boyun vererek birleştiği ve oldukça az gözenekli yapı oluşturduğu görülmüştür. Şekilde görüldüğü üzere artan SiC miktarına bağlı olarak yapı içerisinde topaklanmalar oluşmuştur. Bu da katkı miktarı arttıkça homojen dağılamayan SiC partiküllerinden kaynaklanmıştır.



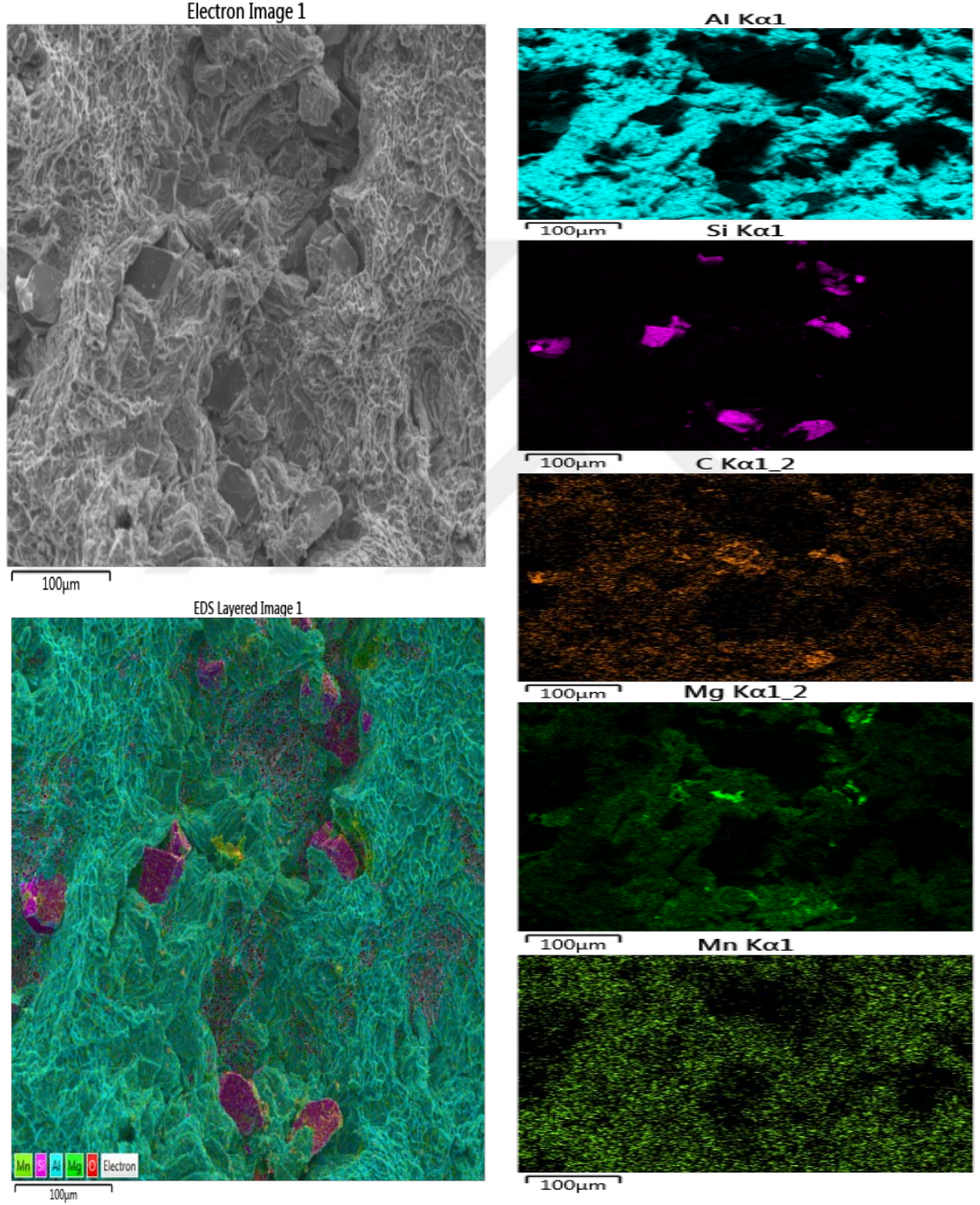
Şekil 5.5. Takviyesiz ve SiC takviyeli Al kompozitlerin kırık yüzey görüntüleri: (a) Al0, (b) AlSiC1, (c) AlSiC5, (d) AlSiC9

Atık alüminyum içecek kutularından elde edilen matrise döküm öncesi ve sonrası EDS analizi yapılmıştır. Yapılan EDS analizi sonuçları Çizelge 5.1’de verilmiştir. Döküm sonrasında buharlaşmadan dolayı Al ve Mg’da bir miktar azalma meydana geldiği görülmüştür.

Çizelge 5.1. Döküm öncesi ve sonrası EDS analizi sonuçları

	Al	Si	Mg	Mn
Döküm öncesi (ağ.)	94,74	3,60	0,82	0,84
Döküm sonrası (ağ.)	93,82	4,21	0,72	1,25

Üretilen Al-SiC kompozit yapıların SEM-EDS elemental haritalama görüntüleri Şekil 5.6’da verilmiştir. Bu analizlerde her bir element farklı bir renk ile gösterilmiş olup içyapıda hangi elementlerin bulunduğu ve bu elementlerin nasıl dağıldığı belirlenebilmektedir. Matris malzemesi olarak Al alaşımı kullanıldığı için elemental haritalama görüntülerinde yapıda alüminyumun yanı sıra Mg ve Mn varlığı da görülmüştür.



Şekil 5.6. Al-SiC kompozitlerin SEM-EDS haritalamayla element dağılım analizleri

5.1.2. SiC takviyeli kompozitlerin yoğunluk ölçümleri ve porozitenin belirlenmesi

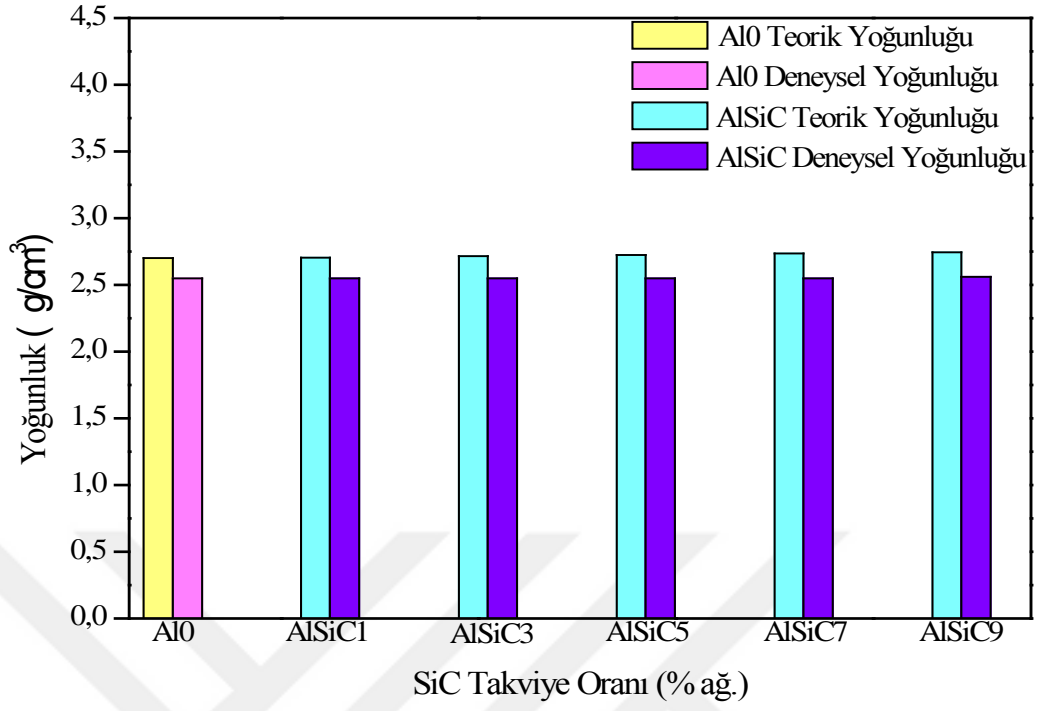
Takviyesiz ve SiC takviyeli kompozitlerin her biri için Arşimet prensibine göre deneysel yoğunlukları, karışımlar kuralına göre teorik yoğunlukları ve bu yoğunluklar kullanılarak porozite oranları hesaplanmış Çizelge 5.2’de verilmiştir.

SiC’in yoğunluğunun, matrisin yoğunluğundan fazla olması nedeniyle ağırlıkça takviye oranlarının artmasıyla, kompozit malzemelerin yoğunluklarının doğrusal olarak arttığı görülmüştür. Kompozitler içindeki SiC takviye oranının artmasıyla porozitenin de arttığı tespit edilmiştir.

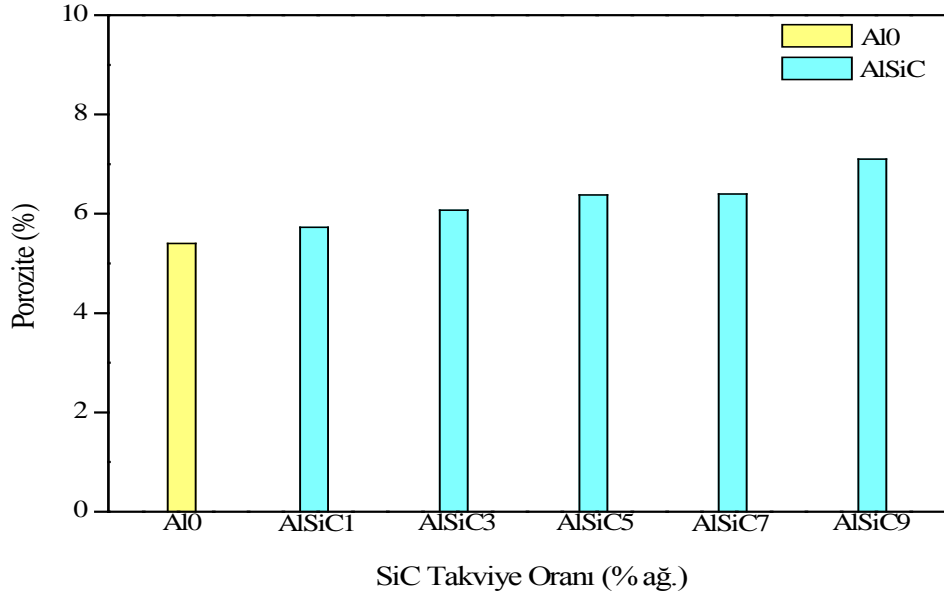
Çizelge 5.2. Takviyesiz ve SiC takviyeli numunelerin teorik ve deneysel yoğunlukları ile porozite oranları

Malzeme	Teorik Yoğunluk (g/cm ³)	Deneysel Yoğunluk (g/cm ³)	Deneysel Yoğunluk (%)	Porozite (%)
Al0	2,7	2,55	94,6	5,4
AlSiC1	2,705	2,55	94,27	5,73
AlSiC3	2,715	2,55	93,93	6,07
AlSiC5	2,725	2,55	93,62	6,38
AlSiC7	2,735	2,56	93,6	6,4
AlSiC9	2,745	2,54	92,9	7,1

SiC takviyeli kompozitlerin deneysel yoğunlukları ve teorik yoğunluklarının takviye oranına göre değişimi Şekil 5.7’de, takviye oranıyla porozite oranlarının değişimi de Şekil 5.8’de verilmiştir.



Şekil 5.7. SiC takviye oranlarına göre deneysel ve teorik yoğunlukları



Şekil 5.8. SiC takviye oranlarının artışıyla porozite değişimi

5.1.3. SiC takviyeli kompozitlerin sertlik ölçüm sonuçları

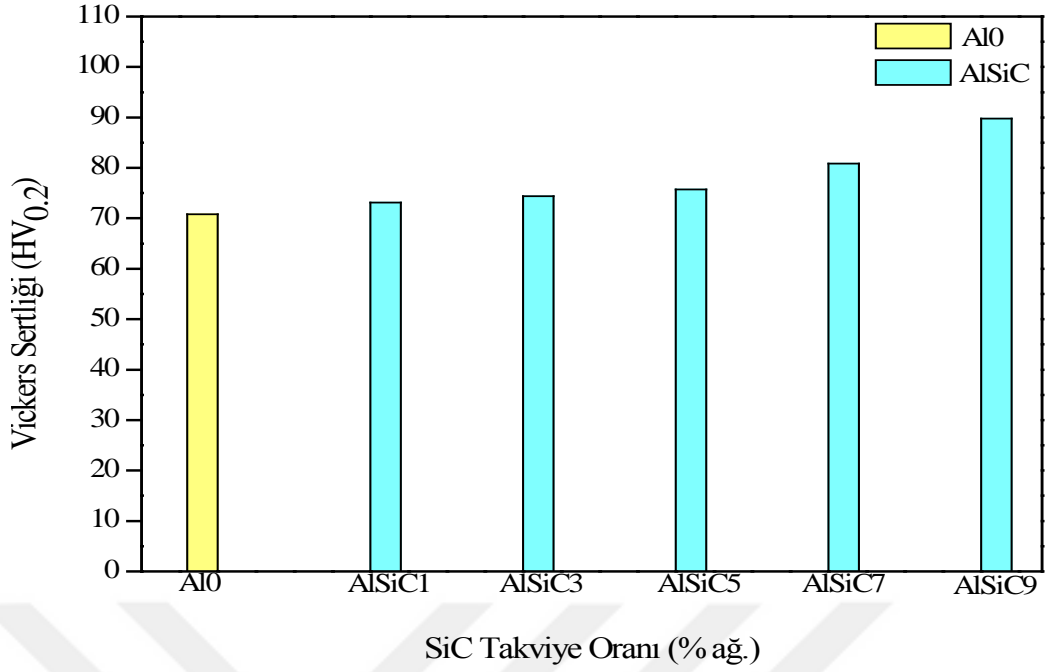
Alüminyum matris içine ağırlıkça %1, % 3, %5, %7 ve %9'i kadar SiC kullanılarak kompozit malzemeler hazırlanmıştır. Tüm numunelere sertlik testi uygulanmıştır ve en iyi değerlere sahip olan kompozit malzeme tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre; saf alüminyumun sertlik değeri 70,81 HV_{0,2} iken, ağırlıkça %9 oranında SiC katkısı ile üretilen kompozit malzemenin sertliği 89,80 HV_{0,2} değerine ulaşarak en iyi SiC oranının belirlenmesini sağlamıştır. SiC miktarına karşılık sertlik değerleri Çizelge 5.3 ve Şekil 5.9'da verilmiştir.

Sertliğin belli SiC takviyesinde artış göstermesinin nedeni dislokasyonlar teorisi ile açıklanabilir. Buna göre kullanılan takviye elemanının matris içinde miktarı arttıkça ve nano boyutlu olması sebebiyle kompozit yapı içinde dislokasyon yoğunluğunda artış olmaktadır. Dislokasyon yoğunluğu aynı zamanda kompozitin sertliğine de etki etmektedir. Eşitlik 5.1'de verildiği üzere sertlik dislokasyon yoğunluğunun karekökü ile orantılıdır. Burada H sertliği, H^* , α , G malzeme sabitlerini, b Burgers vektörünü ve ρ dislokasyon yoğunluğunu ifade etmektedir. Dolayısıyla artan dislokasyon yoğunluğu kompozitin sertliğini de artırmaktadır (Gürbüz, 2017).

$$H = h \sqrt{Dt} + \alpha G b \sqrt{\rho} \quad (5.1)$$

Çizelge 5.3. SiC takviyeli kompozitlerin sertlik testi sonuçları

Malzeme	Sertlik (HV _{0.2})			Ort. Sertlik (HV _{0.2})
	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	
Al0	72,95	67,73	71,75	70,81
AlSiC1	73,37	73,57	73,34	73,09
AlSiC3	76,56	73,78	72,75	74,36
AlSiC5	73,15	77,67	75,37	75,73
AlSiC7	81,40	78,35	82,87	80,87
AlSiC9	88,60	89,42	91,40	89,80



Şekil 5.9. Malzemelerin sertliğinin SiC yüzde ağırlık oranı ile değişimi

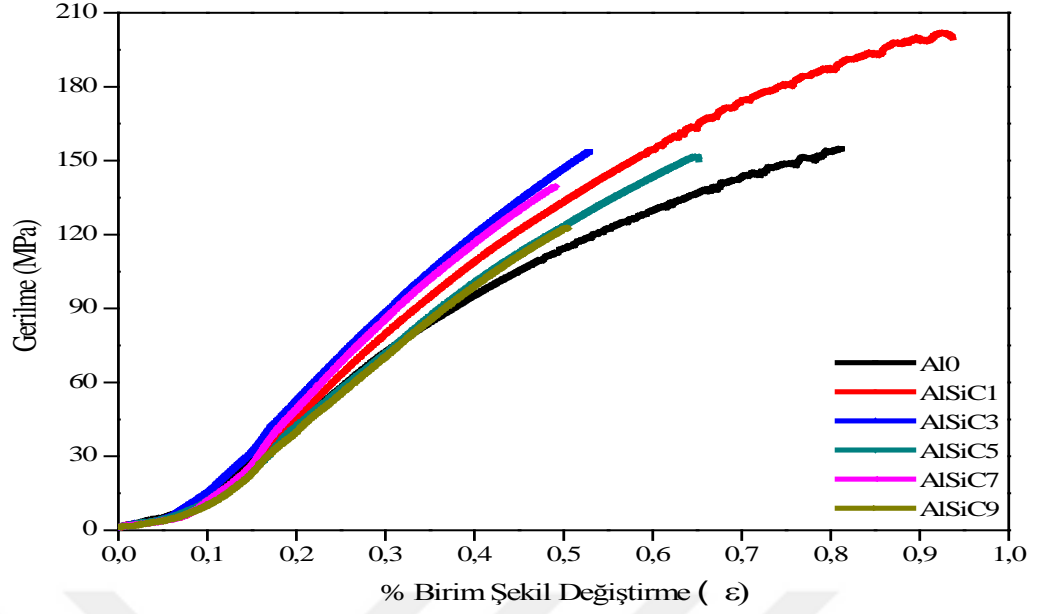
5.1.4. SiC takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçları

SiC yüzde ağırlık oranının artmasıyla kompozit malzemelerin çekme mukavemetinin takviyesiz matris malzemesine göre yüksek çıktığı ancak takviye oranının artmasıyla çekme dayanımının azaldığı görülmüştür. Bu durum, yapılan literatür taraması sonucu elde edilen bilgilerle benzerlik göstermektedir.

Malzemelerin çekme mukavemeti değerlerinin takviye oranına göre değişimini gösteren grafikler Çizelge 5.4 ve Şekil 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.4. SiC takviyeli kompozitlerin çekme testi sonuçları

Malzeme	Maks. Çekme Dayanımı (MPa)
AlO	151,07
AlSiC1	193,47
AlSiC3	149,78
AlSiC5	142,07
AlSiC7	128,48
AlSiC9	114,02



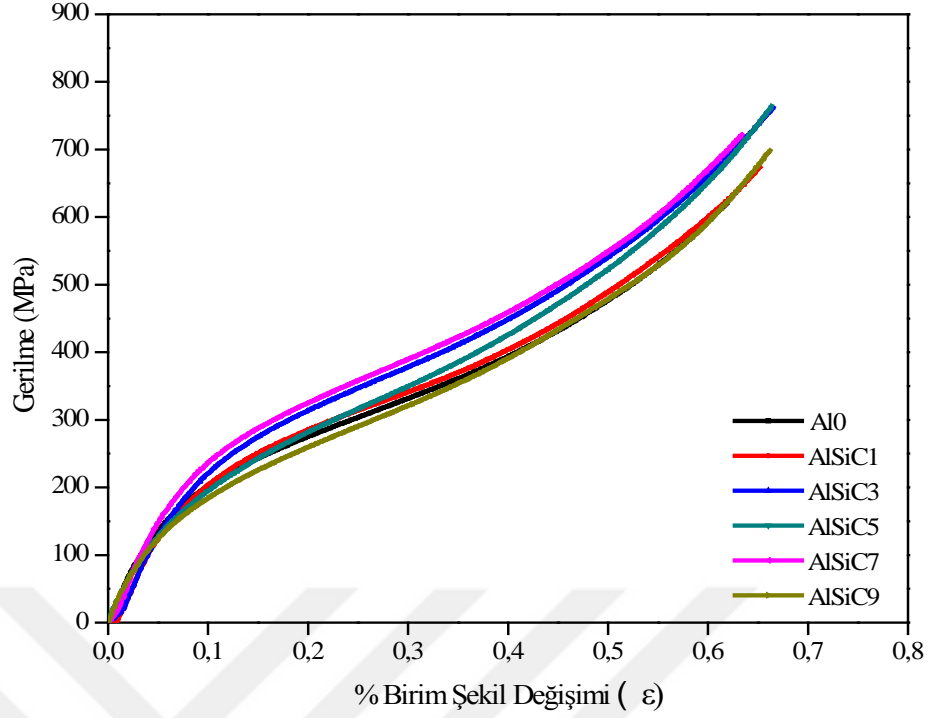
Şekil 5.10. Malzemelerin maks. çekme dayanımının SiC yüzde ağırlık oranı ile değişimi

5.1.5. SiC takviyeli kompozitlerin basma testi ölçüm sonuçları

SiC ilavesi basma dayanımını kayda değer ölçüde arttırmıştır. SiC takviye oranı arttıkça basma dayanımında düşüş gözlenmektedir. Bunun sebebi; artan SiC miktarı ile yapıda daha çok SiC yer almakta ve topaklanma eğilimi artmaktadır. Bu da plastik deformasyon anında SiC topaklanmasını ve kaymanın daha kolay olmasını sağlamaktadır. SiC takviyeli kompozitler için 763,69 MPa değeri ile en yüksek basma dayanımına sahip kompozit malzemenin %5 takviye oranında olduğu görülmüştür. Çizelge 5.5 ve Şekil 5.11’de verilen grafiklerde farklı SiC miktarına sahip numunelerin basma testi eğrileri gösterilmektedir.

Çizelge 5. 5. SiC takviyeli kompozitlerin basma deneyi sonuçları

Malzeme	Maks. Basma Dayanımı (MPa)
Al0	620,35
AlSiC1	673,57
AlSiC3	761,27
AlSiC5	763,69
AlSiC7	721,55
AlSiC9	689,11



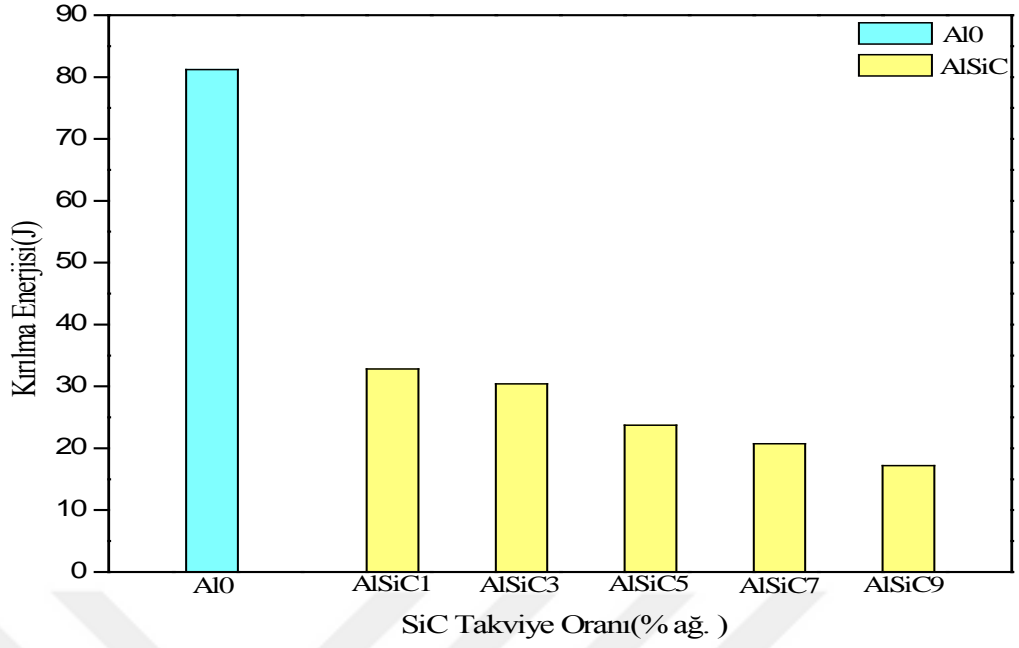
Şekil 5.11. Malzemelerin maks. basma dayanımının SiC yüzde ağırlık oranı ile değişimi

5.1.6. SiC takviyeli kompozitlerin darbe testi ölçüm sonuçları

Üretilen SiC takviyeli kompozitlerin dinamik zorlamalar altındaki kırılma enerjisini saptayabilmek amacıyla çentik darbe testi yapılmıştır. Darbe testi yapılan numunelere ait görüntüler Çizelge 5.6 ve Şekil 5.12’de verilmiştir. Buna göre SiC miktarının ağırlıkça artmasıyla kırılma enerjisinde düşüş gözlenmektedir. Bu düşüşün nedeni SiC’in malzemeye gevreklik katmasından dolayı kırılma enerjisi düşmesidir.

Çizelge 5.6. SiC takviyeli kompozitlerin darbe deneyi sonuçları

Malzeme	Ort. Kırılma Enerjisi (J)
Al0	81,2
AlSiC1	32,82
AlSiC3	30,41
AlSiC5	23,72
AlSiC7	20,75
AlSiC9	17,17



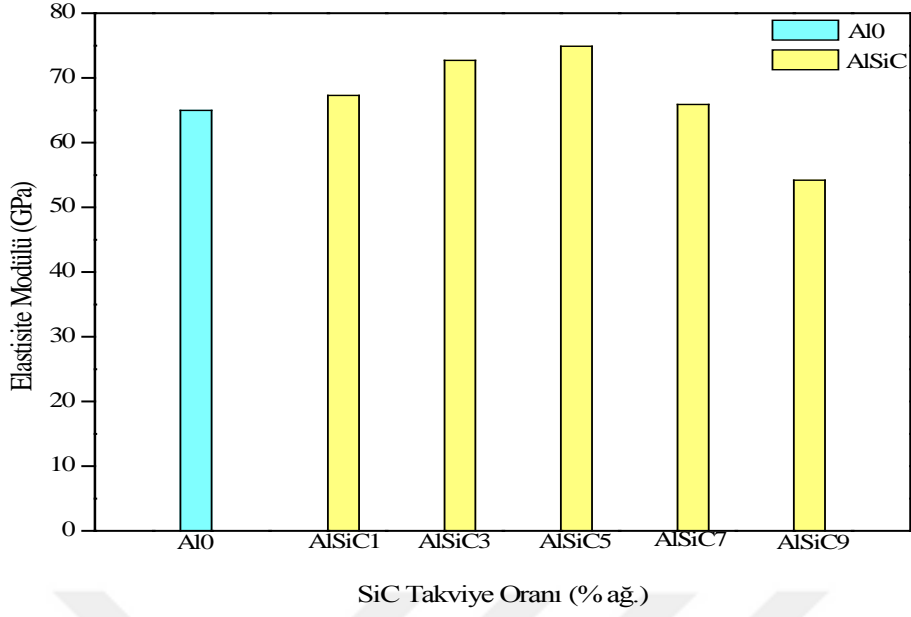
Şekil 5.12. Malzemelerin kırılma enerjisinin SiC yüzde ağırlık oranı ile değişimi

5.1.7 SiC takviyeli kompozitlerin eğme testi ölçüm sonuçları

SiC takviyeli kompozitlere yapılan eğme deneyi sonuçları Çizelge 5.7’de verilmiştir. SiC takviyeli kompozitlere yapılan eğme deneyinde takviye oranlarındaki elastisite modülü değişimi Şekil 5.13’de verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında en yüksek elastisite modülü %5 takviye oranında çıkmaktadır. Bundan sonraki takviye oranlarında ise takviye oranının artmasıyla SiC topaklanmaya başlaması ve kompozit içindeki poroziteden dolayı elastisite modülü düşmektedir.

Çizelge 5.7. SiC takviyeli kompozitlerin eğme deneyi sonuçları

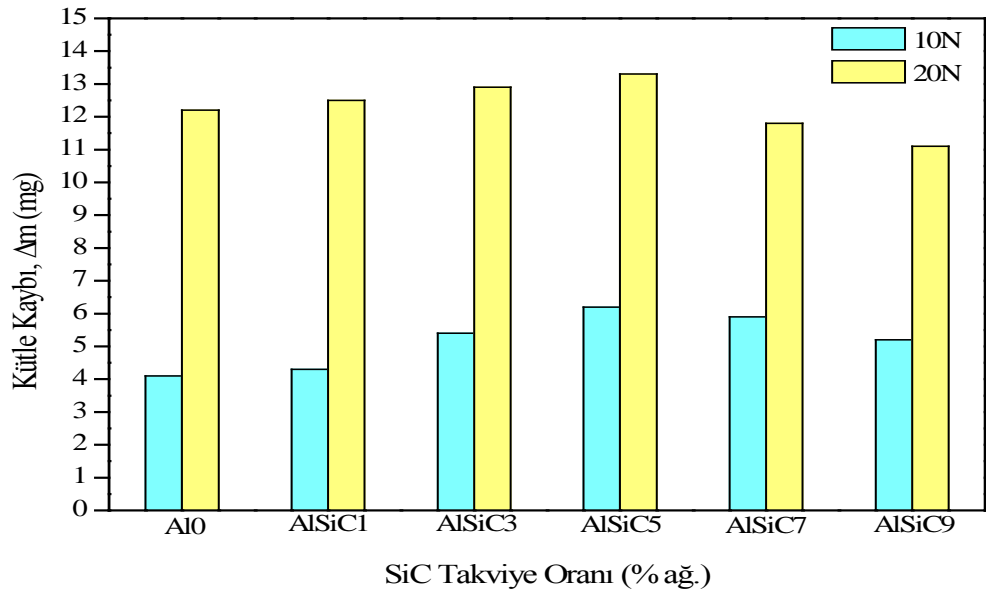
Malzeme Adı	Elastisite Modülü (GPa)
AlO	65
AlSiC1	67,3
AlSiC3	72,7
AlSiC5	74,9
AlSiC7	65,9
AlSiC9	54,2



Şekil 5.13. SiC takviyeli kompozitlerin elastisite modülünün değişimi

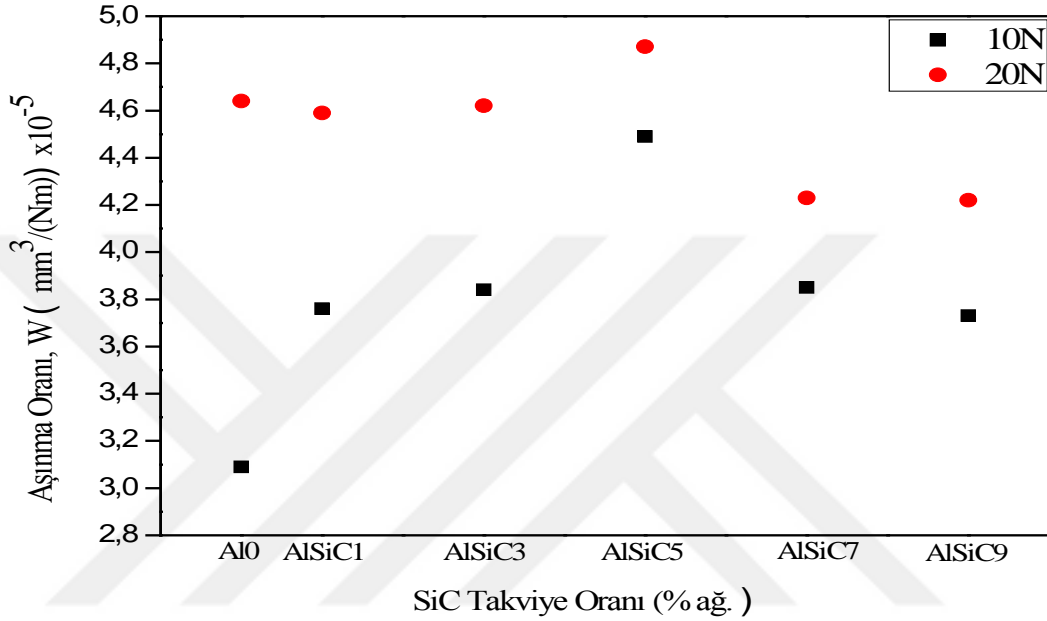
5.1.8 SiC takviyeli kompozitlerin aşınma testi ölçüm sonuçları

SiC takviyeli alüminyum kompozit malzemelere yapılan aşınma testi sonucunda yüke bağlı olarak kütle değişimi Şekil 5.14'te verilmiştir. Aşınma testlerinde kütle kaybının (Δm) uygulanan yüke bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. En fazla kütle kaybı %5 SiC takviye edilen kompozit malzemede 20 N yük altında gerçekleşmiştir. Aynı yük altında en az kütle kaybı %9 SiC takviyeli kompozitte olduğu görülmüştür.



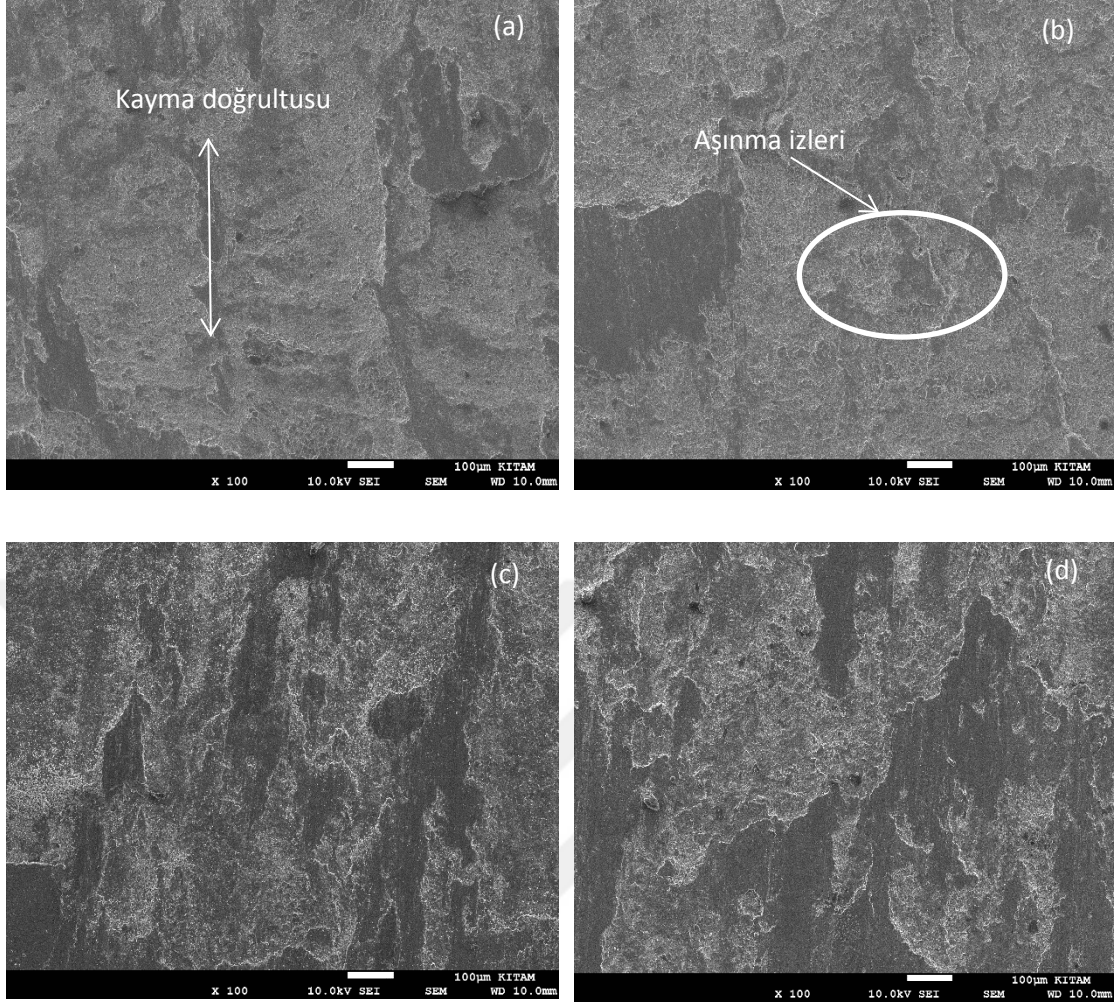
Şekil 5.14. Al/SiC kompozit yapılarında kütle kaybı değişimi

Aşınma testi sonucunda takviyesiz ve SiC takviyeli kompozit yapılarda yük (P) altında aşınma oranları (W) Şekil 5.15’de verilmiştir. Her iki yük altında da en düşük aşınma oranı %9 SiC takviyeli kompozitte görülmüştür. Bununla birlikte artan takviye oranıyla birlikte aşınma oranı yükselmiştir. Bunun nedeni ise takviye elemanının topaklanma eğilimine girdiği ve matris içinde SiC kümeleri oluşmaya başlamasıdır.



Şekil 5.15. Al/SiC kompozit yapılarda aşınma oranı değişimi

Saf Al, Al-Grf kompozit yapıların kuru şartlarda P=20 N yük altındaki aşınma izleri Şekil 5.16’da verilmiştir. Abrasif aşınma izleri incelendiğinde, minimum deformasyonun AlSiC9 kompozit yapıda olduğu gözlenmiştir. SiC’in sert yapısı ve aşındırıcı özelliği nedeniyle SiC katkısıyla aşınmanın azaldığı tespit edilmiş olup taramalı elektron mikroskobu aşınma izleri, aşınma testlerini doğrular niteliktedir. Aynı malzemeler esas alınıp yük arttırıldığında ise izlerin derinleştiği, diğer bir ifadeyle deformasyonun ve aşınmanın arttığı tespit edilmiştir (Şekil 5.16).



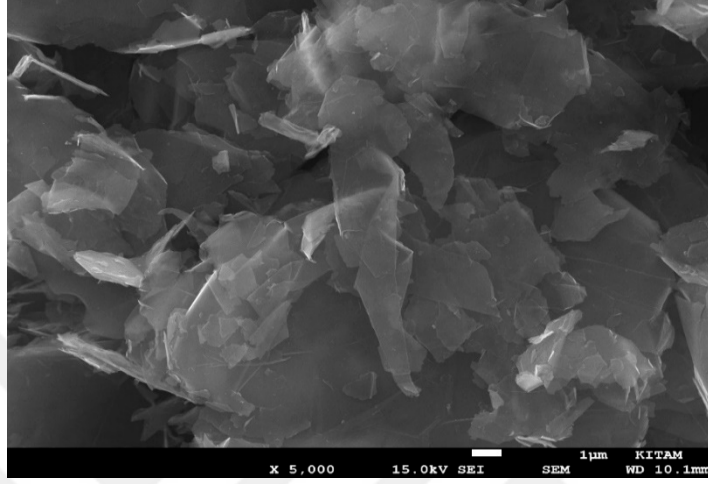
Şekil 5.16. (a) Al₀, (b) AlSiC, (c) AlSiC₅, (d) AlSiC₉ kompozitlerin aşınma izleri (100 X büyütme, P=20N yük altında)

5.2. Grafen Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Analiz Sonuçları

Ağırlıkça %0,05, %0,15, %0,3 %0,45, %0,6 ve %0,75 grafen takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin analiz sonuçlarına aşağıda yer verilmiştir. Bu analizler, kompozit malzeme üretiminde kullanılan tozların SEM, XRD ve tane boyut analizlerini, üretilen kompozitlerin yoğunluğunu, gözeneklilik oranını, mekanik özelliklerini (Vickers sertliğini, basma ve çekme dayanımını, darbe dayanımı ve elastisite modülü), aşınma davranışını ve mikroyapı incelemelerini kapsamaktadır.

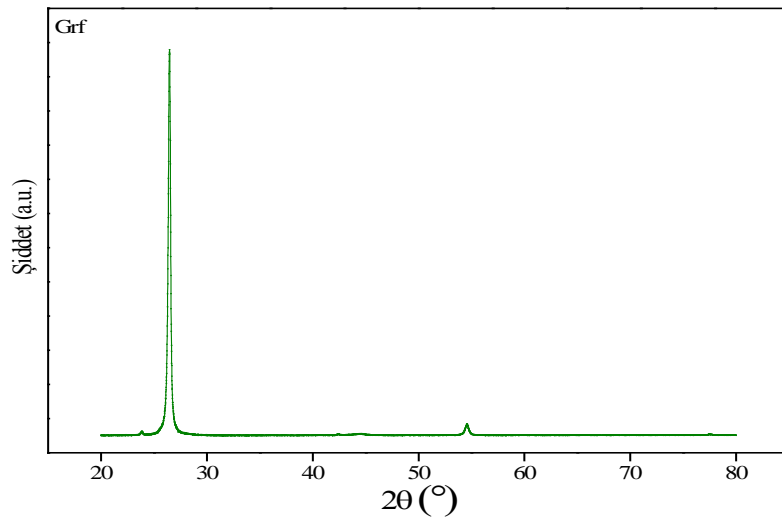
5.2.1. Grafen takviyeli kompozitlerin mikroyapı analizleri

Grafen tozlarına ait taramalı elektron mikroskobu görüntüsü Şekil 5.17’de verilmiştir. Grafenin tabakalı ve plakamsı bir yapıda olduğu 5000 X büyütmeli mikroyapı görüntüsünden görülebilmektedir.



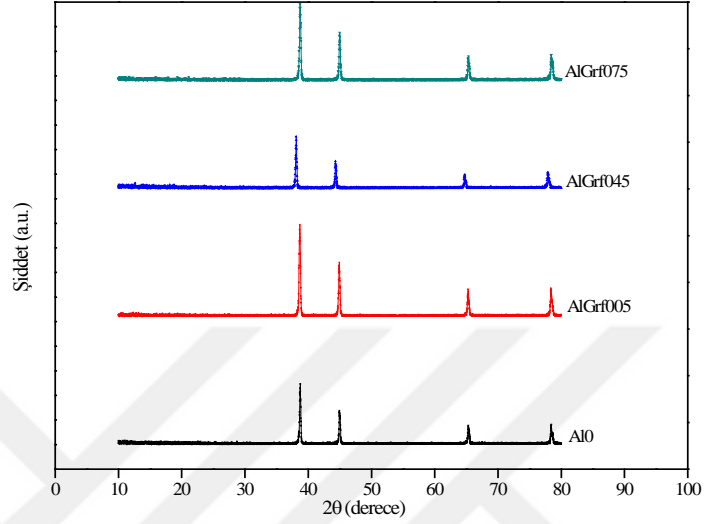
Şekil 5.17. Grafen tozlarına ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri 5000 X büyütmeli

Kompozit malzemede takviye elemanı olarak kullanılan grafen tozların ve üretilen kompozit malzemelerin faz analizi için Rigaku SmartLab model X-ışını kırınımı cihazı kullanılmıştır. Grafen nano tabakanın (Grf) kırınım açısının (2θ) $26,5^\circ$ olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.18).



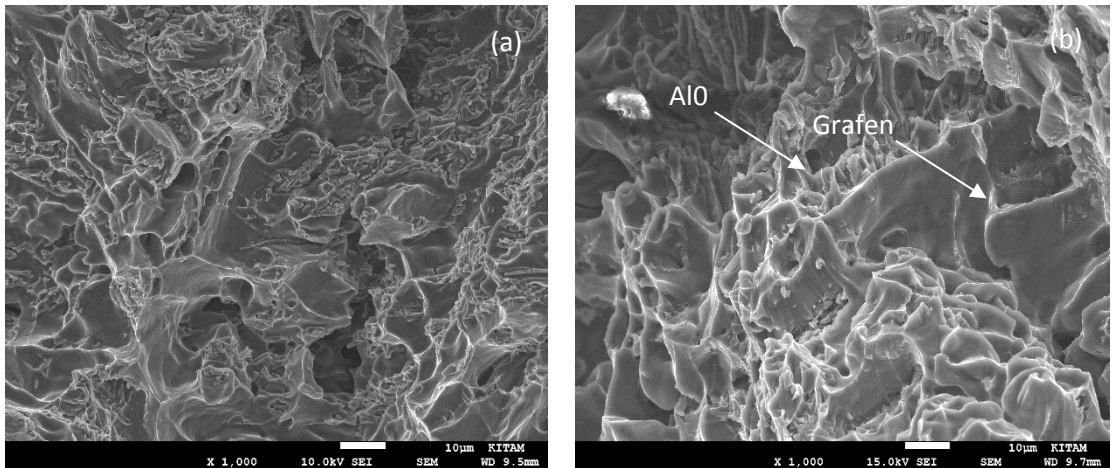
Şekil 5.18. Grafenin XRD örgü desenleri

Grafen takviyeli alüminyum esaslı kompozitlerin XRD örgü desenleri Şekil 5.19'da verilmiştir. XRD örgü desenindeki pikler incelendiğinde, fazların silisyum karbür ve alüminyuma ait olduğu görülmüştür. Alüminyum karbür (Al_4C_3) gibi istenmeyen ikincil fazlar ise saptanmamıştır.



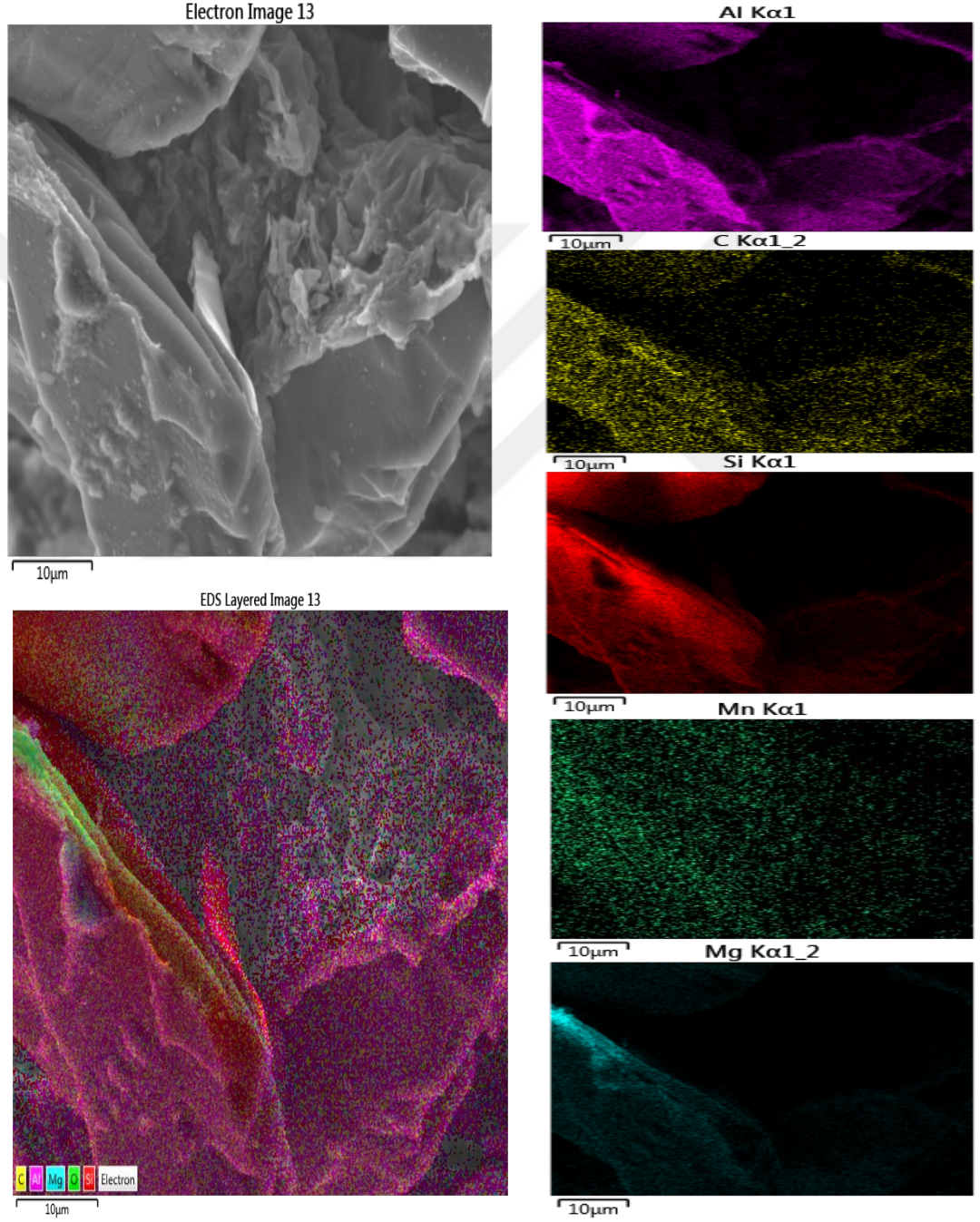
Şekil 5.19. SiC takviyeli Al matrisli kompozitlerin XRD örgü desenleri

Şekil 5.20'de, üretilen kompozitlerin kırık yüzey SEM görüntüleri verilmiştir. Kırık yüzey görüntülerinden, tanelerin boyun oluşturduğu ve oldukça az gözenekli yapıya sahip olduğu görülmektedir. Grafen takviye oranının artması homojen olmayan topakların oluşmasına neden olmuştur.



Şekil 5.20. Takviyesiz ve Grafen takviyeli Al kompozitlerin kırık yüzey görüntüleri:
(a) AlO, (b) AlGrf0,05

Üretilen Al-Grafen kompozit yapıların SEM-EDS haritalama ile element dağılım analizi sonuçları Şekil 5.21’de verilmiştir. Bu analizlerde her bir element farklı bir renk ile gösterilmiş olup içyapıda hangi elementlerin bulunduğu ve bu elementlerin nasıl dağıldığı belirlenebilmektedir. EDS görüntülerinde grafenin varlığı karbon varlığı ile kanıtlanmıştır.



Şekil 5.21. Al-Grafen kompozitlerin SEM-EDS haritalamayla element dağılım analizleri

5.2.2. Grafen takviyeli kompozitlerin yoğunluk ölçümleri ve porozitenin belirlenmesi

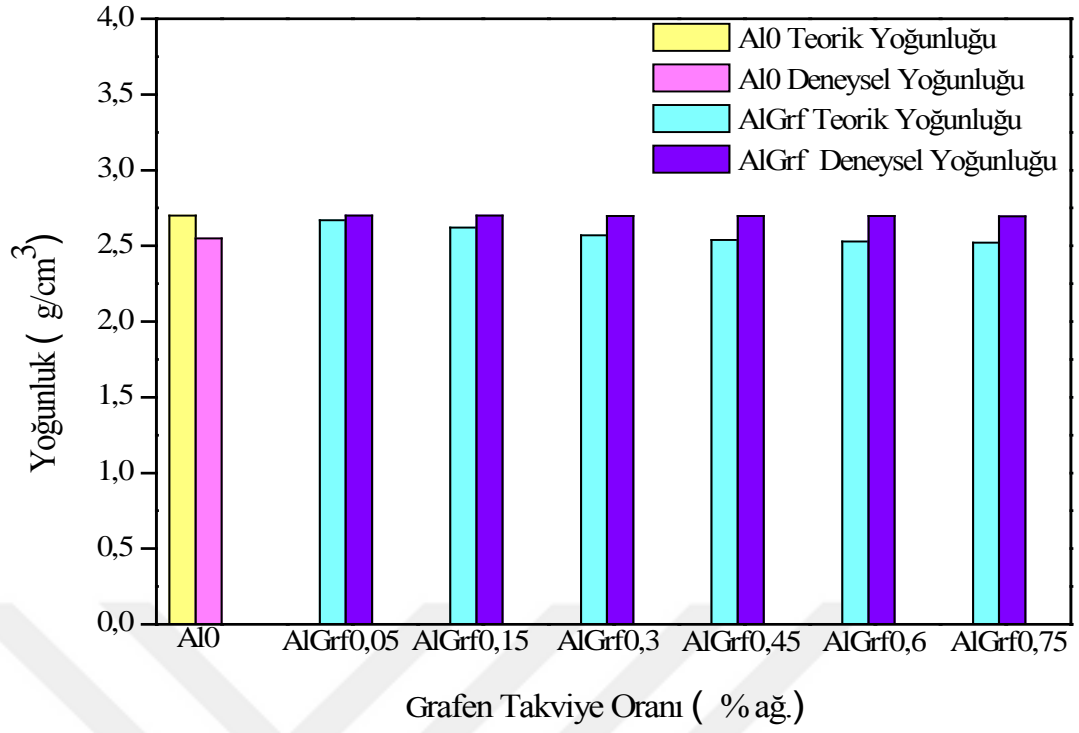
Takviyesiz ve grafen takviyeli kompozitlerin her biri için Arşimet prensibine göre deneysel yoğunlukları, karışımlar kuralına göre teorik yoğunlukları ve bu yoğunluklar kullanılarak porozite oranları hesaplanmış Çizelge 5.8’de verilmiştir.

Grafenin yoğunluğunun, matrisin yoğunluğundan düşük olması nedeniyle ağırlıkça takviye oranlarının artmasıyla, kompozit malzemelerin yoğunluklarının da azaldığı görülmüştür. Porozite ise kompozitler içindeki grafen takviye oranının artmasıyla artmıştır.

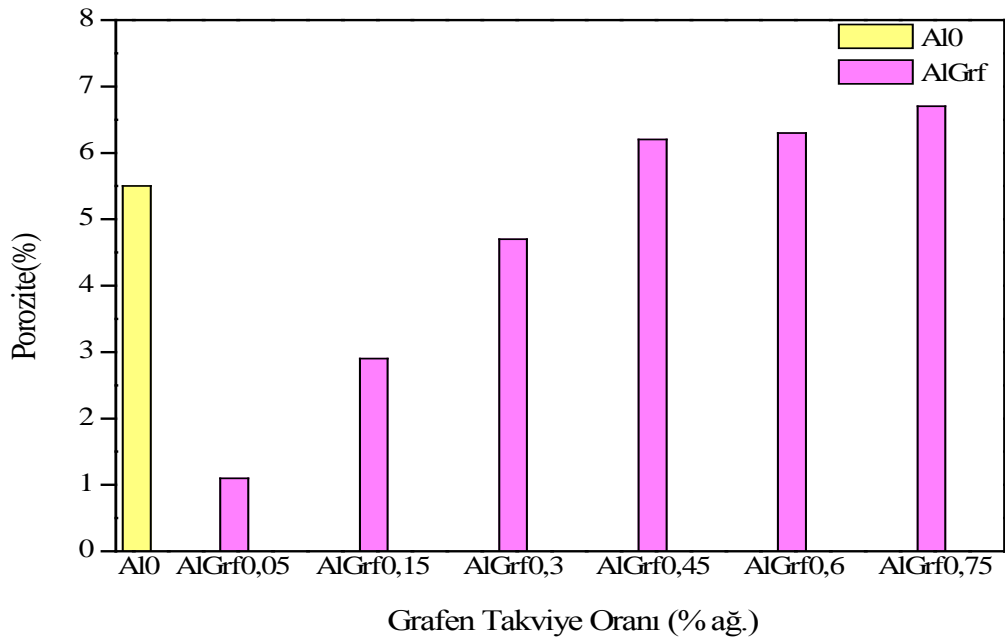
Çizelge 5.8. Takviyesiz ve grafen takviyeli numunelerin teorik ve deneysel yoğunlukları ile porozite oranları

Malzeme	Teorik Yoğunluk (g/cm³)	Deneysel Yoğunluk (g/cm³)	Deneysel Yoğunluk (%)	Porozite (%)
Al0	2,7	2,55	94,5	5,5
AlGrf0,05	2,699	2,67	98,9	1,1
AlGrf0,15	2,699	2,62	97,1	2,9
AlGrf0,3	2,698	2,57	95,3	4,7
AlGrf0,45	2,698	2,54	93,8	6,2
AlGrf0,6	2,697	2,53	93,7	6,3
AlGrf0,75	2,696	2,52	93,5	6,5

Grafen takviyeli kompozitlerin deneysel yoğunlukları ve teorik yoğunluklarının takviye oranına göre değişimi Şekil 5.22’de, takviye oranıyla porozite oranlarının değişimi de Şekil 5.23’de verilmiştir.



Şekil 5.22. Grafen takviye oranlarına göre deneysel ve teorik yoğunlukları



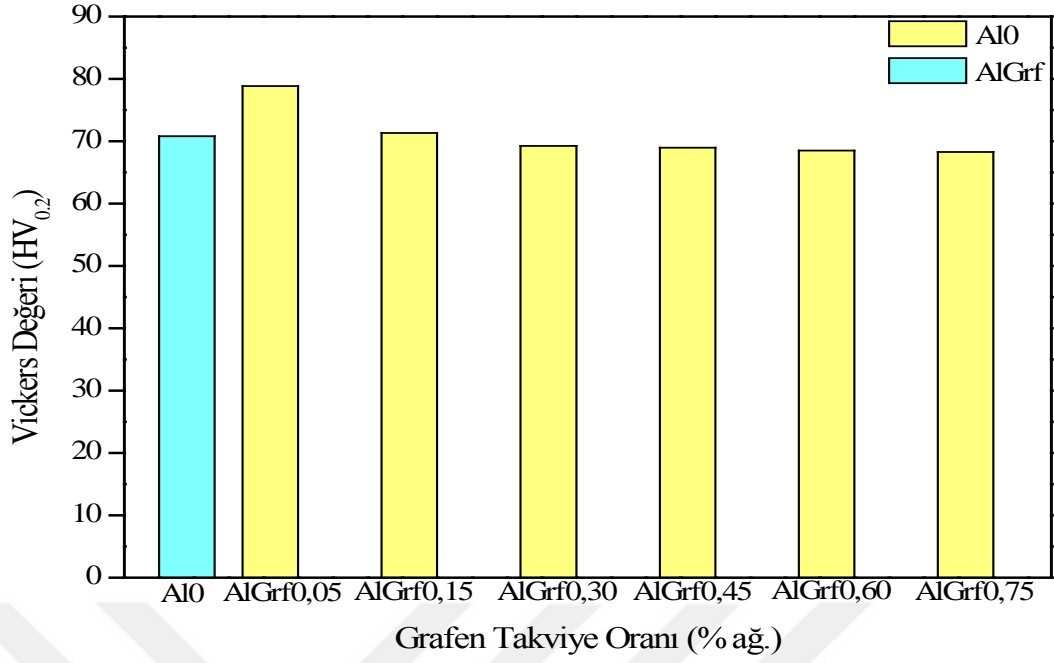
Şekil 5.23. Grafen takviye oranlarının artışıyla porozite değişimi

5.2.3. Grafen takviyeli kompozitlerin sertlik testi ölçüm sonuçları

Grafen yüzde ağırlık oranının artmasıyla kompozit malzemelerin sertliğinin takviyesiz matris malzemesine göre arttığı ancak en yüksek sertliğin %0,05 takviye oranında elde edildiği görülmüştür. Bu oranın üzerindeki ilavelerde ise matrise göre sertlik değerleri daha fazla olmasına rağmen takviye oranının artmasıyla sertliğin düştüğü belirlenmiştir. Grafen takviyesi, matris yüzeyine kaplama yöntemiyle yapılmasına rağmen takviye oranı arttıkça grafenin topaklanma eğiliminin arttığı ve bunun sonucunda düzgün olmayan takviye dağılımından dolayı da sertliğin azaldığı düşünülmektedir. Çizelge 5.9 ve Şekil 5.24'te grafen takviyeli kompozitlerin sertlik sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.9. Grafen takviyeli kompozitlerin sertlik testi sonuçları

Malzeme	Sertlik(HV _{0.2})		Sertlik(HV _{0.2})		Ort. Sertlik (HV _{0.2})
	1.Ölçüm	2.Ölçüm	3.Ölçüm		
Al0	72,95	67,73	71,75		70,81
AlGrf0,05	77,00	81,40	78,12		78,84
AlGrf0,15	74,41	69,03	70,56		71,33
AlGrf0,30	72,95	68,84	65,93		69,25
AlGrf0,45	69,21	67,14	70,56		68,97
AlGrf0,60	70,56	65,41	69,60		68,52
AlGrf0,75	68,65	63,21	73,57		68,48



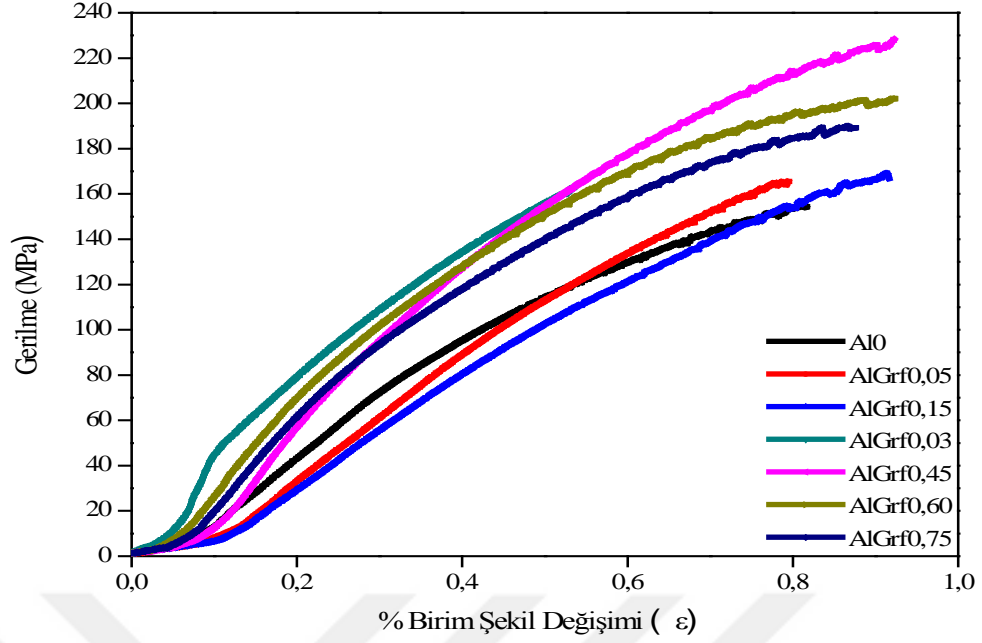
Şekil 5.24. Malzemelerin sertliğinin grafen yüzde ağırlık oranı ile değişimi

5.2.4. Grafen takviyeli kompozitlerin çekme testi ölçüm sonuçları

Grafen yüzde ağırlık oranının artmasıyla kompozit malzemelerin çekme mukavemetinin takviyesiz matris malzemesine göre yüksek çıktığı ancak takviye oranının artmasıyla çekme dayanımının azaldığı görülmüştür. Bu durum, yapılan literatür taraması sonucu elde edilen bilgilerle benzerlik göstermektedir. En yüksek çekme dayanımı % 0,45 katkı oranında 223,84 MPa olarak belirlenmiştir. Bu katkı oranından sonra çekme dayanımı azalmasının sebebi grafenin topaklanma eğilimine girdiğindedir. Malzemelerin çekme mukavemeti değerlerinin takviye oranına göre değişimini gösteren grafikler Çizelge 5.10 ve Şekil 5.25'te verilmiştir.

Çizelge 5.10. Grafen takviyeli kompozitlerin çekme deneyi sonuçları

Malzeme	Maks. Çekme Dayanımı (MPa)
AlO	151,07
AlGrf0,05	162,17
AlGrf0,15	165,43
AlGrf0,30	166,21
AlGrf0,45	223,84
AlGrf0,60	198,9
AlGrf0,75	186,08



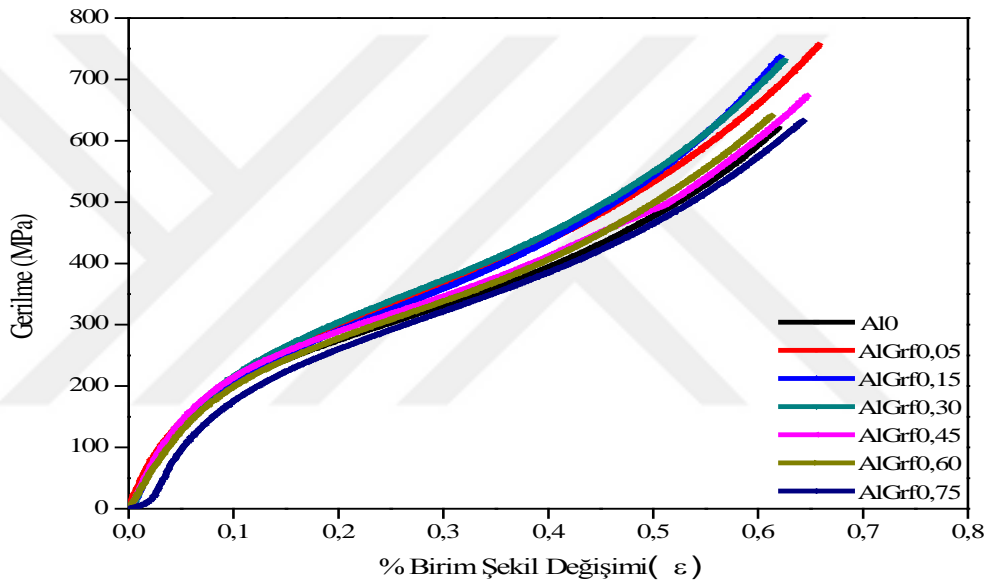
Şekil 5.25. Malzemelerin maks. çekme dayanımının grafen yüzde ağırlık oranı ile değişimi

5.2.5. Grafen takviyeli kompozitlerin basma testi ölçüm sonuçları

Grafen ilavesi basma dayanımını kayda değer ölçüde arttırmıştır. Grafen takviye oranı arttıkça basma dayanımında düşüş gözlenmektedir. Bunun sebebi; artan grafen miktarı ile yapıda daha çok grafen yer almakta ve topaklanma eğilimi artmaktadır. Bu da plastik deformasyon anında grafen topaklanmasını ve kaymanın daha kolay olmasını sağlamaktadır. Grafen takviyeli kompozitler için 756,04 MPa değeri ile en yüksek basma dayanımına sahip kompozit malzemenin %0,05 takviye oranında olduğu görülmüştür. Çizelge 5.11 ve Şekil 5.26'da verilen grafiklerde farklı grafen miktarına sahip numunelerin basma testi eğrileri gösterilmektedir.

Çizelge 5.11. Grafen takviyeli kompozitlerin basma deneyi sonuçları

Malzeme	Maks. Basma Dayanımı (MPa)
Al0	620,35
AlGrf0,05	756,04
AlGrf0,15	736,36
AlGrf0,30	730,47
AlGrf0,45	672,72
AlGrf0,60	640,11
AlGrf0,75	631,94



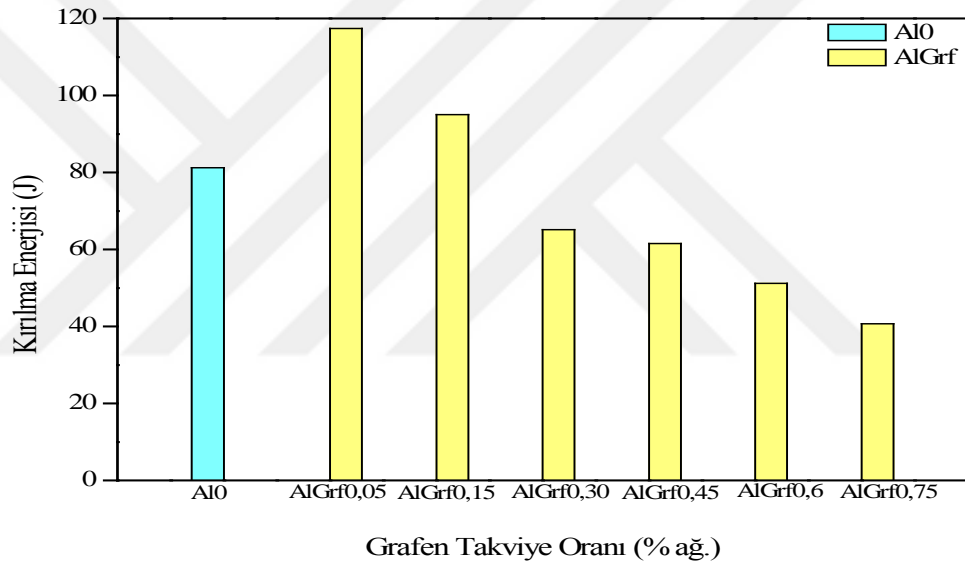
Şekil 5.26. Malzemelerin maks. basma dayanımının grafen yüzde ağırlık oranı ile değişimi

5.2.6. Grafen takviyeli kompozitlerin darbe testi ölçüm sonuçları

Üretilen SiC takviyeli kompozitlerin dinamik zorlamalar altındaki kırılma enerjisini saptayabilmek amacıyla çentik darbe testi yapılmıştır. Darbe testi yapılan numunelere ait görüntüler Çizelge 5.12 ve Şekil 5.27’de verilmiştir. Buna göre grafen takviyeli kompozitlerin genel anlamda takviyesiz malzemeye göre daha yüksek çıkmıştır. En yüksek kırılma enerjisi 117,42 J değeri ile AlGrf0,05 kompozitin de belirlenmiştir. Darbe mukavemetindeki azalmanın, takviye oranının artmasıyla grafenin topaklanma eğiliminin arttığı ve meydana gelen topaklanmanın da matris takviye arasındaki yük transferini olumsuz etkilemesi sonucunda gerçekleştiği şeklinde yorumlanmıştır.

Çizelge 5.12. Grafen takviyeli kompozitlerin darbe deneyi sonuçları

Malzeme	Ort. Kırılma Enerjisi (J)
AlO	81,2
AlGrf0,05	117,42
AlGrf0,15	94,99
AlGrf0,30	65,11
AlGrf0,45	61,56
AlGrf0,60	51,15
AlGrf0,75	40,67



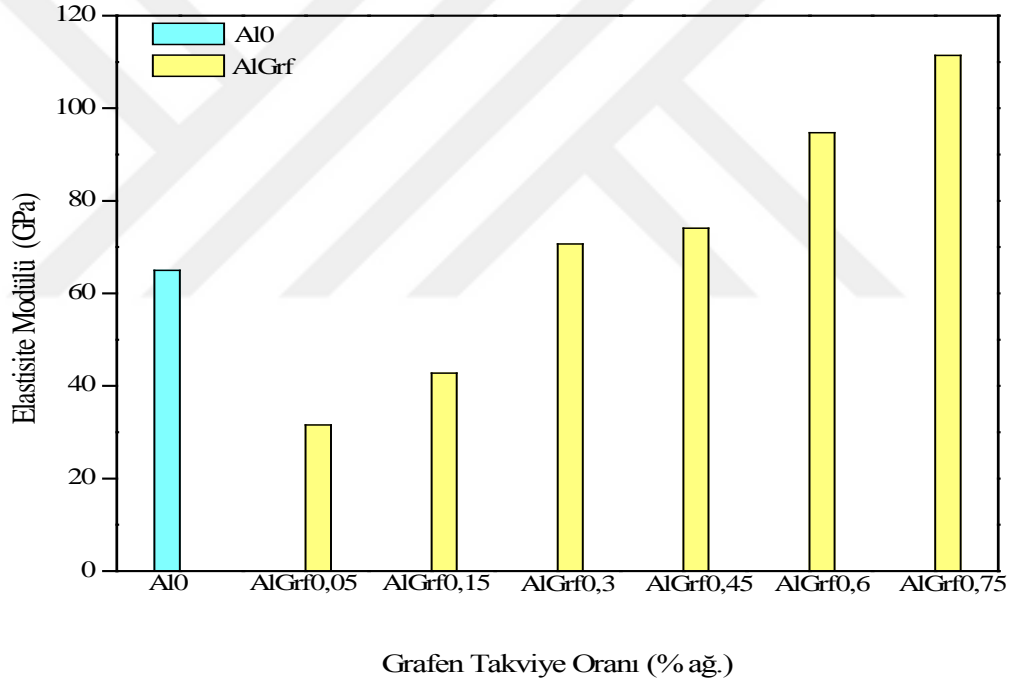
Şekil 5.27. Malzemelerin kırılma enerjisinin grafen yüzde ağırlık oranı ile değişimi

5.2.7 Grafen takviyeli kompozitlerin eğme deneyi ölçüm sonuçları

Grafen takviyeli kompozitlere yapılan eğme deneyi sonuçları Çizelge 5.13’de verilmiştir. Eğme deneyi yapılan grafen takviyeli kompozitlerin elastisite modülü değişimi Şekil 5.28’de gösterilmiştir. Artan grafen takviyesiyle birlikte elastisite modülü artmaktadır ve en yüksek elastisite modülü %0,75 grafen takviye oranında belirlenmiştir.

Çizelge 5.13. Grafen takviyeli kompozitlerin eğme deneyi sonuçları

Malzeme Adı	Elastisite Modülü (GPa)
Al0	65
AlGrf0,05	31,6
AlGrf0,5	42,8
AlGrf0,30	70,7
AlGrf0,45	74,1
AlGrf0,60	94,7
AlGrf0,75	114,4

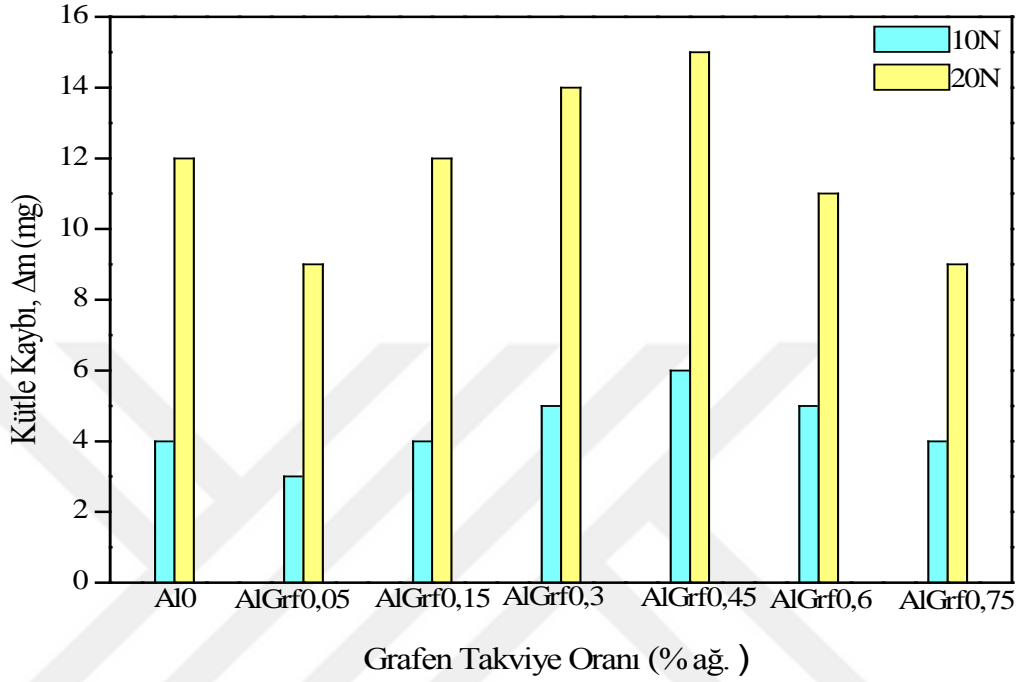


Şekil 5.28. Grafen takviyeli kompozitlerin elastisite modülünün değişimi

5.2.8 Grafen takviyeli kompozitlerin aşınma testi ölçüm sonuçları

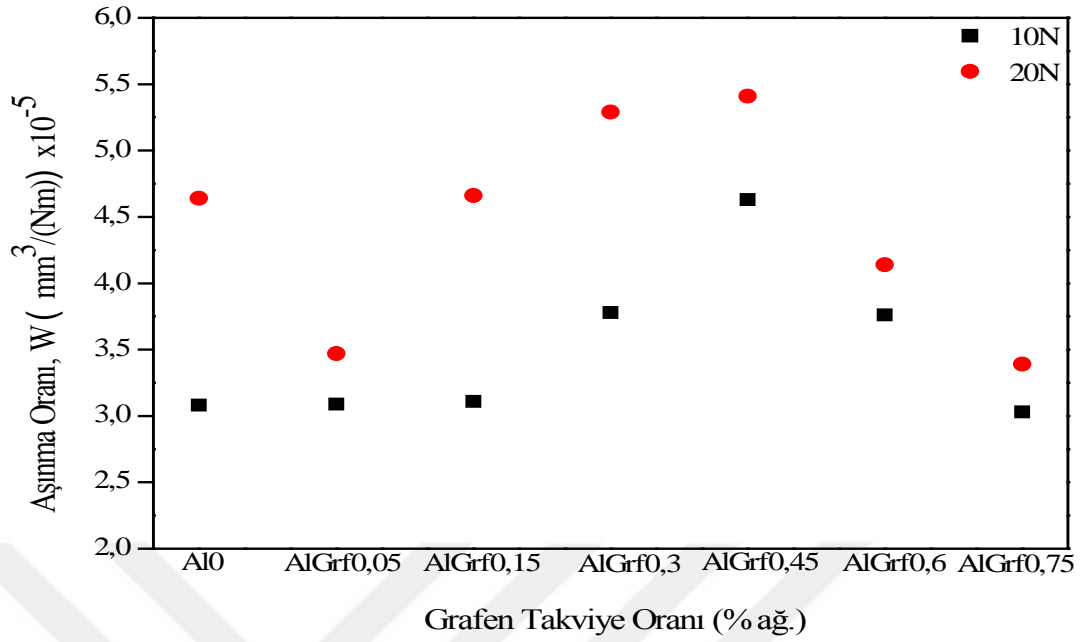
Grafen takviyeli kompozitlere yapılan aşınma testi sonucunda numunelerde meydana gelen kütle kaybı Şekil 5.29'da gösterilmiştir. Yapılan aşınma testinde uygulanan yükler altında en az kütle kaybı %0,75 grafen takviyeli kompozitte meydana gelmiştir. Artan grafen takviyesiyle birlikte grafen topaklanma eğilimine girdiği ve kümelenme

meydana geldiği bu nedenle kütle kaybında artış olduğu belirlenmiştir. Ancak %0,45 takviye oranından sonra matris içinde iyice kümeleşen grafen katı yağlayıcı gibi davranmış ve kütle kaybı azalmaya başlamıştır.



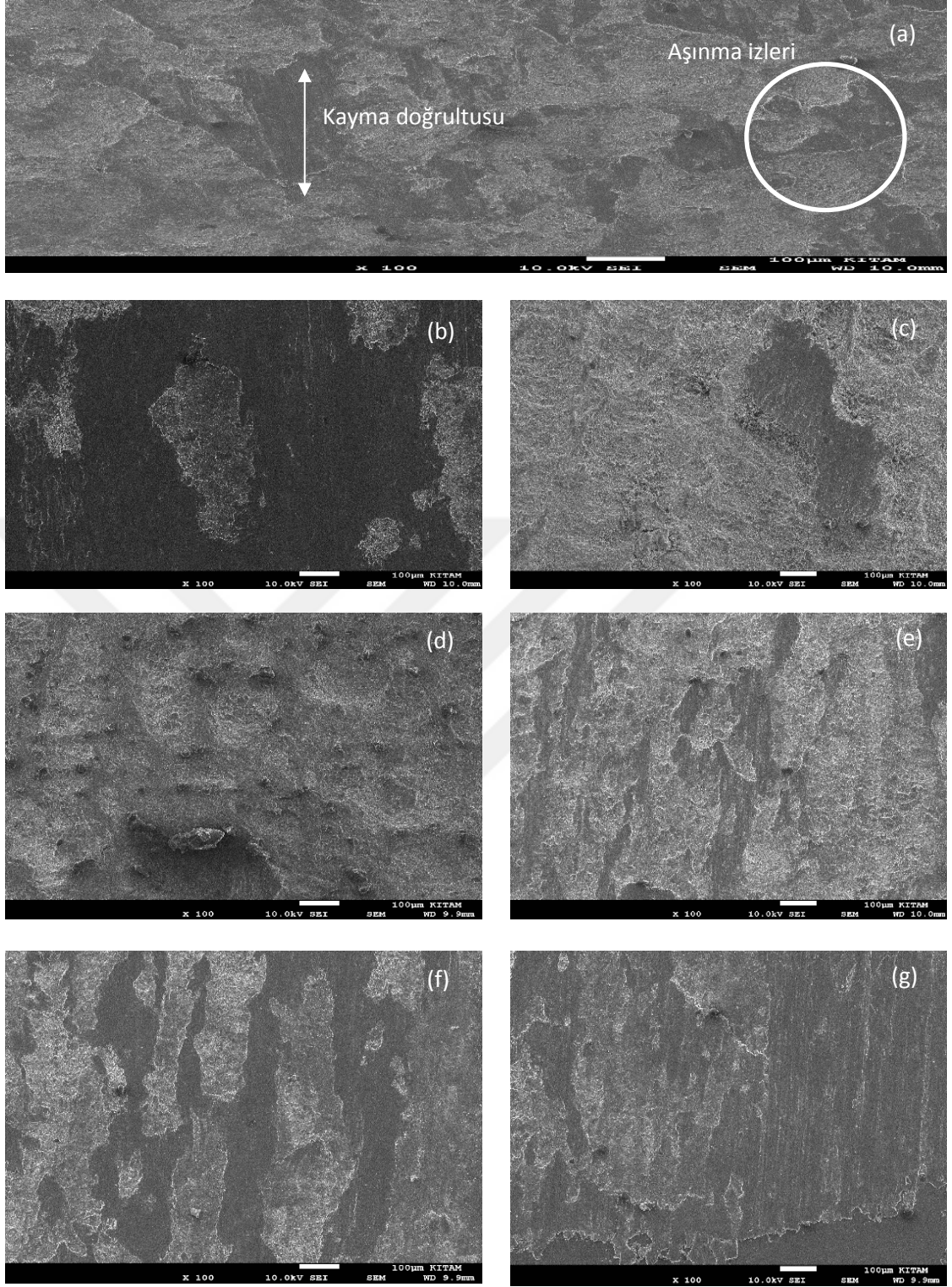
Şekil 5.29. Al/Grf kompozit yapılarında kütle kaybı değişimi

Uygulanan yükler altında grafen takviyeli kompozitlerde ki aşınma oranları Şekil 5.30'da verilmiştir. Aşınma oranları grafiğine bakıldığında aşınma oranı en az %0,75 takviyeli kompozitte gerçekleşmiş ve artan grafen takviyesiyle birlikte aşınma oranı artmaktadır. Ancak topaklanmaya ve kümelenmeye başlayan grafenin aşındırıcı gibi davranma başlamış ve aşınma oranının düştüğü belirlenmiştir.



Şekil 5.30. Al/Grf kompozit yapılarda aşınma oranı değişimi

Saf Al, Al-Grf kompozit yapıların kuru şartlarda P=20 N yük altındaki aşınma izleri Şekil 5.31’de verilmiştir. Abrasif aşınma izleri incelendiğinde, minimum deformasyonun AlGrf0,05 kompozit yapıda olduğu gözlenmiştir. Grafenin yağlayıcı özelliği sebebiyle grafen katkısıyla aşınmanın azaldığı tespit edilmiş olup taramalı elektron mikroskobu aşınma izleri, aşınma testlerini doğrular niteliktedir. Aynı malzemeler esas alınıp yük arttırıldığında ise izlerin derinleştiği, diğer bir ifadeyle deformasyonun ve aşınmanın arttığı tespit edilmiştir.



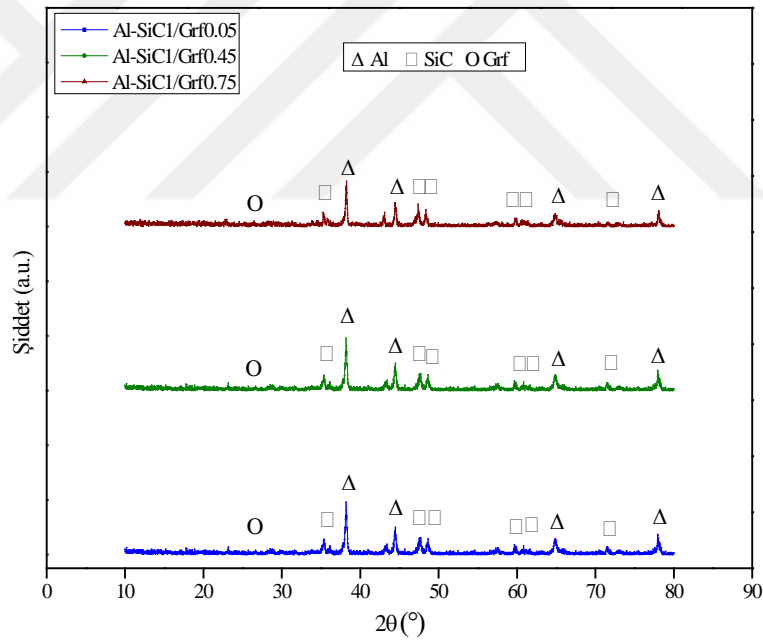
Şekil 5.31. (a) Al0, (b) AlGrf0,05, (c) AlGrf0,15, (d) AlGrf0,30, (e) AlGrf0,45, (f) AlGrf0,60, (g) AlGrf0,75 kompozitlerin aşınma izleri (100 X büyütme, P=20N yük altında)

5.3. Al-SiC1/Grafen Hibrit Kompozitlerin Analiz Sonuçları

Al-SiC/Grafen (ağırlıkça %1 SiC ve %0,05, %0,15, %0,3 %0,45, %0,6 ve %0.75 Grafen) takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin analiz sonuçlarına aşağıda yer verilmiştir. Bu analizler, kompozit malzeme üretiminde kullanılan tozların SEM, XRD ve tane boyut analizlerini, üretilen kompozitlerin yoğunluğunu, gözeneklilik oranını, mekanik özelliklerini (Vickers sertliğini, basma ve çekme dayanımını, darbe dayanımı ve elastisite modülü), aşınma davranışını ve mikroyapı incelemelerini kapsamaktadır.

5.3.1. Al-SiC1/Grafen Hibrit kompozitlerin mikroyapı analizleri

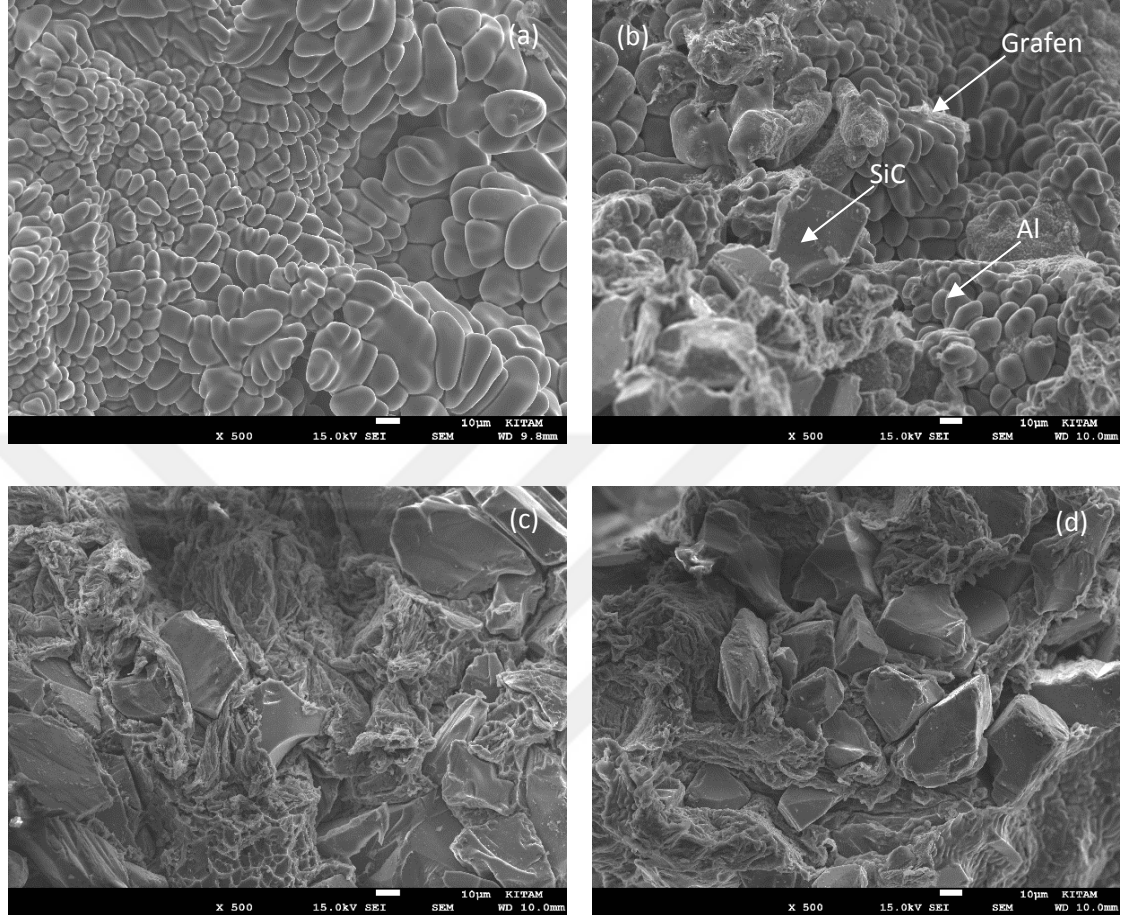
SiC ve grafen takviyeli hibrit kompozitlerin XRD örgü deseni Şekil 5.32'de verilmiştir. XRD örgü deseninden grafenin düşük miktarlarda takviye edilmesinden grafen piki ($2\theta=26,5^\circ$) oluşumu gözlemlenmemiştir. Ayrıca grafen kullanımı sebebiyle Al_4C_3 gibi istenmeyen ikincil fazlar saptanmamıştır.



Şekil 5.32. SiC1/Grafen takviyeli Al matrisli kompozitlerin XRD örgü desenleri

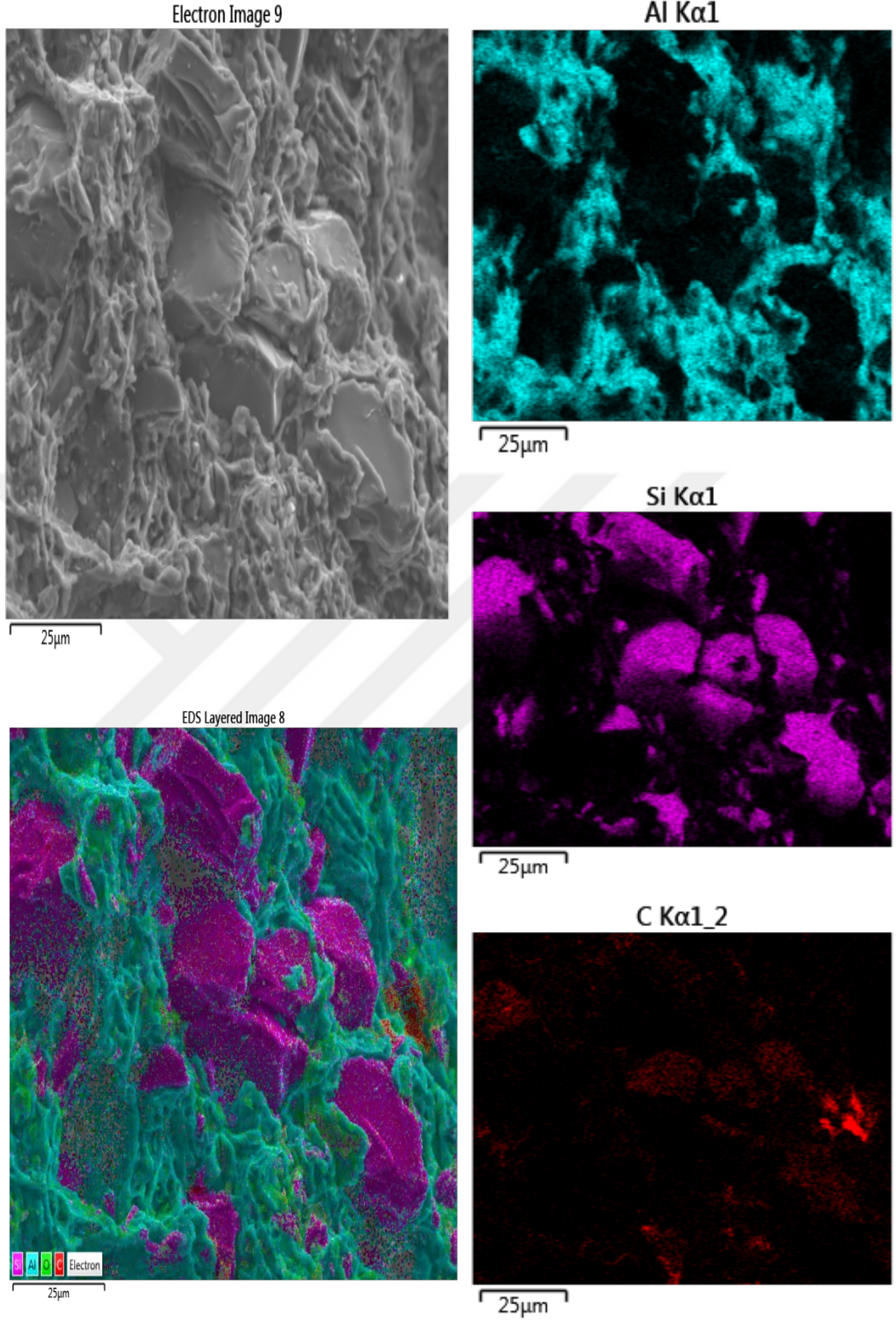
AlSiC1Grf0,05 (b), AlSiC1Grf0,45 (c) ve AlSiC1Grf0,75 (d) kompozitlerin kırık yüzey içyapı görüntüleri Şekil 5.33'te verilmiştir. Kompozit yapı içerisindeki grafen nano tabakalar (Grf), 500 X büyütmede ancak görülebilmektedir. Al, SiC ve grafen tanecikler arasındaki arayüz etkileşiminin oldukça güçlü olduğu görülmüştür. AlSiC1Grf0,05 kompozit yapıda, grafen tanecikler homojen şekilde dağılırken;

AlSiC1Grf0,45 ve AlSiC1Grf0,75 kompozit yapıda grafen taneciklerin topaklandığı görülmüştür. Bu durum, SEM-EDS analiziyle doğrulanmıştır.



Şekil 5.33. Takviyesiz ve SiC/Grafen takviyeli Al kompozitlerin kırık yüzey görüntüleri: (a) Al0, (b) AlSiC1Grf0,05, (c) AlSiC1Grf0,45, (d) AlSiC1Grf0,75

Üretilen kompozit yapılardan Al-SiC-Grafen kompozit yapıların SEM-EDS haritalama ile element dağılım analizi sonuçları Şekil 5.34'te verilmiştir. SEM-EDS haritalamayla kompozitlerin element dağılım analizleri yapılmıştır. Bu analizlerde her bir element farklı bir renk ile gösterilmiş olup içyapıda hangi elementlerin bulunduğu ve bu elementlerin nasıl dağıldığı belirlenebilmektedir. AlSiC1Grf0,05 kompozitlerin SEM-EDS haritalamayla dağılımında alüminyum (Al) elementi mavi renkte, silisyum (Si) elementi mor renkte, oksijen (O) elementi yeşil renkte ve karbon (C) elementi mor renkte gösterilmiştir.



Şekil 5.34. AlSiC1/Grafen kompozitlerin SEM-EDS haritalamayla element dağılım analizleri

5.3.2. Al-SiC1/Grafen hibrit kompozitlerin yoğunluk ölçümleri ve porozitenin belirlenmesi

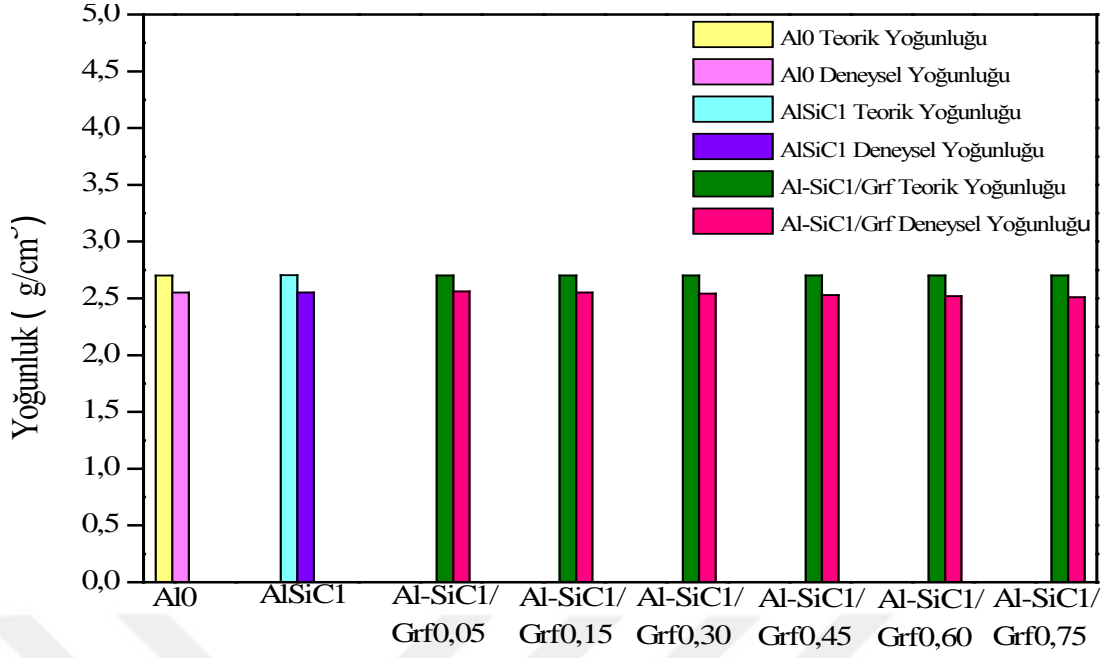
Grafen ve %1 SiC takviyeli kompozitlerin her biri için Arşimet prensibine göre deneysel yoğunlukları ve bu yoğunluklar kullanılarak porozite oranları hesaplanmış Çizelge 5.14'te verilmiştir.

Grafen ve %1 SiC takviyeli alüminyum esaslı kompozitin deneysel yoğunluğu, grafen katkısıyla artmış olup en yüksek yoğunluğa ($2,56 \text{ g/cm}^3$) ağırlıkça %0,05 grafen katkısında ulaşılmıştır.

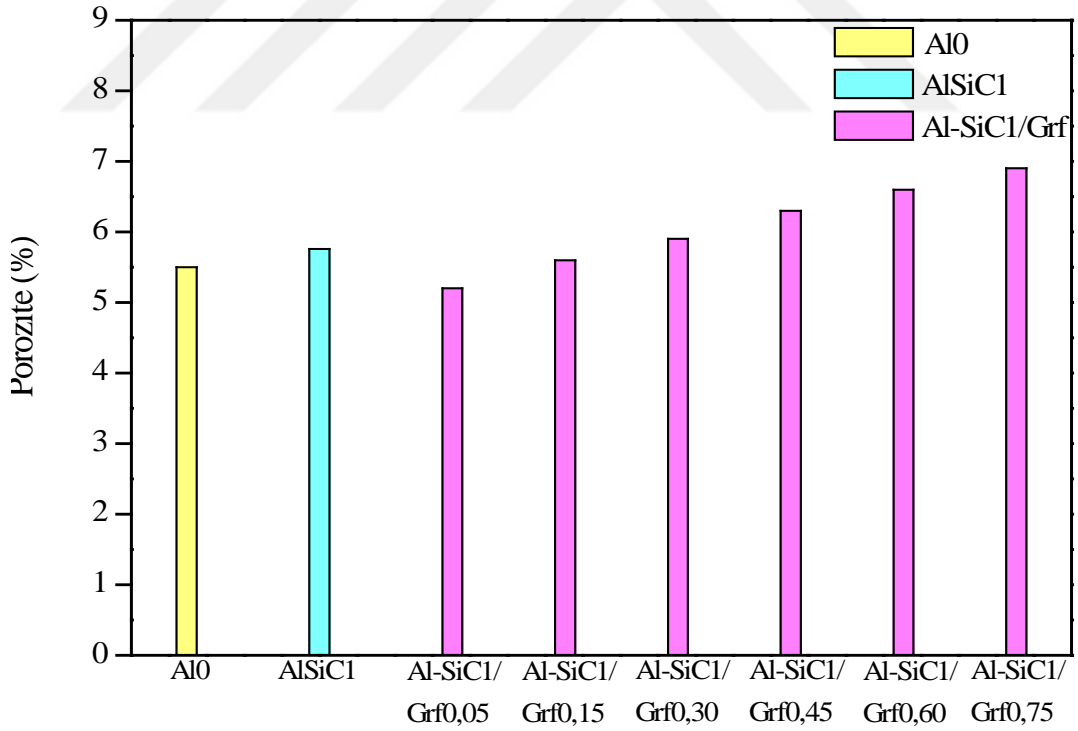
Çizelge 5.14. Al-SiC1/Grf Hibrit kompozitlerin deneysel yoğunlukları-porozite oranları

Malzeme	Teorik Yoğunluk (gr/cm^3)	Deneysel Yoğunluk (gr/cm^3)	Deneysel Yoğunluk (%)	Porozite (%)
Al0	2,7	2,55	94,5	5,5
AlSiC1	2,705	2,55	94,27	5,73
AlSiC1Grf0,05	~2,7	2,56	94,82	5,2
AlSiC1Grf0,15	~2,7	2,55	94,4	5,6
AlSiC1Grf0,30	~2,7	2,54	94,1	5,9
AlSiC1Grf0,45	~2,7	2,53	93,8	6,3
AlSiC1Grf0,60	~2,7	2,52	93,4	6,6
AlSiC1Grf0,75	~2,7	2,51	93,1	6,9

Grafen ve %1 SiC takviyeli kompozitlerin deneysel yoğunluklarının takviye oranına göre değişimi Şekil 5.35'de, takviye oranıyla porozite oranlarının değişimi de Şekil 5.36'da verilmiştir.



Şekil 5.35. Al-SiC1/Grf hibrit kompozitlerin yoğunluk değişimi



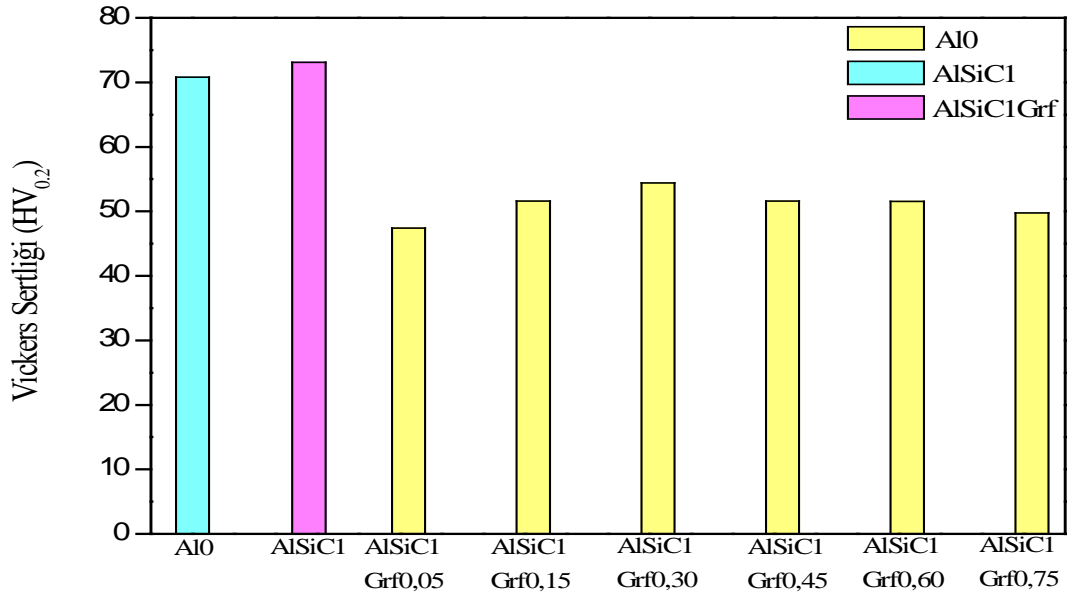
Şekil 5.36. Al-SiC1/Grf hibrit kompozitlerin porozite değişimi

5.3.3 Al-SiC1/Grafen hibrit kompozitlerin sertlik testi ölçüm sonuçları

SiC1/Grafen hibrit kompozitin Grafen yüzde ağırlık oranının artmasıyla kompozit malzemelerin sertliğinin takviyesiz matris malzemesine göre azaldığı görülmüştür. Grafen takviyesi, matris yüzeyine kaplama yöntemiyle yapılmasına rağmen takviye oranı arttıkça grafenin topaklanma eğiliminin arttığı ve bunun sonucunda düzgün olmayan takviye dağılımından dolayı da sertliğin azaldığı düşünülmektedir. Al-SiC1/Grafen hibrit kompozitlerin sertlik deneyi sonuçları Çizelge 5.15’ ve Şekil 5.37’ de verilmiştir.

Çizelge 5.15. Al-SiC1/Grafen hibrit kompozitlerin sertlik deneyi sonuçları

Malzeme	Sertlik(HV _{0.2})	Sertlik(HV _{0.2})	Sertlik(HV _{0.2})	Ort. Sertlik (HV _{0.2})
	1.Ölçüm	3.Ölçüm	3.Ölçüm	
Al0	72,95	67,73	71,75	70,81
AlSiC1	73,37	73,57	73,34	73,09
AlSiC1Grf0.05	46.93	64.21	46.82	47.4
AlSiC1Grf0.15	48.89	51.33	54.62	51.61
AlSiC1Grf0.30	53.19	50.15	59.73	54.4
AlSiC1Grf0.45	52.19	51.33	51.29	51.6
AlSiC1Grf0.60	52.69	51.21	50.73	51.54
AlSiC1Grf0.75	51.33	49.11	48.89	49.77



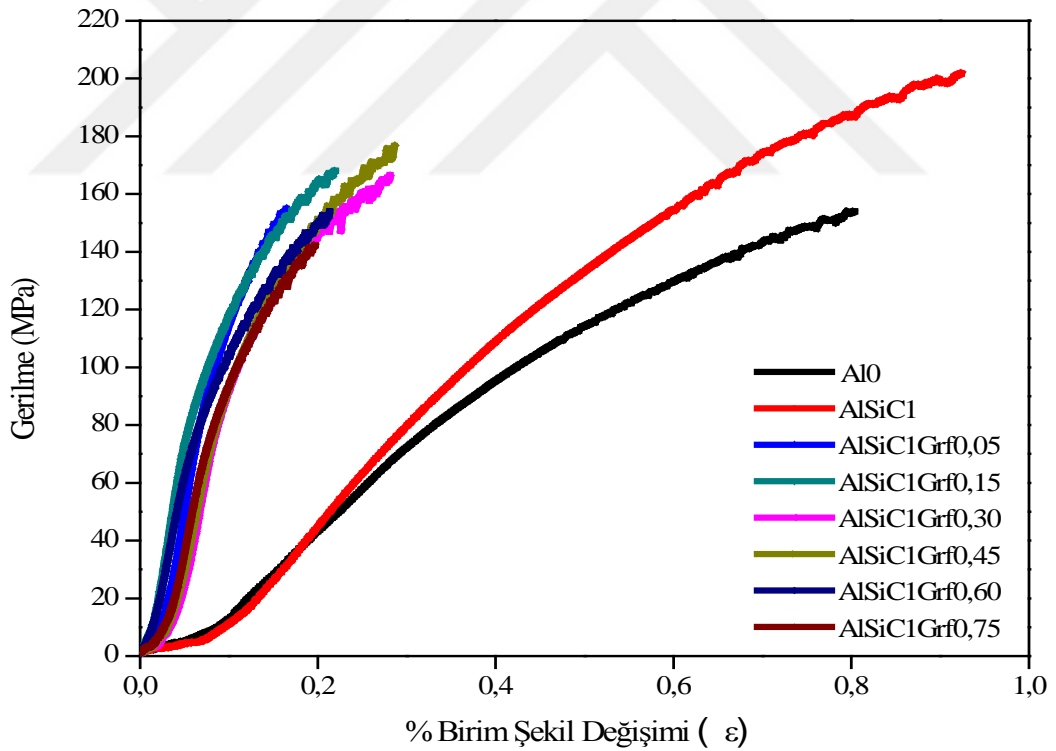
Şekil 5.37. Malzemelerin sertliğinin grafen yüzde ağırlık oranı ile değişimi

5.3.4. Al-SiC1/Grafen takviyeli hibrit kompozitlerin çekme testi ölçüm sonuçları

SiC1/Grafen hibrit kompozitinden grafen yüzde ağırlık oranının artmasıyla kompozit malzemelerin çekme mukavemetinin takviyesiz matris malzemesine göre yüksek çıktığı ancak takviye oranının artmasıyla çekme dayanımının azaldığı görülmüştür. Bu durum, yapılan literatür taraması sonucu elde edilen bilgilerle benzerlik göstermektedir. En yüksek çekme dayanımı %0,45 katkı oranında 178,56 MPa olarak belirlenmiştir. Bu katkı oranından sonra çekme dayanımı azalmasının sebebi grafenin topaklanma eğilimine girdiğindedir. Malzemelerin çekme mukavemeti değerlerinin takviye oranına göre değişimini gösteren grafikler Çizelge 5.16 ve Şekil 5.38'de verilmiştir.

Çizelge 5.16. Al-SiC1/Grafen hibrit kompozitlerin çekme deneyi sonuçları

Malzeme	Maks. Çekme Dayanımı (MPa)
Al0	151,07
AlSiC1	193,47
AlSiC1Grf0,05	156,23
AlSiC1Grf0,15	164,48
AlSiC1Grf0,30	168,32
AlSiC1Grf0,45	178,56
AlSiC1Grf0,60	154,11
AlSiC1Grf0,75	142,22



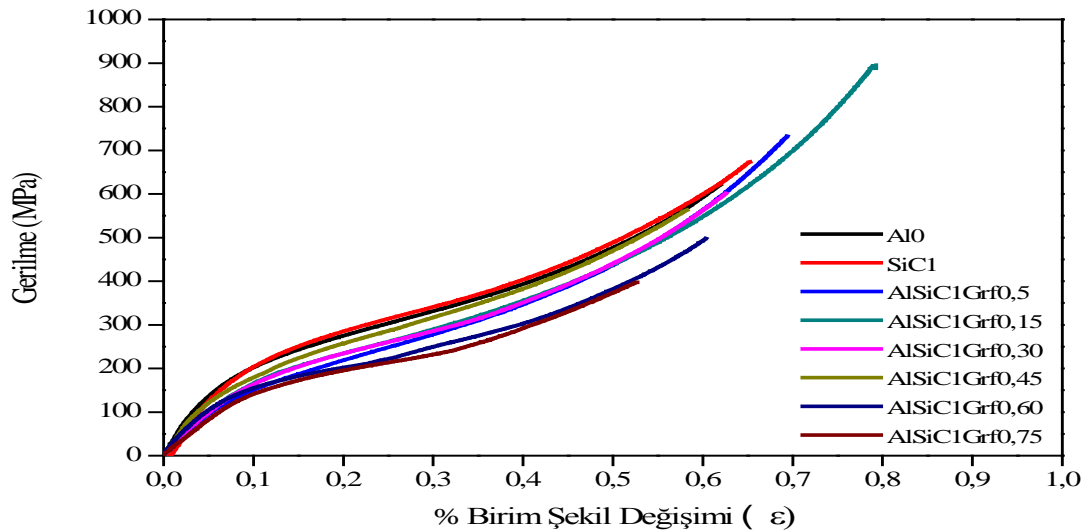
Şekil 5.38. Malzemelerin maks. çekme dayanımının grafen yüzde ağırlık oranı ile değişimi

5.3.5. Al-SiC1/Grafen takviyeli hibrit kompozitlerin basma testi ölçüm sonuçları

Silisyum karbür ve grafen katkısıyla alüminyum matrisli kompozitlerin basma dayanımındaki değişim Çizelge 5.17 ve Şekil 5.39'da verilmiştir. Al-SiC-Grf kompozitlerde, en yüksek basma dayanımı (892,48 MPa) AlSiC1Grf0,15 kompozit yapıda elde edilmiştir. Alüminyum kompozit yapıda, ağırlıkça %0,15 grafen katkısından sonra grafenin topaklanması sebebiyle basma dayanımı düşmüştür. Bu durum, Al-SiC/Grf kompozitlerin mikroyapı incelemeleriyle de doğrulanmaya çalışılmıştır.

Çizelge 5.17. Al-SiC1/Grafen hibrit kompozitlerin basma deneyi sonuçları

Malzeme	Maks. Basma Dayanımı (MPa)
Al0	620,35
AlSiC1	673,57
AlSiC1Grf0,05	732,25
AlSiC1Grf0,15	892,48
AlSiC1Grf0,30	601,37
AlSiC1Grf0,45	562,77
AlSiC1Grf0,60	497,45
AlSiC1Grf0,75	397,36



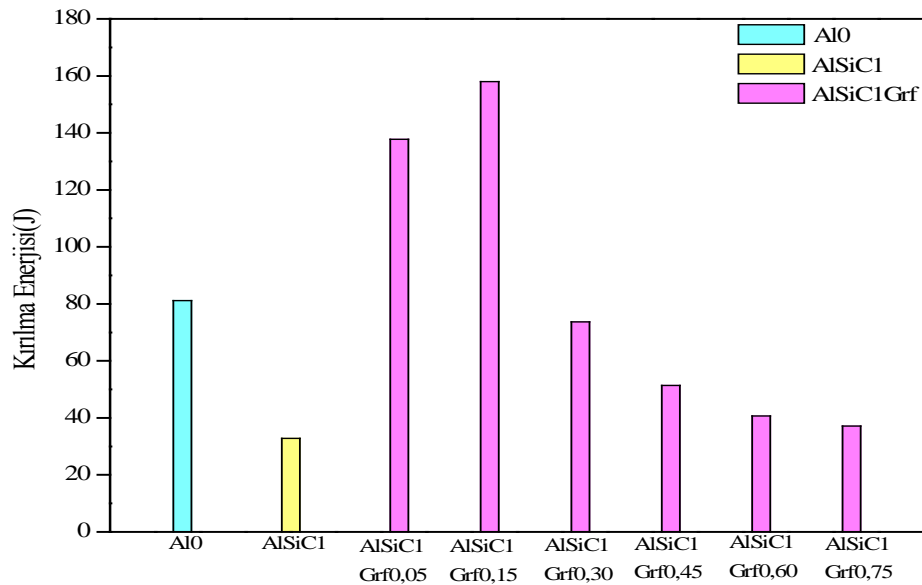
Şekil 5.39. Malzemelerin maks. basma dayanımının grafen yüzde ağırlık oranı ile değişimi

5.3.6. Al-SiC1/Grafen takviyeli hibrit kompozitlerin darbe testi ölçüm sonuçları

Üretilen Grafen/SiC1 takviyeli hibrit kompozitlerin dinamik zorlamalar altındaki kırılma enerjisini saptayabilmek amacıyla çentik darbe testi yapılmıştır. Darbe testi yapılan numunelere ait görüntüler Çizelge 5.18 ve Şekil 5.40'da verilmiştir. Buna göre hibrit kompozitlerin en iyi kırılma enerjisi 158,01 J değeri ile AlSiC1Grf0,15 kompozitin de belirlenmiştir. Darbe mukavemetindeki düşüşün sebebi, takviye oranının artmasıyla grafenin ve SiC'in topaklanma eğiliminin arttığı ve meydana gelen topaklanmanın da matris takviye arasındaki yük transferini olumsuz etkilemiştir.

Çizelge 5.18. Al-SiC1/Grafen hibrit kompozitlerin darbe deneyi sonuçları

Malzeme	Kırılma Enerjisi (J)
AlO	81,2
AlSiC1	32,82
AlSiC1Grf0,05	137,79
AlSiC1Grf0,15	158,01
AlSiC1Grf0,30	73,68
AlSiC1Grf0,45	51,4
AlSiC1Grf0,60	40,65
AlSiC1Grf0,75	37,13



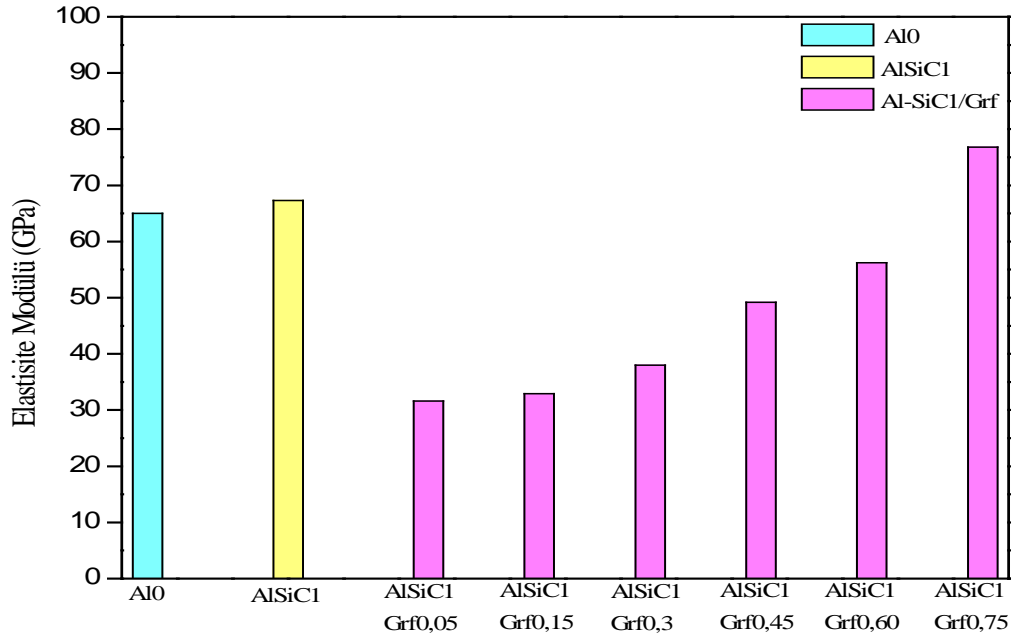
Şekil 5.40. Malzemelerin kırılma enerjisinin grafen yüzde ağırlık oranı ile değişimi

5.3.7 Al-SiC1/Grafen yapılı hibrit kompozitlerin eğme testi ölçüm sonuçları

AlSiC1Grf hibrit kompozitlere yapılan eğme deneyi sonuçları Çizelge 5.19'da verilmiştir. Al-SiC1/Grf hibrit kompozitlerin elastisite modülü değişimi Şekil 5.41'de verilmiştir. Artan grafen takviyesiyle birlikte elastisite modülü artmış ancak AlSiC1Grf0,75 takviye oranında saf alüminyuma göre yüksek çıkmıştır.

Çizelge 5.19. Al-SiC1/Grafen hibrit kompozitlerin eğme deneyi sonuçları

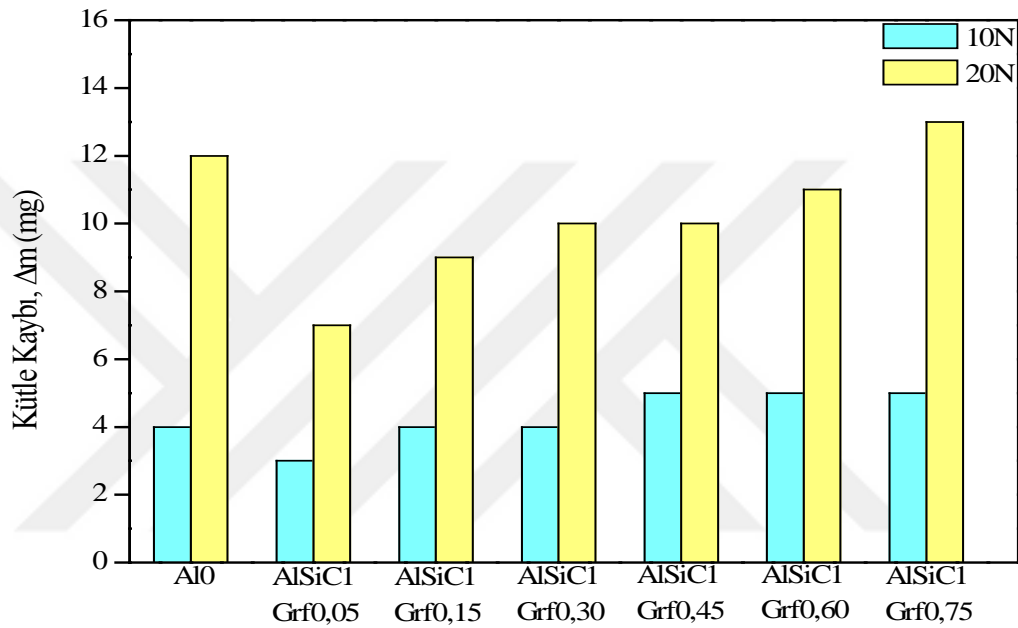
Malzeme Adı	Elastisite Modülü (GPa)
Al0	65
AlSiC1	67,3
AlSiC1Grf0,05	31,6
AlSiC1Grf0,15	32,8
AlSiC1Grf0,30	38
AlSiC1Grf0,45	49,2
AlSiC1Grf0,60	56,2
AlSiC1Grf0,75	76,8



Şekil 5.41. Al-SiC1/Grafen yapılı hibrit kompozitlerin elastisite modülünün değişimi

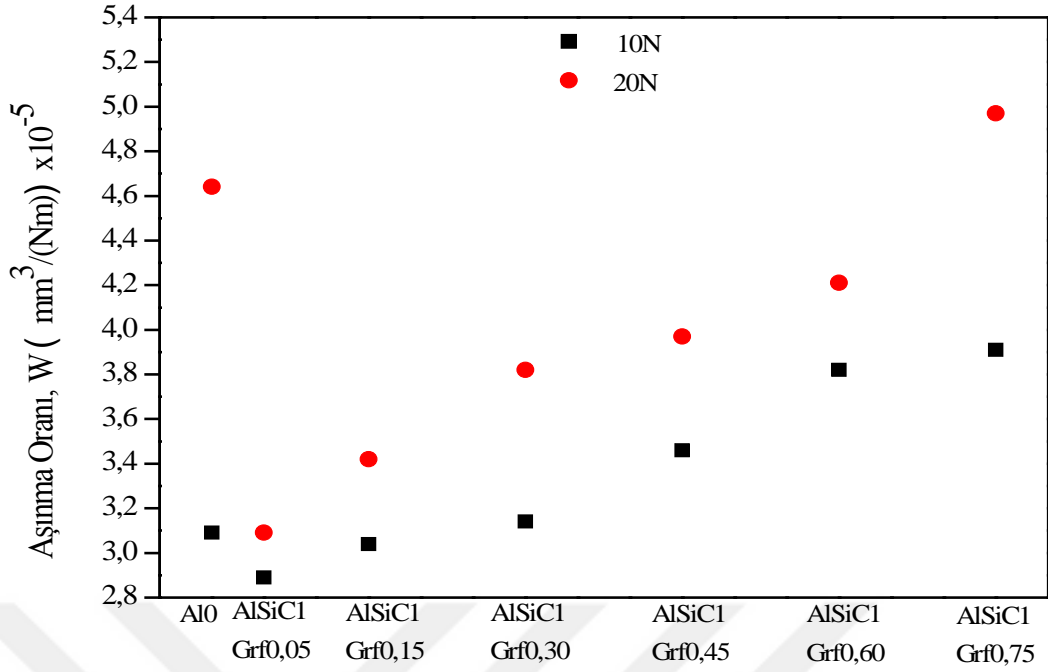
5.3.8 Al-SiC1/Grafen takviyeli hibrit kompozitlerin aşınma testi ölçüm sonuçları

SiC1/Grafen takviyeli hibrit kompozitlerde aşınma testinde meydana gelen kütle kaybı değişimi Şekil 5.42'de gösterilmiştir. Uygulanan yükler altında en az kütle kaybı AlSiC1Grf0,05 hibrit kompozitinden meydana geldiği görülmüştür. Artan grafen takviyesiyle birlikte grafen matris içinde topaklanma eğilimine girdiği ve aşındırıcı elemanın matris elemanını aşındırdığı belirlenmiştir.



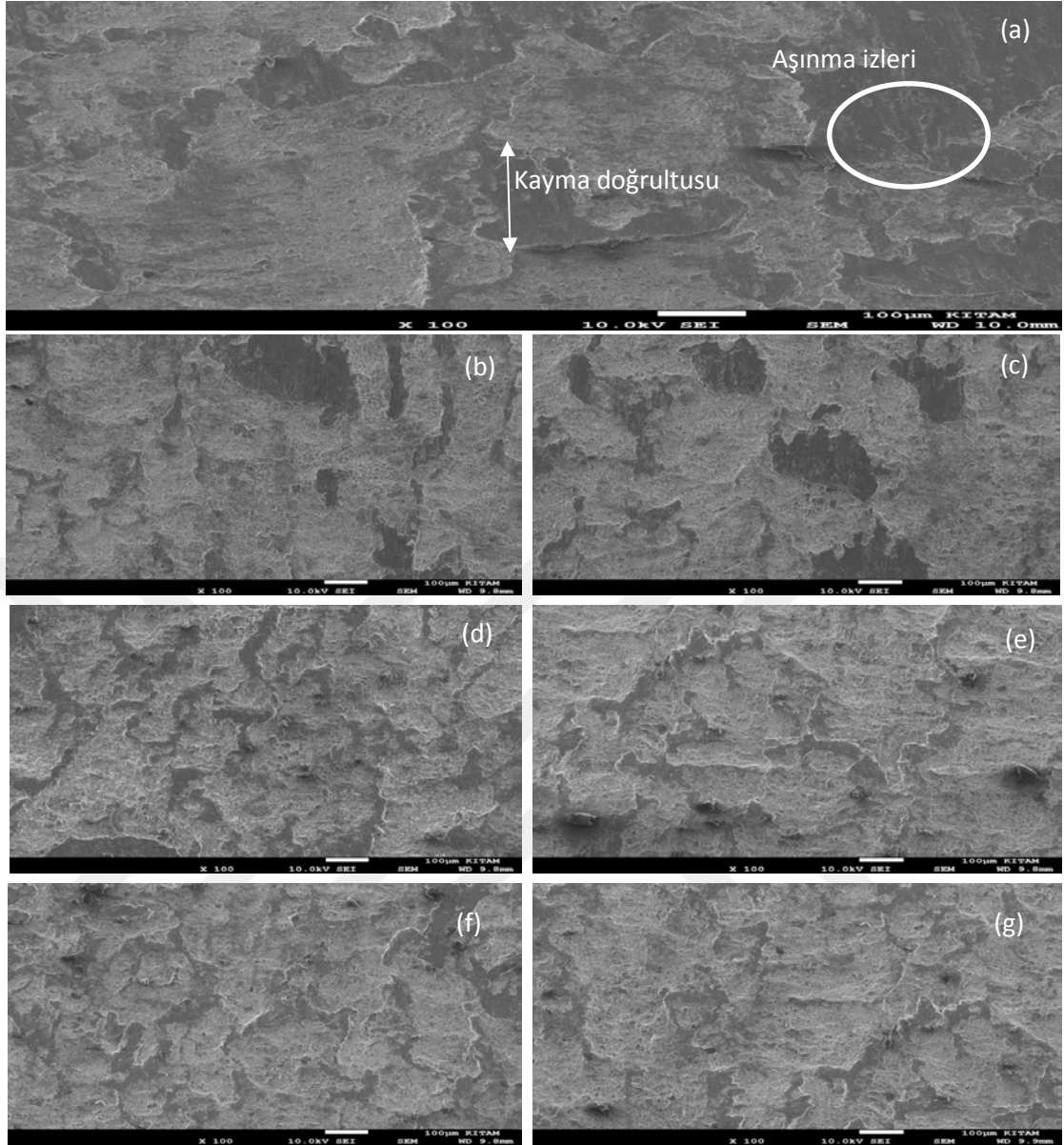
Şekil 5.42. Al-SiC1/Grf hibrit kompozitlerde kütle kaybı değişimi

Al-SiC1/Grf takviyeli hibrit kompozitlerde yapılan aşınma testi sonucunda kompozit numunelerin aşınma oranları Şekil 5.43'te verilmiştir. Uygulanan her iki yük altında da en az aşınma oranı AlSiC1Grf0,05 kompozitte olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.43. Al/SiC1-Grf hibrit kompozitlerde aşınma oranı değişimi

Saf Al, Al-SiC1/Grf kompozit yapıların kuru şartlarda P=20 N yük altındaki aşınma izleri Şekil 5.44'te verilmiştir. Abrasif aşınma izleri incelendiğinde, minimum deformasyonun AlSiC1Grf0,05 kompozit yapıda olduğu gözlenmiştir. SEM görüntülerindeki aşınma izleri, aşınma testlerini doğrular niteliktedir. Aynı malzemeler esas alınıp yük arttırıldığında ise izlerin derinleştiği, diğer bir ifadeyle deformasyonun ve aşınmanın arttığı tespit edilmiştir.



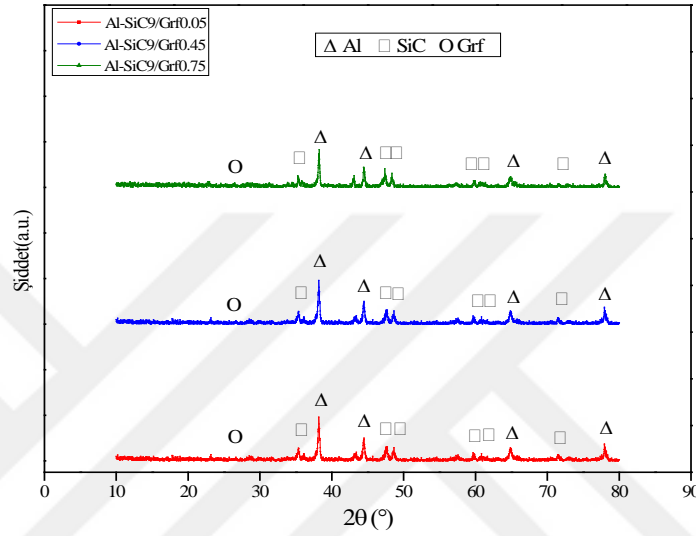
Şekil 5.44. (a) Al₀, (b) AlSiC₁Grf_{0,05}, (c) AlSiC₁Grf_{0,15}, (d) AlSiC₁Grf_{0,30}, (e) AlSiC₁Grf_{0,45}, (f) AlSiC₁Grf_{0,60}, (g) AlSiC₁Grf_{0,75} kompozitlerin aşınma izleri (100 X büyütme, P=20N yük altında)

5.4. Al-SiC₉/Grafen Hibrit Kompozitlerin Analiz Sonuçları

Al-SiC/Grafen (ağırlıkça %9 SiC ve %0,05, %0,15, %0,3 %0,45, %0,6 ve %0,75 Grafen) takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin analiz sonuçlarına aşağıda yer verilmiştir. Bu analizler, kompozit malzeme üretiminde kullanılan tozların SEM, XRD ve tane boyut analizlerini, üretilen kompozitlerin yoğunluğunu, gözeneklilik oranını, mekanik özelliklerini (Vickers sertliğini, basma ve çekme dayanımını, darbe dayanımı ve elastisite modülü), aşınma davranışını ve mikroyapı incelemelerini kapsamaktadır.

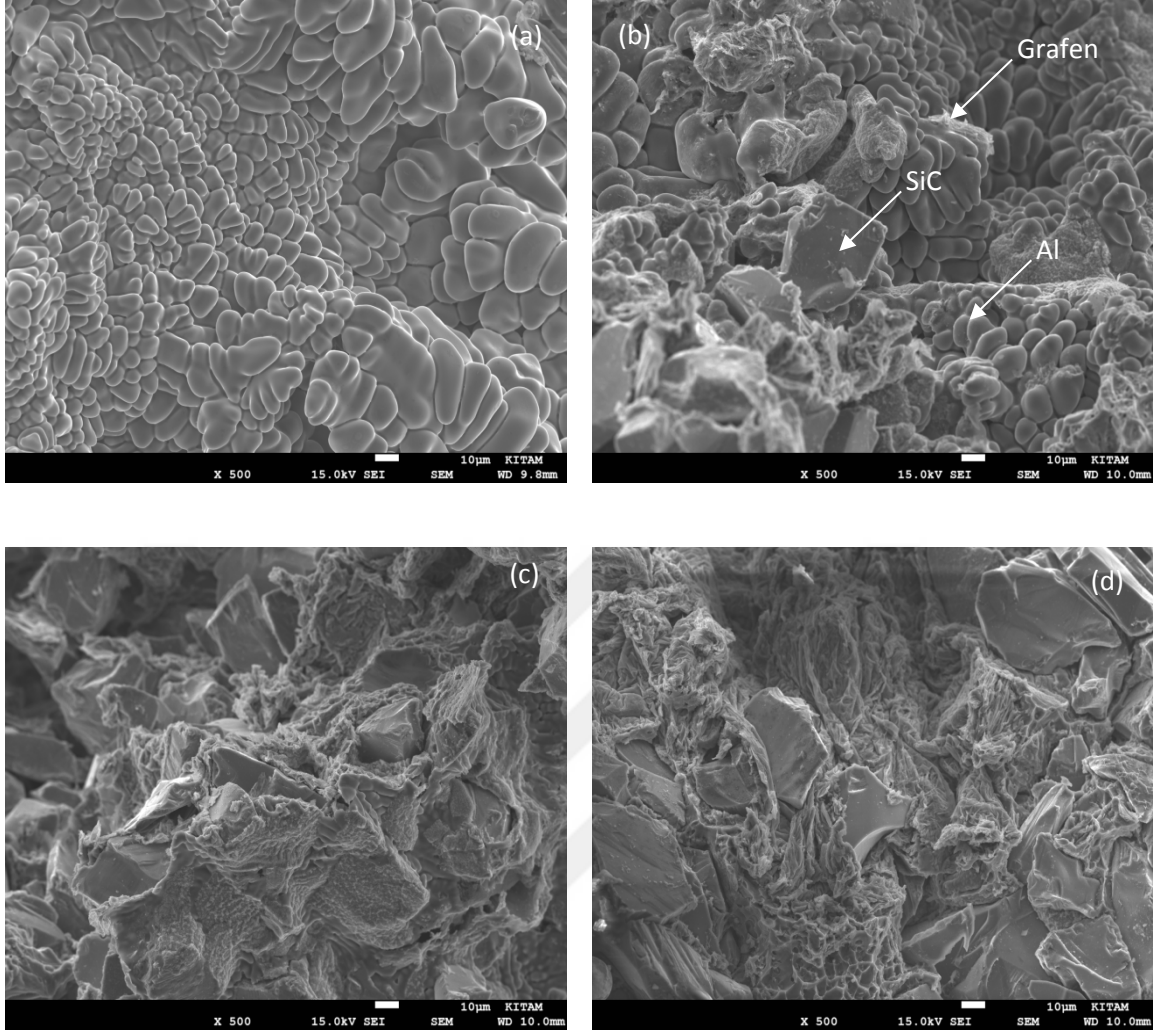
5.4.1. Al-SiC9/Grafen Hibrit kompozitlerin mikroyapı analizleri

SiC ve grafen takviyeli hibrit kompozitlerin XRD örgü deseni Şekil 5.45'de verilmiştir. XRD örgü deseninden grafenin düşük miktarlarda takviye edilmesinden grafen piki ($2\theta=26,5^\circ$) oluşumu gözlemlenmemiştir. Ayrıca grafen kullanımı sebebiyle Al_4C_3 gibi istenmeyen ikincil fazlar saptanmamıştır.



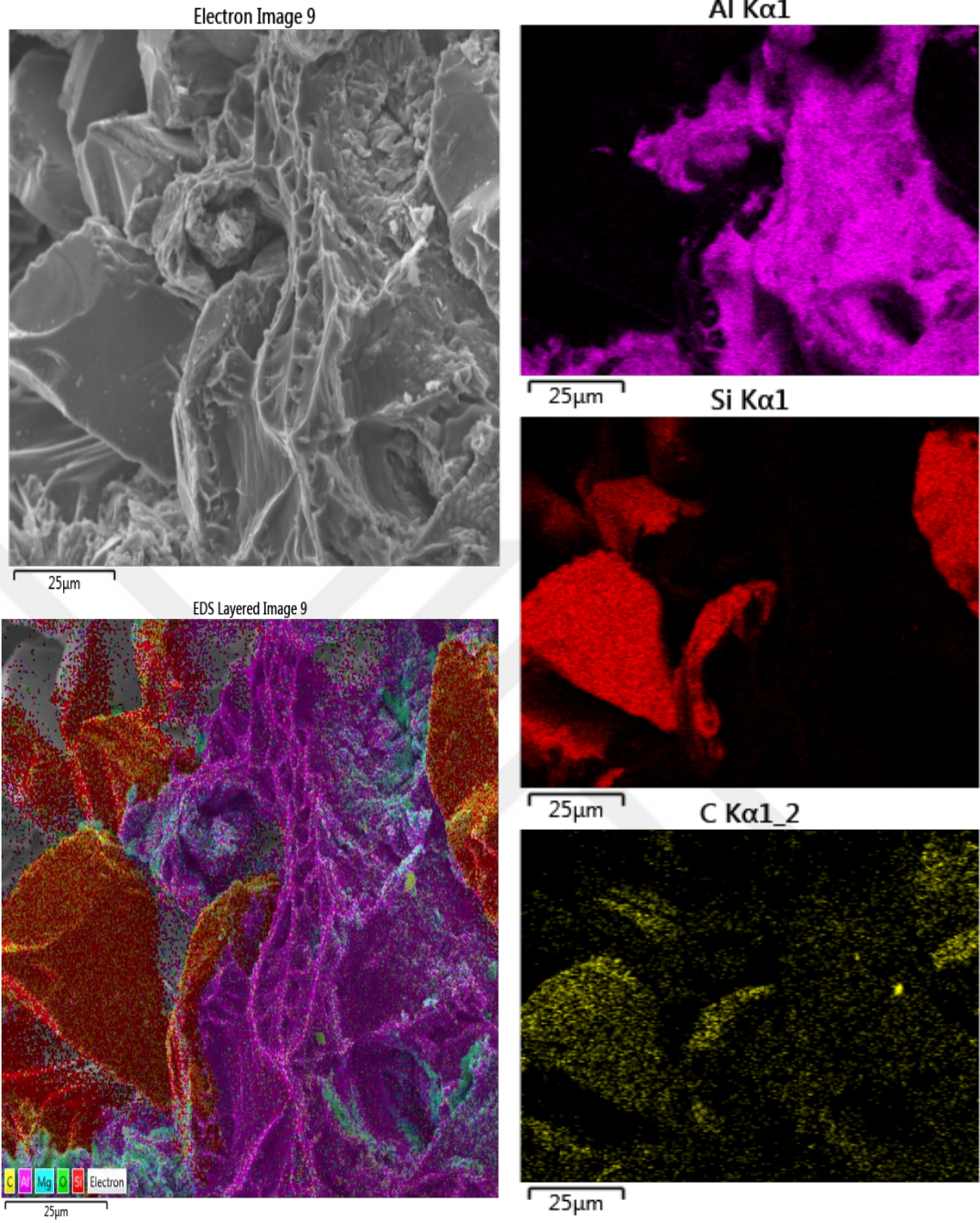
Şekil 5.45. SiC9/Grafen takviyeli Al matrisli kompozitlerin XRD örgü desenleri

AlSiC9Grf0,05(b), AlSiC9Grf0,45 (c) ve AlSiC9Grf0,75 (d) kompozitlerin kırık yüzey içyapı görüntüleri Şekil 5.46'da verilmiştir. Kompozit yapı içerisindeki grafen nano tabakalar (Grf), 500 X büyütmede ancak görülebilmektedir. Al, SiC ve grafen tanecikler arasındaki arayüz etkileşiminin oldukça güçlü olduğu görülmüştür. AlSiC9Grf0,05 kompozit yapıda, grafen tanecikler homojen şekilde dağılırken; AlSiC9Grf0,45 ve AlSiC9Grf0,75 kompozit yapıda grafen taneciklerin toplandığı görülmüştür. Bu durum, SEM-EDS analiziyle doğrulanmıştır.



Şekil 5.46. Takviyesiz ve SiC/Grafen takviyeli Al kompozitlerin kırık yüzey görüntüleri: (a) Al₀, (b) AlSiC₉Grf_{0,05}, (c) AlSiC₉Grf_{0,45}, (d) AlSiC₉Grf_{0,75}

Üretilen kompozit yapılardan Al-SiC/Grafen kompozit yapıların SEM-EDS haritalama ile element dağılım analizi sonuçları Şekil 5.47’de verilmiştir. SEM-EDS haritalamayla kompozitlerin element dağılım analizleri yapılmıştır. Bu analizlerde her bir element farklı bir renk ile gösterilmiş olup içyapıda hangi elementlerin bulunduğu ve bu elementlerin nasıl dağıldığı belirlenebilmektedir. AlSiC₉Grf_{0,05} kompozitlerin SEM-EDS haritalamayla dağılımında alüminyum (Al) elementi mavi renkte, silisyum (Si) elementi mor renkte, oksijen (O) elementi yeşil renkte ve karbon (C) elementi mor renkte gösterilmiştir.



Şekil 5.47. Al-SiC9/Grafen kompozitlerin SEM-EDS haritalamayla element dağılım analizleri

5.4.2. Al-SiC9/Grafen hibrit kompozitlerin yoğunluk ölçümleri ve porozitenin belirlenmesi

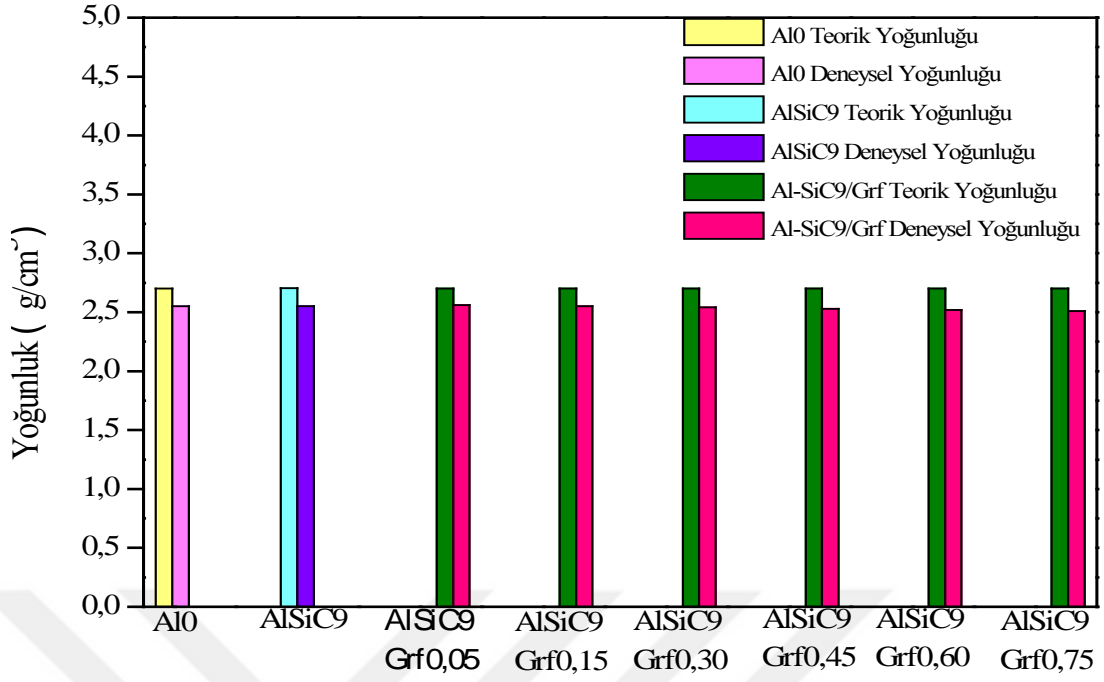
Grafen ve %9 SiC takviyeli kompozitlerin her biri için Arşimet prensibine göre deneysel yoğunlukları ve bu yoğunluklar kullanılarak porozite oranları hesaplanmış Çizelge 5.20’de verilmiştir.

SiC takviyeli alüminyum esaslı kompozitin deneysel yoğunluğu, grafen katkısıyla azalmış olup en yüksek yoğunluğa (2,55 g/cm³) ağırlıkça %0,05 grafen katkısında ulaşılmıştır.

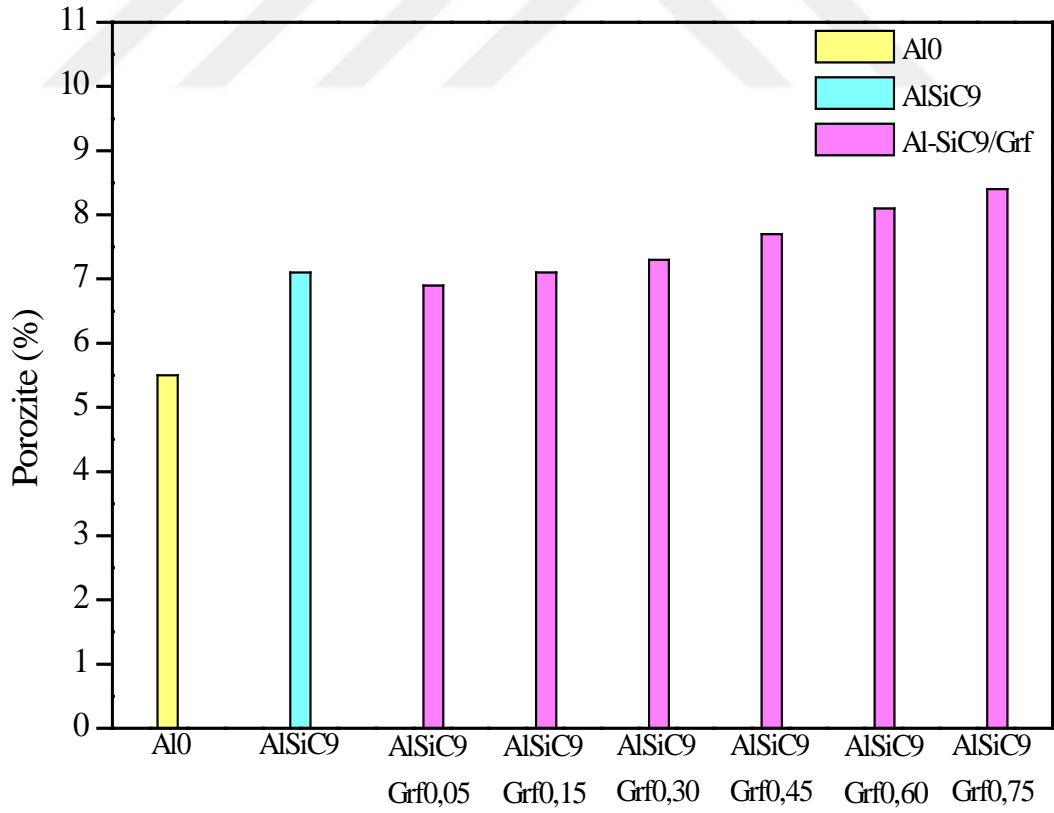
Çizelge 5.20. Al-SiC9/Grafen Hibrit kompozitlerin deneysel yoğunlukları-porozite oranları

Malzeme	Teorik Yoğunluk (g/cm ³)	Deneysel Yoğunluk (g/cm ³)	Deneysel Yoğunluk (%)	Porozite (%)
Al0	2,7	2,55	94,5	5,5
AlSiC9	2,745	2,54	92,9	7,1
AlSiC9Grf0,05	2,74	2,55	93,1	6,9
AlSiC9Grf0,15	2,73	2,54	92,9	7,1
AlSiC9Grf0,30	2,73	2,53	92,7	7,3
AlSiC9Grf0,45	2,73	2,52	92,3	7,7
AlSiC9Grf0,60	2,73	2,51	91,9	8,1
AlSiC9Grf0,75	2,73	2,50	91,6	8,4

Grafen ve %9 SiC takviyeli kompozitlerin deneysel yoğunluklarının takviye oranına göre değişimi Şekil 5.48’de, takviye oranıyla porozite oranlarının değişimi de Şekil 5.49’da verilmiştir.



Şekil 5.48. Al-SiC9/Grafen hibrit kompozitlerin yoğunluk değişimi



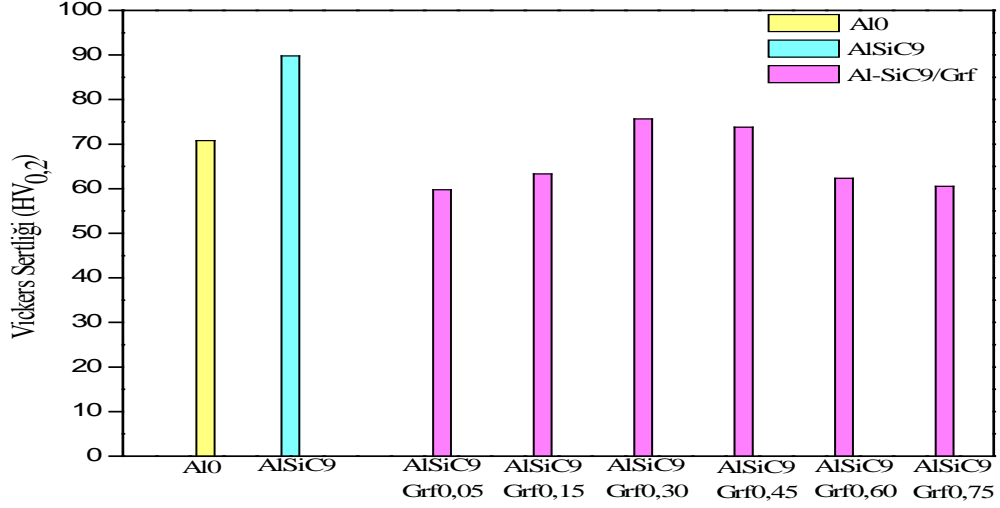
Şekil 5.49. Al-SiC9/Grafen hibrit kompozitlerin porozite değişimi

5.4.3. Al-SiC9/Grafen hibrit kompozitlerin sertlik testi ölçüm sonuçları

SiC9/Grafen hibrit kompozitin Grafen yüzde ağırlık oranının artmasıyla kompozit malzemelerin sertliğinin takviyesiz matris malzemesine arttığı en yüksek sertliğin %0,3 takviye oranında elde edildiği görülmüştür. Artan grafen miktarına bağlı olarak sertlik değerinde meydana gelen düşüşün nedeni, grafenin belirli bir miktardan sonra topaklanma eğilimi göstermesi ve katı yağlayıcı özelliğine sahip olmasıdır. Çizelge 5.21 ve Şekil 5.50’de Al-SiC9/Grafen hibrit kompozitlerin sertlik testi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.21. Al-SiC9/Grafen hibrit kompozitlerin sertlik testi sonuçları

Malzeme	Sertlik(HV _{0.2})			Ort. Sertlik (HV _{0.2})
	1.Ölçüm	2.Ölçüm	3.Ölçüm	
Al0	72,95	67,73	71,75	70,81
AlSiC9	88,60	89,42	91,40	89,80
AlSiC9Grf0,05	66,82	57,95	54,59	59,75
Al SiC9Grf0,15	61,91	64,38	63,74	63,34
Al SiC9Grf0,30	73,99	76,79	76,20	75,66
Al SiC9Grf0,45	72,34	74,20	74,83	73,79
Al SiC9Grf0,60	62,56	64,21	60,19	62,32
Al SiC9Grf0,75	59,43	61,27	61,00	60,56



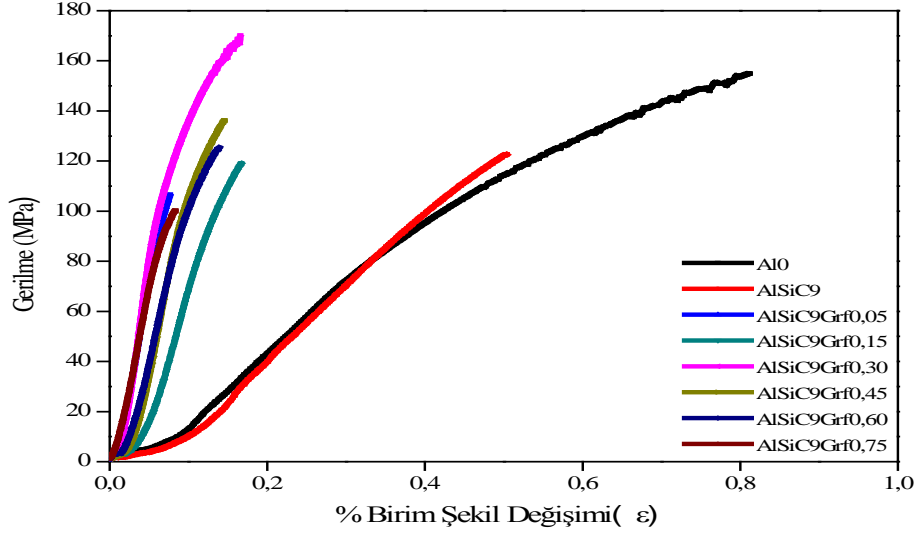
Şekil 5.50. Malzemelerin sertliğinin grafen yüzde ağırlık oranı ile değişimi

5.4.4. Al-SiC9/Grafen hibrit kompozitlerin çekme testi ölçüm sonuçları

SiC9/Grfaenx hibrit kompozitinden grafen yüzde ağırlık oranının artmasıyla kompozit malzemelerin çekme mukavemetinin takviyesiz matris malzemesine göre yüksek çıktığı ancak takviye oranının artmasıyla çekme dayanımının azaldığı görülmüştür. Bu durum, yapılan literatür taraması sonucu elde edilen bilgilerle benzerlik göstermektedir. En yüksek çekme dayanımı %0,30 katkı oranında 177,48 MPa olarak belirlenmiştir. Bu katkı oranından sonra çekme dayanımı azalmasının sebebi grafenin topaklanma eğilimine girdiğindedir. Malzemelerin çekme mukavemeti değerlerinin takviye oranına göre değişimini gösteren grafikler Çizelge 5.22 ve Şekil 5. 51’de verilmiştir.

Çizelge 5.22. Al-SiC9/Grafen hibrit kompozitlerin çekme deneyi sonuçları

Malzeme	Maks. Çekme Dayanımı (MPa)
Al0	151,07
AlSiC9	114,02
AlSiC9Grf0,05	109,88
AlSiC9Grf0,15	116,78
AlSiC9Grf0,30	177,48
AlSiC9Grf0,45	138,51
AlSiC9Grf0,60	125,05
AlSiC9Grf0,75	104,55



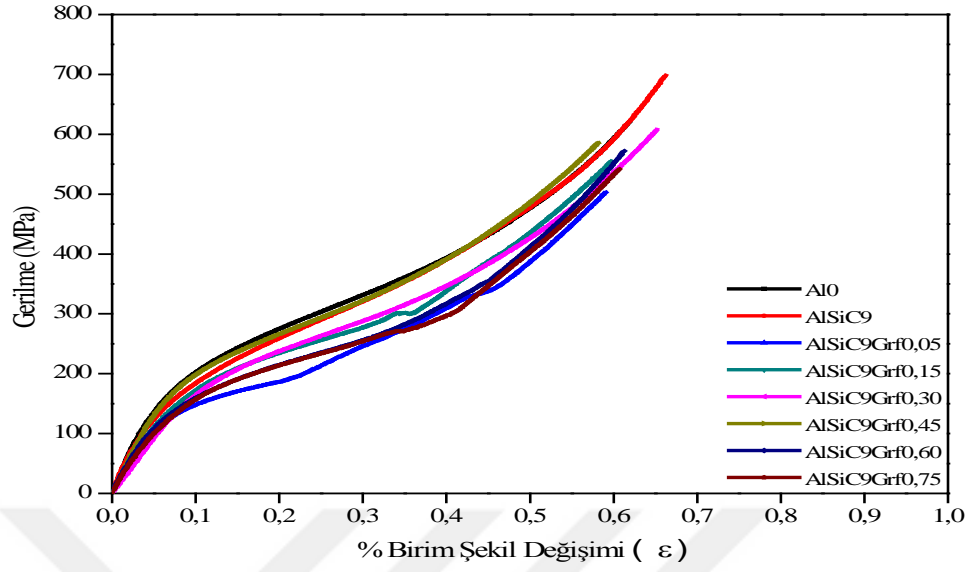
Şekil 5.51. Malzemelerin maks. çekme dayanımının SiC9/Grafen yüzde ağırlık oranı ile değişimi

5.4.5. Al-SiC9/Grafen hibrit kompozitlerin basma testi ölçüm sonuçları

Silisyum karbür ve grafen katkısıyla alüminyum matrisli kompozitlerin basma dayanımındaki değişim Çizelge 5.23 ve Şekil 5.52’de verilmiştir. Hibrit kompozit yapıda grafen takviyesiyle basma dayanımı takviyesiz alüminyuma göre düşük çıkmıştır. Bunun sebebi yüksek oranda SiC ve grafen takviyesiyle takviye malzemelerinin topaklanma eğilimine girdiği bu sebeple düştüğü belirlenmiştir. Alüminyum kompozit yapıda, Bu durum, Al-SiC/Grf kompozitlerin mikroyapı incelemeleriyle de doğrulanmaya çalışılmıştır. Al-SiC/Grf kompozitlerde, en yüksek basma dayanımı (609,79 MPa) AlSiC9Grf0,3 kompozit yapıda elde edilmiştir.

Çizelge 5.23 Al-SiC9/Grafen hibrit kompozitlerin basma deneyi sonuçları

Malzeme	Maks. Basma Dayanımı (MPa)
Al0	620,35
AlSiC9	689,11
AlSiC9Grf0,05	502,86
AlSiC9Grf0,15	554,97
AlSiC9Grf0,30	609,79
AlSiC9Grf0,45	585,52
AlSiC9Grf0,60	572,19
AlSiC9Grf0,75	541,76



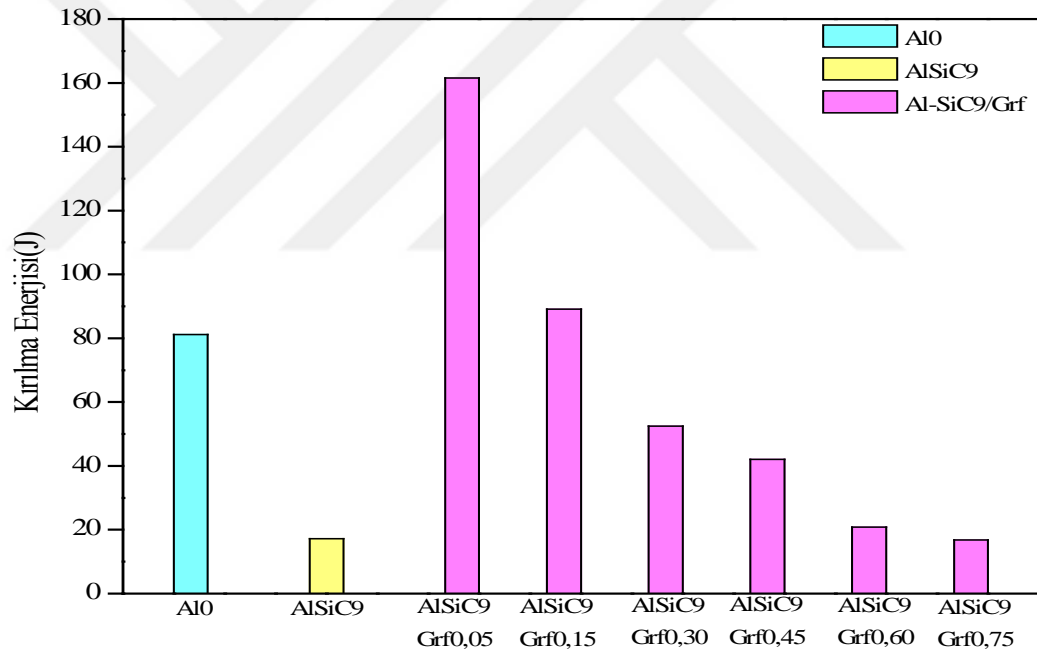
Şekil 5.52. Malzemelerin maks. basma dayanımının grafen yüzde ağırlık oranı ile değişimi

5.4.6. Al-SiC9/Grafen hibrit kompozitlerin darbe testi ölçüm sonuçları

SiC9/Grafen takviyeli hibrit kompozitlerin dinamik zorlamalar altındaki kırılma enerjisini saptayabilmek amacıyla çentik darbe testi yapılmıştır. Darbe testi yapılan numunelere ait görüntüler Çizelge 5.24 ve Şekil 5.53'te verilmiştir. Buna göre hibrit kompozitlerin en iyi kırılma enerjisi 161,53 J değeri ile AlSiC9Grf0,05 kompozitin de belirlenmiştir. Takviye oranının artmasıyla grafenin ve SiC'in toplanma eğiliminin arttığı ve meydana gelen toplanmanın da matris takviye arasındaki yük transferini olumsuz etkilemiştir. Bu nedenle %0,05 takviye oranından sonra takviye oranının artması darbe enerjisinin azalmasına neden olmuştur.

Çizelge 5.24. Al-SiC/Grafen hibrit kompozitlerin darbe deneyi sonuçları

Malzeme	Kırılma Enerjisi (J)
AlO	81,2
AlSiC9	17,17
AlSiC9Grf0,05	161,53
AlSiC9Grf0,15	89,16
AlSiC9Grf0,30	52,48
AlSiC9Grf0,45	42,05
AlSiC9Grf0,60	20,85
AlSiC9Grf0,75	16,81



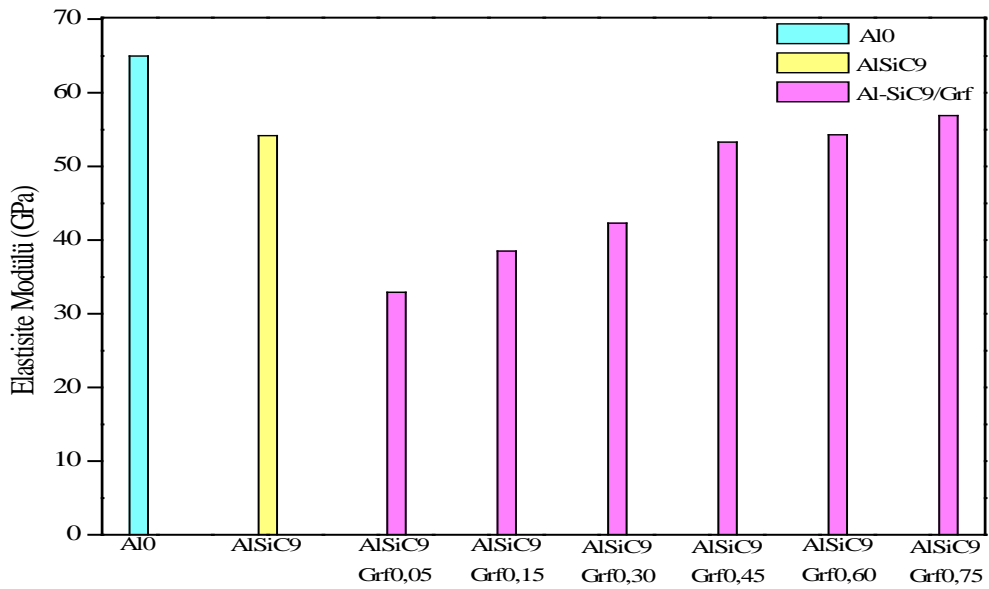
Şekil 5.53. Malzemelerin kırılma enerjisinin grafen yüzde ağırlık oranı ile değişimi

5.4.7 Al-SiC9/Grafen hibrit kompozitlerin eğme testi ölçüm sonuçları

Al-SiC9/Grf hibrit kompozitlere yapılan eğme deneyi sonuçları Çizelge 5.25'te verilmiştir. Al-SiC9/Grf hibrit kompozitlerin elastisite modülü değişimi Şekil 5.54'te verilmiştir. Artan grafen takviyesiyle birlikte elastisite modülü artmış ancak takviyesiz alüminyuma göre elastisite daha düşük çıkmıştır. Bunun nedeni ise grafen ve SiC tozları topaklanma eğilimine girdiği ve kompozit yapı içindeki gözenekten dolayı elastisite modülü düşük çıktığı anlaşılmıştır.

Çizelge 5.25. Al-SiC9/Grafen yapıli hibrit kompozitlerin eğme deneyi sonuçları

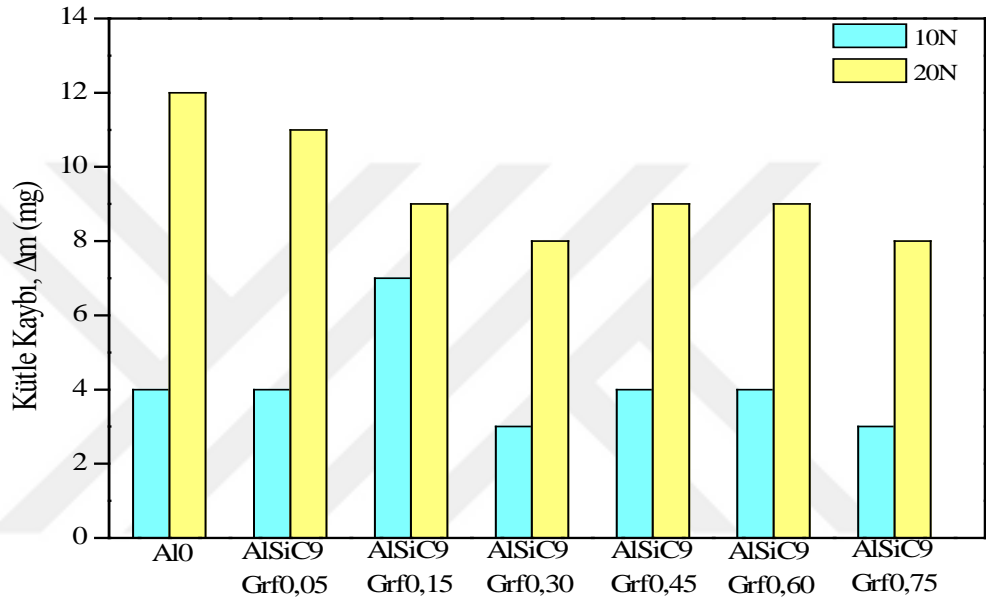
Malzeme Adı	Elastiklik Modülü (GPa)
Al0	65
AlSiC9	54,2
AlSiC9Grf0,05	32,9
AlSiC9Grf0,15	38,5
AlSiC9Grf0,30	42,3
AlSiC9Grf0,45	53,3
AlSiC9Grf0,60	54,3
AlSiC9Grf0,75	56,9



Şekil 5.54. Al-SiC9/Grafen yapıli hibrit kompozitlerin elastisite modülünün değişimi

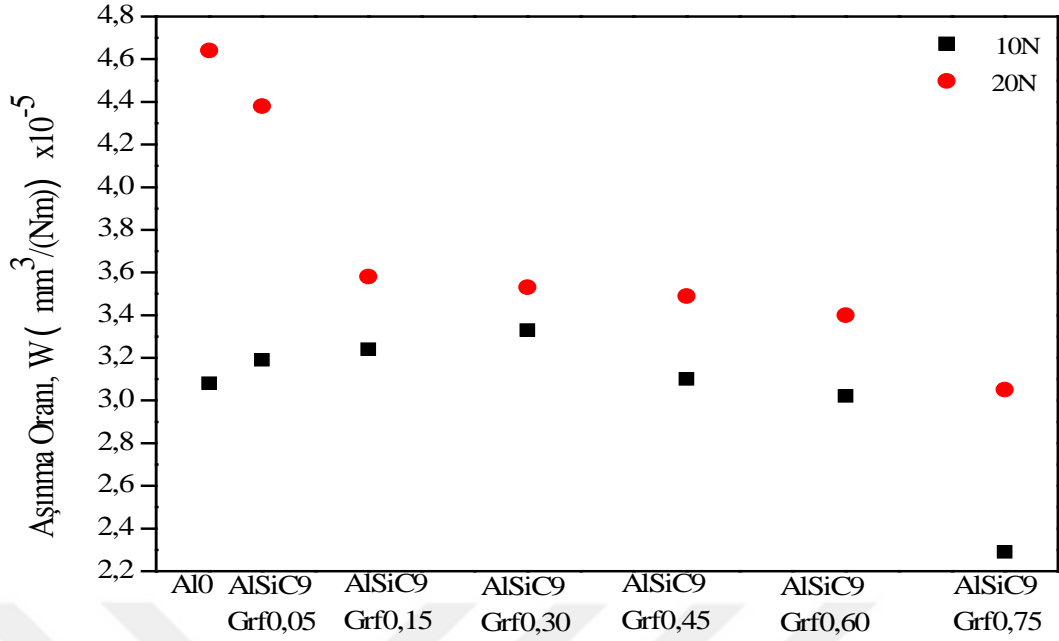
5.4.8 Al-SiC9/Grafen takviyeli hibrit kompozitlerin aşınma testi ölçüm sonuçları

Al-SiC9/Grafen takviyeli hibrit kompozitlerde aşınma testinde meydana gelen kütle kaybı değişimi Şekil 5.55'te gösterilmiştir. Uygulanan yükler altında en az kütle kaybı AlSiC1Grf0,30 hibrit kompozitinden meydana geldiği görülmüştür. Artan grafen takviyesiyle birlikte grafen matris içinde topaklanma eğilimine girdiği ve aşındırıcı elemanın matris elemanını aşındırdığı belirlenmiştir.



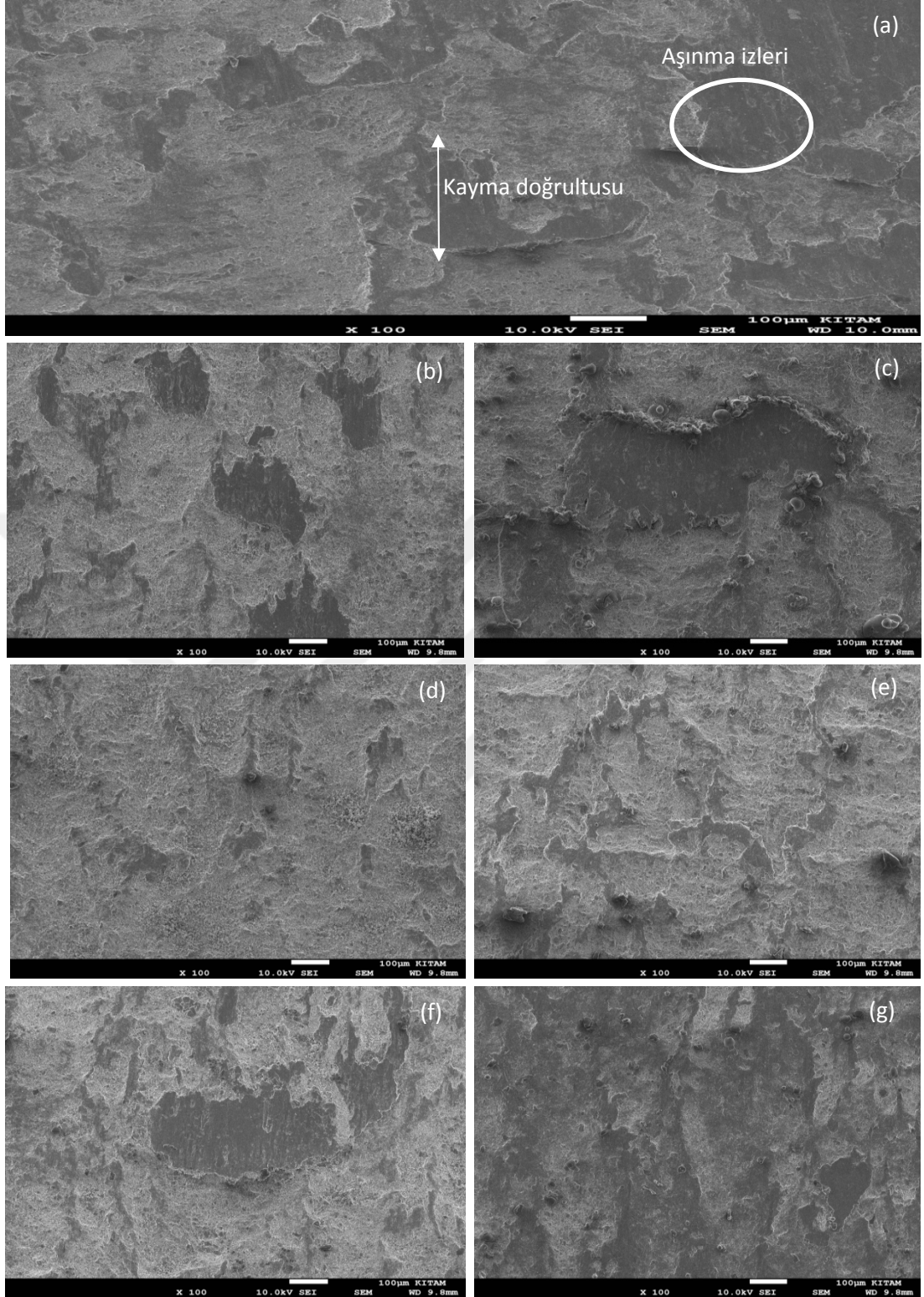
Şekil 5.55. Al/SiC9-Grf hibrit kompozitlerde kütle kaybı değişimi

Al-SiC9/Grf takviyeli hibrit kompozitlerde yapılan aşınma testi sonucunda kompozit numunelerin aşınma oranları Şekil 5.56'da verilmiştir. Uygulanan her iki yük altında da en az aşınma oranı AlSiC9Grf0,75 kompozitte olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni ise SiC aşındırıcı özelliği ve grafenin katı yağlayıcılık özelliklerinden dolayı aşınma oranı düşük çıkmıştır.



Şekil 5.56. Al-SiC9/Grf hibrit kompozitlerde aşınma oranı değişimi

Saf Al, Al-SiC9/Grf kompozit yapıların kuru şartlarda P=20 N yük altındaki aşınma izleri Şekil 5.57'de verilmiştir. Abrasif aşınma izleri incelendiğinde, minimum deformasyonun AlSiC9Grf0,75 kompozit yapıda olduğu gözlenmiştir. En fazla deformasyon ise saf alüminyum malzemede görülmüştür. Grafenin yağlayıcı özelliği ve SiC'in sert ve aşındırıcı özelliği sebebiyle grafen ve SiC katkısıyla aşınmanın azaldığı tespit edilmiş olup taramalı elektron mikroskobu aşınma izleri, aşınma testlerini doğrular niteliktedir. Aynı malzemeler esas alınıp yük arttırıldığında ise izlerin derinleştiği, diğer bir ifadeyle deformasyonun ve aşınmanın arttığı tespit edilmiştir.

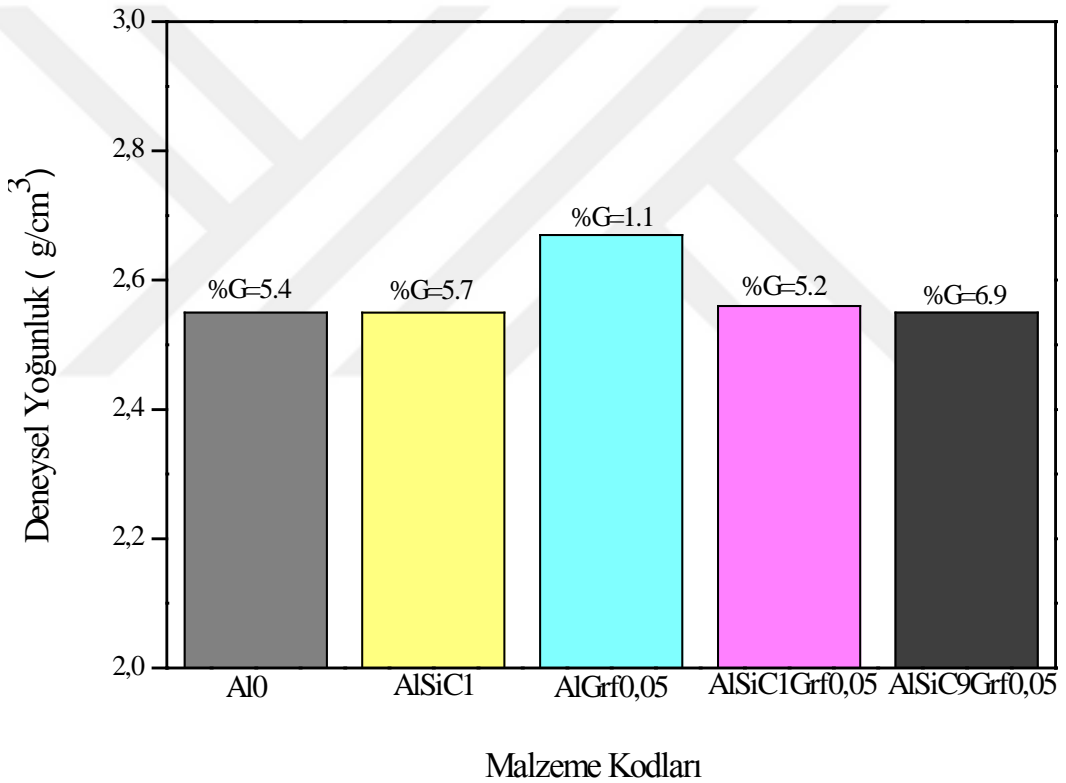


Şekil 5.57. (a) Al0, (b) AlSiC9Grf0,05, (c) AlSiC9Grf0,15, (d) AlSiC9Grf0,30, (e) AlSiC9Grf0,45, (f) AlSiC9Grf0,60, (g) AlSiC9Grf0,75 kompozitlerin aşınma izleri (100 X büyütme, P=20N yük altında)

5.5. Üretilen Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması

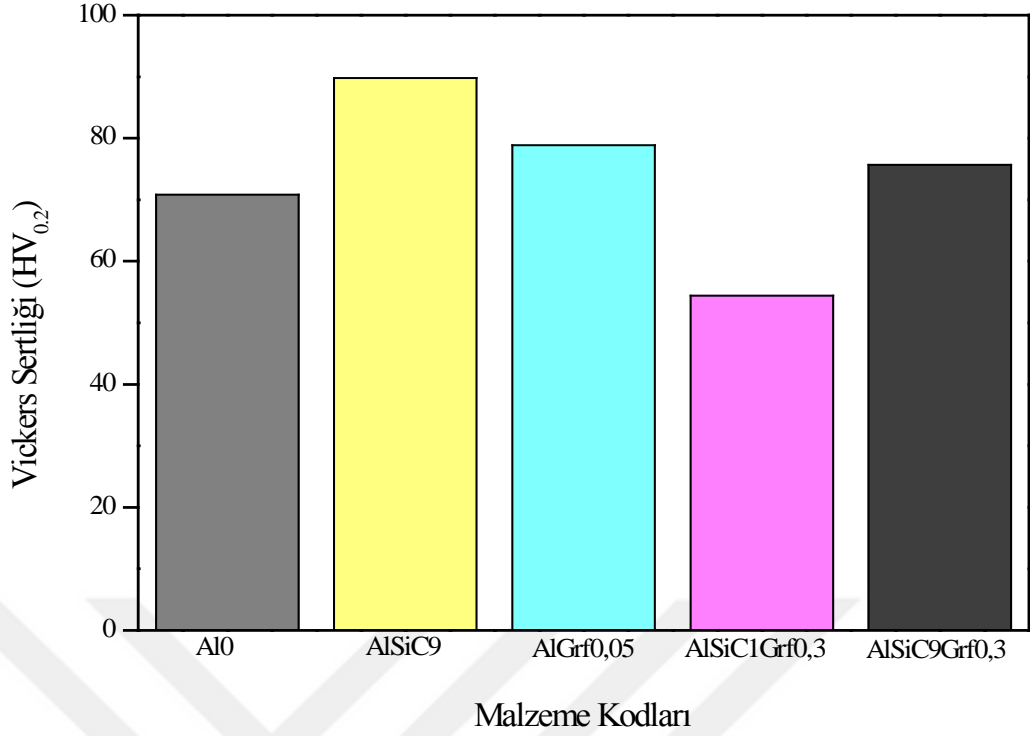
Bu bölümde üretilen alüminyum alaşımı, Al-SiC, Al-Grafen, Al-SiC/Grafen kompozitlerin en iyi yoğunluk, gözeneklilik oranı, sertlik, basma-çekme dayanımı, elastisite modülü, kırılma enerjisi, aşınma oranı değerleri karşılaştırılmıştır.

Takviyesiz Al, Al-SiC, Al-grafen ve grafen-seramik katkılı alüminyum matrisli kompozitlere ait en yüksek deneysel yoğunluk ve en düşük gözeneklilik oranı değerleri Şekil 5.58’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere en yüksek deneysel yoğunluk değerine ($2,67 \text{ g/cm}^3$) AlGrf0,05 kompozit yapıda, en yüksek gözeneklilik oranına (%6,9) ise AlSiC9Grf0,05 kompozit yapıda ulaşılmıştır.



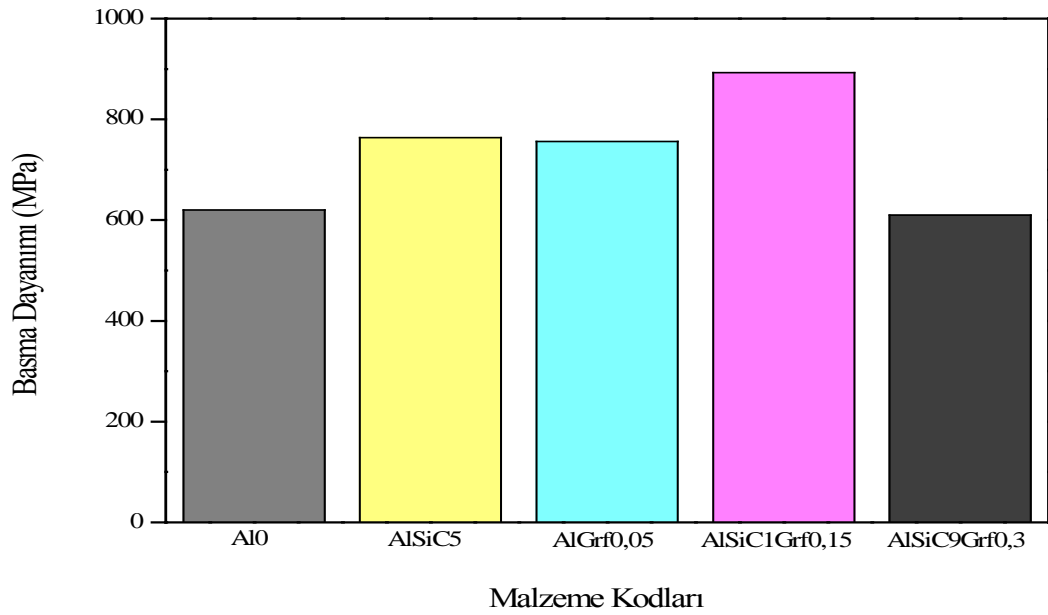
Şekil 5.58. Takviyesiz alüminyuma ve üretilen kompozitlere ait en yüksek deneysel yoğunluk ve en düşük gözeneklilik oranı değerleri

Takviyesiz alüminyuma ve üretilen kompozitlere ait en yüksek Vickers sertlik değerleri Şekil 5.59’da verilmiştir. En yüksek Vickers sertliği ($89,80 \text{ HV}_{0,2}$), AlSiC9 kompozit yapıda elde edilmiştir. Bu kompozit yapılarda sertliğin yüksek çıkmasında, birer seramik malzeme olan SiC’in sert yapısı oldukça etkilidir.



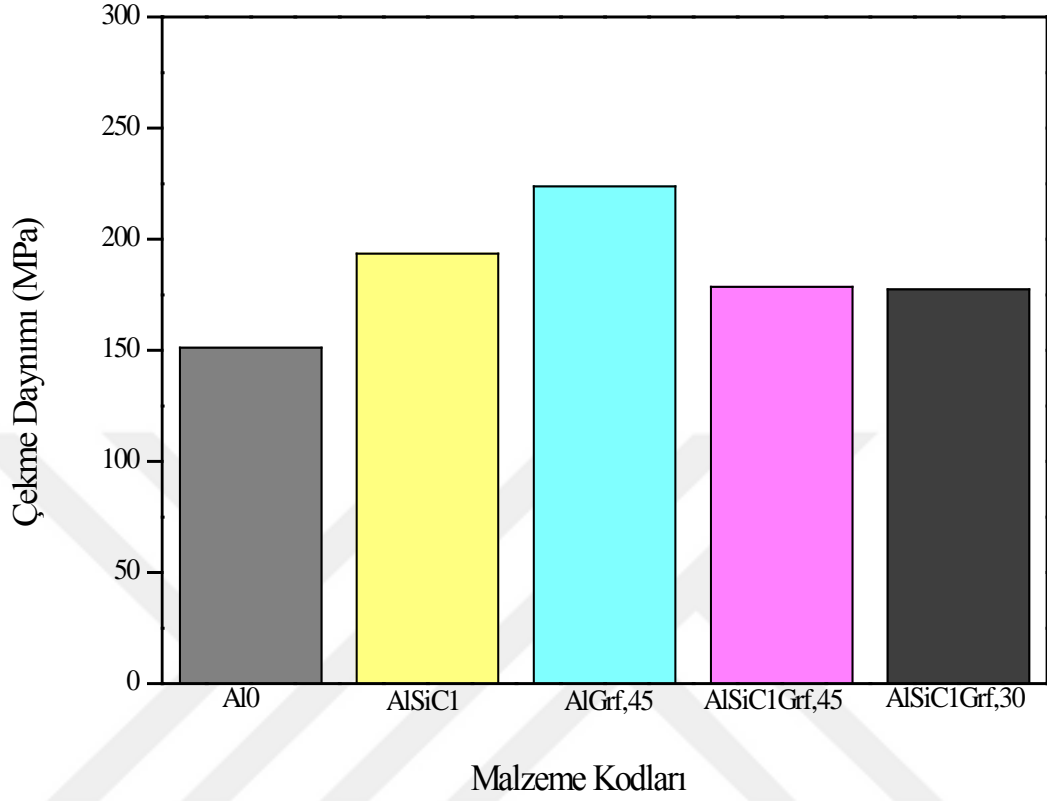
Şekil 5.59. Takviyesiz alüminyuma ve üretilen kompozitlere ait en yüksek sertlik değerleri

Takviyesiz alüminyuma ve üretilen kompozitlere ait en yüksek basma dayanımı değerleri Şekil 5.60'da verilmiştir. En yüksek basma dayanımı (892,48 MPa), AlSiC1Grf0,15 kompozit yapıda elde edilmiştir.



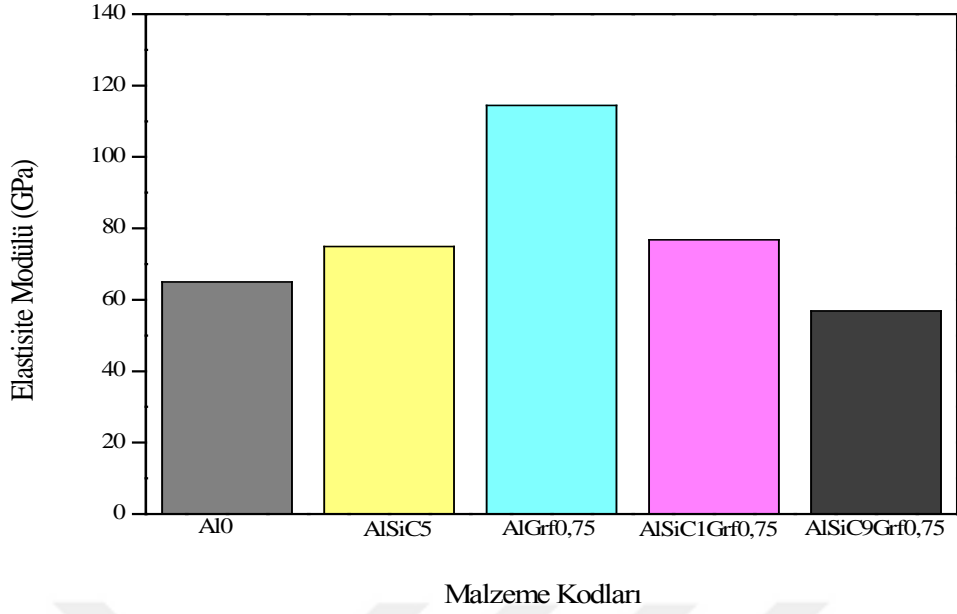
Şekil 5.60. Takviyesiz alüminyuma ve üretilen kompozitlere ait en yüksek basma dayanımı değerleri

Takviyesiz Al, Al-SiC, Al-grafen ve grafen-seramik katkılı alüminyum matrisli kompozitlere ait en yüksek çekme dayanımı değerleri Şekil 5.61’de verilmiştir. En yüksek çekme dayanımı (223,84 MPa) AlGrf0,45 kompozit yapıda elde edilmiştir.



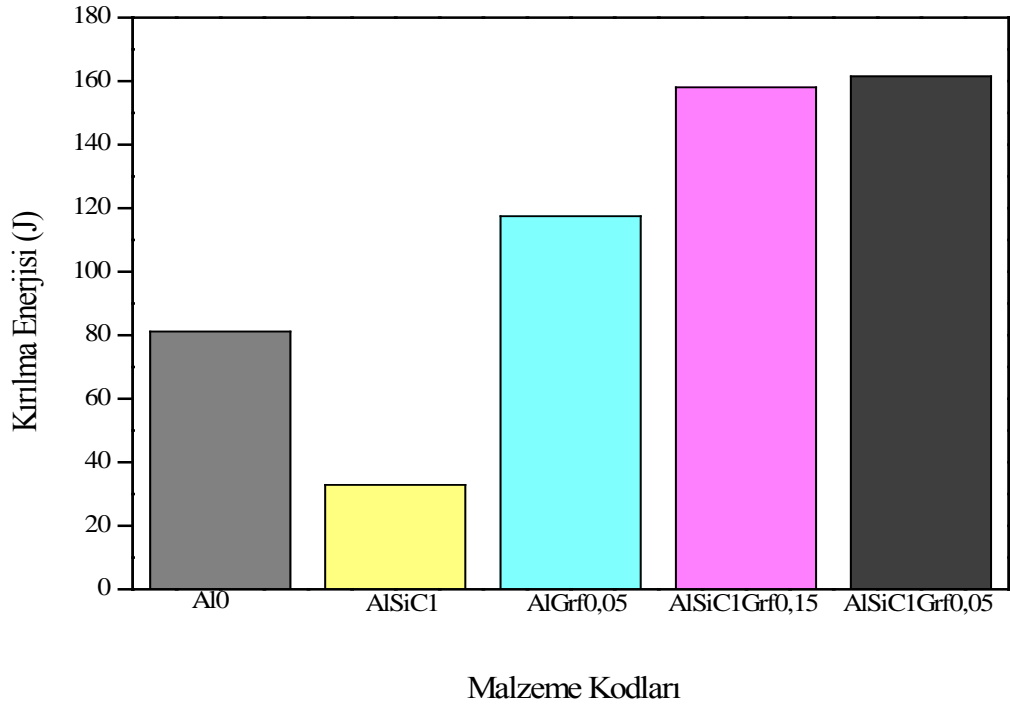
Şekil 5.61. Takviyesiz alüminyuma ve üretilen kompozitlere ait en yüksek çekme dayanımı değerleri

Takviyesiz Al, Al-SiC, Al-grafen ve grafen-seramik katkılı alüminyum matrisli kompozitlere ait en yüksek elastisite modülü değerleri Şekil 5.62’de verilmiştir. En yüksek çekme dayanımı (114,4 GPa) AlGrf0,75 kompozit yapıda elde edilmiştir.



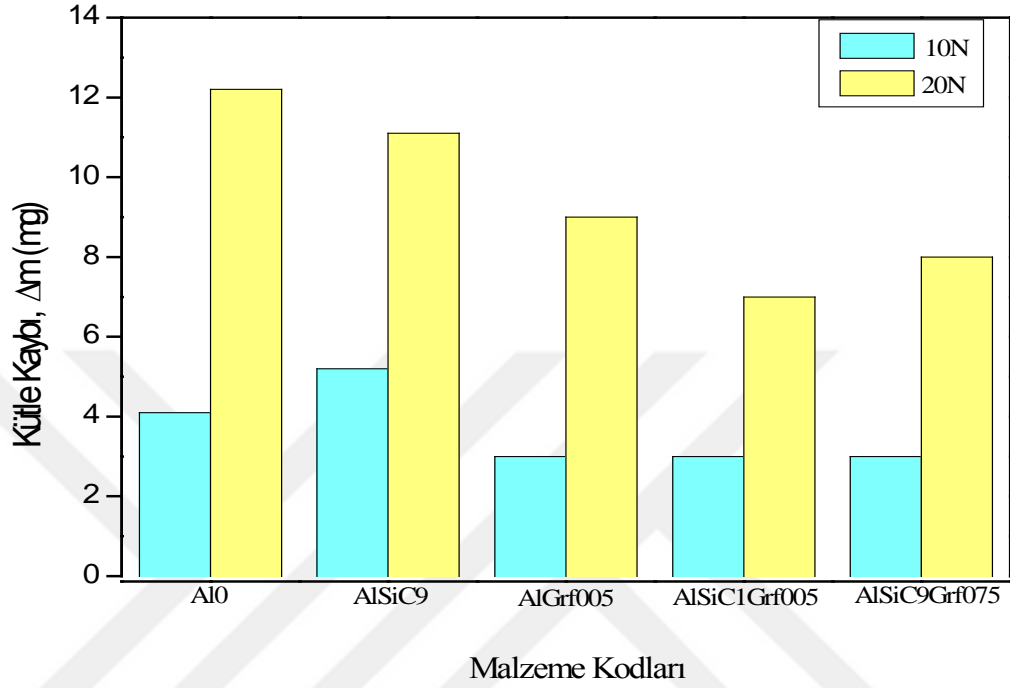
Şekil 5.62. Takviyesiz alüminyuma ve üretilen kompozitlere ait en yüksek elastisite modülü değerleri

Takviyesiz Al, Al-SiC, Al-grafen ve grafen-seramik katkılı alüminyum matrisli kompozitlere ait en yüksek kırılma enerjisi değerleri Şekil 5.63'te verilmiştir. En yüksek kırılma enerjisi (161,53 J) AlSiC9Grf0,05 kompozit yapıda elde edilmiştir.

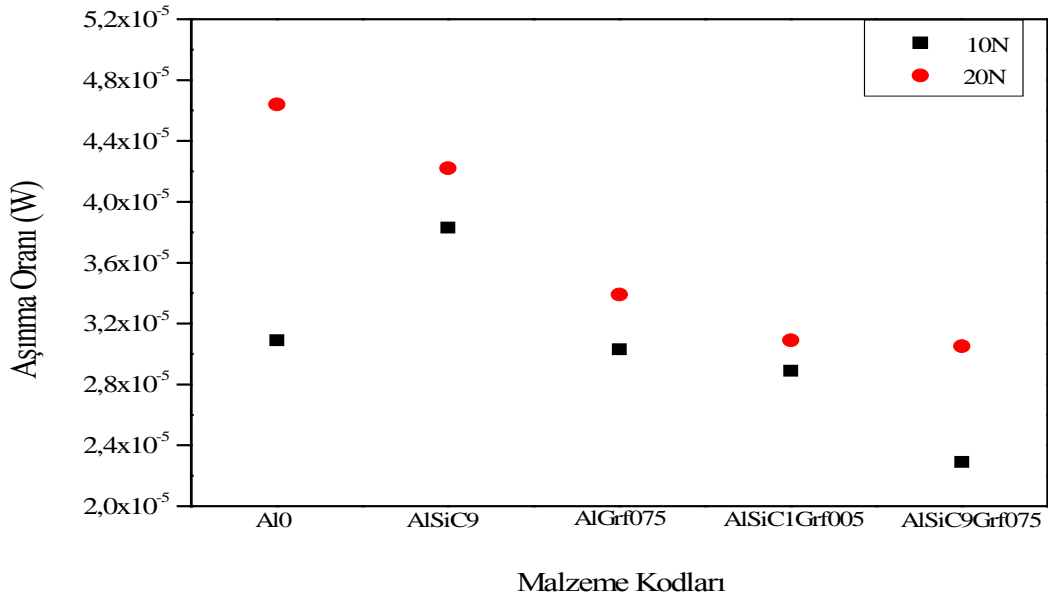


Şekil 5.63. Takviyesiz alüminyuma ve üretilen kompozitlere ait en yüksek kırılma enerjisi değerleri

Takviyesiz Al, Al-SiC, Al-grafen ve grafen-seramik katkılı alüminyum matrisli kompozitlere ait en düşük kütle kaybı ve aşınma oranı değerleri sırasıyla Şekil 5.64 ve Şekil 5.65'te verilmiştir. Yapılan aşınma testi sonuçları göre en iyi aşınma değerleri AlSiC9Grf075 hibrit kompozitinde elde edilmiştir.



Şekil 5.64. Takviyesiz alüminyuma ve üretilen kompozitlere ait en düşük kütle kaybı değerleri



Şekil 5.65. Takviyesiz alüminyuma ve üretilen kompozitlere ait en düşük aşınma oranı değerleri

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, grafen, SiC ve grafen/SiC takviyeli olmak üzere farklı türde alüminyum kompozit malzeme üretilmiştir. Üretimi yapılan kompozit malzemelerin matrisi için saf alüminyum veya ticari alüminyum alaşımları yerine atık alüminyum kullanılmıştır. Bu ihtiyaç ise atık alüminyum içecek kutuları ile sağlanarak aynı zamanda geri dönüşüm uygulaması yapılmıştır. Üretim metodu olarak ise karıştırılmalı döküm yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen grafen, SiC ve grafen/SiC takviyeli kompozitlerde takviye oranı değişiminin mekanik özellikler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde elde edilen bulgular değerlendirilerek çıkarılan sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

6.1. SiC Takviyeli Al Matrisli Kompozitlerin Genel Değerlendirmesi

Alüminyum matrise, ağırlıkça %1, 3, 5, 7 ve 9 SiC takviyeli alüminyum matrisli kompozitler karıştırılmalı döküm yöntemiyle üretilmiştir. Üretilen kompozit yapılarda SiC katkı oranının yoğunluk, gözeneklilik oranı, Vickers sertliği, basma dayanımı, çekme dayanımı, elastisite modülü, kırılma enerjisi, aşınma oranı ($P=10, 20$ N yükleme için) ve mikroyapı üzerine olan etkisi incelenmiştir.

- 1) SiC takviyeli kompozitlerin kırık yüzey SEM görüntülerinden, tanelerin boyun oluşturduğu görülmüştür. Ayrıca artan SiC miktarına bağlı olarak partikül dağılımının arttığı ve takviye malzemesinin homojen olarak dağıldığı görülmüştür.
- 2) SiC takviyeli kompozitlerde, ağırlıkça takviye oranının artmasıyla, kompozit malzemelerin yoğunluklarının ve porozitenin genel anlamda arttığı tespit edilmiştir.
- 3) SiC takviyeli kompozitlerde, artan takviye yüzde ağırlık oranı ile sertliğin arttığı tespit edilmiştir. En yüksek sertlik %9 takviye oranında 89,80 HV_{0,2} olarak hesaplanmıştır.
- 4) SiC takviyeli kompozitlerde, takviye yüzde ağırlık oranının artmasıyla çekme mukavemetinin azaldığı görülmüştür. En yüksek çekme dayanımı %1 takviye oranında 193,47 MPa olarak hesaplanmıştır.
- 5) SiC takviyeli kompozitlerde, en yüksek basma dayanımı %5 takviye oranında 763,69 MPa olarak hesaplanmıştır.

- 6) SiC takviyeli kompozitlerde, takviye yüzde ağırlık oranının artmasıyla darbe mukavemetinin azaldığı görülmüştür. Bunun nedeni ise takviye elemanın gevrek yapısından kaynaklanmaktadır.
- 7) SiC takviyeli kompozitlerde, en yüksek elastisite modülü %5 takviye oranında 74.9 GPa olarak hesaplanmıştır.
- 8) SiC takviyeli kompozitlerde farklı yükler altında yapılan aşınma testi sonuçları değerlendirildiğinde aynı yük altında (20 N) en az kütle kaybı ($\Delta_m=11$ mg) ve en düşük aşınma oranı ($W= 4.22 \times 10^{-5}$ mm³/Nm) AlSiC9 kompozitin de elde edilmiştir.
- 9) Sonuç olarak, alüminyum matrisine SiC katkısı belli bir orana kadar kompozitlerin mekanik özelliklerini iyileştirmiştir. Sertlik, çekme, basma, eğme, darbe ve aşınma test sonuçları, alüminyum matrisli kompozitlerde SiC iyi bir katkı elemanı olduğunu göstermiştir.

6.2. Grafen Takviyeli Al Matrisli Kompozitlerin Genel Değerlendirmesi

Alüminyum matrisine, ağırlıkça %0,05, 0,15, 0,3, 0,45, 0,6 ve 0,75 grafen takviyeli alüminyum matrisli kompozitler karıştırmalı yöntemiyle üretilmiştir. Üretilen kompozit yapılarda grafen katkı oranının yoğunluk, gözeneklilik oranı, Vickers sertliği, basma dayanımı, çekme dayanımı, elastisite modülü, kırılma enerjisi, aşınma oranı ($P = 10, 20$ N yükleme için) ve mikroyapı üzerine olan etkisi incelenmiştir.

- 1) Grafen takviyeli kompozitlerin kırık yüzey SEM görüntülerinden, taneler arasında boyun oluşumu gerçekleşmiş yoğun yapılar ve grafen plakaların Al tane sınırlarına yerleştiği görülmüştür.
- 2) Grafen takviyeli kompozitlerde, ağırlıkça takviye oranının artmasıyla, kompozit malzemelerin yoğunluklarının azaldığı, porozitenin ise arttığı tespit edilmiştir.
- 3) Grafen takviyeli kompozitlerde, ağırlıkça takviye oranının artmasıyla kompozit malzemelerin sertliği takviyesiz matris malzemesine göre azalmış ve en yüksek sertliğin %0,05 takviye oranında elde edilmiştir. Artan grafen miktarıyla topaklanma eğiliminin artması sonucu sertliğin düştüğü belirlenmiştir.
- 4) Grafen takviyeli kompozitlerde, ağırlıkça takviye oranının artmasıyla kompozit malzemelerin çekme mukavemeti, takviyesiz matris malzemesine göre artmış

ve en yüksek çekme mukavemetinin %0,45 takviye oranında elde edildiği görülmüştür. %0,75 takviye oranında ise matrise göre çekme mukavemeti değeri daha fazla olmasına rağmen, artan grafen miktarıyla topaklanma eğiliminin artması sonucu çekme mukavemetinin bir miktar düştüğü tespit edilmiştir.

- 5) Grafen takviyeli kompozitlerde, en yüksek basma dayanımı %0,05 takviye oranında 756,04 MPa olarak hesaplanmıştır.
- 6) Grafen takviyeli kompozitlerde, yüzde ağırlık oranının artmasıyla kompozit malzemelerin darbe mukavemetinin takviyesiz matris malzemesine göre genel anlamda arttığı ancak en yüksek değer %0,05 takviye oranında elde edildiği görülmüştür. Bu oranın üzerindeki ilavelerde ise matrisinkine oranla darbe mukavemeti değerleri fazla çıkmıştır. Ancak artan grafen miktarıyla topaklanma eğiliminin artması sonucu darbe mukavemetinin düştüğü belirlenmiştir.
- 7) Grafen takviyeli kompozitlerde, takviye oranının artmasıyla elastisite modülü artmakta ve en yüksek elastisite modülü %0,75 takviye oranında 114,4 GPa olarak hesaplanmıştır.
- 8) Grafen takviyeli kompozitlerde farklı yükler altında yapılan aşınma testi sonuçları değerlendirildiğinde aynı yük altında (20 N) en az kütle kaybı ($\Delta m = 9$ mg) ve en düşük aşınma oranı ($W = 3,09 \times 10^{-5}$ mm³/Nm) AlGrf0,75 kompozitin de elde edilmiştir.
- 9) Sonuç olarak, alüminyum matrise grafen katkısı belli bir orana kadar kompozitlerin mekanik özelliklerini iyileştirmiştir. Sertlik, çekme, basma, eğme, darbe ve aşınma test sonuçları, alüminyum matrisli kompozitlerde grafenin iyi bir katkı elemanı ve katı yağlayıcı olduğunu göstermiştir.

6.3. Al-SiC1/Grafen Yapılı Hibrit Kompozitlerin Genel Değerlendirmesi

Karıştırmalı döküm metoduyla farklı katkı oranlarında (ağırlıkça %1, 3, 5, 7, 9) SiC katkılı Al esaslı kompozitler üretilmiştir. En yüksek Vickers sertlik değeri en uygun SiC katkı oranı belirlenip bu SiC katkı oranına, ağırlıkça %0,1, 0,15, 0,3, 0,45, 0,6 ve 0,75 oranında grafen katkısı yapılmıştır. Al matrise SiC ve grafen katkısının kompozitin deneysel yoğunluğu, basma dayanımı, çekme dayanımı, elastisite

modülü, kırılma enerjisi, aşınma oranı ($P = 10, 20N$ yükleme için) ve mikroyapı üzerine olan etkisi incelenmiştir.

- 1) Al-SiC1/Grafen yapıli hibrit kompozitlerin kırık yüzey SEM görüntülerinden, taneler arasında boyun oluşumu gerçekleşmiş yoğun yapılar ve grafen plakaların SiC ve Al tane sınırlarına yerleştiği görülmüştür.
- 2) Al-SiC1/Grafen yapıli hibrit kompozitlerde, ağırlıkça takviye oranının artmasıyla, kompozit malzemelerin yoğunluklarının azaldığı, porozitenin ise arttığı tespit edilmiştir.
- 3) Al-SiC1/Grafen yapıli hibrit kompozitlerde, ağırlıkça takviye oranının artmasıyla kompozit malzemelerin sertliği takviyesiz matris malzemesine göre azalmıştır. Artan grafen miktarıyla topaklanma eğiliminin artması sonucu sertliğin düştüğü belirlenmiştir.
- 4) Al-SiC1/Grafen yapıli hibrit kompozitlerde, ağırlıkça takviye oranının artmasıyla kompozit malzemelerin çekme mukavemeti, takviyesiz matris malzemesine göre artmış ve en yüksek çekme mukavemetinin %0,45 takviye oranında elde edildiği görülmüştür. %0,45 takviye oranından sonra artan grafen miktarıyla topaklanma eğiliminin artması sonucu çekme mukavemetinin bir miktar düştüğü tespit edilmiştir.
- 5) Al-SiC1/Grafen takviyeli kompozitlerde, en yüksek basma dayanımı AlSiC1Grf0,15 kompozit malzemedede 892,48 MPa olarak hesaplanmıştır.
- 6) Al-SiC1/Grafen yapıli hibrit kompozitlerde, yüzde ağırlık oranının artmasıyla kompozit malzemelerin darbe mukavemetinin takviyesiz matris malzemesine göre genel anlamda arttığı ve en yüksek değerin %0,15 takviye oranında elde edildiği görülmüştür. Bu oranın üzerindeki ilavelerde ise artan grafen miktarıyla topaklanma eğiliminin artması sonucu darbe mukavemetinin düştüğü belirlenmiştir.
- 7) Al-SiC1/Grafen yapıli hibrit kompozitlerde, takviye oranının artmasıyla elastisite modülü artmakta ve en yüksek elastisite modülü AlSiC1Grf0,75 hibritinde 76,8 GPa olarak hesaplanmıştır.
- 8) Al-SiC1/Grafen yapıli hibrit kompozitlerde farklı yükler altında yapılan aşınma testi sonuçları değerlendirildiğinde aynı yük altında (20 N) en az kütle kaybı ($\Delta m = 7mg$) ve en düşük aşınma oranı ($W = 3,09 \times 10^{-5} mm^3/Nm$) AlSiCGrf0,05 kompozitin de elde edilmiştir.

- 9) Sonuç olarak, alüminyum matrise SiC ve grafen katkısı yapılarak üretilen hibrit kompozitler belli bir orana kadar kompozitlerin mekanik özelliklerini iyileştirmiştir. Sertlik, çekme, basma, eğme, darbe ve aşınma test sonuçları, alüminyum matrisli kompozitlerde grafenin ve SiC'in iyi bir katkı elemanı olduğunu göstermiştir.

6.4. Al-SiC9/Grafen Yapılı Hibrit Kompozitlerin Genel Değerlendirmesi

Karıştırmalı döküm metoduyla farklı katkı oranlarında (ağırlıkça %1, 3, 5, 7, 9) SiC katkılı Al esaslı kompozitler üretilmiştir. En yüksek çekme dayanımı için en uygun SiC katkı oranı belirlenip bu SiC katkı oranına, ağırlıkça %0,1, 0,15, 0,3, 0,45, 0,6 ve 0,75 oranında grafen katkısı yapılmıştır. Al matrise SiC ve grafen katkısının kompozitin deneysel yoğunluğu, basma dayanımı, çekme dayanımı, elastisite modülü, kırılma enerjisi, aşınma oranı ($P = 10, 20$ N yükleme için) ve mikroyapı üzerine olan etkisi incelenmiştir.

- 1) Al-SiC9/Grafen yapıları hibrit kompozitlerin kırık yüzey SEM görüntülerinden, taneler arasında boyun oluşumu gerçekleşmiş yoğun yapılar ve grafen plakaların SiC ve Al tane sınırlarına yerleştiği görülmüştür.
- 2) Al-SiC9/Grafen yapıları hibrit kompozitlerde, ağırlıkça takviye oranının artmasıyla, kompozit malzemelerin yoğunluklarının azaldığı, porozitenin ise arttığı tespit edilmiştir.
- 3) Al-SiC9/Grafen yapıları hibrit takviyeli kompozitlerde, ağırlıkça takviye oranının artmasıyla kompozit malzemelerin sertliği takviyesiz matris malzemesine göre azalmıştır. En yüksek sertlik değeri AlSiC9Grf0,03 hibrit kompozitin de ulaşılmıştır. Artan grafen miktarıyla topaklanma eğiliminin artması sonucu sertliğin düştüğü belirlenmiştir.
- 4) Al-SiC9/Grafen yapıları hibrit kompozitlerde, ağırlıkça takviye oranının artmasıyla kompozit malzemelerin çekme mukavemeti, takviyesiz matris malzemesine göre artmış ve en yüksek çekme mukavemetinin %0,30 takviye oranında elde edildiği görülmüştür. %0,30 takviye oranından sonra artan grafen miktarıyla topaklanma eğiliminin artması sonucu çekme mukavemetinin bir miktar düştüğü tespit edilmiştir.

- 5) Al-SiC9/Grafen takviyeli kompozitlerde, en yüksek basma dayanımı AlSiC9Grf0,30 kompozit malzemede 609,79 MPa olarak hesaplanmıştır. Ancak bu değer matris malzemesinin değerinden düşük çıkmıştır.
- 6) Al-SiC9/Grafen yapıli hibrit kompozitlerde, yüzde ağırlık oranının artmasıyla kompozit malzemelerin darbe mukavemetinin azaldığı ve en yüksek değerin %0,05 takviye oranında elde edildiği görülmüştür. Bu oranın üzerindeki ilavelerde ise artan grafen miktarıyla topaklanma eğiliminin artması sonucu darbe mukavemetinin düştüğü belirlenmiştir.
- 7) Al-SiC9/Grafen yapıli hibrit kompozitlerde, takviye oranının artmasıyla elastisite modülü artmakta ve en yüksek elastisite modülü AlSiC1Grf0,75 hibritinde 56,9 GPa olarak hesaplanmıştır. Ancak bu değer matris malzemesinin elastisite modülünden düşük çıkmıştır.
- 8) Al-SiC1/Grafen yapıli hibrit kompozitlerde farklı yükler altında yapılan aşınma testi sonuçları değerlendirildiğinde aynı yük altında (20 N) en az kütle kaybı ($\Delta m=8$ mg) ve en düşük aşınma oranı ($W = 3,05 \times 10^{-5}$ mm³/Nm) AlSiCGrf0,75 kompozitin de elde edilmiştir.
- 9) Sonuç olarak, alüminyum matrise SiC ve grafen katkısı yapılarak üretilen hibrit kompozitler belli bir orana kadar kompozitlerin mekanik özelliklerini iyileştirmiştir. Sertlik, çekme, basma, eğme, darbe ve aşınma test sonuçları, alüminyum matrisli kompozitlerde SiC'in ve grafenin iyi bir katkı elemanı olduğunu göstermiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde elde edilen bulguların değerlendirilmesinden sonraki öneriler şu şekildedir.

- 1) Üretilen kompozit malzemelerin termal iletkenlik, korozyon dayanımı incelenebilir.
- 2) Üretimi yapılan kompozit malzemelere soğuk şekil değiştirme uygulanarak mekanik özelliklerindeki değişimler incelenebilir.
- 3) Farklı tane boyutuna sahip SiC ve grafen farklı oranlarda takviye edilerek mekanik özellikler incelenebilir.
- 4) Daha büyük kapasitede bir ergitme fırın imalatı yapılabilir. Bu sayede, büyük ebatlarda kompozit malzeme üretilebilir ve partikül takviye oranının talaşlı işlenebilirliğe etkisi incelenebilir. Ayrıca yüksek miktarda elde edilecek sıvı eriyiğin, tekniğine uygun tasarlanıp imal edilecek döküm kalıplarına dökülmesiyle, kompozit makine parçası imali gerçekleştirilebilir.

- 5) Karıştırılmalı döküm yöntemi vakum altında yapılp çıkan sonuçlarla atmosfere açık şekilde yapılan çalışmaya ait sonuçlarla karşılaştırılabilir.



KAYNAKLAR

- Anonim 2004, Alüminyum Raporu. Retrieved from
- Anonim 2013, <https://www.accuratus.com/silicar.html> (Erişim tarihi: 15.03.2019)
- Anonim 2015, Darbe Deney Föyü, Malzeme ve Metalürji Mühendisliği Bölümü, Celal Bayar Üniversitesi.
- Anonim 2017, <http://www.alcircle.com> (Erişim tarihi: 25.12.2018)
- Anonim 2018a, <http://www.world-aluminium.org> (Erişim tarihi: 20.10.2018)
- Anonim 2018b, <http://recycling.worldaluminium.org/review/recycling-indicators/#top> (Erişim tarihi: 20.10.2018)
- Aruri D., Adepu, K., Adepu, K. and Bazavada, K. 2013. Wear and mechanical properties of 6061-T6 aluminum alloy surface hybrid composites [(SiC + Gr) and (SiC + Al₂O₃)] fabricated by friction stir processing. *Journal of Materials Research and Technology*, 2:4, 362-369.
- Aslan, A. 2014. Atık Metal Talaşlarının Geri Dönüştürülmesiyle Metal Matris Kompozit Malzeme Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 119, Konya.
- Atik, E., Ünlü, S. B., Şen, O. ve Çavdar, U. 2006. Partikül Takviyeli AlSi12CuNiMg Kompozitinin Aşınma Dayanımı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi*, 2, 75-87.
- Aybarc, U., Dışpınar, D. ve Seydibeyoğlu, M., O. 2018. Aluminum Metal Matrix Composites with SiC, Al₂O₃ and Graphene – Review. *Archives of Foundry Engineering*, 18:2, 5-10.
- Bajaj, P. 2011. Mechanical behaviour of aluminium based metal matrix composites reinforced with SiC and alumina. Thapar University, Yüksek lisans tezi, Üretim ve Endüstri Mühendisliği, 70, Patiala, India.
- Bedir, F. 2006. Alüminyum Kompozitlerin Üretimi, Karakteristik Özellikleri Ve Endüstriyel Uygulamaları. *Mühendis ve Makina*, 47:554, 28-35.
- Bilir, H. 2014. Al/SiC Kompozitlerin Karıştırmalı Döküm Yöntemi ile Üretilmesi ve İşlenebilme Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 123, Kırıkkale.
- Cilasun, N., S. 2013. Karıştırmalı Döküm Yöntemi İle SiC Takviyeli Al Esaslı Kompozit Üretimi ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 100, Kırıkkale.
- Çevik, E. 2015. B₄C takviye elemanı ile üretilen farklı Mg içerikli Al ve Al-Si matrisli kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerinin incelenmesi. Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, 88, Karabük.
- Dengiz, Ö., E. 2018. Grafen Takviyeli Magnezyum Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 103, Samsun.
- Devaraju, A., Kumar, A. and Kotiveerachari, B. 2013. Influence of addition of Grp/Al₂O_{3p} with SiC_p on wear properties of aluminum alloy 6061-T6 hybrid composites via friction stir processing. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 23, 1275-1280.

- Devi, C., N., , Selvaraj, N. and Mahesh, V. 2012. Micro structural aspects of Aluminium Silicon Carbide Metal Matrix Composite. *Int. Journal of Applied Sciences and Engineering Research*, 1:2.
- Doğan, Ö., H. 2014. Grafit oksitin elektrokimyasal indirgenmesi ile grafen ve metal-grafen kompozit sentezi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, 233, Erzurum.
- Ediz, Ç. 2011. Alüminyumun Geri dönüşüm Süreci ve Süreçte Kullanılan Malzemelerin Alüminyum Bileşenlerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine ve İmalat Mühendisliği, 79, Bilecik.
- Günay, M. 2009. Toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiş Al-Si/SiCp kompozitlerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümü, 232, Ankara.
- Gürbüz, M. 2018. Effect of cold treatment on mechanical properties of aluminum made from waste beverage cans. *Dokuz Eylül University-Faculty of Engineering Journal of Science and Engineering*, 20:58.
- Gürbüz, M. ve Mutuk, T. 2017. Effect of process parameters on hardness and microstructure of graphene reinforced titanium composites. *Journal of Composite Materials*, 52:4, 543-551.
- Hashim, J., Looney, L. and Hashmi, M., S.,J. 2002. Particle distribution in cast metal matrix. *Composites-Part I. Journal of Materials Processing Technology*, 123, 251-257.
- Hashim, J., Looney, L. and Hashmi, M. S. J. 1999. Metal matrix composites: production by the stir casting method. *Journal of Materials Processing Technology*:92-93, 1-7.
- Hindi, J., Kini, A., U., , Sharma, S., S., , Gurusurthy, B., M., and Shankar, G., 2015. Mechanical Characterization of Stir Cast Al 6063 Matrix SiC Reinforced Metal Matrix Composites. 5th International Conference on Automotive, Bali, Indonesia.
- Karademir, İ. 2013. SiO₂ takviyeli etial 21 esaslı kompozit malzemelerin basınçlı infiltrasyon yöntemi ile üretimi ve özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 88, Bartın.
- Kaushik, N., Ch., and Rao, R., N. 2016. The effect of wear parameters and heat treatment on two body abrasive wear of Al-SiC-Gr hybrid composites. *Tribology International*, 96, 184-190.
- Kılıç, C. 2008. Sıkıştırma Döküm Yöntemi İle Üretilmiş ve Soğuk Haddelenmiş AlMg₃/SiCp Kompozitinin Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 115, Edirne.
- Krishna, M., V., and Xavior, A., M. 2014. An Investigation on the Mechanical Properties of Hybrid Metal Matrix Composites. *Procedia Engineering*, 97, 918-924.
- Kumar, H., G., and Xavior, M., A. 2014. Graphene Reinforced Metal Matrix Composite (GRMMC): A Review. *Procedia Engineering*, 97, 1033-1040.
- Kumar R., K., V. 2017. Experimental Analysis of Mechanical Properties of Aluminium Alloy With Silicon Carbide. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 8:12, 99-107.
- Kumar, S., N. 2018. Mechanical and Wear Behavior of ZA-27/SiC/Gr Hybrid Metal Matrix Composites. *Materials Today: Proceedings*, 5, 19969-19975.

- Leng, J., Wu, G., , Zhou, Q., Dou, Z. and Huang, X. 2008. Mechanical properties of SiC/Gr/Al composites fabricated by squeeze casting technology. *Scripta Materialia*, 59:619-622.
- Lokesh, T. and Mallik, U., S. 2017. Dry sliding wear behavior of Al/Gr/SiC hybrid metal matrix composites by Taguchi techniques. *Materials Today: Proceedings*, 4, 11175-11180.
- Mindivan, H. 2007. Silisyum Karbür Takviyeli Alüminyum Matris Kompozitlerin Tribolojik Davranışlarının İncelenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 244, İstanbul
- Mohanakumara, K., C., Rajashekar, H., Ghanaraja, S. and Ajitprasad, S., L. 2014. Development and mechanical properties of SiC reinforced cast and extruded Al based metal matrix composite. *Procedia Materials Science*, 5, 934-943.
- Nazik, C. 2013. Alüminyum Matrisli B₄C Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Toz Metakurjisi Yöntemiyle Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, 108, Konya.
- Özsarı, A., R., B. 2018. Basıncılı İnfiltrasyon Yöntemi ile Üretilen AA2024 ve AA6061 Matrisli, B₄C ve SiC Takviyeli Kompozitlerin Üretimi, İyapı, Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, 88, Uşak.
- Öztop, B. 2017. Atık Alüminyum Kullanarak Grafen Ve Silisyum Nitrür Takviyeli Kompozit Üretimi Ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 123, Samsun.
- Öztop, B. ve Gürbüz, M. 2017. Atık Alüminyumdan Elde Edilen Matrise Grafen Takviyesiyle Üretilen Kompozitlerin Özelliklerinin İncelenmesi. *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, 1:1, 4-8.
- Pavani, M., A., and Venkaiah, M, 2015. Mechanical Properties of Stir Casted AL6063-SiC Metal Matrix Composite. *South Asian Journal of Engineering and Technology*, 2:1.
- Pawar, P., B., and Utpat, A., A. 2014. Development of Aluminium Based Silicon Carbide Particulate Metal Matrix Composite for Spur Gear. *Procedia Materials Science*, 6, 1150-1156.
- Prakash, P., B., Raju, K., B., Subbaiah, K., V., and Kandan, N., M. 2017. Microstructure Analysis and Evaluation of Mechanical Properties of Al 7075 GNP's Composites. *Materials Today: Proceedings*, 5, 14281-14291.
- Pul, M. 2010. Al Matrisli MgO Takviyeli Kompozitlerin İnfiltrasyon Yöntemi İle Üretilmesi ve İşlenebilirliğinin Değerlendirilmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi, 210, Ankara.
- Rahman, M., H., and Rashed, H., M., M., 2014. Characterization of silicon carbide reinforced aluminum matrix composites. *Procedia Engineering*, 90, 103-109.
- Rashad, M., Pan, F., Yu, Z., Asif, M., Lin, H. and Pan, R. 2015. Investigation on microstructural, mechanical and electrochemical properties of aluminum composites reinforced with graphene nanoplatelets. *Progress in Natural Science: Materials International*, 25, 460-470.
- Singla, M., Dwivedi, D., D., Singh, L. and V., C. 2009. Development of Aluminium Based Silicon Carbide Particulate Metal Matrix Composite. *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, 8:6, 455-467.
- Smith, W., F. 2001. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Literatür Yayıncılık, İstanbul.

- Şahin, Y. 2015. Kompozit malzemelere giriş, 440, Seçkin Yayınevi, Ankara.
- Şenel, C. M., Gürbüz, M. ve Koç, E. 2017. Grafen Takviyeli Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Mekanik Özellikleri Ve Aşınma Davranışının İncelenmesi. 1st International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies Proceedings.
- Şenel, M. C., Gürbüz, M. ve Koç, E. 2015. Grafen Takviyeli Alüminyum Matrisli Yeni Nesil Kompozitler. Mühendis ve Makine, 56:669, 36-47.
- Toptan, F. 2006. Alüminyum Matrisli B4C Takviyeli Kompozitlerin Döküm Yöntemi İle Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Mühendisliği Malzeme Ana Bilim Dalı, 98, İstanbul.
- Varol, T. 2016. Aşınma Deney Föyü. Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Malzeme ve Metalurji Mühendisliği, Trabzon.
- Venkatesan, S. and Xavier, M., A. 2017. Mechanical behaviour of aluminium metal matrix composite reinforced with graphene particulate by stir casting method. Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences, 10:1, 55-59.
- Verma, R., Sharma, S. and Kumar, D. 2017. Analysis of mechanical properties of aluminium based metal matrix composites reinforced with alumina and SiC. Int. Journal of Engineering Research & Technology, 6:03.
- Wu, Z., Zhou, G., Yin, L., Ren, W., Li, F. ve Cheng, H. 2012. Graphene/metal oxide composite electrode materials for energy storage. Nano Energy, 1, 107-131.
- Yang, W., Zhao, Q., Xin, L., Qiao, J., Zou, J., Shao, P. and Wu, G. 2018. Microstructure and mechanical properties of graphene nanoplates reinforced pure Al matrix composites prepared by pressure infiltration method. Journal of Alloys and Compounds, 732, 748-758.
- Yıldızlı, K. 2011. Çekme Eğme Deney Föyü. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Samsun.
- Zor, M. 2018. Kompozit Malzeme Mekaniği Ders Notu. Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Özgür YILMAZ
Doğum Yeri : Trabzon
Doğum Tarihi : 08/03/1993
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Beşikdüzü Anadolu Lisesi (2011)
Lisans : Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü (2015)
Yüksek Lisans : Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü (Eylül 2016-Haziran 2019)

Konferans, Yayın Ve Bildiriler

- Yılmaz Ö., Gürbüz M., Investigation of SiC Addition on Aluminum Composites Obtained From Waste Beverage Cans, 1st International Symposium on Light Alloys and Composite Materials, 22-24 March 2018, Karabük, Türkiye
- ASELSAN 3. Malzeme Teknolojileri Çalıştayı, 10-11 Mayıs 2018, ASELSAN Ankara, Türkiye
- Yılmaz Ö., Turan B.C., Gürbüz M., Stir Casting of SiC Reinforced Aluminum Composites From Waste Aluminum, International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies(IJMSIT), 2019, vol.3, no.1, pg.31-33.
- Yılmaz Ö., Turan B. C., Gürbüz M., Production and Characterization of SiC Reinforced Aluminum Alloy Matrix Composites from Waste Beverages Cans (Yayınlanma aşamasında)
- Yılmaz Ö., Turan B. C., Gürbüz M., Stir Casting of SiC Reinforced Aluminum Composites From Waste Aluminum, International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies(ISAS), 30 Kasım-2 Aralık 2018, Samsun, Türkiye

- Yılmaz Ö., Gürbüz M., Atık İçecek Kutularından Yeni Nesil Hibrit Kompozit Üretimi, 24. Ulusal Elektron Mikroskopi Kongresi, 24-26 Nisan 2019, Edirne, Türkiye

