

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
KONSTRÜKSİYON VE İMALAT**

**AA2024 MATRİSLİ B_4C -SİC VE B_4C - Y_2O_3 PARÇACIK
TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN TOZ METALURJİSİ
YÖNTEMİYLE ÜRETİMİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

Yılmaz MUTLU

**Danışman
Dr. Öğretim Üyesi Halit DOĞAN**



MANİSA-2019

TEZ ONAYI

Yılmaz MUTLU tarafından hazırlanan "**AA2024 Matrisli B₄C-SiC ve B₄C-Y₂O₃ Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi**" adlı tez çalışması 12/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Dr. Öğretim Üyesi Halit DOĞAN

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi

Doç.Dr. Fetullah GÜNEŞ

Katip Çelebi Üniversitesi

Jüri Üyesi

Dr. Öğretim Üyesi Mustafa KARAMOLLA

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Yılmaz MUTLU



İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VI
TABLO DİZİNİ	XI
ÇİZELGE DİZİNİ	XII
TEŞEKKÜR	XIII
ÖZET	XIV
ABSTRACT	XV
1. GİRİŞ	1
1.1 Malzemeler	3
1.1.1 Metal Malzemeler	3
1.1.2 Seramik Malzemeler	3
1.1.3 Polimerik Malzemeler	4
1.1.4 Kompozit Malzemeler	4
2. GENEL BİLGİLER	6
2.1 Kompozit Malzemeler	6
2.2 Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları	6
2.2.1 Avantajları	6
2.2.1.2 Dezavantajlar	6
2.3 Kompozit Malzeme Kullanım Alanları	7
2.3.1 Havacılık Sanayi	7
2.3.2 Denizcilik Sanayi	7
2.3.3 Spor Araçları	7
2.3.4 Korozyona Dayanıklı Ürünler	8
2.3.5 Sağlık	8
2.3.6 Ulaşım	9
2.3.7 Otomotiv	9
2.3.8 Formula 1 Arabaları	10
2.3.9 Müzik aletleri	10
2.3.10 Yapı sektörü	10
2.4 Kompozit Malzemelerin Genel Özellikleri	11
2.5 Kompozit Malzemelerinin Sınıflandırılması ve Özellikleri	11
2.5.1 Elyafli Kompozitler	11
2.5.2 Parçacıklı Kompozitler	12
2.5.3 Tabakalı Kompozitler	12
2.5.3.1 Tabakalı Kompozitlerin Örnekleri ve Uygulamaları	12
2.5.3.1.1 Katmanlar	12
2.5.3.1.2 Sert yüzey oluşturma	12
2.5.3.1.3 Giydirilmiş Metaller	12
2.5.3.1.4 İkili Metaller	12
2.5.4 Karma Kompozitler	13
2.6 Metal Matrisli Kompozitler	13
2.6.1 Metal Matrisli Kompozitlerde Kullanılan Matris Malzemeleri	15
2.6.2 Metal Matrisli Kompozitlerde Kullanılan Takviye Elemanları	15
2.6.3 Metal Matrisli Kompozitlerin Avantajları	16
2.6.4 Metal Matrisli Kompozitlerin Dezavantajları	16
2.6.5 Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Uygulama Alanları	16

2.6.6 Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri	19
2.6.6.1 Katı Faz Üretim Yöntemleri	19
2.6.6.1.1 Toz Metalurjisi	19
2.6.6.1.2 Difüzyon Bağı Yöntemi	22
2.6.6.2 Sıvı Faz Üretim Yöntemleri	22
2.6.6.2.1 Sıvı Metal İnfiltrasyon Yöntemi	22
2.6.6.2.2 Sıkıştırma Döküm Yöntemi	22
2.6.6.2.3 Sıvı Metal Karıştırma Teknikleri	23
2.6.6.2.4 Plazma Püskürtme (Metal Püskürtme) Yöntemi	23
2.6.7 Partikül Esaslı Metal Matrisli Kompozitler	23
2.7 Al Metal Matrisli Kompozitler	28
2.7.1 Al-MMK'lerin Üretim Yöntemleri	29
2.7.2 Al-MMK'lerin Fren Diski Olarak Kullanılabilirliği	30
2.7.3 Al-B ₄ C Kompozitleri	30
2.7.4 Metal Matrisli Kompozitlerde Matris-Takviye Ara Yüzey İlişkileri	30
2.7.4.1 Islatılabilirlik	31
2.7.4.1.1 Islanabilirliği Artırıcı Yöntemler	32
2.7.4.1.1.1 Alaşım Elementi İlavesi	32
2.7.4.1.1.2 Katkı Fazının Isıl İşlemi	32
2.7.4.1.1.3 Katkı Fazının Kaplanması	32
2.7.5 Al-B ₄ C Ara Yüzeyi	34
2.7.6 Partikül Takviyeli Alüminyum Metal Matrisli Kompozitler	34
2.8 Metal Matrisli Kompozit Üretiminde Matris Malzemesinin Seçimi	35
2.9 Alüminyum	35
2.10 Al Alaşımları ve Sınıflandırılması	36
2.10.1 Alüminyum Alaşımlarında Isıl İşlem Uygulamaları	37
2.10.2 2024 Al-Alaşımları	38
2.11 Alüminyum ve Otomotiv Endüstrisi	40
2.12 Taşıtlarda Alüminyum Alaşımlarının Kullanımı	41
2.12.1 Motor Parçaları	42
2.12.2 Akslar	42
2.12.3 Jantlar	43
2.12.4 Alüminyum Gövde	43
2.12.5 Alüminyum Gövde Panelleri	43
2.12.6 Alüminyum Ekstrüzyon Gövde Profilleri	43
2.13 Metal Matrisli Kompozitlerde Kullanılan Takviye Elemanlarının Seçimi	46
2.13.1 Bor Karbür(B ₄ C)	46
2.13.2 Silisyum Karbür(SiC)	47
2.13.3 Yitriyum Oksit(Y ₂ O ₃)	47
2.14 Sinterleme	48
2.14.1 Sinterleme Safhaları	49
2.14.1.1 Başlangıç Safhası	49
2.14.1.2 Ara Mamül Fazı	50
2.14.1.3 Sonuç Fazı	50
2.14.2 Sinterleme Mekanizmaları	50
2.14.2.1 Katı-Hal Sinterlemesi	51
2.14.2.1.1 Sinterleme Hızı	51
2.14.2.1.2. Sinterlemeyi Kontrol Eden Faktörler	52
2.14.2.2 Buhar Faz Sinterlenmesi	52

2.14.2.3 Sıvı Faz Sinterlemesi	53
2.14.2.4 Reaktif-Sıvı Sinterlenmesi	54
2.14.3 Sinterleme Problemleri	55
2.15 Kaplamalar	55
2.15.1 Yüzey Kaplama Teknikleri	55
2.15.1.1 Yüzey İşlemleri	55
2.15.1.1.1 Termokimyasal Kaplamalar	56
2.15.1.2 Yüzey Kaplamaları	56
2.15.1.2 Yüzey Kaplamaları	56
2.15.1.2.1 Kimyasal Kaplama(Electroless Kaplama)	56
2.15.1.2.1.1 Akımsız Nikel Kaplama Tekniği	57
2.15.1.2.6 Sol-Jel Kaplamalar	58
2.15.1.2.6.1 Sol – Gel Oluşumu	58
2.15.1.2.6.2 Sol-Jel Yöntemin Avantajları	58
2.15.1.2.6.3 Sol-Jel Yöntemin Dezavantajları	59
3.MATERYAL VE YÖNTEM	60
3.1 Deneysel Çalışma 1	63
3.2 Deneysel Çalışma 2	64
3.3 Tozların Kaplanması	65
3.3.1 B ₄ C Tozlarının Ni İle Kaplanması	65
3.3.1.1 B ₄ C Tozunun Temizlenmesi	65
3.3.1.2 B ₄ C Tozunun Duyarlaştırılması	65
3.3.1.3 B ₄ C Tozunun Aktivasyonu	66
3.3.1.4 Nikel Banyosunun Hazırlanması	67
3.3.1.5 B ₄ C Tozunun AN ile Ni Kaplaması İşlemi	67
3.3.2 Y ₂ O ₃ Tozlarının Al ₂ O ₃ İle Kaplanması	70
3.3.3 SiC Tozlarının SiO ₂ İle Kaplanması	73
3.4 Toz Karışım Oranlarının Hesaplanması, Tartılması ve Karıştırılması	73
3.5 Tozların Şekillendirilmesi	74
3.6 Şekillendirilen Tozların Sinterlenmesi ve Üretilen Kompozit Numune Örnekleri	75
3.7 Üretilen Kompozit Numunelerin Bakalite Alınması ve Zımparalanması	79
3.8 Üretilen Kompozit Numunelerin Fiziksel Olarak İncelemeye Alınması	80
3.8.1 Üç Noktadan Eğme ve Basma Testi	80
3.8.2 Sertlik Ölçümleri	81
3.8.3 Yoğunluk Ölçümleri	82
3.8.4 Aşınma Testi	83
3.9 Üretilen Kompozit Numunelerin Metalografik Olarak İncelemeye Alınması	85
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	88
4.1 Deneysel Çalışma 1	88
4.1.1 Fiziksel İnceleme	88
4.1.1.1 Sertlik Ölçümleri	88
4.1.1.1.1 AA2024 + 10 µm B ₄ C	88
4.1.1.1.2 AA2024 + 22-59 µm B ₄ C	89
4.1.1.1.3 AA2024 + B ₄ C + SiC	91

4.1.1.1.4 AA2024 + B ₄ C + Y ₂ O ₃	92
4.1.1.2 Yoğunluk Ölçümleri	93
4.1.1.2.1 AA2024 + 10 µm B ₄ C	93
4.1.1.2.2 AA2024 + 22-59 µm B ₄ C	95
4.1.1.2.3 AA2024 + B ₄ C + SiC	98
4.1.1.2.4 AA2024 + B ₄ C + Y ₂ O ₃	99
4.1.1.3 Üç Noktadan Eğme ve Basma Dayanımı	102
4.1.1.4 Aşınma	105
4.1.2 Metalografik İnceleme	108
4.1.2.1 SEM	108
4.1.2.2 EDS	122
4.1.2.3 Optik Mikroskop	128
4.1.2.4 XRD	132
4.2 Deneysel Çalışma 2	134
4.2.1 Fiziksel İnceleme	134
4.2.1.1 Sertlik Ölçümleri	134
4.2.1.1.1 AA2024 + 10 µm B ₄ C	134
4.2.1.1.2 AA2024 + 22-59 µm B ₄ C	136
4.2.1.1.3 AA2024 + B ₄ C + SiC	137
4.2.1.1.4 AA2024 + B ₄ C + Y ₂ O ₃	138
4.2.1.2 Yoğunluk Ölçümleri	140
4.2.1.2.1 AA2024 + 10 µm B ₄ C	140
4.2.1.2.2 AA2024 + 22-59 µm B ₄ C	142
4.2.1.2.3 AA2024 + B ₄ C + SiC	145
4.2.1.2.4 AA2024 + B ₄ C + Y ₂ O ₃	146
4.2.1.3 Üç Noktadan Eğme ve Basma Dayanımı	148
4.2.1.4 Aşınma	152
4.2.2 Metalografik İnceleme	154
4.2.2.1 SEM	154
4.2.2.2 EDS	164
4.2.2.3 Optik Mikroskop	171
4.2.2.4 XRD	173
4.3 İki Farklı Deneysel Çalışmaların Sonuçlarının Karşılaştırılması	177
4.3.1 Sertlik Değerlerinin Karşılaştırılması	177
4.3.2 Yoğunluk ve Gözenek Oranlarının Karşılaştırılması	188
4.3.3 Eğme ve Basma Dayanımı Sonuçlarının Karşılaştırılması	213
4.3.4 Aşınma Dayanımı Sonuçlarının Karşılaştırılması	194
4.3.5 SEM Sonuçlarının Karşılaştırılması	198
4.4 Literatür Taraması	200
4.4.1 Deney Sonuçlarının Literatürde Yer Alan Deneysel Çalışmaların Sonuçlarıyla Karşılaştırılması	208
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	211
5.1 Sonuçlar	211
5.2 Öneriler	212
KAYNAKLAR	213
ÖZGEÇMİŞ	222

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AA2024: Alüminyum Alaşımı(AlCuMg_2)

AN: Akımsız Nikel

Al-MMK: Alüminyum Matrisli Kompozitler

B₄C: Bor Karbür

MMK: Metal Matrisli Kompozitler

SEM: Scanning Electron Microscope(Taramalı Elektron Mikroskobu)

SiC: Silisyum Karbür

TM: Toz Metalurjisi

Y₂O₃: Yitrium Oksit

g: Gram

cm³: Santimetreküp

°C : Santigrat Derece

cm: Santimetre

θ: Islatılabilirlik, temas açısı

µm: Mikrometre

MPa: Mega Pascal

GPa: Giga Pascal

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Metalik malzeme örnekleri	3
Şekil 1.2 Seramik malzeme örnekleri	4
Şekil 1.3 Polimer malzeme örnekleri	4
Şekil 1.4 Karbon fiber kompozit malzeme kullanılan deniz araçları	5
Şekil 1.5 Kompozit bir malzeme olan cam elyaftan yapılmış golf sopası	5
Şekil 1.6 Karbon Elyaf Örnekleri	5
Şekil 2.1 CTP Deniz Araçları	7
Şekil 2.2 Spor Malzemeleri	8
Şekil 2.3 Yapay bacak	9
Şekil 2.4 GM otomobil ön panel	9
Şekil 2.5 Karbon + epoksi Keman	10
Şekil 2.6 SiC partikül takviyeli biyel kolu	14
Şekil 2.7 Grafit ve alümina takviyeli Alüminyum metal matrisli kompozit motor bloğu	14
Şekil 2.8 Uzay mekiği gövdesinde kullanılan bor fiber takviyeli alüminyum tüpler	17
Şekil 2.9 Karbon fiber katkılı Mg matrisli kompozit uydu destek parçaları	17
Şekil 2.10 SiC partikül takviyeli Al metal matrisli kompozit silindir gömleği	17
Şekil 2.11 Grafit ve alümina takviyeli MMK motor bloğu	18
Şekil 2.12 Titanyum matrisli F-16 iniş takımları	18
Şekil 2.13Partikül takviyeli MMK kompozit fren elemanları	18
Şekil 2.14 T/M parçalarının 1999 yılında dünya gelenindeki pazar payı	21
Şekil 2.15 Toz Metalürjisi yöntemiyle parça üretiminin aşamaları	22
Şekil 2.16 Plazma Püskürtme(Metal Püskürtme) Akım Şeması	23
Şekil 2.17 Karbür, borür, nitrür ve oksitlerin ergime sıcaklıkları	25
Şekil 2.18 Partikül takviyeli bir MMK malzemede matris ve partiküller	28
Şekil 2.19 Al-MMK (a) piston kolu prototipi, (b) fren parçaları, (c) kardana mili	29
Şekil 2.20 (a) 4 kapılı bir sedan otomobilde kullanılan, gri dökme demirden imal edilen fren diski (ağırlık: 8,44 kg.) ve (b) aynı otomobil için özel olarak tasarlanan, Al-SiC kompozit malzemeden imal edilen fren diski prototipi(ağırlık: 3,32 kg)	30
Şekil 2.21 Katı altık üzerinde duran bir sıvı damlasının katı yüzeyi ile yaptığı temas açısı	31
Şekil 2.22 Ni kaplanmış SiC partiküllerine ait SEM görüntüsü	33
Şekil 2.23 Uçak malzemelerin kullanım oranlarının yıllara göre değişimi	35
Şekil 2.24 AA2024 tozlarının SEM mikroyapı görüntüsü	40
Şekil 2.25AA2024 alaşımının Optik Mikroskop görüntüsü	40
Şekil 2.26Yüksek oranda alüminyum kullanılarak üretilmiş yüksek performanslı bir motor	42
Şekil 2.27 Yüksek oranda alüminyum kullanılan bir otomobil arka aksı	43
Şekil 2.28 Alüminyum döküm yöntemiyle üretilmiş bir otomobil jantı	43
Şekil 2.29 Alüminyum çarpma kutusu	44
Şekil 2.30 Sinterleme esnasında, tozların birbirine kenetlenmesi ve porozite miktarı ile por morfolojisinin değişimi	49
Şekil 2.31 Sinterleme safhaları	49
Şekil 2.32 Sinterleme esnasında, katı-hal malzeme taşınımı sonucu, boyun teşekkülü ile tozların kenetlenmesi	51
Şekil 2.33Sinterleme hızının sinterleme süresi ile değişimi	52
Şekil 2.34 Buharlaştırma-kondensasyonla sinterlemede ilk aşamalar	53
Şekil 2.35 Sıvı- faz sinterlemesi uygulanabilir ikili sistemler	54
Şekil 2.36 Sıvı faz sinterlemesi	54

Şekil 2.37 Tozlar arasında bulunan sıvı damlası, temas bölgesinde basma kuvvetlerine neden olarak tozları bir arada tutar	55
Şekil 3.1 Takviye Malzemelerinin Kaplamasız Olarak Matrise İlave Edildiği Akım Şeması	63
Şekil 3.2 Takviye Malzemelerinin Kaplamalı Olarak Matrise İlave Edildiği Akım Şeması	64
Şekil 3.3 B ₄ C tozunun temizlenmesi işlemi	65
Şekil 3.4 B ₄ C tozunun duyarlaştırılması işlemi	66
Şekil 3.5 B ₄ C tozunun aktivasyon işlemi	67
Şekil 3.6 Nikel Banyosunun Hazırlanması	67
Şekil 3.7 B ₄ C tozunun manyetik karıştırıcıda kaplanması	68
Şekil 3.8 B ₄ C tozunun kaplama işleminde kullanılan beherin görüntüsü	68
Şekil 3.9 AN kaplama uygulamasının şematik gösterimi	68
Şekil 3.10 Sol-Jel metodu ile Al ₂ O ₃ kaplama akış şeması	71
Şekil 3.11 Y ₂ O ₃ tozlarının kaplanması	72
Şekil 3.12 Üretilen numune ölçüleri	73
Şekil 3.13 Tozların tartılması	74
Şekil 3.14 Tozların şekillendirilmesi	75
Şekil 3.15 Sinterleme sıcaklık-zaman grafiği(a; 550 °C; b: 575 °C; c: 595 °C)	76
Şekil 3.16 Tozların sinterlenmesi	78
Şekil 3.17 Üretilen kompozit numunelerin bakalite alınması	79
Şekil 3.18 Üretilen kompozit numunelerin zımparalanması	80
Şekil 3.19 Üretilen kompozit numunelerin üç noktadan eğme ve basma testi	81
Şekil 3.20 Sertlik ölçümleri için 10x10x10 mm numune kesimi	82
Şekil 3.21 Üretilen kompozit numunelerin sertlik ölçümleri	82
Şekil 3.22 Üretilen kompozit numunelerin yoğunluk ölçümleri	83
Şekil 3.23 Aşınma testi için 10x10x10 mm numune kesimi	84
Şekil 3.24 Üretilen kompozit numunelere uygulanan aşınma testi	84
Şekil 3.25 XRD analizi için numune kesimi	86
Şekil 3.26 JEOL JSM-6060 marka SEM cihazı	87
Şekil 4.1 AA2024 + 10 µm B ₄ C sertlik değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	89
Şekil 4.2 AA2024 + 22-59 µm B ₄ C sertlik değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	90
Şekil 4.3 AA2024 + 10/22-59 µm B ₄ C sertlik değerlerinin karşılaştırması	91
Şekil 4.4 AA2024+B ₄ C+SiC sertlik değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	91
Şekil 4.5 AA2024+B ₄ C+Y ₂ O ₃ sertlik değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	92
Şekil 4.6 AA2024 + 10 µm B ₄ C'nin yoğunluk değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	94
Şekil 4.7 AA2024 + 10 µm B ₄ C'nin gözenek oranı değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	95
Şekil 4.8 AA2024 + 22-59 µm B ₄ C'nin yoğunluk değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	96
Şekil 4.9 AA2024 + 22-59 µm B ₄ C'nin gözenek oranı değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	97
Şekil 4.10 AA2024+(B ₄ C+SiC) & AA2024+(B ₄ C+Y ₂ O ₃)'nin yoğunluk değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	101

Şekil 4.11 AA2024+(B ₄ C+SiC) & AA2024+(B ₄ C+Y ₂ O ₃)’nin gözenek oranı değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	101
Şekil 4.12 AA2024 + 10 µm B ₄ C’nin eğme dayanımının sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	102
Şekil 4.13 AA2024 + 22-59 µm B ₄ C’nin eğme dayanımının sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	102
Şekil 4.14 AA2024+(B ₄ C+SiC) & AA2024+(B ₄ C+Y ₂ O ₃)’nin eğme dayanımının sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	103
Şekil 4.15 AA2024 + 10 µm B ₄ C’nin basma dayanımının sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	104
Şekil 4.16 AA2024 + 22 – 59 µm B ₄ C’nin basma dayanımının sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	105
Şekil 4.17 AA2024 + 10 µm B ₄ C’nin ağırlık kaybı değerlerinin takviye oranları ve sıcaklık artışı ile değişimi	106
Şekil 4.18 AA2024 + 22-59 µm B ₄ C’nin ağırlık kaybı değerlerinin takviye oranları ve sıcaklık artışı ile değişimi	106
Şekil 4.19 AA2024+(B ₄ C+SiC) & AA2024+(B ₄ C+Y ₂ O ₃)’nin ağırlık kaybı değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	107
Şekil 4.20 575 °C’de %85 AA2024+%15 B ₄ C(10 µm) SEM görüntüsü(x100,x500 ve x1000)	109
Şekil 4.21 575 °C’de %77 AA2024+%20 B ₄ C(22-59 µm)+%3 SiC SEM görüntüsü (x100,x500 ve x1000)	109
Şekil 4.22 575 °C’de %77 AA2024+%20 B ₄ C(22-59 µm)+%3 Y ₂ O ₃ aşınma yüzeyi SEM görüntüsü(x30,x100,x500 ve x1000)	111
Şekil 4.23 595 °C’de AA2024 aşınma yüzeyi SEM görüntüsü (x30,x500,x1000,x5000)	113
Şekil 4.24 575 °C’de %70 AA2024+%20 B ₄ C(22-59 µm)+%10 Y ₂ O ₃ SEM görüntüsü (x500 ve x1000)	116
Şekil 4.25 575 °C’de %85 AA2024+%15 B ₄ C(10 µm) SEM görüntüsü(x1000)	117
Şekil 4.26 595 °C’de %93 AA2024+%7 B ₄ C(22-59 µm) SEM görüntüsü(x110,x500 ve x1000)	118
Şekil 4.27 595 °C’de %90 AA2024+%10 B ₄ C(22-59 µm) SEM görüntüsü(x100,x500 ve x1000)	119
Şekil 4.28 575 °C’de %70 AA2024+%20 B ₄ C(22-59 µm)+%10 Y ₂ O ₃ EDS Analizi (Spaktrometre ve Kimyasal Analiz)	124
Şekil 4.29 595 °C’de %90 AA2024+%10 B ₄ C(22-59 µm) EDS Analizi (Spaktrometre ve Kimyasal Analiz)	127
Şekil 4.30 575 °C’de %90 AA2024+%10 B ₄ C(10 µm) Optik Mikroskop Görüntüsü	129
Şekil 4.31 575 °C’de %70 AA2024+%20 B ₄ C(22-59 µm)+%10 Y ₂ O ₃ Optik Mikroskop görüntüsü	130
Şekil 4.32 595 °C’de AA2024 Optik Mikroskop görüntüsü	131
Şekil 4.33 550 °C’de %93 AA2024 + %7 B ₄ C(22-59 µm) kompozit malzeme XRD sonucu	132
Şekil 4.34 595 °C’de %80 AA2024 + %20 B ₄ C(10 µm) kompozit malzeme XRD Sonucu	133
Şekil 4.35 AA2024 + 10 µm B ₄ C(Ni Kaplı) sertlik değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	135
Şekil 4.36 AA2024 + 22-59 µm B ₄ C(Ni Kaplı) sertlik değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	136

Şekil 4.37 AA2024 + 10/22-59 µm B ₄ C(Ni Kaplı) sertlik değerlerinin karşılaştırması	137
Şekil 4.38 AA2024+B ₄ C(Ni Kaplı)+SiC(SiO ₂ Kaplı) sertlik değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	138
Şekil 4.39 AA2024+B ₄ C(Ni Kaplı)+Y ₂ O ₃ (Al ₂ O ₃ Kaplı) sertlik değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	139
Şekil 4.40 AA2024 + 10 µm B ₄ C(Ni Kaplı)'nin yoğunluk değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	141
Şekil 4.41 AA2024 + 10 µm B ₄ C(Ni Kaplı)'nin gözenek oranı değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	141
Şekil 4.42 AA2024 + 22-59 µm B ₄ C(Ni Kaplı)'nin yoğunluk değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	143
Şekil 4.43 AA2024 + 22-59 µm B ₄ C(Ni Kaplı)'nin gözenek oranı değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	143
Şekil 4.44 AA2024+[B ₄ C(Ni Kaplı)+SiC(SiO ₂ Kaplı)]& AA2024+[B ₄ C(Ni Kaplı)+Y ₂ O ₃ (Al ₂ O ₃ Kaplı)]'nin yoğunluk değerlerinin sıcaklık artışı ile değişimi	147
Şekil 4.45 AA2024+[B ₄ C(Ni Kaplı)+SiC(SiO ₂ Kaplı)] & AA2024+[B ₄ C(Ni Kaplı)+Y ₂ O ₃ (Al ₂ O ₃ Kaplı)]'nin gözenek oranı değerlerinin sıcaklık artışı ile değişimi	148
Şekil 4.46 AA2024 + 10 µm B ₄ C(Ni Kaplı)'nin eğme dayanımının sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	148
Şekil 4.47 AA2024 + 22-59 µm B ₄ C(Ni Kaplı)'nin eğme dayanımının sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	149
Şekil 4.48 AA2024+[B ₄ C(Ni Kaplı)+SiC(SiO ₂ Kaplı)] & AA2024+[B ₄ C(Ni Kaplı)+Y ₂ O ₃ (Al ₂ O ₃ Kaplı)]'nin eğme dayanımının sıcaklık artışı ile değişimi	150
Şekil 4.49 AA2024 + 10 µm B ₄ C'nin basma dayanımının sıcaklık artışı ile değişimi	151
Şekil 4.50 AA2024 + 22-59 µm B ₄ C'nin basma dayanımının sıcaklık artışı ile değişimi	151
Şekil 4.51 AA2024 + 10 µm B ₄ C(Ni Kaplı)'nin ağırlık kaybı değerlerinin takviye oranları ve sıcaklık artışı ile değişimi	152
Şekil 4.52 AA2024 + 22-59 µm B ₄ C(Ni Kaplı)'nin ağırlık kaybı değerlerinin takviye oranları ve sıcaklık artışı ile değişimi	153
Şekil 4.53 AA2024+[B ₄ C(Ni Kaplı)+SiC(SiO ₂ Kaplı)] & AA2024+[B ₄ C(Ni Kaplı)+Y ₂ O ₃ (Al ₂ O ₃ Kaplı)]'nin ağırlık kaybı değerlerinin sıcaklık artışı ile değişimi	153
Şekil 4.54 595 °C'de %85 AA2024+%15 Ni Kaplı B ₄ C(10 µm) SEM görüntüsü (x100,x500 ve x1000)	154
Şekil 4.55 575 °C'de %80 AA2024+%20 Ni Kaplı B ₄ C(10 µm) SEM görüntüsü (x100,x500 ve x1000)	155
Şekil 4.56 550 °C'de %77 AA2024+%20 Ni Kaplı B ₄ C(22-59 µm)+%3 SiC SEM görüntüsü (x100 ve x1000)	157
Şekil 4.57 595 °C'de %70 AA2024+%20 Ni Kaplı B ₄ C(22-59 µm)+%10 SiO ₂ Kaplı SiC SEM görüntüsü (x100, x500 ve x1000)	159
Şekil 4.58 550 °C'de %77 AA2024+%20 Ni Kaplı B ₄ C(22-59 µm)+%3 Al ₂ O ₃ Kaplı Y ₂ O ₃ SEM görüntüsü (x100 ve x1000)	160
Şekil 4.59 595 °C'de %70 AA2024+%20 Ni Kaplı B ₄ C(22-59 µm)+%10 Al ₂ O ₃ Kaplı Y ₂ O ₃ SEM görüntüsü (x100, x500 ve x1000)	161

Şekil 4.60 595 °C’de %70 AA2024+%20 Ni Kaplı B ₄ C(22-59 µm)+%10 SiO ₂ Kaplı SiC EDS Analizi(Spaktrometre ve Kimyasal Analiz)	167
Şekil 4.61 550 °C’de %77 AA2024+%20 Ni Kaplı B ₄ C(22-59 µm)+%3 Al ₂ O ₃ Kaplı Y ₂ O ₃ EDS Analizi(Spaktrometre ve Kimyasal Analiz)	170
Şekil 4.62 595 °C’de %90 AA2024+%10 Ni Kaplı B ₄ C(10 µm) aşınma yüzeyi Optik Mikroskop görüntüsü	172
Şekil 4.63 550 °C’de %93 AA2024 + %7 B ₄ C(Ni Kaplı, 22-59 µm) kompozit malzeme XRD sonucu	173
Şekil 4.64 550 °C’de %77 AA2024 + %20 B ₄ C(Ni Kaplı) ve %3 SiC(SiO ₂ Kaplı)kompozit malzeme XRD sonucu	174
Şekil4.65 575 °C’de %77 AA2024 + %20 B ₄ C(Ni Kaplı) ve %3 Y ₂ O ₃ (Al ₂ O ₃ Kaplı) kompozit malzeme XRD sonucu	175
Şekil 4.66 Ni kaplamalı ve kaplamasız 10 µm B ₄ C takviyeli AA2024’ün sertlik değerlerinin karşılaştırılması	177
Şekil 4.67 Ni kaplamalı ve kaplamasız 22-59 µm B ₄ C takviyeli AA2024’ün sertlik değerlerinin karşılaştırılması	178
Şekil 4.68 Ni ve SiO ₂ kaplamalı ve kaplamasız B ₄ C ve SiO ₂ takviyeli AA2024’ün sertlik değerlerinin karşılaştırılması	179
Şekil 4.69 Ni ve Al ₂ O ₃ kaplamalı ve kaplamasız B ₄ C ve Y ₂ O ₃ takviyeli AA2024’ün sertlik değerlerinin karşılaştırılması	180
Şekil 4.70 Ni kaplamalı ve kaplamasız 10 µm B ₄ C takviyeli AA2024’ün yoğunluk değerlerinin karşılaştırılması	181
Şekil 4.71 Ni kaplamalı ve kaplamasız 10 µm B ₄ C takviyeli AA2024’ün gözenek oranı değerlerinin karşılaştırılması	182
Şekil 4.72 Ni kaplamalı ve kaplamasız 22-59 µm B ₄ C takviyeli AA2024’ün yoğunluk değerlerinin karşılaştırılması	184
Şekil 4.73 Ni kaplamalı ve kaplamasız 22-59 µm B ₄ C takviyeli AA2024’ün gözenek oranı değerlerinin karşılaştırılması	185
Şekil 4.74 Ni, SiO ₂ ve Al ₂ O ₃ kaplamalı ve kaplamasız (B ₄ C+SiC) ve (B ₄ C+Y ₂ O ₃) takviyeli AA2024’ün yoğunluk değerlerinin karşılaştırılması	186
Şekil 4.75 Ni, SiO ₂ ve Al ₂ O ₃ kaplamalı ve kaplamasız (B ₄ C+SiC) ve (B ₄ C+Y ₂ O ₃) takviyeli AA2024’ün gözenek oranı değerlerinin karşılaştırılması	187
Şekil 4.76 Ni kaplamalı ve kaplamasız 10 µm B ₄ C takviyeli AA2024’ün eğme dayanımı değerlerinin karşılaştırılması	189
Şekil 4.77 Ni kaplamalı ve kaplamasız 22-59 µm B ₄ C takviyeli AA2024’ün eğme dayanımı değerlerinin karşılaştırılması	190
Şekil 4.78 Ni, SiO ₂ ve Al ₂ O ₃ kaplamalı ve kaplamasız (B ₄ C+SiC) ve (B ₄ C+Y ₂ O ₃) takviyeli AA2024’ün eğme dayanımı değerlerinin karşılaştırılması	191
Şekil 4.79 AA2024+(B ₄ C+SiC) & AA2024 + (B ₄ C + Y ₂ O ₃) ile AA2024+[B ₄ C(Ni Kaplı)+SiC(SiO ₂ Kaplı)] & AA2024+[B ₄ C(Ni Kaplı)+Y ₂ O ₃ (Al ₂ O ₃ Kaplı)] basma dayanımının sıcaklık artışı ile değişimi	193
Şekil 4.80 Ni kaplamalı ve kaplamasız 10 µm B ₄ C takviyeli AA2024’ün ağırlık kaybı değerlerinin karşılaştırılması	194
Şekil 4.81 Ni kaplamalı ve kaplamasız 22-59 µm B ₄ C takviyeli AA2024’ün ağırlık kaybı değerlerinin karşılaştırılması	195
Şekil 4.82 Ni, SiO ₂ ve Al ₂ O ₃ kaplamalı ve kaplamasız (B ₄ C+SiC) ve (B ₄ C+Y ₂ O ₃) takviyeli AA2024’ün ağırlık kaybı değerlerinin karşılaştırılması	196
Şekil 4.83 Farklı sıcaklıklarda ve farklı oranlarda hazırlanan ve aşınma deneyine tabi tutulan malzemelerin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri	198
Şekil 4.84 575 °C’de %90AA2024+%10B ₄ C(10 µm)Optik MikroskopGörüntüsü	199

TABLO DİZİNİ

Tablo 2.1 Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin bazı mekanik özellikleri	15
Tablo 2.2 Metal matrisli malzemelerde kullanılan takviye malzemeleri ve uygulama alanları	24
Tablo 2.3 Kullanılan takviye malzemelerinin özellikleri	26
Tablo 2.4 Seramik takviye malzemelerinin özellikleri	27
Tablo 2.5 Taşıtlarda kullanılan alüminyum esaslı parçaların şekillendirme yöntemleri ve ağırlıkları	41
Tablo 2.6 B ₄ C, SiC ve Y ₂ O ₃ takviye malzemelerinin özellikleri	48
Tablo 2.7 Sinterleme mekanizmaları	50
Tablo 4.1 AA2024 + 10 µm B ₄ C sertlik değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	89
Tablo 4.2 AA2024 + 22-59 µm B ₄ C sertlik değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	90
Tablo 4.3 AA2024+B ₄ C+SiC sertlik değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	92
Tablo 4.4 AA2024+B ₄ C+Y ₂ O ₃ sertlik değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	93
Tablo 4.5 AA2024 + 10 µm B ₄ C yoğunluk değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	94
Tablo 4.6 AA2024 + 22-59 µm B ₄ C yoğunluk değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	96
Tablo 4.7 AA2024 + 10 µm&22-59µm B ₄ C yoğunluk değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	98
Tablo 4.8 AA2024 + B ₄ C+SiC yoğunluk değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	99
Tablo 4.9 AA2024 + B ₄ C+Y ₂ O ₃ yoğunluk değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	99
Tablo 4.10 AA2024+(B ₄ C+SiC) & AA2024+(B ₄ C+Y ₂ O ₃) yoğunluk değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	100
Tablo 4.11 AA2024 + 10 µm B ₄ C(Ni Kaplı) sertlik değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	135
Tablo 4.12 AA2024 + 22-59 µm B ₄ C(Ni Kaplı) sertlik değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	136
Tablo 4.13 AA2024+B ₄ C(Ni Kaplı)+SiC(SiO ₂ Kaplı) sertlik değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	138
Tablo 4.14 AA2024+B ₄ C(Ni Kaplı)+Y ₂ O ₃ (Al ₂ O ₃ Kaplı) sertlik değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	139
Tablo 4.15 AA2024 + 10 µm B ₄ C(Ni Kaplı) yoğunluk değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	140
Tablo 4.16 AA2024 + 22-59 µm B ₄ C(Ni Kaplı) yoğunluk değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	142
Tablo 4.17 AA2024 + 10 µm&22-59µm B ₄ C(Ni Kaplı) yoğunluk değerlerinin karşılaştırılması	145
Tablo 4.18 AA2024+[B ₄ C(Ni Kaplı)+SiC(SiO ₂ Kaplı)] yoğunluk değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	146
Tablo 4.19 AA2024+[B ₄ C(Ni Kaplı)+Y ₂ O ₃ (Al ₂ O ₃ Kaplı)] yoğunluk değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi	146
Tablo 4.20 AA2024+[B ₄ C(Ni Kaplı)+SiC(SiO ₂ Kaplı)]& AA2024+[B ₄ C(Ni Kaplı)+Y ₂ O ₃ (Al ₂ O ₃ Kaplı)] yoğunluk değerlerinin karşılaştırılması	147

ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 2.1 AA2024 matris malzemesinin % kimyasal bileşimi	39
Çizelge 2.2 AA2024 matris malzemesinin mekanik özellikleri	39
Çizelge 2.3 2024 Al alaşımının farklı standartlardaki karşılıkları	39
Çizelge 2.4 Taşıtlarda yaygın olarak kullanılan Al döküm parçalar	45
Çizelge 3.1 Takviye Malzemelerinin Kaplamasız Olarak Matrise İlave Edildiği 1. Grup	61
Çizelge 3.2 Takviye Malzemelerinin Kaplamalı Olarak Matrise İlave Edildiği 2. Grup	62



TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren ve lisansüstü öğrenim hayatımın tüm zorlu aşamalarında her yönden yardımcı olan, tecrübeleri ile beni aydınlatan ve desteğini hiç eksik etmeyen ve kendisini tanımaktan büyük onur duyduğum danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi Sayın Halit DOĞAN ile çalışmalarım sırasında desteğini her zaman hissettiğim değerli eşime ve öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyerek hep yanımda olan aileme yürekten teşekkür ederim.

Bu çalışma, 2013/070 kod numaralı proje ile Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Bu nedenle, Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi yöneticilerine de teşekkürlerimi sunarım.

Yılmaz MUTLU
Manisa, 2019

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AA2024 Matrisli B₄C-SiC ve B₄C-Y₂O₃ Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Yılmaz MUTLU

Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Halit DOĞAN

Bu çalışmada, B₄C-SiC ve B₄C-Y₂O₃ Parçacık Takviyeli Al matrisli kompozit malzemelerin Toz Metalurjisi(T/M) yöntemi ile üretilmesi amaçlandı. Takviye malzemelerinin kaplamalı ve kaplamasız olarak matrise ilave edildiği ve farklı tane boyutu ve oranlarında kullanıldığı kompozitlerde; matris malzemesi olarak AA2024 tozları seçildi. Tozlar homojen olarak karıştırılıp oda sıcaklığında 525 MPa basınç altında sıkıştırıldı. Elde edilen ham örnekler, farklı sıcaklıklarda 45 dakika bekletilerek sinterleme işlemi gerçekleştirildi. Üretilen kompozit malzemelere; üç nokta eğme ve aşınma testleri uygulandı. Sertlik ve yoğunluk incelemeleri yapıldı. Bu çalışma sonucunda; farklı tane boyutu ve farklı oranlarda matrise ilave edilen takviye malzemelerinin; farklı sıcaklıklarda, Üç nokta eğme dayanımına, Aşınma direncine, sertlik ve yoğunluk değişimine etkileri incelendi. SEM, EDS, Optik Mikroskop ve XRD analizleri yapıldı.

Anahtar Kelimeler: Kompozit Malzeme, Toz Metalurjisi, Tane Boyutu ve Oranı, Sinterleme ve Kaplama.

2019, 219 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

AA2024 Based B₄C-SiC and B₄C-Y₂O₃ Particle Reinforced Metal Matrix Composites Manufacturing By Powder Metallurgy Method and Investigation of Mechanical Behaviours

Yılmaz MUTLU

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Manufacturing and Construction**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Halit DOĞAN

In this study, SiC-B₄C and B₄C-Y₂O₃ particle reinforced Al matrix composite materials manufacturing by powder metallurgy (P/M) is to be aimed. Reinforced composite materials are used in different particle size and ratio. AA2024 powder was chosen as the matrix material. Homogeneously mixing powders compressed at room temperature under 525 MPa pressure. Pressed samples was sintered about 45 minutes at different temperatures. Produced composite materials, the three point bending and wear tests were applied and was made hardness test and density analysis. The results of this study; different grain size and the addition of reinforcement materials in the matrix at different ratio; at different temperatures, three-point bending resistance, wear resistance, hardness and density changes, were examined. SEM, EDS, Optical Microscope and XRD analyzes were performed.

Keywords: Composite Materials, Powder Metallurgy, Grain Size and Ratio, Sintering an Coating.

2019, 219 pages

1. GİRİŞ

Mühendislik malzemeleri genel itibari ile metaller, seramikler ve polimerler şeklinde üç temel grupta ele alınmaktadır. Bunların en temel karakteristikleri birbirlerinden farklıdır. Yoğunluk, yüksek sıcaklıklara dayanım, kimyasal kararlılık gibi özellikler malzemenin kullanım özellikleridir. Örnek olarak; metallerin toklukları iyi, seramiklerin ise kötüdür. Polimerlerin ise, biçimlendirilmesi sünek olduklarından dolayı kolaydır, dayanımlarının düşük olması ise dezavantajdır. Seramik malzemelerin ısı kararlılıkları iyidir, fakat biçimlendirme ve birleştirme gibi özellikleri genel olarak kötüdür. Malzemelerin genel olarak tüm özellikleri dikkate alındığında, metalik malzemelerin özellikleri en uygundur, dolayısıyla da (yanlış yapma ihtimali en az olduğundan dolayı) mühendisler uzun yıllar malzeme seçiminde genellikle metal malzemeleri tercih etmişlerdir[1].

Metal matrisli kompozit(MMK) malzemeler; yüksek elastik modülü, yüksek çekme ve basma mukavemeti ve yüksek kullanım sıcaklığına sahiptir. Metal malzemelerin süneklik ve tokluğu iyidir. Seramik malzemelerin ise, yüksek mukavemet ve yüksek elastik modül özellikleri iyidir. İki malzemenin en iyi özelliklerinin birleştirilmesinden dolayı; metal matrisli kompozit(MMK) malzemeler son derece önemli mühendislik malzemeleri haline gelmişlerdir. Metal matrisli kompozit malzemelerde matris malzemesi olarak Al, Mg, Ti, Cu, Co ve Ni gibi metal ve alaşımları kullanılır[2].

Alüminyum metal malzeme dünya genelinde büyük bir kaynağa sahiptir. Demir malzemesinden sonra dünyada en fazla üretilen ve tüketilen metaldir. Alüminyum hafif bir metalik malzemedir ve kolay şekillendirilebilir. Bu özelliği, alüminyum malzemenin sanayide birçok uygulama alanı bulmasına yol açmıştır. Günümüzde üretimi ve tüketimi artarak devam eden alüminyum ve alaşımlarında en önemli sorun, iyi olan özelliklerini yüksek sıcaklıklarda kaybetmeleridir[2].

Takviye elemanı olarak ise, Al_2O_3 , SiC, TiC, Si_3N_4 gibi seramik parçacıklar kullanılmaktadır. Takviye malzemelerinin boyutları birbirine yaklaşık olarak eşittir. Parçacık takviyeli kompozit malzemeler genellikle aşınma dayanımı gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadır. Parçacıklar, en yaygın bulunan ve en ucuz olan takviye malzemesidirler[2].

Toz metalürjisi(TM) yöntemiyle Metal matrisli kompozit malzeme üretiminde matris ve takviye elemanlarının tozları öncelikle karıştırılır. Daha sonra, istenen şekli verebilecek bir kalıbın içine konur. Bu karışım tozlarını sıkıştırabilmek amacıyla kalıptaki toza daha önceden belirlenen bir basınç uygulanır. Toz parçacıkları arasındaki birleşmeyi kolaylaştırmak amacıyla sıkıştırılmış toz karışımı katı hal difüzyonu oluşturacak şekilde ergime noktasının altındaki bir sıcaklıkta sinterlenir. Buna alternatif olarak, tozlar karıştırıldıktan sonra doğrudan sıcak olarak da preslenebilir. Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen parçaların, genel olarak sıvı hal üretim yöntemleriyle üretilmiş parçalardan daha iyi mekanik özelliklere sahip oldukları bilinmektedir. Özellikle, parçacık takviyeli metal matrisli kompozitlerin üretiminde Toz metalürjisi tercih edilir[2].

Bu çalışmada; metalik malzemeye (çekme ve tokluk özellikleri iyi olan, ancak, yüksek sıcaklıklara dayanım ve aşınma gibi özellikleri düşük olan) seramik parçacık takviyesi yapıldı. Metal matris malzemesinin dezavantaj oluşturan yüksek sıcaklıklara dayanım, basma ve aşınma gibi özelliklerin geliştirilmesi hedeflendi. Seramik malzemelerin, metal ve polimerlere kıyasla, yüksek sıcaklıklara karşı dayanımı, yüksek aşınma direnci ve kimyasallara karşı direnci daha iyidir. Metal malzemenin (plastik deformasyonundan da yararlanılarak) özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla, Al esaslı Al-B₄C, Al-B₄C-SiC ve Al-B₄C-Y₂O₃ kompozitlerinin üretilmesi amaçlandı[3].

Bu amaç doğrultusunda, matris olarak AA2024 alüminyum alaşımı kullanıldı. Matris malzemesine % 7-10-15-20 oranlarında ve 10 ve 22-59 µm boyutlarında Bor Karbür(B₄C); % 20 Bor Karbür+% 3-10 Silisyum Karbür(SiC); % 20 Bor Karbür+ % 3-10 Yttriyum Oksit(Y₂O₃) olmak üzere ağırlıkça çeşitli yüzdelerde üç ayrı partikül takviyesi yapıldı[takviye fazları kaplamalı(Ni kaplı B₄C; SiO₂ kaplı SiC, Al₂O₃ kaplı Y₂O₃) ve kaplamasız olarak matrise ilave edildi]. Bu karışımlar, tek eksenli pres yardımıyla istenilen boyutlarda hazırlanan kalıpta şekillendi. Üretilen ham numuneler daha sonra(AA2024'ün ergime sıcaklığının altında bir sıcaklıkta) sinterleme işlemine tabi tutuldu. Toz metalurjisi yöntemiyle, partikül takviyeli kompozit numuneler üretildi. Üretilen Metal matrisli kompozit malzemelerin sertlik ve yoğunluk ölçümleri, üç noktadan eğme ve basma dayanımı ile aşınma direnci araştırıldı. Sinterleme sonrası numunelerin SEM ve Optik Mikroskopta mikroyapı incelemeleri yapıldı ve matris

içindeki takviye parçacıkların dağılımı incelendi. Elde edilen bulgular, üretilen numunelerdeki takviye elemanlarının mekanik özellikleri nasıl etkilediği yönünde bir sonuç çıkarmamızı sağladı.

1.1.Malzemeler

Mühendislik ürünlerinin üretiminde kullanılan ve istenilen fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklere sahip maddelere malzeme denir[3].

Malzemelerin sınıflandırılması 4 ana grupta toplanabilirler. Bunlar;

Metal malzemeler

Seramik malzemeler

Polimer malzemeler

Kompozit malzemeler[3]

1.1.1. Metal Malzemeler

Alüminyum, bakır, çinko, demir ve nikel gibi saf metaller ile bir elementin diğer elementler ile oluşturduğu çelik(Fe-C), pirinç(Cu-Zn) ve bronz(Cu-Sn) gibi alaşımlar olup, imalat sanayinde en çok kullanılan malzemelerdir[3].



Şekil 1.1 Metalik malzeme örnekleri[4,3]

1.1.2. Seramik Malzemeler

Genel olarak metal malzemelerle metal olmayan elementlerin oluşturduğu ve Al_2O_3 , SiO_2 , SiC gibi inorganik kimyasal bileşikler ile bu tür bileşiklerin oluşturduğu cam, tuğla, beton, porselen, refrakter, cam yünü gibi malzemelerdir[3].



Şekil 1.2 Seramik malzeme örnekleri[4,3]

1.1.3. Polimer Malzemeler

Polimerler genel olarak petrol türevlerinden elde edilirler. Yapılarında daha çok C, N, O, H elementleri bulunur. Bu gruba giren malzemelerin yapısı mer'lerin birleşerek polimer adı verilen uzun bir zincir oluşturması ve bu uzun zincirlerin birbirine zayıf bağlar ve çapraz güçlü bağlar ile birleşmesi sonucu oluşmaktadır[3].



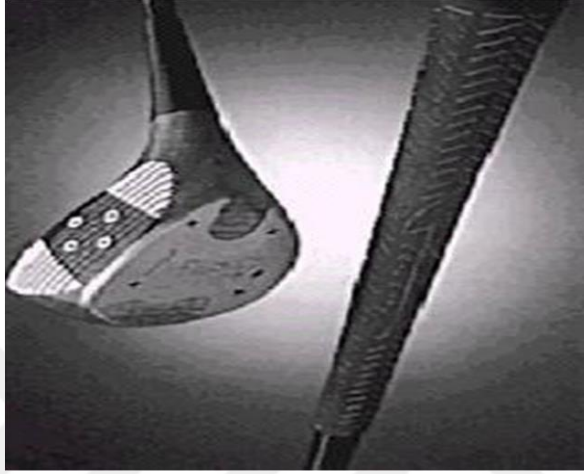
Şekil 1.3 Polimer malzeme örnekleri[4,3]

1.1.4. Kompozit Malzemeler

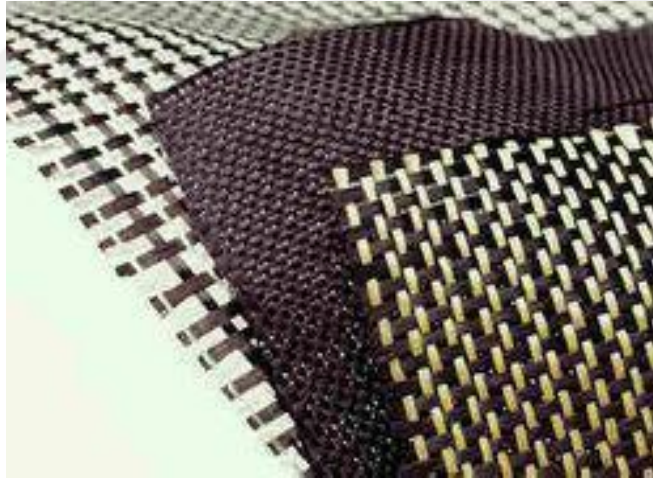
Birbirlerinin eksik yönünü düzelterip üstün özellikler elde etmek amacıyla bir araya getirilmiş değişik tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzemelere kompozit malzemeler adı verilmektedir. Cam elyafı polyester levhalar, çelik donatılı beton elemanlar, çelik telli otomobil lastikleri ve seramik-metal karışımı olan Sermetler kompozit malzemelere birer örnektir[3].



Şekil 1.4 Karbon fiber kompozit malzeme kullanılan deniz aracı[3]



Şekil 1.5 Kompozit bir malzeme olan cam elyaftan yapılmış golf sopası[5]



Şekil 1.6 Karbon Elyaf Örnekleri[6]

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler, günümüzde bina yapımından gemi yapımına, ev aletleri imalatından uzay teknolojisine kadar hemen hemen her alanda geniş bir kullanımı bulmuştur. Kompozit malzemenin üretiminin ilk örnekleri çok eskilere dayanmaktadır[7]. M.Ö. 2800 yıllarında Mısırda arkeologlar lamine edilmiş tahta tabakalar bulmuşlardır. Bununla beraber, tahta, ahşap ve kemik de doğal kompozit malzemelerdir[8]. Ancak, 1940'lı yılların başında, kompozit malzeme kavramının ortaya atılması ve konunun bir mühendislik konusu olarak ele alınması gerçekleşmiştir[7].

Kompozit malzeme ifadesi, iki veya daha fazla malzemenin bir arada kullanılmasıyla oluşturulan(farklı özelliklere sahip) yeni bir malzemeleri belirtmek için kullanılmaktadır[7].

2.2. Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları:

2.2.1. Avantajları

- Farklı mekanik özellikler elde etmek için farklı katmanlardan ve farklı kombinasyonlarla kompozit malzemeler inşa edilebilir.
- Kompozit malzemeler kimyasallara, korozyona ve hava şartlarına dayanıklılık gösterir.
- Karmaşık parçaların tek olarak üretilebilmesinden dolayı parça sayısının azalmasını sağlarlar.
- Yüksek dayanıklılık ve yoğunluk oranları.
- Yüksek modülüs ve ağırlık oranları[7]

2.2.1.2. Dezavantajlar

- Hammaddenin pahalı olması.
- Lamine edilmiş kompozitlerin özellikleri her zaman ideal değildir, kalınlık yönünde düşük dayanıklılık ve katlar arası düşük kesime dayanıklılık özelliği bulunmaktadır.
- Malzemenin kalitesi üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır, standartlaşmış bir kalite yoktur.

- Kompozitler gevrek malzeme olmalarından dolayı kolaylıkla zarar görürler, onarılmaları yeni problemler yaratabilir[7].

2.3. Kompozit Malzeme Kullanım Alanları:

Kompozit malzemeler artık yeni sektörlerde kullanılmaya başlanmıştır. Uzun zaman uçak sanayisindeki ihtiyaçların yönlendirdiği kompozit malzeme gelişimleri son dönemde yeni birçok sektörde birçok farklı amaç için kullanılmaktadır[7].

2.3.1. Havacılık Sanayi

İleri kompozit malzemeler özellikle de havacılık sanayinde uygulama alanları bulmaktadır. Kompozit malzemelerinin hafifliklerine oranla yüksek mekanik özellikleri uçaklarda ve helikopterlerde sadece iç mekân değil, aynı zaman da yapısal parçalarının da polimer esaslı kompozitlerle üretilmesine olanak sağlamıştır[7].

2.3.2. Denizcilik Sanayi

- Yelkenli Gövdesi,
- Yat, Tekne Arkası Platform,
- Basamaklar,
- Yelken Direği; Kevlar+Epoksi[7]



Şekil 2.1 CTP Deniz Aracı[7]

2.3.3. Spor Araçları

Kompozit malzemelerin göz önünde olduğu yeni sektörler arasında spor araç ve gereçleri her geçen gün daha da ön plana çıkmaktadır. Özellikle ağırlığın azalması,

dolayısıyla hareket kabiliyetinin artması ve dayanıklılığın artmasına neden olan (cam ve karbon elyafı takviyeli kompozitler) kullanılmaktadır[7].

- Kar kayağı,
- Su kaydırakları,
- Sörf Tahtaları.[7]



Şekil 2.2 Spor Malzemeleri[7]

2.3.4. Korozyona Dayanıklı Ürünler

- Su tankı,
- Mazgal Olukları,
- Yeraltı Boruları,
- Marketlerde Dondurulmuş Gıda Reyonu Kaplaması[7]

2.3.5. Sağlık

- Tekerlekli sandalyelerde kullanılırlar(Cam veya Karbon Elyaf takviyeli Polyester)
- Tıbbi Tetkik Cihazları Dış Muhafazaları; CTP[7]



Şekil 2.3 Yapay bacak[7]

2.3.6. Ulaşım

- Traktör Kaporta
- Kabin
- Oturma Birimi,
- Toplu Taşıma Araçları Oturma Birimi,
- Konteyner Tabanı,
- Otobüs Havalandırma Kanalları,
- Port Bagaj Parçaları,
- Gösterge Paneli[7]

2.3.7. Otomotiv

- Cam Sileceği,
- Filtre Kutusu,
- Pedallar,
- Dikiz Aynası,
- Far Gövdesi,
- Hava Giriş Manifoldu[7]



Şekil 2.4 GM otomobil ön panel[7]

2.3.8. Formula 1 Arabaları

Formula 1 arabalarının yapımına ait düzenlemeler çok özeldir. Arabanın tüm ağırlığı 605 kilogramı aşmamalıdır. Tasarım mühendisleri en az ağırlıkla en sağlam çözümü bulmak zorundadırlar. F1 arabalarında aşağıda belirtilenlerle beraber birçok parça kompozit malzeme kullanılmaktadır[7].

- Motor kaplaması,
- Burun kapağı,
- Ön ve arka kanatlar,
- Ana gövde,
- Elektrik dağıtım Panoları[7]

2.3.9. Müzik aletleri

- Keman (Karbon Fiber+Epoksi)
- Gitar (Karbon lamine tabakalar arası polimer köpük)
- Akustik Gitar (Grafite-Epoksi)
- Çello (Karbon + Epoksi)[7]



Şekil 2.5 Karbon + epoksi Keman[7]

2.3.10. Yapı sektörü

- Köprü Tabanı,
- Trabzanı,
- Yürüme yolları,
- Taşıyıcı Konstruksiyon,

- Bina Balkon Korkuluğu,
- Kapı,
- Sokak Lambası[7]

2.4. Kompozit Malzemelerin Genel Özellikleri:

Kompozit malzeme uygulamalarında genellikle aşağıdaki özelliklerden birinin veya bir kaçının geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

- Mekanik dayanım, basınç, çekme, eğilme, çarpma dayanımı,
- Yorulma dayanımı, aşınma direnci,
- Korozyon direnci,
- Kırılma tokluğu,
- Yüksek sıcaklığa dayanıklılık,
- Isı iletkenliği veya ısı direnci,
- Elektrik iletkenliği veya elektriksel direnci,
- Akustik iletkenlik, ses tutuculuğu veya ses yutuculuğu,
- Rijitlik,
- Ağırlık,
- Görünüm ve benzeri özellikler şeklinde sıralanabilir[7]

2.5. Kompozit Malzemelerinin Sınıflandırılması ve Özellikleri:

Yapılarında çok sayıda farklı malzeme kullanılabilen kompozitlerin gruplandırılmasında kesin sınırlar çizmek mümkün olmamakla birlikte, yapıdaki malzemelerinin formuna göre aşağıda verilen şekilde bir sınıflama yapılabilir[7].

- Elyafli Kompozitler
- Parçacıklı Kompozitler
- Tabakalı Kompozitler
- Karma Kompozitler

2.5.1. Elyafli Kompozitler

Bu malzemeler ince elyafların matris yapıda yer almasıyla meydana gelmiştir. Elyafların matris içindeki yerleri kompozit yapının dayanımını etkileyen önemli bir unsurdur. Elyaf yapının hatasız olması da mukavemet açısından çok önemlidir. Kompozit yapının mukavemetinde önemli olan diğer bir unsur ise elyaf ile matris arasındaki bağın yapısıdır. Matris yapıda boşluklar var ise dolayısıyla elyaflarla temas

az olacaktır. Diğer taraftan, nem absorpsiyonu da elyaf ile matris arasındaki bağı yıpratıcı olumsuz bir özelliktir[7].

2.5.2. Parçacıklı Kompozitler

Bu malzemeler, bir matris malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıkları halinde bulunması ile elde edilirler. Bunlar izotrop yapılardır. Yapının mukavemeti matris içerisine katılan parçacıkların sertliğine bağlıdır. En yaygın olanı, plastik matris içinde konulan metal parçacıklardır[7].

2.5.3. Tabakalı Kompozitler

Tabakalı kompozit yapı, en eski ve yaygın kullanım alanına sahip olan kompozitlerdir. Farklı elyaf yönelmelerine sahip tabakaların birleşimi ile çok yüksek mukavemet değerlerine ulaşılabilmektedir. Isı ve neme dayanıklı yapılardır[7].

2.5.3.1. Tabakalı Kompozitlerin Örnekleri ve Uygulamaları

Katmanlı kompozitlerin sayısı fazla ve uygulamaları çoktur. Bu sebeple de, davranışları hakkında genelleme yapılması mümkün değildir. Yaygın olarak kullanılanlar ise;

2.5.3.1.1. Katmanlar: Katmanlar organik bir yapıştırıcı ile yapıştırılmış malzeme katmanlarıdır. En yaygın katman, her bir alternatif katta dik açılarla ağaç kaplama açılarının dizildiği kontraplaklardır[7].

2.5.3.1.2. Sert yüzey oluşturma: Sert ve aşınmaya dirençli yüzeyler daha yumuşak malzemeler üzerinde biriktirebilir. Sert yüzey alaşımlar kobalt esaslı alaşımları ve belirli demir dışı alaşımları içermektedir[7].

2.5.3.1.3. Giydirilmiş Metaller: Metal-metal kompozitleridir. Giydirilmiş malzemeler yüksek dayanım ile birlikte çok iyi korozyon direncine sahiptir[7].

2.5.3.1.4. İkili Metaller: Sıcaklık göstergeleri ve kontrol edicileri, katmanlı kompozitteki iki adet metalin ısı genleşme katsayısındaki farklılıktan fayda sağlamaktadır. İki metal parçası ısıtılırsa yüksek ısı genleşme katsayısına sahip olan metal malzeme daha fazla uzamış olmaktadır. İki parça birbirine sıkıca bağlı ise ısı

genleşme katsayılarındaki fark şeridin eğilmesine ve eğilimli bir yüzey oluşmasına neden olur. Şeridin bir ucu sabit ise, serbest olan uç hareket eder. Bu hareketin miktarı sıcaklığa bağlı olup, şeritteki bükülme ve sapmanın ölçülmesi ile sıcaklık tespit edilmektedir[7].

2.5.4. Karma Kompozitler

Aynı kompozit yapıda iki ya da daha fazla elyaf çeşidi bulunabilir. Bu tip kompozitlere hibrid kompozitler denir. Bu alan yeni tip kompozitlerin geliştirilmesine uygun bir alandır[7].

2.6. Metal Matrisli Kompozitler:

Metal matrisli kompozitler katı ve sıvı hal işlemleri uygulanarak birçok farklı yöntemle üretilirler. Bu yöntemlerden katı hal işlemleri: toz metalurjisi, sıcak haddeleme, difüzyonla birleştirme;

Sıvı hal işlemleri: infiltrasyon, basınçlı döküm, sıkıştırımlı döküm, karıştırımlı döküm ve püskürtme çökmesi[9].

Günümüzde devamlı ilerleyen teknoloji yeni mühendislik malzemelerinin geliştirilmesini ve kullanımını gerekli hale getirmektedir. Metal matriksli kompozitler (MMK), bu gereksinimi karşılamak üzere aday malzemeler arasında üstün özellikleriyle ön plana çıkmaktadır[10].

Metal matriksli kompozitler genel olarak en az iki malzemeden meydana gelmektedir. Bunlardan birisi metal matris; diğeri ise, takviye malzemesidir. Kompozitin şekillendirilmesinde matris ve takviye malzemesi birlikte karıştırılırlar. Bir kompoziti elde etmek için başlangıçta farklı bileşenler seçilir. Tüm durumlar için matris bir metal veya metal alaşımıdır[11].

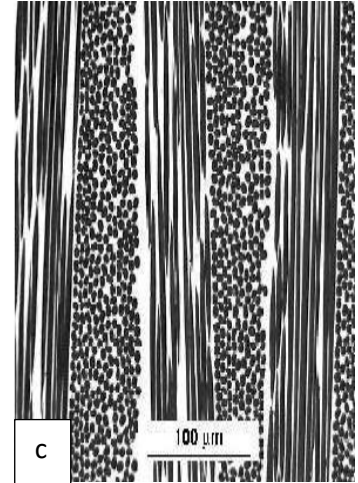
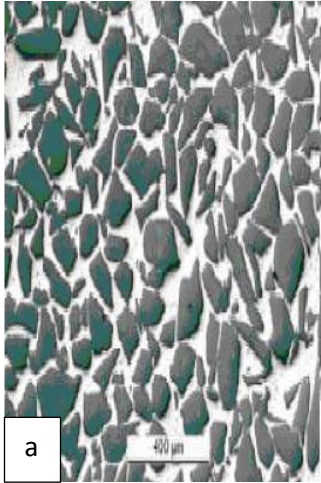
Metal ve seramik malzemeler kullanılarak üretilen metal&seramik kompozitler, özellikle son zamanlarda zırh teknolojisinde kullanılmaları nedeniyle gündemdeki yerlerini korumaktadırlar[12].



Şekil 2.6 SiC partikül takviyeli biyel kolu[13]



Şekil 2.7 Grafit ve alümina takviyeli Alüminyum metal matrisli kompozit motor bloğu[13]



- a) Partikül Takviyeli
- b) Kısa Fiber Takviyeli
- c) Sürekli Fiber Takviyeli

Parçacık esaslı metal matrisli kompozitler, metal matrisli kompozitler içerisinde düşük maliyetli, rijit ve izotropik özellik gösterirler. Ancak kopmadaki şekil değişimi ve kırılma tokluğu değerleri düşüktür[13].

Tablo 2.1 Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin bazı mekanik özellikleri[13]

Metal Matrisli Kompozit Malzeme	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastiklik Modülü (GPa)	Kopmadaki Uzama Miktarı (%)
<u>Sürekli fiberli</u> (fiber yönünde özellikleri)			
Al 2024-T6 (%45 Bor)	1458	220	0.810
Al 6061-T6 (%51 Bor)	1417	231	0.735
Al 6061-T6 (%47 SiC)	1462	204	0.89
<u>Süreksiz fiberli</u>			
Al 2124-T6 (%20 SiC)	650	127	2.4
Al 6061-T6 (%20 SiC)	480	115	5
<u>Partikül Takviyeli</u>			
Al 2124-F (%20 SiC)	552	103	7.0
Al 6061-F (%20 SiC)	496	103	5.5
<u>Güçlendirilmemiş</u>			
Al 2124-F	455	71	9
Al 6061-F	310	68.9	12

2.6.1 Metal Matrisli Kompozitlerde Kullanılan Matris Malzemeleri:

Metal matrisli kompozit malzemeler için, genel itibariyle, matris malzemesi olarak hafif metaller seçilir. Düşük yoğunluk ve ergime sıcaklıkları nedeniyle alüminyum ve alaşımları ilk sırayı almaktadır. Alüminyum ve alaşımları dışında en çok titanyum ve magnezyum alaşımları, elektronik sistemlerde de bakır alaşımları kullanılmaktadır[13].

2.6.2 Metal Matrisli Kompozitlerde Kullanılan Takviye Elemanları:

Metal matrisli bir kompozitte kullanım yerine bağlı olarak takviye elemanından beklenen temel özellikler şunlardır; yüksek modül ve dayanım, düşük yoğunluk, matris ile kimyasal uyumluluk, üretim kolaylığı ve yüksek sıcaklıkta dayanımını muhafaza etmesi. Metal matrisli kompozitlerde en çok kullanılan takviye elemanları ise Titanyum Karbür (TiC) , Bor (B), Alüminyum Oksit (Al_2O_3), Silisyum Karbür (SiC) ve Karbon (C)' dir[13].

2.6.3 Metal Matrisli Kompozitlerin Avantajları:

- Yüksek mukavemet / yoğunluk oranı,
- Yüksek elastik modülü / yoğunluk oranı,
- Yüksek yorulma dayanımı,
- Birçok ortamda korozyon dirençlerinin yüksek oluşu,
- Şekillendirilebilme özelliklerinin iyi olması,
- Yüksek sıcaklıklarda dayanımlarını koruyabilme ve düşük sürünme oranı gibi iyi yüksek sıcaklık özellikleri,
- Kaynak ve diğer yöntemlerle kolaylıkla birleştirilebilmeleri[13]

2.6.4 Metal Matrisli Kompozitlerin Dezavantajları:

- Sürekli fiber takviyesinin söz konusu olduğu durumlarda zor ve karmaşık üretim prosesleri,
- Metallere göre sünekliğin belli oranda azalması,
- Yüksek maliyetli üretim sistemi ve teçhizat,
- Yeni gelişen bir teknoloji olması nedeniyle firma ve üreticilerin deneyimsiz oluşu[13]

2.6.5 Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Uygulama Alanları:

Belli sektörlerdeki gelişmeler, metal matrisli kompozit malzemelere olan ilginin artmasında (özellikle gelişmiş motorlar ile havacılık ve uzay araçları üretimi için) yüksek sıcaklık malzemelerine olan gereksinim 1980'li yılların başında başlangıç noktasını oluşturmuştur[13].

Dünya pazarında en büyük payı alüminyum metal matrisli kompozit malzemeler almaktadır[13].



Şekil 2.8 Uzay mekiği gövdesinde kullanılan bor fiber takviyeli alüminyum tüpler[13]



Şekil 2.9 Karbon fiber katkılı Mg matrisli kompozit uydu destek parçaları[13]



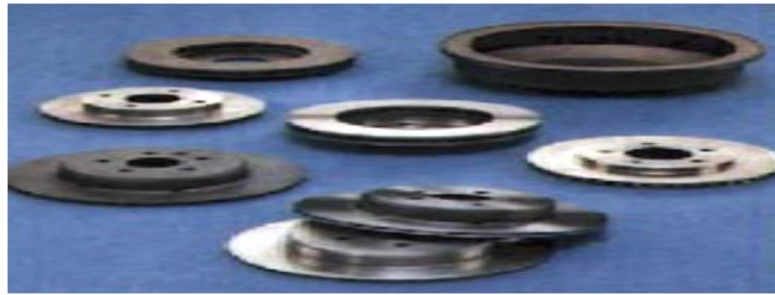
Şekil 2.10 SiC parçacık takviyeli Al metal matrisli kompozit silindir gömleği[13]



Şekil 2.11 Grafit ve alümina takviyeli MMK motor bloğu[13]



Şekil 2.12 Titanyum matrisli F-16 iniş takımları[13]



Şekil 2.13 Partikül takviyeli MMK kompozit fren elemanları[13]

2.6.6 Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri:

Metal matrisli bir kompozit malzemenin üretim tekniği; üretilecek parçanın şekline, istenilen mekanik ve fiziksel özelliklere, matrise, takviye elemanının şekline ve türüne göre belirlenir[13].

A) Katı Faz Üretim Yöntemleri

- Toz Metalurjisi Teknikleri
- Difüzyon Bağı Yöntemi

B) Sıvı Faz Üretim Yöntemleri

- Sıvı Metal İnfiltrasyon
- Sıkıştırma Döküm
- Sıvı Metal Karıştırma
- Plazma Püskürtme[13]

2.6.6.1 Katı Faz Üretim Yöntemleri:

2.6.6.1.1 Toz Metalurjisi:

Genel bir ifadeyle Toz metalürjisi, baskı yardımıyla çok küçük partiküllerin birbirine bağlanarak parça haline getirilmesi işlemidir. Maliyet ve kalitenin amaç haline geldiği günümüzde toz metal teknikleri ile parça üretimi gittikçe önem arz etmektedir. Toz metalurjisinin önemi; döküm yöntemi, talaşlı imalat veya plastik deformasyonla şekillendirilmesi oldukça zor veya imkânsız olan parçaların, bu yöntemle kolay ve ekonomik bir şekilde üretilebilmesinden kaynaklanmaktadır[14].

Toz metalürjisinde parça üretimi toz teknolojisi veya toz üretimi ile başlar. Elde edilen tozların işlenmesi, şekillendirilmesi ve devamında da parça haline getirilen malzemeler, yapılan testler sonucunda uygulama yerinde kullanıma hazır hale gelmiş demektir[15].

Modern anlamda yeni bir parça üretim tekniği olarak toz metalürjisi, endüstride teknolojik olarak yerini ikinci dünya savaşından sonra almıştır. Toz metal tekniği ile maksimum 45 kg ağırlığında ve 500 mm boyunda bazı parçaların üretilebilmektedir. Toz metalürjisi ürünlerinin %70'i otomotiv endüstride %12'si iş makinelerinde, %5'i tarım aletlerinde ve %13'lük oranı da güncel aletlerde kullanılmaktadır[14].

Toz metalürjisi (TM) yöntemi ile üstün mekanik özelliklere sahip çelik malzemelerin üretilmesi ile bu malzemelerin endüstriyel alanlarda kullanımını artırmıştır. Toz metalürjisi ile üretilen parçalar; başlangıç yatırım maliyetlerinin düşük olması, gerekli donanımlardaki esneklik, yüksek verimlilik, karmaşık şekilli parçaların daha kolay ve hızlı bir şekilde üretilmesi, net ölçülere sahip parçaların üretilmesi ve üretiminden sonra herhangi bir ek işlem gerekmemesi gibi nedenlerden dolayı otomotiv endüstrisinde de kullanılmaktadır[16].

Toz metalürjisi ileri üretim yöntemlerinden biridir. İmalat maliyetleri açısından karmaşık şekilli parçaların üretim kolaylığı, sivil amaçlı olduğu kadar askeri alanda uygulamaları oldukça fazladır. Malzemeleri uygulama açısından iki ana grupta değerlendirmek mümkündür. Bunlar; alışlagelmiş Toz metalürjisi ile üretilmiş parçalar, diğeri ise piroteknik uygulamalardır[17].

Alışlagelmiş Toz metalürjisi uygulamaları Toz metalürjisi ile üretilmiş parçaları kapsar. Örneğin; çeşitli silah ve mermi parçaları, uçak, deniz ve yer teçhizatında ve taşıtlarında kullanılan parçalardır[17].

Piroteknik uygulamalarda ise, metal ve metal olmayan malzemelerin tozları nerede kullanılmak isteniyorsa, çeşitli organik maddelerle karıştırılarak ona göre karışım hazırlanır. Örneğin bu grup içerisine; roket yakıtları, patlayıcılar, ateşleyiciler, aydınlatma bombaları ve dumanlar girer[17].

Toz metalürjisi yönteminin amacı, ilk olarak mekanik, fiziksel ve kimyasal yöntemlerle metal ve metalik alaşım tozlarını üretmektir. Daha sonra, elde edilen tozlardan, yapıyı oluşturan matris ve takviye fazlarını ergitmeden basınç ve sıcaklık yardımıyla iş parçası üretmektir[18].

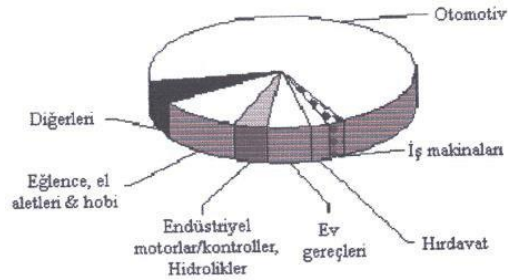
Toz metal (T/M) parçaların üretiminde çalışma koşullarına uygunluk, istenilen özellikte kimyasal bileşim ve mekanik özelliklerin sağlanması ile yüzey kalitesinin iyi olması, bu yöntemi diğer üretim yöntemlerine göre daha avantajlı duruma getirmektedir[19].

Son dönemlerde Toz Metalurjisi (T/M) yöntemi ile imal edilen parça sayısında ve çeşidinde yükselmeler olmuştur. Özellikle de yüksek mukavemet ve yeterli tokluk değerlerine sahip Toz metal parçaların üretilebilir duruma gelmesi, bu konudaki çalışmalara dikkat kesilmesine sebep olmaktadır[20].

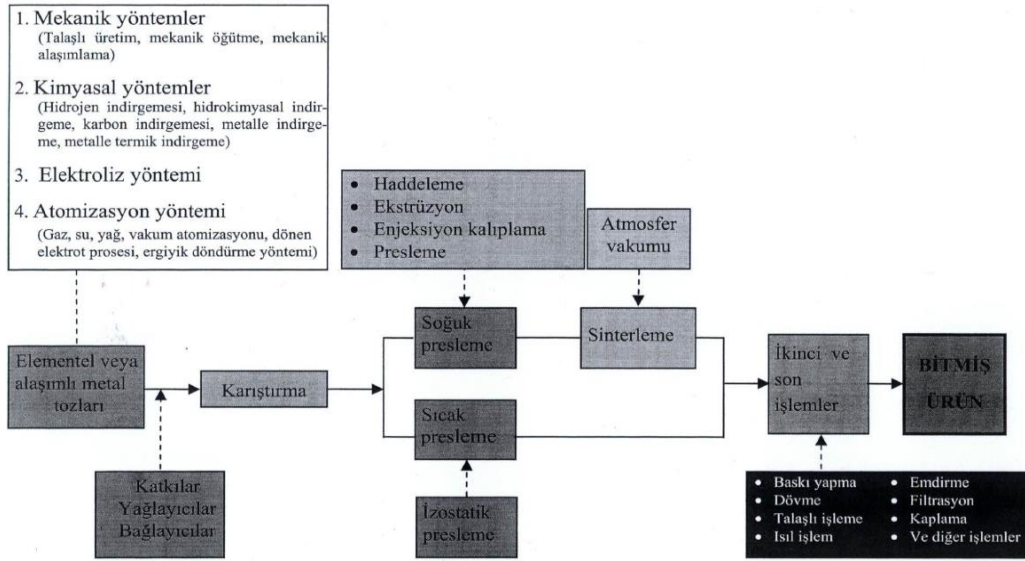
Talaşlı imalat gereksinimi duyulmayan makine parçalarında, döküm zorlukla ve önemli kayıplarla yapılıyor ise ve döküm ile elde edilen malzemelerin sıcakta dövülmesi imkânsız ise Toz metal yöntemi ile sinterlemeden sonra, ilave talaş alma işlemi gerektirmeden, son presleme ile malzeme istenilen şekle getirilir. Bu şekilde, malzemeden de tasarruf sağlanarak ve talaşlı imalat maliyetini ortadan kaldırarak, parçaların ekonomik olarak üretimi sağlanır[11].

Toz metalürjisinin önümüzdeki yıllarda daha da kullanımının artacaktır. Çünkü toz metal yöntemleri dövme, sıcak izostatik presleme, yüksek sıcaklıkta sinterleme gibi uygulama sahalarının git gide artmasını sağlar. Bu da, giderek yeni Toz metal ile üretilmiş parçaların artması ve yeni pazarlar meydana gelmesi demektir[17].

Toz metalürjisi; farklı boyut ve şekil özelliğine sahip metal tozlarını sağlar, hassas ve yüksek verimli parçalara dönüştürür[21].



Şekil 2.14 T/M parçalarının 1999 yılında dünya gelenindeki pazar payı[21]



Şekil 2.15 Toz Metalürjisi yöntemiyle parça üretiminin aşamaları[22]

2.6.6.1.2 Difüzyon Bağı Yöntemi

Bu yöntemde; takviye elemanları metal folyolar üzerine istenilen açıda ve miktarda yerleştirilebilmektedir. Bu işlemler tamamlandıktan sonra ergime sıcaklığına yakın bir sıcaklık altında basılarak veya haddelenerek matris ile takviye arasında bir bağ oluşturulmak suretiyle kompozit malzeme üretilmektedir. Ancak, bu üretim şekli oldukça pahalı olup, sınırlı malzeme çeşidi gerçekleştirilmektedir[13].

2.6.6.2 Sıvı Faz Üretim Yöntemleri:

2.6.6.2.1 Sıvı Metal İnfiltrasyon Yöntemi:

Bu yöntemde ilk işlem olarak, istenilen formda ön şekillendirme yapılmaktadır. Sisteme ilave fiberlerin yönlendirilmesi ile hacimsel oran bu aşamada ayarlanmaktadır. Ön şekiller kalıba bir bağlayıcı yardımıyla tutturulduktan sonra kalıp içerisine ergimiş metal emdirilmekte ve daha sonra katılaşmaya bırakılmaktadır[13].

2.6.6.2.2 Sıkıştırma Döküm Yöntemi:

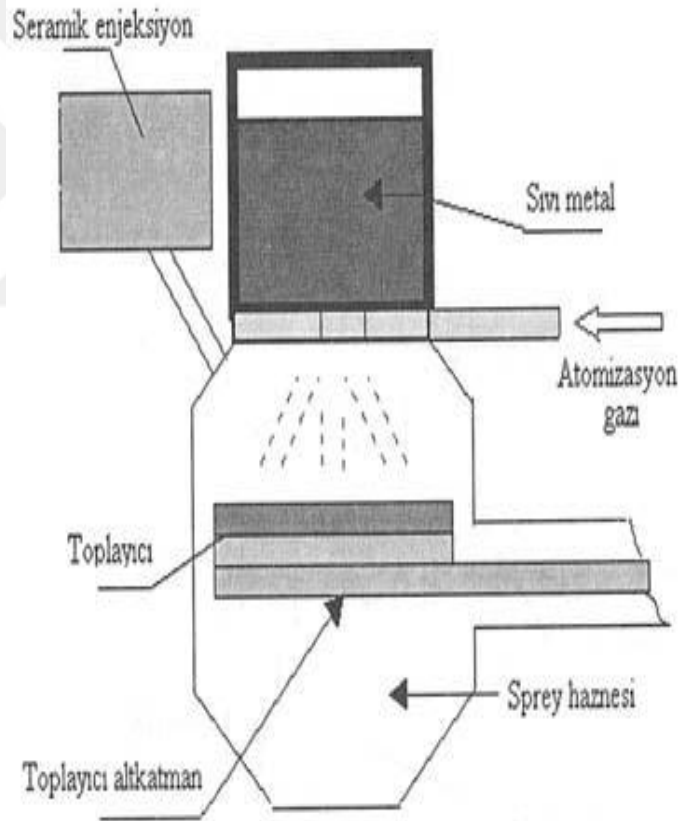
Bu yöntem metal bir kalıp içerisine yerleştirilen, ön ısıtma yapılmış, seramik fiber veya başka bir takviye malzemesinden oluşmuş ön şekle; kuvvet yardımıyla ergiyik metalin emdirilmesi ve böylece sıkıştırılan ergiyik metale yüksek basınç uygulanarak katılaştırılması işlemidir[13].

2.6.6.2.3 Sıvı Metal Karıştırma Teknikleri:

Bu üretim tekniğinde, ön ısıtma yapılmış veya ön işlemlerden geçerek hazırlanmış takviye malzemeleri, sürekli karıştırılan ergimiş metal içerisine değişik yöntemlerle katılmakta ve daha sonra döküm işlemi yapılmaktadır[13].

2.6.6.2.4 Plazma Püskürtme (Metal Püskürtme) Yöntemi:

Özellikle parçacık takviyeli Metal matrisli kompozit malzemelerin üretiminde kabul görmüş bir yöntemdir. Atomize edilmiş ergimiş metallerin takviye elemanları üzerine istenilen kalınlıkta püskürtülmesi işlemi Plazma püskürtme olarak anılır. Püskürtülen ergiyik metal parçacıkları, takviye elemanları üzerine yapışmakta ve hızlı bir şekilde katılaşmaya başlamaktadır. Bu üretim yöntemi yaygın olarak alüminyum gibi ergime sıcaklığı düşük olan metallerde uygulanır[13].



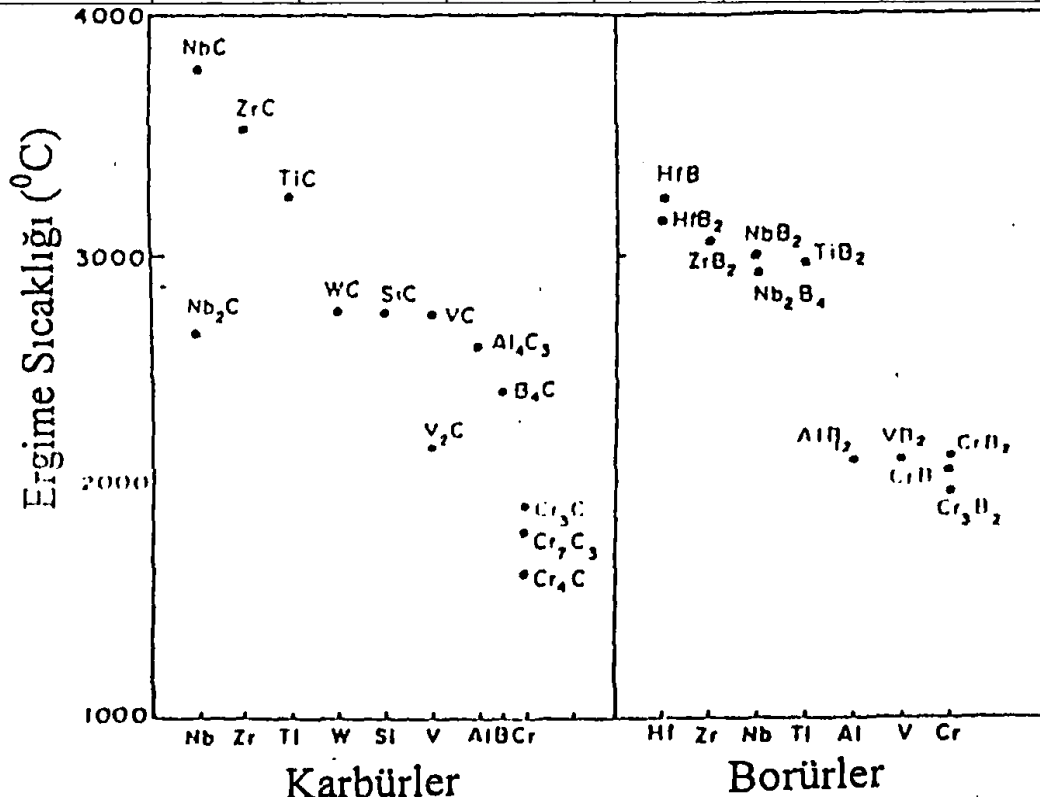
Şekil 2.16 Plazma Püskürtme(Metal Püskürtme) Akım Şeması[13]

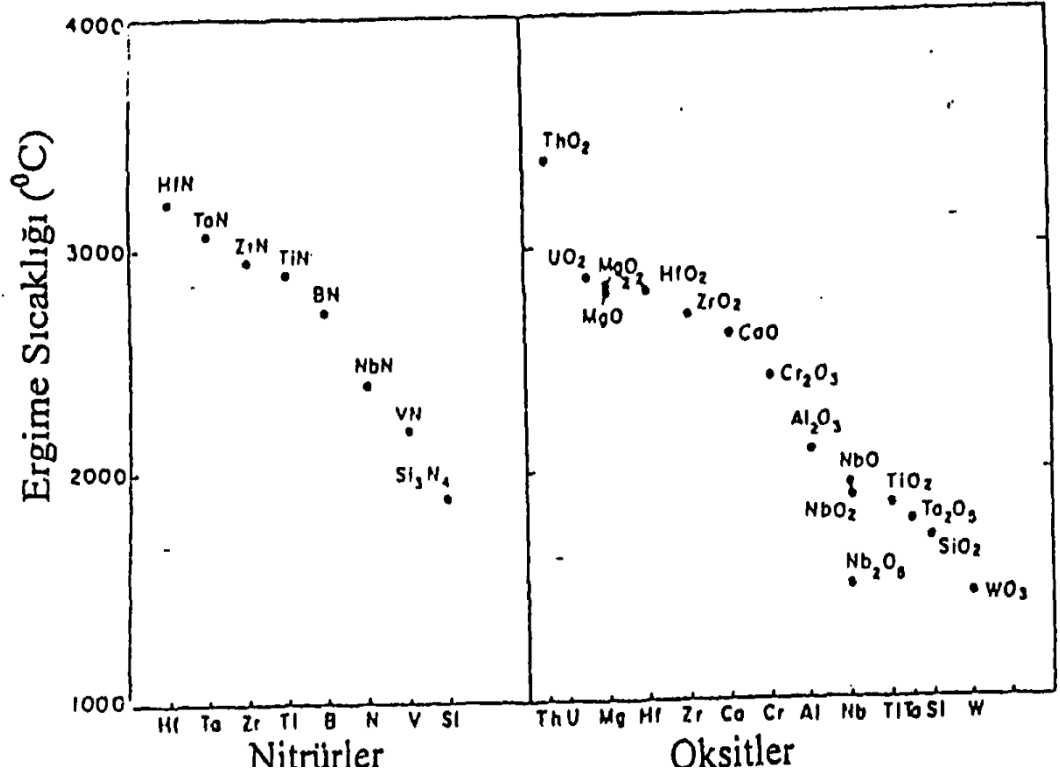
2.6.7 Partikül Esaslı Metal Matrisli Kompozitler:

Kompozit malzemelerin takviye elemanının cinsine göre devamlı fiber takviyeli, süreksiz fiber takviyeli ve partikül takviyeli olarak sınıflandırılabilir[23].

Tablo 2.2 Metal matrisli malzemelerde kullanılan takviye malzemeleri ve uygulama alanları[24]

Metal	Karbürler	Nitrürler	Borürler	Oksitler	Uygulama alanları
Bor	B ₄ C	BN	-	-	Havacılık, nükleer
Tantalyum	TaC	TaN	TaB ₂	-	Havacılık
Zirkonyum	ZrC	ZrN	ZrB ₂	ZrO ₂	Havacılık, otomotiv, nükleer
Hafniyum	HfC	HfN	HfB	HfO ₂	Havacılık, nükleer
Aluminyum	-	AlN	-	Al ₂ O ₃	Otomotiv, metal çalışmaları
Titanyum	TiC	TiN	TiB ₂	-	Havacılık
Krom	CrC	-	CrB ₂	CrO ₂	Havacılık, otomotiv
Molibden	MoC	-	MoB	-	Havacılık, otomotiv
Tungsten	WC	-	WB	-	Havacılık, otomotiv
Toryum	ThC ₂	ThN	-	ThO ₂	Havacılık
Silisyum	SiC	Si ₃ Ni ₄	-		Otomotiv, havacılık, metal çalışmaları





Şekil 2.17 Karbür, borür, nitrür ve oksitlerin ergime sıcaklıkları[24]

Tablo 2.3 Kullanılan takviye malzemelerinin özellikleri[23]

TABLE 16-2 ■ Kullanılan takviye malzemelerinin özellikleri

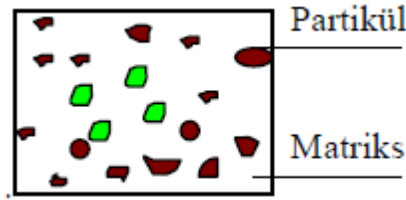
Material	Density (g/cm ³)	Tensile Strength (ksi)	Modulus of Elasticity (×10 ⁶ psi)	Melting Temperature (°C)	Specific Modulus (×10 ⁷ in.)	Specific Strength (×10 ⁶ in.)
Polymers:						
Kevlar™	1.44	650	18.0	500	34.7	12.5
Nylon	1.14	120	0.4	249	1.0	2.9
Polyethylene	0.97	480	25.0	147	7.1	13.7
Metals:						
Be	1.83	185	44.0	1277	77.5	2.8
Boron	2.36	500	55.0	2030	64.7	4.7
W	19.40	580	59.0	3410	8.5	0.8
Glass:						
E-glass	2.55	500	10.5	<1725	11.4	5.6
S-glass	2.50	650	12.6	<1725	14.0	7.2
Carbon:						
HS (high strength)	1.75	820	40.0	3700	63.5	13.0
HM (high modulus)	1.90	270	77.0	3700	112.0	3.9
Ceramics:						
Al ₂ O ₃	3.95	300	55.0	2015	38.8	2.1
B ₄ C	2.36	330	70.0	2450	82.4	3.9
SiC	3.00	570	70.0	2700	47.3	5.3
ZrO ₂	4.84	300	50.0	2677	28.6	1.7
Whiskers:						
Al ₂ O ₃	3.96	3000	62.0	1982	43.4	21.0
Cr	7.20	1290	35.0	1890	13.4	4.9
Graphite	1.66	3000	102.0	3700	170.0	50.2
SiC	3.18	3000	70.0	2700	60.8	26.2
Si ₃ N ₄	3.18	2000	55.0		47.8	17.5

$$* 1 \frac{\text{gm}}{\text{cm}^3} = 0.0361 \frac{\text{lb}}{\text{in}^3}$$

Tablo 2.4 Seramik takviye malzemelerinin özellikleri[24]

Takviye malzemesi	Yoğunluk ($\times 10^{-3} \text{ kg m}^{-3}$)	Isıl genleşme katsayısı ($10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)	Mukavemet (Mpa)	Elastik Modül (Gpa)
Al_2O_3	3.98	7.92	221(1090 $^{\circ}\text{C}$)	379 (1090 $^{\circ}\text{C}$)
AlN	3.26	4.84	2069 (24 $^{\circ}\text{C}$)	310 (1090 $^{\circ}\text{C}$)
BeO	3.01	7.38	24 (1090 $^{\circ}\text{C}$)	190 (1090 $^{\circ}\text{C}$)
B_4C	2.52	6.08	2759 (24 $^{\circ}\text{C}$)	448 (24 $^{\circ}\text{C}$)
C	2.18	-1.44	-	690
CeO_2	7.13	12.42	589 (24 $^{\circ}\text{C}$)	185 (24 $^{\circ}\text{C}$)
HfC	12.20	6.66	-	317 (24 $^{\circ}\text{C}$)
MgO	3.58	11.61	41 (1090 $^{\circ}\text{C}$)	317 (1090 $^{\circ}\text{C}$)
MoSi_2	6.31	8.91	276 (1090 $^{\circ}\text{C}$)	276 (1260 $^{\circ}\text{C}$)
Mo_2C	8.90	5.81	-	228 (24 $^{\circ}\text{C}$)
NbC	7.60	6.84	-	338 (24 $^{\circ}\text{C}$)
Si	2.33	3.06	-	112
SiC	3.21	5.40	-	324 (1090 $^{\circ}\text{C}$)
Si_3N_4	3.18	1.44	-	207
SiO_2	2.66	<1.08	-	73
TaC	13.90	6.46	-	366 (24 $^{\circ}\text{C}$)
TaSi_2	-	10.80	-	338 (1260 $^{\circ}\text{C}$)
ThO_2	9.86	9.54	193 (1090 $^{\circ}\text{C}$)	200 (1090 $^{\circ}\text{C}$)
TiB_2	4.50	8.28	-	414 (1090 $^{\circ}\text{C}$)
TiC	4.93	7.60	55 (1090 $^{\circ}\text{C}$)	269 (24 $^{\circ}\text{C}$)
UO_2	10.96	9.54	-	172 (1090 $^{\circ}\text{C}$)
VC	5.77	7.16	-	434 (24 $^{\circ}\text{C}$)
WC	15.63	5.09	-	669 (24 $^{\circ}\text{C}$)
WSi_2	9.40	9.00	-	248 (1090 $^{\circ}\text{C}$)
ZrB_2	6.09	8.28	-	503 (24 $^{\circ}\text{C}$)
ZrC	6.73	6.66	90 (1090 $^{\circ}\text{C}$)	359 (24 $^{\circ}\text{C}$)
ZrO_2	5.89	12.01	83 (1090 $^{\circ}\text{C}$)	132 (1090 $^{\circ}\text{C}$)

Partikül takviyeli kompozitler, en az iki makro ölçekli partikülün veya bir matris içine makro ölçülü partiküllerin ilave edilmesi ile elde edilen malzemelerdir. Partikül boyutunun mikron seviyesinde olan kompozitler parçacık kompozitlerin bir sınıfı iken parçacık boyutunun mikron altında olduğu kompozit malzemeler dispersiyonla sertleştirilmiş kompozitler sınıfını teşkil ederler. Partikül takviye malzemeleri; metal, seramik veya polimer matrislerle kolaylıkla kullanılabilir[25].



Şekil 2.18 Partikül takviyeli bir MMK malzemedeki matris ve partiküller[25]

İki fazın arasında arayüzey bağı oluşturulması çoğunlukla, arayüzeyin uyumluluğuna ve takviye elemanı-matris elemanlarının uygun seçimi ile özelliklerine bağlıdır. Dolayısıyla da arayüzey mukavemetinin, kompozit malzemelerin fiziksel ve mekaniksel özellikleri üzerine rolünün yüksek olduğu bilinmektedir[8].

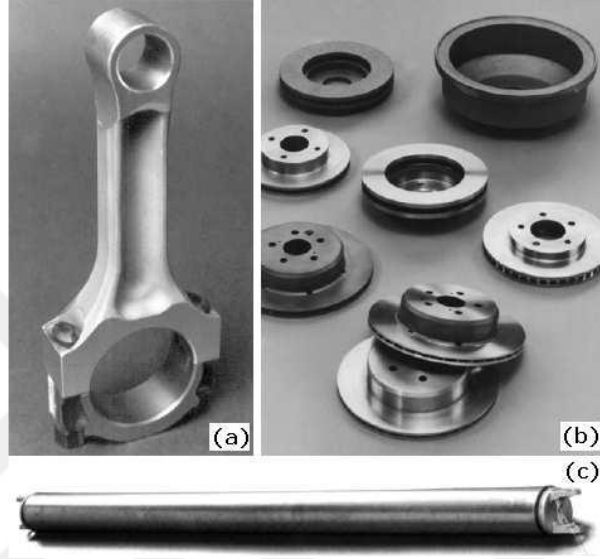
Metal matrisli kompozit malzemelerde özellikle hafif metaller, kompozitler için matris malzemesi olarak çok cazip olmaktadır. Bu hafif metaller, plastiklerden daha yüksek elastisite modülü, mukavemet ve tokluğa sahip olup, yüksek sıcaklıklarda özellikleri de daha iyidir[27].

2.7 Al Metal Matrisli Kompozitler:

Metal malzemeler içinde, Alüminyum ve alaşımları, gerek saf olarak, gerekse alaşım olarak en yaygın kullanılan malzeme gruplarından birisidir[28].

Alüminyum, magnezyum ve silisyum ve bunların alaşımları, Metal Matrisli Kompozit üretiminde, hafif ve sünek olmalarından dolayı en çok kullanılan matris malzemeleridir. Alüminyum matrisli kompozitlerin üretilmesinde SiC, Al₂O₃, C, SiO₂ ve MgO gibi çeşitli takviye elemanları kullanılmaktadır[9].

Metal matrisli kompozitlerin önemli bir çeşitini alüminyum esaslı metal matrisli kompozitler oluşturmaktadır. Alüminyum metal matrisli kompozitler, daha yüksek mukavemet, rijitlik, aşınma dayanımı, yorulma dayanımı ve alüminyum alaşımlarının üstün özelliklerinden dolayı, tek parçalı malzemelere göre otomotiv, uçak, uzay, taşıt, tarım ve yapı endüstrilerinde geniş bir uygulama alanı bulmaktadır[29].



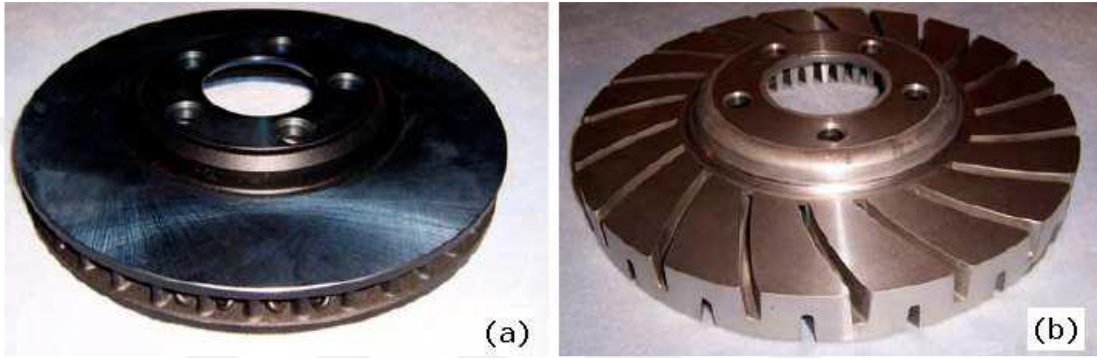
Şekil 2.19 Al-MMK (a) piston kolu prototipi, (b) fren parçaları, (c) kardan mili[24]

2.7.1 Al-MMK'lerin Üretim Yöntemleri:

Literatürde, parçacık takviyeli Alüminyum Esaslı Metal Matrisli Kompozitlerin (Al-MMK) üretim yöntemleri için yapılan sınıflandırmalarda; yöntemler, katı ve sıvı durum işlemleri olarak gruplandırılır. Bazı araştırmacılar, in-situ (yerinde çekirdeklenme), püskürtme (sprey), PVD (fiziksel buhar biriktirme) gibi yöntemleri ayrı birer başlık altında incelemişlerdir. Daha çok kullanılan yöntemler olarak infiltrasyon, sıkıştırma döküm, karıştırmalı döküm gibi sıvı durum prosesleri, toz metalurjisi yöntemi ve püskürterek biriktirme yöntemleri olarak görülmektedir. Katı durum işlemleri içinde ise, en yaygın yöntem toz metalürjisidir[24].

2.7.2 Al-MMK'lerin Fren Diski Olarak Kullanılabilirliği:

Günümüzde disk frenler, otomobil ve tren gibi araçları durdurmada en yaygın kullanılan fren sistemleridir. Otomobillerde ağırlığı azaltma yönündeki çalışmalarda, hedef alınan parçalardan biri de fren sistemleridir. Fren sistemleri günümüzde ağır malzemelerden imal edilmektedir. Genellikle gri dökme demir, otomobillerde fren diski malzemesi olarak kullanılmaktadır. Son zamanlarda üreticiler, binek otomobiller için daha hafif ve daha üstün özelliklere sahip olan Alüminyum Metal Matrisli Kompozitler fren diski ve kampanaları üretim çalışmalarına başlamışlardır[24].



Şekil 2.20 (a) 4 kapılı bir sedan otomobilde kullanılan, gri dökme demirden imal edilen fren diski(ağırlık: 8,44 kg.) ve (b) aynı otomobil için özel olarak tasarlanan, Al-SiC kompozit malzemeden imal edilen fren diski prototipi(ağırlık: 3,32 kg)[24]

2.7.3 Al-B₄C Kompozitleri:

Al-MMK'lerde takviye malzemesi olarak Al₂O₃, SiC, TiC ve B₄C gibi malzemeler kullanılmaktadır. Bu takviyeler arasında B₄C, etkili bir takviye malzemesinden beklenen yüksek sertlik, düşük yoğunluk, yüksek rijitlik, iyi değerlerdeki termal kararlılık ve kimyasal inertliği sebebiyle, alüminyum ve alaşımları için uygun bir takviye malzemesidir[24].

2.7.4 Metal Matrisli Kompozitlerde Matris-Takviye Ara Yüzey İlişkileri:

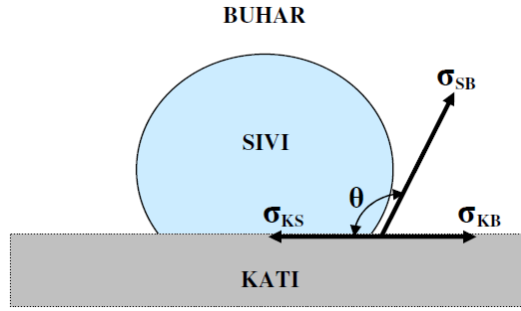
Matris ve seramik takviye arasındaki ara yüzey önemlidir, çünkü bu bölgenin özellikleri deformasyon sırasında metal matrisli kompozitlerin yük transferi ve çatlak direncini belirler. Bir metal matrisli kompozit malzemede ara yüzey bağ mukavemetinin yüksek olması ve dolayısıyla nihai kompozit malzemede üstün özellikler göz önünde bulundurulmalıdır. Bunlar;

- a) Islatılabilirlik
- b) Kimyasal etkileşimleri kontrol etmek
- c) Oksit oluşumunu minimuma indirmek[24]

2.7.4.1 Islatılabilirlik:

Islanabilirlik, genel olarak, sıvının katı yüzeyinde yayılabilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Şekil 2.21’de görüldüğü üzere, katı altık üzerinde duran bir sıvı damlasının katı yüzeyi ile yaptığı temas açısı (θ) ıslanabilirliğin fiziksel bir ölçüsüdür[10].

Islatılabilirlik engeli, kompozit malzeme üretiminde kesinlikle aşılması gereken bir engeldir[24]



Şekil 2.21 Katı altık üzerinde duran bir sıvı damlasının katı yüzeyi ile yaptığı temas açısı[10]

Şekil 2.21’den de anlaşılacağı üzere, ıslanabilirliğin bir ölçüsü olan θ değeri;

$\theta = 0^\circ$ ise mükemmel ıslanabilirlik

$0^\circ < \theta < 180^\circ$ ise kısmen ıslanabilirlik

$\theta = 180^\circ$ ise ıslanabilirliğin olmadığını göstermektedir[10]

Şekilde, θ : Temas açısını, σ_{KB} :Katı-buhar ara yüzey enerjisi), σ_{KS} :Katı-sıvı ara yüzey enerjisi ve σ_{SB} :Sıvı-buhar ara yüzey enerjisini göstermektedir. *Young-Dupré* denkleminde göre aralarındaki ilişki aşağıdaki eşitlik ile verilmiştir:

$$\sigma_{KB} = \sigma_{KS} + \sigma_{SB} \cdot \cos \theta \quad (2.1)$$

Yukarıda verilen her üç ara yüzey enerjisi, birim alandaki Helmholtz serbest enerjisi veya yüzey gerilmesidir. Bir sıvı katı altlık üzerine damlatıldığında, katı buhar ara yüzey enerjisinin bir kısmı sıvı-katı ve sıvı-buhar ara yüzey enerjileri ile yer değiştirir. Sıvının yayılması ancak sistemin serbest enerjisinde bir azalma ile sonuçlanırsa mümkündür[10].

Ara yüzey arasında iyi bir bağ oluşması ve takviye malzemesi ile matris arasında uyumluluğu sağlamak en zor parametrelerdendir. Kompozitin ilk üretimi sırasında uyumluluk ve matrisin bütün takviye yüzeylerine kolaylıkla yayılması gereklidir. Bu durumda takviye malzemeleri iyi ıslanır ve boşluksuz bir kompozit üretilir[30].

2.7.4.1.2 Islanabilirliği Artırıcı Yöntemler:

2.7.4.1.1.1 Alaşım Elementi İlavesi:

Islanabilirliği artırmak için, matriks ile katkı fazı ara yüzey özelliklerini, sıvı alaşıma ilave edilen reaktif elementler iyileştirmektedir. Örneğin sıvı alaşıma magnezyum, kalsiyum, titanyum veya zirkonyum ilavesi, eriyik metalin yüzey gerilme kuvvetini ve katı ile sıvı ara yüzey enerjisini azalttığından ıslanabilirliği artırmaktadır[31].

2.7.4.1.1.2 Katkı Fazının Isıl İşlemi:

Seramik katkı fazının matrikse ilavesinden önce, ısıl işlem ile katkı fazı yüzeyine absorbe olmuş gazların giderilerek yüzeyin temizlenmesi ıslanabilirlik açısından önem taşımaktadır. SiC partiküllerine 900 °C'de yapılacak bir ön ısıtma işlemi ile yüzey empüritelerinin giderilmesi, gazların desorpsiyonu ve yüzeyde bir SiO₂ tabakasının oluşması sağlanır. Bu işlem ıslanabilirliği artırdığından birçok araştırmacı tarafından uygulanmaktadır[31].

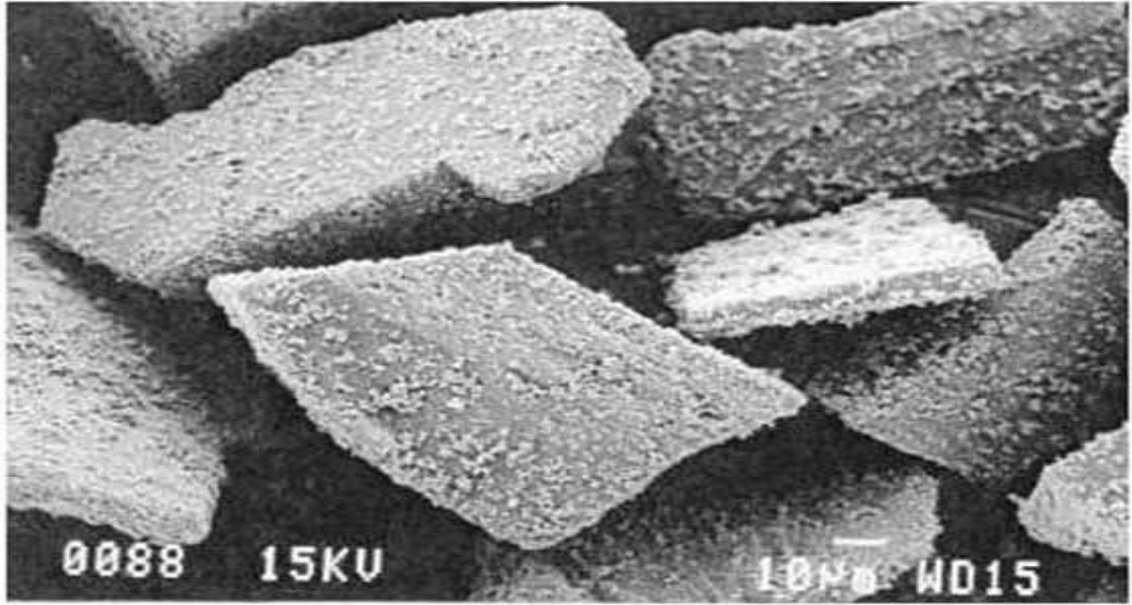
2.7.4.1.1.3 Katkı Fazının Kaplanması:

Genel olarak metal olmayan bir katkı fazının sıvı metal tarafından ıslanabilirliği zordur. Bunun nedeni olarak, metal karbür ve metal oksitlerin iyon ve kovalent bağlarının kararlılığı söylenilebilir. Bu durumu iyileştirmenin bir diğer yolu ise, katkı fazının(takviye fazının) ıslanabilir bir metal ile kaplanmasıdır. Çünkü, sıvı metaller katı metalleri çoğunlukla ıslatabilir ve metaller arası bileşiklerin oluşması

durumunda ıslanabilirlik en yüksek seviyede olur. Katkı fazının kaplanması, kimyasal buhar çökertme(CVD), fiziksel buhar çökertme(PVD), akımla ve akımsız elektrolitik kaplama, sementasyon, plazma spre ve sol-jel teknikleri kullanılmaktadır[31].

Nikel ve bakır birçok alaşımdan ıslatılabilmektedir ve kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra, gümüş ve krom da literatürde kaplama olarak kullanılan metaller arasındadır[31].

Alüminyum bazlı kompozitlerde ise, en sık kullanılan metal kaplama nikelidir[31].



Şekil 2.22 Ni kaplanmış SiC partiküllerine ait SEM görüntüsü[31]

SiC tanelerinin oksidasyonu dışındaki diğer seramik kaplamalar genelde sol-jel ve kuru karıştırma yöntemleri ile elde edilmektedir. Alkositlerin hidroliz reaksiyonlarına dayalı bir süreç olan sol-jel yöntemi ile SiC yüzeyinde sürekli ve ince bir oksit tabakası oluşturmanın maliyeti yeterince düşük ve uygulaması ise çok kolaydır[31].

Seramik katkı fazlarının kaplanması, kompozitlerin ara yüzey, mekanik ve fiziksel özelliklerine Metal matrisli kompozitlerin üretiminde olumlu bir etkisi vardır. Metalik kaplamalar, katkı fazının ıslanabilirliğini artırmakla beraber, istenmeyen ara

yüzey reaksiyonlarını engellemektedir. Ekonomik bir yöntem olan metalik kaplamanın en büyük dezavantajı ise, matriks alaşımında istenmeyen alaşım elementlerine sebep olmasıdır. Akımsız nikel kaplama ile SiC katkı fazının kaplanması yöntemin ekonomik ve kaplamanın homojen olması nedeniyle metalik kaplamalar arasında en uygun yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır[31].

2.7.5 Al-B₄C Ara Yüzeyi:

Al-B₄C kompozitlerinin üretiminde, diğer pek çok Alüminyum Metal Matrisli Kompozit Malzemelerde de olduğu gibi karşılaşılan temel sorun; özellikle ağırlıkça %10'un üzerindeki takviye oranları ve 1100 °C ve altı gibi düşük sıcaklıklar için alüminyum metalinin takviye malzemesi olan bor karbür yüzeyini ıslatamamasıdır[32].

Alüminyum Metal Matrisli Kompozit Malzemelerde döküm sırasında parçacık takviyeleriyle sıvı alüminyum metali arasında istenilen bağlanmanın oluşabilmesi için temel koşul, matris metalinin takviye partiküllerini iyi bir şekilde ıslatabilmesidir. Bir Metal Matrisli Kompozit tasarlarken düşünülmesi gereken en önemli nokta, takviye partiküllerinin yüzeylerinin ergiyik metal tarafından ıslatılmasıdır[32].

Temel olarak mekanik bağ ve kimyasal bağ olmak üzere, Alüminyum Metal Matrisli Kompozit Malzemelerde ara yüzeyde oluşan bağlar iki ana grupta incelenmektedir. Mekanik bağ, matris ile takviyenin kenetlenmesiyle kimyasal etkilerin yokluğunda meydana gelmektedir. Bu fiber takviyeli kompozitlerin üretiminde önem taşır. Kimyasal bağ ise, matris ve takviyenin atomlarının direkt kontak kurmasıyla oluşur ve elektronların değiş tokuşuyla sonuçlanır. Bu türden bir bağlanma metalik, iyonik ya da kovalent olabilir. Metal Matrisli Kompozitlerde istenen bağ, diğerlerinden daha sünek olduğundan Metalik bağdır[32].

2.7.6 Partikül Takviyeli Alüminyum Metal Matrisli Kompozitler:

Partikül takviyeli alüminyum metal matrisli kompozitler düşük yoğunluk, yüksek özgül dayanım, yüksek aşınma direnci gibi yüksek özelliklerinden dolayı uçak sanayi, otomotiv ve motor parçaları ile yarı iletken paketlemede kullanımları artmaktadır. Takviye ile matris arasında daha güçlü bir bağ kurulması ve dolayısıyla mekanik özelliklerde iyileşme elde etmek amacıyla; takviye elemanının kaplanması

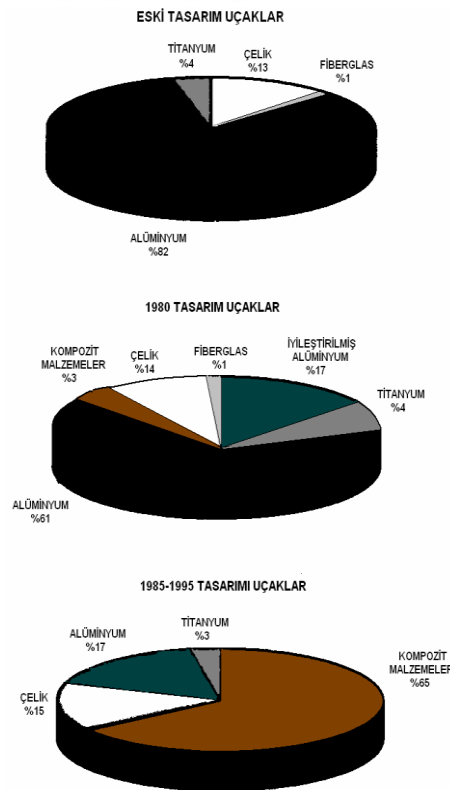
(nikel, kobalt ve paladyum gibi), matris alaşıma alaşımlama yapılması(Mg ilavesi gibi) ve partiküllerin oksitlenmesi gibi yöntemler uygulanmıştır[33].

2.8 Metal Matrisli Kompozit Üretiminde Matris Malzemesinin Seçimi:

Yüksek sıcaklık uygulamaları için metal matrisli kompozitlerin kullanımı termodinamik olarak kararlı dispersoidlerin varlığını zorunlu kılar. Hâlbuki yaygın olarak kullanılan yapısal alüminyum alaşımlarının her biri matris olarak kullanılabilir. Düşük yoğunluk istekleri için yaygın olarak, matris malzemeleri alüminyum ve magnezyumdur[24].

2.9 Alüminyum:

Alüminyum 'un 2,7 g/cm³ lük yoğunluğu ile performans ve emniyetten ödün vermeden 300 kg'a kadar ağırlık tasarrufu sağlayan malzemedir. Bazı parçalar için alüminyum, aynı kalınlıktaki çeliğin yerini alabilmektedir. Böylece % 65 'lik bir ağırlık tasarrufu dahi sağlanabilmektedir[34].



Şekil 2.23 Uçak malzemelerin kullanım oranlarının yıllara göre değişimi[8]

Hafif metalleri Toz Metal (TM) endüstrisinde kullanım alanı açısından en çok yeri, Al parçaları almaktadır. Al/TM parçaları, birim ağırlıktaki yüksek mukavemet, aşınmaya karşı direnç, iyi yüzey kalitesi ve başka üstün özelliklerinden dolayı, makine ve otomobil endüstrisinde kullanılmaktadırlar[18].

Alüminyum, binaların çatı ve cephe kaplamaları, kapı ve pencereleri, merdivenler, inşaat iskeleleri, çatı iskeleti, sera yapımı vb. alanlarda büyük miktarlarda kullanılmaktadır[35].

2.10 Al Alaşımları ve Sınıflandırılması:

Alüminyum ve alaşımlarının aşınma dayanımlarının düşük olması uygulama alanlarını kısıtlamaktadır. Alüminyum ve alaşımlarının dayanımlarını artırmak ve diğer özelliklerini de iyileştirmek için sert takviye elemanlarıyla (fiber, whisker, parçacık gibi) alüminyum matrisli kompozitler üretilmektedir[35].

Alüminyum alaşımlarının mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri alaşım elementlerine ve mikro yapısına bağlı olarak değişir. Alüminyuma katılan en önemli alaşım elementleri bakır, mangan, silisyum, magnezyum ve çinkodur[36].

Amerikan alüminyum birliğine göre, alüminyum dövme alaşımları dört harfle sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma şu şekildedir:

1XXX: Saf alüminyum. Genellikle elektrik ve kimya endüstrisinde kullanılmaktadır[36].

2XXX: Al-Cu alaşımları. Esas alaşım elementi bakırdır. Başta magnezyum olmak üzere diğer alaşım elementleri de bulunabilir, yüksek mukavemet istenen havacılık sektöründe yaygın bir şekilde kullanılmaktadır[36].

3XXX: Al-Mn alaşımları. Esas alaşım elementi mangandır. Boru, sıvı tankları ve mimari uygulamalarda kullanılmaktadır[36].

4XXX: Al-Si alaşımları. Esas alaşım elementi silisyumdur. Termal genleşme katsayısı düşük, aşınma direnci ve korozyon dayanımı yüksek alaşımlardır. Kaynaklı yapılarda, levha üretiminde, otomobil parçaları üretiminde kullanılmaktadır[36].

5XXX: Al-Mg alaşımları. Esas alaşım elementi magnezyumdur. Magnezyum oranı arttıkça sertlik ve mukavemet artar fakat süneklik azalır. Denizel korozyona karşı

direnci yüksek olduğundan, bu ortamda çalışacak yapıların imalatında kullanılmaktadır[36].

6XXX: Al-Mg-Si alaşımları. Esas alaşım elementleri magnezyum ve silisyumdur. Şekillendirilme kabiliyeti yüksek olan bu alaşımlar özellikle ekstrüzyon ile üretilen parçaların imalatında sıklıkla kullanılır[36].

7XXX: Al-Zn alaşımlar. Bakır esas alaşım elementi olup, magnezyum, krom ve zirkonyum ilave alaşım elementleridir. 7XXX serisi, alüminyum alaşımlarının en yüksek mukavemete sahip olanıdır. Uçak parçaları yapımı ve diğer yüksek dayanım istenen yerlerde kullanılır[36].

8XXX: Al-Li alaşımları: Esas alaşım elementi lityum olup, kalay eklentiside yapılabilmektedir. Özellikle uçak ve uzay yapılarında kullanılmaya başlanan bu malzeme, iyi yorulma direnci ve iyi tokluk özelliklerine sahiptir. Fakat diğer Al alaşımları ile karşılaştırıldığında üretim maliyetleri yüksektir[36].

2.10.1 Alüminyum Alaşımlarında Isıl İşlem Uygulamaları:

Alüminyum alaşımlarına yapılan ısıt işlemler değişik şekillerde uygulanabilir ve uygulanan işlem TX sembolleri ile alaşım numarasının yanına yazılır. Bu işlemler şu şekilde ifade edilmektedir:

O: Tavlanmış, F: Üretildiği gibi, H: Sertleştirilmiş, T: Isıl işleme tabi tutulmuş

- T1: Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş ve tabii yaşlanmaya bırakılmış.

- T2: Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve tabii yaşlanmaya bırakılmış.

- T3: Çözeltiye alma işlemi yapılmış, soğuk şekillendirilmiş ve tabii yaşlanmaya bırakılmış.

- T4: Çözeltiye alma işlemi yapılmış ve tabii yaşlanmaya bırakılmış.

- T5: Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş ve suni yaşlandırma yapılmış.

- T6: Çözeltiye alma işlemi yapılmış ve suni yaşlandırma yapılmış.

- T7: Çözeltiye alma işlemi yapılmış ve aşırı yaşlandırma yapılmış.

- T8: Çözeltiye alma işlemi yapılmış, soğuk şekillendirilmiş ve suni yaşlandırma yapılmış.

- T9: Çözeltiye alma işlemi yapılmış, suni yaşlandırma yapılmış ve soğuk şekillendirilmiş.

•T10: Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve suni yaşlandırma yapılmış[36].

2.10.2 2024 Al-Alaşıımı:

Duralümin olarak da bilinen 2024 Al-alaşımı, alüminyum alaşımları arasında en sert, elastisite modülü ve mukavemet değerleri en yüksek olanlarından biridir. Otomotiv sanayinde, vagon yapımında, mühimmat sanayinde, uçak gövde ve kanatlarında, ortopedik taban, perçin ve çekici tekerlekleri yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır[37].



Çizelge 2.1 AA2024 matris malzemesinin % kimyasal bileşimi[38]

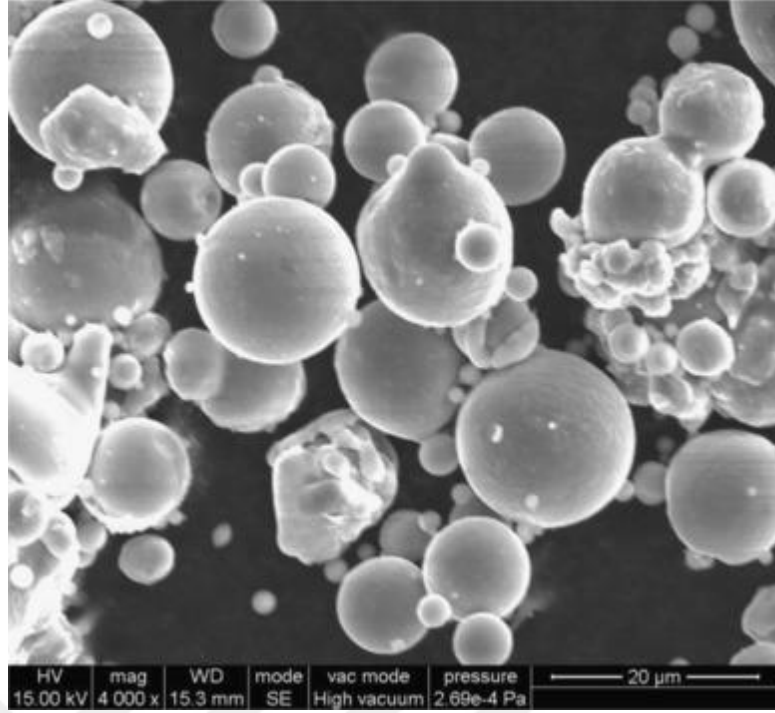
Matris Malze mesi	Kimyasal Özellikler							
AA 2024	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr
	0,50	0,50	3,80- 4,90	0,30- 0,90	1,20- 1,80	0,25	0,15	0,10

Çizelge 2.2 AA2024 matris malzemesinin mekanik özellikleri[39]

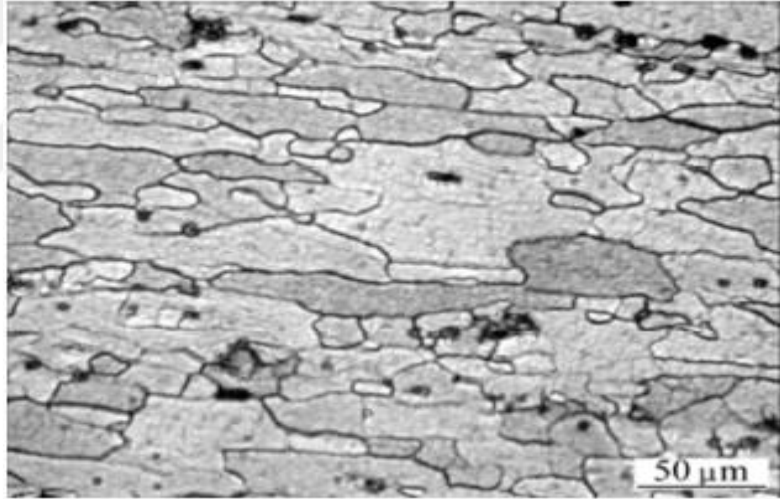
Özellikler	Değerler	T(°C)
Yoğunluk(X1000 kg/m ³)	2,77	25
Poisson Oranı	0,33	25
Elastisite Modülü(GPa)	70-80	-
Çekme Dayanımı(MPa)	185	-
Akma Dayanımı(MPa)	76	25
Uzama(%)	20	25
Sertlik(HB 500)	47	25
Kopma Dayanımı(MPa)	125	25
Yorulma Dayanımı(MPa)	90	25
Termal Genleşme(10 ⁻⁶ /°C)	22,8	20-100
Isı İletkenliği(W/m-K)	190	25
Elektrik Direnci(10 ⁻⁹ Ω)	34	25

Çizelge 2.3 2024 Al alaşımının farklı standartlardaki karşılıkları[40]

Malzeme	Türkiye	Etibank	ABD	Almanya	Fransa	İtalya	ISO	İngiltere
2024	TSE	ETİNORM	SAE/AISI	DIN	AFNOR			BS
	AlCuMg2	ETİAL24	AA2024	AlMgCu2	A-U4G1	P-AlCu4.5MgMn	AlCu4Mg1	L97



Şekil 2.24 AA2024 tozlarının SEM mikroyapı görüntüsü[41]



Şekil 2.25 AA2024 alaşımının Optik Mikroskop görüntüsü[42]

2.11 Alüminyum ve Otomotiv Endüstrisi:

Alüminyum 1800'lü yıllarda keşfedilmiş olmasına karşın gelişmiş bir üretim süreci bulunması ise 1870'li yıllarda gerçekleşmiştir. Buna rağmen, hacimsel olarak alüminyum, her yıl diğer demir dışı metallerin toplamından daha fazla üretilmektedir[24].

2.12 Taşıtlarda Alüminyum Alaşımlarının Kullanımı:

Alüminyum, dünya üzerinde en çok bulunan 3. elementtir. Günden güne kaynakları azalmakta olan dünyamız'da %8 oranında bulunan alüminyumun, yapısal özellikleri de dikkate alınarak alüminyum alaşımları halinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar[24].

Tablo 2.5'de taşıtlarda yaygın olarak kullanılan alüminyum parçaların şekillendirme yöntemlerine göre sınıflandırılması gösterilmektedir[24].

Tablo 2.5 Taşıtlarda kullanılan alüminyum esaslı parçaların şekillendirme yöntemleri ve ağırlıkları[24]

Parça	Şekillendirme Yöntemi	Tipik ağırlık (kg)
Kasa	Döküm,ekstrüzyon,hidro	130-180
Gövde paneli	Şekillendirme, kstrüzyon,levha	
İç yüzey levhaları	Levha	50-70
Motor bloğu ve silindir kapağı	Levha	50-70
Egzoz manifoldu	Döküm	60-80
Pistonlar	Döküm	10
Transmisyon kutusu	Döküm	n/a
Diferansiyel kutusu	Döküm	2-5
Jantlar	Döküm	2.3
Fren parçaları	Döküm	5-8
Süspansiyon parçaları	Döküm, hidroform,ekstrüzyon	1
Yakıt tankı	Döküm	30-50
Radyatör	Levha	5
A/C kondansör	Ekstrüzyon,levha	10-20
	Ekstrüzyon, levha	5

Al ve alaşımları; döküm, levha ve profil halinde taşıt yapımında birçok parça imalatında kullanılmaktadır. Otomobillerde kullanılmakta olan döküm alüminyum alaşımı parçalar bir otomobilin: motor sistemi, çerçeve ve bağlantı elemanları, fren sistemi, enjeksiyon sistemi gibi ana gruplarında kullanılır. Alüminyum döküm parçaların en çok kullanıldığı alanlar (otomobillerde), motor, vites ve aks sistemleridir[24].

2.12.1 Motor Parçaları:

Otomobillerdeki en ağır ünitelerden birisi motordur. Bu sebeple, motor aksamalarında alüminyum kullanımı ile çok büyük miktarlarda ağırlık tasarrufu potansiyeline sahip olunabilir. Birçok motor, alüminyum motor kapağına sahiptir ve bazılarının motor blokları da alüminyumdur. Dizel motorlarda alüminyum kullanımı daha azdır. Çünkü bu motorlar benzin motorlarına göre daha yüksek dayanım gerektirirler[24].



Şekil 2.26 Yüksek oranda alüminyum kullanılarak üretilmiş yüksek performanslı bir motor[24]

2.12.2 Akslar:

Alüminyumun akslarda kullanımı nispeten daha yenidir. Alüminyum kullanımı, çok zor koşullarda işlev gören bu parçada, yüksek dayanım ve hafiflik sağlamıştır. Bu uygulamalarda alüminyumun hafifliği aracın sadece genel performansı ve yakıt ekonomisini arttırmakla kalmamaktadır, aynı zamanda titreşim ve gürültüyü de azaltmaktadır[24].



Şekil 2.27 Yüksek oranda alüminyum kullanılan bir otomobil arka aksı[24]

2.12.3 Jantlar:

Alüminyum jantlar bir aracın yol tutuş ve hâkimiyeti önemli ölçüde artırır ve yayılanmayan ağırlığını önemli ölçüde azaltır. Alüminyum jantlar paslanmaya karşı hassas değildir. Otomobillerde ilk olarak sadece estetik sebeplerle, seçime bağlı donanım olarak sunuldu. Şimdilerde ise, alüminyum jantlar birçok araçta standart donanımdır[24].



Şekil 2.28 Alüminyum döküm yöntemiyle üretilmiş bir otomobil jantı[24]

2.12.4 Alüminyum Gövde:

Dayanım, hafiflik ve mükemmel çarpışma özellikleri ile Alüminyum malzeme uzun zamandır taşıt gövdelerinde kullanılmaktadır. Alüminyum özellikle tır, otobüs gibi ticari araç gövdelerinde ilk önce tercih edilen gövde malzemesi arasındadırlar[24].

2.12.5 Alüminyum Gövde Panelleri:

Alüminyum gövde panelleri (son 15 yıl boyunca) birçok yüksek adetle seri üretilen araçta kullanılmıştır. Alüminyumun orta sınıf bir sedan aracın kaputunda kullanımında %40-60 arasında, yani ortalama 11 kg'lık ağırlık kazanımı gerçekleşmektedir[24].

2.12.6 Alüminyum Ekstrüzyon Gövde Profilleri:

Ekstrüzyon yöntemiyle üretilen alüminyum profiller otomotiv gövde yapılarında yoğun olarak kullanılmaktadırlar. Alüminyum uzay kafes teknolojisi ile araç gövdesi üretiminde, dünya otomotiv endüstrisi hızla ilerlemektedir[24].



Şekil 2.29 Alüminyum çarpma kutusu[24]

Çizelge 2.4 Taşıtlarda yaygın olarak kullanılan Al döküm parçalar[36]

Alaşım uygulaması	Uygulama Alanı
1000 serisi (yüksek saflıkta)	
1100	Plakalar,aplikler
1200	Ekstrüzyon ürünü kondenser boru ve kanatlar
2000 serisi(bakır alaşımları)	
2008	iç ve dış gövde panelleri
2010	iç ve dış gövde panelleri
2011	vida makine parçaları
2017	mekanik bağlantı elemanları
2024	mekanik bağlantı elemanları
2036	iç ve dış gövde panelleri, koltuk iskeleti
2117	mekanik bağlantı elemanları,
3000 serisi (mangan alaşımlar)	
3002	
3003	plaka, aplik
3004	sert lehim radyatör boruları, ısıtıcı göbekler, kanatlar
3005	iç paneller ve komponentler
3102	radyatör,ısıtıcı ve buharlaştırıcı kanatlar
5000 serisi (Mg alaşımları)	ekstrüde kondenser borular
5005	
5052	plaka,aplik
5182	iç paneller ve parçaları, kamyon tamponları, gövde panelleri
5457	iç gövde panelleri,çamurluk,ısı kalkanları,yapı elemanları
5657	aksesuar
5754	aksesuar
6000 serisi (Mg-Si alaşımları)	çeşitli komponentler, jant,motor aksesuarları
6009	
6010	iç gövde panelleri,çamurluk, ısı kalkanları, yapı parçaları
6053	iç ve dış gövde panelleri,dirsekler, tampon krişleri, dirsekler, yapı elemanları
6061	iç ve dış gövde panelleri, tampon takviyeler, koltuk kızakları
6063	mekanik bağlantı
	ekstrüde gövde komponentleri, dirsekler, dövme süspansiyon parçaları,tampon ve yapı elemanları, mekanik bağlantı elemanları,
6082	preslenmiş jantlar
6111	ekstrüde gövde elemanları
6262	ekstrüde gövde elemanları
6463	fren yatakları,yapısal parçaları
7000 serisi (çinko alaşımı)	
7003	
7004	gövde panelleri
7021	gövde panelleri
7072	fren yuvaları, fren pistonları, anodize bagaj raflar,
7116	hava deflektörler parçaları
7129	kondenser ve radyatör kanatları koltuk kızakları

2.13Metal Matrisli Kompozitlerde Kullanılan Takviye Elemanlarının Seçimi:

Metal matrisli bir kompozitte kullanım yerine bağlı olarak takviye fazından beklenen ana özellikler; yüksek modül ve dayanım, düşük yoğunluk, matris ile kimyasal uyumluluk, üretim kolaylığı ve yüksek sıcaklıkta dayanımını muhafaza etmesidir[13].

2.13.1 Bor Karbür(B_4C):

Günümüzde ileri teknolojinin önemli bir malzemesi; Yüksek ergime sıcaklığı ve yüksek sertlik, düşük yoğunluk, kimyasal maddelere karşı yüksek direnç, yüksek nötron absorplama ve yüksek mekanik özellikleri nedeniyle Bor karbürdür. Bor karbür (B_4C), fiziksel özelliklerine bağlı olarak çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bor karbür peletler nükleer reaktörlerde kontrol çubuğu olarak, hafif zırh malzemesi olarak plaka halinde helikopterlerde, can yeleklerinde ve yüksek sıcaklık malzemesi olarak kızdırıcılarda kullanılmaktadır. Bor karbür malzemesinin sertliği çok yüksektir. Bu sebeple, en çok aşındırıcı malzeme yapımında kullanılmaktadırlar. Bor karbürün diğer önemli bir kullanım alanı da, aşınmaya dayanıklı olan makine parçalarının üretimidir[43].

Bor karbür, etkili bir takviye malzemesinden beklenen, özellikle yüksek sertlik (elmas ve kübik bor nitrürden sonra en sert üçüncü malzemedir) ve rijitlik gibi mekanik ve fiziksel özelliklerin çoğunu gösterdiğinden, alüminyum ve alaşımları için çekici ve talep gören bir takviye malzemesidir[44].

Bilindiği üzere ülkemiz bor cevheri rezervi bakımından dünyada ilk sıradadır. Bu nedenle, bor ürünlerinin üretimi ve kullanımının yaygınlaştırılması büyük önem taşımaktadır. Bor karbür, düşük yoğunluk, yüksek sertlik ve elastisite modülü özelliğine sahip bir malzemedir. Bu nedenle, B_4C ile üretilen kompozitler nükleer reaktörlerde, kum veya abrasif püskürtme nozullarında, zırh malzemesi olarak, yüksek sıcaklığa ve aşınmaya dayanıklılık gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadır[45].

B_4C takviye elemanı olarak, etkili bir takviye malzemesinden beklenen birçok yüksek özelliği taşımaktadır. Ergime sıcaklığı $2445\text{ }^{\circ}\text{C}$ olup yoğunluğu da $2,52\text{ g/cm}^3$ tür. Bunun yanında yüksek sertlik ve rijitlik, üstün darbe ve aşınma direnci, yüksek

ergime noktasına sahip olmak ve düşük yoğunluk ile yüksek kimyasal direnç gibi üstün mekaniksel ve fiziksel özellikleri ile alüminyum için uygun bir takviye fazıdır[35].

Bor karbürün birçok kullanım alanı vardır. Bunlar;

- Makina ve çalışma aletleri yüzeylerinin işlenmesinde,
- Endüstriyel seramik yapı parçaları imalatında,
- Nükleer endüstride,
- Metalürji Endüstrisinde,
- Savunma Sanayinde kullanılmaktadır[46]

2.13.2 Silisyum Karbür (SiC):

Silisyum karbür(SiC), en çok kullanılan yapısal seramiklerden bir tanesidir. Tungsten karbür yerine, karmaşık mühendislik şekillerinde silisyum karbür kullanılmaya başlanmıştır. Silisyum karbüre doğada direkt rastlanmamasına karşın, temel bileşenleri olan silisyum ve karbona oldukça çok miktarda rastlanmaktadır[47].

Silisyum karbür(SiC) çok sert aşındırıcı bir malzemedir. Silisyum karbür, 2500 °C'de erimeden zengin silikon buharı ve karbon kalıntısına dönüşür. Silisyum karbür(SiC), çok yüksek sürünme dayanımına sahiptir. Seramik malzemeler içerisinde en dayanıklı olanlardan birisi sinterlenmiş SiC'dür[47].

SiC parçacıklar ucuz hammaddelerden elde edilebilmesi ve düşük yoğunluklu olması nedeniyle takviye fazı olarak tercih edilir[35].

2.13.3 Yitriyum Oksit(Y₂O₃):

Yitriyum oksit elektronik seramik malzemelerde yaygın olarak kullanılır[48] ve termodinamik açıdan çok dengelidir. Titanyum veya uranyum gibi çok sayıda duyarlı erimiş metallere daha dayanıklıdır[49]. Yitriyum oksit bir refrakter malzemedir. Alüminyum oksit, magnezyum oksit ve zirkonyumdan daha az termal genişlemesi vardır. Asitlerle çözünür, fakat suda çok az çözünür[50]. Renkli televizyonlarda genellikle Yitriyum oksit kaplı bir ekran aracılığıyla resim elde edilir [51]. Yitriyum oksit son derece etkili mikrodalga filtreleri olan itriyum-demir bileşimli lal taşlarının oluşturulmasında kullanılır. Yitriyum içerikli lal taşları, ilginç manyetik

özellikler gösterirler. Yttriyum -alüminyum taşı da, yapay elmas olarak değer görür [52]. Yttriyum oksit yüksek kızılötesi geçirgenlik, erozyon ve ısıl şoka karşı birlikte iyi bir direnç ile kızılötesi sensörler ve koruma kubbeleri için ideal bir malzemedir[53].

Yttriyum oksit sinterlemede silikat oluşturarak sıvı faz sinterlemesine ve böylece de porozite oranını düşürerek, yaklaşık olarak tam yoğunlukta(% 98) malzeme elde edilmesini sağlar[54].

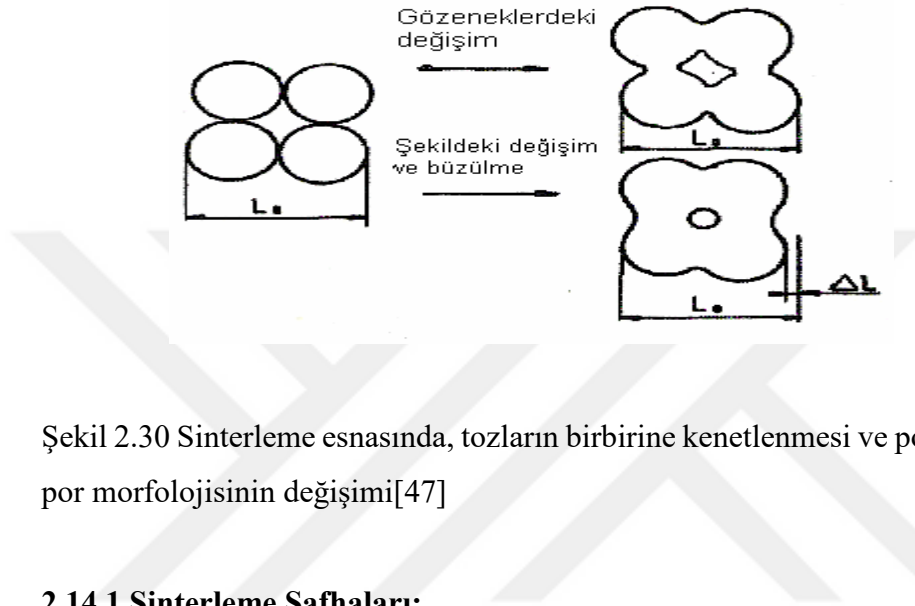
Tablo 2.6 B₄C, SiC ve Y₂O₃ takviye malzemelerinin özellikleri[55,56,57,58]:

Takviye Malz.	Yoğunluk (x 10 ³ kgm ⁻³)	Isıl Genleşme Katsayısı (10 ⁻⁶ C ⁻¹)	Ergime Sıcaklığı (°C)	Mukavemet (MPa)	Termal nötron yakalama kesiti (barn)	Termal İletkenlik (25 ° C'de) (W / mK)
B ₄ C	2,52	5	2445	2759 (24 °C)	600	30 - 42
SiC	3.1	5,40	2750	-	-	120
Y ₂ O ₃	5,03	-	2400	-	-	8-12
Takviye Malz.	Sertlik (kg.mm ⁻²)	Kırılma tokluğu (MPa.m ^{-½})	Elektriksel İletkenlik (25 ° C) (S)	Eğme Dayanımı (MPa)	Basma Dayanımı (MPa)	Elastiklik Modülü (GPa)
B ₄ C	2900-3580	2,9-3,7	140	400 - 400	2600	450-470
SiC	2800	4.6	-	550	3900	410

2.13Sinterleme:

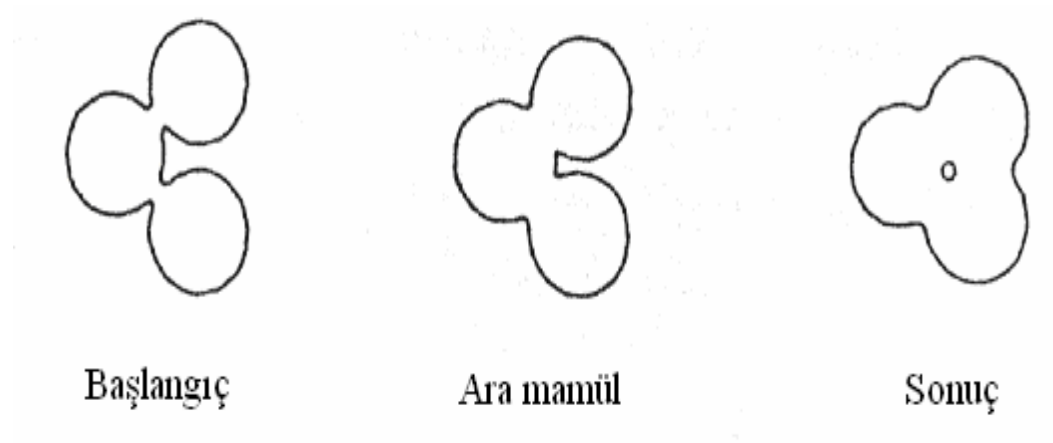
Preslenmiş malzemelere uygulanan bir ısıl operasyon olarak Sinterleme, presleme esnasında şekillendirilen parçaya uygulanan bir ısıl işlem olarak da tanımlanabilir. Sinterleme esnasında, difüzyon hızlandığından birbiri ile temas halinde olan tozlar arasında özellikle yüzeyde yer alan karmaşık atom difüzyonu, basınç ve

ısının tesiri sonucunda tozlar birbirine aralarında boyun oluşturarak kenetlenir. Böylece boşluk miktarı azalır ve densifikasyon sağlanır. Bu esnada porların şekilleri de küreleşir. İdeal bir sinterleşme sonunda porozite tamamen ortadan kalkar ve malzeme bir kitle haline gelir. Şekil 2.30’da sinterleşme esnasında, tozların birbirine kenetlenmesi ve porozite miktarı ile por morfolojisini değişimi görülmektedir[47].



Şekil 2.30 Sinterleme esnasında, tozların birbirine kenetlenmesi ve porozite miktarı ile por morfolojisinin değişimi[47]

2.14.1 Sinterleme Safhaları:



Şekil 2.31 Sinterleme safhaları[47]

2.14.1.1 Başlangıç safhası;

- ✓ Parçacık yüzeyi pürüzsüz ve yuvarlak gözenek
- ✓ Tane sınır yapısı
- ✓ Boyun oluşumu ve büyümesi

- ✓ Difüzyonla ayrılmış maddenin homojenisasyonu
- ✓ Açık gözenekler
- ✓ Küçük gözenek düşüşü < %12

2.14.1.2 Ara mamül fazı;

- ✓ Tane sınırının kesişmesi
- ✓ Açık gözeneklerin büzüşmesi
- ✓ Gözenekliğin bayağı düşmesi
- ✓ Yavaş tane büyümesi

2.14.1.3 Sonuç fazı;

- ✓ Kapalı gözenekler-yoğunluk >%92
- ✓ Kapalı gözenekler tane sınırını keser
- ✓ Gözenekler sınırlı boyuta büzüşür ya da kaybolur
- ✓ Taneciklerden daha büyük olan gözenekler çok yavaşça büzüşür

2.14.2 Sinterleme Mekanizmaları:

Sinterleme mekanizması, tamamen malzemenin taşınımına dayanır ve başlıca, atomların yayınması (yüzey ve hacimsel) ile vizkoz akışı kapsar. Malzemenin taşınımını kolaylaştırmak için işlem ancak yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilir. Sinterleme ile densifikasyonun sağlanması değişik şekilde yapılabilir. Bunlar tablo 2.7’de özetlenmiştir[47].

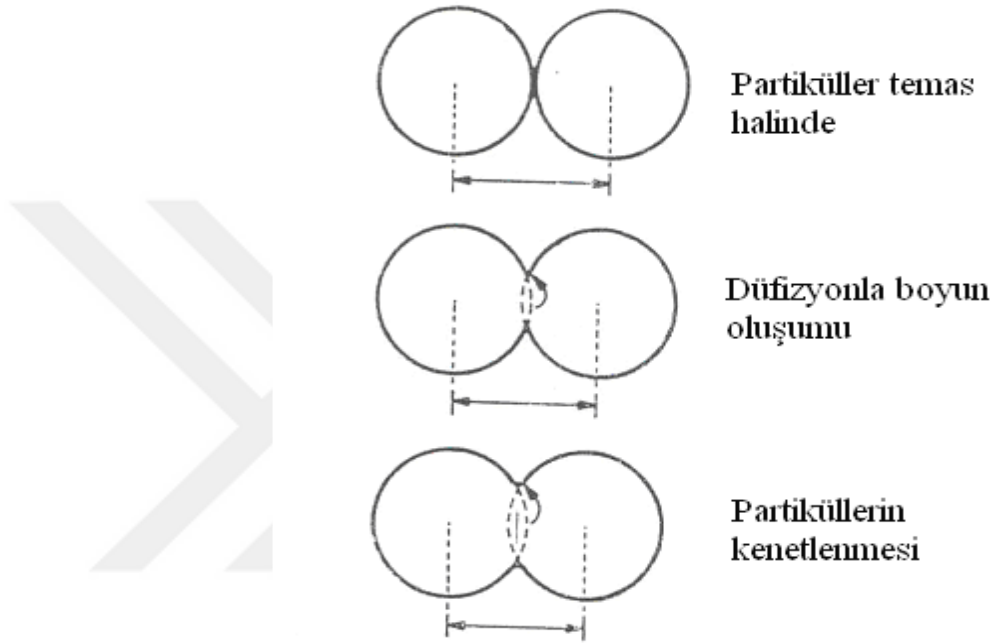
Tablo 2.7 Sinterleme mekanizmaları

Sinterleme Tipi	Taşınım Mekanizması	İtici Enerji
Buhar Fazı	Buharlaştırma / Süblümasyon	Buhar basıncındaki fark
Katı-Hal	Yayınma	Serbest enerji deki fark ($\Delta\mu$)
Sıvı Faz	Viskoz akış, yayınma	Yüzey gerilme si kapiler basınç
Reaktif Sıvı	Viskoz akış, yayınma	Yüzey gerilmesi kapiler basınç

Sinterlenen malzemenin özelliklerinde birçok değişme olur. Seramiklerde mukavemet, ısı iletkenlik, yoğunluk, saydamlık ve yarı saydamlık artar.

2.14.2.1 Katı-Hal Sinterlemesi:

Katı-hal de sinterleme, yayınma ile malzeme taşınımını içerir. Bu süreç için gerekli itici güç, boyun bölgesi ile tozun yüzeyi arasında meydana gelen serbest enerji veya kimyasal potansiyel farkıdır. Şekil 2.32’de katı-hal sinterlemesinde malzemenin taşınımı şematik olarak görülmektedir (Atomların yayınması ile atom boşluklarını yayınması zıt yöndedir) boyun bölgesi, atom boşlukları için kaynak ve tozların yüzeyleri de göç bölgesidir[47].



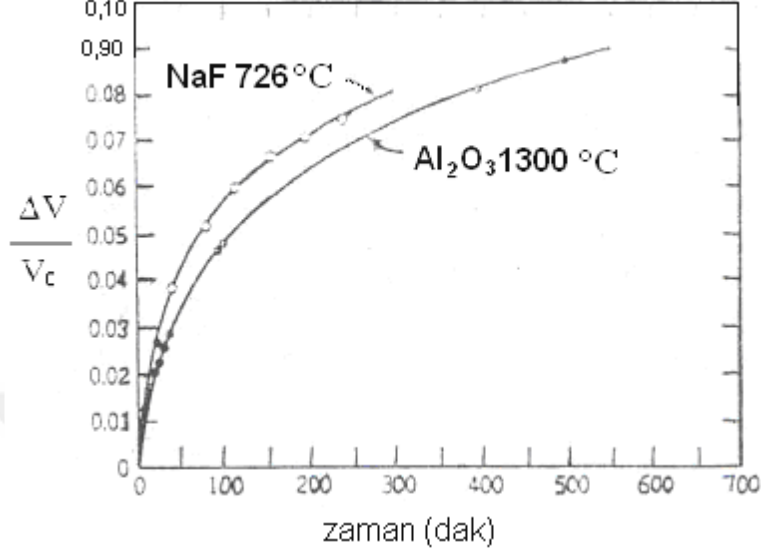
Şekil 2.32 Sinterleme esnasında, katı-hal malzeme taşınımı sonucu, boyun teşekkülü ile tozların kenetlenmesi[47]

2.15.2.1.1 Sinterleme Hızı

Sinterleme hızı şekil 2.33’de görüldüğü gibi sinterleme süresi ile azalır. Bu nedenle süre sinterlemeyi kontrol eden çok önemli bir parametre değildir. Sinterleme hızı:

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{3\Delta L}{L_0} = 3 \left(\frac{20 \cdot \gamma \cdot a^5 \cdot D^*}{\sqrt{2 \cdot kT}} \right)^{2/5} r^{-6/5} \cdot t^{-2/5} \quad (2.2)$$

ile verilir. Burada; γ , yüzey enerjisi, a^3 , yayınan boşluğun atomik hacmini, D^* , self-difüzyon katsayısını, r , toz yarıçapını ve t , sinterleme süresini göstermektedir[47].



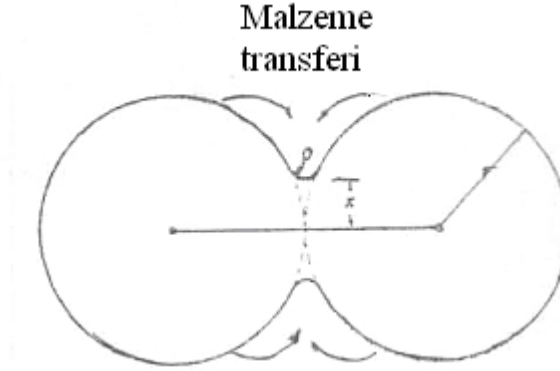
Şekil 2.33 Sinterleme hızının sinterleme süresi ile değişimi[47]

2.14.2.1.2. Sinterlemeyi Kontrol Eden Faktörler

- 1.Sıcaklık (sıcaklık arttıkça sinterleme hızlanır),
- 2.Toz boyutu (ince tozlar sinterleme süresini kısaltır veya daha düşük sıcaklıkta sinterleme imkânı yaratır),
- 3.Tozların sıkıştırılmasındaki homojenlik,
- 4.Toz boyutu dağılımıdır (Tek-boyutlu tozlar, sıkı biçimde istif edilmediğinden tercih edilmez)[47]

2.14.2.2 Buhar Faz Sinterlenmesi:

Yalnızca birkaç sistemde, buhar fazı sinterlenmesi önem taşır. Bu işlemi iten güç, yüzey eğriliği nedeniyle buhar basıncında meydana gelen farktır. Tozların yüzeyi, pozitif eğrilik yarıçapına sahip olup buhar basıncı yüksektir. Diğer taraftan, iki tozun birbirine temas ettiği boyun bölgesinde eğrilik çapı negatif olup, buhar basıncı düşüktür. Şekil 2.34'de buharlaşma ve çökme ile meydana gelen sinterlemenin ilk kademeleri görülmektedir. Bu süreç de, porların(böşlukların) morfolojisi değişebilir. Fakat densifikasyon gerçekleşmez[47].



Şekil 2.34 Buharlaşıma-kondensasyonla sinterlemede ilk aşamalar[47]

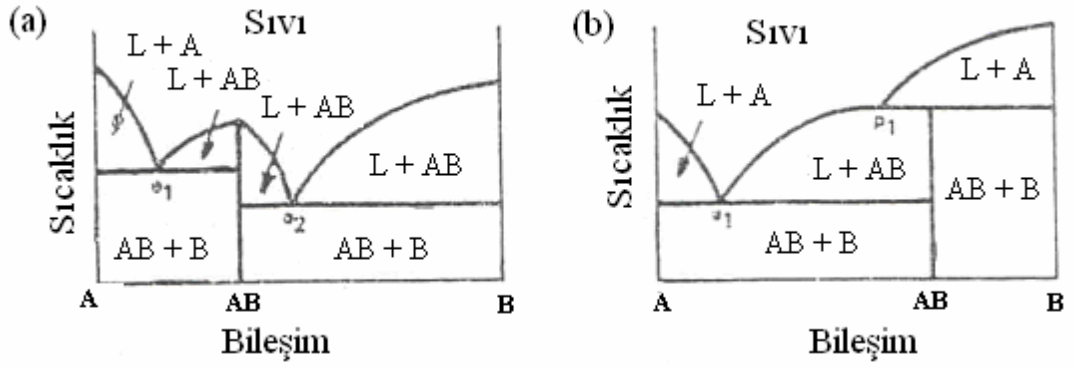
2.14.2.3 Sıvı Faz Sinterlemesi:

Sıvı faz sinterlemesi, yüksek ve düşük ergime sıcaklığına sahip farklı tozların sinterlemeleri sırasında oluşur. Sıvı faz sinterlemesi; Düşük ergime sıcaklığına sahip toz partiküllerinin ergiyerek katı tanelerin etrafını sarması, kaynaşması ve bu sıvı köprü yardımı ile sağlanması prensibine dayanır. Sıvı faz sinterlemesi üzerine gerçekleştirilen çok sayıda araştırma sonucu bu sürecin üç kademede oluştuğu kabul edilmiştir. Bunlar sırasıyla:

1. Sıvı akışıyla yeniden düzenlenme kademesi
2. Çözünme, yeniden çökelme kademesi
3. Katı hal sinterlenmesi kademesidir.

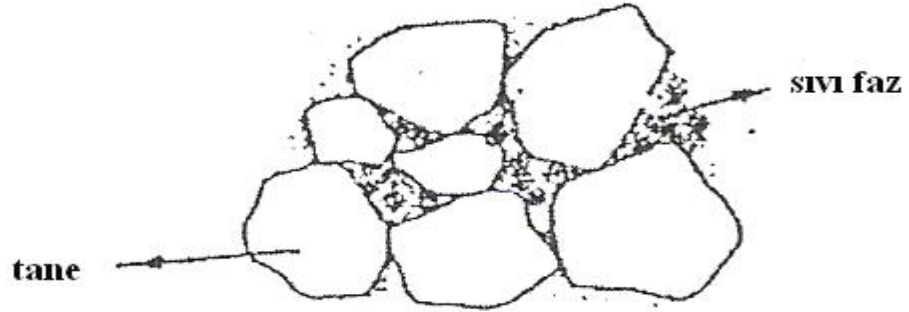
Bu işlemde, sinterleme sıcaklığında, fazlardan biri viskoz haldedir. Bu durum, özellikle de, ergime noktaları birbirinden çok farklı şekilde olan malzemelerin sinterlenmesinde görülür[47].

Silikat sistemlerde geniş ölçüde sıvı faz sinterlemesi uygulanır. İlgili faz diyagramının ile, sistemde yer alan sıvı fazın miktarı tahmin edilir. Şekil 2.35’de sıvı-faz sinterlemesinin uygulanabileceği iki faz diyagramı verilmiştir[47].



Şekil 2.35 Sıvı- faz sinterlemesi uygulanabilir ikili sistemler[47]

Sıvı faz sinterleme oluşumu şekil 2.36’da verilmiştir.

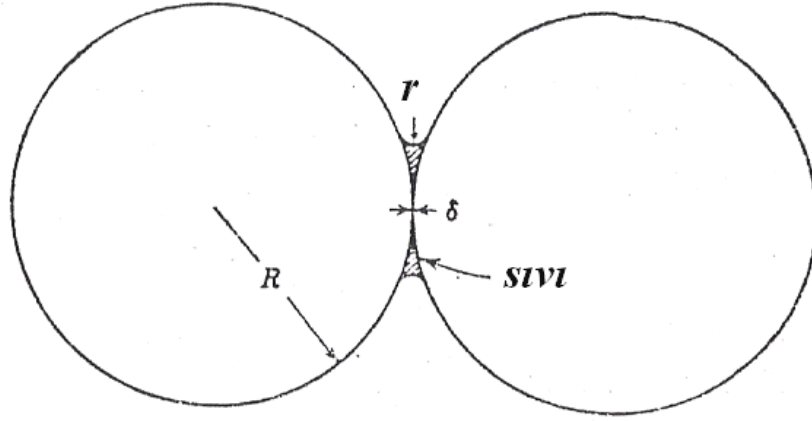


Şekil 2.36 Sıvı faz sinterlemesi[47]

2.14.2.4 Reaktif-Sıvı Sinterlenmesi:

Bu sinterleme, sıvı faz sinterlenmesine benzerdir. Fakat fark olarak sıvı ya bileşimini değiştirir veya ayrılarak kaybolur. Sinterleme sıcaklığında, katı fazın sıvı içerisinde sınırlı miktarda çözünbildiği sistemlere bu süreç uygulanabilir[47].

Bu proseste, sıvı fazdaki negatif eğrilik yarıçapı, katı tozlara kıyasen negatif basınç yaratır ve tozları bir arada tutar. Bu arada δ bölgesinde oluşan basma kuvvetleri sıvı içerisinde katının çözünürlüğünü artırır. Böylece tozlar arasındaki malzeme çözünerek birbirine kenetlenir[47].



Şekil 2.37 Tozlar arasında bulunan sıvı damlası, temas bölgesinde basma kuvvetlerine neden olarak tozları bir arada tutar[47]

2.14.3 Sinterleme Problemleri:

Sinterleme işlemleri esnasında teknolojiye bazı problemlerle karşılaşılır. Bunlar, çökme, aşırı sinterleme, bağlayıcıların yanması, ayrışma reaksiyonları ve polimorfik dönüşümlerin yer almasıdır. Pişme sırasında ortaya çıkan hataların bir kısmını, üretimin diğer aşamalarında aramak yerinde olur[47].

Fırın sıcaklığının çok çabuk yükselmesi sonucu ortaya çıkan pişme çatlakları da diğer bir sinterleme hatasıdır. Bu olay, daha çok, kimyasal suyun uçtuğu 400-600 °C arasında olur. Sinterlenen malların çok çabuk soğuması da çatlaklara yol açar. Bunlara ise soğuma çatlağı adı verilir. Sinterlenmemiş mallarda soğuma hızı 10-25 °C/saat'in üzerinde ve sinterlenmiş mallarda 7-15 °C/saat'in üzerinde ise soğuma çatlakları oluşur[47].

2.15Kaplama:

Bir malzemenin diğer bir malzeme üzerine, uygulandığı yüzeyin, mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla istenilen kalınlıkta bir tabaka biriktirilmesi “kaplama işlemi” olarak tanımlanır[59].

2.15.1Yüzey Kaplama Teknikleri:

2.15.1.1 Yüzey İşlemleri:

Bir malzeme yüzeyine başka bir malzemenin difüzyonu sonucunda yüzeyde bir bileşik tabakasının oluşturulması (Nitrürleme, karbürleme, borlama, vb.)[60].

2.13.1.1.1 Termokimyasal Kaplamalar:

Karbürleme, dekarbürizasyon, nitrürleme, borlama, vanadyumlama veya niobyumlama gibi farklı yöntemleri, termokimyasal işlemler veya termokimyasal difüzyon işlemleri kavramını kapsar. Yabancı element atomlarının iş parçasına difüzyonuyla malzemenin yüzeyini değiştirmek, bu yöntemlerin amacıdır. Bu amaçla, üretilen tabakalarla, malzemeler özel kullanım amacına uygun özellikler kazanır. Bu yöntemler arasında en tanınmış yöntemler; karbürleme ve nitrürlemedir. Malzemelerin korozyon dayanımı veya aşınma direncini artırmak termokimyasal yöntemlerin kullanımıyla mümkündür[60].

2.13.1.1 Yüzey Kaplamaları:

Bir malzeme üzerine, başka bir malzemenin katılması ya da çöktürülmesi işlemidir (metal-alaşım-bileşik-seramik kaplama, boya-cam-beton-emaye kaplama vb.)[60].

2.15.1.2 Yüzey Kaplamaları:

- 1- Kimyasal Yüzey Kaplama(Electroless Kaplama)
- 2- Elektrolitik Yüzey Kaplama
- 3- Galvanizleme
- 4- Emaye Yüzey Kaplama
- 5- Termal Sprey Yüzey Kaplama Teknikleri
- 6- Sol-jel Yüzey Kaplamalar
- 7- Fiziksel Buhar Biriktirme(PVD)
- 8- Kimyasal Buhar Biriktirme(CVD)[60]

2.15.1.2.1 Kimyasal Kaplama(Electroless Kaplama)

Kaplanacak metalin iyonlarını ve bir indirgeyiciyi içeren çözeltiye daldırılan metalin kaplama olayı Kimyasal kaplama olarak anılır. Burada, elde edilen kaplama, kaplanacak metalin her yanında ve eşit kalınlıktadır. Bu durum, özellikle korozyondan korunulması açısından büyük avantaj sağlar. Elde edilen kaplama “metal” değil alaşımdır. İndirgeyicinin türüne göre fosforlu veya borlu bir metal alaşımı elde edilir. Bu tip kaplamalar amorf yapıya sahiptir ve korozyon dirençleri yüksektir. Sertlikleri ısıtıl işlem ile artırılabilir. Nikel, bakır, kobalt, kalay, gümüş uygulamada akımsız olarak kaplanmaktadır[61].

2.15.1.2.1.1 Akımsız Nikel Kaplama Tekniği:

Akımsız Nikel Kaplama metodu (İlk kez 1946 yılında Brenner&Riddell tarafından gerçekleştirilen) farklı sanayi türlerinde korozyon ve aşınma dirençleri sebebiyle çok sıklıkla kullanılan bir kaplama türüdür. Nikel iyonlarının bir indirgeyici yardımıyla otokatalitik olarak indirgenmesi ile akımsız nikel kaplama üretilmektedir. Çeşitli indirgeyici bileşikler kullanılmaktadır. Bunlardan en önemli dört tanesi şöyledir; Sodyum Hipofosfit, Aminoboranlar, Sodyum Borhidrür ve Hidrazin[62].

Aakımlı kaplamalara göre, akımsız nikel kaplama koroziif saldırılara karşı daha etkili bir bariyer sağlayan bir kaplama türüdür. Akımsız kaplamalar, benzersiz fizikokimyasal ve mekanik özellikleri bulunan uygulamalardır. Akımsız kaplamaları kullanışlı kılan bu özelliklerinden bazıları şunlardır;

- Homojenlik,
- Mükemmel korozyon direnci,
- Aşınmaya ve aşındırmaya karşı direnç,
- Lehimlenebilirlik,
- Yüksek sertlik,
- Amorf ve mikrokristal katman,
- Düşük sürtünme katsayısı,
- Parlaklık,
- Öz direnç,
- Manyetik özellikler[62]

Akımsız nikel kaplamalar akım kullanılmaması ve sadece kimyasal bir reaksiyonun gerçekleşmesi sebebiyle kimyasalın alt tabakaya değdiği her yer eşit kalınlıkta nikel kaplanabilir[62].

Neredeyse her sektörde akımsız nikel kaplama uygulamaları uygulanabilir. Bu kaplamayı çok tercih edilen bir kaplama türü yapan, çeşitli fiziksel özellikleridir (örneğin sertlik, aşınma direnci, korozyon direnci ve kaplama uniformluğu)[62].

Otomotiv, hava araçları ve uzay, petrol sanayi, kimya sanayi, elektrik-

elektronik, yiyecek, denizcilik, tıp ve ilaç sanayi, askeri, madencilik, demiryolu ve tekstil sektörü en yaygın kullanım alanlarıdır[62].

2.15.1.2.6 Sol-jel Kaplamalar:

Sol (Solüsyon): Hidroliz ve yoğunlaşma polimerizasyonu geçirerek, bir sıvı ortam içerisinde "jel" oluşturan ince tanelerin koloidal süspansiyonudur. Bu, aktivasyon aşamasında meydana gelir[63].

Jel: Jeller, kararlı durumdayken akışkanlık göstermeyen, büyük ölçüde seyreltilmiş çapraz bağlı ince ve gevşekten, sert ve sıkıya kadar çeşitli özelliklere sahip, katı, jölemsi materyal bir sistem olarak tanımlanır. Bir jel, kaplama olarak uygulanıp kurutulduğunda, seramik görünümlü sert, cama benzer bir tabaka oluşur[63].

Sol-jel teknolojisi organik ve inorganik kimyanın bir karışımıdır. Sol-gel teknolojisi kullanılarak üretilen kaplamalar daha doğru bir ifadeyle seramik benzeri olarak tanımlanırlar[63].

Sol-jel prosesi, bir sıvı faz içinde bulunan katı taneciklerden oluşan koloidal süspansiyonların (sol) ve sonrasında sürekli bir sıvı faz içerisinde üç boyutlu katı inorganik ağ yapılarının (jel) oluşmasını içerir[64].

2.15.1.2.6.1 Sol – Gel Oluşumu:

Zamana bağlı bir dizi işlem adımı ile Sol-jel sentezlenmesi oluşur. Çözelti oluşturma adımı ilk adımdır. Bu adımda, çeşitli başlangıç maddeleri uygun çözücülerle reaksiyonu neticesinde homojen çözelti hazırlanır[64].

2.15.1.2.6.2 Sol-Jel Yöntemin Avantajları:

- Her şekilde ve boyutta numune kaplaması yapılabilir (Tüp, boru çubuk gibi farklı geometriye sahip numuneler kolaylıkla kaplanabilir).
- Düzgün kalınlık elde edilir.
- Kalınlık kontrol edilebilir.
- Katkı miktarını minimum düzeyde tutmak bu yöntem ile daha kolaydır.
- Çözücü veya çözeltinin özelliklerine çok duyarlı değildir.

- Fazla miktarda numune aynı anda ekonomik bir şekilde kaplanabilir.
- Kolay bir yöntem olduğundan maliyeti daha ucuz olabilir[64]

2.15.1.2.6.3 Sol-Jel Yöntemin Dezavantajları:

- Özellikle büyük taşıyıcılar için büyük miktarda çözelti gereklidir. Çözelti pahalı ise veya çözelti sabit değilse bu yöntem elverişli değildir.
- Çapraz katkısından dolayı çok katmanlı sistemler için çok iyi bir yöntem değildir (fakat kullanılabilir).
- İşlem sırasında taşıyıcının her iki tarafı kaplandığından sadece bir tarafına kaplama yapmak istendiğinde diğer yüze maskeleme yapmak gereklidir[64].



3.MATERYAL VE YÖNTEM

Matris malzemesi olarak AA2024 Alüminyum Alaşım tozu belirlendi. Katkı malzemesi olarak; farklı tane boyutu ve oranlarında, B_4C (Bor Karbür), SiC (Silisyum Karbür) ve Y_2O_3 (Yitriyum Oksit) kullanıldı. Seramik malzemelerin, metal ve polimerlere kıyasla daha iyi mekanik özellikleresahip olduğu bilinmektedir. Yüksek sıcaklıklara karşı dayanımı, yüksek aşınma direnci, kimyasallara karşı korozif dayanımı ve düşük yoğunluk özellikleri bunlar arasında sayılabilir. Seramiklerin üstün olan özelliklerinin metal kompozit malzemelere kazandırılması için: AA2024 Metal Bazlı Toz Alaşımına katılan seramik katkı malzemeleri ile; $Al-B_4C$, $Al-B_4C-SiC$ ve $Al-B_4C-Y_2O_3$ kompozitlerin Toz Metal yöntemiyle üretilmesi amaçlandı.

Takviye malzemeleri olan B_4C (Bor Karbür), SiC (Silisyum Karbür) ve Y_2O_3 (Yitriyum Oksit) AA2024 matris içerisine kaplamalı (Nikel kaplı Bor Karbür; Silisyum Oksit kaplı Silisyum Karbür ve Alüminyum Oksit kaplı Yitriyum Oksit) ve kaplamasız olarak ilave edilerek iki ana grup oluşturuldu.

Kaplamalı ve kaplamasız olmak üzere: Matris+Takviye karışımı farklı oranlarda ayarlanarak alt gruplar oluşturuldu. Farklı oranlarda homojen bir şekilde karıştırılan toz numuneler, 100 tonluk tek taraflı hidrolik presyardımıyla; 10x10x55 mm ölçülerine göre hazırlanan kalıba(2379 Soğuk İş Takım Çeliği ve Ç1050 Çeliği) 525 MPa basınç altında sıkıştırılarak, kompozit malzeme üretildi. Ham numuneler: 550, 575 ve 595 °C'de, 5 °C/dk ısıtma hızında, 45 dakika boyunca sinterlendi. Üretilen kompozitlerin sertlik, yoğunluk, üç noktadan eğme, basma ve aşınma özellikleri araştırıldı. SEM, EDS, Optik Mikroskop ve XRD analizleri yapıldı. Üretilen numunelerdeki farklı takviye malzemelerinin mekanik özellikleri olumlu yönde değiştirdiği anlaşılmıştır. İki ana gruba ayrılan deneysel çalışmanın birincisinde: AA2024 matris içerisine seramik katkı malzemeleri olan B_4C (Bor Karbür), SiC (Silisyum Karbür) ve Y_2O_3 (Yitriyum Oksit) kaplama yapılmadan ilave edilerek kompozit malzeme üretildi. İkinci çalışmada ise: Seramik katkılı Metal Matrisli Kompozitlerde, takviye fazlarının, metal tarafından ıslatılabilmesi için, takviye tozlarının kaplanması mekanik özellikler üzerine olan etkileri incelendi. Seramik takviye elemanları olan B_4C (Bor Karbür) Nikel ile(Akımsız Nikel Kaplama); SiC (Silisyum Karbür) Silisyum Oksit ile(900 °C'de ısıtma işlemi ile kaplama)ve

Y₂O₃(Yttriyum Oksit) ise Alüminyum Oksit ile(Sol-Jel) kaplama yapıldıktan sonra matrise ilave edildi. Daha sonra iki çalışmanın sonuçları karşılaştırıldı.

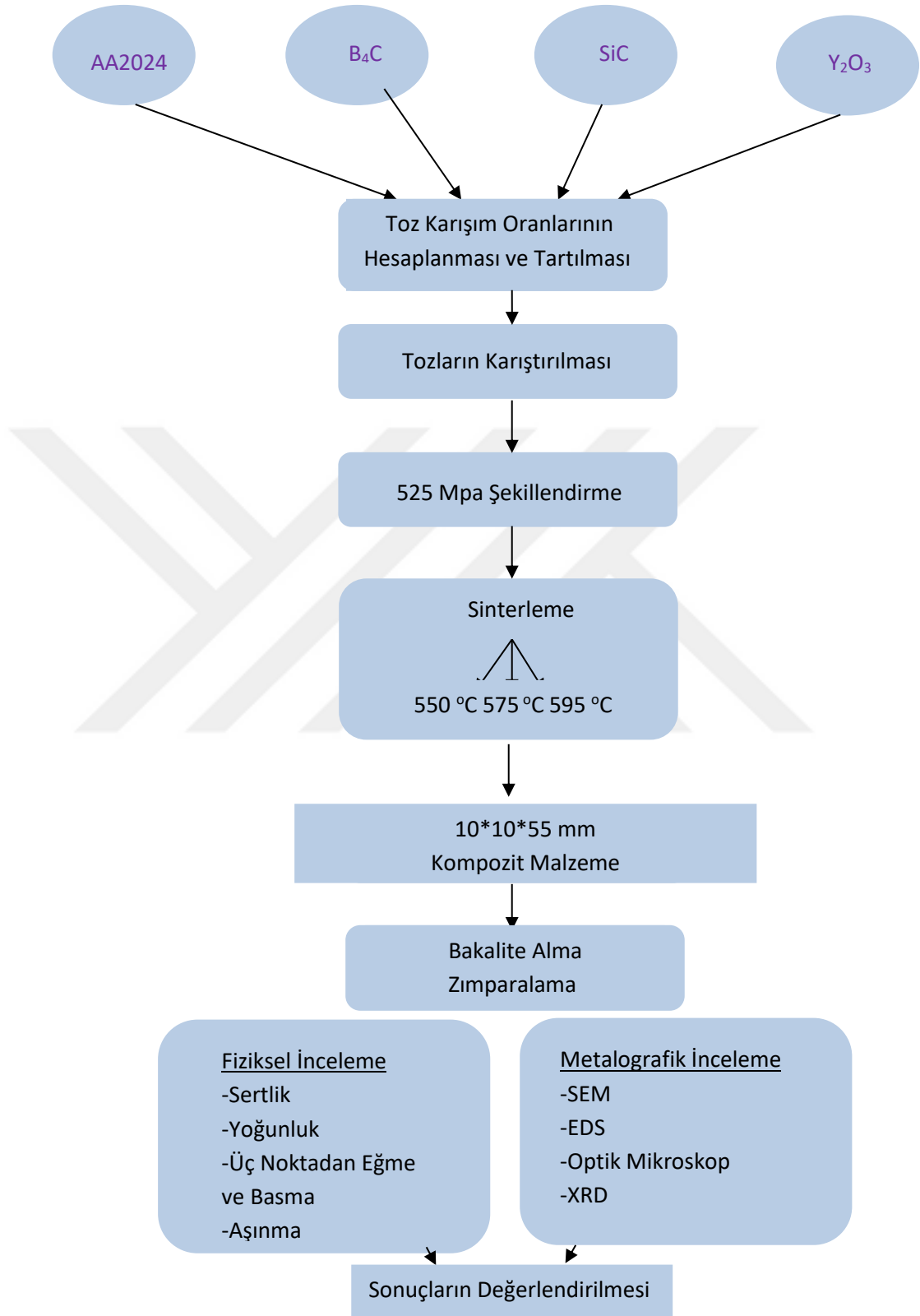
Çizelge 3.1 Takviye Malzemelerinin Kaplamasız Olarak Matrise İlave Edildiği 1. Grup

TAKVİYE MALZEMELERİNİN KAPLAMASIZ OLARAK MATRİSE İLAVE EDİLDİĞİ ÇALIŞMA													
1. Alt Grup: AA2024+B4C													
Sıra No	% AA2024	% B4C	AA2024 Tane Boyutu (µm)	B4C Tane Boyutu (µm)	Basınç (MPa)	Alt Sıra No	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Isıtma Hızı (°C/dak.)	Sinterleme Süresi (dak.)/Atmosferi	Numune Adedi			
1	100	0	100-150	-	525	1-a	550	5	45/Normal	5			
						1-b	575			5			
						1-c	595			5			
2	93	7		1.		10	2-a			550	5		
							2-b			575	5		
							2-c			595	5		
3	93	7		22-59		10	3-a			550	5		
							3-b			575	5		
							3-c			595	5		
4	90	10		10		22-59	4-a			550	5		
							4-b			575	5		
							4-c			595	5		
5	90	10		10		22-59	5-a			550	5		
							5-b			575	5		
							5-c			595	5		
6	85	15		10		22-59	6-a			550	5		
							6-b			575	5		
							6-c			595	5		
7	85	15		10		22-59	7-a			550	5		
							7-b			575	5		
							7-c			595	5		
8	80	20		10		22-59	8-a			550	5		
							8-b			575	5		
							8-c			595	5		
9	80	20		10		22-59	9-a			550	5		
							9-b			575	5		
							9-c			595	5		
2. Alt Grup: AA2024+(B4C+SiC)													
Sıra No	% AA2024	% B4C	% SiC	AA2024 Tane Boyutu (µm)	B4C Tane Boyutu (µm)	SiC Tane Boyutu (µm)	Basınç (MPa)	Alt Sıra No	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Isıtma Hızı (°C/dak.)	Sinterleme Süresi (dak.)/Atmosferi	Numune Adedi	
10	77	20	3	100-150	22-59	10	525	10-a	550	5	45/Normal	5	
								10-b	575			5	
								10-c	595			5	
11	70	20	10					2.	11-a			550	5
									11-b			575	5
									11-c			595	5
3. Alt Grup: AA2024+(B4C+Y2O3)													
Sıra No	% AA2024	% B4C	% Y2O3	AA2024 Tane Boyutu (µm)	B4C Tane Boyutu (µm)	Y2O3 Tane Boyutu (µm)	Basınç (MPa)	Alt Sıra No	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Isıtma Hızı (°C/dak.)	Sinterleme Süresi (dak.)/Atmosferi	Numune Adedi	
12	77	20	3	100-150	22-59	10	525	12-a	550	5	45/Normal	5	
								12-b	575			5	
								12-c	595			5	
13	70	20	10					13-a	550			5	
								13-b	575			5	
								13-c	595			5	
3.													

Çizelge 3.2 Takviye Malzemelerinin Kaplamasız Olarak Matrise İlave Edildiği 2. Grup

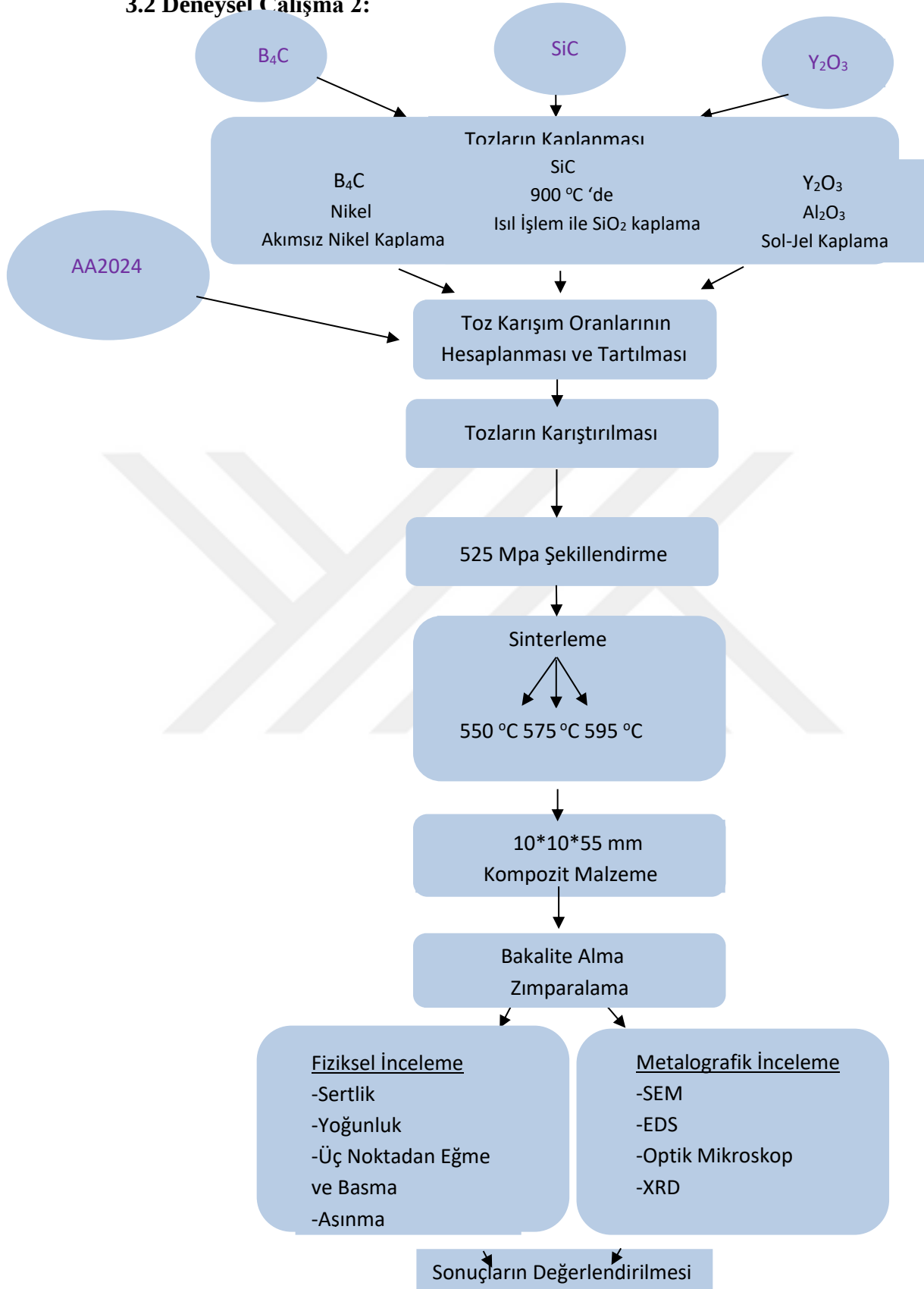
TAKVİYE MALZEMELERİNİN KAPLAMALI OLARAK MATRİSE İLAVE EDİLDİĞİ ÇALIŞMA												
Alt Grup: AA2024 + Ni Kaplı B-C												
Sıra No	% AA2024	% B-C (Ni Kaplı)	AA2024 Tane Boyutu (µm)	B-C Tane Boyutu (µm)	Basınç (MPa)	Alt Sıra No	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Isıtma Hızı (°C/dak.)	Sinterleme Süresi (dak.)/Atmosferi	Numune Adedi		
1	100	0	100-150	—	525	1-a	550	5	45/Normal	5		
						1-b	575			5		
						1-c	595			5		
2	93	7		10		2-a	550			5		
						2-b	575			5		
						2-c	595			5		
3	93	7		22-59		3-a	550			5		
						3-b	575			5		
						3-c	595			5		
4	90	10		10		4-a	550			5		
						4-b	575			5		
						4-c	595			5		
5	90	10		22-59		5-a	550			5		
						5-b	575			5		
						5-c	595			5		
6	85	15		10		6-a	550			5		
						6-b	575			5		
						6-c	595			5		
7	85	15		22-59		7-a	550			5		
						7-b	575			5		
						7-c	595			5		
8	80	20		10		8-a	550			5		
						8-b	575			5		
						8-c	595			5		
9	80	20		22-59		9-a	550			5		
						9-b	575			5		
						9-c	595			5		
Alt Grup: AA2024+(Ni Kaplı B-C + SiO2 Kaplı SiC)												
Sıra No	% AA2024	% B-C (Ni Kaplı)	% SiC (SiO2 Kaplı)	AA2024 Tane Boyutu (µm)	B4C Tane Boyutu (µm)	SiC Tane Boyutu (µm)	Basınç (MPa)	Alt Sıra No	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Isıtma Hızı (°C/dak.)	Sinterleme Süresi (dak.)/Atmosferi	Numune Adedi
10	77	20	3	100-150	22-59	10	525	10-a	550	5	45/Normal	5
								10-b	575			5
								10-c	595			5
11	70	20	10					11-a	550			5
								11-b	575			5
								11-c	595			5
Alt Grup: AA2024+(Ni Kaplı B-C + Al2O3 Kaplı Y2O3)												
Sıra No	% AA2024	% B-C (Ni Kaplı)	% Y2O3 (Al2O3 Kaplı)	AA2024 Tane Boyutu (µm)	B4C Tane Boyutu (µm)	Y2O3 Tane Boyutu (µm)	Basınç (MPa)	Alt Sıra No	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Isıtma Hızı (°C/dak.)	Sinterleme Süresi (dak.)/Atmosferi	Numune Adedi
12	77	20	3	100-150	22-59	10	525	12-a	550	5	45/Normal	5
								12-b	575			5
								12-c	595			5
13	70	20	10					13-a	550			5
								13-b	575			5
								13-c	595			5

3.1 Deneysel Çalışma 1:



Şekil 3.1 Takviye Malzemelerinin Kaplamasız Olarak Matrise İlave Edildiği Akım Şeması

3.2 Deneysel Çalışma 2:



Şekil 3.2 Takviye Malzemelerinin Kapıyama Olarak Matrise İlave Edildiği Akım Şeması

3.3 Tozların Kaplanması:

3.3.1 B₄C Tozlarının Ni İle Kaplanması:

Seramik takviye malzemelerinden B₄C partiküllerinin Ni ile kaplanması Akımsız Nikel(AN) Yöntemiyle gerçekleştirildi. Kaplanması işlemi sırasında katalizör olarak aşağıda verilen malzemeler kullanıldı.

- 1- C₃H₆O (Aseton)
- 2- SnCl₂.H₂O ve HCl (Kalay Klorür Monohidrat ve Hidro Klorür)
- 3- PdCl₂ ve HCl (Paladyum Klorür ve Hidro Klorür)
- 4- NiCl₂ (Nikel Klorür)
- 5- NaH₂PO₂.H₂O (Sodyumdifosfit Monohidrat)
- 6- Na₃C₆H₅O₇ (Sodyum Sitrat)
- 7- NH₄Cl (Amonyum Klorür)

3.3.1.1 B₄C Tozunun Temizlenmesi:

İlk önce B₄C tozu Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan RADWAG PS 1000/C/2(S/N:397275/13) marka hassas terazide tartıldı ve yine Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan TRANSSONIC 460/H marka ultrasonik banyoda behere konan aseton içerisinde 15 dakika ultrasonik temizleme işlemine tabi tutuldu. Daha sonra tozlar elek kâğıdı yardımıyla süzüldü ve saf su ile yıkandı.



Şekil 3.3 B₄C tozunun temizlenmesi işlemi (a: B₄C tozunun hassas terazide tartılması; b: Ultrasonik banyoda behere konan aseton içerisinde ultrasonik temizleme işlemi)

3.3.1.2 B₄C Tozunun Duyarlaştırılması:

Duyarlaştırma: Bir şeyi fiziksel, kimyasal etkiye karşı duyarlı duruma getirmek.

B₄C tozunun kaplamaya hazırlanması amacıyla duyarlaştırma işlemi aşağıdaki adımlara göre yapıldı;

B₄C tozu Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan TRANSSONIC 460/H marka ultrasonik banyoda behere konan ve SnCl₂.H₂O(kalay klorür monohidrat), HCl(hidro klorür) ile saf su içeren bir çözeltide 15 dakika duyarlaştırma işlemine tabi tutuldu ve akabinde tozlar tekrar elek kâğıdı yardımıyla süzüldü ve saf su ile durulanarak oda sıcaklığında kurumaya bırakıldı.



Şekil 3.4 B₄C tozunun duyarlaştırılması işlemi[a: B₄C tozunun behere konan SnCl₂.H₂O(kalay klorür monohidrat), HCl(hidro klorür) ile saf su içeren bir çözeltiye ilavesi; b: B₄C tozu ile SnCl₂.H₂O(kalay klorür monohidrat), HCl(hidro klorür) ile saf su içeren çözelti içerisinde ultrasonik banyoda]

3.3.1.3 B₄C Tozunun Aktivasyonu:

Aktivasyon: Bir molekül, bir atom veya bir iyonun normal durumundan, enerji yönünden daha zengin ve olaya girmeye hazır olduğu duruma geçmesi.

B₄C tozunun kaplamaya hazırlanması amacıyla aktivasyon işlemi aşağıdaki adımlara göre yapıldı;

İlk önce B₄C tozu Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan TRANSSONIC 460/H marka ultrasonik banyoda behere konan ve PdCl₂(paladyum klorür), HCl(hidro klorür) ve saf su içeren bir çözeltide 15 dakika aktivasyon işlemine tabi tutuldu ve akabinde tozlar elek kâğıdı yardımıyla süzüldü ve saf su ile durulanarak oda sıcaklığında kurutmaya bırakıldı.



Şekil 3.5 B₄C tozunun aktivasyon işlemi[a: B₄C tozu behere konan ve PdCl₂ (paladyum klorür), HCl (hidro klorür) ve saf su içeren çözelti içerisine ilavesi; b: Karışım ultrasonik banyo içerisinde; c: tozlar süzülde ve saf su ile durulanarak oda sıcaklığında kurutmaya bırakıldı]

3.3.1.4 Nikel Banyosunun Hazırlanması:

Nikel banyosu aşağıdaki malzemelerin tartılıp saf su ile karıştırılması ile hazırlandı.

NiCl₂(nikel klorür)

Na₃C₆H₅O₇(sodyum sitrat)

NH₄Cl(amonyum klorür)

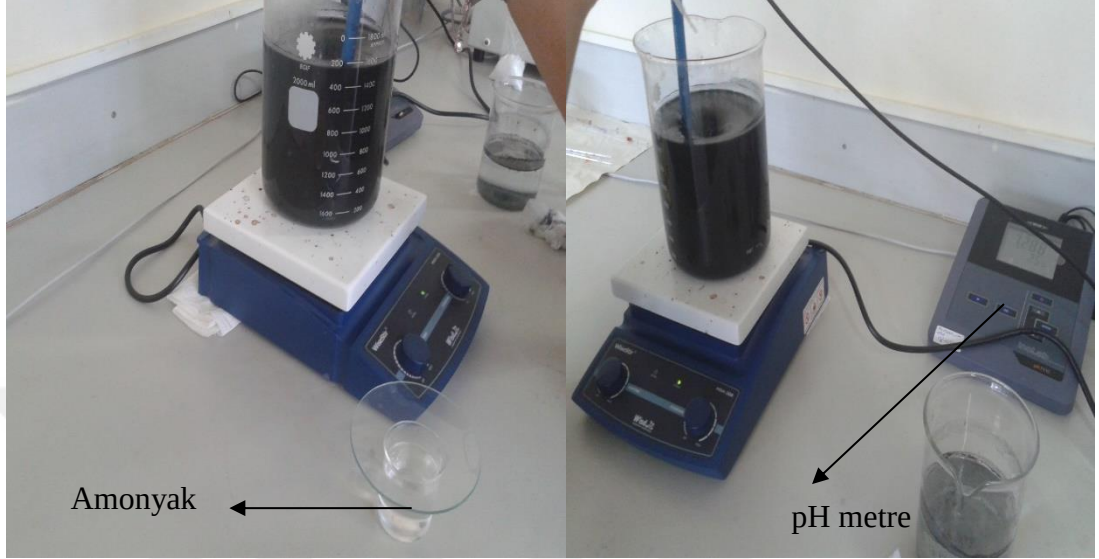


Şekil 3.6 Nikel Banyosunun Hazırlanması

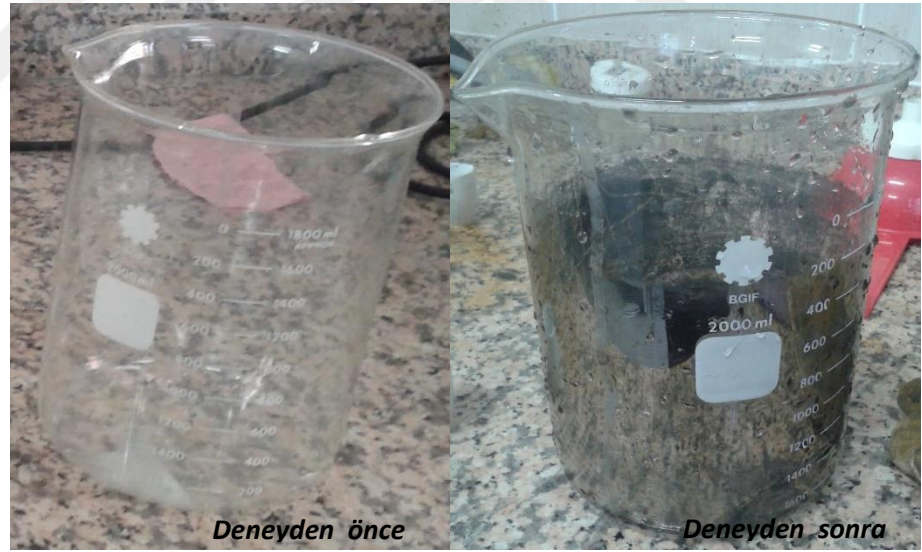
3.3.1.5 B₄C Tozunun AN ile Ni Kaplaması İşlemi:

Bu kaplamada, ıslatılabilirliği arttırmak ve matris ile takviye fazının arayüzeyinin güçlendirilmesi amacıyla, B₄C ‘ün Akımsız Nikel(AN) ile Ni kaplaması yapılmıştır. B₄C tozunun kaplanılmasında ilk olarak hazırlanan beher içerisindeki Ni banyosuna daha önceden aktif hale getirilen B₄C tozları katıldı. Hazırlanan karışım CBÜ Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği laboratuvarında bulunan Manyetik Karıştırıcıda 80-90 °C sıcaklıkta 1 saat süreyle karıştırılarak[pH değeri

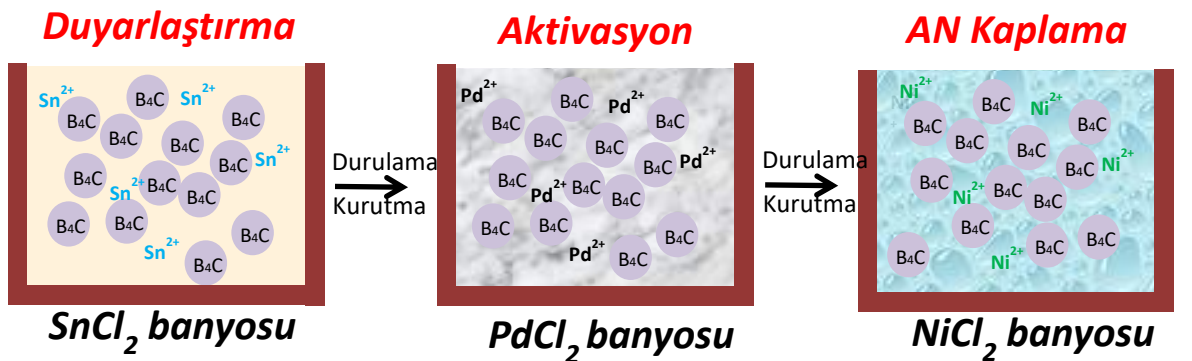
amonyak($\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) ilavesi ile 8-9 arasında olacak şekilde sürekli kontrol edildi] B_4C partikülleri için kaplama işlemi gerçekleştirildi. 1 saat karışımdan sonra çözeltinin sıcaklığı 85°C ve pH 8,5 olduğunda sodyumdifosfit monohidrat sisteme katıldı ve indirgenme meydana gelerek kaplama işlemi sonlandırıldı.



Şekil 3.7 B_4C tozunun manyetik karıştırıcıda kaplanılması



Şekil 3.8 B_4C tozunun kaplama işleminde kullanılan beherin görüntüsü



Şekil 3.9 AN kaplama uygulamasının şematik gösterimi

Akımsız Nikel(AN) metodu ile B₄C'nin Ni ile kaplanması için yeterli miktardaki toz ve kimyasal ölçümleri aşağıda verilen oranlar baz alınarak hesaplanmıştır:

5 gr için B₄C'nin Akımsız Nikel (AN) ile Ni kaplaması için optimum miktarlar:

5 gr B ₄ C için;	Temizleme	500 ml Aseton
	Duyarlaştırma	10 g/l SnCl ₂ .H ₂ O
		30 ml/l HCl
		500 ml Saf su
	Aktivasyon	0.25 g/l PdCl ₂
		3 ml/l HCl
		500 ml Saf su
5 gr B ₄ C için;	Nikel Banyosu	60 g NiCl ₂ (nikel klorür)
		30 g NaH ₂ PO ₂ .H ₂ O (sodyumdifosfit monohidrat)
		50 g Na ₃ C ₆ H ₅ O ₇ (sodyum sitrat)
		25 g NH ₄ Cl (amonyum klorür)
		500 ml saf su

3.3.2 Y₂O₃ Tozlarının Al₂O₃ İle Kaplanması:

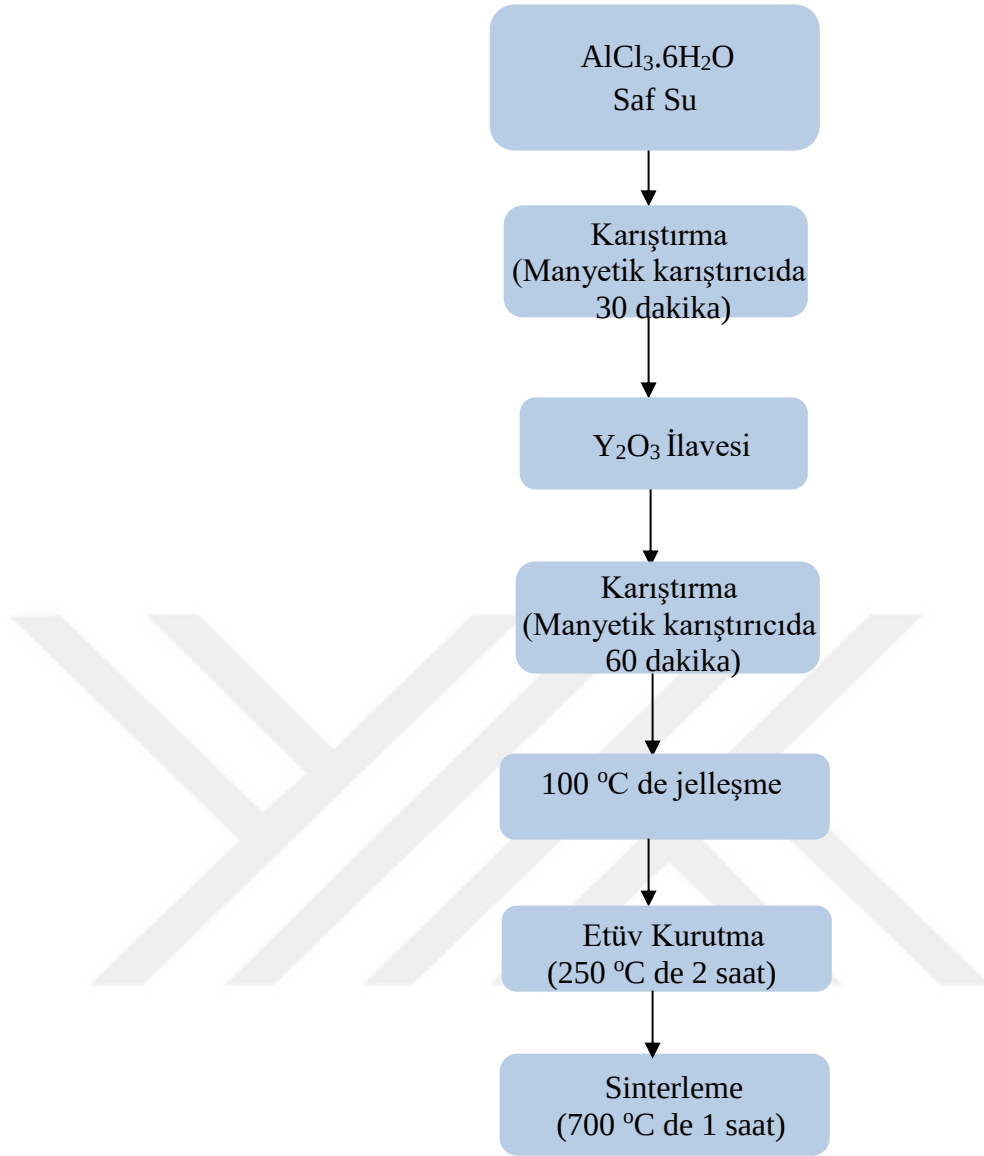
Sol (Solüsyon): Hidroliz ve yoğunlaşma polimerizasyonu geçirerek, bir sıvı ortam içerisinde "jel" oluşturan ince tanelerin koloidal süspansiyonudur. Bu, aktivasyon aşamasında meydana gelir[63].

Jel: Jeller, kararlı durumdayken akışkanlık göstermeyen, büyük ölçüde seyreltilmiş çapraz bağlı ince ve gevşekten, sert ve sıkıya kadar çeşitli özelliklere sahip, katı, jölemsi materyal bir sistem olarak tanımlanır. Bir jel, kaplama olarak uygulanıp kurutulduğunda, seramik görünümlü sert, cama benzer bir tabaka oluşur[63].

Y₂O₃'ün Al₂O₃ ile kaplanma işlemi Sol-Jel metoduyla gerçekleştirildi. Y₂O₃ partiküllerinin Al₂O₃ ile kaplanması için AlCl₃.6H₂O(alüminyum klorür hekza hidrat) ve katalizör olarak Asetik Asit kullanıldı. İlk etapta alüminayı oluşturmak için başlangıç solüsyonu hazırlanması amacıyla Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan RADWAG PS 1000/C/2 marka hassas terazide tartımlar yapıldı. Hazırlanan solüsyonda başlangıç malzemesi olarak AlCl₃.6H₂O kullanıldı. Bu başlangıç malzemesi saf su içerisinde Gıda Mühendisliği laboratuvarında bulunan manyetik karıştırıcıda 30 dakika karıştırıldı. Asetik Asit; solüsyona, reaksiyon hızını artırıcı katalizör görevi görmesi için ilave edildi. Solüsyon 30 dakika karıştıktan sonra transparan(tamamen çözünmüş) çözelti elde edildi, sonra Y₂O₃ malzemesi solüsyona katıldı ve 1 saat karıştırıldı. 1 saat sonunda karıştırma durduruldu ve solüsyon 100 °C de manyetik karıştırıcının ısıtıcısında jelleşmeye bırakıldı.

Hazırlanan çözelti içindeki solüsyon(saf su) tamamen uçuna kadar bekledikten sonra 250 °C de 2 saat etüv de kurutma uygulandı.

Kurutma sonrası beher içerisindeki tozlar toplandı, alümina havanda toz haline getirilerek kroze(seramik pota) yerleştirildi ve daha sonra 700 °C de 1 saat kül fırında sinterleme işlemi yapılarak çalışma tamamlandı.



Şekil 3.10 Sol-Jel metodu ile Al₂O₃ kaplama akış şeması

2 gr için Y₂O₃'ün Sol-Jel metoduyla Al₂O₃ ile kaplanma işlemi için optimum miktarlar:

2 gr Y₂O₃ + 5 ml Saf Su + 9,65 gr AlCl₃.6H₂O + 3 ml Asetik Asit



Şekil 3.11 Y_2O_3 tozlarının Al_2O_3 ile kaplanması(a: Tozların tartılması; b: Tozların manyetik karıştırıcıda karıştırılması; c: Jelleşmiş numune örnekleri; d: Fırında sinterleme işlemi)

3.3.3 SiC Tozlarının SiO₂ İle Kaplanması:

SiC tozu, Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan PROTHERM marka fırında 900 °C’de ısıtılma işlemi tabi tutuldu, daha sonra ulaşılan bu sıcaklıkta bekletilmeden hemen soğumaya bırakıldı ve bu şekilde yüzeyinde SiO₂ tabakası oluşturulduktan sonra matrise ilave edildi.

3.4 Toz Karışım Oranlarının Hesaplanması, Tartılması ve Karıştırılması:

AA2024, B₄C, SiC ve Y₂O₃ tozlarının karışım oranlarının hesaplanması için önce aşağıdaki denkleme göre karışımın yoğunluk hesapları yapıldı.

$$\rho_{kar} = [(\%W)_1 \times \rho_1] + [(\%W)_2 \times \rho_2] + \dots + [(\%W)_n \times \rho_n]$$

Burada;

ρ_{kar} : Toz karışımının yoğunluğu

$(\%W)_n$: Her bir bileşenin karışım içindeki yüzdesi

ρ_n : Her bir bileşenin yoğunluğudur

Daha sonra, aşağıdaki denkleme göre istenilen ebatlarda numune üretmek için gerekli toz karışım miktarı bulundu:

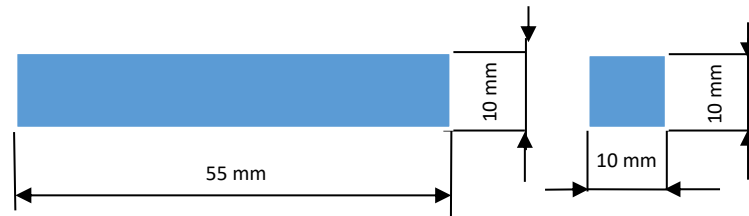
$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho \times V$$

Burada;

ρ = Yoğunluk

m = Kütle

V = Hacim



Şekil 3.12 Üretilen numune ölçüleri

$$V(\text{Dikdörtgen Prizma}) = a \times b \times c = 10 \times 10 \times 55 \text{ mm} = 5500 \text{ mm}^3 = 5,5 \text{ cm}^3$$

$$m_{kar} = \rho_{kar} \times V$$

Tozlar 0.001gr hassasiyete sahip olan ve Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan RADWAG PS 1000/C/2 marka hassas terazide tartılarak küçük poşetler içerisinde toz karışımları elde edildi. Presleme esnasında tozlar iyi kompaktlanamayıp dağıldığı için(ham mukavemetini arttırmak için) toz karışımlarının içerisine bağlayıcı olarak proje kapsamında satın alımı yapılan polietilen glikol(ağırlıkça %1 oranında) katılmıştır. Daha sonra hazırlanan toz karışımları manuel olarak küçük poşetler içerisinde karıştırıldı. Çalışmada kullanılan AA2024'ün, B₄C'nin, SiC'ün ve Y₂O₃'ün ortalama toz boyutları sırasıyla 100-150, 22-59, 10 ve 10 µm' dir.



Şekil 3.13 Tozların tartılması

3.5 Tozların Şekillendirilmesi:

İstenilen oranda tartılarak hazırlanan ve karışımı yapılan tozların, proje kapsamında satın alımı yapılan ve 10x10x55 mm(2379 Soğuk İş Takım Çeliği ve Ç1050 Çeliği) ölçülerine göre hazırlanan kalıba Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan Hidrokar Hidrolik(100 Ton) marka tek eksenli pres yardımıyla basılarak şekillendirilmesi sağlandı.

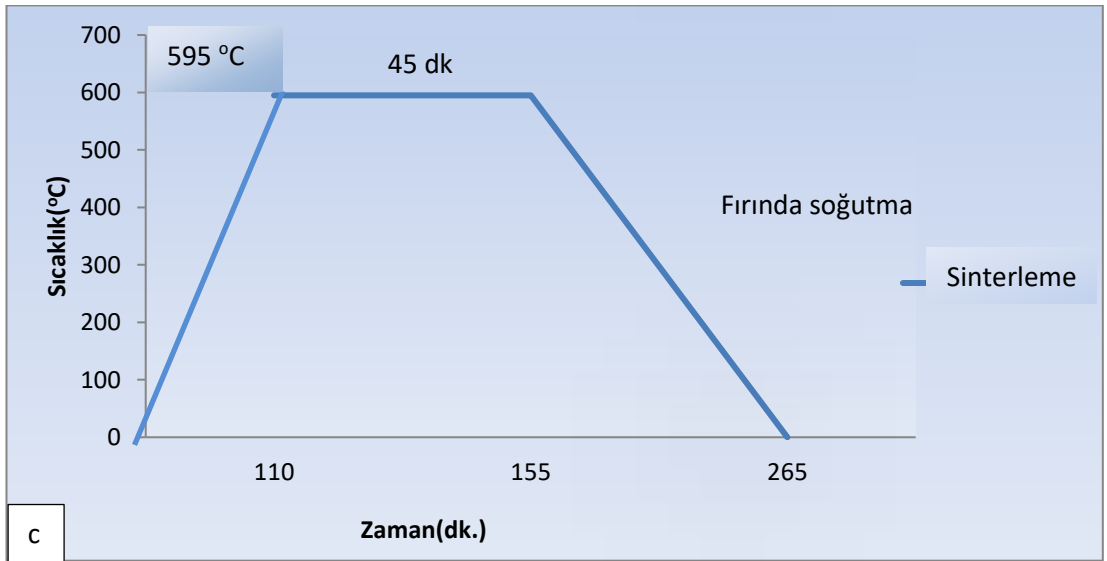
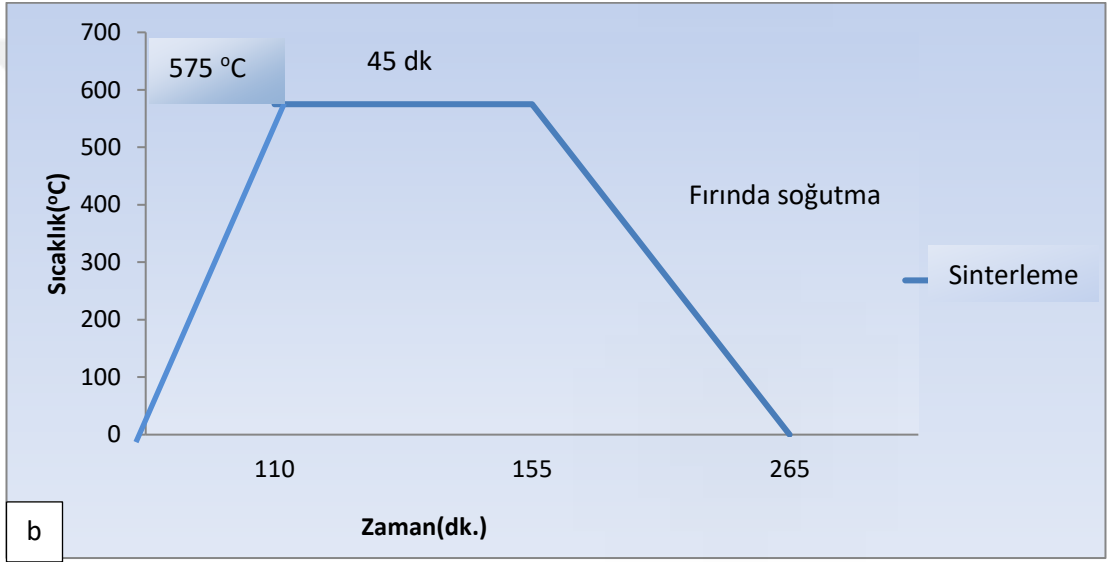
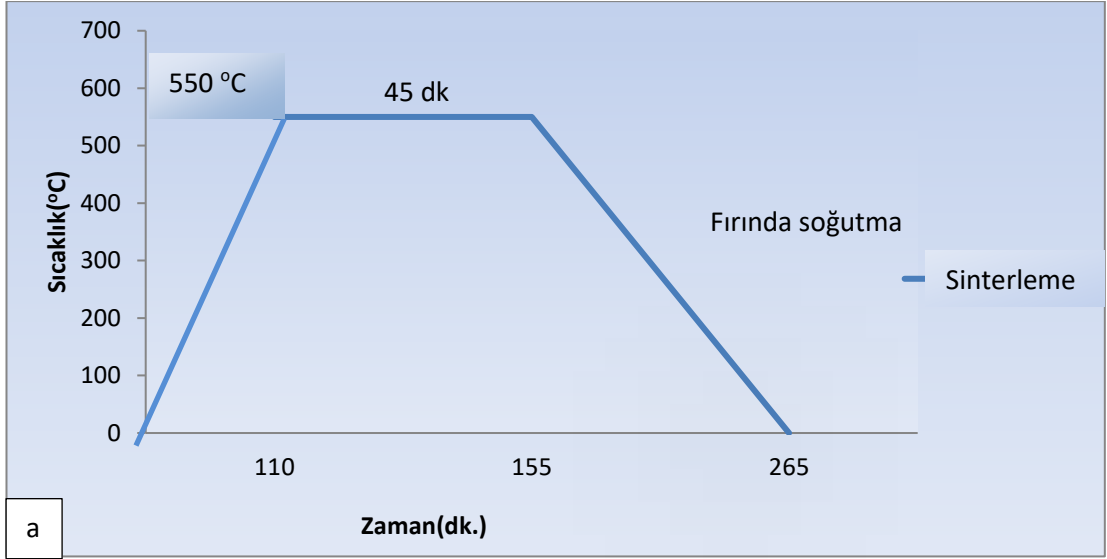
Şekillendirme sırasında kalıbın parça ile temas ettiği iç yüzey ile aynı temastaki zımba her sıkışma işleminden sonra önce pudra tozu ile temizlendi ve daha sonra yağlayıcı(steraik asit+etil alkol) çözelti ile silindi. Toz metalürjisi ile üretilen 10x10x55 mm ebatındaki parçaların ve zımbanın kalıp içerisinde sıkışması bu şekilde önlendi. Numunelerin kalıptan çıkarılması esnasında, sıkıştırma basıncının yaklaşık %10'nu mertebesinde bir kuvvet uygulanmıştır. Numunelerin sıkıştırılması ve kalıptan çıkarılması esnasında darbeli kuvvet uygulamaktan kaçınılmıştır.



Şekil 3.14 Tozların şekillendirilmesi

3.6 Şekillendirilen Tozların Sinterlenmesi ve Üretilen Kompozit Numune Örnekleri:

Preslenerek üretilen yarı mamül kompozit ürünlerin sinterleme işlemi Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan PROTHERM marka fırında gerçekleştirildi. Sekil 3.15'de sinterleme sıcaklık-zaman grafiklerinde görüldüğü gibi numuneler 550, 575 ve 595 °C'de dakikada 5 °C ısıtma hızı ile 45 dakika boyunca sinterlendi ve daha sonra numuneler fırın içerisinde oda sıcaklığına soğutuldu.

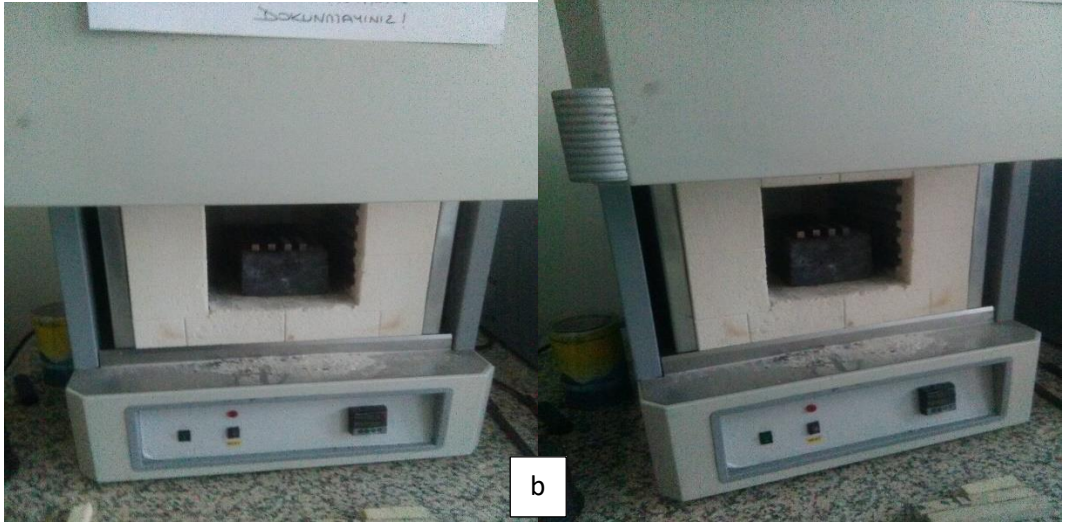


Şekil 3.15 Sinterleme sıcaklık-zaman grafiği(a; 550 °C; b: 575 °C; c: 595 °C)
Üç Nokta Eğme Deneyi için 10x10x55 mm ölçülerinde numune hazırlandı ve basma deneyi için, homojen gerilim dağılımı sağlamak için yuvarlak kesitli numuneler

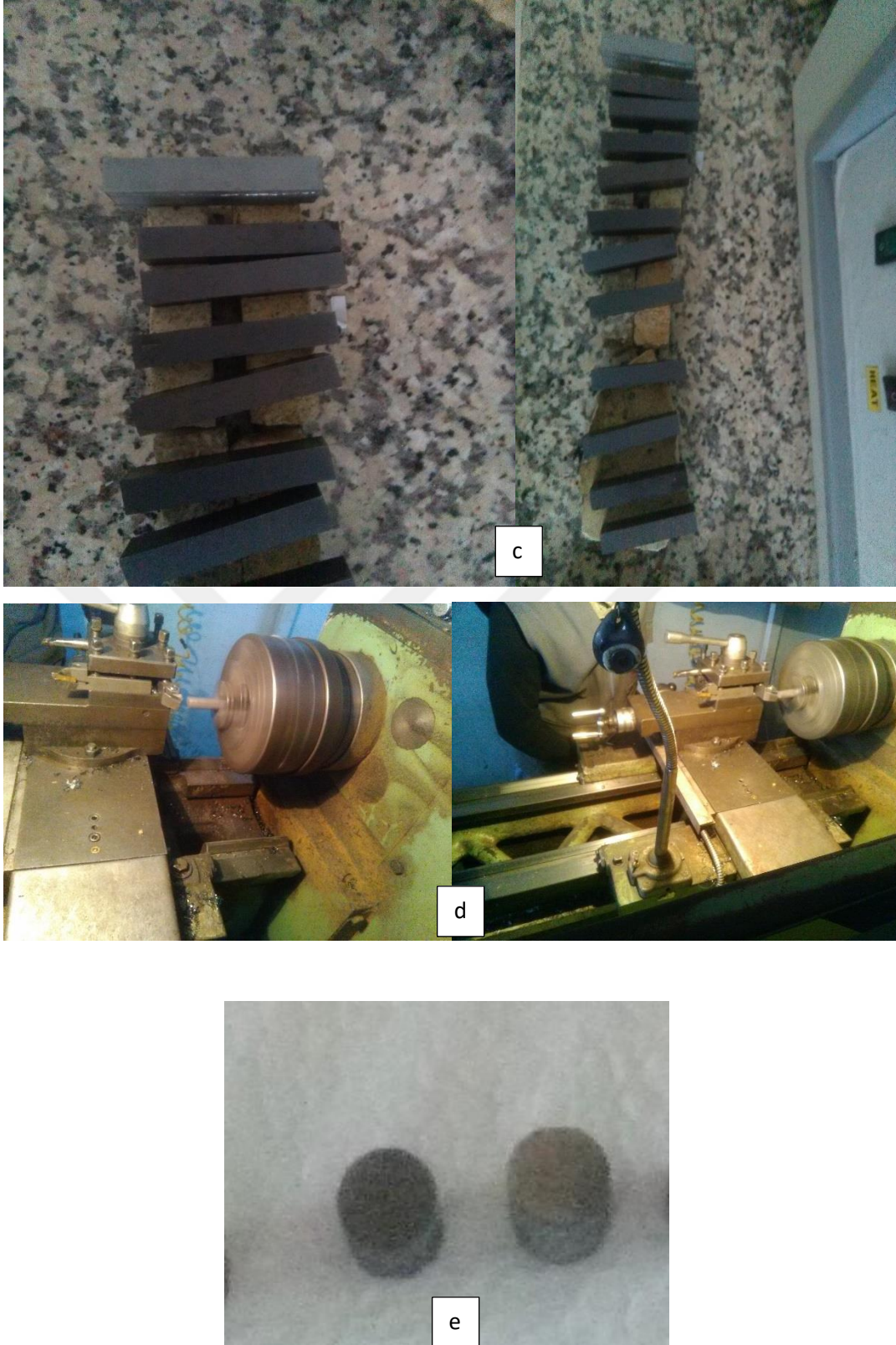
kullanıldı. Numunelerde, numune yüksekliği(h_0) ve çapı(d_0) arasındaki h_0/d_0 oranı önemlidir. Numunelerin h_0/d_0 oranlarının büyük olması, deney esnasında numunelerin bükülme ve homojen olmayan gerilim dağılımlarına sebep olmaktadır. Bu oran küçüldükçe numuneler ile basma plakaları arasında meydana gelen sürtünmeler deney sonuçlarını etkilemektedir. Bu sebeple de, numunelerin basma plakalarıyla temas eden yüzeyleri mümkün olduğu kadar küçük olacak şekilde ölçülendirilmiştir[26]. Farklı oranlarda takviye edilmiş her kompozitten ölçme işlemi için Ø10x10 mm boyutlarında 5 numune hazırlanmıştır.



a



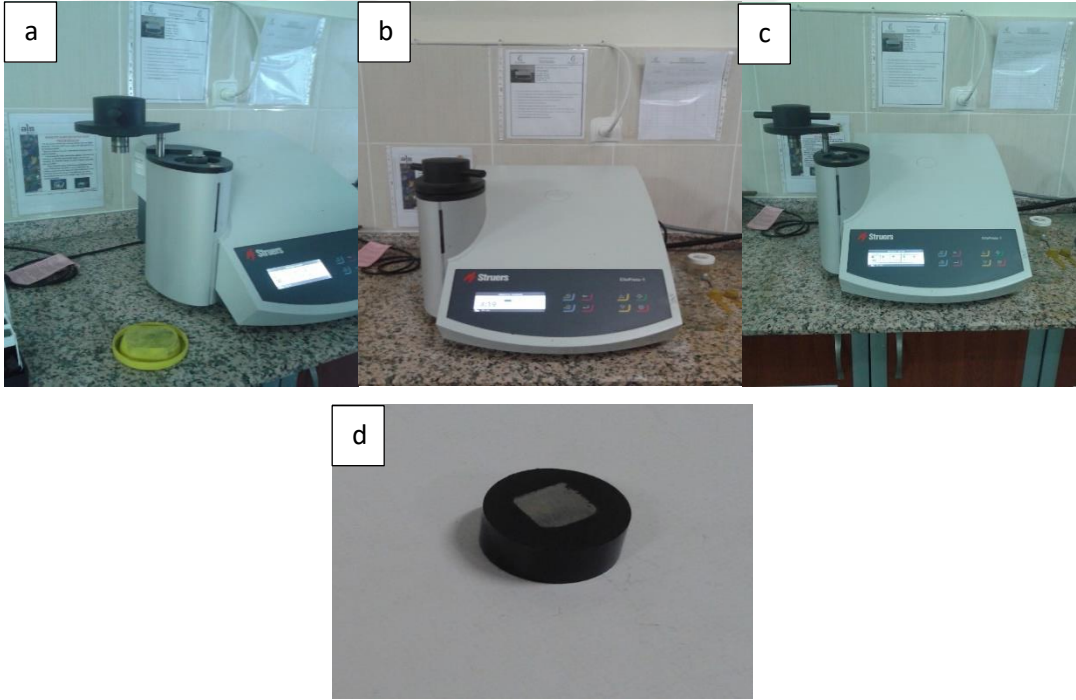
b



Şekil 3.16 Tozların Sinterlenmesi(a:Üç Nokta Eğme kullanılmak üzere üretilen kompozit numune örnekleri; b: Numuneler Fırın İçerisinde; c: Numunelerin Sinterlenmiş Hali; d: Basma deney numunelerinin hazırlanması; e: Basma deney numune örnekleri)

3.7 Üretilen Kompozit Numunelerin Bakalite Alınması ve Zımparalanması:

Üretilen AA2024 matrisli ve B_4C , SiC ve Y_2O_3 takviyeli kompozit numuneler(Eğme deneyi sonrasında geriye kalan parçaların CNC Freze tezgâhında işlenmesi sonucu elde edilen numuneler, 10x10x10mm) sertlik ve aşınma deneylerinin gerçekleştirilmesi ve metalurjik olarak incelenmesi amacıyla önce Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan STRUERS CİTOPRESS-1 BAKALİT ALMA CİHAZI ile bakalite alındı ve daha sonra aynı laboratuvarında bulunan METKON FORCIPOL IV MARKA ZIMPARALAMA MAKİNESİNE 180, 320, 600, 800, 1000 ve 1200'lük tane büyüklüğüne sahip dairesel zımpara kâğıtları yerleştirilerek parlatma işlemleri yapıldı. Zımparalama ile parlatma işlemi tamamlanan numuneler disk üzerine yerleştirilen yine dairesel şekle sahip parlatma keçesi üzerine 3 μm boyutunda elmas pasta süspansiyonu dökülerek hassas bir şekilde parlatılma işlemleri tamamlandı.



Şekil 3.17 Üretilen kompozit numunelerin bakalite alınması(a: 10x10x10mm ölçülerinde hazırlanan numunenin cihaz içerisine konulması; b: Numunenin bakalite alınma işlemi; c: İşlemin bitiş hali; d: 10x10x10mm ölçülerinde hazırlanan ve bakalite alınan numune örneği)



Şekil 3.18 Üretilen kompozit numunelerin zımparalanması

3.8 Üretilen Kompozit Numunelerin Fiziksel Olarak İncelemeye Alınması:

3.8.1 Üç Noktadan Eğme ve Basma Testi

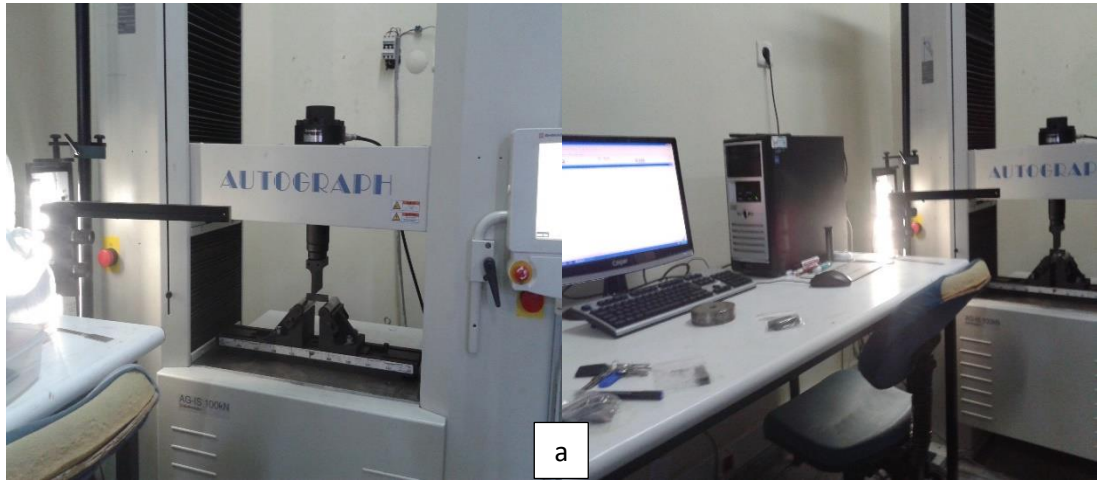
3.8.2 Sertlik Ölçümleri

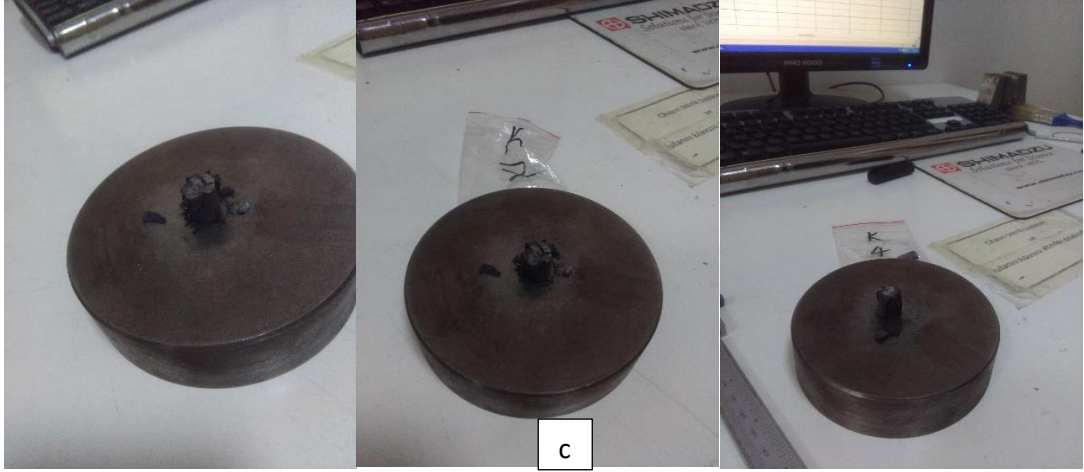
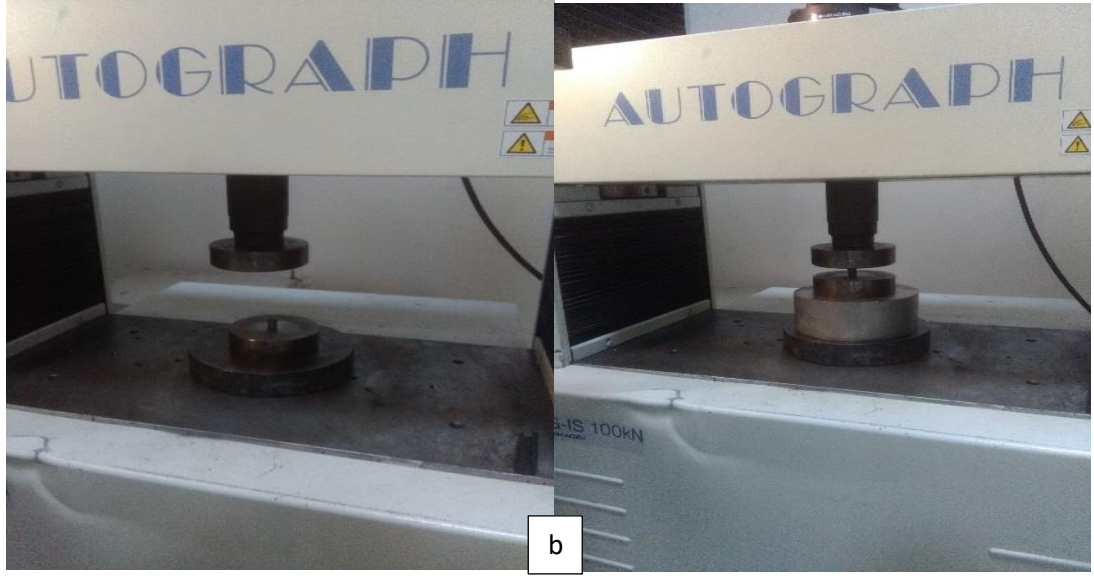
3.8.3 Yoğunluk Ölçümleri

3.8.4 Aşınma Testi

3.8.1 Üç Noktadan Eğme ve Basma Testi

Üretilen numunelerin üç noktadan eğme ve basma testi Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan Autograph(AG-1/100Kn 346-52111-11) marka cihazda gerçekleştirildi.





Şekil 3.19 Üretilen kompozit numunelerin üç noktadan eğme ve basma testi(a: Eğme deney numunelerinin makineye yerleştirilmesi; b:Basma deney numunelerinin makineye yerleştirilmesi;c: Basma deneyi uygulanmış deney numuneleri)

3.8.2 Sertlik Ölçümleri:

Eğme deneyi sonrasında geriye kalan parçalardan proje kapsamında hizmet alımı yapılarak Machine One 11 Pro Seiki marka CNC Freze tezgâhında işlenip 10x10x10 mm ebatına getirilen numuneler bakalite alındı. Daha sonra zımparalanarak elde edilen numunelerin sertlik ölçümleri Malzeme Mühendisliği laboratuvarında bulunan Emcotest Duravision marka Brinell sertlik cihazında(Yük: 15,625 kg., Bilya Çapı: 2,5 mm ve Süre: 10 sn.) yapıldı ve her bir numune için beş ölçüm yapıp ortalaması alındı.



Şekil 3.20 Sertlik ölçümleri için 10x10x10 mm numune kesimi



Şekil 3.21 Üretilen kompozit numunelerin sertlik ölçümleri

3.8.3 Yoğunluk Ölçümleri:

Kompozit malzemelerin yoğunluk ölçümleri ise arsimet prensibine göre çalışan ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarında bulunan Radwag AS 220/C/2 marka yoğunluk ölçüm cihazında yapılmıştır.



Şekil 3.22 Üretilen kompozit numunelerin yoğunluk ölçümleri

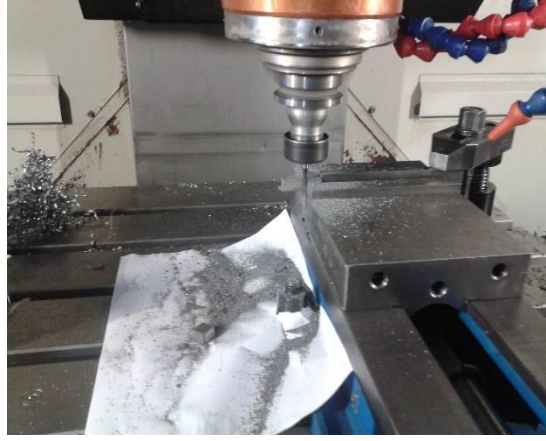
Üretilen kompozit malzemelerin gözenek oranının belirlenmesi için, kompozitin teorik ve üretilmiş durumdaki yoğunluklarından yararlanıldı. Ayrıca takviye hacim oranına bağlı olarak karışımlar kuralına göre, üretilen kompozitin yapısında oluşan gözeneklerin(porozite) oranı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplandı.

$$\% \text{ gözenek oranı} = \frac{\rho_t - \rho_d}{\rho_t} \times 100 \quad (3.1)$$

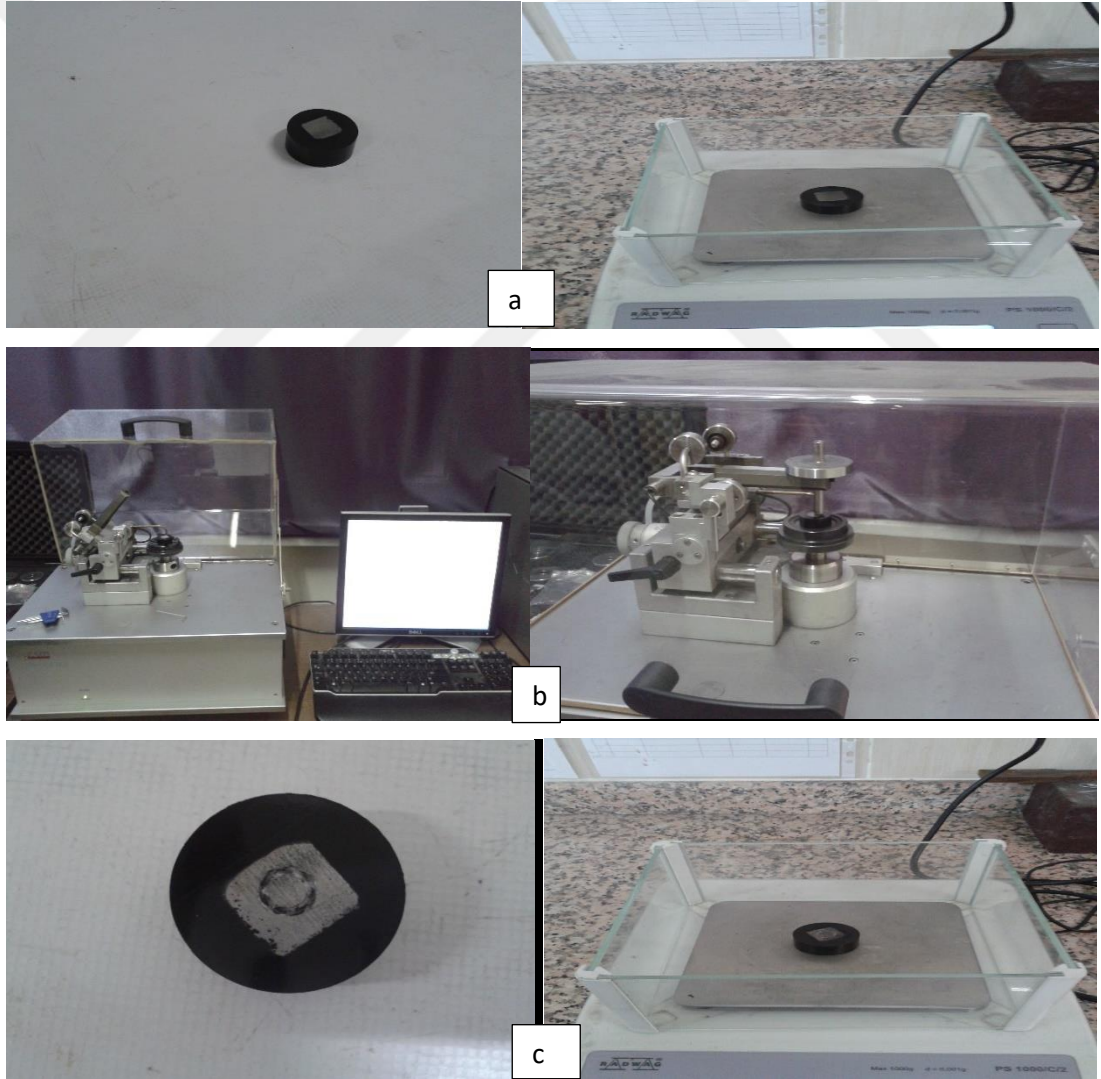
Burada; ρ_t : kompozit malzemenin teorik(karışımlar kuralına göre) yoğunluğu, ρ_d :deneysel olarak ölçülen yoğunluk değerleridir.

3.8.4 Aşınma Testi:

Eğme deneyi sonrasında geriye kalan parçalardan proje kapsamında hizmet alımı yapılarak CNC Freze tezgâhında işlenip 10x10x10 mm ebatına getirilen numuneler bakalite alındı. Daha sonra elde edilen numunelerin aşınma testi Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan Tribometer marka pin-on-disk aşınma cihazında 2 N yük altında ve 15 dakika süre zarfında(3.516 mm çapında, 200000 mm mesafe ve 20000 cm/s doğrusal hız ile) gerçekleştirildi. Bakalite alınan numuneler deneye tabi tutulmadan önce hassas terazide tartıldı ve teste tabi tutuldu. Deney sonrasında tekrardan tartılarak ağırlıkça aşınma kaybı hesaplandı.



Şekil 3.23 Aşınma testi için 10x10x10 mm numune kesimi



Şekil 3.24 Üretilen kompozit numunelere uygulanan aşınma testi(a: Test öncesi numunenin tartılması; b: Aşınma test işlemi; c: Test sonrası numunenin tartılması)

3.9 Üretilen Kompozit Numunelerin Metalografik Olarak İncelemeye Alınması:

3.1.6.1 SEM İncelemesi

3.1.6.2 EDS Analizi

3.1.6.3 Optik Mikroskop İncelemesi

3.1.6.4 XRD Analizi

SEM: Elektronları kullanarak numune yüzeyinden yüksek çözünürlüklü görüntü almaya yarayan sistemdir. SEM, numune yüzeyinin üç boyutlu görüntülerin elde edilmesinde kullanılır.

EDS: Enerji Dispersiv Spektrum, SEM, TEM'e eklenmek suretiyle, elementlerin enerjilerinden faydalanarak kantitatif kimyasal analiz yapmakta kullanılır.

Optik Mikroskop: Optik mikroskop metallerin, seramiklerin, polimerlerin, kompozitlerin ve kaplamaların içyapısını incelemek amaçlı kullanılır. Optik mikroskopla bulk haldeki malzemeler incelendiği gibi toz haldeki malzemelerde (tozları görmek amaçlı) incelenebilir. Mikroskopta daha önceden zımparalanıp, parlatılan ve sonrasında asit vasıtasıyla dağlanan numunelerin içyapısı incelenerek, yapı hakkında fikir edinilir.

XRD(X-Işınları Difraktometresi): X-ışını difraksiyonu, malzemelerin kristallografik özelliklerinin ve içerdikleri fazların belirlenmesini sağlayan hasarsız analiz yöntemidir.

Malzemelerin özellikleri içyapıya büyük ölçüde bağlıdır. Uygulanan bir işlem sonucu özelliklerde meydana gelen değişmelerin nedeni ancak içyapı göz önüne alınarak açıklanabilir[65]. Bu sebeple, üretilen kompozit malzemelerin karakterizasyonu için(SEM ve Optik Mikroskop İncelemesi ile EDS ve XRD Analizleri) aşağıda belirtilen ve İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Metalurji-Malzeme Mühendisliği laboratuvarında bulunan cihazlar kullanılmıştır.

XRD–X-Işınları Difraktometresi(RIGAKU D-MAX 2200 PC Marka XRD cihazı): Kompozit malzemelerde oluşan fazların tespiti için.

SEM–Taramalı Elektron Mikroskobu(JEOL JSM-6060 marka SEM cihazı): Kompozitlerin yüzey morfolojisi ve içyapılarının karakterizasyonu için.

EDS–Enerji Saçılımı Spektroskopisi JEOL JSM-6060 marka SEM cihazı): Kompozit ve ara yüzey özellikleri ile elementel içeriğin belirlenmesi için.

Optik Mikroskop(NİKON ECLIPSE ME600D marka Optik Mikroskop cihazı): Mikroyapısal karakterizasyon için.

Üretilen kompozit malzemelerden 10x10x10 mm boyutundaki numuneler hazırlandı, bakalite alındı ve zımparalama işlemine ve akabinde de yüzeylerinin Optik Mikroskop İncelemeri için metalografik numune hazırlama işlemlerine tabi tutuldu. Hazırlanan numunelerin dağlama işlemi için 10 s süreyle Keller reaktifi(190 ml saf su, 5 ml nitrik asit(HNO_3), 3 ml hidroklorik asit(HCl) ve 2 ml hidroflorik asit(HF)) kullanıldı.[40]

Aşınma testine tabi tutulan kompozit malzemelerin aşınma yüzeyleri Optik Mikroskopta incelendi. Ayrıca, XRD analizi için, 10x10x10 mm ebatında daha önceden hazırlanan ve bakalite alınıp sertlik ölçümleri yapılan numuneler XRD altlığına yerleştirilebilecek ölçüye indirilmesi amacıyla universal torna tezgâhında kesim işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 3.25 XRD analizi için numune kesimi



Şekil 3.26 JEOL JSM-6060 marka SEM cihazı

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1 Deneyisel Çalışma 1:

Takviye malzemeleri olan B₄C(Bor Karbür), SiC(Silisyum Karbür) ve Y₂O₃(Yitriyum Oksit)'din kaplamasız olarak AA2024 matris içerisine ilave edildiği çalışmadır.

4.1.1 Fiziksel İnceleme:

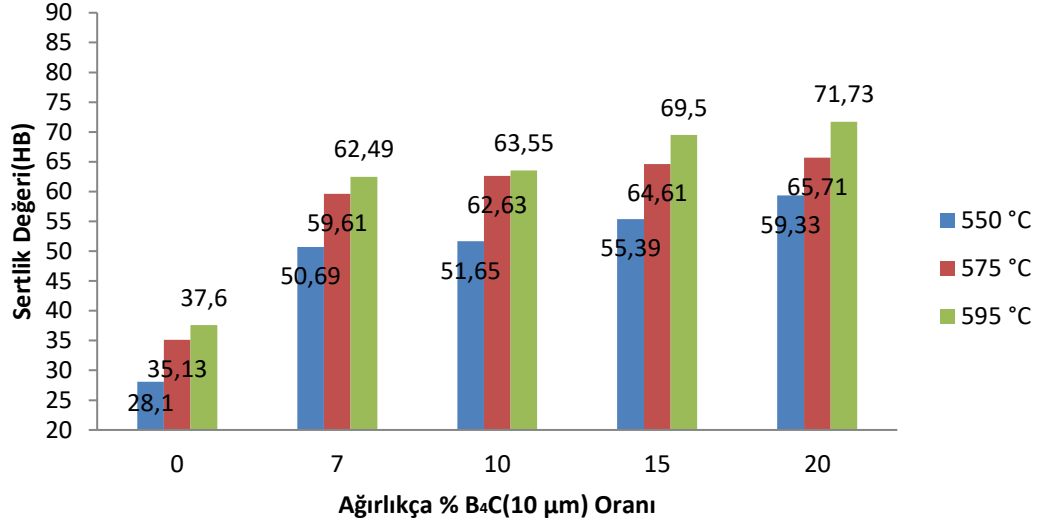
4.1.1.1 Sertlik Ölçümleri:

Üretilen kompozit malzemelerin sertlik ölçümleri Malzeme Mühendisliği laboratuvarında bulunan Emcotest Duravision marka Brinell sertlik cihazında(Yük: 15,625 kg., Bilya Çapı: 2,5 mm ve Süre: 10 sn.) yapıldı. Sonuç olarak her bir değer, deneye tabi tutulan numunenin 5 farklı bölgesinden alınan sertlik sonuçlarının ortalaması alınarak hesaplandı.

4.1.1.1.1 AA2024 + 10 µm B₄C:

AA2024 matris içerisine ilave edilen 10 µm boyutunda B₄C'nin sertlik üzerine etkileri tablo 4.1'de sunulmuştur. Tablo incelendiğinde tüm sıcaklıklarda ilave edilen 10 µm boyutunda B₄C'nin oranı arttıkça sertlik değerlerinin de arttığı görülmektedir. Tablo 4.1 AA2024 + 10 µm B₄C sertlik değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

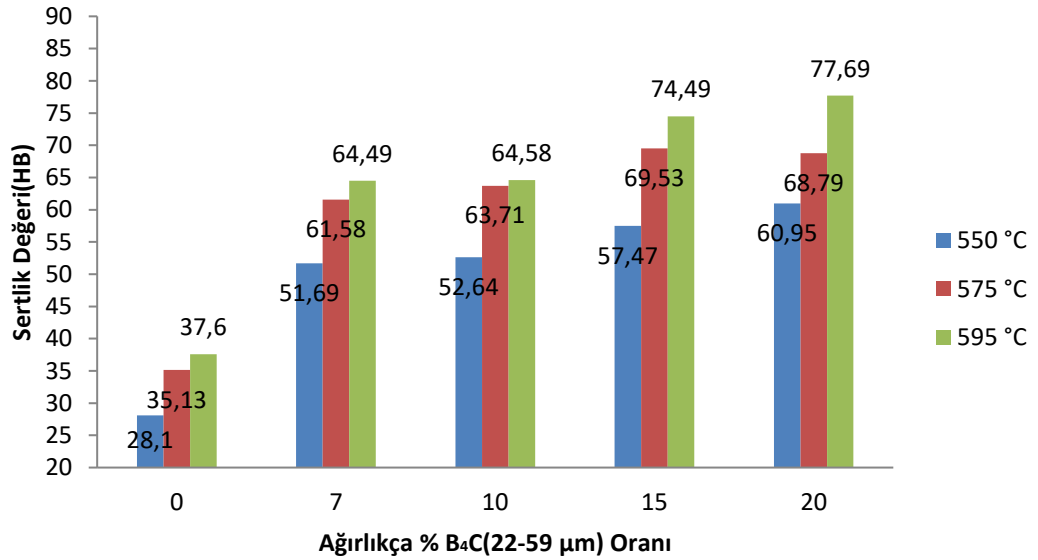
AA2024 + 10 µm B ₄ C						
Sıra No	% AA2024	% B ₄ C	AA2024 Tane Boyutu (µm)	B ₄ C Tane Boyutu (µm)	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Sertlik Değeri (HB)
1	100	0	100-150	–	550	28,10
					575	35,13
					595	37,60
2	93	7		10	550	50,69
					575	59,61
					595	62,49
3	90	10		10	550	51,65
					575	62,63
					595	63,55
4	85	15		10	550	55,39
					575	64,61
					595	69,50
5	80	20		10	550	59,33
					575	65,71
					595	71,73



Şekil 4.1 AA2024 + 10 µm B₄C sertlik değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

4.1.1.1.2 AA2024 + 22-59 µm B₄C:

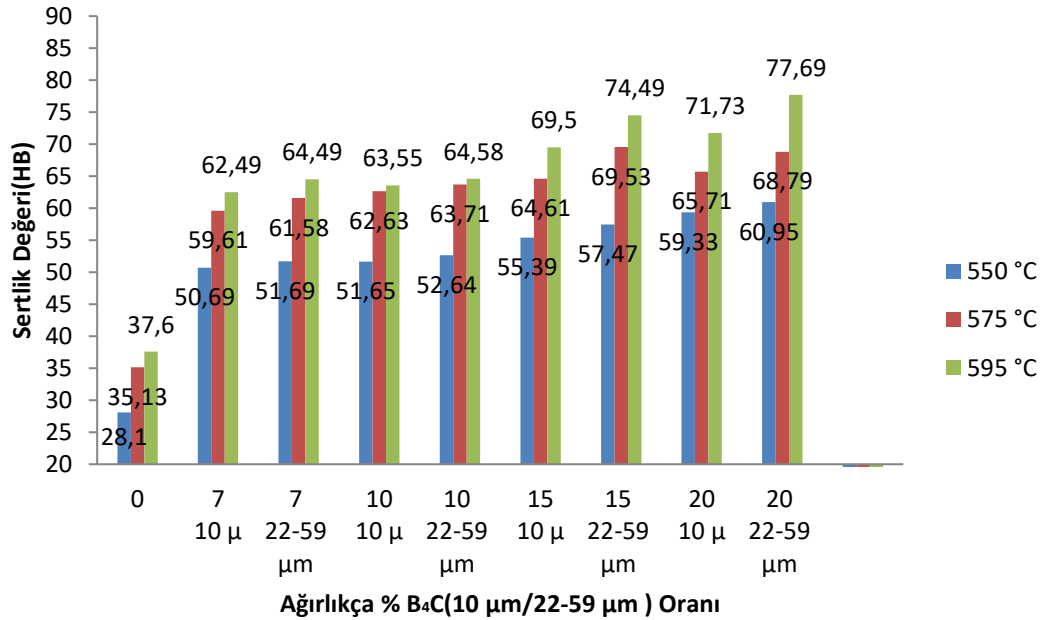
AA2024 matris içerisine ilave edilen 22-59 µm boyutunda B₄C'nin sertlik üzerine etkileri tablo 4.2'de sunulmuştur. Tablo incelendiğinde tüm sıcaklıklarda ilave edilen 22-59 µm boyutunda B₄C'nin oranı arttıkça sertlik değerlerinin de arttığı görülmektedir.



Şekil 4.2 AA2024 + 22-59 µm B₄C sertlik değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

Tablo 4.2 AA2024 + 22-59 μm B₄C sertlik değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

AA2024 + 22-59 μm B4C						
Sıra No	% AA2024	% B4C	AA2024 Tane Boyutu (μm)	B4C Tane Boyutu (μm)	Sinterleme Sıcaklığı (oC)	Sertlik Değeri (HB)
1	100	0	100-150	—	550	28,10
					575	35,13
					595	37,60
2	93	7		22-59	550	51,69
					575	61,58
					595	64,49
3	90	10		22-59	550	52,64
					575	63,71
					595	64,58
4	85	15		22-59	550	57,47
					575	69,53
					595	74,49
5	80	20		22-59	550	60,95
					575	68,79
					595	77,69

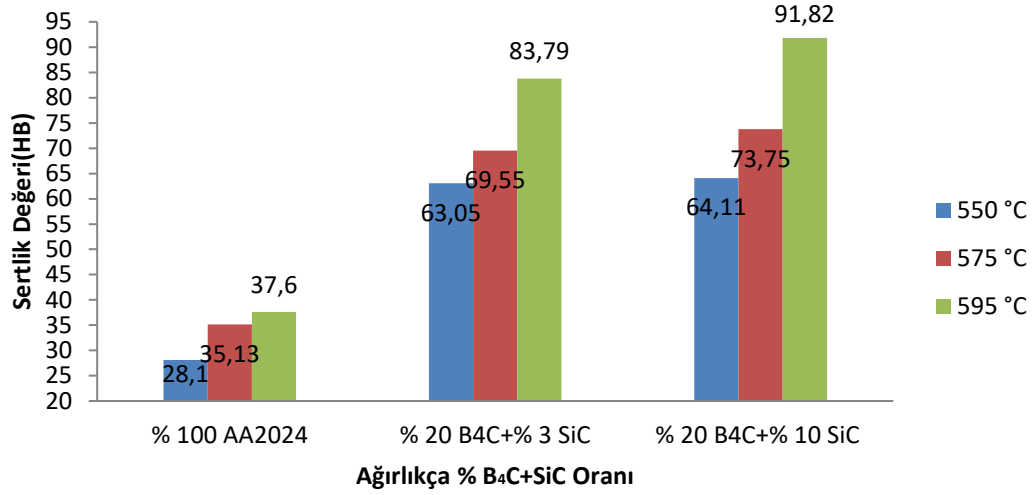


Şekil 4.3 AA2024 + 10/22-59 μm B₄C sertlik değerlerinin karşılaştırması

AA2024 matris içerisine ilave edilen iki farklı boyuttaki B₄C'nin sertlik üzerine etkileri şekil 4.3'de sunulmuştur. Şekil incelendiğinde tüm sıcaklıklarda ilave edilen B₄C'nin toz boyutu arttıkça sertlik değerlerinin de arttığı görülmektedir.

4.1.1.1.3 AA2024 + B₄C + SiC:

AA2024 matris içerisine ilave edilen B₄C+SiC'nin sertlik üzerine etkileri tablo 4.3'de sunulmuştur. Tablo incelendiğinde tüm sıcaklıklarda ilave edilen SiC'nin oranı arttıkça sertlik değerlerinin de arttığı görülmektedir.



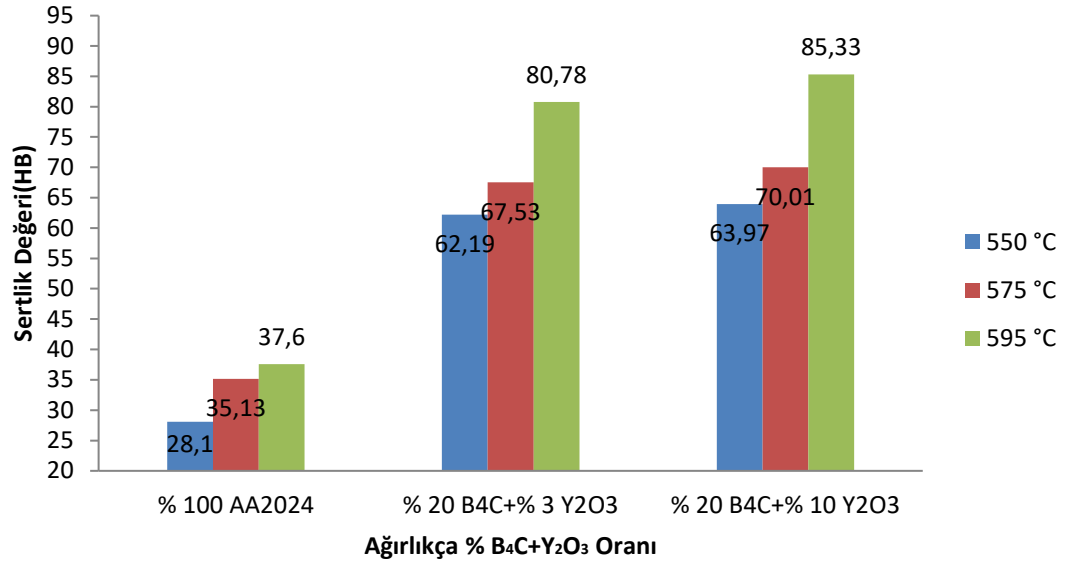
Şekil 4.4 AA2024+B₄C+SiC sertlik değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

Tablo 4.3 AA2024+B₄C+SiC sertlik değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

AA2024+B ₄ C+SiC								
Sıra No	% AA2024	% B ₄ C	% SiC	AA2024 Tane Boyutu (µm)	B ₄ C Tane Boyutu (µm)	SiC Tane Boyutu (µm)	Sinterleme Sıcaklığı (oC)	Sertlik Değeri (HB)
1	100	0	0	100-150	-	-	550	28,10
							575	35,13
							595	37,60
2	77	20	3		22-59	10	550	63,05
							575	69,55
							595	83,79
3	70	20	10				550	64,11
							575	73,75
							595	91,82

4.1.1.1.4 AA2024 + B₄C + Y₂O₃:

AA2024 matris içersine ilave edilen B₄C+Y₂O₃'ün sertlik üzerine etkileri tablo 4.4'de sunulmuştur. Tablo incelendiğinde tüm sıcaklıklarda ilave edilen Y₂O₃'ün oranı arttıkça sertlik değerlerinin de arttığı görülmektedir.



Şekil 4.5 AA2024+B₄C+Y₂O₃ sertlik değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

Tablo 4.4 AA2024+B₄C+Y₂O₃ sertlik değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

AA2024+B ₄ C+Y ₂ O ₃								
Sıra No	% AA2024	% B ₄ C	% Y ₂ O ₃	AA2024 Tane Boyutu (µm)	B ₄ C Tane Boyutu (µm)	Y ₂ O ₃ Tane Boyutu (µm)	Sinterleme Sıcaklığı (oC)	Sertlik Değeri (HB)
1	100	0	0	100-150	-	-	550	28,10
							575	35,13
							595	37,60
2	77	20	3		22-59	10	550	62,19
							575	67,53
							595	80,78
3	70	20	10				550	63,97
							575	70,01
							595	85,33

Üretilen kompozitlerin genelinde artan takviye miktarı ile sertlik değerleri de artmıştır. Bunun nedeni ise, takviye parçacıklarının homojen dağılımı ve bunun sonucunda sertlik izi alanına düşen miktarıdır.

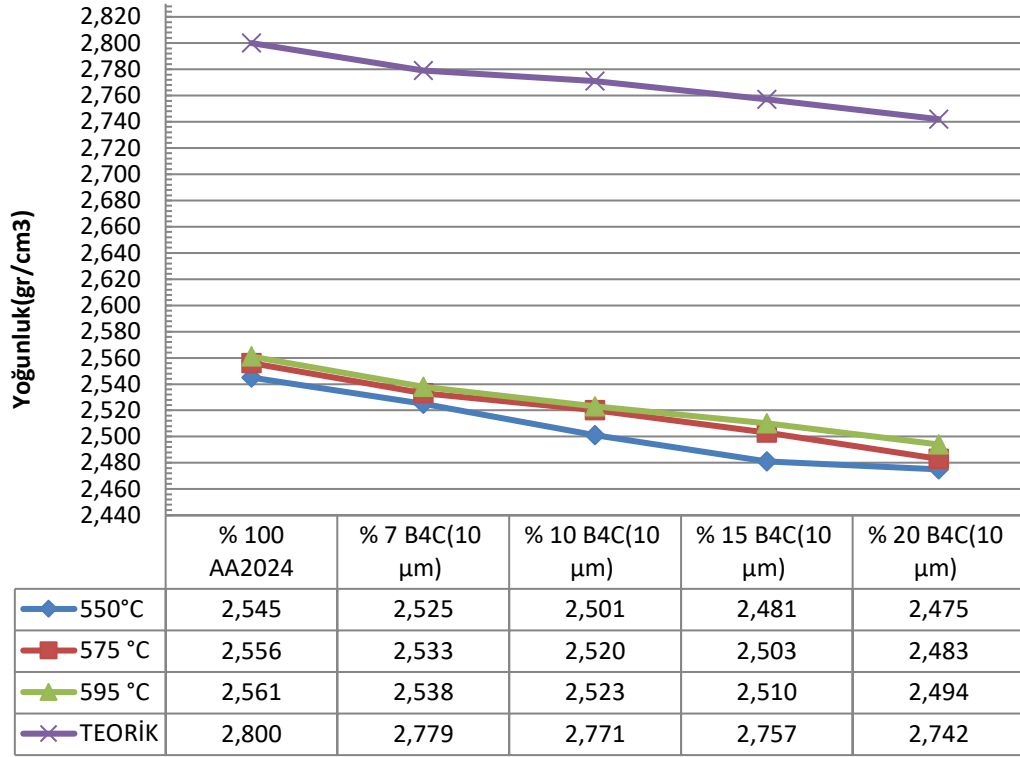
4.1.1.2 Yoğunluk Ölçümleri:

4.1.1.2.1 AA2024 + 10 µm B₄C:

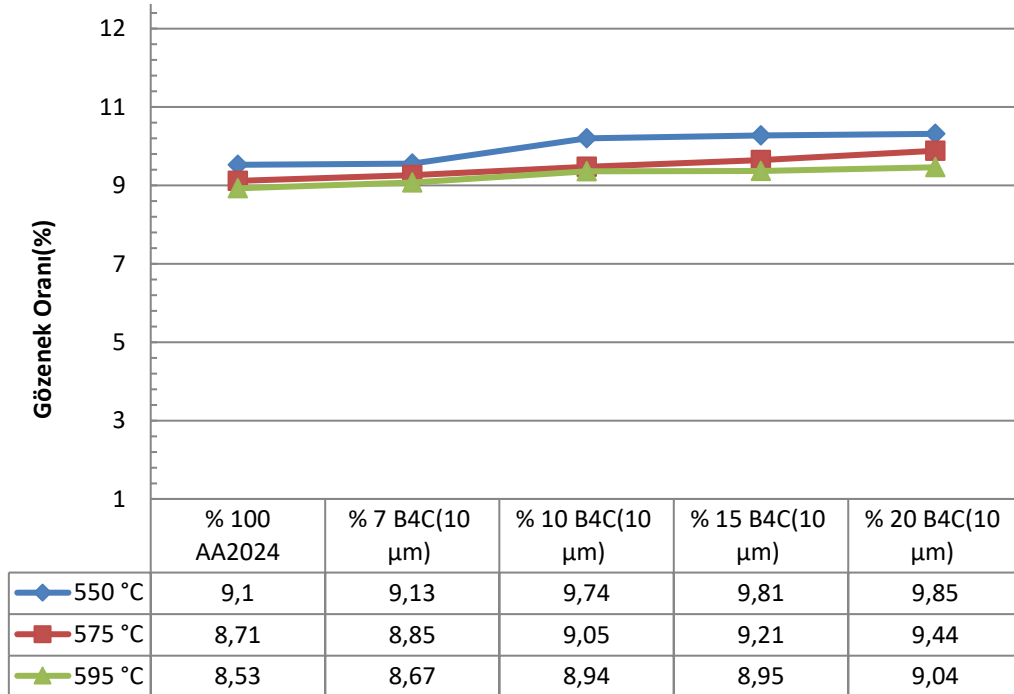
Kompozit malzemelerin yoğunluk ölçümleri ise arsimet prensibine göre çalışan ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarında bulunan Radwag AS 220/C/2 marka yoğunluk ölçüm cihazında yapılmıştır. AA2024 matris içerisine ilave edilen 10 µm boyutunda B₄C'nin yoğunluk üzerine etkileri tablo 4.5'de sunulmuştur. Tablo incelendiğinde tüm sıcaklıklarda ilave edilen 10 µm boyutunda B₄C'nin oranı arttıkça yoğunluk değerlerinin düştüğü görülmektedir.

Tablo 4.5 AA2024 + 10 µm B₄C yoğunluk değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

AA2024 + 10 µm B ₄ C								
Sıra No	% AA2024	% B ₄ C	AA2024 Tane Boyutu (µm)	B ₄ C Tane Boyutu (µm)	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Teorik Yoğunluk Değeri (g/cm3)	Deneysel Yoğunluk Değeri (g/cm3)	Gözenek Oranı (%)
1	100	0	100-150	–	550	2,800	2,545	9,10
					575		2,556	8,71
					595		2,561	8,53
2	93	7		10	550	2,779	2,525	9,13
					575		2,533	8,85
					595		2,538	8,67
3	90	10		10	550	2,771	2,501	9,74
					575		2,520	9,05
					595		2,523	8,94
4	85	15		10	550	2,757	2,481	9,81
					575		2,503	9,21
					595		2,510	8,95
5	80	20		10	550	2,742	2,475	9,85
					575		2,483	9,44
					595		2,494	9,04



Şekil 4.6 AA2024 + 10 μ m B₄C'nin yoğunluk değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi



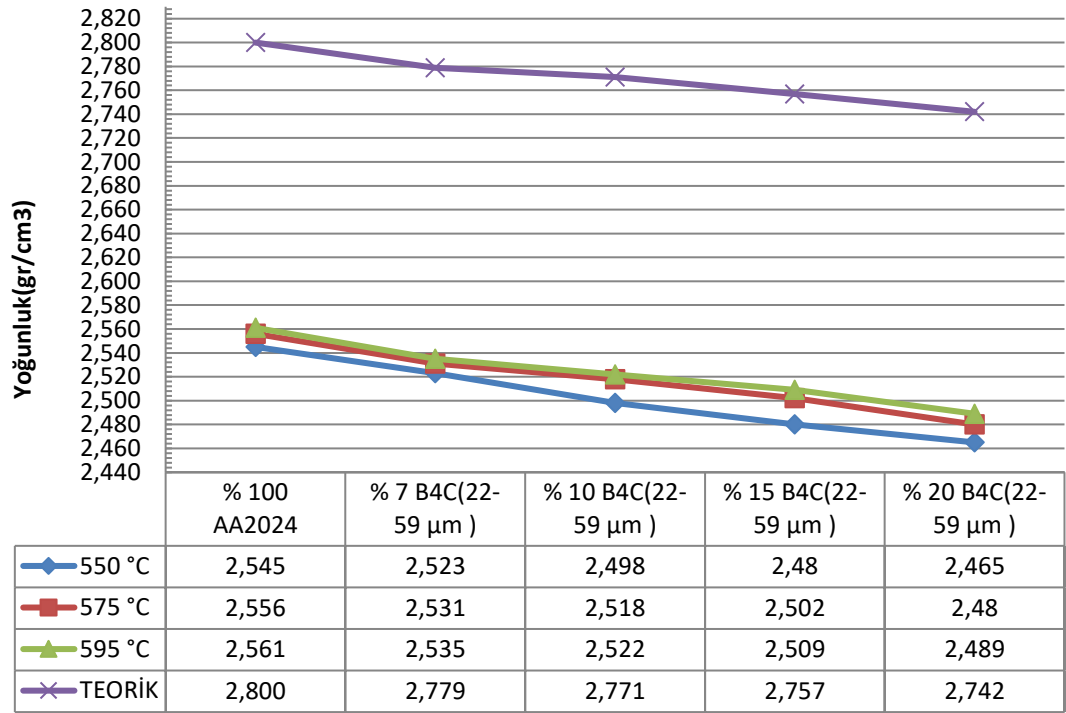
Şekil 4.7 AA2024 + 10 μ m B₄C'nin gözenek oranı değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

4.1.1.2.2 AA2024 + 22-59 µm B₄C:

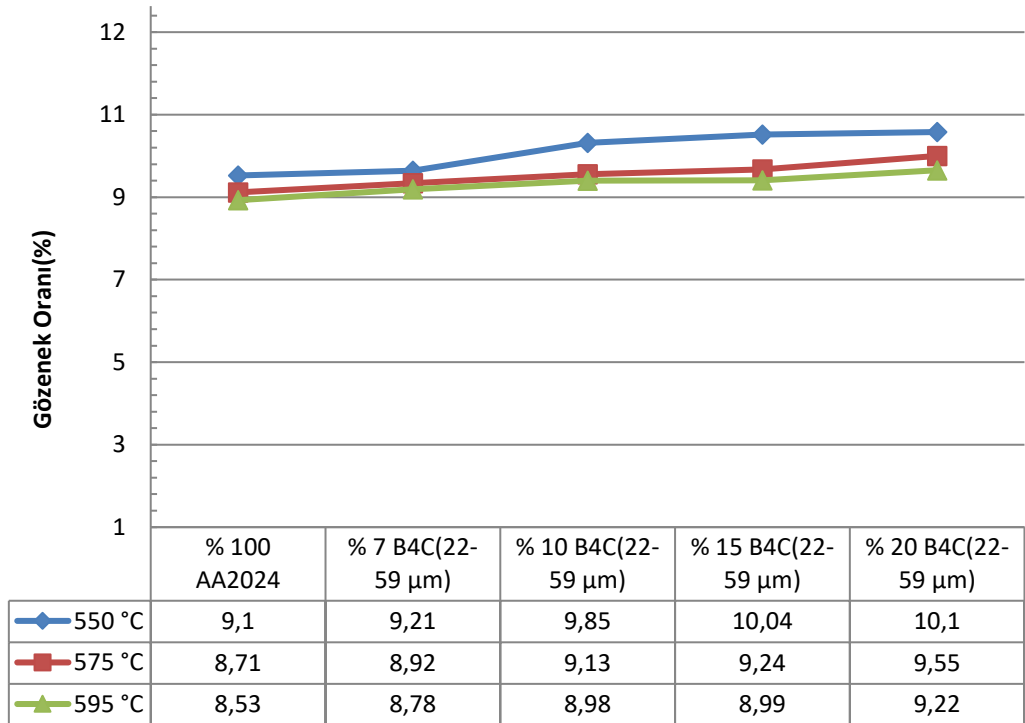
AA2024 matris içerisine ilave edilen 10 µm boyutunda B₄C'nin yoğunluk üzerine etkileri tablo 4.6'da sunulmuştur. Tablo incelendiğinde tüm sıcaklıklarda ilave edilen 22-59 µm boyutunda B₄C'nin oranı arttıkça yoğunluk değerlerinin düştüğü görülmektedir.

Tablo 4.6 AA2024 + 22-59 µm B₄C yoğunluk değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

AA2024 + 22-59 µm B ₄ C								
Sıra No	% AA2024	% B ₄ C	AA2024 Tane Boyutu (µm)	B4C Tane Boyutu (µm)	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Teorik Yoğunluk Değeri (g/cm3)	Deneysel Yoğunluk Değeri (g/cm3)	Gözenek Oranı (%)
1	100	0	100-150	—	550	2,800	2,545	9,10
					575		2,556	8,71
					595		2,561	8,53
2	93	7		22-59	550	2,779	2,523	9,21
					575		2,531	8,92
					595		2,535	8,78
3	90	10		22-59	550	2,771	2,498	9,85
					575		2,518	9,13
					595		2,522	8,98
4	85	15		22-59	550	2,757	2,480	10,04
					575		2,502	9,24
					595		2,509	8,99
5	80	20		22-59	550	2,742	2,465	10,10
					575		2,480	9,55
					595		2,489	9,22



Şekil 4.8 AA2024 + 22-59 µm B₄C'nin yoğunluk değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi



Şekil 4.9 AA2024 + 22-59 µm B₄C'nin gözenek oranı değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

Tozların sıkıştırılma mekanizmasını kısaca açıklayacak olursak, sıkıştırmanın ilk aşamasında toz parçacıkları birbiri içerisinde hareket ederek yer değiştirirler. Bu aşamada toz morfolojisi, parçacık boyutu ve parçacıklar arası sürtünme önemli rol oynamaktadır. Tozların sıkıştırılmasında ikinci aşamasında ise elastik ve plastik deformasyon mekanizmaları etkindir. Bu aşamada parçacıklar arası mekanik bağlanma gerçekleşmektedir. Sıkıştırma işleminin son aşamasında ise tozların kırılması ve plastik deformasyon ile poroziteler azalmakta ve toz parçacıkları birbirine soğuk kaynak olmaktadır. Tozun şekillendirilmesini engelleyenler artan takviye oranı ile gevrek parçacıkların sayıca artışıdır. Dolayısı ile artan takviye oranı ile yoğunluk değerleri azalır ve matristeki gözenek oranı yükselir.

AA2024 matris içerisine ilave edilen 10 μm ve 22-59 μm boyutlarında B_4C 'nin yoğunluk üzerine etkileri karşılaştırmalı olarak tablo 4.7'de sunulmuştur. Tablo incelendiğinde sıcaklık artışı ile birlikte yoğunluğun arttığı ve matrise ilave edilen 10 μm boyutundaki B_4C 'nin 22-59 μm boyutunda B_4C 'ye kıyasen matrisin yoğunluğunu yükselttiği görülmektedir.

Tablo 4.7 AA2024 + 10 μm &22-59 μm B₄C yoğunluk değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

AA2024 + 10 μm&22-59 B ₄ C								
Sıra No	% AA2024	% B ₄ C	AA2024 Tane Boyutu (μm)	B ₄ C Tane Boyutu (μm)	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Teorik Yoğunluk Değeri (g/cm3)	Deneysel Yoğunluk Değeri (g/cm3)	Gözenek Oranı (%)
1	100	0	100-150	–	550	2,800	2,545	9,10
					575		2,556	8,71
					595		2,561	8,53
2	93	7		10	550	2,779	2,525	9,13
					575		2,533	8,85
					595		2,538	8,67
3	93	7		22-59	550	2,771	2,523	9,21
					575		2,531	8,92
					595		2,535	8,78
4	90	10		10	550	2,757	2,501	9,74
					575		2,520	9,05
					595		2,523	8,94
5	90	10		22-59	550	2,742	2,498	9,85
					575		2,518	9,13
					595		2,522	8,98
6	85	15		10	550	2,742	2,481	9,81
					575		2,503	9,21
					595		2,510	8,95
7	85	15		22-59	550	2,742	2,480	10,04
					575		2,502	9,24
					595		2,509	8,99
8	80	20		10	550	2,742	2,475	9,85
					575		2,483	9,44
					595		2,494	9,04
9	80	20		22-59	550	2,742	2,465	10,10
					575		2,480	9,55
					595		2,489	9,22

4.1.1.2.3 AA2024 + B₄C + SiC:

AA2024 matris içerisine ilave edilen B₄C ve SiC'nin yoğunluk üzerine etkileri tablo 4.8'de sunulmuştur. Tablo incelendiğinde ilave edilen SiC'nin oranı arttıkça gözenek oranının da arttığı görülmektedir.

Tablo 4.8 AA2024 + B₄C+SiC yoğunluk değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

AA2024+(B4C+SiC)										
Sıra No	% AA2024	% B4C	% SiC	AA2024 Tane Boy. (µm)	B4C Tane Boy. (µm)	SiC Tane Boy. (µm)	Sint. Sıcaklığı (°C)	Teorik Yoğunluk Değeri (g/cm3)	Deneysel Yoğunluk Değeri (g/cm3)	Gözenek Oranı (%)
1	77	20	3	100-150	22-59	10	550	2,754	2,470	10,31
							575		2,479	9,98
							595		2,495	9,40
2	70	20	10				550	2,783	2,475	11,06
							575		2,483	10,77
							595		2,499	10,20

4.1.1.2.4 AA2024 + B₄C + Y₂O₃:

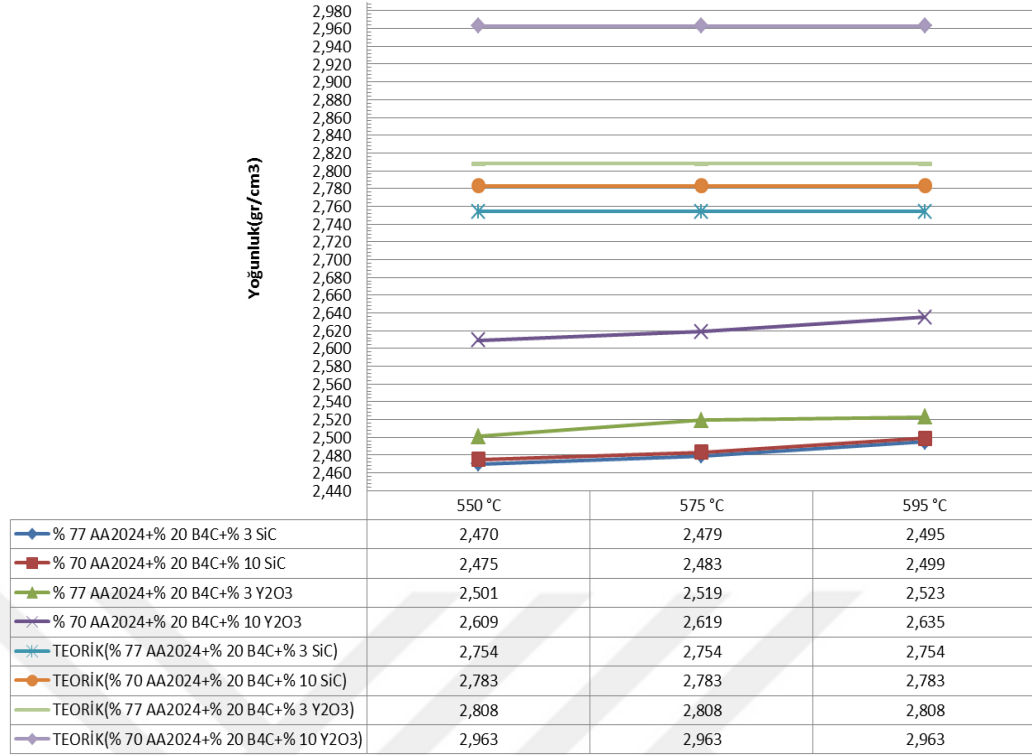
AA2024 matris içerisine ilave edilen B₄C ve Y₂O₃'ün yoğunluk üzerine etkileri tablo 4.9'da sunulmuştur. Tablo incelendiğinde tüm sıcaklıklarda ilave edilen Y₂O₃'ün oranı arttıkça gözenek oranının da arttığı görülmektedir.

Tablo 4.9 AA2024 + B₄C+Y₂O₃ yoğunluk değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

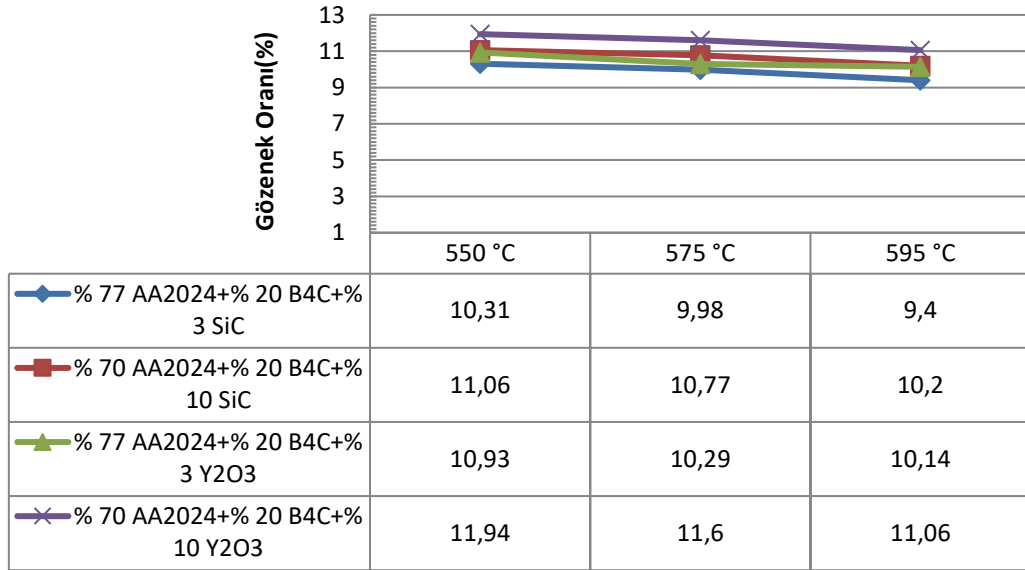
AA2024+(B4C+Y2O3)										
Sıra No	% AA2024	% B4C	% Y2O3	AA2024 Tane Boy. (µm)	B4C Tane Boy. (µm)	Y2O3 Tane Boy. (µm)	Sint. Sıcaklığı (°C)	Teorik Yoğunluk Değeri (g/cm3)	Deneysel Yoğunluk Değeri (g/cm3)	Gözenek Oranı (%)
1	77	20	3	100-150	22-59	10	550	2,808	2,501	10,93
							575		2,519	10,29
							595		2,523	10,14
2	70	20	10				550	2,963	2,609	11,94
							575		2,619	11,60
							595		2,635	11,06

Tablo 4.10 AA2024+(B₄C+SiC) & AA2024+(B₄C+Y₂O₃) yoğunluk değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

AA2024+(B ₄ C+SiC) & AA2024+(B ₄ C+Y ₂ O ₃)										
Sıra No	% AA2024	% B ₄ C	% SiC	AA2024 Tane Boy. (μm)	B ₄ C Tane Boy. (μm)	SiC Tane Boy. (μm)	Sint. Sıcaklığı (°C)	Teorik Yoğunluk Değeri (g/cm ³)	Deneysel Yoğunluk Değeri (g/cm ³)	Gözenek Oranı (%)
1	77	20	3	100-150	22-59	10	550	2,754	2,470	10,31
							575		2,479	9,98
							595		2,495	9,40
2	70	20	10				550	2,783	2,475	11,06
							575		2,483	10,77
							595		2,499	10,20
Sıra No	% AA2024	% B ₄ C	% Y ₂ O ₃			Y ₂ O ₃ Tane Boy. (μm)	Sint. Sıcaklığı (°C)	Teorik Yoğunluk Değeri (g/cm ³)	Deneysel Yoğunluk Değeri (g/cm ³)	Gözenek Oranı (%)
1	77	20	3			10	550	2,808	2,501	10,93
							575		2,519	10,29
							595		2,523	10,14
2	70	20	10				550	2,963	2,609	11,94
							575		2,619	11,60
							595		2,635	11,06

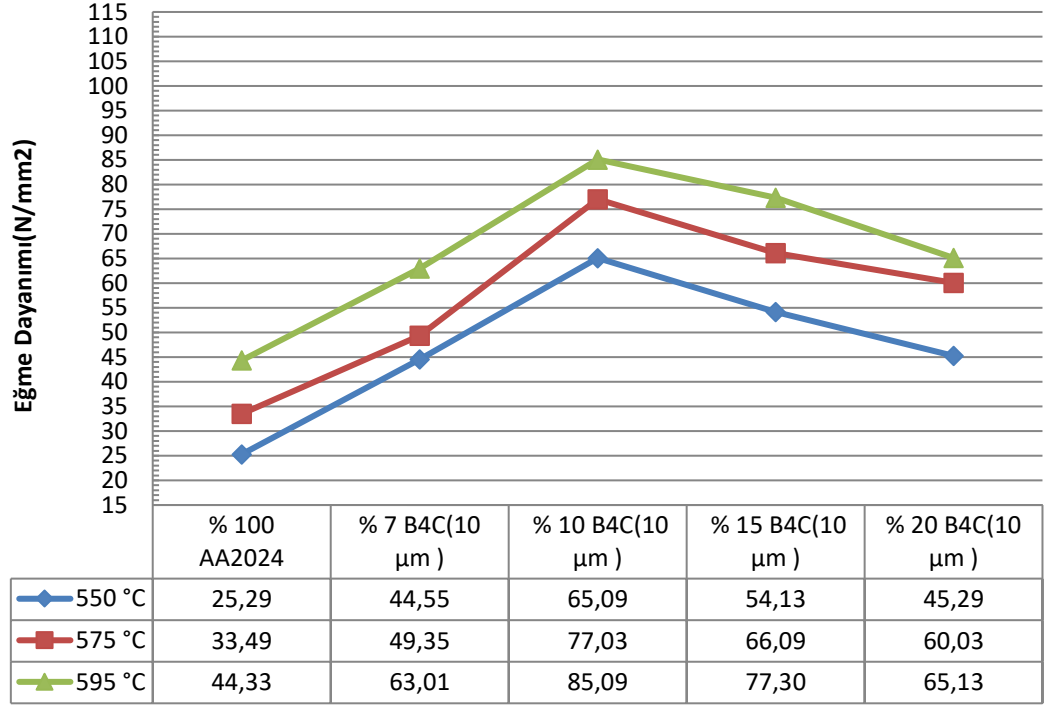


Şekil 4.10 AA2024+(B₄C+SiC) & AA2024+(B₄C+Y₂O₃)’nin yoğunluk değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

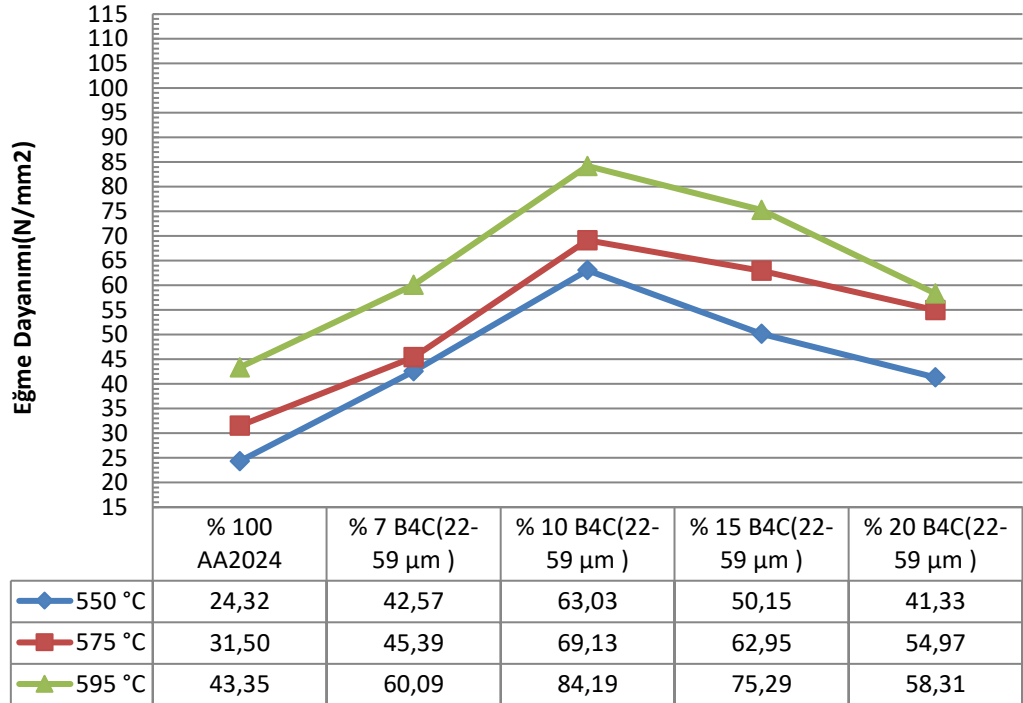


Şekil 4.11 AA2024+(B₄C+SiC) & AA2024+(B₄C+Y₂O₃)’nin gözenek oranı değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

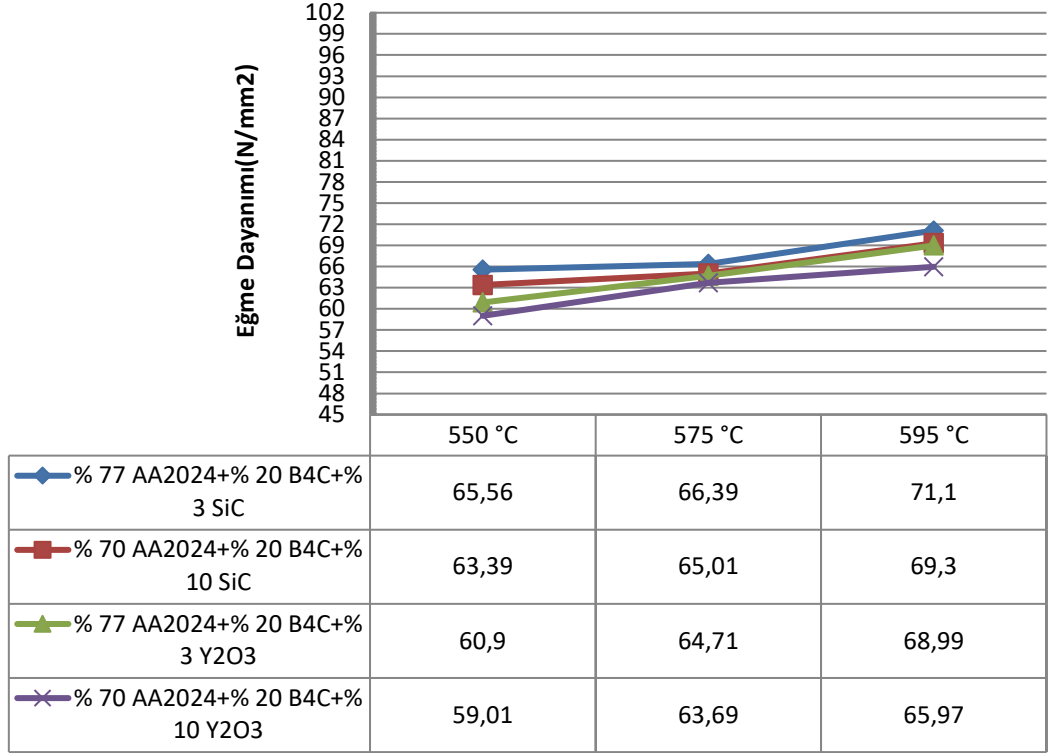
4.1.1.3 Üç Noktadan Eğme ve Basma Dayanımı:



Şekil 4.12 AA2024 + 10 µm B₄C'nin eğme dayanımının sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi



Şekil 4.13 AA2024 + 22-59 µm B₄C'nin eğme dayanımının sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

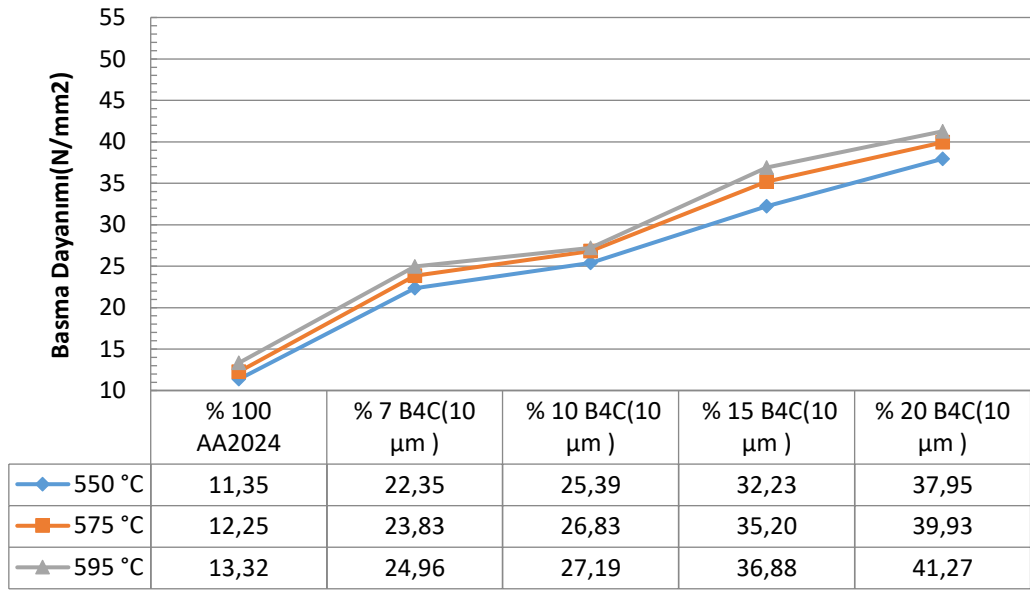


Şekil 4.14 AA2024+(B₄C+SiC) & AA2024+(B₄C+Y₂O₃)’nin eğme dayanımının sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

AA2024 + 10 µm B₄C’nin eğme mukavemeti ağırlıkça % 10 B₄C takviye ilavesine kadar artmakta ve daha sonra azalmaktadır. Bunun en temel nedeni ise; matris içerisinde artan partikül oranıyla birlikte kompozitin yoğunluğu düşmüş ve gözenek oranı artmıştır. Uygulanan yük karşısında matris, içerisinde bulunan bu gözenekleri absorbe etme yeteneğini kaybetmiştir ve buna paralel olarak ilave edilen takviye oranlarının artmasıyla kompozitin eğme mukavemeti de düşmüştür. Bu durum şekil 4.12 ve 4.13’de görülmektedir.

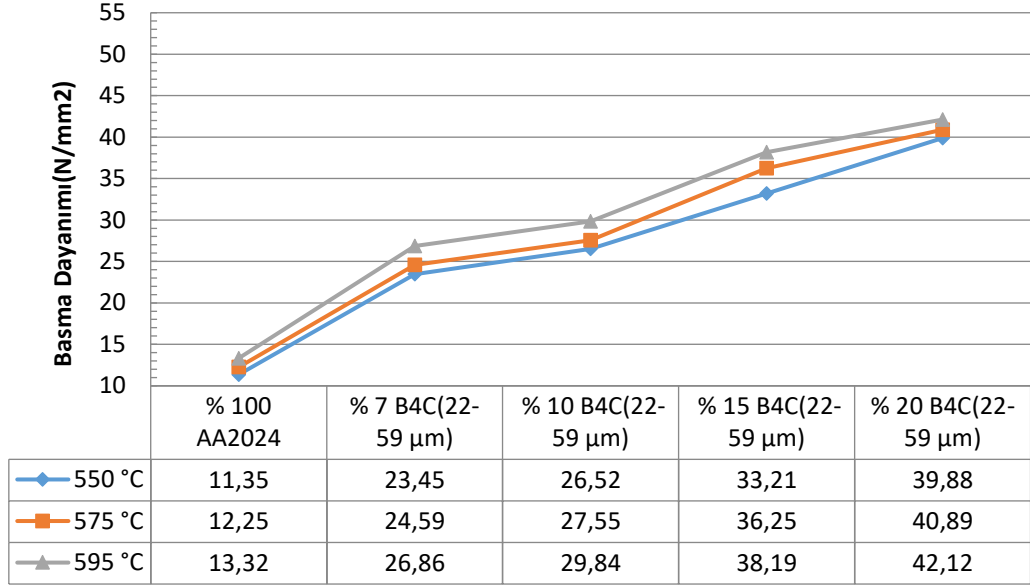
AA2024 matris içerisine ilave edilen 10 µm B₄C’nin eğme dayanımının 22-59 µm B₄C’ye oranla yüksek olduğu görülmektedir. Buna neden olarak, seramik malzemelerde kırılma davranışı tane boyutu ile ilişkili olduğu ve malzemenin tane boyutunda azalma taneler arası kırılma davranışını teşvik ettiği bilinmektedir ve bu da malzemenin kırılmasına karşı dirençli olmasını sağlamaktadır. Ayrıca, düşük boyuttaki takviye oranı ile matris/takviye arasındaki bağ açısı düşmekte ve bunun sonucunda da daha yoğun bir malzeme elde edilmektedir.

MMK'lerde takviye fazı ilavesi ile dayanımın artması dislokasyon hareketleri ile de açıklanabilir. Dislokasyonun partiküller arasında hareketine devam etmesi sonucunda takviye partiküllerinin etrafında bir dislokasyon halkası oluşur. Kayma düzleminde hareket eden her dislokasyon partiküllerin etrafına bir halka ekleyerek dislokasyon yoğunluğunun artmasına neden olur. Bu dislokasyon halkaları iç gerilmelere ve dolayısıyla da matriks fazının deformasyon sertleşmesine neden olur. Bunun sonucunda da malzemenin dayanımı artar.



Şekil 4.15 AA2024 + 10 μm B₄C'nin basma dayanımının sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

AA2024 + 10 μm B₄C'nin basma mukavemeti takviye ilavesi ile artmaktadır. Bunun en temel nedeni ise; matris içerisinde ağırlıkça artan seramik parçacık (metal matris malzemesine kıyasen basma mukavemeti yüksek olan) oranıyla birlikte kompozitin yoğunluğu düşmüş ve basma dayanımı artmıştır. Bu durum şekil 4.15'de görülmektedir.

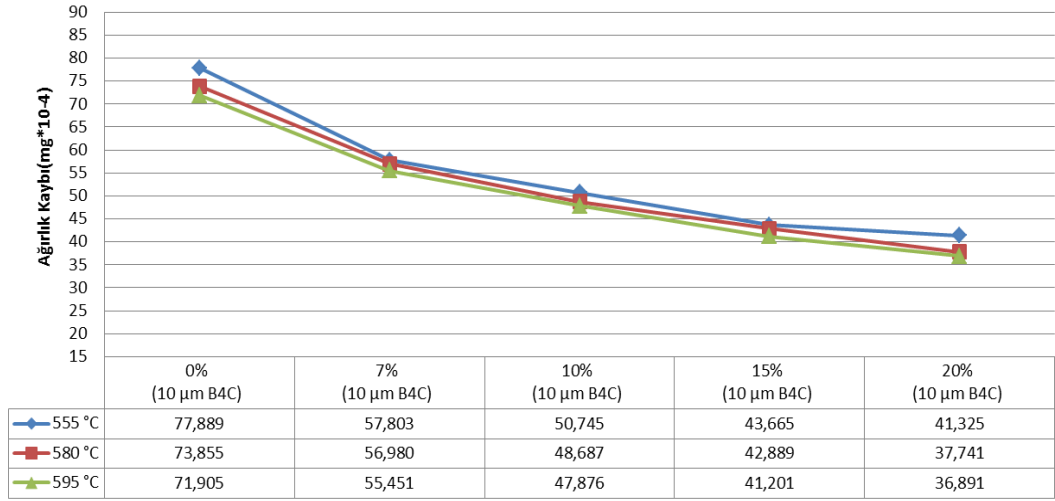


Şekil 4.16 AA2024 + 22 – 59 µm B₄C’nin basma dayanımının sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

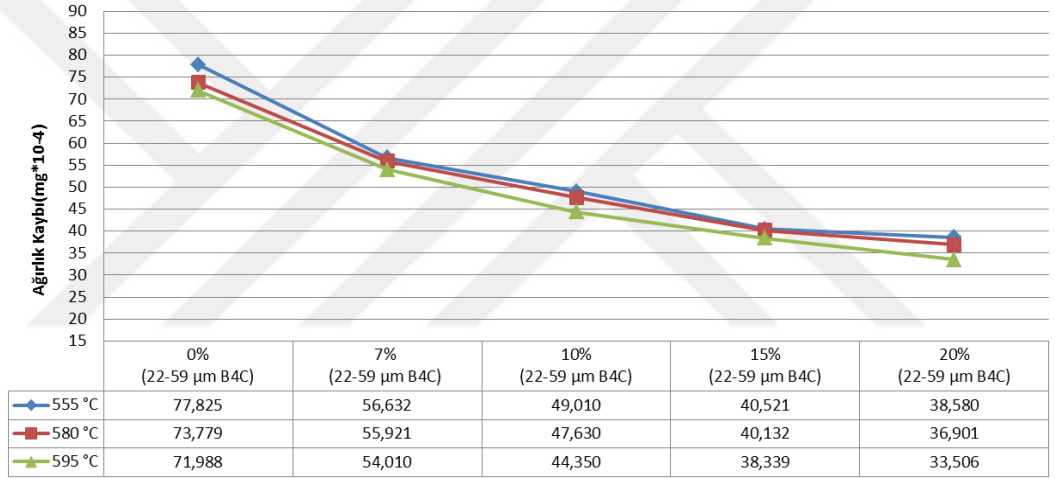
AA2024 + 22-59 µm B₄C’nin basma mukavemeti takviye ilavesi ile artmakta ve 10 µm kıyasla 22-59 µm toz boyutuna sahip olan B₄C’nin basma dayanımı daha yüksektir.

4.1.1.4 Aşınma:

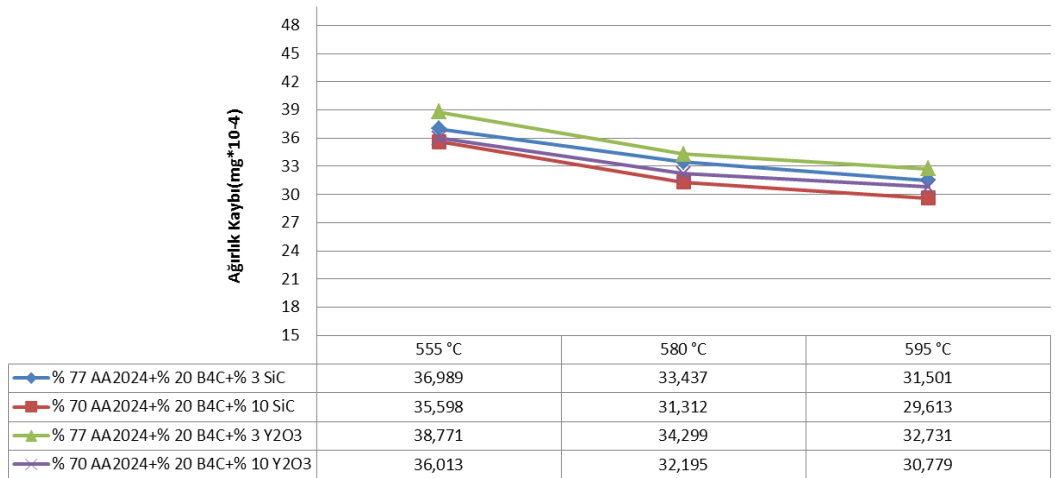
Elde edilen kompozit malzemelerin aşınma testi Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan Tribometer marka pin-on-disk aşınma cihazında 2 N yük altında ve 15 dakika süre zarfında (3.516 mm çapında, 200000 mm mesafe ve 20000 cm/s doğrusal hız ile) gerçekleştirildi. Yoğunluk değerleri ile doğru orantılı olarak artan B₄C takviye miktarı ile aşınma değerleri de azalmıştır. Bunun nedeni ise, takviye parçacıklarının matris içinde homojen dağılımı ve sürtünmeye karşı matrise oranla sürtünme katsayılarının yüksek oluşudur. Şekil 4.17 ve 4.18’de görüldüğü üzere artan takviye oranı ile tüm sıcaklıklarda aşınma değeri azalmıştır.



Şekil 4.17 AA2024 + 10 μm B₄C'nin ağırlık kaybı değerlerinin takviye oranları ve sıcaklık artışı ile değişimi



Şekil 4.18 AA2024 + 22-59 μm B₄C'nin ağırlık kaybı değerlerinin takviye oranları ve sıcaklık artışı ile değişimi



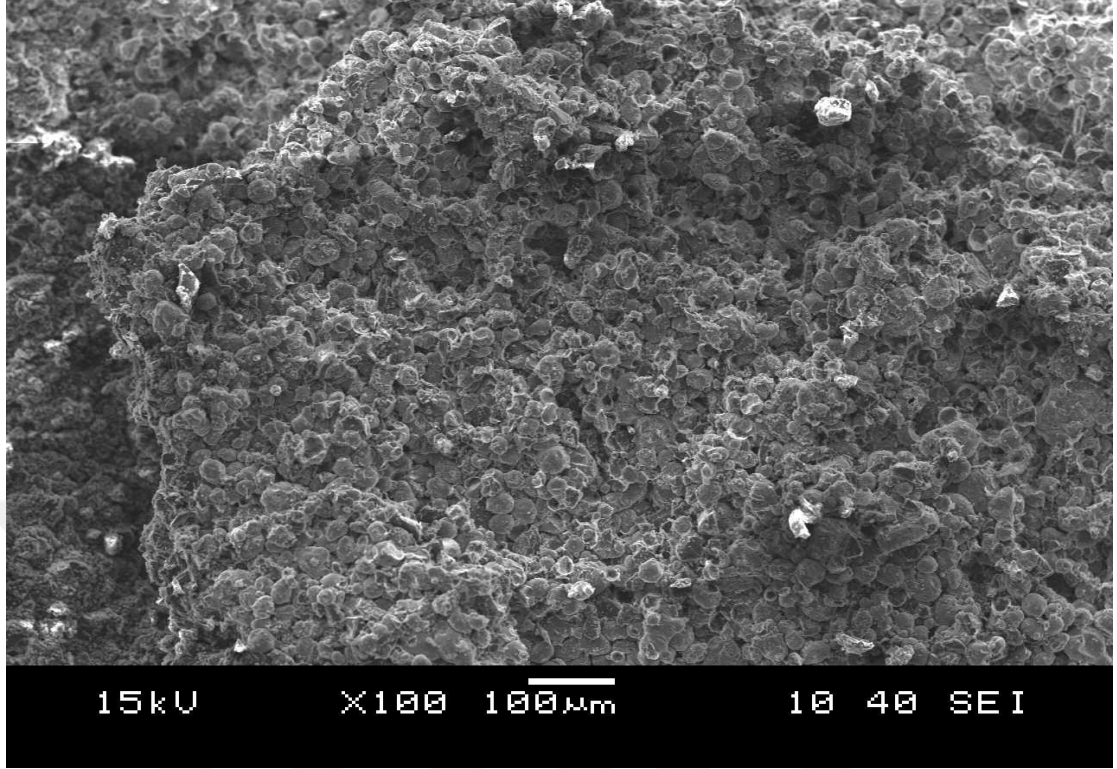
Şekil 4.19 AA2024+(B₄C+SiC) & AA2024+(B₄C+Y₂O₃)’nin ağırlık kaybı değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

Şekil 4.19’da AA2024+(B₄C+SiC) & AA2024+(B₄C+Y₂O₃)’nin ağırlık kaybı değerlerinin sıcaklık artışı ile değişimi verilmiştir. Şekil incelendiğinde sıcaklık değerlerindeki artış ile aşınma değerleri de azaldığı ve AA2024+(B₄C+SiC) şeklinde üretilen kompozit malzemenin aşınma dayanımının AA2024+(B₄C+Y₂O₃)’e oranla daha yüksek olduğu görülmektedir.

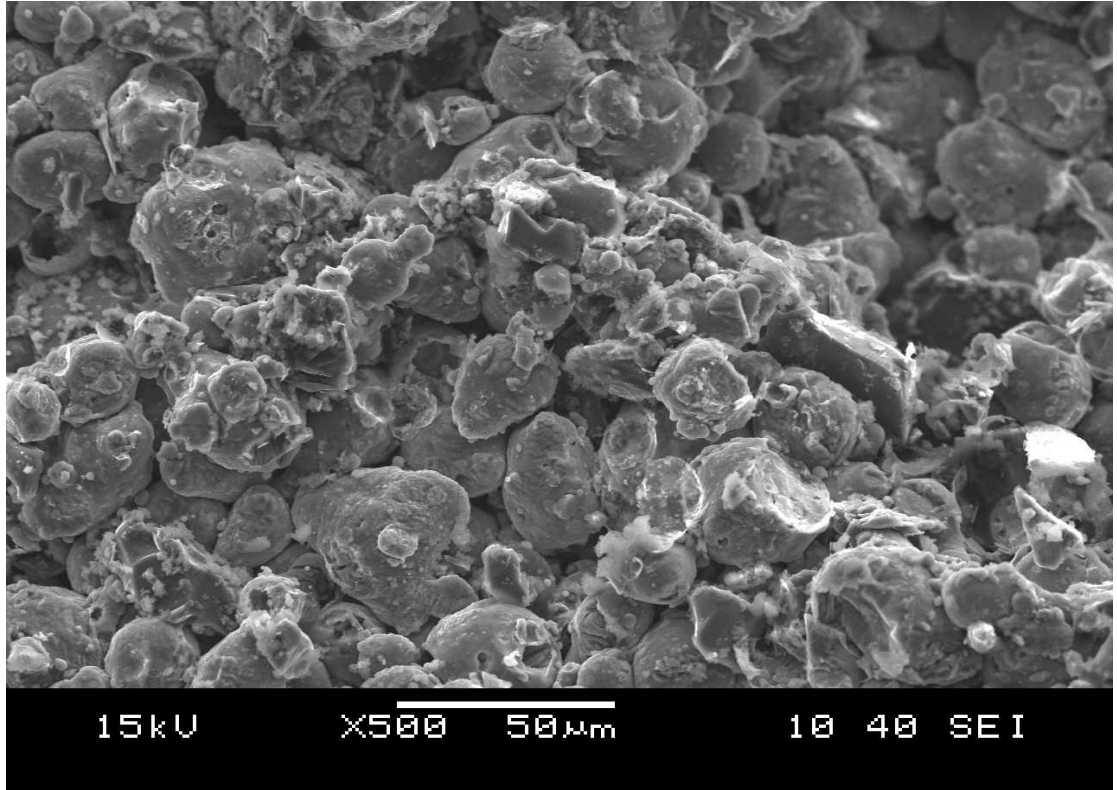


4.1.2 Metalografik İnceleme:

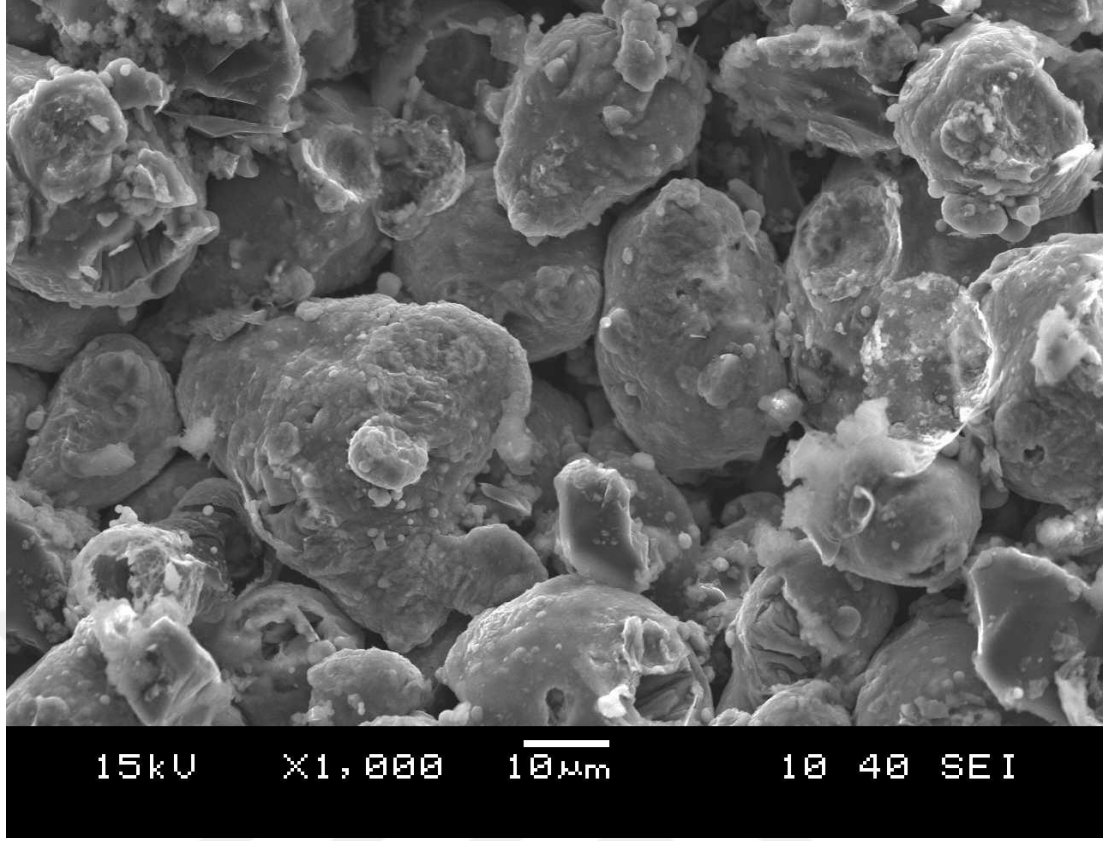
4.1.2.1SEM:



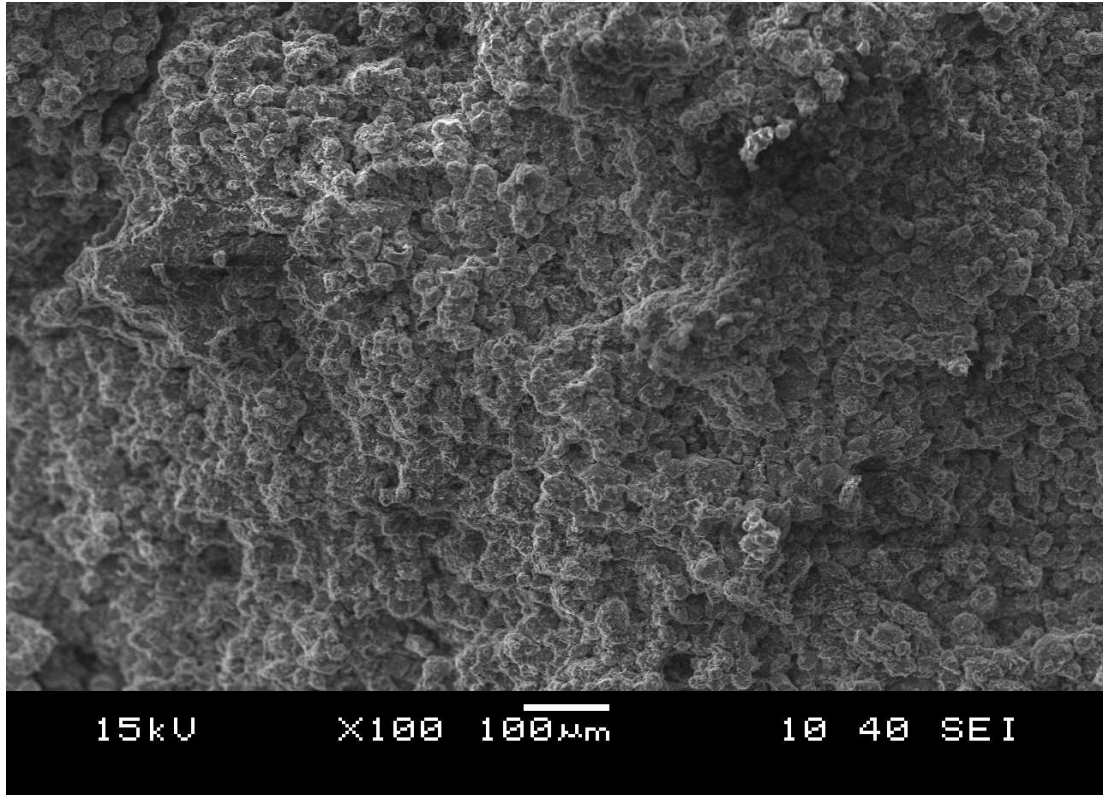
Şekil 4.20a 575 °C’de %85 AA2024+%15 B₄C(10 µm) x100 SEM görüntüsü



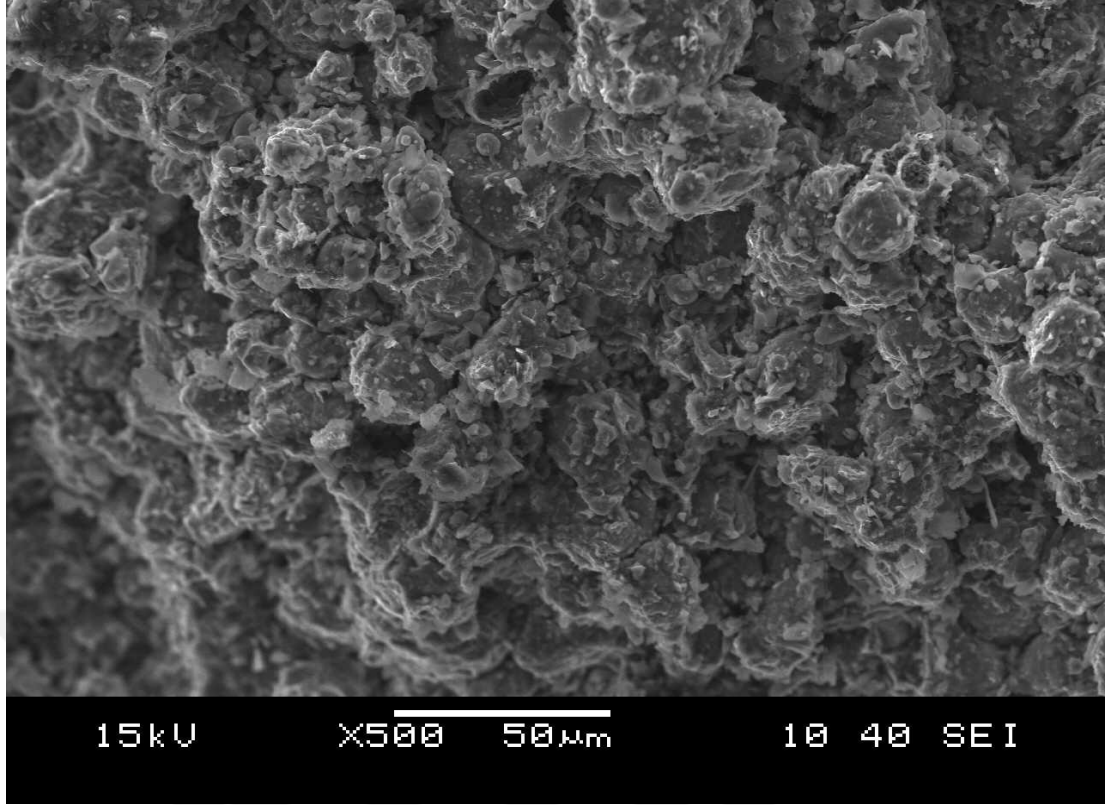
Şekil 4.20b 575 °C’de %85 AA2024+%15 B₄C(10 µm) x500 SEM görüntüsü



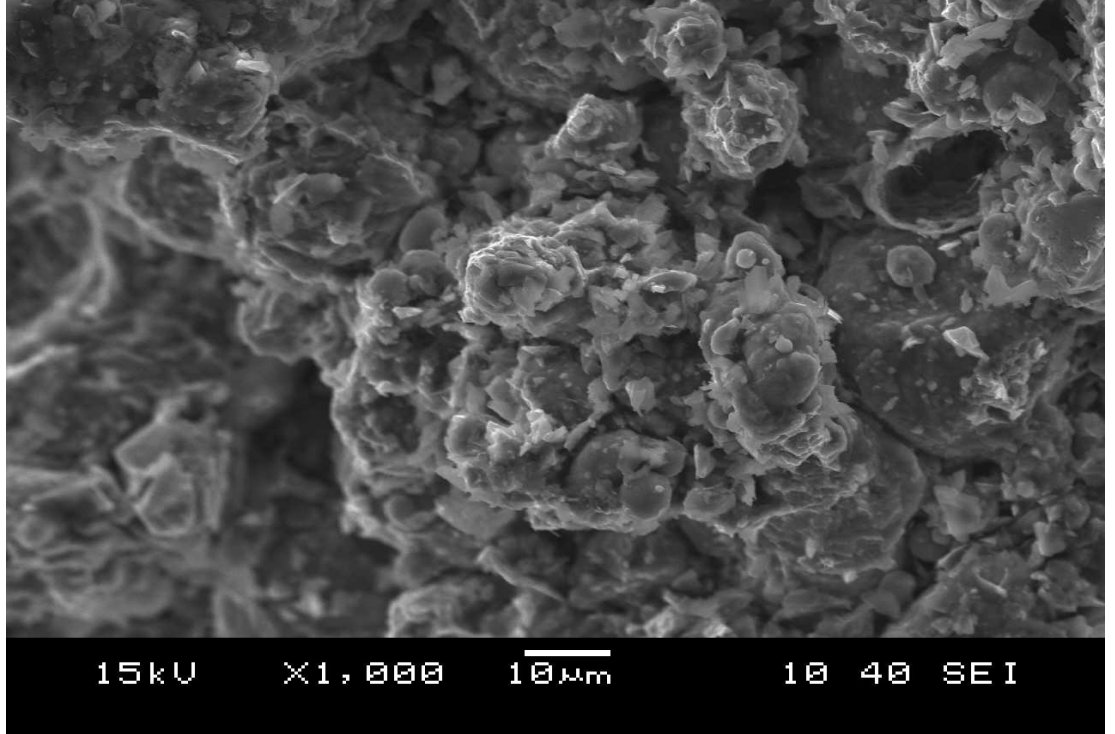
Şekil 4.20c 575 °C’de %85 AA2024+%15 B₄C(10 µm) x1000 SEM görüntüsü



Şekil 4.21a 575 °C’de %77 AA2024+%20 B₄C(22-59 µm)+%3 SiC x100 SEM görüntüsü



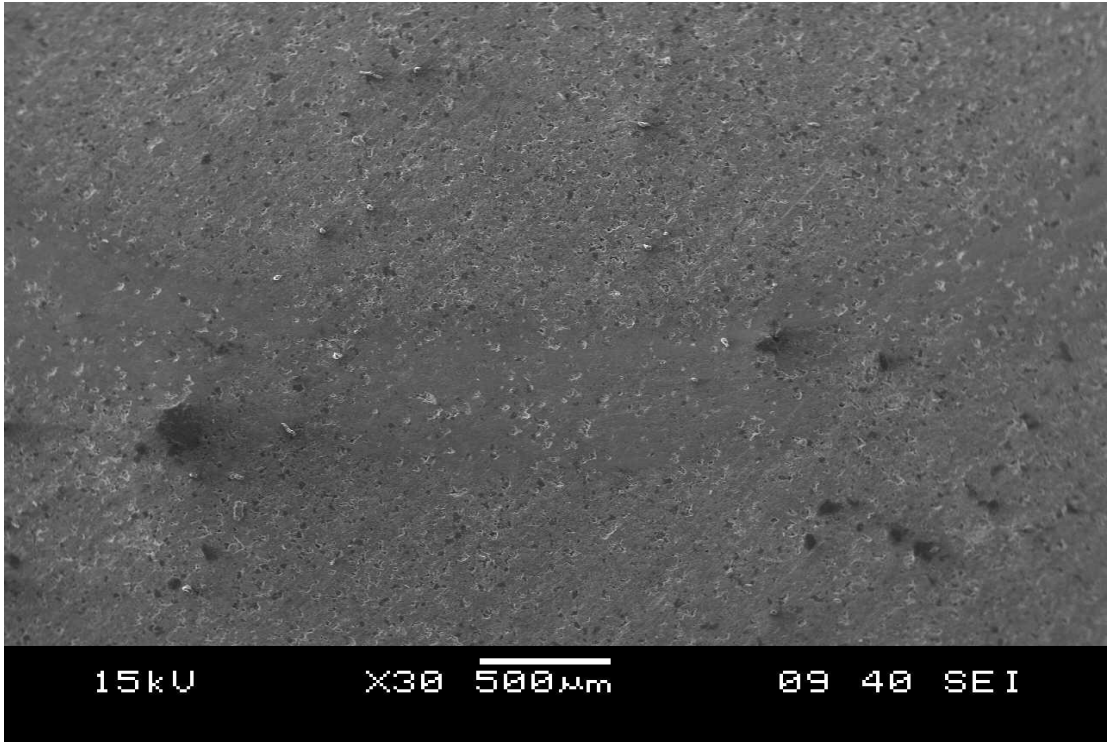
Şekil 4.21b 575 °C’de %77 AA2024+%20 B₄C(22-59 µm)+%3 SiC x500 SEM görüntüsü



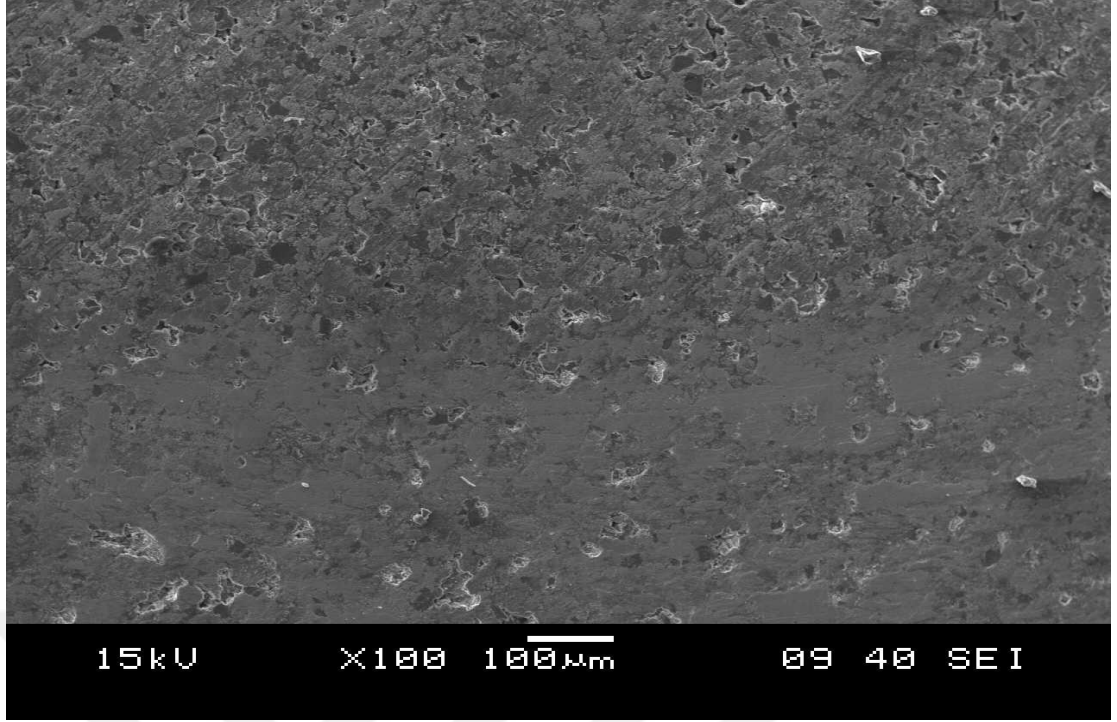
Şekil 4.21c 575 °C’de %77 AA2024+%20 B₄C(22-59 µm)+%3 SiC x1000 SEM görüntüsü

Şekil 4.21’de %77 AA2024+%20 B₄C(22-59 µm)+%3 SiC oranlarında hazırlanan kompozit malzemenin içyapısı verilmiştir. Şekil incelendiğinde B₄C ve SiC partikül dağılımının genelde homojen olduğu, ancak bazı bölgelerde homojen dağılmadığı görülmektedir.

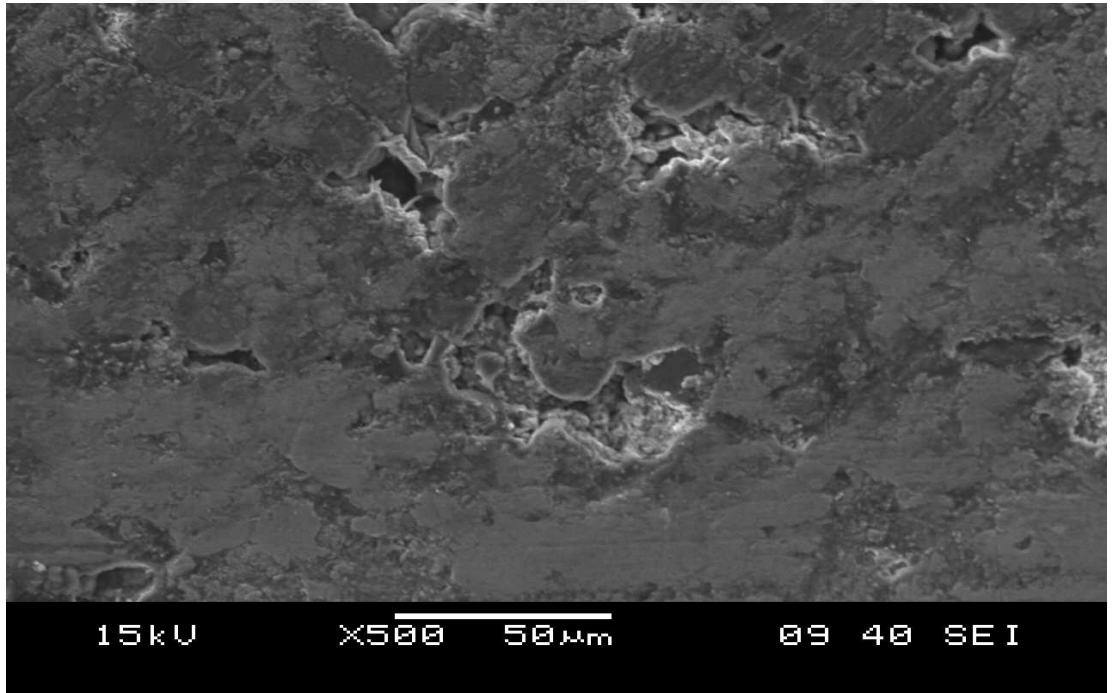
Şekil 4.20’de 575 °C’de sinterlenen ve %85 AA2024+%15 B₄C(10 µm) oranlarında hazırlanan MMK malzemenin içyapısı gösterilmiştir. Şekil 4.21’de 575 °C’de sinterlenen ve %77 AA2024+%20 B₄C(22-59 µm)+%3 SiC oranlarında hazırlanan MMK malzemenin içyapısı gösterilmiştir. İki malzemede aynı sıcaklıkta sinterleme işlemine tabi tutulmasına rağmen, %77 AA2024+%20 B₄C(22-59 µm)+%3 SiC oranlarında hazırlanan MMK malzemenin içyapısında gözenek boyutunun daha küçük olduğu görülmektedir. İki kompozit malzemenin gözenek oranları incelendiğinde ise, %85 AA2024+%15 B₄C(10 µm) oranlarında hazırlanan MMK malzemenin gözenek oranının %9,21 olduğu; %77 AA2024+%20 B₄C(22-59 µm)+%3 SiC oranlarında hazırlanan MMK malzemenin gözenek oranının ise, %9,98 olduğu görülmektedir. Bu da B₄C(22-59 µm)’ün yanında yapıya 10 µm SiC ilave edilmesi ile gözenek oranının yükseldiği, ancak, gözenek boyutunun daha küçük olmasından dolayı mevcut gözeneklerin yapının tümüne yayıldığını gösterir.



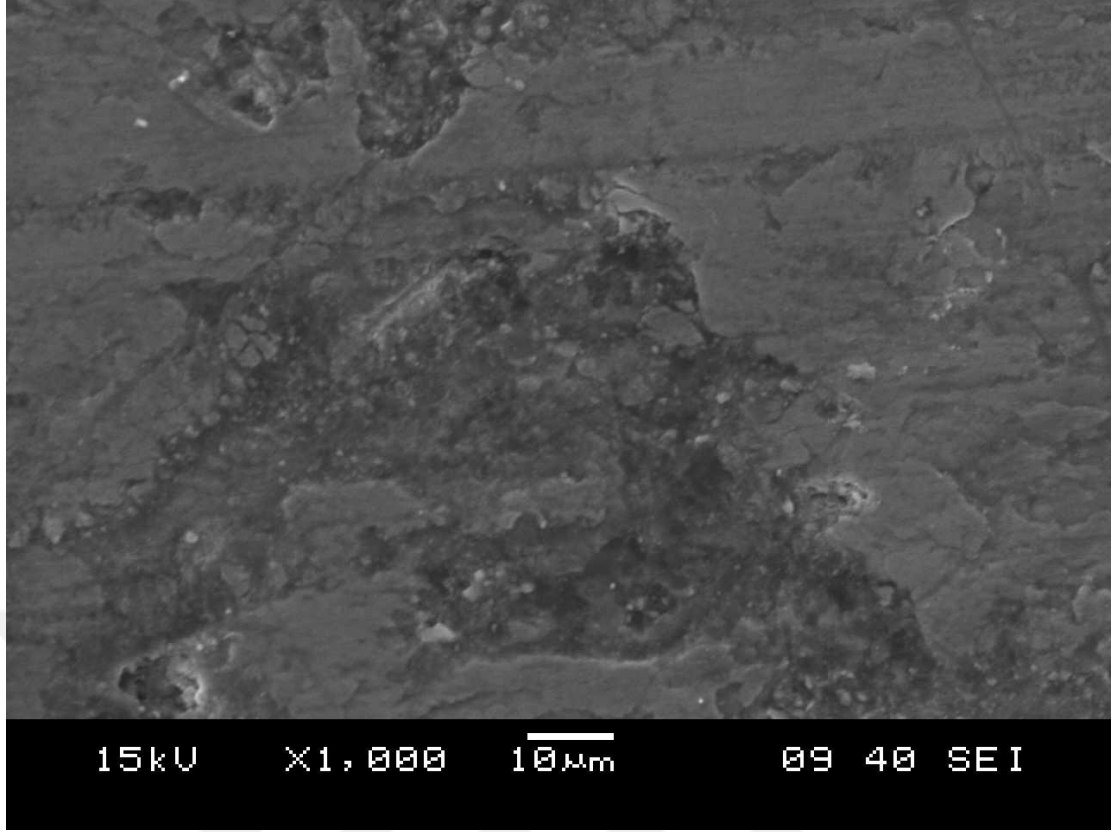
Şekil 4.22a 575 °C’de %77 AA2024+%20 B₄C(22-59 µm)+%3 Y₂O₃ aşınma yüzeyi x30 SEM görüntüsü



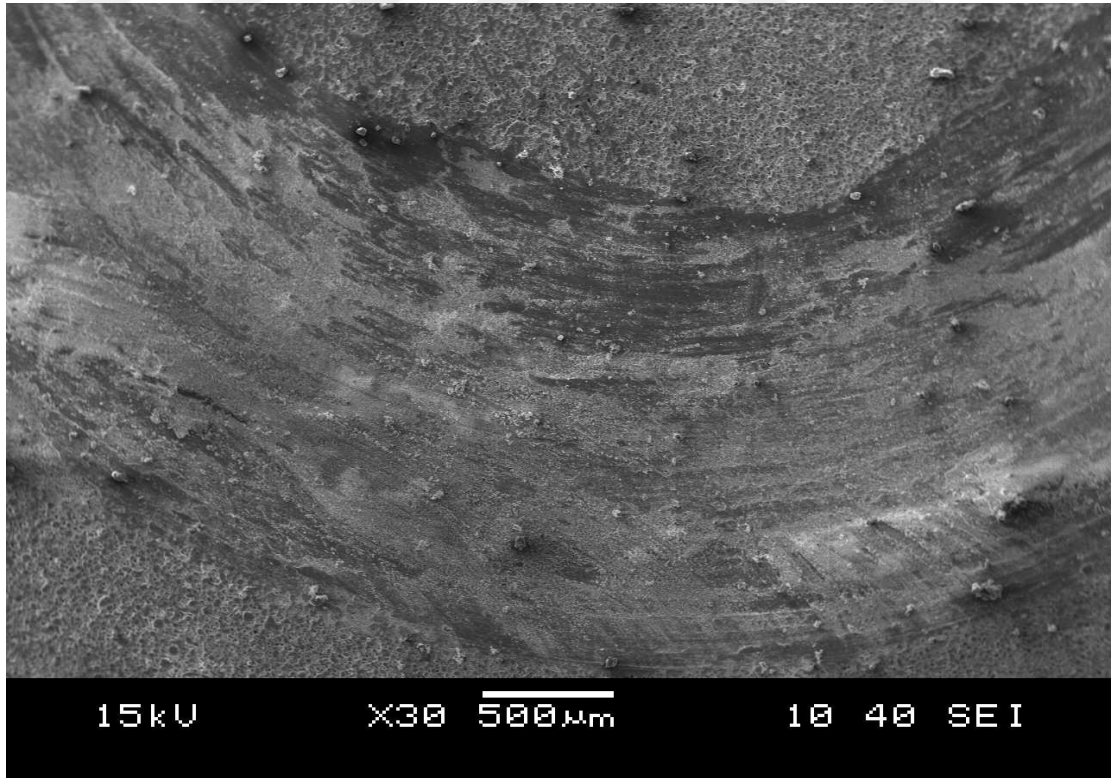
Şekil 4.22b 575 °C'de %77 AA2024+%20 B₄C(22-59 μm)+%3 Y₂O₃ aşınma yüzeyi x100 SEM görüntüsü



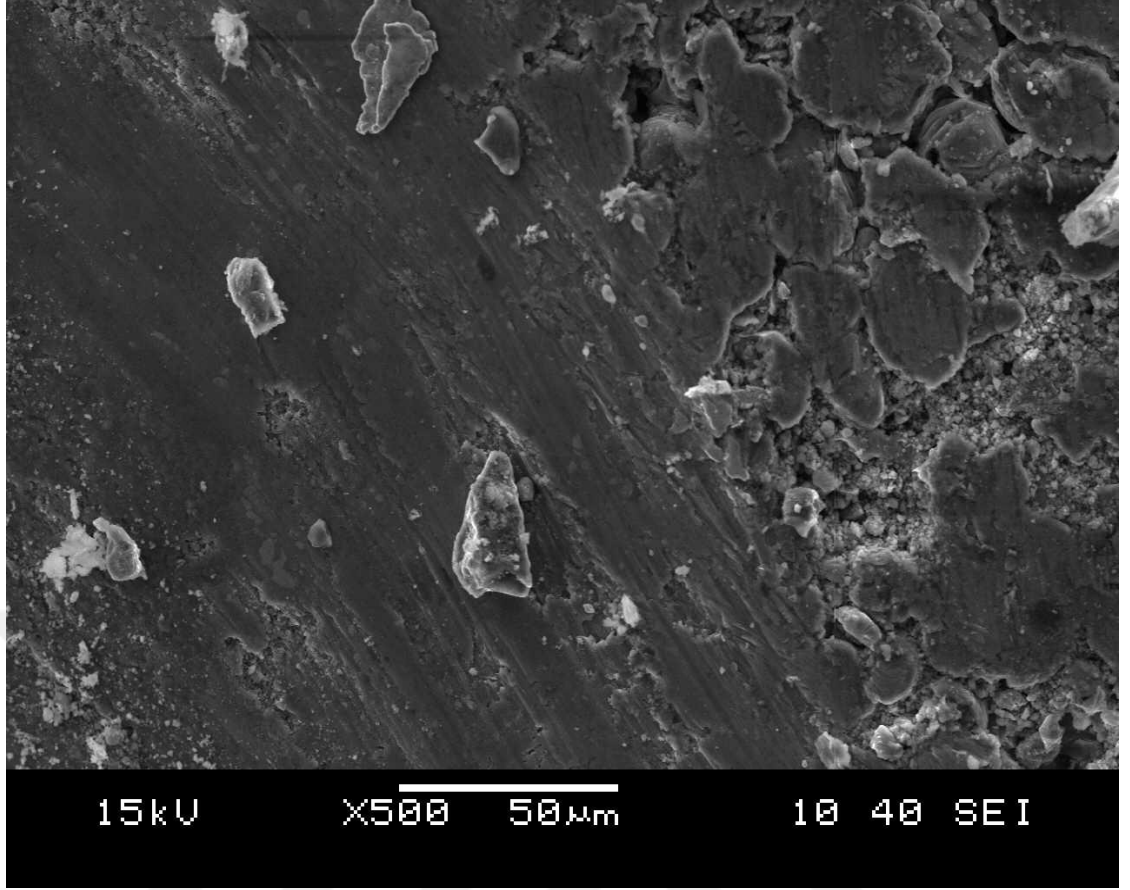
Şekil 4.22c 575 °C'de %77 AA2024+%20 B₄C(22-59 μm)+%3 Y₂O₃ aşınma yüzeyi x500 SEM görüntüsü



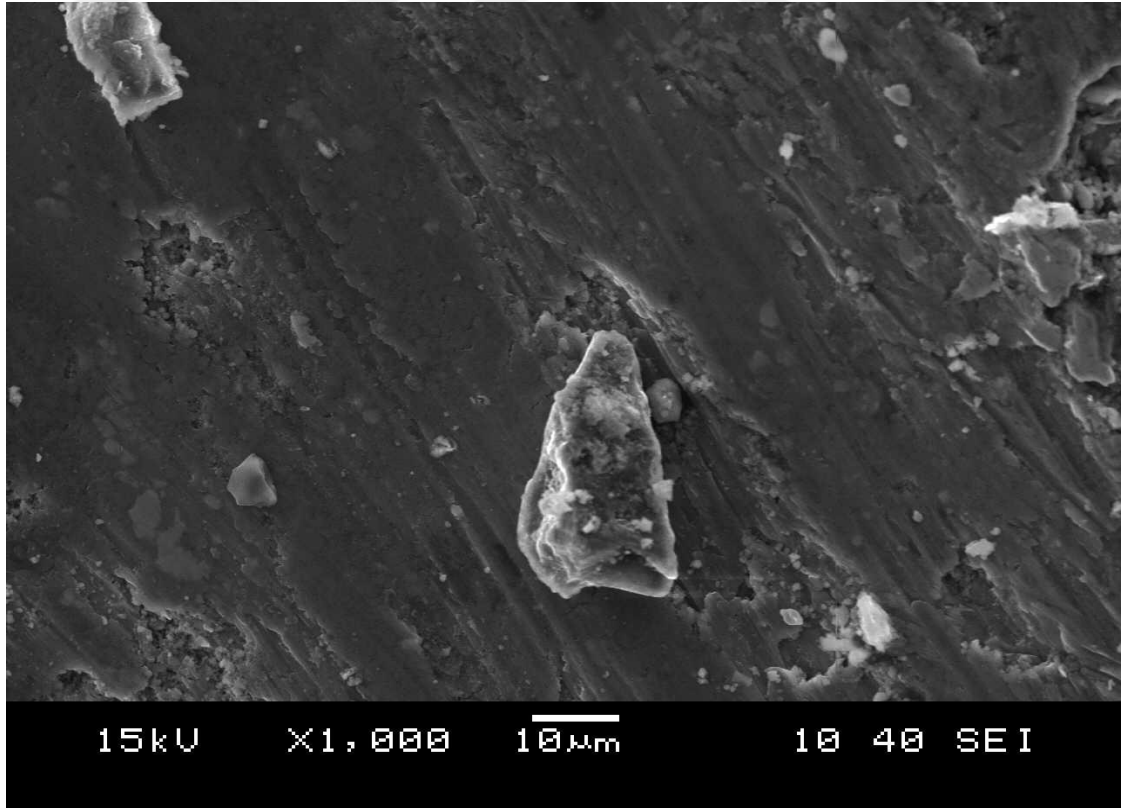
Şekil 4.22d 575 °C’de %77 AA2024+%20 B₄C(22-59 μm)+%3 Y₂O₃ aşınma yüzeyi x1000 SEM görüntüsü



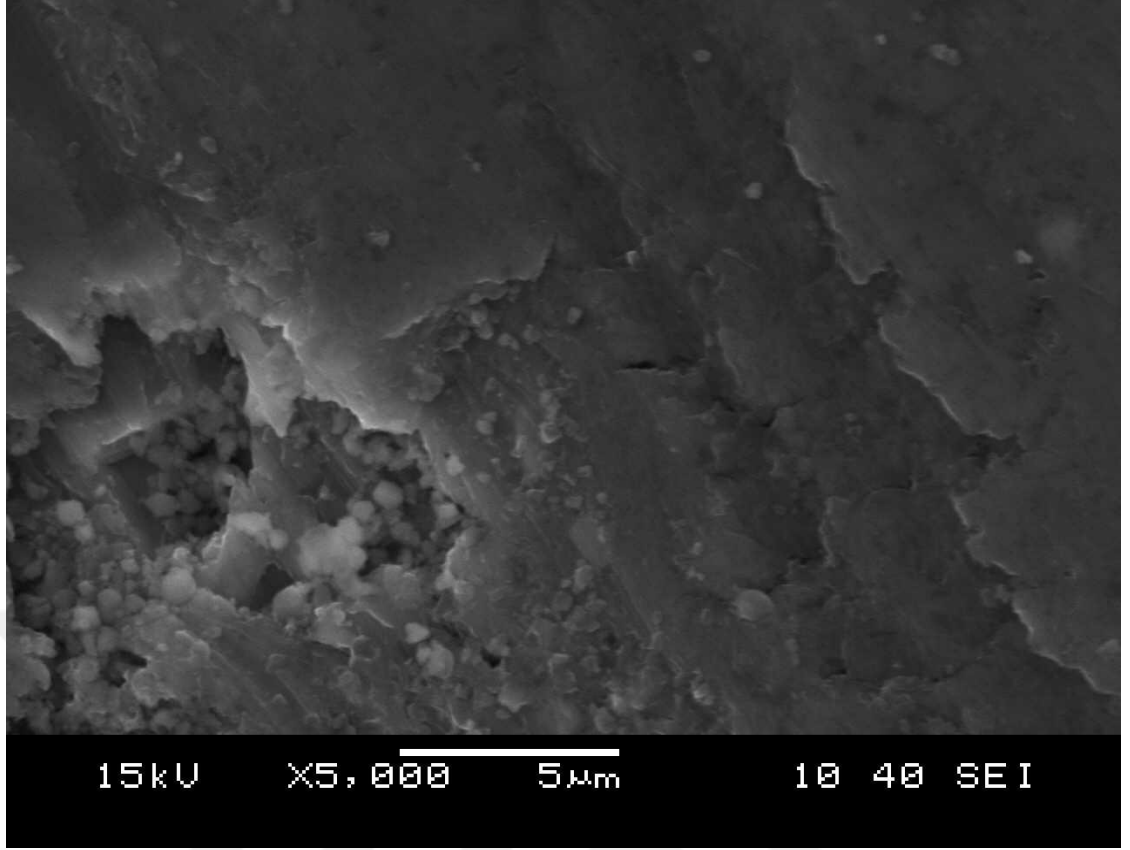
Şekil 4.23a 595 °C’de AA2024 aşınma yüzeyi x30 SEMgörüntüsü



Şekil 4.23b 595 °C’de AA2024 aşınma yüzeyi x500 SEMgörüntüsü

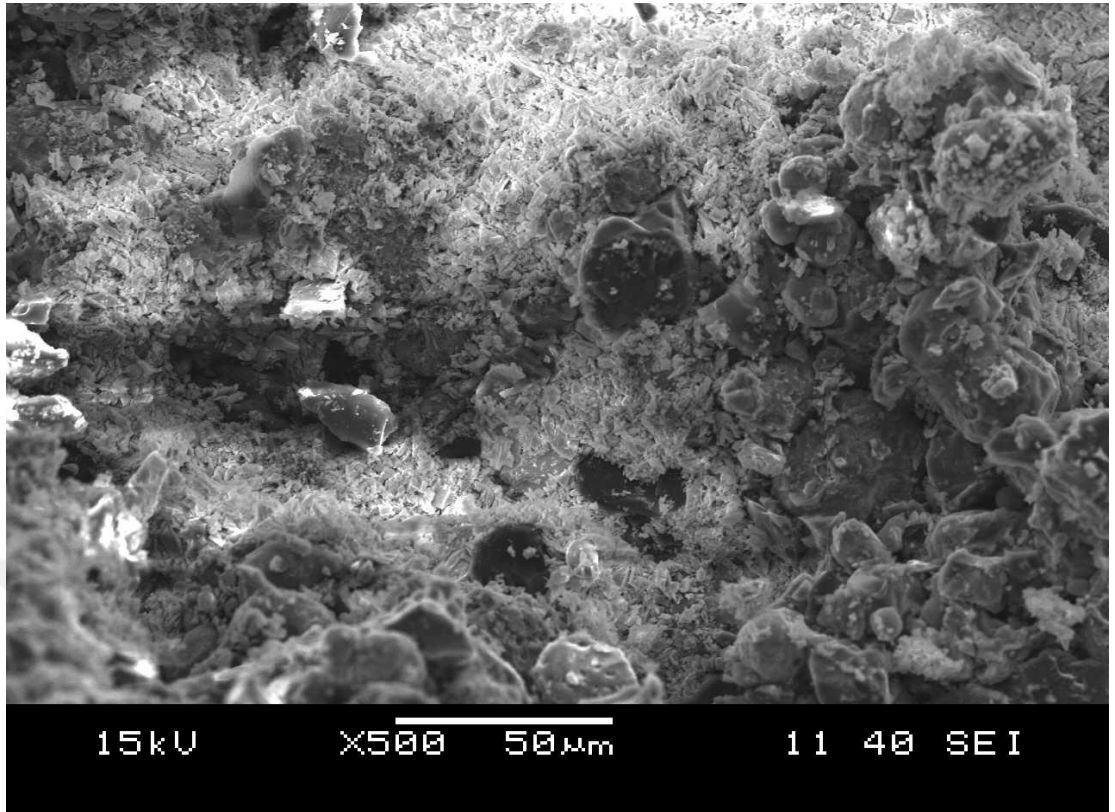


Şekil 4.23c 595 °C’de AA2024 aşınma yüzeyi x1000 SEMgörüntüsü(, ,x1000,x5000)

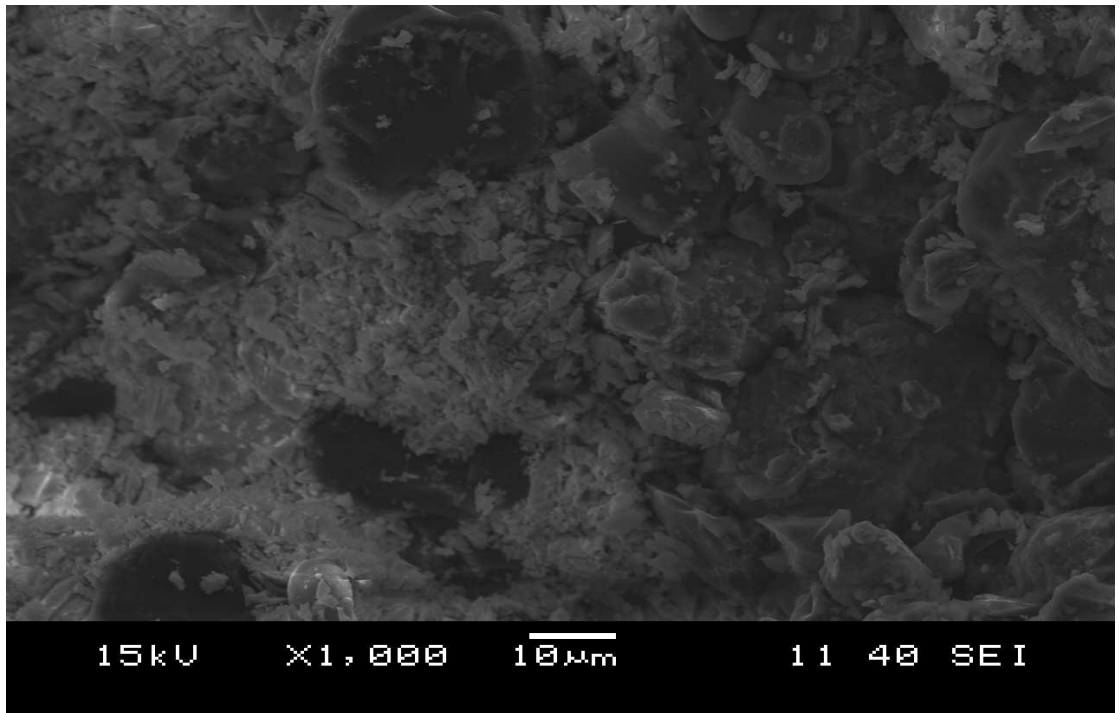


Şekil 4.23d 595 °C’de AA2024 aşınma yüzeyi x5000 SEM görüntüsü

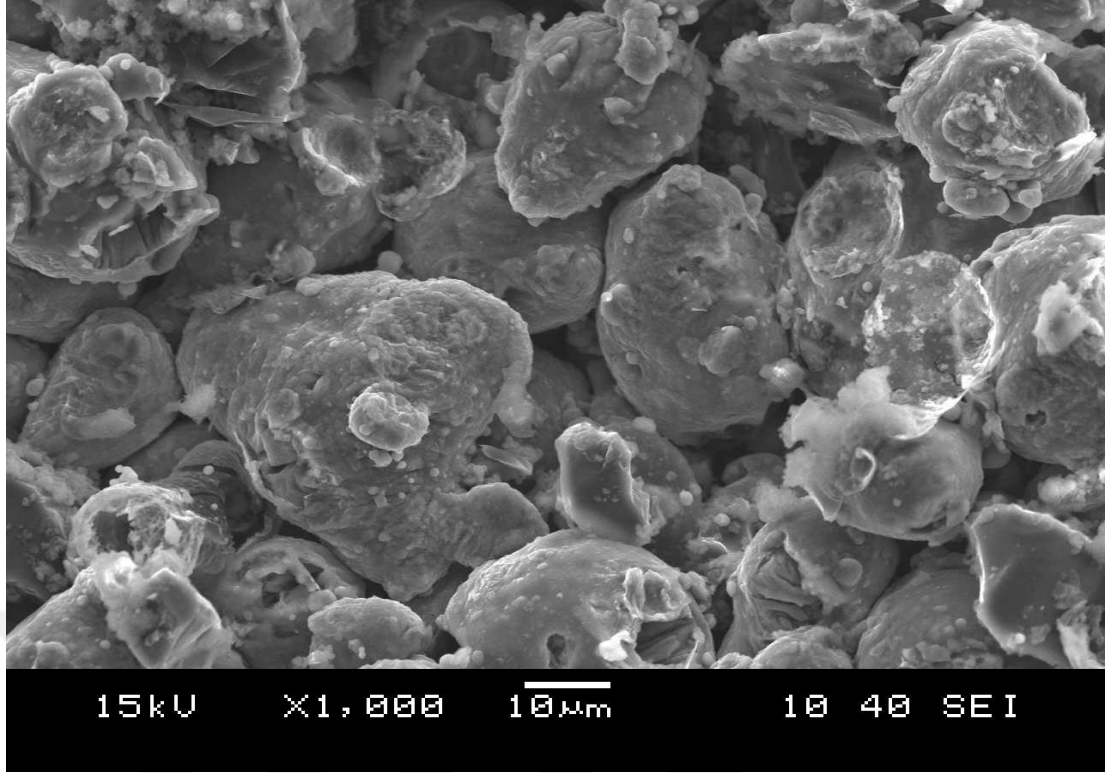
Şekil 4.22’de 575 °C’de sinterlenen ve %77 AA2024+%20 B₄C(22-59 μm)+%3 Y₂O₃ oranlarında hazırlanan MMK malzemenin aşınma deneyi sonrası yüzeyi gösterilmiştir. Şekil 4.23’de 595 °C’de sinterlenen AA2024 malzemenin aşınma yüzeyi gösterilmiştir. İki malzemede 2 N yük altında ve 15 dakika süre zarfında(3.516 mm çapında, 200000 mm mesafe ve 20000 cm/s doğrusal hız ile) aşınma deneyine tabi tutuldu. Şekil 4.22 ve şekil 4.23 karşılaştırıldığında 595 °C’de sinterlenen AA2024 malzemenin yüzeyinde aşınma izinin(daha yüksek sıcaklıkta sinterlenmesine rağmen) daha belirgin olduğu görülmektedir. Bu da AA2024 malzemenin daha çok aşındığı %77 AA2024+%20 B₄C(22-59 μm)+%3 Y₂O₃ oranlarında hazırlanan MMK malzemenin daha az aşındığını gösterir. Ayrıca, 595 °C’de sinterlenen AA2024 malzemenin aşınma yüzeyinde kopan parçalar açıkça görülmektedir.



Şekil 4.24a 575 °C’de %70 AA2024+%20 B₄C(22-59 µm)+%10 Y₂O₃ x500 SEM görüntüsü

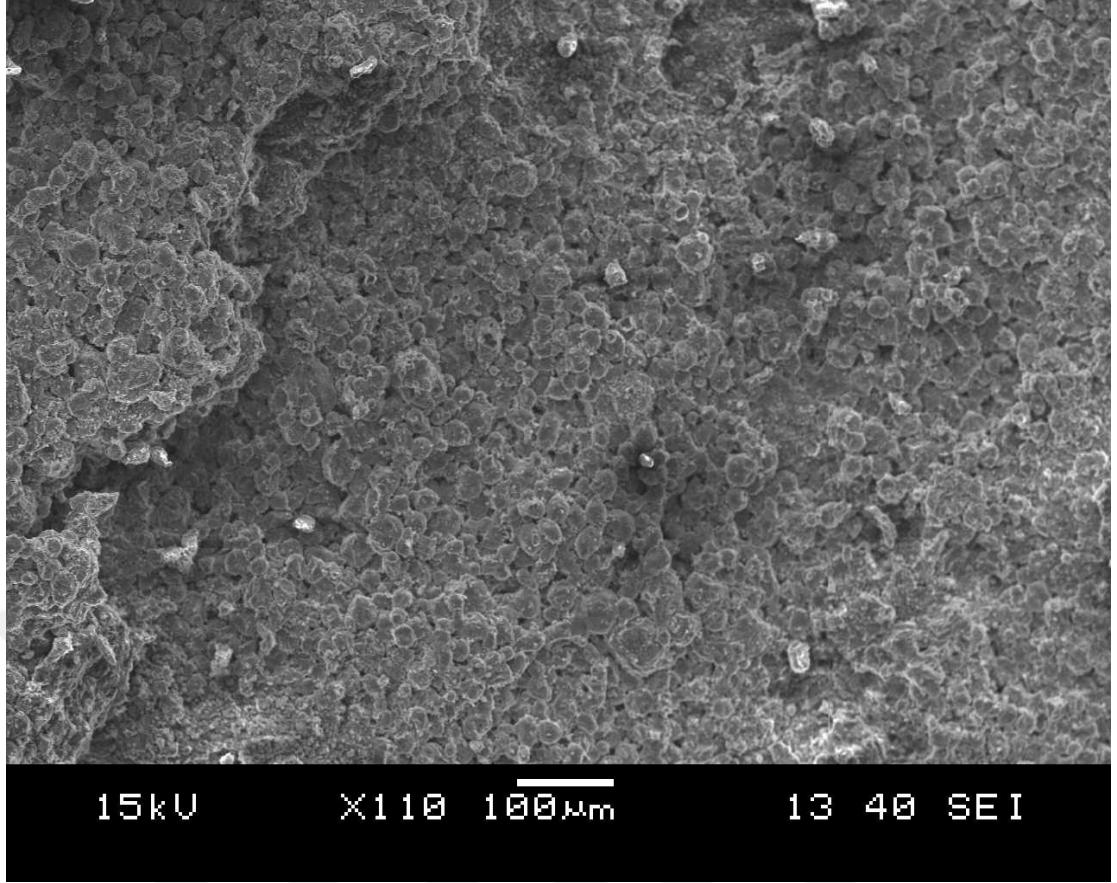


Şekil 4.24b 575 °C’de %70 AA2024+%20 B₄C(22-59 µm)+%10 Y₂O₃ x1000 SEM görüntüsü

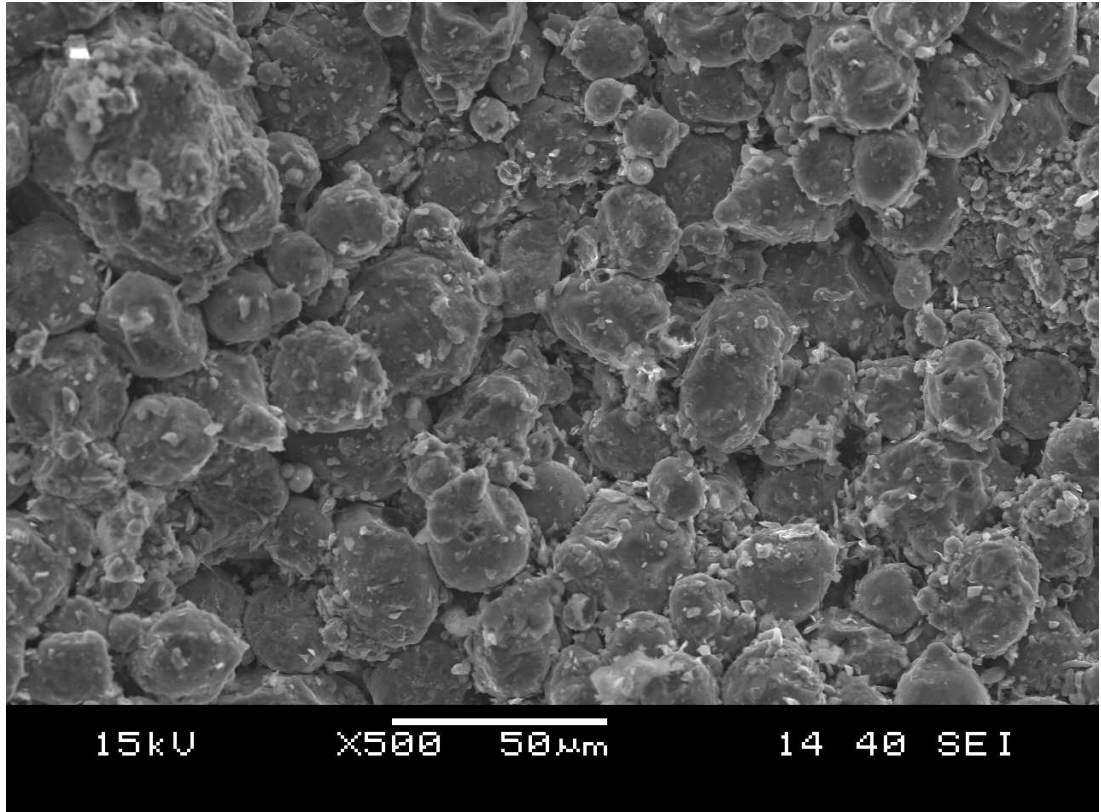


Şekil 4.25 575 °C’de %85 AA2024+%15 B₄C(10 µm) x1000 SEM görüntüsü

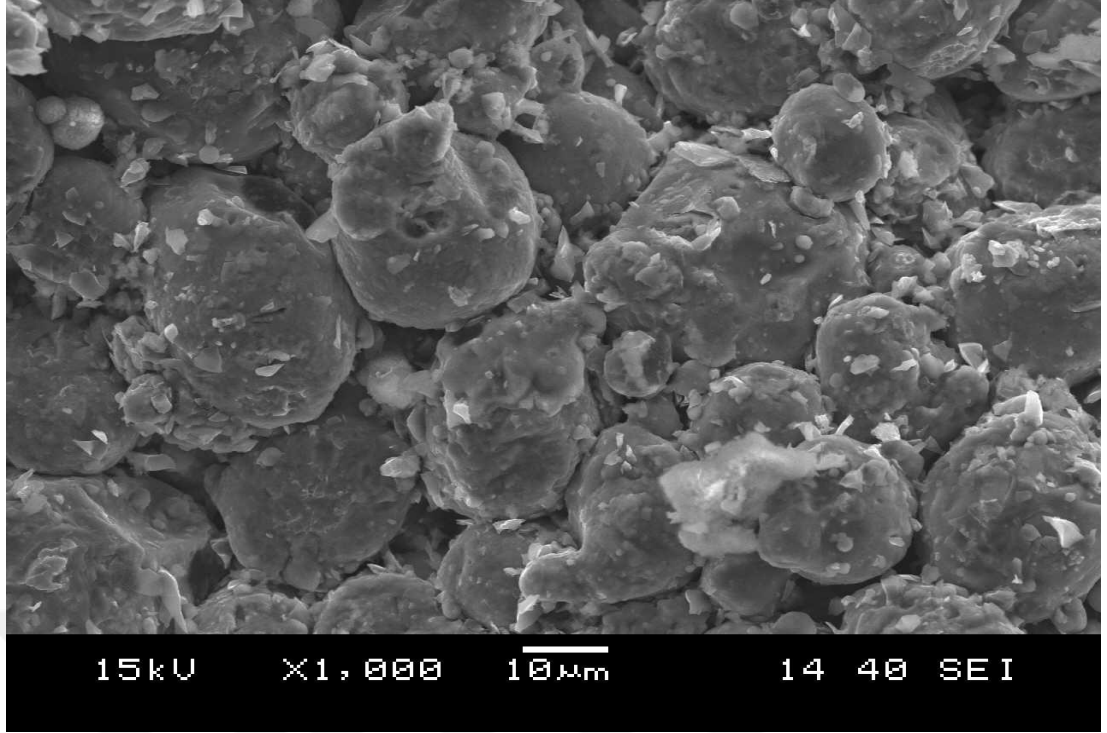
Şekil 4.24’de 575 °C’de sinterlenen ve %70 AA2024+%20 B₄C(22-59 µm)+%10 Y₂O₃ oranlarında hazırlanan MMK malzemenin içyapısı gösterilmiştir. Şekil 4.25’de 575 °C’de sinterlenen ve %85 AA2024+%15 B₄C(10 µm) oranlarında hazırlanan MMK malzemenin içyapısı gösterilmiştir. Şekil 4.24’de hazırlanan MMK malzemenin içyapısında gözenek oranının düşük olduğu görülmektedir. Bu da B₄C(22-59 µm)’ün yanında yapıya 10 µm Y₂O₃ ilave edilmesi ile daha yoğun bir malzeme elde edildiğini gösterir.



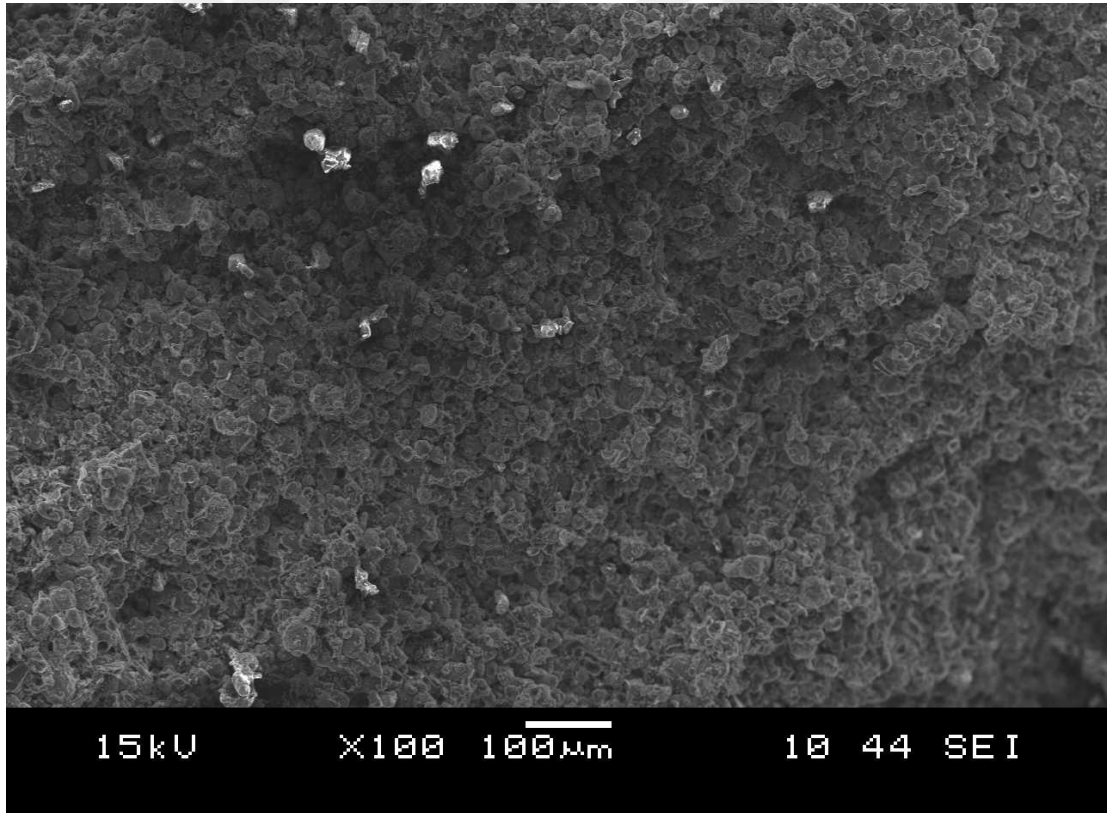
Şekil 4.26a 595 °C’de %93 AA2024+%7 B₄C(22-59 μm) x110 SEM görüntüsü



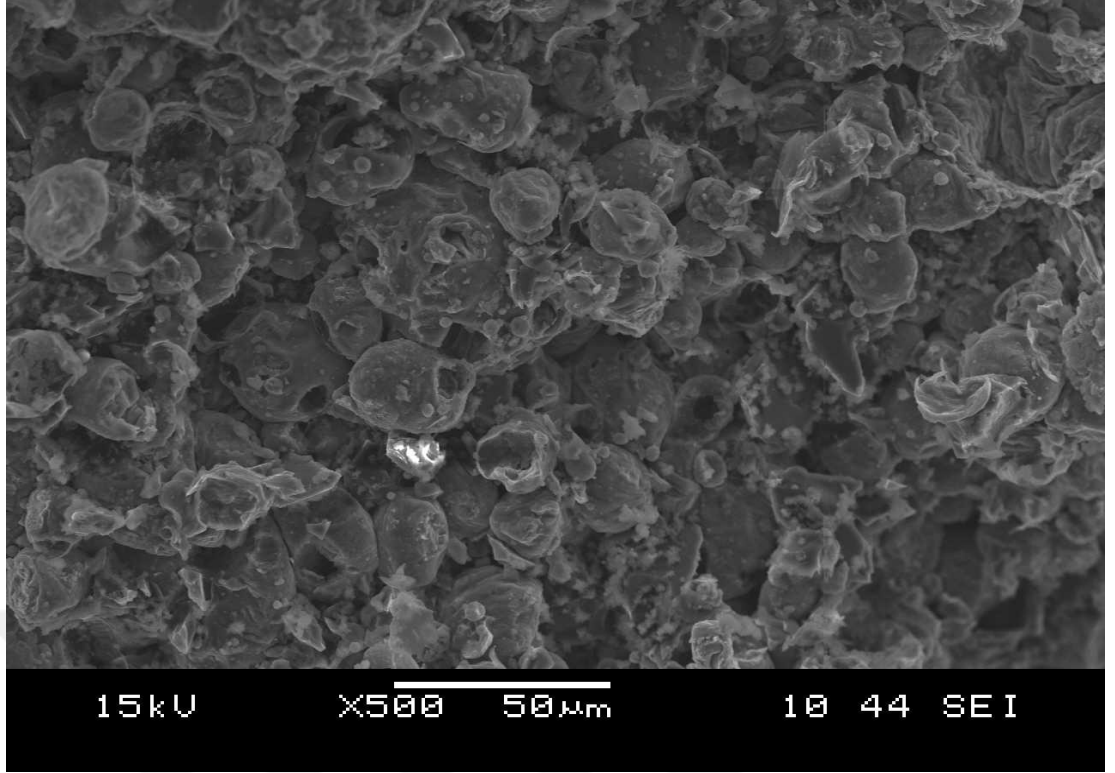
Şekil 4.26b 595 °C’de %93 AA2024+%7 B₄C(22-59 μm) x500 SEM görüntüsü



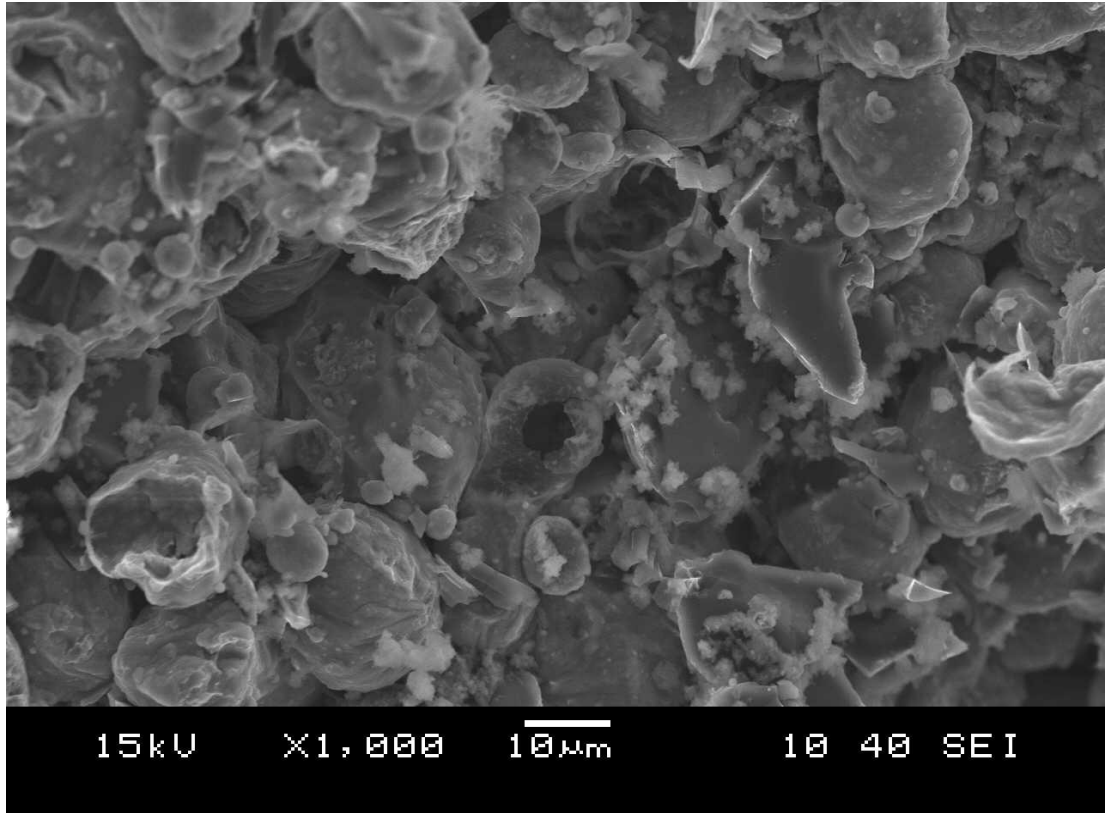
Şekil 4.26c 595 °C’de %93 AA2024+%7 B₄C(22-59 μm) x1000 SEM görüntüsü



Şekil 4.27a 595 °C’de %90 AA2024+%10 B₄C(22-59 μm) x100 SEM görüntüsü



Şekil 4.27b 595 °C’de %90 AA2024+%10 B₄C(22-59 μm) x500 SEM görüntüsü

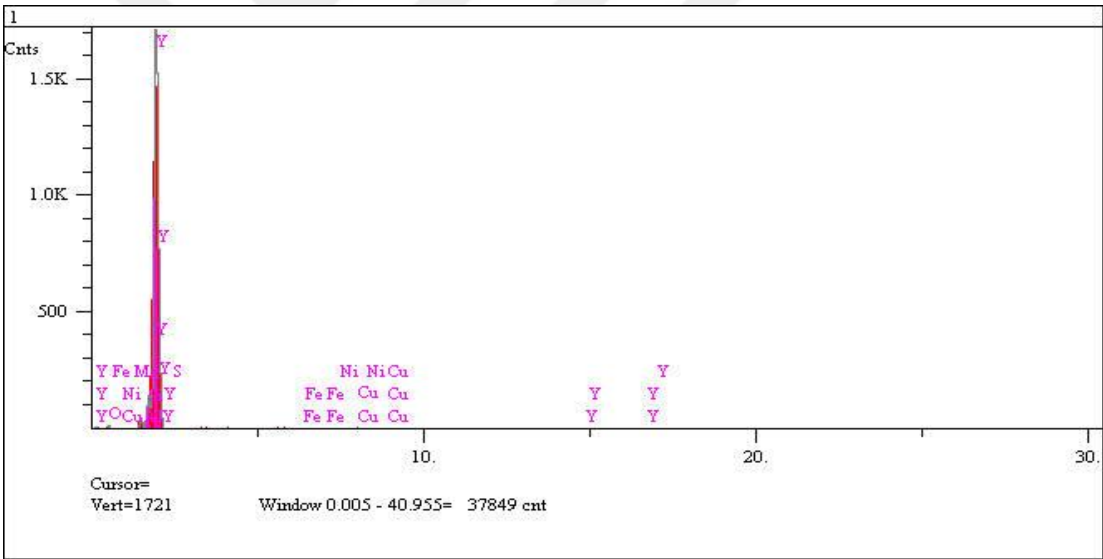
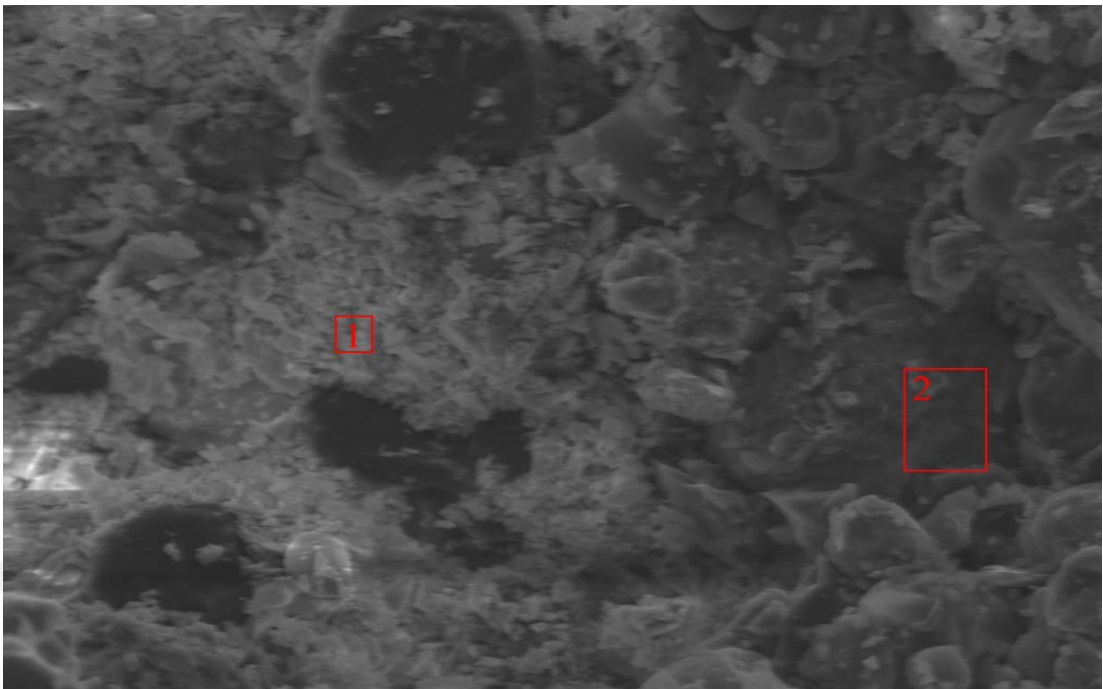


Şekil 4.27c 595 °C’de %90 AA2024+%10 B₄C(22-59 μm) x1000 SEM görüntüsü

Şekil 4.26’da 595 °C’de sinterlenen ve %93 AA2024+%7 B₄C(22-59 µm) oranlarında hazırlanan MMK malzemenin içyapısı gösterilmiştir. Şekil 4.27’de 595 °C’de sinterlenen ve %90 AA2024+%10 B₄C(22-59 µm) oranlarında hazırlanan MMK malzemenin içyapısı gösterilmiştir. İçyapı şekilleri incelendiğinde artan B₄C takviye oranı nedeni ile topaklanmaların iyice arttığı görülmektedir. Takviye parçacıklarının büyük çoğunluğu birbiri ile temas halindedir.

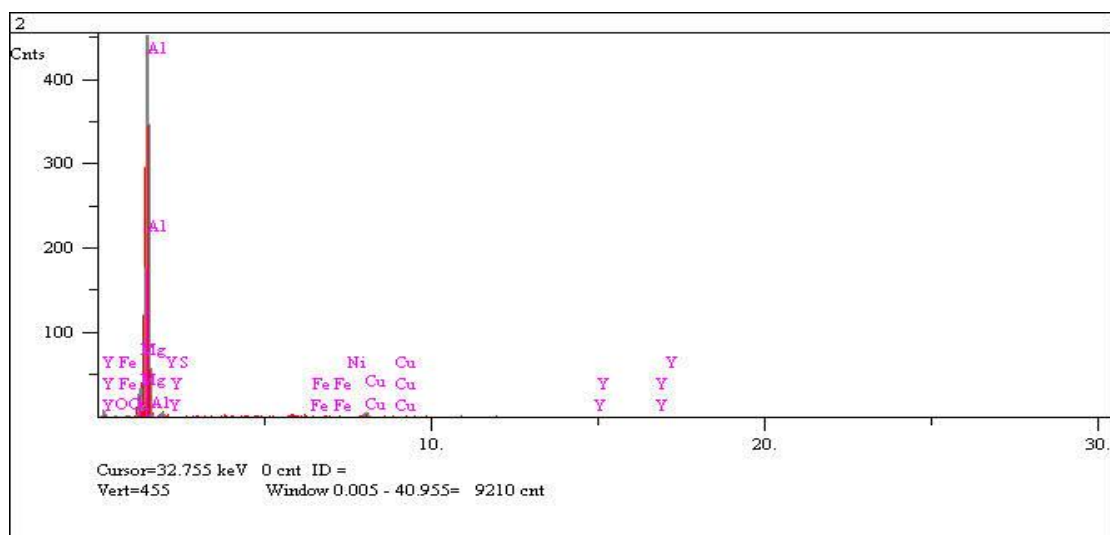


4.1.2.2 EDS:



Component	Mole Conc.	Conc.	
S	0.000	0.000	wt.%
C	0.000	0.000	wt.%
O	4.427	1.599	wt.%
Mg	0.121	0.067	wt.%
Al	1.196	0.729	wt.%
Si	2.073	1.314	wt.%
B	49.997	12.201	wt.%
Cu	0.508	0.728	wt.%
Fe	0.171	0.215	wt.%
Ni	0.210	0.278	wt.%
Y	41.297	82.870	wt.%
	100.000	100.000	wt.%

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Con
B	Ka	0.34	0.117	12.1
C	Ka	0.00	0.000	0.0
O	Ka	1.31	0.229	1.1
Mg	Ka	0.41	0.128	0.9
Al	Ka	5.02	0.448	0.7
Si	Ka	9.73	0.624	1.1
S	Ka	0.00	0.000	0.0
Fe	Ka	0.58	0.152	0.1
Ni	Ka	0.56	0.150	0.1
Cu	Ka	1.18	0.217	0.1
Y	La	191.26	2.766	82.9

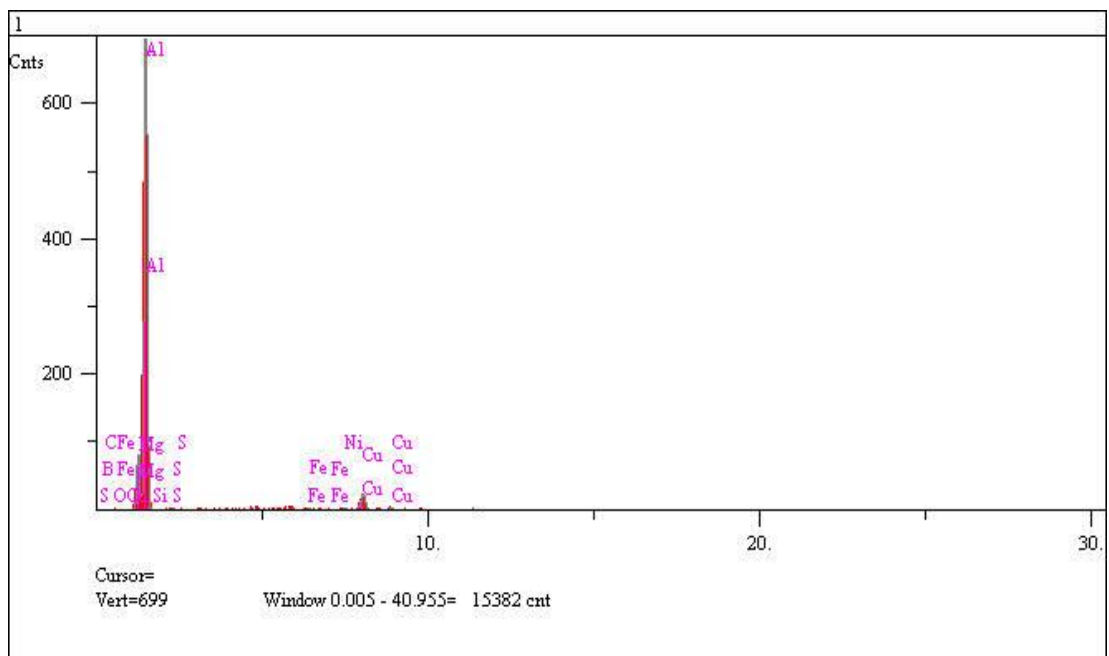
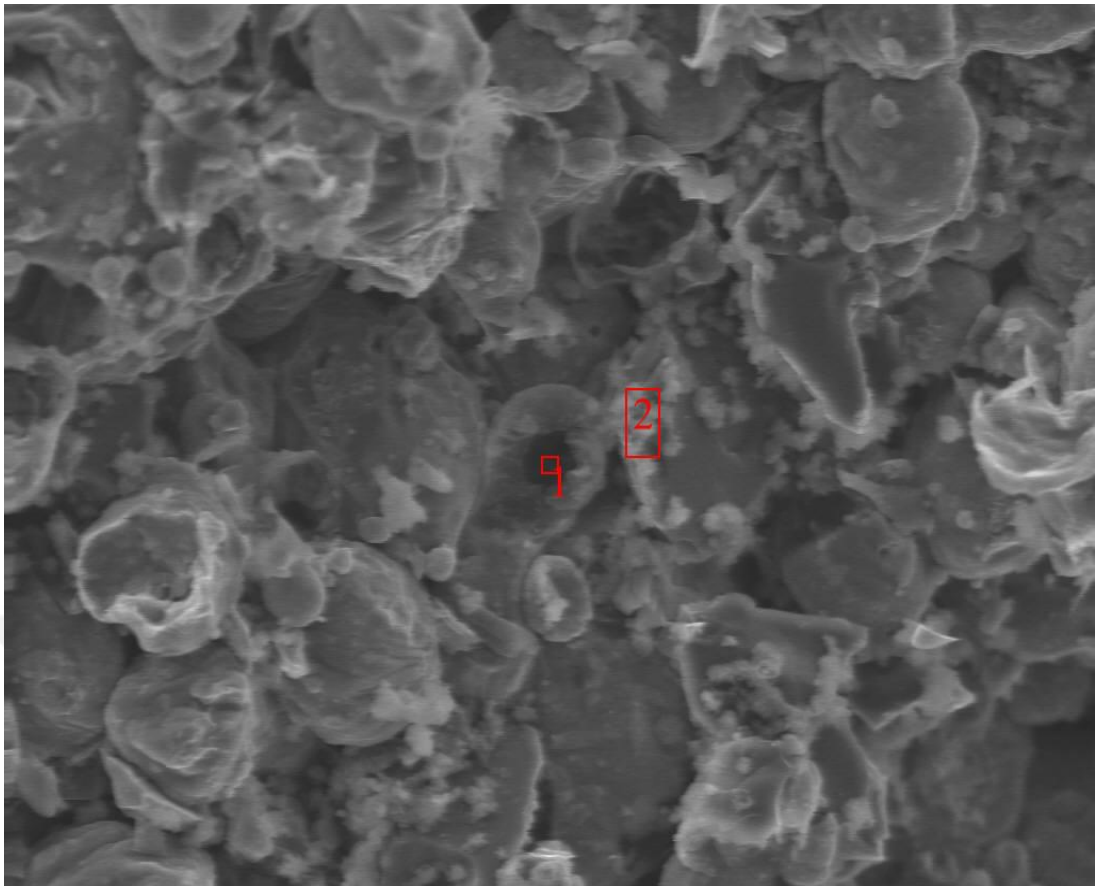


Component	Mole Conc.	Conc.	
S	0.000	0.000	wt.%
C	0.000	0.000	wt.%
O	0.676	0.806	wt.%
Mg	0.974	1.763	wt.%
Al	12.267	24.656	wt.%
Si	0.007	0.014	wt.%
B	85.275	68.681	wt.%
Cu	0.565	2.674	wt.%
Fe	0.056	0.232	wt.%
Ni	0.011	0.049	wt.%
Y	0.170	1.124	wt.%
	100.000	100.000	wt.%

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc.
B	K α	1.13	0.254	68.681
C	K α	0.00	0.000	0.000
O	K α	0.31	0.133	0.806
Mg	K α	5.60	0.567	1.763
Al	K α	79.21	2.131	24.656
Si	K α	0.03	0.043	0.014
S	K α	0.00	0.000	0.000
Fe	K α	0.24	0.118	0.232
Ni	K α	0.04	0.046	0.049
Cu	K α	1.56	0.299	2.674
Y	La	0.85	0.220	1.124

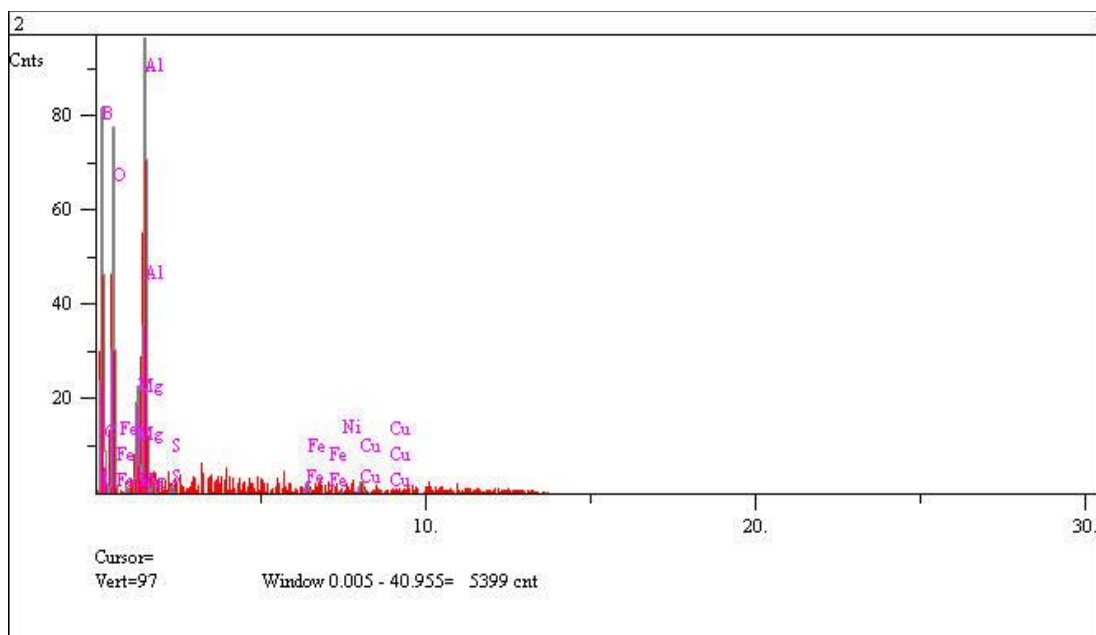
Şekil 4.28 575 °C’de %70 AA2024+%20 B₄C(22-59 µm)+%10 Y₂O₃ EDS Analizi (Spaktrometre ve Kimyasal Analiz)

Şekil 4.28’de %70 AA2024+%20 B₄C(22-59 µm)+%10 Y₂O₃ oranlarında hazırlanan ve 575 °C’de sinterlenen kompozit malzemenin EDS Analizi(Spaktrometre ve Kimyasal Analiz) verilmiştir. 2 numara ile gösterilen bölgenin kimyasal analizi incelendiğinde % 49,997 Bor ve % 41,297 Yitriyum içerdiği görülmektedir. 1 numara ile gösterilen bölgenin kimyasal analizi incelendiğinde ise spektrometre resminde Alüminyum piki görülmüşse kimyasal analizi incelendiğinde % 85,275 Bor elementi olduğu anlaşılmaktadır.



Component	Mole Conc.	Conc.	
S	0.367	0.398	wt.%
C	0.000	0.000	wt.%
O	1.146	0.621	wt.%
Mg	9.159	7.541	wt.%
Al	80.758	73.808	wt.%
Si	0.432	0.411	wt.%
B	0.000	0.000	wt.%
Cu	6.718	14.461	wt.%
Fe	0.655	1.239	wt.%
Ni	0.765	1.520	wt.%
	100.000	100.000	wt.%

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Con
B	Ka	0.00	0.000	0.0
C	Ka	0.00	0.000	0.0
O	Ka	0.19	0.087	0.0
Mg	Ka	9.38	0.613	7.1
Al	Ka	88.02	1.876	73.3
Si	Ka	0.26	0.101	0.0
S	Ka	0.36	0.121	0.0
Fe	Ka	0.66	0.162	1.0
Ni	Ka	0.57	0.151	1.0
Cu	Ka	4.25	0.412	14.0
				100.0



Component	Mole Conc.	Conc.	
S	0.020	0.056	wt.%
C	9.959	10.130	wt.%
O	10.650	14.430	wt.%
Mg	0.319	0.657	wt.%
Al	1.131	2.584	wt.%
Si	0.041	0.097	wt.%
B	77.702	71.141	wt.%
Cu	0.098	0.529	wt.%
Fe	0.054	0.256	wt.%
Ni	0.024	0.121	wt.%
	100.000	100.000	wt.%

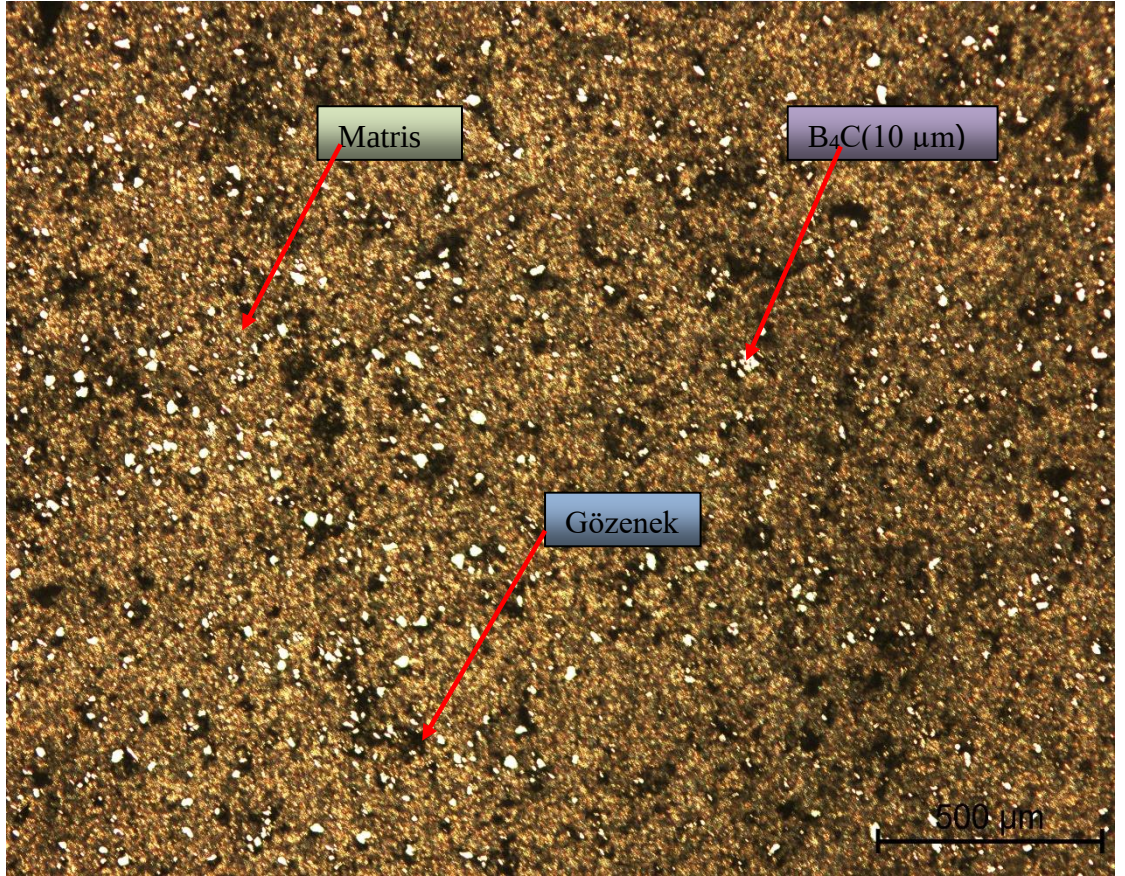
El.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Con
B	Ka	7.77	0.558	71.
C	Ka	0.54	0.147	10.
O	Ka	7.15	0.535	14.
Mg	Ka	2.61	0.323	0.
Al	Ka	11.22	0.670	2.
Si	Ka	0.43	0.131	0.
S	Ka	0.25	0.100	0.
Fe	Ka	0.38	0.123	0.
Ni	Ka	0.13	0.071	0.
Cu	Ka	0.44	0.132	0.
				100.

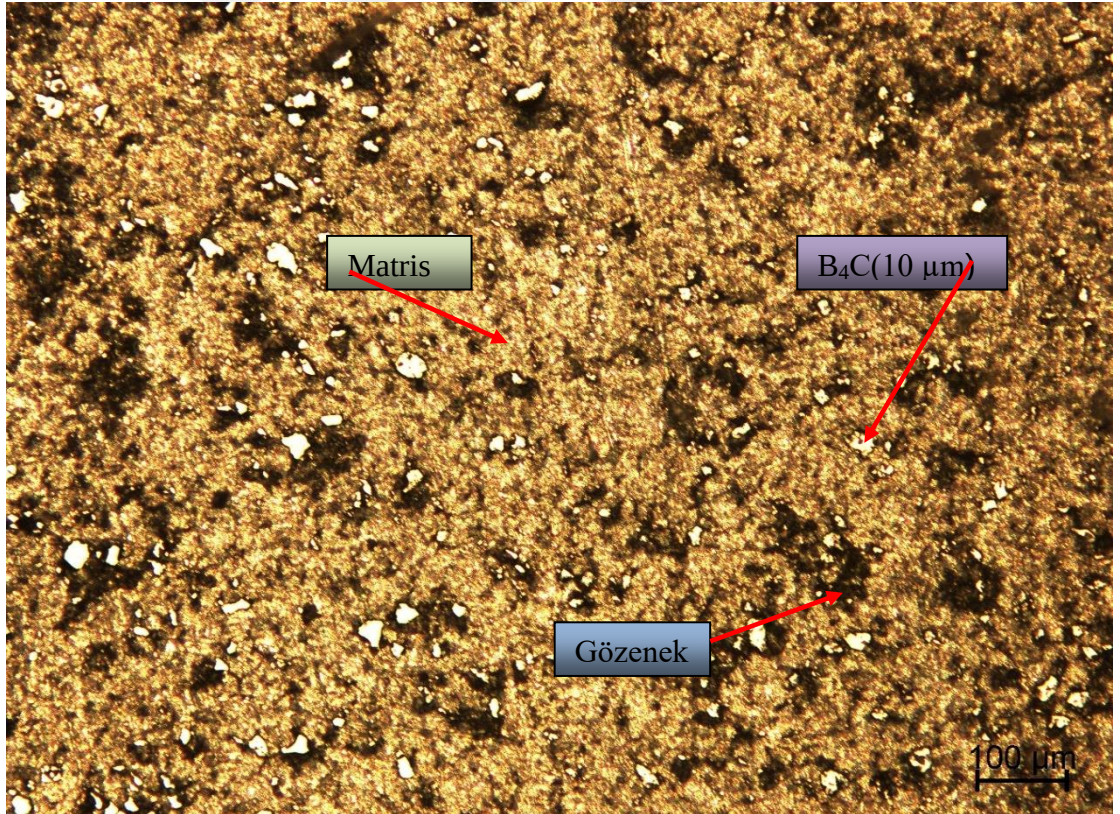
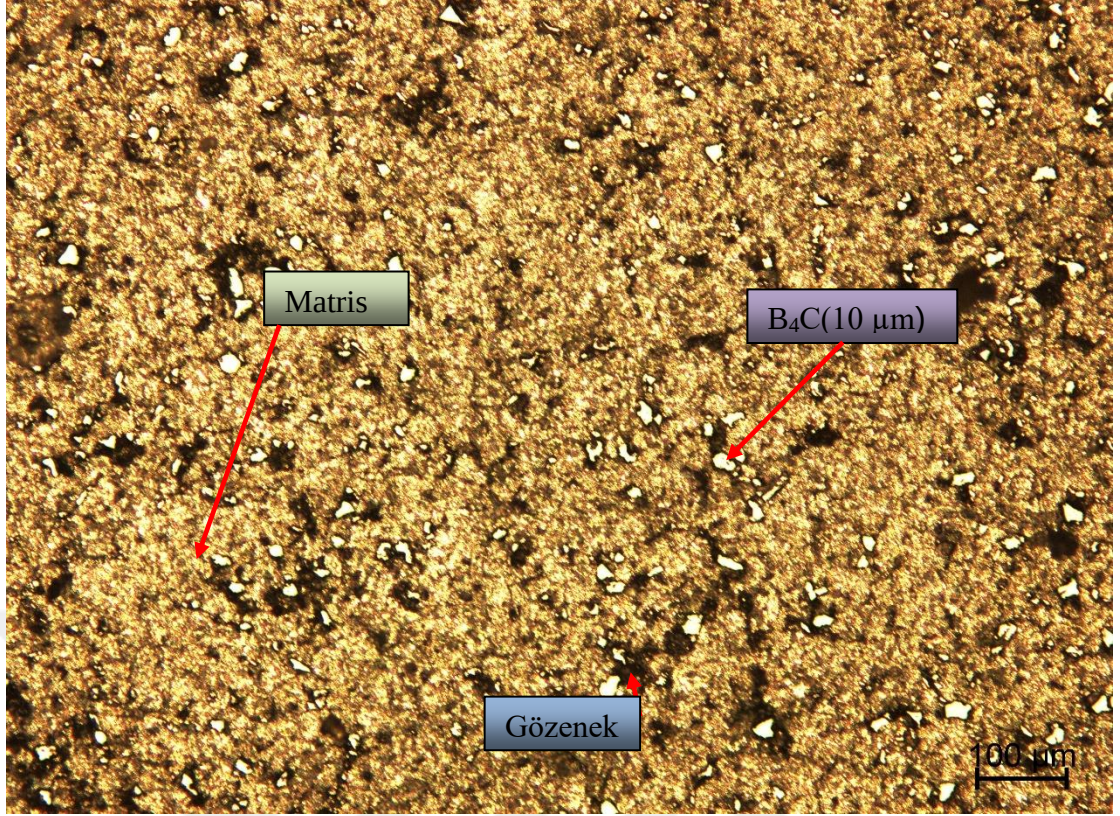
Şekil 4.29 595 °C’de %90 AA2024+%10 B₄C(22-59 µm) EDS Analizi
(Spaktrometre ve Kimyasal Analiz)

Şekil 4.29’da %90 AA2024+%10 B₄C(22-59 µm) oranlarında hazırlanan ve 595 °C’de sinterlenen kompozit malzemenin EDS Analizi(Spaktrometre ve Kimyasal Analiz) verilmiştir. 1 numara ile gösterilen bölgenin kimyasal analizi incelendiğinde % 80,758 Alüminyum elementi olduğu anlaşılmaktadır. 2 numara ile gösterilen bölgenin kimyasal analizi incelendiğinde ise spektrometre resminde de görüldüğü şekilde % 77,702 Bor elementi olduğu anlaşılmaktadır.

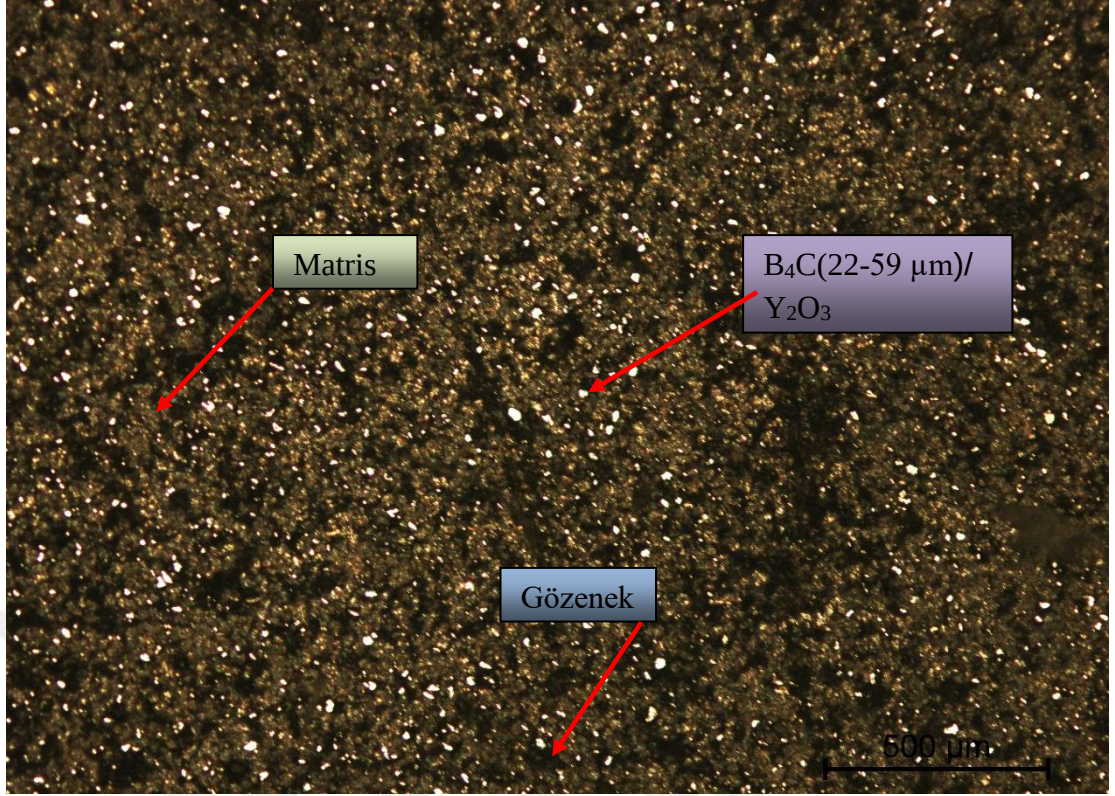
4.1.2.3 Optik Mikroskop:

Elde edilen numunelerin parçacık dağılımlarının incelenmesi için mikroyapı fotoğrafları optik mikroskop kullanılarak çekilmiştir. Şekil 4.30'da 575 °C'de %90 AA2024+%10 B₄C(10 µm) kompozit malzemenin mikroyapıları gösterilmiştir. Hazırlanan T/M kompozit numunelerin fotoğraflarından matris içerisinde homojen bir B₄C(10 µm) partikül dağılımı görülmektedir. Bu fotoğraflardan bazı B₄C(10 µm) parçacık kenarlarında gözenekler olduğu görülmektedir. Bu gözeneklerin uygulanan presleme basıncının yetersizliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Tane boyutu küçüldüğü için seramik parçacıkları genellikle tane sınırlarında toplandığı gözlenmektedir. Ayrıca B₄C(10 µm) parçacıklarının tane büyüklüğünün eşit olmadığı, hem büyük parçacıkların hem de daha ufalanmış parçacıklardan meydana geldiği görülmektedir. Bu da uygulanan basınçtan olabildiği gibi parçacıkların birbirine temaslarından da meydana gelmiş olabilir.



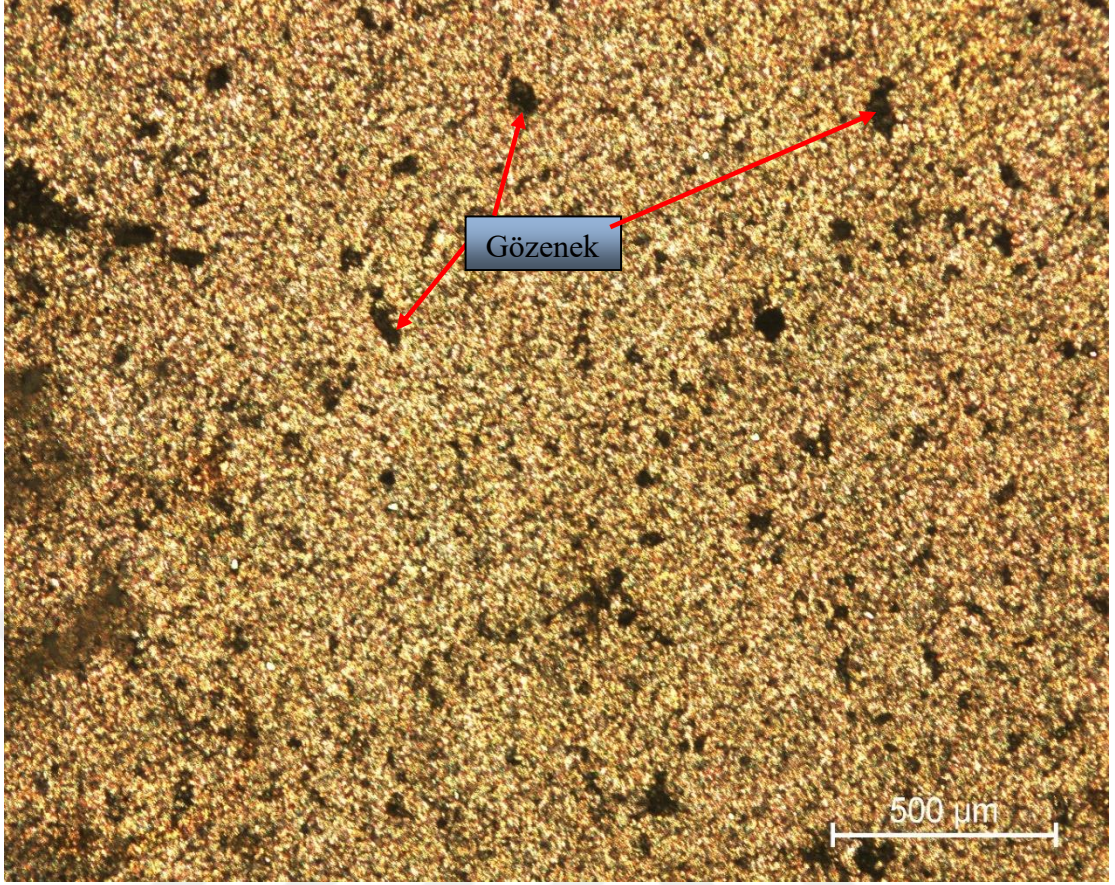


Şekil 4.30 575 °C’de %90 AA2024+%10 B₄C(10 μm) Optik Mikroskop Görüntüsü



Şekil 4.31 575 °C’de %70 AA2024+%20 B₄C(22-59 μm)+%10 Y₂O₃ Optik Mikroskop görüntüsü

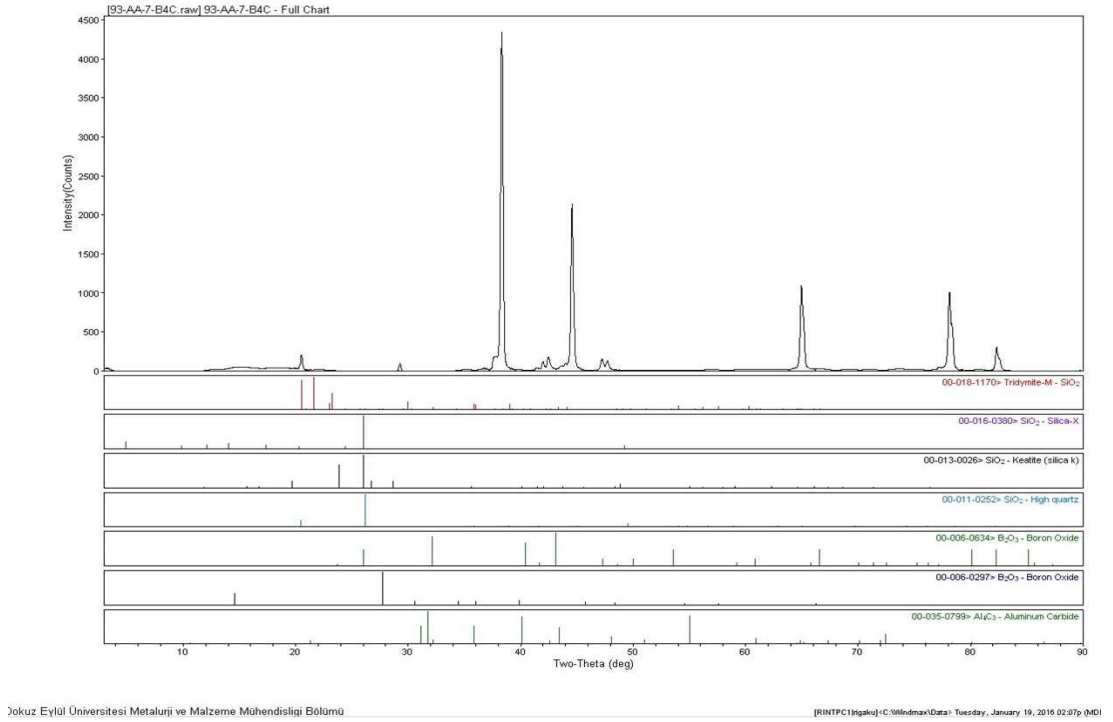
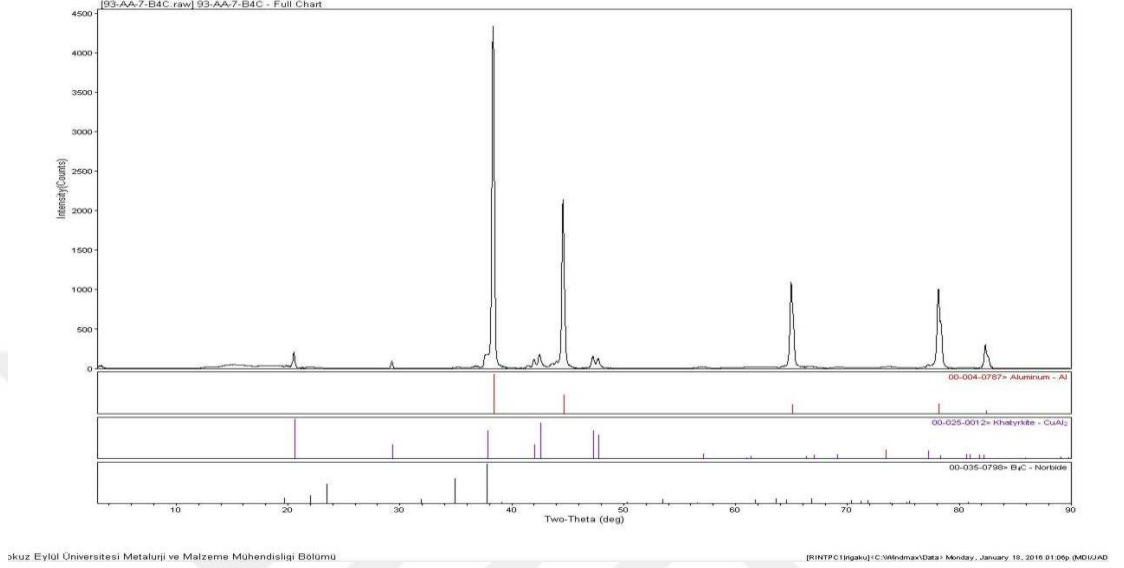
575 °C’de sinterlenen %70 AA2024+%20 B₄C(22-59 μm)+%10 Y₂O₃ kompozit malzemenin mikroyapısı şekil 4.31’de gösterilmiştir. Bu şekilde parçacık dağılımının düzenli olduğu söylenebilir. Fakat yer yer topaklanmalar olduğu da görülmektedir. Matris içerisindeki partikül oranı arttıkça, daha fazla topaklanmalarının olduğu söylenebilir. Bu, mekanik alaşımlama yapılmayıp tozların elle karıştırıldığından kaynaklanmıştır. Bu da gayet muhtemeldir ki tozların dağılımının serbest elle karıştırılmasından ötürü tam bir homojenlik sağlanamamıştır.



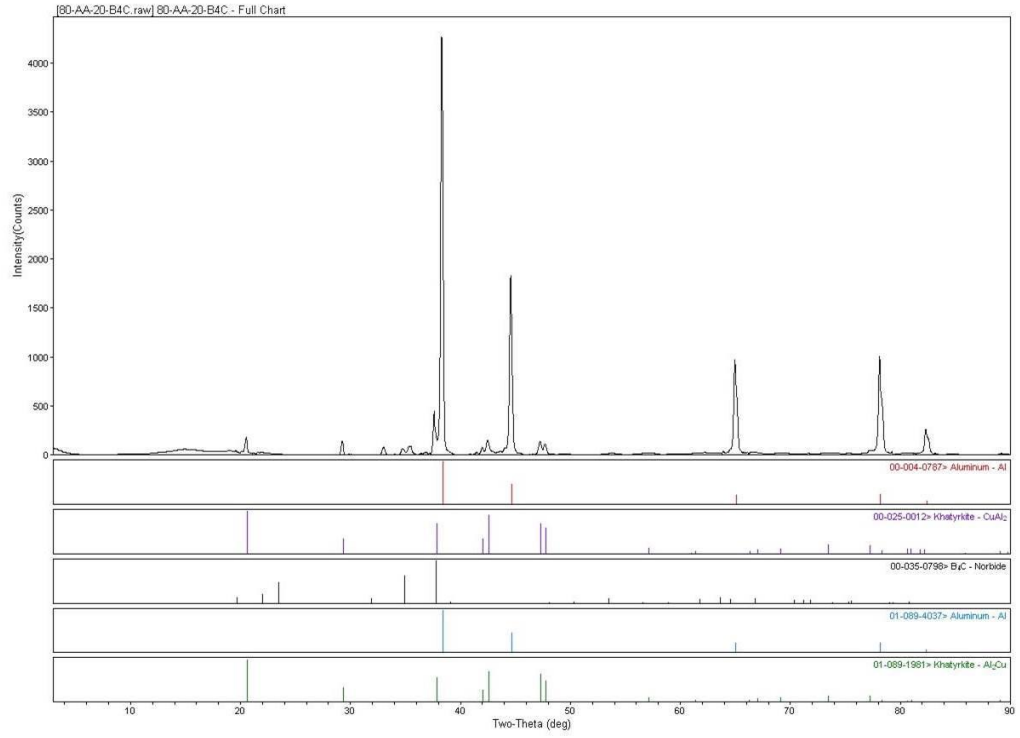
Şekil 4.32 595 °C’de AA2024 Optik Mikroskop görüntüsü

4.1.2.4 XRD:

Üretilen kompozit malzemenin XRD analiz sonucu Şekil 4.33 ve 4.34’de verilmiştir. XRD incelemeleri neticesinde üretilen kompozitlerde B₄C partiküllerinin bozunmadığı ve Al₄C₃ fazının oluşmadığı tespit edilmiştir.

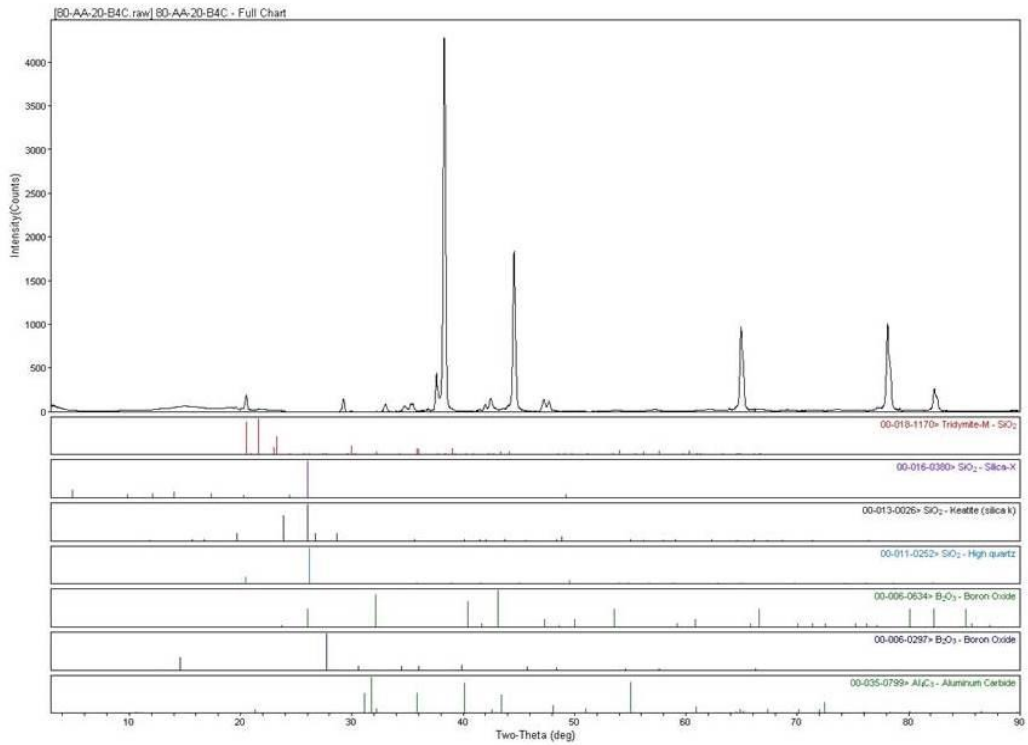


Şekil 4.33 550 °C’de %93 AA2024 + %7 B₄C(22-59 µm) kompozit malzeme XRD sonucu



İkiz Eylül Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

[RINTPC1]igaku\IC\Winmax\Data> Monday, January 18, 2016 01:12p (MDI)ADE



İkiz Eylül Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

[RINTPC1]igaku\IC\Winmax\Data> Tuesday, January 19, 2016 02:07p (MDI)U

Şekil 4.34 595 °C’de %80 AA2024 + %20 B₄C(10 µm) kompozit malzeme XRD sonucu

4.2 Deneysel Çalışma 2:

Takviye malzemeleri olan SiC, Y₂O₃ ve B₄C'nin kaplamalı olarak AA2024 matris içerisine ilave edildiği çalışmadır. Takviye fazının ıslanabilirliğini artırmanın ve matriks / takviye ara yüzey reaksiyonlarını engellemenin en etkili yöntemlerinden biri takviye fazının kaplanmasıdır. Bu amaçla, SiC, Y₂O₃ ve B₄C partikülleri ısıtıl işlem, sol-jel ve akımsız nikel yöntemleri ile sırasıyla SiO₂, Al₂O₃ ve Ni ile kaplanmıştır.

4.2.1 Fiziksel İnceleme:

4.2.1.1 Sertlik Ölçümleri:

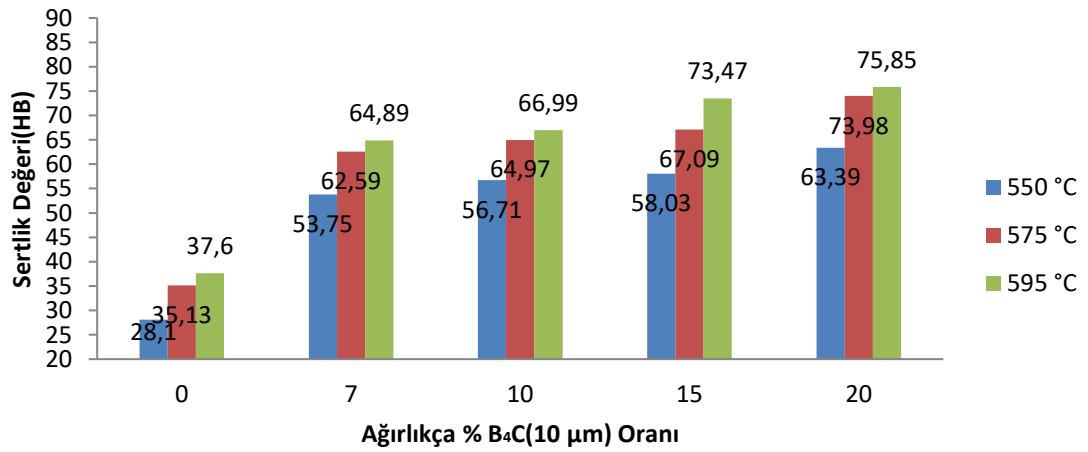
Üretilen kompozit malzemelerin sertlik ölçümleri Malzeme Mühendisliği laboratuvarında bulunan Emcotest Duravision marka Brinell sertlik cihazında(Yük: 15,625 kg., Bilya Çapı: 2,5 mm ve Süre: 10 sn.) yapıldı. Sonuç olarak her bir değer, deneye tabi tutulan numunenin 5 farklı bölgesinden alınan sertlik sonuçlarının ortalaması alınarak hesaplandı.

4.2.1.1.1 AA2024 + 10 µm B₄C:

AA2024 matris içerisine ilave edilen 10 µm boyutunda B₄C'nin sertlik üzerine etkileri tablo 4.11'de sunulmuştur. Tablo incelendiğinde tüm sıcaklıklarda ilave edilen 10 µm boyutunda B₄C'nin oranı arttıkça sertlik değerlerinin de arttığı görülmektedir.

Tablo 4.11 AA2024 + 10 μm B₄C(Ni Kaplı) sertlik değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

AA2024 + 10 μm B4C						
Sıra No	% AA2024	% B4C	AA2024 Tane Boyutu (μm)	B4C Tane Boyutu (μm)	Sinterleme Sıcaklığı (oC)	Sertlik Değeri (HB)
1	100	0	100-150	—	550	28,10
					575	35,13
					595	37,60
2	93	7		10	550	53,75
					575	62,59
					595	64,89
3	90	10		10	550	56,71
					575	64,97
					595	66,99
4	85	15		10	550	58,03
					575	67,09
					595	73,47
5	80	20		10	550	63,39
					575	73,98
					595	75,85



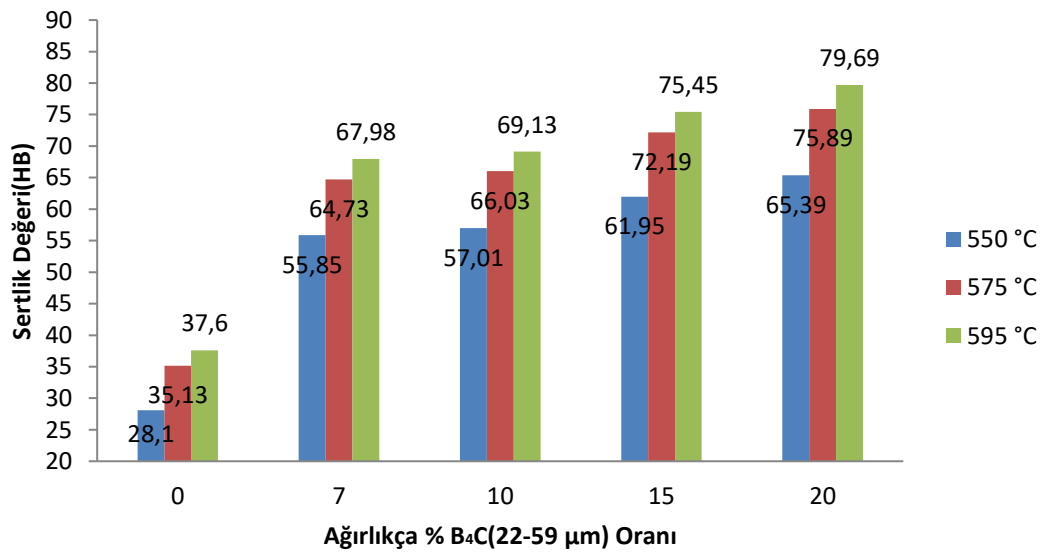
Şekil 4.35 AA2024 + 10 μm B₄C(Ni Kaplı) sertlik değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

4.2.1.1.2 AA2024 + 22-59 µm B₄C:

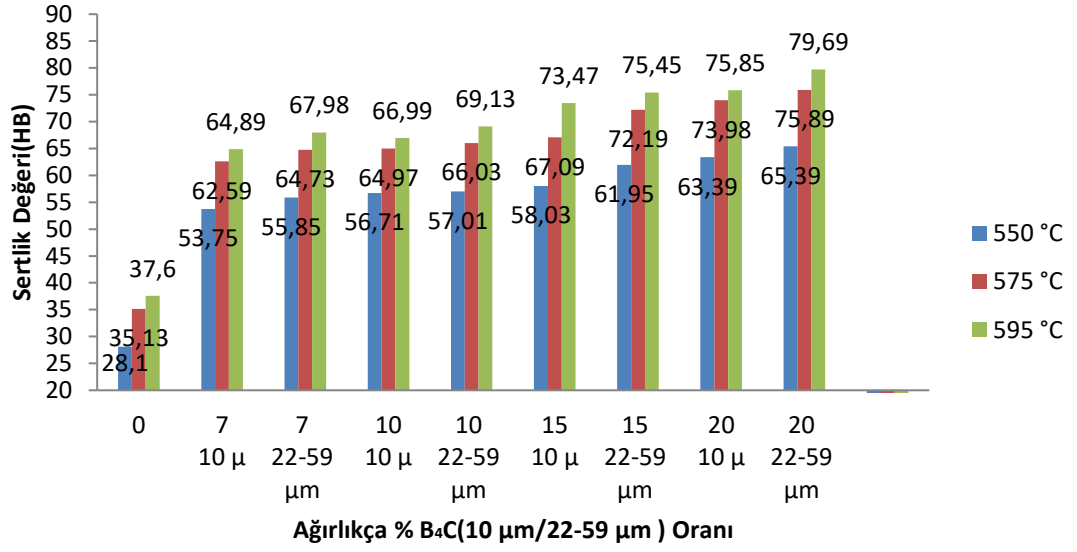
AA2024 matris içerisine ilave edilen 22-59 µm boyutunda B₄C'nin sertlik üzerine etkileri tablo 4.12'de sunulmuştur. Tablo incelendiğinde tüm sıcaklıklarda ilave edilen 22-59 µm boyutunda B₄C'nin oranı arttıkça sertlik değerlerinin de arttığı görülmektedir.

Tablo 4.12 AA2024 + 22-59 µm B₄C(Ni Kaplı) sertlik değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

AA2024 + 22-59 µm B4C						
Sıra No	% AA2024	% B4C	AA2024 Tane Boyutu (µm)	B4C Tane Boyutu (µm)	Sinterleme Sıcaklığı (oC)	Sertlik Değeri (HB)
1	100	0	100-150	-	550	28,10
					575	35,13
					595	37,60
2	93	7		22-59	550	55,85
					575	64,73
					595	67,98
3	90	10		22-59	550	57,01
					575	66,03
					595	69,13
4	85	15		22-59	550	61,95
					575	72,19
					595	75,45
5	80	20		22-59	550	65,39
					575	75,89
					595	79,69



Şekil 4.36 AA2024 + 22-59 µm B₄C(Ni Kaplı) sertlik değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi



Şekil 4.37 AA2024 + 10/22-59 μm B₄C(Ni Kaplı) sertlik değerlerinin karşılaştırması

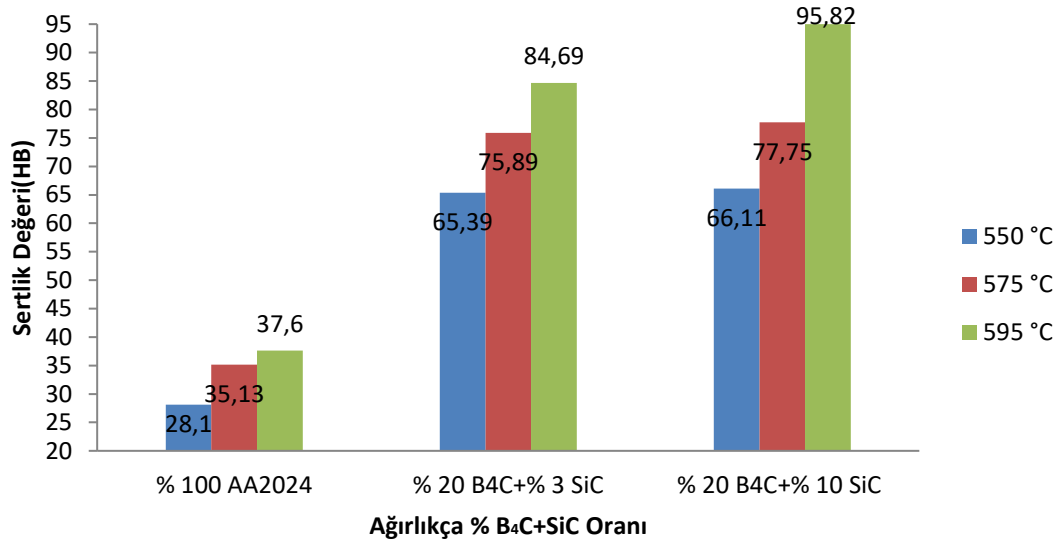
AA2024 matris içerisine ilave edilen iki farklı boyuttaki B₄C'nin sertlik üzerine etkileri şekil 4.37'de sunulmuştur. Şekil incelendiğinde tüm sıcaklıklarda ilave edilen B₄C'nin toz boyutu arttıkça sertlik değerlerinin de arttığı görülmektedir.

4.2.1.1.3 AA2024 + B₄C + SiC:

AA2024 matris içerisine ilave edilen B₄C ve SiC'nin sertlik üzerine etkileri tablo 4.13'de sunulmuştur. Tablo incelendiğinde tüm sıcaklıklarda ilave edilen SiC'nin oranı arttıkça sertlik değerlerinin de arttığı görülmektedir.

Tablo 4.13 AA2024+B₄C(Ni Kaplı)+SiC(SiO₂ Kaplı) sertlik değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

AA2024+B ₄ C+SiC								
Sıra No	% AA2024	% B ₄ C	% SiC	AA2024 Tane Boyutu (μm)	B ₄ C Tane Boyutu (μm)	SiC Tane Boyutu (μm)	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Sertlik Değeri (HB)
1	77	20	3	100-150	22-59	10	550	65,39
							575	75,89
							595	84,69
2	70	20	10	100-150	22-59	10	550	66,11
							575	77,75
							595	95,82



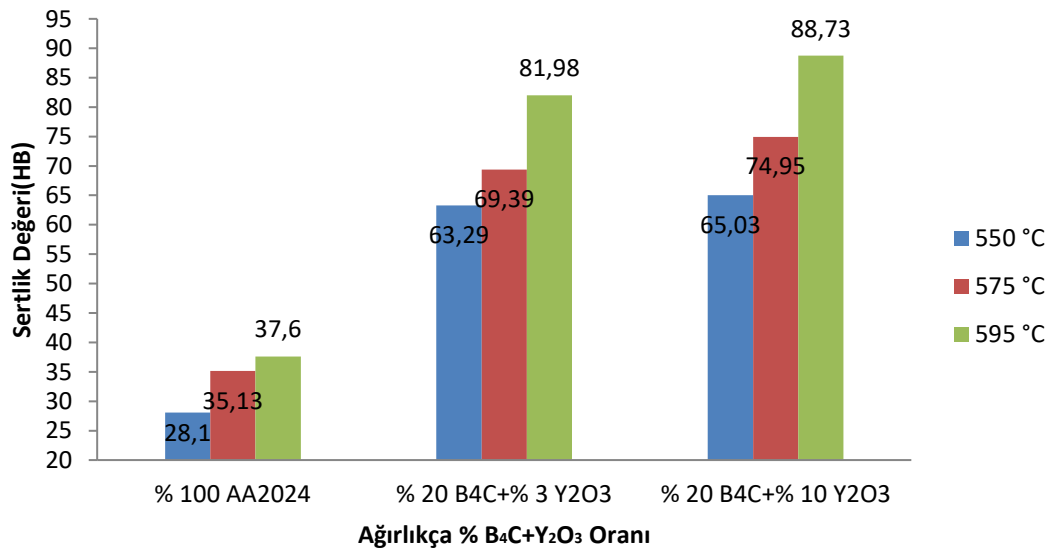
Şekil 4.38 AA2024+B₄C(Ni Kaplı)+SiC(SiO₂ Kaplı) sertlik değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

4.2.1.1.4 AA2024 + B₄C + Y₂O₃:

AA2024 matris içerisine ilave edilen B₄C ve Y₂O₃'ün sertlik üzerine etkileri tablo 4.14'de sunulmuştur. Tablo incelendiğinde tüm sıcaklıklarda ilave edilen Y₂O₃'ün oranı arttıkça sertlik değerlerinin de arttığı görülmektedir.

Tablo 4.14 AA2024+B₄C(Ni Kaplı)+Y₂O₃(Al₂O₃ Kaplı) sertlik değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

AA2024+B ₄ C+Y ₂ O ₃								
Sıra No	% AA2024	% B ₄ C	% Y ₂ O ₃	AA2024 Tane Boyutu (μm)	B ₄ C Tane Boyutu (μm)	Y ₂ O ₃ Tane Boyutu (μm)	Sinterleme Sıcaklığı (oC)	Sertlik Değeri (HB)
1	77	20	3	100-150	22-59	10	550	63,29
							575	69,39
							595	81,98
2	70	20	10				550	65,03
							575	74,95
							595	88,73



Şekil 4.39 AA2024+B₄C(Ni Kaplı)+Y₂O₃(Al₂O₃ Kaplı) sertlik değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

Üretilen kompozitlerin genelinde artan takviye miktarı ile sertlik değerleri de artmıştır. Bunun nedeni ise takviye parçacıklarının homojen dağılımı ve bunun sonucunda sertlik izi alanına düşen miktarıdır.

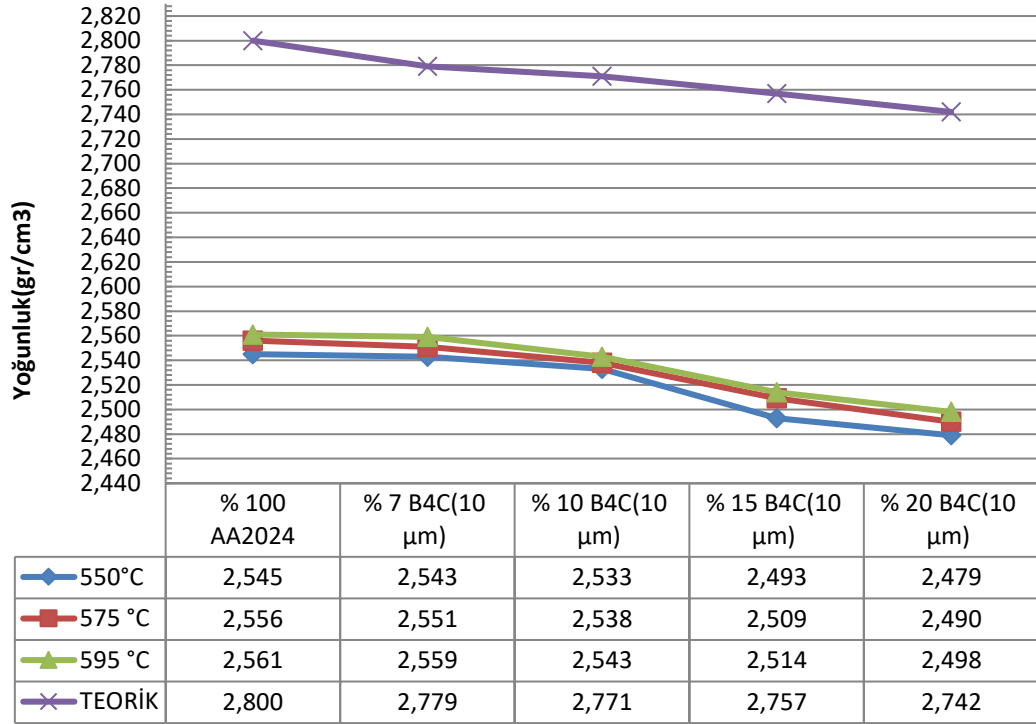
4.2.1.2 Yoğunluk Ölçümleri:

4.2.1.2.1 AA2024 + 10 µm B₄C:

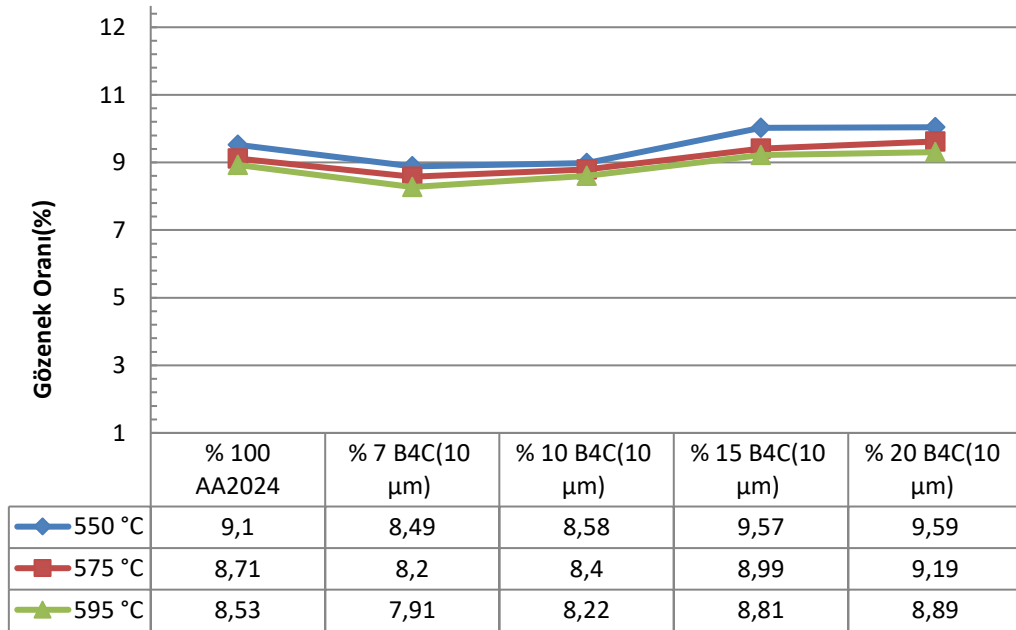
Kompozit malzemelerin yoğunluk ölçümleri ise arsimet prensibine göre çalışan ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarında bulunan Radwag AS 220/C/2 marka yoğunluk ölçüm cihazında yapılmıştır. AA2024 matris içerisine ilave edilen 10 µm boyutunda B₄C'nin yoğunluk üzerine etkileri tablo 4.15'de sunulmuştur. Tablo incelendiğinde tüm sıcaklıklarda ilave edilen 10 µm boyutunda B₄C'nin oranı arttıkça yoğunluk değerlerinin düştüğü görülmektedir.

Tablo 4.15 AA2024 + 10 µm B₄C(Ni Kaplı) yoğunluk değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

AA2024 + 10 µm B ₄ C								
Sıra No	% AA 2024	% B ₄ C	AA2024 Tane Boyutu (µm)	B ₄ C Tane Boyutu (µm)	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Teorik Yoğunluk Değeri (g/cm3)	Deneysel Yoğunluk Değeri (g/cm3)	Gözenek Oranı (%)
1	100	0	100-150	–	550	2,800	2,545	9,10
					575		2,556	8,71
					595		2,561	8,53
2	93	7		10	550	2,779	2,543	8,49
					575		2,551	8,20
					595		2,559	7,91
3	90	10		10	550	2,771	2,533	8,58
					575		2,538	8,40
					595		2,543	8,22
4	85	15		10	550	2,757	2,493	9,57
					575		2,509	8,99
					595		2,514	8,81
5	80	20		10	550	2,742	2,479	9,59
					575		2,490	9,19
					595		2,498	8,89



Şekil 4.40 AA2024 + 10 μ m B₄C(Ni Kaplı)'nin yoğunluk değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi



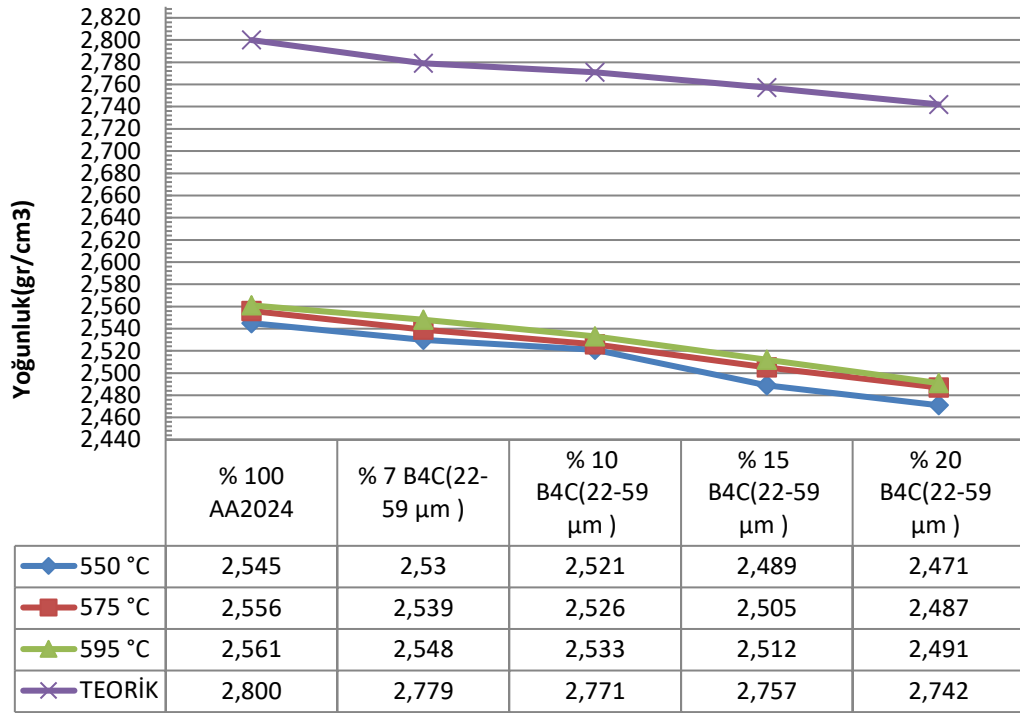
Şekil 4.41 AA2024 + 10 μ m B₄C(Ni Kaplı)'nin gözenek oranı değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

4.2.1.2.2 AA2024 + 22-59 µm B₄C:

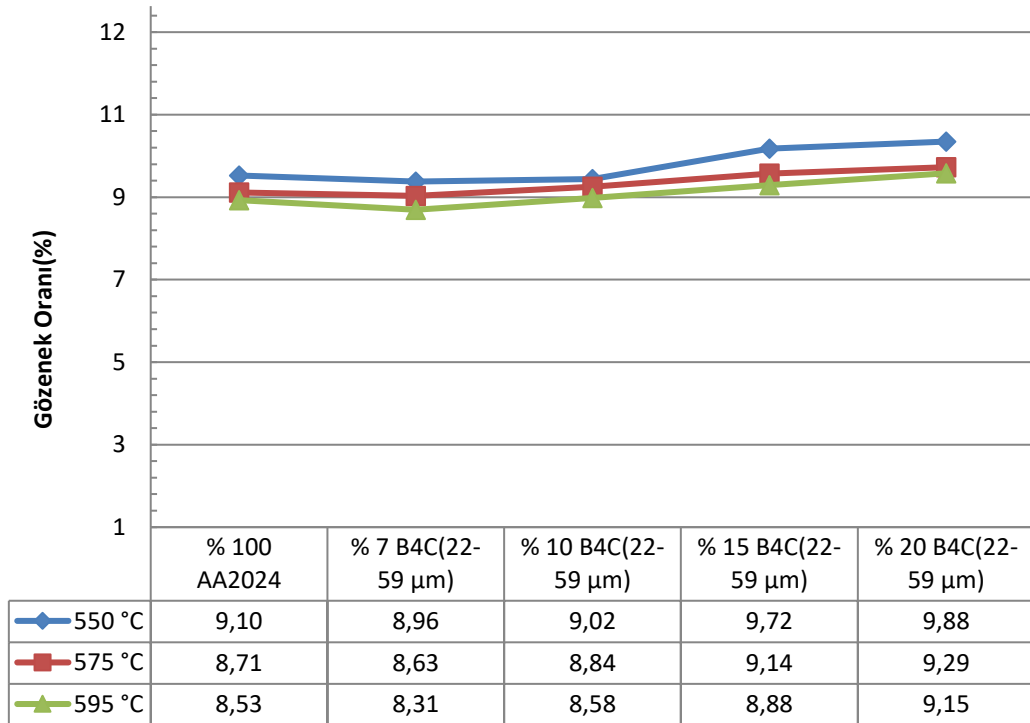
AA2024 matris içersine ilave edilen 10 µm boyutunda B₄C'nin yoğunluk üzerine etkileri tablo 4.16'da sunulmuştur. Tablo incelendiğinde tüm sıcaklıklarda ilave edilen 22-59 µm boyutunda B₄C'nin oranı arttıkça yoğunluk değerlerinin düştüğü görülmektedir.

Tablo 4.16 AA2024 + 22-59 µm B₄C(Ni Kaplı) yoğunluk değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

AA2024 + 22-59 μm B ₄ C								
Sıra No	% AA2024	% B ₄ C	AA2024 Tane Boyutu (μm)	B ₄ C Tane Boyutu (μm)	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Teorik Yoğunluk Değeri (g/cm3)	Deneysel Yoğunluk Değeri (g/cm3)	Gözenek Oranı (%)
1	100	0	100-150	-	550	2,800	2,545	9,10
					575		2,556	8,71
					595		2,561	8,53
2	93	7		22-59	550	2,779	2,530	8,96
					575		2,539	8,63
					595		2,548	8,31
3	90	10		22-59	550	2,771	2,521	9,02
					575		2,526	8,84
					595		2,533	8,58
4	85	15		22-59	550	2,757	2,489	9,72
					575		2,505	9,14
					595		2,512	8,88
5	80	20		22-59	550	2,742	2,471	9,88
					575		2,487	9,29
					595		2,491	9,15



Şekil 4.42 AA2024 + 22-59 μm B₄C(Ni Kaplı)'nin yoğunluk değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi



Şekil 4.43 AA2024 + 22-59 μm B₄C(Ni Kaplı)'nin gözenek oranı değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

Tozların sıkıştırılma mekanizmasını kısaca açıklayacak olursak, sıkıştırmanın ilk aşamasında toz parçacıkları birbiri içerisinde hareket ederek yer değiştirirler. Bu aşamada toz morfolojisi, parçacık boyutu ve parçacıklar arası sürtünme önemli rol oynamaktadır. Tozların sıkıştırılmasında ikinci aşamasında ise elastik ve plastik deformasyon mekanizmaları etkindir. Bu aşamada parçacıklar arası mekanik bağlanma gerçekleşmektedir. Sıkıştırma işleminin son aşamasında ise tozların kırılması ve plastik deformasyon ile poroziteler azalmakta ve toz parçacıkları birbirine soğuk kaynak olmaktadır. Tozun şekillendirilmesini engelleyenler artan takviye oranı ile gevrek parçacıkların sayıca artışıdır. Dolayısı ile artan takviye oranı ile yoğunluk değerleri azalır ve matristeki gözenek oranı yükselir.

AA2024 matris içerisine ilave edilen 10 μm ve 22-59 μm boyutlarında B_4C 'nin yoğunluk üzerine etkileri karşılaştırmalı olarak tablo 4.17'de sunulmuştur. Tablo incelendiğinde sıcaklık artışı ile birlikte yoğunluğun arttığı ve matrise ilave edilen 10 μm boyutundaki B_4C 'nin 22-59 μm boyutunda B_4C 'ye kıyasen matrisin yoğunluğunu yükselttiği görülmektedir.

Tablo 4.17 AA2024 + 10 μm &22-59 μm B₄C(Ni Kaplı) yoğunluk değerlerinin karşılaştırılması

AA2024 + 10 μm&22-59 B ₄ C								
Sıra No	% AA2024	% B ₄ C	AA2024 Tane Boyutu (μm)	B ₄ C Tane Boyutu (μm)	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Teorik Yoğunluk Değeri (g/cm3)	Deneysel Yoğunluk Değeri (g/cm3)	Gözenek Oranı (%)
1	100	0	100-150	–	550	2,800	2,545	9,10
					575		2,556	8,71
					595		2,561	8,53
2	93	7		10	550	2,779	2,543	8,49
					575		2,551	8,20
					595		2,559	7,91
3	93	7		22-59	550	2,771	2,530	8,96
					575		2,539	8,63
					595		2,548	8,31
4	90	10		10	550	2,757	2,533	8,58
					575		2,538	8,40
					595		2,543	8,22
5	90	10		22-59	550	2,742	2,521	9,02
					575		2,526	8,84
					595		2,533	8,58
6	85	15		10	550	2,757	2,493	9,57
					575		2,509	8,99
					595		2,514	8,81
7	85	15		22-59	550	2,742	2,489	9,72
					575		2,505	9,14
					595		2,512	8,88
8	80	20		10	550	2,742	2,479	9,59
					575		2,490	9,19
					595		2,498	8,89
9	80	20		22-59	550	2,742	2,471	9,88
					575		2,487	9,29
					595		2,496	9,97

4.2.1.2.3 AA2024 + B₄C + SiC:

AA2024 matris içerisine ilave edilen B₄C ve SiC'nin yoğunluk üzerine etkileri tablo 4.18'de sunulmuştur. Tablo incelendiğinde ilave edilen SiC'nin oranı arttıkça gözenek oranının da arttığı görülmektedir.

Tablo 4.18 AA2024+[B₄C(Ni Kaplı)+SiC(SiO₂ Kaplı)] yoğunluk değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

AA2024+(B ₄ C+SiC)										
Sıra No	% AA2024	% B ₄ C	% SiC	AA 2024 Tane Boy. (µm)	B ₄ C Tane Boy. (µm)	SiC Tane Boy. (µm)	Sint. Sıcaklığı (°C)	Teorik Yoğunluk Değeri (g/cm3)	Deneysel Yoğunluk Değeri (g/cm3)	Gözenek Oranı (%)
1	77	20	3	100-150	22-59	10	550	2,754	2,476	10,09
							575		2,487	9,69
							595		2,503	9,11
2	70	20	10				550	2,783	2,491	10,49
							575		2,498	10,24
							595		2,503	10,06

4.2.1.2.4 AA2024 + B₄C + Y₂O₃:

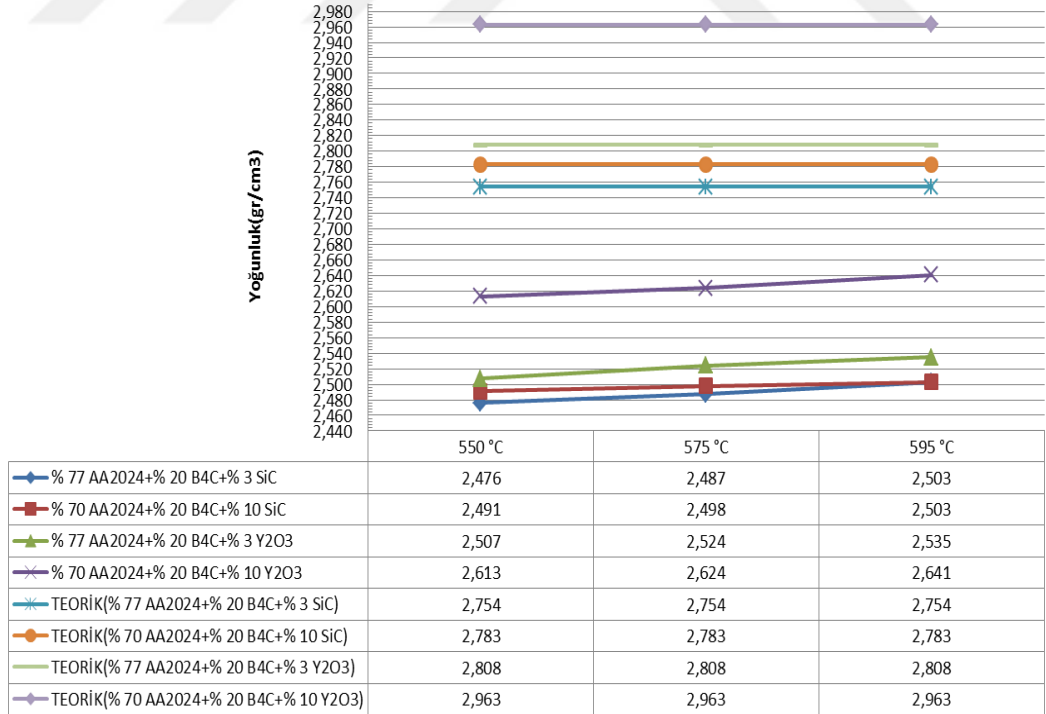
AA2024 matris içerisine ilave edilen B₄C ve Y₂O₃'ün yoğunluk üzerine etkileri tablo 4.19'da sunulmuştur. Tablo incelendiğinde tüm sıcaklıklarda ilave edilen Y₂O₃'ün oranı arttıkça gözenek oranının da arttığı görülmektedir.

Tablo 4.19 AA2024+[B₄C(Ni Kaplı)+Y₂O₃(Al₂O₃ Kaplı)] yoğunluk değerlerinin sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

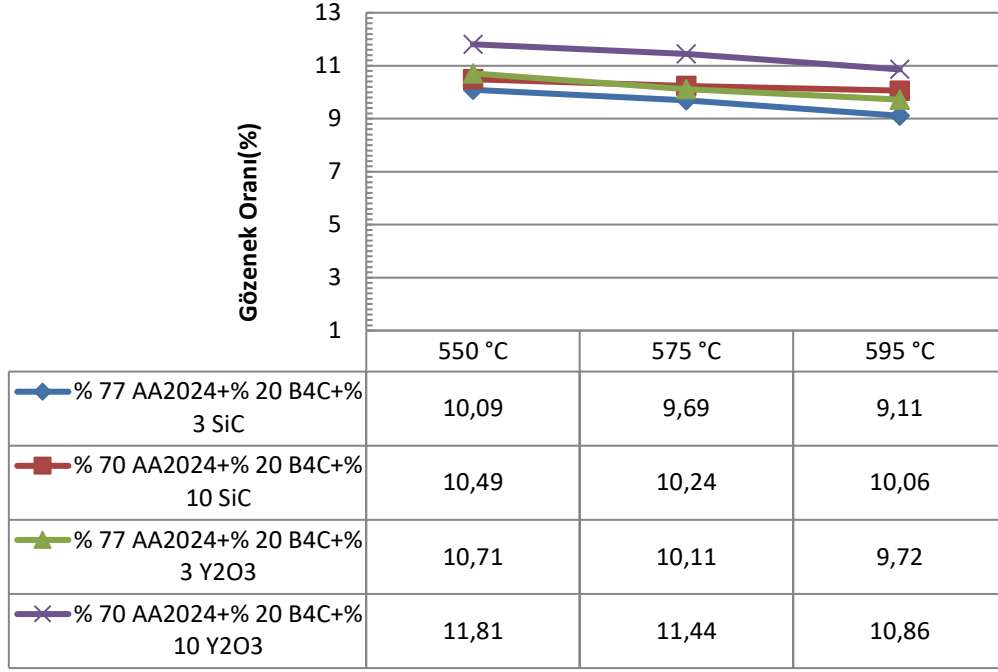
AA2024+(B ₄ C+Y ₂ O ₃)										
Sıra No	% AA 2024	% B ₄ C	% Y ₂ O ₃	AA 2024 Tane Boy. (µm)	B ₄ C Tane Boy. (µm)	Y ₂ O ₃ Tane Boy. (µm)	Sint. Sıcaklığı (°C)	Teorik Yoğunluk Değeri (g/cm3)	Deneysel Yoğunluk Değeri (g/cm3)	Gözenek Oranı (%)
1	77	20	3	100-150	22-59	10	550	2,808	2,507	10,71
							575		2,524	10,11
							595		2,535	9,72
2	70	20	10				550	2,963	2,613	11,81
							575		2,624	11,44
							595		2,641	10,86

Tablo 4.20 AA2024+[B₄C(Ni Kaplı)+SiC(SiO₂ Kaplı)]& AA2024+[B₄C(Ni Kaplı)+Y₂O₃(Al₂O₃ Kaplı)] yoğunluk değerlerinin karşılaştırılması

AA2024+(B ₄ C+SiC) & AA2024+(B ₄ C+Y ₂ O ₃)										
Sıra No	% AA 2024	% B ₄ C	% SiC	AA 2024 Tane Boy. (μm)	B ₄ C Tane Boy. (μm)	SiC Tane Boy. (μm)	Sint. Sıcaklık (°C)	Teorik Yoğunluk Değeri (g/cm ³)	Deneyisel Yoğunluk Değeri (g/cm ³)	Gözenek Oranı (%)
1	77	20	3	100-150	22-59	10	550	2,754	2,476	10,09
							575		2,487	9,69
							595		2,503	9,11
2	70	20	10				550	2,783	2,491	10,49
							575		2,498	10,24
							595		2,503	10,06
Sıra No	% AA2024	% B ₄ C	% Y ₂ O ₃			Y ₂ O ₃ Tane Boy. (μm)	Sint. Sıcaklık (°C)	Teorik Yoğunluk Değeri (g/cm ³)	Deneyisel Yoğunluk Değeri (g/cm ³)	Gözenek Oranı (%)
1	77	20	3			10	550	2,808	2,507	10,71
							575		2,524	10,11
							595		2,535	9,72
2	70	20	10				550	2,963	2,613	11,81
							575		2,624	11,44
							595		2,641	10,86

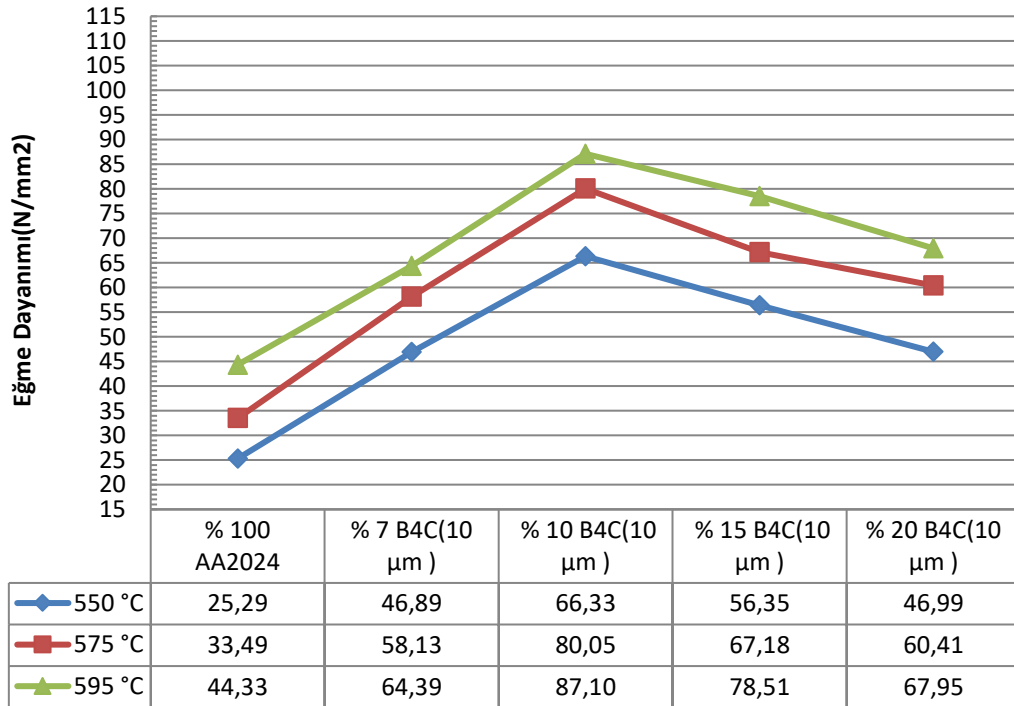


Şekil 4.44 AA2024+[B₄C(Ni Kaplı)+SiC(SiO₂ Kaplı)]& AA2024+[B₄C(Ni Kaplı)+Y₂O₃(Al₂O₃ Kaplı)]'nin yoğunluk değerlerinin sıcaklık artışı ile değişimi

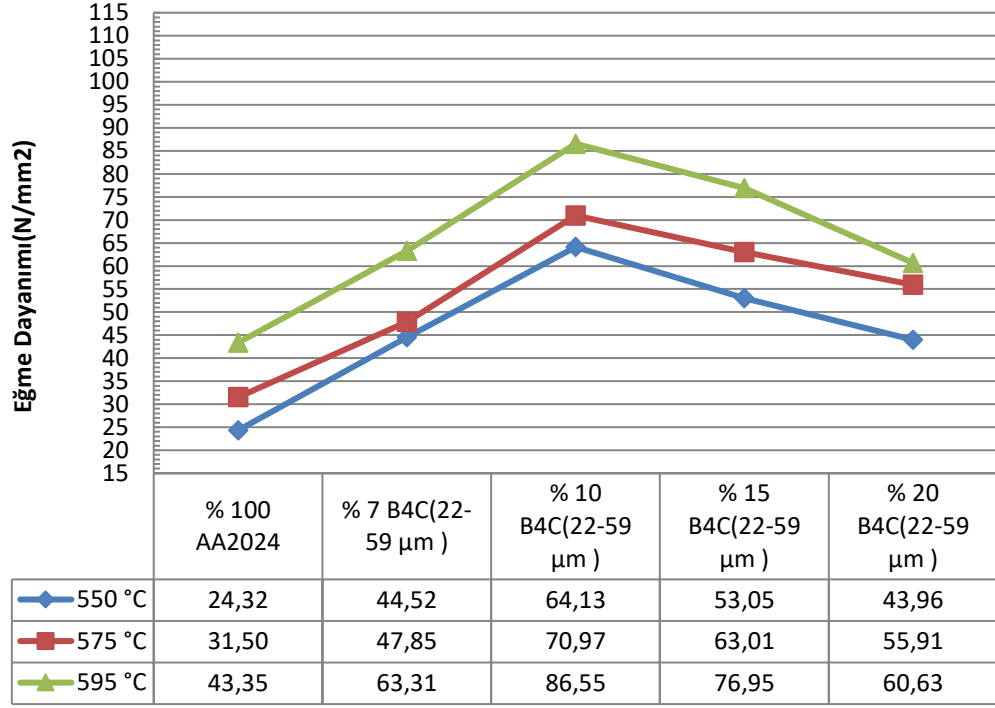


Şekil 4.45 AA2024+[B₄C(Ni Kaplı)+SiC(SiO₂ Kaplı)]&AA2024+[B₄C(Ni Kaplı)+Y₂O₃(Al₂O₃ Kaplı)]'nin gözenek oranı değerlerinin sıcaklık artışı ile değişimi

4.2.1.3 Üç Noktadan Eğme ve Basma Dayanımı:

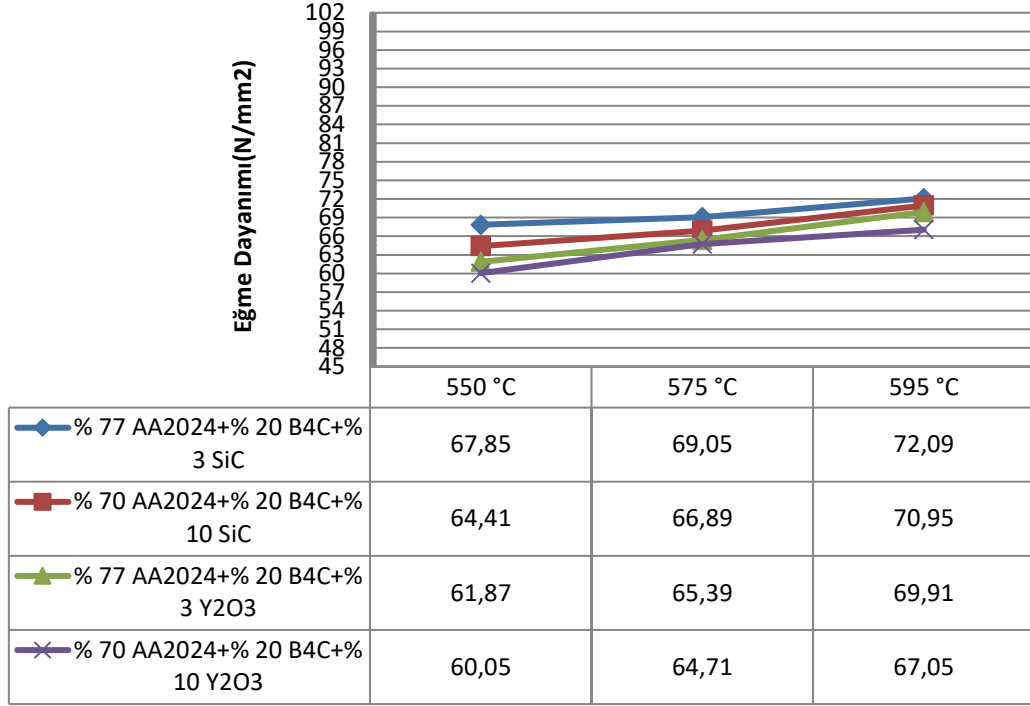


Şekil 4.46 AA2024 + 10 µm B₄C(Ni Kaplı)'nin eğme dayanımının sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi



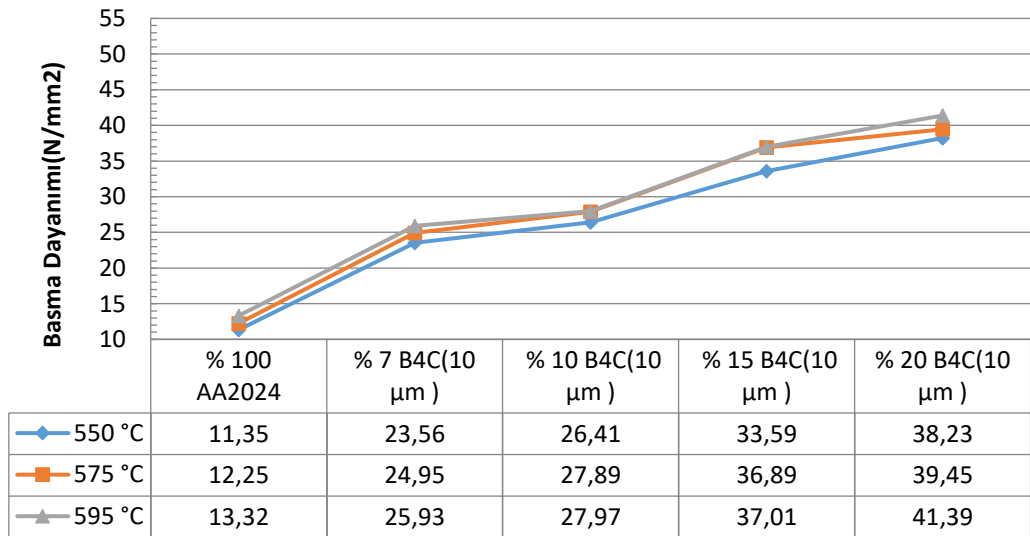
Şekil 4.47 AA2024 + 22-59 μm B₄C(Ni Kaplı)'nin eğme dayanımının sıcaklık ve takviye oranı artışı ile değişimi

AA2024 + 10 μm B₄C ve AA2024 + 22-59 μm B₄C'nin eğme mukavemeti ağırlıkça % 10 B₄C takviye ilavesine kadar artmakta ve daha sonra azalmaktadır. Bunun en temel nedeni ise; matris içerisinde artan partikül oranıyla birlikte kompozitin yoğunluğu düşmüş ve gözenek oranı artmıştır. Uygulanan yük karşısında matris, içerisinde bulunan bu gözenekleri absorbe etme yeteneğini kaybetmiştir ve buna paralel olarak ilave edilen takviye oranlarının artmasıyla kompozitin eğme mukavemeti de düşmüştür. Bu durum şekil 4.46 ve 4.47'de görülmektedir.



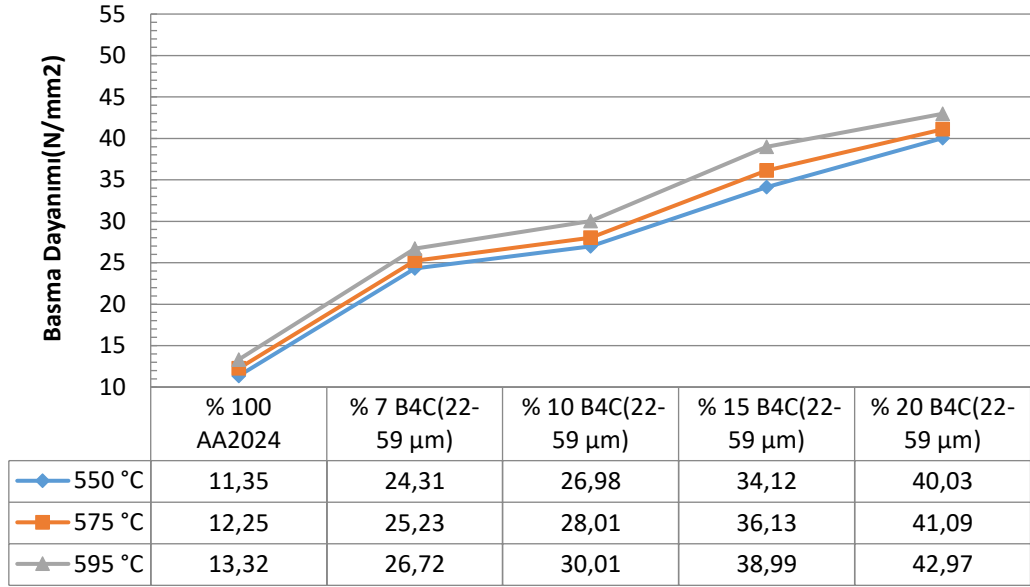
Şekil 4.48 AA2024+[B₄C(Ni Kaplı)+SiC(SiO₂ Kaplı)] & AA2024+[B₄C(Ni Kaplı)+Y₂O₃(Al₂O₃ Kaplı)]'nin eğme dayanımının sıcaklık artışı ile değişimi

AA2024+B₄C(Ni Kaplı)+SiC(SiO₂ Kaplı) & AA2024+B₄C(Ni Kaplı)+Y₂O₃(Al₂O₃ Kaplı)'ün eğme dayanımının sıcaklık artışı ile değişimi şekil 4.48'de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde AA2024+B₄C(Ni Kaplı)+SiC(SiO₂ Kaplı) eğme dayanımının AA2024+B₄C(Ni Kaplı)+Y₂O₃(Al₂O₃ Kaplı)'e göre yüksek olduğu ve kompozit malzemeler içerisine ilave edilen SiC ve Y₂O₃ seramik katkı fazlarının oranı arttıkça eğme dayanımının düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 4.49 AA2024 + 10 µm B₄C'nin basma dayanımının sıcaklık artışı ile değişimi

AA2024 + 10 μm B_4C 'nin basma mukavemeti takviye ilavesi ile artmaktadır. Bunun en temel nedeni ise; matris içerisinde ağırlıkça artan seramik parçacık (metal matris malzemesine kıyasen basma mukavemeti yüksek olan) oranıyla birlikte kompozitin yoğunluğu düşmüş ve basma dayanımı artmıştır. Bu durum şekil 4.49'da görülmektedir.

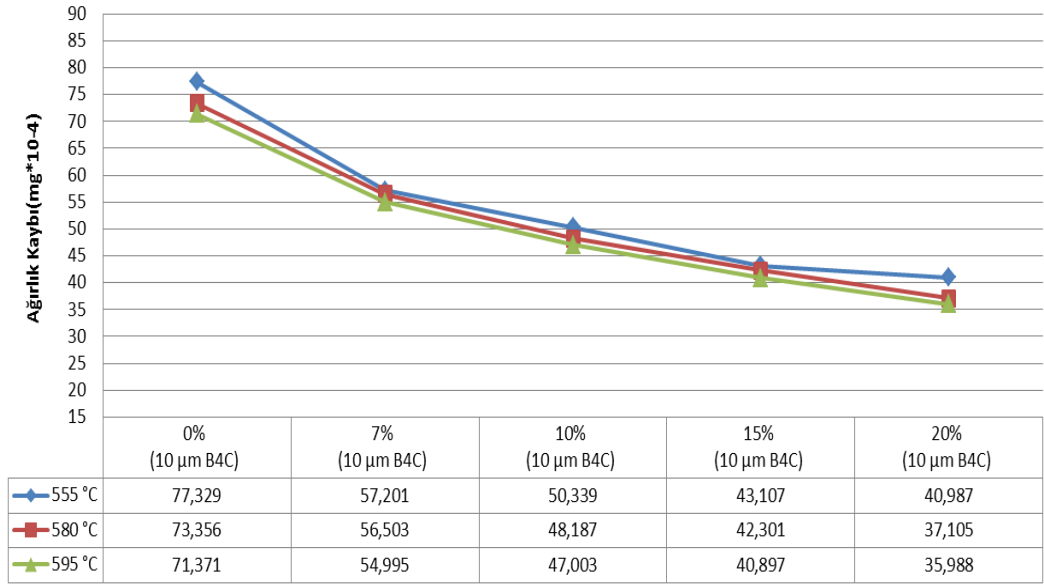


Şekil 4.50 AA2024 + 22-59 μm B_4C 'nin basma dayanımının sıcaklık artışı ile değişimi

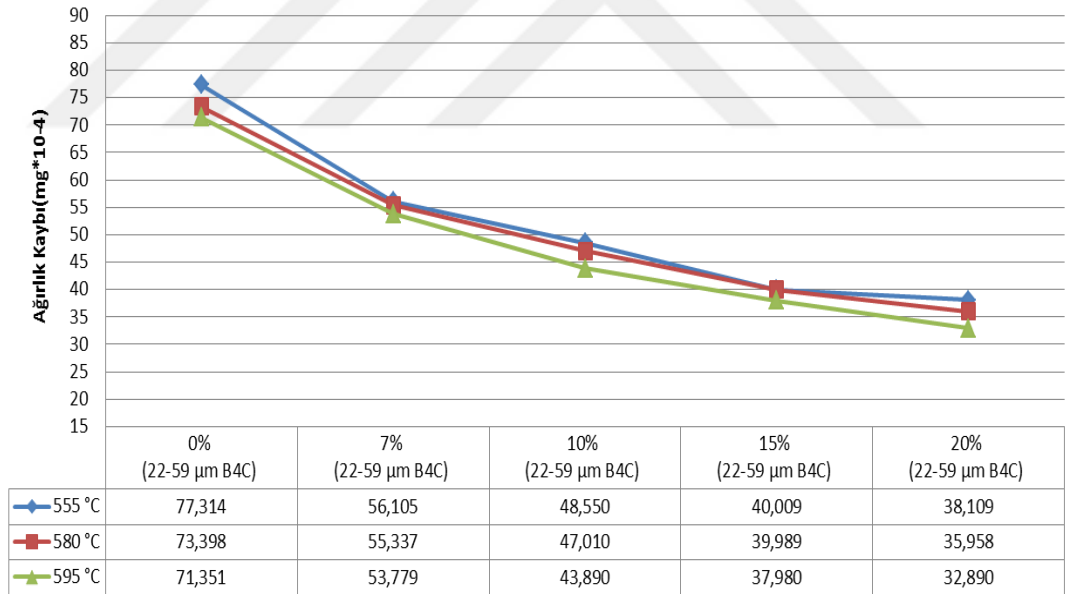
AA2024 + 22-59 μm B_4C 'nin basma mukavemeti takviye ilavesi ile artmakta ve 10 μm kıyasla 22-59 μm toz boyutuna sahip olan B_4C 'nin basma dayanımı daha yüksektir.

4.2.1.4 Aşınma:

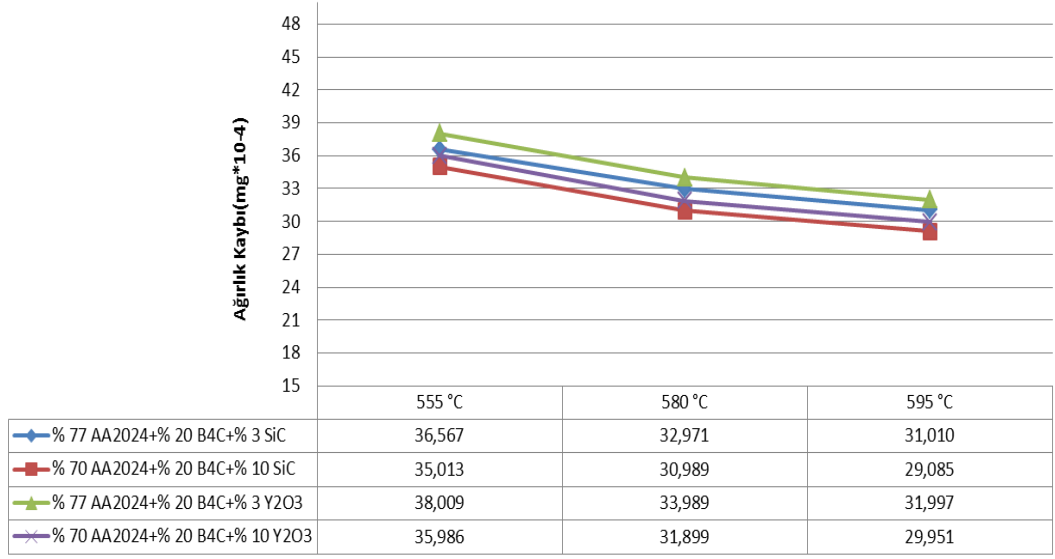
Elde edilen kompozit malzemelerin aşınma testi Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan Tribometer marka pin-on-disk aşınma cihazında 2 N yük altında ve 15 dakika süre zarfında (3.516 mm çapında, 200000 mm mesafe ve 20000 cm/s doğrusal hız ile) gerçekleştirildi. Yoğunluk değerleri ile doğru orantılı olarak artan B_4C takviye miktarı ile aşınma değerleri de azalmıştır. Bunun nedeni ise, takviye parçacıklarının matris içinde homojen dağılımı ve sürtünmeye karşı matrise oranla sürtünme katsayılarının yüksek oluşudur. Şekil 4.51 ve 4.52'de görüldüğü üzere artan takviye oranı ile tüm sıcaklıklarda aşınma değeri azalmıştır.



Şekil 4.51 AA2024 + 10 µm B₄C(Ni Kaplı)'nin ağırlık kaybı değerlerinin takviye oranları ve sıcaklık artışı ile değişimi



Şekil 4.52 AA2024 + 22-59 µm B₄C(Ni Kaplı)'nin ağırlık kaybı değerlerinin takviye oranları ve sıcaklık artışı ile değişimi

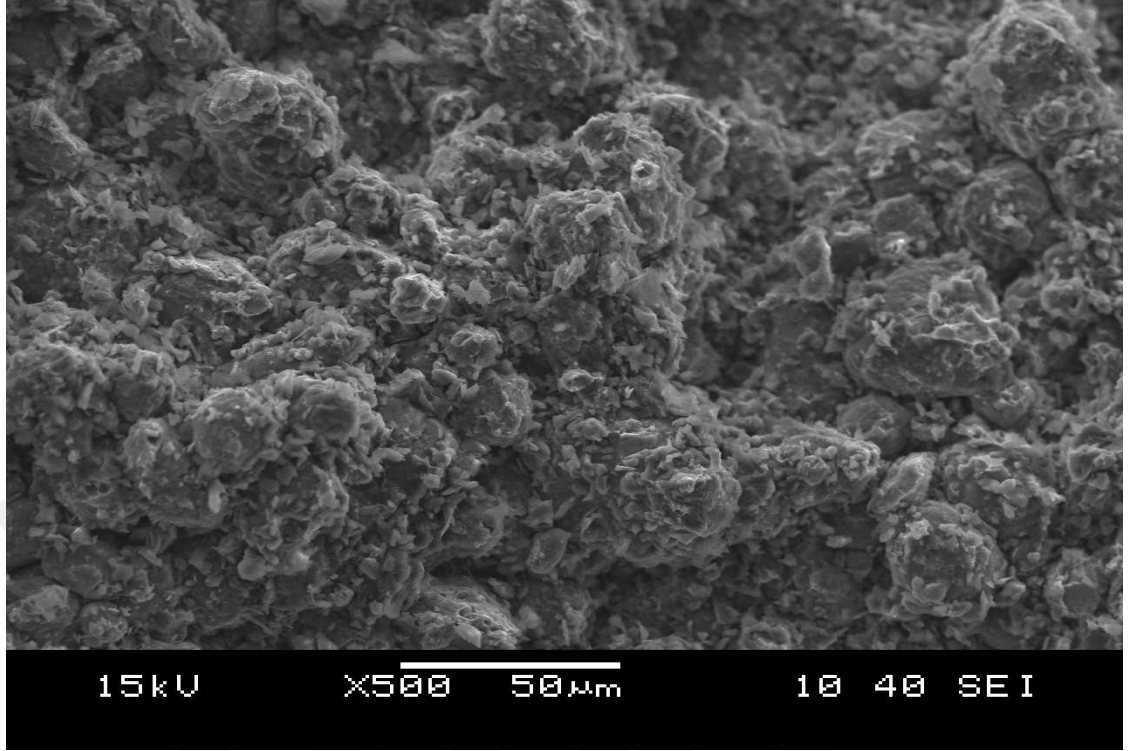


Şekil 4.53 AA2024+[B₄C(Ni Kaplı)+SiC(SiO₂ Kaplı)] & AA2024+[B₄C(Ni Kaplı)+Y₂O₃(Al₂O₃ Kaplı)]'nin ağırlık kaybı değerlerinin sıcaklık artışı ile değişimi

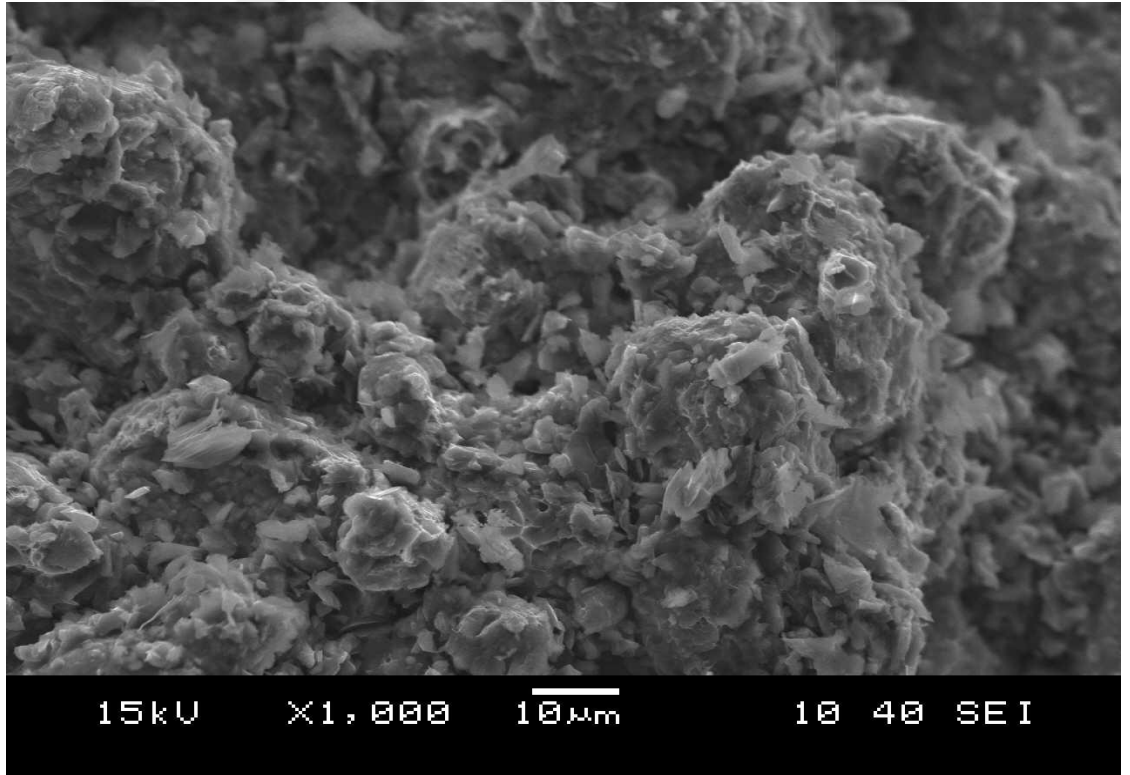
Şekil 4.53'de AA2024+B₄C(Ni Kaplı)+SiC(SiO₂ Kaplı) & AA2024+B₄C(Ni Kaplı)+Y₂O₃(Al₂O₃ Kaplı)'ün ağırlık kaybı değerlerinin sıcaklık artışı ile değişimi verilmiştir. Şekil incelendiğinde sıcaklık değerlerindeki artış ile aşınma değerlerinin azaldığı ve kompozit malzemeler içerisine ilave edilen SiC ve Y₂O₃ seramik katkı fazlarının oranı arttıkça aşınma dayanımının arttığı görülmektedir.

4.2.2 Metalografik İnceleme:

4.2.2.1SEM

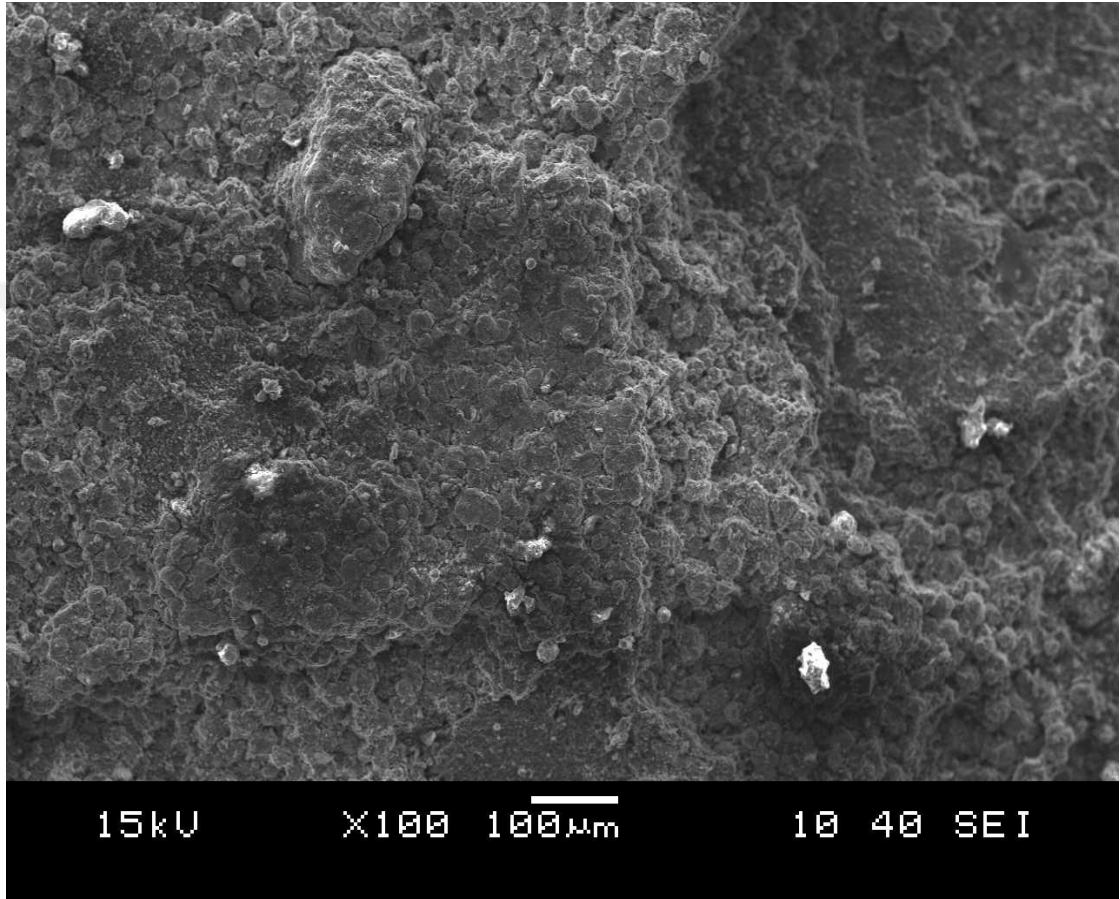


Şekil 4.54a 595 °C’de %85 AA2024+%15 Ni Kaplı B₄C(10 µm) x500 SEM görüntüsü

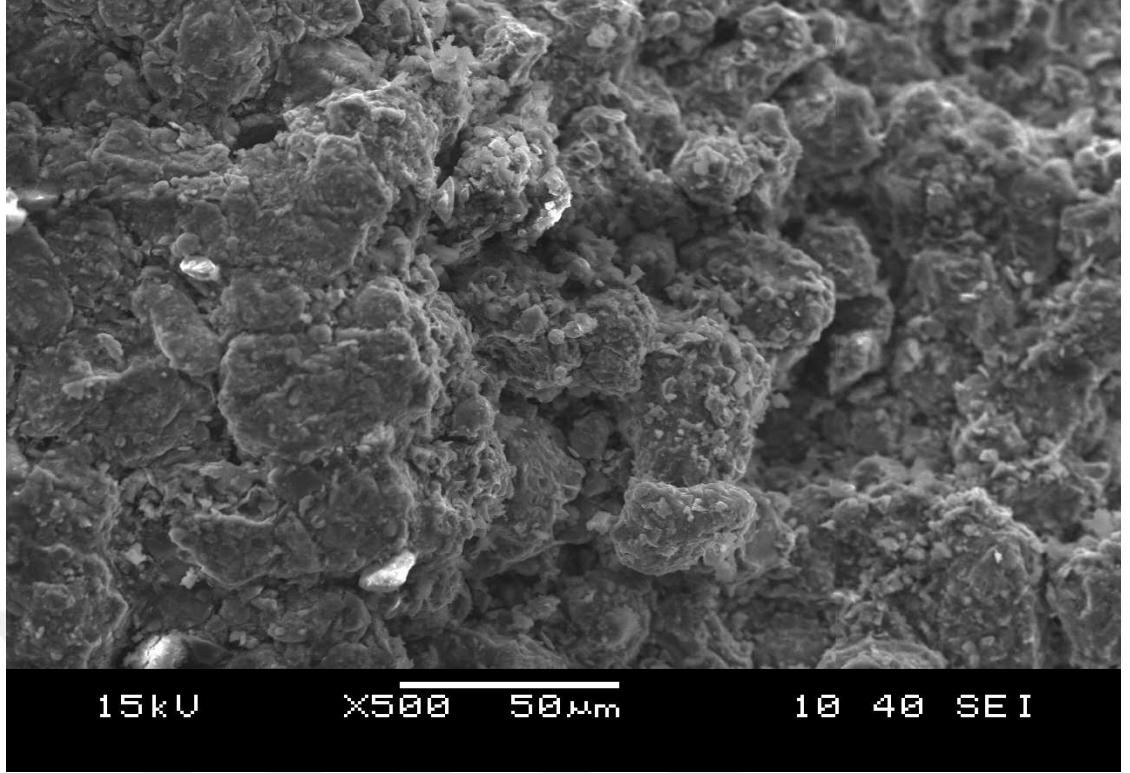


Şekil 4.54b 595 °C’de %85 AA2024+%15 Ni Kaplı B₄C(10 µm) x1000 SEM görüntüsü

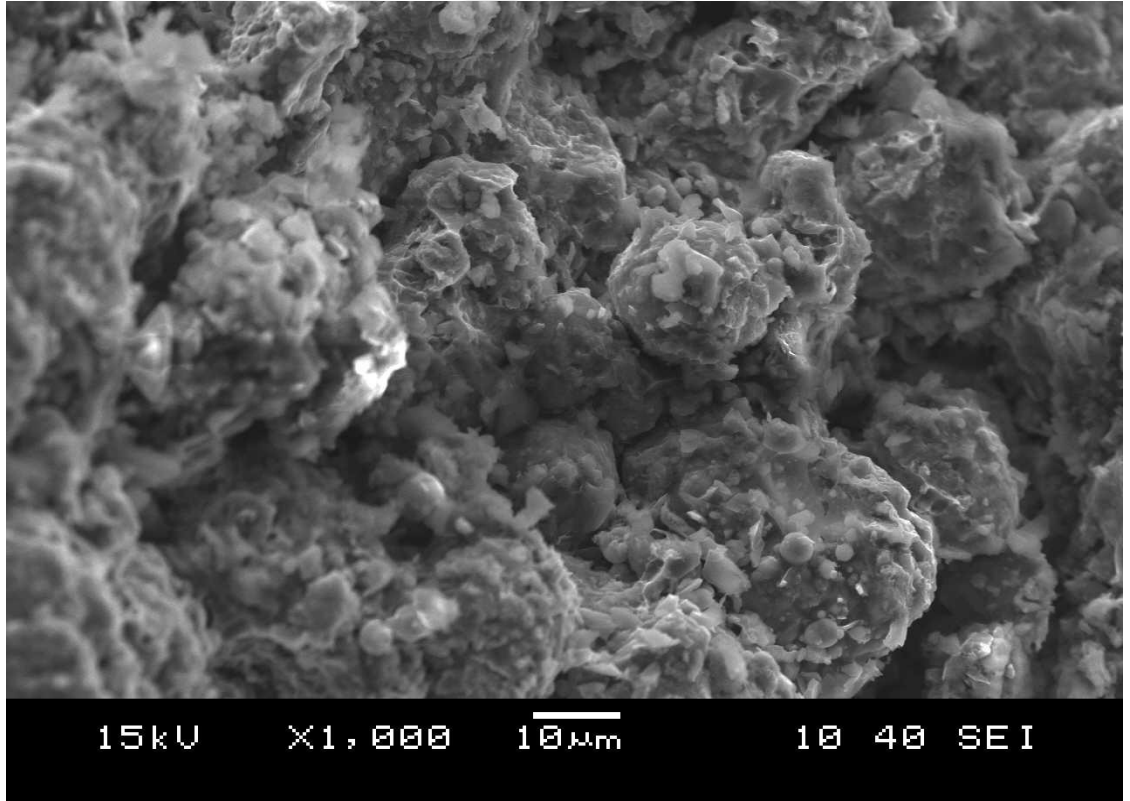
Şekil 4.54’de %85 AA2024+%15 Ni Kaplı B₄C(10 µm) oranlarında hazırlanan ve 595 °C’de sinterlenen kompozit malzemenin içyapısı görülmektedir. İçyapı resmi incelendiğinde beklenenin aksine yüksek takviye oranında dahi yapıya ilavesi sağlanan Ni elementinden dolayı gözenekliliğin düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 4.55a 575 °C’de %80 AA2024+%20 Ni Kaplı B₄C(10 µm) x100 SEM görüntüsü

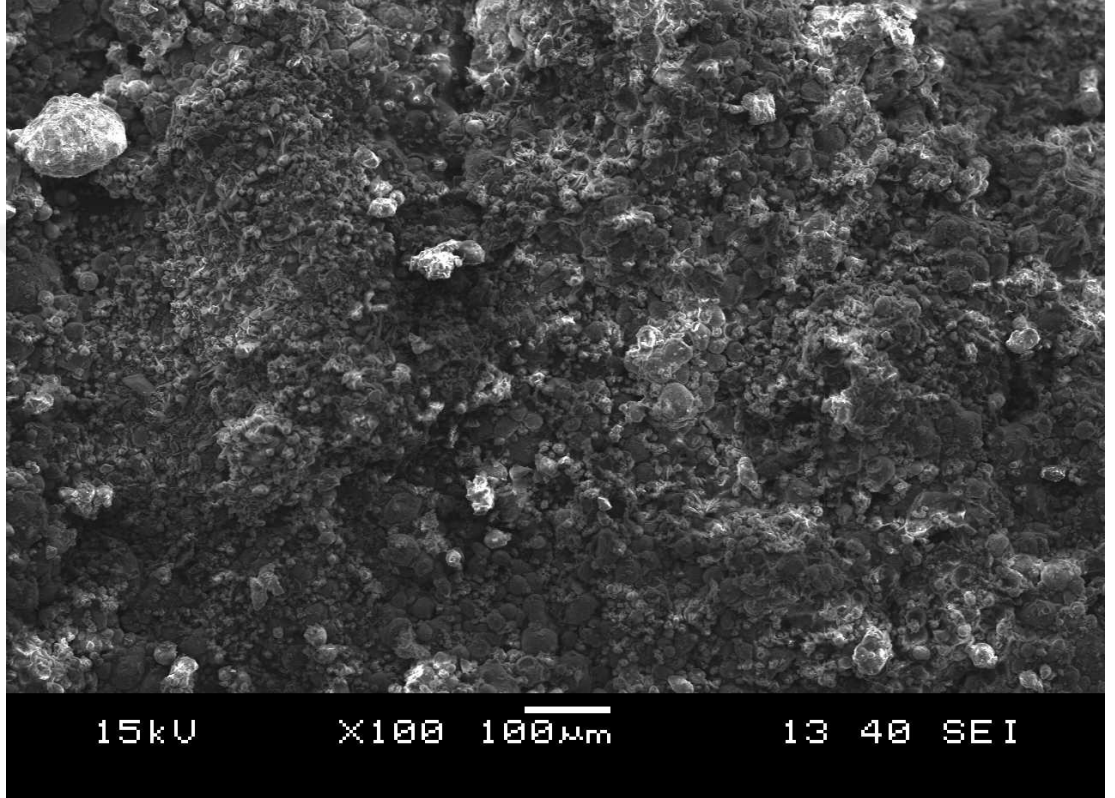


Şekil 4.55b 575 °C’de %80 AA2024+%20 Ni Kaplı B₄C(10 µm) x500 SEM görüntüsü

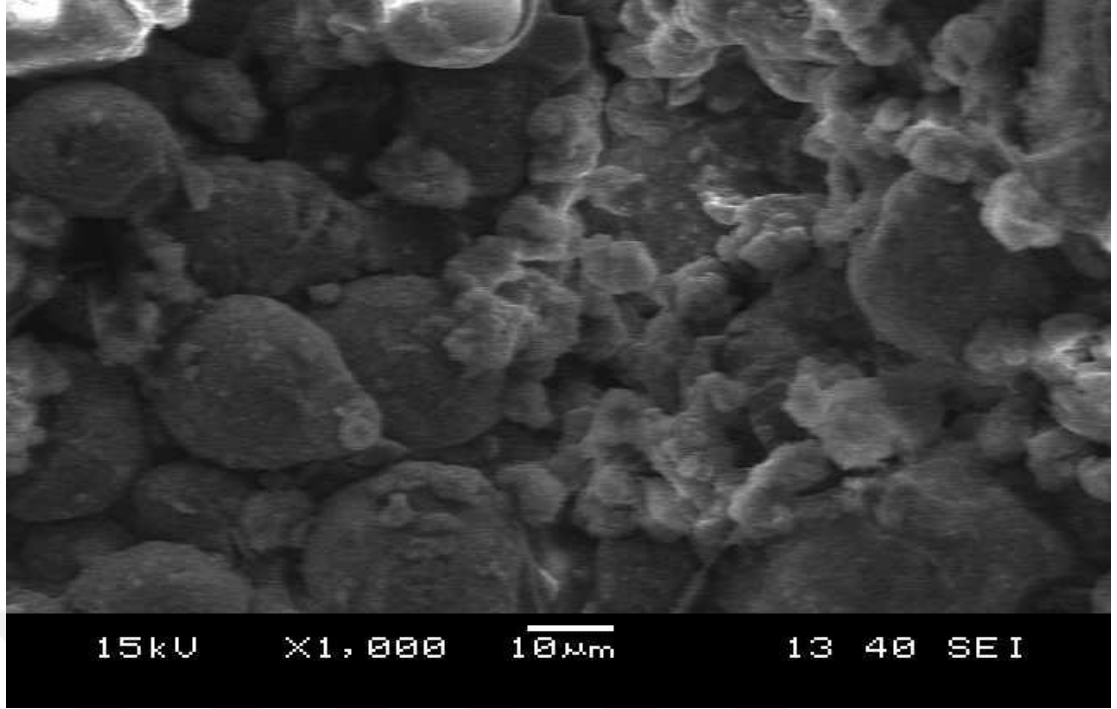


Şekil 4.55c 575 °C’de %80 AA2024+%20 Ni Kaplı B₄C(10 µm) x1000 SEM görüntüsü

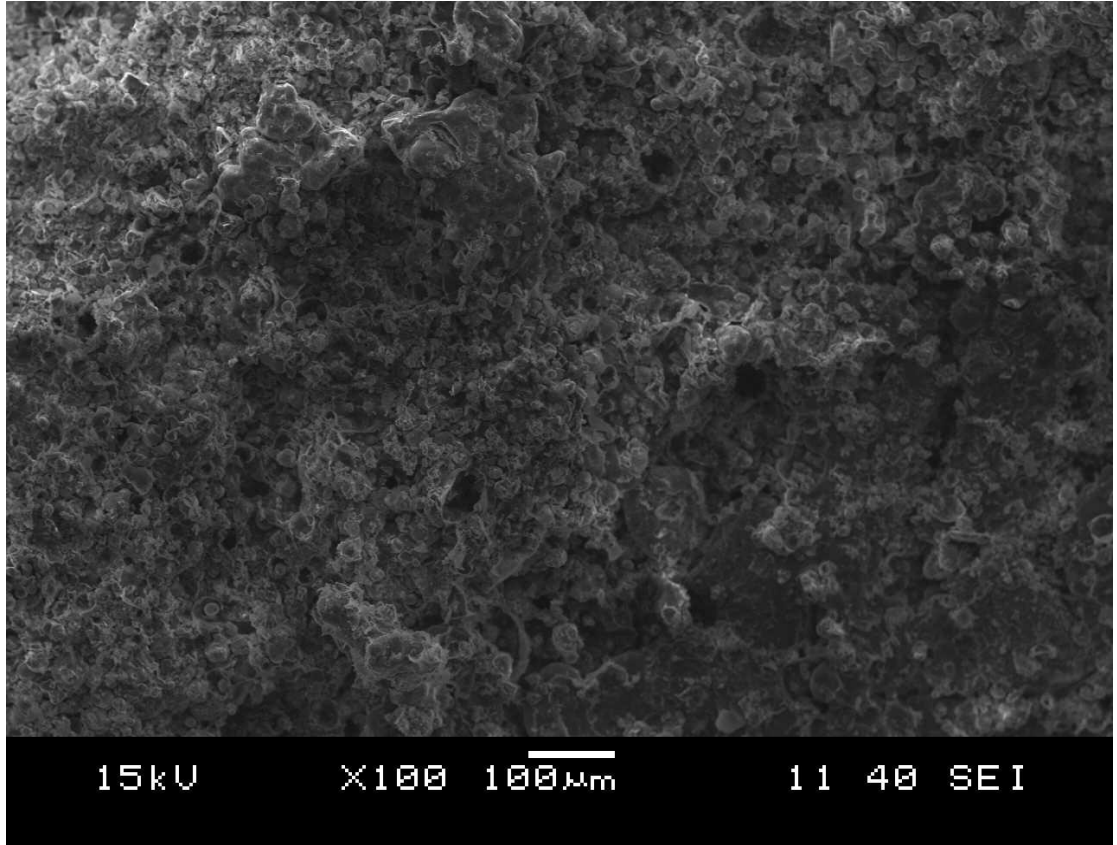
Şekil 4.54’de %85 AA2024+%15 Ni Kaplı B₄C(10 µm) oranlarında hazırlanan ve 595 °C’de sinterlenen kompozit malzemenin içyapısı(x1000) görüntülenmektedir. Şekil 4.55’de %80 AA2024+%20 Ni Kaplı B₄C(10 µm) oranlarında hazırlanan ve 575 °C’de sinterlenen kompozit malzemenin içyapısı görüntülenmektedir. Şekil 4.55’de artan takviye oranı ve sıcaklığın düşmesi ile gözenekliliğin arttığı görülmektedir.



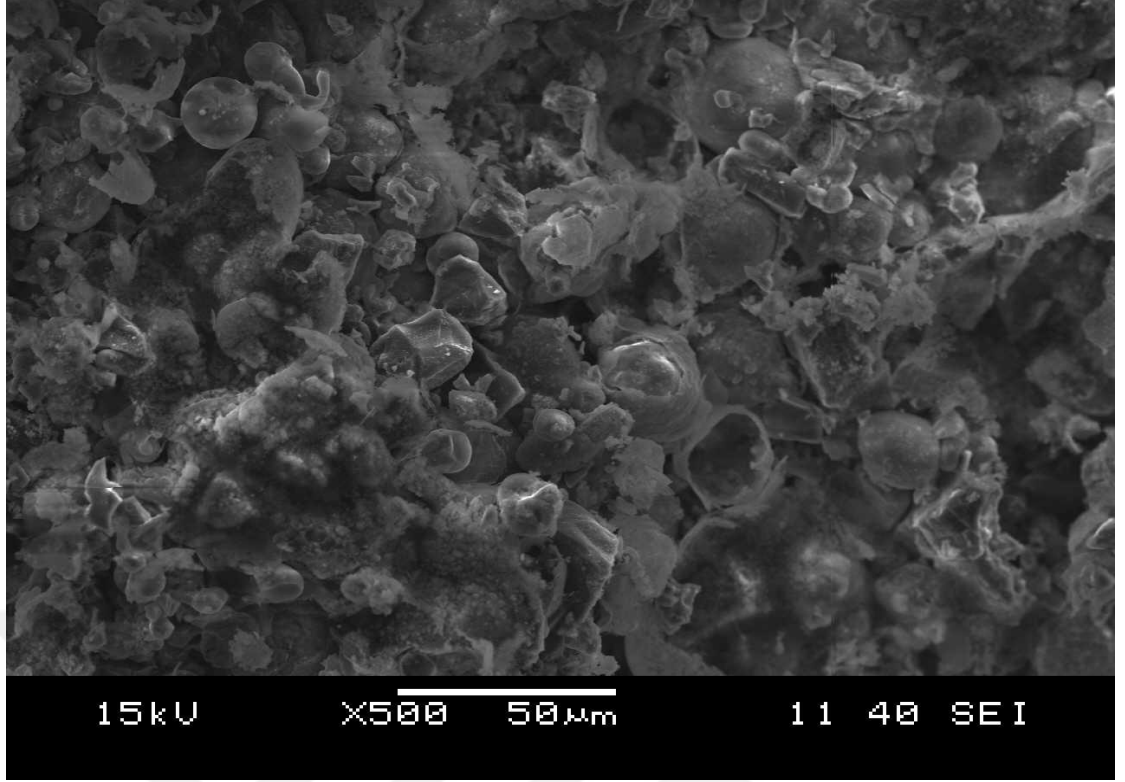
Şekil 4.56a 550 °C’de %77 AA2024+%20 Ni Kaplı B₄C(22-59 µm)+%3 SiC x100 SEM görüntüsü



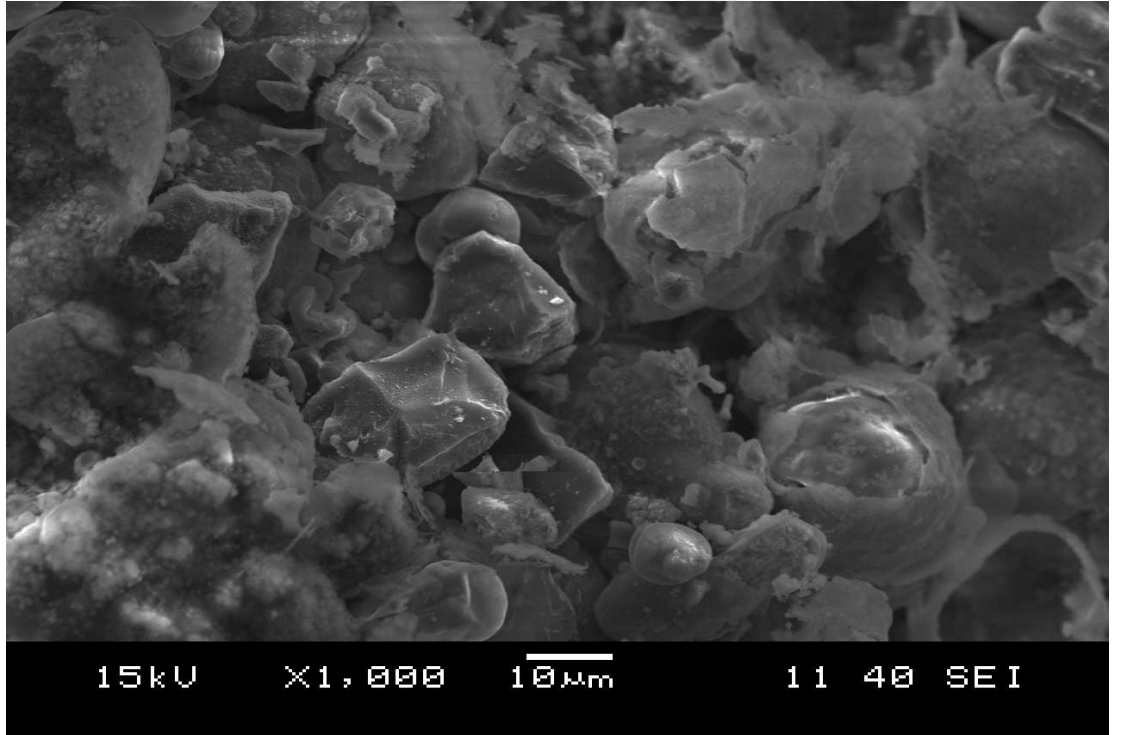
Şekil 4.56b 550 °C’de %77 AA2024+%20 Ni Kaplı B₄C(22-59 μm)+%3 SiC x1000 SEM görüntüsü



Şekil 4.57a 595 °C’de %70 AA2024+%20 Ni Kaplı B₄C(22-59 μm)+%10 SiO₂ Kaplı SiC x100 SEM görüntüsü

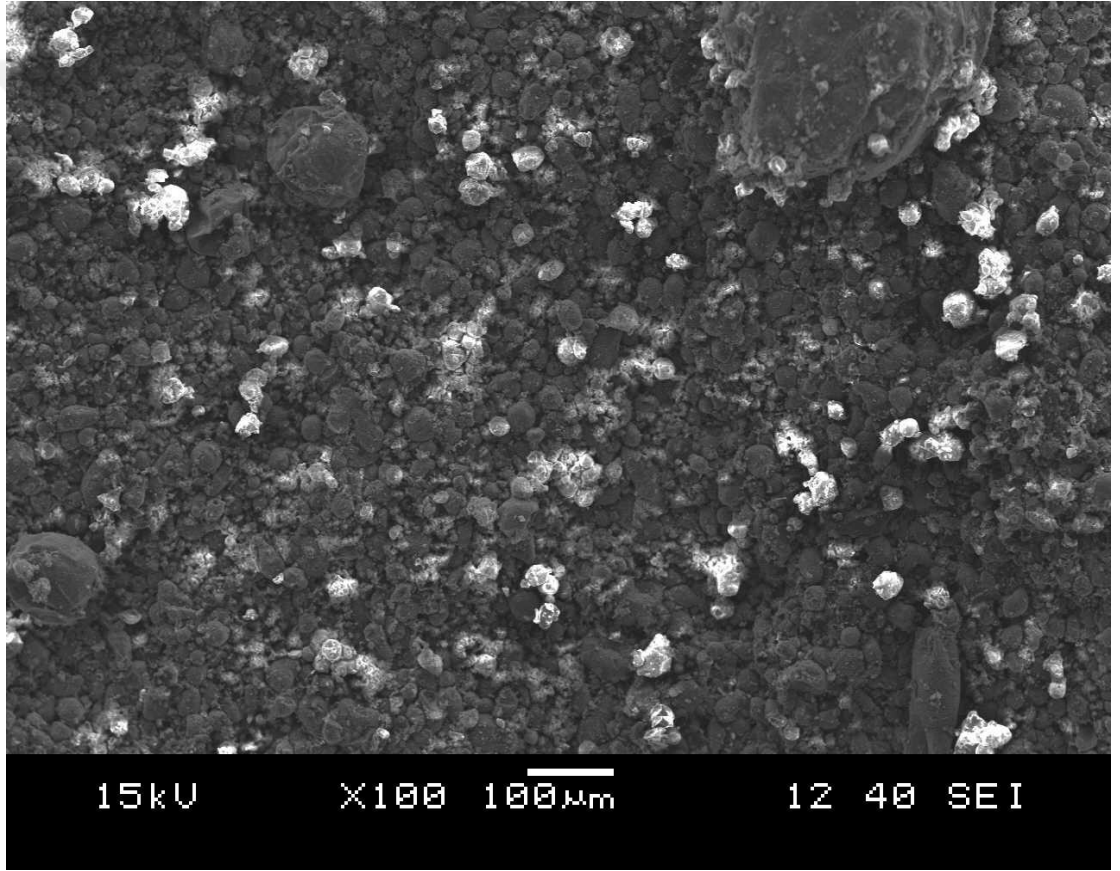


Şekil 4.57b 595 °C’de %70 AA2024+%20 Ni Kaplı B₄C(22-59 µm)+%10 SiO₂ Kaplı SiC x500 SEM görüntüsü

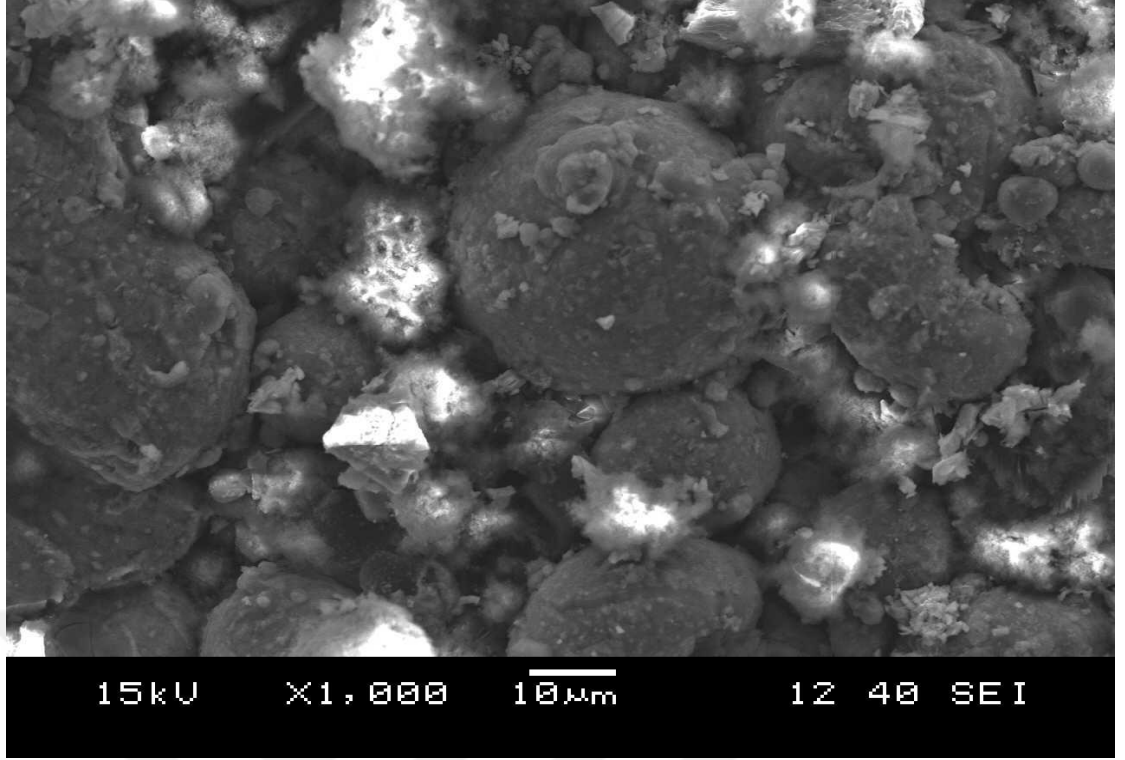


Şekil 4.57c 595 °C’de %70 AA2024+%20 Ni Kaplı B₄C(22-59 µm)+%10 SiO₂ Kaplı SiC x1000 SEM görüntüsü

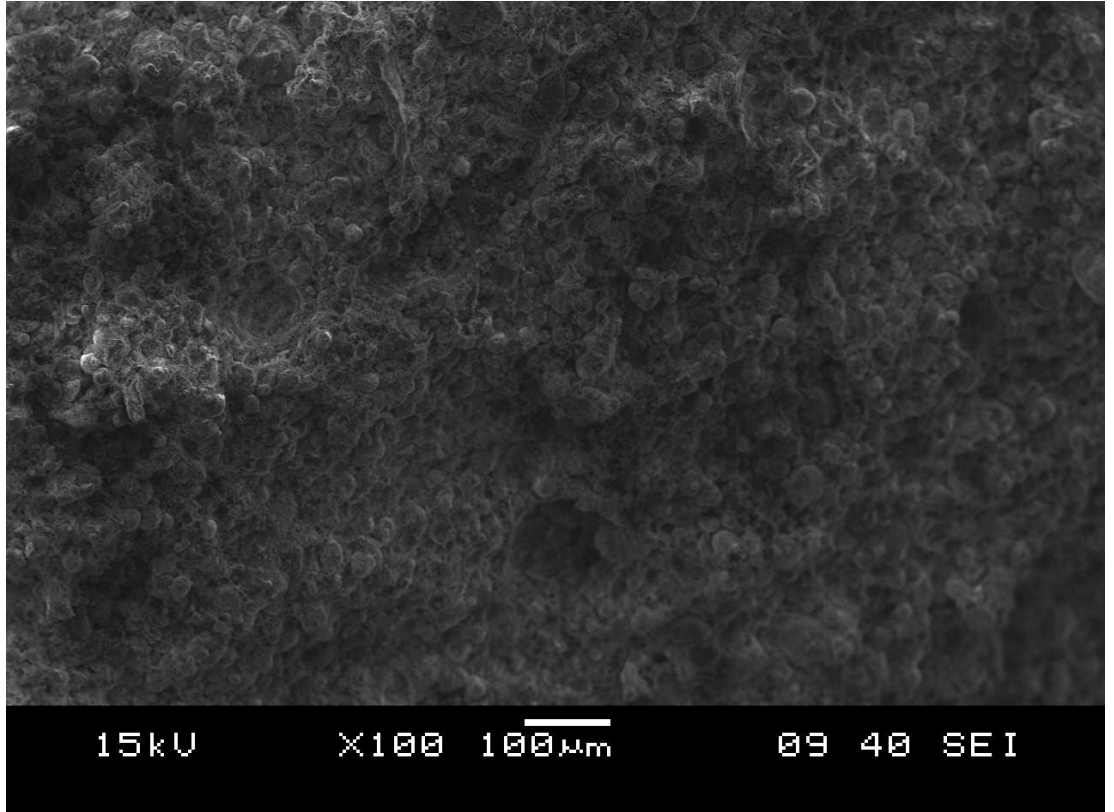
Şekil 4.56'da %77 AA2024+%20 Ni Kaplı $B_4C(22-59 \mu m)$ +%3 SiC oranlarında hazırlanan ve 550 °C'de sinterlenen kompozit malzemenin içyapısı görülmektedir. Şekil 4.57'de %70 AA2024+%20 Ni Kaplı $B_4C(22-59 \mu m)$ +%10 SiO_2 Kaplı SiC oranlarında hazırlanan ve 595 °C'de sinterlenen kompozit malzemenin içyapısı görülmektedir. İki şekilde gösterilen içyapılar incelendiğinde Şekil 4.57'de sıcaklık ve SiO_2 Kaplı SiC oranındaki artış ile birlikte gözenekliliğin azaldığı görülmektedir. Ayrıca, Şekil 4.56'da görüldüğü üzere 550 °C sinterleme sıcaklığının yetersiz olduğu kanaatine varılmıştır.



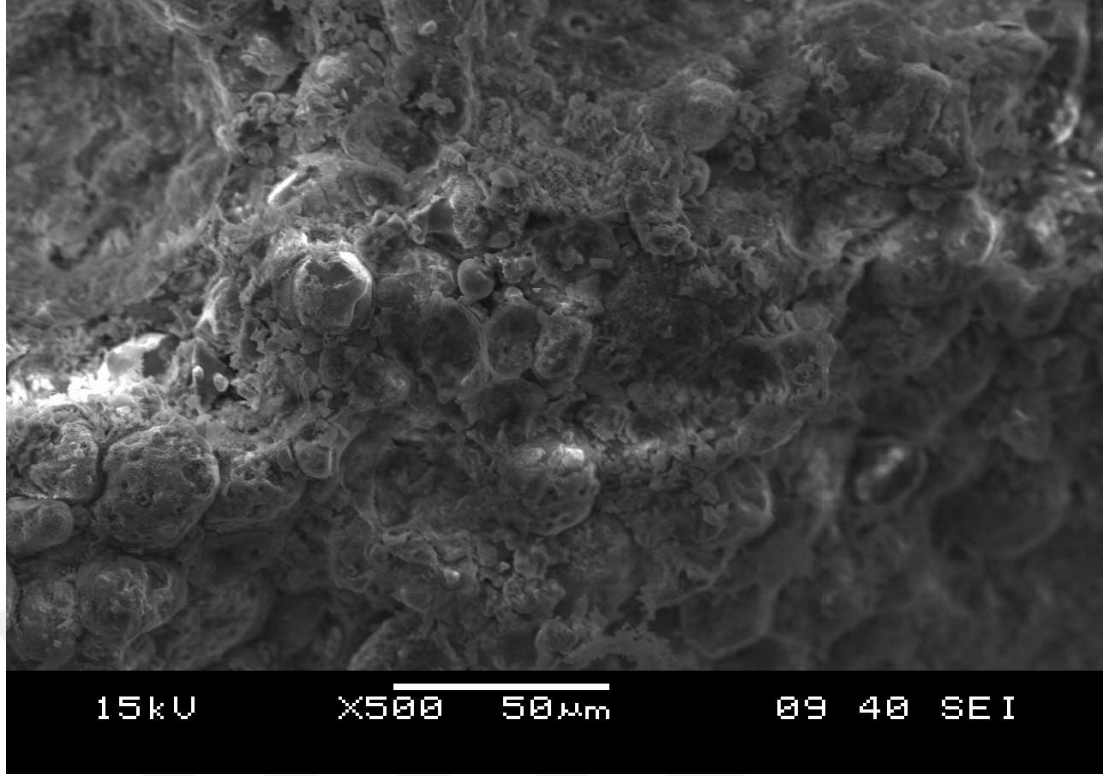
Şekil 4.58a 550 °C'de %77 AA2024+%20 Ni Kaplı $B_4C(22-59 \mu m)$ +%3 Al_2O_3 Kaplı Y_2O_3 x100 SEM görüntüsü



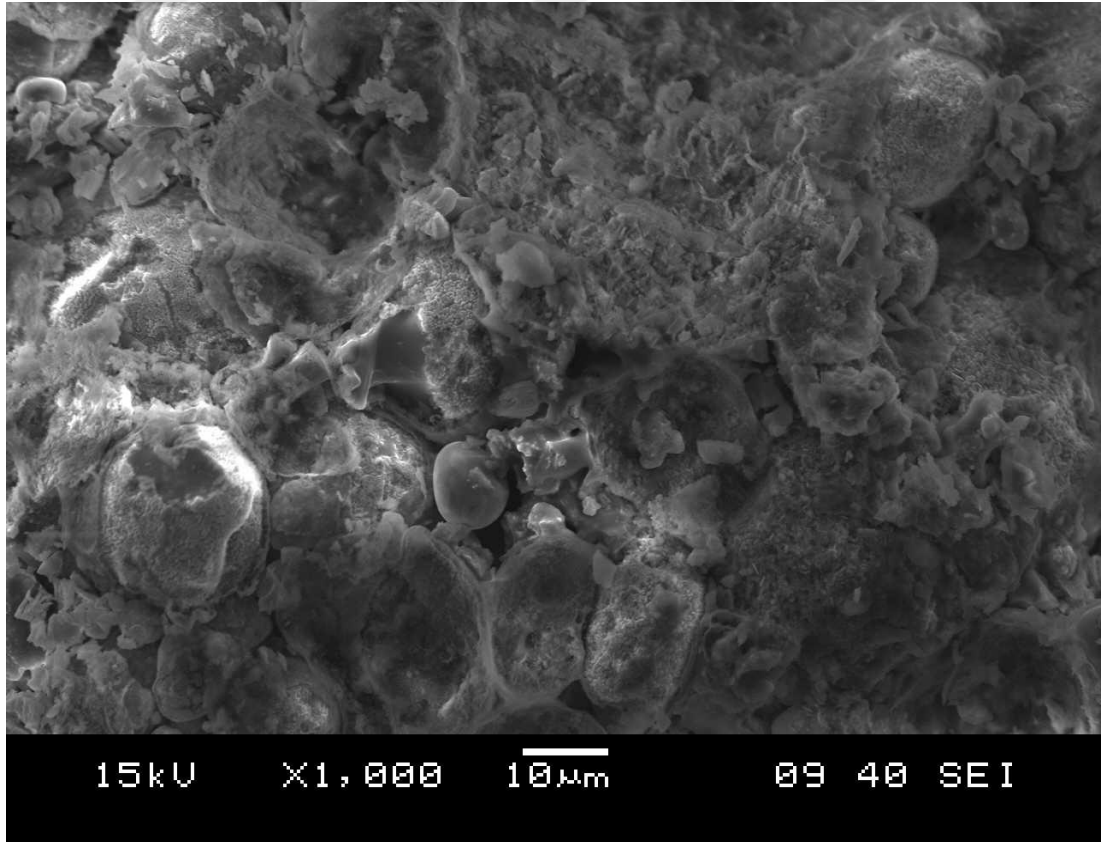
Şekil 4.58b 550 °C’de %77 AA2024+%20 Ni Kaplı B₄C(22-59 μm)+%3 Al₂O₃ Kaplı Y₂O₃ x1000 SEM görüntüsü



Şekil 4.59a 595 °C’de %70 AA2024+%20 Ni Kaplı B₄C(22-59 μm)+%10 Al₂O₃ Kaplı Y₂O₃ x100 SEM görüntüsü



Şekil 4.59b 595 °C’de %70 AA2024+%20 Ni Kaplı $B_4C(22-59\text{ }\mu\text{m})$ +%10 Al_2O_3 Kaplı Y_2O_3 x500 SEM görüntüsü

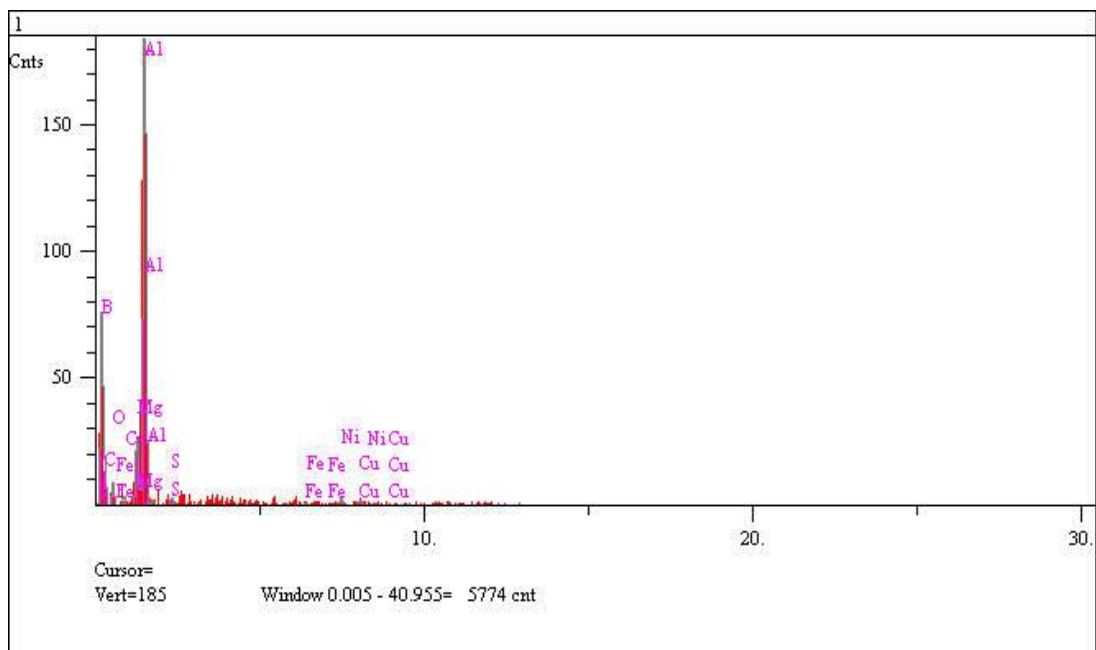
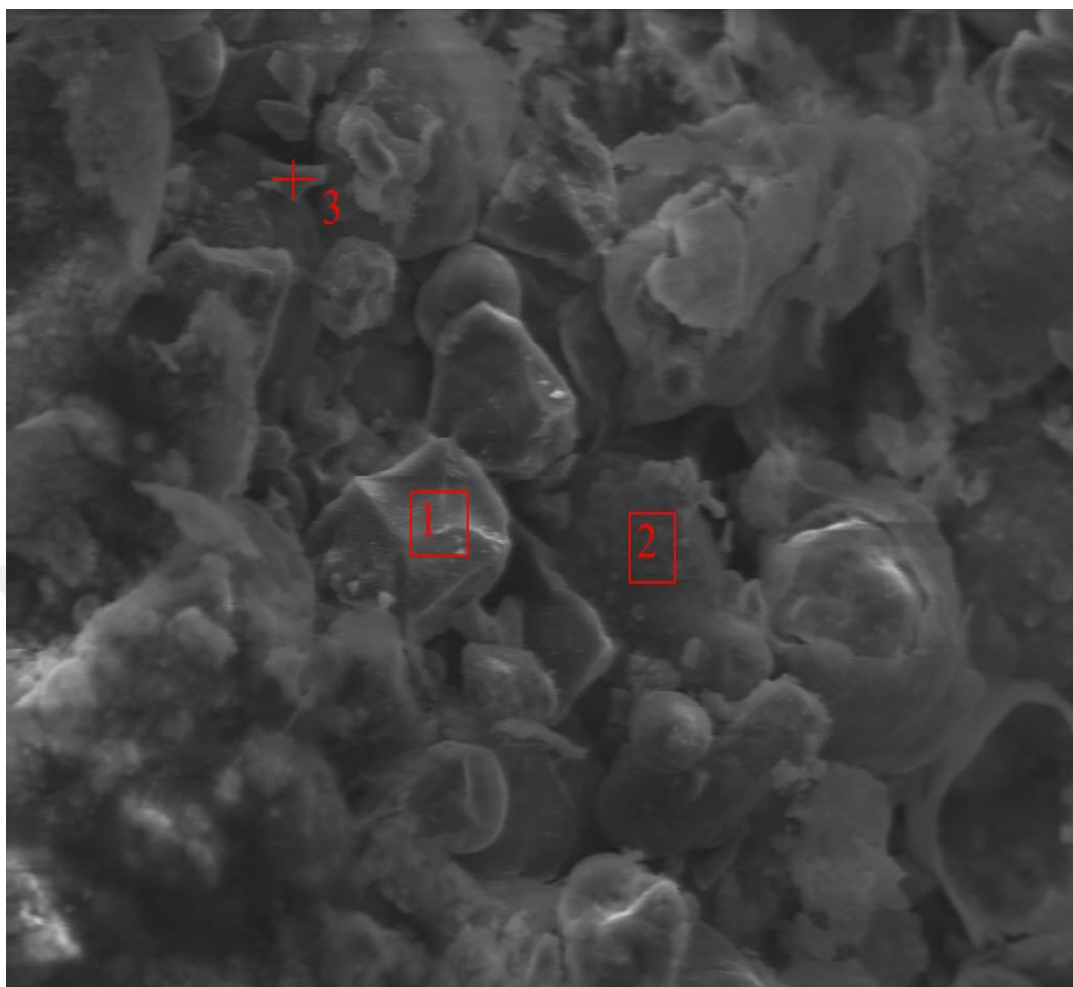


Şekil 4.59c 595 °C’de %70 AA2024+%20 Ni Kaplı $B_4C(22-59\text{ }\mu\text{m})$ +%10 Al_2O_3 Kaplı Y_2O_3 x1000 SEM görüntüsü

Şekil 4.58’de %77 AA2024+%20 Ni Kaplı $B_4C(22-59 \mu m)$ +%3 Al_2O_3 Kaplı Y_2O_3 oranlarında hazırlanan ve 550 °C’de sinterlenen kompozit malzemenin içyapısı görülmektedir. Şekil 4.59’da %70 AA2024+%20 Ni Kaplı $B_4C(22-59 \mu m)$ +%10 Al_2O_3 Kaplı Y_2O_3 oranlarında hazırlanan ve 595 °C’de sinterlenen kompozit malzemenin içyapısı görülmektedir. İki şekilde gösterilen içyapılar incelendiğinde Şekil 4.59’da sıcaklık ve Al_2O_3 Kaplı Y_2O_3 oranındaki artış ile birlikte gözenekliliğin azaldığı görülmektedir. Ayrıca, Şekil 4.58’de görüldüğü üzere 550 °C sinterleme sıcaklığının yetersiz olduğu kanaatine varılmıştır.

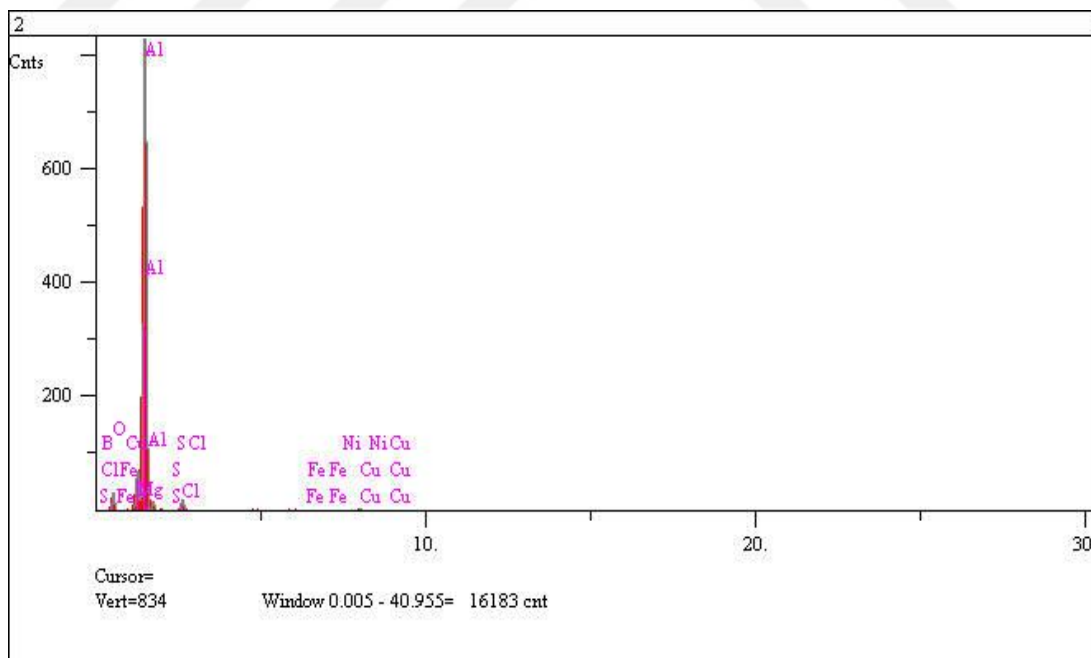


4.2.2.2 EDS



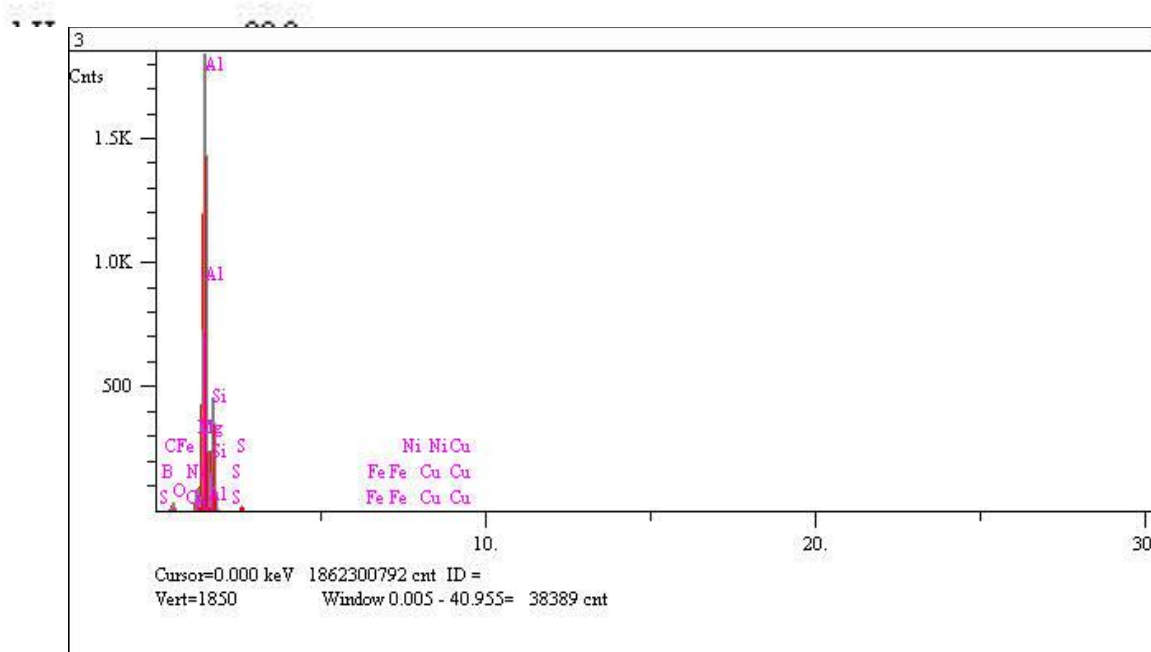
Component	Mole Conc.	Conc.	
S	0.026	0.071	wt.%
C	24.144	24.918	wt.%
O	1.467	2.017	wt.%
Mg	0.315	0.658	wt.%
Al	2.030	4.706	wt.%
Si	0.023	0.056	wt.%
B	71.833	66.735	wt.%
Cu	0.071	0.390	wt.%
Fe	0.022	0.104	wt.%
Ni	0.068	0.343	wt.%
	100.000	100.000	wt.%

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Con
B	Ka	7.23	0.538	66.1
C	Ka	1.56	0.250	24.9
O	Ka	0.84	0.183	2.0
Mg	Ka	3.05	0.349	0.7
Al	Ka	23.27	0.965	4.7
Si	Ka	0.27	0.103	0.1
S	Ka	0.34	0.117	0.1
Fe	Ka	0.17	0.081	0.1
Ni	Ka	0.39	0.125	0.3
Cu	Ka	0.35	0.118	0.4
				100.0



Component	Mole Conc.	Conc.	
S	0.070	0.085	wt.%
C	0.000	0.000	wt.%
O	9.478	5.756	wt.%
Mg	2.880	2.657	wt.%
Al	59.421	60.854	wt.%
Si	27.615	29.438	wt.%
B	0.000	0.000	wt.%
Cu	0.170	0.409	wt.%
Fe	0.152	0.323	wt.%
Ni	0.215	0.478	wt.%
	100.000	100.000	wt.%

El.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Con
B	Ka	0.00	0.000	0.0
C	Ka	0.00	0.000	0.0
O	Ka	3.52	0.375	5.0
Mg	Ka	10.55	0.650	20.0
Al	Ka	227.44	3.016	60.0
Si	Ka	52.83	1.454	29.0
S	Ka	0.17	0.082	0.0
Fe	Ka	0.37	0.121	0.0
Ni	Ka	0.40	0.127	0.0
Cu	Ka	0.27	0.104	0.0
				100.0

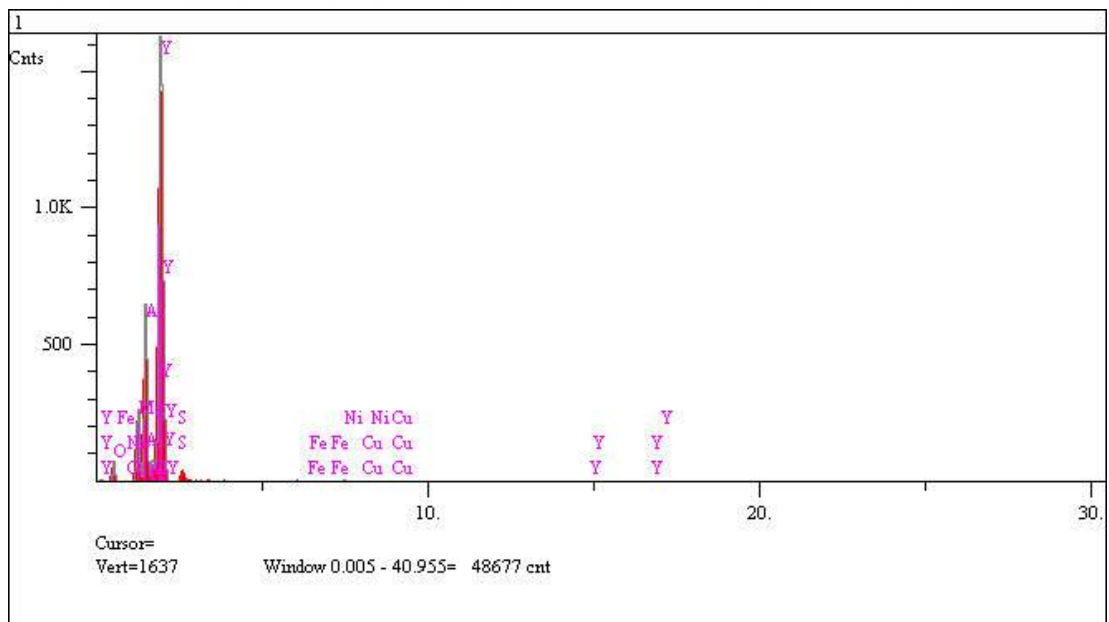
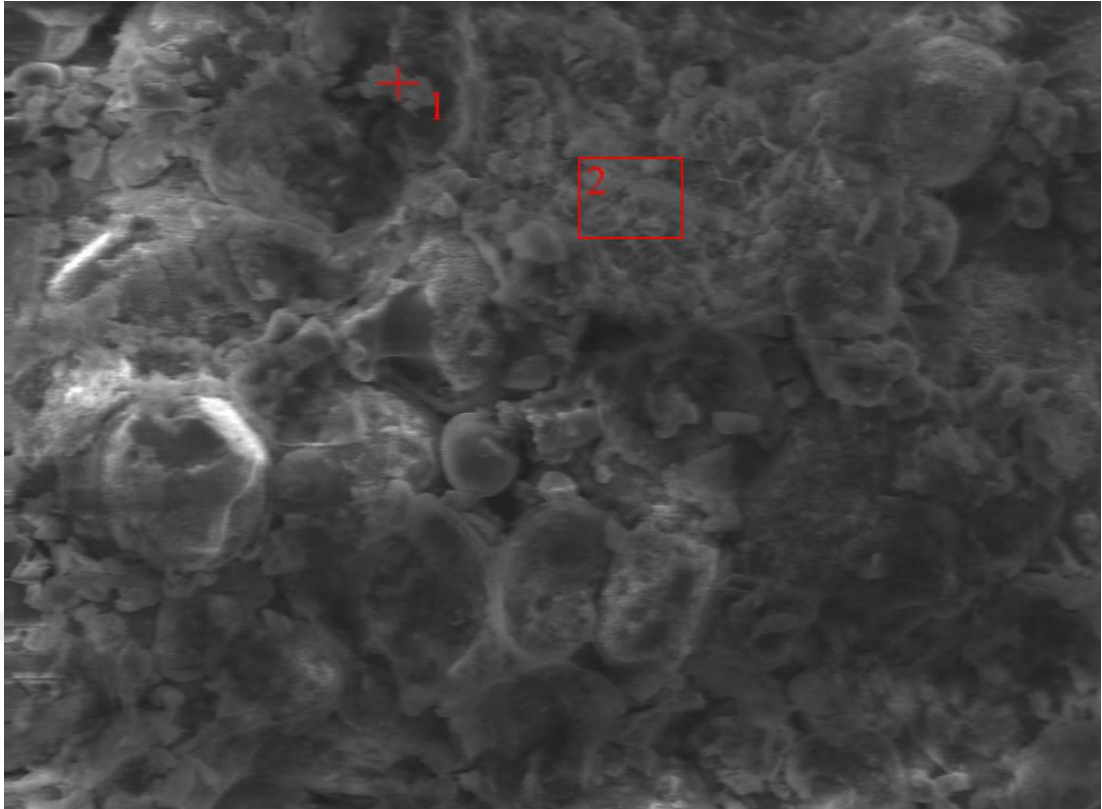


Component	Mole Conc.	Conc.	
S	0.095	0.118	wt.%
C	0.000	0.000	wt.%
O	16.808	10.447	wt.%
Mg	5.660	5.344	wt.%
Al	71.106	74.530	wt.%
Si	2.728	2.977	wt.%
B	0.000	0.000	wt.%
Cu	0.939	2.318	wt.%
Fe	0.173	0.376	wt.%
Ni	0.510	1.164	wt.%
Cl	1.980	2.727	wt.%
	100.000	100.000	wt.%

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc.
B	Ka	0.00	0.000	0.0
C	Ka	0.00	0.000	0.0
O	Ka	7.32	0.849	10.4
Mg	Ka	19.60	1.390	5.3
Al	Ka	253.54	4.999	74.5
Si	Ka	4.61	0.674	2.9
S	Ka	0.26	0.160	0.1
Cl	Ka	6.30	0.788	2.7
Fe	Ka	0.45	0.210	0.3
Ni	Ka	1.01	0.315	1.1
Cu	Ka	1.59	0.396	2.3

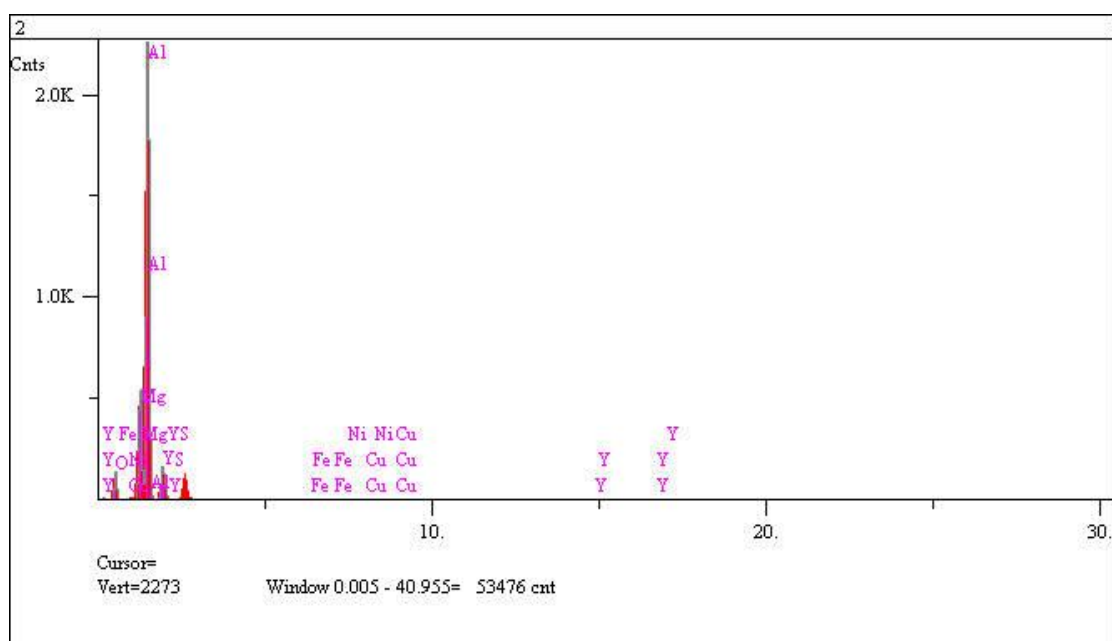
Şekil 4.60 595 °C’de %70 AA2024+%20 Ni Kaplı B₄C(22-59 µm)+%10 SiO₂ Kaplı SiC EDS Analizi(Spektrometre ve Kimyasal Analiz)

Şekil 4.60’da %70 AA2024+%20 Ni Kaplı B₄C(22-59 µm)+%10 SiO₂ Kaplı SiC oranlarında hazırlanan ve 595 °C’de sinterlenen kompozit malzemenin EDS Analizi(Spektrometre ve Kimyasal Analiz) verilmiştir. 1 numara ile gösterilen bölgenin kimyasal analizi incelendiğinde % 71,833 Bor ve % 24,144 Carbon içerdiği görülmektedir. 2 numara ile gösterilen bölgenin kimyasal analizi incelendiğinde spektrometre resminde de görüldüğü üzere % 71,106 Alüminyum içerdiği görülmektedir. 3 numara ile gösterilen bölgenin kimyasal analizi incelendiğinde ise % 59,421 Alüminyum ve % 27,615 Si içerdiği görülmektedir.



Component	Mole Conc.	Conc.	
S	0.000	0.000	wt.%
C	0.000	0.000	wt.%
O	19.183	6.468	wt.%
Mg	8.114	4.156	wt.%
Al	16.476	9.369	wt.%
Si	0.682	0.403	wt.%
B	14.533	3.311	wt.%
Cu	0.365	0.488	wt.%
Fe	0.144	0.169	wt.%
Ni	0.397	0.491	wt.%
Y	40.107	75.144	wt.%
	100.000	100.000	wt.%

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Con
B	Ka	0.12	0.080	3.
C	Ka	0.00	0.000	0.
O	Ka	8.87	0.684	6.
Mg	Ka	39.40	1.441	4.
Al	Ka	94.06	2.226	9.
Si	Ka	3.98	0.458	0.
S	Ka	0.00	0.000	0.
Fe	Ka	0.69	0.191	0.
Ni	Ka	1.51	0.283	0.
Cu	Ka	1.20	0.252	0.
Y	La	239.47	3.552	75.



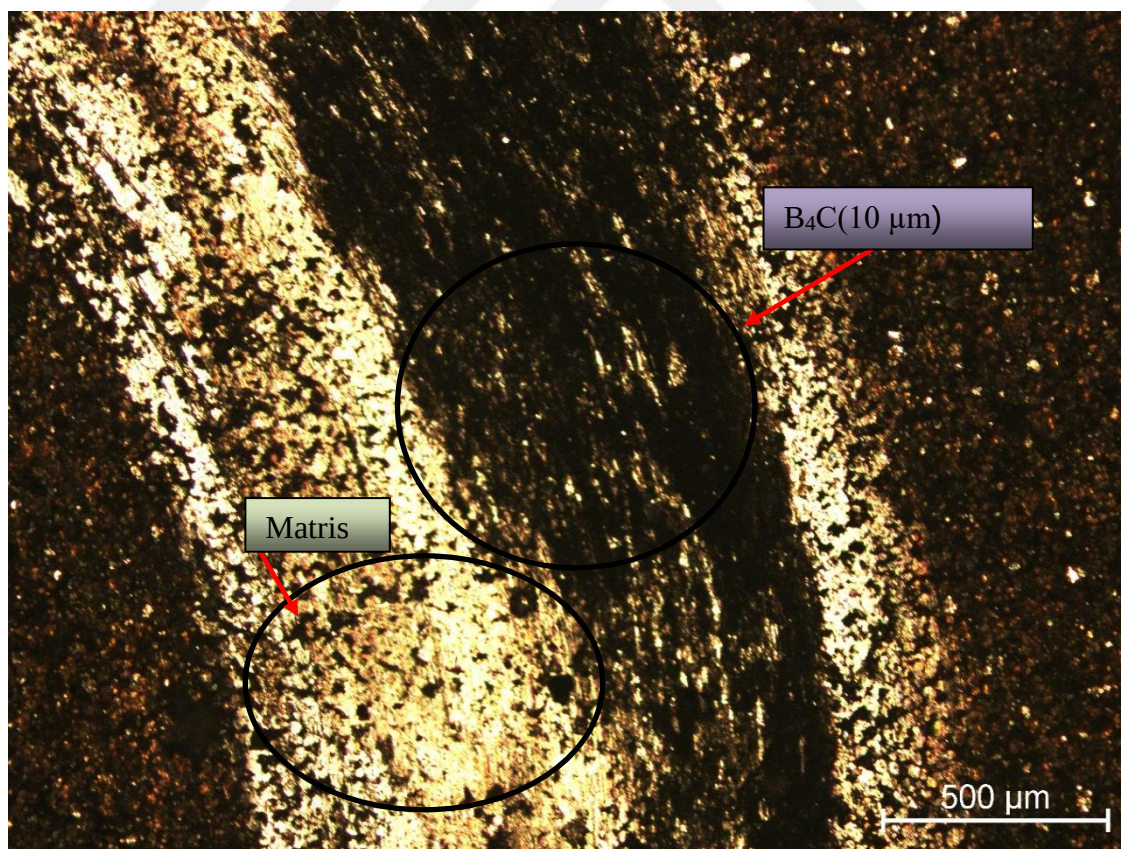
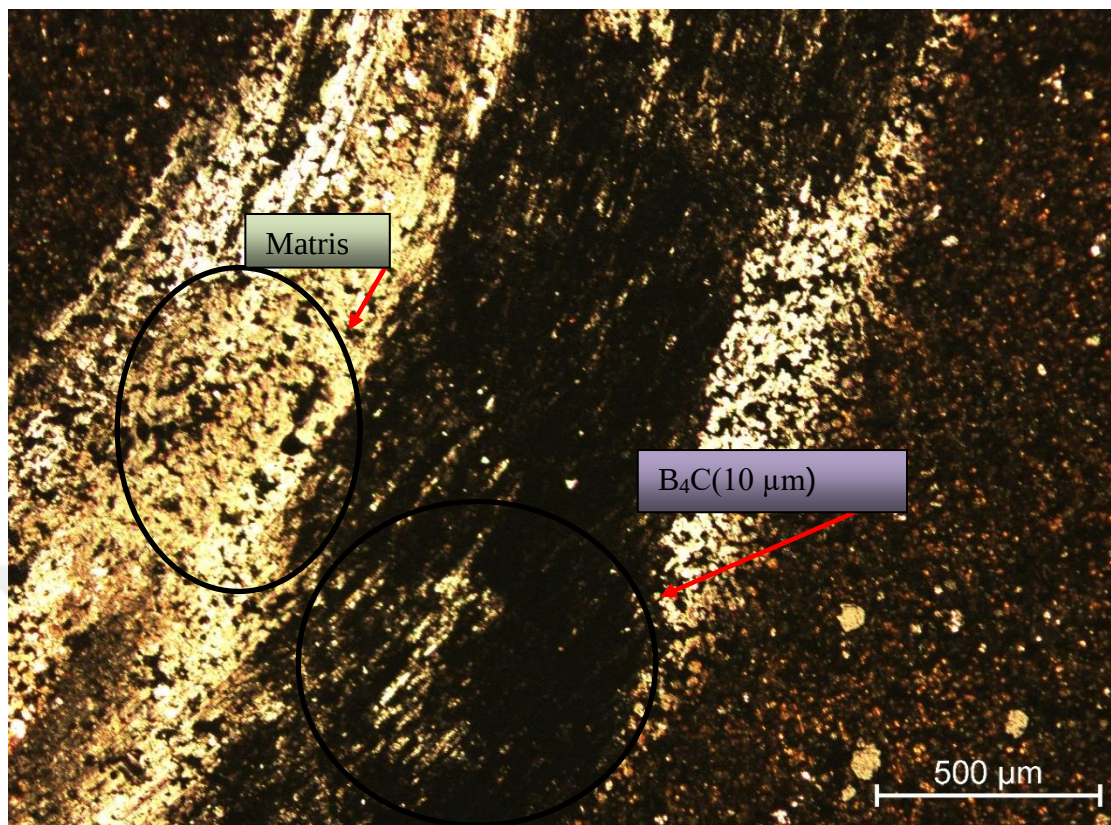
Component	Mole Conc.	Conc.	
S	0.012	0.022	wt.%
C	0.837	0.592	wt.%
O	10.071	9.492	wt.%
Mg	4.864	6.964	wt.%
Al	21.663	34.431	wt.%
Si	0.000	0.000	wt.%
B	60.520	38.545	wt.%
Cu	0.205	0.766	wt.%
Fe	0.087	0.286	wt.%
Ni	0.123	0.425	wt.%
Y	1.618	8.475	wt.%
	100.000	100.000	wt.%

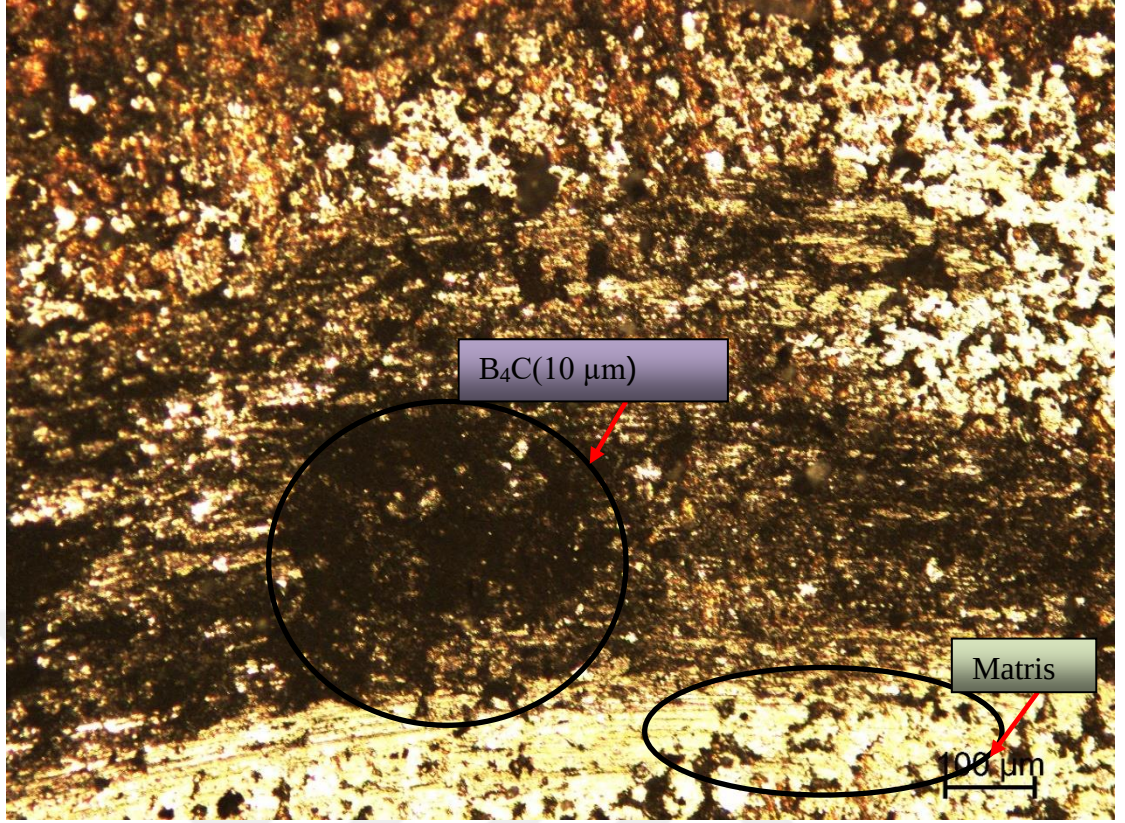
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc.
B	Ka	1.24	0.247	38.5
C	Ka	0.13	0.080	0.5
O	Ka	15.66	0.878	9.5
Mg	Ka	75.57	1.929	6.9
Al	Ka	348.15	4.141	34.4
Si	Ka	0.00	0.000	0.0
S	Ka	0.18	0.093	0.0
Fe	Ka	1.04	0.226	0.3
Ni	Ka	1.12	0.235	0.4
Cu	Ka	1.60	0.281	0.8
Y	La	19.74	0.986	8.5

Şekil 4.61 550 °C’de %77 AA2024+%20 Ni Kaplı B₄C(22-59 µm)+%3 Al₂O₃ Kaplı Y₂O₃ EDS Analizi(Spaktrometre ve Kimyasal Analiz)

Şekil 4.61’de %77 AA2024+%20 Ni Kaplı B₄C(22-59 µm)+%3 Al₂O₃ Kaplı Y₂O₃ oranlarında hazırlanan ve 550 °C’de sinterlenen kompozit malzemenin EDS Analizi(Spaktrometre ve Kimyasal Analiz) verilmiştir. 1 numara ile gösterilen bölgenin kimyasal analizi incelendiğinde % 40,107 Yitriyum içerdiği görülmektedir. 2 numara ile gösterilen bölgenin kimyasal analizi incelendiğinde ise, % 60,520 Bor ve % 21,663 Alüminyum içerdiği görülmektedir.

4.2.2.3 Optik Mikroskop:

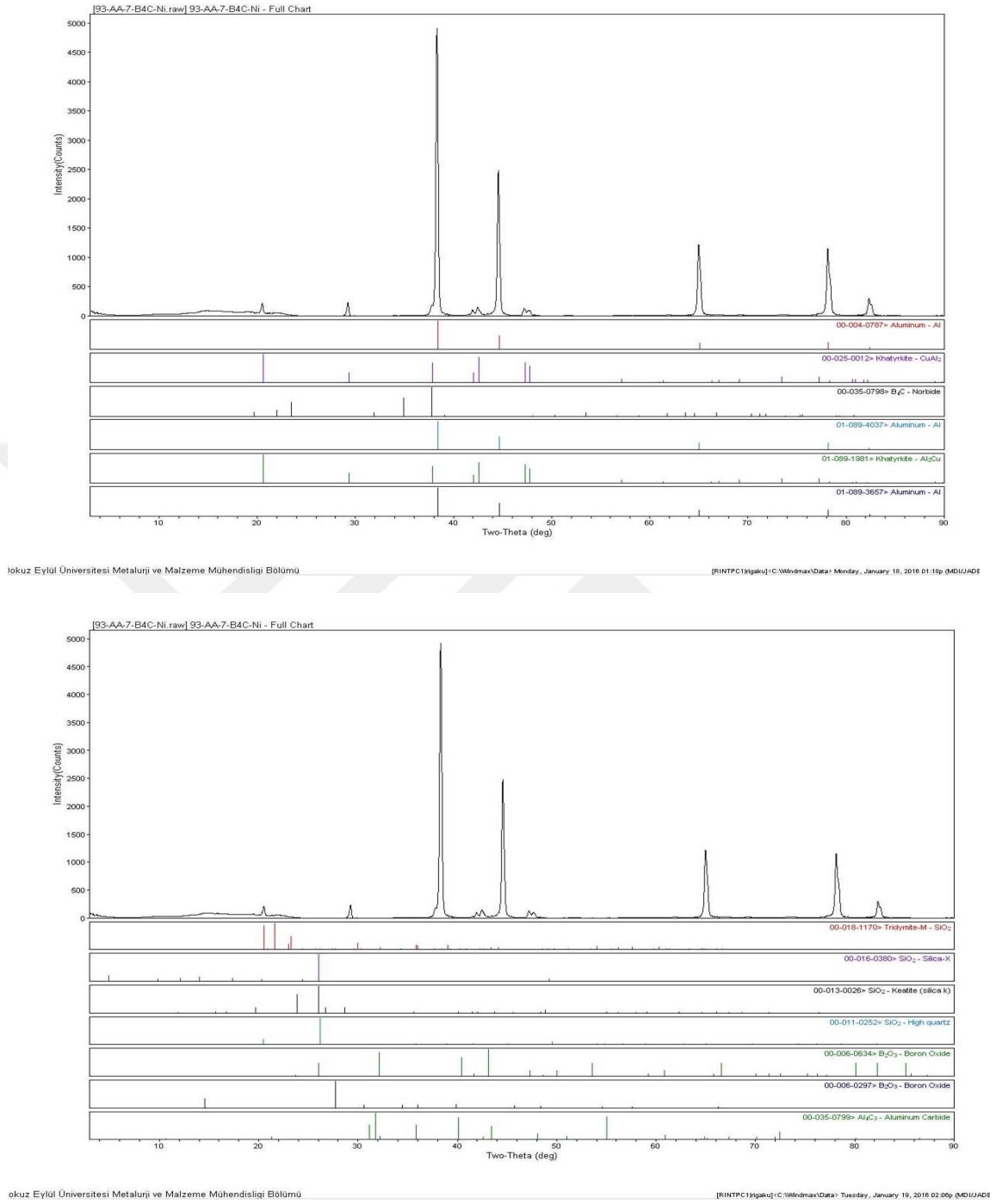




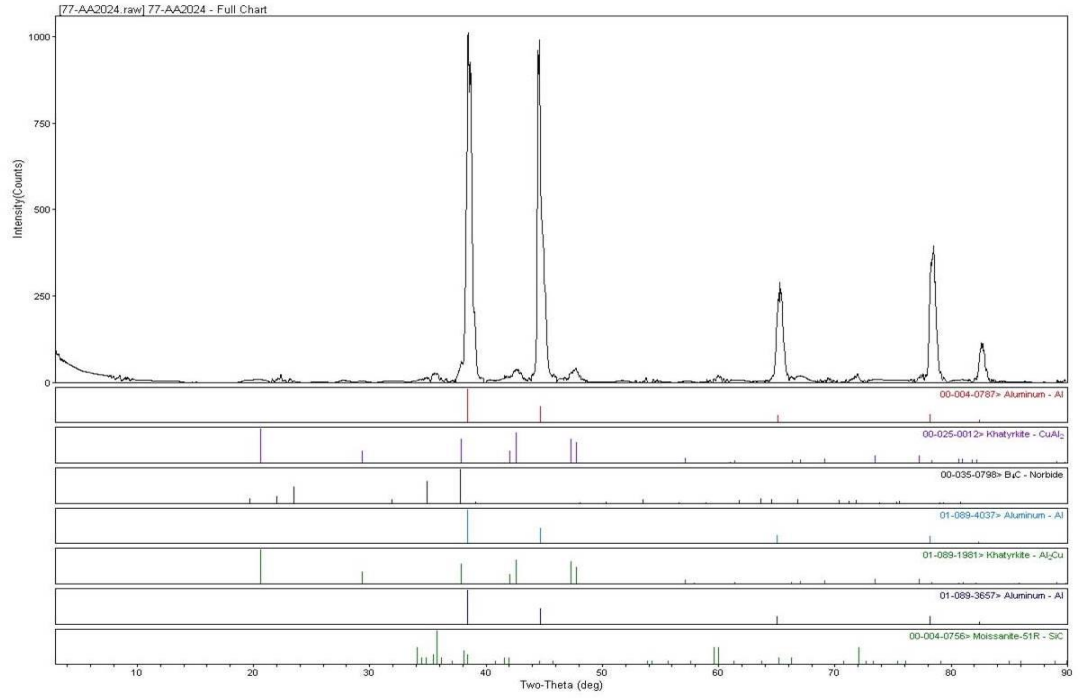
Şekil 4.62 595 °C’de %90 AA2024+%10 Ni Kaplı B₄C(10 μm) aşınma yüzeyi Optik Mikroskop görüntüsü

Şekil 4.62’de %90 AA2024+%10 Ni Kaplı B₄C(10 μm) oranlarında hazırlanan ve 595 °C’de sinterlenen kompozit malzemenin aşınma yüzeyinin Optik Mikroskop görüntüsü verilmiştir. Aşınma yüzeylerinde açık renklerin matris koyu yerlerin ise takviye fazı olduğu görülmektedir. Ayrıca, aşınmanın takviye fazının olduğu yerlere oranla matris bölgesinde daha çok olduğu görülmektedir.

4.2.2.4 XRD:

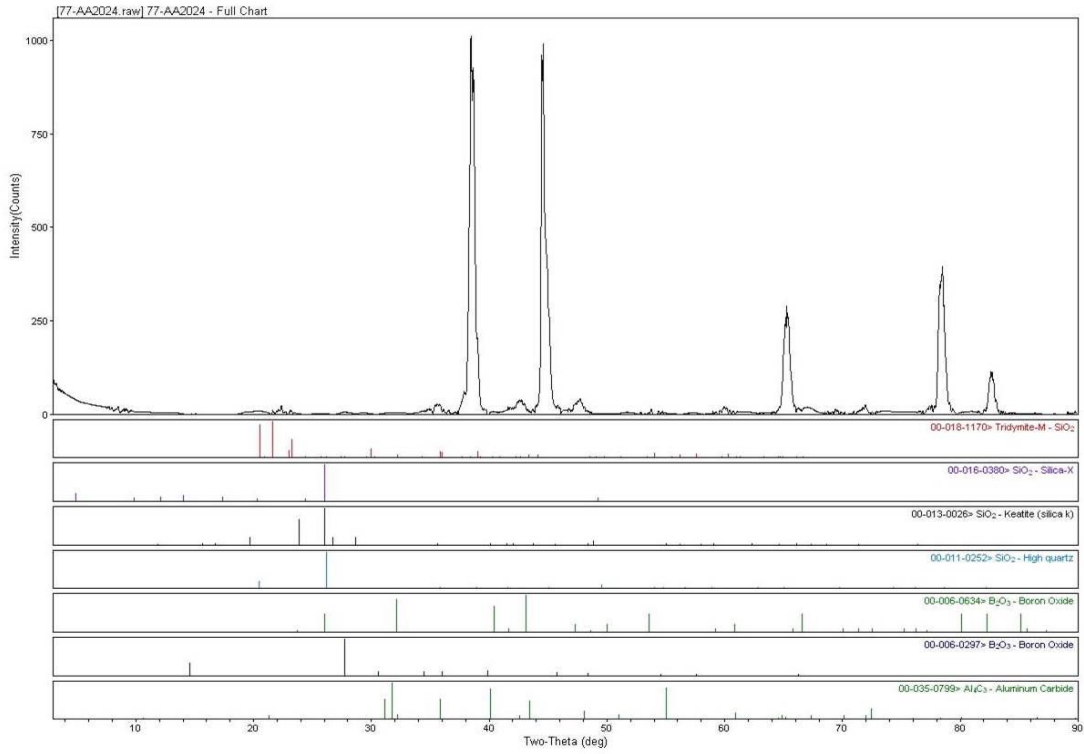


Şekil 4.63 550 °C’de %93 AA2024 + %7 B₄C(Ni Kaplı, 22-59 µm) kompozit malzeme XRD sonucu



okuz Eylül Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

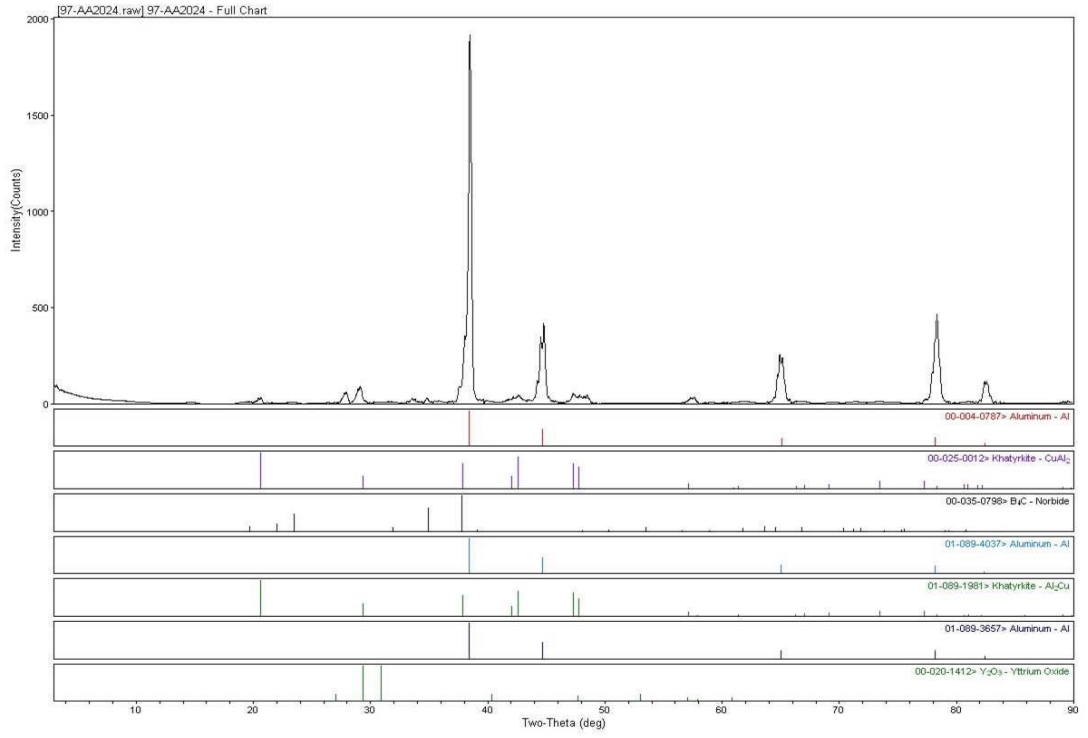
[RINTPC1]gaku]C:\Windmax\Data\ Monday, January 19, 2016 01:20p (MDI\ADIE)



okuz Eylül Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

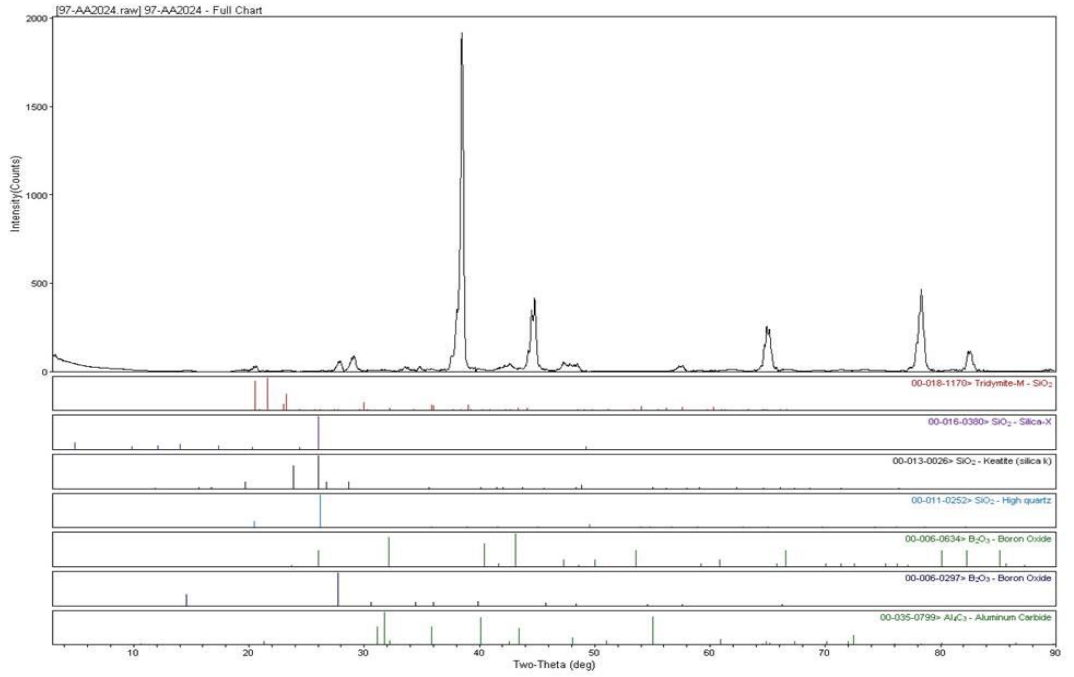
[RINTPC1]gaku]C:\Windmax\Data\ Tuesday, January 19, 2016 02:06p (MDI\ADIE)

Şekil 4.64 550 °C'de %77 AA2024 + %20 B₄C(Ni Kaplı) ve %3 SiC(SiO₂ Kaplı)kompozit malzeme XRD sonucu



Dokuz Eylül Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

[RINTPC1]igaku\c:\Windmax\Data\ Monday, January 18, 2016 01:23p (MDUJADE7)



Dokuz Eylül Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

[RINTPC1]igaku\c:\Windmax\Data\ Tuesday, January 19, 2016 02:05p (MDUJADE7)

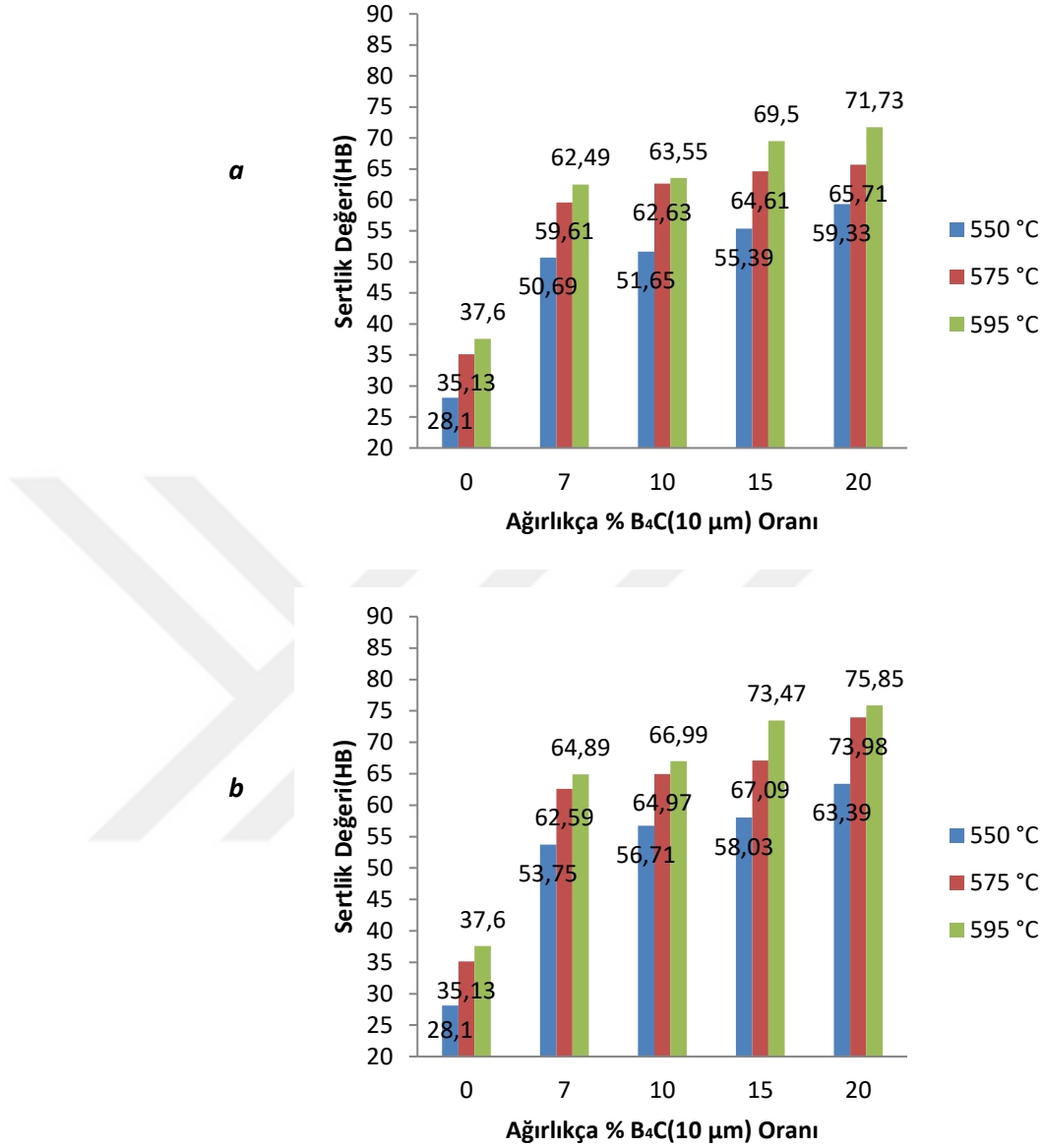
Şekil 4.65 575 °C’de %77 AA2024 + %20 B₄C(Ni Kaplı) ve %3 Y₂O₃(Al₂O₃ Kaplı) kompozit malzeme XRD sonucu

Metal matriksli kompozitlerin mekanik özelliklerini etkileyen bir başka faktör ise matriks/takviye fazı ara yüzey özellikleridir. Alüminyum bazlı B_4C ve SiC partikül takviyeli kompozitlerde alüminyum, SiC ve B_4C ile reaksiyona girerek kompozitin mekanik özelliklerini olumsuz etkileyen kırılğan Al_4C_3 fazını(matriks / B_4C ve SiC partikül arayüzeyinde) oluşturmaktadır. Oluşan bu faz nedeniyle MMK'in mekanik özellikleri kötüleştiğinden ve korozyon direnci azaldığından matriks ile takviye fazının reaksiyona girmemesi oldukça önemlidir. Bu nedenlerle, B_4C ve SiC partikül takviyesi ile üretilen kompozitte matriks/ B_4C ve SiC partikül arayüzeyi incelenmiştir. Bu çalışmada, üretilen kompozit malzemede yapılan XRD analizleri neticesinde Al_4C_3 fazına rastlanmamıştır. Şekil 4.63, 4.64 ve 4.65'de Al/ B_4C ve SiC arayüzeyinde Al_4C_3 reaksiyon ürününün oluşmadığı açıkça görülmektedir.



4.3 İki Farklı Deneysel Çalışmaların Sonuçlarının Karşılaştırılması:

4.3.1 Sertlik Değerlerinin Karşılaştırılması:

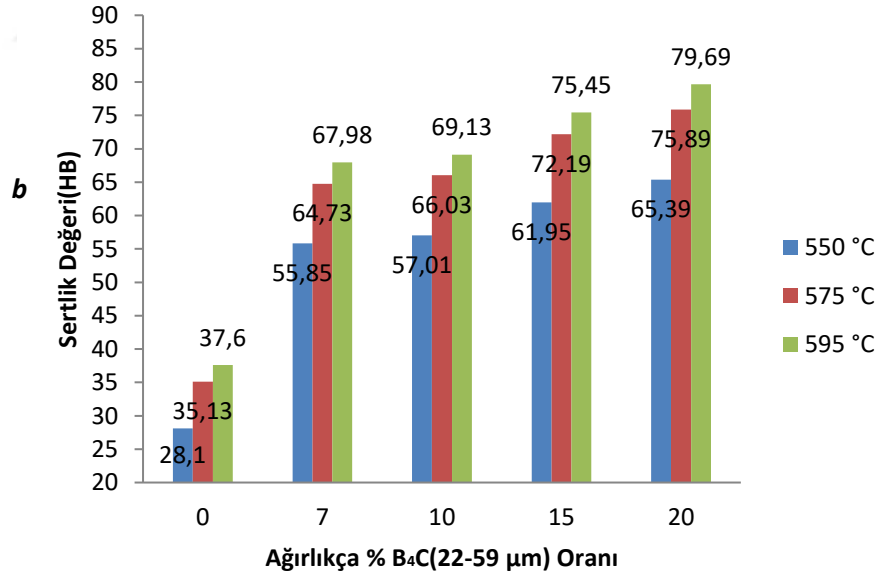
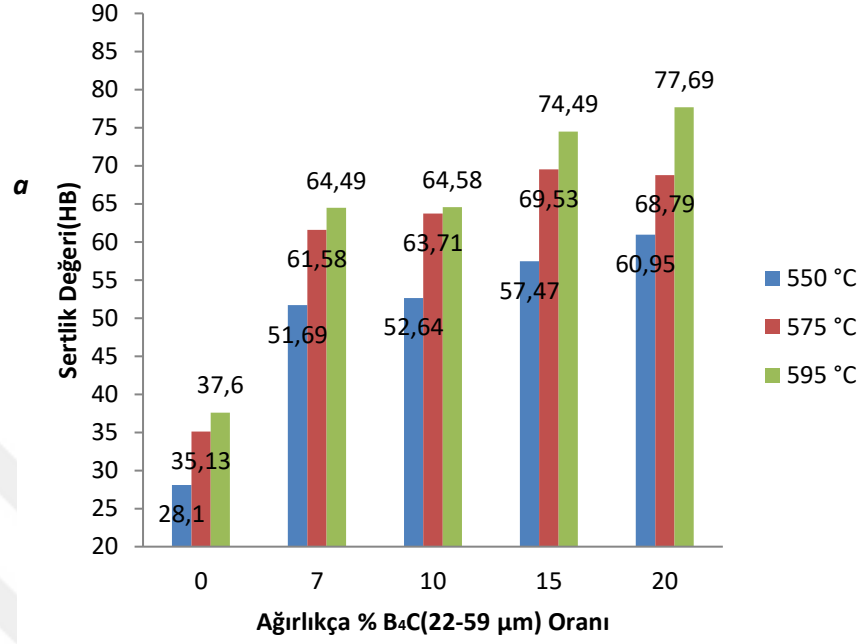


a) AA2024 + 10 µm B₄C sertlik değerleri b) AA2024 + 10 µm Ni Kaplı B₄C sertlik değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.66 Ni kaplamalı ve kaplamasız 10 µm B₄C takviyeli AA2024'ün sertlik değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.66'da AA2024 + 10 µm B₄C ile AA2024 + 10 µm Ni Kaplı B₄C'nin sertlik değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde takviye malzemesi olan B₄C'nin Ni

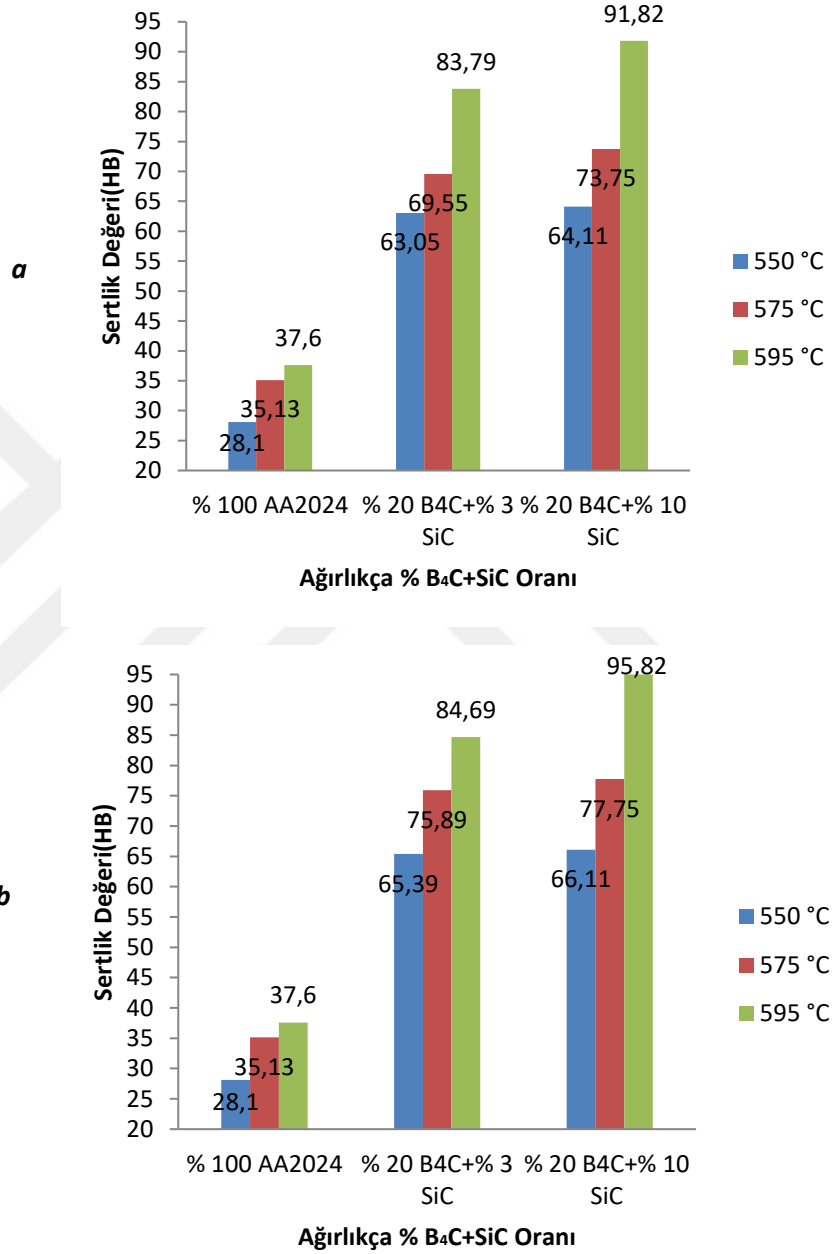
ile kaplanarak matrise ilave edilmesi ile kompozit malzemenin sertlik değerlerinin yükseldiği görölmektedir.



a) AA2024 + 22-59 µm B₄C sertlik değerleri b) AA2024 + 22-59 µm Ni Kaplı B₄C sertlik değerleri

Şekil 4.67 Ni kaplamalı ve kaplamasız 22-59 µm B₄C takviyeli AA2024'ün sertlik değerlerinin karşılaştırılması

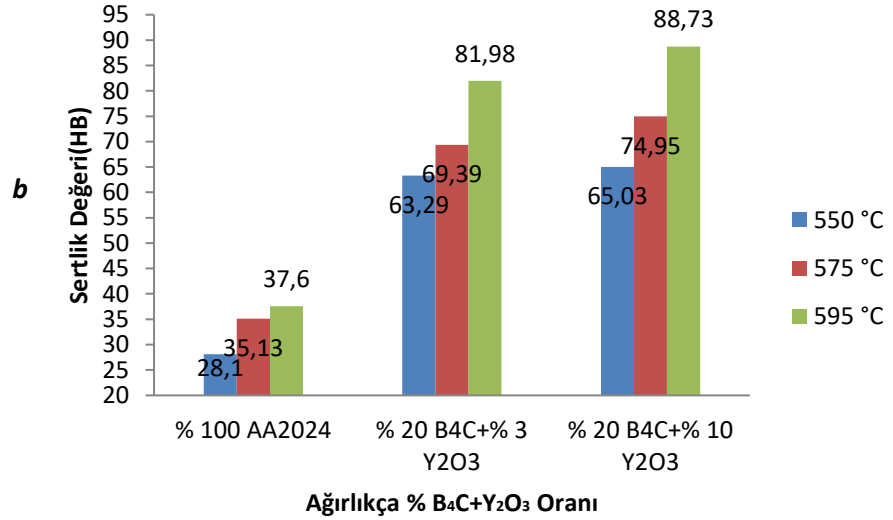
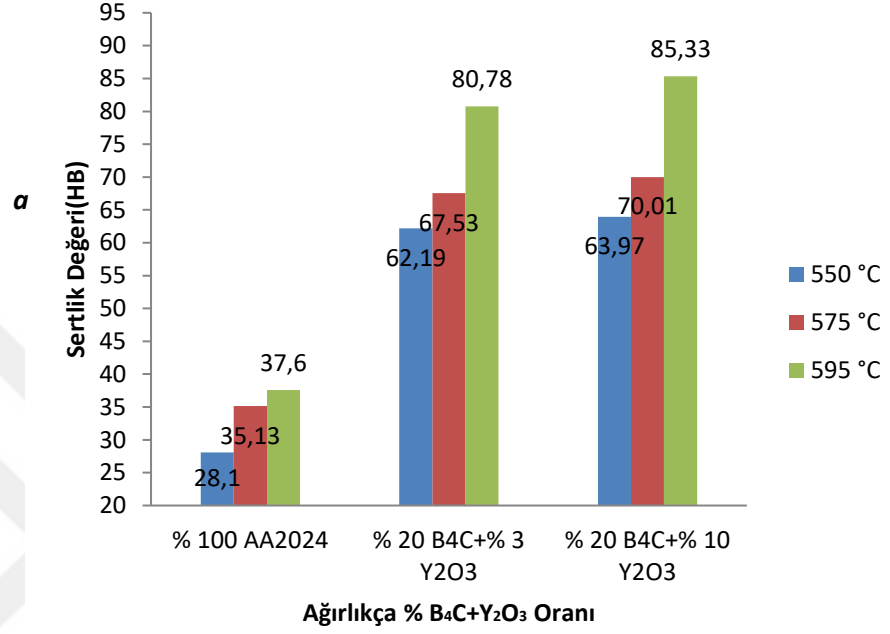
Şekil 4.67’de AA2024 + 22-59 µm B₄C ile AA2024 + 22-59 µm Ni Kaplı B₄C’nin sertlik değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde takviye malzemesi olan B₄C’nin Ni ile kaplanarak matrise ilave edilmesi ile kompozit malzemenin sertlik değerlerinin yükseldiği görülmektedir.



a) AA2024+B₄C+SiC sertlik değerleri b) AA2024 + Ni Kaplı B₄C + SiO₂ Kaplı SiC sertlik değerleri

Şekil 4.68 Ni ve SiO₂ kaplamalı ve kaplamasız B₄C ve SiO₂ takviyeli AA2024’ün sertlik değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.68’de AA2024+B₄C+SiC ile AA2024 + Ni Kaplı B₄C + SiO₂ Kaplı SiC’nin sertlik değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde takviye malzemesi olan B₄C’nin Ni ile ve SiC’nin SiO₂ ile kaplanarak matrise ilave edilmesi ile kompozit malzemenin sertlik değerlerinin yükseldiği görülmektedir.

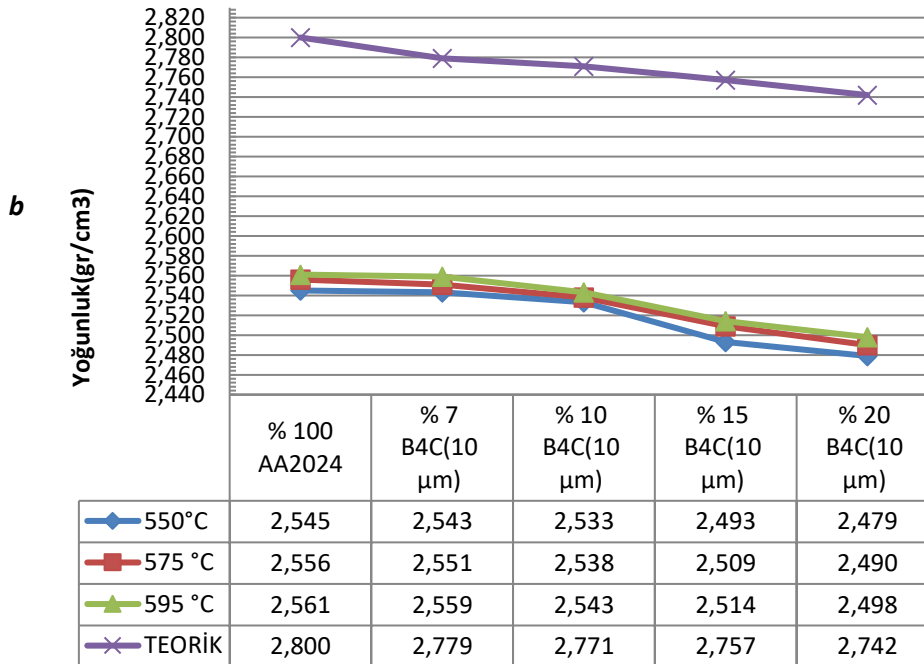
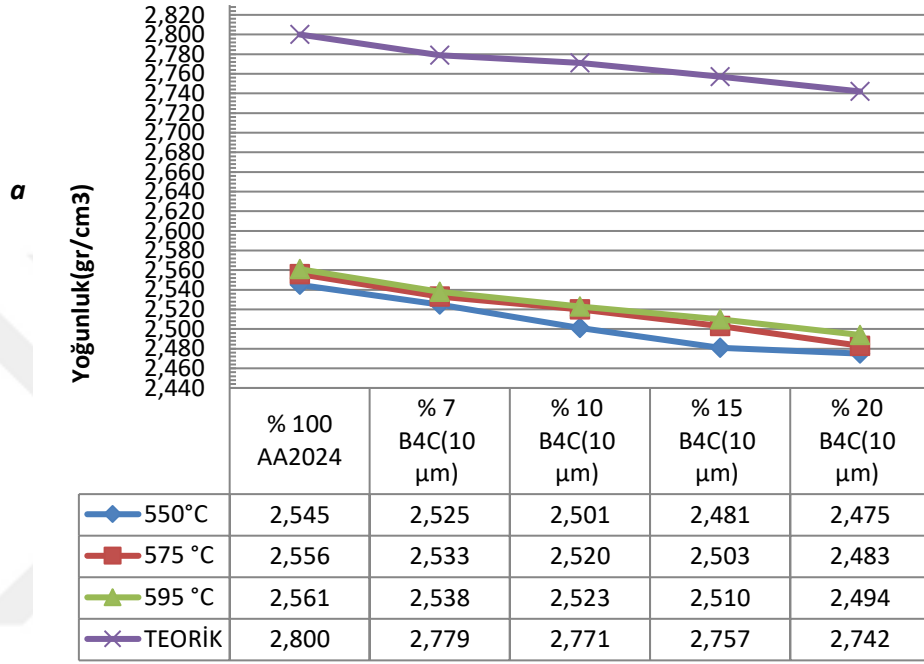


a) AA2024+B₄C+Y₂O₃ sertlik değerleri b) AA2024 + Ni Kaplı B₄C + Al₂O₃ Kaplı Y₂O₃’ün sertlik değerleri

Şekil 4.69 Ni ve Al₂O₃ kaplamalı ve kaplamasız B₄C ve Y₂O₃ takviyeli AA2024’ün sertlik değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.69’da AA2024+B₄C+Y₂O₃ ile AA2024 + Ni Kaplı B₄C + Al₂O₃ Kaplı Y₂O₃’ün sertlik değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde takviye malzemesi olan B₄C’nin Ni ile ve Y₂O₃’ün Al₂O₃ ile kaplanarak matrise ilave edilmesi ile kompozit malzemenin sertlik değerlerinin yükseldiği görülmektedir.

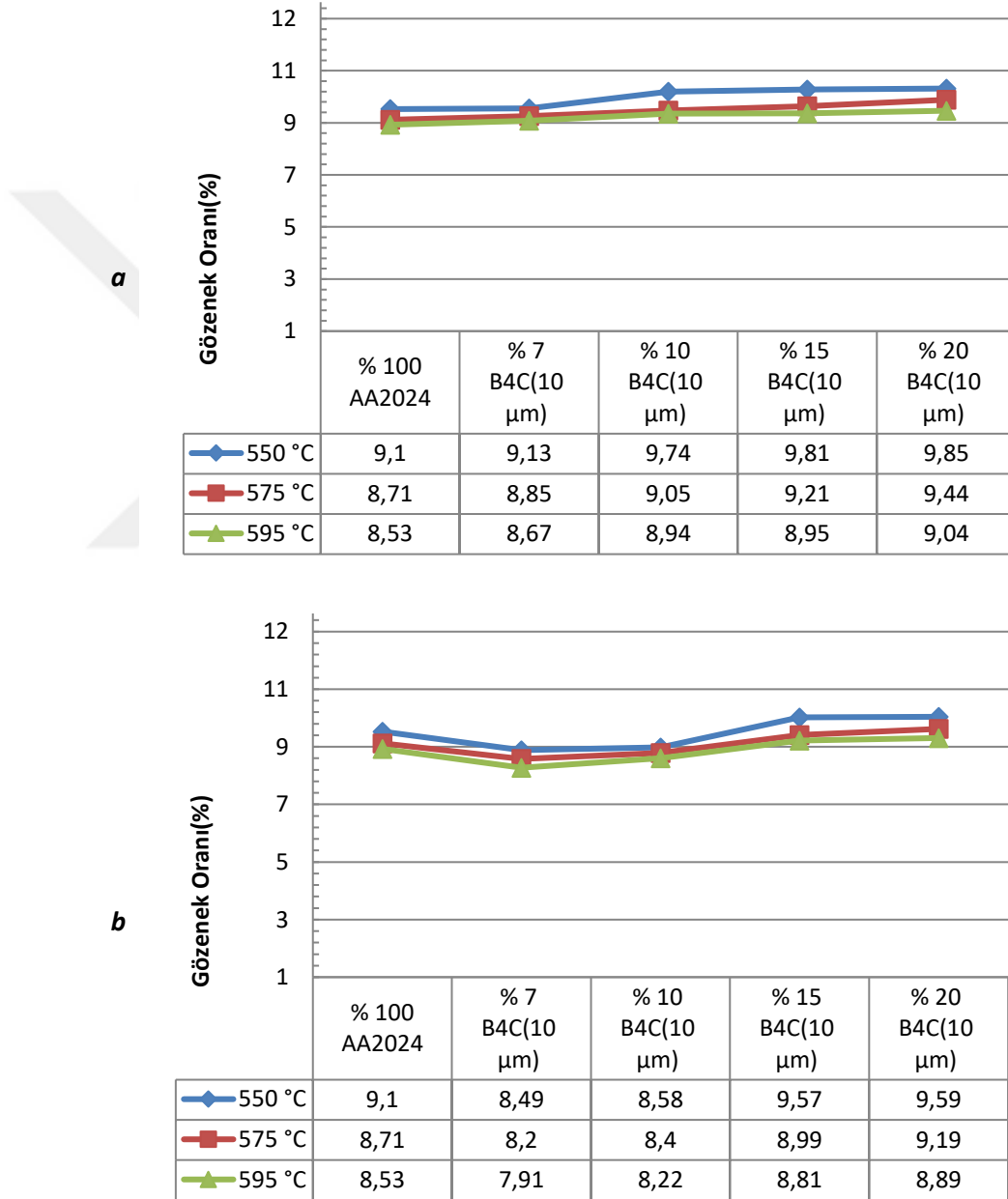
4.4.2 Yoğunluk ve Gözenek Oranlarının Karşılaştırılması:



a) AA2024 + 10 µm B₄C’nin yoğunluk değerleri b) AA2024 + 10 µm Ni Kaplı B₄C’nin yoğunluk değerleri

Şekil 4.70 Ni kaplamalı ve kaplamasız 10 µm B₄C takviyeli AA2024'ün yoğunluk değerlerinin karşılaştırılması

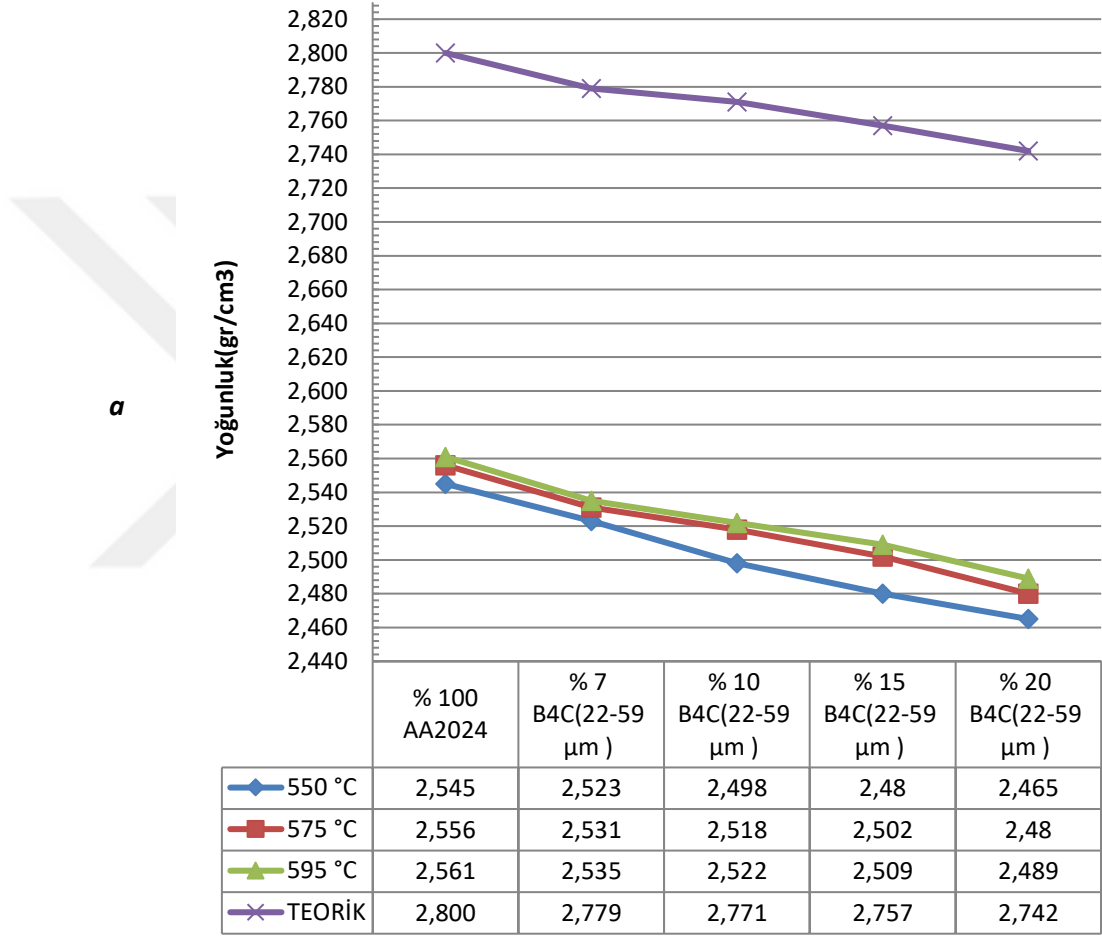
Şekil 4.70'de AA2024 + 10 µm B₄C ile AA2024 + Ni Kaplı 10 µm B₄C'nin yoğunluk değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde takviye malzemesi olan B₄C'nin Ni ile kaplanarak matrise ilave edilmesi ile kompozit malzemenin yoğunluk değerlerinin yükseldiği teorik yoğunluğa daha da yaklaşıldığı görülmektedir.



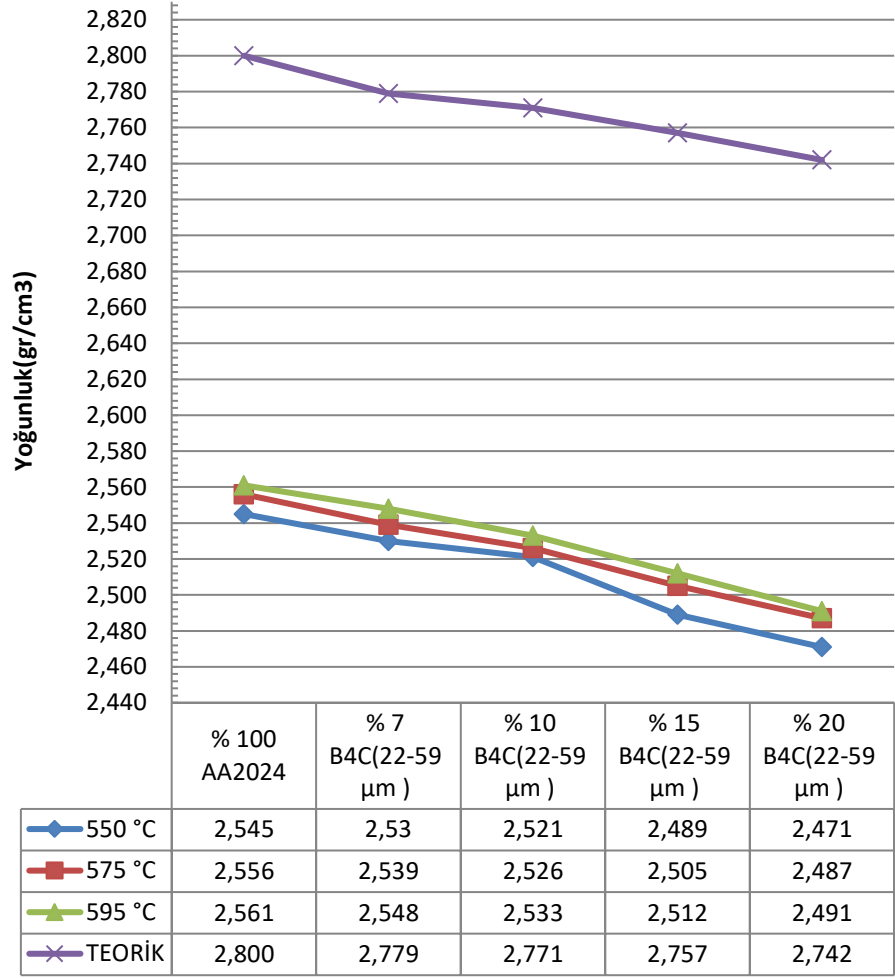
a) AA2024 + 10 µm B₄C'nin gözenek oranı değerleri b) AA2024 + 10 µm Ni Kaplı B₄C'nin gözenek oranı değerleri

Şekil 4.71 Ni kaplamalı ve kaplamasız 10 µm B₄C takviyeli AA2024'ün gözenek oranı değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.71'de AA2024 + 10 µm B₄C ile AA2024 + 10 µm Ni Kaplı B₄C'nin gözenek oranı değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde takviye malzemesi olan B₄C'nin Ni ile kaplanarak matrise ilave edilmesi ile kompozit malzemenin gözenek oranının düştüğü görülmektedir.



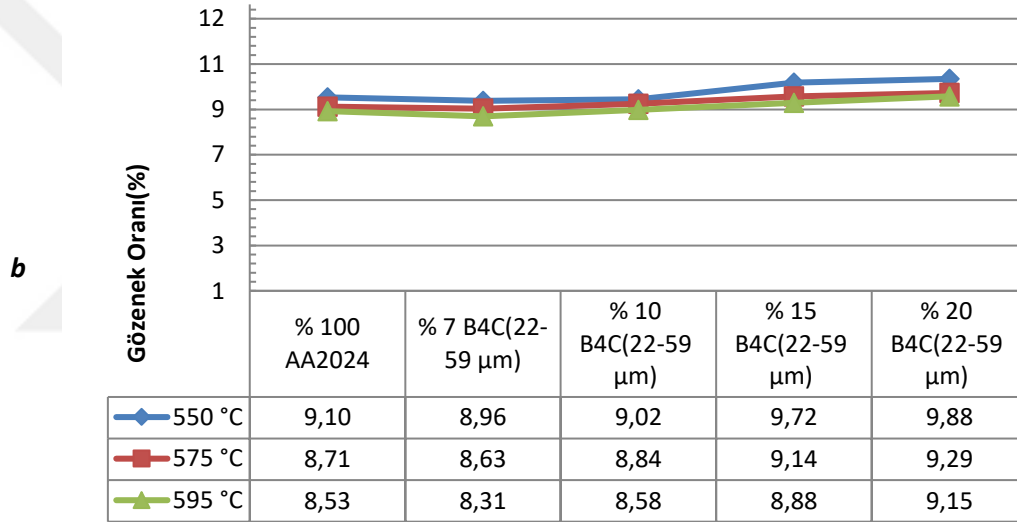
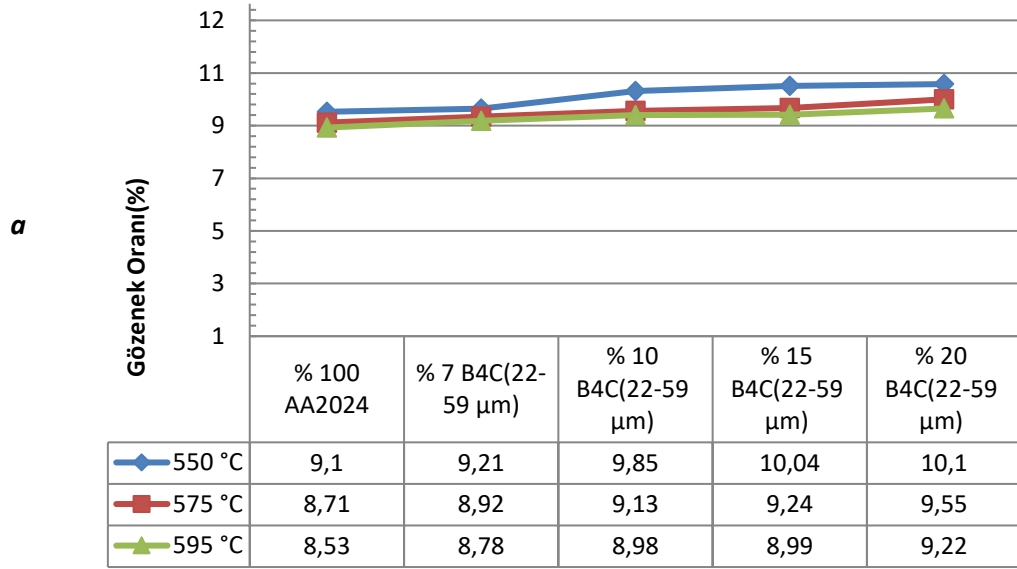
b



a) AA2024 + 22-59 μm B₄C'nin yoğunluk değerleri b) AA2024 + 22-59 μm Ni Kaplı B₄C'nin yoğunluk değerleri

Şekil 4.72 Ni kaplamalı ve kaplamasız 22-59 μm B₄C takviyeli AA2024'ün yoğunluk değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.72'de AA2024 + 22-59 μm B₄C ile AA2024 + Ni Kaplı 22-59 μm B₄C'nin yoğunluk değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde takviye malzemesi olan B₄C'nin Ni ile kaplanarak matrise ilave edilmesi ile kompozit malzemenin yoğunluk değerlerinin yükseldiği teorik yoğunluğa daha da yaklaşıldığı görülmektedir.

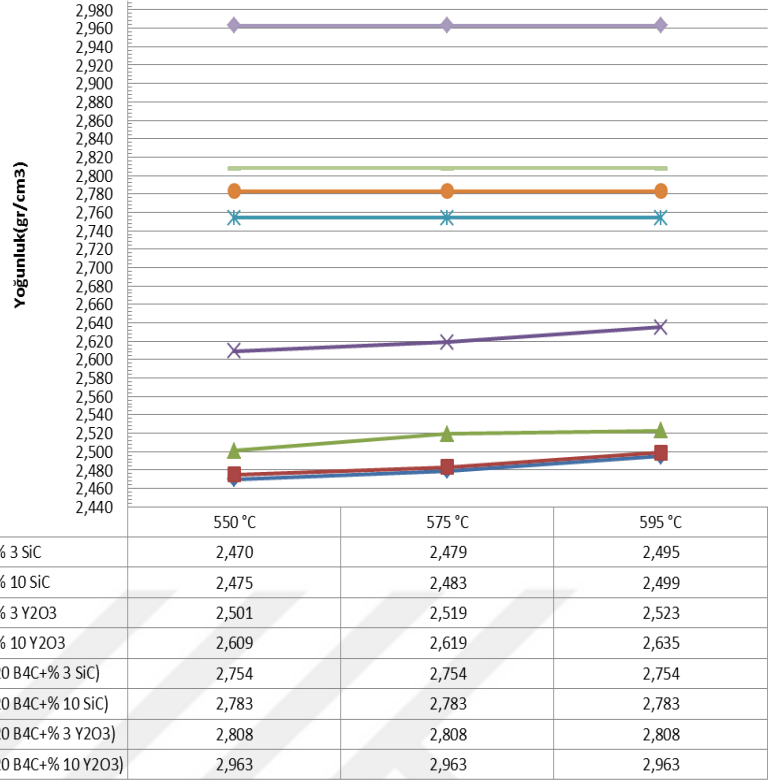


a) AA2024 + 22-59 μm B₄C'nin gözenek oranı değerleri b) AA2024 + Ni Kaplı 22-59 μm B₄C'nin gözenek oranı değerleri

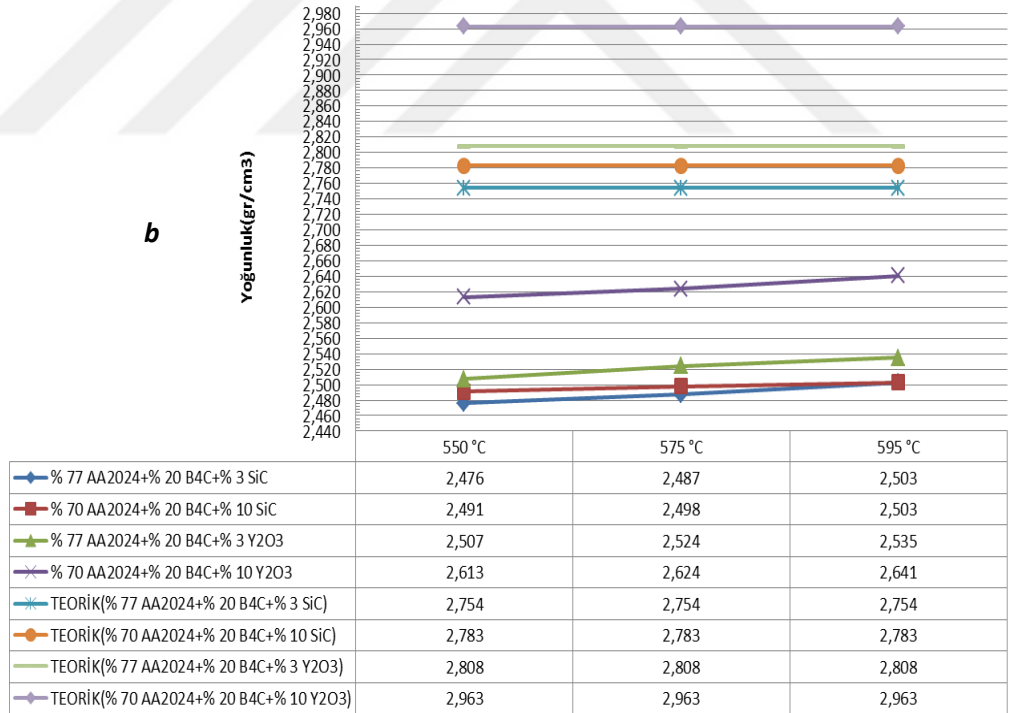
Şekil 4.73 Ni kaplamalı ve kaplamasız 22-59 μm B₄C takviyeli AA2024'ün gözenek oranı değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.73'de AA2024 + 22-59 μm B₄C ile AA2024 + Ni Kaplı 22-59 μm B₄C'nin gözenek oranı değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde takviye malzemesi olan B₄C'nin Ni ile kaplanarak matrise ilave edilmesi ile kompozit malzemenin gözenek oranının düştüğü görülmektedir.

a



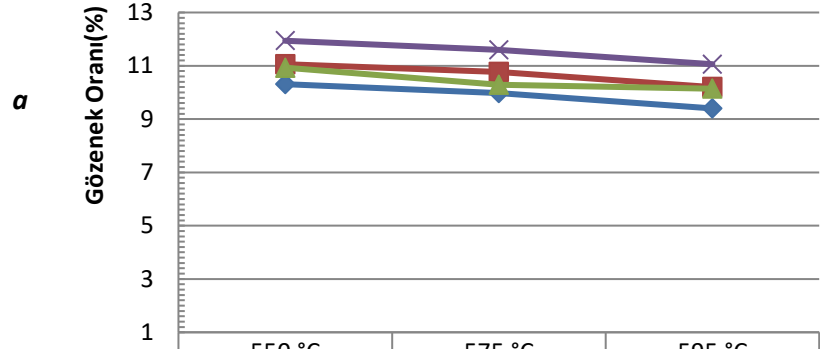
b



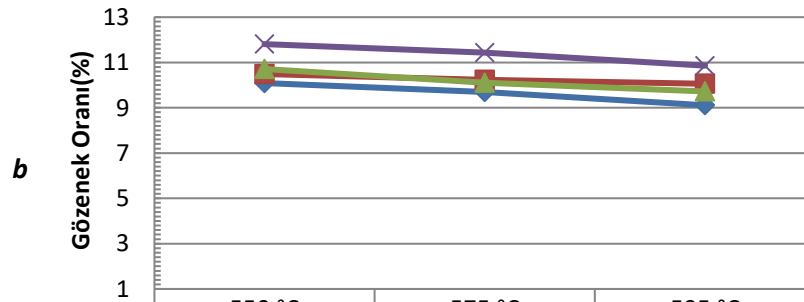
- a) AA2024+(B4C+SiC) & AA2024+(B4C+Y₂O₃)’nin yoğunluk değerleri b)
AA2024+(Ni Kaplı B4C+SiO₂ Kaplı SiC) & AA2024+(Ni Kaplı B4C+Al₂O₃
Kaplı Y₂O₃)’nin yoğunluk değerleri

Şekil 4.74 Ni,SiO₂ ve Al₂O₃ kaplamalı ve kaplamasız (B₄C+SiC) ve (B₄C+Y₂O₃) takviyeli AA2024'ün yoğunluk değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.74'de AA2024+(B₄C+SiC) & AA2024+(B₄C+Y₂O₃) ve AA2024+(Ni Kaplı B₄C+SiO₂ Kaplı SiC) & AA2024+(Ni Kaplı B₄C+Al₂O₃ Kaplı Y₂O₃)'nin yoğunluk değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde takviye malzemelerinin kaplanarak matrise ilave edilmesi ile kompozit malzemenin yoğunluk değerlerinin yükseldiği ve teorik yoğunluğa daha da yaklaşıldığı görülmektedir.



	550 °C	575 °C	595 °C
% 77 AA2024+% 20 B4C+% 3 SiC	10,31	9,98	9,4
% 70 AA2024+% 20 B4C+% 10 SiC	11,06	10,77	10,2
% 77 AA2024+% 20 B4C+% 3 Y2O3	10,93	10,29	10,14
% 70 AA2024+% 20 B4C+% 10 Y2O3	11,94	11,6	11,06



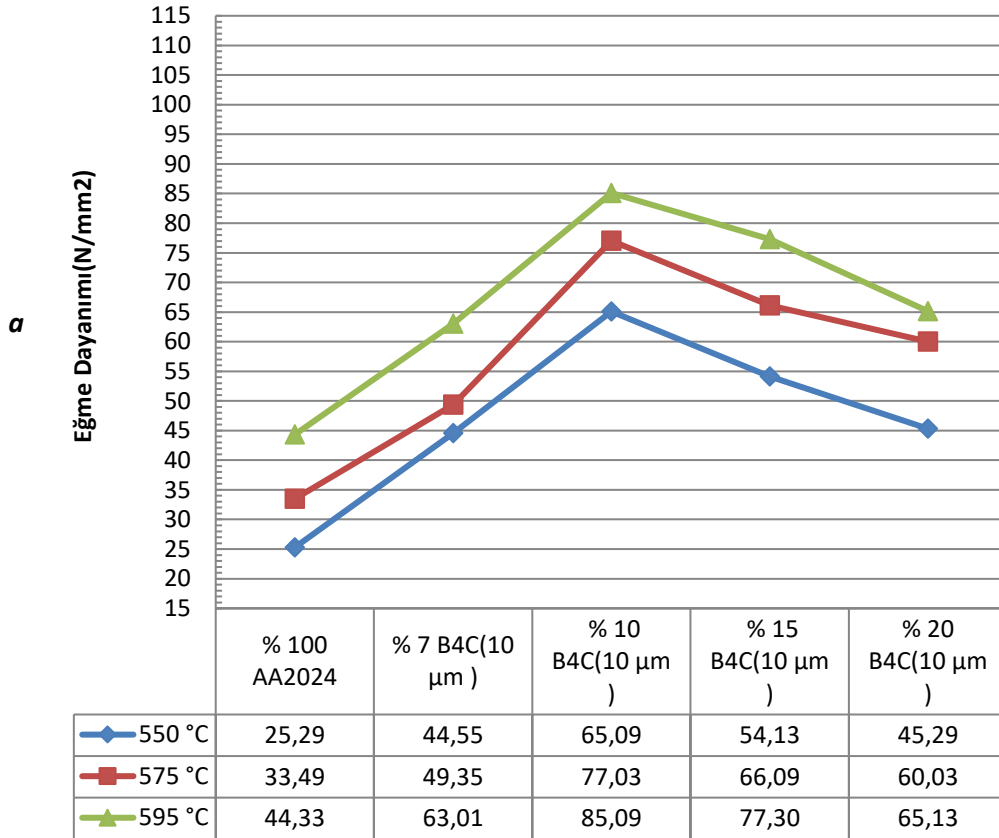
	550 °C	575 °C	595 °C
% 77 AA2024+% 20 B4C+% 3 SiC	10,09	9,69	9,11
% 70 AA2024+% 20 B4C+% 10 SiC	10,49	10,24	10,06
% 77 AA2024+% 20 B4C+% 3 Y2O3	10,71	10,11	9,72
% 70 AA2024+% 20 B4C+% 10 Y2O3	11,81	11,44	10,86

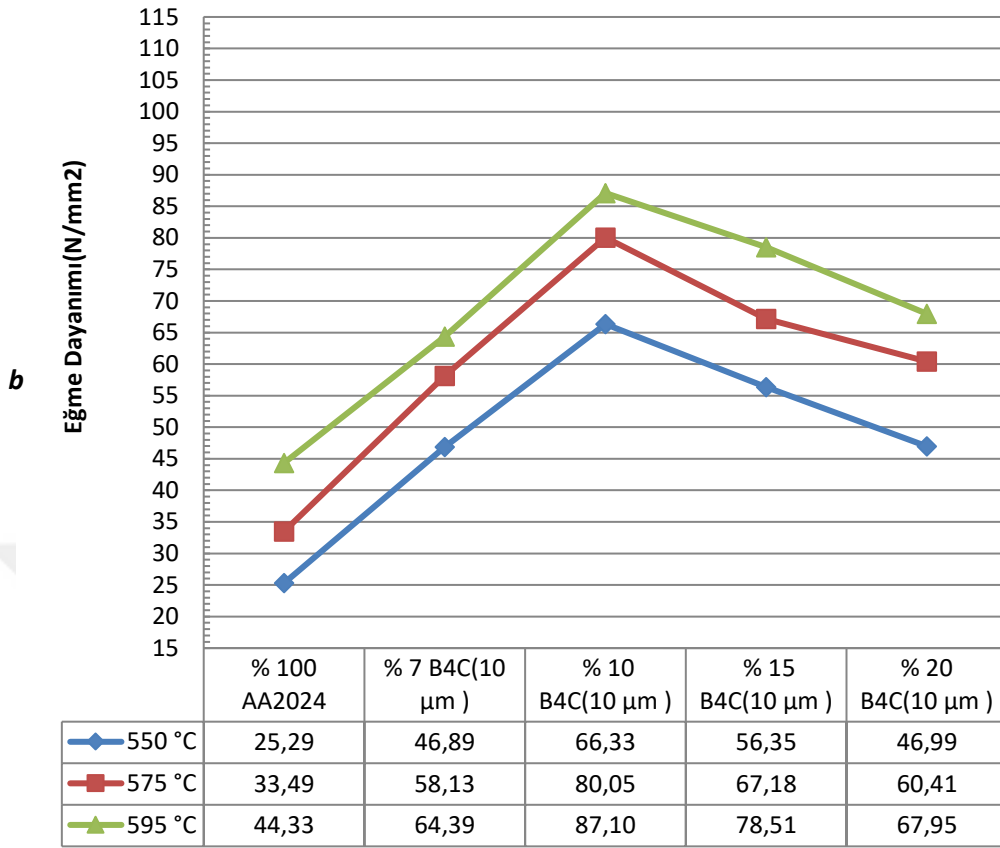
- a) AA2024+(B₄C+SiC) & AA2024+(B₄C+Y₂O₃)’nin gözenek oranı değerleri b)
AA2024+(Ni Kaplı B₄C+SiO₂ Kaplı SiC) & AA2024+(Ni Kaplı B₄C+Al₂O₃
Kaplı Y₂O₃)’nin gözenek oranı değerleri

Şekil 4.75 Ni, SiO₂ ve Al₂O₃ kaplamalı ve kaplamasız (B₄C+SiC) ve (B₄C+Y₂O₃)
takviyeli AA2024’ün gözenek oranı değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.75’de AA2024+(B₄C+SiC) & AA2024+(B₄C+Y₂O₃) ve AA2024+(Ni Kaplı B₄C+SiO₂ Kaplı SiC) & AA2024+(Ni Kaplı B₄C+Al₂O₃ Kaplı Y₂O₃)’nin gözenek oranı değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde takviye malzemelerinin kaplanarak matrise ilave edilmesi ile kompozit malzemenin gözenek oranının düştüğü görülmektedir.

4.3.3 Eğme ve Basma Dayanımı Sonuçlarının Karşılaştırılması:

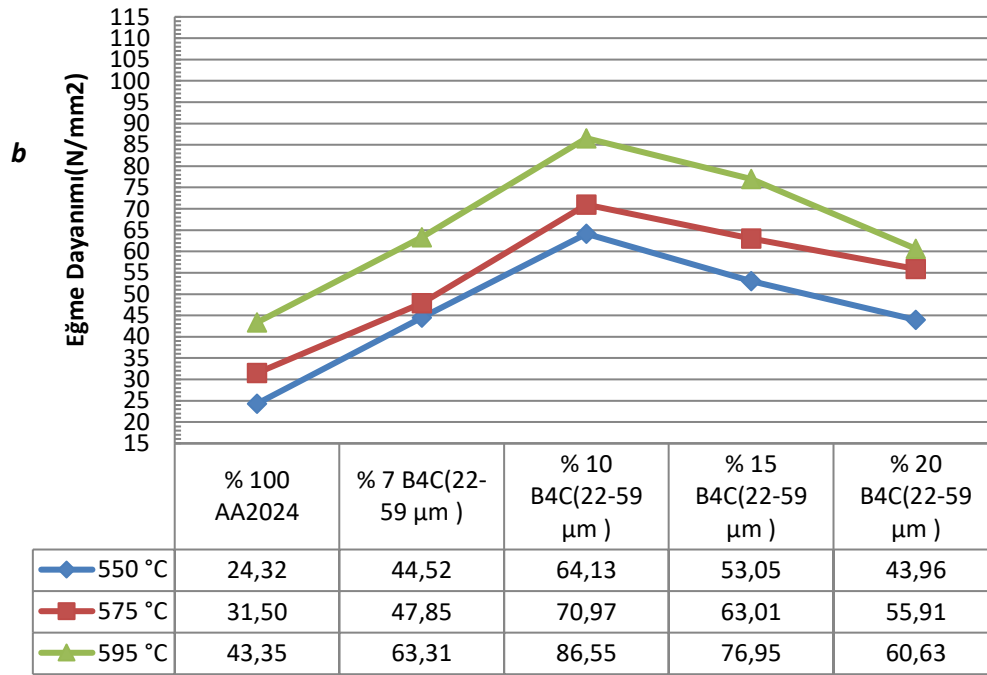
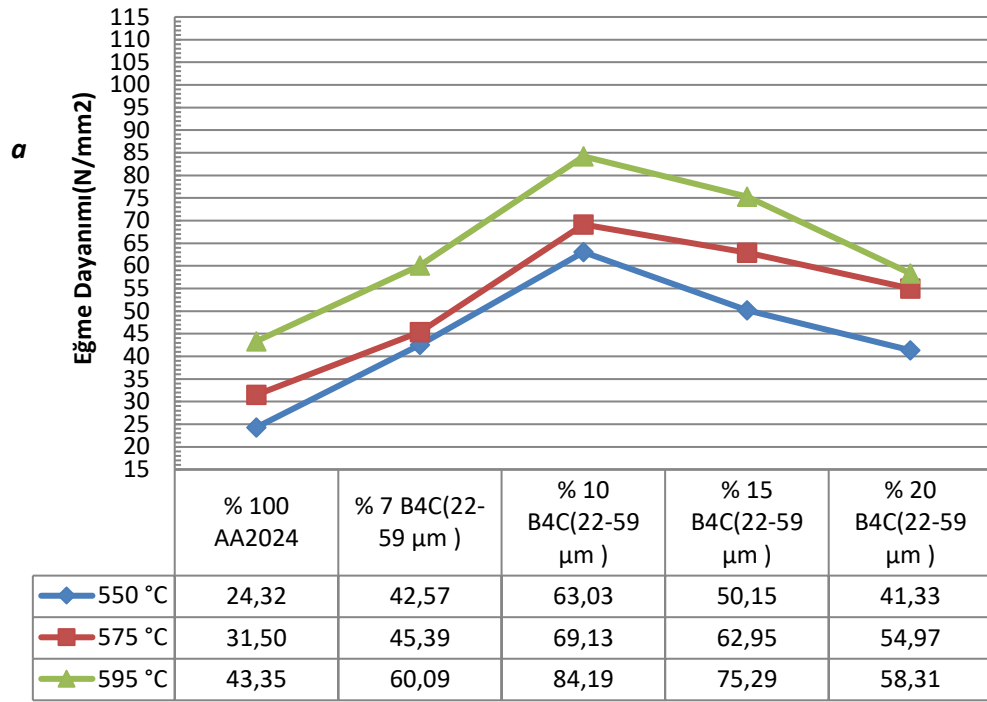




a) AA2024 + 10 μm B₄C'nin eğme dayanımı değerleri b) AA2024 + Ni Kaplı 10 μm B₄C'nin eğme dayanımı değerleri

Şekil 4.76 Ni kaplamalı ve kaplamasız 10 μm B₄C takviyeli AA2024'ün eğme dayanımı değerlerinin karşılaştırılması

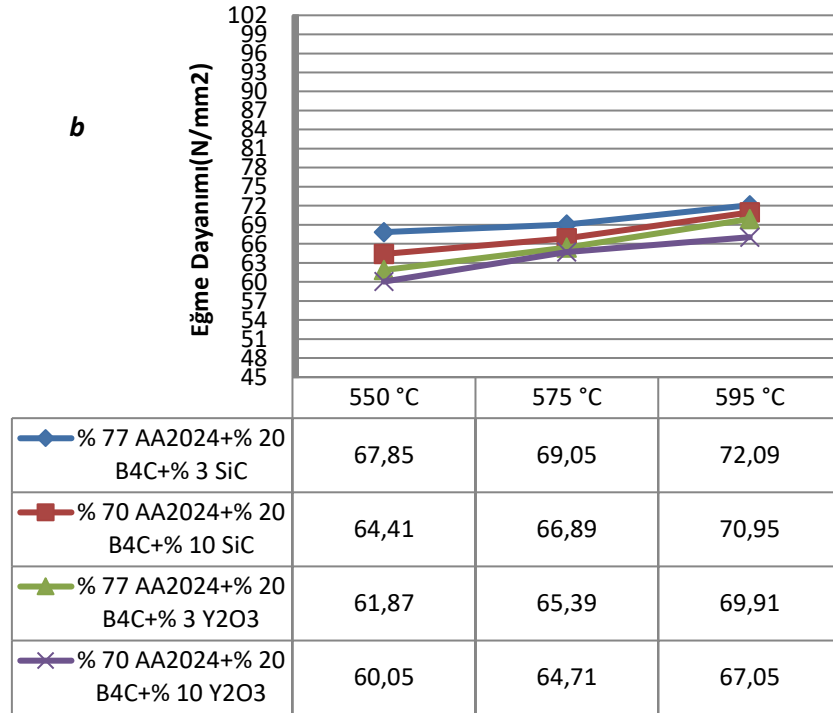
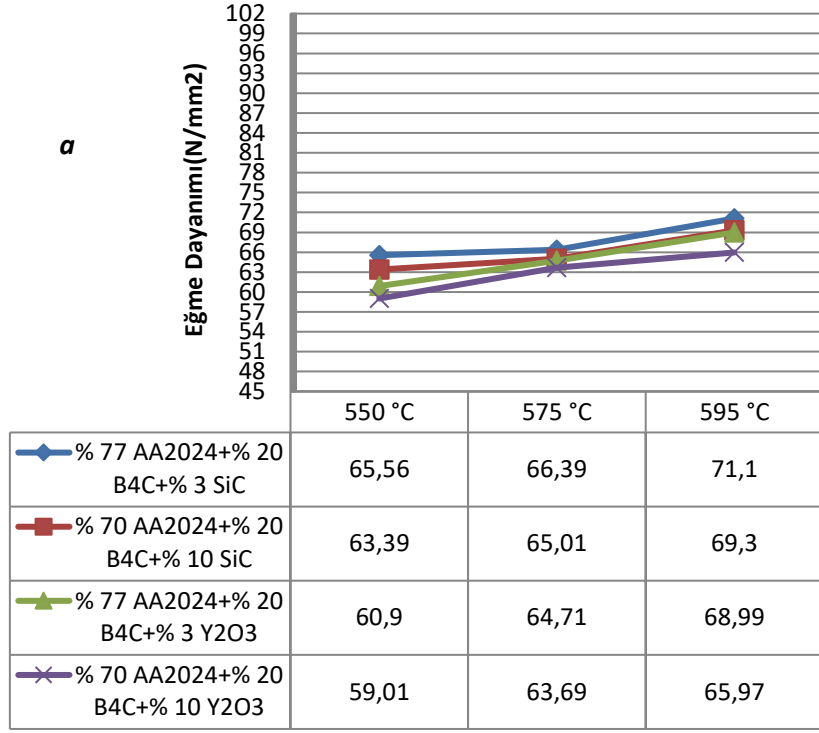
Şekil 4.76'da AA2024 + 10 μm B₄C ile AA2024 + Ni Kaplı 10 μm B₄C'nin eğme dayanımı değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde takviye malzemesi olan B₄C'nin Ni ile kaplanarak matrise ilave edilmesi ile kompozit malzemenin eğme dayanımı değerlerinin yükseldiği görülmektedir.



a) AA2024 + 22-59 μm B₄C'nin eğme dayanımı değerleri b) AA2024 + Ni Kaplı 22-59 μm B₄C'nin eğme dayanımı değerleri

Şekil 4.77 Ni kaplamalı ve kaplamasız 22-59 μm B₄C takviyeli AA2024'ün eğme dayanımı değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.77’de AA2024 + 22-59 μm B_4C ile AA2024 + Ni Kaplı 22-59 μm B_4C ’nin eğme dayanımı değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde takviye malzemesi olan B_4C ’nin Ni ile kaplanarak matrise ilave edilmesi ile kompozit malzemenin eğme dayanımı değerlerinin yükseldiği görülmektedir.

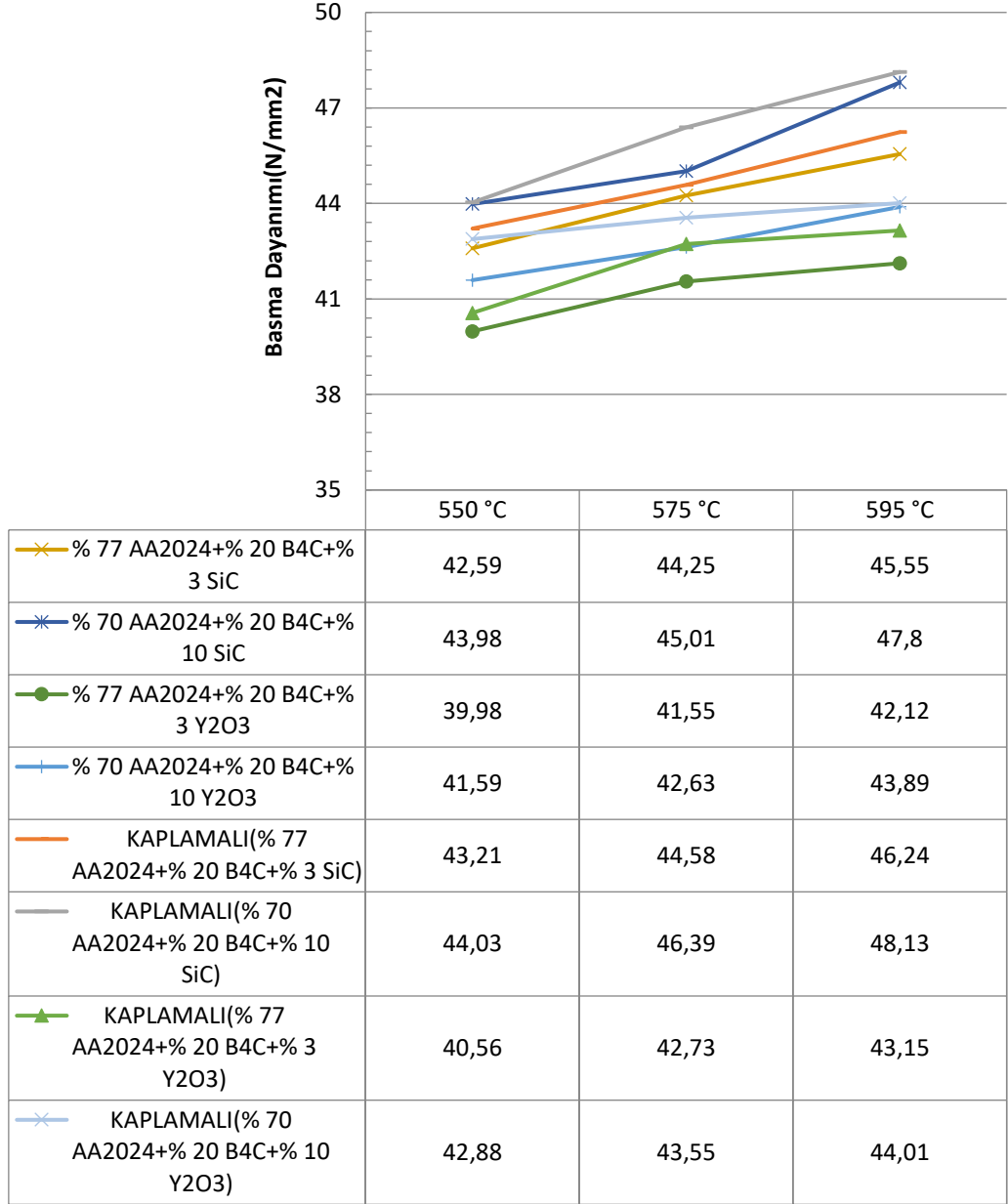


- a) AA2024+(B₄C+SiC) & AA2024+(B₄C+Y₂O₃)’nin eğme dayanımı değerleri b)
AA2024+(Ni Kaplı B₄C+SiO₂ Kaplı SiC) & AA2024+(Ni Kaplı B₄C+Al₂O₃
Kaplı Y₂O₃)’nin eğme dayanımı değerleri

Şekil 4.78 Ni, SiO₂ ve Al₂O₃ kaplamalı ve kaplamasız (B₄C+SiC) ve (B₄C+Y₂O₃)
takviyeli AA2024’ün eğme dayanımı değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.78’de AA2024+(B₄C+SiC) & AA2024+(B₄C+Y₂O₃) ve AA2024+(Ni
Kaplı B₄C+SiO₂ Kaplı SiC) & AA2024+(Ni Kaplı B₄C+Al₂O₃ Kaplı Y₂O₃)’nin eğme
dayanımı değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde takviye malzemelerinin
kaplanarak matrise ilave edilmesi ile kompozit malzemenin eğme dayanımı
değerlerinin yükseldiği görülmektedir.

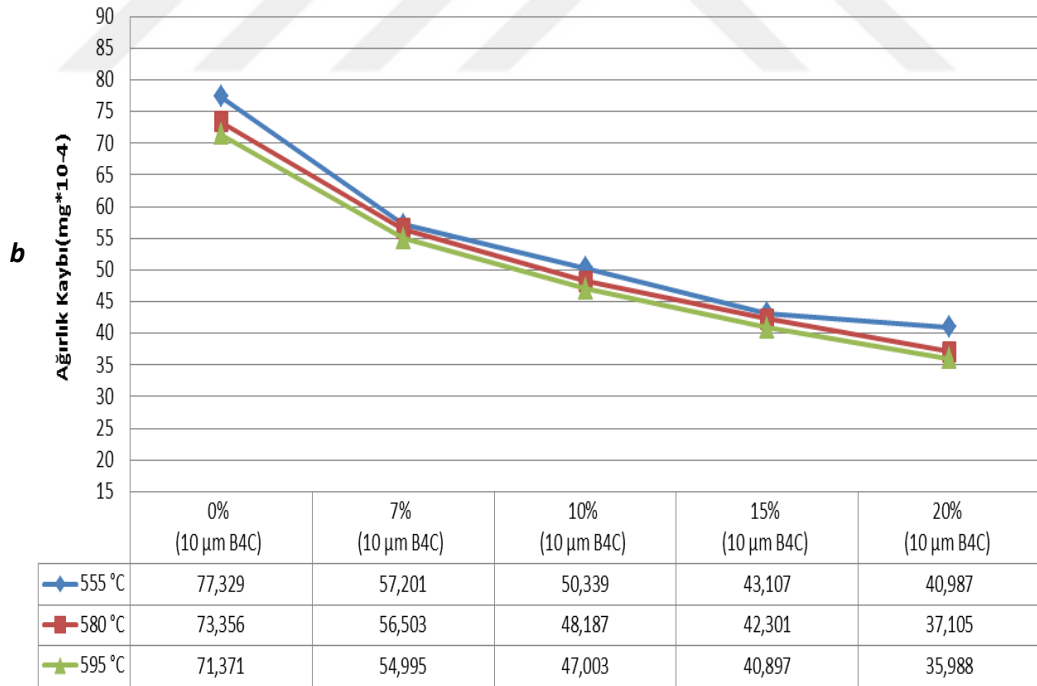
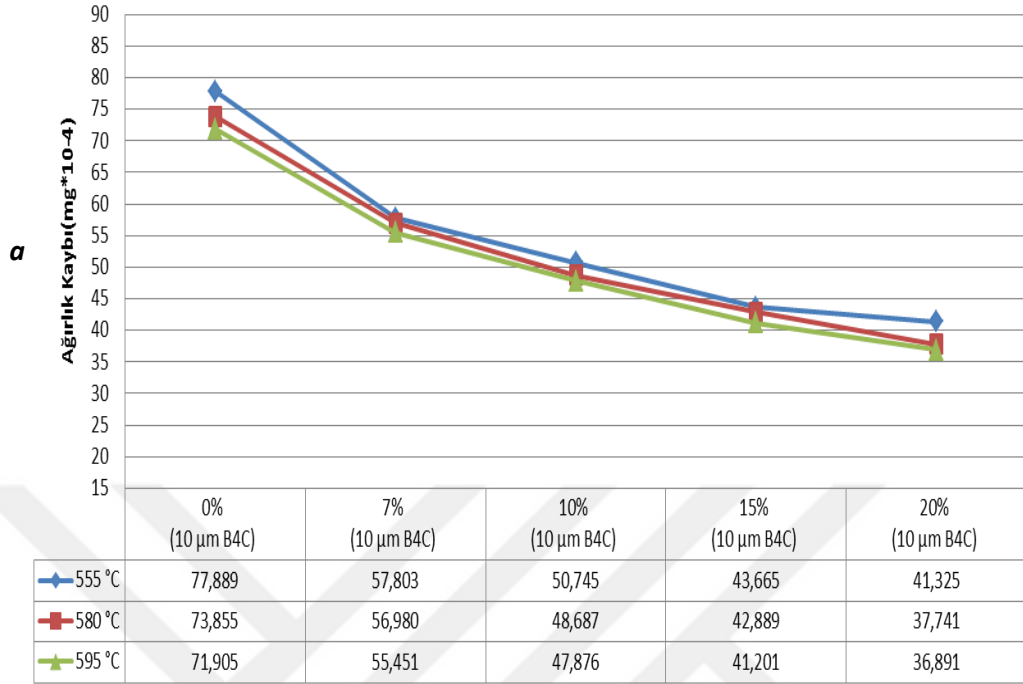




Şekil 4.79 AA2024+(B₄C+SiC) & AA2024 + (B₄C + Y₂O₃) ile AA2024+[B₄C(Ni Kaplı)+SiC(SiO₂ Kaplı)] & AA2024+[B₄C(Ni Kaplı)+Y₂O₃(Al₂O₃ Kaplı)] basma dayanımının sıcaklık artışı ile değişimi

Şekil 4.79’da AA2024+(B₄C+SiC) & AA2024 + (B₄C + Y₂O₃) ile AA2024 + [B₄C(Ni Kaplı)+SiC(SiO₂ Kaplı)] & AA2024+[B₄C(Ni Kaplı)+Y₂O₃(Al₂O₃ Kaplı)] basma dayanımının sıcaklık artışı ile değişimi değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde takviye malzemelerinin kaplanarak matrise ilave edilmesi ile kompozit malzemenin basma dayanımı değerlerinin yükseldiği görülmektedir. Bunun neden olarak ise, matrise ilave edilen seramik takviye malzemelerinin kaplanması ile mevcut gözenek oranının azalması sonucu dayanımın arttığı gösterilebilir.

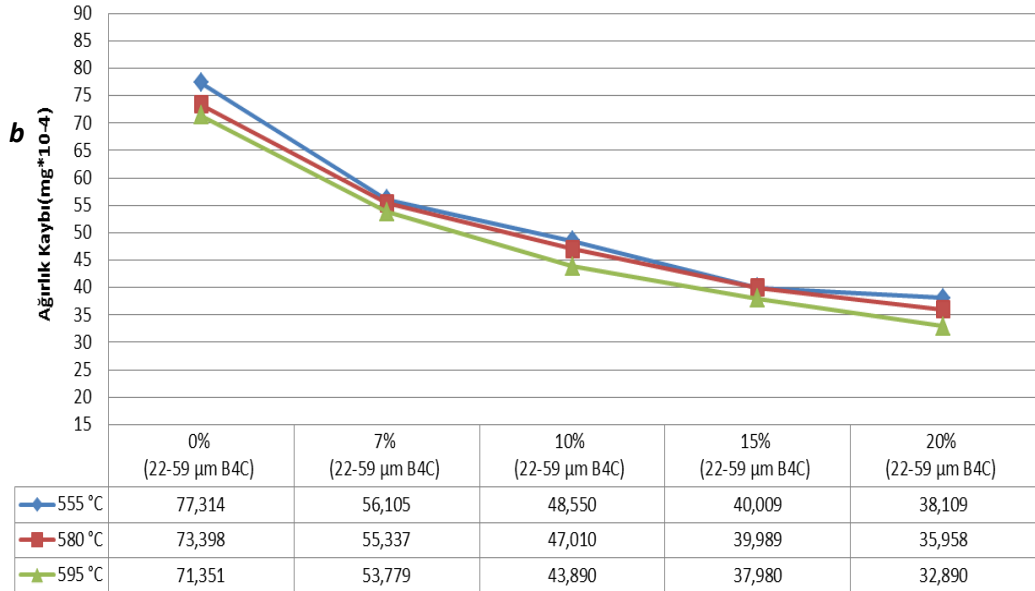
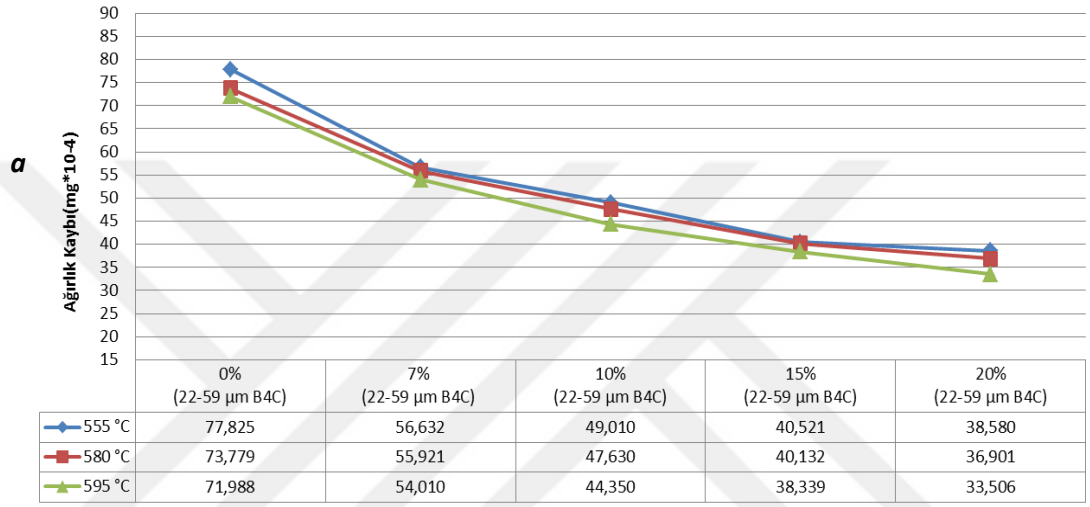
4.3.4 Aşınma Dayanımı Sonuçlarının Karşılaştırılması:



a) AA2024 + 10 μm B₄C'nin ağırlık kaybı değerleri b) AA2024 + Ni Kaplı 10 μm B₄C'nin ağırlık kaybı değerleri

Şekil 4.80 Ni kaplamalı ve kaplamasız 10 µm B₄C takviyeli AA2024’ün ağırlık kaybı değerlerinin karşılaştırılması

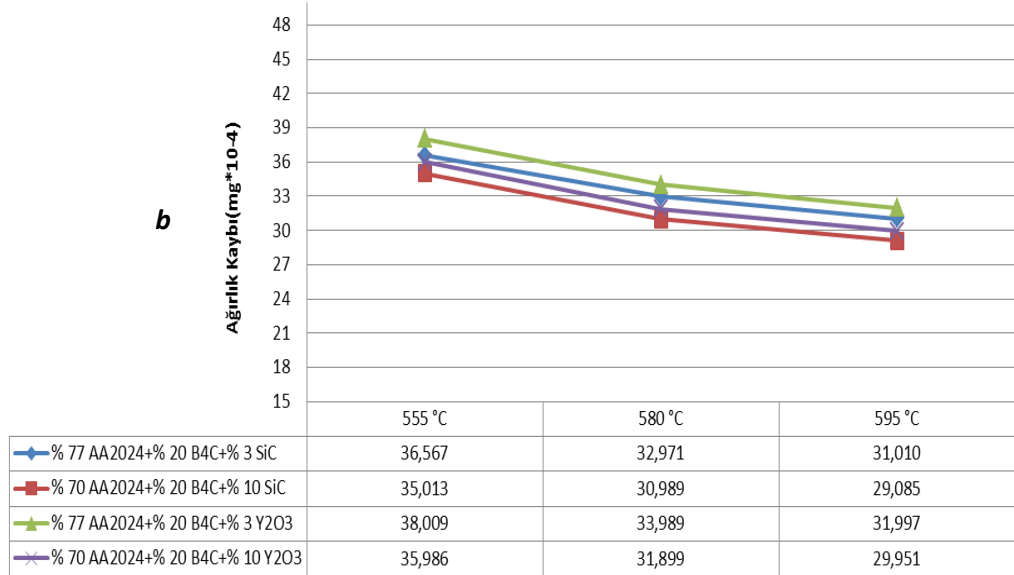
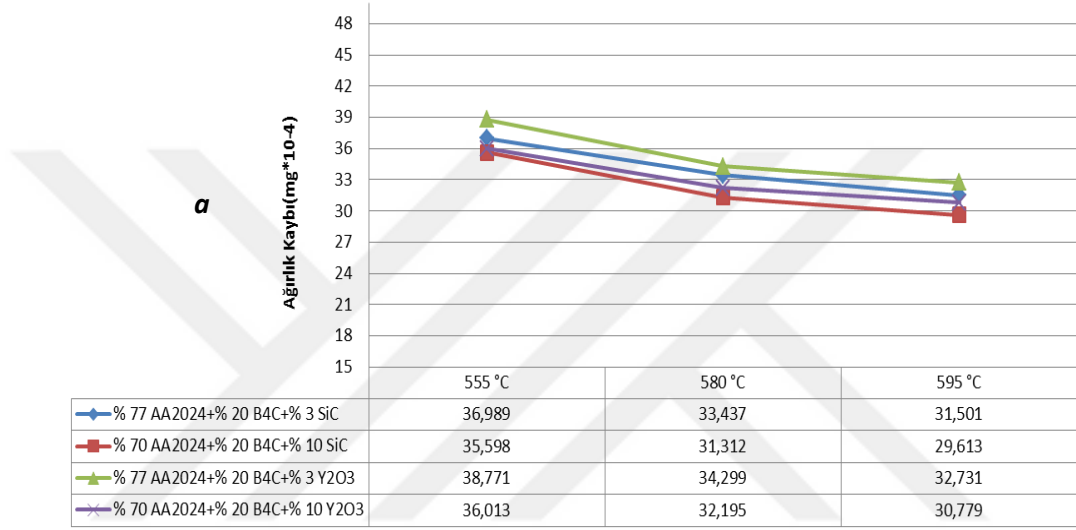
Şekil 4.80’de AA2024 + 10 µm B₄C ile AA2024 + Ni Kaplı 10 µm B₄C’nin ağırlık kaybı değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde takviye malzemesi olan B₄C’nin Ni ile kaplanarak matrise ilave edilmesi ile kompozit malzemenin ağırlık kaybı değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir.



a) AA2024 + 22-59 µm B₄C’nin ağırlık kaybı değerleri b) AA2024 + Ni Kaplı 22-59 µm B₄C’nin ağırlık kaybı değerleri

Şekil 4.81 Ni kaplamalı ve kaplamasız 22-59 µm B₄C takviyeli AA2024'ün ağırlık kaybı değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.81'de AA2024 + 22-59 µm B₄C ile AA2024 + Ni Kaplı 22-59 µm B₄C'nin ağırlık kaybı değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde takviye malzemesi olan B₄C'nin Ni ile kaplanarak matrise ilave edilmesi ile kompozit malzemenin ağırlık kaybı değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir.



a) AA2024+(B₄C+SiC) & AA2024+(B₄C+Y₂O₃)'nin ağırlık kaybı değerleri

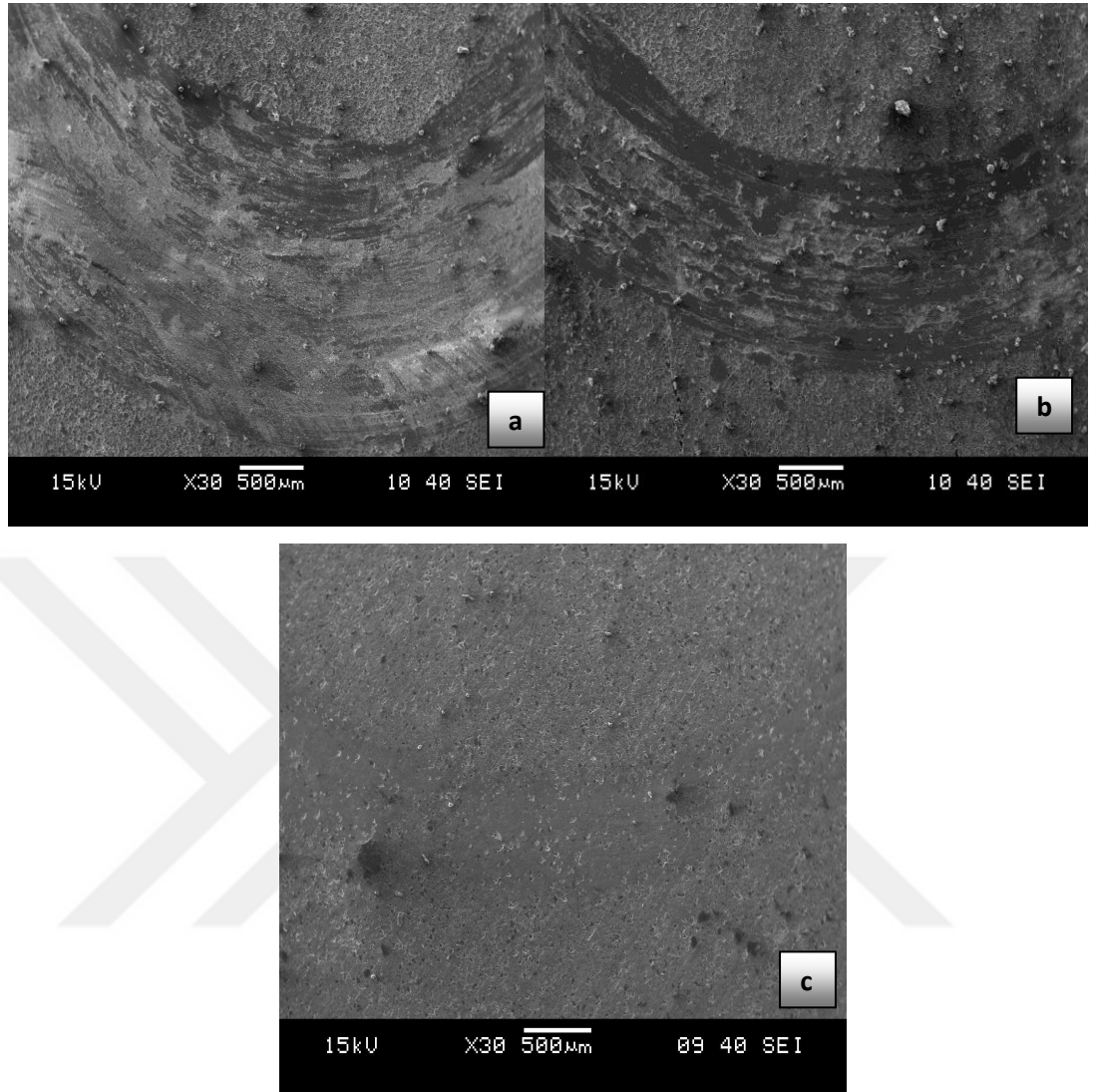
b) AA2024+(Ni Kaplı B₄C+SiO₂ Kaplı SiC) & AA2024+(Ni Kaplı B₄C+Al₂O₃ Kaplı Y₂O₃)'nin ağırlık kaybı değerleri

Şekil 4.82 Ni, SiO₂ ve Al₂O₃ kaplamalı ve kaplamasız (B₄C+SiC) ve (B₄C+Y₂O₃) takviyeli AA2024'ün ağırlık kaybı değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.82'de AA2024+(B₄C+SiC) & AA2024+(B₄C+Y₂O₃) ve AA2024+(Ni Kaplı B₄C+SiO₂ Kaplı SiC) & AA2024+(Ni Kaplı B₄C+Al₂O₃ Kaplı Y₂O₃)'nin ağırlık kaybı değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde takviye malzemelerinin kaplanarak matrise ilave edilmesi ile kompozit malzemenin ağırlık kaybı değerlerinin düştüğü görülmektedir.



4.3.5 SEM Sonuçlarının Karşılaştırılması:



a) 595 °C’de AA2024 aşınma yüzeyi SEM görüntüsü

b) 575 °C’de %90 AA2024+%10 Ni Kaplı B₄C(10 μm) aşınma yüzeyi SEM görüntüsü

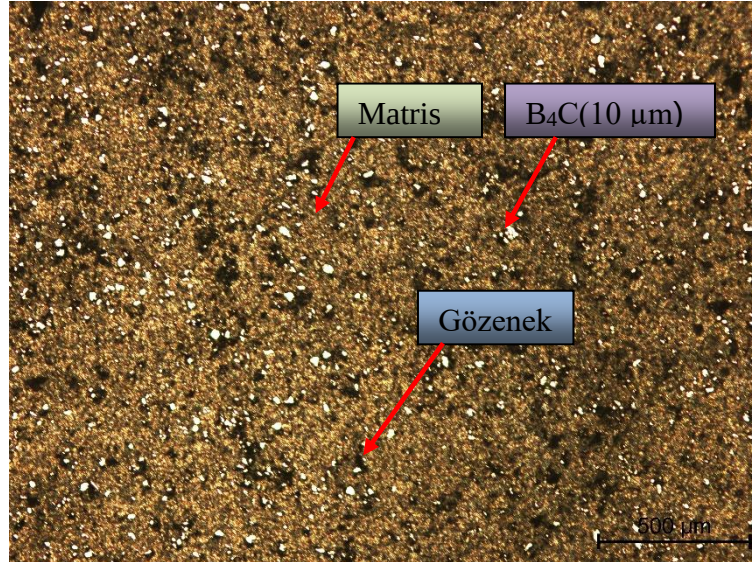
c) 575 °C’de %77 AA2024+%20 B₄C(22-59 μm)+%3 Y₂O₃ aşınma yüzeyi SEM görüntüsü

Şekil 4.83 Farklı sıcaklıklarda ve farklı oranlarda hazırlanan ve aşınma deneyine tabi tutulan malzemelerin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri

Şekil 4.83’de farklı sıcaklıklarda ve farklı oranlarda hazırlanan ve aynı yük altında ve aynı sürede aşınma deneyine tabi tutulan malzemelerin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri verilmiştir. İçyapı şekilleri incelendiğinde AA2024 Alüminyum Alaşımının aşınma yüzeyinin(595 °C’de sinterlenmesine rağmen) daha belirgin olduğu; %77 AA2024+%20 B₄C(22-59 μm)+%3 Y₂O₃ oranlarında hazırlanan ve aşınma deneyine tabi tutulan numunenin aşınma yüzeyindeki izlerin %90

AA2024+%10 Ni Kaplı B₄C(10 µm) oranlarında hazırlanan ve aşınma deneyine tabi tutulan numunenin aşınma yüzeyindeki izlere oranla aynı sıcaklıkta sinterlenmesine rağmen daha az belirgin olduğu görülmektedir. Dolayısı ile %77 AA2024+%20 B₄C(22-59 µm)+%3 Y₂O₃ oranlarında hazırlanan numunenin aşınma dayanımının daha fazla olduğu kanaatine varılmıştır. Ayrıca, aşınma deneyi sonuçlarında incelendiğinde, AA2024 Alüminyum Alaşımı numunesinin aşınma deneyi sonucu ağırlık kaybı 7,137 mg; %77 AA2024+%20 B₄C(22-59 µm)+%3 Y₂O₃ oranlarında hazırlanan numunenin aşınma deneyi sonucu ağırlık kaybı 3,410 mg; %90 AA2024+%10 Ni Kaplı B₄C(10 µm) oranlarında hazırlanan numunenin aşınma deneyi sonucu ağırlık kaybı ise 4,818 mg'dır. Aşınma deneyi sonuçları ile aşınma yüzeyi SEM görüntülerindeki aşınma izi farklılıkları ve aşınma belirginlik oranları uyusmaktadır.

Ayrıca, gözenekliliğin mekanik özellikleri olumsuz etkilediği bilinmektedir. Ancak, gözeneklerin çok küçük ve küresel şekilli olması tercih edilmektedir[76]. Kaplamalı ve kaplamasız takviye kullanılarak üretilen kompozit malzemelerde gözenek oranı hesaplandığında her ne kadar takviye oranının artmasıyla nispeten gözeneklilik artsa da, gözeneklerin küçük olması ve düzgün dağılması(Şekil 4.84) kompozitlerin sertlik ve aşınma gibi mekanik özelliklerine olumsuz bir etki yapmamıştır.



Şekil 4.84 575 °C'de %90 AA2024+%10 B₄C(10 µm) Optik Mikroskop Görüntüsü

4.4 Literatür Taraması:

Araştırmacılar MMK malzemelerin sahip oldukları özellikleri iyileştirmek ve üretim safhalarında karşılaşılan problemleri en aza indirmek için çalışmalarına devam etmektedirler. Bu çalışmaların neticesi de yeni bir malzeme gurubunun endüstriyel alanlardaki yerini daha hızlı bir şekilde alması olmaktadır. Araştırmacılar özellikle, MMK malzemelerin üretimi ve özelliklerinin artırılması üzerinde yoğun çalışmalar yapmaktadırlar. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda daha detaylı olarak sunulmuştur.

“Al-2024/TiC Kompozitlerin Mikroyapı ve Isıl İşlem Tepkisi” konulu yapılan çalışmada, ticari Al-2024 alaşımlı, partikül TiC takviyeli kompozitler basınçsız olarak eriyik infiltrasyon yoluyla üretilmiştir. İnfiltrasyon, 2 saat boyunca 1200 °C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Hacimce % 52 ve % 55 TiC içeren kompozit malzemeler elde edilmiştir. Sinterleme sonrasında, % 55 TiC içeren kompozit malzemede 28.5 den 38.5 HRC’e kadar sertlik artışı gözlemlenmiştir. Nihai çekme dayanımı, 379’dan 480 MPa’a yükselmiştir. Kompozit malzemelerin Taramalı Elektron Mikroskobu(SEM) incelemesinde, kompozitler içinde topraklar halinde CuAl₂ çökeltileri saptanmıştır. Isıl işlem koşullarında, gevrek ve tanecikler arası kırıklar görülmüştür. Yapılan çalışmanın sonucunda, Al-2024 matrisi basınçsız ergime infiltrasyonu yolu kullanarak üretilen kompozitlerde hacimce % 55’e kadar TiC partiküller başarıyla takviye edilebileceği görülmüştür. Hacimce % 55 TiC içeren kompozitin çekme dayanımının ısıl işlem sonrasında 379’dan 480 MPa’a yükseldiği görülmüştür[66].

“Alüminyum Matrisli B₄C Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemi İle Üretimi” konulu tez çalışmasında, Al matrisli B₄C takviyeli kompozitler, Toz Metalurjisi yöntemi kullanarak üretilmiştir. Kullanılan B₄C tane boyutu ve yüzdesi, presleme basıncı ile sinterleme sıcaklığı değiştirilerek üretilen numunelerin, bu değişen parametrelerin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkileri belirlenmiştir. Matris malzemesi olarak saf Alüminyum kullanmıştır. Takviye malzemesi olarak ise, 2 farklı tane boyutuna sahip(<10 ve 22-59µm) B₄C tozu kullanılmıştır. Bağlayıcı olarak da polietilen glikol kullanmıştır. B₄C oranı % 10, 20, 25 olarak alınmıştır. Yapılan değerlendirmeler ışığında optimum üretim parametreleri olarak presleme basıncının 800 MPa, sinterleme ortamının atmosferik, sinterleme sıcaklığında 590 °C olduğu saptanmıştır. Sinterlenmiş numunelerin mikroyapısal görüntüleri incelendiğinde, %10 B₄C takviyeli ve toz boyutunun 22-59 µm olduğu numunelerde, yapıda tozların

homojen dağıldığı gözlemlenmiş ve karıştırma süresinin yeterli olduğu görülmüş. Toz boyutunun $<10\mu\text{m}$ olduğu numunelerde ise, aglomerasyonun meydana geldiği ve artan B_4C yüzdesinin bunu tetiklediği gözlemlenmiştir. %10 B_4C içeren ince taneli tozların kullanıldığı numunelerdeki sertliğin, %20 B_4C içerikli numunelere göre daha fazla olduğu görülmüştür. Mikroyapı görüntülerinde ise, ince taneli B_4C miktarı arttıkça, bu ince tozların yapının her yerine dağıldığı, tane sınırlarına çöktüğü ve sinterlemeyi engellediği belirlenmiştir[30].

“Sıcak Presleme İle Üretilen Cu-Al/ B_4C Kompozit Malzemenin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması” konulu çalışmada, Cu-Al/ B_4C metal matrisli kompoziti(MMK), toz metalurjisi (TM) yöntemi kullanılarak sıcak presleme ile üretilmiştir. Cu-%5 Al toz karışımı içerisine ağırlıkça %5, %10 ve %20 oranında B_4C ilave edilerek toz karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan toz karışımları argon gazı atmosferinde, 30 MPa basınç altında, 600 °C’de 4 dakika kadar bekletilerek sıcak presleme işlemine tabi tutulmuştur. Preslenen numunelerin, optik mikroyapı incelemeleri ve sertlik değerleri ölçülmüştür. Deneyler sonucunda, farklı oranlarda ilave edilen B_4C ’nin mikroyapı ve sertliği etkilediği görülmüştür. Cu-Al/ B_4C kompozitlerinde B_4C miktarındaki artış ile sertliğinde arttığı görülmüştür. Toz metalurjisi yöntemi ve sıcak presleme ile üretilen Cu-Al- B_4C numunelerinin incelenmesi sonucunda, Cu-Al matrisli partikül ilavesi olmayan C0 numunesinde en düşük gözenek miktarı tespit edilmiştir. B_4C ilavesinin artması ile gözenek miktarı kısmen artmıştır. En yüksek gözenek miktarı ise, %20 B_4C içeren C3 numunesinde tespit edilmiştir. Gözenek miktarındaki kısmi artışa nazaran, B_4C ilavesinin artması ile sertlik değeri de artmıştır. En yüksek sertlik değeri, %20 B_4C içeren C3 numunesinde tespit edilmiştir. Cu matrisli MMK içerisine ilave edilen B_4C ile yoğunluk miktarı düşmüştür. En yüksek yoğunluk miktarı C0 numunesinde, en düşük yoğunluk miktarı ise %20 B_4C ilaveli C3 numunesinde elde edilmiştir[67].

“ Al_2O_3 Partikül Takviyeli 2024 Alüminyum Metal Matrisli Kompozitlerin Üretimi” konulu çalışmada, Vorteks metodu ve basınç ile üç farklı boyut ve hacim oranlarında $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ partikülleri ile takviye edilmiş 2024 Al esaslı Metal Matrisli Kompozitler üretilmiştir. Yoğunluk ölçümleri sonucu, porozitenin çok düşük olduğu; partikül oranının artması ve boyutunun düşmesi ile porozite oranının arttığı gözlemlenmiştir. Taramalı Elektron Mikroskobu(SEM) ile yapılan mikroyapı

incelemelerinde, partikül boyutunun artmasıyla homojen bir dağılım sağlandığı görülmüştür. Düşük boyutlu partiküllerin, partikül topaklanmasına ve porozite oluşumuna neden olduğu anlaşılmıştır. Matris olarak yoğunluğu 2.8 gr/cm³ olan 2024 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Takviye elemanı olarak ise, 66 µm, 32 µm ve 16 µm tane boyutlarında ve 3.95 gr/cm³ yoğunluğundaki beyaz renkli α -Al₂O₃(α -alümina) parçacıkları kullanılmıştır. Vorteks metodu ve basınç altında 2024 Al alaşımına, hacimce %7, 15 ve 23 oranlarında 16 µm, 32 µm ve 66 µm boyutlu Al₂O₃ partiküllerinin takviye edilmiştir. Optimum sonuçlar, 700 °C ergimiş metal sıcaklığı, 900 dev/dk karıştırma hızı, 550 °C kalıp sıcaklığı, 5 gr/dk takviye elemanı ilâve hızı, 6 MPa basınç ve 5 dk takviye bittikten sonraki karıştırma süresi şartlarında elde edilmiştir. Taramalı Elektron Mikroskobu(SEM) ile yapılan mikroyapı incelemeleri sonucunda, 66 µm boyutlu Al₂O₃ partiküllerinin matrikste homojen olarak dağıldığı gözlemlenmiştir. 16 µm ve 32 µm boyutlu Al₂O₃ partiküllerinin homojen olarak dağılmadığı; bu partiküllerin topaklanmalara ve porozite oluşumuna neden oldukları gözlemlenmiştir. Kompozitlerin; partikül hacim oranının ve boyutunun artmasıyla yoğunlukları; partikül hacim oranının artması ve partikül boyutunun azalmasıyla da porozite oranının arttığını gözlemlenmiştir. Genel olarak porozite oldukça düşük çıkmıştır. Dökümden sonra basınç uygulanması porozite miktarının azalmasına, Al alaşımı ile Al₂O₃ partikülleri arasındaki bağ kuvvetinin ve ıslanabilirliğin iyileşmesine neden olduğunu anlaşılmıştır[68].

“Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemelerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilmesi ve Karakterizasyonu” konulu tez çalışmasında, Mekanik Alaşımlama(MA) / Mekanik Öğütme(MÖ) işlemiyle atritör ve titreşimli değirmen kullanılarak silisyum karbür(SiC) seramik parçacık takviyeli alüminyum esaslı malzemeler üretilmiştir. Saf Al, % 5, % 10, % 15 ve % 20 SiC takviyeli Al olmak üzere beş farklı malzeme üzerinde çalışılmıştır. Karşılaştırma amacıyla aynı malzemeler atritör ve titreşimli değirmenlerde öğütülmüştür. Öğütme işlemlerinde işlem kontrol kimyasalı(İKK) olarak % 2 stearik asit ve öğütücü olarakta 6 mm çapında çelik bilyalar kullanılmıştır. MA / MÖ işlemleri, atritör değirmende 750 dev/dak. ve titreşimli değirmende de 750 dev/dak. Hızlarında; 10:1 bilya/toz oranı kullanılarak; 30, 60, 90 ve 120 dakikalık sürelerde yapılmıştır. Öğütülen tozlar Optik ve Taramalı Elektron Mikroskobunda(SEM) incelenmiştir. MA / MÖ tozları 630 MPa basınç altında soğuk preslenerek 9 mm çapında ve 5 mm yüksekliğinde numuneler haline getirilmiştir. Bu

numuneler daha sonra 530 °C’da 30 dakika süreyle sinterlenmiştir. Sinterlenen numunelerin yoğunlukları ve sertlikleri ölçülmüştür. Her iki değirmende de, takviye elemanı oranı artıkça üretilen malzemelerin sertlik ve yoğunluk değerlerinin arttığı saptanmıştır[69].

“AA2024 Matrisli B₄C Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Vorteks Yöntemiyle Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi” konulu yapılan doktora tez çalışmasında, AA2024 alaşımı matrisli ve B₄C parçacık takviyeli kompozitlerin karıştırılmalı döküm yöntemiyle üretimi amaçlanmıştır. B₄C parçacıkların ıslatılmasını iyileştiren yeni bir yüzey işlemi geliştirilmiştir. Bu işlemde, katma öncesi B₄C parçacıkları asit karışımında 2 veya 3 dakika bekletildikten sonra etil alkolle yıkanıp kurutularak kanatçıklı karıştırıcıyla karıştırılan 700 °C’daki sıvı metale katılmıştır. Mikroskobik incelemeler geliştirilen yüzey işlemi uygulanarak katılan parçacıkların matris içinde kalarak homojen bir şekilde dağıldıklarını göstermiştir. Karşılaştırma yapma amacıyla iki farklı boyut aralığında(90-53µm B grubu ve 49- 16,5µm K grubu) parçacık kullanılarak kompozit üretimi yapılmıştır. Her gruptan vorteks yöntemiyle karıştırılıp kokil kalıba dökülerek parçacık hacim oranı %3, %4, %6 ve %7 olan kompozitler üretilmiştir. Üretilen kompozitler sertlik, çekme ve üç elemanlı abrasif aşınma deneylerine tabi tutulmuştur. Numunelerin mikro yapısı, kırılma ve aşınma yüzeyleri Taramalı Elektron Mikroskobu(SEM) ile incelenmiştir. Parçacık katılma verimi artan parçacık oranı ile azalmış, gözenek oranı ise artmıştır. Üretilen kompozitlerde parçacık hacim oranı arttıkça küçük boyutlu kompozitlerde daha belirgin olmak üzere makro sertlik artmıştır. Aşınma deneyine tabi tutulan numunelerin aşınma yüzeylerindeki abrasif aşınma izlerinin takviyesiz matris alaşımında daha derin ve sürekli olduğu görülmüştür. Parçacık oranı arttıkça her iki grup kompozitede abrasif aşınma(kazıma) izlerinin giderek azaldığı tespit edilmiştir[45].

“Boksit-Parçacık Takviyeli Alüminyum Alaşımlarının Aşınması” konulu çalışmada, ağırlıkça %1–20 boksit partikül katkı elemanlı Al-12Si–1,4Cu–1,3Mg alaşım matrisli kompozit, birleşik döküm metoduyla üretilmiştir. Partikül ilavesiyle abrasiv aşınma direnci artmıştır. Düşük ve orta yükler altında ağırlıkça % 20 boksit ihtiva eden kompozitin aşınma direnci karbon çeliği ile kıyaslanabilir durumdadır. Boksit parçacık ebatlarının küçüklüğünden dolayı kompozit içerisinde parçacık

kümelenmesi gözlemlenmiş olup; bunun kompozitin çekme gerilmesine ve aşınma direncine etkisi az olduğu görülmüştür[70].

“B₄C ve SiC Takviyeli 4147 Al Matrisli (Tümü Bac-Al Sic) Kompozitin Adhesive Aşınma Davranışı” konulu çalışmada, sıvı metalurji ile üretilmiş, ağırlıkça %10, 15 ve 20 B₄C partiküllü(4147Al - B₄C) kompozitler ve ağırlıkça %20 SiC partiküllü (Al-SiC) kompozitler kuru deney şartları altında araştırılmış ve aşınma davranışları kıyaslanmıştır. Al matris alaşımının aynı aşınma şartlarında şiddetli abrasiv-adhesiv aşınmada iken, Al-B₄C kompozitlerinde hafif oranlı adhesiv aşınma gözlemlenmiştir. B₄C partikülünün matris tarafından ıslanabilirliğinin, kompozitin aşınma direnci ve aşınma mekanizmasıyla doğrudan ilişkili olduğu gözlemlenmiştir. Al-B₄C ile Al-SiC`ün aşınma dirençleri bakımından kıyaslandığında, Al-SiC`ün aşınma direncinin daha yüksek olduğu; aynı aşınma şartlarında Al-B₄C normal aşınma durumunda iken Al-SiC`ün aşınmasında sadece hafif adhesiv aşınma izi görüldüğü rapor edilmiştir[71].

“AA 1070 ve AA 6063 Matrisli ve B₄C takviyeli Kompozitlerin İşlenmesi ve Mikroyapısal Karakterizasyonu” konulu çalışmada, AA1070 ve AA6063 Al-B₄C matrisli kompozitlerinin üretimi ve mikroyapı karakterizasyonunu amaçlamıştır. Al-B₄C matrisli kompozitlerin döküm yöntemi ile üretiminde en çok karşılaşılan problem ıslatma problemi olduğu tespit edilmiştir. Kompozit malzeme döküm yöntemi ile 850 °C de üretilmiştir. Sıvı alüminyum ile B₄C arasındaki ıslatma probleminin üstesinden gelmek amacı ile, titanyum içerikli(K₂TiF₆) flux kullanılmıştır. Deney sonucunda, ıslatma kabiliyeti; ara yüzeyde oluşan 80-180 nm kalınlığındaki TiC ve TiB₂ reaksiyonları sayesinde iyileştirilmiştir[72].

“B₄C Takviyeli Al Matrisli Kompozitlerin Üretimi ve Mekanik Özellikleri” konulu çalışmada, Saf Al matrisli B₄C takviyeli kompozit malzemeler toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiş ve sertlik ve çentik darbe dayanımı ile sürünme testleriuygulanmıştır. Takviye oranları olarak %5, 10, 15 ve 20 seçilmiştir. Presleme basıncı 250 MPa(soğuk izostatik pres) ve sinterleme sıcaklığı ise 600 °C, 625 °C, 640 °C seçilmiştir. SEM analiz sonuçlarına göre, takviye malzemesi matris içerisine homojen şekilde dağıtılmıştır. Sinterleme sıcaklığının artması ve takviye oranının

azalması ile teorik yoğunluğa daha çok yaklaşılmıştır. Artan takviye miktarı ile kompozitin sertliği artmış fakat darbe direnci düşmüştür[73].

“Mekanik Alaşımlama ile Elde Edilen Al+%10 B₄C Sisteminin Üretim Parametreleri ve Optimasyonu” konulu çalışmada, B₄C takviyeli-saf Al matrisli kompozitlerinin mekanik alaşımlama üretim parametrelerinin optimizasyonu çalışılmıştır. Presleme basıncı 500,600,700 MPa ve sinterleme sıcaklığı: 600 °C, 610 °C, 620 °C, 635 °C ve 650 °C seçilmiştir. Matris ve takviye malzemeleri karıştırıldıktan sonra içerisine %1 çinko stearat yağlayıcı katılmıştır. Her iki saatte bir düzenli incelemeye alınan tozların akış hızı ve görünür yoğunlukları ölçülmüştür. Daha sonra parça üretimi için; tek eksenli pres makinesinde 500, 600 ve 700 MPa basınçta tozlar preslenmiş ve ham yoğunlukları ölçülmüştür. Ardından N₂/10H₂/0.1CH₄ ve argon atmosferi altında parçalar sinterlenmiştir. Mekanik alaşımlamanın ilk safhalarında gevrek tozlar kırılmış ve sünek tozlar uzamıştır. 8 saatten sonra daha fazla alaşımlama meydana gelmemiştir. En düşük porozite 700 MPa da meydana gelmiştir. SEM analiz sonuçlarına göre B₄C partiküllerinin homojen olarak dağıldığı gözlemlenmiş ve bor karbür taneleri arasında çok kısa mesafelerden dolayı matris ile takviye arasında bağ zayıflamıştır, bu da çatlak oluşumunu tetiklemiştir. 600 °C de malzemeler arasında reaksiyon meydana gelmemiştir. 650 °C de sinterleme esnasında neredeyse alüminyumun ergime noktasına ulaşıldığı için mikroyapı değişmiş, porozite artmış ve malzemenin dayanımı düşmüştür[74].

“Vakumlu İnfiltrasyon Yöntemiyle Üretilen Al-Mgo Kompozitlerin Tornalanmak Suretiyle İşlenmesinde Farklı Kesici Takımların Aşınma Davranışlarının Değerlendirilmesi” konulu çalışmada, vakumlu infiltrasyon yöntemi kullanılarak Al matrisli ve MgO takviyeli kompozit malzemeler % 5, % 10 ve % 15 takviye-hacim oranlarında üretilmiş ve Sementit Karbür(SK), Kübik Bor Nitrür(KBN) ve Kaplamalı Kübik Bor Nitrür(KKBN) kesici takımlar kullanılarak işleme deneyleri yapılmıştır. İşleme deneylerinden sonra, kesici takımların Taramalı Elektron Mikroskobu(SEM) görüntüleri alınarak aşınma davranışları incelenmiştir. İşleme deneyleri dört farklı kesme hızı(150, 200, 250 ve 300 m/dak), üç farklı ilerleme(0,075 - 0,15 ve 0,225 mm/dev) ve sabit kesme derinliğinde(1mm) yapılmıştır. Kesici takımların SEM görüntüleri değerlendirildiğinde, takımların uç kısmında yığıntı talaş(BUE) olduğu, bütün kesici takımlarda abrasiv aşınma mekanizmasının etkili olduğu sonucuna

varılmış olup genel olarak en kararlı sonuçlar SK takımlarla elde edilmiştir. Takım aşınma davranışları açısından en olumlu sonuçlar, % 10 T-H oranında elde edilmiştir. SK takımlardaki aşınma değerleri daha yüksek görünmekle beraber, fiyat/performans ilişkisi açısından SK takımlar ile KBN takımlar arasındaki 1/30 ila 1/40'a varan farklar dikkate alındığında, SK takımların alternatif bir takım olarak kullanılabileceği görülmüştür. Kesici takımlar üzerinde yapılan SEM incelemelerinde, yığıntı talaş(BUE) oluşumu görülmüştür. Takım aşınmalarına bakıldığında, bütün kesici takımlarda abrasiv aşınma mekanizmasının etkili olduğu gözlenmiştir. Yüksek T-H oranı % 15 ve daha yüksek ilerleme değerlerinde, genel olarak önerilen SK kesici takımlar, daha fazla aşınma eğilimi sergilediğinden, aşınmayı kontrol altında tutmak için, daha düşük ilerleme ve talaş derinliği(düşük talaş yükü) şartlarında çalışılmasının daha faydalı olacağı kanaatine varılmıştır[75].

“Al Matrisli ve SiC Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Farklı Mekanik Alaşımlama Sürelerinde Üretilmesi ve Karakterize Edilmesi” konulu çalışmada, bir katı hal işlem tekniği olan MA yöntemi tercih edilmiş ve parçacık toz boyutu 12 µm olan SiC seramik tozları Al matris içerisine ağırlıkça %10 oranında ilave edilmiştir. MA süresine göre üretilen kompozitlerde yoğunluk ve sertlik gibi özelliklerin nasıl etkilendiğini belirlemek amacıyla çalışmalar yapılmış. Matris malzemesi olarak, alüminyum toz kullanılmıştır. Mekanik alaşımlama işlemi, szegvari modeli dikey bir atritör içerisinde 10/1 bilye/toz oranında 10 mm çapında çelik bilye ve 0,75 g yağlayıcı ile birlikte yapılmıştır. MA işlemi 350 rpm hızda akan argon atmosferinde 2, 6 ve 10 saat sürelerde uygulanmıştır. MA süresinin artmasıyla genel olarak tüm numunelerin sertliklerinde bir artış olduğu görülmektedir. Bu artışın MA sırasında yüksek deformasyonun etkisiyle oluşan tane küçülmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. 10 saate kadar MA işlemlerinde 650 °C de 20 saat sinterlenen numunelerin sertlik değerinde düzenli bir artış görülürken, 10 saat MA işleminden sonra keskin bir artış gözlemlenmiş ve bu artışın kompozit yapısında oluşan Al₄C₃ varlığından kaynaklandığını belirtmiştir. MA süresinin artmasıyla toz boyutu küçülmüştür. Saf alüminyumdan üretilen blok numuneler daha yoğun ve daha az gözenekli olduğu görülmüştür. Üretilen blok numunelerde homojen bir dağılım elde edilmiştir. MA süresinin artmasıyla yoğunluk azalırken, gözeneklilik nispeten artmıştır. Al malzemeye ilave edilen SiC takviye elemanı sebebiyle üretilen yeni malzemelerin sertliği artmıştır. MA

süresinin artmasıyla da kompozitlerin sertliğinde sürekli bir artış olduğu görülmüştür[76].

“Toz Metalurjisi İle Üretilen Alüminyum Matrisli Kompozitlerde Proses ve Malzeme Değişkenlerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkilerinin İncelenmesi” konulu yapılan çalışmada, Al/SiCp kompozit malzemelerin toz metalurjisi ile üretilmesi amaçlanmıştır. Yağlayıcı olarak kullanılan çinko stearat katkısının, sinterleme yardımcısı olarak da Mg katkısının ve sinterleme atmosferi olarak ise azot ortamının; malzemenin yoğunluğuna, içyapısına, sertliğine ve basma dayanımlarına etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, yağlayıcı katkısının ham ve sinter yoğunlukları düşürdüğü, buna bağlı olarak da sertlik ve mukavemetin düştüğü görülmüştür. Sinterleme atmosferi olarak hava yerine azot kullanılmasıyla da yoğunluk, sertlik ve mukavemet arttığı; %1 oranında Mg katıldığında ise elde edilen yüksek yoğunluk, Mg oranının %3’e çıkarılmasıyla azaldığı ve buna rağmen Mg miktarının artışıyla sertlik ve mukavemetin artmaya devam ettiği görülmüştür[77].

“B₄C Takviyeli Alüminyum Kompozit Malzemelerin Yarı Katı Karıştırma Yöntemi İle Üretimi ve Karakterizasyonu” konulu doktora tez çalışmasında, SiC ve B₄C’ nin ısıtılma işlemi ile alüminyum tarafından ısılatılabilirlikleri arttırılmaya çalışılmıştır. İki farklı alüminyum alaşımı(AA5754 ve AA7075) kullanılarak, farklı takviye oranlarına sahip hibrit alüminyum kompozitler üretilmiştir. Üretim yöntemi olarak, doğrudan yarı katı karıştırma yöntemi uygulanmıştır. Farklı takviye oranlarında AA5754/B₄C, AA7075/B₄C kompozitleri ile AA7075/SiC/B₄C hibrit kompozitleri üretilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin karakterizasyonu için mekanik testler uygulanmıştır. Takviye matris ara yüzeyinde oluşan reaksiyon ürünlerinin tespit edilmesi amacıyla mikroyapı analizleri ve porozite tespiti için yoğunluk ölçümleri yapılmıştır. Yapılan test ve analizler sonucunda, takviye tozlarına uygulanan ısıtılma işlemi ile takviye yüzeyinde reaksiyon ürünleri oluştuğu, alüminyum tarafından ısılatılabilirliklerinin arttığı ve takviye ile matris arasında hem mekanik hem de kimyasal bağ oluştuğu görülmüştür. AA5754/B₄C kompozit numunelere uygulanan basma testi sonucunda, B₄C takviye oranının hacimce % 20’ ye çıkarılması ile birlikte basma dayanımının arttığı görülmüştür[26].

4.4.1 Deney Sonuçlarının Literatürde Yer Alan Deneysel Çalışmaların Sonuçlarıyla Karşılaştırılması:

Proje kapsamında yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, AA2024 matris içerisine ilave edilen iki farklı boyuttaki B₄C'nin makrosertlik üzerine etkileri incelenmesi sonucu, tüm sıcaklıklarda 22-59 µm boyutunda ilave edilen B₄C'nin makrosertlik değerlerinin 10 µm boyutunda ilave edilen B₄C'ye oranla daha yüksek olduğu ve artan toz oranları ile birlikte iki farklı boyutta ilave edilen B₄C'nin makrosertlik değerlerini arttırdığı görülmüştür. Ancak, literatür sonuçları incelendiğinde; **“Alüminyum Matrisli B₄C Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemi İle Üretimi”** konulu tez çalışmasında, matris olarak saf Alüminyum, takviye malzemesi olarak ise, 2 farklı tane boyutuna sahip(<10 ve 22-59µm) B₄C tozu kullanmıştır. %10 B₄C içeren ve toz boyutunun <10µm olduğu numunelerdeki mikrosertliğin, %20 B₄C içerikli numunelere göre daha fazla olduğu görülmüştür. Bu farklılığın sebebi olarak, sertlik ölçümlerinin makro ve mikro olarak yapılması ve mikrosertlik ölçümünde daha küçük iz alanında kompozitin tane sınırlarında oluşan oksitlenme gibi sebeplerden ihtiva eden farklı fazlara gelme ihtimalinin anlık mikrosertlik değerlerini yükselmesi ihtimali gösterilebilir.

Gerçekleştirilen çalışma kapsamında üretilen kompozitlerin, matris içerisine ilave edilen takviye oranı arttıkça sertlik değerleri artmış, gözenek oranı yükselmiş ve yoğunlukları da düşmüştür. Aynı şekilde literatürde yapılan çalışmalardan **“Sıcak Presleme İle Üretilen Cu-Al/B₄C Kompozit Malzemenin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması”** ve **“B₄C Takviyeli Al Matrisli Kompozitlerin Üretimi ve Mekanik Özellikleri”** konulu çalışmaların sonuçlarında da aynı şekilde matris içerisine ilave edilen takviye oranı arttıkça sertlik değerleri artmış, gözenek oranı yükselmiş ve yoğunlukları da düşmüştür.

Deneysel çalışma sırasında, aşınma deneyine tabi tutulan kompozit malzemelerden sinterleme sıcaklığı ve takviye oranı yüksek olan numunelerin aşınma miktarı azalmıştır. Aynı şekilde literatürde yapılan çalışmalardan **“AA2024 Matrisli B₄C Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Vorteks Yöntemiyle Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi”**, **“Boksit-Parçacık Takviyeli Alüminyum Alaşımlarının Aşınması”** ve **“B₄C ve SiC Takviyeli 4147 Al Matrisli(Tümü Bac-Al SiC) Kompozitin Adhesive Aşınma Davranışı”** konulu çalışmaların

sonuçlarında da matrise ilave edilen takviyelerin miktarı yükseldikçe aşınma miktarı azalmıştır.

Seramik takviyelerin Alüminyum Alaşımı tarafından ıslatılabilirliği düşük olduğundan yapılan deneysel çalışmada B_4C , SiC ve Y_2O_3 takviye fazları kaplandıktan sonra matrise ilave edilmiştir. Deney sonuçlarından özelliklerin iyileştiği görülmüş ve katkı fazlarının kaplandıktan sonra matrise ilave edilmesinin ıslatılabilirliğe faydası olduğu yönünde sonuç çıkarmamızı sağlamıştır. Aynı şekilde literatürde de **“AA 1070 ve AA 6063 Matrisli ve B_4C takviyeli Kompozitlerin İşlenmesi ve Mikroyapısal Karakterizasyonu” konulu çalışmada**, Al - B_4C matrisli kompozitlerin döküm yöntemi ile üretiminde en çok karşılaşılan problem ıslatma problemi olduğu tespit edilmiş ve sıvı alüminyum ile B_4C arasındaki ıslatma probleminin üstesinden gelmek amacı ile titanyum içerikli(K_2TiF_6) flux kullanılmıştır. Deney sonucunda, ıslatma kabiliyeti; arayüzeyde oluşan, 80-180 nm kalınlığındaki TiC ve TiB_2 reaksiyonları sayesinde iyileştirilmiştir.

Deneysel çalışma sırasında, farklı sıcaklıklarda ve farklı oranlarda hazırlanan ve aynı yük altında ve aynı sürede aşınma deneyine tabi tutulan malzemelerden AA2024 Alüminyum Alaşımının aşınma yüzeyinin(595 °C’de sinterlenmesine rağmen) daha belirgin olduğu; %77 AA2024+%20 $B_4C(22-59 \mu m)$ +%3 Y_2O_3 oranlarında hazırlanan ve aşınma deneyine tabi tutulan numunenin aşınma yüzeyindeki izlerin %90 AA2024+%10 Ni Kaplı $B_4C(10 \mu m)$ oranlarında hazırlanan ve aşınma deneyine tabi tutulan numunenin aşınma yüzeyindeki izlere oranla aynı sıcaklıkta sinterlenmesine rağmen daha az belirgin olduğu görülmektedir. Dolayısı ile %77 AA2024+%20 $B_4C(22-59 \mu m)$ +%3 Y_2O_3 oranlarında hazırlanan numunenin aşınma dayanımının daha fazla olduğu kanaatine varılmıştır. Aynı şekilde, **“AA2024 Matrisli B_4C Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Vorteks Yöntemiyle Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi” konulu yapılan doktora tez çalışmasında** üretilen kompozitlerde aşınma deneyine tabi tutulan numunelerin aşınma yüzeylerindeki abrasif aşınma izlerinin takviyesiz matris alaşımında daha derin ve sürekli olduğu görülmüştür.

Deneyisel çalışma sırasında, farklı sıcaklıklarda ve oranlarda hazırlanan ve 1 N/Dak. şeklinde basma deneyine tabi tutulan kompozit malzemelerde takviye oranı arttıkça basma dayanımlarının da arttığı ve deney sonuçları incelendiğinde en yüksek basma mukavemetinin ise, 48,13 N/mm² ile % 70 AA2024+% 20 B₄C+% 10 SiC oranlarında hazırlanan kompozit malzemede olduğu görülmüştür. Aynı şekilde literatürde de **“Toz Metalurjisi İle Üretilen Alüminyum Matrisli Kompozitlerde Proses ve Malzeme Değişkenlerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkilerinin İncelenmesi”** konulu çalışmada da, Al/SiCp kompozit malzemelerin toz metalurjisi ile üretilmesi çalışmasında Magnezyumun miktarı %1'den %3'e çıkarıldığında basma mukavemetinde arttığı görülmektedir. Aynı şekilde, **“B₄C Takviyeli Alüminyum Kompozit Malzemelerin Yarı Katı Karıştırma Yöntemi İle Üretimi ve Karakterizasyonu”** konulu doktora tez çalışmasında da, AA5754/B₄C kompozit numunelere uygulanan basma testi sonucunda, B₄C takviye oranının hacimce % 20' ye çıkarılması ile birlikte basma dayanımının arttığı görülmüştür.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Yapılan çalışmada B_4C , SiC ve Y_2O_3 parçacık takviyeli AA2024 metal matrisli kompozit numuneler toz metalürjisi yöntemi ile üretilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucu elde edilen bulguların değerlendirilmesinden çıkarılan sonuçlar aşağıda sunulmuştur;

1-Partikül hacim oranının ve boyutunun artmasıyla kompozitlerin sertliklerinin artmıştır. Matris malzemesi ile kıyaslandığında, bütün Metal Matrisli Kompozit malzemelerin sertliklerinin daha fazla olduğu görülmüştür. Parçacık ilavesinin malzemenin sertliğini artırdığı anlaşılmıştır. Üretilen kompozitlerde en yüksek sertlik değeri, %70 AA2024 + %20 B_4C + %10 SiC oranlarında hazırlanan ve 595 °C’de sinterlenen kompozitte elde edilmiştir. Bu kompozitin sertliği 95,82 HB dir. Elde edilen bu değer, deney kapsamında üretimi gerçekleştirilen %100 AA2024’ün sertliğinden yaklaşık 2,6 kat daha fazladır.

2-Yapılan deney sonuçları ve SEM şekilleri incelendiğinde 550 °C sinterleme sıcaklığının yetersiz olduğu kanaatine varılmıştır.

3-En yüksek eğme mukavemeti, %10 B_4C takviyeli kompozitte elde edilmiştir.

4-Kompozitlerin yoğunluk değerleri artan takviye oranı ile azalmıştır.

5-Kompozit numunelerin kuru sürtünmeli aşınma davranışları açısından, aşınma oranları tüm numunelerde ağırlık kaybı olarak belirlenmiştir. Sabit yük altında yapılan deneylerde matrise göre seramik parçacık ile takviyelendirilmiş kompozitlerin aşınma direnci artmıştır. Kompozit bütünündeki parçacık hacim oranındaki artışa bağlı olarak, ağırlık kayıplarında bir azalma olduğu tespit edilmiştir. Toz metalürjisi yöntemi kullanılarak hazırlanan kompozit numunelerdeki aşınma özelliklerinin, parçacık hacim oranındaki artışla önemli ölçüde etkilendiği belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır.

6-Farklı hacim içerikli ve parçacık boyutlu Metal Matrisli Kompozit malzemeler ve matris alaşımı üzerinde yapılan kuru aşınma deneyi sonrası numunelerin yüzeyleri SEM altında incelenmiştir. Aşınma yüzeyinin iki karakterden oluştuğu özellikle yüzeydeki koyu kısımlar aşınmaya maruz kalan yüzeyi gösterirken diğer kısımlar ise parlak bir şekilde görünen asınmış katman şeklinde yüzeyden kopmaların olduğunu göstermektedir.

7-Yapılan metalografik incelemeler sonucunda büyük boyutlu takviye parçacıklarının AA2024 tozları içerisine gömülmesinin küçük boyutlu takviye parçacıklarına göre

daha zor olduğu görülmüştür. Bunun sebebi olarak ise, matris malzemesinin küçük parçacıklarla daha kolay soğuk kaynak olmasını gösterebiliriz.

8-Üretilen kompozit malzemelerin XRD sonuçları incelendiğinde yeni bir faz oluşumu gözlemlenmemiştir.

5.2 Öneriler

Yapılan deneysel çalışmalar sonucu elde edilen bulguların değerlendirilmesinden sonraki öneriler aşağıda sunulmuştur;

1- Aşınma testine tabi tutulan malzemeler ile farklı hızlarda özellikle yüksek hızlarda, daha ağır yükleme şartlarında ve yağlamalı ortamda deneyler yapılabilir.

2-Toz Metalurjisi metodu ile üretilen bu kompozitler ile mekanik alaşımlama metodu ile üretilen Metal Matrisli Kompozitler malzemeler arasında karşılaştırma yapılabilir.

3-Parçacık boyutu mikrondan ziyade nano ölçekli takviye parçacıklarının kullanımı ile Metal Matrisli Kompozit malzemeler üretilebilir ve fiziksel ve mekaniksel özellikleri karşılaştırılabilir.

4-Toz Metalurjisi metodu ile üretilen bu numunelerin aşınmaları, istatistiksel analizleri yapılarak modellenenebilir.

5-Üretilen kompozit malzemelerin korozyon dayanımları incelenebilir.

6-Benzer çalışmalar, B_4C , SiC ve Y_2O_3 yerine nitrür ve diğer oksit esaslı farklı katkılarla da gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Prof. Dr. Aran A., Malzeme Bilimi Ders Notları, İTÜ Makine Mühendisliği, 2008.
- [2] Kılıç E. F., Alüminyum Alaşımlı SİC Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalürjisi Yöntemiyle Üretimi Ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi, Ankara, 2007(Y. Lisans Tezi, Eylül 2007)
- [3]http://www.sabis1.sakarya.edu.tr/dosyalar/kenyil/file/malzeme1_part1.pdf(06.12.2014)
- [4]http://foimyo.kocaeli.edu.tr/dosyalar/malzeme_bilimi/1.Malzeme_bilimine_giris.pdf(29/12/2015)
- [5]http://makina.beun.edu.tr/eskisite/dersler/MAK151_Makina_Muhendisligi/Notlar/06_Malzeme%20Bilgisi.pdf(29.12.2015)
- [6] <http://www.kompozit.org.tr/documents/bildirimler/tez.pdf>(06.01.2016)
- [7](<http://www.bilgiustam.com/kompozit-malzemeler-hakkindahersey/>)(06.12.2014)
- [8] Prof. Dr. Y. Şahin, Kompozit Malzemelere Giriş Kitabı, Sayfa 44, Seçkin Yayınevi, Ankara, 2006.
- [9] Pul M., Çalın R., Çıtak R., Ulvi Şeker-Al Matrisli MgO Takviyeli Kompozit Malzemelerin Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 26, No 1, 81-88, 2011.
- [10] Tekmen Ç., Metal Matriksli Kompozitlerin Sıkıştırılmalı Döküm Yöntemiyle Üretimi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Malzeme Anabilim Dalı, İzmir, 2006(Doktora Tezi)
- [11] Çolak F., Kimyasal Metotla Nikel Kaplanmış Tungsten Karbür Tozları Kullanılarak Seramik- Metal Kompozit Malzeme Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Afyon, 2004(Y. Lisans Tezi)
- [12] Korçak M., Seramik Takviyeli Çinko Metal Matrisli Kompozit Malzeme Üretimi ve Karakterizasyonu, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği, Ankara, 2005(Y. Lisans Tezi)
- [13]http://www.google.com.tr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiZhqO6koPKAhVFiiwKHSXlBwEQFgg_MAY&url=http%3A%2F%2Fmuhendislik.istanbul.edu.tr%2Fmetalurji%2Fwpcontent%2Fuploads%2F2013%2F09%2Fk12.pptx&usg=AFQjCNGa2pZ5LOBhxWp55m01VAKnV0KFwg(30/12/2015)
- [14] Yavuz N., Güner R, Demir Esaslı Toz Metal Parçaların Elektrik Direnç Kaynağında Optimum Kaynak Şartlarının Belirlenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 7, Sayı 1, 2002.

[15] Dr. M.Aydın, Dr. M.Gavas, Dr. M. Yaşar ve Dr. Y. Altunpak, Üretim Yöntemleri ve İmalat Teknolojileri Kitabı, Sayfa 231, Seçkin Yayınevi, Ankara,2012.

[16] Yılmaz R., Özyürek D., Toz Metalurjisi İle Üretilen Fe-Cu-C Esaslı Malzemelerin Aşınma Özellikleri, 5. Uluslararası _leri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13–15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye.

[17] Baksan B., Gürler R., Toz Metalurjisinin Savunma Sanayiinde Uygulanması, Osmangazi Üniversitesi, Metalürji Enstitüsü, Eskişehir.

[18] Köksal F., Al-Cu-SiC ve Al-Cu-B₄C Kompozitlerin Sıcak Presleme Yöntemi İle Üretimi ve Aşınma Özelliklerinin Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, 2004(Yüksek Lisans Tezi)

[19] Köksal N. S., Taştan F., Demir Esaslı TM Malzemelere Cu Ve Ni İlavesi İle Mekanik Özelliklerin Değişimi, C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 4.1 (2008) 55 – 64, Manisa.

[20] Başaran A., Toz Metal Parçalara Isıl ve Mekanik Yüzey İşlemlerin Birlikte Uygulanabilirliğinin Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, 2007(Doktora Tezi)

[21] Degirmencioğlu S. D., Akımsız Nikel Kaplamanın Demir Esaslı T/M Malzemelerde Aşınma Dayanımına Etkisi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi, Ankara,2005(Yüksek Lisans Tezi)

[22] Dr. M. Aydın, Dr. M. Yaşar, Dr. M. Gavas, Dr. Y. Altunpak, Üretim Yöntemleri ve İmalat Teknolojileri, S. 232, Ankara, 2012.

[23]<http://muh.bartın.edu.tr/Files/ii3ycincfiisvqehmgza0i5hg20131225112947ii3ycincfiisvqehmgza0i5hg20131225112947.pdf>(30/12/2015)

[24] <http://polen.itu.edu.tr/bitstream/11527/11291/1/1193.pdf>(30/12/2015)

[25] Sabancı Ş., Fiber Takviyeli Polimer Matriksli Kompozitlerin Enjeksiyon Yöntemi İle Üretimi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Anabilim Dalı, İstanbul, 2005(Yüksek Lisans Tezi)

[26] Yakut R., B₄C Takviyeli Alüminyum Kompozit Malzemelerin Yarı Katı Karıştırma Yöntemi İle Üretimi ve Karakterizasyonu, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim DALI, EDİRNE, 2015.(Doktora Tezi)

[27] Eserci D., Alümina, Zirkonya ve Alümina-Zirkonya Kompozit Malzeme Üretimi, Karakterizasyonu ve Etkin Difüzyon Sabitinin Bulunması, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği, Ankara, 2007(Y.Lisans Tezi)

[28](http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/imalattakompozit/MMK_son (07.12.2014)

[29] Kurşun T., Alüminyum Esaslı SiC Takviyeli Metal Matrisli Kompozitlerin Birleştirilmesinde Al_4C_3 Oluşumunun Önlenmesi ve Sinerjik Kontrollü Darbeli Mıg (Gmaw-P) Kaynak Yöntemi, Selçuk Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Teknik-Online Dergi, Cilt 10, Sayı:1-2011.

[30] Kumdalı F., Alüminyum Matrisli B_4C Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemi İle Üretimi , Yıldız Teknik Üniversitesi FBE Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı Malzeme Programı, İstanbul,2008(Y. Lisans Tezi)

[31] http://www.serfed.com/content_files/dergi/17/16.pdf(31/12/2015)

[32] http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi145/d145_1118.pdf(30/12/2015)

[33] Altuner S., Keleşoğlu E., Al_2O_3 Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozitlerde Y_2O_3 Arayüzey Kaplamasının Islatma Özelliklerine Etkileri, Yıldız Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 252-258, 2012.

[34] M. Özcömert, Otomotiv Endüstrisinde Alüminyum, İstanbul Ticaret Odası, Aralık 2006.

[35] Karabulut H., Toz Metalurjisi Yöntemiyle Al_2O_3 , SiC ve B_4C Takviyeli Al Matrisli Kompozit Üretiminde Mekanik Alaşımlama Süresinin Kompozit Özelliklerine Etkisi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi, Ankara, 2011(Doktora Tezi)

[36]http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/malzeme2/Aluminyum_ve_Aluminyum_Alasimlari.pdf(30/12/2015)

[37] Aydın H., Bayram A., Farklı Isıl İşlem Koşullarındaki 2024 Alüminyum Alaşımlarının Korozyon Sonrası Mekanik Özelliklerindeki Kaybın Belirlenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 15, Sayı 1, 2010.

[38] Şık A., Ertürk İ. ve Önder M., AA2024 Alüminyum Alaşımlarının Sürtünme Karıştırma Kaynağında Farklı Parametrelerin Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt 16, Sayı 2, 2010, Sayfa 139-147.

[39] Uzun M. B., Sürtünme Kaynak Makinasının İmalatı ve Kullanılabilirliği, Süleyman Demirel Üniversitesi, FEN Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Isparta, 2007(Yüksek Lisans Tezi)

[40] Aydın H., Bayram A., Farklı Isıl İşlem Koşullarındaki 2024 Alüminyum Alaşımlarının Korozyon Sonrası Mekanik Özelliklerindeki Kaybın Belirlenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 15, Sayı 1, 2010.

[41] Zhuoqiang Mo, Yunzhong Liu, Jiangjiang Geng, Teng Wang, The effects of temperatures on microstructure evolution and mechanical properties of B_4C -AA2024 composite strips prepared by semi-solid powder Rolling, Materials Science and Engineering: A Volume 652, 15 January 2016, Pages 305–314.

[42] R. Seetharaman, V. Ravisankar, V. Balasubramanian, Corrosion performance of friction stir welded AA2024 aluminium alloy under salt fog conditions, Trans. Nonferrous Met. Soc. China 25(2015) 1427–1438.

[43] Karaçay E., Bor Karbür Üretimi ve Karakterizasyonu, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği, Ankara, 2008(Y. Lisans Tezi)

[44] Toptan F., Alüminyum Matrisli B₄C Takviyeli Kompozitlerin Döküm Yöntemi ile Üretimi, YTÜ, FBE, 2006(Y.Lisans Tezi)

[45] Çanakçı A., AA2024 Matrisli B₄C Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Vorteks Yöntemiyle Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi FBE, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, 2006(Doktora Tezi)

[46] Özdemir T., Bor Karbür Esaslı Seramik Metal Kompozitlerinin Ultrases Dalga Hız Metodu İle Ortalama Tanecik Boyutlarının Tayini, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Afyon, 2006(Yüksek Lisans Tezi)

[47] Öztürk M., SiC İlaveli Alümina Seramik Kompozitler, Sakarya Üniversitesi, FBE, Metalurji ve Malzeme Bilimi Müh., Sakarya, 2007(Y.Lisans Tezi)

[48]<http://www.metall.com.cn/yo.htm?gclid=COztuOqSmrcCFYFY3godQQIAKA> (25/12/2015)

[49] <http://de.wikipedia.org/wiki/Yttriumoxid>(25/12/2015)

[50]<http://translate.google.com.tr/translate?hl=tr&sl=en&u=http://www.reade.com/products/35-oxides-metallic-powders/826-yttria-powder-yttrium-oxide-powder-y203-yttriumiii-oxide-diyttrium-trioxide-yttrium-sesquioxide-cas-1314-36-9-&prev=/search%3Fq%3DY2O3%26biw%3D1680%26bih%3D891>(25/12/2015)

[51]<http://www.dersimiz.com/bilgibankasi/ITRIYUM-ELEMENTI-VE-KULLANIM-ALANLARI-HAKKINDA-BILGI-408.html#.UZY0Pb5rO9I>(25/12/2015)

[52]http://www.google.com.tr/url?sa=t&rct=j&q=itriyum%20oksit%20%C3%B6nemli%20%C3%B6zelli%C4%9Fi%20&source=web&cd=10&cad=rja&ved=0CF0QFjAJ&url=http%3A%2F%2Fwww.fenimining.com%2Fupload%2Fdosyalar%2Fm_dosyalar_1315071263.doc&ei=dCyWUZuZM46qOuyVgFA&usg=AFQjCNGxBpDkzdAelB9V5hm7jmMlwFzOhQ(26/12/2015)

[53]<http://www.goodfellow.com/E/Yttrium-Oxide.html?referrer=AZOMDOTCOM&id=3926>(25/12/2015)

[54]http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/f0e3dad99908345_ek.pdf?dergi=20 (31/12/2015)

[55] <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=2277>(29/12/2013)

[56] [http://translate.google.com.tr/translate?hl=tr&langpair=en%7Ctr&u=http://www.azom.com/article.aspx%3FArticleID%3D75&ei=fZ7FUMnpPIj64QTuw4DoDw\(31/12/2015\)](http://translate.google.com.tr/translate?hl=tr&langpair=en%7Ctr&u=http://www.azom.com/article.aspx%3FArticleID%3D75&ei=fZ7FUMnpPIj64QTuw4DoDw(31/12/2015))

[57] [http://translate.google.com.tr/translate?hl=tr&langpair=en%7Ctr&u=http://accuratus.com/silicar.html\(31/12/2015\)](http://translate.google.com.tr/translate?hl=tr&langpair=en%7Ctr&u=http://accuratus.com/silicar.html(31/12/2015))

[58] [http://translate.google.com.tr/translate?hl=tr&langpair=en%7Ctr&u=http://www.matbase.com/material/ceramics/carbides/b4c/properties&ei=96nFUJP0B4KJ4ASB9oCQBA\(31/12/2015\)](http://translate.google.com.tr/translate?hl=tr&langpair=en%7Ctr&u=http://www.matbase.com/material/ceramics/carbides/b4c/properties&ei=96nFUJP0B4KJ4ASB9oCQBA(31/12/2015))

[59] [http://www.belgeler.com/blg/17k5/pvd-yontemi-ile-kaplanan-hss-takim-celiklerinin-karakterizasyonu-ve-asinma-dayaniminin-incelenmesi\(22.03.2012\)](http://www.belgeler.com/blg/17k5/pvd-yontemi-ile-kaplanan-hss-takim-celiklerinin-karakterizasyonu-ve-asinma-dayaniminin-incelenmesi(22.03.2012))

[60] Karakaş, Y., Soykan H.Ş., Mahmutoğlu Z., Aslanoğlu Z., Çelik yüzeylerin kaplanması, Erdemir Bilim ve Teknoloji Serisi,36,95-96,189,189-191,221,268-269(2006)

[61] [http://metalurji.kocaeli.edu.tr/files/DersNotlari/mmt309-051.pdf\(31/12/2015\)](http://metalurji.kocaeli.edu.tr/files/DersNotlari/mmt309-051.pdf(31/12/2015))

[62] [http://www.ippcm.com/Haber/Akimsiz-Nikel-Fosfor-Ni-P-Kaplama-ve-Isil-Islem.html\(31/12/2015\)](http://www.ippcm.com/Haber/Akimsiz-Nikel-Fosfor-Ni-P-Kaplama-ve-Isil-Islem.html(31/12/2015))

[63] [http://www.whitfordww.com/pdf/newsletters/PKN_nsltr_2_Autumn_TKY.PDF\(31/12/2015\)](http://www.whitfordww.com/pdf/newsletters/PKN_nsltr_2_Autumn_TKY.PDF(31/12/2015))

[64] [http://www.kimmuh.com/evcin/coating/coating8.pdf\(31/12/2015\)](http://www.kimmuh.com/evcin/coating/coating8.pdf(31/12/2015))

[65] Prof.Dr. K. Onaran, Malzeme Bilimi Kitabı, Sayfa 1, Bilim Teknik Yayınevi, 2003.

[66] Albiter A., Leo'n C.A., Drew R.A.L., Bedolla E., Microstructure And Heat Treatment Response Of Al-2024:TiC Composites, Materials Science and Engineering A289 (2000) 109–115.

[67] Özel S., Çelik E., Turhan H., Sıcak Presleme İle Üretilen Cu-Al/B₄C Kompozit Malzemenin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, e-Journal of New World Sciences Academy 2009, Volume: 4, Number: 1, Article Number: 1A0012.

[68] Kök M., Fen ve Mühendislik Dergisi 2001, Al₂O₃ Partikül Takviyeli 2024 Alüminyum Metal Matriksli Kompozitlerin Üretimi, Cilt 4, Sayı 2.

[69] Dörtbölük C., Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemelerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilmesi ve Karakterizasyonu, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Zonguldak, 2006.(Y. Lisans Tezi)

[70] Abenojar J., Velasco F., Martinez M.A., 2006, "Optimization of Processing Parameters for The Al + 10% B₄C System Obtained by Mechanical Alloying", Journal of Materials Processing Technology 184 (2007) 441–446.

- [71] Ipek R., "Adhesive wear behaviour of B4C and SiC reinforced 4147 Al matrix composites (Al-BaC-Al SiC)", Journal of Materials Processing Technology 162–163 (2005) 71–75, Dumlupinar University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering, 43100 Kütahya, Turkey
- [72] Toptan F., Kilicarslan A., Karaaslan A., Çiğdem M., I.Kerti, "Processing and microstructural characterisation of AA 1070 and AA 6063 matrix B4Cp reinforced composites", Materials and Design 31 (2010) S87–S91.
- [73] Topcu İ., Gulsoy H.O., Kadioglu N., A.N. Gulluoglu, 2009, "Processing and Mechanical Properties of B4C Reinforced Al Matrix Composites", Journal of Alloys and Compounds 482 (2009) 516–521.
- [74] Yang, J., Chung, D.D.L., "Wear of bauxite-particle reinforced aluminum alloys", Composite Materials Research Laboratory, Furnas Hall, State University of New York, Buffalo, NY 14260(U.S.A.), Wear, 135: 53-65 (1989).
- [75] Pul M., Şeker U., Vakumlu İnfiltrasyon Yöntemiyle Üretilen Al-Mgo Kompozitlerin Tornalanmak Suretiyle İşlenmesinde Farklı Kesici Takımların Aşınma Davranışlarının Değerlendirilmesi, Journal Of Engineering And Natural Sciences, Sigma 28, 179-187, 2010.
- [76] Karabulut H. ve Çıtak R., Al Matrisli Ve SiC Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Farklı Mekanik Alaşımlama Sürelerinde Üretilmesi Ve Karakterize Edilmesi, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey.
- [77] Karaşoğlu M., Karaoğlu S. "Toz Metalurjisi ile Üretilen Alüminyum Matrisli Kompozitlerde Proses ve Malzeme Değişkenlerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkilerinin İncelenmesi," Mühendis ve Makina, cilt 55, sayı 649, s. 17-23, 2014.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Yılmaz MUTLU

Doğum Yeri ve Yılı : Manisa, 1982

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Manisa Lisesi, 2000

Ön Lisans : Selçuk Üniversitesi, Karaman Meslek Yüksek Okulu, Seramik Bölümü, 2002

Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, 2008