



**BORLAMA PROSESİNİN B₄C TAKVİYELİ
AL7075-T6 ALAŞIMLARININ AŞINMA VE
KOROZYON DAVRANIŞLARINA ETKİSİ**

Seyit Ali KARA

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Cevat ÖZARPA**

**BORLAMA PROSESİNİN B4C TAKVİYELİ AL7075-T6 ALAŞIMLARININ
AŞINMA VE KOROZYON DAVRANIŞLARINA ETKİSİ**

Seyit Ali KARA

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Cevat ÖZARPA**

**KARABÜK
Haziran 2022**

Seyit Ali KARA tarafından hazırlanan “BORLAMA PROSESİNİN B₄C TAKVİYELİ AL7075-T6 ALAŞIMLARININ AŞINMA VE KOROZYON DAVRANIŞLARINA ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Cevat ÖZARPA

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 29/06/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Muhammed Hüseyin ÇETİN (KTUN)

.....

Üye : Doç. Dr. İsmail ESEN (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Cevat ÖZARPA (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Seyit Ali KARA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BORLAMA PROSESİNİN B₄C TAKVİYELİ AL7075-T6 ALAŞIMLARININ AŞINMA VE KOROZYON DAVRANIŞLARINA ETKİSİ

Seyit Ali KARA

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Cevat ÖZARPA

Haziran 2022, 86 sayfa

Bu çalışmada Al7075-T6 alaşımı, Al7075 + %10 B₄C ve Al7075 + %20 B₄C olarak toz metalürjisi yöntemi ile iki adet bor karbür takviyeli metal matris kompozit malzemeleri üretilmiştir. Toz karışımları hazırlandıktan sonra 600 MPa basınçta kapsül numuneler sıkıştırılmış ve sonrasında 550 °C 3 saat sinterleme işlemi uygulanmıştır. Tüm alaşım ve kompozitlere 72 saat sürede T6 ısıl işlemi uygulanmıştır. Kompozitlerin kuru aşınma ve elektro korozyon aşınma davranışları incelenmiş ve Vickers sertlik ölçüm cihazında mikro sertlikleri ölçülmüştür. Kuru sürtünme testi sonucunda en az ağırlık kaybı Al7075 + %10 B₄C kompozitinde meydana gelmiştir. En fazla aşınma sonrası ağırlık kaybı Al7075 alaşımında meydana gelmiştir. Al7075 + %20 B₄C kompozitinde aşınma miktarı %10 B₄C takviyeli kompozitten daha yüksektir. 200 metre adımlar halinde 1000 metre kuru sürtünme testinde Al7075'de 0.3124 g, Al7075 + % 20 B₄C'de 0.1880 g, Al7075 + %10 B₄C'de

0.0616 g ağırlık kaybı yaşanmıştır. Elde edilen bulgular numunelerin aşınma hızları hesaplanmıştır. Aşınma hızı en az olan numune %10 B₄C takviyeli Al7075 numunesi olduğu görülmüştür. Yapılan korozyon incelemesinde Al7075 I_{corr} değeri 2.62E-4, E_{corr} değeri -1.13, %10 B₄C takviyeli Al7075 I_{corr} değeri -4.34E-5, E_{corr} değeri -0.813, %20 B₄C takviyeli Al7075 I_{corr} değeri -2.95E-5, E_{corr} değeri -0.717 çıkmıştır. Yaşlandırma işlemi yapılmış olan numunelerde yapılan mikro sertlik incelemelerin sertlik değerleri Al7075 için 63.2 HV, %10 B₄C takviyeli Al7075 için 87.24 HV, %20 B₄C takviyeli Al7075 için 102 HV, yaşlandırma işlemi yapılmamış numunelerde yapılan mikro sertlik incelemelerin sertlik değerleri Al7075 için 45.56 HV, %10 B₄C takviyeli Al7075 için 79.42 HV, %20 B₄C takviyeli Al7075 için 95.34 HV olarak tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalarda mikro yapı görüntüleri alınarak tanecik boyutları da incelenmiştir. Deneylerden sonra numunelerin tamamından SEM görüntüleri ve EDX analizleri alınmış ve numunelerin yüzeylerindeki faz durumları da incelenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Al7075, Aşınma, Korozyon, Bor Karbür (B₄C), Toz Metalürjisi.

Bilim Kodu : 91417

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

EFFECT OF BORING PROCESS ON WEAR AND CORROSION BEHAVIOR OF B₄C REINFORCED AL7075-T6 ALLOYS

Seyit Ali KARA

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Cevat ÖZARPA

June 2022, 86 pages

In this study, two boron carbide reinforced metal matrix composite materials were produced by powder metallurgy method as Al7075 alloy and Al7075 + 10% B₄C / Al7075 + 20% B₄C. After the powder mixtures were prepared, the capsule samples were compressed at 600 MPa pressure and then sintered at 550 °C for 3 hours. T6 heat treatment was applied to all alloys and composites for 72 hours. Dry wear and electro corrosion wear behaviours of the composites were investigated and their microhardness was measured with a Vickers hardness measuring device. As a result of the dry friction test, the least weight loss occurred in Al7075 + 10% B₄C composite. The highest post-wear weight loss was in Al7075. The amount of wear in Al7075 + 20% B₄C composite is higher than Al7075 + 10% B₄C composite. In the 1000 meters dry wear test in 200 meters steps, a weight loss of 0.3124 g in Al7075, 0.1880 g in Al7075 + 20% B₄C, and 0.0616 g in Al7075 + 10% B₄C was experienced. The wear

rates of the samples were calculated based on the findings. It was observed that the sample with the least wear rate was 10% B₄C reinforced Al7075 sample. In the corrosion examination, Al7075 I_{corr} is 2.62E-4, E_{corr} is -1.13, 10%B₄C reinforced Al7075 I_{corr} is -4.34E-5, E_{corr} is -0.813, 20% B₄C reinforced Al7075 I_{corr} is -2.95E-5, E_{corr} is 0.717. The hardness values of the microhardness examinations made on the samples that aged, 63.2 for Al7075, 87.24 for 10% B₄C reinforced Al7075, 102 for 20% B₄C reinforced Al7075, the hardness values of the microhardness examinations made on the samples that unaged, 45.56 for Al7075, 79.42 for 10% B₄C reinforced Al7075 and 95.34 for 20% B₄C reinforced Al7075. In the studies, microstructure images were taken with particle sizes. In the results of all experiments, SEM images and EDX analyzes were taken with the phase states on the surfaces of the samples.

Key Word : Al7075, Wear, Corrosion, Boron Carbide (B₄C), Powder Metallurgy.

Science Code : 91417

TEŞEKKÜR

Yapılmış olan tez alıőmasının planlanması, araştırılması ve yürütülmesinde ilgisini ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Cevat ÖZARPA'ya, yapılan testlerde ve sonuçların değerlendirilmesinde desteklerinden dolayı Doç. Dr. İsmail ESEN'e, Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI'ya, sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Bu tez alıőması KBÜBAP-22-YL-040 proje numarası ile Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiőtir. Verdiği destekten dolayı Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne teőekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar ve atölye çalıőmalarında ve yapmıő olduğum testlerde her daim yanımda bulunan ve bana yardımcı olan ancak isimlerini yazmakla bitiremeyeceğim tüm arkadaşlarıma sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için sevgili aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	5
LİTERATÜR	5
2.1 ALÜMİNYUM KOMPOZİT VE ALÜMİNYUM ALAŞIM TÜRLERİ.....	6
2.1.1 Al7075.....	6
2.2 BOR VE BOR ALAŞIM TÜRLERİ.....	6
2.2.1 Bor Alaşımları ve Malzemelere Olan Katkıları	7
2.2.1.1 B ₄ C (Bor Karbür)	7
2.2.1.2 AlB ₂ (Alüminyum Diborür)	8
2.2.1.3 AlB ₁₂ (Alüminyum Dodekaborür)	8
2.2.1.4 MgB ₂ (Magnezyum Diborür).....	8
BÖLÜM 3	10
KOMPOZİTLERİN TOZ METALÜRJİSİ VE ÜRETİMİ.....	10
3.1 TOZ METALÜRJİSİNDE ÜRETİM AŞAMALARI.....	10
3.1.1 Toz Üretimi	10
3.1.2 Toz Karıştırma Tekniği.....	11

	<u>Sayfa</u>
3.2 Sıkıştırma	11
3.3 Sinterleme	14
3.4 T6 Isıl İşlem	16
BÖLÜM 4	17
DENEYLER.....	17
4.1 YOĞUNLUK ÖLÇÜMÜ.....	17
4.2 SPEKTRAL ANALİZ, EDX & XRF ANALİZİ	18
4.3 MİKRO YAPI İNCELEMESİ	19
4.4 SERTLİK ANALİZİ.....	19
4.5 SEM ANALİZİ	20
4.6 AŞINMA KARAKTERİSTİĞİ	21
4.7 KOROZYON KARAKTERİSTİĞİ.....	23
BÖLÜM 5	25
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	25
5.1 YOĞUNLUK ÖLÇÜMÜ.....	25
5.1.1 Porozite Hesabı	26
5.2 SPEKTRAL ANALİZ, EDX & XRF ANALİZİ	27
5.3 MİKRO YAPI İNCELEMESİ	28
5.4 SERTLİK ANALİZİ.....	30
5.5 SEM ANALİZİ	35
5.6 AŞINMA KARAKTERİSTİĞİ	61
5.7 KOROZYON KARAKTERİSTİĞİ.....	75
BÖLÜM 6	79
SONUÇLAR	79
KAYNAKLAR	82

	<u>Sayfa</u>
ÖZGEÇMİŞ	86

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1: MgB ₂ Alaşım kristalize yapısı.....	9
Şekil 3.1. V Tipi Karıştırıcı.....	11
Şekil 3.2. H tipi Pres Makinesi.	12
Şekil 3.3. Numuneler için silindirik kalıp.	13
Şekil 3.4. Presleme sonrasında kalıptan çıkartılmış olan numune örneği.....	13
Şekil 3.5. Sinterlenecek olan numuneler için kullanılan fırın.	14
Şekil 3.6. Sinterleme işlemi için numunelerin fırına yerleştirilmesi.....	15
Şekil 3.7. Sinterleme sonrası numunelerin fırından çıkartılması.	16
Şekil 4.1. Arşimet prensibine göre yoğunluk hesabını yapmak için kullanılan beher	18
Şekil 4.2. Vickers Mikrosertlik Cihazı.....	20
Şekil 4.3. SEM görüntülerinin alındığı cihaz.....	21
Şekil 4.4. Kuru aşınma deneyi cihazı.....	22
Şekil 4.5. Kuru aşınma cihazı test numunesi yerleştirilmiş olan bölge.	22
Şekil 4.6. Korozyon numunelerinin hazırlanışı ve test araç gereçleri (a) Karbon elektrot bağlı beher, (b) Doygun kalomel elektrot, (c) Verilerin kayıt altına alındığı düzeneğin bağlı olduğu bilgisayar, (d) Hazırlanmış ve test aşamasında olan düzenek, (e) Test edilmeye hazır olan numune örneği... 24	24
Şekil 5.1. Numunelerde ölçülmüş olan yoğunluk değerleri.....	26
Şekil 5.2. Takviyesiz Al7075 100x büyütme ile çekilmiş metalografik görüntüsü... 28	28
Şekil 5.3. %10 B ₄ C takviyeli Al7075 100x büyütme ile çekilmiş metalografik görüntüsü.	29
Şekil 5.4. %10 B ₄ C takviyeli Al7075 100x büyütme ile çekilmiş metalografik görüntüsü.	30
Şekil 5.5. Vickers Mikrosertlik Ölçümü Numune üzerindeki ölçüm noktaları (a) Takviyesiz Al7075 numunesi üzerinde sertlik ölçüm noktası, (b) %10 B ₄ C takviyeli Al7075 numunesi üzerinde sertlik ölçüm noktası, (c) %20 B ₄ C takviyeli Al7075 numunesi üzerinde sertlik ölçüm noktası	32
Şekil 5.6. İşlemsiz takviyesiz Al7075 ve 72 saat menevişlenmiş takviyesiz Al7075 Vickers mikro sertlik değerindeki değişim.....	33
Şekil 5.7. Yaşlandırma işlemi görmüş ve görmemiş olan numunelerin sertlik değerlerinin kıyaslanması.....	34

Sayfa

- Şekil 5.8. Takviyesiz Al7075 SEM görüntüsü. (a) Takviyesiz Al7075 1kX büyütme SEM görüntüsü. (b) Takviyesiz Al7075 3kX büyütme SEM görüntüsü. (c) Takviyesiz Al7075 3kX büyütme SEM görüntüsü ve tanecik boyutları. (d) Takviyesiz Al7075 10kX büyütme SEM görüntüsü. 37
- Şekil 5.9. %10 B₄C takviyeli Al7075 SEM görüntüleri; (a) 1kX büyütme; (b) Şekil 5.5.9.(a)'daki dikdörtgenin olduğu bölgenin 3kX büyütmesi; (c) Tane boyutlarının boyutu ile 3kX büyütme; (d) 5kX büyütmede görüntü EDX analizi; (e) Şekil 5.5.9.d'deki EDX görüntüsünün element haritası (f) EDX XRF analizi. 41
- Şekil 5.10. %10 B₄C takviyeli Al7075 mapping görüntüleri; (a) B elementi mapping görüntüleri; (b) C elementi mapping görüntüleri; (c) Mg elementi mapping görüntüleri; (d) Al elementi mapping görüntüleri; (e) Si elementi mapping görüntüleri; (f) S elementi mapping görüntüleri; (g) Ca elementi mapping görüntüleri; (h) Cr elementi mapping görüntüleri; (i) Mn elementi mapping görüntüleri; (j) Fe elementi mapping görüntüleri; (k) Cu elementi mapping görüntüleri; (l) Zn elementi mapping görüntüleri; (m) Ga elementi mapping görüntüleri. 48
- Şekil 5.11. %20 B₄C takviyeli Al7075'in SEM görüntüleri verilmiştir; (a) 1kX büyütme; (b) Şekil 5.5.11.a'daki dikdörtgenin olduğu bölgenin 3kX büyütmesi; (c) Tane boyutlarının boyutu ile 3kX büyütme; (d) 5kX büyütmede görüntü EDX analizi; (e) Şekil 5.5.11.d'deki EDX görüntüsünün elementel eşlemesi; (f) Şekil 5.5.11.d'de işaretli bölge 1 Şekil 5.5.11.d, %20 B₄C takviyeli Al7075'in 5kX büyütmede mikroyapı görüntüsü. 52
- Şekil 5.12. %20 B₄C takviyeli Al7075 mapping analizi element sonuçları; (a) B elementi mapping görüntüleri; (b) C elementi mapping görüntüleri; (c) Mg elementi mapping görüntüleri; (d) Al elementi mapping görüntüleri; (e) Si elementi mapping görüntüleri; (f) S elementi mapping görüntüleri; (g) Ca elementi mapping görüntüleri; (h) Cr elementi mapping görüntüleri; (i) Mn elementi mapping görüntüleri; (j) Fe elementi mapping görüntüleri; (k) Cu elementi mapping görüntüleri; (l) Zn elementi mapping görüntüleri; (m) Ga elementi mapping görüntüleri. 59
- Şekil 5.13. Kuru aşınma sonrasında malzemelerde oluşan ağırlık kayıplarının grafiği. 62
- Şekil 5.14. Aşınma deneyi sonrası numunelerde oluşan aşınma hızları 63
- Şekil 5.15. %10 B₄C takviyeli Al7075 aşınan numunelerin SEM görüntüleri; (a) 1kX görüntü EDX analizi; (b) Şekil 5.6.15.a'daki EDX elementsel mapping görüntüsünün büyütmesi; (c) 200X büyütme; (d) 500X büyütme; (e) 1kX büyütme. 67
- Şekil 5.16. %20 B₄C takviyeli Al7075 numunenin aşınma SEM görüntüleri; (a) 1kX'te görüntü EDX analizi; (b) Şekil 5.6.15.a'daki EDX görüntüsünün elementel mapping büyütmesi; (c) 200X büyütme; (d) 500X büyütme; (e) 1kX büyütme. 70

Şekil 5.17. Çeşitli oranlarda B ₄ C takviyeli ve takviyesiz Al7075 sürtünme katsayısı değişimi.	71
Şekil 5.18. Aşınma yüzeylerinde alınan görüntüler. (a) %10 B ₄ C takviyeli Al7075 aşınma yüzeyi 200 büyütme görüntüsü. (b) %10 B ₄ C takviyeli Al7075 aşınma yüzeyi 500 büyütme görüntüsü. (c) %10 B ₄ C takviyeli Al7075 aşınma yüzeyi 1000 büyütme görüntüsü. (d) %10 B ₄ C takviyeli Al7075 aşınma yüzeyi 200 büyütme görüntüsü. (e) %20 B ₄ C takviyeli Al7075 aşınma yüzeyi 500 büyütme görüntüsü. (f) %20 B ₄ C takviyeli Al7075 aşınma yüzeyi 1000 büyütme görüntüsü.	75
Şekil 5.19. Tüm numunelerin korozyon deneyi sonuçları.	76
Şekil 5.20. Numunelerin I _{corr} değerleri.	77
Şekil 5.21. Numunelerin E _{corr} Değerleri.	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Alüminyum genel fiziksel özellikleri.....	5
Çizelge 5.1. Numune yoğunluk ölçümü sonuçları.....	25
Çizelge 5.2. Porozite hesabı sonuçları.	27
Çizelge 5.3. Numunelerin spektral analiz sonuçları.....	27
Çizelge 5.4. Vickers mikrosertlik ölçümleri ortalama değerleri.....	31
Çizelge 5.5. %10 B ₄ C takviyeli Al7075 için Şekil 5.5.8.(b) üzerinde gösterilen alandan alınmış spektral analiz sonuçları..	38
Çizelge 5.6. %10 B ₄ C takviyeli Al7075 için Şekil 5.5.9 ile gösterilen alandan alınmış spektral analiz sonuçları.	49
Çizelge 5.7. %20 B ₄ C takviyeli Al7075 için Şekil 5.5.11.(f)'te gösterilen alandan alınmış spektral analiz sonuçları.	60
Çizelge 5.8. Kuru aşınma deneyi sonrasında numunelerde oluşan ağırlık kayıpları..	61

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Ag	: Gümüş
Al	: Alüminyum
Ar	: Argon
Au	: Altın
Cu	: Bakır
H ₂	: Hidrojen
Mg	: Magnezyum
Ni	: Nikel
Ti	: Titanyum
Zn	: Çinko
Cu	: Bakır
g	: Gram
cm ³	: Santimetre küp
K	: Kelvin
F	: Fahrenheit
kj	: Kilo joule
kmol	: Kilo mol
°C	: Santigrad derece
B	: Bor
mm	: Milimetre
ρ	: Rho
m	: Metre
v	: Hacim
Si	: Silisyum
S	: Kükürt
Ca	: Kalsiyum

Ni : Nikel
Fe : Demir
Ga : Galyum
F : Kuvvet
d : Köşegen uzunluğu
s : Saniye
E_{corr} : Korozyon gerilimi
I_{corr} : Korozyon akımı
Mo : Molibden

KISALTMALAR

AISI : American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
ASTM: American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu)
DIN : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
EN : European Norm (Avrupa Normu)
MARGEM : Malzeme Araştırma Geliştirme Merkezi
SEM : Scanning Elektronical Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
BS EN 573-3:2019 : Aluminium and aluminium alloys - Chemical composition and form of wrought products - Part 3
EDS : Energy-dispersive X-ray spectroscopy (Enerji Dağılımlı X-Işın Spektroskopisi)
XRF : X-ray fluorescence (X ışını floresansı)
B₄C : Bor Karbür
TiC : Titanyum Karbür
TiB₂ : Titanyum Borür
MgB₂ : Magnezyum Borür
AlB₂ : Alüminyum Borür
AlB₁₂ : Alüminyum dedakoborid
SCE : The Saturated Calomel Electrode (Doygun Kalomel Referans Elektrot)
HNO₃ : Nitrik Asit
HCl : Hidro Klorik Asit

HV : Hardness of Vickers (Vickers Sertliği)
GPa : Giga Pascal (Giga Paskal)
MPa : Mega Pascal (Mega Paskal)
NaCl : Sodyum Klorür
H₂O : Saf Su
HF : Hidro Florik Asit
TS : Türk Standardı
mV : Milivolt
mA : Miliamper
µm : Mikro metre

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde metal malzemelerin istenilen optimum seviyede sertlik, yorulma ve aşınma değerlerini karşılamaması sebebiyle yeni malzemeler üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Duyulan ihtiyaçlara cevap olması amacıyla metal matrisli kompozitler üretilmek istenmiştir [1]. Bunun alternatifleri olarak Alüminyum (Al), Magnezyum (Mg), Nikel (Ni) ve Titanyum (Ti) gibi malzemeler metal matrisli kompozit üretiminde matris olarak kullanılmaktadır [2]. Alüminyum kompozit malzemelerin metal gibi klasik malzemelere göre en belirgin özellikleri hafif olmaları ve sahip oldukları dayanımdır. Alüminyumlar sahip oldukları düşük yoğunlukları sebebiyle oldukça fazla tercih edilen bir elementtir [3]. Düşük yoğunlukları, yüksek ısı iletimi ve sahip oldukları optimum seviyedeki dayanıklılıklarından dolayı otomotivden, havacılığa, uzay çalışmalarından, soğutma sistemlerine pek çok alanda karşımıza çıkmaktadır. Yapılan çalışmalarda alüminyum için kullanım alanlarındaki çeşitlilikler üzerinde durulmuş pek çok alanda yenilikler kazandırılmaya çalışılmıştır. Yapılan çalışmalar ile kompozit malzemelerin çekme ve darbe dayanımlarının artması, kimyasal direnç, yorulma ve elektrik özelliklerinin iyileştirilmesi sebebiyle kompozit malzemeler yaygın olarak havacılıktan otomotive, makinelerden uzay çalışmalarına pek çok alanda kullanılmaya başlanmış ve giderek yaygınlaşmıştır. Askeri alanlarda ve savunma sanayinde özellikle zırh malzemelerinde seramik ve metal matrisli kompozit malzemelerin kullanımı giderek yaygın bir hal almaya başlamıştır [4]. Kompozit malzemelerin sahip oldukları özellikler içerisinde yapılan takviyeler ile daha fazla geliştirilerek kullanım alanlarına göre daha işlevsel ve gelişmiş teknolojiler için kullanımı hedeflenmektedir. Teknolojik çalışmalarda klasik malzemelerin yerine daha mukavemet değeri yüksek, aşınma değeri düşük, ideal düşük korozyon değerine sahip malzemeler kaliteli çalışmalar yapmamıza olanak sağlayacaktır [1,5]. Metal matrisli kompozit üretiminde çoğunlukla matris olarak magnezyum, titanyum, alüminyum ve bakır tercih edilmektedir [6]. Matris elemanlarına takviye olarak

çoğunlukla Al_2O_3 , B_4C , SiC , Si_3N_4 partikülleri kullanılmaktadır [4,6,7]. Özellikle günümüzde otomotiv endüstrisinde B_4C takviyeli Al alaşımları ve komponentleri yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu takviye malzemeleri yüksek ısıl iletkenlik, düşük ısıl genleşme ve yüksek şok dirençleri kazandırmaktadır [2,8,9]. Bunun yanında boridlerin çoğu yüksek sertlik ve erime noktasına sahip kristallerdir. Kararlı kimyasal özellikleri, sertlik değerleri, aşınmaya karşı dirençleri ve geniş bir uygulama yelpazesi, kompozit malzemelerde, yarı iletkenlerde ve radyasyondan korunma gibi çeşitli ulusal savunma alanlarında yaygın olarak kullanılmasını sağlar. Yüksek seviyede kimyasal stabiliteye sahiptirler [10]. Bunlara zıt olarak düşük mukavemet değerine, kırılma tokluğuna, zayıf sinterleme performansına ve işlenebilirliğine sahiptirler. Al7075 içerisine takviye olarak eklenen alaşımların yoğunluğu azalttığı bilinmektedir [3]. Çalışma içerisinde de takviye edilen alaşımların numunelerde yoğunluğu gözlemlenmiştir. Eklenen takviye oranı ile orantılı bir biçimde yoğunluğu azalttığı görülmüştür.

Al7075 alaşımları içerisinde yaklaşık olarak %7 oranında Zn, %3 oranında Mg, %2 oranında Cu elementi içermektedir [11]. İçerisinde yer alan bu elementler ile kimyasal ve mekanik özelliklerinde değişiklikler meydana gelmektedir. İçerdiği Zn elementi ile orantısız olarak sertlik ve yoğunluk değerleri de artmaktadır. Yapılan çalışmalarda görülmüştür ki %30 oranına kadar çinko takviyesi ile Al numunelerin çekme ve basma dayanımın değerlerinde artış meydana gelmektedir. İçeriğinde %30'dan daha fazla Zn içeriği numunelerde çekme ve basma değerlerinde düşüş meydana getirmektedir [12]. Rana vd. Al7075-T651 matrisini ve B_4C ile sürtünme karıştırma kaynağı kullanılarak birleştirilmiş ve sertlik değeri ama metalden %40 daha fazla olduğunu bulmuştur [13]. Karakoç çalışmasında toz metalürjisinde Al7075 / B_4C / Si_3N_4 kompozit numunelerini üretmiştir. Çalışmasında numuneler için hazırlanan tozları 3 boyutlu karıştırıcıda 15 dakika boyunca karıştırmıştır. 450 °C sıcaklıkta 30 dakika boyunca tek yönde preslemişlerdir. Elde ettikleri numunelerin yoğunluk, gözenek, sertlik, mikroyapı ve aşınma özelliklerini incelemişlerdir. Üretilen numunelerden en sert olanı 110 HV ile Al7075 + %15 B_4C + %2 Si_3N_4 numunesidir. B_4C ve Si_3N_4 oranlarının artması ile kompozitlerde gözenek miktarları artmıştır. Sertlik değerinin artışı ile numunelerdeki sürtünme katsayısı değerinde düşüşler görülmüştür [10]. Baradeswaran ve Perumal yaptıkları çalışmada Al7075 matrisine B_4C takviyesini döküm yolu ile yaparak

mekanik ve tribolojik özelliklerini incelemiştir. Üretilmiş olan numuneler T6 ısıtma işlemine tabi tutulmuşlardır. Sertlik, çekme, basma, eğilme mukavemetleri ve aşınma davranışı açısından test edilmiştir. Aşınma testi sonucunda B₄C takviyesinin aşınma direncini arttırdığı görülmüştür. Aşınma sonrasında aşınma yüzeyinde O ve Fe elementlerine rastlanmıştır. Sürtünme katsayısı, artan B₄C ile azalma göstermiş ve hacimce %10 B₄C takviyesinde minimuma ulaşmıştır [14]. Kalaiselvan vd. döküm yolu ile Al6061-B₄C kompozit imalatı yapmışlardır. Optik mikro yapı ve Taramalı elektron mikroskobu görüntüleri numune yapısının homojen olduğu göstermektedir. B₄C takviyesinin oranının artması ile sertlik ve çekme mukavemeti gibi özelliklerin arttığı gözlemlenmiştir [15]. Shorowordi vd. karıştırmalı döküm ile hacim oranı %0-20 arasında takviyeler ile B₄C, SiC ve Al₂O₃ takviyeli Al kompozitler üretmişlerdir. Al-B₄C kompozitlerinde ara yüzeyden uzakta alüminyum matriste iki ikincil faz (alümina ve alüminyum, bor ve karbon içeren başka bir faz) bulunmuştur. Kırılma yüzeyi analizinden, B₄C takviyeli Al kompozitin diğer iki kompozitle karşılaştırıldığında daha iyi bir arayüzey bağlanması sergilediği görülmüştür [16]. Zhang vd. Al + %7 Si + %10 B₄C numunelerini incelemiştir. Kantitatif analiz sonuçlarında, döküm parçanın bir kesitinde, merkezde daha fazla partikülün konsantrasyonu olduğunu ve duvar bölgelerinde daha az partikül bulunduğunu gözlemlemişlerdir [17]. Kerti ve Toptan, B₄C ve sıvı Al ile yeni bir döküm tekniği üzerinde çalışmışlardır. Deneysel sonuç olarak daha büyük partikül boyutuna sahip B₄C ilavesinin aglomere partikül içermeyen daha iyi mikroyapı ile sonuçlandığı gösterilmiştir [18]. Rao ve Das yüksek mukavemetli alüminyum alaşımları AA7010, AA7009 ve AA2024'ün kayma aşınma özellikleri üzerindeki matris alaşımının ve SiC parçacığının etkisini araştırmışlardır. Kompozitler değişen basınç ve 3.35 m/s sabit kayma hızı altında incelenmiştir. Sonuçlar kompozitin aşınma direncinin alaşımından önemli ölçüde yüksek olduğunu ve SiC parçacıklarının eklenmesi nedeniyle daha da bastırıldığını ortaya koymuştur [19]. Karpasand vd. sürtünme karıştırma işlemi ile, altlık ile yüksek kaliteli ara yüzey bağlanması, ince yeniden kristalize matris taneleri ve homojen dağılımı ile çeşitli miktarlarda B₄C ve TiB₂ takviyeleri içeren birkaç hatasız Al7075 / B₄C / TiB₂ mono ve hibrit yüzey kompozitleri üretmişlerdir. Farklı hibrit kompozitler arasında en uygun seramik partikül dağılımı, minimum B₄C ve TiB₂ seramik partikül boyutu, en düşük sürtünme katsayısı ve en yüksek sertlik ve aşınma direnci, eşit ağırlık yüzdesinde B₄C ve TiB₂ seramik içeren hibrit kompozite ait olduğu sonucuna

varmışlardır. Al7075 baz alaşımına göre Al7075 + B₄C, Al7075 + TiB₂ mono kompozitlerin ve 50% B₄C + 50% TiB₂ hibrit kompozitin sertlik ve aşınma direnci sırasıyla %91, %121, %107 ve %67, %82, %87 arttırılmıştır [20]. Radha vd. B₄C ve grafen ile güçlendirilmiş Al7075 numunelerinin mekanik ve aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Kompozitler, karıştırılmalı döküm yöntemiyle üretilmiştir. Ayrıca ağırlıkça %5, 10 ve 15 oranında B₄C partikülleri ve ağırlıkça %0.1, 0.2 ve 0.3 Gr esas alınarak hazırlanmıştır. Test sonuçları, tokluğun belirli sınırlara kadar artmasıyla birlikte B₄C ve Gr'nin ağırlıkça %'sinin artmasıyla çekme mukavemeti, eğilme mukavemeti ve sertliğin arttığını ortaya koymuştur [21]. Karpasand vd. sürtünme karıştırma kaynağı tekniğini kullanarak yüzeyde Al7075 / B₄C kompozitleri oluşturmuşlardır. B₄C tozları Al7075 alaşımının yüzeyinde hazırlanan 1 ve 2 mm genişliğindeki oluklara iki farklı şekilde ilave edilmiştir. İlkinde, B₄C tozları bir aşamada dört ardışık geçişten önce eklenmiştir. İkinci şekilde, tozlar, ilk geçişten önce ve ikinci geçişten sonra olmak üzere iki aşamada ilave edilmiştir. Mikroyapısal değerlendirmeler, donatının hacim oranındaki artışın matris tane boyutunu önemli ölçüde azalttığını göstermiştir. Maksimum sertlik ve aşınma direnci, daha yüksek hacimde takviye içeren tek aşamalı toz katkılı numunelerde elde edilmiştir. Aşınma direnci ile kompozit tabaka sertliği arasında doğrudan bir ilişki gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, en kararlı mekanik olarak karıştırılmış tabaka, daha yüksek miktarlarda B₄C içeren tek aşamalı toz katkılı numunenin yüzeyinde oluşmuştur [22]. Reddy vd. parçacık ağ boyutuna sahip B₄C (0.0, 1.0, 2.0, 3.0 ve 4.0) ve uçucu kül (9.0, 8.0, 7.0, 6.0) parçacıkları ile güçlendirilmiş ana metal olarak Al alaşımının hibrit metal matris kompozitlerinin üretimini karıştırılmalı döküm yöntemi ile yapmışlardır. B₄C ve uçucu külün alüminyum metal matris alaşımı ile takviye edilmesiyle mekanik ve tribolojik özelliklerin arttırıldığı gözlemlenmiştir. Sonuçlar, Al 7075 ağırlıkça %90, B₄C ağırlıkça %3 ve uçucu kül ağırlıkça %7 için mekanik ve tribolojik özelliklerin iyileştirildiğini ortaya koymaktadır. Sonuçlar sertlik 111 BHN, UTS 290 MPa, % uzama 0.75 mm, darbe dayanımı 0.76 J ve aşınma oranı 1.4 mm³/dk şeklindedir [23]. Javdani ve Daei-sorkhabi yarı katı şekillendirme yoluyla B₄C takviyeli Al matris kompozit üretmişlerdir. Soğuk preste 50 ve 100 MPa basınçlarda preslemişlerdir. 100 MPa altında preslenen 20 µm Al7075 ve %20 (hacim oranı) 45 µm B₄C tozu içeren kompozitler, en yüksek sertlik (HV 190) ve basınç dayanımı (336 MPa) değerlerini sergilemiştir [24]. Govardhana vd. döküm teknikleri kullanılarak B₄C ve Al₂O₃

takviyeli Al7075 üretmişlerdir. Al₂O₃ katkısı %1 ilave edilmiştir. B₄C %1, %2, %3 oranlarında takviye edilmiştir. İyi sertlik ve daha az aşınma gösteren numune %3 B₄C katkılı numune olmuştur [25]. Guttikonda vd. soğuk sıkıştırma işlemi sırasında sıkıştırma basınçlarını değiştirerek AA7075 + B₄C + Grafit hibrit kompozit üretimi yapmışlardır. Ağırlıkça %6 B₄C ve ağırlıkça %2 grafit eklenmiştir. Artan sıkıştırma basıncının kompozit malzemenin mekanik özellikleri üzerinde olumlu bir etkisi olduğu görülmüştür [26]. Krishnamoorthi vd. Al7075 içerisine ağırlıkça %5, %10 ve %15 B₄C takviye etmişlerdir. Ağırlıkça B₄C takviyesi arttıkça çekme mukavemetinin arttığı tespit edilmiştir. Maksimum çekme mukavemeti ağırlıkça %15 B₄C içerikli numunede olduğu tespit edilmiştir [27]. Aksöz vd. toz B₄C + SiC, B₄C + TiB₂ ve SiC + TiB₂ hibrit takviyeli Al 7075 matrisi çalışmışlardır. Tozlar ile döküm halinde Al7075 alaşımı karıştırılarak matris elde edilmiştir. 480°C 1 saat çözündürülen numuneler 120°C sıcaklıkta 4 saat artışlar ile 32 saat yaşlandırıldı. Sonuçlar, artan takviye oranının ve takviye boyutunun ve tipinin, sertlik ve aşınma davranışını doğrudan etkilediğini göstermiştir. Deneylerde, en yüksek sertlik ve aşınma direnci davranışı, 12 saatlik yaşlandırma sonrasında %3 B₄C + %3 SiC hibrit numunesinde elde edilmiştir [28]. Shrestha vd., nikel ve B₄C ile kompozit bir kaplama yaptı. Sonuç olarak, aşınmada iyileşmeler gözlemlendi. Al6061 ve B₄C ile döküm yapılarak matris oluşturulmuş ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Sonuçlar mekanik özelliklerin iyileştiğini göstermektedir [29]. Zhang vd., toz metalurjisi ile B₄C takviyeli alüminyum 6092 malzeme üretmiştir. Araştırmaları sonucunda, sinterleme ile üretilen kompozitler, daha yüksek takviye hacim fraksiyonlarında artan gerinim hızı sertleşmesi göstermektedir [30].

BÖLÜM 2

LİTERATÜR

Günümüz pek çok alanda vazgeçilmez bir malzeme olarak kullanıma giren alüminyum alaşımlar doğada saf halde bulunamazlar. Doğada boksit cevherleri halinde bulunan alüminyumlar sünek, yoğunluğu düşük, ısı iletkenliği yüksek bir malzemedir [31]. Alüminyum sahip olduğu pasivasyon özelliği sebebiyle oksidasyona karşı yüksek direnç özelliği bulunmaktadır. Alaşımlarda çeşitli kombinasyonlarının olması sebebiyle uzay ve havacılıkta sıklıkla kullanılmaktadır. Bunun yanında hafif ve yüksek dayanımı sebebiyle taşımacılık, ulaşım, inşaat, soğutma, gıda ve havalandırma sektörlerinde çok sık kullanılmaktadır. Alüminyuma ait fiziksel özellikler Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.11. Alüminyum genel fiziksel özellikleri.

Fiziksel özellikler	
Maddenin oda sıcaklığındaki hali	Katı
Yoğunluk	2,70 g/cm ³
Sıvı hal yoğunluğu	2,375 g/cm ³
Ergime Noktası	660,32 °C-933,47 °K-1220,58 °F
Ergime ısısı	10,71 kJ/kmol

Alüminyum özellikleri bakımından soy metal grubunda yer almaz. Soğuk deformasyona uğramış alüminyumun 100°C veya daha yüksek sıcaklıklarda ısı ışıleme tabi bırakılmaları neticesinde elektrik iletkenliğinde artış görülmektedir. Alüminyumun saflık oranı arttıkça elektrik iletkenliğinin ve korozyon dayanımının arttığı görülmüştür [32].

2.1 ALÜMİNYUM KOMPOZİT VE ALÜMİNYUM ALAŞIM TÜRLERİ

Kompozit malzemeler 2 farklı makro yapıda bulunan malzemenin birleştirilerek oluşan yeni bir malzemedir. Tek başına kullanımı olmayan ve birbiri içerisinde çözünemeyecek olan malzemelerin kullanılması istenen yeni kullanım alanına özgü özellikler kazanması için birleştirilmesidir. Matris malzemelerin temel yapısı iki bileşenden oluşmaktadır. Matris malzeme ve Takviye malzeme olarak iki ana bileşeni vardır. Genellikle dayanımı daha yüksek olan takviye malzemelerinden dayanımlarını almaktadırlar. Matris malzemeler ise genellikle kompozite tokluk ve süneklilik kazandırmaktadır. Malzemelerin bir arada tutulması göre ise matris malzemesinde olmaktadır.

2.1.1 Al7075

Alüminyum (Al) gibi hafif malzemeler, optimum seviyedeki mekanik özellikleri ve korozyon direnci nedeniyle endüstride sıklıkla kullanılmaktadır. Al7075 alaşımları içerik olarak %7 oranda Zn, %3 oranda Mg, %2 oranda Cu elementi içermektedir. Alüminyum alaşımları arasında Al7075 içerdiği Zn-Mg-Cu elementleri ile yüksek seviyede mukavemet, iyi işlenebilirlik ve korozyon direnci ile endüstride ve akademik alanda kendine yer bulmuş ve sıklıkla kullanılan durumdadır [33]. Ancak bunlarla beraber geleneksel döküm ve dövme metotları kullanılarak karmaşık yapılar ve çok ince mikroyapıya sahip Al7075 üretilmesi oldukça zordur. Günümüzde bu konuda üretim teknolojilerinde geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Bunun yanında kaynaklanabilirliği çok zayıftır. B₄C ile oluşturulan kompozit paslanmaz çeliklerin büyük bir bölümünün kaynak kabiliyeti yüksektir ve ark kaynağı, direnç kaynağı, elektron ve lazer ışın kaynakları, sürtünme kaynağı ve sert lehimleme gibi çeşitli kaynak yöntemleri ile kaynak edilebilirler [10].

2.2 BOR VE BOR ALAŞIM TÜRLERİ

Bor, atom numarası 5 olan ve sembol olarak B olan kimyasal bir elementtir. Kimyasal olarak yarı metaldir. Tek başına element olarak doğada rastlanılmaz. Dünya üzerinde

en çok Türkiye sınırları içerisinde bulunmaktadır. Bor mineralleri, endüstride oldukça yaygın kullanım alanlarına sahiptir [34]. Kullanım alanlarının başında jet ve roket yakıtları, deterjan, fotoğrafçılık, kâğıt sanayi, savunma sanayi ve nükleer alanlar gelmektedir. B_4C (Bor Karbür) sahip olduğu sertlik sebebiyle tank zırhında ve kurşun geçirmez yeleklerde kullanılmaktadır [35]. Bunun yanında TiB_2 (Titan Diborür) günümüzde bor tabanlı zırh ve kurşun geçirmez yelek malzemesi olarak da kullanılmaktadır [36]. Bor kullanıldığı alaşım içerisinde MgB_2 , AlB_2 ve AlB_{12} bileşenlerini kolaylıkla oluşturabilirler [37].

2.2.1 Bor Alaşımları ve Malzemelere Olan Katkıları

Bor kendi başına element olarak doğada bulunmamaktadır. Bor diğer elementler ile bileşik yapmaya daha yatkındır. Bu yüzden mineraller olarak tabiiatta bulunmaktadır. Borun sahip olduğu mineraller ve bazı alaşımlar bölüm içerisinde anlatılmıştır.

2.2.1.1 B_4C (Bor Karbür)

Literatürde B_4C bileşiği metal dışı bilinen önemli ve sert bir malzemedir. Savunma sanayide zırh malzemelerinde ve çelik yelek üretimlerinde kullanılmaktadır. Bilinen en önemli fizyokimyasal özellikleri arasında yüksek sıcaklık kararlılığı, yüksek elastisite modülü (448 GPa), yüksek sertlik (29,1 GPa), düşük yoğunluk ($2,52 \text{ g/cm}^3$), yüksek sıcaklıklarda üst düzey termoelektrik davranışları yer bulunmaktadır. Bunlarla birlikte nükleer, uzay endüstrisinde ve elektronik sektöründe yüksek teknolojik uygulamalar için kullanılmaktadır. Toz formunda, sinterlenmiş ürün olarak ve ince film uygulamalarında kullanılmaktadır. B_4C , siyah elmas olarak da bilinmektedir. Elmas ve kübik bor nitrürden sonra bilinen en sert üçüncü malzemedir. B_4C kompozit kaplamaların mikrosertliği, TiC kompozit kaplamalarından daha yüksektir. B_4C kompozit seramik malzemeler, düşük mukavemet ve tokluk ile daha düşük sinterleme özellikleri sergilemektedir.

2.2.1.2 AlB₂ (Alüminyum Diborür)

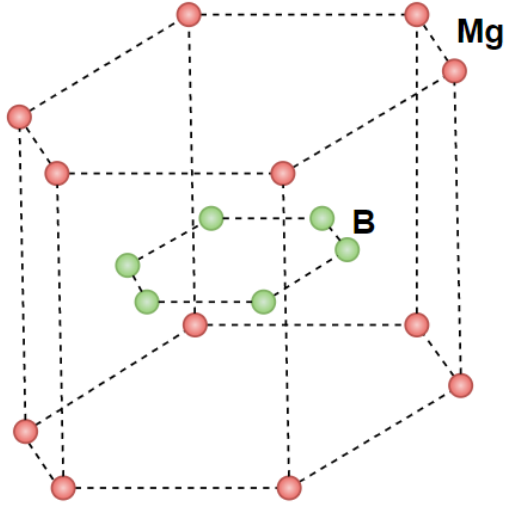
Bor içerikli Alüminyum malzemelerde sinterleme sonucunda görülebilecek bir faz türüdür. İki atomik katmandan oluşur. Petek profen ve üçgen alüminyum olan iki katmandan oluşmaktadır. Yapılan çalışmalar ile kritik sıcaklığa sahip bir süper iletken olduğu tahmin edilmektedir.

2.2.1.3 AlB₁₂ (Alüminyum Dodekaborür)

Bor içerikli Alüminyum malzemelerde sinterleme sonucunda görülebilecek bir faz türüdür. Borid olarak bulunan pek çok alaşım yüksek sertliğe ve erime noktasına sahiptirler. Borid alaşımlar arasında AlB₁₂ kendine özgü özel bir elektronik yapıya ve bağ oluşturma karakteristik özelliklerine sahiptir. Yarı iletken malzemelerin iletkenliğini etkin bir şekilde ayarlayabilir ve bu nedenle iletkenlerde ve yarı iletken malzemelerde yaygın olarak kullanılır. AlB₁₂'nin yapısı, bor atomlarının neredeyse düzenli ikosahedron yapıları dahil olmak üzere bor karbürüne benzer.

2.2.1.4 MgB₂ (Magnezyum Diborür)

Süper iletkenliği 2001 yılında keşfedilmiş olan MgB₂, B ile hızlıca bileşik oluşturma eğilimindedir. MgB₂, aralıklı B ve Mg katmanlarından oluşan katmanlı bir yapıya sahiptir. Bor atomları standart bir grafit kafes oluştururken, Mg katmanı sıkı bir şekilde küp şeklinde Mg'lerden oluşur. B katmanları içindeki bağlanma çoğunlukla kovalent iken, Mg büyük ölçüde polarizedir. Bu sebepten dolayı B-Mg bağı doğada iyonik yapıdadır. Aslında MgB₂, grafit ile çok benzer bir bant yapısına sahiptir.



Şekil 2.2.1: MgB₂ alaşım kristalize yapısı.

Şekil 2.1 ile MgB₂ alaşımının kristalize yapısı gösterilmiştir.

BÖLÜM 3

KOMPOZİTLERİN TOZ METALÜRJİSİ VE ÜRETİMİ

Bu tez çalışmasında kullanılacak kompozitlerin üretimi için kullanılacak tozların temini ve temin edilen tozların çalışma içerisinde hangi proseslerden geçtikten sonra numunelerin üretileceğinden bahsedilmiştir.

3.1 TOZ METALÜRJİSİNDE ÜRETİM AŞAMALARI

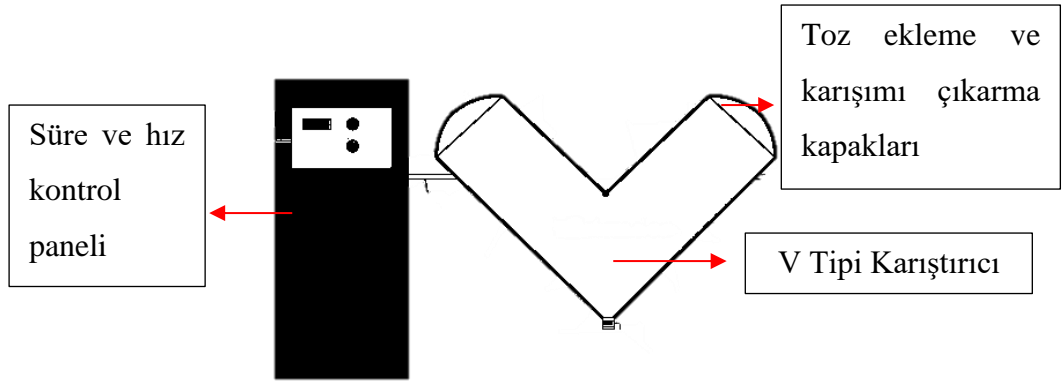
Numunelerin üretimi için gerçekleştirilmiş olan aşamalar toz temini, temin edilen tozların karıştırılması, tozların sıkıştırılması ve sinterleme işlemidir. Aşamalar bölüm içerisinde açıklanmıştır.

3.1.1 Toz Üretimi

Metal tozlarının imalatında kullanılan şu an için en yaygın yöntem atomizasyondur. Atomizasyon uygulamaları esnasında daha önceden erimiş olan minerallerin, yüksek basınca sahip su veya yüksek hızlarda püskürtülen gaz tarafından parçalanmasına dayanır. Sıvı halde bulunan metal malzeme atomize edici ortamın ve soğutma parametrelerinin etkisi ile belirli şekil ve mikroyapılara sahip olarak parçalanır ve metal parçalar şeklinde katılaşma gösterirler. Düşük alaşımlı çelik tozlarının imalatı için su atomizasyonu daha çok tercih edilirken, paslanmaz çelikler, süper alaşımlar, yüksek alaşımlı çelikler, titanyum, takım çelikleri ve diğer bazı alaşımlar gibi oksidasyona karşı duyarlı tozların imalatı sırasında gaz atomizasyonu yaygın olarak kullanılır.

3.1.2 Toz Karıştırma Tekniği

Temin edilmiş olan tozlar çalışma için %10 B₄C + %90 Al7075 ve %20 B₄C + %80 Al7075 olacak şekilde ayrı ayrı karıştırılmışlardır. Karışımların karıştırılması için şekil 3.1 ile yapısı teknik çizim olarak gösterilmiş olan V Tipi karıştırıcı kullanılmıştır. Karıştırma işlemi 2 saat sürmüştür. Toz veya granül halde bulunan malzemelerin karışımlarının homojen olacak şekilde gerçekleştirilmesinin ardından yüksek basınç altında preslenmesi yapılmıştır.



Şekil 3.11. V tipi karıştırıcı.

3.2 Sıkıştırma

Kalıp presleme olarak da bilinen sıkıştırma işlemi, toz metalürjisi (TM) ile imal edilen çeliklerde en çok kullanılması tercih edilen konsidasyon yöntemidir. Karıştırılmış toz, kalıp içerisine yerleştirilir ve aksnel olarak hareket eden zımpara etkisi ile preslenir. İşlemlerde genellikle 400 ila 1000 MPa arasında kuvvet basıncı uygulanır. Toz presleme esnasında partiküllerin üzerine uygulanan basınç tozların yeniden düzenlenmesine ve şekillerin düzensizliğinin etkisi ile birbirine geçmesi sağlanır. Yüksek basınçlarda partiküllerin arasında soğuk kaynak meydana gelebilmektedir. Presleme esnasında artan basınç ile kompakt yoğunluğunda da artmalar meydana gelebilmektedir. Bunun yanında yüksek basınç seviyelerinde ortaya çıkan soğuk deformasyon ile yüksek yoğunluk görülebilmektedir. Presleme işlemlerinden sonra hareketli zımbalar ile kalıp basınç dağılımının farklılıkları ortaya çıkabilmektedir. Bu sayede kompakt malzeme yoğunluğu gradyanı oluşur. Oluşan yoğunluk gradyanı, kompaktın içerisinde daha az belirginken, kalıp duvarlarına karşı oluşan sürtünme

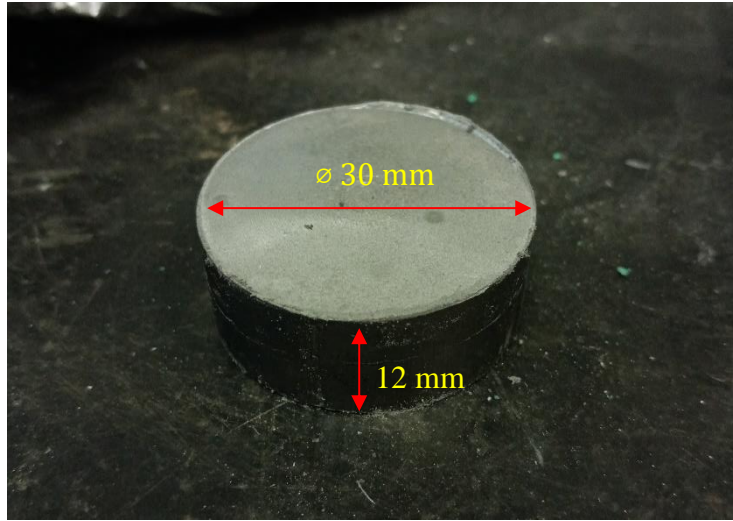
direnci nedeniyle presleme yönünde yüzey bölgelerinde belirgindir. Yapılmış olan çalışma içerisinde şekil 3.2 ile gösterilen H Tipi Preste 600 MPa basınç altında sıkıştırılması istenen numunelerin sıkıştırılması gerçekleştirilmiştir. Numune üretiminde kullanılan Şekil 3.3 ile gösterilen kalıp silindirik yapıda ve 30 mm çapındadır. Elde edilmiş olan numuneler 30 mm çapında ve 12 mm uzunluğundadır. Elde edilmiş olan numuneler şekil 3.4 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.22. H tipi pres makinesi.



Şekil 3.22. Numuneler için silindirik kalıp.



Şekil 3.2.3. Presleme sonrasında kalıptan çıkartılmış olan numune örneği.

3.3 Sinterleme

Toz halde bulunan birden fazla elementin karıştırıcılar içerisinde karıştırılıp uygun kalıplarda sıkıştırılmasının ardından malzemenin difüzyon metodu ile metallerin çözünmesi için belirli bir sıcaklık altında işlem görmesidir. Sıkıştırılarak elde edilen kompakt içerisindeki partiküllerin arasında bağ oluşturarak gereken dayanımı ve gücü veren işlem sinterleme denir. Genellikle ergime sıcaklığının tahmini olarak %75-80 kadar sıcaklıkta gerçekleştirilir. Numuneler 550°C’de 3 saat (180 dakika) boyunca sinterlenmişlerdir. Sinterleme işlemi kuma gömme yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.34. Sinterlenecek numuneler için kullanılan fırın.

Sinterleme işlemi için Karabük Üniversitesi’nde Metalürji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarlarında bulunan Şekil 3.5 ile gösterilen fırınlar kullanılmıştır.



Şekil 3.35. Sinterleme işlemi için numunelerin fırına yerleştirilmesi.

Numunelerin fırınlaması aşaması Şekil 3.6 ile gösterilmiştir. Numuneler paslanmaz çelik bardaklar içerisine doldurulan kumlar içerisine yerleştirilmişlerdir.



Şekil 3.36. Sinterleme sonrası numunelerin fırından çıkartılması.

Şekil 3.6 ve Şekil 3.7 ile numunelerin fırına yerleştirilmesi ve fırından çıkardıktan sonraki görüntüleri gösterilmiştir.

3.4 T6 Isıl İşlem

Sinterleme işleminin ardından fırından çıkarılmış olan numuneler suda aniden soğutulmuşlardır. Fırın ısısı 120°C 'ye düşürülerek numuneler fırın içerisine tekrar konulmuştur. Burada amaç katılaşma sıcaklığı üzerinde bir sıcaklık değerinde ısıtılmış olan numune yüzeyindeki fazların aniden soğutularak katı hal çözümlülüklerinin arttırılmasıdır. Aniden su verme işlemi ile çözülmüş olan elementlerin çökmesi engellenerek düşük sıcaklıklarda doymuş bir yapı elde edilmektedir. Tekrardan fırına konulmasındaki amaç ise numunelerin dayanımda artış sağlaması amacıyla elementlerin kararlı çökeltiler oluşturarak dayanımın artmasını sağlamaktır. Çalışma içerisinde incelenecek numuneler fırın içerisinde 72 saat yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Isıl işlem yapılmış olan ve ısıl işlem yapılmamış olan numuneler için sertlik değerleri incelenmiş ve deneyler bölümünde detaylı biçimde paylaşılmıştır.

BÖLÜM 4

DENEYLER

Bu çalışmada Arşimet prensibi ile numune yoğunlukları, Vickers sertlik cihazı ile mikro sertlik ölçümü, kuru aşınma testi ile aşınma davranışlarının incelenmesi, potansiyodinamik korozyon testi ile korozyon davranışlarının belirlenmesi, SEM ve mikro yapı görüntülerinin alınması, EDS ve XRF analizlerinin yapılarak numune içerisindeki yapının belirlenmesi ve son olarak spektral analiz yöntemi ile numune içeriklerinin belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Deneyler bölüm içerisinde kendi başlıkları altında açıklanmıştır.

4.1 YOĞUNLUK ÖLÇÜMÜ

B₄C'nin numunelerdeki katkı oranı arttıkça numunelerin yoğunluklarının azaldığı literatürde bilinmektedir. Arşimet prensibine göre ağırlık hesabı yapılarak numunelerin kuru halde ölçülmüş ağırlıkları ile Eşitlik 4.1 ile gösterilen formül kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

$$\rho = \rho_w W_a (W_a - W_w) \quad (4.1)$$

Burada, ρ = yoğunluk (g/cm³), ρ_w saf suyun yoğunluğudur (1 g/cm³ olarak), W_a malzemenin havadaki ağırlığıdır ve W_w malzemenin su içerisindeki ağırlığını temsil eder.



Şekil 4.11. Arşimet prensibine göre yoğunluk hesabını yapmak için kullanılan beher.

Yapılacak olan deneyde numunelerin kuru haldeki kütleleri ölçülür. Ardından beher içerisine doldurulmuş saf su (H_2O) içerisine bırakılarak su içerisinde kütle ölçümü yapılarak ağırlık bilgileri kaydedilir. Kaydedilen ağırlık değeri ve ölçülmüş olan ağırlık değerleri 4.1 ile verilen formül kullanılarak hesaplamalar yapılır. Elde edilen sonuçlar numunelerin g/cm^3 cinsinden yoğunluklarıdır.

4.2 SPEKTRAL ANALİZ, EDX & XRF ANALİZİ

Enerji Dağılımlı X-ışını spektrokopisi olarak Türkçe’de anılan yöntem spektral analiz yöntemlerindedir. Katı, sıvı, gaz, levha ve film tabaka gibi numunelerin içerisindeki elementsel alaşımları, fazları ve içerikleri belirlemede kullanılan basit ve ekonomik yöntemlerden biridir. Numune yüzeyine yüksek enerjili elektronlar çarptırıldığında, çarpma yüzeyinde elektron kopmaları meydana gelmektedir. Kopan elektronlar iç orbitallerden birinden kopmuşsa atom kararlılığını kaybeder. Kararlı hale tekrar gelebilmek için dış orbitallerdeki elektronlar iç orbitallerdeki boşlukları doldururlar. Dış orbitallerde bulunan elektron enerjileri iç orbitallerde bulunan elektron enerjilerinden daha yüksek olması sebebiyle, dış orbital elektronları iç orbitalleri

doldururken bir miktar enerji kaybederler. Kaybedilen bu enerji X ışını şeklinde ortaya çıkmaktadır. Sensörler tarafından ölçülen X ışınları sinyaller halinde elementin ne olduğunu belirleyici piklerden oluşan X ışını enerji histogramını oluştururlar. Oluşan X ışını enerji histogramı numune üzerinde bulunan her bir elementin ne olduğunu ve miktarını belirler. Al üretimi için kullanılan standartlarda BS EN 573-3:2019'dur. Spektral analiz için Rigaku Primus II - X-Ray Floresans Spektrometre Cihazı kullanılmıştır.

4.3 MİKRO YAPI İNCELEMESİ

Mikro yapı incelemesi öncesinde tüm numunelerin yüzeyleri 60-150-220-400-800-1200-2500 mesh zımparalar kullanılarak temizlenmiştir. Ardından çuha ve alüminüme kullanılarak numune yüzeyleri parlatılmıştır. Numuneler Al7075 matrisli olması sebebiyle keller ayırıcı (%1 cm³ HF; %1.5 cm³ HNO₃; %2.5 cm³ HCl; %95 cm³ H₂O) kullanılarak parlatılan yüzeyler bir süre dağlanmışır. Yapılan işlemlerin ardından yüzey görüntüleri alınmıştır.

4.4 SERTLİK ANALİZİ

Deneyde kullanılacak olan numuneler için mekanik özellikleri hakkında daha fazla yorum yapabilmek ve fikir edinebilmek adına Vickers mikrosertlik testi yapılmıştır. Yapılan testlerde kullanılan cihaz Şekil 4.2 ile gösterilmiş olan cihazdır. Mikrosertlik ölçümlerinde yük olarak 500 g değerinde yük uygulanmıştır. Yük uygulama süresi 10 saniye sürmüştür. Cihaz üzerinde bulunan ayar kolları ile numune üzerinde sertlik değeri için yük uygulanan noktalarda oluşan izler işaretlenerek sistem üzerinde hesaplamalar yapılmıştır. Her numuneden 5 adet ölçüm noktası belirlenerek ölçümler alınmıştır.



Şekil 4.42. Vickers mikrosertlik cihazı.

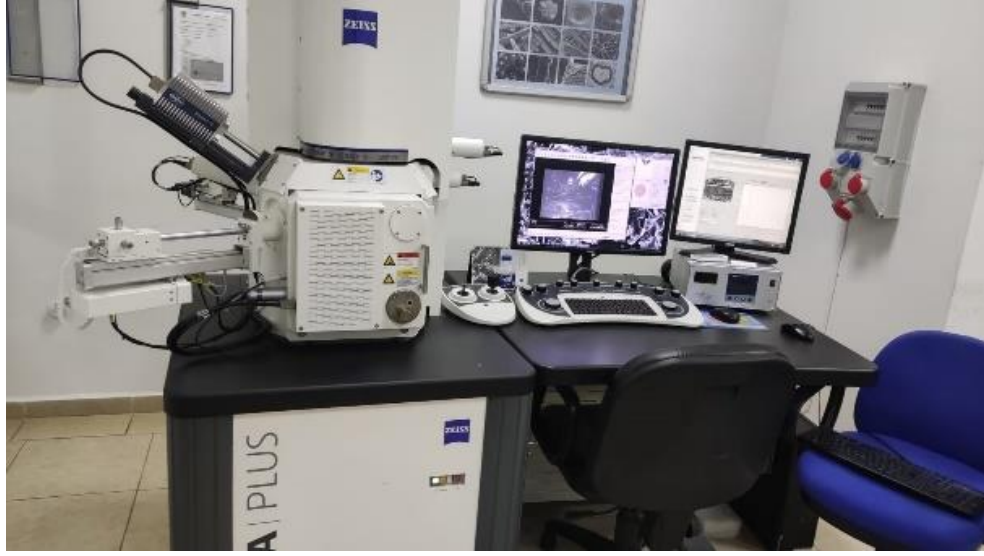
Sertlik cihazının ölçüm için kullandığı formül Eşitlik 4.2 ile gösterilmiştir.

$$HV = 1.8544 \frac{F}{d^2} \quad (4.2)$$

Eşitlik 4.2 ile gösterilmiş formülde, HV Vickers sertlik değeri, F uygulanan yükü (N), d izin köşegenlerinin ortalamasıdır.

4.5 SEM ANALİZİ

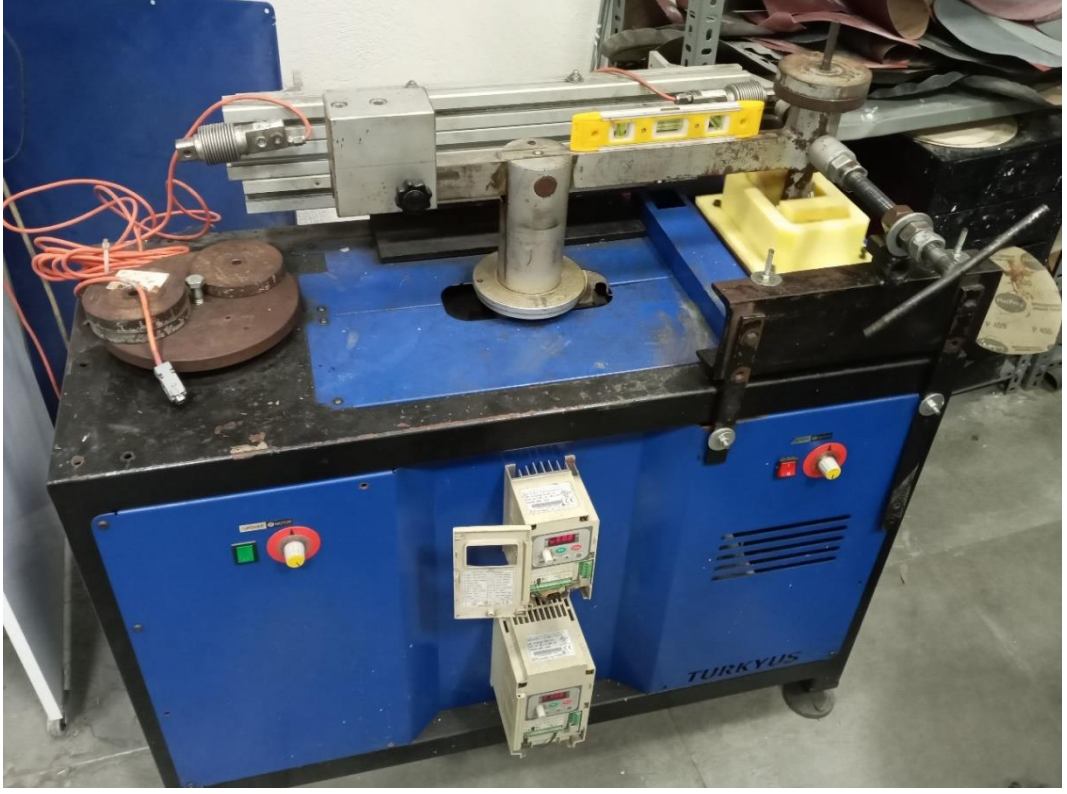
SEM incelemeleri Karabük Üniversitesi Malzeme Araştırma ve Geliştirme Merkezi'nde (MARGEM) bulunan CARL ZEISS ULTRA PLUS GEMINI FESEM marka cihaz ile yapılmıştır. SEM cihazı görüntüleri Şekil 4.3 ile gösterilmiştir. Yapılacak inceleme öncesi yüzeylerin temizlenmesi ve parlatılması yapılmıştır.



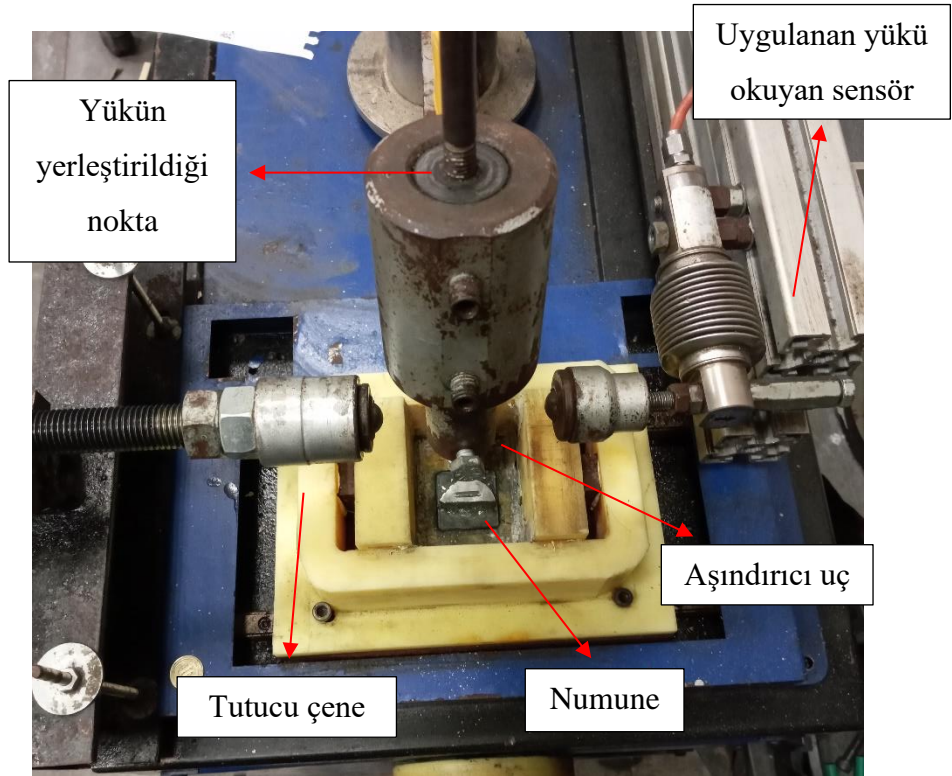
Şekil 4.53. SEM görüntülerinin alındığı cihaz.

4.6 AŞINMA KARAKTERİSTİĞİ

Aşınma karakterizasyonunu belirlemede numuneleri her iki yüzeyi düz olacak şekilde 60-150-220-400-800-1200'lük zımparalar ile zımparalama işlemleri yapılmıştır. Aşınma için yapılacak aşınma kalıbı ölçülerine uygun 35 mm genişliğinde 35 mm uzunluğunda ve 6 mm kalınlığında kare prizma şeklinde cam numune tutucular üzerinde yapıştırıcılar ile tutturulmuştur. Aşınma için numuneler Karabük Üniversitesi'nde bulunan laboratuvarlarda Şekil 4.4 ile gösterilmiş olan kuru aşınma cihazlarında yapılmıştır. Yapılmış deneyde parametreler sabit 20 N yük uygulanarak, 0.06 m/s kayma hızında, 65 devir/dakika da 200 metre adımlar halinde toplamda 1000 metre yol alınacak şekilde yapılmıştır. Aşındırıcı uç olarak AISI 52100 kalite yüksek sertlikte 5 mm çapta çelik bilyeler kullanılmıştır. Aşınma deneyi esnasında oluşan aşınma yüklenmeleri bilgisayar ortamında kaydedilmiştir.



Şekil 4.64. Kuru aşınma deneyi cihazı.

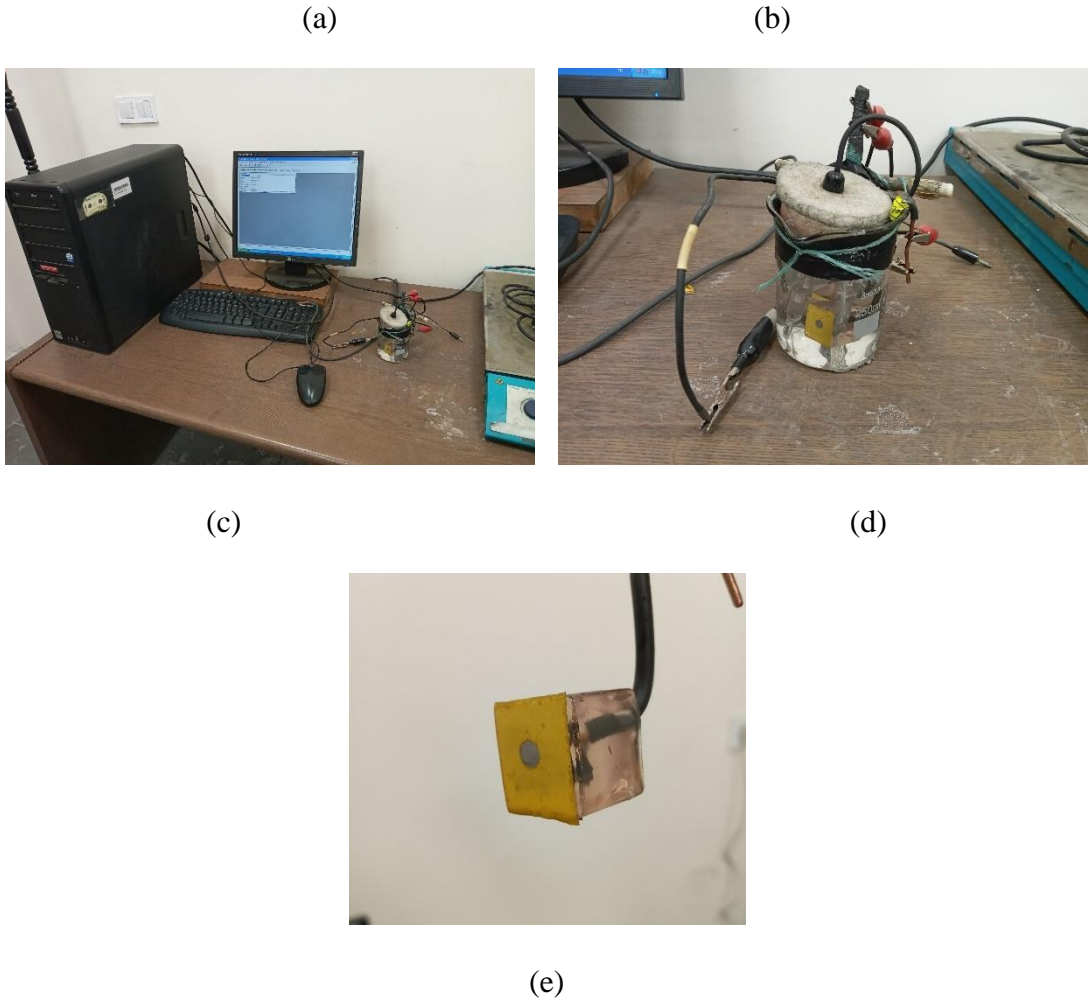


Şekil 4.65. Kuru aşınma cihazı test numunesi yerleştirilmiş olan bölge.

4.7 KOROZYON KARAKTERİSTİĞİ

Çalışma içerisindeki numunelerin üzerinde potansiyodinamik polarizasyon deneyi uygulanarak numunelerin korozyon karakteristiği incelenmiştir. Bir beher içerisine orantısız olarak %3.5 NaCl takviyeli H₂O eklenmiştir. Numunelerin işlem yapılacak olan yüzeyleri önce zımparada 60-150-220-400-800-1200-1600-2500 mesh zımpara ile parlatılmış ardından kirden arındırılıp temizlendikten sonra numune üzerindeki 5 mm çapındaki delik, yalıtkan ve sıvı geçirmeyen malzeme ile kaplanmıştır. Sıvı içerisinde test yapılacak yüzey haricinde diğer yüzeyler epoksi malzemesi ile kaplanmıştır. Delik yüzey sıvı içerisinde bulunacak şekilde numune beher içerisine yerleştirilmiştir. Çalışma için beher içerisine çalışma elektrotu için numuneler, çalışma elektrotuna karşı elektrot görevi gören karbon elektrot ve referans elektrot olarak da doygun kalomel elektrot (SCE) bırakılır. Şekil 4.6.(b) ile gösterilmiştir. Deney çalışması içerisinde sistem herhangi bir akım geçirmeksizin çalışma elektrotu ve referans elektrotunun daldırılmasının ardından iki elektrot arasında geçen korozyon potansiyellerinin mV cinsinden değişimleri zaman içerisinde ölçülür. Ölçülen deneylerin bilgisayar ortamında okunabilmesi için DC105 korozyon analizini içeren GAMRY model PC4/300 mA potansiyostat/galvanostat kullanılmıştır. Denge potansiyeline (E_{corr}) eriştikten sonra potansiyodinamik polarizasyon eğrileri katodikten anodik değerlere doğru kayıt altına alınır. Tafel eğrileri olarak isimlendirilen sonuçlardan korozyon potansiyeli (E_{corr}) ve korozyon akım yoğunluğu (I_{corr}) hesaplanmıştır.





Şekil 4.76. Korozyon numunelerinin hazırlanışı ve test araç gereçleri (a) Karbon elektrot bağlı beher, (b) Doymun kalomel elektrot, (c) Verilerin kayıt altına alındığı düzeneğin bağlı olduğu bilgisayar, (d) Hazırlanmış ve test aşamasında olan düzenek, (e) Test edilmeye hazır olan numune örneği.

Her numune deneyi için 3 farklı deney yapılmıştır. Yapılmış olan deneylerin ortalamaları alınarak incelemelerin sonuçları yorumlanmıştır.

BÖLÜM 5

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

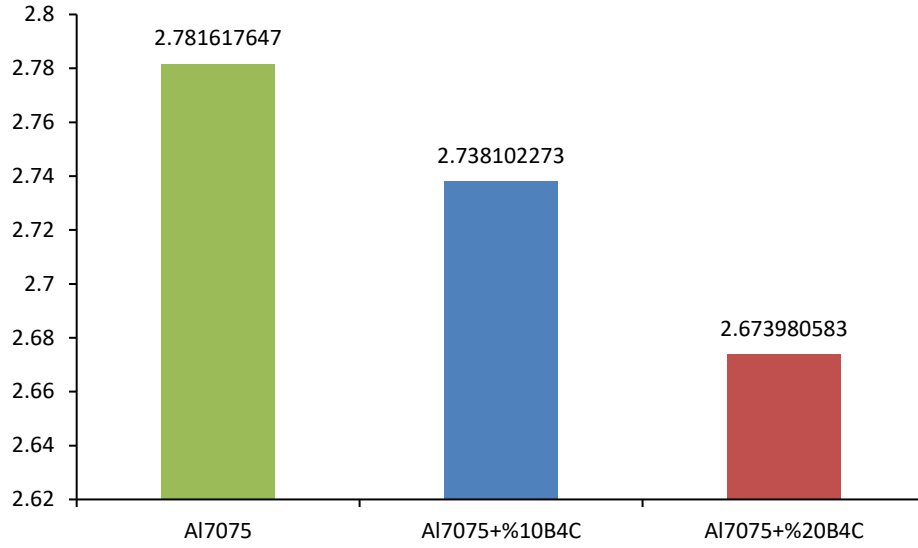
Bu çalışmada Arşimet prensibi ile numune yoğunlukları, Vickers sertlik cihazı ile mikro sertlik ölçümü, kuru aşınma testi ile aşınma davranışlarının incelenmesi, potansiyodinamik korozyon testi ile korozyon davranışlarının belirlenmesi, SEM ve mikro yapı görüntülerinin alınması, EDS ve XRF analizlerinin yapılarak numune içerisindeki yapının belirlenmesi ve son olarak Spektral analiz yöntemi ile numune içeriklerinin belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Deneylerin sonuçları bölüm içerisinde kendi başlıkları altında detaylı şekilde açıklanmıştır.

5.1 YOĞUNLUK ÖLÇÜMÜ

Çizelge 5.1 ile gösterilmiş yoğunluklar takviyesiz Al7075 numunelerde 2.78 g/cm^3 , %10 B₄C takviyeli Al7075 numunelerde 2.74 g/cm^3 , %20 B₄C takviyeli Al7075 numunelerde 2.68 g/cm^3 olarak ölçülmüştür. Ölçülen değerlere göre takviye malzemeler numunelerin yoğunluğunu takviye oranı ile orantılı olacak şekilde etkilemiştir.

Çizelge 5.11. Numune yoğunluk ölçümü sonuçları.

Malzeme	Takviye Oranı	Yoğunluk (g/cm^3)
Al7075	-	2.78
Al7075	%10 B ₄ C	2.74
Al7075	%20 B ₄ C	2.68



Şekil 5.11. Numunelerde ölçülmüş yoğunluk değerleri.

Şekil 5.1 ile yoğunluk değerlerindeki düşüş takviyesiz Al7075, %10 B₄C takviyeli Al7075, %20 B₄C takviyeli Al7075 şeklinde gösterilmiştir.

5.1.1 Porozite Hesabı

Arşimet prensibine göre ölçülmüş yoğunluklar ile teorik olarak numune üretimi sonrasında olması gereken yoğunlukların farkı alınmış ve porozite hesabı yapılmıştır. Literatürde B₄C yoğunluk değeri olarak 2.52 g/cm³ ve Al7075 yoğunluk değeri olarak 2.81 g/cm³ hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alınarak %10 B₄C takviyeli Al7075 için Eşitlik 5.3 ve %20 B₄C takviyeli Al7075 için Eşitlik 5.4 kullanılmıştır.

$$(0.9 \cdot 2.81) + (0.1 \cdot 2.52) \quad (5.3.)$$

$$(0.8 \cdot 2.81) + (0.2 \cdot 2.52) \quad (5.4.)$$

Çizelge 5.2 ile gösterilmiş olan değerler üretilen numunelerin porozite hesabını göstermektedir.

Çizelge 5.12. Porozite hesabı sonuçları.

	Teorik Yoğunluk Sonuçları	Hesaplanmış Yoğunluk Sonuçları	Porozite Oranı (%)
Al7075	2.810	2.781	1.06
Al7075 + %10 B ₄ C	2.781	2.738	4.29
Al7075 + %20 B ₄ C	2.752	2.673	7.80

Yapılan hesaplamalara göre takviyesiz Al7075 numunelerinin porozite oranı %1.06, %10 B₄C takviyeli Al7075 numunelerin porozite oranı %4.29 ve %20 B₄C takviyeli Al7075 numunelerin porozite oranı %7.80 olarak hesaplanmıştır.

5.2 SPEKTRAL ANALİZ, EDX & XRF ANALİZİ

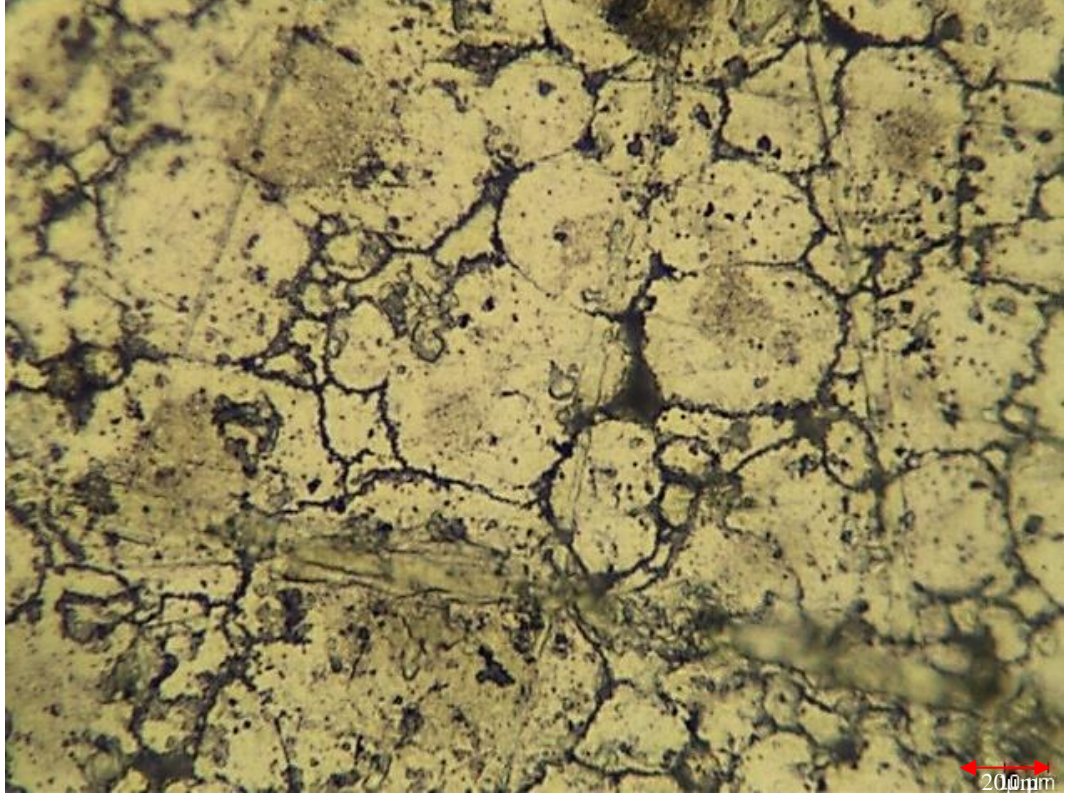
Al7075 numuneleri BS EN 573-3:2019 standartlarına göre içerdiği bileşimler ve toz metalürjisi sonucu üretilen numunelerin içerdiği bileşimler Çizelge 5.3.'de verilmiştir. Çizelge 5.3'de BS EN 573-3:2019 standartlarına göre [38] numunelerin içerikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre üretilmiş numuneler standart değerlere çok yakın olarak üretildiği görülmektedir.

Çizelge 5.23. Numunelerin spektral analiz sonuçları.

İçerik Elementi	%20 B ₄ C + Al 7075	%10 B ₄ C + Al 7075	Al 7075	Al 7075 (BS EN 573-3:2019)
Al	65.2390	76.2766	85.4800	88.4800
B	20.5254	10.5965	-	-
Mg	1.6589	1.9767	2.9200	2.9200
Si	2.0628	1.7794	1.9700	0.5000
S	0.0282	0.0186	0.0199	0.0200
Ca	0.0593	0.0318	0.0470	-
Cr	0.2560	0.3080	0.3020	0.2800
Ni	0.0000	0.0251	0.1880	-
Fe	0.1543	0.1159	0.3609	0.5000
Cu	1.7083	1.8561	1.9200	2.0000
Zn	6.0844	6.0910	6.3400	6.1000
Ga	0.0233	0.0242	0.0258	-
C	2.3000	1.1500	-	-

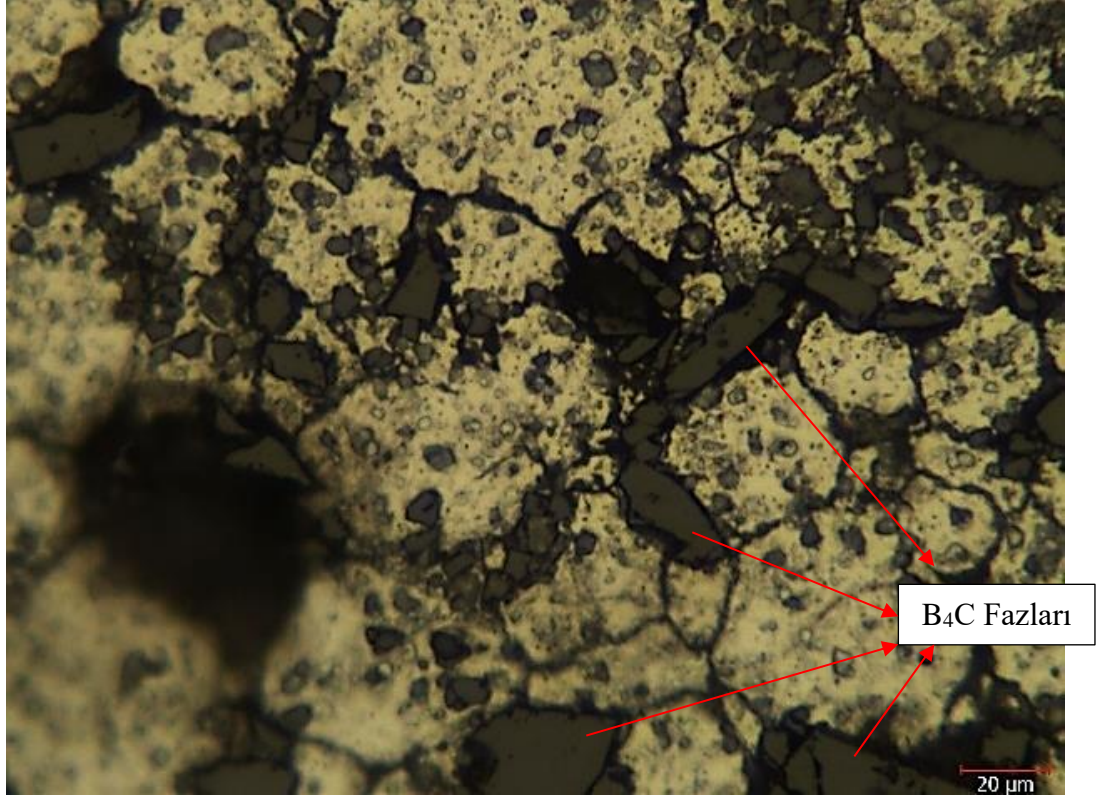
5.3 MİKRO YAPI İNCELEMESİ

Mikro yapı incelemesi sonuçları takviyesiz Al7075 için Şekil 5.2, %10 B₄C takviyeli Al7075 için Şekil 5.3 ve %20 takviyeli Al7075 için Şekil 5.4 ile gösterilmiştir.



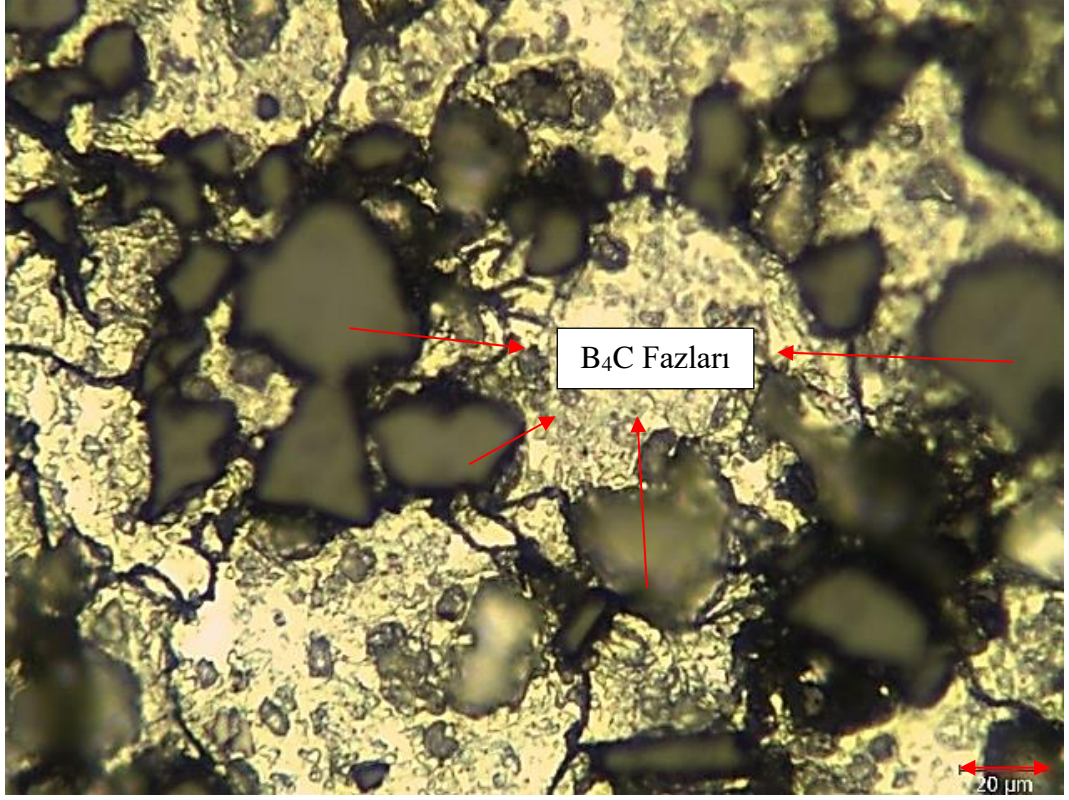
Şekil 5.32. Takviyesiz Al7075 100x büyütme ile çekilmiş metalografik görüntüsü.

Al7075 için mikro yapısı incelendiğinde numune içerisinde tanecik boyutlarının birbirine çok yakın olduğu görülebilir. Numune üretimi başarılı olmuştur. Ortalama tane büyüklük değeri bilgisayar ortamında hesaplanarak 56 μm bulunmuştur.



Şekil 5.3.3. %10 B₄C takviyeli Al7075 100x büyütme ile çekilmiş metalografik görüntüsü.

İçerisinde %10 B₄C takviyesi yapılmış olan Al7075 için numune içerisine homojen dağılmış B₄C takviyeleri görülebilmektedir. Al7075 matris taneciklerinin takviyesiz Al7075 içerisinde bulunan tanecikler ile birbirine yakın büyüklüklerde olduğu görülebilmektedir. Ortalama tane büyüklüğü değeri bilgisayar ortamında hesaplanmış 60 µm olarak bulunmuştur.



Şekil 5.34. %10 B₄C takviyeli Al7075 100x büyütme ile çekilmiş metalografik görüntüsü.

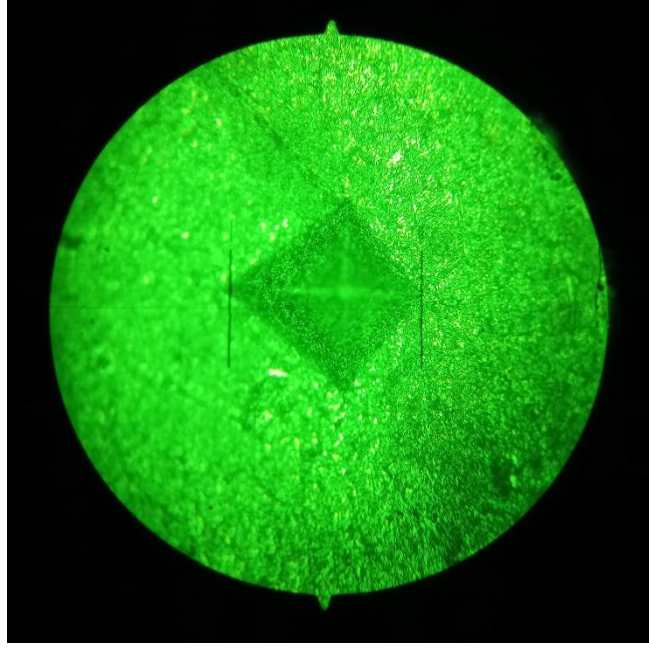
İçerisinde %20 B₄C takviyesi yapılmış olan Al7075 için numune içerisinde homojen dağıldığı görülebilmektedir. Bunun yanında numunelerin tane boyutlarının takviyesiz Al7075 ve %10 B₄C takviyeli Al7075 numuneleri ile kıyaslanınca daha büyük olduğu görülebilmektedir. B₄C tane boyutları ise %10 B₄C takviyeli Al7075 içerisinde yer alan B₄C taneciklerinde oranla daha büyük olduğu görülebilmektedir. Ortalama tane boyutu bilgisayar ortamında incelenmiştir. Yapılan inceleme sonucuna göre tane büyüklüğü ortalama olarak 85 µm hesaplanmıştır.

5.4 SERTLİK ANALİZİ

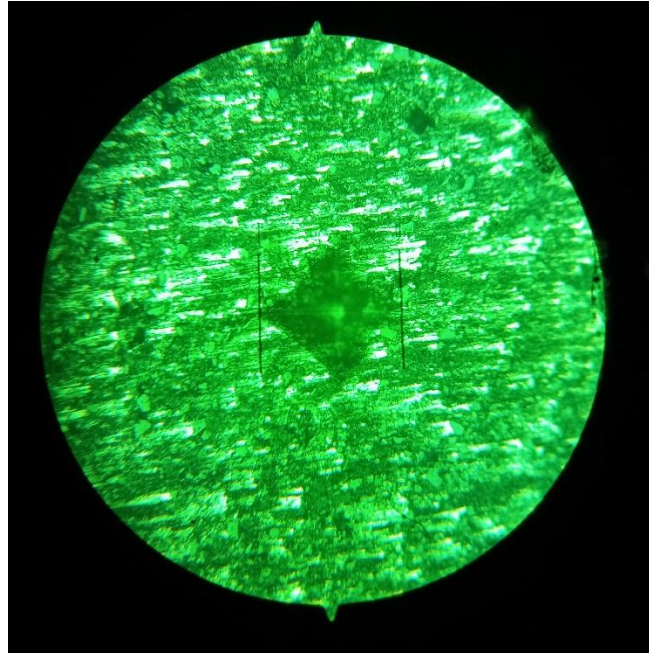
Numunelerin üzerinden belirlenen noktalardan alınan ölçümler üzerinde yapılan hesaplamalara göre sertlik değerlerinin ortalamaları Çizelge 5.4 ile gösterilmiştir.

Çizelge 5.44. Vickers mikrosertlik ölçümleri ortalama değerleri.

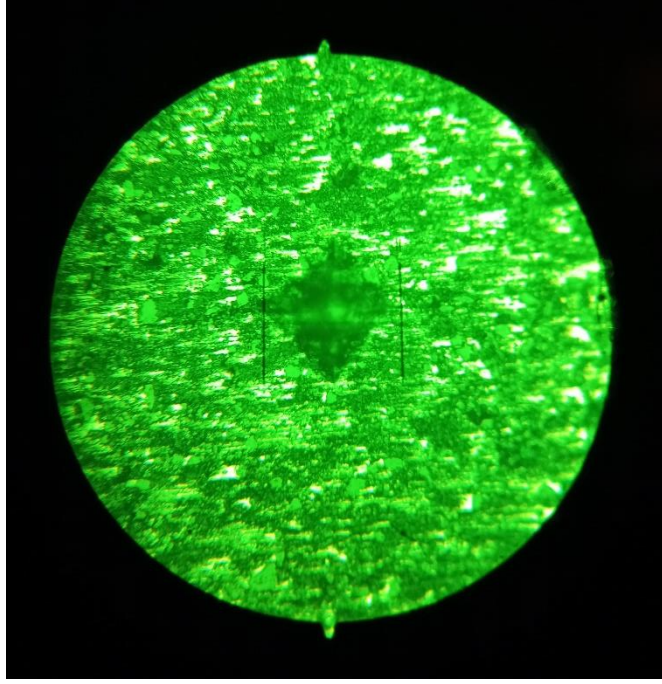
Numune isimleri	Al7075 (HV)	10% B ₄ C (HV)	%20 B ₄ C (HV)
İşlemsiz	45.56	79.42	95.34
Yaşlandırılmış	63.2	87.24	102



(a)



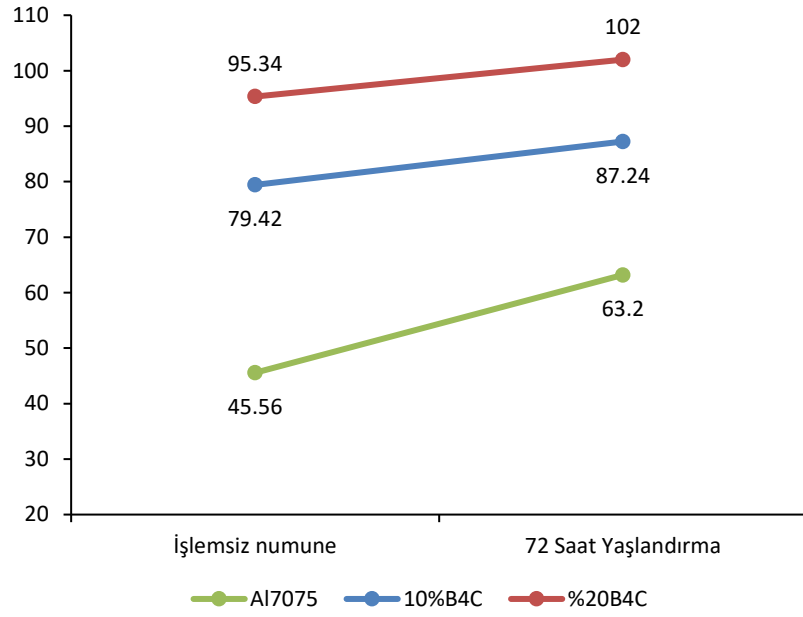
(b)



(c)

Şekil 5.4.5. Vickers Mikrosertlik Ölçümü Numune üzerindeki ölçüm noktaları (a) Takviyesiz Al7075 numunesi üzerinde sertlik ölçüm noktası, (b) %10 B₄C takviyeli Al7075 numunesi üzerinde sertlik ölçüm noktası, (c) %20 B₄C takviyeli Al7075 numunesi üzerinde sertlik ölçüm noktası.

Alınan ölçümlerin noktasal olarak gösterimi Şekil 5.5 ile gösterilmiştir. Alınan ölçüm görüntüleri Vickers sertlik cihazı vasıtası ile alınmıştır.

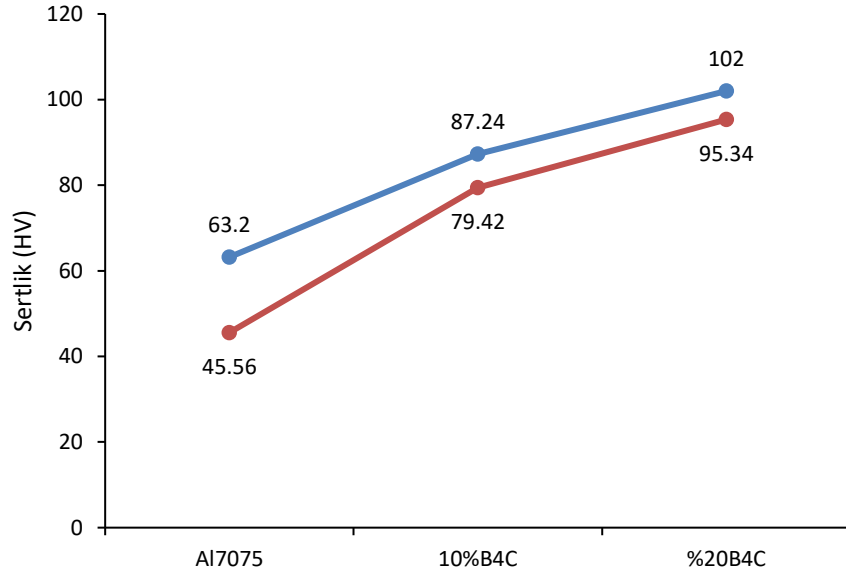


Şekil 5.46. İşlemsiz takviyesiz Al7075 ve 72 saat menevişlenmiş takviyesiz Al7075 Vickers mikro sertlik değerindeki değişim.

Şekil 5.6 ile numunelerin kendi arasında yaşlandırma işlemi öncesi ve yaşlandırma işlemi sonrasında oluşan sertlik değerleri gösterilmiştir. Takviyesiz Al7075 için işlem görmemiş numune üzerinden 5 farklı noktadan sertlik ölçümü alınmış alınan ölçümlerin ortalaması dikkate alınmıştır. Bunun yanında 72 saat yaşlanma işlemi görmüş takviyesiz Al7075 numunesi üzerinden 5 farklı noktadan ölçümler alınmış ortalama değeri dikkate alınmıştır. Sertlik değerlerinin ortalama değerleri ise işlem görmemiş olan takviyesiz Al7075 numunelerinde 45.56 HV çıkarken, 72 saat ısıtma işlemi görmüş takviyesiz Al7075 için sertlik değeri ise 63.2 HV olmuştur. Birbirleri ile kıyaslandığında %28 sertlik değişikliği pozitif olarak oluşmuştur.

%10 B₄C takviyeli Al7075 için işlem görmemiş numune üzerinden 5 farklı noktadan sertlik ölçümü alınmış alınan ölçümlerin ortalaması dikkate alınmıştır. Bunun yanında 72 saat yaşlanma işlemi görmüş %10 B₄C takviyeli Al7075 numunesi üzerinden 5 farklı noktadan ölçümler alınmış ortalama değeri dikkate alınmıştır. Sertlik değerlerinin ortalama değerleri ise işlem görmemiş olan %10 B₄C takviyeli Al7075 numunelerinde 79.42 HV çıkarken, 72 saat ısıtma işlemi görmüş %10 B₄C takviyeli Al7075 için sertlik değeri ise 87.24 HV olmuştur. Birbirleri ile kıyaslandığında %9 sertlik değerinde artış olmuştur.

%20 B₄C takviyeli Al7075 için işlem görmemiş numune üzerinden 5 farklı noktadan sertlik ölçümü alınmış alınan ölçümlerin ortalaması dikkate alınmıştır. Bunun yanında 72 saat yaşlanma işlemi görmüş %20 B₄C takviyeli Al7075 numunesi üzerinden 5 farklı noktadan ölçümler alınmış ortalama değeri dikkate alınmıştır. Sertlik değerlerinin ortalama değerleri ise işlem görmemiş %20 B₄C takviyeli Al7075 numunelerinde 95.34 HV çıkarken, 72 saat ısıtılma işlemi görmüş olan %20 B₄C takviyeli Al7075 için sertlik değeri ise 102 HV olmuştur. Birbirleri ile kıyaslandığında %7 sertlik değerinde artış olmuştur.



Şekil 5.47. Yaşlandırma işlemi görmüş ve görmemiş olan numunelerin sertlik değerlerinin kıyaslanması.

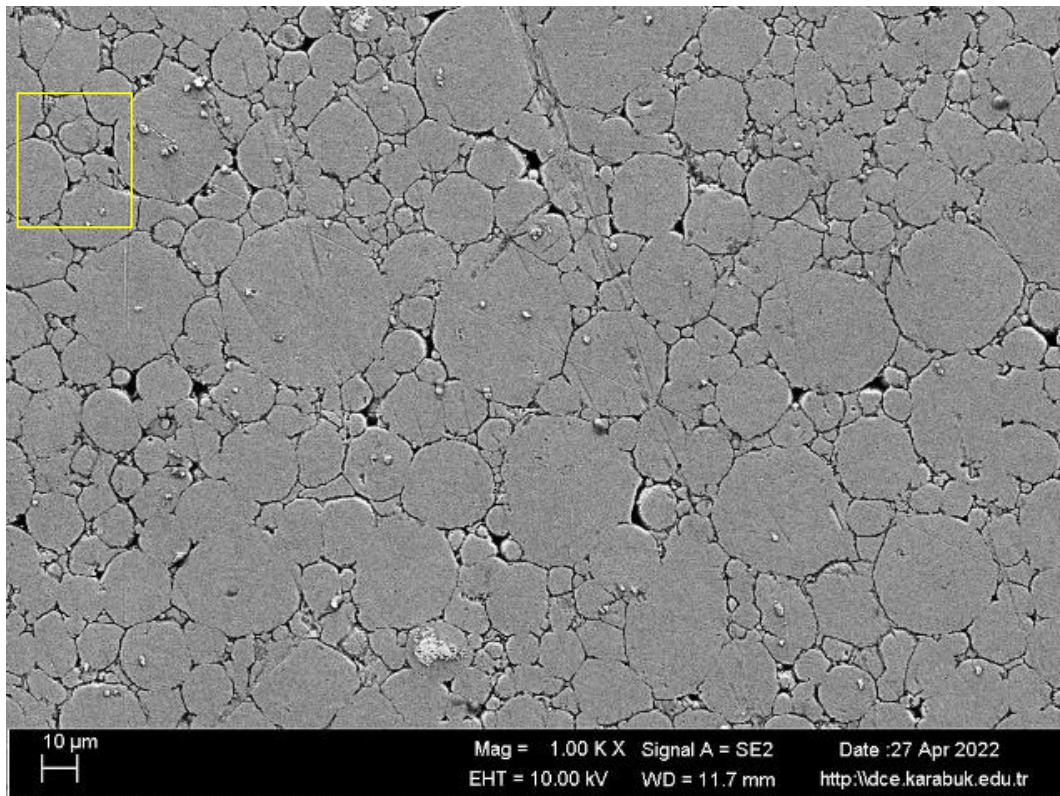
Numunelerin birbirleri ile mukayesesi için sertlik değerlerinin gösterimi Şekil 5.7 ile gösterilmiştir. Yaşlandırma işlemi görmemiş olan numuneleri için takviyesiz Al7075 ve %10 B₄C takviyeli Al7075 numuneleri arasında sertlik değişimi %43, %10 B₄C takviyeli Al7075 ve %20 B₄C takviyeli Al7075 numuneleri arasında sertlik değişimi %17, takviyesiz Al7075 ve %20 B₄C takviyeli Al7075 numuneleri arasında sertlik değişimi %52 olarak hesaplanmıştır.

Yaşlandırma işlemi görmüş olan numuneleri için takviyesiz Al7075 ve %10 B₄C takviyeli Al7075 numuneleri arasında sertlik değişimi %28, %10 B₄C takviyeli Al7075 ve %20 B₄C takviyeli Al7075 numuneleri arasında sertlik değişimi %14,

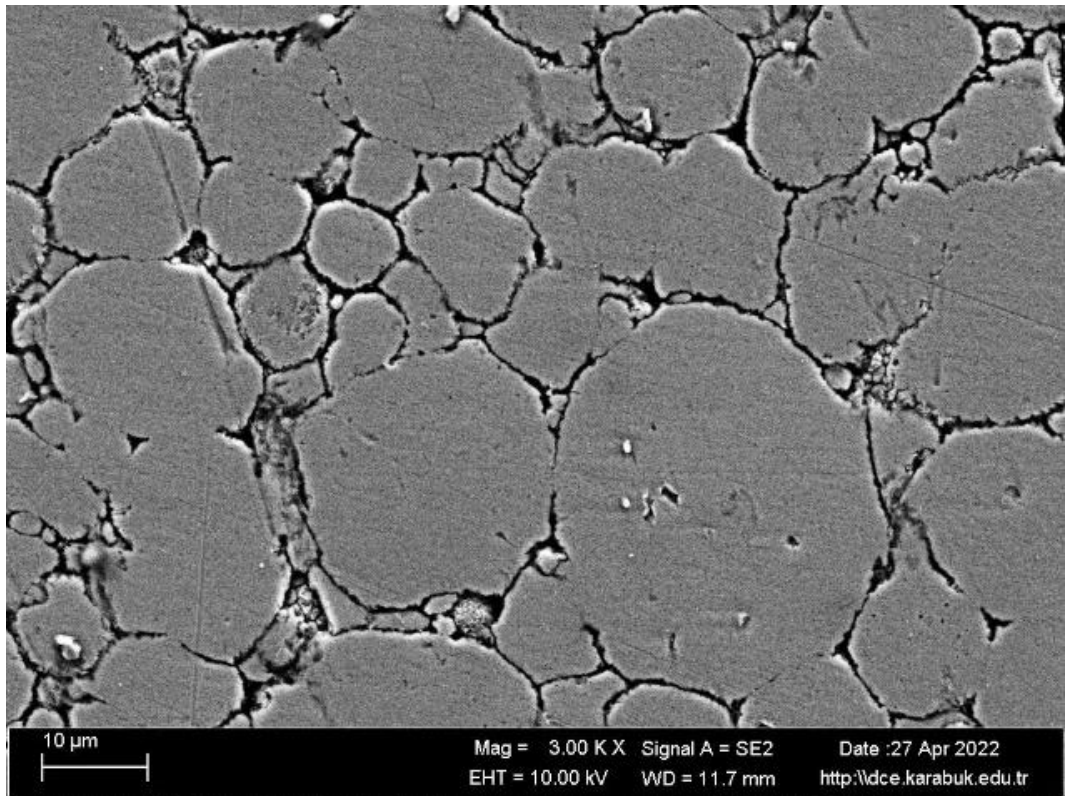
takviyesiz Al7075 ve %20 B₄C takviyeli Al7075 numuneleri arasında sertlik değişimi %38 olarak hesaplanmıştır.

5.5 SEM ANALİZİ

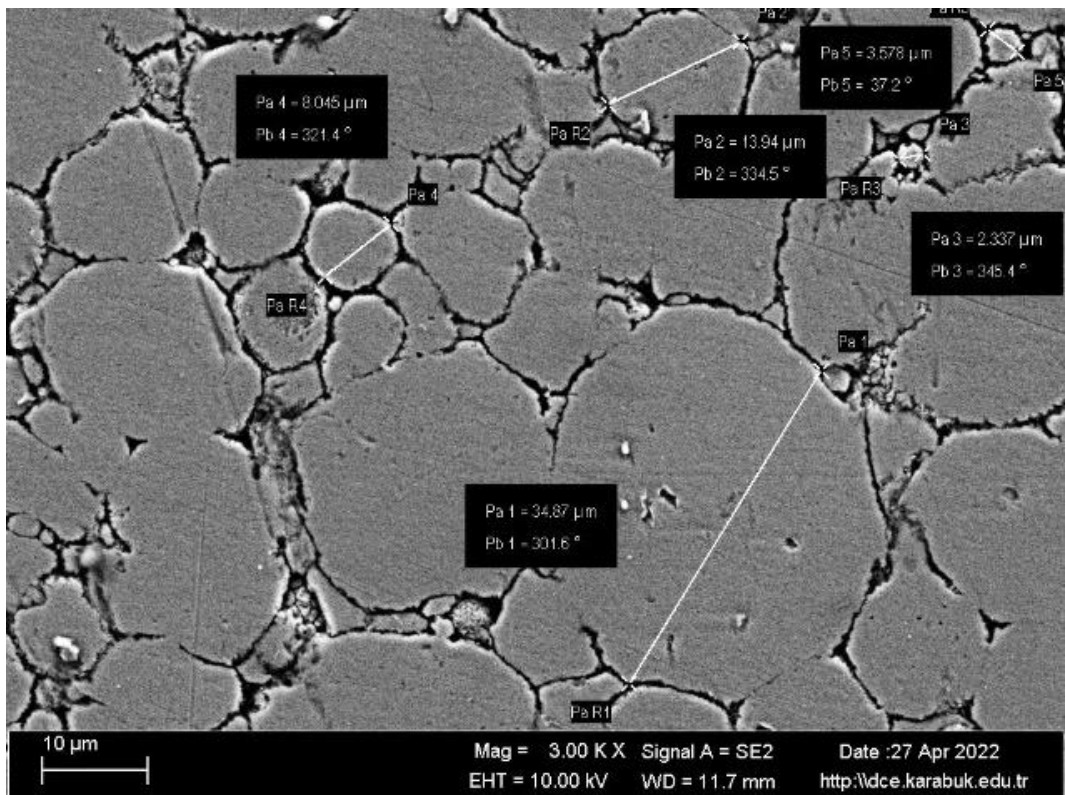
Yapılan SEM incelemeleri sonuçları bölüm içerisinde incelenmiştir. Şekil 5.8.a. Al7075'in 1kX büyütmedeki mikroyapı görüntüsünü göstermektedir. Şekil 5.8.b., Şekil 5.8.a'da dikdörtgen ile gösterilen bölgenin 3 kX büyütmesini temsil etmektedir. Şekil 5.8.c'de tane boyutları ile 3kX büyütme verilirken Şekillerden görüldüğü gibi taneler küreseldir ve taneler arasındaki porozitenin çok az olması nedeniyle sinterleme işlemi başarılıdır. Ortalama tane boyutu (Şekil 5.8.c'de) 12 µm olarak hesaplanmıştır. 5 ölümün ortalaması alınarak ölümler yapılmıştır.



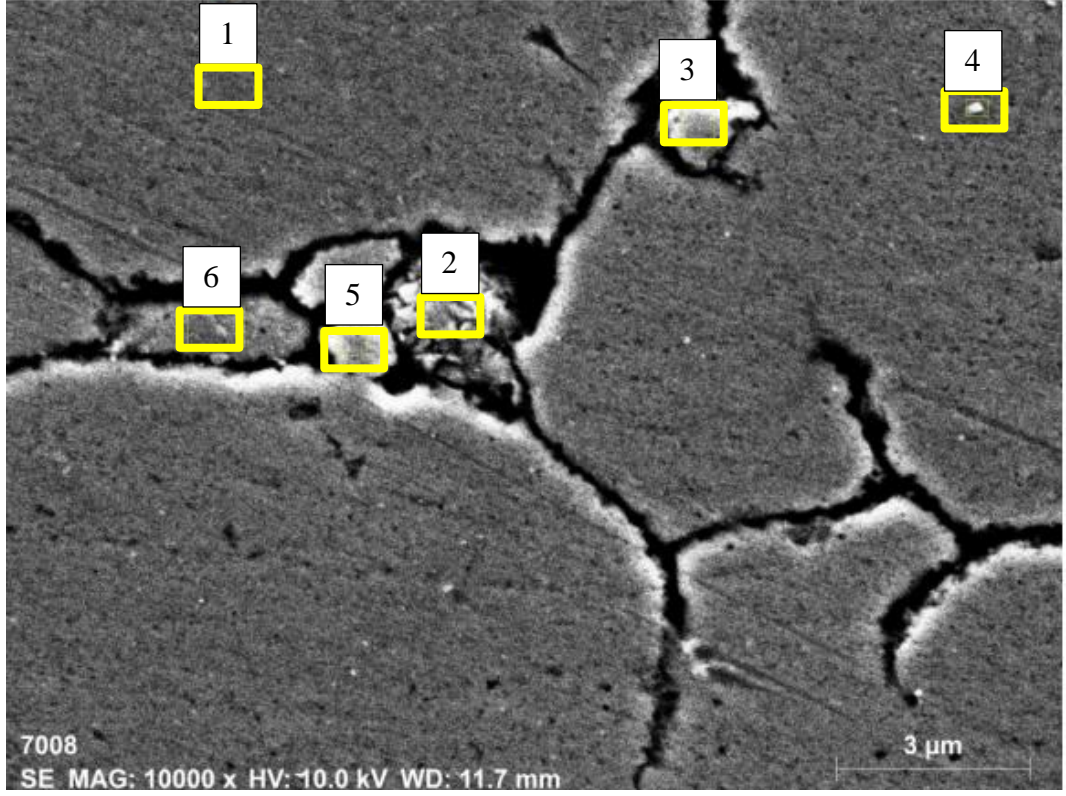
(a)



(b)



(c)



(d)

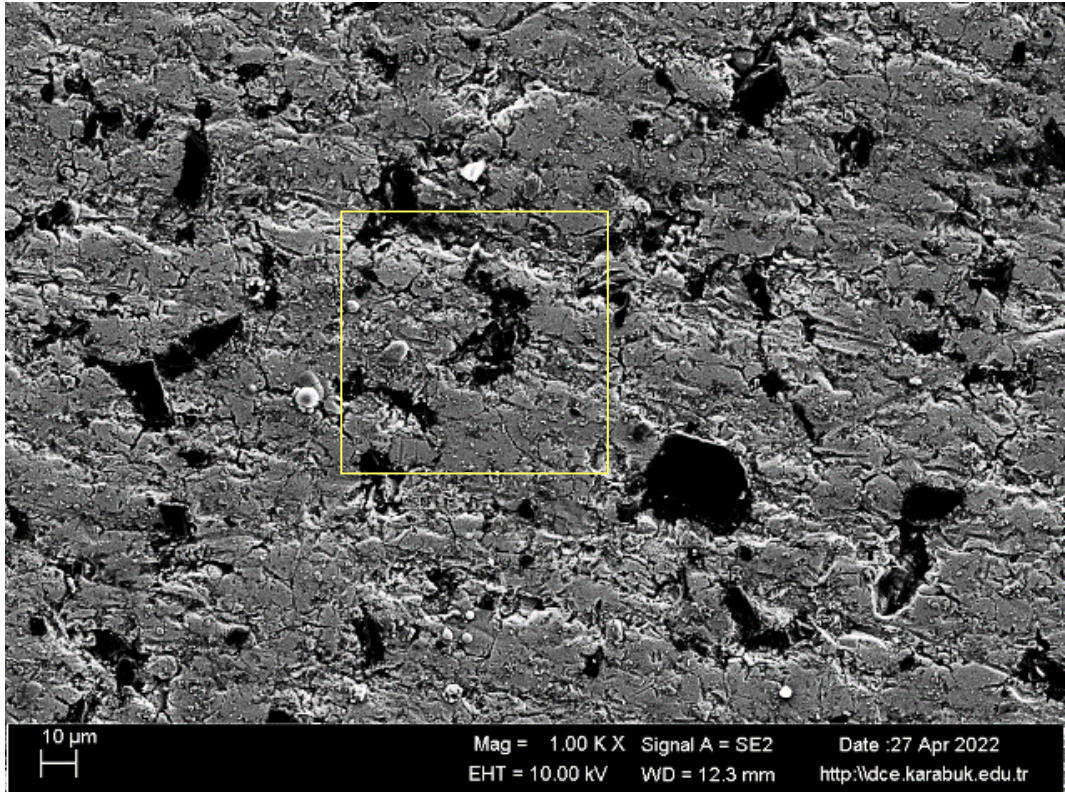
Şekil 5.58. Takviyesiz Al7075 SEM görüntüsü. (a) Takviyesiz Al7075 1kX büyütme SEM görüntüsü. (b) Takviyesiz Al7075 3kX büyütme SEM görüntüsü. (c) Takviyesiz Al7075 3kX büyütme SEM görüntüsü ve tanecik boyutları. (d) Takviyesiz Al7075 10kX büyütme SEM görüntüsü.

Şekil 5.8.b, Şekil 5.8.a'da dikdörtgen ile gösterilen bölgenin 3 kX büyütmesini göstermektedir. Şekil 5.8.c'de ise 5kX büyütme gösterilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi taneler homojen yapıdadır ve taneler arasındaki porozite çok az olduğu için sinterleme işlemi başarılıdır. Tüm fazlar Al7075 standart içeriğine uygundur. Yapılmış çalışmada %10 B₄C takviyeli Al7075 kompozit malzeme özellikleri Çizelge 3'te verilmiştir.

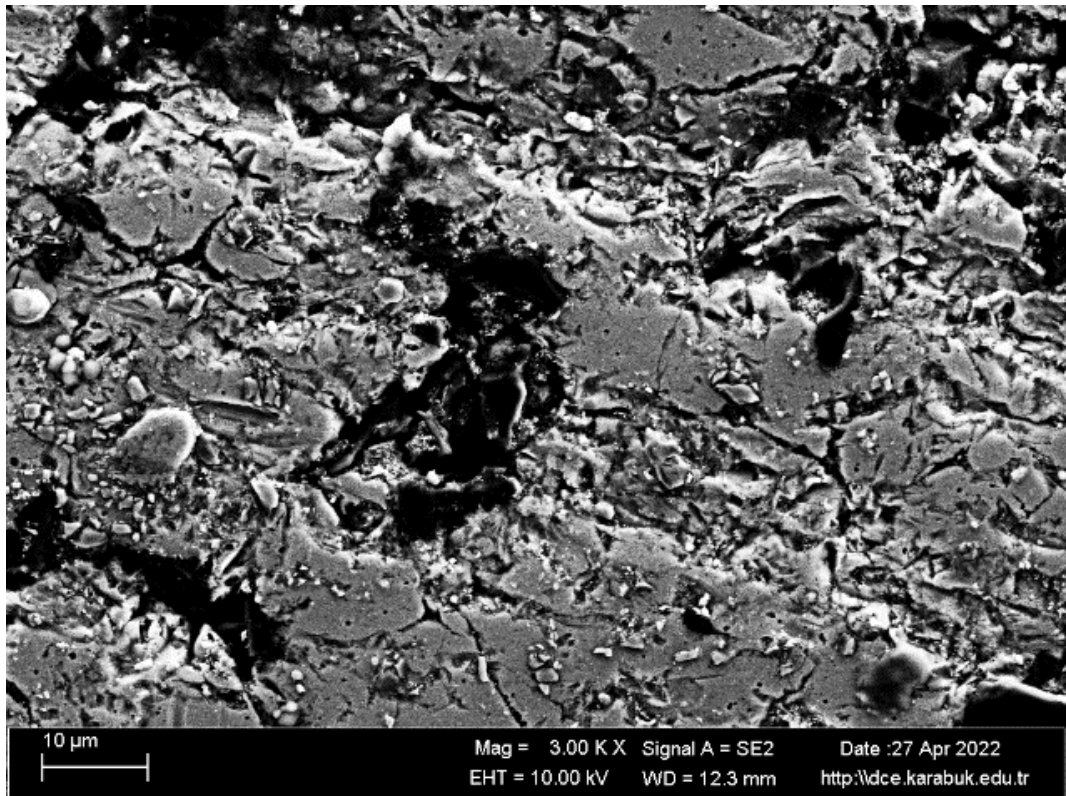
Çizelge 5.55. %10 B₄C takviyeli Al7075 için Şekil 5.8.(b) üzerinde gösterilen alandan alınmış spektral analiz sonuçları.

Spektrum	B	C	Mg	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn
1	0,00	0,00	1,40	86,58	0,17	0,17	0,00	0,00	3,60	8,08
2	0,00	0,00	1,74	86,69	0,39	0,17	0,00	0,00	3,24	7,77
3	0,00	0,00	1,62	86,47	0,18	0,00	0,29	0,19	3,68	7,57
4	0,00	0,00	1,31	86,03	0,18	0,56	0,00	0,00	3,63	8,28
5	0,00	0,00	2,58	84,61	0,12	0,00	0,44	0,67	3,84	7,75
6	0,00	0,00	1,66	85,26	0,00	0,34	0,38	0,77	3,55	8,05
Ort. değeri:	0,00	0,00	1,72	85,94	0,17	0,21	0,19	0,27	3,59	7,92
Sigma:	0,00	0,00	0,45	0,84	0,13	0,21	0,21	0,35	0,20	0,26
Sigma ort.:	0,00	0,00	0,18	0,34	0,05	0,09	0,09	0,14	0,14	0,11

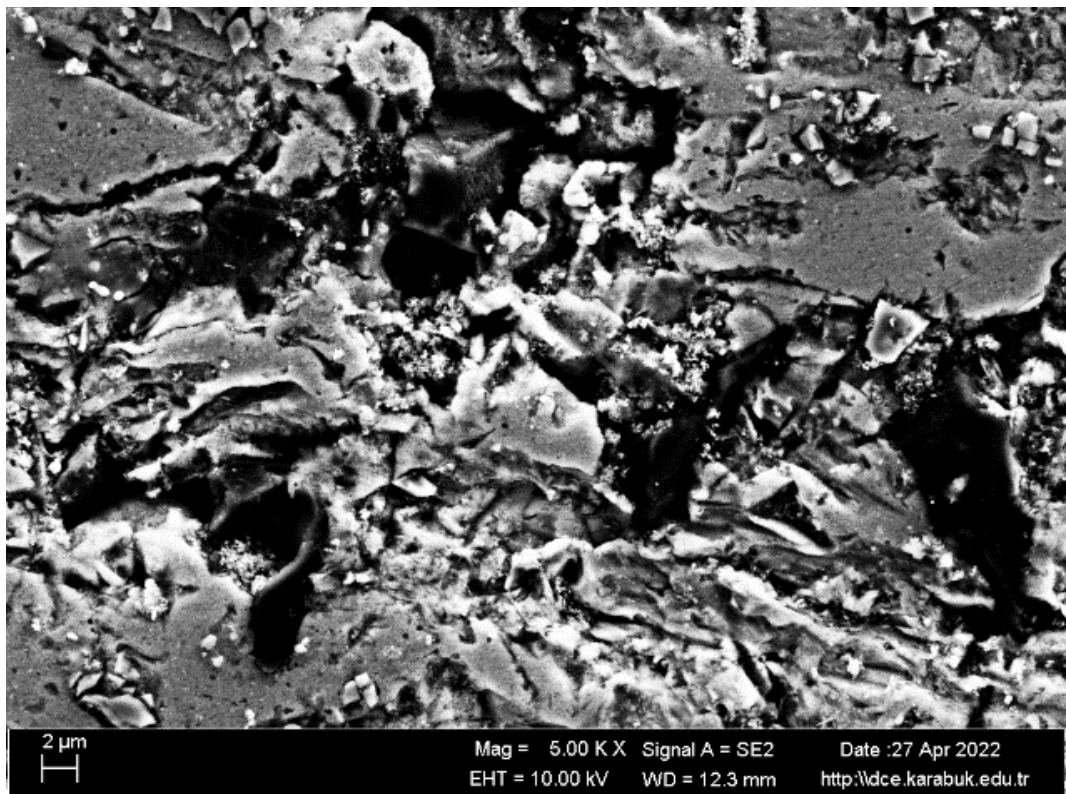
Takviyesiz Al7075 için içerdiği elementler incelendiğinde ortalama %85.94 oranında Al, %3.59 oranında Cu, %1.72 oranında Mg ve %7.92 oranında Zn elementi içerdiği görülebilmektedir. Yapılmış olan XRF incelemelerini doğrulamaktadır.



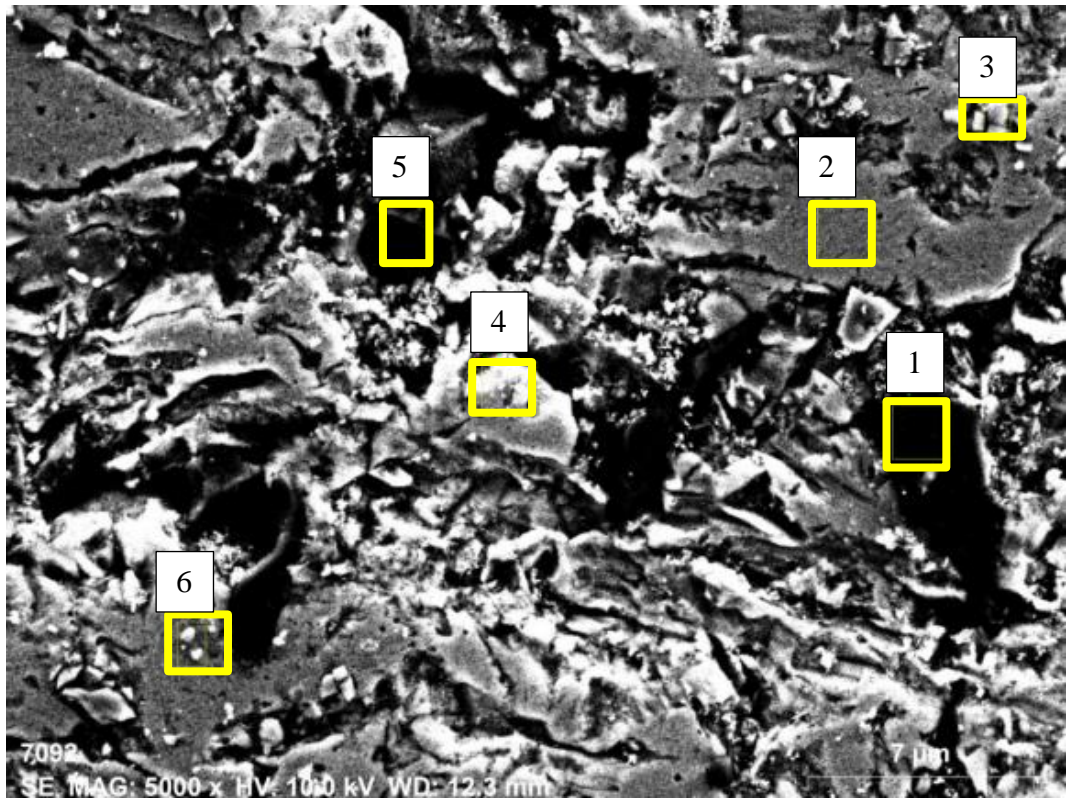
(a)



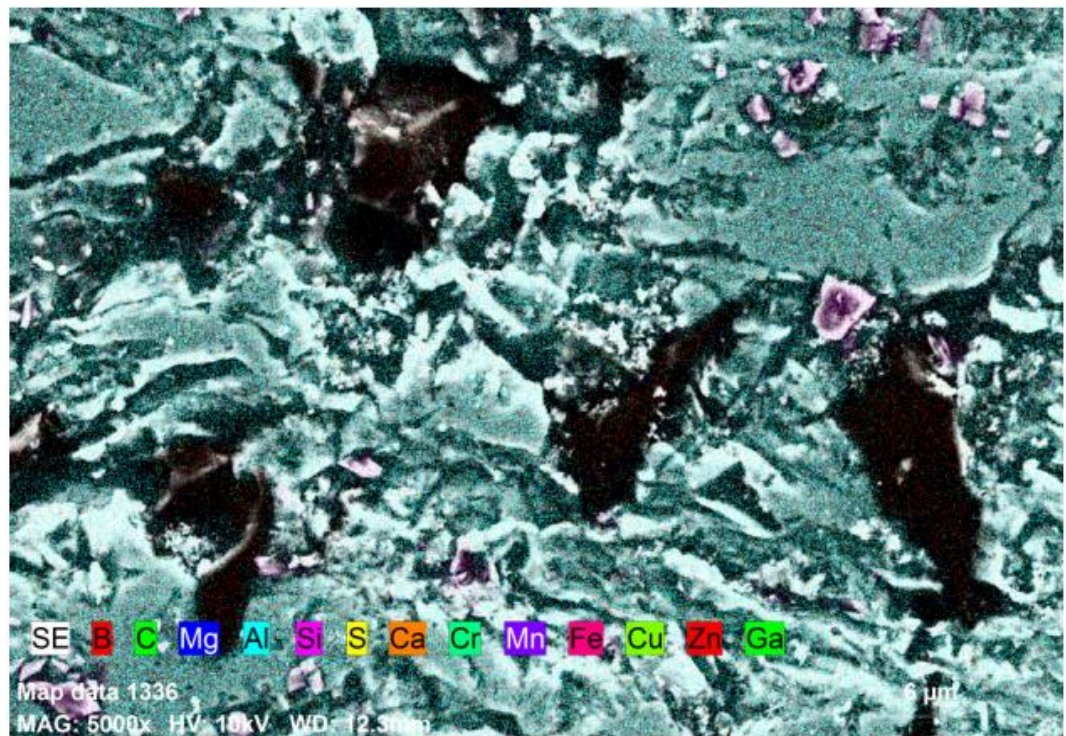
(b)



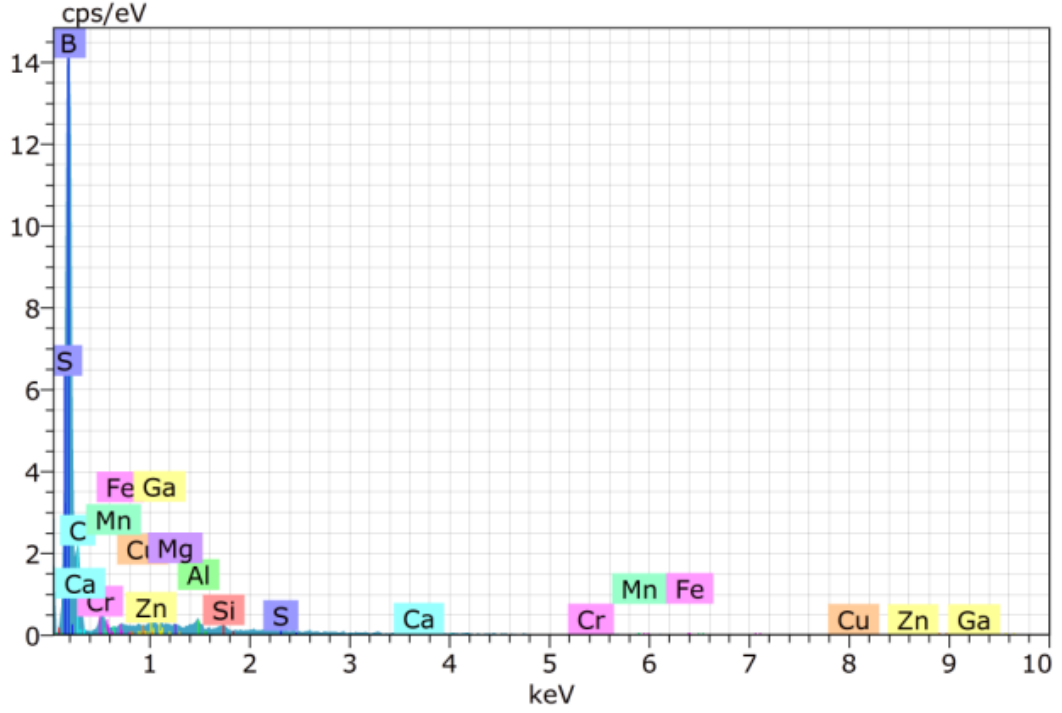
(c)



(d)



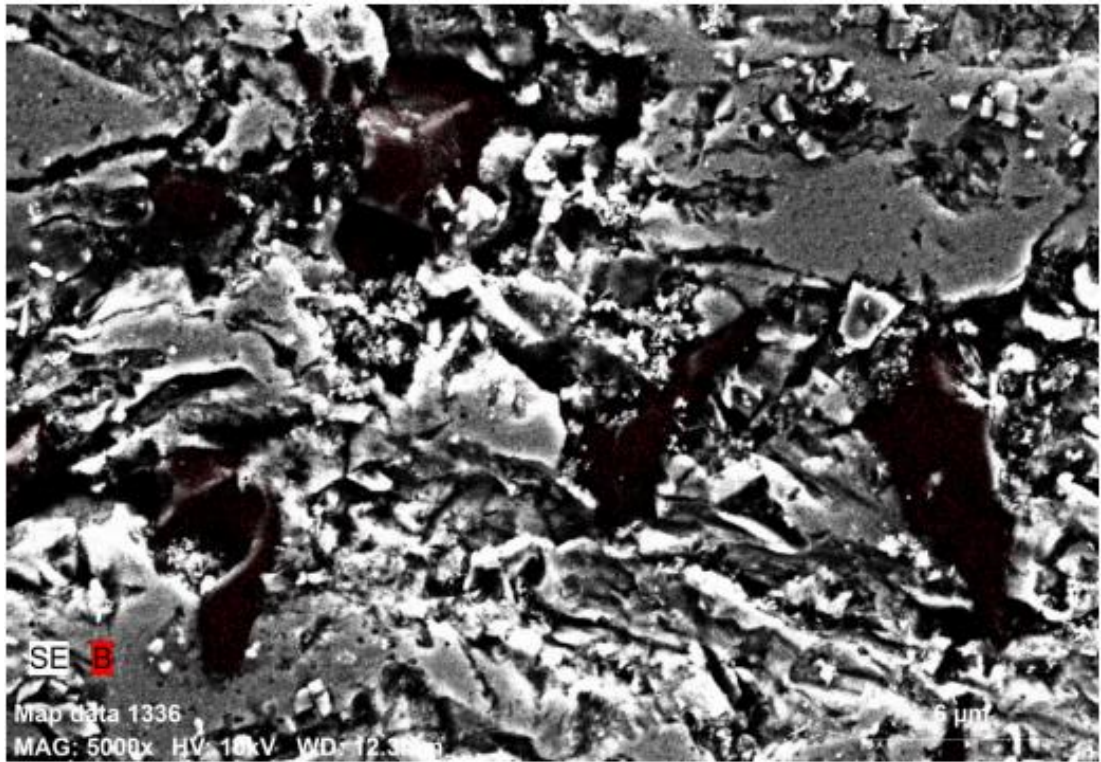
(e)



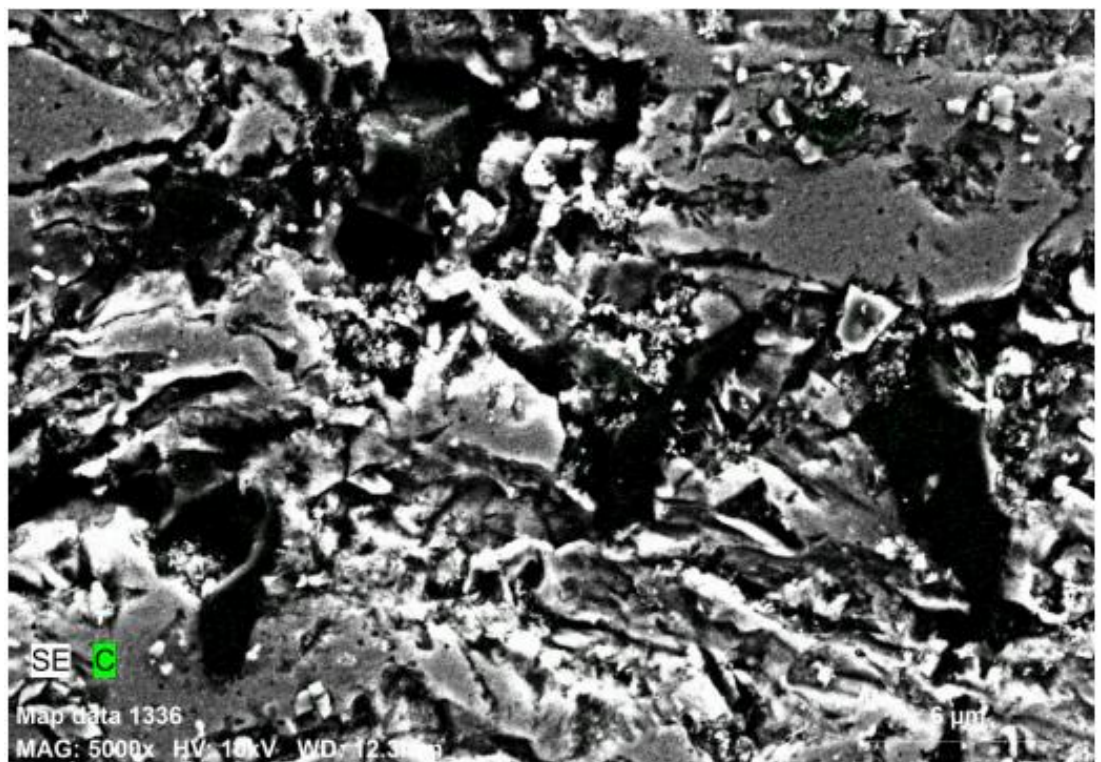
(f)

Şekil 5.59. %10 B₄C takviyeli Al7075 SEM görüntüleri; (a) 1kX büyütme; (b) Şekil 5.9.(a)'daki dikdörtgenin olduğu bölgenin 3kX büyütmesi; (c) Tane boyutlarının boyutu ile 3kX büyütme; (d) 5kX büyütmede görüntü EDX analizi; (e) Şekil 5.9.d'deki EDX görüntüsünün elementel eşleşmesi (f) EDX XRF analizi.

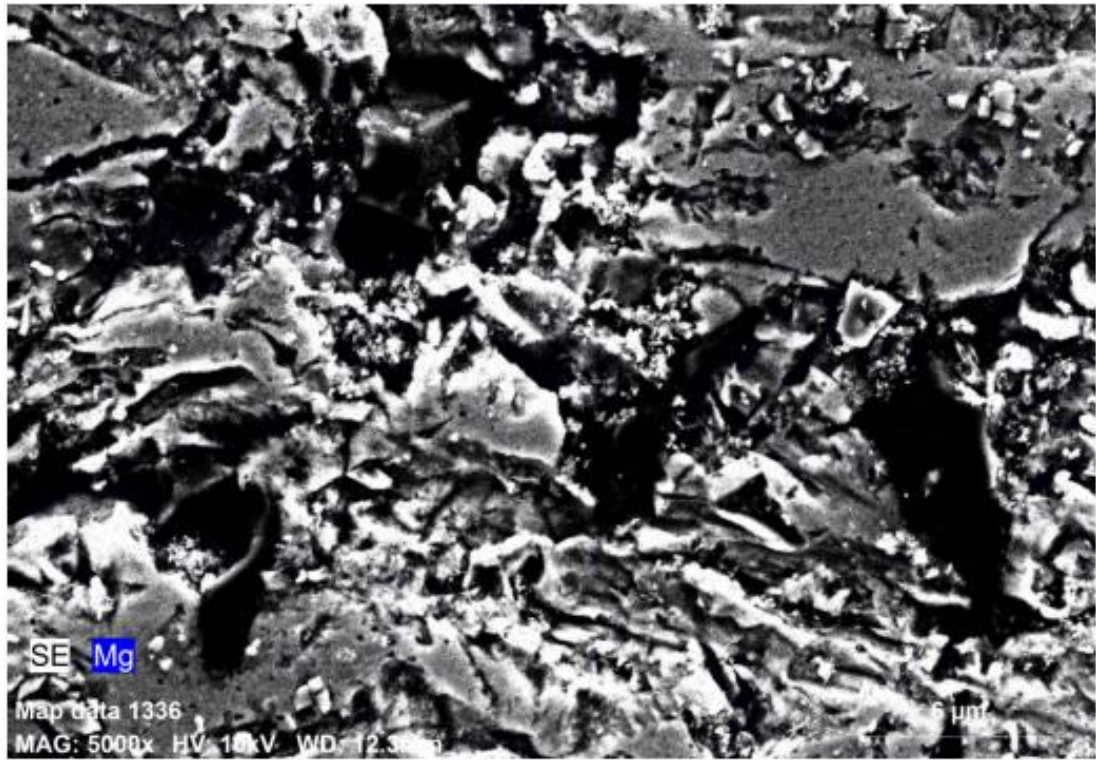
Şekil 5.9.a ile %10 B₄C takviyeli Al7075 numunesinin makro görüntüsü görülebilmektedir. Alınmış makro yapı görüntüsü üzerinde gösterilen sarı kare alan içerisinde 3kX büyütme görüntü alınmıştır. Alınan görüntü Şekil 5.9.b ile gösterilmiştir. Şekil 5.9.d ile Şekil 5.9.a'ı gösterilen alan içerisinde 5kX alan görüntüsü alınmıştır. Alınan görüntü üzerinden 5 nokta belirlenmiştir. Belirlenen noktalar için EDX analizi ve mapping yapılmıştır. Yapılan analiz sonucu Şekil 5.9.e ile gösterilmiştir. Şekil 5.9.e ile gösterilmiş olan analiz sonuçlarına göre mor rengin ağırlıklı olduğu fazlarda Si ağırlıklı olarak bulunmaktadır. Buradan anlaşılmaktadır ki B₄C ile gelen C elementinin bir kısmı matris içerisinde yer alan Si ile tepkimeye girerek SiC fazı oluşturmuştur. Siyah olarak görülen noktalarda kırmızı nokta olarak gösterilen noktalar B elementinin var olduğunu göstermektedir. Burada B₄C fazı olduğu görülebilmektedir.



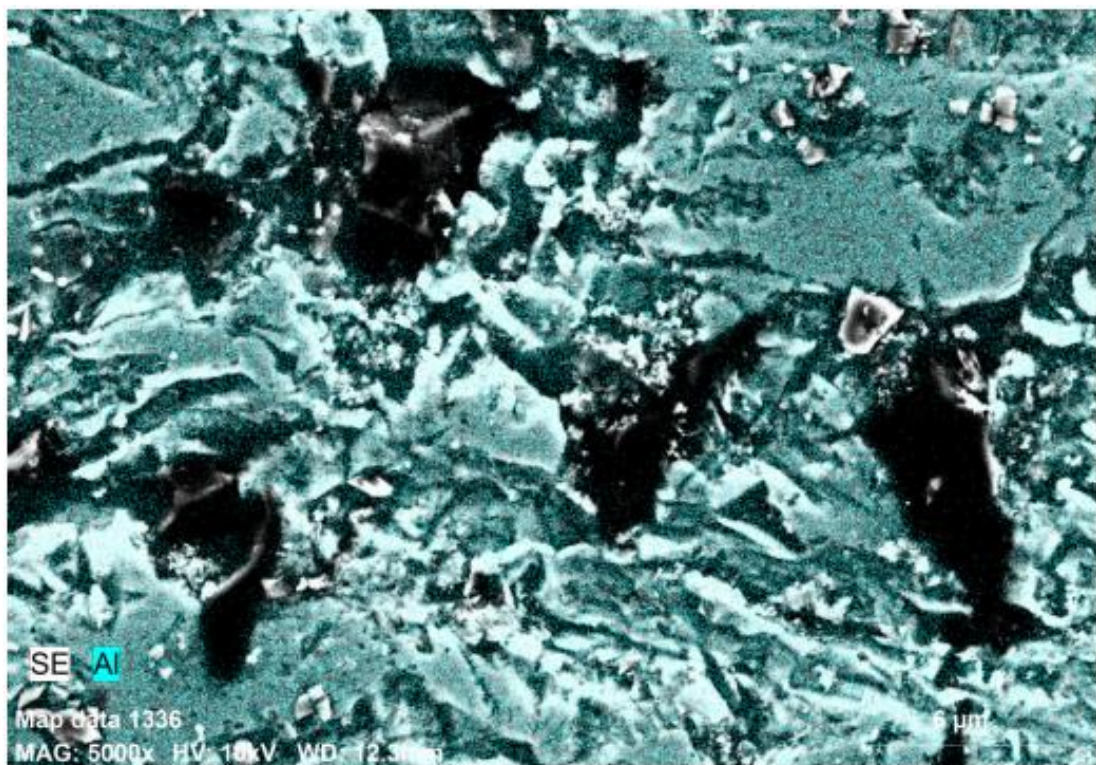
(a)



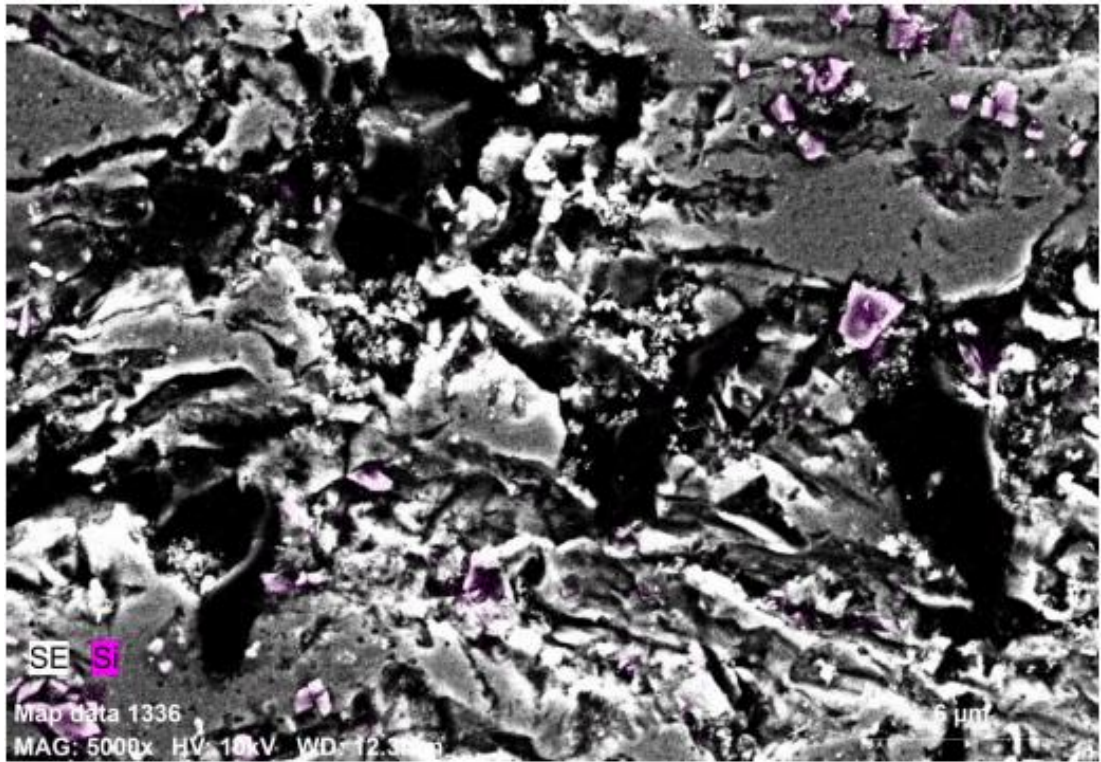
(b)



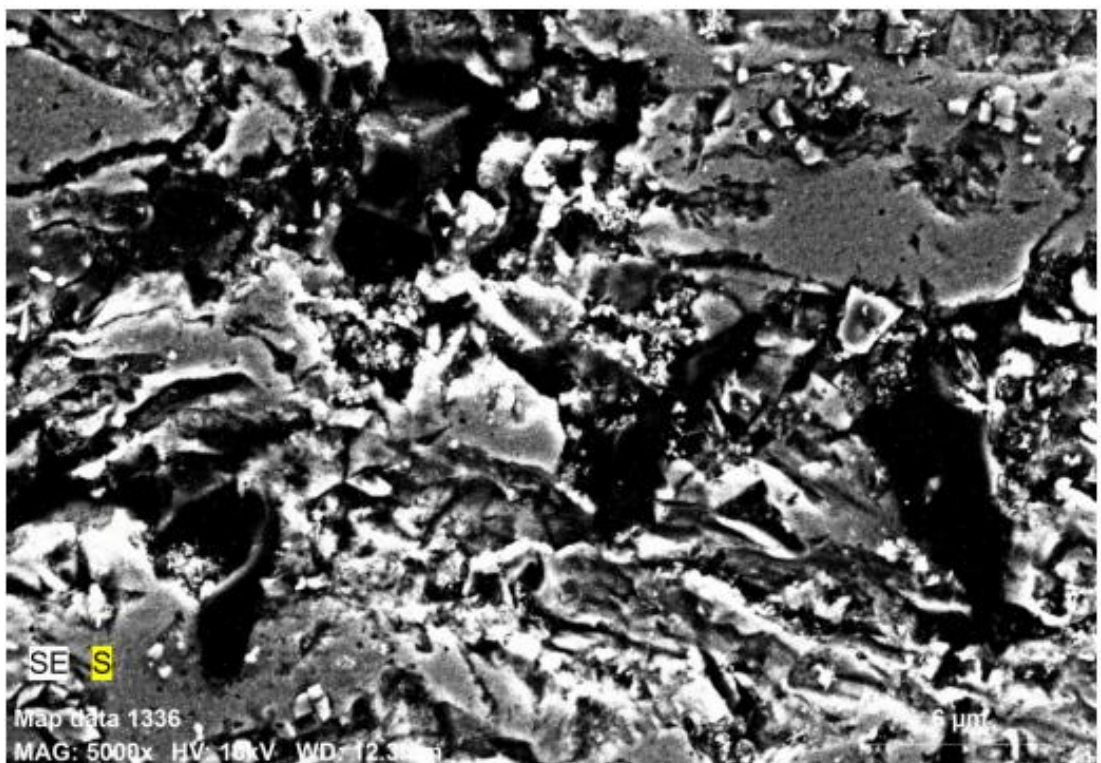
(c)



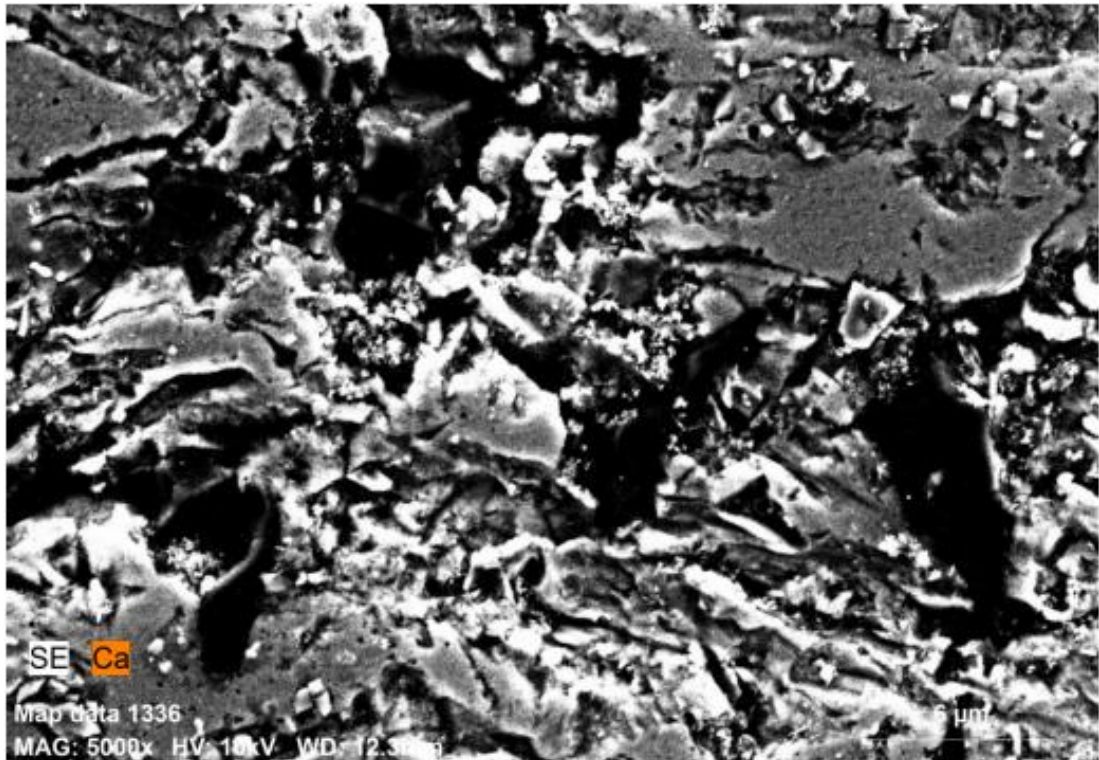
(d)



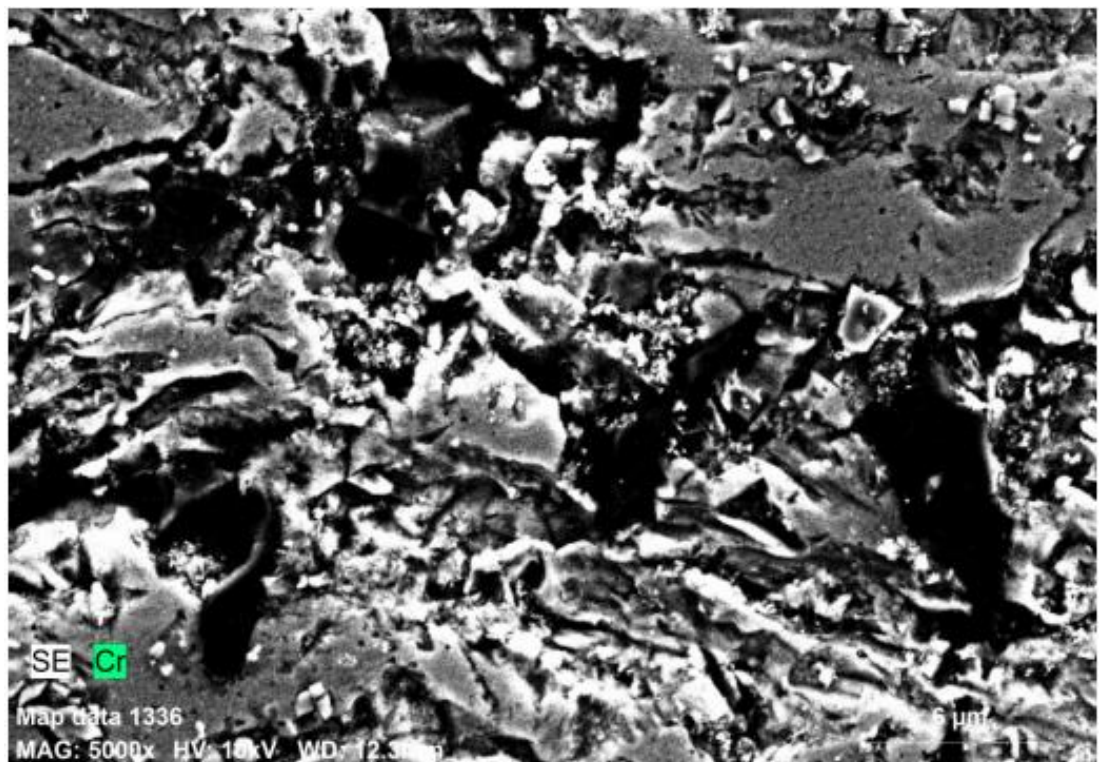
(e)



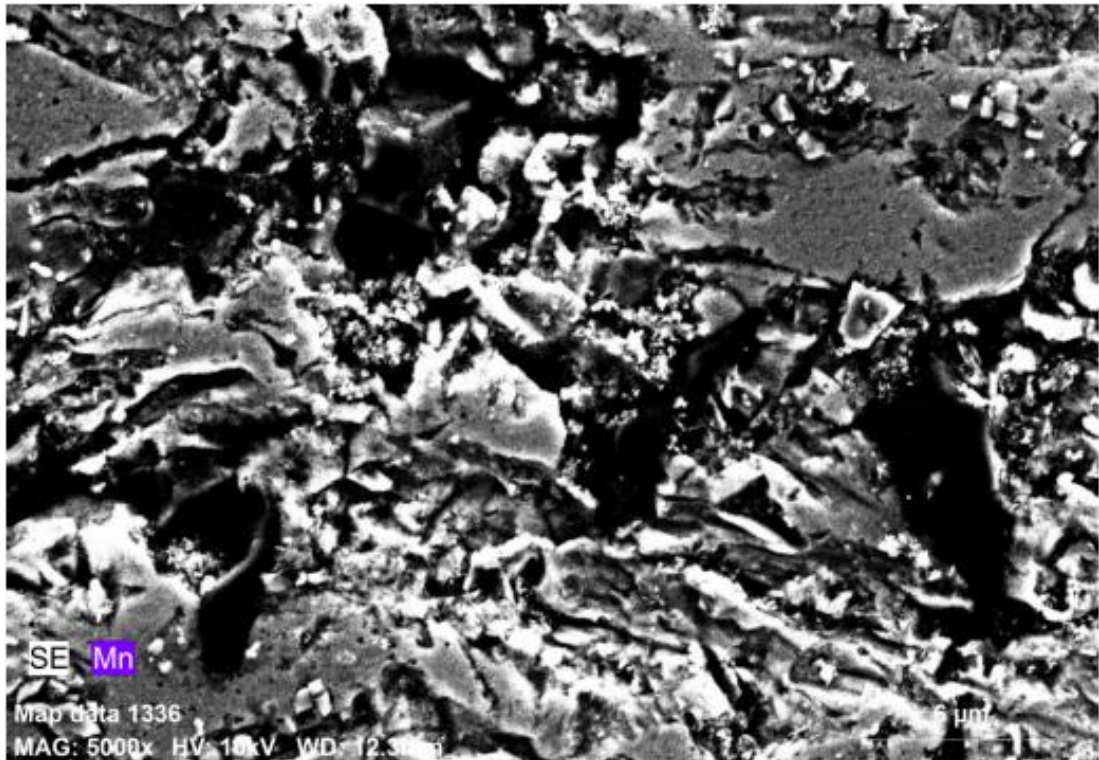
(f)



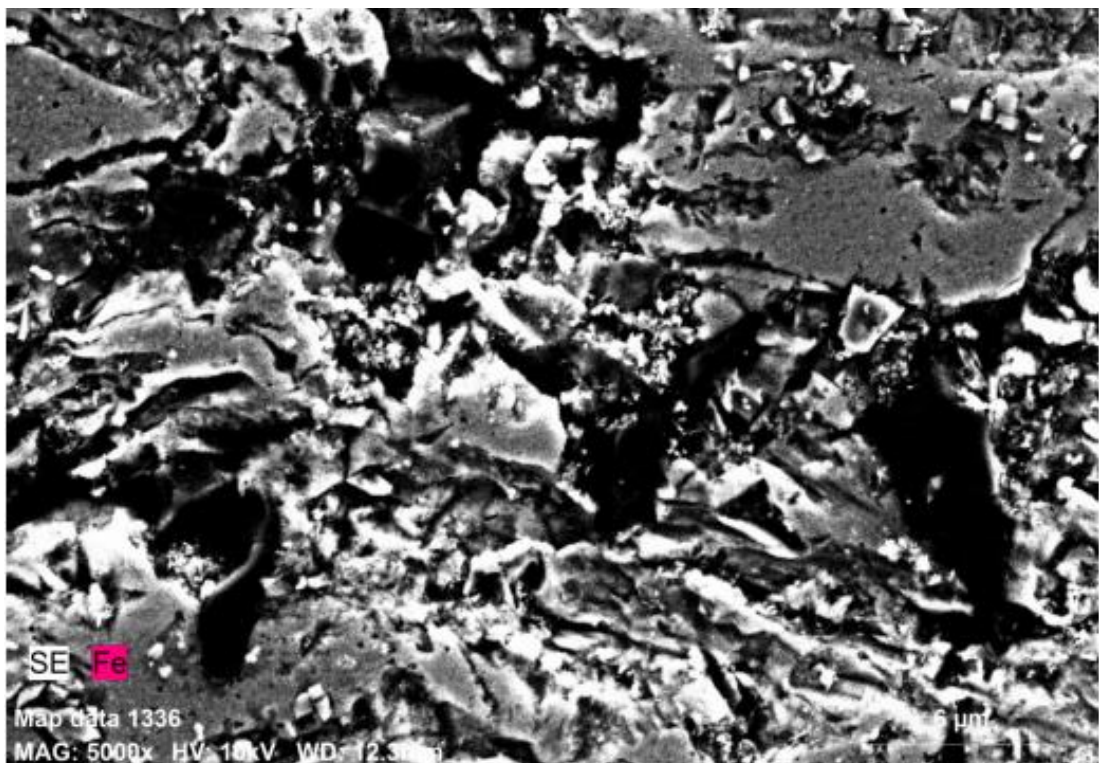
(g)



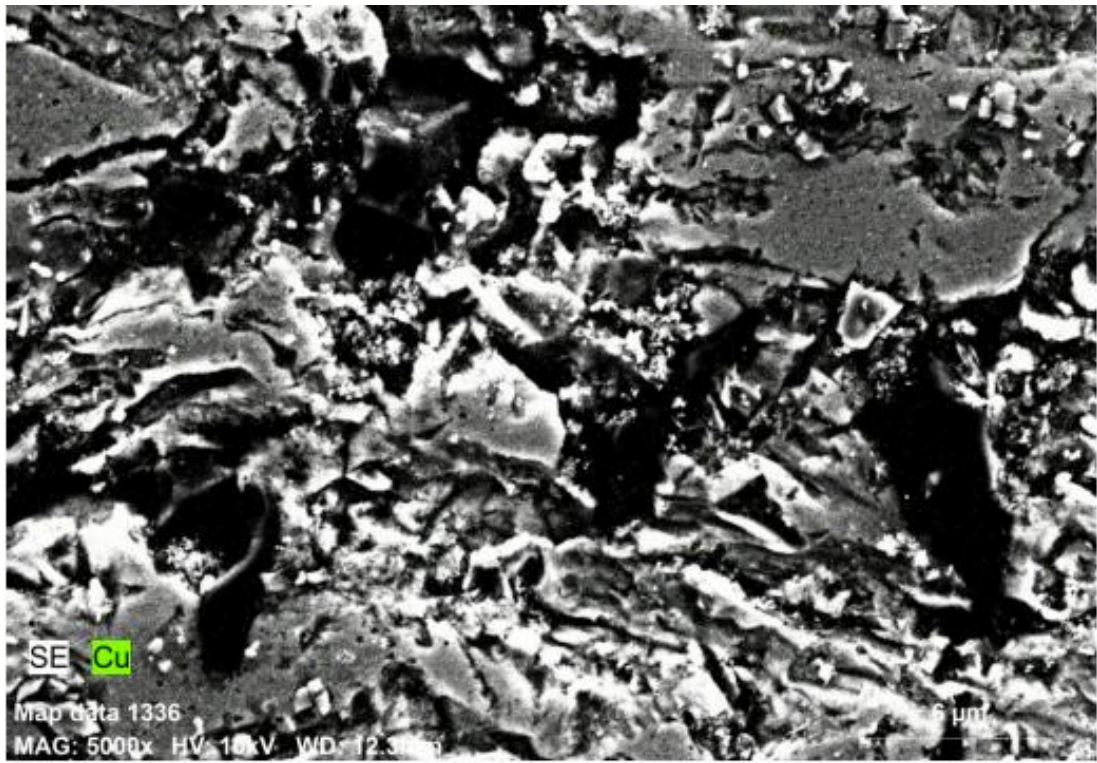
(h)



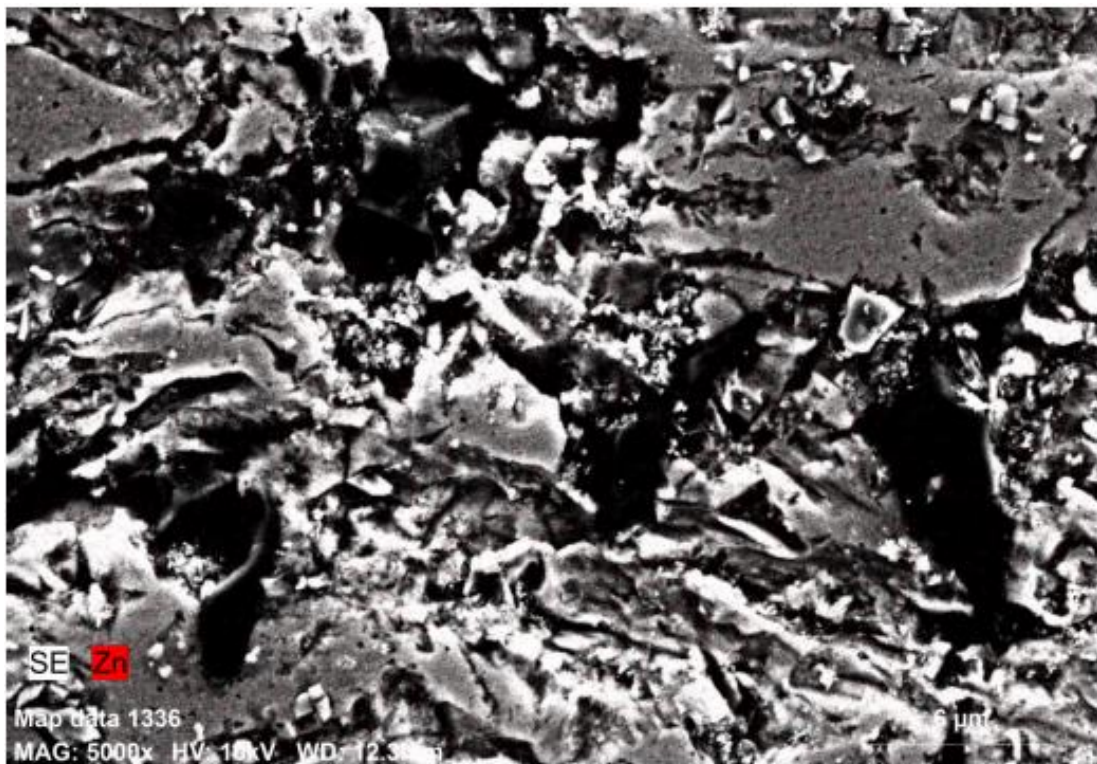
(i)



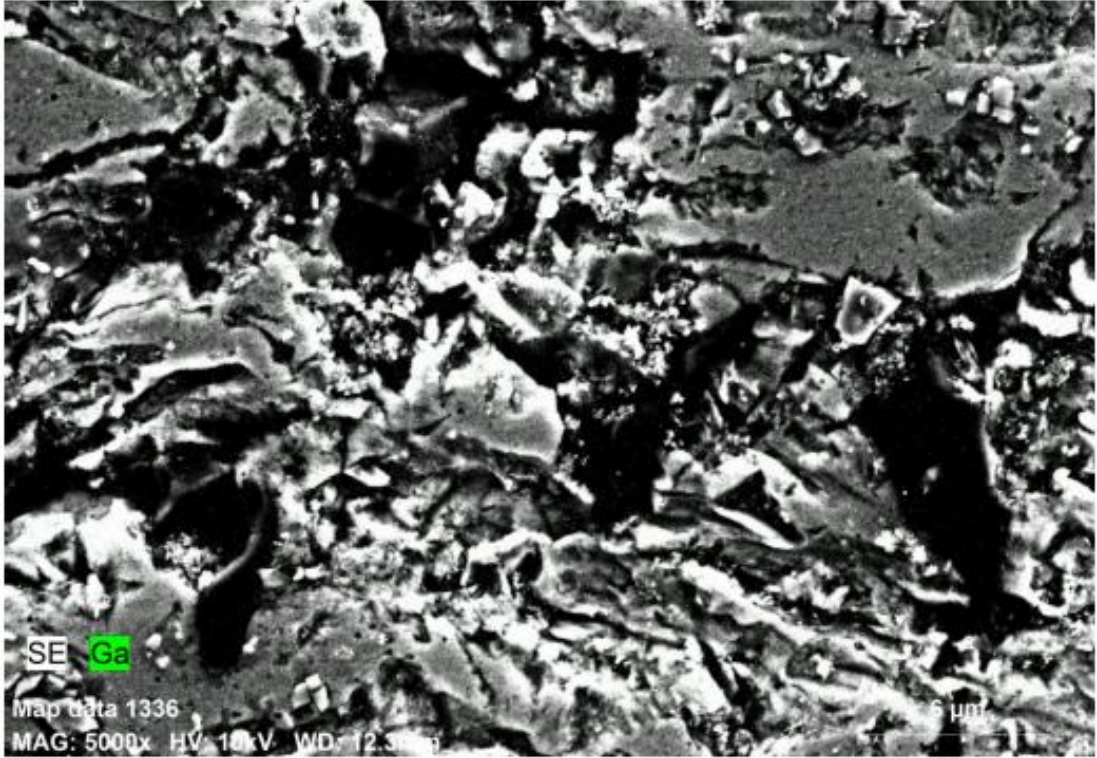
(j)



(k)



(l)



(m)

Şekil 5.510. %10 B₄C takviyeli Al7075 mapping görüntüleri; (a) B elementi mapping görüntüleri; (b) C elementi mapping görüntüleri; (c) Mg elementi mapping görüntüleri; (d) Al elementi mapping görüntüleri; (e) Si elementi mapping görüntüleri; (f) S elementi mapping görüntüleri; (g) Ca elementi mapping görüntüleri; (h) Cr elementi mapping görüntüleri; (i) Mn elementi mapping görüntüleri; (j) Fe elementi mapping görüntüleri; (k) Cu elementi mapping görüntüleri; (l) Zn elementi mapping görüntüleri; (m) Ga elementi mapping görüntüleri.

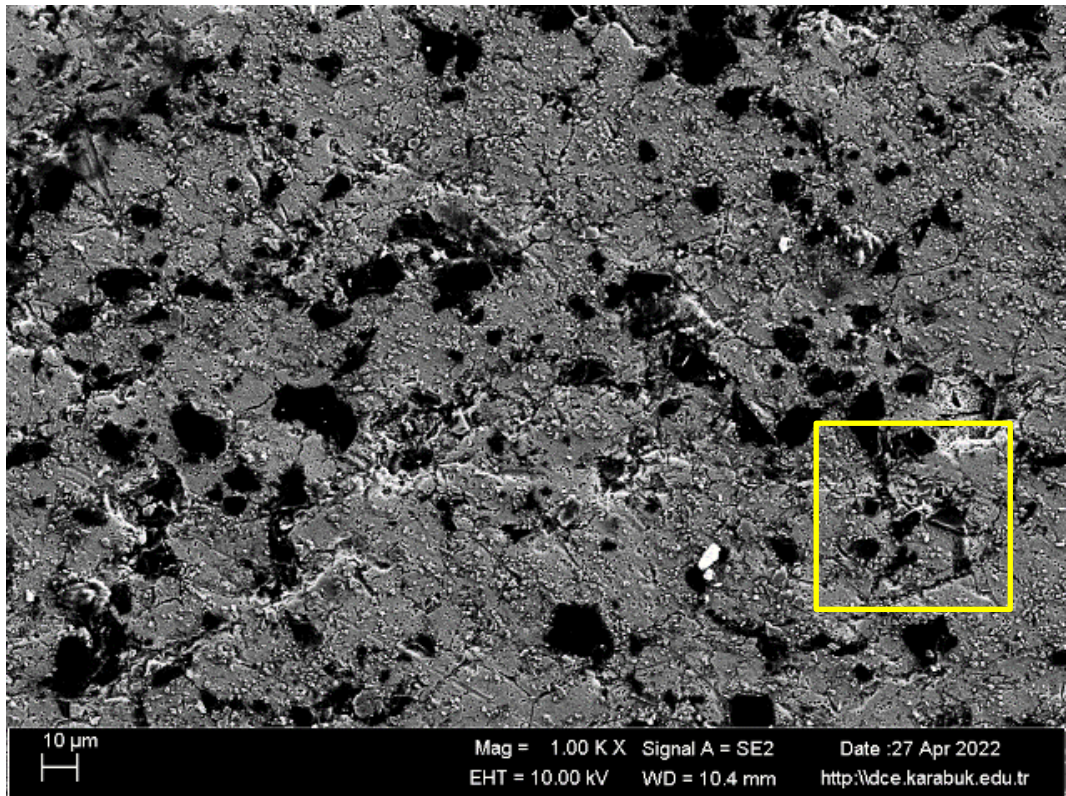
Sarı kare ile işaretlenmiş bölge 1, B₄C fazlarına sahiptir. İşaretli bölge 1 içerikleri Şekil 5.10.f'de gösterilmektedir. B₄C fazları homojen dağılmıştır. Şekil 5.10.e, elemanların dağılımını göstermektedir. Şekil 5.10.d. EDX spektral analizi ile incelenecek 5 bölge gösterilmiştir.

Çizelge 5.56. %10 B₄C takviyeli Al7075 için Şekil 5.9 ile gösterilen alandan alınmış spektral analiz sonuçları.

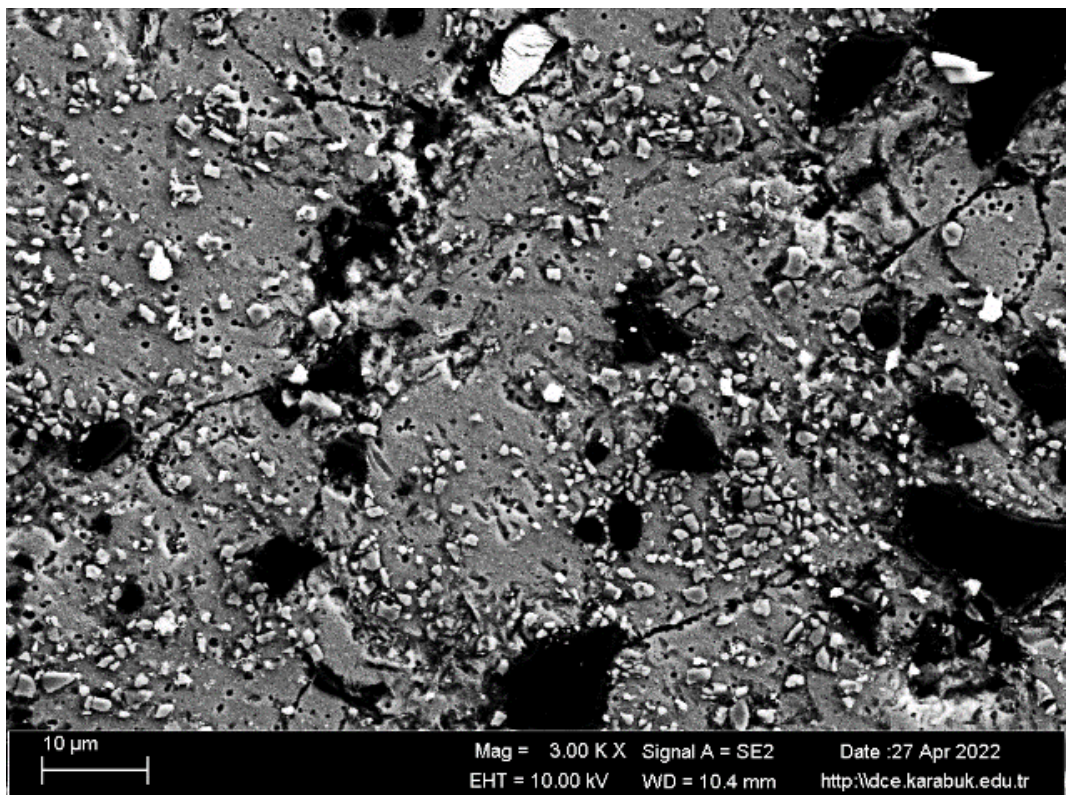
Spektrum	B	C	Mg	Al	Si	S	Ca	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Ga
1	77.79	21.34	0.08	0.17	0.11	0.00	0.00	0.05	0.01	0.00	0.13	0.19	0.13
2	9.00	3.25	0.92	75.60	0.09	0.00	0.00	0.14	0.37	0.00	3.32	6.87	0.44
3	11.75	22.22	0.88	25.43	34.70	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	1.66	2.96	0.30
4	17.75	8.27	1.46	61.94	0.36	0.00	0.00	0.28	0.00	0.79	2.92	5.91	0.33
5	81.72	8.92	1.20	7.33	0.52	0.00	0.01	0.18	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00
6	10.91	8.86	0.93	63.57	6.29	0.05	0.19	0.27	0.02	0.00	2.85	5.73	0.34
Ort. değeri:	34.82	12.14	0.91	39.00	7.01	0.01	0.05	0.15	0.06	0.13	1.81	3.63	0.26
Sigma:	34.95	7.76	0.46	32.14	13.78	0.02	0.08	0.11	0.15	0.32	1.46	2.99	0.16
Sigma ort.:	14.27	3.17	0.19	13.12	5.62	0.01	0.03	0.05	0.06	0.13	0.60	1.22	0.07

Çizelge 5.6 ile gösterilen EDX analizinin incelenen bölgeleri Şekil 5.10.d ile gösterilmiştir. Elde edilen içerik değerleri ise Çizelge 5.10 ile gösterilmiştir. Şekil 5.10.d'de gösterilen 1 numaralı alan %77.79 oranında B ve %21.34 oranında C elementi içermektedir. Bu yoğunluk işaretlenmiş bölgede B₄C fazı oluştuğunu göstermektedir. Şekil 5.10.d'de gösterilen 2 numaralı alan matristen gelen Al elementini %75.60 oranında içermektedir. Matristen gelen %6.87 oranında Zn elementi içermektedir. Şekil 5.10.d'de gösterilen 3 numaralı alan %34.70 oranında Si, %22.22 oranında C içermektedir. Bu yoğunluk değerleri bu bölgede SiC fazının oluştuğunu göstermektedir. Şekil 5.10.d'de gösterilen 4 numaralı alan matristen gelen %61.94 oranında Al içermektedir. Şekil 5.10.d'de gösterilen 5 numaralı alan %81.72 oranında B ve %8.92 oranında C elementi içermesi sebebiyle bölgenin B₄C fazı olduğu anlaşılabilir. Şekil 5.10.d'de gösterilen 6 numaralı alan matristen gelen %63.57 oranında Al içermektedir.

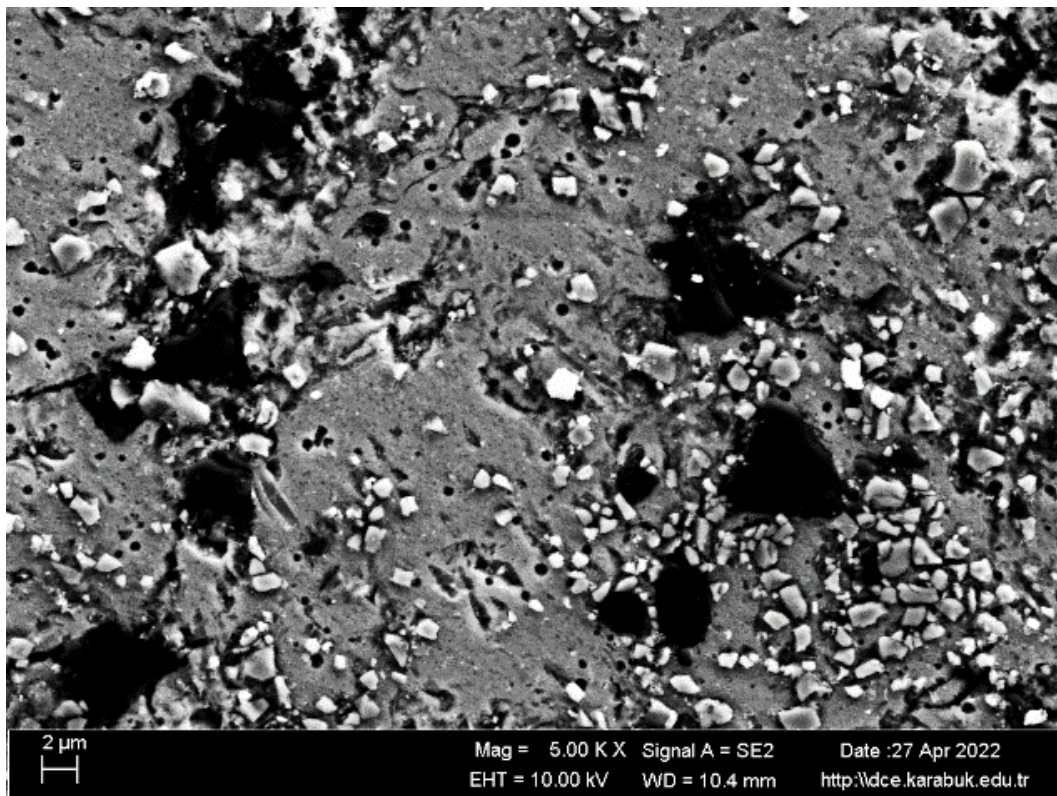
Şekil 5.10.a, %10 B₄C takviyeli Al7075'in 1kX büyütmede mikroyapı görüntüsü gösterilmiştir. Şekil 5.10.b, Şekil 5.10.a'da dikdörtgen ile gösterilen bölgenin 3 kX büyütmesini temsil eder. Şekil 5.10.c'de ise 5kX büyütme. Şekillerden görüldüğü gibi taneler küreseldir ve taneler arasındaki porozite çok az olduğu için sinterleme işlemi başarılıdır. Ortalama tane boyutu (Şekil 5.10.c'de) 12 µm olarak hesaplanmıştır. 5 ölçümün ortalamasını alarak hesaplamalar yapılmıştır.



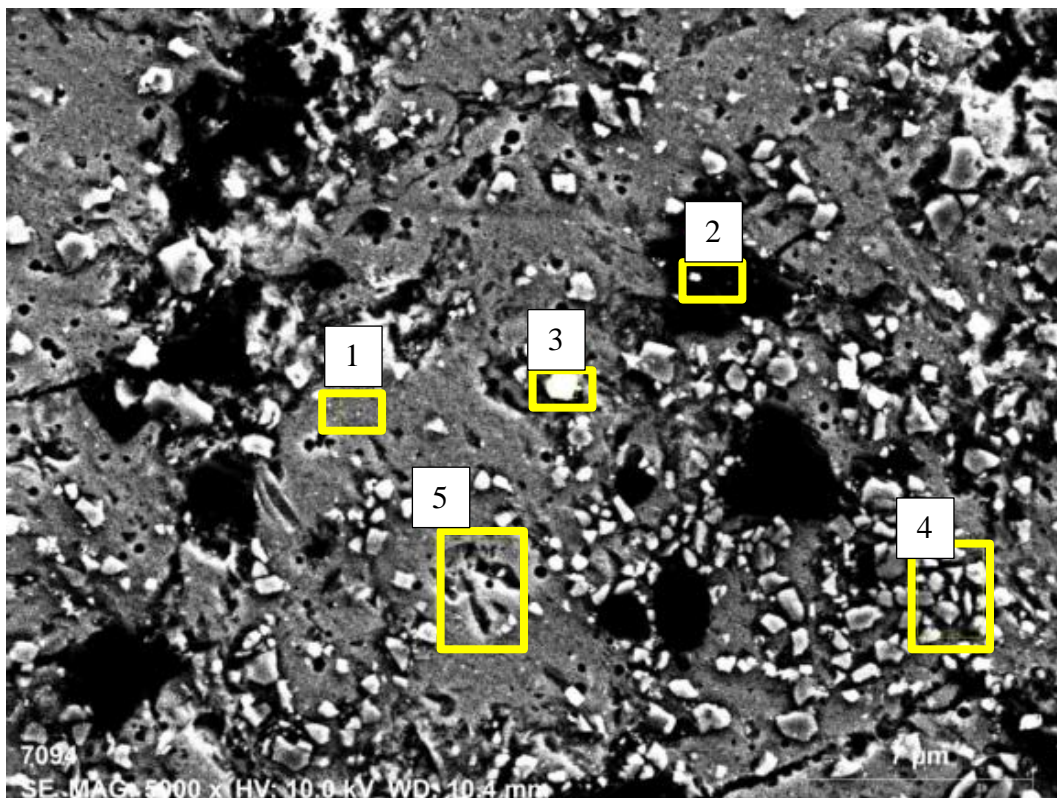
(a)



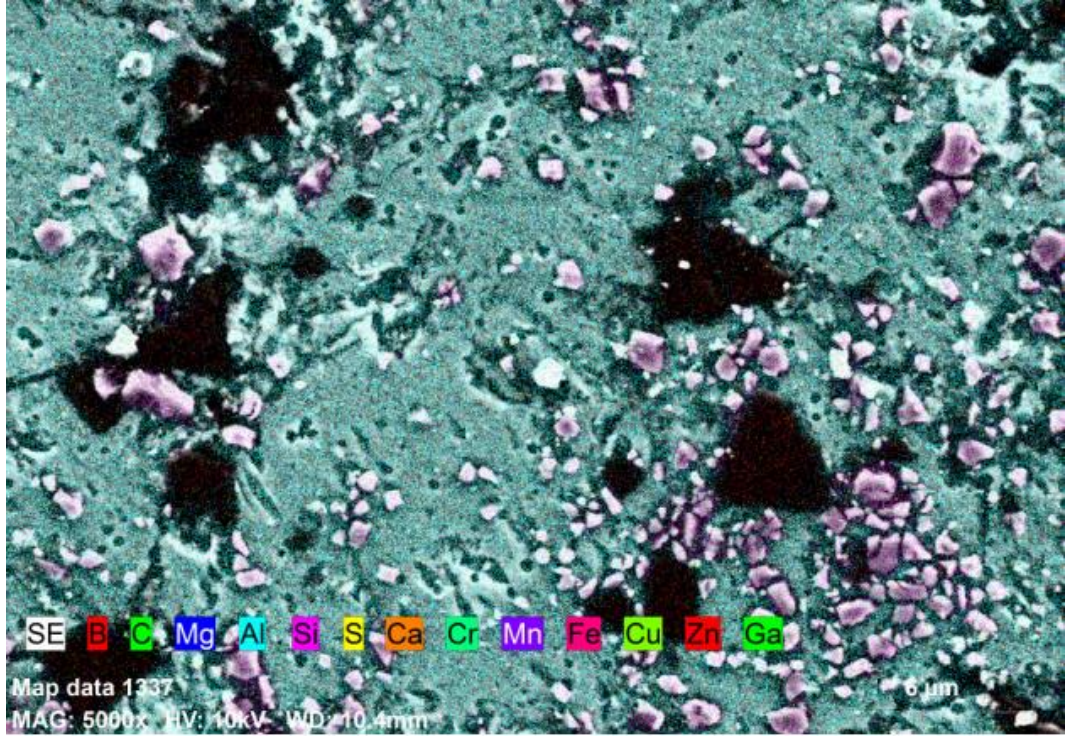
(b)



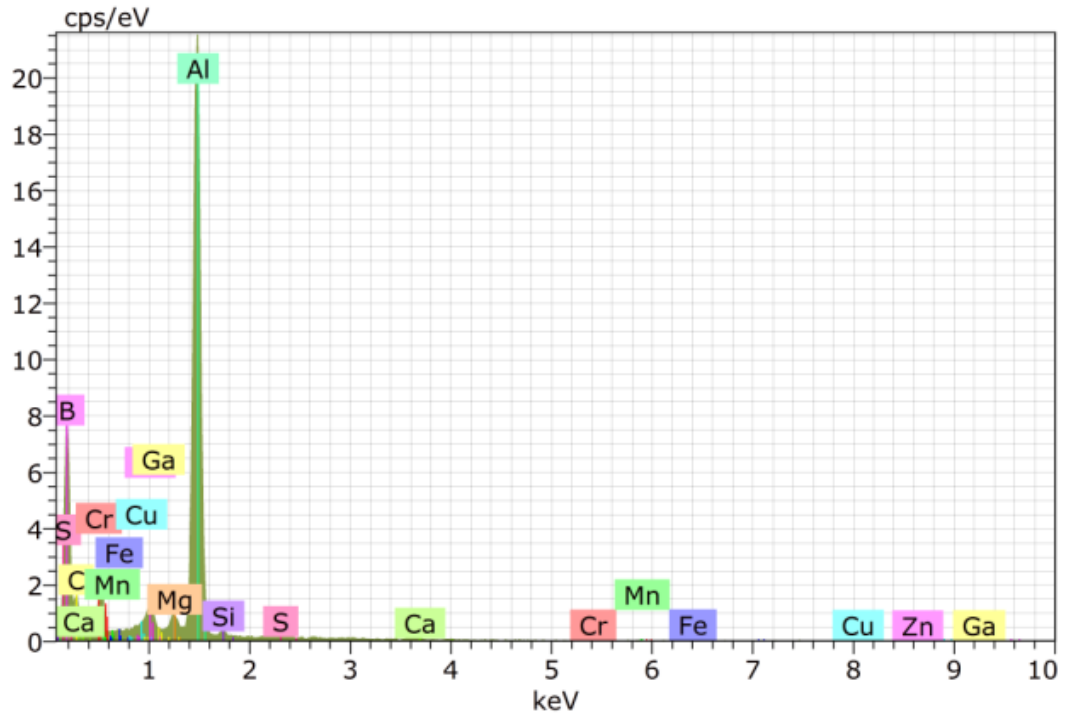
(c)



(d)



(e)

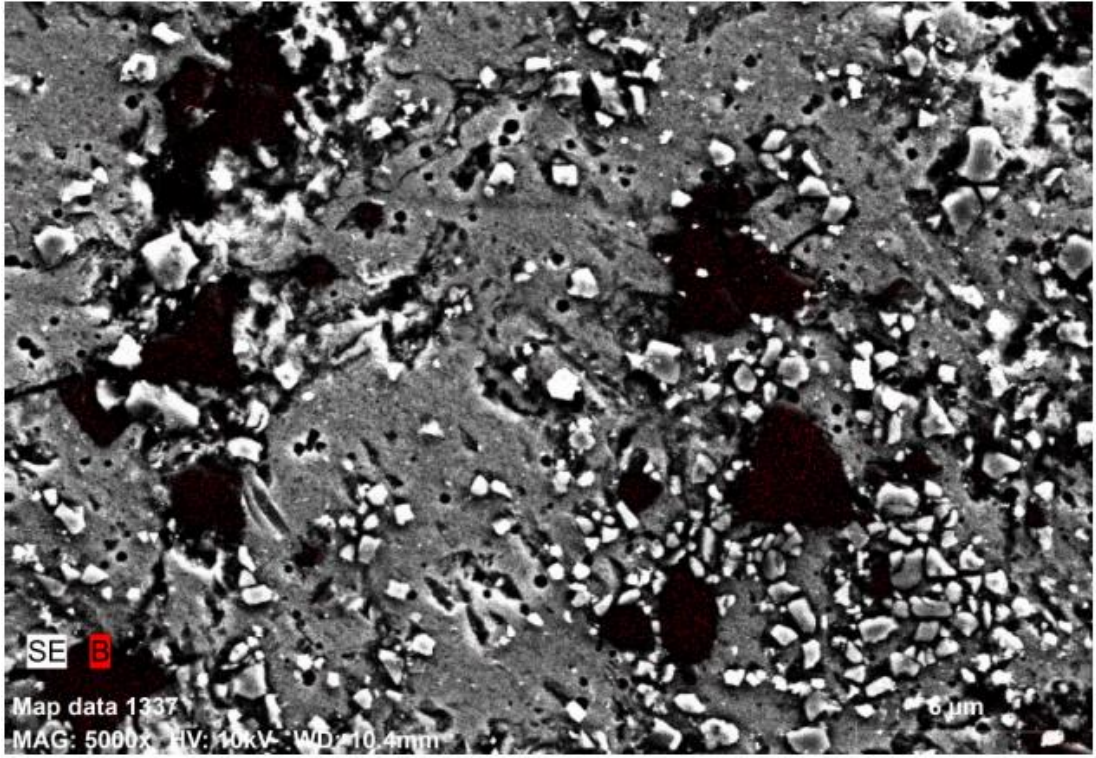


(f)

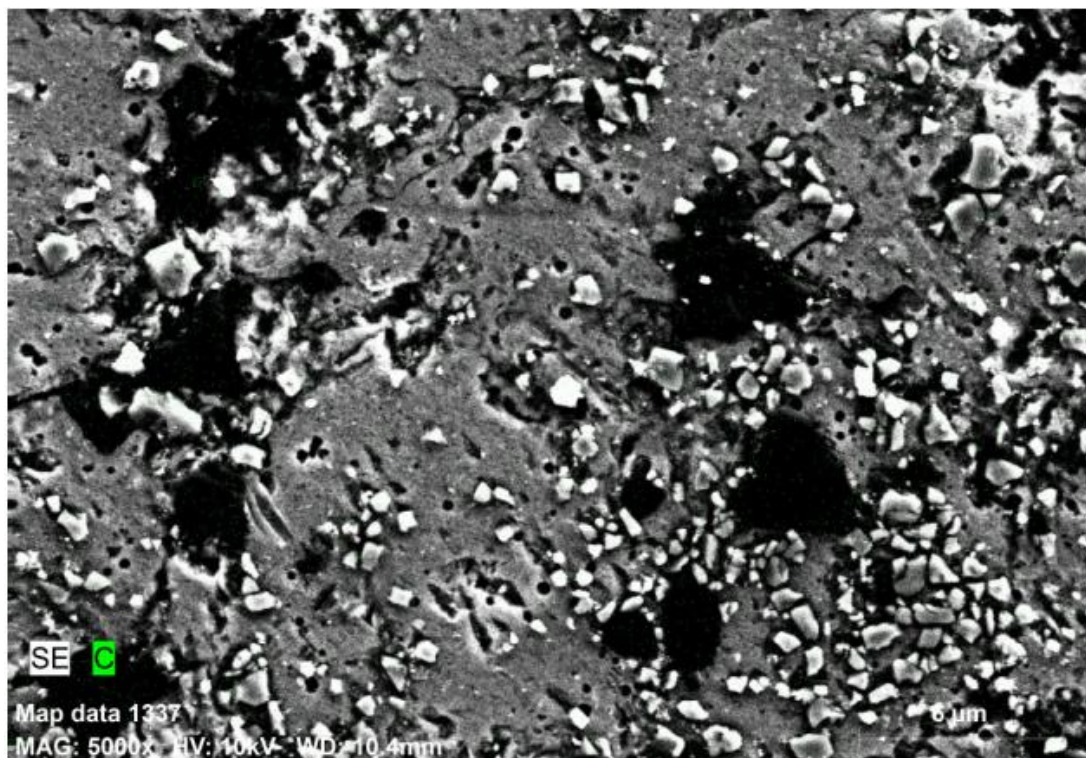
Şekil 5.511. %20 B₄C takviyeli Al7075'in SEM görüntüleri verilmiştir; (a) 1kX büyütme; (b) Şekil 5.11.a'daki dikdörtgenin olduğu bölgenin 3kX büyütmesi; (c) Tane boyutlarının boyutu ile 3kX büyütme; (d) 5kX büyütmede görüntü EDX analizi; (e) Şekil 5.5.11.d'deki EDX

görüntüsünün elementel eşlemesi; (f) Şekil 5.11.d'de işaretli bölge 1 Şekil 5.11.d, %20 B₄C takviyeli Al7075'in 5kX büyütmede mikroyapı görüntüsü.

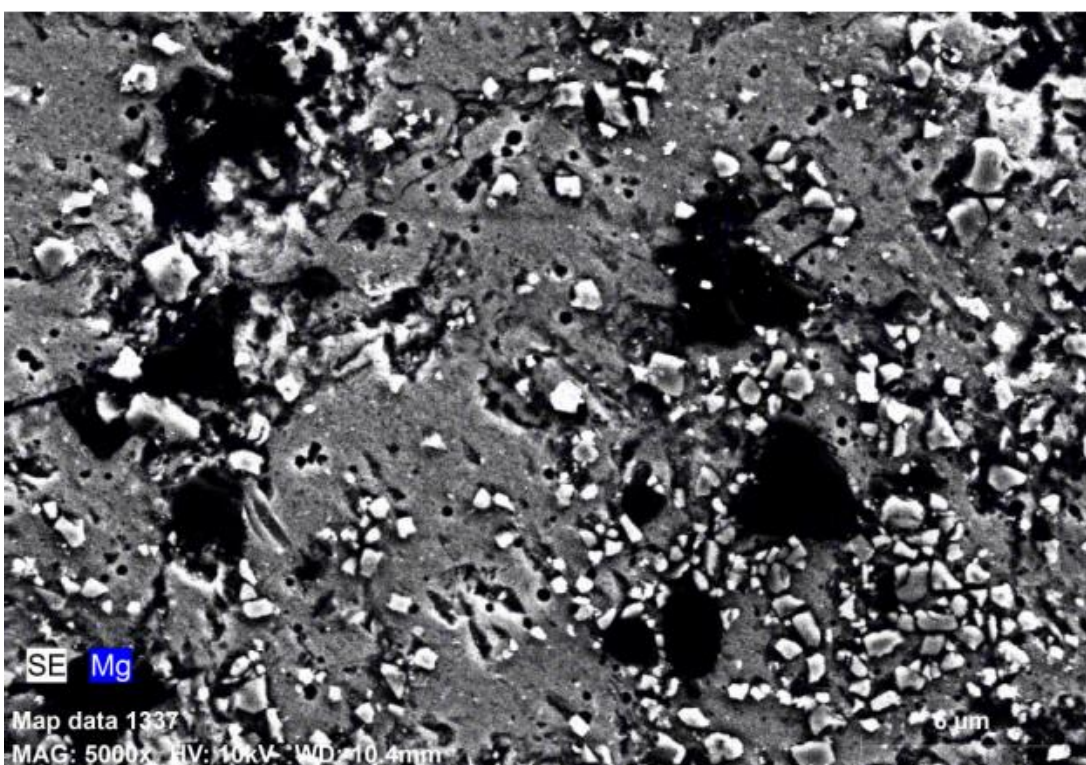
Şekil 5.11.a, %20 B₄C takviyeli Al7075'in 1kX büyütmede mikroyapı görüntüsü gösterilmiştir. Şekil 5.11.b, Şekil 5.11.a'da dikdörtgen ile gösterilen bölgenin 3 kX büyütmesini temsil eder. Şekil 5.11.c'de ise 5kX büyütme. Şekillerden görüldüğü gibi taneler arasındaki porozite çok az olduğu için sinterleme işlemi başarılıdır.



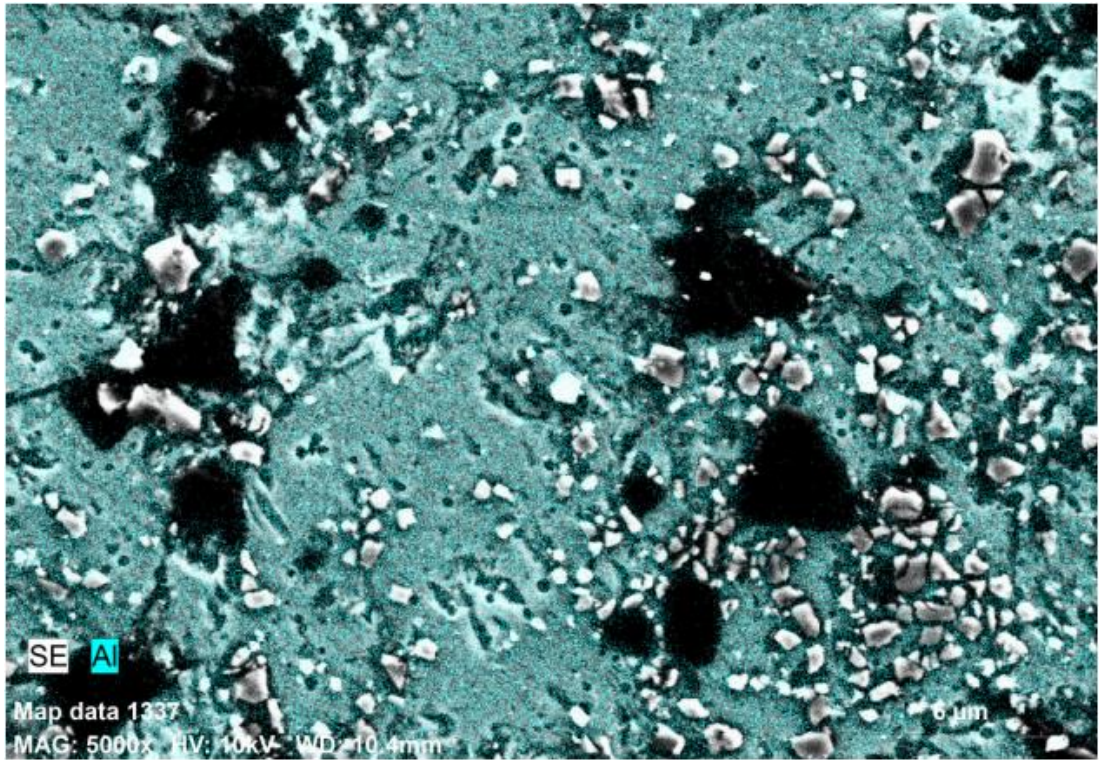
(a)



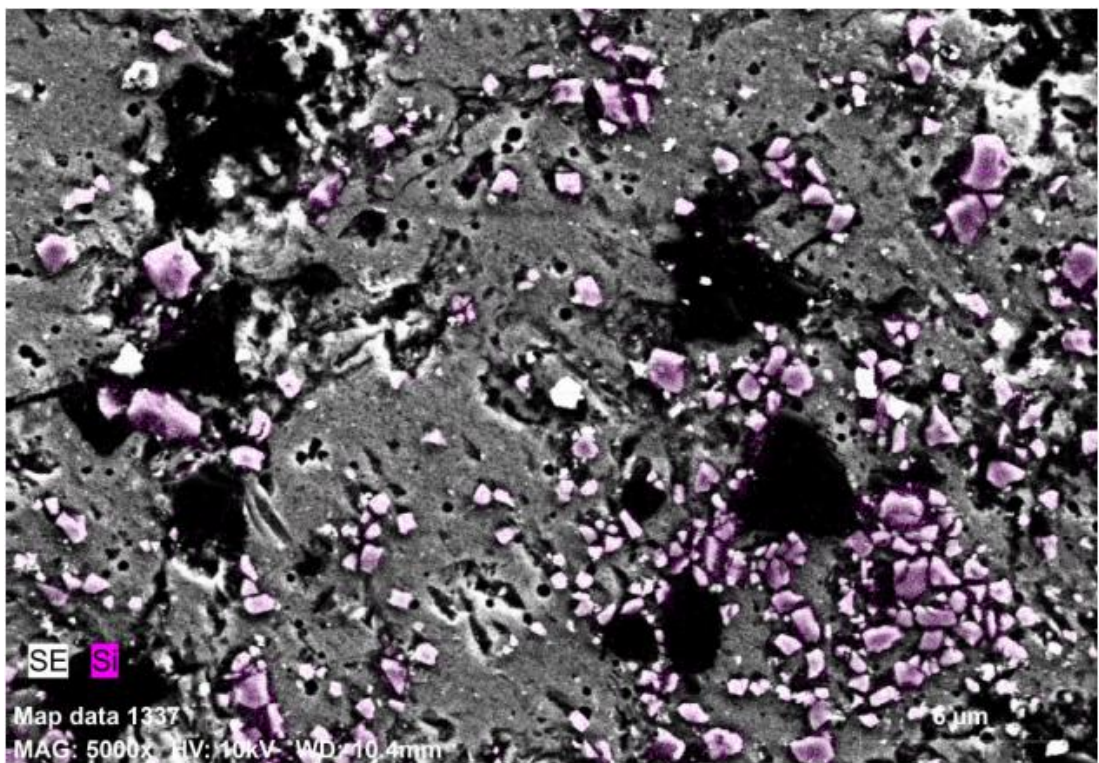
(b)



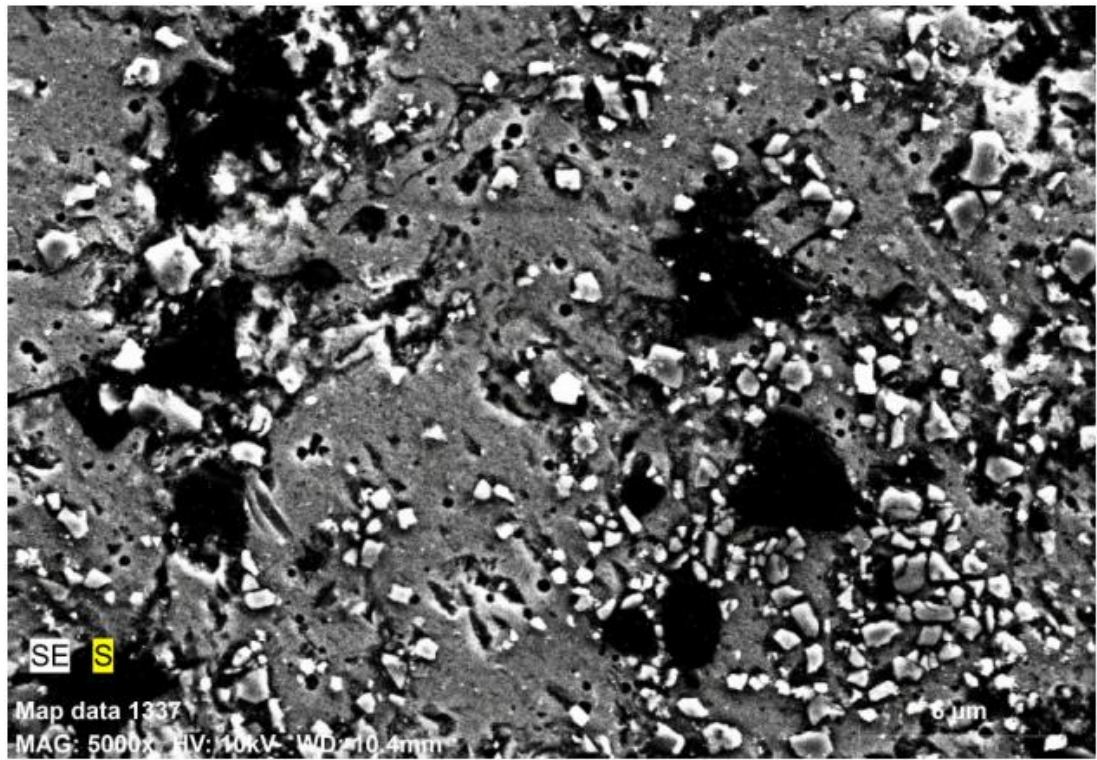
(c)



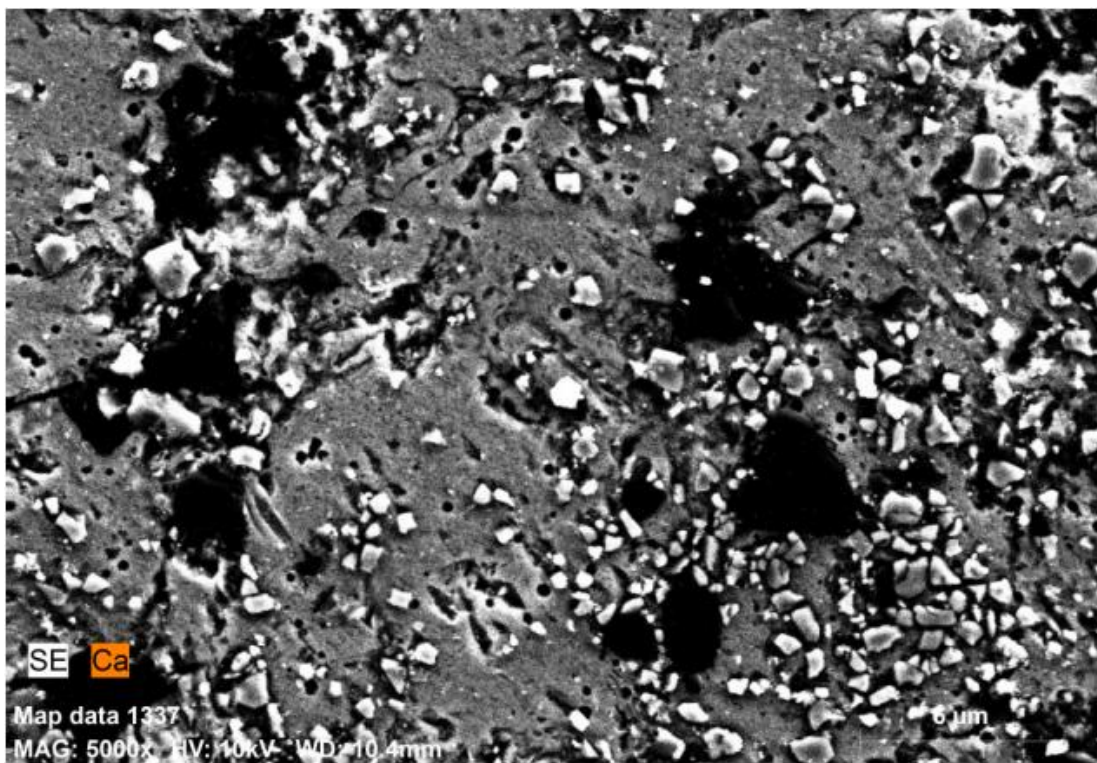
(d)



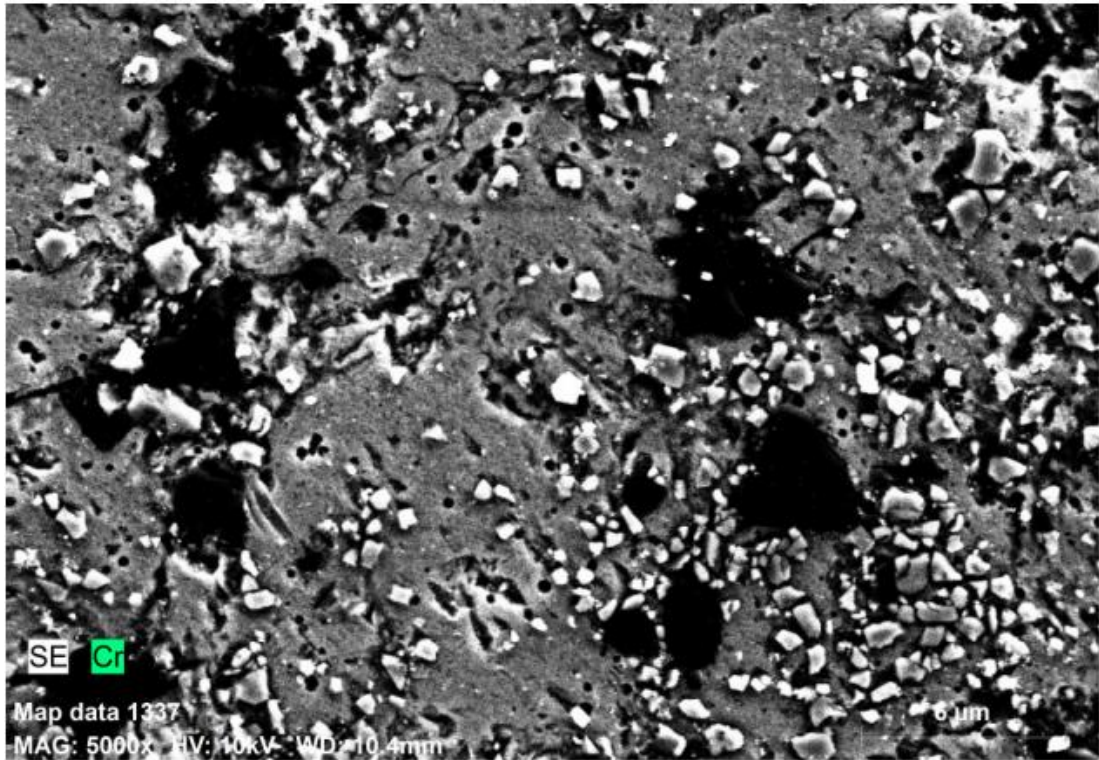
(e)



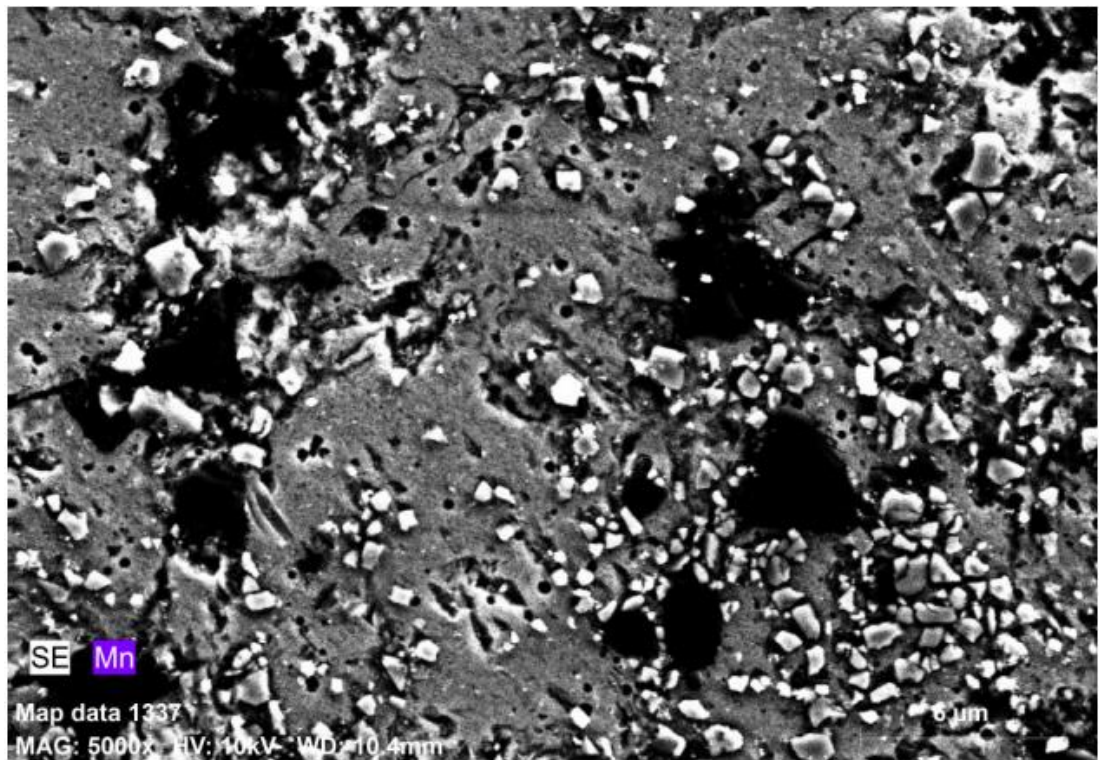
(f)



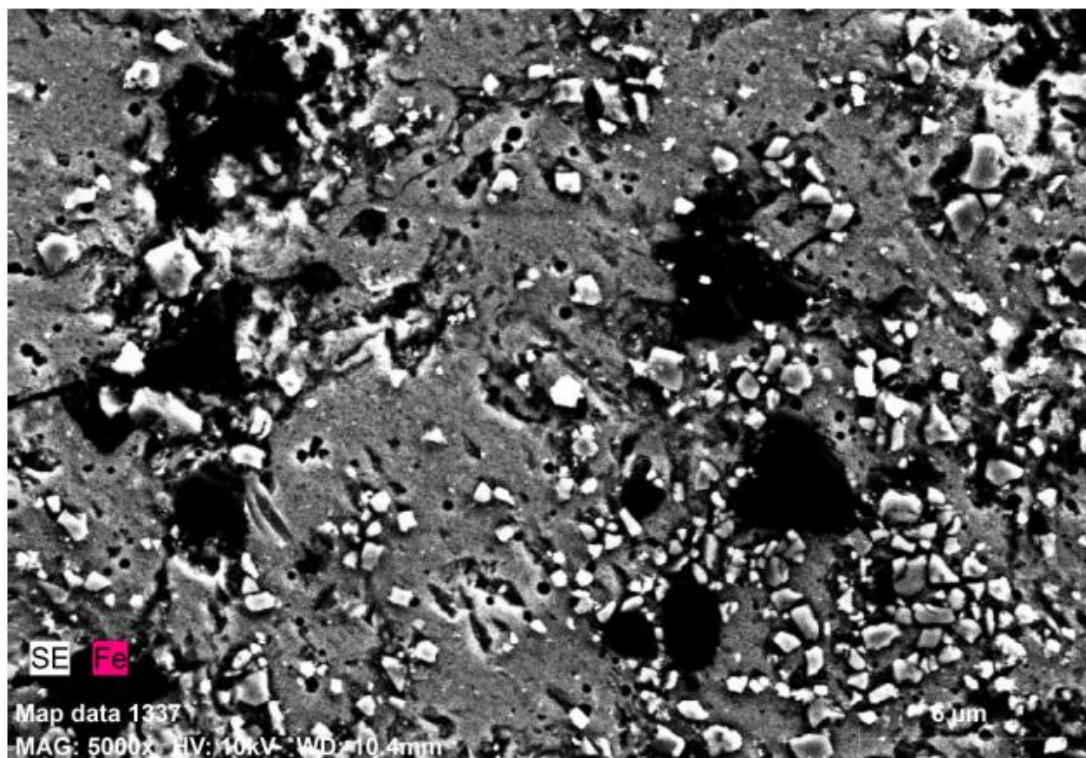
(g)



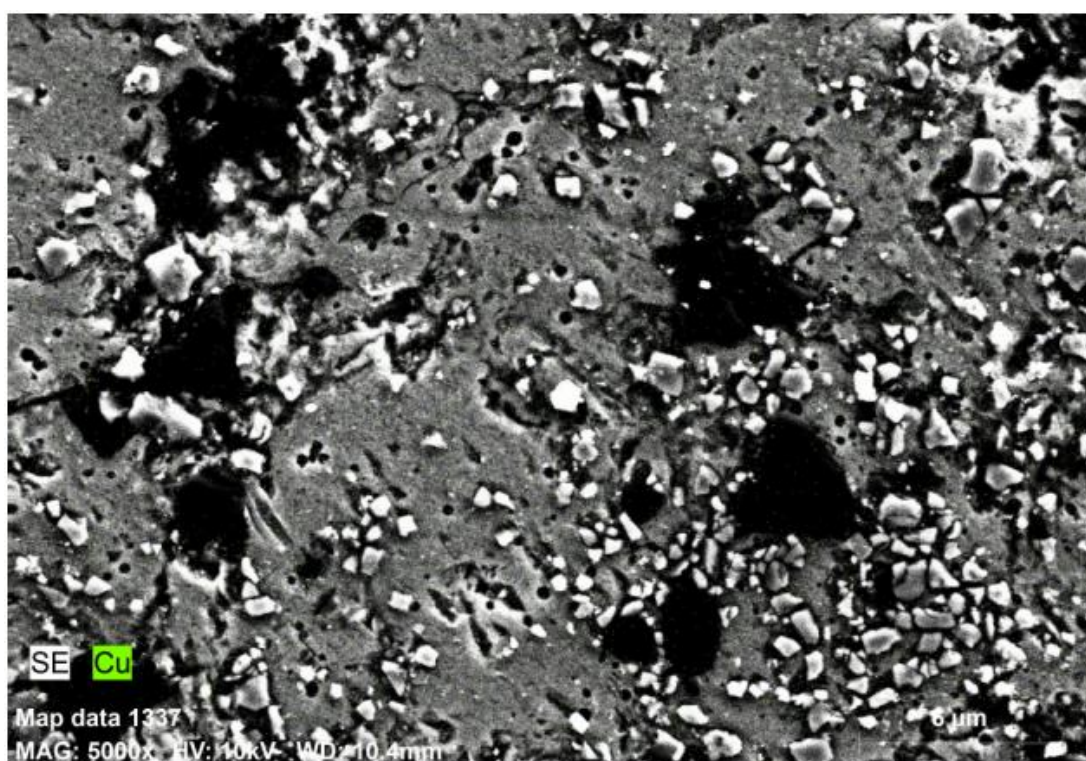
(h)



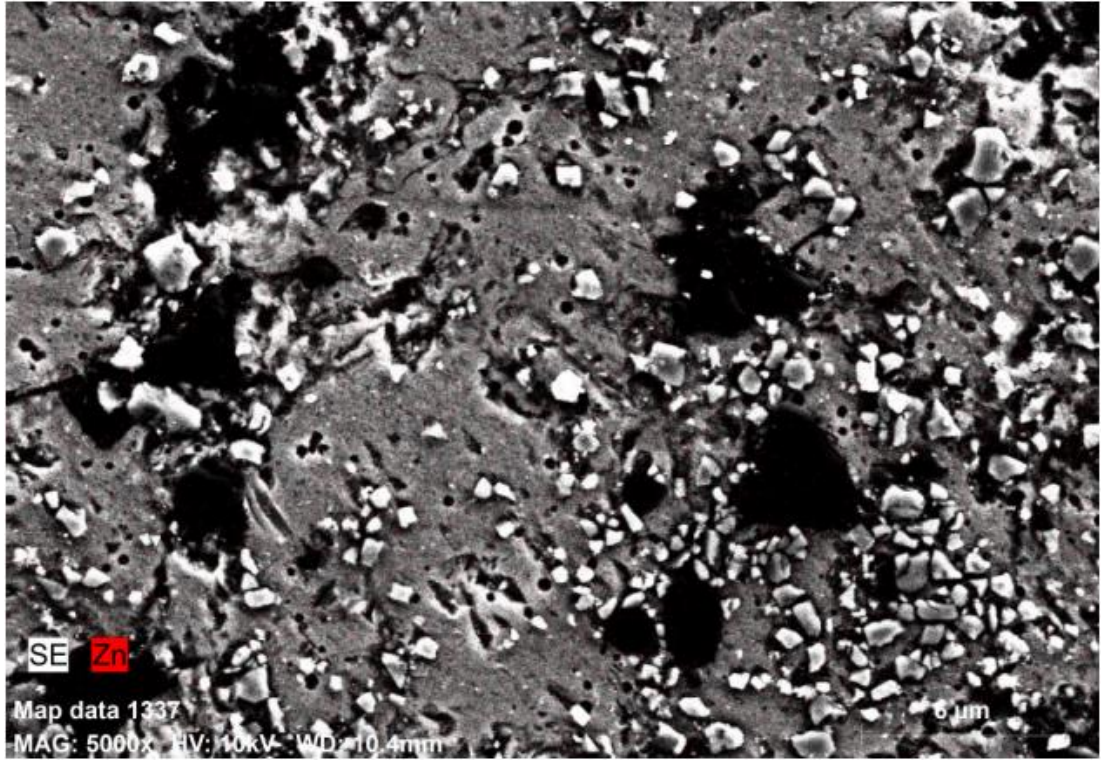
(i)



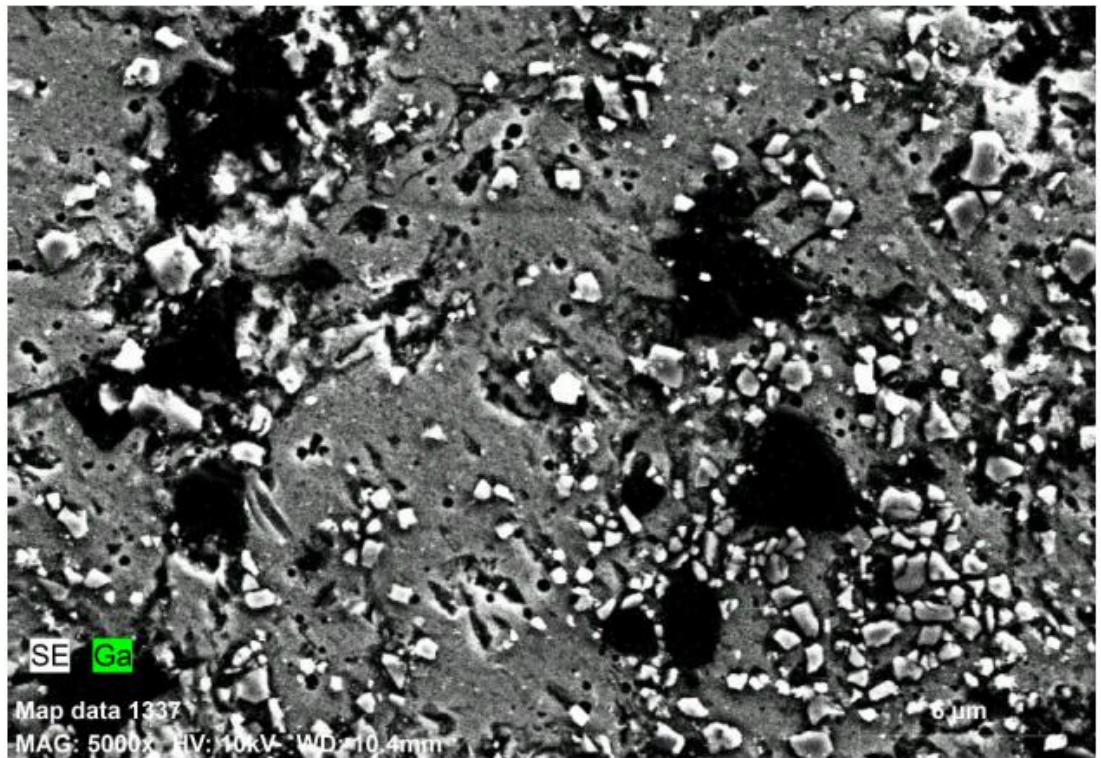
(j)



(k)



(l)



(m)

Şekil 5.512. %20 B₄C takviyeli Al7075 mapping analizi element sonuçları; (a) B elementi mapping görüntüleri; (b) C elementi mapping görüntüleri; (c) Mg

elementi mapping görüntüleri; (d) Al elementi mapping görüntüleri; (e) Si elementi mapping görüntüleri; (f) S elementi mapping görüntüleri; (g) Ca elementi mapping görüntüleri; (h) Cr elementi mapping görüntüleri; (i) Mn elementi mapping görüntüleri; (j) Fe elementi mapping görüntüleri; (k) Cu elementi mapping görüntüleri; (l) Zn elementi mapping görüntüleri; (m) Ga elementi mapping görüntüleri.

Çizelge 5.57. %20 B₄C takviyeli Al7075 için Şekil 5.11.(f)'te gösterilen alandan alınmış spektral analiz sonuçları.

Spektrum	B	C	Mg	Al	Si	S	Ca	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Ga
1	11.83	5.48	1.18	71.94	0.04	0.08	0.04	0.00	0.00	0.00	2.95	6.29	0.18
2	71.33	11.64	0.46	14.03	0.15	0.02	0.09	0.00	0.00	0.24	0.53	1.42	0.10
3	22.63	23.85	3.19	42.16	0.71	0.06	0.16	0.34	0.25	0.00	1.49	4.76	0.40
4	12.14	22.51	1.12	25.90	34.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.15	2.17	0.18
5	13.26	6.25	1.24	68.82	0.65	0.04	0.02	0.30	0.00	0.08	2.93	6.03	0.38
Ort. değer:	26.24	13.94	1.44	44.57	7.27	0.04	0.06	0.13	0.05	0.06	1.81	4.13	0.25
Sigma:	25.60	8.77	1.03	25.61	15.40	0.03	0.07	0.18	0.11	0.10	1.09	2.23	0.13
Sigma ort.:	11.45	3.92	0.46	11.45	6.89	0.01	0.03	0.08	0.05	0.05	0.49	1.00	0.06

Yapılmış olan EDX çalışmasında Şekil 5.11.d'de gösterilen 1 numaralı alan matrisin içeriğinden gelen Al elementi ağırlıklı olup %71.94 oranında çıkmıştır. Bu bölgede B₄C alaşımından kaynaklanan %11.83 B elementi ve %5.48 C elementine rastlanmıştır. Şekil 5.11.d'de gösterilen 2 numaralı alan %71.33 oranında B, %5.48 oranında C elementi içermektedir. Bu bölgenin B₄C fazı olduğunu göstermektedir. Bu bölgede matrisin kendi içeriğinden gelen %14.03 oranında Al elementi mevcuttur. Şekil 5.11.d'de gösterilen 3 numaralı alan %42.16 matristen gelen Al elementi içeriyorken %22.63 B ve %22.51 oranında C içermektedir. İnceleme yapılan noktanın B, C ve Al içeriklerinin iyi dağıldığı gözlemlenmektedir. Şekil 5.11.d'de gösterilen 4 numaralı alan %34.82 oranında Si içermektedir. Bunun yanında C oranı ise %22.51 oranındadır. Elde edilmiş bulgular bölgenin SiC alaşımı olduğunu göstermektedir. Şekil 5.11.d'de gösterilen 5 numaralı alan içerisinde %68.82 Al elementi içerirken %13.26 B ve %6.25 C elementi içermektedir. Bu bölgede Al ve B₄C tozlarının birbirine iyi karıştığını göstermektedir. Yapılmış çalışmada %20 B₄C takviyeli Al7075 kompozit malzeme genel içerikleri Çizelge 5.7 ile gösterilmiştir.

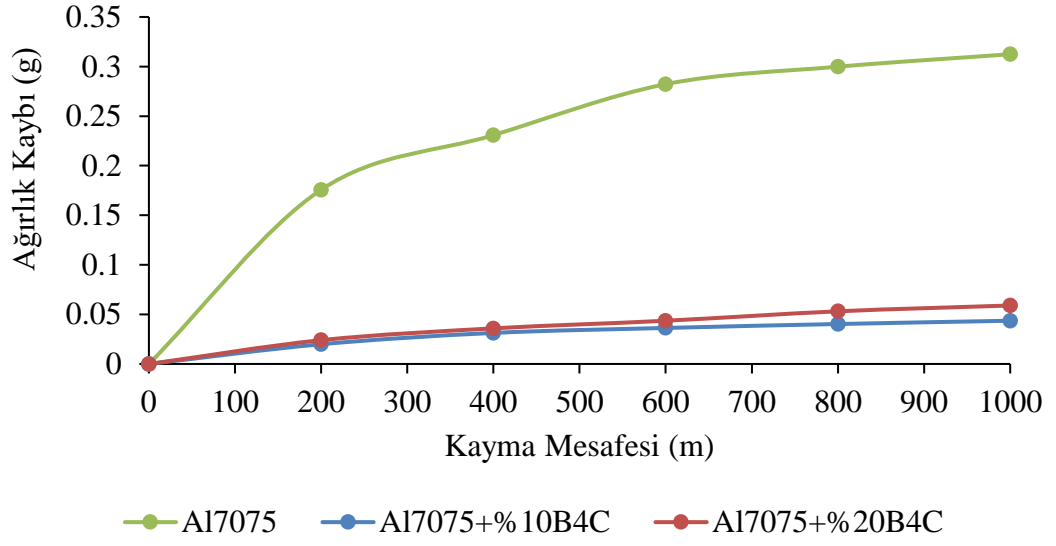
5.6 AŞINMA KARAKTERİSTİĞİ

Deney sonuçları ile elde edilen bulgulara göre kayma mesafelerine bağlı olacak şekilde kaybedilen ağırlıklar Çizelge 5.8 ile gösterilmiştir.

Çizelge 5.68. Kuru aşınma deneyi sonrasında numunelerde oluşan ağırlık kayıpları.

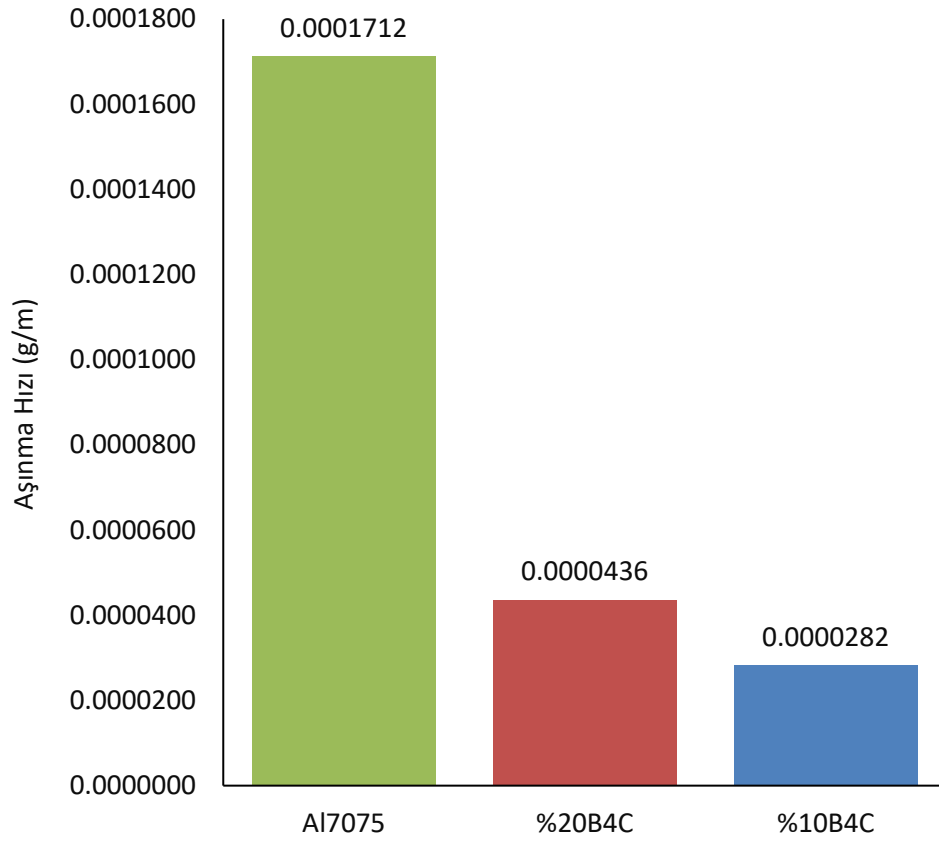
Kayma Mesafesi (m)	Al7075	Al7075 + %10 B ₄ C	Al7075 + %20 B ₄ C
0	0	0	0
200	0.1757	0.0199	0.024
400	0.2308	0.0313	0.0359
600	0.2822	0.0363	0.0436
800	0.2998	0.0403	0.0531
1000	0.3124	0.0436	0.059

Çizelge 5.8 ile gösterilen değerler ile aşınma sonrasında elde edilen ağırlık kayıplarını göstermektedir. Tamamlanan her adımdan sonra alınan değerler bir önceki değer ile toplanarak toplam olacak şekilde açıklanmaktadır. En fazla ağırlık kaybını takviyesiz Al7075 numunesinin yaşadığı Çizelge 5.8 ile görülmektedir. Aşınma sonrası ağırlık kaybı 0.3124 g olmuştur. En az aşınma ise %10 B₄C takviyeli Al7075 numunesidir. Ağırlık kaybı 0.0436 olmuştur. %20 B₄C takviyeli Al7075 numunesi ise %10 B₄C takviyeli Al7075 numunesine göre daha fazla aşınmıştır. Burada B₄C takviyesinin artmasının sonucunda C elementinin artması numuneye beklenenin aksine sürtünmeye negatif yönde etkisi olmuştur. Takviyesiz Al7075 numunesine göre aşınma sonrasında oluşan kaybın azalması ise B₄C yağlayıcı ve aşınmaya karşı direnç özelliğinin olmasındandır.



Şekil 5.613. Kuru aşınma sonrasında malzemelerde oluşan ağırlık kayıplarının grafiği.

Numunelerde meydana gelmiş ağırlık kayıpları Şekil 5.8 ile gösterilmiştir. Gösterilen grafikte %10 B₄C takviyeli Al7075 ve %20 B₄C takviyeli Al7075 numunelerinin lineer olarak ağırlık kaybı gösterdikleri görülmektedir. Elde edilen verilere göre numunelerin eğri eğilimleri alınmış ve aşınma hızları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 5.14 ile gösterilmiştir.



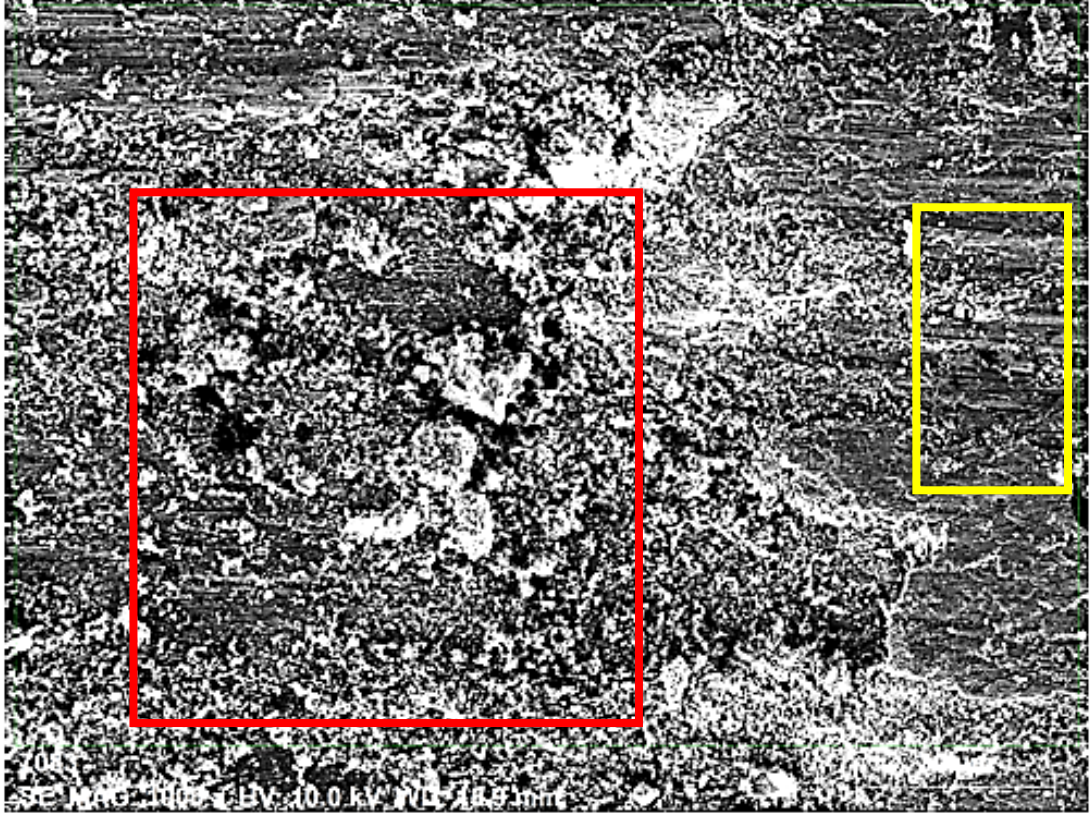
Şekil 5.614. Aşınma deneyi sonrası numunelerde oluşan aşınma hızları.

En fazla aşınma hızına sahip olan numune Takviyesiz Al7075 numunesidir. Aşınma hızı değeri 0.0001712 g/m olarak bulunmuştur. %20 B₄C takviyeli Al7075 numunesi ise 0.0000436 g/m aşınma hızı değerine sahiptir. %10 B₄C takviyeli Al7075 numunesinin aşınma hızı değeri ise 0.0000282 g/m olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre en az aşınan numune %10 B₄C takviyeli Al7075 numunesidir.

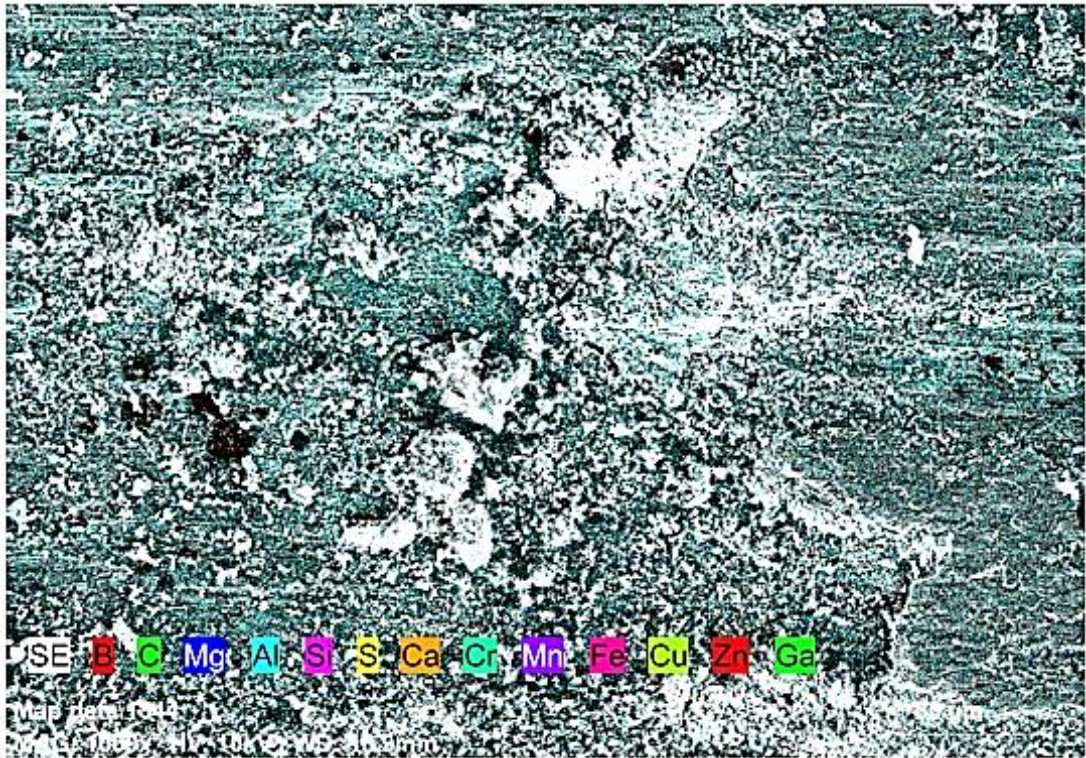
Numune yüzeylerinin SEM cihazında 200,500, 1000 büyütmede görüntüleri alınmış ve EDX ile analizleri yapılmıştır. SEM Cihazı ile alınan görüntüler %10 B₄C takviyeli numuneler için Şekil 5.15 ve %20 B₄C takviyeli numuneler için 5.16 ile gösterilmiştir.

Kuru aşınma testlerinin ardından SEM Cihazı ile aşınma yüzeyinden görüntüler alınmıştır. Alınan görüntüler Şekil 5.15 ve Şekil 5.16 ile gösterilmiştir. Alınan görüntülerde Kırmızı ile gösterilen alanlar abrasif sarı ile gösterilen alanlar ise adhesif aşınma alanlarıdır. Numune yüzeylerinden alınan 200X görüntülerde ve Şekil 5.15.c ile gösterilen %10 B₄C katkı Al7075 aşınmanın orta alanında adhesif aşınma örneği

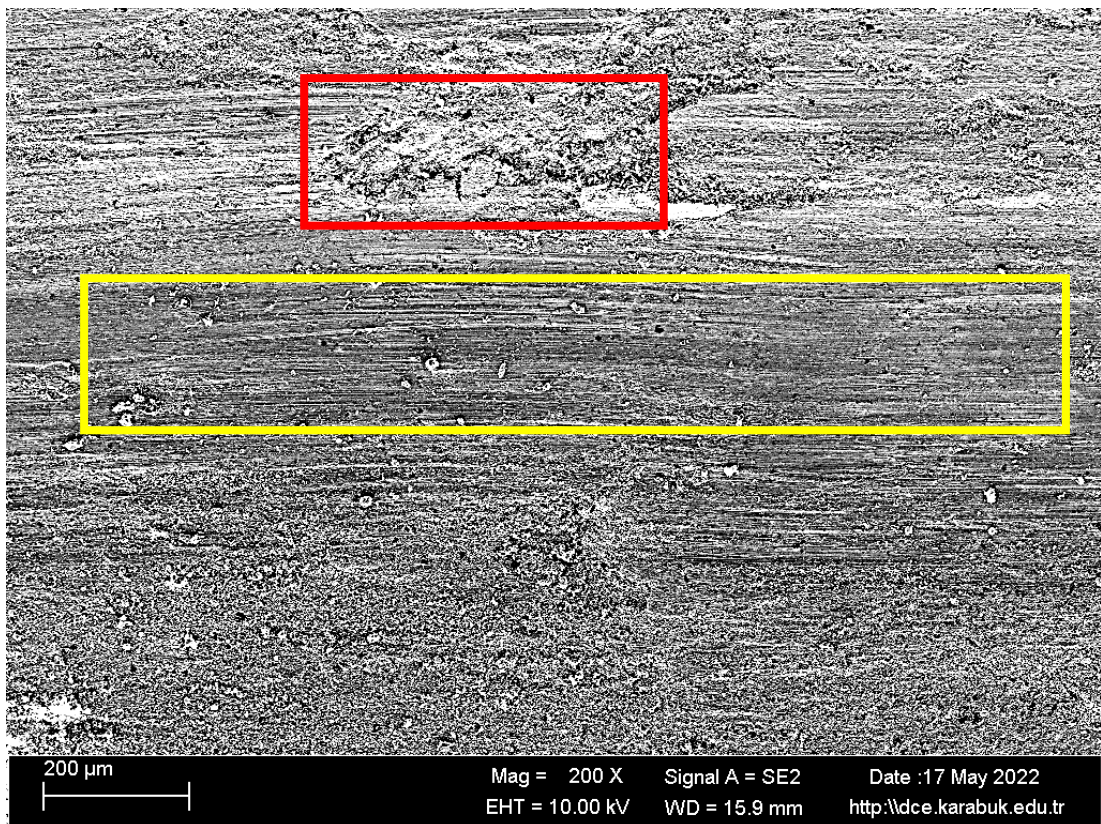
göstermiş aşınmanın kenarlara doğru gitmesi ile abrasif yapı oluşmuştur. Bunun yanında Şekil 5.16.c ile gösterilen %20 B₄C takviyeli Al7075 için adhesif veya abrasif aşınma yapıları belirli bir düzene göre oluşmamıştır. Bölgesel yığılmalar şeklinde adhesif ve abrazif yapılar görülmektedir.



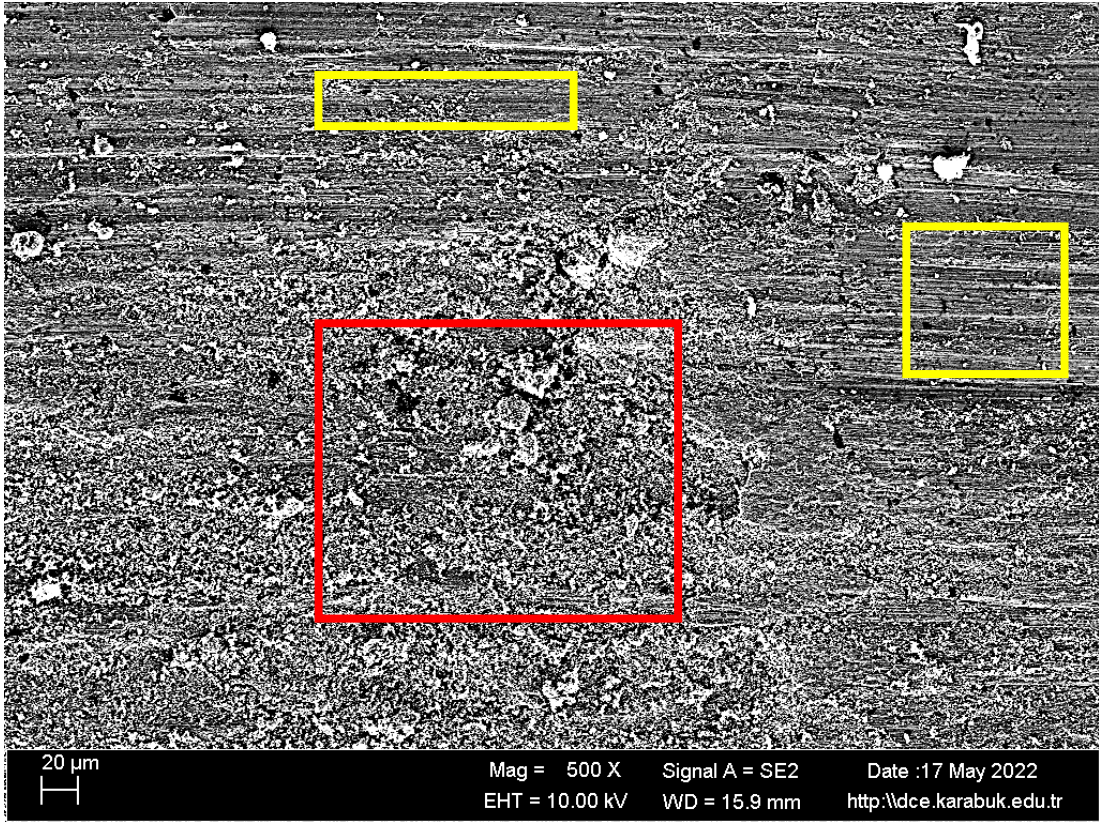
(a)



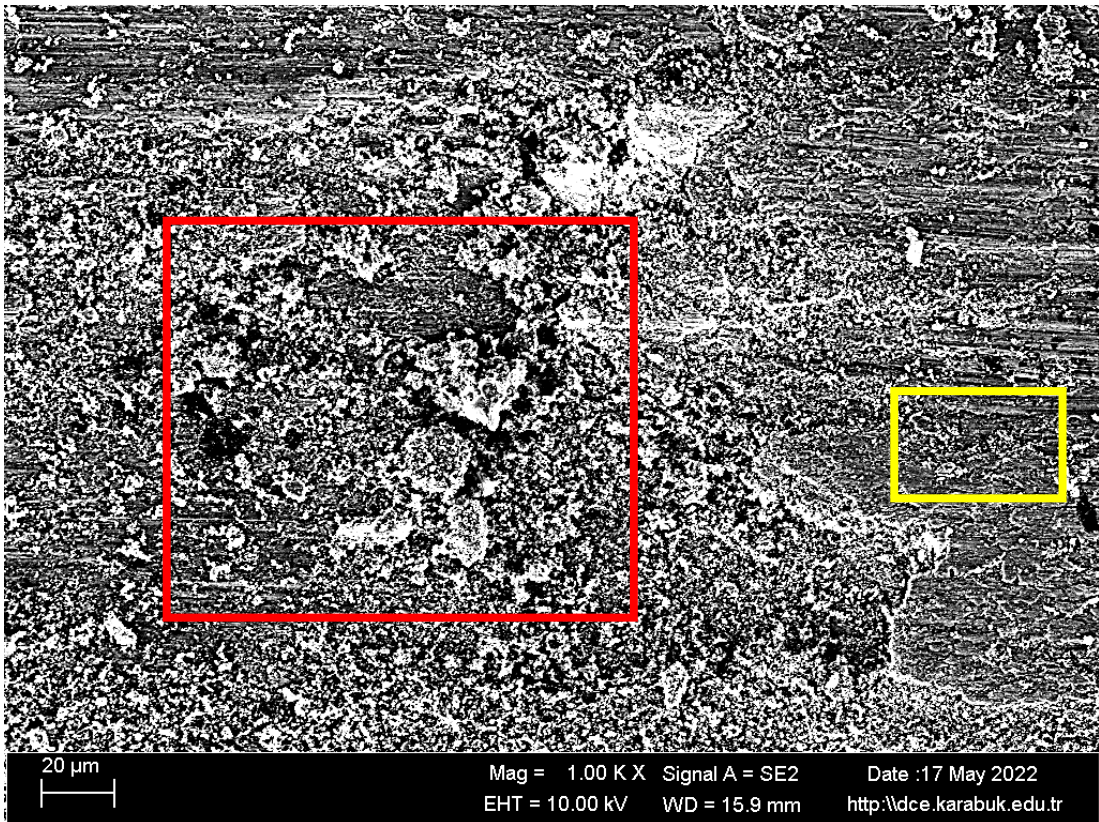
(b)



(c)



(d)

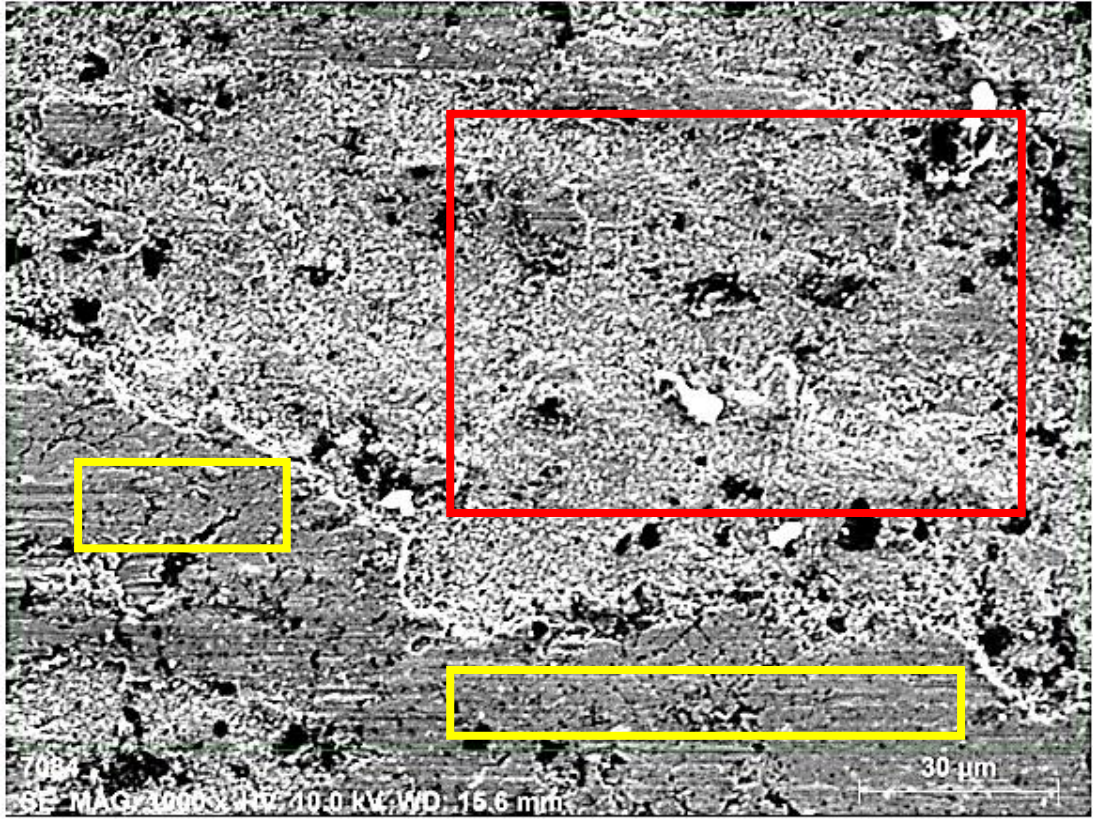


(e)

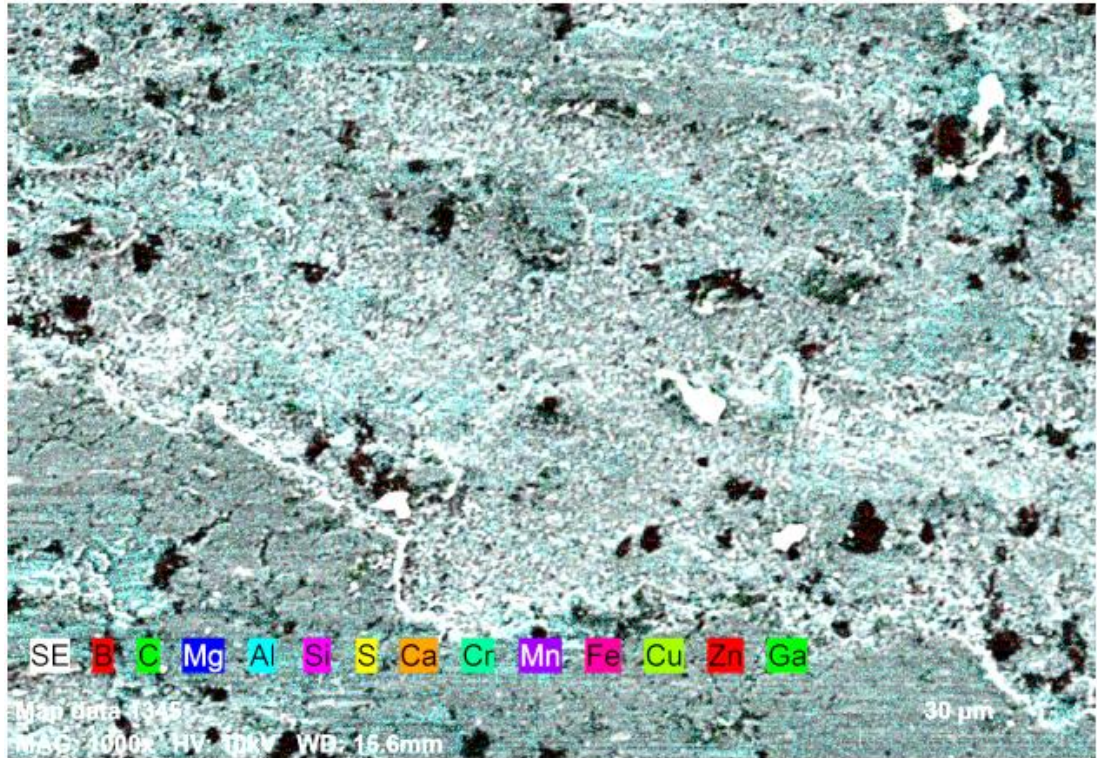
Şekil 5.615. %10 B₄C takviyeli Al7075 aşınan numunelerin SEM görüntüleri; (a) 1kX görüntü EDX analizi; (b) Şekil 5.15.a'daki EDX elementsel mapping görüntüsünün büyütmesi; (c) 200X büyütme; (d) 500X büyütme; (e) 1kX büyütme.

Aşınma sonrası görüntü alınan numunelerde %10 B₄C takviyeli Al7075 için Şekil 5.15 a'da, Şekil 5.15 c'de, Şekil 5.15 d'de, ve Şekil 5.15 e'de abrasif yapı aşınma noktaları kırmızı ve adeziv yapı aşınma noktaları sarı alanlar ile gösterilmiştir.

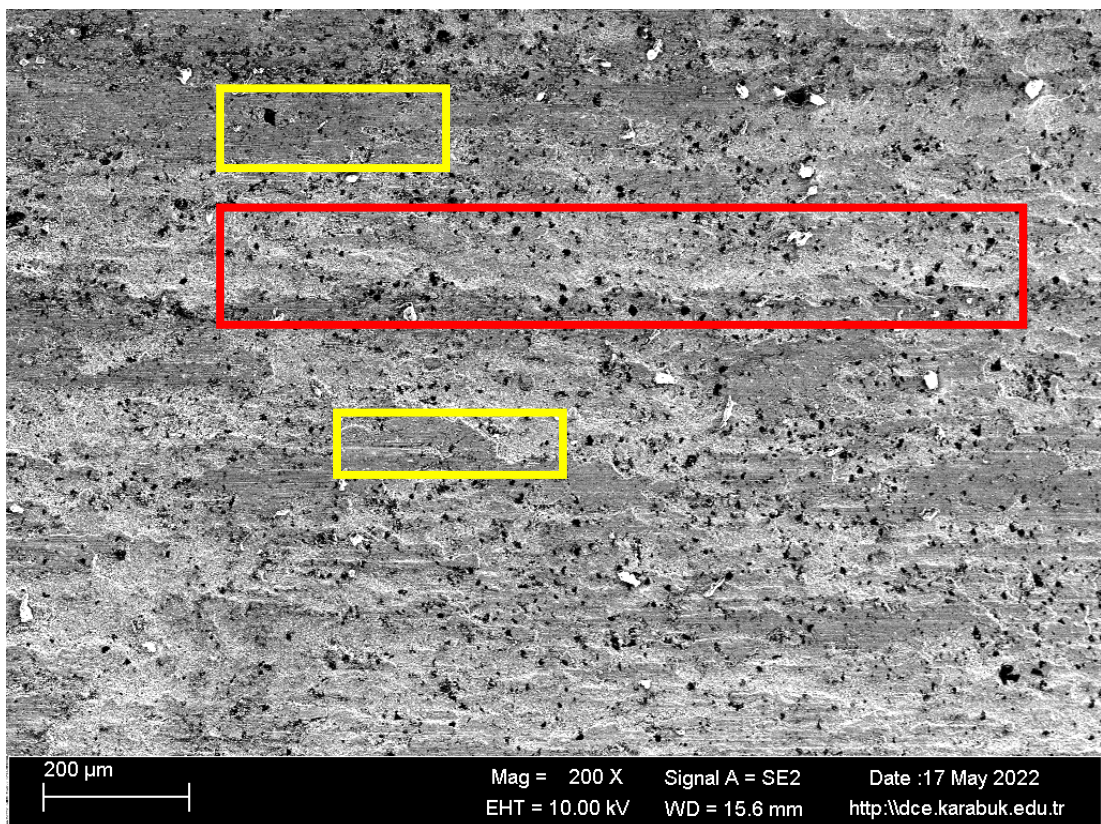
EDX analizine göre abrasif aşınmanın olduğu noktalarda içerdiği oranla paralel olarak Şekil 5.15 b'de gösterildiği gibi büyük ölçüde Zn (çinko), Cu (bakır), Mg (Magnezyum), C (Karbon), B (Bor), Ga (galyum), S (kükürt), Si (silisyum) birikintileri olmuştur. Eser miktarda Fe (demir) ve Cr (krom) elementi birikintileri mevcuttur. Bu sebeple aşınan bilye yüzeyinden kopan parçaların numune yüzeyine yapışmadığı gözlemlenmektedir. Al7075'in kendi içeriğinde yer alan Zn, Cu, Mg ve B₄C takviyesi sebebiyle B ve C elementlerinin birikmesi şeklinde açıklanabilir.



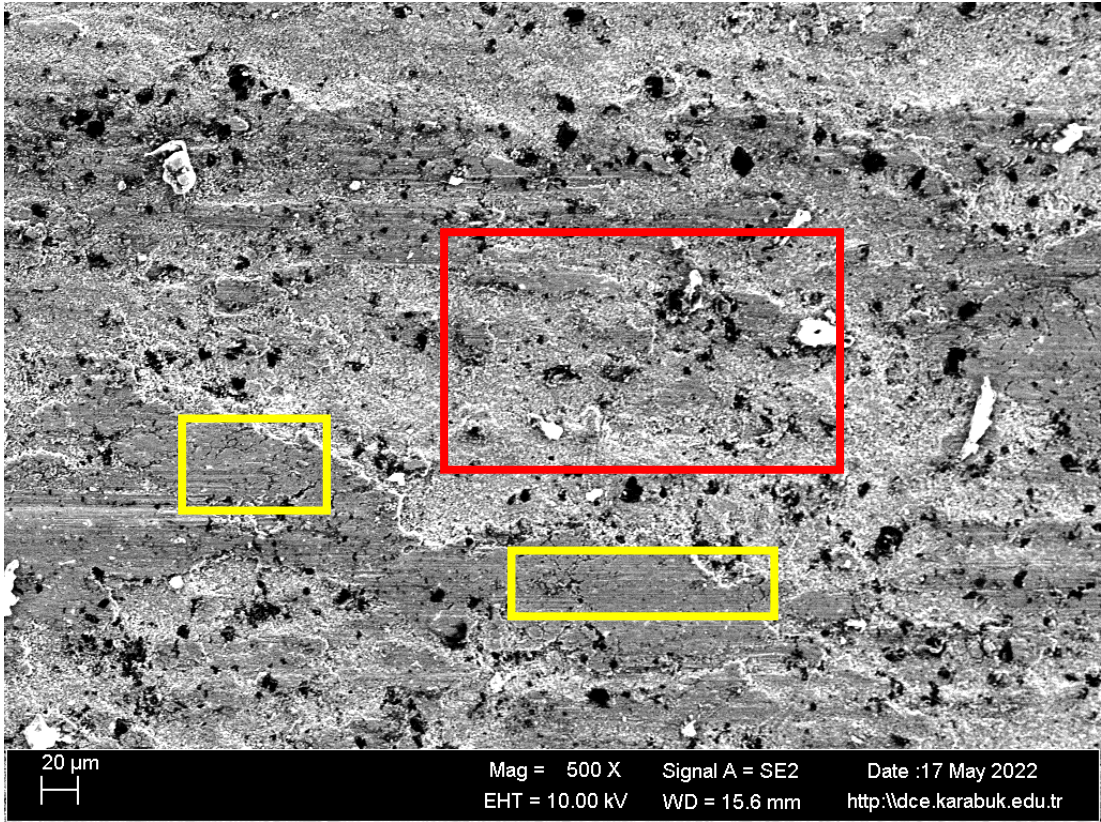
(a)



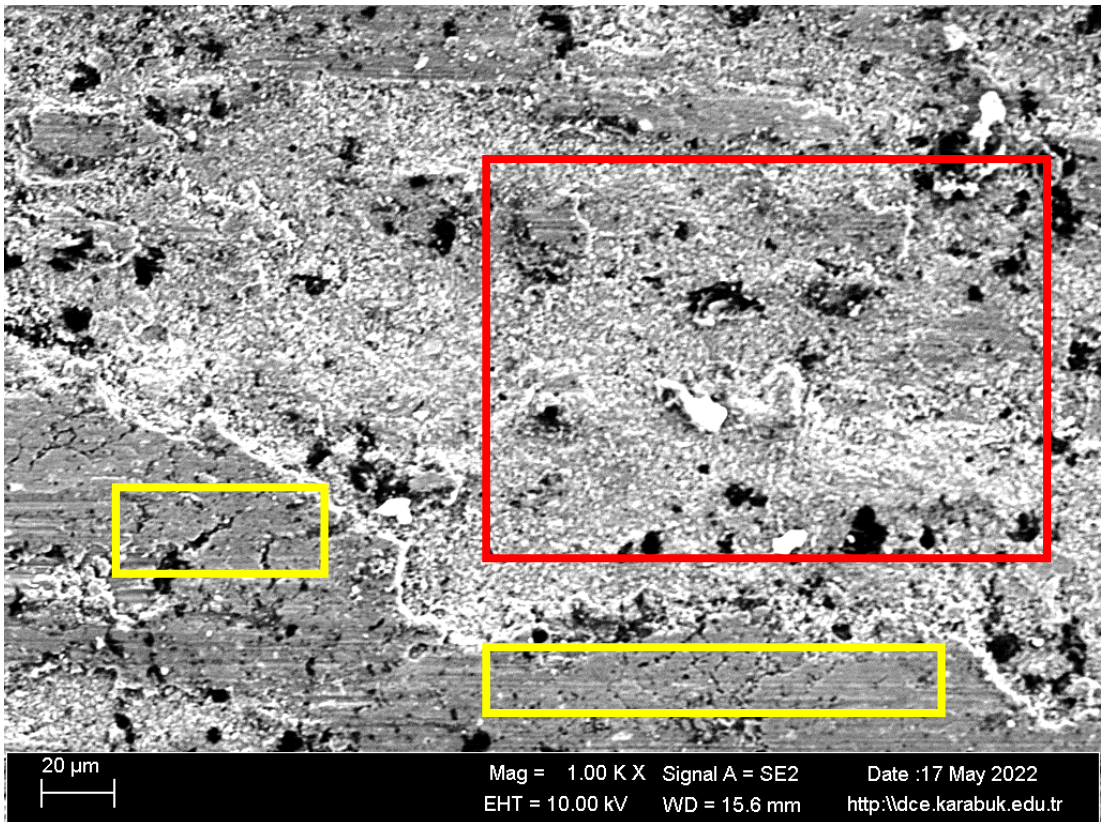
(b)



(c)



(d)



(e)

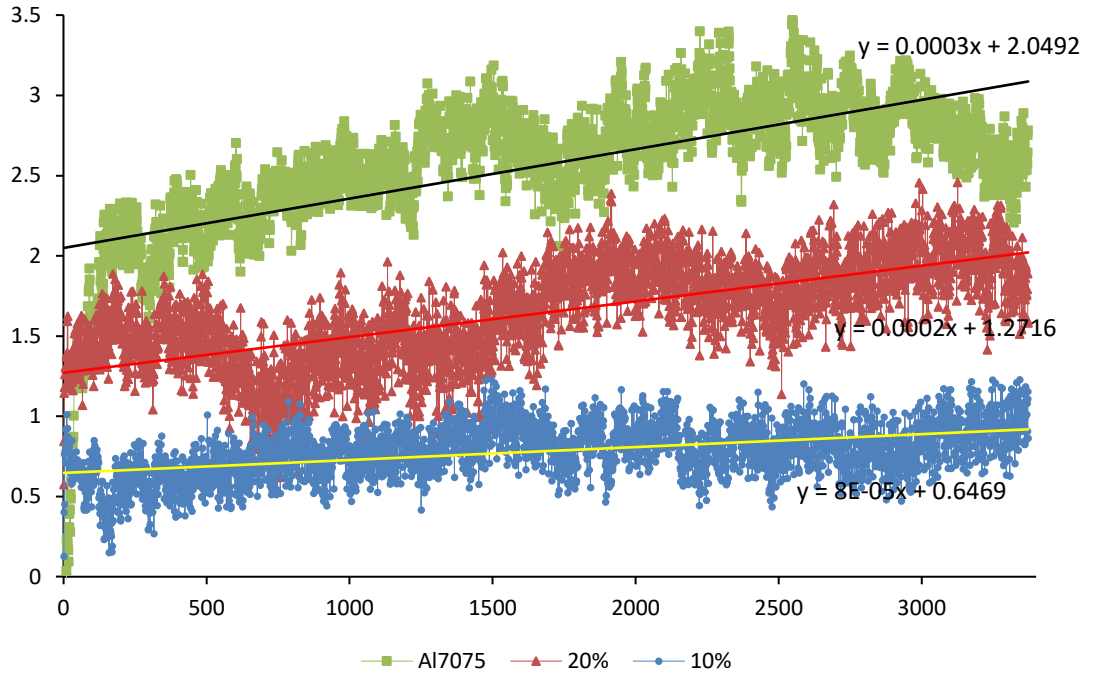
Şekil 5.616. %20 B₄C takviyeli Al7075 numunenin aşınma SEM görüntüleri; (a) 1kX'te görüntü EDX analizi; (b) Şekil 5.15 a'daki EDX görüntüsünün elementel mapping büyütmesi; (c) 200X büyütme; (d) 500X büyütme; (e) 1kX büyütme.

Aşınma sonrası görüntü alınan numunelerde %20 B₄C takviyeli Al7075 için Şekil 5.15 a'da, Şekil 5.15 c'de, Şekil 5.15 d'de ve Şekil 5.15 e'de abrazif yapı aşınma noktaları kırmızı ve adezif yapı aşınma noktaları sarı alanlar ile gösterilmiştir.

EDX analizine göre abrasif aşınmanın olduğu noktalarda içerdiği oranla paralel olarak Şekil 5.15 b'de gösterildiği gibi büyük ölçüde Zn (çinko), Cu (bakır), Mg (Magnezyum), C (Karbon), B (Bor), Ga (galyum), S (kükürt), Si (silisyum) birikintileri olmuştur. Eser miktarda Fe (demir) ve Cr (krom) elementi birikintileri mevcuttur. Bu sebeple aşınan bilye yüzeyinden kopan parçaların numune yüzeyine yapışmadığı gözlemlenmektedir. Al7075'in kendi içeriğinde yer alan Zn, Cu, Mg ve B₄C takviyesi sebebiyle B ve C elementlerinin birikmesi şeklinde açıklanabilir.

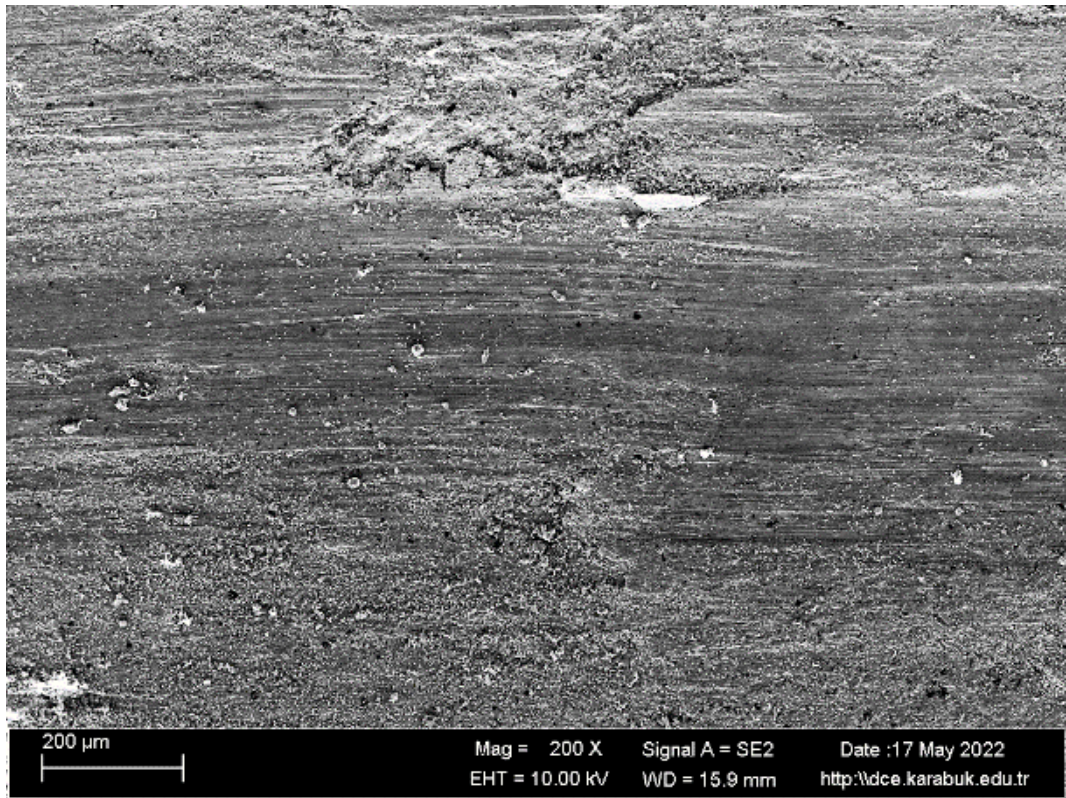
Yapılan çalışma içerisinde elde edilen aşınma deneyi esnasında kullanılan sensörlere uygulanan yük değerleri incelendiğinde takviyesiz Al7075 numunesinin 0.12882585, %10 B₄C takviyesi yapılan Al7075 numunesinin 0.039355101 ve %20 B₄C takviyesi yapılan Al7075 numunesinin 0.082328648 sürtünme katsayısına (k) sahip olduğu hesaplanmıştır. Yapılan çalışma içerisinde B₄C yapısının sert, kırılğan ve yağlayıcı özelliği bu sonuçları etkilemiştir. %20 B₄C takviyeli Al7075 için sürtünme katsayısının %10 B₄C takviyeli Al7075 numunesine göre yüksek çıkmasının sebebi karbon eklentisinin sürtünmeyi negatif etkilemesi sebebiyle numunelerde B₄C takviyesinin artmasını ile karbon eklentisinin de artması sürtünme katsayısı arttırmaktadır.

Aşınma sırasında oluşan yüklenmeler ve bu yüklenmelerin oluşturduğu aşınma yük grafiği Şekil 5.17 ile gösterilmiştir.

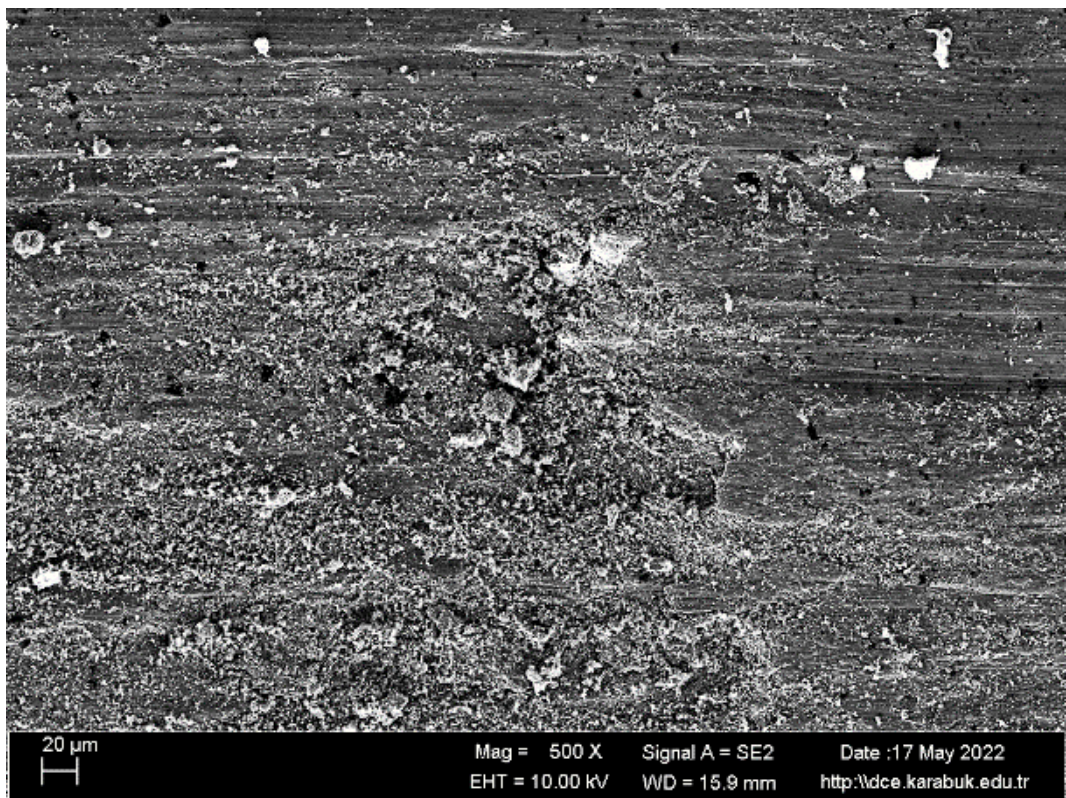


Şekil 5.617. Çeşitli oranlarda B₄C takviyeli ve takviyesiz Al7075 sürtünme katsayısı değişimi.

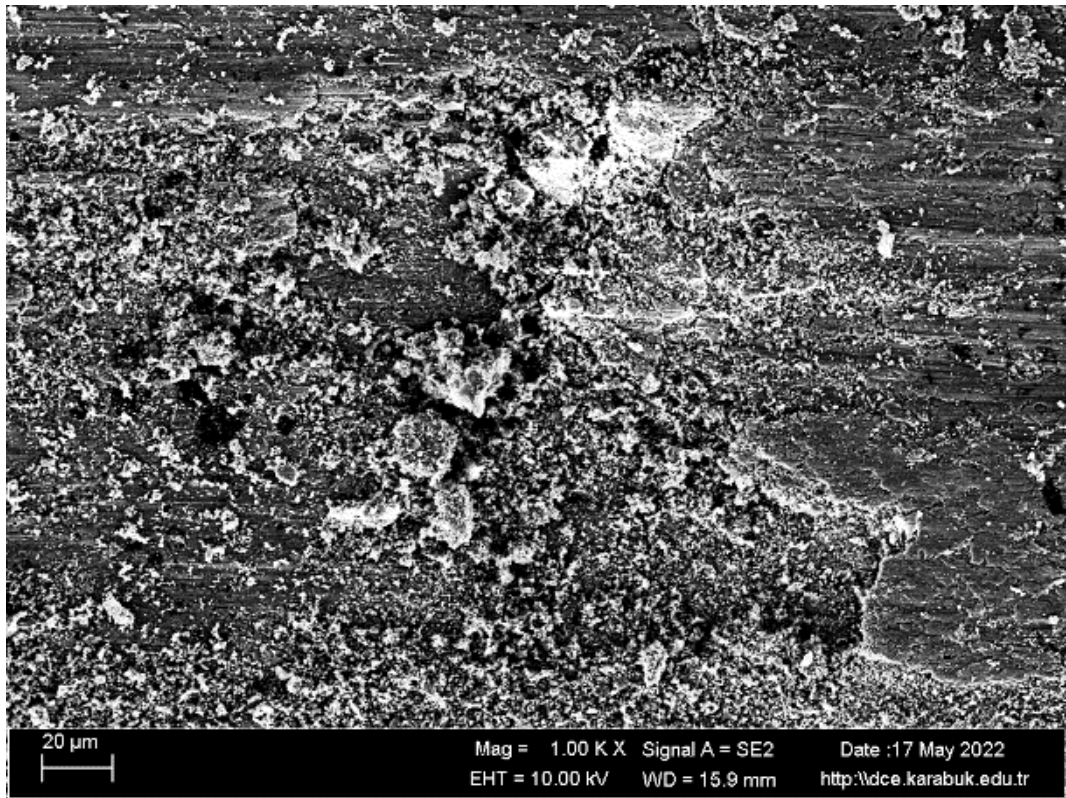
B₄C, yağlayıcı yapıda, aşırı sert, kırılğan ve aşınmaya karşı direnç gösteren yapıda olması sebebiyle numunelerde sürtünme katsayısını düşürmektedir. Bor elementi yağlayıcılığı arttırmaktadır. Karbon elementi ise sertliği arttırmaktadır. B₄C takviyesi artarken karbon miktarı da artacağından elde edilen sürtünme katsayısı %20 B₄C takviyeli Al7075 numunesinde, %10 B₄C takviyeli Al7075 numunesine göre fazla çıkmıştır. Elde edilen sürtünme katsayısı değişim grafikleri ve numunelerdeki ağırlık kayıpları göz önüne alındığında elde edilmiş olan verilerin tutarlı olduğu görülmektedir. Şekil 5.17 üzerinde gösterilen elde edilen sürtünme katsayısı değişim grafikleri birlikte verilerek numunelerin kendi aralarında katsayı değişimleri görülebilmektedir. B₄C katkısı malzemeye sürtünmeye karşı direnç kazandırdığı gözlemlenmiştir. Elde edilen sürtünme katsayılarına göre %10 B₄C takviyeli Al7075 numunesinin en az sürtünme katsayısına sahiptir. Bununla birlikte %10 B₄C takviyeli numunenin yapılan testlerde en az ağırlık kaybına uğraması numunenin tutarlılık gösterdiğini kanıtlamaktadır. %20 B₄C takviyeli Al7075 numunesi, takviyesiz Al7075 numunesine göre aşınma katsayısının daha düşük olduğu ve ağırlık kaybının takviyesiz Al7075 numunesine göre daha az olduğu görülmüştür.



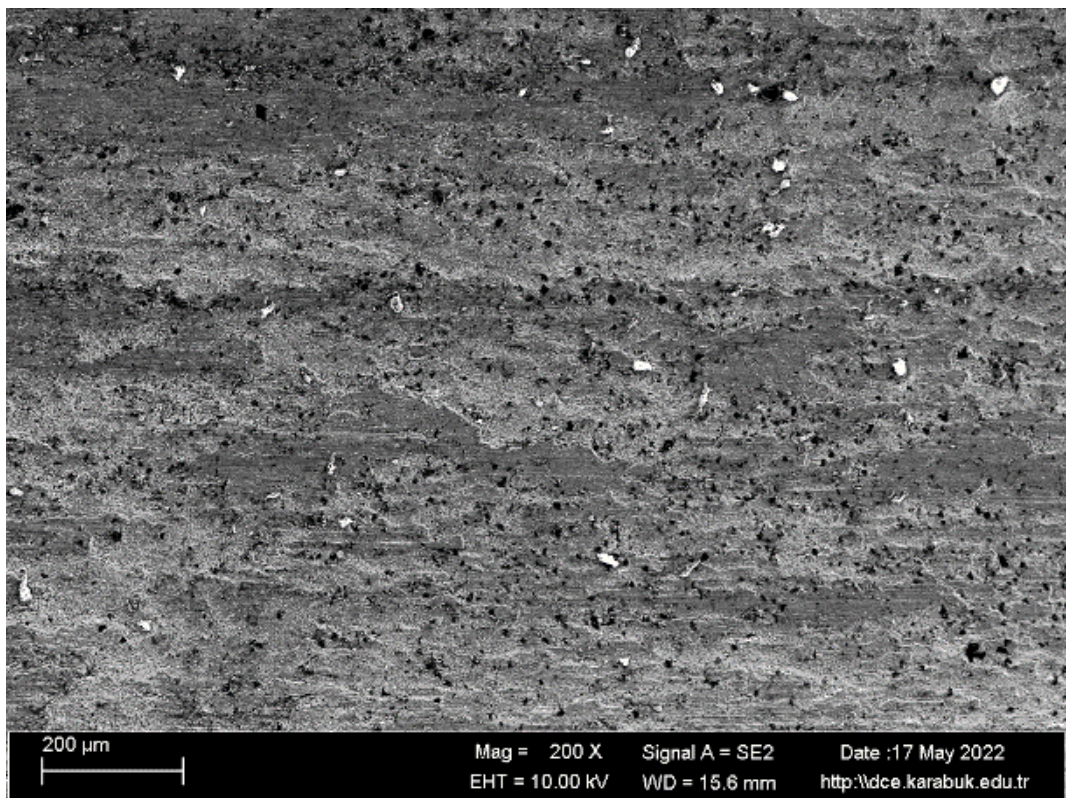
(a)



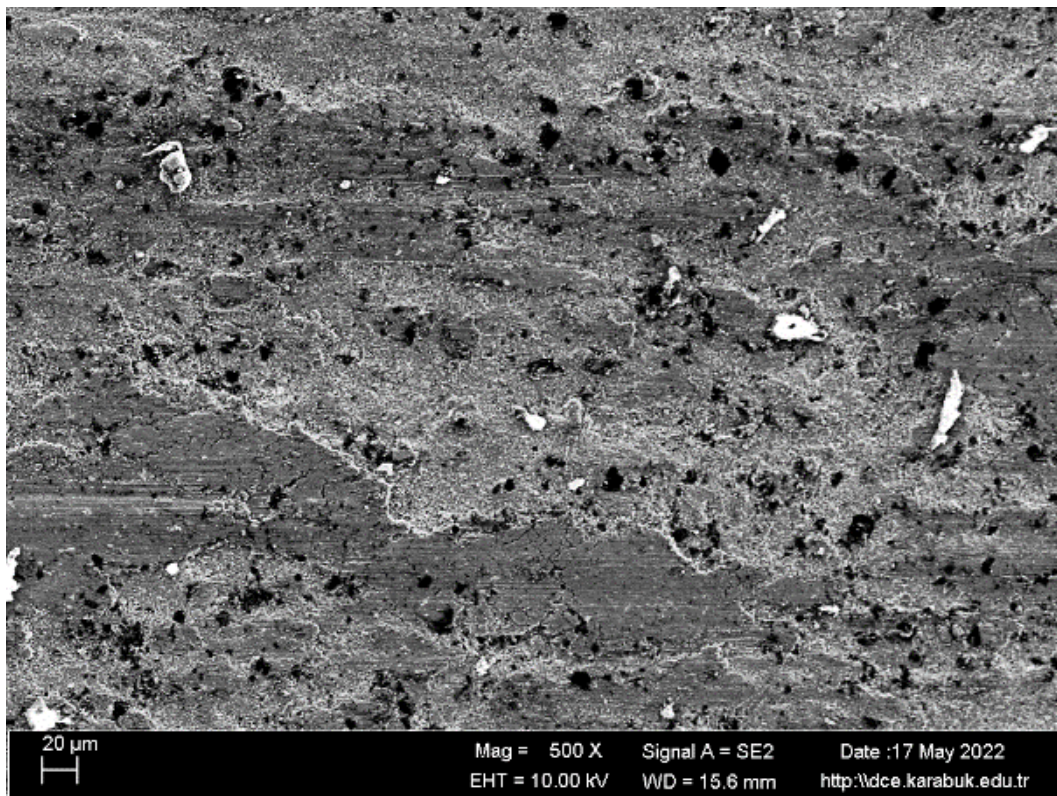
(b)



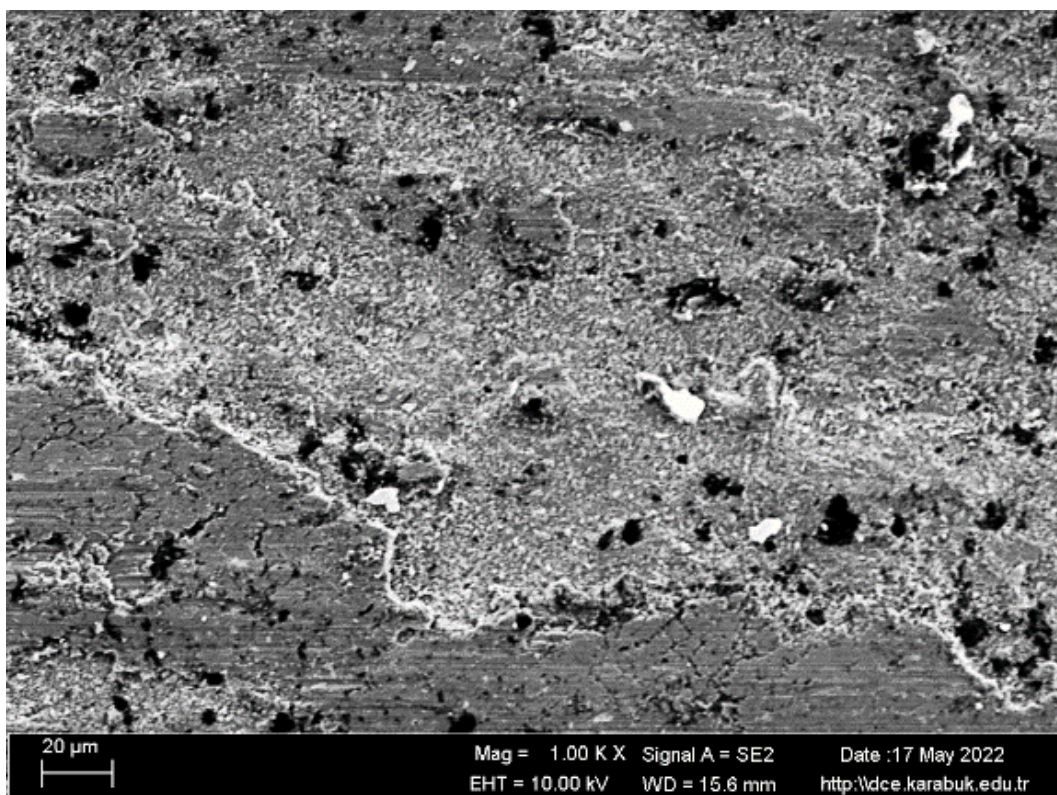
(c)



(d)



(e)



(f)

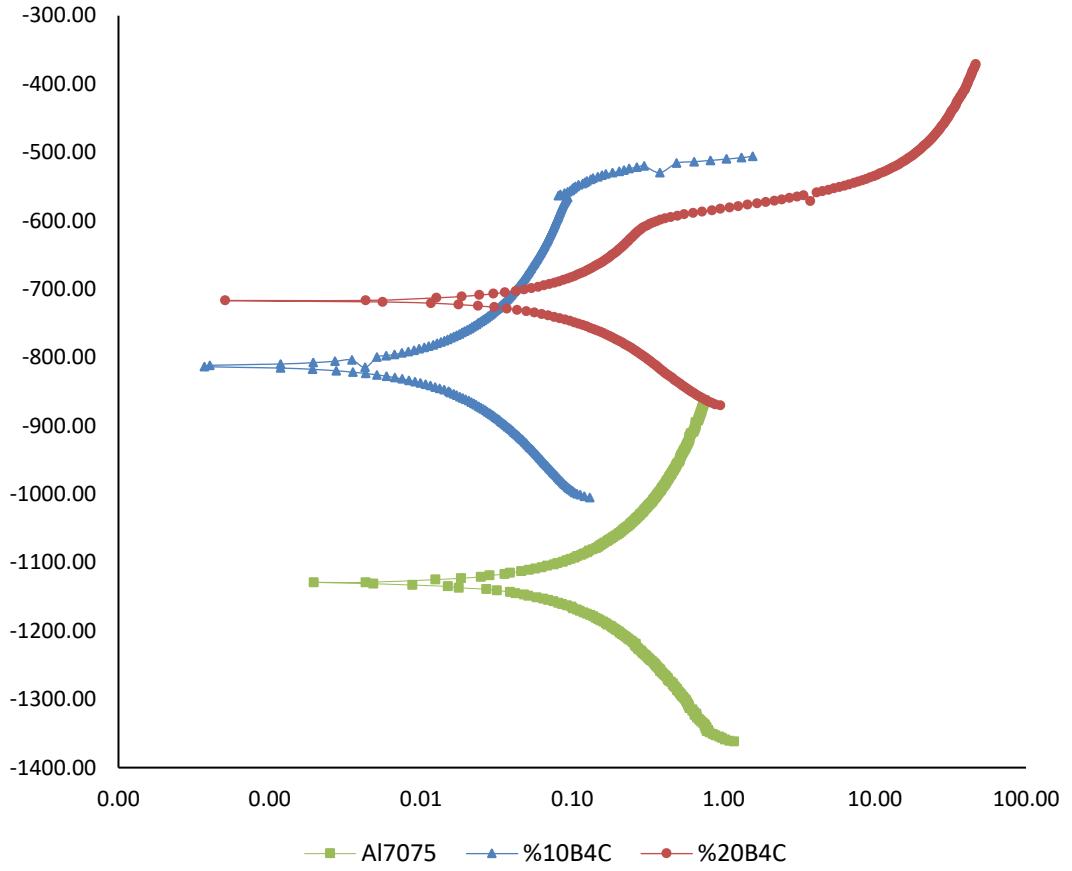
Şekil 5.618. Aşınma yüzeylerinde alınan görüntüler. (a) %10 B₄C takviyeli Al7075 aşınma yüzeyi 200 büyütme görüntüsü. (b) %10 B₄C takviyeli Al7075 aşınma yüzeyi 500 büyütme görüntüsü. (c) %10 B₄C takviyeli Al7075 aşınma yüzeyi 1000 büyütme görüntüsü. (d) %10 B₄C takviyeli Al7075 aşınma yüzeyi 200 büyütme görüntüsü. (e) %20 B₄C takviyeli Al7075 aşınma yüzeyi 500 büyütme görüntüsü. (f) %20 B₄C takviyeli Al7075 aşınma yüzeyi 1000 büyütme görüntüsü.

Şekil 5.18 ile aşınma görüntüleri %10 B₄C takviyeli numuneler ve %20 B₄C takviyeli numuneler için ayrı ayrı gösterilmiştir.

5.7 KOROZYON KARAKTERİSTİĞİ

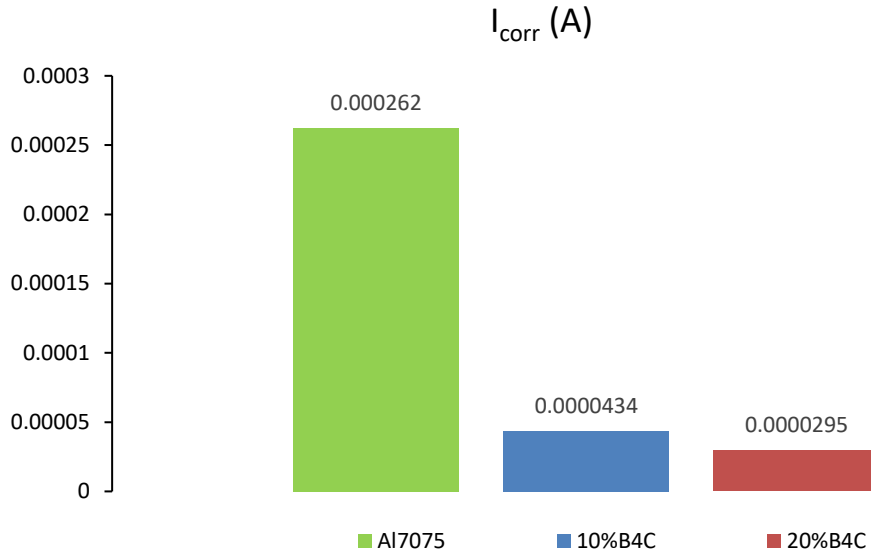
Çalışma içerisindeki numunelerin üzerinde potansiyodinamik polarizasyon deneyi uygulanarak numunelerin korozyon karakteristiği incelenmiştir. Bir beher içerisine orantısal olarak %3.5 NaCl takviyeli H₂O eklenmiştir. Numunelerin işlem yapılacak olan yüzeyleri önce zımparada 60-150-220-400-800-1200-1600-2500 mesh zımpara ile parlatılmış ardından kirden arındırılıp temizlendikten sonra üzerinde 5mm çapında delik, yalıtkan ve sıvı geçirmeyen malzeme ile kaplanmıştır. Sıvı içerisinde test yapılacak yüzey haricinde diğer yüzeyler epoksi malzemesi ile kaplanmıştır. Delik yüzey sıvı içerisinde bulunacak şekilde numune beher içerisine yerleştirilmiştir. Çalışma için beher içerisine çalışma elektrotu için numuneler, çalışma elektrotuna karşı elektrot görevi gören karbon elektrot ve referans elektrot olarak da doygun kalomel elektrot (SCE) bırakılır. Şekil 4.6 d’de gösterilmiştir. Deney çalışması içerisinde sistem herhangi bir akım geçirmeksizin çalışma elektrotu ve referans elektrotunun daldırılmasının ardından iki elektrot arasında geçen korozyon potansiyellerinin mV cinsinden değişimleri zaman içerisinde ölçülür. Ölçülen deneylerin bilgisayar ortamında okunabilmesi için DC105 korozyon analizini içeren GAMRY model PC4/300 mA potansiyostat/galvanostat kullanılmıştır. Denge potansiyeline (E_{corr}) eriştikten sonra potansiyodinamik polarizasyon eğrileri katodikten anodik değerlere doğru kayıt altına alınır. Tafel eğrileri olarak isimlendirilen sonuçlardan korozyon potansiyeli (E_{corr}) ve korozyon akım yoğunluğu (I_{corr}) hesaplanmıştır.

Her numune deneyi için 3 farklı deney yapılmıştır. Yapılmış olan deneylerin ortalamalar alınarak incelemelerin sonuçları yorumlanmıştır.



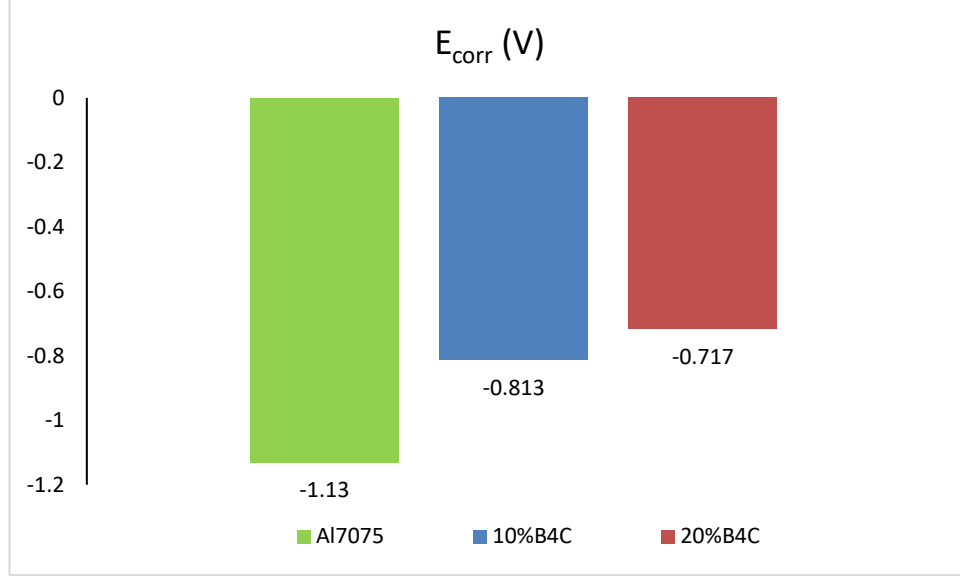
Şekil 5.719. Numunelerin korozyon deneyi sonuçları.

Elde edilen korozyon deneyi sonuçları için yapılmış olan Tafel eğrisi Şekil 5.19 ile gösterilmiştir. Yapılan çalışma için elde edilmiş olan Tafel eğrisi incelendiğinde en iyi korozyon direnci %20 B₄C takviyeli Al7075 numunesi olduğu bununla birlikte en zayıf korozyon direnci takviyesiz Al7075 numunesinde olduğu görülmektedir. Elde edilmiş olan polarizasyon eğrileri için korozyon dirençleri en güçlü numuneden en zayıf numuneye doğru sıralayacak olursak “Takviyesiz Al7075 < Al7075 + %10 B₄C < Al7075 + %20 B₄C” şeklinde sıralayabiliriz.



Şekil 5.720. Numunelerin I_{corr} değerleri.

Akım yoğunluğunun ölçülmesi için I_{corr} kullanılmaktadır. I_{corr} değeri arttıkça numunelerin korozyona karşı olan direnci zayıflamaktadır. I_{corr} değeri azaldıkça numunelerin korozyona karşı olan direnci güçlenmektedir. Şekil 5.721 ile verilmiş olan numunelerin I_{corr} değerleri incelendiğinde en fazla I_{corr} değerine sahip olan numunenin Takviyesiz Al7075 numunesi olduğu görülmektedir. En az I_{corr} değerine sahip olan numunenin 0.0000295 değeri ile %20 B₄C takviyeli Al7075 numunesi olduğu görülmektedir. Elde edilen bulgulara göre en güçlü dayanım %20 B₄C takviyeli Al7075 numunesindedir. Dayanımı en az olan numune ise 0.000262 ile takviyesiz Al7075 numunesidir. I_{corr} değeri değerlendirilerek dayanımı en fazla olan numuneden dayanımı en az olan numuneye doğru sıralayacak olursak “(Takviyesiz Al7075) < (Al7075 + %10 B₄C) < (Al7075 + %20 B₄C)” şeklinde sıralayabiliriz. Elde edilmiş olan sonuçlar Şekil 5.20 ile gösterilmiştir.



Şekil 5.722. Numunelerin E_{corr} değerleri.

Potansiyodinamik polarizasyon deneyinde elde edilen E_{corr} için akımların geçmesi gereken engel şeklinde açıklanabilir. Eğer E_{corr} değeri pozitifeye yaklaşırsa geçilmesi gereken engel artar. E_{corr} değeri pozitifliğe ne kadar uzaksa o kadar dayanımı azalmaktadır. Bu tanımlamayla paralel olarak Şekil 5.21 ile verilmiş olan numunelerin E_{corr} değerleri incelendiğinde en az E_{corr} değerine sahip olan numunenin -1.13 değeri ile Takviyesiz Al7075 numunesi olduğu görülmektedir. En fazla E_{corr} değerine sahip olan numunenin -0.717 değeri ile %20 B₄C takviyeli Al7075 numunesi olduğu görülmektedir. E_{corr} değeri değerlendirilerek dayanımı en fazla olan numuneden dayanımı en az olan numuneye doğru sıralayacak olursak “(Takviyesiz Al7075) < (Al7075 + %10 B₄C) < (Al7075 + %20 B₄C)” şeklinde sıralayabiliriz.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR

Bu çalışmada takviyesiz Al7075, %10 B₄C takviyeli Al7075, %20 B₄C takviyeli Al7075 numuneleri üretilmiştir. Üretilen numunelerin mikro yapıları, aşınma karakteristiği, korozyon direnci, sertlik değerleri, yoğunlukları ve SEM cihazında SEM görüntüleri, EDX ve XRF analizleri incelenmiştir. Elde edilmiş numunelerde yapılan spektral analizler ve BS EN 573-3:2019 standartları değerleri göz önüne alındığında yapılan çalışmada numunelerin hatasız üretildiği görülebilir.

1. Üretimin sonrasında yapılan mikro yapı incelemelerinde teorik yoğunluğun %10 B₄C takviyeli Al7075 numunelerinde 2.7810 olarak hesaplanmıştır. Üretim sonrası numunedeki yoğunluk ölçümünde %10 B₄C takviyeli Al7075 numunesinin 2.7381 olduğu ölçülmüştür. %20 B₄C takviyeli Al7075 numunelerinde 2.7810 olarak hesaplanmıştır. %20 B₄C takviyeli Al7075 numunesinde 2.6739 olduğu ölçülmüştür. Buna göre Porozite oranı %10 B₄ B₄C C takviyeli Al7075 numunelerinde %4.29, %20 B₄C takviyeli Al7075 numunelerinde %7.8 ölçülmüştür.
2. Mikro yapısı incelenen %10 B₄C takviyeli Al7075 ve %20 B₄C takviyeli Al7075 içerisinde bulunan B₄C partiküllerin homojen dağıldığı gözlemlenmektedir. Takviyesiz Al7075 için ortalama tane büyüklüğü 56 µm, %10 B₄C takviyeli Al7075 için ortalama tane büyüklüğü 60 µm, %20 B₄C takviyeli Al7075 için ortalama tane büyüklüğü 85 µm olarak ölçülmüştür.
3. Takviyesiz Al7075 numunelerinde 45.56 HV, 72 saat ısıl işlem görmüş olan takviyesiz Al7075 için sertlik değeri ise 63.2 HV olmuştur. Sertlikte artış oranı %28 olarak ölçülmüştür.
4. İşlem görmemiş %10 B₄C takviyeli Al7075 numunelerinde 79.42 HV, 72 saat ısıl işlem görmüş olan %10 B₄C takviyeli Al7075 için sertlik değeri ise 87.24 HV olmuştur. Sertlikte artış oranı %9 olarak ölçülmüştür.

5. İşlem görmemiş %20 B₄C takviyeli Al7075 numunelerinde 95.34 HV, 72 saat ısıl işlem görmüş olan %20 B₄C takviyeli Al7075 için sertlik değeri ise 102 HV olmuştur. Sertlikte artış oranı %7 olarak ölçülmüştür.
6. Takviyesiz Al7075 ve %10 B₄C takviyeli Al7075 numuneleri arasında sertlik değişimi %43, %10 B₄C takviyeli Al7075 ve %20 B₄C takviyeli Al7075 numuneleri arasında sertlik değişimi %17, takviyesiz Al7075 ve %20 B₄C takviyeli Al7075 numuneleri arasında sertlik değişimi %52 olarak hesaplanmıştır.
7. Mapping analizlerinde numuneye eklenen bir miktar B₄C partiküllerinden ayrılan C elementi Al7075 içerisinde yer alan Si ile SiC bileşiği oluşturmuştur. B₄C ilavesi Al7075 alaşımını bir miktar değiştirmektedir.
8. Kuru aşınma deneyi sonucu takviyesiz Al7075 numunelerinde 0.3124 g, %10 B₄C takviyeli Al7075 numunelerinde 0.0436 g, %20 B₄C takviyeli Al7075 numunelerinde 0.059 g kayıp meydana gelmiştir. Kuru aşınma sonucu en fazla aşınan numune takviyesiz Al7075 numunesi olmuştur. En az aşınma ise %10 B₄C takviyeli Al7075 numunesi olmuştur. %10 B₄C takviyeli Al7075 numunelerinde her adım birbirinden farklı değerler ile aşınma olmuştur. Aşınma adımları arasında düzen yoktur. Aşınma hızları hesaplandığında aşınma hızı en fazla olan numune 0.0001712 g/m ile takviyesiz Al7075 numunesi olmuştur. En az aşınma hızına sahip numune ise 0.0000282 g/m ile %10 B₄C takviyeli Al7075 numunesi olmuştur. Aşınma yüzeylerinde %10 B₄C takviyeli Al7075 numunesi aşınmanın orta alanında adezif yapı karakteristiği gösterirken, kenarlara doğru abrasif yapı karakteristiği göstermektedir. Aşınma yüzeylerinde %20 B₄C takviyeli Al7075 numunesi aşınmanın herhangi bir noktasında lineer olarak süreklilik gösteren yapı karakteristiği göstermemiştir. Bunun yerine bölgesel olarak adezif yapı karakteristiği ve abrasif yapı karakteristiği gösterdiği noktalar mevcuttur. EDX analizine göre 10 B₄C takviyeli Al7075 ve %20 B₄C takviyeli Al7075 numunelerinde abrasif aşınmanın olduğu noktalarda içerdiği oranla paralel olarak büyük ölçüde Zn (çinko), Cu (bakır), Mg (Magnezyum), C (Karbon), B (Bor), Ga (galyum), S (kükürt), Si (silisyum) birikintileri olmuştur. Optimum seviyede aşınma değerini %10 B₄C takviyeli Al7075 numuneleri göstermiştir. Elde edilen değerlere göre yapılacak çalışmalarda maksimum aşınmaya maruz kalınacak noktalarda %10 B₄C takviyeli Al7075 kullanılabilir.

Aşınma sonrası hesaplanan sürtünme katsayısına göre $0.0003X+2.0492$ ile takviyesiz Al7075 en fazla katsayıya sahiptir. Sürtünme katsayısına göre $0.00008X + 0.64692$ ile %10 B₄C takviyeli Al7075 en az katsayıya sahiptir.

9. Korozyon deneyi için yapılmış olan potansiyodinamik polarizasyon deneyi sonucu elde edilen Tafel eğrisi incelendiğinde, korozyon dayanım sıralaması (Takviyesiz Al7075) < (Al7075 + %10 B₄C) < (Al7075 + %20 B₄C) şeklinde olmuştur. Korozyon deneyi için yapılmış olan potansiyodinamik polarizasyon deneyi sonucunda elde edilen bulgulara göre en güçlü dayanım 0.0000295 ile %20 B₄C takviyeli Al7075 numunesindedir. Dayanımı en az olan numune ise 0.000262 ile takviyesiz Al7075 numunesidir. I_{corr} değeri değerlendirilerek dayanımı en fazla olan numuneden dayanımı en az olan numuneye doğru sıralayacak olursak “(Takviyesiz Al7075) < (Al7075 + %10 B₄C) < (Al7075 + %20 B₄C)” şeklinde sıralayabiliriz. En az E_{corr} değerine sahip olan numunenin -1.13 değeri ile Takviyesiz Al7075 numunesi olduğu görülmektedir. En fazla E_{corr} değerine sahip olan numunenin -0.717 değeri ile %20 B₄C takviyeli Al7075 numunesi olduğu görülmektedir. E_{corr} değeri değerlendirilerek dayanımı en fazla olan numuneden dayanımı en az olan numuneye doğru sıralayacak olursak “(Takviyesiz Al7075) < (Al7075 + %10 B₄C) < (Al7075 + %20 B₄C)” şeklinde sıralayabiliriz. B₄C takviyesi malzemede korozyon direncini arttırmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Balaji, V., Sateesh, N., and Hussain, M. M., "Manufacture of Aluminium Metal Matrix Composite (Al7075-SiC) by Stir Casting Technique", *Materials Today: Proceedings*, 2 (4–5): 3403–3408 (2015).
2. GÜLERYÜZ, L. F., "An Investigation Of Microstructure And Mechanical Properties Of Aluminum Matrix Composite Reinforced With B4c Particulates Manufactured By Powder Metallurgy Method", *Yeditepe University*, (2010).
3. KESKİN, G., "Sic, B4c İle Takviyelendirilmiş Al7075 Alaşımının Toz Katkılı Elektro Erozyon İle İşlenmesinde İşleme Parametre Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi", (2019).
4. ARSUN, O., "Sürdürülebilir Karbon Takviyeli Al-7075 Alaşımının Toz Metalurjisi İle Üretimi", (2021).
5. KESKİN, E., SUBAŞI, Y., TUREN, Y., AHLATCI, H., ESEN, İ., ELEN, L., ÖZTÜRK, E., DURAN, E., AKIN, B., BOZTAŞ, H., and DURMAZ, H., "Microstructural And Hardness Effects Of Adding 0.5-1% Tin (Sn) To We43 Magnesium Alloys", (2021).
6. ZENGİN, E., "ISI 316L Paslanmaz Çelik Matrisli, Bor Karbür Ve Karbon Nanotüp Takviyeli Nanokompozitlerin Toz Metalurjisi İle Üretimi Ve Karakterizasyonu", (2021).
7. SAGER, A. M. M., ESEN, İ., AHLATCI, H., TUREN, Y., and AKIN, B., "Investigation Of The Effect Of Zk60/15% Silicon Carbide And 0.2 - 0.5% Nano Aluminum Nitride Reinforced Composites On The Microstructure, Hardness, And Corrosion Properties", (2021).
8. Ramadoss, N., Pazhanivel, K., and Anbuechhiyan, G., "Synthesis of B4C and BN reinforced Al7075 hybrid composites using stir casting method", *Journal Of Materials Research And Technology*, 9 (3): 6297–6304 (2020).
9. Zhu, X., Dong, H., and Lu, K., "Coating different thickness nickel-boron nanolayers onto boron carbide particles", *Surface And Coatings Technology*, 202 (13): 2927–2934 (2008).
10. Karakoç, H., "Toz Metal Al7075/B4C/Si3N4 Kompozit Malzemelerin Üretimi ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi", *Journal Of Polytechnic*, 0900 (4): 1141–1151 (2019).
11. Li, L., Li, R., Yuan, T., Chen, C., Zhang, Z., and Li, X., "Microstructures and tensile properties of a selective laser melted Al–Zn–Mg–Cu (Al7075) alloy by

- Si and Zr microalloying", *Materials Science And Engineering A*, 787 (May): 139492 (2020).
12. HEKİMOĞLU, A. P. and TURAN, Y. E., "Çinko Oranının Al-(5-50)Zn Alaşımlarının Yapısal ve Mekanik Özelliklerine Etkisi", *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9: 16–25 (2019).
 13. Rana, H. G., Badheka, V. J., and Kumar, A., "Fabrication of Al7075 / B4C Surface Composite by Novel Friction Stir Processing (FSP) and Investigation on Wear Properties", *Procedia Technology*, 23: 519–528 (2016).
 14. Baradeswaran, A. and Elaya Perumal, A., "Influence of B₄C on the tribological and mechanical properties of Al 7075-B₄C composites", *Composites Part B: Engineering*, 54 (1): 146–152 (2013).
 15. Kalaiselvan, K., Murugan, N., and Parameswaran, S., "Production and characterization of AA6061-B₄C stir cast composite", *Materials And Design*, 32 (7): 4004–4009 (2011).
 16. Shorowordi, K. M., Laoui, T., Haseeb, A. S. M. A., Celis, J. P., and Froyen, L., "Microstructure and interface characteristics of B₄C, SiC and Al₂O₃ reinforced Al matrix composites: A comparative study", *Journal Of Materials Processing Technology*, 142 (3): 738–743 (2003).
 17. Zhang, Z., Chen, X. G., and Charette, A., "Particle distribution and interfacial reactions of Al-7%Si-10%B₄C die casting composite", *Journal Of Materials Science*, 42 (17): 7354–7362 (2007).
 18. Kerti, I. and Toptan, F., "Microstructural variations in cast B₄C-reinforced aluminium matrix composites (AMCs)", *Materials Letters*, 62 (8–9): 1215–1218 (2008).
 19. Rao, R. N. and Das, S., "Effect of matrix alloy and influence of SiC particle on the sliding wear characteristics of aluminium alloy composites", *Materials And Design*, 31 (3): 1200–1207 (2010).
 20. Karpasand, F., Abbasi, A., and Ardestani, M., "Effect of amount of TiB₂ and B₄C particles on tribological behavior of Al7075/B₄C/TiB₂ mono and hybrid surface composites produced by friction stir processing", *Surface And Coatings Technology*, 390 (March): 125680 (2020).
 21. Radha, A., Suresh, S., Ramanan, G., Mohanavel, V., and Prema, C. E., "Processing and characterization of mechanical and wear behavior of Al7075 reinforced with B₄C and nano graphene hybrid composite", *Materials Research Express*, 6 (12): 1265c5 (2020).
 22. Karpasand, F., Ardestani, M., and Abbasi, A., "The effect of powder addition manner and volume fraction of reinforcement on tribological behavior of Al7075/B₄C surface composite produced by friction stir processing", *Journal*

Of Composite Materials, 54 (21): 2873–2886 (2020).

23. Reddy, T. P., Kishore, S. J., Theja, P. C., and Rao, P. P., "Development and wear behavior investigation on aluminum-7075/B₄C/fly ash metal matrix composites", *Advanced Composites And Hybrid Materials*, 3 (2): 255–265 (2020).
24. JAVDANI, A. and DAEI-SORKHABI, A. H., "Microstructural and mechanical behavior of blended powder semisolid formed Al7075/B₄C composites under different experimental conditions", *Transactions Of Nonferrous Metals Society Of China (English Edition)*, 28 (7): 1298–1310 (2018).
25. V., G., S., T. K., and C., S. P., "Experimental Investigation of Hardness and Wear Behaviour of Al7075/B₄C/Al₂O₃ Hybrid Composite", *International Research Journal Of Engineering And Technology*, 6 (6): (2019).
26. Manohar, G., Pandey, K. M., and Ranjan Maity, S., "Effect of compaction pressure on mechanical properties of AA7075/B₄C/graphite hybrid composite fabricated by powder metallurgy techniques", *Materials Today: Proceedings*, 38: 2157–2161 (2020).
27. Krishnamoorthi, K., Arun, A. P., and Muralidaran, V. M., "Effect of B₄C particle reinforcement on tensile properties of Al7075/B₄C composites", *Materials Today: Proceedings*, (xxxx): 3–6 (2022).
28. Aksöz, S., Kaner, S., and Kaplan, Y., "Tribological and aging behavior of hybrid Al 7075 composite reinforced with B₄C, SiC, and TiB₂", *Science Of Sintering*, 53 (3): 311–321 (2021).
29. Shrestha, N. K., Kawai, M., and Saji, T., "Co-deposition of B₄C particles and nickel under the influence of a redox-active surfactant and anti-wear property of the coatings", *Surface And Coatings Technology*, 200 (7): 2414–2419 (2005).
30. Zhang, H., Ramesh, K. T., and Chin, E. S. C., "High strain rate response of aluminum 6092/B₄C composites", *Materials Science And Engineering A*, 384 (1–2): 26–34 (2004).
31. Sarp BURGUCU, "7075 Alüminyum Alaşımlarının Üretimi Ve Karakterizasyonu", (2011).
32. TUFAN, M., "AA6082 Alüminyum Alaşımlarında Yaşlandırma Isıl İşleminin İşlenebilirliğe ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi", (2011).
33. Puga, H., Carneiro, V. H., Barbosa, J., and Soares, D., "Effect Of Grain and Secondary Phase Morphologies in The Mechanical and Damping Behavior of Al7075 Alloys", *Metals And Materials International*, 22 (5): 863–871 (2016).
34. ÇARBOĞA, C., "Düşük Karbonlu Çeliklere Bor İlavesinin Mikroyapı Ve

- Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi", (2010).
35. Feizi, A., "Sürtünme Karıştırma Metoduyla 5083 Alüminyum Alaşımına Grafen Tozu İlavesinin Araştırılması", (219AD).
 36. Zhao, Y., Yu, T., Sun, J., and Jiang, S., "Microstructure and Properties of Laser Cladded B₄C/TiC/Ni-Based Composite Coating", *International Journal Of Refractory Metals And Hard Materials*, 86 (September 2019): 105112 (2020).
 37. Zhang, Y. and Xu, X., "Predicting Doped MgB₂ Superconductor Critical Temperature from Lattice Parameters Using Gaussian Process Regression", *Physica C: Superconductivity And Its Applications*, 573 (March): 1353633 (2020).
 38. STANDARD, E., "EN 573-3 : Aluminium and Aluminium Alloys - Chemical Composition and Form of Wrought Products - Part 3: Chemical Composition and Form of Products", (2007).

ÖZGEÇMİŞ

Seyit Ali KARA ilk ve orta öğrenimini Konya’da tamamladı. 2015 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü’nde öğrenime başlayıp 2020 yılında onur öğrencisi olarak mezun oldu. 2020 yılında Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisansa başladı. Yüksek Lisans eğitimi devam ederken 1 TR Dizin, 7 sempozyum makalesi ve 1 Springer uluslararası kitap bölümü yayınlanmıştır. Otonom araçlar, siber güvenlik, toz metalürjisi ve model uydu teknolojileri ve tasarımı alanlarında çalışmalar yapmıştır.