



**AZ71 ALAŞIM MATRİSLİ GNP+B4C
TAKVİYELİ HİBRİT KOMPOZİTLERİN
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**2024
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

Simge BAYHATUN

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI**

**AZ71 ALAŞIM MATRİSLİ GNP+B4C TAKVİYELİ HİBRİT
KOMPOZİTLERİN ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Simge BAYHATUN

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

T.C.

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Ocak 2024

Simge BAYHATUN tarafından hazırlanan “AZ71 ALAŞIM MATRİSLİ GNP+B4C TAKVİYELİ HİBRİT KOMPOZİTLERİN ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 19/01/2024

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr.Mustafa ACARER (SÜ)

Üye : Prof. Dr.Hayrettin AHLATCI (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi İsmail Hakkı KARA (KBÜ)

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

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN

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.”

Simge BAYHATUN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AZ71 ALAŞIM MATRİSLİ GNP+B4C TAKVİYELİ HİBRİT KOMPOZİTLERİN ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Simge BAYHATUN

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

Ocak 2024, 90 sayfa

Bu çalışmada, AZ71 matrisi (ağırlıkça % Mg-7Al-1Zn) GNP ve B4C partikül takviyeleri ile güçlendirilerek toz metalürjisi yöntemi ve toz karışımların oluşturulması sırasında nanoparçacık tozlarının aglomerasyonunu önlemek ayrıca homojen dağılımını sağlamak için sıvı bazlı karıştırma adı verilen yeni bir yöntem ile AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C, AZ71+%1 GNP+%15 B4C, AZ71+%15 B4C kompozitler üretilmiştir.

Hazırlanan GNP ve B4C nanopartikül karışımını sıkıştırmak ve kompakt hale getirmek için 30ton kapasiteli hidrolik pres kullanılmıştır. 500 °C'de 3 saat boyunca sıkıştırılan kapsüller kısmen sinterlenmiştir. Alaşım, CO₂ + 0,8 SF₆ içeren gaz korumalı bir indüksiyon eritme fırını kullanılarak eritilmiştir. Tüm numuneler ekstrüzyondan önce 420 °C'de 24 saat homojenleştirilmiş ve alaşım, 30ton kaldırma kapasiteli, 400 °C sıcaklıkta ve 0,3 mm/s hızla ekstrüze edilmiştir.

Üretimi yapılan numunelerin mikroyapı incelemeleri, döküm, homojenleştirilmiş ve ekstrüde edilmiş numuneler için yapılmıştır. Döküm sonrası mikroyapı incelemelerinde dentritik homojen olmayan bir görünüm görülmektedir. Homojenleştirme sonrasında tane boyutunda az da olsa küçülme meydana gelmiştir. Ekstrüze edilmiş kompozitlerin mikroyapıları homojen dağılımı gösterebilmek için ekstrüzyona dik ve ekstrüzyon yönünde numuneler çıkartılmış ve incelenmiştir. Bu incelemeler neticesinde GNP ve B4C ilavelerinin matris içerisinde homojen bir dağılım sergilediği görülmüştür.

Kompozitlerin kuru aşınma ve %3.5 NaCl çözeltili aşınma davranışları incelenmiştir. Kuru sürtünme testi ve %3.5 NaCl çözeltili aşınma sonucunda en az ağırlık kaybı AZ71 + %0,5 GNP kompozitinde meydana gelmiştir. En fazla aşınma sonrası ağırlık kaybı AZ71+%15 B4C alaşımında meydana gelmiştir. Aşınma hızları incelendiğinde de bu durumun desteklendiği görülmüştür.

Daldırma korozyon testi sonucunda Korozyon hızı oranı en düşük olan AZ71 + %0,5 GNP kompozitinde meydana gelmiştir. Korozyon hızı oranı en fazla olan kompozit AZ71+%15 B4C'dir. Buna oranla korozyon hızı AZ71+%15 B4C ilaveli kompozitin 4.62 kat, AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C ilaveli kompozitin 3,74 kat ve AZ71+%1 GNP+%15 B4C ilaveli numunenin 3,28 kat arttığı görülmektedir. Yapılan potasyodinamik korozyon incelemesinde Icorr değeri AZ71+%0.5 GNP için 0,00382 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, Ecorr değeri -1,32 V, Icorr değeri AZ71+%15 B4C için 0,00532 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, Ecorr değeri -1,41 V, Icorr değeri AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C için 0,00456 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, Ecorr değeri -1,35 V ve Icorr değeri AZ71+%1 GNP+%15 B4C için 0,00439 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ Ecorr değeri -1,36 V çıkmıştır. Hidrojen Çıkışı deneyi incelemesinde AZ71%0,5 GNP en düşük hidrojen çıkışı gerçekleştirmiştir. En fazla hidrojen çıkışı AZ71+%15 B4C'dir. Korozyon sonuçlarına göre GNP takviyeli kompozitlerin korozyon dayanımı B4C ilaveli kompozitlere göre daha iyi direnç göstermiştir. Yapılan çalışmada mikroyapısal görüntüler alınmış ve parçacık boyutu da incelenmiştir. Deneylerin ardından numune yüzeyindeki faz durumlarını incelemek için tüm numunelerin SEM görüntüleri ve EDX analizleri yapılmıştır.

Anahtar Sözcükler : Hibrit Kompozit, B4C, GNP, Aşınma, Korozyon.

Bilim Kodu : 91512

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF GNP+B4C REINFORCED HYBRID COMPOSITES WITH AZ71 ALLOY MATRIX

Simge BAYHATUN

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Metallurgical and Materials Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

January 2024, 90 pages

In this study, AZ71 matrix (wt% Mg-7Al-1Zn) was strengthened with GNP and B4C particle reinforcements using the powder metallurgy method and AZ71+0% with a new method called liquid-based mixing to prevent the agglomeration of nanoparticle powders during the formation of powder mixtures and to ensure their homogeneous distribution. .5 GNP, AZ71+0.5% GNP+15% B4C, AZ71+1% GNP+15% B4C, AZ71+15% B4C composites were produced. A hydraulic press with a capacity of 30 tons was used to compress and compact the prepared GNP and B4C nanoparticle mixture. Capsules compressed at 500 °C for 3 hours were partially sintered. The alloy was melted using a gas-shielded induction melting furnace containing CO₂ + 0.8 SF₆. All samples were homogenized at 420 °C for 24 hours before extrusion, and the alloy was extruded at a temperature of 400 °C and a speed of 0.3 mm/s, with a lifting capacity of 30 tons. Microstructural examinations of the produced samples were carried out for cast, homogenized and extruded samples. Post-casting microstructure

examinations reveal a dendritic inhomogeneous appearance. After homogenization, a slight decrease in grain size occurred. In order to show the homogeneous distribution of the microstructures of the extruded composites, samples perpendicular to the extrusion and in the direction of the extrusion were removed and examined. As a result of these examinations, it was seen that GNP and B4C additions exhibited a homogeneous distribution in the matrix. Dry wear and 3.5% NaCl solution wear behaviors of composites were examined. As a result of the dry friction test and abrasion with 3.5% NaCl solution, the least weight loss occurred in the AZ71 + 0.5% GNP composite. The highest weight loss after wear occurred in the AZ71+15% B4C alloy. This situation was also supported when the wear rates were examined. As a result of the immersion corrosion test, the lowest corrosion rate occurred in the AZ71 + 0.5% GNP composite. The composite with the highest corrosion rate is AZ71+15% B4C. Compared to this, it is seen that the corrosion rate of the composite with AZ71+15% B4C addition increased by 4.62 times, of the composite with AZ71+0.5% GNP+15% B4C addition increased by 3.74 times, and of the sample with AZ71+1% GNP+15% B4C addition increased by 3.28 times. In the potentiodynamic corrosion examination, the I_{corr} value is $0.00382 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ for AZ71+0.5% GNP, the E_{corr} value is -1.32 V, the I_{corr} value is $0.00532 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ for AZ71+15% B4C, the E_{corr} value is -1.41 V, I_{corr} value $0.00456 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ for AZ71+0.5% GNP+15% B4C, E_{corr} value -1.35 V and I_{corr} value $0.00439 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ for AZ71+1% GNP+15% B4C E_{corr} value -1.36 V has come out. In the Hydrogen Release test examination, AZ71+0.5% GNP achieved the lowest hydrogen release. The maximum hydrogen output is AZ71+15% B4C. According to the corrosion results, the corrosion resistance of GNP reinforced composites showed better resistance than B4C added composites. In the study, microstructural images were taken and particle size was also examined. Following the experiments, SEM images and EDX analyzes of all samples were performed to examine the phase states on the sample surface.

Key Word: Hybrid Composite, B4C, GNP, Wear, Corrosion.

Science Code : 91512

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez konumun belirlenmesinden başlayarak, deneysel çalışmalar ve araştırmalar boyunca kendi bilgi birikimi ve tecrübesini her zaman paylaşan ve beni tezle alakalı her konuda yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI' ya sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın üretim sürecinde ve bilimsel konularda daima yardımını gördüğüm hocam Sayın Doç. Dr. Yunus TÜREN'e, sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Koordinatörlüğü tarafından KBÜBAP-22-YL-149 proje numarası ile desteklendiği için KBÜ-BAP birimine teşekkür ederim.

Laboratuvar ve atölye çalışmalarında ve yapmış olduğum testlerde her daim yanımda bulunan ve bana yardımcı olan Karabük üniversitesi öğrencilerine ve Volkan KARAKURT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi hiçbir yardımını esirgmeden bana destek olan aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	ix
İÇİNDEKİLER	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xviii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
MAGNEZYUM VE MAGNEZYUM ALAŞIMLARI.....	4
2.1. MAGNEZYUM VE MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ GENEL ÖZELLİKLERİ	4
2.2. MAGNEZYUM ALAŞIMLARI VE STANDARTLARI.....	7
2.3. FAZ DİYAGRAMLARI	8
2.3.1. Geleneksel Alaşımlar.....	8
2.3.2. Mg-Al Faz Diyagramı.....	9
2.3.3. Mg-Zn Faz Diyagramı	10
2.4. MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ KULLANIM ALANLARI.....	11
2.4.1. Uçak.....	13
2.4.2. Helikopter	13
2.4.3. Otomobiller ve Hafif Kamyonlar.....	14
2.4.4. Füzeler ve Uzay Araştırmaları	16
2.5. DÖKÜM YÖNTEMLERİ.....	18
2.5.1. Sıcak Basıncılı Döküm	18
2.5.2. Soğuk Basıncılı Döküm.....	19
2.5.3. Sıkıştırılmalı Döküm.....	20

	<u>Sayfa</u>
2.5.4. Hassas Döküm	21
2.5.5. Kalıcı Kalıp ve Kum Döküm	22
2.6. MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ EKSTRÜZYONU	22
2.7. MG ALAŞIMLARININ KOROZYON PERFORMANSI	23
2.7.1. Korozyon Çeşitleri	24
2.7.1.1. Galvanik Korozyon	24
2.7.1.2. Taneler Arası Korozyon	25
BÖLÜM 3	26
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	26
3.1. ALAŞIMLARIN ÜRETİMİ	26
3.1.1. Döküm Yöntemi	26
3.1.2. Sıcaklık Kontrollü Ekstrüzyon	29
3.2. ALAŞIMLARIN KARAKTERİZASYONU	31
3.2.1. Yoğunluk Ölçümü	31
3.2.2. Metalografik İşlemler ve Mikroyapısal Karakterizasyonu	32
3.2.3. XRD Analizi	34
3.3. SERTLİK TESTİ	34
3.4. AŞINMA TESTİ	34
3.5. KOROZYON TESTİ	36
3.5.1. Daldırma Korozyonu Testi	36
3.5.2. Potansiyodinamik Polarizasyon Korozyon Testi	36
3.5.3. Hidrojen Çıkışı Deneyi	37
BÖLÜM 4	39
DENEYSEL SONUÇLAR	39
4.1. ALAŞIMLARIN KARAKTERİZASYON SONUÇLARI	39
4.1.1. Kompozitlerin Yoğunluk Ölçüm Sonuçları	39
4.1.2. XRD Analizi Sonuçları	39
4.2. MİKROYAPI SONUÇLARI	41
4.2.1. Optik Mikroyapı Görüntüleri	41
4.2.1.1. Döküm Sonrası Mikroyapı Görüntüleri	42
4.2.1.2. Homojenleştirme Isıl İşlemi Sonrası Mikroyapı Görüntüleri	44

	<u>Sayfa</u>
4.2.1.3. Ekstrüzyon Sonrası Mikroyapı Görüntüleri.....	46
4.2.2. SEM Mikroyapı Görüntüleri.....	49
4.2.2.1. Ekstrüzyon Uygulanan Alaşımların SEM ve EDX Analizleri.....	49
4.3. SERTLİK TESTİ SONUÇLARI.....	52
4.4. AŞINMA DENEYİ SONUÇLARI	54
4.4.1. Kuru Aşınma Deneyi Sonuçları.....	54
4.4.1.1. Kuru Aşınma Deneyi SEM ve EDX Sonuçları.....	57
4.4.2. %3.5 NaCl Çözeltili Aşınma Deneyi Sonuçları	62
4.4.2.1. %3.5 NaCl Çözeltili Aşınma ve EDX Sonuçları	65
4.5. KOROZYON TESTİ SONUÇLARI.....	68
4.5.1. Daldırma Testi Sonuçları.....	68
4.5.1.1. Daldırma Korozyonu Testi Makro Yüzey Görüntüleri.....	70
4.5.2. Potansiyodinamik Polarizasyon Korozyonu Testi Sonuçları	72
4.5.3 Hidrojen Çıkışı Testi Sonuçları	74
4.5.3.1. Hidrojen Çıkışı Testi XRD Analizi Sonuçları	75
4.5.3.2. Hidrojen Çıkışı Deneyi SEM ve EDX Sonuçları.....	77
BÖLÜM 7	82
GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	82
KAYNAKLAR	84
ÖZGEÇMİŞ	90

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Birim hücre ve ana düzlemler ve yönler	5
Şekil 2.2. Birincil magnezyum metalinin dünya üretimi (IMA'ya ve çeşitli kaynaklardan birleştirilmiş verilere dayalıdır)	6
Şekil 2.3. Kapasite birincil magnezyum.....	6
Şekil 2.4. Metalurjik uygulamalara paylaştırılmış magnezyum	7
Şekil 2.5. Al-Mg denge faz diyagramı	10
Şekil 2.6. Mg-Zn sisteminin faz diyagramı.	11
Şekil 2.7. Magnezyumun farklı alanlarda kullanımı.	12
Şekil 2.8. Magnezyum malzeme kullanılan uçak görüntüsü.....	13
Şekil 2.9. Ulusal Hava Kuvvetleri Müzesi'ndeki Sikorsky UH-19B Chickasaw Birleşik Devletler Hava Kuvvetleri.....	14
Şekil 2.10. Çeşitli Mg Çeşitli Mg otomobil parçaları (Volkswagen AG).....	15
Şekil 2.11. Otomobillerde Otomobillerdeki diğer Mg parçaları (UNITECH).....	15
Şekil 2.12. Döküm magnezyum alaşımli koltuk çerçevesi	16
Şekil 2.13. Üç magnezyum dökümden oluşan direksiyon kolunu tertibatı	17
Şekil 2.14. Elde taşınabilir cep telefonu için ince duvarlı magnezyum kasa ve şasi. 18	
Şekil 2.15. Sıcak kamaralı bir kalıp döküm makinesinin grafiksel gösterimi	19
Şekil 2.16. Soğuk kamaralı bir kalıp döküm makinesinin grafiksel gösterimi	20
Şekil 2.17. Doğrudan sıkma döküm kavramı: 1. adım alaşım ergitme; 2. adım kalıp doldurma; 3. adım kalıbı kapatma ve basınç uygulama; 4. adım parça çıkarma	21
Şekil 2.18. Doğrudan ve dolaylı ekstrüzyon fikirleri.	23
Şekil 2.19. a) Dış galvanik korozyon. b) İç galvanik korozyon.	24
Şekil 3.1. Toz karışımların hazırlanması işlemi.	28
Şekil 3.2. Ergitme Ocağı ve dökülen kalıp.....	29
Şekil 3.3. Ekstrüzyon düzeneğinin görüntüsü.	30
Şekil 3.4. Ekstrüzyon sonrası çıkan numunenin görüntüsü.....	31
Şekil 3.5. Deneylede hassas ölçüm yapmak için kullanılan PRECİSA XB 220A marka hassas terazi.....	32
Şekil 3.6. (a) Optik Mikroskop ve (b) Taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazı.	33

Şekil 3.7. Brinell sertlik ölçüm cihazı.	34
Şekil 3.8. Aşınma Deneyi Test Cihazı.	35
Şekil 3.9. Korozyon testi görüntüsü.	37
Şekil 3.10. Hidrojen Çıkışı Deney düzeneği görüntüsü.	38
Şekil 4.1. AZ71+%0.5 GNP kompozitinin XRD Analiz Sonuçları.	40
Şekil 4.2. AZ71+%15 B4C kompozitinin XRD Analizi Sonuçları.	41
Şekil 4.3. AZ71+%1 GNP+%15 B4C kompozitinin XRD Analizi Sonuçları.	41
Şekil 4.4. (a) AZ71+%0.5 GNP, (b) AZ71+%15 B4C, (c) AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C ve (d) AZ71+%1 GNP+%15 B4C Alaşımların Döküm hali mikroyapı görüntüleri.	44
Şekil 4.5. AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%15 B4C, AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C ve AZ71+%1 GNP+%15 B4C Alaşımların Homojenleştirilme Sonrası mikroyapı görüntüleri.	45
Şekil 4.6. AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%15 B4C, AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C ve AZ71+%1 GNP+%15 B4C Alaşımların Ekstrüzyon yönüne paralel alınmış mikroyapı görüntüleri.	47
Şekil 4.7. AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%15 B4C, AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C ve AZ71+%1 GNP+%15 B4C Alaşımların Ekstrüzyona dik tarafından alınmış mikroyapı görüntüleri.	48
Şekil 4.8. Ektrüzyon yapılmış AZ71+%0.5 GNP (a), AZ71+%15 B4C (b), AZ71+%1 GNP+ %15 B4C (c) Alaşımların 200 X SEM görüntüleri.	49
Şekil 4.9. Ektrüzyon yapılmış AZ71+%0.5 GNP (a), AZ71+%15 B4C (b), AZ71+%1 GNP+ %15 B4C (c) Alaşımların 1kX SEM görüntüleri.	50
Şekil 4.10. AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%15 B4C, AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C ve AZ71+%1 GNP+%15 B4C Kompozitlerin döküm hali ve homojenleştirilmiş haldeki sertlik değerleri.	53
Şekil 4.11. AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%15 B4C, AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C ve AZ71+%1 GNP+%15 B4C Kompozitlerin Ekstrüzyon sonrası kesitten (İç) ve ekstrüzyon yönüne paralel (Dış) yüzeyinden alınan sertlik değerleri.	54
Şekil 4.12. Kuru Aşınma Deneyinde 1000 m mesafeye göre aşınma kayıpları.	55
Şekil 4.13. Kuru Aşınma Deneyinde Kompozitlerin aşınma hızı değerleri.	56
Şekil 4.14. Kuru Aşınma Kompozitlerin Aşınma Hızı ve Sertlik Sonuçları Kıyaslaması.	56
Şekil 4.15. Kuru Aşınma Deneyi yapılmış AZ71+%0.5 GNP (a), AZ71+%15 B4C (b), AZ71+%1 GNP+ %15 B4C (c) Alaşımların 1kX SEM görüntüleri.	57
Şekil 4.16. AZ71+%0.5 GNP kompozit malzemesinin aşınmış yüzeyinin 1kX SEM görüntüsü.	58

Şekil 4.17. AZ71+%0.5 GNP kompozit malzemesinin aşınmış adhezif-abrazif yüzeylerinin 1 kX SEM görüntüsü.....	58
Şekil 4.18. AZ71+%15 B4C kompozit malzemesinin aşınmış yüzeyinin 1kX SEM görüntüsü.....	59
Şekil 4.19. AZ71+%15 B4C kompozit malzemesinin aşınmış adhezif-abrazif yüzeylerinin 250 X SEM görüntüsü.....	60
Şekil 4.20. AZ71+%1GNP+%15 B4C kompozit malzemesinin aşınmış yüzeyinin 1kX SEM görüntüsü.....	61
Şekil 4.21. AZ71+%1 GNP+%15 B4C kompozit malzemesinin aşınmış adhezif-abrazif yüzeylerinin 250 X SEM görüntüsü.....	62
Şekil 4.22. %3.5 NaCl Çözelti Aşınma Deneyinde 1000 m mesafeye göre aşınma kayıpları.....	63
Şekil 4.23. %3.5 NaCl Çözelti Aşınma Deneyinde Kompozitlerin aşınma hızı değerleri.....	63
Şekil 4.24. %3.5 NaCl Çözelti Aşınma Kompozitlerin Aşınma Hızı ve Sertlik Sonuçları Kıyaslaması.....	64
Şekil 4.25. %3.5 NaCl Çözelti Aşınma Deneyi yapılmış AZ71+%0.5 GNP (a), AZ71+%15 B4C (b), AZ71+%1 GNP+ %15 B4C (c) Alaşımların 250X SEM görüntüleri.....	65
Şekil 4.26. AZ71+%0.5 GNP kompozit malzemesinin aşınmış yüzeyinin 250X SEM görüntüsü.....	66
Şekil 4.27. AZ71+%15 B4C kompozit malzemesinin aşınmış yüzeyinin 250X SEM görüntüsü.....	67
Şekil 4.28. AZ71+%1 GNP+%15 B4C kompozit malzemesinin aşınmış yüzeyinin 250X SEM görüntüsü.....	68
Şekil 4.29. AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%15 B4C, AZ71+%0.5 GNP+ %15 B4C ve AZ71+%1 GNP+ %15 B4C kompozitlerin daldırma korozyon deneyi ağırlık kaybı grafikleri.....	69
Şekil 4.30. AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%15 B4C, AZ71+%0.5 GNP+ %15 B4C ve AZ71+%1 GNP+ %15 B4C kompozitlerinin daldırma korozyon deneyi korozyon hızı grafikleri.....	70
Şekil 4.31. Daldırma korozyon testi sonrası kompozitlerin yüzey görüntüleri.....	71
Şekil 4.32. AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%15 B4C, AZ71+%0.5 GNP+ %15 B4C ve AZ71+%1 GNP+ %15 B4C kompozitlerin ekstrüzyon sonrası potansiyodinamik polarizasyon eğrileri.....	72
Şekil 4.33. AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%15 B4C, AZ71+%0.5 GNP+ %15 B4C ve AZ71+%1 GNP+ %15 B4C kompozitlerinin Icorr değerleri.....	73
Şekil 4.34. AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%15 B4C, AZ71+%0.5 GNP+ %15 B4C ve AZ71+%1 GNP+ %15 B4C kompozitlerinin Ecorr değerleri.....	73
Şekil 4.35. Hidrojen Çıkışı Deneyi Süreye göre oksijen çıkışı grafiği.....	74

Sayfa

Şekil 4.36. AZ71+%0.5 GNP kompozit malzemesinin hidrojen çıkışı testi XRD sonuçları.	76
Şekil 4.37. AZ71+%15 B4C kompozit malzemesinin hidrojen çıkışı testi XRD sonuçları.	76
Şekil 4.38. AZ71+%1GNP+%15 B4C kompozit malzemesinin hidrojen çıkışı testi XRD sonuçları.....	77
Şekil 4.39. Hidrojen Çıkışı Deneyi yapılmış AZ71+%0.5 GNP (a), AZ71+%15 B4C (b), AZ71+%1 GNP+ %15 B4C (c) Alaşımların 250X SEM görüntüleri.	77
Şekil 4.40. AZ71+%0.5 GNP kompozit malzemesinin hidrojen çıkışı testi 250X SEM görüntüsü.....	78
Şekil 4.41. AZ71+%15 B4C kompozit malzemesinin hidrojen çıkışı testi 250X SEM görüntüsü.....	79
Şekil 4.42. AZ71+%1 GNP+ %15 B4C kompozit malzemesinin hidrojen çıkışı testi 250X SEM görüntüsü.....	80

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Magnezyum elementinin fiziksel ve mekanik özellikleri.....	4
Çizelge 2.2. Magnezyum İçeren Minerallerin Özellikleri.....	5
Çizelge 2.3. Magnezyum Alaşım Elementi için ASTM İsimlendirme Kodları.....	7
Çizelge 2.4. Tav Tanımlamalarının İsimlendirme Kodları.....	8
Çizelge 2.5. Alaşım ilavelerinin etkileri.....	9
Çizelge 3.1. AZ71 alaşımının kimyasal kompozisyonu.....	26
Çizelge 3.2. AZ71 yeni alaşımların içeriğinin gram cinsinden miktarı.....	27
Çizelge 3.3. Al7075 ve Al7075+%Ti alaşımları için aşındırıcının bileşimi ve çalışma durumu.....	33
Çizelge 4.1. Kompozitlerin Yoğunluk Sonuçları.....	39
Çizelge 4.2. Şekil 4.9a'da AZ71+%0.5 GNP için seçilmiş bölgelerin kimyasal analizi.....	51
Çizelge 4.3. Şekil 4.9b'da AZ71+%15 B4C için seçilen bölgelerin kimyasal analizi.....	51
Çizelge 4.4. Şekil 4.9c'de AZ71+%1 GNP+%15 B4C için seçilen bölgelerin kimyasal analizi.....	52
Çizelge 4.5. Şekil 4.16'da AZ71+%0.5 GNP için seçilmiş bölgelerin EDX analizi.....	58
Çizelge 4.6. Şekil 4.18'de AZ71+%15 B4C için seçilmiş bölgelerin kimyasal analizi.....	59
Çizelge 4.7. Şekil 4.20'de AZ71+%1GNP+%15 B4C için seçilmiş bölgelerin kimyasal analizi.....	61
Çizelge 4.8. Şekil 4.26'da AZ71+%0.5 GNP için seçilmiş bölgelerin EDX analizi.....	66
Çizelge 4.9. Şekil Şekil 4.27'de AZ71+%15 B4C için seçilmiş bölgelerin kimyasal analizi.....	67
Çizelge 4.10. Şekil 4.28'de AZ71+%1 GNP+%15 B4C için seçilmiş bölgelerin kimyasal analizi.....	68
Çizelge 4.11. Şekil 4.40'da AZ71+%0.5 GNP için seçilmiş bölgelerin EDX analizi.....	78
Çizelge 4.12. Şekil 4.41'de AZ71+%15 B4C için seçilmiş bölgelerin EDX analizi.....	80
Çizelge 4.13. Şekil 4.42'de AZ71+%1 GNP+%15 B4C için seçilmiş bölgelerin EDX analizi.....	81

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- B₄C : bor karbür
GNP : grafen nanopartikül
SiC : silisyum karbür
Al₂O₃ : alümina
AlN : alüminyum nitür
Mg : magnezyum
MgO : magnezyum oksit
Si : silisyum
Al : alüminyum
Fe : demir
Zn : çinko
Zr : zirkonyum
Cu : bakır
MMK : metal matrisli kompozitler
E_{corr} : Korozyon gerilimi
I_{corr} : Korozyon akımı

KISALTMALAR

- ASTM : American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu)
SEM : Scanning Electrone Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
XRD : X-ray Diffractometer
EDX : Energy Dispersive X-ray (Enerji Dağıtıcı X-ışını)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Kompozit malzemeler, yüksek sertlik-yoğunluk ve mukavemet-yoğunluk oranlarına sahip ileri malzemelerin geliştirilmesi ve üretilmesi açısından modern endüstride önemli bir yer tutmaktadır. Bu avantajlar, ağırlık ve mukavemetin büyük önem taşıdığı uzay ve havacılık gibi endüstrilerde bu malzemeler için geniş bir uygulama alanı yaratmıştır. Bu malzemeler kullanılan yapıların verimliliğini ve performansını önemli ölçüde arttırmaktadır [1]. Çoğu pratik uygulama için, parçacık takviyeli metal matrisli kompozitler ve genellikle rastgele yönlendirilmiş takviye parçacıkları tercih edilir çünkü malzemenin mekanik özelliklerinin düzgün ve izotropik olması amaçlanır [2]. Metal matrisli kompozitler (MMK'ler), metallerin süneklik ve tokluk özelliklerini seramiğin yüksek mukavemeti ve yüksek modülü ile birleştirdiklerinden çok önemli mühendislik malzemeleri haline gelmiştir [3]. Metal matrisli kompozitlerin üretiminde kompozitlerin mekanik özelliklerini iyileştirme yöntemlerinden biri olan parçacık takviyesi, oluşturulan kompozitlerin özelliklerini matrisin özelliklerine göre birkaç kat arttırabilmektedir. Parçacık takviyeli MMK malzemelerinin üretimi tipik olarak döküm gibi sıvı işlemleri içerir, ancak toz metalurjisi gibi katı hal işlemleri de tercih edilebilir [4]. Günümüz teknolojik gelişmelerinin sunduğu avantajlar birçok geleneksel üretim tekniğinin gelişmesine yol açmaktadır. Bununla birlikte, geleneksel parça imalatından teknolojik olarak daha gelişmiş parça imalatına doğru olan eğilim, toz metalurjisi teknolojisinin önemini giderek arttırmıştır. Özellikle toz metalurjisi, parçacık takviyeli metal matrisli kompozitlerin imalat teknolojileri arasında giderek daha önemli hale gelmektedir [5]. Ancak oksidasyona duyarlı Mg ve alaşımlarından yapılan parçaların üretimi çok yüksek yatırımlar gerektirmektedir [6].

Kompozit matrislerden beklenen özellikler arasında hafiflik, korozyon direnci, kırılma tokluğu ve takviye elemanlarıyla uyumluluk yer alır. Matris malzemesi yükü takviye

elemanlarına aktarır ve aynı zamanda onları aşınma ve korozyondan korur. Gevrek çatlakların takviye elemanlarına yayılmasını önler.

Matris malzemeleri kompozit yapıların kayma, sıkışma, akış, sürünme, dielektrik ve termomekanik özelliklerinde önemli bir rol oynamaktadır. Kompozit yapılarda metal matris malzemesi olarak genellikle düşük yoğunluklu, yüksek tokluğa ve iyi mekanik özelliklere sahip hafif metaller ve alaşımlar tercih edilir. Bu hafif metal alaşımları, mükemmel mukavemetleri ve özgül ağırlık oranlarından dolayı özellikle ağırlığın ana odak noktası olduğu hafif yapılar için tercih edilmektedir. Bu tür malzemelerin bir diğer özelliği de atmosferik korozyona karşı oldukça dayanıklı olmalarıdır. Genellikle metal üretiminde matris olarak alüminyum (Al), magnezyum (Mg), çinko (Zn), bakır (Cu), titanyum (Ti) ve nikel (Ni) gibi metaller ve alaşımları kullanılır.

En hafif yapısal metal olan magnezyum ağırlık açısından kritik uygulamalar için mükemmel bir seçimdir. Büyük ölçüde hafif yapılara sürekli artan ihtiyaç nedeniyle, Mg alaşımları araştırmaların ortak noktası haline gelmiştir. Zira bu hafiflik örneğin zırhlı aracın engebeli arazi koşullarındaki çok yönlü hareket ve manevra kabiliyetini önemli derecede etkileyen bir unsurdur. Bunun için zırh malzemelerinin ağırlığını azaltmak ya da daha iyi balistik performans sağlamak için kütleli olarak alüminyum, seramik veya kompozit malzemelerin yanı sıra magnezyum alaşımlarını da tercih etmek gerekmektedir. Son zamanlarda magnezyum alaşımlı ürünler, hafif, enerji verimli ve çevre dostu mühendislik uygulamaları için yapısal ve fonksiyonel malzemeler olarak mevcut alüminyum alaşımlı ürünlerle daha rekabetçi hale gelmiştir. Magnezyum ve alaşımları günümüzde modern hafif yapılar için önemli bir malzeme olarak görülmekte ve bundan dolayı özellikle savunma sanayisinde geniş bir kullanım alanına sahip olmaktadır. Ağırlık olarak Mg, Al dan %36, demir ve çelikten %78 daha hafif olmasına rağmen [8] Mg, Al ile hemen hemen aynı dayanım değerine sahiptir. Bu malzeme bir plastik kadar hafif aynı zamanda bir metal kadar da mukavemetlidir. Bu sebeple metal matrisli kompozitler içerisinde Mg matrisli kompozitler (Mg-MMK) düşük yoğunluk, yüksek özgül sertlik ve yüksek dayanım sayesinde, özellikle ağırlık tasarrufu gerektiren savunma ve havacılık uygulamaları için cazip hale gelmektedir [9]. Matris malzemesi olarak AZ71 kalite kompozit literatüre göre [10] mukavemet

arttırma mekanizmaları ile dayanım artmasına rağmen sünekliğinde kayıp olmamakla birlikte iyileşme rapor edilmiştir.

Magnezyum bazlı kompozit ürünler, ticari olarak temin edilebilen saf magnezyum ve magnezyum alaşımlarından daha iyi mekanik özellikler ve yüksek sıcaklık direnci (yaklaşık 200 °C) gibi birçok avantajı nedeniyle artık giderek daha fazla kullanılmaktadır [11]. Ancak magnezyumun kullanımı, elastik modülünün düşük olması, sıcaklık arttıkça mukavemetinin azalması (büyük sünme) ve deformasyon direncinin düşük olması nedeniyle sınırlıdır. Ancak bu özellikler Al₂O₃, B₄C, SiC ve TiC gibi çeşitli parçacıkların takviye edilmesiyle geliştirilebilir. B₄C partikül takviyeli magnezyum kompozit sert, dayanıklı ve sert, düşük yoğunluklu bir malzemedir. B₄C'nin hem takviye hem de diğer takviyeler üzerinde kaplama olarak kullanılması, ıslanabilirliği önemli ölçüde arttırır ve ısıtma işlemi sırasında takviyeler arasındaki arayüzey reaksiyonunu azaltır [12].

Yine kullanılacak olan Grafen Nanopartikül (GNP) yüksek saflıkta dar aralıklı parçacık boyutu dağılımı, daha geniş spesifik yüzey alanı, daha düşük kütle yoğunluğu özelliğine sahiptir. Kompozit malzeme araştırmalarında en uygun takviye elemanı ya da elemanlarından birisi olarak kullanılacak GNP (Grafen nanopartikül)'ün AZ71 ile kullanılması açısından literatürde kısıtlı bilgiye sahip olduğu anlaşılmıştır. Özellikle nadir toprak elementlerinin seçimi, magnezyuma olumlu katkıları konusunda çok yeni olan az sayıda araştırmalar [13] önemli görülerek dikkate alınmıştır.

Bu çalışmada AZ71 alaşımına farklı miktarlarda B₄C, GNP ve GNP+B₄C parçacık takviyeleri katılarak ileri malzeme standartlarını karşılayan fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklere sahip kompozit malzemeler hazırlandı ve bu kompozitlere homojenizasyon ve homojenizasyon işlemleri uygulandı. Ekstrüde edilmiş AZ71 alaşımı ve kompozitlerin mikroyapısal özellikleri, mekanik özellikleri, korozyon ve aşınma özellikleri araştırılmıştır. Bu çalışmanın amacı, önümüzdeki yıllarda daha da önem kazanması beklenen AZ71 matrisli seramik takviyeli kompozitlerin yapısal özelliklerine ilişkin literatürdeki bir boşluğu doldurmak ve ticari hafif malzeme olarak kullanımını geliştirmek ve teşvik etmektir.

BÖLÜM 2

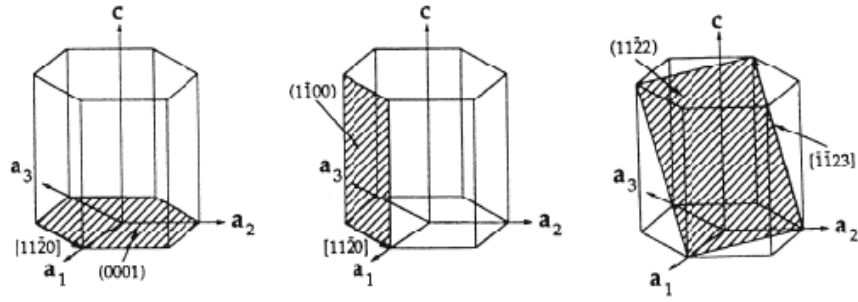
MAGNEZYUM VE MAGNEZYUM ALAŞIMLARI

2.1. MAGNEZYUM VE MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ GENEL ÖZELLİKLERİ

Magnezyum adını, antik Yunan medeniyetinde Thessaly şehrinin Magnesia bölgesinden almaktadır. Magnezyum, periyodik Çizelgenun 2. Grubuna (alkali toprak metali) ait gümüşü beyaz bir malzemedir. Altıgen kapalı paketlenmiş (HCP) kristal yapıya (kafes parametreleri $a=0.32$ nm, $c=0.52$ nm) ve alüminyumdan $\sim\%35$ ve demirden $\sim\%75$ daha hafif olan 1.74 g/cc yoğunluğa sahiptir. Çizelge 2.1'de gösterildiği gibi alüminyuma daha yakın özellikler sergiler [14].

Çizelge 2.1. Magnezyum elementinin fiziksel ve mekanik özellikleri [15].

Özellikler	Veriler
Kristal yapı	HCP
20 °C'de yoğunluk (g-cm-3)	1.74
Erime noktası (°C)	649
Kaynama noktası (°C)	1090
20°C'de Elektriksel Direnç (μ Ohm-cm)	4.2
Pt'ye karşı termal emf (0-100°C (mV)	0.44
Sertlik (HV)	30-45
Çekme dayanımı (MPa)	185-232
Akma dayanımı (MPa)	69-100
Poisson oranı	0.291
Çekme modülü (GPa)	44.7
0-100°C'de doğrusal genleşme katsayısı ($\times 10^{-6}$ K-1)	26
25°C'de özgül ısı (JK-1Kg-1)	1020
Termal iletkenlik (Wm-1K-1)	156



Şekil 2.1. Birim hücre ve ana düzlemler ve yönler [16].

Magnezyum, 1755 yılında magnezyum sülfatı magnezyuma parçalayamayan İskoçyalı kimyager Joseph Black tarafından keşfedildi. 1808'de İngiliz kimyager ve araştırmacı Sir Humphrey Davy, bir elektrolitik voltaj hücresi ve bir cıva katodu kullanarak ıslak magnezyum sülfatı magnezyuma parçalayan ilk kişi oldu. 1833 yılında Michael Faraday, elektroliz kullanarak dehidrate magnezyum klorürü indirgeyerek saf metalik magnezyumu başarıyla üretti. 1852 yılında Alman Robert-Wilhelm Bunsen, karbon-çinko elektrolizörünü geliştirdikten sonra magnezyum metali üretmeye başladı [17].

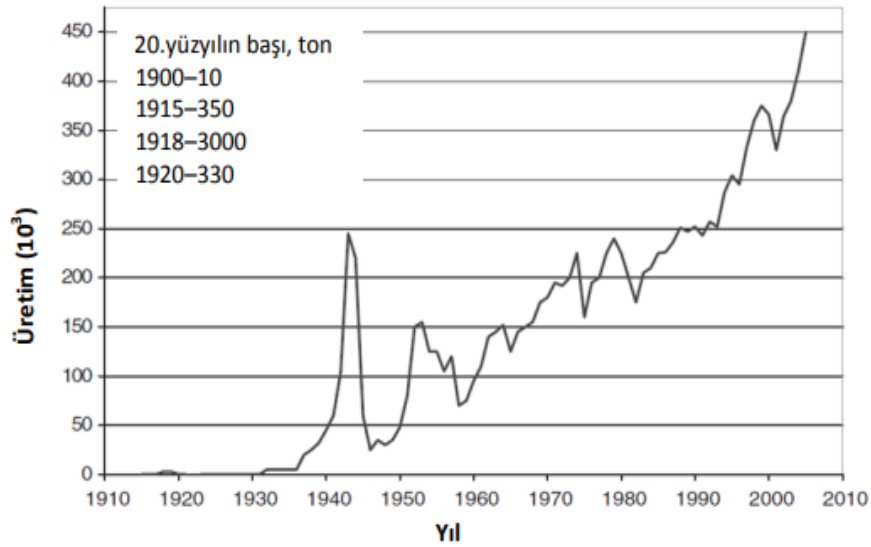
Ticari üretim, ısıtılmış kapalı bir kaptaki magnezyum klorürü azaltmak için potasyum kullanan Deville-Caron işlemiyle on dokuzuncu yüzyılın ortalarında Paris'te başladı. Birkaç yıl boyunca, dünyadaki magnezyum metali üretimi neredeyse tamamen tel veya toz halinde fotoğraf amaçlı kullanıldı [18]. 1852'de bir Alman olan Robert Bunsen, erimiş klorürün elektrolizi için küçük bir laboratuvar hücresi yaptı. 1886'da Almanya'da Bunsen hücresinin bir modifikasyonu kullanılarak ticari üretim de başladı [19-21].

Çizelge 2.2. Magnezyum İçeren Minerallerin Özellikleri.

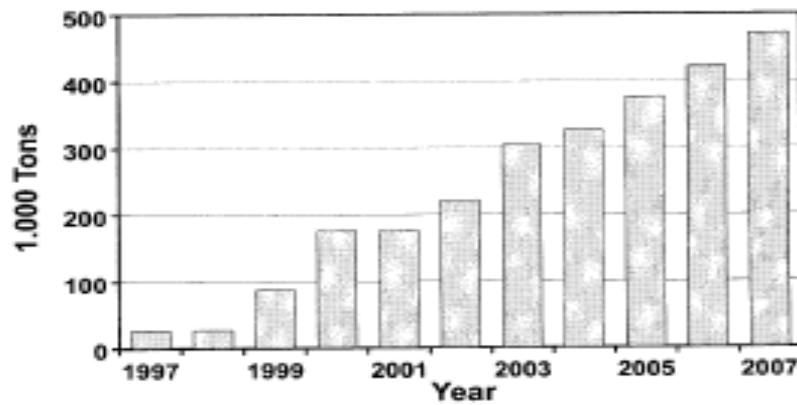
Mineral Adı	Kimyasal Formül	Magnezyum İçeriği, % Ağırlık
Brusit	$Mg(OH)_2$	41.4
Manyezit	$MgCO_3$	28.8
Serpatin	$3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	26.3
Dolomit	$MgCO_3 \cdot CaCO_3$	13.2
Karnalit	$KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$	8.8
Göl Salamuraları	$MgCl_2, MgSO_4$	0.8
Deniz Suyu	$MgCl_2, MgSO_4$	0.14

1868'de magnezyum Avrupa'da işaret fişeği ve alüminyum üretiminde indirgeyici madde olarak kullanıldı. Aynı zamanda Almanya'da magnezyum dökümüne başlandı

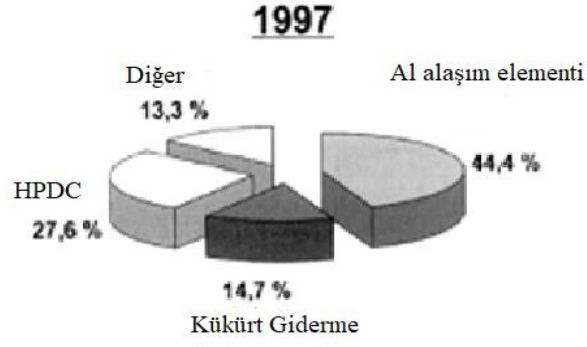
[22]. Magnezyum 19. Yüz yılın sonlarında hammaddelerden çıkarılmaya başlandı. 20.yüzyılın başında magnezyum üretimi yılda 10ton civarındaydı. I. Dünya Savaşı başlamadan önce bu oran yılda 350ton iken, savaş sonucunda bu oran giderek artmış ve 1919 yılına gelindiğinde yılda 3.000 tona çıkmıştır. II.Dünya savaşının başladığı 1939 yılında magnezyum üretimi 39.000ton iken, savaş nedeniyle 1944 yılında 240.000 tona çıkmıştır. II.Dünya Savaşı'ndan sonra 1946 yılında magnezyuma olan ilgi azalmış ve yıllık üretim 20.000 tona düşmüştür. Magnezyum üretimi 1950'li yıllardan günümüze kadar zaman zaman dalgalanmalar göstermiş ancak üretim hızla artmıştır (Şekil 2.2.) [23]. IMA'ya (Uluslararası Magnezyum Birliği) göre şu anda yıllık magnezyum üretimi 809.000 tondur.



Şekil 2.2. Birincil magnezyum metalinin dünya üretimi (IMA'ya ve çeşitli kaynaklardan birleştirilmiş verilere dayalıdır) [23].



Şekil 2.3. Kapasite birincil magnezyum [24].



Şekil 2.4. Metalurjik uygulamalara paylaştırılmış magnezyum [24].

2.2. MAGNEZYUM ALAŞIMLARI VE STANDARTLARI

Bir alaşım sisteminin veya bir alaşımın kimyasal bileşimini tanımlamak için, adlandırma sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür çeşitli sistemler mevcut olmakla birlikte, bilimsel literatürde tercihli olarak kullanılan ASTM Standart Alaşım Tanımlama Sistemidir (B951-11) ve bu çalışmada da bu sistem kullanılmaktadır. ASTM Standart Alaşım Tanımlama Sistemi dört bölümden oluşur, her biri bir harfle tanımlanan ana alaşım elementleri ilk bölümdür. İkinci kısımda, ilgili elementlerin yuvarlatılmış yüzdeleri (% ağırlık) verilmektedir. Örneğin, AZ 91 Mg alaşımı toplamda sırasıyla %9 ve %1 oranında alüminyum (Al) ve çinko (Zn), geri kalanı ise saf magnezyum içerir [24]. Üçüncü ve dördüncü kısımlar, standardizasyon numarası (A harfi ile başlayıp O ve I hariç) ve temper tanımıdır. Ne yazık ki, ASTM mevcut tüm alaşım elementleri için tanımlamalar sağlamamaktadır, bu nedenle bu çalışmada alıntılanan yazarlar tarafından kullanılan gösterimler benimsenmiştir. En yaygın alaşım elementlerine genel bir bakış ve ASTM sistemine dayalı ilgili tanımlamalar Çizelge 2.3'de verilmektedir ve tav tanımlamalarının bir kısmı Çizelge 2.4'de sunulmaktadır.

Çizelge 2.3. Magnezyum Alaşım Elementi için ASTM İsimlendirme Kodları [25].

Harf	Alaşım Elementi	Harf	Alaşım Elementi
A	Alüminyum	L	Lityum
B	Bizmut	M	Manganez
C	Bakır	N	Nikel
D	Kadmiyum	P	Kurşun
E	Nadir Toprak	Q	Gümüş
F	Demir	R	Krom
H	Toryum	S	Silikon

Çizelge 2.4. Tav Tanımlamalarının İsimlendirme Kodları [25].

Tanım	Alaşım Elementi
F	Fabrikasyon olarak (Saf Hal)
O	Tavlanmış, yeniden kristalize edilmiş
T4	Çözeltili ısıtılma işlemine tabii tutulmuş
T5	Çözeltili ısıtılma işlemine tabii tutulmuş ve doğal olarak yaşlandırılmış
T6	Yalnızca çözelti ısıtılma işlemine tabii tutulmuş ve yapay olarak yaşlandırılmış
H1	Yaşlandırılmış gerinim sertleştirilmiş
H2	Gerinim sertleştirilmiş ve kısmen tavlanmış gerinim
H3	Sertleştirilmiş ve stabilize edilmiş

2.3. FAZ DİYAGRAMLARI

2.3.1. Geleneksel Alaşımlar

Malzemelerin özellikleri, yapıya duyarlı veya yapıya duyarsız olarak sınıflandırılabilir. Yapıya duyarsız özellikler, örneğin yoğunluk, elektriksel özellikler, termal iletkenlik, özgül ısı gibi mikro yapı tarafından büyük ölçüde etkilenmeyen özelliklerdir. Bu tür özellikler, kimyasal bileşim ve atomik özellikler tarafından belirlenir. Öte yandan, yapıya duyarlı özelliklerin tümü mekanik özelliklerdir. Metalurjist, bir malzemeyi yalnızca kimyasal bileşimiyle değil, aynı zamanda mevcut fazlarla da tanımlar. Bu, ikili ve üçlü sistemler için nispeten basit bir şekilde faz diyagramları biçiminde yapılabilir. Faz diyagramı denge durumunu temsil eder, ancak fazların fiziksel şekli veya dağılımı veya dengede olmayan işlemlerde ortaya çıkabilecek fazlarla ilgili bilgi sağlayamaz. Yaşlandırma sertleştirme veya termo mekanik işlemler gibi ısıtılma işlemlerinin planlanmasında, mikro yapıların yorumlanmasında özellikle yararlı araçlardır. Ticari alaşımlarda, örneğin birincil alaşım elementinin Mg katı çözünürlüğünü değiştirmek, fazların çökme modunu değiştirmek veya farklı metaller arası fazlar yaratmak gibi çeşitli nedenlerle ek alaşım elementleri eklenir. Karmaşık sistemler nadiren tam olarak araştırılmıştır. Anlamayı kolaylaştırmak ve bilimizdeki boşlukları doldurmak için faz diyagramlarını hesaplamak veya alaşım geliştirmeyle ilgili bilgileri elde etmek için girişimlerde bulunmaktadır [17]. Çizelge 2.5’de Mg alaşımına ilave edilen elementlerin etkileri gösterilmektedir.

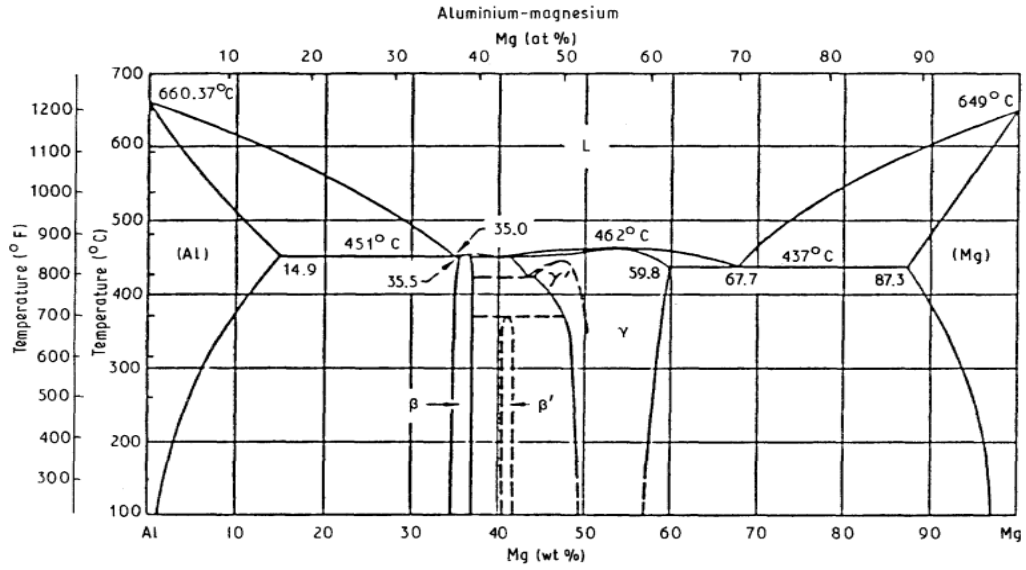
Çizelge 2.5. Alaşım ilavelerinin etkileri [26].

ALAŞIM ELEMENTLERİ	ALAŞIM İLAVESİNİN ETKİLERİ
Al	En yaygın olarak kullanılan alaşım elementidir. Dayanımı, sertliği ve dökülebilirliği artırır. Artan Al sünekliği azaltır. %6'dan fazlası ısıl işlem görebilir.
Ca	Oksidasyon direncini, termal ve mekanik özellikleri iyileştirir. Yüzey gerilimini azaltır. Kaynak çatlağı riski vardır.
Ce	Korozyon direncini ve deformasyon davranışını iyileştirir (daha iyi süneklik ve çalışma sertleşmesi). Akma mukavemetini azaltır.
Cu/Ni	Oda sıcaklığını ve yüksek sıcaklık dayanımını artırır. Korozyon direncini ve sünekliği azaltır.
Mn	Al içeren alaşımlarda tuzlu su korozyon direncini artırır. Demir zehirlenmesini genellikle %0.5'ten daha az azaltır.
RE	Yüksek sıcaklıkta sürünme ve korozyon direncini artırır.
Si	Eriyik akışkanlığını, yüksek sıcaklık (Sürünme) özelliklerini geliştirir. Basıncılı dökümde kullanılır.
Sr	Birlikte kullanıldığında sürünme performansını artırır.
Sn	Sünekliği artırır ve işleme sırasında çatlama eğilimini azaltır.
Y	Diğer RE ile birleştirildiğinde yüksek sıcaklık dayanımını ve sürünme performansını artırır.
Zn	İkinci en sık kullanılan. Dökümde eriyik akışkanlığını iyileştirir. Ni veya Fe safsızlıkları içeren Mg alaşımlarının korozyon direncini artırır.
Zr	Dökme alaşımlarda tane boyutunu iyileştirir. Al ile birlikte kullanılmaz.

2.3.2. Mg-Al Faz Diyagramı

Mg-Al alaşımları en önemli magnezyum alaşımlarıdır [27]. Alüminyum, magnezyumun yanı sıra en hafif teknolojik metaldir. Bu nedenle, her iki metalin kombinasyonu, yüksek mekanik, kimyasal ve teknolojik özelliklere sahip ultra hafif alaşımı elde etmemizi sağlamalıdır. Alüminyumun magnezyum içindeki maksimum çözünürlüğü, 437°C'lik ötektik sıcaklıkta kütlece %12.6 Al'dir [28]. Mg-Al alaşımının ötektik noktası, kütlece %32 Al olarak belirlenir. Mg₁₇Al₁₂'nin intermetal bileşiğinin solvus hattı altında çökmesi ile sertleşme nedeniyle, alüminyum ilavesi çekme gerilmesini ve sertliği artırır. Magnezyum alaşımlarında en çok kullanılan alaşım elementi alüminyum olup, içeriği kütlece %2 ile 9 arasındadır. Bu tür alaşımlar iyi mekanik özelliklere ve mükemmel korozyon direncine sahiptir. Artan alüminyum içeriği ile dökülebilirlik iyileştirilir [29]. Mg-Al alaşımındaki yüksek alüminyum

içeriğinin olumsuz özelliği, α Mg dendrit taneleri arasında çökelen $Mg_{17}Al_{12}$ intermetalik alaşımın oluşması ve çekme gerilmesini düşürmesidir. Çinkolu alaşımların da özelliği olan sınırlı süneklığe yol açar. İşlenebilirliği artırmak için alüminyum fraksiyonu azaltılır, çinko ilavesi tamamen bırakılır, bunun yerine manganez konulmalıdır.

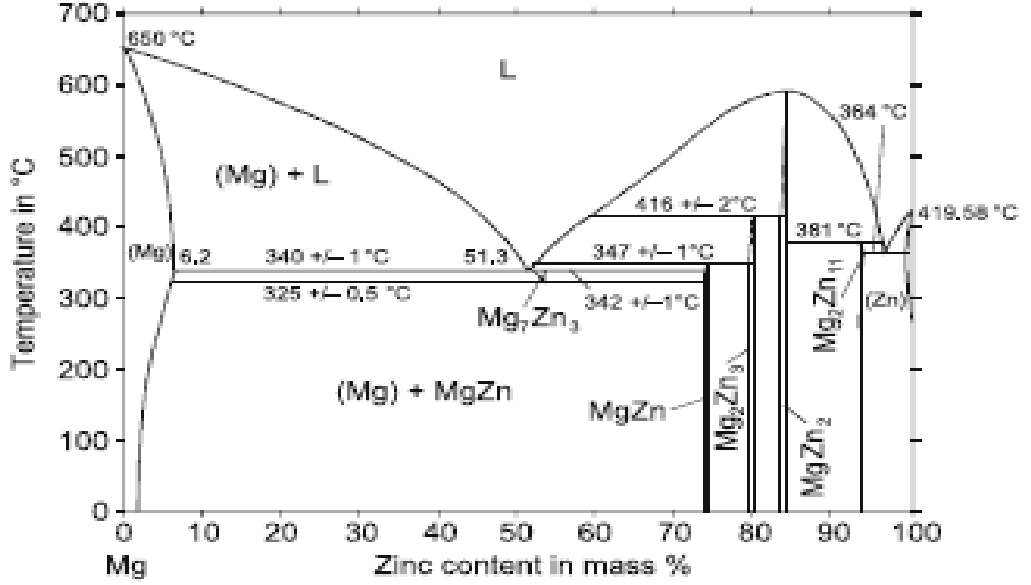


Şekil 2.5. Al-Mg denge faz diyagramı [30].

2.3.3. Mg-Zn Faz Diyagramı

Bazı yeni araştırmalar, ikili Mg-Zn alaşımlarının mekanik özelliklerini ve korozyon davranışını tartıştı. Zheng ve ark. [31] ikili Mg-1Zn alaşımını incelediler ve alaşım elementi olarak Zn'nin eklenmesiyle geliştirilmiş mekanik özellikleri ve korozyon direncini bildirdiler. Bir ikili Mg-6Zn alaşımı, implant uygulaması için uygun gerilme mukavemeti ve uzamanın yanı sıra azaltılmış bir in vitro bozunma oranı ve iyi bir in vivo biyouyumluluk ortaya koydu [32]. Ayrıca, Mg-3Zn alaşımının farklı ısıl işlemlerle elde edilen bulguları, çözelti işleminin korozyon direncini arttırdığını, yaşlandırma işleminin ise korozyon direncini azalttığını göstermiştir [33]. Boehlert [34] tarafından ağırlıkça %0-4.4 Zn içeren Mg-Zn alaşımları üzerine yapılan bir araştırma, Zn'nin, optimum Zn içeriğinin ağırlıkça %4 olduğu Mg için güçlü bir tanecik inceltici ve güçlendirici olduğunu ileri sürer. Yukarıda bahsedilen tüm bu çalışmalar, çinkonun magnezyuma dahil edilmesiyle magnezyumun gelişmiş

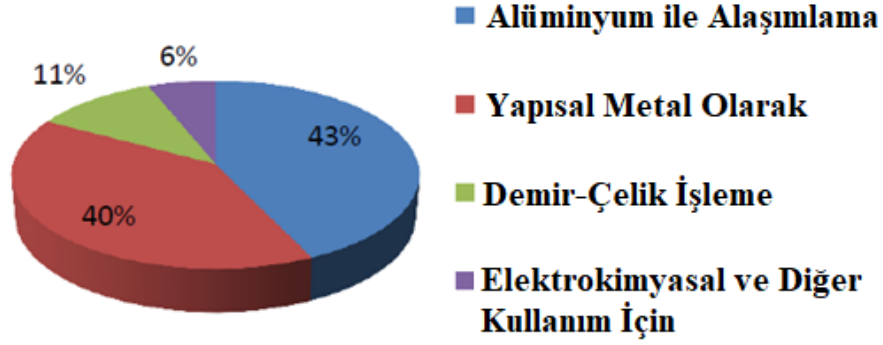
korozyon direncini ve mekanik özelliğini ve biyomedikal uygulamalarda ikili Mg-Zn alaşımlarının büyük potansiyelini göstermiştir. Bununla birlikte, hacim fraksiyonunun etkisi ve ikincil fazların varoluş biçimi hakkında ayrıntı eksikliği vardır. Ayrıca, düşük (%1 ağırlık) veya yüksek (%6 ağırlık) olan optimal Zn ilavesi konusunda anlaşmazlıklar vardı.



Şekil 2.6. Mg-Zn sisteminin faz diyagramı.

2.4. MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ KULLANIM ALANLARI

Magnezyumun kullanımı Şekil 2.7'de gösterilmektedir. Magnezyum, uçak ve füze bileşenleri, uçak motor bağlantıları, kontrol menteşeleri, yakıt tankları, kanatlar için savunma ve havacılık mühendisliği alanlarında iyi bir seçim malzemesi olarak kabul edilir. Otomotiv sektöründe magnezyum tekerlekler, muhafazalar, şanzıman kutuları, motor blokları, direksiyonlar ve kolonlar, koltuk çerçeveleri, dizüstü bilgisayarlar, televizyonlar, cep telefonları gibi elektronik eşyalar ve daha birçok alanda kullanılmaktadır [35].



Şekil 2.7. Magnezyumun farklı alanlarda kullanımı.

Mg'nin yapısal ağırlık tasarrufu ve yüksek özgül gücü yarış arabalarında kullanımını teşvik etmiştir. Volkswagen, 1936'da, 1971'de üretim zirvesine ulaşan Beetle modelinin güç aktarma organlarında Mg'yi ilk kullanan oldu. Porsche, 1968'de motor blokları için Mg kullanarak bir döküm tekniği geliştirmiş ayrıca uçak bombardıman uçaklarında Mg kullanımının tarihsel hesapları da bulmuştur. (B-36 Bombardıman uçağı 19.000 libre magnezyum içeriyordu) ve roketler (Titan I roketi 1100 libre magnezyum levha kullanıldı). Yıllar içinde Mg alaşımlarının kullanımı hem sivil hem de askeri uçaklarda genişlemiştir [36].

Mg kullanımı otomobil ve havacılık sektörlerinde iyi bir kilometre performansı sağlasa da yüksek sıcaklıkta sürünme, yanıcılık, oda sıcaklığında şekillendirilebilirlik ve korozyon ile ilgili belirgin sorunlar vardı. Sonuç olarak, araştırmacıların 1980'li yıllarda Mg alaşım gelişimine odaklanmaya başlaması, otomotiv endüstrisinde magnezyum kullanımının artmasına neden olmuştur. Günümüzde Mg alaşımlarının otomobillerde kullanımı şu şekilde gruplandırılabilir: (1) motor ve şanzıman gövdeleri, (2) iç aksamlar, (3) şasi ve (4) gövde bileşenleri. Benzer şekilde, uçaklarda yerleşik uygulamalardan bazıları, itme ters çevirici (Boeing 737, 747, 757, 767 için), dişli kutusu (Rolls-Royce), motorlar ve helikopter şanzıman muhafazaları vb. içerir. Eurofighter Typhoon gibi askeri uçaklar, Tornado ve F16, şanzıman muhafazaları için magnezyum alaşımlarının hafif özelliklerinden de yararlanır [26].

2.4.1. Uçak

Magnezyum, uçak motorlarında, uçak gövdelerinde ve iniş tekerleklerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [37,38]. Magnezyumun kullanımını belirleyen ana faktörler, dökümde mukavemet/yoğunluk oranı ve dövme formlarında sertlik/yoğunluk oranı, gerektiğinde iyi yüksek sıcaklık, yorulma ve darbe özellikleri gibi faktörlerle birlikte, her zaman iyi işlenebilirlik olmuştur. ZE41 (Mg-4.2Zn-0.7Zr-1.3MM), QE22 (Mg-0.7Zr-2.5 Nd- 2.5Ag) ve özellikle WE43 (Mg-4Y-3.25 Nd-0.5Zr) alaşımları, gelişmiş korozyon ve sürünme dirençleri nedeniyle uçak uygulamaları için yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2.8. Magnezyum malzeme kullanılan uçak görüntüsü [39].

2.4.2. Helikopter

Askeri helikopterler için [37,38] ZE41'in iyi balistik toleransı onu en yaygın kullanılan alaşım haline getirmiştir, ancak QE22 yüksek sıcaklıklarda daha yüksek mukavemetin gerekli olduğu yerlerde kullanılmıştır. Şu anda her iki alaşımın yerini, bu son alaşımların mükemmel korozyon ve sürünme direnci nedeniyle WE43 ve WE54 (Mg 5.1Y-3.25 Nd-0.5Zr) alaşımları almaktadır.



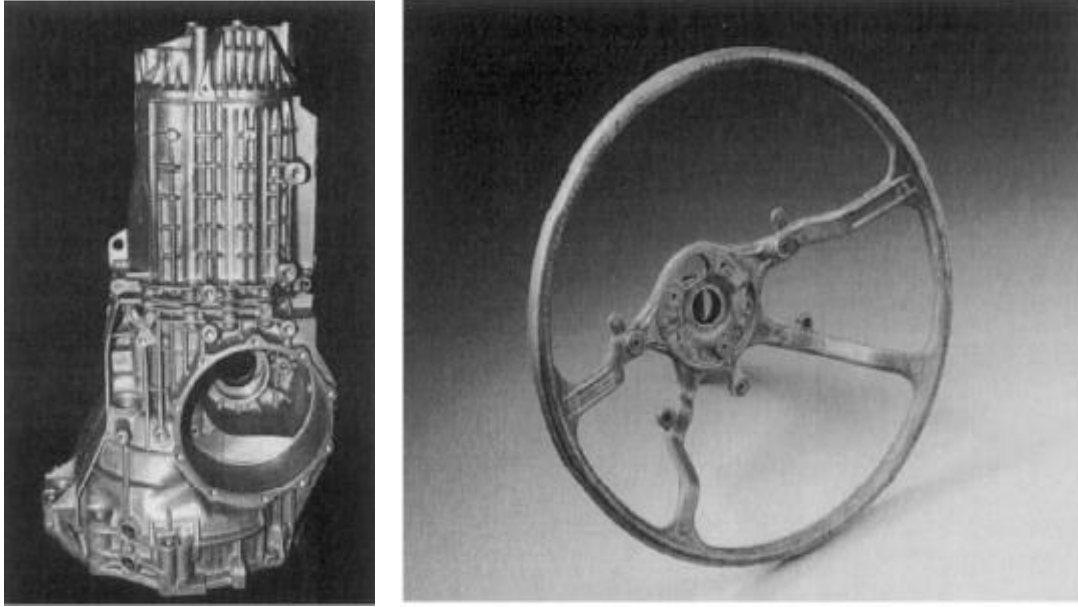
Şekil 2.9. Ulusal Hava Kuvvetleri Müzesi'ndeki Sikorsky UH-19B Chickasaw Birleşik Devletler Hava Kuvvetleri [39].

2.4.3. Otomobiller ve Hafif Kamyonlar

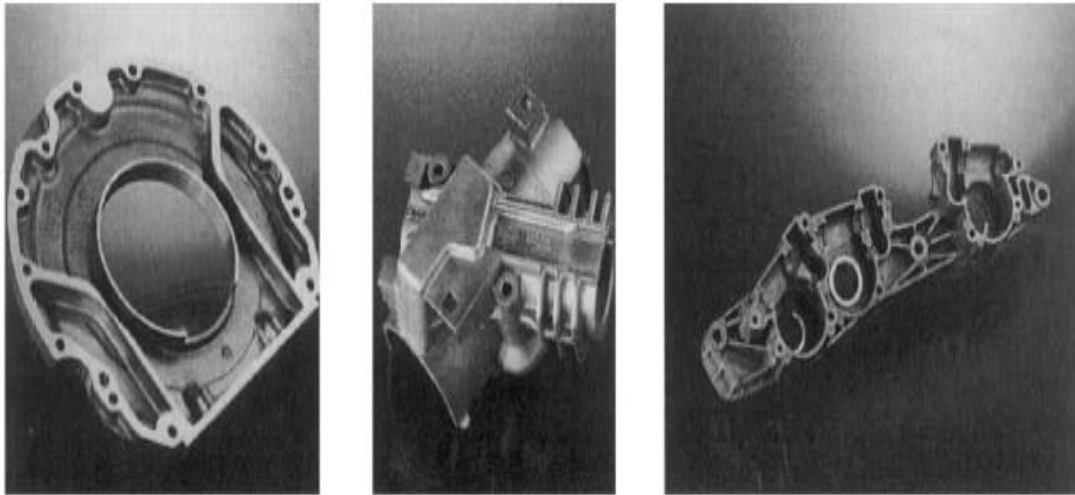
Rakip metallere (geleneksel çelik ve alüminyum) kıyasla yüksek maliyetine rağmen magnezyumun otomobillerde kullanımı, bileşen entegrasyonu ve net şekle yakın dökülebilirlik temelinde gerekçelendirilmektedir. Magnezyum için en umut verici uygulamalar, alüminyum veya plastiğin çelik gibi daha ağır malzemeler için arzu edilen ikameler olmadığı uygulamalardır; yani, mevcut uygulamalarda bu hafif malzemelerden herhangi birinin ikame edilmesi olası değildir [40]. Bu durum, Kuzey Amerika'da çelik yerine magnezyum kullanımının arttığı 1997 model otomobillerde de görülmektedir. Yeni modellerde magnezyum kullanımı araç başına yaklaşık 1.4 ila 9 kg arasında değişmekte olup, aile arabası başına ortalama 2.9 kg, 1966 modellere göre yaklaşık %16 daha fazladır.

Azaltılmış otomobil ağırlığının iyileştirilmiş yakıt tüketimi açısından büyük fayda sağlamaktadır [41]. Bu nedenle, yaklaşık 80 mpg (3,4 l/100 km) elde etmesi beklenen Ford gerilmiş Mondeo/ Contour P2000 gibi Yeni Nesil Araçlar için Ortaklık (PNGV) otomobillerinde magnezyuma olan büyük ilgi görmüştür [42]. Yeni güç aktarma sistemi gereksinimlerine ek olarak, bu agresif yakıt verimliliği hedefi, araçların gövde ağırlığının ve şasisinin yaklaşık %50 oranında azaltılmasını ve toplam kütle için yaklaşık %30 veya 450 kg (1450 kg'dan 950 kg'a) azaltılmasını gerektirmektedir [42].

Bu durum, magnezyum yoğun bir araç olan mevcut 2.6 kg'dan 103 kg'ı aşan seviyelere (%10 magnezyum) kadar magnezyum bileşenlerinin potansiyel kullanımının kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesine yol açmıştır [43].



Şekil 2.10. Çeşitli Mg Çeşitli Mg otomobil parçaları (Volkswagen AG) [44].



Şekil 2.11. Otomobillerde Otomobillerdeki diğer Mg parçaları (UNITECH) [44].

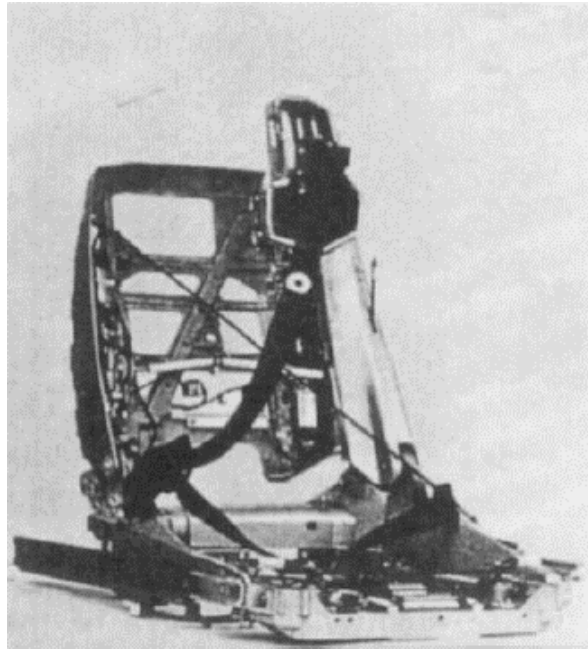
Magnezyum endüstrisi, araç ağırlığını, maliyetini ve/veya karmaşıklığını azaltmak için magnezyum kullanmanın faydaları konusunda otomotiv endüstrisini eğitmek için büyük çaba sarf etmiştir. Magnezyumun otomobillerdeki uygulamaları, basınçlı döküm yaklaşımı kullanılarak, magnezyumun yüksek mukavemet-yoğunluk

oranından, mükemmel süneklik özelliğinden yararlanan gösterge panelleri, direksiyonlar, direksiyon kolonları ve koltuk yükselticileri gibi bileşenlerde olmuştur çekici enerji soğurma özellikleri ile birleştirilmiştir.

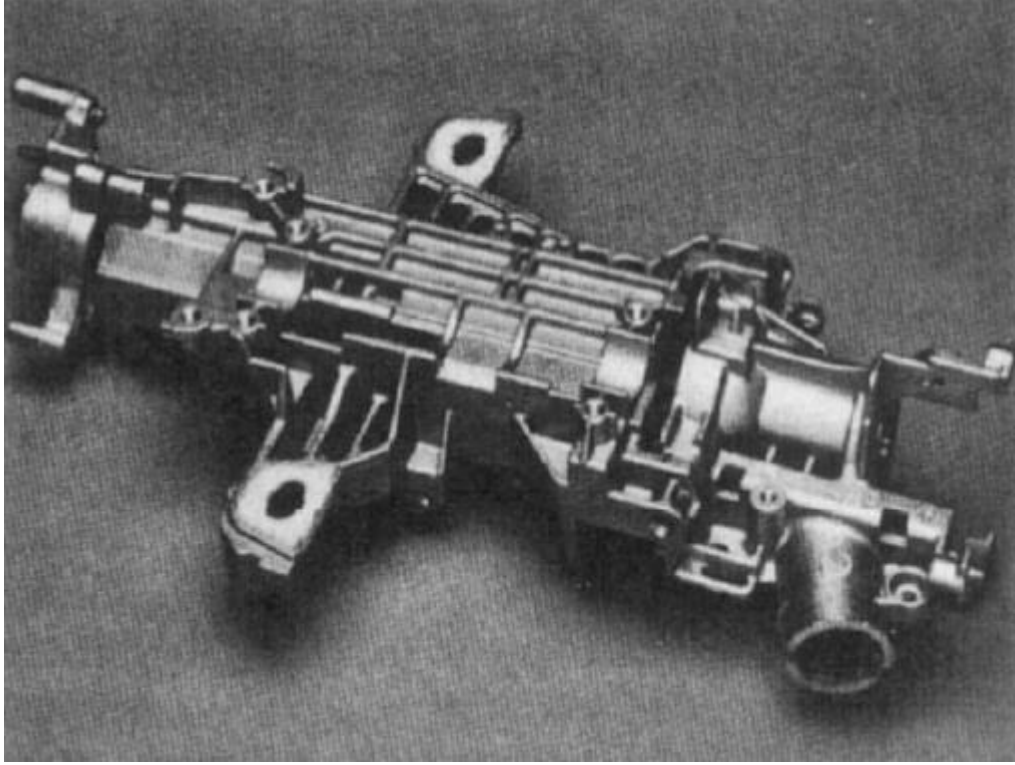
Günümüzde en yaygın otomotiv alaşımı AZ91D ve AM60B'dir (Mg-6Al-0.3Mn). Ayrıca AS41B (Mg 4Al 0.3Mn-1Si) alaşımı da bazı Kuzey Amerika otomotiv uygulamalarına sahiptir. Üretimdeki magnezyum parçalar şunlardır: aksesuar tahrik braketleri (AZ91D), otomatik şanzıman debriyaj pistonu ve statoru (AS41B), debriyaj muhafazası (AZ91D), kapı aynası braketleri (AZ91D), far tutucuları (AZ91D), üst ve alt giriş manifoldları (AM60B, AZ91D) yağ filtresi adaptör muhafazası (AZ91D), elektrikli cam regülatörü muhafazaları (AZ91D), koltuk çerçeveleri (AM60B), direksiyon simidi armatürleri (AM50 [Mg-5Al-0.3Mn], AM60B) ve valf ve kam kapakları (AZ91D) bunlara örnektir.

2.4.4. Füzeler ve Uzay Araştırmaları

Minimum ağırlıkta mukavemet ve sağlamlık ile üretim kolaylığı füze ve uzay uygulamaları için önemlidir. Bununla birlikte, füze ve uzay sondası tasarımcılarının yapı malzemelerinde başka özelliklere de ihtiyacı vardır.

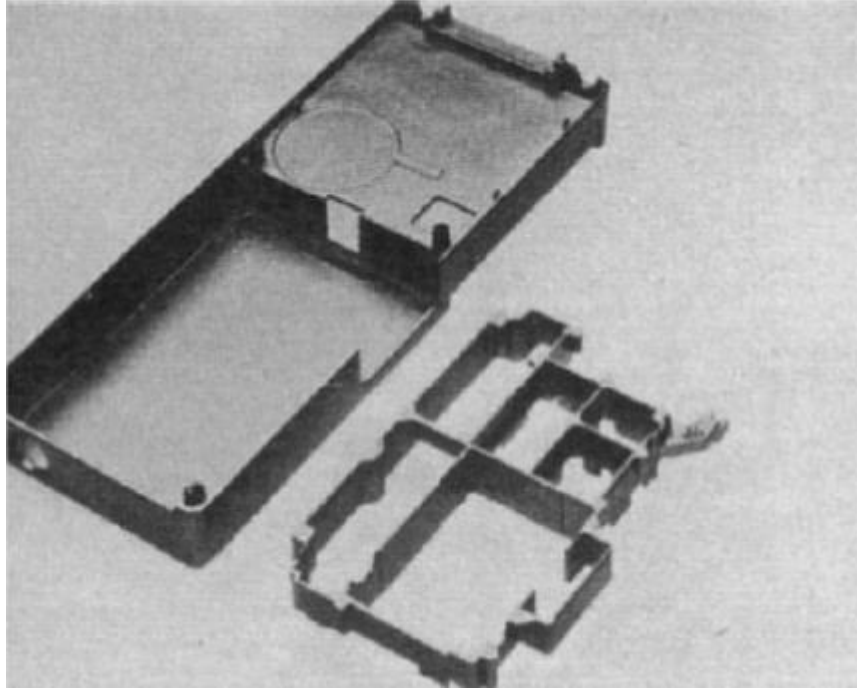


Şekil 2.12. Döküm magnezyum alaşımlı koltuk çerçevesi [44].



Şekil 2.13. Üç magnezyum dökümden oluşan direksiyon kolonu tertibatı [44].

Uzay uçuşundaki koşullar, aerodinamik ısınmadan kaynaklanan aşırı sıcaklıklar, ani gölgelere dalma ve bazı bileşenlerin sıvılaştırılmış yakıtlara yakınlığı: üst atmosferdeki ozon ve serbest adikaller: kısa dalga elektromanyetik radyasyon bombardımanı, yüksek enerjili parçacıklar bu zorlu koşullardan bazılarıdır. EZ33 (Mg-2.7Zn-0.7Zr 3.2MM) kum dökümü "Skylark" araştırma roketlerinde kullanılmaktadır. İngiliz füzeleri hakkında sınırlı bilgi mevcuttur, ancak ZK51 (Mg-4.5Zn- 0.7Zr) ve ZE41 dökümlerinin yapısal parçalar için yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir.

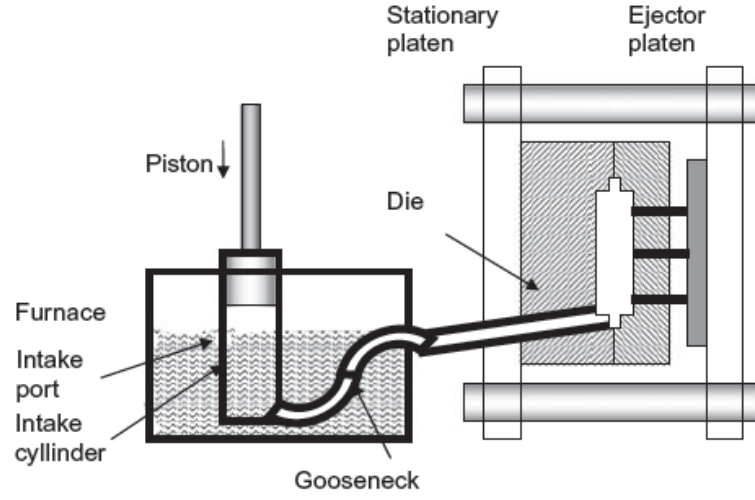


Şekil 2.14. Elde taşınabilir cep telefonu için ince duvarlı magnezyum kasa ve şasi.

2.5. DÖKÜM YÖNTEMLERİ

2.5.1. Sıcak Basıncılı Döküm

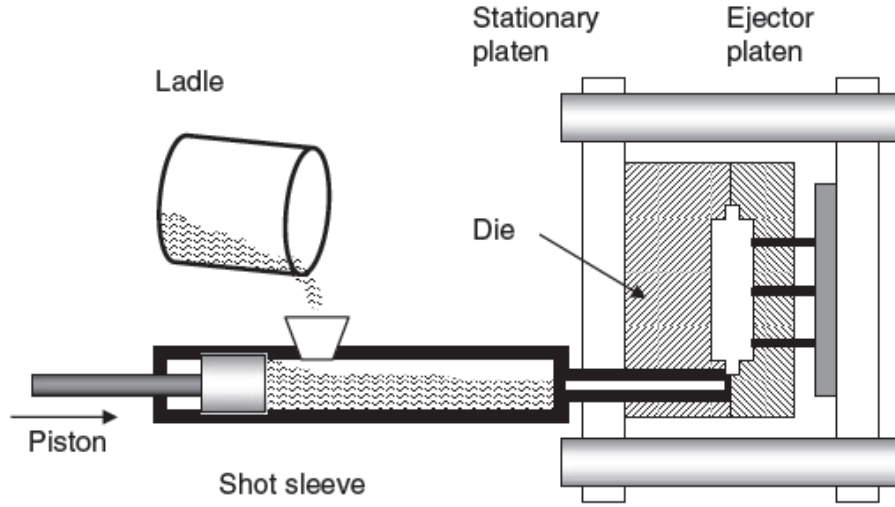
Basıncılı döküm, magnezyum şekilli bileşenler üretmek için kullanılan en popüler tekniktir. Bu deneme 1910 yılında H.H. Doehler tarafından çinko döküm için icat edildi ve birkaç yıl sonra alüminyum da kapsayacak şekilde genişletildi [45]. Mevcut döküm Şekil 2.15'te gösterilmektedir. Sıcak hazneli döküm, erimiş metalin "deve boynu" adı verilen ısıtılmış bir kanal yoluyla doğrudan kalıba nakledilmesi ve böylece ısı kaybının en aza indirilmesi anlamına gelir. Bunu başarmak için, metal enjeksiyon sisteminin önemli bir kısmı sürekli olarak erimiş metale batırılmasıdır. Bu erimiş metalin kat ettiği mesafeyi ve çevrim sürelerini azaltma avantajına sahiptir. Aynı zamanda erimiş alaşımın sürekli temas ciddi malzeme sorunları yaratır. Donanımın hızlı bir şekilde bozulmasına ek olarak, pistonun deve boynunun içinde sızdırmaz hale getirilmesi de zordur. Ortaya çıkan statik basınç 20 ila 30 MPa arasındadır ve bu, tipik olarak soğuk oda proseslerinden daha düşüktür. Sıcak odanın önemli bir özelliği, erimiş metalin her enjeksiyon döngüsünden sonra kaz boynuna geri çekilmesidir [36].



Şekil 2.15. Sıcak kamaralı bir kalıp döküm makinesinin grafiksel gösterimi [36].

2.5.2. Soğuk Basıncı Döküm

Soğuk basınçlı dökümün şematik diyagramı Şekil 2.16'da gösterilmektedir. Soğuk hazne, erimiş metalin fırından kalıp boşluğuna giderken soğuk bir püskürtme odasından aktığı zamandır. Sıvı metal, her enjeksiyon döngüsü sırasında küresel boruya enjekte edildiğinden (ölçüldüğünden) bağımsız bir ölçüm sistemi gereklidir. Sıcak haznelerin aksine, küresel silindirler her enjeksiyon döngüsünün küçük bir kısmı için erimiş metalle temas halindedir. Piston yağlamayla birlikte sıvı metalin bilyeli boru üzerindeki etkisini en aza indirerek, tipik olarak 30 ila 70 MPa'lık yüksek basınçlar oluşturulabilir. Maksimum döküm boyutu, şu anda yaklaşık 45.000 kN olan kelepçenin maksimum sıkma kuvveti ile sınırlıdır. Bu, yaklaşık olarak bir araba kapısıyla aynı boyutta olan maksimum 10.000 cm²'lik öngörülen alana karşılık gelir. Üretilen parçaların maksimum ağırlığı 25 kg'dır. Eğer aynı parça her iki teknik kullanılarak dökülebiliyorsa, sıcak hazne kullanmak daha ekonomiktir. Geleneksel basınçlı dökümün yanı sıra, yüksek bütünlüğünden dolayı yüksek vakumlu basınçlı döküm de sıklıkla tercih edilmektedir. Geleneksel basınçlı dökümün de sınırlamaları vardır. Yüksek enjeksiyon hızından dolayı gözenek hacmi büyüktür ve döküm daha sonraki ısı işlemlere dahil edilmez. Uzun kanallı ince cidarlı dökümler farklı mekanik özelliklere sahiptir. Özellikle kapıdan uzaklaştıkça mukavemet ve uzama azalır. Bu, dökümün son dolun alanının mekanik özelliklerini azaltır [36].



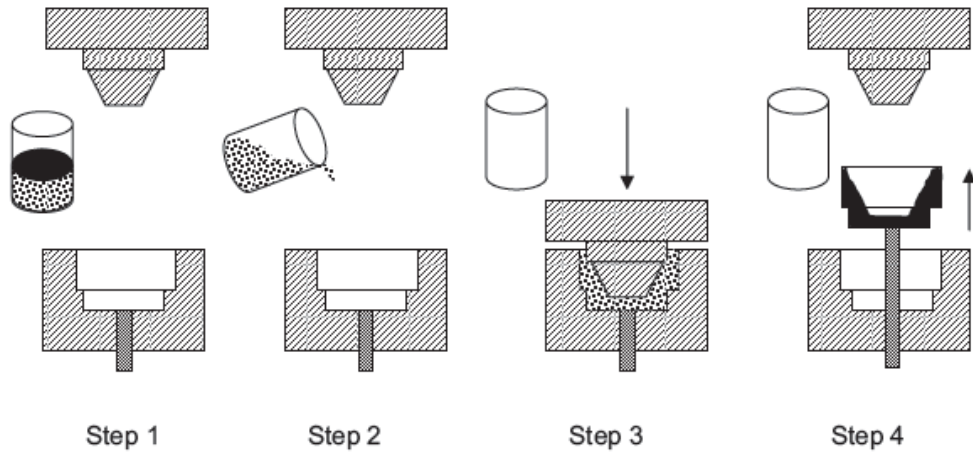
Şekil 2.16. Soğuk kamaralı bir kalıp döküm makinesinin grafiksel gösterimi [36].

2.5.3. Sıkıştırırmalı Döküm

Basınçlı dökümün temel özelliği, erimiş metalin kalıba minimum türbülansla girmesi ve burada yüksek basınç altında katılaşmasıdır. Uygulanan basınçlar, dövmeden önemli ölçüde daha düşük, ancak basınçlı dökümden daha yüksektir; 55 MPa ila 300 MPa arasında değişir ve algılama aralıkları genellikle 80 MPa ila 110 MPa arasındadır. Sıvı metal dövme olarak da bilinen doğrudan çekme dökümde, sıvı metal alt kalıp bölümüne enjekte edilir (Şekil 2.17). Alaşım katılaşmaya başladığında üst yarı kapatılır ve alaşım tamamen katılaşana kadar yüksek basınç uygulanır. Dolaylı çekme dökümü, basınçlı döküme kıyasla erimiş metalin daha büyük bir yolluk yoluyla kalıba enjekte edildiği basınçlı döküme benzer. Bu, yalnızca 0,5 m/s'lik bir kapı hızıyla sonuçlanır. Ticari olarak satılan sıkıştırma döküm makineleri yatay (HVSC, yatay kelepçeli, dikey enjeksiyon) veya dikey (VSC, dikey kelepçeli, dikey enjeksiyon) olarak üretilmektedir (Şekil 2.17). Yatay basınçlı döküm makineleri ile geleneksel basınçlı döküm makineleri arasındaki temel fark, dikey atış haznelere ve eğimli kesici uç enjeksiyon ünitelerine sahip olmalarıdır. Bu durumda kalıp kapatılır ve metalin püskürtme kovanına enjekte edilmesinden sonra püskürtme ünitesi eğilir. Enjeksiyon pozisyonuna yerleştirilir ve erimiş metal kalıp boşluğuna enjekte edilirken kelepçelenir. Büyük kızıkların dezavantajı, kızak sisteminden parçaların kesilememesi ve çoğu zaman kesilmesinin gerekmesidir. Basınçlı dökümün çevrim

süresi, daha düşük dolum oranı ve daha uzun katılaşma süresi nedeniyle basınçlı dökümden daha uzundur.

Basınçlı döküm magnezyum alaşımının mükemmel mekanik özellikleri, düşük gözenekliliği ve ince mikro yapısından kaynaklanmaktadır. İkincisi kontrollü pıhtılaşma ve uygulanan yüksek basınçtan kaynaklanmaktadır. Yüksek basınçlar katılaşma sıcaklığını etkileyebilir çünkü erime aralığındaki değişiklikler alaşımın aşırı soğumasına neden olur [36].



Şekil 2.17. Doğrudan sıkma döküm kavramı: 1. adım alaşım eritme; 2. adım kalıp doldurma; 3. adım kalıbı kapatma ve basınç uygulama; 4. adım parça çıkarma [36].

2.5.4. Hassas Döküm

Hassas döküm aynı zamanda kayıp balmumu dökümü olarak da bilinir. Karmaşık şekillere, mükemmel yüzey kalitesine ve boyutsal doğruluğa sahip parçalar için hassas bir üretim tekniği olarak kabul edilir. Kalıp balmumu veya başka bir eritilebilir malzemedir yapılar. Balmumu daha sonra katman katman refrakter bir bulamaca daldırılır ve kuruduktan sonra bir kabuk oluşur. Balmumu fırında eritildikten sonra sıvı metalle doldurulabilen bir kalıp oluşturulur. Döküm yerçekimi, basınç veya vakum koşulları altında yapılabilir.

Magnezyumun reaktif doğası, özel kalıplama malzemeleri gerektirir. Pres döküm işleminde magnezyum alaşımlarının üstün mekanik özellikleri, düşük gözenekliliğe ve ince mikro yapıya bağlıdır. İkincisi kontrollü pıhtılaşma ve uygulanan yüksek basınçtan kaynaklanmaktadır. Yüksek basınçlar katılaşma sıcaklığını etkileyebilir çünkü erime aralığındaki değişiklikler alaşımın aşırı soğumasına neden olur [43].

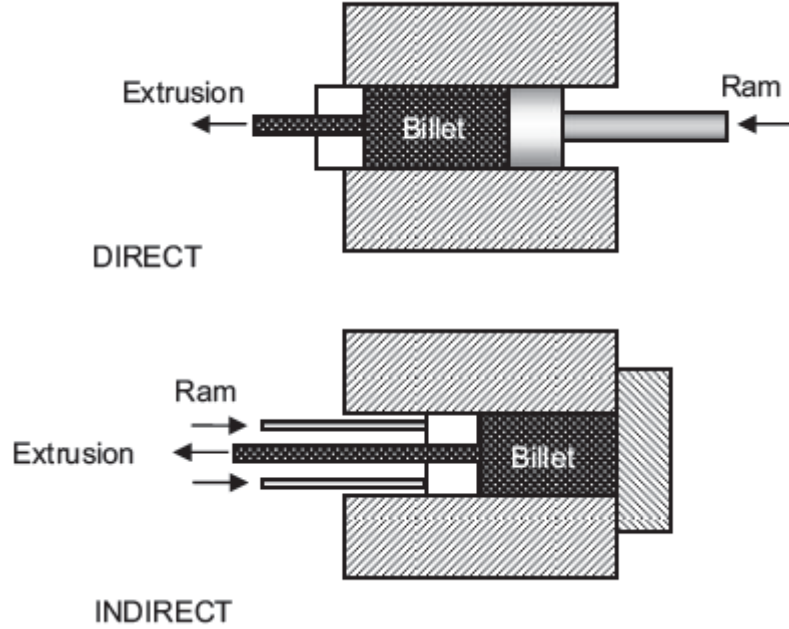
2.5.5. Kalıcı Kalıp ve Kum Döküm

Kalıcı dökümde parçanın şekline benzeyen bir kalıp kullanılır. Kum dökümüne göre daha az esnek olmasına rağmen çok sayıda parçanın üretim maliyetlerini azaltabilir. Soğuk dökümün birçok çeşidi vardır. En basit yöntem, metalin kalıba kendi yerçekimi ile doldurulduğu yerçekimi dökümüdür. Düşük basınçlı soğuk döküm, tam doluma izin vermek ve soğutma sırasındaki büzülmeyle telafi etmek için erimiş metale 1 atm'ye kadar basınç uygular. Kalıcı kalıba vakumlu döküm adı verilen başka bir varyantta, kalıcı kalıba dış basınç yerine bir vakum uygulanır, bu da özellikle ince duvarlı parçaların dolumunu iyileştirir [36].

2.6. MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ EKSTRÜZYONU

Ekstrüzyon, bir metal bloğunun orijinal kütükten daha küçük bir kesite sahip kalıp açıklığından sıkıştırılarak akmaya zorlandığı plastik bir deformasyon işlemidir. Uygulamada, silindirik kütük kapalı bir kaba yerleştirilir ve bir koç onu bir kalıp deliğinden akmaya zorlar (Şekil 2.18.). Sonuç olarak, malzemeyi yırtmadan kapsamlı deformasyona olanak tanıyan sıkıştırma veya kesme gerilmeleri yaratılır. Ekstrüzyona neden olmak için gereken kuvvet ekstrüzyon türüne, sıcaklığa, ekstrüzyon oranına, hıza ve kalıp içindeki sürtünmeye bağlıdır. İki ekstrüzyon yöntemi doğrudan ekstrüzyon ve dolaylı ekstrüzyonu içerir. Ekstrüzyonun faydası, kuyruk hariç hiçbir malzemenin kaybolmamasıdır. Diğer bir ekstrüzyon türü, kütük üzerinde bir basınç uygulamak için hidrostatik bir ortamın kullanıldığı ve onu kalıptan akmaya zorlayan hidrostatik ekstrüzyon ile temsil edilir. Sonuç olarak, kalıp girişindeki kayma gerilmeleri azalır ve şekillendirilebilirlik artar, bu da ön ısıtma sıcaklığının düşürülmesine olanak tanır. Magnezyum dövme alaşımları pratik olarak ekstrüde edilebilir. AZ31 alaşımının hidrostatik ekstrüzyonu ile yapılan deneyler, ikizlenmenin

dinamik yeniden kristalleşme öncesinde veya sırasında bir rol oynadığını ve lif dokusunun $\langle 10.0 \rangle$ kutup yoğunluğunda bir artışa neden olduğunu ortaya koymuştur [46].



Şekil 2.18. Doğrudan ve dolaylı ekstrüzyon fikirleri.

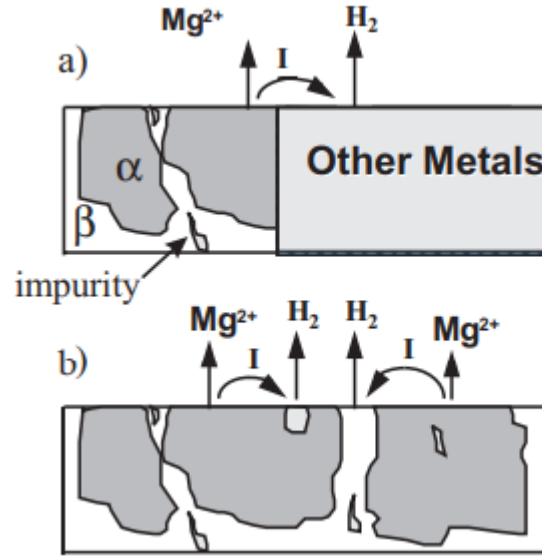
2.7. MG ALAŞIMLARININ KOROZYON PERFORMANSI

Magnezyum alaşımlarının zayıf korozyon özellikleri [47] nedeniyle magnezyum kullanımı sınırlı olmuştur. Bir magnezyum alaşımı belirli metalik safsızlıklar içerdiğinde veya magnezyum alaşımı Cl^{\pm} iyonları gibi agresif elektrolit türlerine maruz kaldığında korozyon direnci özellikle zayıftır. Bununla birlikte, genellikle magnezyum üzerindeki oksit filmi, kırsal, çoğu endüstriyel ve deniz ortamlarında atmosferik korozyona maruz kalan magnezyuma önemli ölçüde koruma sağlayabilir. Sonuç olarak, magnezyum alaşımlarının atmosferik korozyon direnci, deniz atmosferlerine maruz kalsa bile yumuşak çeliğinkinden daha iyidir [48,49]. Genel olarak, magnezyum alaşımlarının korozyon hızı alüminyum ile yumuşak çeliğinki arasında yer alır. Bazı durumlarda magnezyum bazı alüminyum alaşımlarından daha iyi dirence sahip olabilir. Bununla birlikte magnezyum, pratik uygulamalarda klorür içeren çözeltilerde [49,50] korozyona karşı da hassastır.

2.7.1. Korozyon Çeşitleri

2.7.1.1. Galvanik Korozyon

Magnezyum alaşımları galvanik korozyona karşı oldukça hassastır. Galvanik korozyon genellikle katoda bitişik magnezyumun ağır lokal korozyonu olarak gözlenir. Katotlar, magnezyum ile temas halindeki diğer metaller gibi dışsal olabilir veya ikinci veya safsızlık fazlar olarak iç olabilir. Bu iki tür galvanik korozyon, dış ve iç, Şekil 2.19'da gösterilmektedir.



Şekil 2.19. a) Dış galvanik korozyon. b) İç galvanik korozyon.

Ni, Fe ve Cu gibi düşük hidrojen aşırı gerilimine sahip metaller, magnezyum için verimli katotlar oluşturur ve ciddi galvanik korozyona neden olur. Al, Zn, Cd ve Sn gibi aktif korozyon potansiyelini yüksek hidrojen aşırı potansiyeliyle birleştiren metaller çok daha az zarar verir [51]. Yüksek saflık, magnezyum alaşımının başka bir metalle birleştirilmesi durumunda magnezyum alaşımlarına galvanik korozyona karşı koruma sağlamaz. Galvanik korozyon hızı, ortamın yüksek iletkenliği, anot ve katot arasındaki büyük potansiyel farkı, anot ve katotun düşük polarize edilebilirliği, katotun anoda geniş alan oranı ve anottan katoda küçük mesafe gibi faktörlerle artar [52].

2.7.1.2. Taneler Arası Korozyon

Magnezyum ve magnezyum alaşımları kristaller arası saldırıya karşı neredeyse bağışıktır [53]. Korozyon tane sınırları boyunca içeriye doğru nüfuz etmez [54] çünkü tane sınırı fazları her zaman tanenin iç kısmına doğru katodiktir [53,55]. Korozyon tanecik sınırına bitişik alanda yoğunlaşma eğilimindedir, ta ki sonunda tanecikler alttan kesilip düşme eğilimi gösterene kadar yoğunlaşma eğilimi devam etmektedir.

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, %1 oranında Gd-Nd elementi içeren AZ71 Mg alaşım matrisi kullanılarak AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C, AZ71+%1 GNP+%15 B4C, AZ71+%15 B4C kompozitler eriyik bazlı indüksiyon döküm yöntemiyle üretilmiş ve ekstrüde edilmiştir. İncelenen kompozitlerin özellikleri metalografik işlemler ve mikroyapısal karakterizasyonu (OM ve SEM), yapı karakterizasyonu (XRD), sertlik testi, korozyon ve aşınma testleri ile incelenmiştir.

3.1. ALAŞIMLARIN ÜRETİMİ

3.1.1. Döküm Yöntemi

Bu çalışmada, Çizelge 3.1’de kimyasal bileşimi verilen AZ71 Mg alaşım matrisi kullanılarak AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C, AZ71+%1 GNP+%15 B4C, AZ71+%15 B4C kompozitlerin üretimi için kullanılan takviyelerin (GNP ve B4C) başlangıç miktarları Çizelge 3.2’de verilmiştir. Emre Turan ve arkadaşları [73] yalnızca %1 GNP takviyesi ilave edilmiş kompozitin özelliklerinde kötüleşme rapor ettiğinden dolayı bu güncel çalışmada % 1GNP takviyeli kompozit yalnız başına takviye elemanı olarak incelenmemiştir.

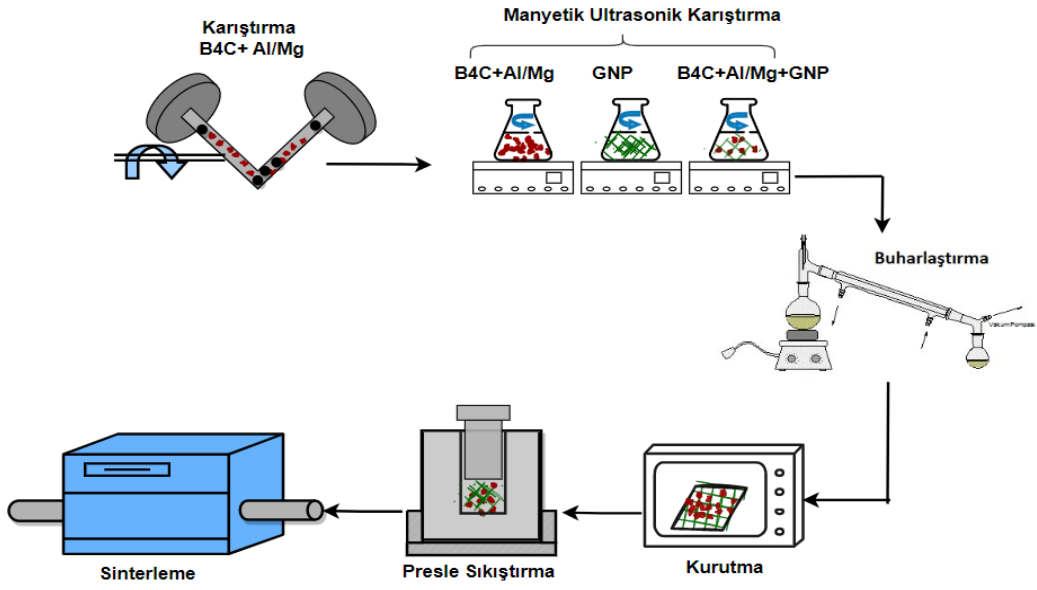
Çizelge 3.1. AZ71 alaşımının kimyasal kompozisyonu.

Kimyasal Kompozisyon	Al	Zn	Mn	Si	Gd	Nd	Mg
AZ71	7.69	0.94	0.18	0.054	1.01	1.03	Bal.

Çizelge 3.2. AZ71 yeni alaşımların içeriğinin gram cinsinden miktarı.

Alaşım	AZ71 (gr)	GNP (gr)	B4C (gr)	Gd-Nd (gr)	Mg (gr)
AZ71+%0,5GNP	80	5	0	10	905
AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C	80	5	150	10	755
AZ71+%1 GNP+%15 B4C	80	10	150	10	750
AZ71+%15 B4C	80	0	150	10	760

Nanopartiküllerin homojen dağılması ve karışım içerisindeki partiküllerin yüzeyinde oluşacak topaklanmanın engellenmesi için indüksiyon ergitme sisteminde sıvı bazlı karıştırma yöntemi kullanılmıştır. İndüksiyon ergitme işlemi öncesi kullanılan GNP ve B4C takviyeler ile matrisi oluşturan Mg partikülleri V tipi bilyalı karıştırıcıda kuru olarak ve ayrıca alkol içerisinde manyetik-ultrasonik olarak karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Çelik bilya içeren V tipi karıştırıcıda 1 saat karıştırılmıştır. Bu yöntemde, %0,5 ve %1 oranlarında GNP takviyeler ayrı ayrı olarak %15 oranında B4C ile etanol içerisinde homojen karışım elde edilmesi için ultrasonik titreşim cihazına maruz bırakılmıştır. Şekil 3.1’de homojen karıştırma işleminin aşamaları verilmiştir. Ultrasonik işlem ardından sıcaklık kontrollü manyetik karıştırıcıda 3 saat daha karışmaya devam edilmiştir. Daha sonra topaklanmanın olmaması için kademe kademe Mg partikülleri GNP+B4C karışımının içerisine eklenmiştir. Son olarak etanolün sistemden tamamen uzaklaştığına emin olmak için karıştırma sonrası elde edilmiş tozlar fırına koyularak 12 saat boyunca kurumaya bırakılmıştır. Hazırlanan GNP ve B4C içeren karışımlar 350 °C sıcaklığında 30ton kapasiteli hidrolik preste preslenerek 32x30 mm çapında kalıp içerisinde kompakt oluşturulmuştur. Preslenen kapsüller alüminyum folyoya sarıldıktan sonra SiO₂ ve grafit toz ortamı içerisine koyularak 500 °C’de 3 saat boyunca kısmi olarak sinterlenmiştir.



Şekil 3.1. Toz karışımların hazırlanması işlemi.

Çizelge 3.2.'de sunulduğu üzere başlangıç ağırlıkları belirlenen ikinci sütundaki AZ71 gaz korumalı indüksiyon eritme fırınında grafit pota içerisinde (Şekil 3.2) eritilmiştir. Döküm işleminde, öncelikle fırın içindeki grafit pota %90 oranında saf Mg ile yüklenerek erimesi beklenilmiştir. Fırın sıcaklığı 750 dereceye çıktıktan sonra elde edilen ön ön sinterlenmiş %7Al /%15 B4C/ 0.5-1 GNP içeren kompaktlar ve %1 oranlarında Zn, Gd ve Nd elementleri eriyiğin içerisine eklenerek karışması sağlanmıştır. Ergitme ve karıştırma tamamlandıktan sonra, silindirik döküm kalıplarına dökümler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca 400 °C'ye kadar çıkabilen plaka ısıtıcılar yardımıyla döküm öncesinde kalıplara yaklaşık 300 °C ön ısıtma işlemleri uygulanmıştır. Son olarak, erimiş bileşimler 32 mm çapında ve 200 mm yüksekliğinde metal kalıba dökülerek alaşım malzemeler elde edilmiştir.



Şekil 3.2. Ergitme Ocağı ve dökülen kalıp.

Döküm kompozitler, homojenleştirme ısıl işleminden sonra ekstrüzyon işlemine tabi tutulmuştur. Döküm kompozitlerin homojenleştirme işlemi 490 °C’de 5 saat folyoya sarıldıktan sonra SiO₂ ve grafit toz ortamı içerisinde yapılmıştır.

3.1.2. Sıcaklık Kontrollü Ekstrüzyon

Ekstrüzyon, kesiti sıkıştırma ile tavlama kütükten daha küçük olan bir kalıp boşluğu yoluyla plastik şekil vermenin oluşturulmasını içerir. Biyetin kesit alanının, ekstrüde edilen ürünün kesit alanına oranı, ekstrüzyon oranı olarak tanımlanır. Bu nedenle ekstrüzyon hızının nihai ürünün parçacık boyutunu etkilediği bulunmuştur [56]. Bu çalışmada gerçekleştirilen tüm ekstrüzyon işlemleri için kütük çapı 32 mm, ekstrüzyon çıkışının kesit alanı ise 20×20 mm² olarak belirlenmiştir. Ekstrüzyon işleminde kullanılan pres Şekil 3.3’te gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Ekstrüzyon düzeneğinin görüntüsü.

Hesaplanan ekstrüzyon oranı yaklaşık olarak %81 olarak kullanılacaktır. Ekstrüzyon öncesinde kütük, kalıp içi ve zımba, Molykote marka MoS₂ bazlı ısıya dayanıklı spreya yağlayıcıyla yağlandı. Alaşımın ekstrüzyonu 30-ton kapasiteli hidrolik pres kullanılarak gerçekleştirildi (Şekil 3.3). Ekstrüzyon kalıbı bir kelepçe direnci ile ısıtıldı ve sıcaklık kontrollü bir prese bağlı bir ünite kullanıldı.

Alaşım ekstrüzyon işlemi 350 °C sıcaklıkta ve 0.3 mm/s hızında gerçekleştirildi. Feyerabend ve ark. [57] yaptıkları çalışmada Mg alaşımının ekstrüzyon kalıp sıcaklığının 300 °C ve hızının 0,7 mm/s olduğunu belirlemişlerdir. Başka bir çalışmada, Ben-Hamu ve arkadaşlarının [58] ekstrüzyon sıcaklıkları 275 ila 350 °C arasında değişmiştir. İstenilen ekstrüzyon sıcaklığına ulaşıldıktan sonra, prese bağlı zımbanın hareket ettirilmesi ve çapı 32 mm olan ve 30 mm boya sahip silindirik kütüğe (Şekil 3.4) basınç uygulanmasıyla 20 x 20 mm² kesitli silindirik bir kütük üretilir. Bu çalışmada üretilen kompozitlerin karakterizasyonu ve mekanik testleri ekstrüde edilmiş numunelere uygulanmıştır.



Şekil 3.4. Ekstrüzyon sonrası çıkan numunenin görüntüsü.

3.2. ALAŞIMLARIN KARAKTERİZASYONU

3.2.1. Yoğunluk Ölçümü

Malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerine ilişkin bilinmesi gereken önemli kavramlardan biri yoğunluktur. Yoğunluk birim hacimdeki madde miktarıdır. Üretimden sonra deneysel yoğunlukları ve teorik yoğunlukları hesaplanması gereken numuneleri deneysel yoğunlukları Arşimet kuralı kullanılarak belirlenmiştir. Bu ölçümü gerçekleştirebilmek için Şekil 3.5’de görülen hassas terazi cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.5. Deneyleerde hassas ölçüm yapmak için kullanılan PRECİSA XB 220A marka hassas terazi.

Yoğunluk ölçüm testi sırasında havadaki numunelerin ağırlıkları ile saf sudaki numunelerin ağırlıkları arasındaki fark ölçülmüştür. Numunelerin yoğunluğunu ölçmek için 0.0001-gram hassasiyette terazi (Şekil 3.5) kullanılmıştır. Her numune için yoğunluk testi üç kez yapılmış ve sonuçların ortalaması hesaplanmıştır.

Bu denkleme göre, saf su sıvı olduğu için yoğunluk değeri 1 g/cm^3 idi. Bu nedenle, Arşimet'in itmesi cismin hacmine eşit oldu.

$$V=WA-WL \quad (3.1)$$

WA: Kompozitin havadaki ağırlığı

WL: Kompozitin sıvıdaki ağırlığı

Sonuç olarak üretilen kompozitlerin yoğunluğunun ölçümünde kullanılan formül;

$$D_{\text{kompozit}} = WA / (WA - WL) \quad (3.2)$$

3.2.2. Metalografik İşlemler ve Mikroyapısal Karakterizasyonu

Mikroyapısal çalışmalara yönelik her bir numune, su soğutmalı şerit testere ile bakalitte istenilen ölçülerde kesilmiş ve metalografik işleme hazırlık aşamasında her

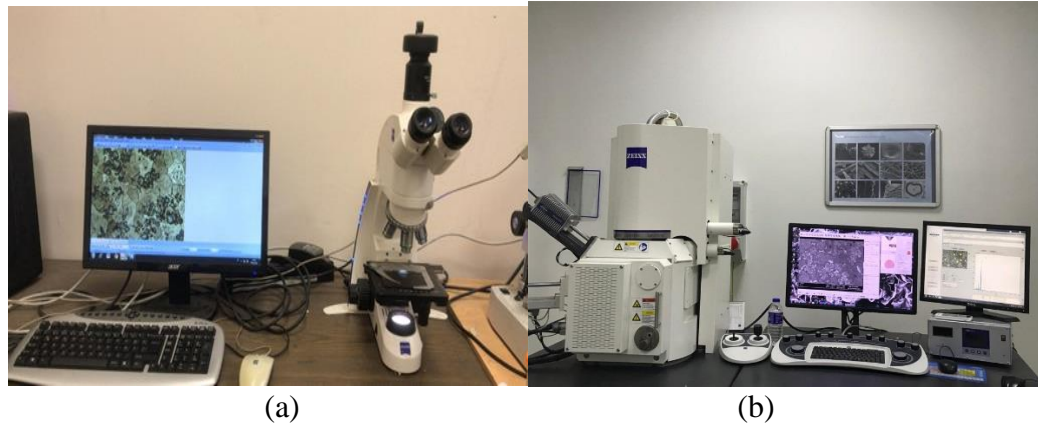
bir numune, epoksi reçine ve sertleştirici kullanılarak hazırlanan soğuk bakalit kalıplanmıştır.

Düşük sıcaklıktaki bakalit numuneleri Mikrotest marka taşlama ve cila makinesinde zımparalanıp parlatılmıştır. Taşlama için tane büyüklüğü 240–2000 olan SiC zımpara kağıdı, parlatma için ise 6.3 veya 1 µm Al₂O₃ parlatma sıvısı ve buna karşılık gelen parlatma bezi kullanılmıştır. Alaşım daha sonra mikroyapısal ayrıntıları ortaya çıkarmak için Çizelge 3.3'te listelenen solüsyonla dağlanmıştır.

Çizelge 3.3. Al7075 ve Al7075+%Ti alaşımları için aşındırıcının bileşimi ve çalışma durumu.

Dağlayıcı	Kompozisyon	Şartlar
Pikral dağlayıcı	6 gr Pikrik Asit, 5ml Asetik Asit, 10 ml Saf su ve 100 ml Etil Alkol.	27°C'de 25 Saniye boyunca daldırma

Mikroyapısal analiz için optik ışık mikroskobu (Carl Zeiss Microscopy 3154000184 Primotech MAT 12 V DC 30 W optik mikroskop) ve ayrıntılı analizi için enerji dağılım spektroskopisi (EDS) ile donatılmış Taramalı Elektron Mikroskobu (Carl Zeiss Ultra Plus Field Emission Scanning Electron Microscopy, FESEM) (Şekil 3.6) kullanılmıştır.



Şekil 3.6. (a) Optik Mikroskop ve (b) Taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazı.

3.2.3. XRD Analizi

Sıvı ergiyik döküm tekniği kullanılarak üretilen tüm numunelerin yapısal fazları, KBÜ MARGEM'in Rigaku Ultima IV marka XRD cihazında 10–90° tarama aralığı ve 3°/dak. aralığında X-ışını difraktometresi yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

3.3. SERTLİK TESTİ

Üretilen alaşımların mekanik özellikleri oda sıcaklığında sertlik testi ile belirlenmiştir. Sertlik testi KBÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarında bulunan Brinell sertlik test cihazı ile belirlenmiş olup HB-3000B Brinell sertlik ölçme cihazında kuvvet ve çap olarak 750 N 5 mm çelik bilya kullanılmıştır. Sertlik testi için numuneler tek tek alınmış ve maksimum sertlik üç aşamada ölçülmüştür. Bunlar homojenizasyon öncesi, homojenizasyon sonrası ve ekstrüzyon sonrası sertliklerdir. Her numune için en az beş sertlik ölçümü yapılmıştır.

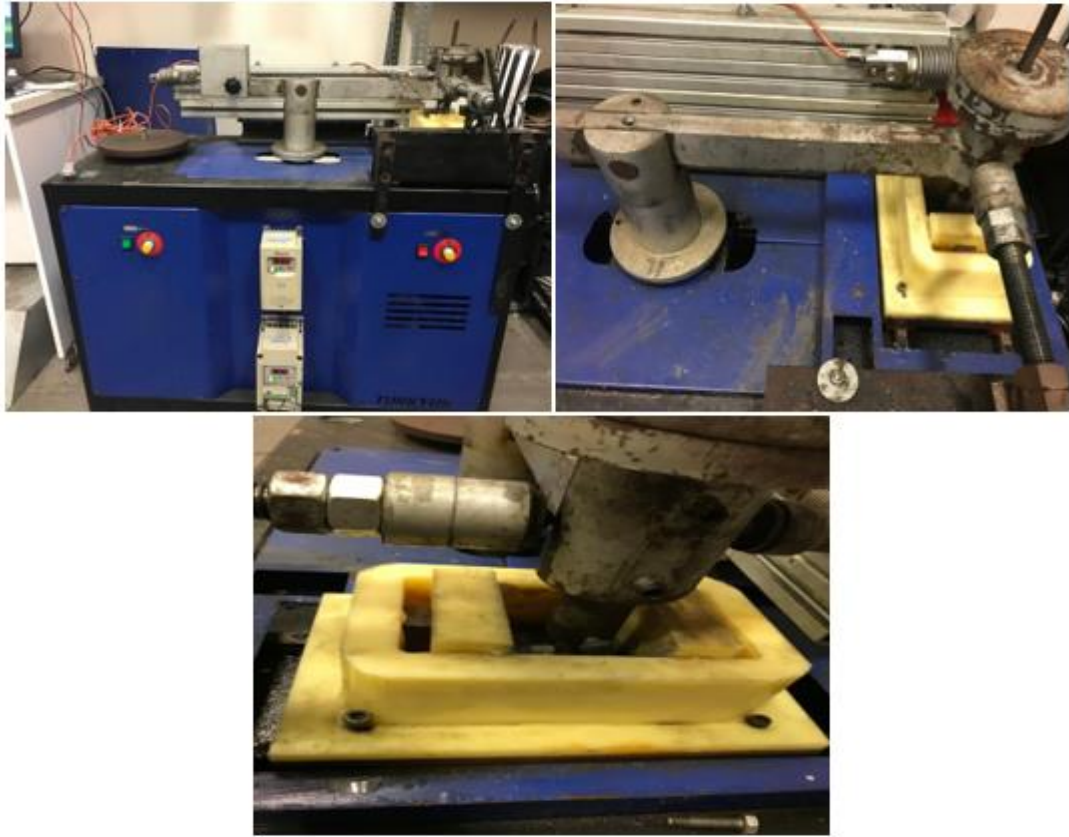


Şekil 3.7. Brinell sertlik ölçüm cihazı.

3.4. AŞINMA TESTİ

Üretilen alaşımların aşınma testleri kuru ortamda ileri-geri tip (reciprocating) UTS Tribometer T10 marka test cihazında gerçekleştirilmiştir. Aşınma testleri 100 mm/s

sabit kayma hızında, 20 N yük altında ve toplamda 1000 m kayma uzunluğunda gerçekleştirilmiştir. Teste başlamadan ve test anında her 200 metrede bir Precisa marka hassas terazi ile ağırlık ölçümü alınmıştır ve aşınma işlemi sonunda mesafeye bağlı ağırlık kaybı grafiği (g/m) ve aşınma hız grafiği (g*N/m) çizilmiştir. Karşıt malzeme olarak AISI 52100 yüksek karbonlu çelik kullanılmıştır. Sürtünme katsayıları anlık olarak bilgisayarda kayıt altına alınmıştır. Her bir numuneye en az 3 aşınma testi uygulanmıştır. Ayrıca kuru aşınma haricinde %3.5 NaCl+ H₂O çözeltili aşınma deneyi de yine bu cihazda gerçekleştirilmiştir. Her bir aşınma testi sonrası numunelerin yüzeyleri SEM analizi ile detaylı olarak incelenmiştir.



Şekil 3.8. Aşınma Deneyi Test Cihazı.

3.5. KOROZYON TESTİ

3.5.1. Daldırma Korozyonu Testi

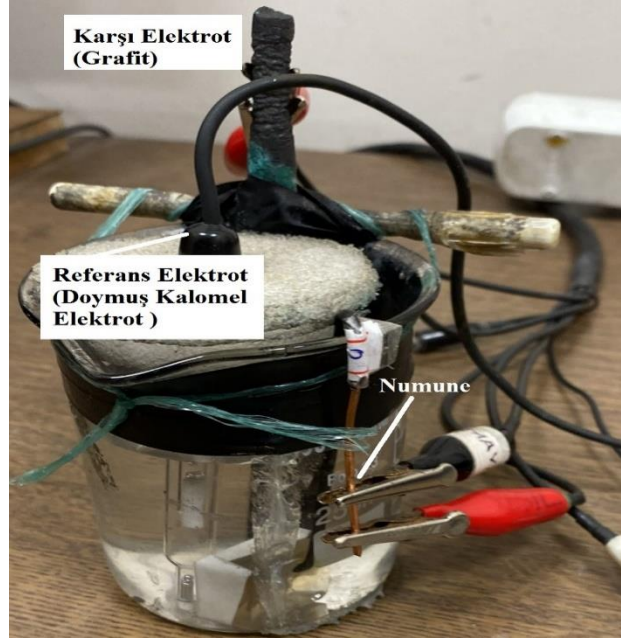
Daldırma korozyon testi için numuneler ultrasonik temizleyici içerisinde yüzey temizlenmesine tabi tutulmuştur ve her numunenin tek tek yüzey alan hesaplanması yapılmış olup ağırlık ölçümleri Precisa marka hassas terazi yardımı ile gerçekleştirilmiştir. 500 ml Cam kavanoz ile yapılan deneyde her bir numune file içinde kavanoz içerisine konulan %3.5 NaCl solüsyonuna daldırılmıştır ve korozyon testi 3, 6, 9, 12, 24, 48 ve 72 saatleri içinde yapılmıştır.

Belirlenen her saat aralığında numune yüzeyinde oluşan korozyon kalıntıları ultrasonik içerisinde önce 20gr CrO₃+1.42gr HNO₃ ve 1L saf su ile hazırlanan solüsyon temizleyici içine daldırılmıştır. Ardından numunede olan kromik ve nitrik asidin temizlenmesi için saf su kullanılmıştır ve en son olarak temizlenen numune kurutulmuştur. Kurulama işlemi yapıldıktan sonra numunenin ağırlık ölçümü yapıp tekrar daldırma korozyona tabi tutulmuştur. Daldırma korozyon testi işleminde belirlenen her saatte numunede meydana gelen ağırlıktaki azalmalar ve totalde olan korozyon hızları hesaplanmıştır.

3.5.2. Potansiyodinamik Polarizasyon Korozyon Testi

Üretilen alaşımların korozyon direnci Potansiyodinamik polarizasyon testi ile belirlenmiştir. Potansiyodinamik polarizasyon testleri öncesi numuneler kesilip bakır tel ile sarıldıktan sonra tek yüzeyleri dışarıda kalacak şekilde epoksi reçineye gömülmüştür. Ardından bu yüzeyler metalografik olarak zımparalanıp parlatılmıştır. 2500 µm zımparaya kadar zımparalanmış ve parlatılmış numunelerin yüzeylerine yüzey alanı 0,19 cm² olan bantlar yapıştırılarak korozyon hazinesine bırakılmıştır. Potansiyodinamik polarizasyon testi için Gamry model PC4/300 mA potansiyostat/galvanostat DC105 korozyon test düzeneği kullanılmıştır. Korozyon testleri bir zıt elektrot grafit çubuk (CE), referans doymuş kalomel elektrot (SCE) ve 0,19 yüzey alanına sahip çalışma elektrotu (numune) olarak oluşan standart üç elektrotlu hücrede yapılmıştır. Korozyon tarama hızı 1 mVs⁻¹ olacak şekilde ±0,25

mV aralığında taramalar gerçekleştirilmiştir. Korozyon ortamı olarak %3.5 NaCl iyonlarından ayrılmış saf su karışımı kullanılmıştır. Sonuç olarak kompozitlerin anodik korozyon testleri yapılarak pasivasyon davranışları ve korozyon akım yoğunlukları hakkında karşılaştırmalı olarak detaylı bilgi elde edilmiştir.



Şekil 3.9. Korozyon testi görüntüsü.

3.5.3. Hidrojen Çıkışı Deneyi

Hidrojen çıkışı deneyi, üzerinde en çok çalışılan elektrokimyasal süreçlerden biridir. 18. yüzyıldan beri bilinmektedir. Su elektrolizi, hidrojen üretiminin en ucuz yöntemi olmasada, çok yüksek saflıkta hidrojen sağlar ve ortamı kirletmez. Bundan dolayı deneyimizi yaparken beher kaplara koyduğumuz %3.5 NaCl çözeltisi ve içine attığımız numuneler hava kabarcıkları çıkarttıkça bağlantı olarak kullandığımız plastik hortumdan hidrojen çıkışı gerçekleşerek cc şırıngaları bu oksijen miktarına göre harekete geçirmiştir. Zamanla ml cinsinden hidrojen kışı kaydedilmiştir.



Şekil 3.10. Hidrojen Çıkışı Deney düzeneği görüntüsü.

BÖLÜM 4

DENEYSEL SONUÇLAR

4.1. ALAŞIMLARIN KARAKTERİZASYON SONUÇLARI

4.1.1. Kompozitlerin Yoğunluk Ölçüm Sonuçları

Çizelge 4.1 de üretilen kompozitlerin ortalama yoğunluk ölçüm sonuçları bulunmaktadır. Üretilen AZ71+%0.5 GNP+ %15 B4C ve AZ71+%1 GNP+%15 B4C kompozitlerin yoğunlukları hemen hemen aynı iken sadece GNP ve B4C birlikte takviye edilmiş kompozitlerin yoğunluklarında yakında olsa farklılıklar görülmektedir.

Çizelge 4.1. Kompozitlerin Yoğunluk Sonuçları.

Kompozitler	Yoğunluk (gr/cm ³)
AZ71+%0.5 GNP	2.16
AZ71+ %0,5 GNP+ %15 B4C	2.32
AZ71+ %1 GNP+ %15 B4C	2.33
AZ71+ %15 B4C	2.22

4.1.2. XRD Analizi Sonuçları

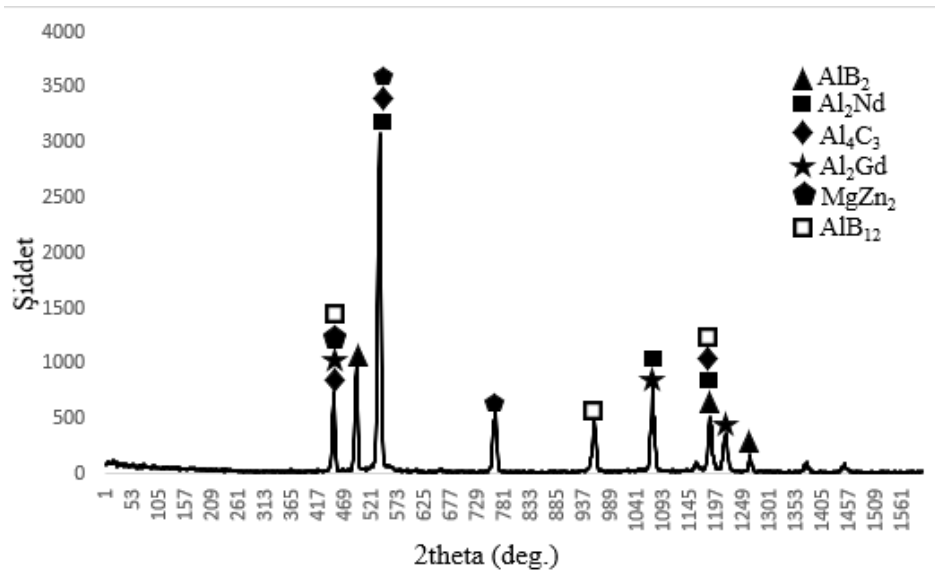
AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%15 B4C, AZ71+%1 GNP+ %15 B4C kompozitlerinin yapısında meydana gelen fazları belirlemek amacı ile yapılan XRD analiz sonuçları Şekil 4.1- 4.3 arasında verilmiştir. Bu sonuçlara göre, AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%15 B4C, AZ71+%1 GNP+ %15 B4C alaşımlarının geneline bakıldığında alaşım içinde olan Al, Cu, Mg, Gd, Nd, B, Zn ve C'nun oluşturduğu ikili ve üçlü intermetalikler olarak AlB₂, Al₂Nd, Al₄C₃, Al₂Gd, MgZn₂, MgB₂, ve AlB₁₂ intermetaliklerinin varlığı belirlenmiştir.

AZ71+%0.5 GNP kompozitinin XRD analiz sonucuna bakıldığında (Şekil 4.1). AlB_2 , Al_2Nd , Al_4C_3 , Al_2Gd , $MgZn_2$, ve AlB_{12} intermetalik fazların oluştuğu tespit edilmiştir.

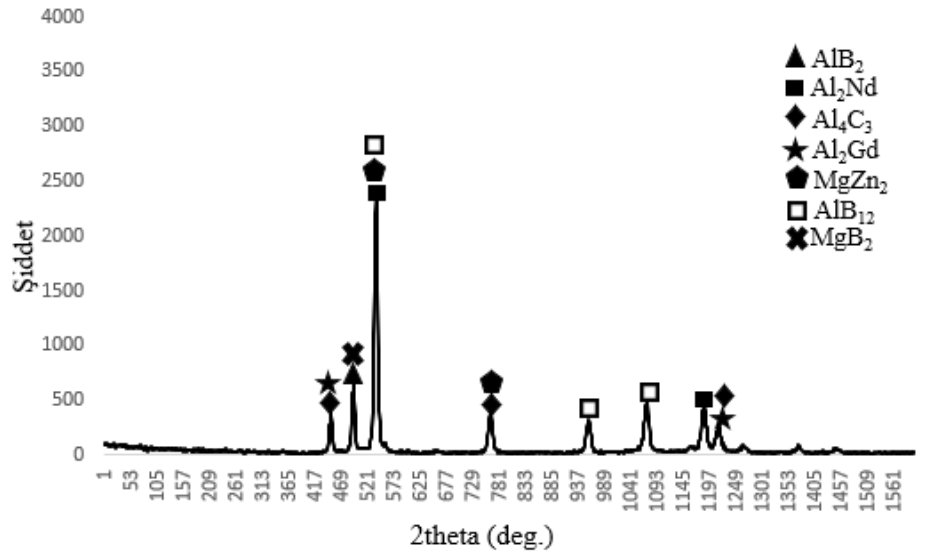
AZ71+%15 B4C kompozitinin XRD analiz sonucuna bakıldığında (Şekil 4.2). AlB_2 , Al_2Nd , Al_4C_3 , Al_2Gd , $MgZn_2$, MgB_2 , ve AlB_{12} intermetalik fazların oluştuğu tespit edilmiştir.

AZ71+%1 GNP+%15 B4C kompozitinin XRD analiz sonucuna bakıldığında (Şekil 4.3). AlB_2 , Al_2Nd , Al_4C_3 , Al_2Gd , $MgZn_2$, MgB_{12} ve AlB_{12} intermetalik fazların oluştuğu tespit edilmiştir.

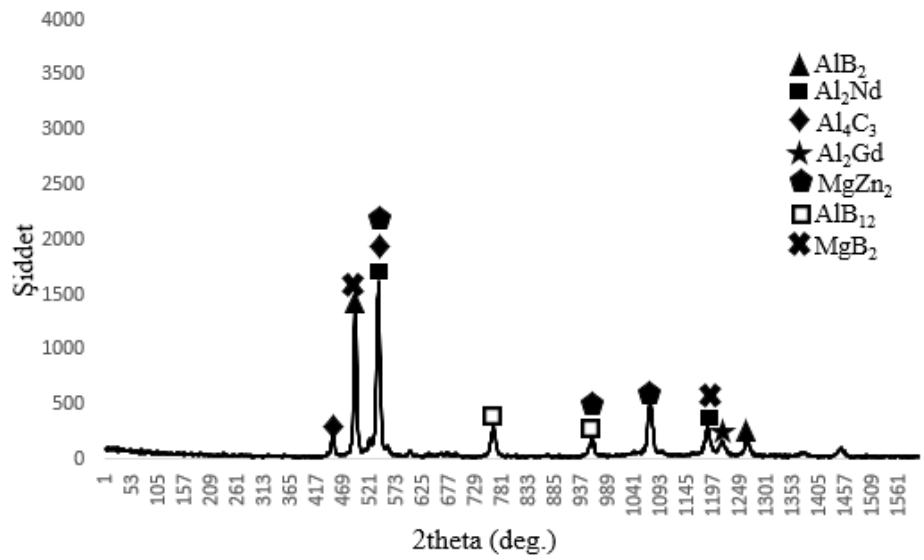
H.F. Sun ve ark. [68] göre Zn öncelikle AZ91 matrisi içerisinde katı bir çözün oluşturur ve potansiyel olarak kafes distorsiyonu nedeniyle tepe kaymalarına ve genişlemeye yol açar. Daha yüksek Zn konsantrasyonlarında $MgZn_2$ veya $MgZn$ intermetalik fazlarının oluşumu mümkündür. Buna göre XRD grafiklerinde (Şekil4.1, Şekil4.2, Şekil4.3) görülmekte olan $MgZn_2$ 'nin varlığı kanıtlanmaktadır. Ayrıca S. M. Zhu ark. ve A. K. Mondal ark. yaptıkları çalışmalar incelendiğinde Al elementinin Gd ve Nd elementleriyle baskılanarak Al_2Gd ve Al_2Nd intermetaliklerini ortaya çıkardığı gözlemlenmektedir [69,70].



Şekil 4.1. AZ71+%0.5 GNP kompozitinin XRD Analiz Sonuçları.



Şekil 4.2. AZ71+%15 B4C kompozitinin XRD Analizi Sonuçları.



Şekil 4.3. AZ71+%1 GNP+%15 B4C kompozitinin XRD Analizi Sonuçları.

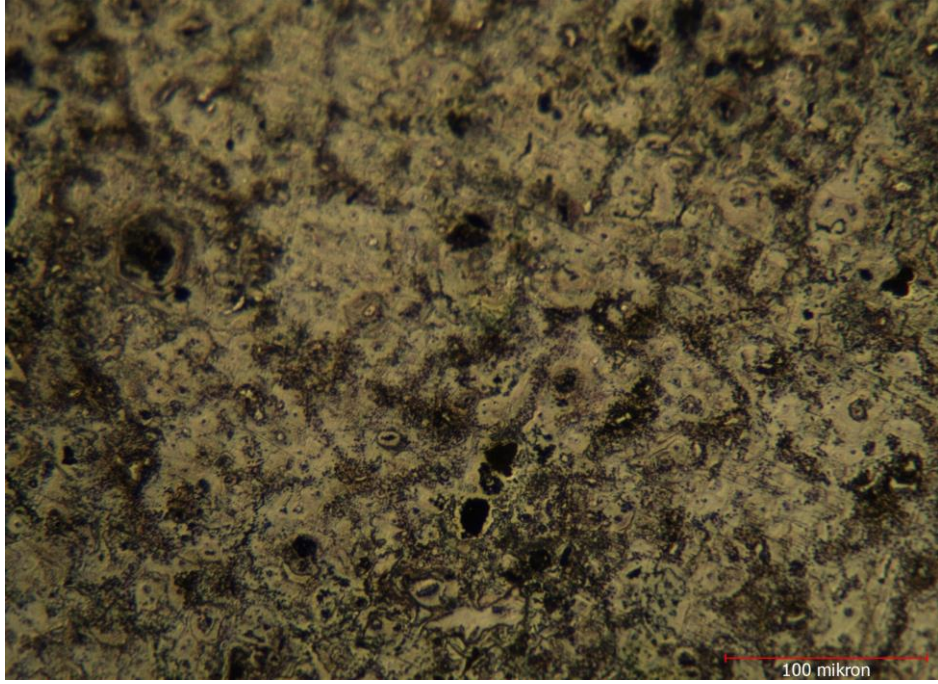
4.2. MİKROYAPI SONUÇLARI

4.2.1. Optik Mikroyapı Görüntüleri

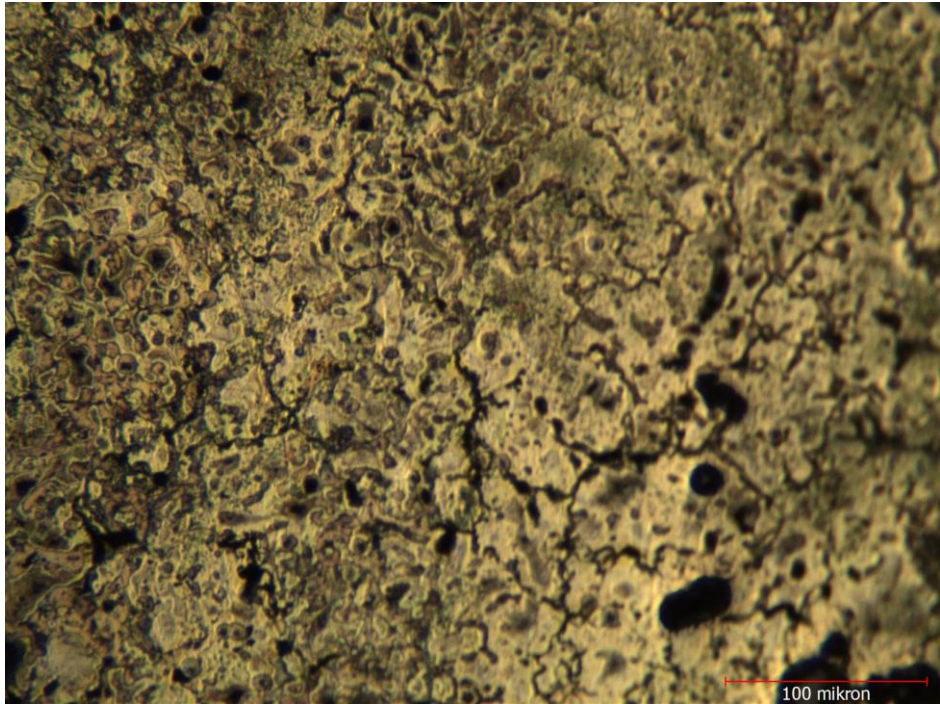
İncelenen kompozitlerin döküm, homojenleştirilmiş ve ekstrüze edilmiş hallerinin mikroyapısı incelenmiştir.

4.2.1.1. Döküm Sonrası Mikroyapı Görüntüleri

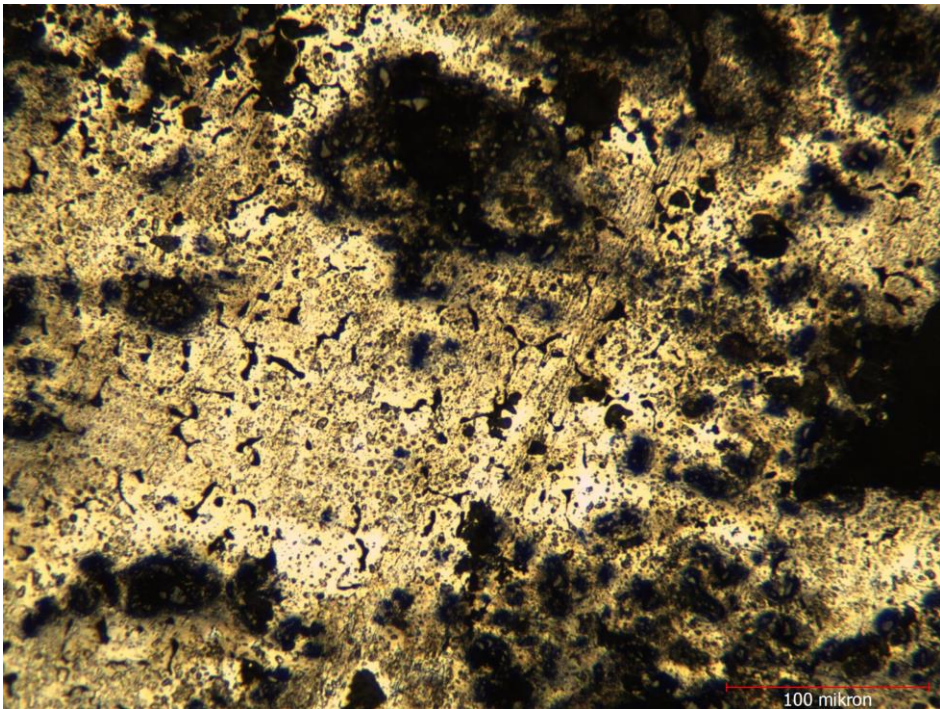
Şekil 4.4'de AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%15 B4C, AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C ve AZ71+%1 GNP+%15 B4C alaşımlarının döküm sonrası 10X büyütme mikroyapıları verilmektedir. Döküm AZ71+%0.5 GNP kompozitin optik mikroyapısında (Şekil 4.4.a) GNP partikülleri belirgin bir şekilde gözlenmemekle birlikte dendritik homojen olmayan bir görünüm vardır. Şekil 4.4a.'da tane sınırlarında ötektik faz oluşmuştur. Döküm AZ71+%15 B4C kompozitin dendritik yapısı içinde yapısında (Şekil 4.4b) B4C partikülleri gözlenmektedir. Hybrid olarak üretilen döküm AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C ve AZ71+%1 GNP+%15 B4C kompozitlerin mikroyapısı, B4C partiküllerine tutunmuş GNP partikülleri topakları ile birlikte homojen olmayan (ince ve kaba taneli) matristen oluşmuştur.



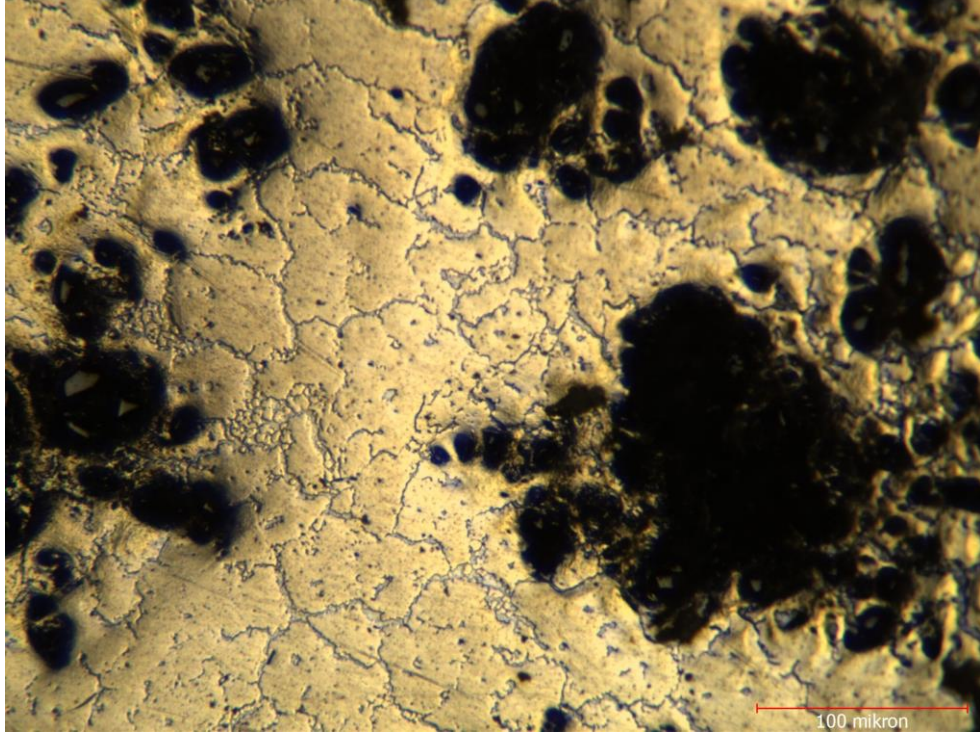
(a)



(b)



(c)

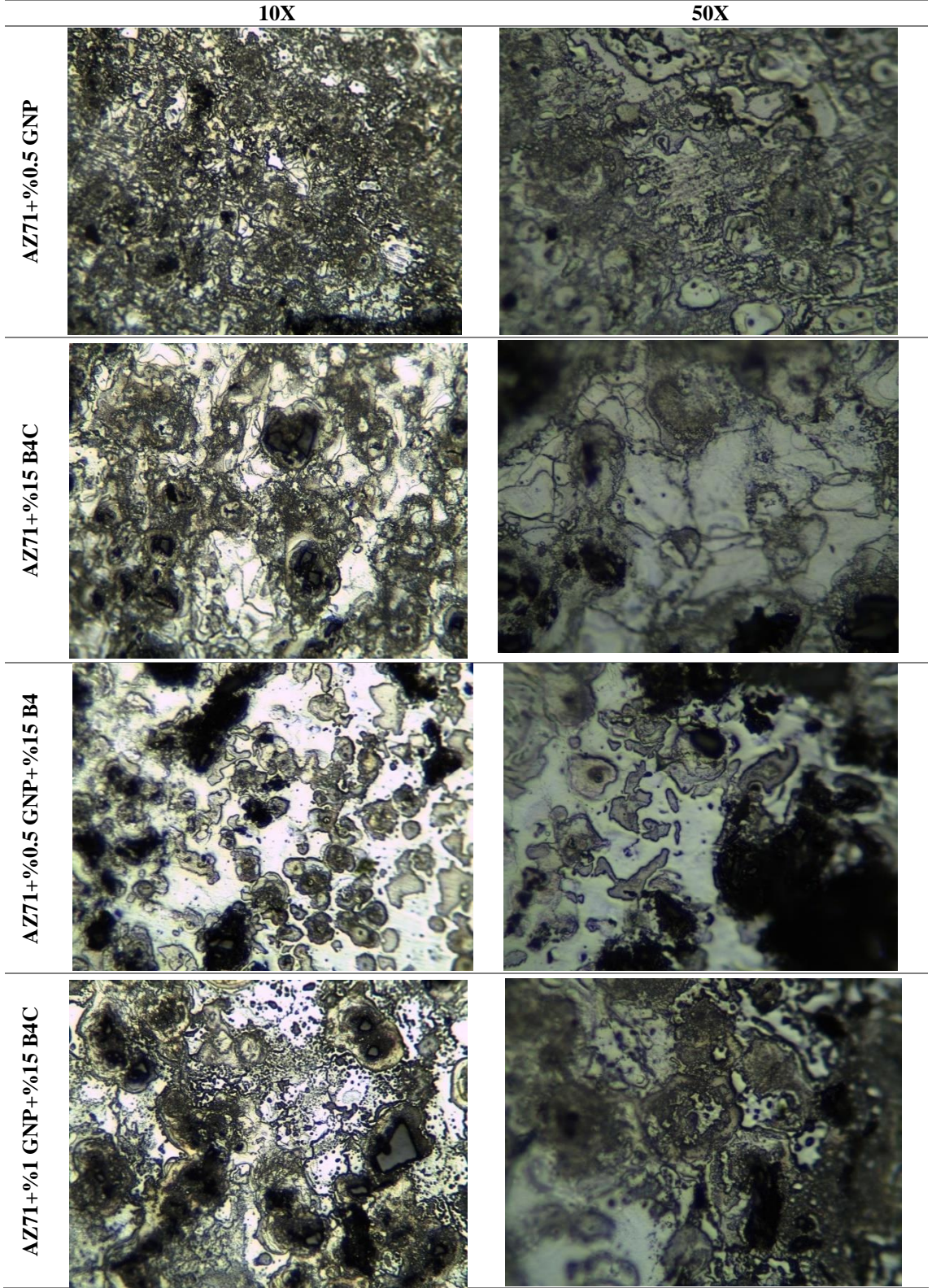


(d)

Şekil 4.4. (a) AZ71+%0.5 GNP, (b) AZ71+%15 B4C, (c) AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C ve (d) AZ71+%1 GNP+%15 B4C Alaşımların Döküm hali mikroyapı görüntüleri.

4.2.1.2. Homojenleştirme Isıl İşlemi Sonrası Mikroyapı Görüntüleri

490 °C’de 5 saat homojenleştirme ısıl işlemine tabi tutulan AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%15 B4C, AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C ve AZ71+%1 GNP+%15 B4C mikroyapısı incelendiğinde, homojenleştirme ısıl işlemi alaşım bileşimini homojen hale getirdiği ve tane boyutunda az da olsa küçülme meydana getirdiği (Şekil 4.5) gözlemlenmiştir. Şekil 4.5’de alaşımlarının homojenleştirme sonrası mikroyapıları görüntüleri verilmektedir. Zhang ve arkadaşları [59] 325°C’de 20 saat yaptıkları homojenleştirme ısıl işlemine tabi tutulan numuneleri incelediklerinde mikroyapısında çok fazla farklılık gözlemlemediklerini fakat tane boyutunda az da olsa bir değişim gözlemlediklerini belirtmişlerdir. Zhang ve [59] ile uyumlu olarak bu çalışmada kullanılan kompozitlerin takviyelerinin dağılımında belirgin bir değişiklik oluşmamıştır.

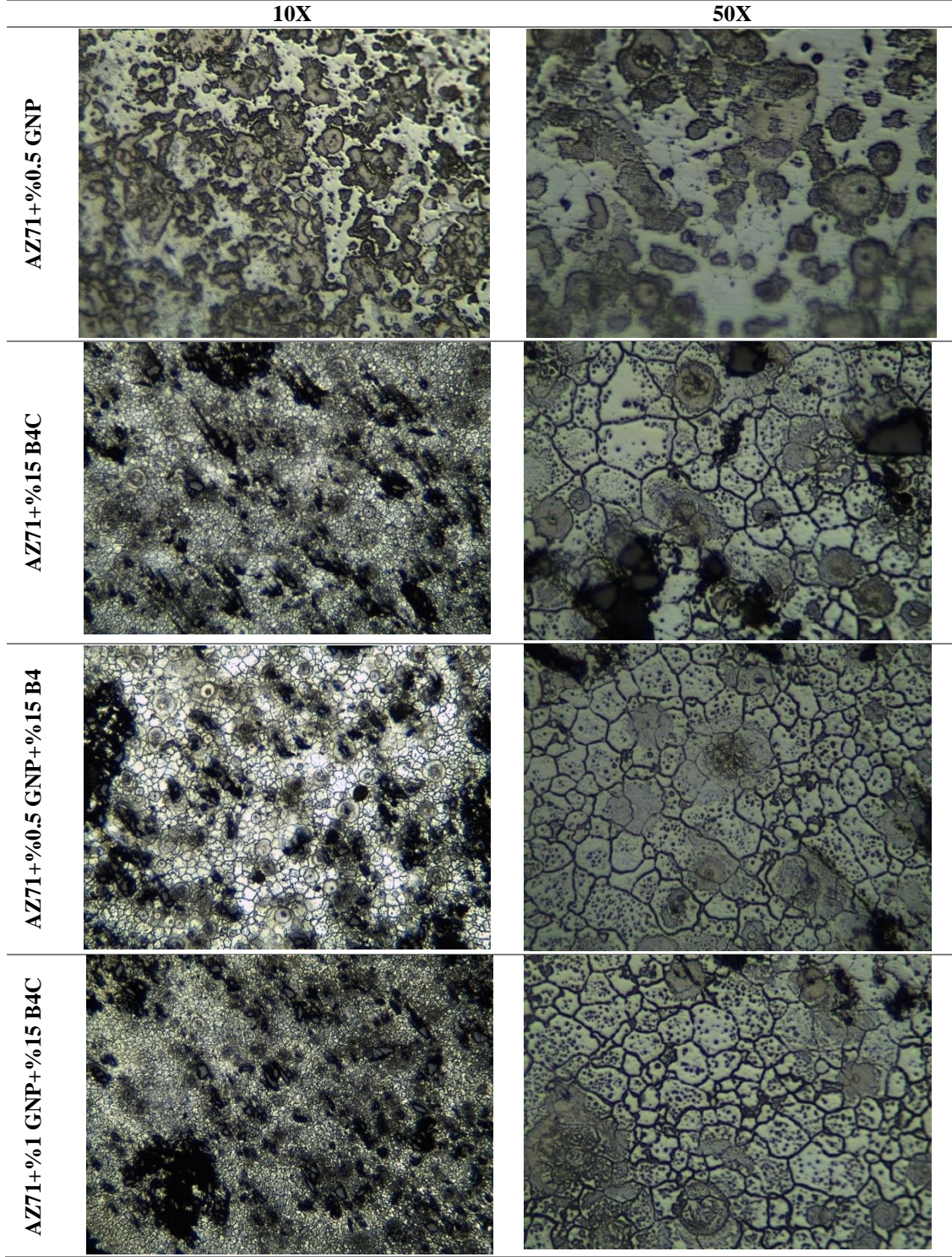


Şekil 4.5. AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%15 B4C, AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C ve AZ71+%1 GNP+%15 B4C Alaşımın Homojenleştirilme Sonrası mikroyapı görüntüleri.

4.2.1.3. Ekstrüzyon Sonrası Mikroyapı Görüntüleri

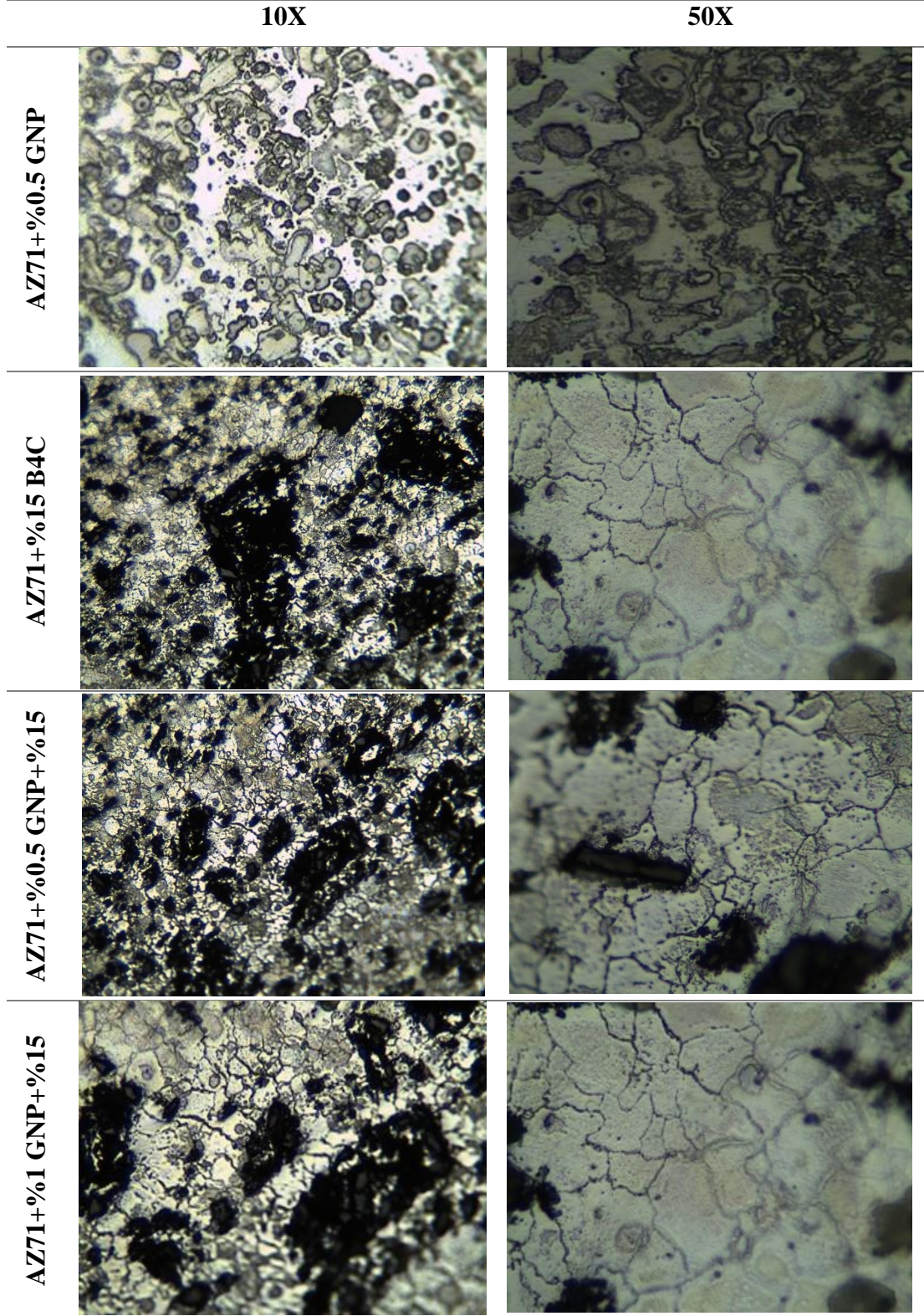
Ekstrüze edilmiş kompozitlerin mikroyapı incelemesi için ekstrüzyona dik ve ekstrüzyon yönünde numuneler hazırlanmıştır. Ekstrüzyon uygulanmış kompozitlerin ekstrüzyona dik ve ekstrüzyona paralel mikroyapı numuneleri sırasıyla Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de verilmiştir.

Şekil 4.6’da verilen ekstrüze edilmiş kompozitlerin ekstrüzyon yönüne paralel görüntüleri homojen ince taneli bir yapı sergilerken GNP ve B4C partiküllerinin bir dereceye kadar homojen dağıldığını göstermektedir.



Şekil 4.6. AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%15 B4C, AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C ve AZ71+%1 GNP+%15 B4C Alaşımının Ekstrüzyon yönüne paralel alınmış mikroyapı görüntüleri.

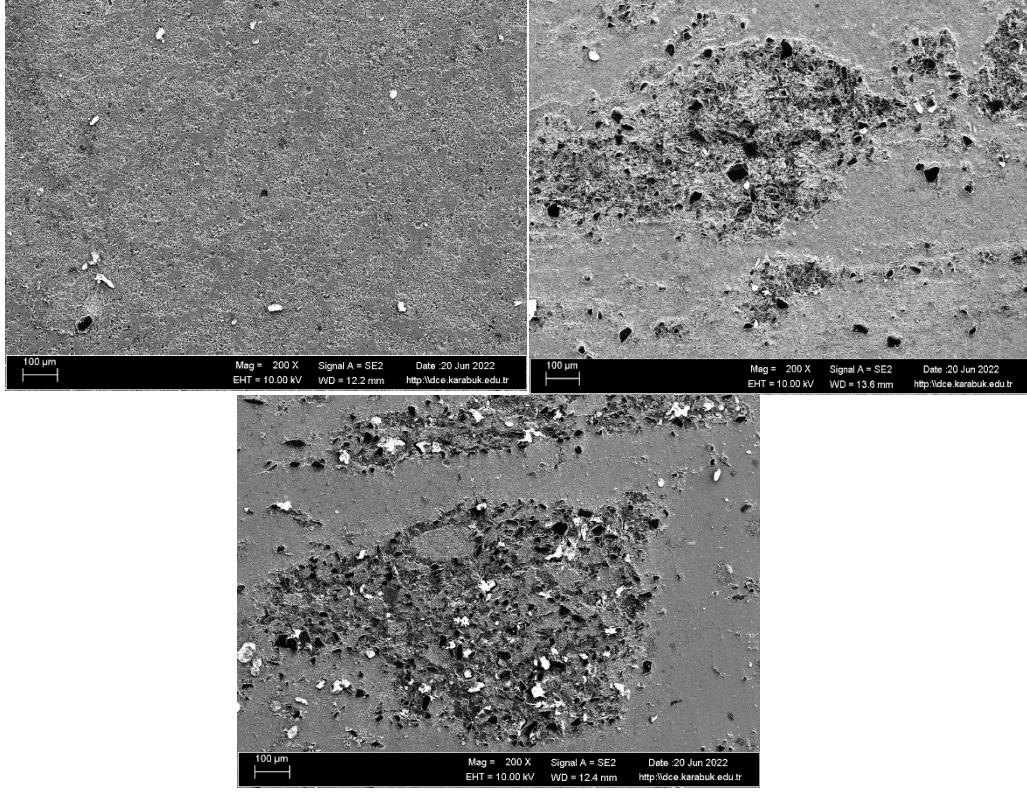
Ekstrüze edilmiş kompozitlerin ekstrüzyona dik mikroyapıları da yine eş eksenli ince taneli matris içerisinde GNP+B4C partiküllerinin yer aldığı bölgeleri (Şekil 4.7) kapsamaktadır.



Şekil 4.7. AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%15 B4C, AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C ve AZ71+%1 GNP+%15 B4C Alaşımların Ekstrüzyona dik tarafından alınmış mikroyapı görüntüleri

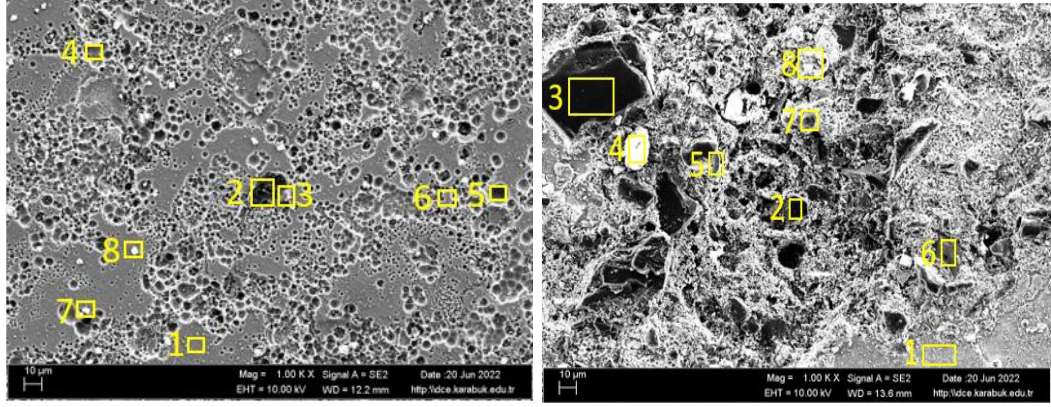
4.2.2. SEM Mikroyapı Görüntüleri

4.2.2.1. Ekstrüzyon Uygulanan Alaşımların SEM ve EDX Analizleri



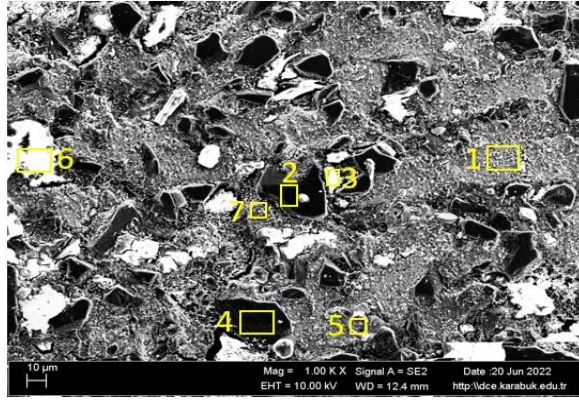
Şekil 4.8. Ekstrüzyon yapılmış AZ71+%0.5 GNP (a), AZ71+%15 B4C (b), AZ71+%1 GNP+ %15 B4C (c) Alaşımların 200 X SEM görüntüleri

İncelenen ekstrüze edilmiş kompozitlerin düşük büyütmede görüntüleri (Şekil 4.8.) yalnızca GNP takviyesinde homojen bir dağılımın başarıldığını gösterirken yalnızca B4C ve Hibrid GNP+B4C takviyelerinin ilave edilmesi ile topaklanmış bölgelerinin arttığını göstermektedir. Ekstrüze edilmiş AZ71+%0.5 GNP kompozitin SEM görüntüsünde takviyeler dairesel sınırlı bölgeler içerisinde siyah renkli olarak (Şekil 4.9a) gözlenmektedir. Şekil 4.9b, AZ71+%15 B4C kompoziti içinde B4C partiküllerinin topaklanma göstermiş olduğu bölgeyi göstermektedir. Ekstrüze edilmiş AZ71+%1 GNP+ %15 B4C kompozitin mikroyapısındaki topaklanmış bölgelerin görünümü Şekil 4.9c’de verilmiştir. Şekil 4.9c, B4C ve GNP partiküllerini sırasıyla siyah köşeli ve parlak beyaz alanlar olarak göstermektedir.



(a)

(b)



(c)

Şekil 4.9. Ektrüzyon yapılmış AZ71+%0.5 GNP (a), AZ71+%15 B4C (b), AZ71+%1 GNP+%15 B4C (c) Alaşımların 1kX SEM görüntüleri

Çizelge 4.2.'de sunulan EDX sonuçlarına göre Şekil 4.9a'da 1 no, 4 no, 5 no ve 6 no ile gösterilen bölgenin ana matrisi yani Magnezyumu gösterdiği değerlendirilmektedir. Ana matrisi gösteren Mg ile Zengin bölgelerin aynı zamanda Gadolinyumca da Zengin bölgeler olduğu Çizelge 4.2'deki kimyasal analiz sonucuna göre değerlendirilebilmektedir. Şekil 4.9a'da 2 no ve 3 no ile gösterilen bölgenin Grafen Nano Partikül olduğu değerlendirilmektedir. İncelemelere göre Magnezyum tane sınırlarındaki grafen partiküllerinin mükemmel dağılım gösterdiği görülmektedir. 7 no ve 8 no ile gösterilen bölge Magnezyum, Alüminyum, Neodimyum ve Gadolinyum içerdiği ve bu sonuçlar göz önüne alındığında Al_2Nd ve Al_2Gd içerdiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.2. Şekil 4.9a'da AZ71+%0.5 GNP için seçilmiş bölgelerin kimyasal analizi.

Spektrum	C	O	Mg	Al	Zn	Nd	Gd
1	2.32	2.81	63.60	4.21	1.94	0.00	25.10
2	41.05	8.24	32.71	2.89	1.06	0.21	13.83
3	57.72	18.55	11.88	2.53	4.26	0.15	4.92
4	5.48	5.37	59.66	4.61	1.72	0.00	23.16
5	3.87	6.32	60.49	3.29	1.73	0.72	23.60
6	4.29	4.55	60.68	4.05	1.79	0.49	24.16
7	6.85	7.13	37.99	14.45	3.22	10.05	20.30
8	7.18	5.49	32.84	19.72	1.91	13.45	19.40

Şekil 4.9b'da AZ71+%15 B4C kompozitinin 1kX SEM görüntüsü üzerinde 1 no ile gösterilen bölge Çizelge 4.3'te verilen EDX analiz sonucuna göre ana matrisi göstermektedir. Şekil 4.9b'da 2 no, 3 no, 6 no ve 7 no ile gösterilen bölgede görüldüğü gibi takviye malzemesi olan Bor karbürün yapı içinde homojen olarak dağıldığı belirlenmiş ancak az da olsa yer yer takviye topaklanmalarının olduğu görülmüştür. B4C takviye topaklanmasının bu tür parçacık takviyeli kompozitlerde meydana gelen yapısal durum olduğu literatürde yer almaktadır [60]. Ayrıca partikül boyutunun küçülmesiyle birlikte partikül toplam yüzey alanı artmakta olup gözenekliliğin artmasında ayrıca etki yapmaktadır [61]. Literatürde yer alan ve farklı partikül boyutlarının etkisinin incelendiği çalışmalarda da benzer sonuçlar rapor edilmiştir [62].

Çizelge 4.3. Şekil 4.9b'da AZ71+%15 B4C için seçilen bölgelerin kimyasal analizi.

Spektrum	B	C	O	Mg	Al	Zn	Nd	Gd
1	4.11	2.35	4.14	60.18	5.73	1.55	0.14	21.80
2	82.05	15.82	0.87	0.21	0.21	0.19	0.27	0.38
3	81.11	17.61	0.43	0.08	0.09	0.05	0.00	0.62
4	8.93	56.94	28.32	1.46	1.10	2.30	0.00	0.96
5	22.29	21.19	32.34	3.05	18.65	0.41	0.70	1.37
6	66.66	24.78	5.13	1.48	0.41	0.50	0.00	1.04
7	69.35	21.26	3.97	2.27	1.23	0.23	0.52	1.18
8	14.84	7.79	34.47	24.57	3.67	1.69	1.61	11.36

Şekil 4.9c'de AZ71+%1GNP+%15 B4C kompozitinin 1kX SEM görüntüsündeki 1 no ve 5 no ile gösterilen bölge Çizelge 4.4'te verilen EDX analiz sonucuna göre ana matrisi göstermektedir. Şekil 4.9c'te 2 no ve 4 no ile gösterilen bölgede görüldüğü gibi takviye malzemesi olan Bor karbürün yapı içinde homojen olarak dağıldığı belirlenmiş

ancak AZ71+%15 B4C EDX sonuçlarında (Şekil 4.9b ve Çizelge 4.3.) belirtildiği gibi topaklanmaların meydana geldiği görülmüştür. 3 no ve 6 no ile gösterilen bölgenin Grafen ve Oksitçe zengin bölge olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.4. Şekil 4.9c'de AZ71+%1 GNP+%15 B4C için seçilen bölgelerin kimyasal analizi.

Spektrum	B	C	O	Mg	Al	Zn	Nd	Gd
1	6.73	6.38	16.50	40.73	9.52	4.11	0.00	16.03
2	79.89	18.31	0.75	0.18	0.07	0.09	0.28	0.43
3	9.17	71.71	14.34	0.87	1.53	1.58	0.04	0.76
4	74.67	17.44	3.56	0.37	0.68	0.82	0.28	2.19
5	12.77	3.61	31.92	31.17	7.35	1.13	0.37	11.68
6	9.19	65.37	19.58	0.63	3.75	0.62	0.00	0.85
7	16.10	21.54	27.11	18.19	5.48	3.06	0.00	8.52

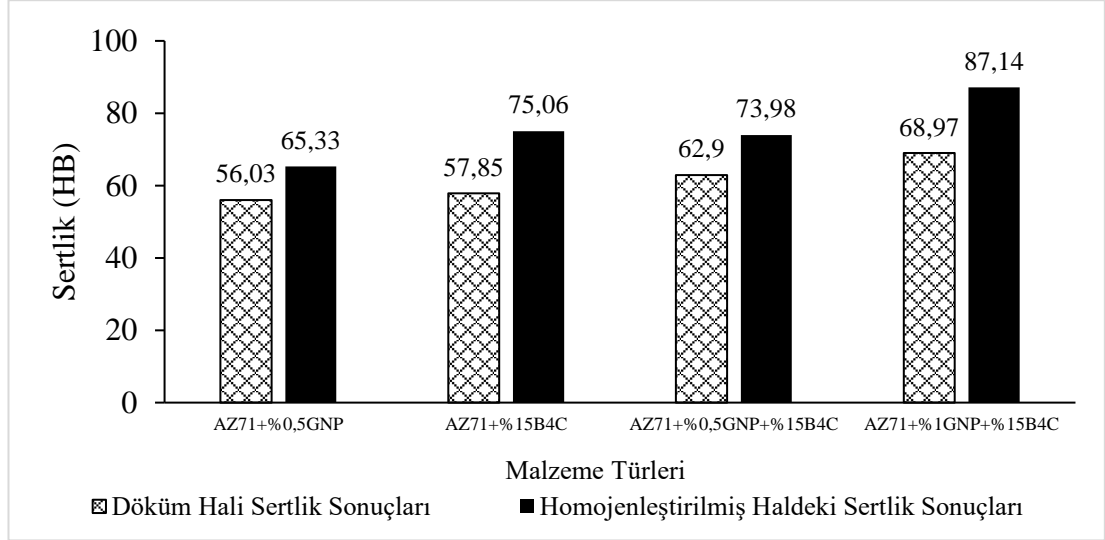
4.3. SERTLİK TESTİ SONUÇLARI

Ergiyik bazlı indüksiyon döküm yöntemiyle üretilen AZ71 matrisli ve GNP/B4C takviyeli döküm ve homojenleştirilmiş kompozitlerin Brinell yöntemiyle yapılan sertlik ölçümlerinden elde edilen değerlere göre oluşturulan grafik Şekil 4.10'da verilmiştir.

Şekil 4.10.'da yer alan döküm kompozitlerin sertlik değeri sırasıyla AZ71+%0.5 GNP takviyeli numune 56,03 HB, AZ71+%15 B4C takviyeli numune 57.85 HB, AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C takviyeli numune 62.90 HB, AZ71+%1 GNP+%15 B4C takviyeli numunede 68.97 HB olarak ölçülmüştür. Döküm halindeki kompozitlerin sertlik değerlerine bakıldığında en yüksek sertlik değeri AZ71+%1GNP+%15 B4C olduğu gözlemlenirken en düşük sertlik değeri AZ71+%0.5 GNP olduğu görülmüştür. AZ71+%15 B4C, AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C ve AZ71+%1 GNP+%15 B4C yapı içerisinde çok sert fazda bulunan partikülleri kompozitin sertlik değerini yükseltmiştir. Literatür araştırıldığında benzer sonuçların rapor edildiği çok sayıda çalışmanın olduğu görülmektedir [61-63-64].

Şekil 4.10'da yer alan homojenleştirilmiş kompozitlerin sertlik değerleri sırasıyla AZ71+%0.5 GNP takviyeli numune 65.33 HB, AZ71+%15 B4C takviyeli numune 75.06 HB, AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C takviyeli numune 73.98 HB, AZ71+%1

GNP+%15 B4C takviyeli numunede 87.14 HB olarak ölçülmüştür. Döküm hali ve homojenleştirme sonrası sertlik değerlerine göre yaklaşık 1.22 kat artış göstermiştir. Homojenleştirme ısıl işlemi sonrasında sertlik değerlerine bakıldığında en yüksek sertlik değeri AZ71+%1GNP+%15 B4C olduğu gözlemlenirken en düşük sertlik değeri AZ71+%0.5 GNP olduğu görülmüştür.

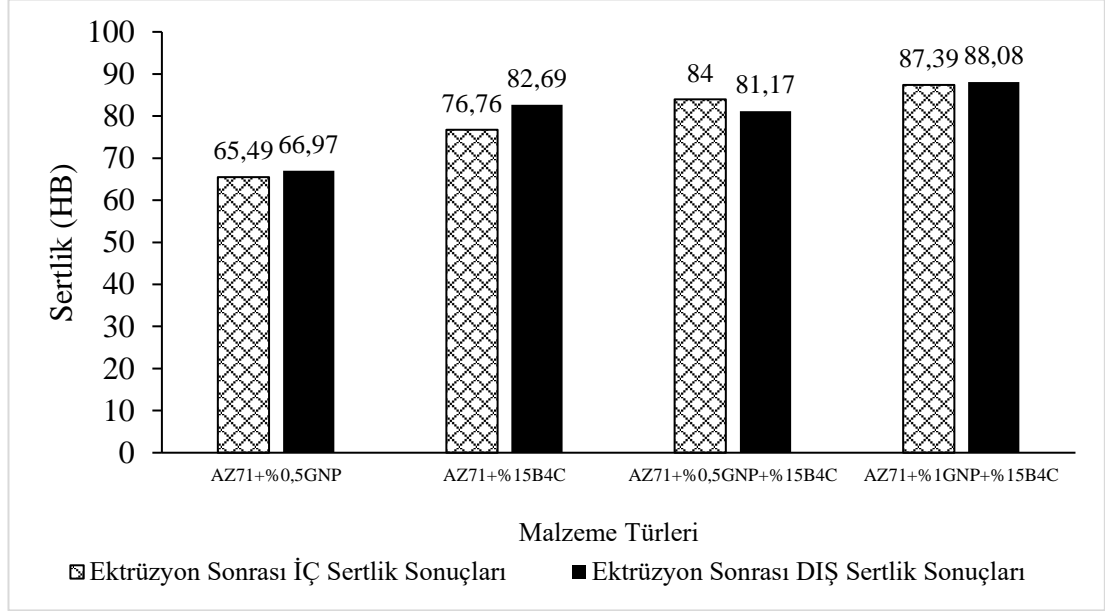


Şekil 4.10. AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%15 B4C, AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C ve AZ71+%1 GNP+%15 B4C Kompozitlerin döküm hali ve homojenleştirilmiş haldeki sertlik değerleri.

Ekstrüzyona uğramış kompozitlerden sertlik testi alınabilmesi için parçalar çıkartılmış, ortadan ikiye bölünerek homojen bir dağılıma yapıp yapılamadığını ve sertlik değerlerinin doğruluğunu gözlemleyebilmek açısından ekstrüzyon yönüne dik kesitten ve ekstrüzyon yönüne paralel yüzeyden alınan sertlik sonuçları incelenmiştir. Şekil 4.11’de yer alan kompozit malzemeler içerisinde kesitten en yüksek sertlik değeri AZ71+%1 GNP+%15 B4C takviyeli numunede 87.39 HB değerinde ölçülürken, AZ71+%0.5 GNP olan kompozitte sertlik değeri 65.49 HB ölçülmüştür. AZ71+%15 B4C ve AZ71+%0,5GNP+ %15 B4C ilaveli kompozitlerin sertlik değerleri sırasıyla 76.76 ve 84 HB olarak ölçülmüştür.

Şekil 4.11’de yer alan kompozit malzemeler içerisinde ekstrüzyon yönüne paralel en yüksek sertlik değeri AZ71+%1 GNP+%15 B4C takviyeli numunede 88.08 HB olarak ölçülürken, AZ71+%0.5 GNP olan kompozitte sertlik değeri 66.97 HB ölçülmüştür.

AZ71+%15 B4C ve AZ71+%0,5GNP+ %15 B4C ilaveli kompozitlerin sertlik değerleri sırasıyla 82.69 ve 81.17 HB olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.11. AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%15 B4C, AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C ve AZ71+%1 GNP+%15 B4C Kompozitlerin Ekstrüzyon sonrası kesitten (İç) ve ekstrüzyon yönüne paralel (Dış) yüzeyinden alınan sertlik değerleri.

4.4. AŞINMA DENEYİ SONUÇLARI

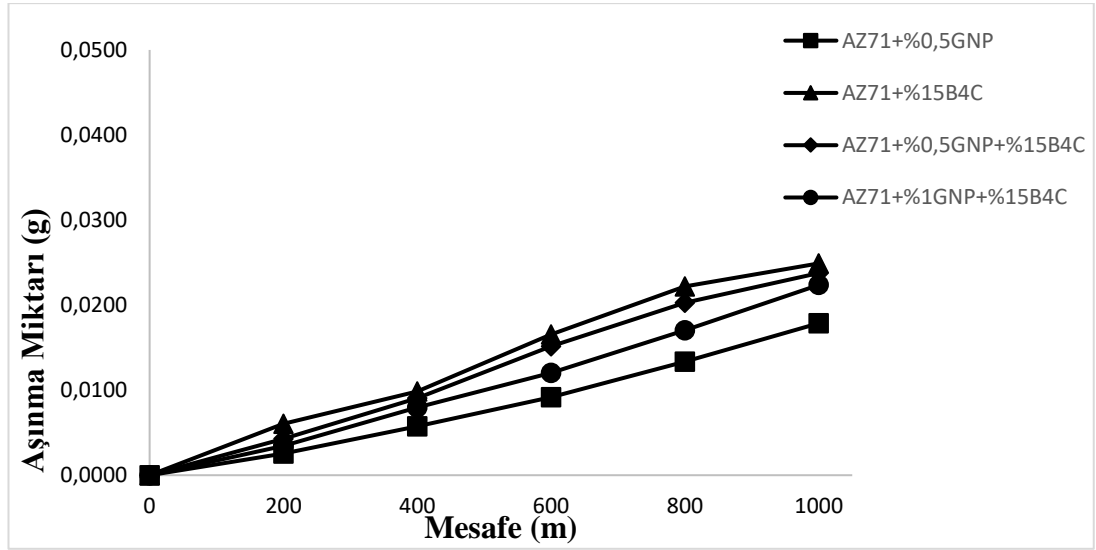
4.4.1. Kuru Aşınma Deneyi Sonuçları

Şekil 4.16'da AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%15 B4C, AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C ve AZ71+%1 GNP+%15 B4C kompozitlerinin 1000 m kuru sürtünme testinde mesafeye göre ağırlık kayıpları sunulmaktadır.

Şekil 4.16'da kuru aşınma grafiğinden görüldüğü gibi 1000 m mesafede en fazla ağırlık kaybı, AZ71+%15 B4C alaşımında 0.0249 gr olarak gerçekleşmiştir. AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C alaşımında ağırlık kaybı 0.0238 gr olmuştur. AZ71+%1 GNP+%15 B4C alaşımında ağırlık kaybı 0.0224 olarak gerçekleşmiştir. 1000 m mesafede en az ağırlık kaybı AZ71+%0,5 alaşımında 0.0179 gr olarak gözlemlenmiştir. Buna göre B4C ilave edilmiş AZ71'de ağırlık kaybı 1.39 kat daha

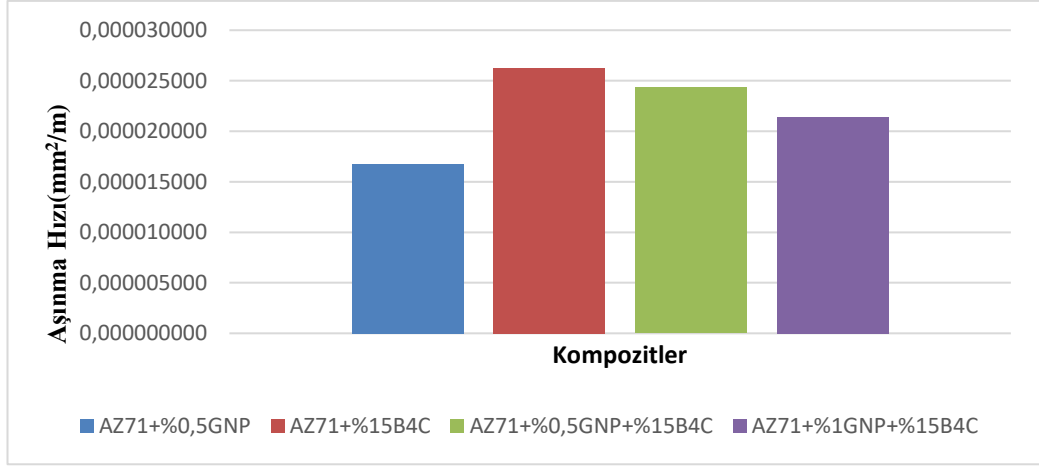
fazladır. Şekil 4.12'ye bakıldığında GNP takviyeli kompozit malzemenin aşınma kaybının B4C takviyeli alaşıma göre daha az olması dikkat çekicidir. Sonuçlar göz önüne alındığında Şekil 4.13'de kompozitlerin aşınma hızı aşınma miktarı grafiğiyle doğru orantıdadır.

Literatür [65] incelendiğinde B4C takviyeli kompozitlerin aşınma kayıplarını GNP takviyesine göre arttırdığı görülmektedir. Kuru aşınma testi sonuçları, %0,5 GNP eklenmesinin, %15 B4C eklenmesinden daha etkili olduğunu göstermektedir. Tek başına büyük miktarlarda B4C eklenmesi, kompoziti kırılgan hale getirdiği ve aşınma direncini azalttığı düşünülmektedir. Grafenin yüksek aşınma direnci, katı yağlama özelliği göstererek deneyler sırasında sürtünme katsayısını düşürür ve bununla birlikte aşınma kayıplarını da azaltır. Sathis ve ark. [66] incelendiğinde %5 oranına kadar B4C kullanılması aşınma davranışını düzeltirken B4C oranı arttırıldıkça aşınma davranışını kötü etkilediği görülmektedir.



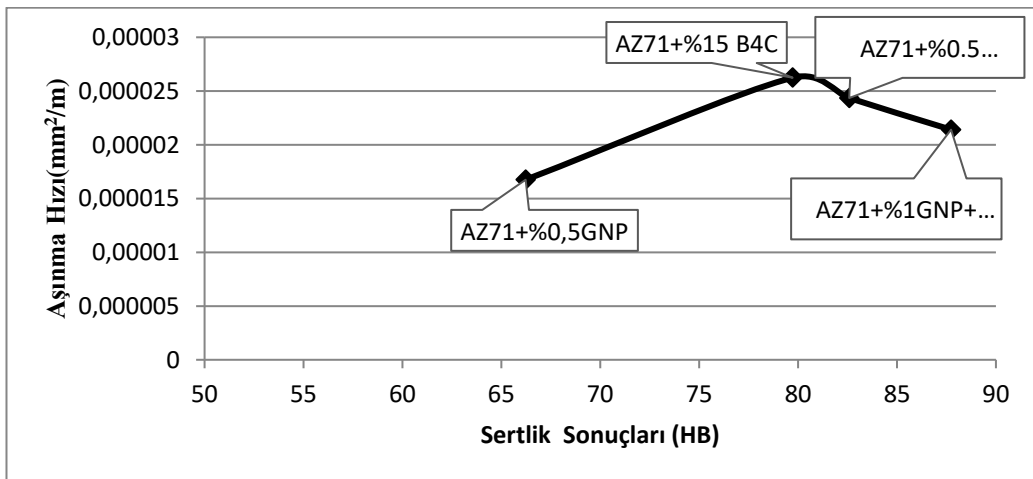
Şekil 4.12. Kuru Aşınma Deneyinde 1000 m mesafeye göre aşınma kayıpları.

Şekil 4.13 incelendiğinde en çok aşınma hızı gösteren kompozitin $0.000026236 \text{ mm}^2/\text{m}$ AZ71+%15 B4C olduğu görülmektedir. AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C alaşımında aşınma hızı $0.000024345 \text{ mm}^2/\text{m}$ olmuştur. AZ71+ %1 GNP+%15 B4C B4C alaşımında aşınma hızı $0.000021406 \text{ mm}^2/\text{m}$ olarak gerçekleşmiştir. En az aşınma hızı AZ71+%0,5 alaşımında $0.000016755 \text{ mm}^2/\text{m}$ olarak gözlemlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde aşınma hızı grafiği desteklenir niteliktedir.



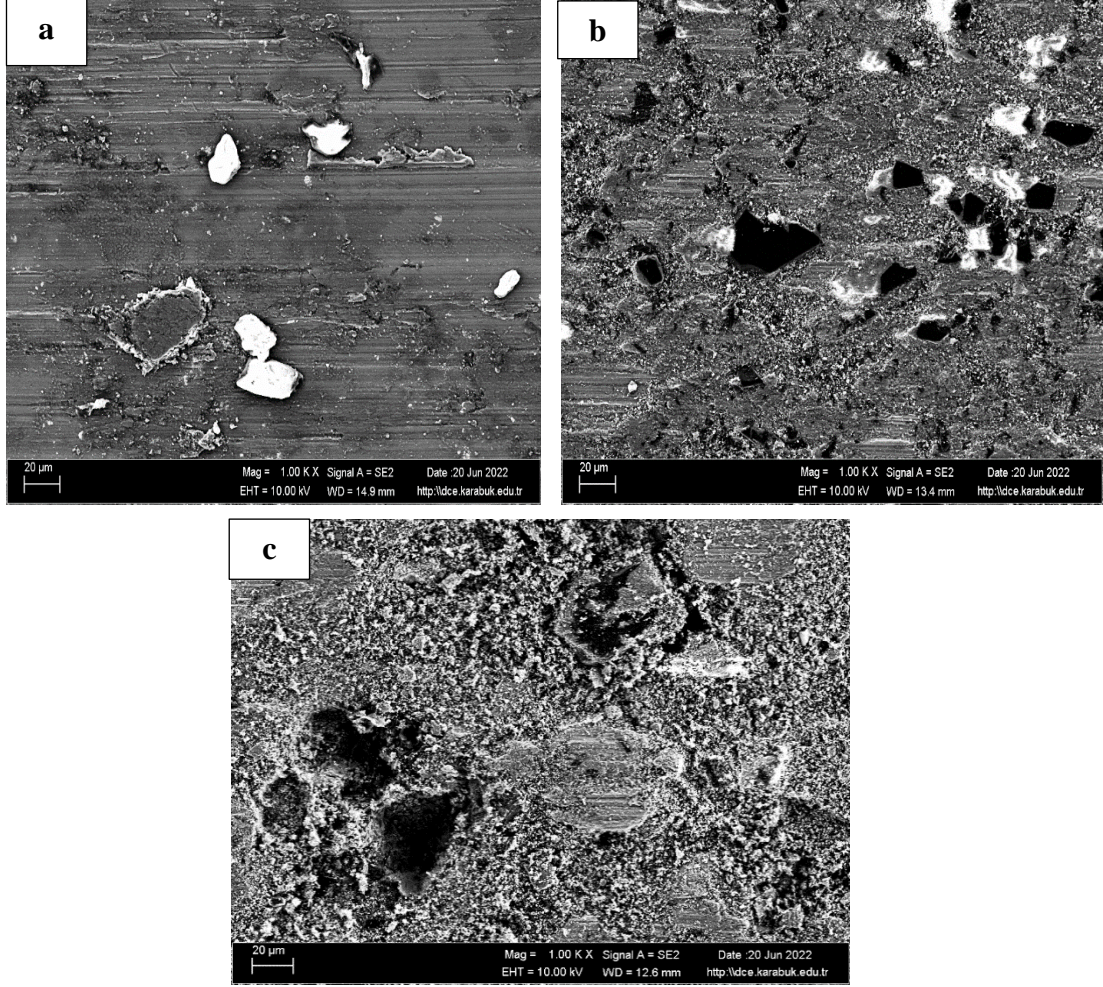
Şekil 4.13. Kuru Aşınma Deneyinde Kompozitlerin aşınma hızı değerleri.

Şekil 4.14 incelendiğinde kuru aşınma kompozitlerin aşınma hızı ve sertlik sonuçları kıyaslaması grafiğinde AZ71+%0,5GNP ve %15B4C kompozitinin aşınma hızı ve sertlik sonuçları karşılaştırıldığında sertlik arttıkça aşınma hızının arttığı gözlemlenmiştir. B4C takviyesine GNP ilavesi yapıldığında maksimum aşınma hızı elde edilir. Bunun sonucunda aşınma hızı grafikleri ve sertlik değerleri incelendiğinde GNP ilavesiyle birlikte B4C takviyesinde kopmaların ve kırılmaların meydana geldiği gözlemlenmiştir. AZ71+%0.5 GNP ilave edilmiş kompozitin yağlayıcı etkisinden kaynaklandığı AZ71+%15 B4C sertliğinin artmasının topaklanma eğiliminin yanı sıra aşınma sırasında B4C takviyesinin kırılmasından kaynaklandığını düşünülmektedir.



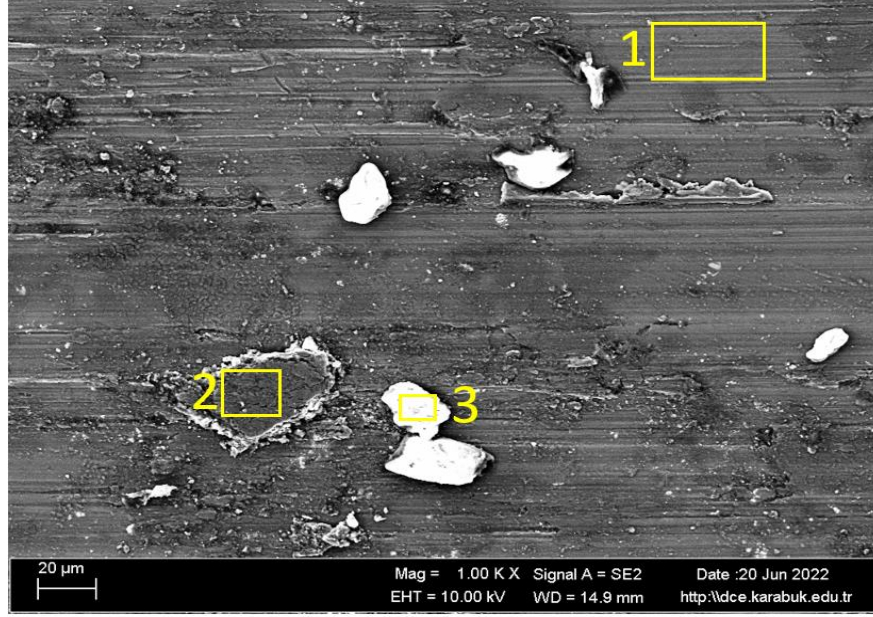
Şekil 4.14. Kuru Aşınma Kompozitlerin Aşınma Hızı ve Sertlik Sonuçları Kıyaslaması.

4.4.1.1. Kuru Aşınma Deneyi SEM ve EDX Sonuçları



Şekil 4.15. Kuru Aşınma Deneyi yapılmış AZ71+%0.5 GNP (a), AZ71+%15 B4C (b), AZ71+%1 GNP+ %15 B4C (c) Alaşımların 1kX SEM görüntüleri.

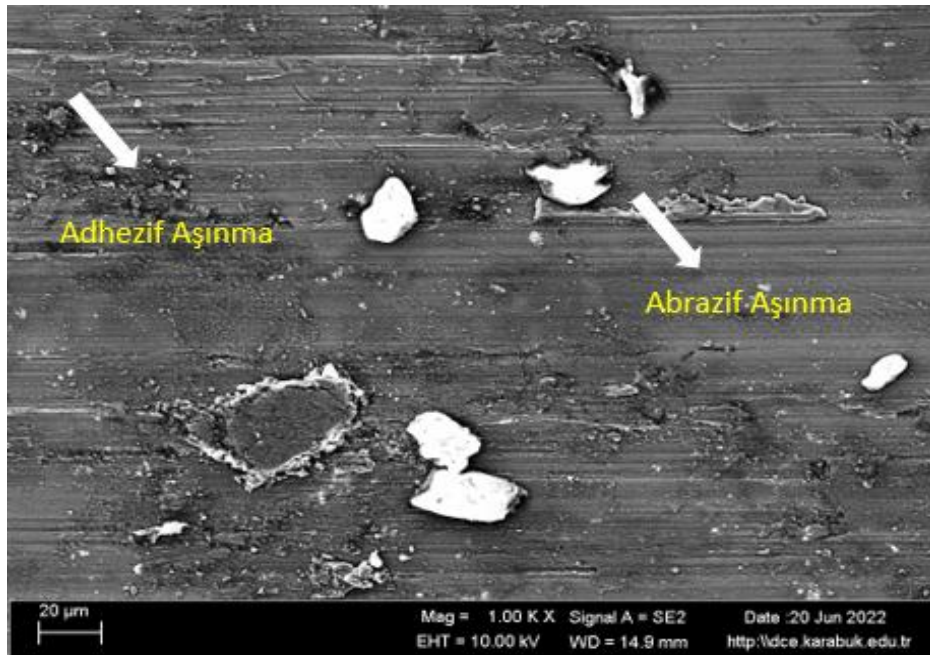
Şekil 4.16'de AZ71+%0.5 GNP kompozitinin kuru aşınma sonrası SEM görüntülerine yer verilmiştir. Şekil 4.17 incelendiğinde AZ71+%0.5 GNP kompozitinin aşınmış yüzeyinde hafif abrasif aşınma hakim olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.16'da yapıda oksijenin varlığı EDX analiziyle kanıtlanmıştır. Koyu olan 2 nolu bölgelerin MgO ve 3 nolu bölgelerde Çizelge 4.5'te görüldüğü üzere yüksek grafen ve oksijen oranı tespit edilmiştir. Dolayısıyla aşınma sonrası indirgenmiş grafen oksit (rGo) partiküllerinin mevcut olduğu söylenebilir. Dolayısıyla yüzeyden aşınan GNP partikülleri tekrar yüzeye yapışarak malzemenin aşınma karakteristiğine etki yaptığı görülmüştür.



Şekil 4.16. AZ71+%0.5 GNP kompozit malzemesinin aşınmış yüzeyinin 1kX SEM görüntüsü.

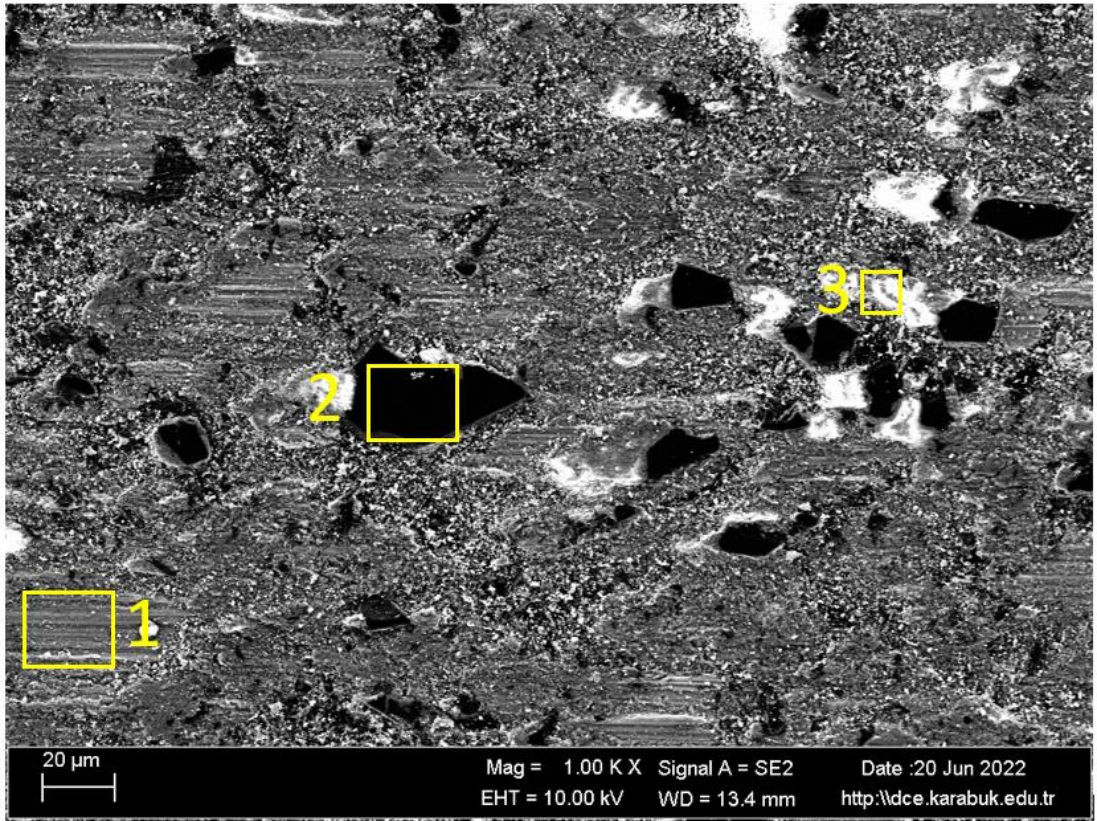
Çizelge 4.5. Şekil 4.16’da AZ71+%0.5 GNP için seçilmiş bölgelerin EDX analizi.

Spektrum	C	O	Mg	Al	Zn	Nd	Gd
1	1.35	2.00	66.32	3.44	1.15	0.35	25.38
2	3.99	24.78	48.22	2.87	1.16	0.46	18.52
3	52.89	34.21	2.68	0.69	7.74	0.00	1.78



Şekil 4.17. AZ71+%0.5 GNP kompozit malzemesinin aşınmış adhezif-abrazif yüzeylerinin 1 kX SEM görüntüsü.

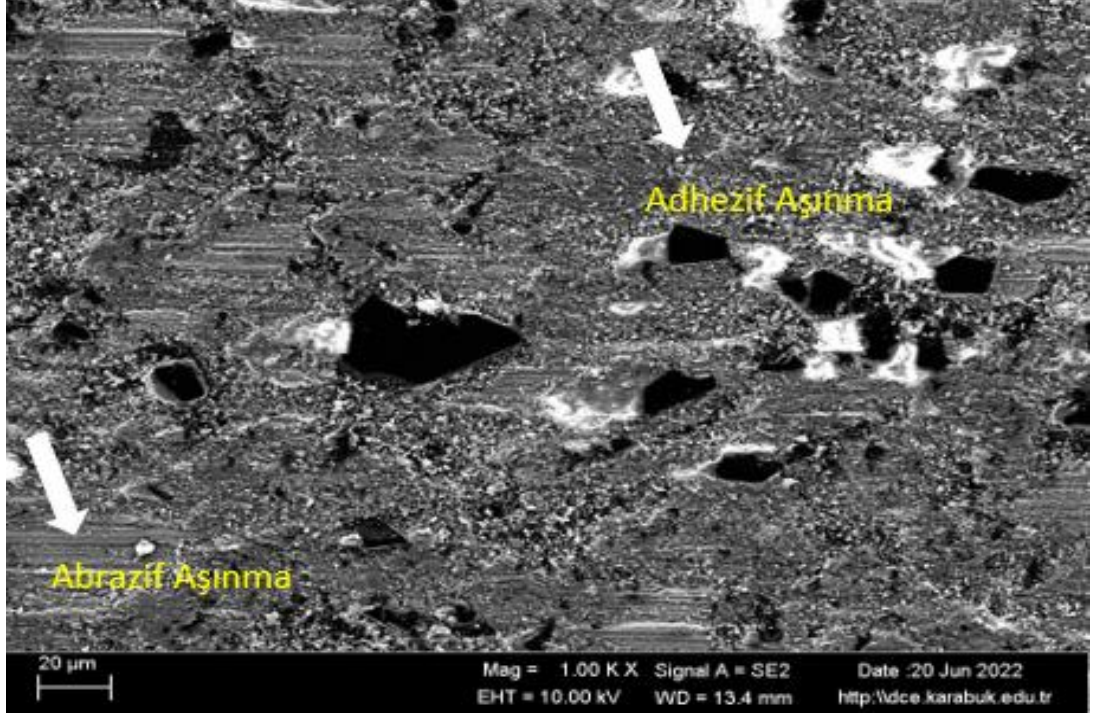
Şekil 4.18’de AZ71+%15 B4C kompozitinin kuru aşınma sonrası SEM görüntülerine yer verilmiştir. Şekil 4.19 incelendiğinde AZ71+%15 B4C kompozitinin aşınmış yüzeyinde adhezif aşınma hâkim olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.18’de AZ71+%15 B4C kompozitinin kuru aşınma yüzeyinde koyu olan 2 nolu bölgenin aşınma davranışından dolayı kopan B4C takviyesi olduğu EDX sonucuna göre (Çizelge 4.6.) kanıtlanmaktadır. Şekil 4.18’de 3 no ile gösterilen beyaz parlak bölgede yüksek Mg ve O bulunmaktadır. Dolayısıyla MgO partiküllerinin mevcut olduğu değerlendirilmektedir.



Şekil 4.18. AZ71+%15 B4C kompozit malzemesinin aşınmış yüzeyinin 1kX SEM görüntüsü.

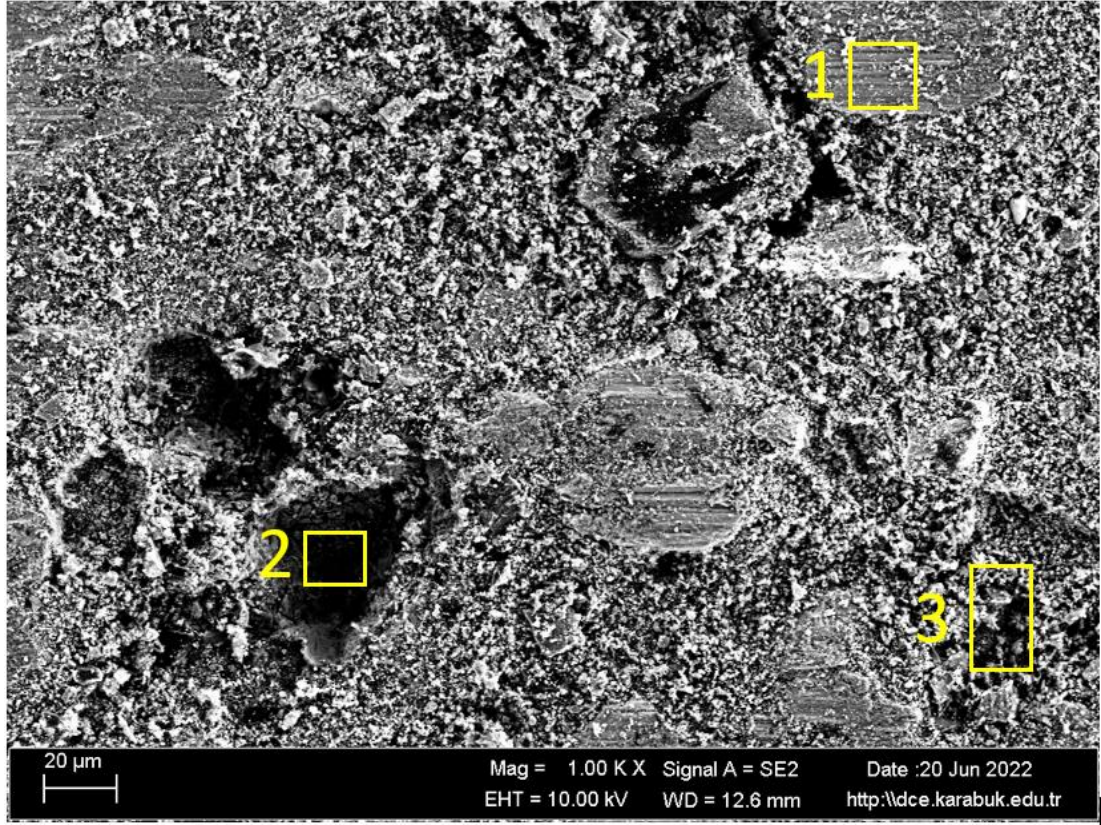
Çizelge 4.6. Şekil 4.18’de AZ71+%15 B4C için seçilmiş bölgelerin kimyasal analizi.

Spektrum	B	C	O	Mg	Al	Zn	Nd	Gd
1	2.70	1.30	3.17	61.67	6.67	1.06	0.04	23.38
2	82.44	16.50	0.38	0.13	0.10	0.09	0.12	0.24
3	9.36	2.69	35.71	33.73	3.93	0.77	0.00	13.81



Şekil 4.19. AZ71+%15 B4C kompozit malzemesinin aşınmış adheziif-abrazif yüzeylerinin 250 X SEM görüntüsü.

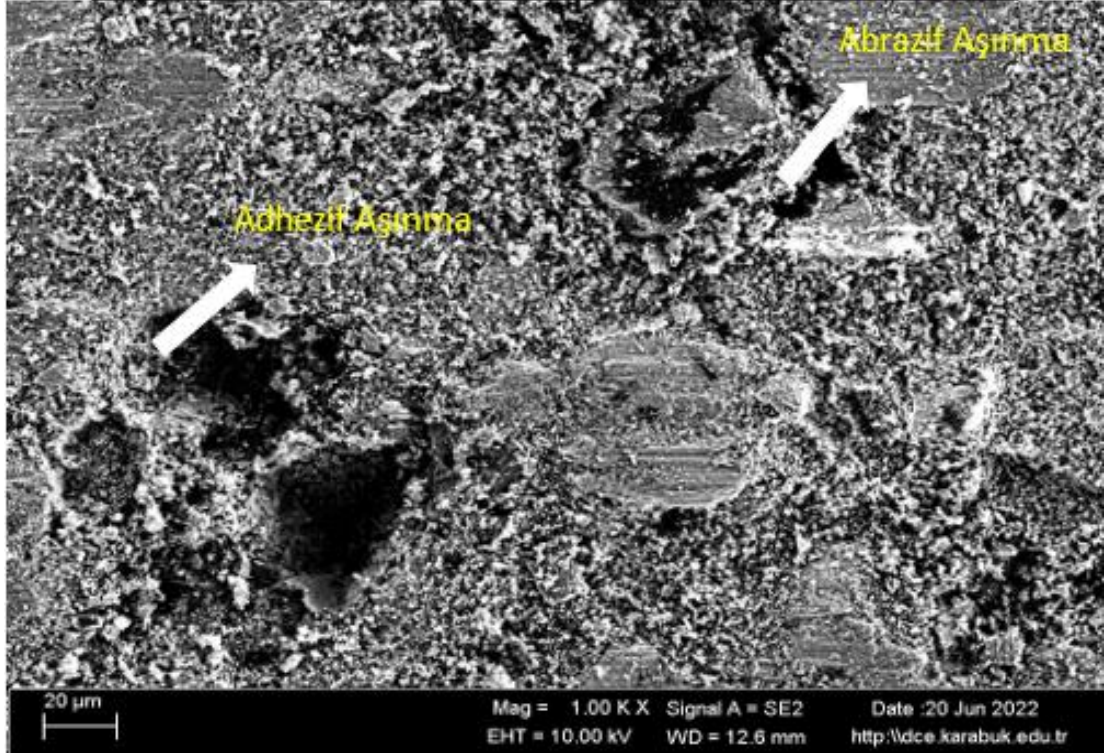
Şekil 4.20’de AZ71+%1GNP+%15 B4C kompozitinin kuru aşınma sonrası SEM görüntülerine yer verilmiştir. Şekil 4.21 incelendiğinde AZ71+%1GNP+%15 B4C kompozitinin aşınmış yüzeyinde adheziif aşınma hakim olduğu gözlemlenmiştir. Yapışmalı aşınma olarak adlandırılan bu tür aşınmalar genellikle temas yüzeyi ile karşıt malzeme arasındaki sürtünme esnasında bilyeden partiküllerin numune yüzeylerine yapışması gerçekleşmektedir. Şekil 4.20’de yapıda oksijenin varlığı EDX analiziyle kanıtlanmıştır. 1 nolu bölgenin fazlaca Mg içermesinden dolayı ana matrisi gösterdiği gözlemlenebilir. Şekil incelendiğinde AZ71+%1 GNP+%15B4C kompozitin aşınan yüzeyinde EDX analizleri yapılmış ve yüksek oranda C içerdiği (2 nolu bölge) tespit edilmiştir. Elementel C içeriğinin daha yüksek çıkması partiküllerin tamamen kırılıp matris içinden çıkması ve gevrek bir arayüzey oluşturarak yüzeyin çatlak oluşumuyla aşınma sergilemesinden kaynaklanmaktadır. Geniş alana dağılmış olan B4C’den kaynaklanan C kopması sonucu yapışma olayı gerçekleştiği için aşınma hızı artmaktadır. 3 numaralı bölgelerde yüksek Mg ve O içeriğinden dolayı kalın MgO tabakasının yüzeyde oluşması ağırlık kaybının artmasına neden olmuştur. Çizelge 4.7. incelendiğinde 4 ve 5 nolu bölgelerde MgO partiküllerinin mevcut olduğu söylenebilir.



Şekil 4.20. AZ71+%1GNP+%15 B4C kompozit malzemesinin aşınmış yüzeyinin 1kX SEM görüntüsü.

Çizelge 4.7. Şekil 4.20’de AZ71+%1GNP+%15 B4C için seçilmiş bölgelerin kimyasal analizi.

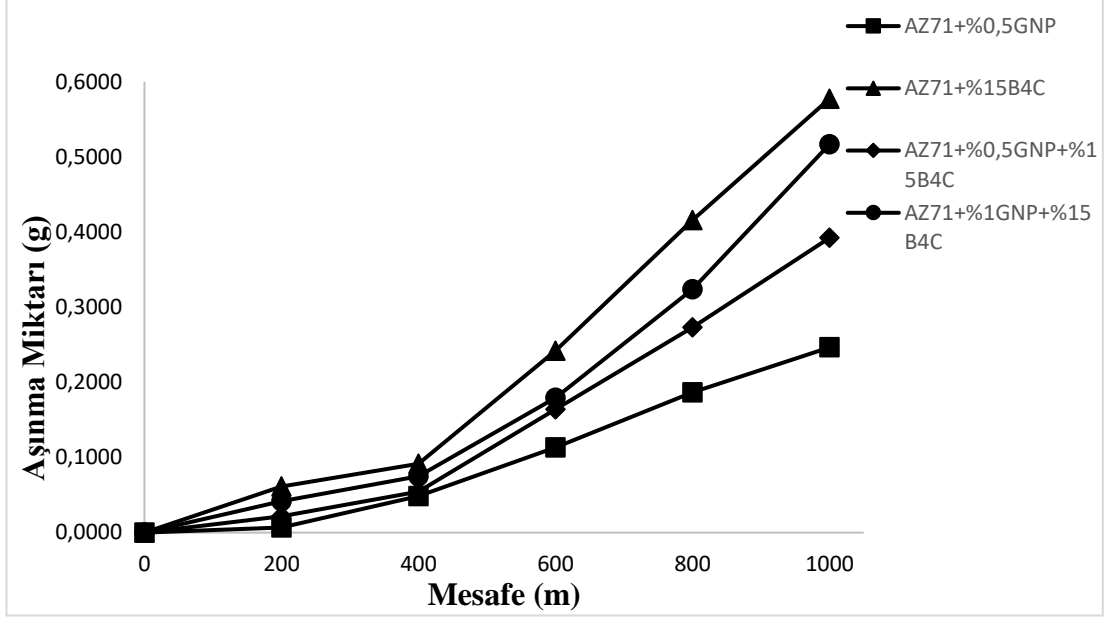
Spektrum	B	C	O	Mg	Al	Zn	Nd	Gd
1	3.20	1.08	3.00	62.02	4.83	2.40	0.00	23.47
2	29.56	41.52	13.39	10.15	0.00	0.00	1.50	3.88
3	27.05	8.87	21.07	28.93	2.41	0.66	0.00	11.01



Şekil 4.21. AZ71+%1 GNP+%15 B4C kompozit malzemesinin aşınmış adhezif-abrazif yüzeylerinin 250 X SEM görüntüsü.

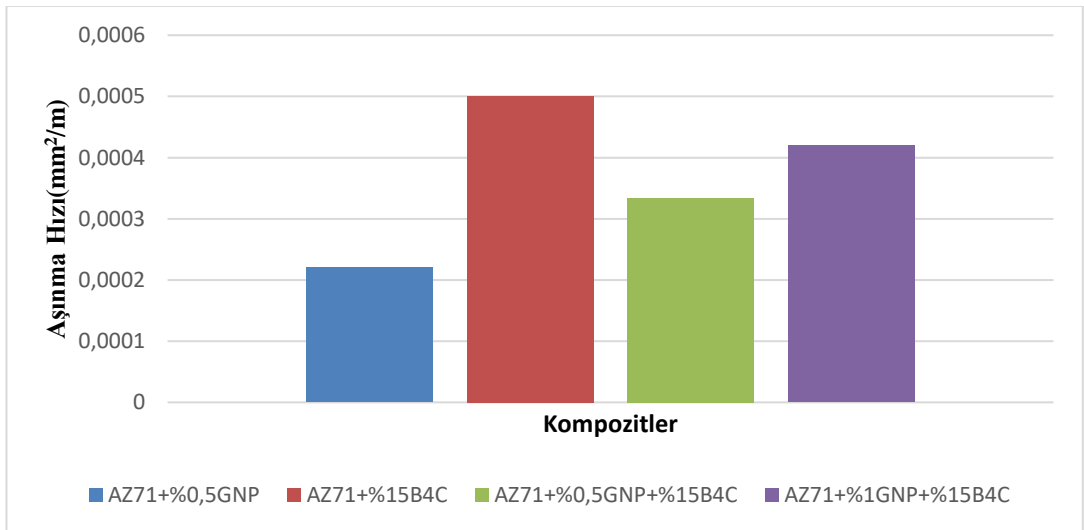
4.4.2. %3.5 NaCl Çözeltili Aşınma Deneyi Sonuçları

Şekil 4.22’de AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%15 B4C, AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C ve AZ71+%1 GNP+%15 B4C alaşımlarının 1000 m %3.5 NaCl çözeltili aşınma testinde mesafeye göre ağırlık kayıpları sunulmaktadır. Şekil 4.22.’de çözeltili aşınma grafiğinde görüldüğü gibi 1000 m mesafede en fazla ağırlık kaybı, AZ71+%15 B4C alaşımında 0.577 gr olarak gerçekleşmiştir. AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C alaşımında ağırlık kaybı 0.392 gr olmuştur. AZ71+ %1 GNP+%15 B4C alaşımında ağırlık kaybı 0.516 olarak gerçekleşmiştir. 1000 m mesafede en az ağırlık kaybı AZ71+%0,5 alaşımında 0.246 gr olarak gözlemlenmiştir. Buna göre B4C ilave edilmiş AZ71’de ağırlık kaybı 2.35 kat daha fazladır. Şekil 4.22 ve Şekil 4.23’e bakıldığında kuru aşınma grafiğinde ve Aşınma hızı grafiğinde olduğu gibi GNP takviyeli kompozit malzemenin aşınma kaybının B4C takviyeli alaşıma göre daha az olması dikkat çekici ve kuru aşınma miktarı grafiğini (Şekil 4.12.) ve Aşınma hızı grafiğini (Şekil 4.13) destekler niteliktedir.



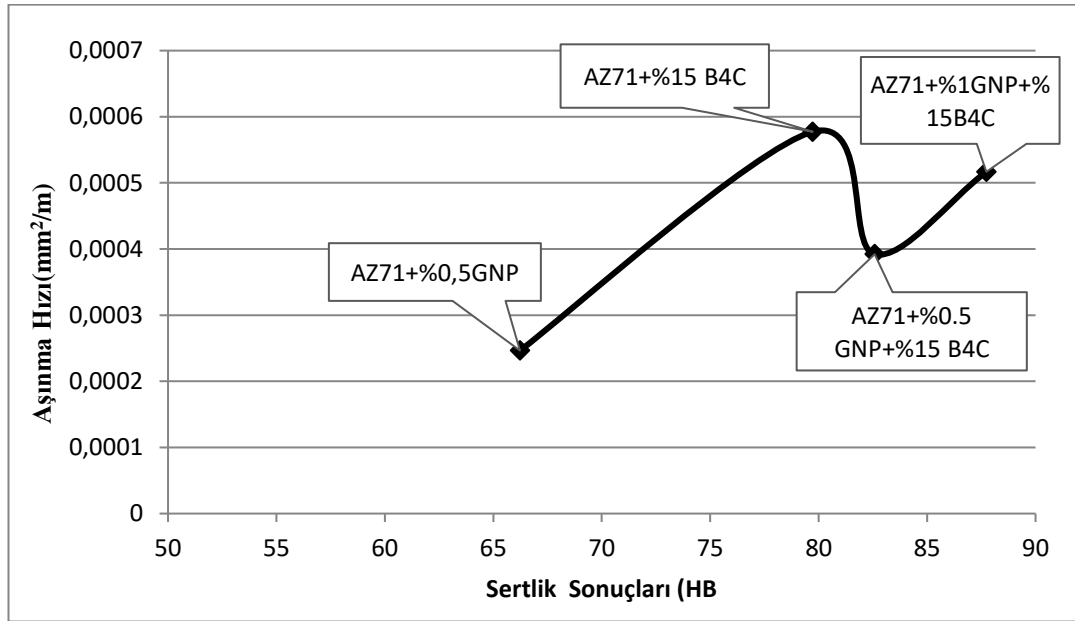
Şekil 4.22. %3.5 NaCl Çözeltili Aşınma Deneyinde 1000 m mesafeye göre aşınma kayıpları.

Şekil 4.23. incelendiğinde en çok aşınma hızı gösteren kompozitin $0.00050043 \text{ mm}^2/\text{m}$ AZ71+%15 B4C olduğu görülmektedir. AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C alaşımında aşınma hızı $0.000334188 \text{ mm}^2/\text{m}$ olmuştur. AZ71+ %1 GNP+%15 B4C B4C alaşımında aşınma hızı $0.0004198 \text{ mm}^2/\text{m}$ olarak gerçekleşmiştir. En az aşınma hızı AZ71+%0,5 alaşımında $0.000220306 \text{ mm}^2/\text{m}$ olarak gözlemlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde aşınma hızı grafiği desteklenir niteliktedir.



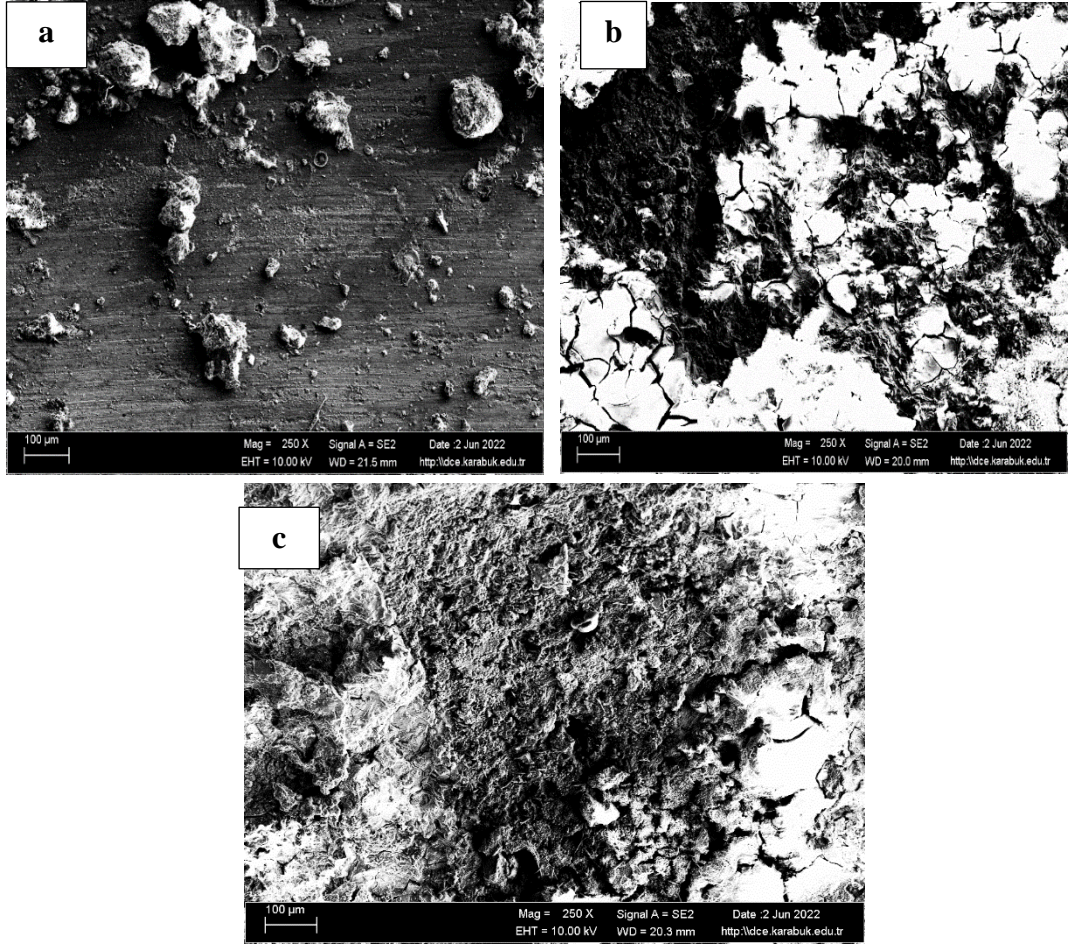
Şekil 4.23. %3.5 NaCl Çözeltili Aşınma Deneyinde Kompozitlerin aşınma hızı değerleri.

Şekil 4.24 incelendiğinde kuru aşınma kompozitlerin aşınma hızı ve sertlik sonuçları kıyaslaması grafiğinde AZ71+%15 B4C kompozitinin aşınma galvanik eşleşmeden dolayı arttığı görülmektedir. Grafendeki benzeri bor karbürün çözünmesinden dolayı bir miktar korozyon hızının arttığı grafiğe göre yorumlanabilir. AZ71+%1GNP+15B4C kompoziti incelendiğinde bu sefer daha fazla galvanik eşleşme meydana gelmiştir. Daha fazla grafen ilavesi durumunda galvanik eşleşmeden dolayı korozyon hızında daha fazla korozyon meydana gelmiştir.



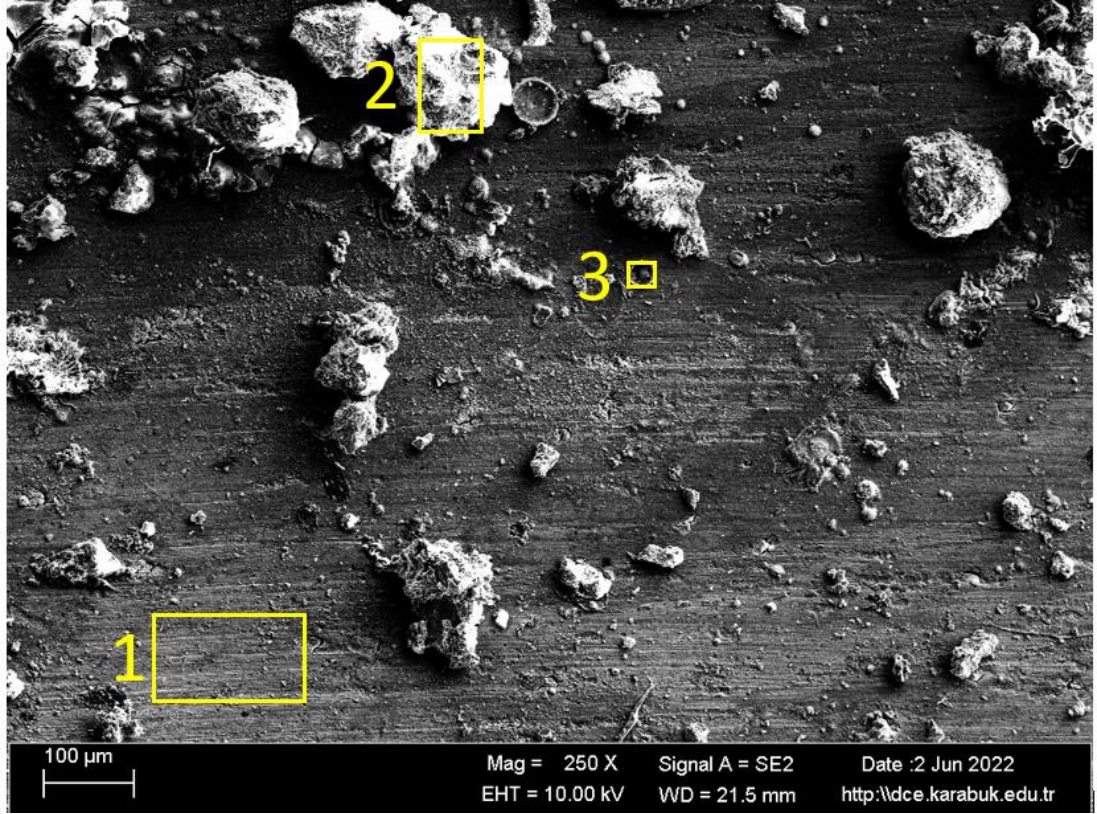
Şekil 4.24. %3.5 NaCl Çözelttili Aşınma Kompozitlerin Aşınma Hızı ve Sertlik Sonuçları Kıyaslaması.

4.4.2.1. %3.5 NaCl Çözelttili Aşınma ve EDX Sonuçları



Şekil 4.25. %3.5 NaCl Çözelttili Aşınma Deneyi yapılmış AZ71+%0.5 GNP (a), AZ71+%15 B4C (b), AZ71+%1 GNP+ %15 B4C (c) Alaşımların 250X SEM görüntüleri.

Şekil 4.26'da AZ71+%0.5 GNP kompozitinin %3.5 NaCl çözelttili aşınma sonrası SEM görüntülerine yer verilmiştir. Şekil 4.27'de AZ71+%0.5 GNP kompozitinin aşınmış yüzeyinde hafif abrazyif aşınmanın hakim olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.26'da yapıda oksijenin varlığı EDX analiziyle kanıtlanmıştır. 1 nolu bölgenin fazlaca Mg içermesinden dolayı ana matrisi gösterdiği gözlemlenmiştir. Çizelge 4.8. incelendiğinde belirli bölgelerde MgO partiküllerinin mevcut olduğu söylenebilir.

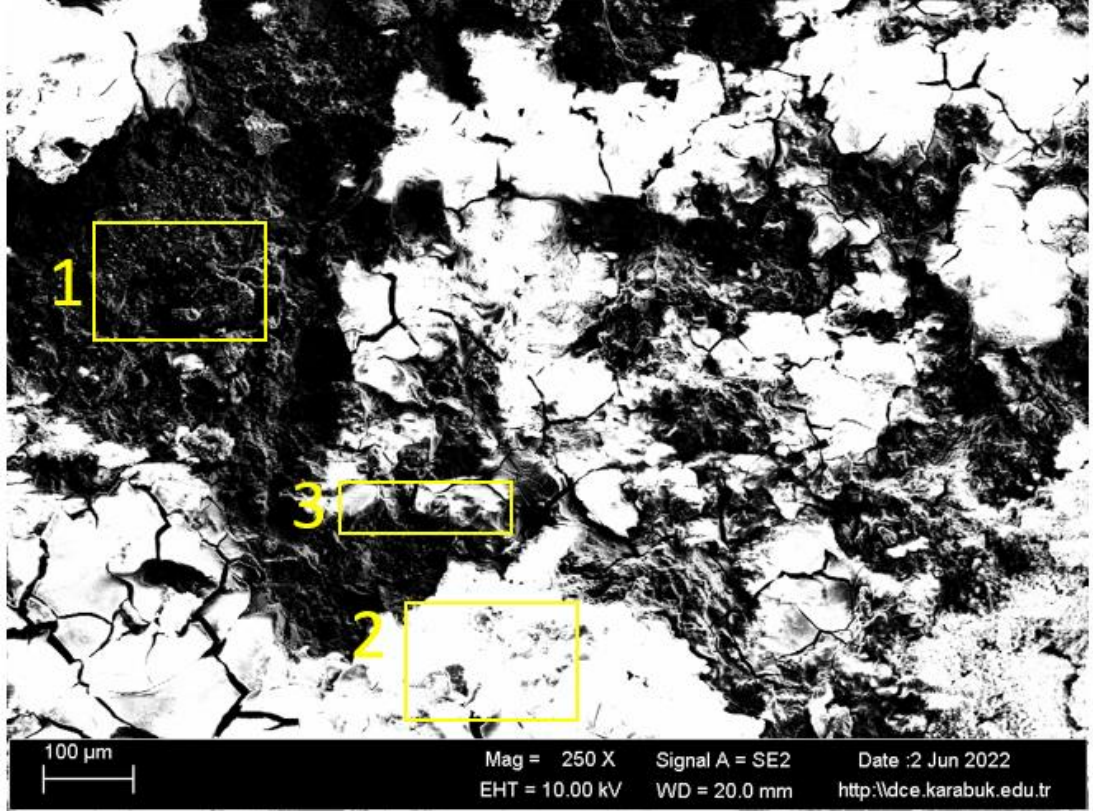


Şekil 4.26. AZ71+%0.5 GNP kompozit malzemesinin aşınmış yüzeyinin 250X SEM görüntüsü.

Çizelge 4.8. Şekil 4.26’da AZ71+%0.5 GNP için seçilmiş bölgelerin EDX analizi.

Spektrum	C	O	Mg	Al	Cr	Fe	Zn	Nd	Gd
1	5.36	13.79	57.58	4.92	0.00	0.00	1.39	0.00	16.96
2	5.64	40.77	30.46	2.58	0.26	0.17	1.57	2.87	15.67
3	6.30	35.84	36.36	1.99	0.74	1.55	1.32	1.34	14.56

Şekil 4.27’de AZ71+%15 B4C kompozitinin %3.5 NaCl çözeltisi aşınma sonrası SEM görüntülerine yer verilmiştir Şekil 4.27’de yapıda oksijenin varlığı EDX analiziyle kanıtlanmıştır. 6 nolu bölgenin fazlaca B içermesinden dolayı takviye matrisini gösterdiği gözlemlenebilir. Çizelge 4.9. incelendiğinde %3.5 NaCl çözeltisinden dolayı numunenin genelinde MgO partiküllerinin mevcut olduğu söylenebilir.

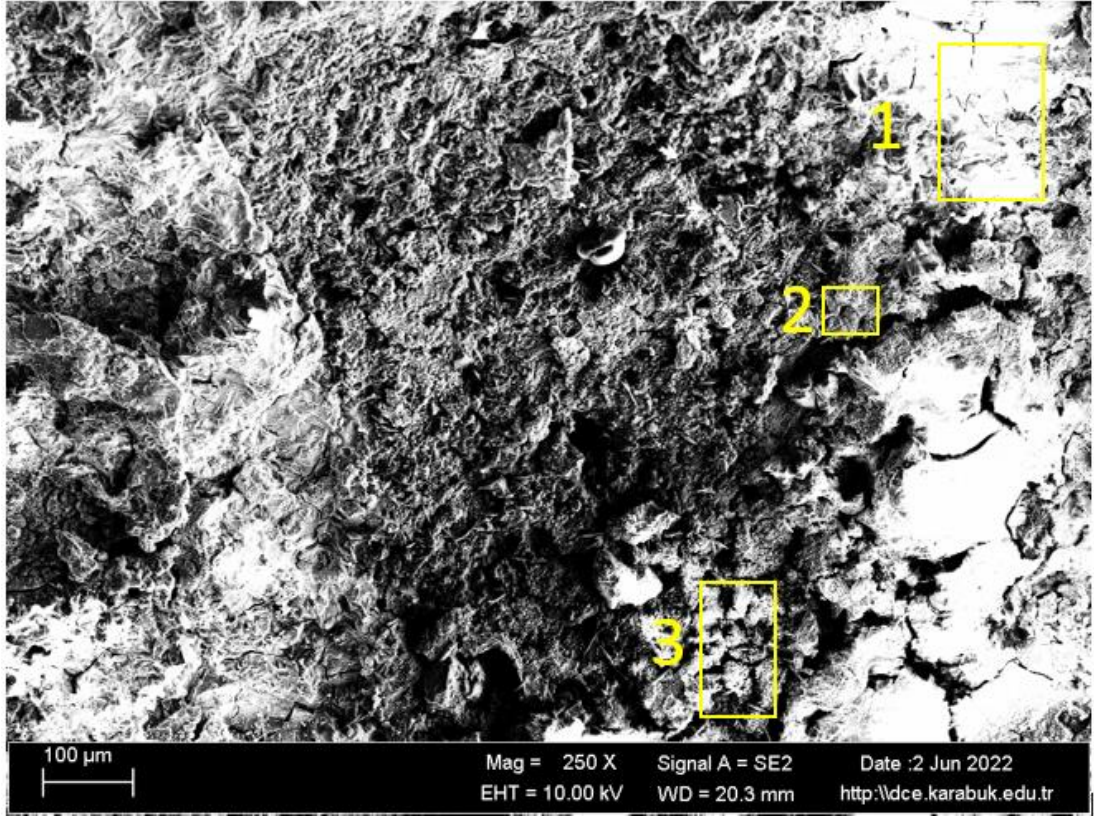


Şekil 4.27. AZ71+%15 B4C kompozit malzemesinin aşınmış yüzeyinin 250X SEM görüntüsü.

Çizelge 4.9. Şekil Şekil 4.27’de AZ71+%15 B4C için seçilmiş bölgelerin kimyasal analizi.

Spektrum	B	C	O	Mg	Al	Cr	Fe	Zn	Nd	Gd
1	6.82	4.98	49.58	28.88	1.61	0.00	0.00	1.11	0.00	7.02
2	4.78	6.52	48.15	27.84	1.37	0.00	0.52	0.65	0.00	10.18
3	6.24	5.36	47.97	26.87	2.03	0.21	1.03	0.73	0.00	9.56

Şekil 4.28’de AZ71+%1GNP+%15 B4C kompozitinin %3.5 NaCl çözeltili aşınma sonrası SEM görüntülerine yer verilmiştir. Şekil 4.28’de yapıda oksijenin varlığı EDX analiziyle kanıtlanmıştır.1-6 arasındaki EDX sonuçlarında fazlaca Magnezyum ve Oksijen varlığına rastlanmıştır. Bu sonuçlara göre Çizelge 4.10. incelendiğinde 1-6 arasındaki bölgelerde MgO partiküllerinin mevcut olduğu söylenebilir.



Şekil 4.28. AZ71+%1 GNP+%15 B4C kompozit malzemesinin aşınmış yüzeyinin 250X SEM görüntüsü.

Çizelge 4.10. Şekil 4.28’de AZ71+%1 GNP+%15 B4C için seçilmiş bölgelerin kimyasal analizi.

Spektrum	B	C	O	Mg	Al	Cr	Fe	Zn	Nd	Gd
1	0.00	4.35	50.68	32.11	1.15	0.00	0.00	0.11	0.00	11.60
2	5.90	5.06	47.58	27.53	1.44	0.00	0.00	0.86	0.21	11.42
3	5.63	4.41	46.44	28.57	0.92	0.42	1.25	1.28	0.77	10.30

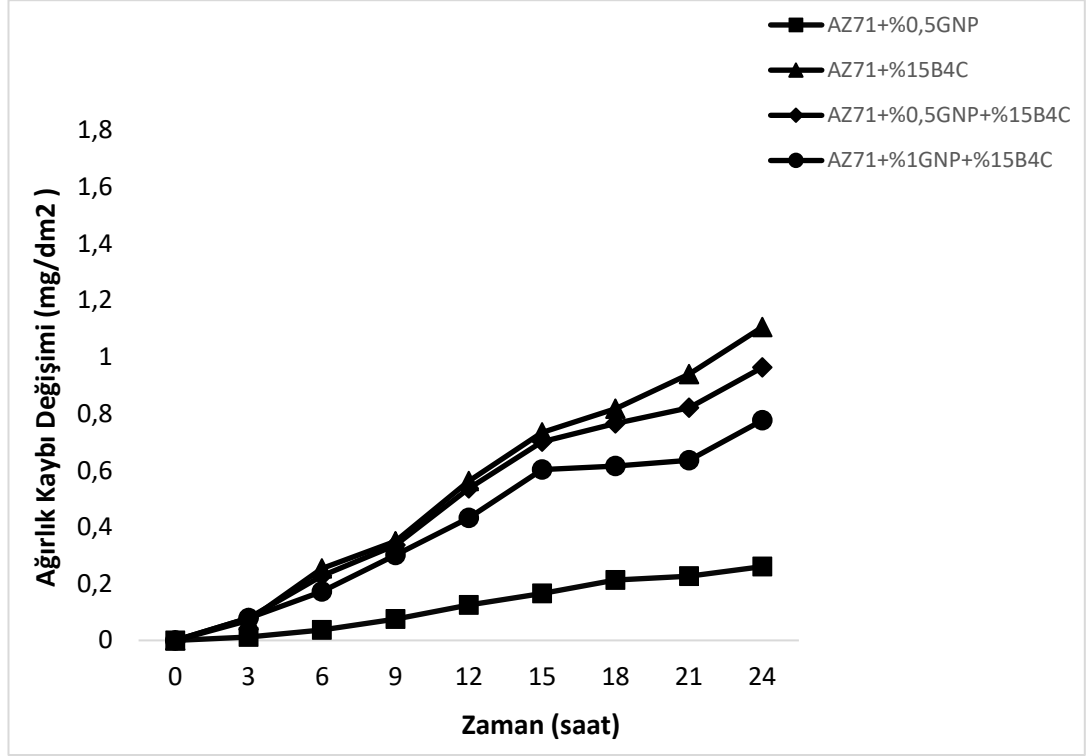
4.5. KOROZYON TESTİ SONUÇLARI

4.5.1. Daldırma Testi Sonuçları

Ekstrüzyon sonrasında elde edilen kompozitlerden yapılan daldırma korozyonu sonuçları Şekil 4.29 ve 4.30 ‘da verilmiş olup Alaşımın 24 saat sonrasında karşılaştırılmalı ağırlık kayıpları Şekil 4.34’te gösterilmiştir.

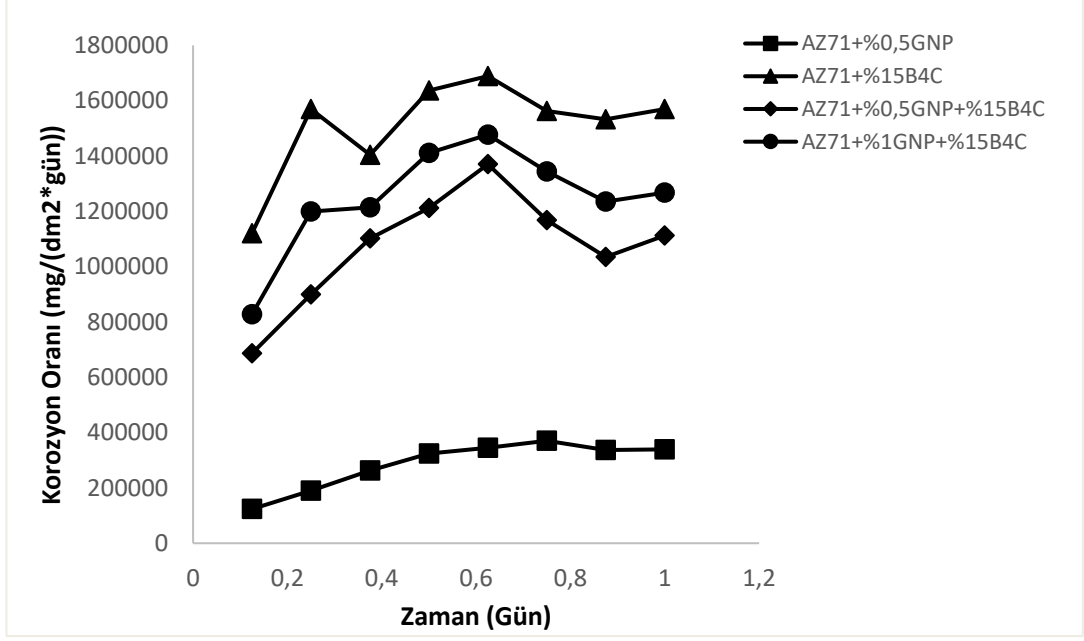
Şekil 4.29 ve Şekil 4.30 incelendiğinde GNP ilaveli kompozitler korozyon dayanımını arttırmıştır. Yalnızca B4C ilaveli kompozit numunesine göre GNP ilaveli

kompozitlerin korozif ortamda mükemmel direnç gösterdiği görülmektedir. J. Zhang ve arkadaşlarına göre GNP takviyesinin korozyon direncini arttırdığı bunun sebebinin yüzeyinde kompakt ve koruyucu bir etki sağlayan zengin bir tabakanın oluşmasıdır [67]. Bu koşullar göz önüne alındığında Şekil 4.30'da Çizelge incelendiğinde korozyon hızı grafiği de bu durumu desteklemektedir.



Şekil 4.29. AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%15 B4C, AZ71+%0.5 GNP+ %15 B4C ve AZ71+%1 GNP+ %15 B4C kompozitlerin daldırma korozyon deneyi ağırlık kaybı grafikleri.

Şekil 4.30'da görülmekte olan 24 saat süre için daldırma korozyon deneyi sonundaki AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%15 B4C, AZ71+%0.5 GNP+ %15 B4C ve AZ71+%1 GNP+ %15 B4C kompozitlerinin korozyon hızı değerleri incelendiğinde GNP ilaveli kompozitlerin B4C ilaveli kompozitlere oranla daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Bununla beraber GNP ilavesinin korozyon dayanımını iyileştirdiği gözlemlenmektedir. Korozyon hızı oranı en düşük olan AZ71+%0.5 GNP'dir. Buna oranla korozyon hızı AZ71+%15 B4C ilaveli kompozitin 4.62 kat, AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C ilaveli kompozitin 3.74 kat ve AZ71+%1 GNP+%15 B4C ilaveli numunenin 3.28 kat arttığı görülmektedir.

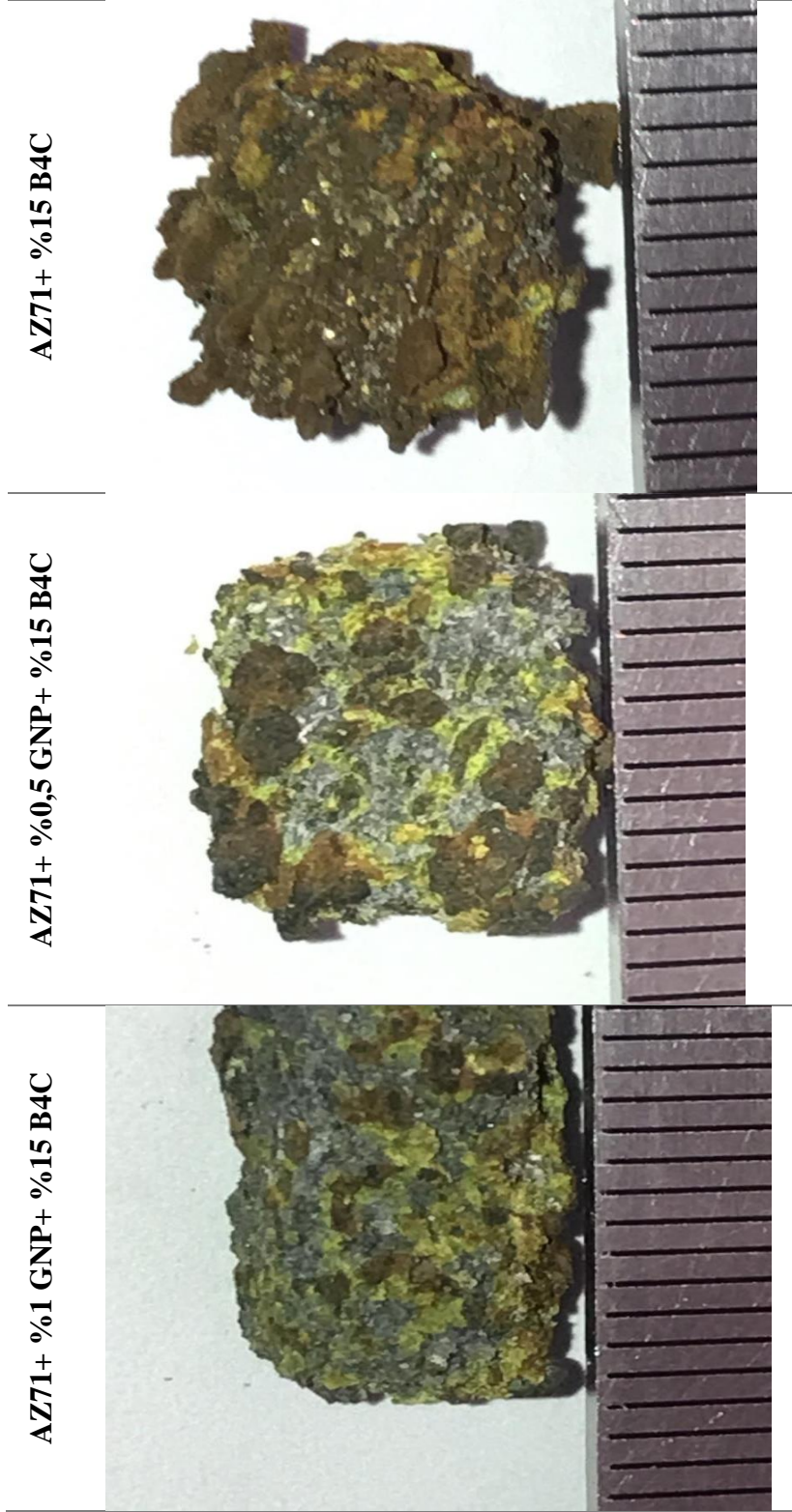


Şekil 4.30. AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%15 B4C, AZ71+%0.5 GNP+ %15 B4C ve AZ71+%1 GNP+ %15 B4C kompozitlerinin daldırma korozyon deneyi korozyon hızı grafikleri.

4.5.1.1. Daldırma Korozyonu Testi Makro Yüzey Görüntüleri

Ekstrüzyon işlemi sonrasında AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%15 B4C, AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C ve AZ71+%1 GNP+%15 B4C alaşımlarının daldırma korozyon sonrası makro yüzey görüntüleri Şekil 4.31'de gösterilmektedir. Makro yüzey görüntüleri incelendiğinde daldırma korozyon testi sonrasında %3.5 NaCl çözeltisine atılan alaşımlardan en çok yüzey kaybına uğramış olan kompozitin AZ71+%15B4C olduğu görülmektedir.

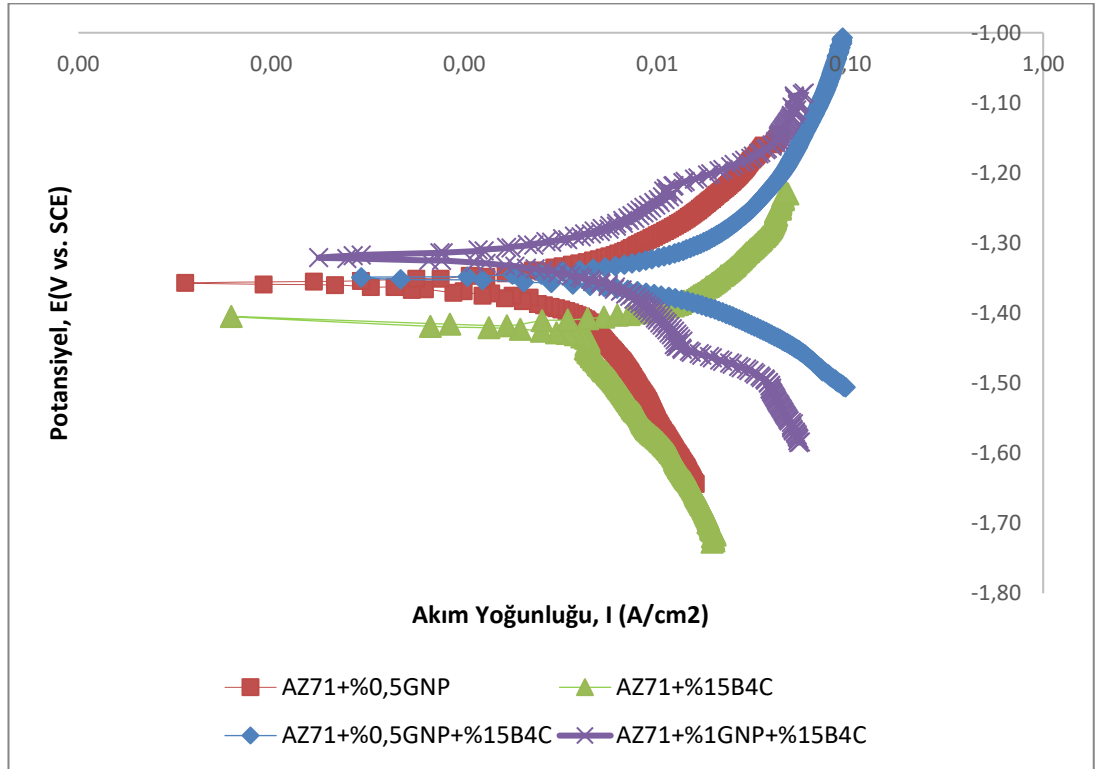




Şekil 4.31. Daldırma korozyon testi sonrası kompozitlerin yüzey görüntüleri.

4.5.2. Potansiyodinamik Polarizasyon Korozyonu Testi Sonuçları

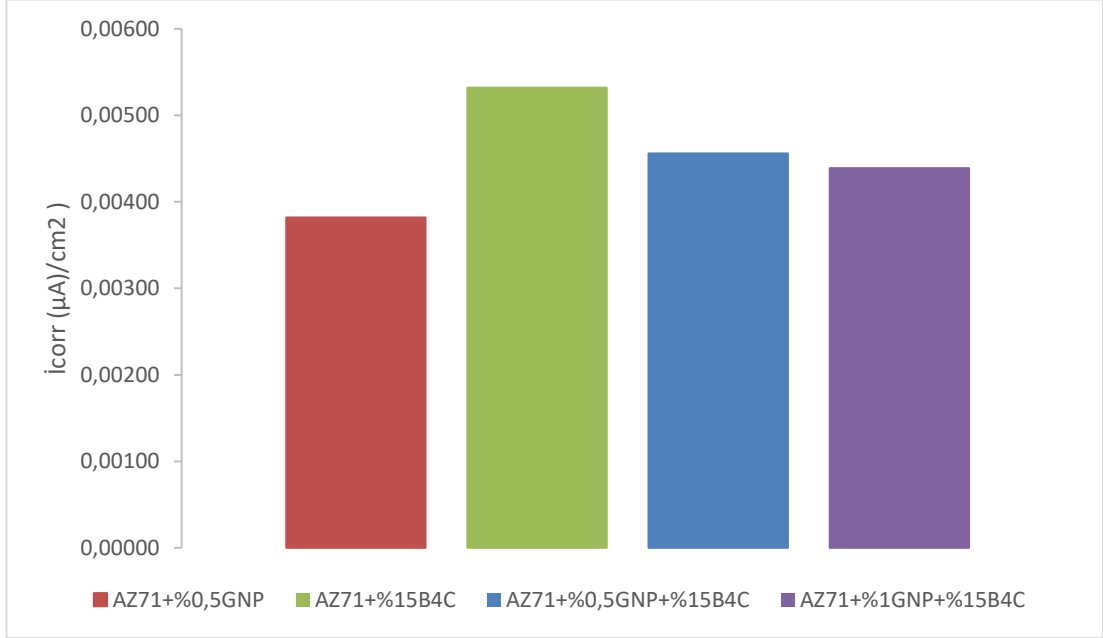
AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%15 B4C, AZ71+%1 GNP+ %15 B4C kompozitlerinin polarizasyon korozyonuna ait Tafel grafikleri Şekil 4.32’de gösterilmektedir. Şekil 4.32 incelendiğinde AZ71+%15 B4C daha düşük korozyon direnci gösterdiği saptanmıştır.



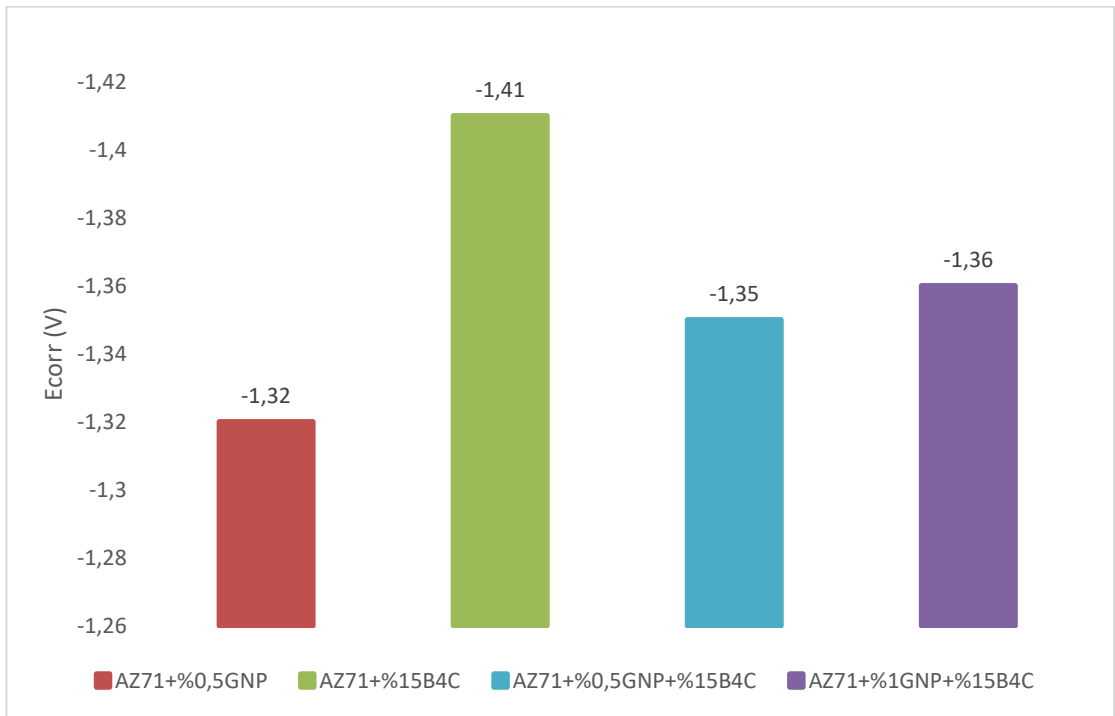
Şekil 4.32. AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%15 B4C, AZ71+%0.5 GNP+ %15 B4C ve AZ71+%1 GNP+ %15 B4C kompozitlerin ekstrüzyon sonrası potansiyodinamik polarizasyon eğrileri.

Şekil 4.33 incelendiğinde ekstrüzyon sonrası korozyon test sonuçlarına göre korozyon akım yoğunluğu (i_{corr}) AZ71+%0.5 GNP için $0.00382 \mu A/cm^2$, AZ71+%15 B4C için $0.00532 \mu A/cm^2$, AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C için $0.00456 \mu A/cm^2$ ve AZ71+%1 GNP+%15 B4C için $0.00439 \mu A/cm^2$ 'dir. Şekil 4.34 incelendiğinde korozyon potansiyeli değerleri (e_{corr}) değerleri AZ71+%0.5 GNP için -1.32 V, AZ71+%15 B4C için -1.41 V, AZ71+%0.5 GNP+%15 B4C için -1.35 V ve AZ71+%1 GNP+%15 B4C için -1.36 V'dir. i_{corr} ve e_{corr} değerleri incelendiğinde normal şartlarda B4C takviyesinin sınırlarda MgB_2 fazını oluşturduğu ve bu sayede korozyon direncini

iyileştirdiği görülmektedir. Fakat GNP takviyesinin yüksek korozyon direnci sayesinde AZ71+%0.5 GNP kompozitinin daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.



Şekil 4.33. AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%15 B4C, AZ71+%0.5 GNP+ %15 B4C ve AZ71+%1 GNP+ %15 B4C kompozitlerinin I_{corr} değerleri.



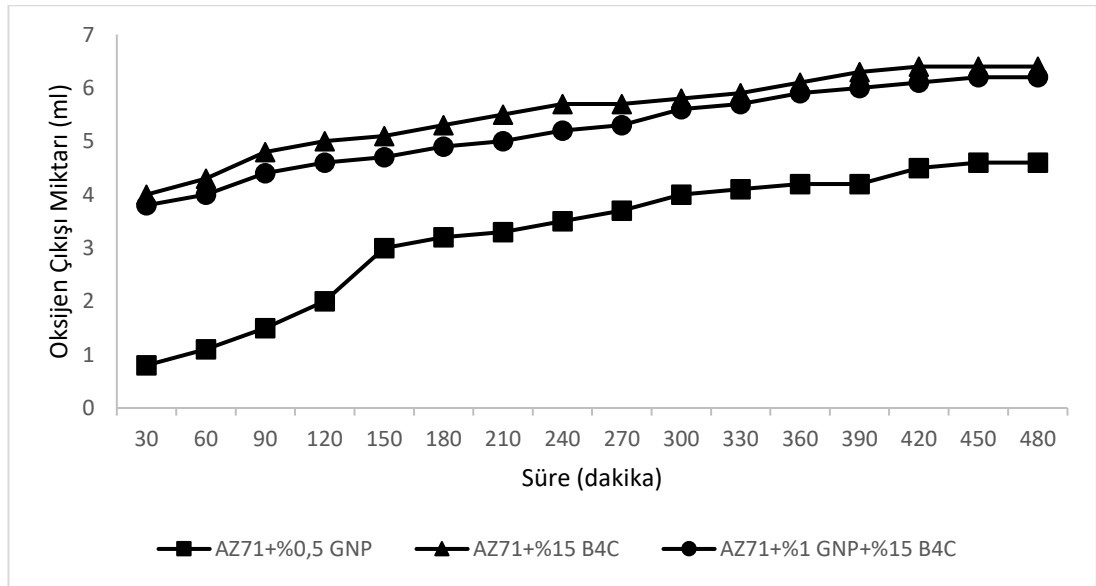
Şekil 4.34. AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%15 B4C, AZ71+%0.5 GNP+ %15 B4C ve AZ71+%1 GNP+ %15 B4C kompozitlerinin E_{corr} değerleri.

4.5.3 Hidrojen Çıkışı Testi Sonuçları

Hidrojen Çıkışı Testi sonuçları incelendiğinde (Şekil4.35) Oksijen çıkışı miktarı (ml) ve süre (dakika) grafiği göz önüne alındığında AZ71+%0.5 GNP takviyeli kompozitin daha az hidrojen çıkışı yaptığı bu yüzden korozyona daha dirençli olduğu görülmektedir. AZ71+%15 B4C ve AZ71+%1 GNP+%15 B4C takviyeli kompozitlerin değerleri birbirine yakınlık göstermekte olup AZ71+%15 B4C takviyeli kompozitin daha fazla hidrojen çıkışı göstererek daha az korozyon direnci sağladığı görülmektedir.

Y. Liu ve arkadaşlarının [71] yaptığı çalışmada takviye elemanı olarak kullanılan GNP takviyesinin korozyon direncini arttırdığını ve GNP'lerin bariyer görevi yaparak aşındırıcı iyonların difüzyonu engellediği ve koruyucu pasif oluşumuna teşvik ettiğini göstermektedir.

M.K. Surappa [72], yaptığı çalışmada farklı B4C yüzdeleriyle takviye edilmiş hibrit kompozitlerin ilk aşamada korozyon direncini arttırdığı fakat sonrasında tane inceliği nedeniyle, B4C ile magnezyum matrisi arasındaki galvanik korozyonun meydana gelmesi nedeniyle direncin azalmasına yol açmıştır.



Şekil 4.35. Hidrojen Çıkışı Deneyi Süreye göre oksijen çıkışı grafiği.

4.5.3.1. Hidrojen Çıkışı Testi XRD Analizi Sonuçları

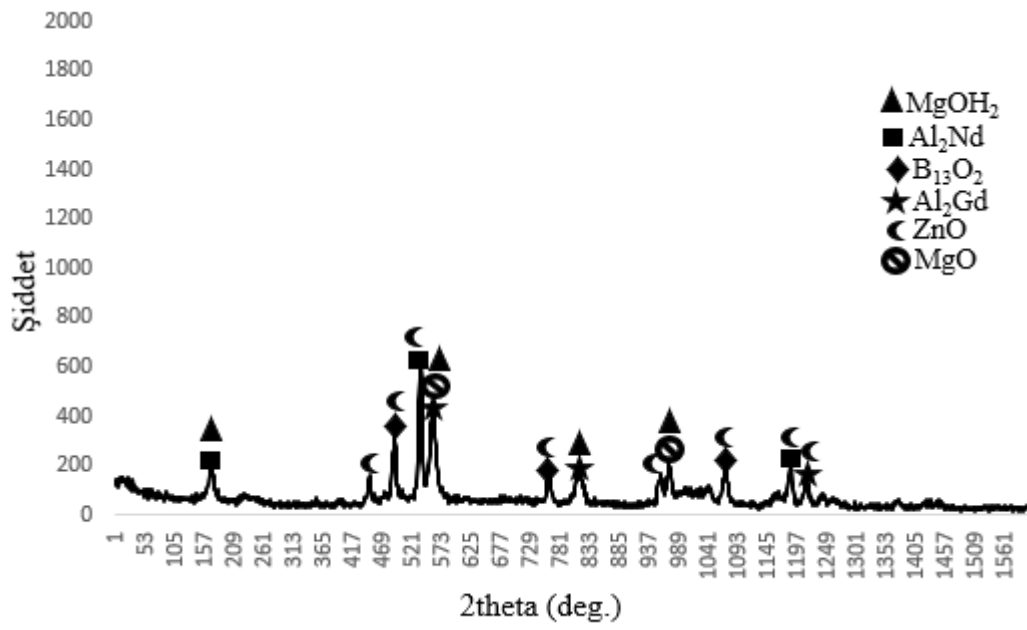
AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%15 B4C, AZ71+%1 GNP+ %15 B4C kompozitlerinin hidrojen çıkışı testi sonrasında yapıda meydana getirdiği fazları belirlemek amacı ile yapılan XRD analiz sonuçları Şekil 4.36- 4.38. arasında verilmiştir ve bu sonuçlara göre, AZ71+%0.5 GNP, AZ71+%15 B4C, AZ71+%1 GNP+ %15 B4C alaşımlarının geneline bakıldığında alaşım içinde olan Al, Cu, Mg, Gd, Nd, B, Zn ve OH'nun oluşturduğu ikili ve üçlü intermetalikler olarak MgOH₂, B₁₃O₂, B₂O₃, ZnO, MgO, MgB₂, Al₂Nd ve Al₂Gd intermetaliklerinin varlığı belirlenmiştir.

AZ71+%0.5 GNP kompozitinin XRD analiz sonucuna bakıldığında (Şekil 4.36). MgOH₂, B₁₃O₂, ZnO, MgO, Al₂Nd ve Al₂Gd intermetalik fazların oluştuğu tespit edilmiştir.

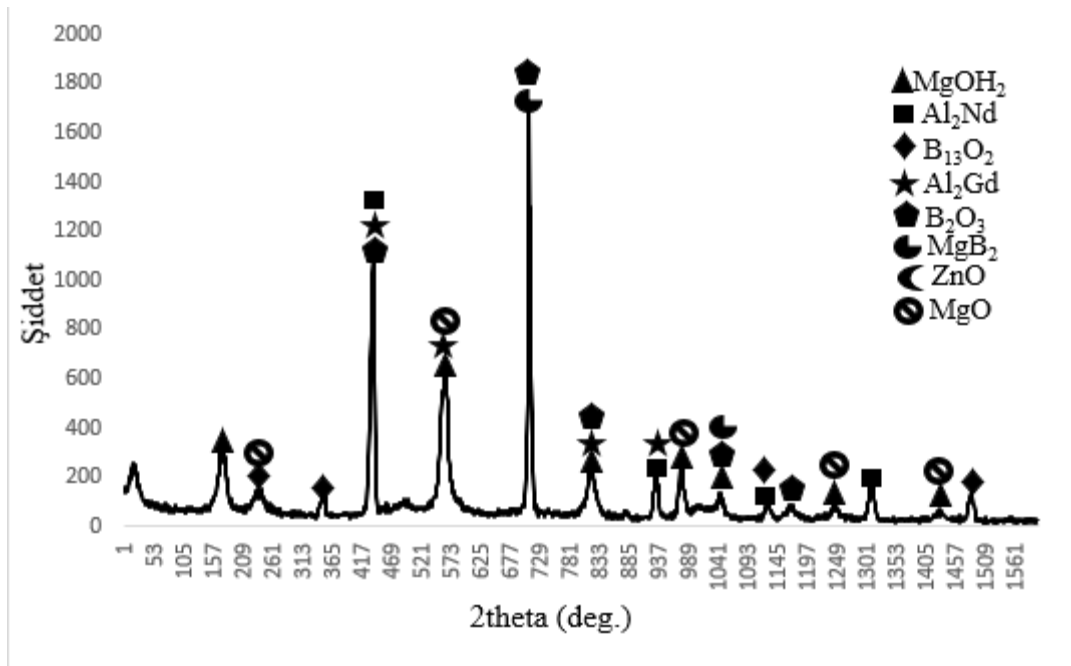
AZ71+%15 B4C kompozitinin XRD analiz sonucuna bakıldığında (Şekil 4.37). MgOH₂, B₁₃O₂, B₂O₃, ZnO, MgO, MgB₂, Al₂Nd, ve Al₂Gd intermetalik fazların oluştuğu tespit edilmiştir.

AZ71+%1 GNP+%15 B4C kompozitinin XRD analiz sonucuna bakıldığında (Şekil 4.38). MgOH₂, B₁₃O₂, B₂O₃, ZnO, MgB₂, MgO, Al₂Nd ve Al₂Gd intermetalik fazların oluştuğu tespit edilmiştir.

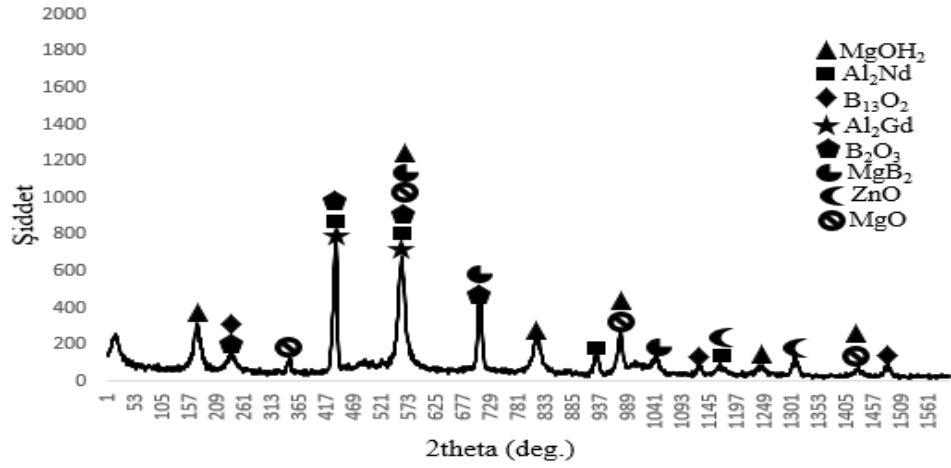
Sonuçlar incelendiğinde Şekil 4.37 ve Şekil 4.38'de B4C ile güçlendirilmiş kompozitin oksit tabakasının XRD analizleri, B4C ile güçlendirilmiş kompozitin oksit tabakasında B₂O₃ fazının görüldüğü tespit edilmiştir. Bu bulgular, B içeren bileşenlerin (B4C ve MgB₂) oksijene olan ilgisinin yüksek olduğunu göstermektedir. Bunun sonucunda Mg matrisini oksijene karşı koruma yerine bozulma direncini azalttığı görülmektedir.



Şekil 4.36. AZ71+%0.5 GNP kompozit malzemesinin hidrojen çıkışı testi XRD sonuçları.

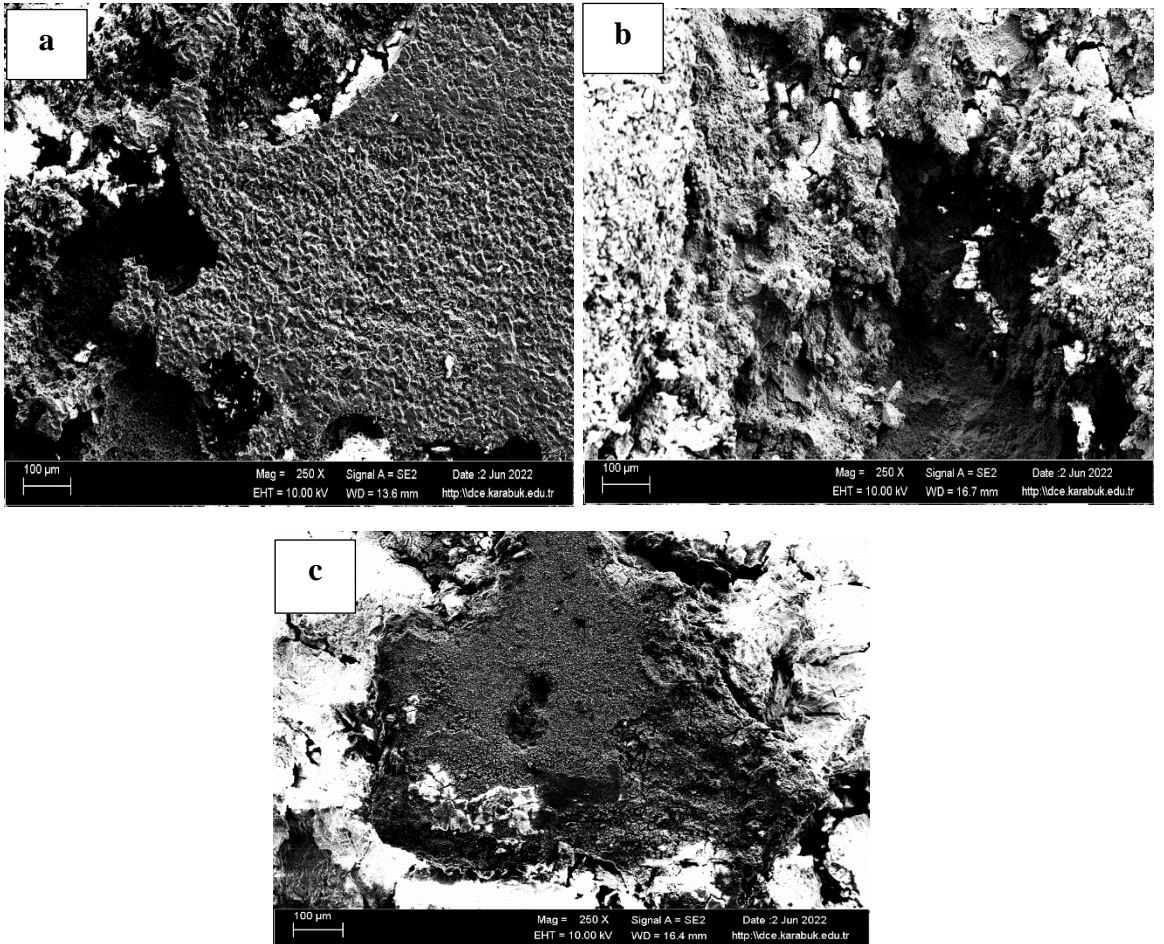


Şekil 4.37. AZ71+%15 B4C kompozit malzemesinin hidrojen çıkışı testi XRD sonuçları.



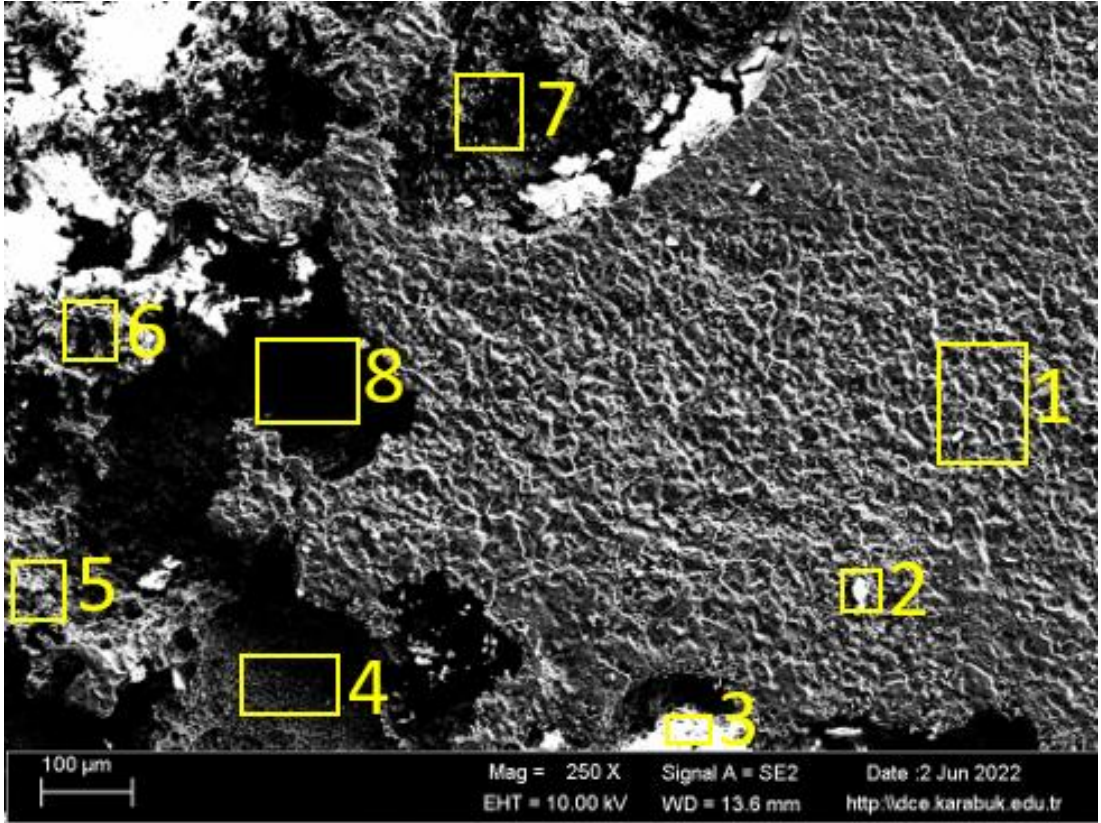
Şekil 4.38. AZ71+%1GNP+%15 B4C kompozit malzemesinin hidrojen çıkışı testi XRD sonuçları.

4.5.3.2. Hidrojen Çıkışı Deneyi SEM ve EDX Sonuçları



Şekil 4.39. Hidrojen Çıkışı Deneyi yapılmış AZ71+%0.5 GNP (a), AZ71+%15 B4C (b), AZ71+%1 GNP+ %15 B4C (c) Alaşımların 250X SEM görüntüleri.

Şekil 4.40'da AZ71+%0.5 GNP kompozitinin %3.5 NaCl çözeltisi aşınma sonrası SEM görüntülerine yer verilmiştir. Şekil 4.40'da yapıda oksijenin varlığı EDX analiziyle kanıtlanmıştır. 1, 4, 5, 7 ve 8 nolu bölgenin fazlaca Mg içermesinden dolayı korozyona uğramış ana matrisi tabakasını gösterdiği gözlemlenmiştir. Çizelge 4.11. incelendiğinde 2 nolu bölgede CO yani karbonmonoksit partiküllerinin mevcut olduğu söylenebilir.

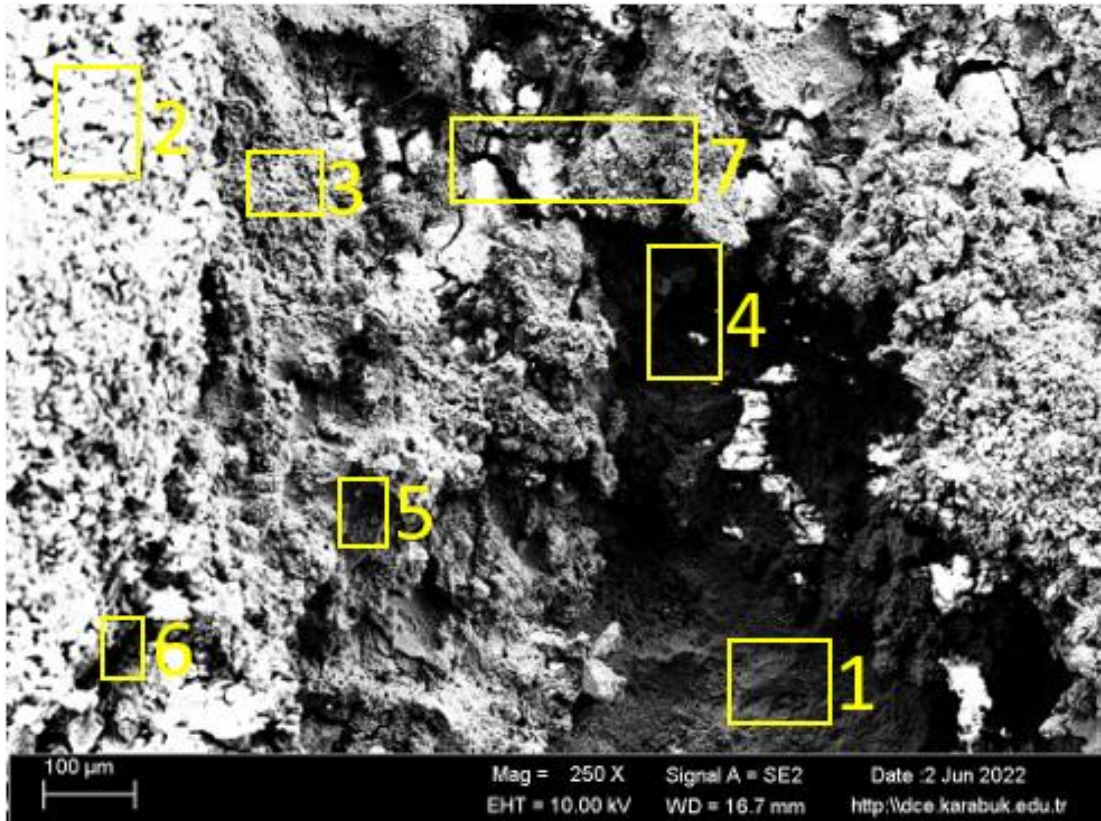


Şekil 4.40. AZ71+%0.5 GNP kompozit malzemesinin hidrojen çıkışı testi 250X SEM görüntüsü.

Çizelge 4.11. Şekil 4.40'da AZ71+%0.5 GNP için seçilmiş bölgelerin EDX analizi.

Spektrum	C	O	Mg	Al	Cl	Cr	Zn	Nd	Gd
1	2.72	2.60	64.56	3.59	0.13	1.43	1.66	0.91	22.40
2	58.31	29.80	2.57	1.34	2.88	1.67	1.53	0.00	1.89
3	0.00	34.34	17.60	2.23	1.76	27.73	0.18	8.55	7.12
4	0.46	3.46	52.51	2.28	0.00	7.97	0.81	10.36	22.15
5	1.39	6.38	57.53	4.14	0.11	4.53	1.93	4.17	19.82
6	1.35	25.46	23.92	3.09	0.11	20.62	0.67	14.70	10.09
7	1.10	6.17	50.63	4.60	0.05	7.42	1.23	8.69	20.11
8	1.00	6.05	50.63	4.71	0.00	7.22	1.50	8.56	20.34

Şekil 4.41’da AZ71+%15 B4C kompozitinin %3.5 NaCl çözeltisi aşınma sonrası SEM görüntülerine yer verilmiştir. Şekil 4.41’de yapıda oksijenin varlığı EDX analiziyle kanıtlanmıştır. 1 ve 5 nolu bölgeleri ana matrisi yani Mg elementini göstermektedir. Çizelge 4.12. incelendiğinde %3.5 NaCl çözeltisinden dolayı numunenin genelinde Cr oranının yüksek olduğu bundan dolayı CrO partiküllerinin mevcut olduğu söylenebilir. SEM görüntüleri incelendiğinde B4C kuvvetlenmesinden sonra oluşan intermetalik bileşiklerin tane sınırlarında Mg - B4C görülmüştür. Tane sınırlarında oluşan intermetalik bileşikler, iç kompozit yapıda zayıflama gerilimlerine neden olmuştur. Dolayısıyla iç gerilime maruz kalan B4C takviyeli kompozitlerin parçacıklarının genleştiği, bunun sonucunda korozyona uğrayan yüzeyde ciddi korozyon hasarına, katot yüzeyinde ise daha fazla hasara neden olduğu sonucuna varılmıştır.

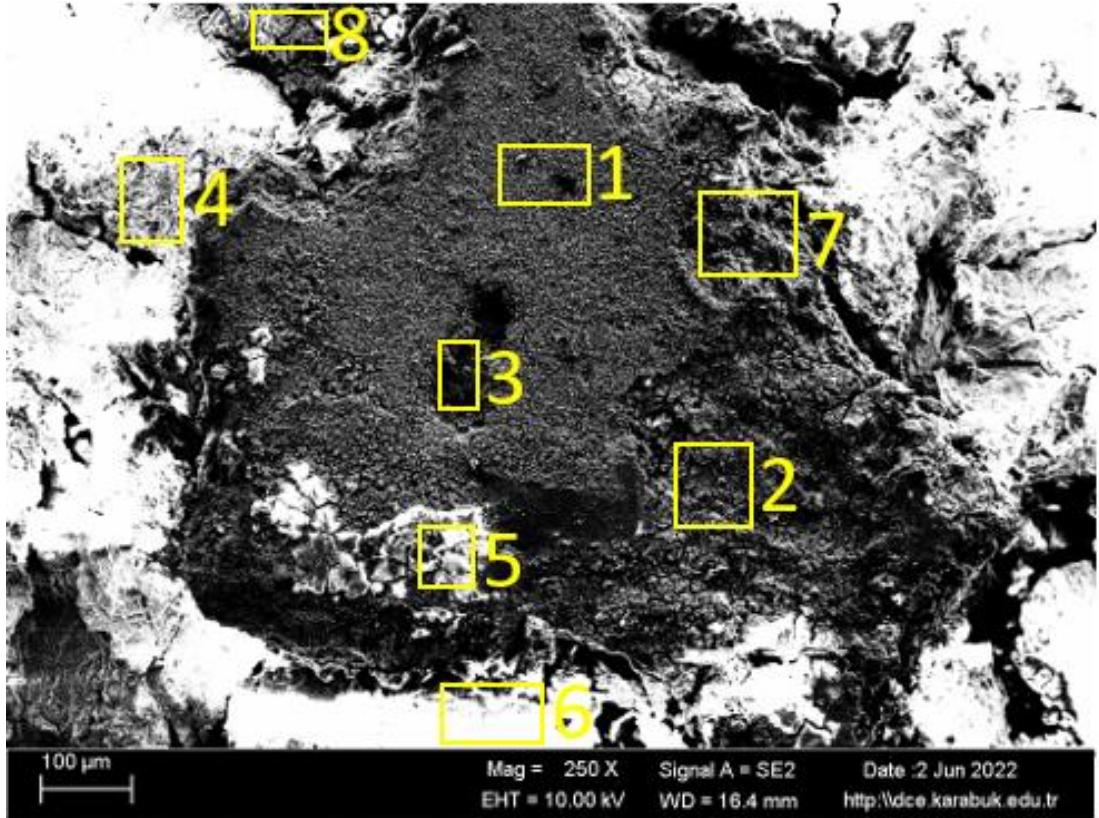


Şekil 4.41. AZ71+%15 B4C kompozit malzemesinin hidrojen çıkışı testi 250X SEM görüntüsü.

Çizelge 4.12. Şekil 4.41’de AZ71+%15 B4C için seçilmiş bölgelerin EDX analizi.

Spektrum	B	C	O	Mg	Al	Cl	Cr	Zn	Nd	Gd
1	2.84	2.19	26.88	24.46	3.44	0.25	17.64	1.20	11.57	9.53
2	2.12	1.69	39.44	0.82	0.15	0.14	34.77	0.36	20.19	0.33
3	0.00	1.93	36.07	5.99	0.88	0.07	31.82	0.63	20.19	2.41
4	0.00	0.89	12.72	2.84	0.48	0.00	44.65	0.00	37.14	1.27
5	2.13	0.85	6.40	44.47	1.88	0.41	13.22	1.00	10.72	18.92
6	3.08	1.30	23.57	3.38	1.19	0.11	38.66	0.59	25.57	2.57
7	0.00	1.77	38.69	9.93	3.66	0.04	24.24	1.04	16.37	4.26

Şekil 4.42’de AZ71+%1 GNP+%15 B4C kompozitinin %3.5 NaCl çözeltisi aşınma sonrası SEM görüntülerine yer verilmiştir. Şekil 4.42’de yapıda oksijenin varlığı EDX analiziyle kanıtlanmıştır. 3 ve 7 nolu bölgenin fazlaca Mg içermesinden dolayı korozyona uğramış ana matrisi tabakasını gösterdiği gözlemlenmiştir. Çizelge 4.13. incelendiğinde tüm bölgelerde CrO yani karbonmonoksit partiküllerinin mevcut olduğu söylenebilir.



Şekil 4.42. AZ71+%1 GNP+ %15 B4C kompozit malzemesinin hidrojen çıkışı testi 250X SEM görüntüsü.

Çizelge 4.13. Şekil 4.42’de AZ71+%1 GNP+%15 B4C için seçilmiş bölgelerin EDX analizi.

Spektrum	B	C	O	Mg	Al	Cl	Cr	Zn	Nd	Gd
1	6.03	3.39	35.08	7.59	1.62	0.12	26.15	1.69	15.28	3.03
2	6.53	9.95	39.63	9.72	1.88	0.12	13.68	7.64	7.40	3.44
3	12.81	5.70	28.20	19.65	3.81	0.00	11.61	5.78	5.34	7.10
4	3.69	4.85	48.48	8.21	5.71	0.51	13.21	3.01	8.71	3.63
5	0.00	23.47	43.53	3.73	1.09	2.78	8.87	7.49	7.45	1.59
6	0.00	1.62	40.42	8.82	2.68	2.62	24.72	0.52	14.91	3.68
7	12.01	5.87	39.32	11.12	1.82	0.11	11.76	5.74	7.24	5.00
8	3.48	3.50	46.23	7.36	2.97	0.02	11.34	7.87	8.38	2.85

BÖLÜM 7

GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- Mikroyapı karakterizasyonu sonrası, kompozit malzemelerde genel olarak hibrit kompozitlere ilave edilen % 0.5'e kadar GNP takviyesinin homojen bir dağılım sergilediği görülmektedir. Bununla beraber, %15 B4C ilavesi yapılan kompozitlerin takviyede yer yer topaklanmalar meydana getirdiği gözlenmektedir.
- Yoğunluk ölçüm sonuçlarına göre, takviye elemanının artmasıyla beraber yoğunluk artmıştır. En yüksek yoğunluk değeri 2.33 gr/cm³ ile AZ71+%1 GNP+%15 B4C ilaveli kompozitte ölçülmüştür. En düşük yoğunluk ise 2,16 gr/cm³ ile AZ71+%0,5GNP içeren kompozitte görülmüştür. En yüksek yoğunluk ve en düşük yoğunluk arasında %1.08 oranında artış meydana gelmiştir.
- Ekstrüzyon sonrası ayrılan kompozitlerin XRD analizi sonuçlarına göre, Al₂Nd, Al₂Gd ve Mg₂Zn₂ intermetaliklerinin tüm kompozitlerde mevcut olduğunu göstermektedir.
- Sertlik testlerine göre, AZ71 alaşımına eklenen GNP ve B4C takviyesi ile sertlik değerinin doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir. Döküm hali ve homojenleştirme sonrası sertlik değerlerine göre yaklaşık 1.22 kat artış göstermiştir. En yüksek sertlik değeri homojenleştirme sonrası 87.14 HB ile AZ71+%1 GNP+%15 B4C ilaveli hibrit kompozit de ölçülürken en düşük sertlik değeri döküm sonrası 56.03 HB ile AZ71+%0.5 GNP katkılı kompozit de ölçülmüştür. Bunun nedeninin hem homojenleştirme sonrası tane boyutu küçülerek sertlik değerlerinin artması hem de B4C takviyesinin yapı içerisinde çok sert fazda bulunan partikülleri kompozitin sertlik değerini yükseltmesidir.
- Sertlik testlerine göre, Ekstrüzyon yönüne dik ve ekstrüzyon yönüne paralel sertlik değerlerine göre yaklaşık 1.01 kat artış göstermiştir. En yüksek sertlik değeri ekstrüzyon yönüne paralel 88.08 HB ile AZ71+%1 GNP+%15 B4C

ilaveli hibrit kompozit de ölçülürken en düşük sertlik değeri ekstrüzyon yönüne dik 65.49 HB ile AZ71+%0.5 GNP katkılı kompozit de ölçülmüştür. Homojenleştirme sonrası ekstrüzyon yapılması kompozitlerin sertlik değerlerini olumlu yönde etkilemiştir.

- Kuru aşınma ve %3.5 NaCl çözeltili aşınma test sonuçlarına göre en iyi aşınma dayanımını AZ71+%0,5GNP takviyeli hibrit kompozit malzemede En düşük aşınma dayanımı AZ71+%15B4C takviyeli hibrit kompozit malzemede gözlenmiştir. Tek başına büyük miktarlarda B4C eklenmesi, kompoziti kırılğan hale getirdiği ve aşınma direncini azalttığı düşünülmektedir. Grafenin yüksek aşınma direnci, katı yağlama özelliği göstererek deneyler sırasında sürtünme katsayısını düşürür ve bununla birlikte aşınma kayıplarını da azaltır.
- Korozyon testleri sonunda, elektrokimyasal, daldırma ve hidrojen testleri sonucunda, AZ71+%0.5 GNP takviyeli kompozitin korozyon dayanımının daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. AZ71+%15B4C takviyeli kompozitin ise korozyon direncinin GNP içeren kompozitlere oranla daha düşük korozyon direnci gösterdiği görülmüştür. B4C takviyesi ilave edilen kompozitlerin takviye elamanının sınırlarda MgB2 fazını oluşturduğu ve bu sayede korozyon direncini iyileştirdiği görülmektedir. Fakat GNP takviyesinin yüksek korozyon direnci sayesinde AZ71+%0.5 GNP kompozitinin daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.
- Hidrojen Çıkışı deneyi sonrası yapılan AZ71+%0.5 GNP kompozitinin XRD analiz sonucuna bakıldığında MgOH₂, B₁₃O₂, ZnO, MgO, Al₂Nd ve Al₂Gd intermetalik fazların olduğu tespit edilmiştir. AZ71+%15 B4C MgOH₂, B₁₃O₂, B₂O₃, ZnO, MgO, MgB₂, Al₂Nd, ve Al₂Gd intermetalik fazlarının varlığı görülmektedir. AZ71+%1 GNP+%15 B4C kompozitinin XRD analiz sonucuna bakıldığında MgOH₂, B₁₃O₂, B₂O₃, ZnO, MgB₂, MgO, Al₂Nd ve Al₂Gd intermetalik fazların olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Uthayakumar, M., Aravindan, S., Rajkumar, K., “Wear performance of Al–SiC–B4C hybrid composites under dry sliding conditions”, *Materials and Design*, 47: 456–464 (2013).
- [2] Alizadeh, A., Taheri-Nassaj, E., “Mechanical properties and wear behavior of Al–2 wt. % Cu alloy composites reinforced by B4C nanoparticles and fabricated by mechanical milling and hot extrusion”, *Materials Characterization*, 67: 119-128 (2012).
- [3] Abenojar, J., Velasco, F., Martinez, M. A., “Optimization of processing parameters for the Al + 10% B4C system obtained by mechanical alloying”, *Journal of Materials Processing Technology* 184: 441–446 (2007).
- [4] Cunzhu, N., Jiajun, G., Junliang, L., Di, Z., “Investigation on microstructures and interface character of B4C particles reinforced 2024Al matrix composites fabricated by mechanical alloying”, *Journal of Alloys and Compounds* 454: 118–122 (2008).
- [5] Karagöz, Ş., Yamanoglu, R., Atapek, Ş. H., “Solidification and Microstructural Characterization on Atomized Powders”, *Pamukkale University Journal of Engineering Science*, 15 (3): 309-316 (2009).
- [6] Gökmeşe, H., Bostan, B., “Microstructural characterization and synthesis by mechanochemical method of nanoparticle Al₂O₃/B₄C ceramic phase”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29: 2, 289-297 (2014).
- [7] Hull, D., “An Introduction to composite materials, Cambridge University Pres”, İngiltere, 71-79 (1992).
- [8] Toptan, F., “Alüminyum Matrisli B₄C Partikül Takviyeli Aşınma Direnci Yüksek Kompozit Malzeme Üretimi”, *Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul* (2011).
- [9] Atalay O., “Magnezyum ve Alaşımlarının Konstrüksüyon Malzemesi Olarak Otomotivde Kullanımı”, *Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul* (2006).
- [10] Demir, A., “Metaller Arası Bileşik Mg₂Si Takviyeli AZ91/Mg₂Si Kompozit Malzemelerin Geliştirilmesi”, *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara* (2006).

- [11] Akınay, Y., Aygöl, O., Akın, E., Akyıl, H., Çakı, A. ve Yıldız, B., “Magnezyum Matrisli Kompozit Üretimi Proses Tasarımı”, Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2009).
- [12] Jiang, Q.C., Wang, H.Y., Ma, B.X., Wang, Y. ve Zhao, F., “Fabrication of B4C Particulate Reinforced Magnesium Matrix Composite by Powder Metallurgy”, *Journal of Alloys and Compounds* (2004).
- [13] Kara, İ.H., “Nadir toprak elementi ilaveli sıcak haddelenmiş AZ31 magnezyum alaşımlarının mekanik, korozyon ve aşınma özelliklerinin incelenmesi” Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri, Karabük (2019).
- [14] S. Sankaranarayanan, M. Gupta, “Emergence of god’s favorite metallic element: Magnesium based materials for engineering and biomedical applications” *Materials Today: Proceedings*, (2020).
- [15] I. M. Baghni, Wu Yinshun, Li Jiuqing, Du Cuiwei, Zhang Wei, “Mechanical Properties and potential applications of magnesium alloys” (2019).
- [16] Eds.Nayeb-Hashemi AA,Clark JB,”ASM International,Materials Park”, OH, (1988).
- [17] Horst E. Friedrich · Barry L. Mordike, “Magnesium Technolog Metallurgy, Design Data, Applications”, Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2006).
- [18] H. Baker, M.M. Avedesian, “Magnesium and Magnesium Alloys”, ASM Handbook (1999).
- [19] W.H. Gross, “The Story of Magnesium, American Society for Metals”, p 174 (1959).
- [20] C.J. Ball, J. “Inst. Met”., Vol 84, p 399, (1955-56).
- [21] N. Hoy-Petersen, Proc. 47th Annual World Magnesium Conf., Vol 18, International Magnesium Association, p 18, (1990).
- [22] Friedrich, H.E. ve Mordike, B.L., “Magnesium Technology”, First Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Würzburg, (2006).
- [23] Czerwinski, F., “Magnesium Injection Molding”, First Edition, Springer Science LLC., New York (2008).
- [24] J. Willekens, “Magnesium–Verfügbarkeit”, Markttendenzen, Preisentwicklung DGM-Fortbildungsseminar, Clausthal-Zellerfeld, (1997).
- [25] Fleming, S., “An Overview of Magnesium based Alloys for Aerospace and Automotive Applications”, A Project Report in M.E (Mechanical Engineering), Rensselaer Polytechnic Institute, Hartford, CT (2012).
- [26] M. Gupta, N.M.L. Sharon, “Magnesium, Magnesium Alloys”, and Magnesium

Composites, (2010).

- [27] Pannell, E., "Magnesium Its production and use", London, Sir Isaac Pitman & sons, ltd, (1948).
- [28] Massalski, T.B., Okamoto, H., "Binary Alloys Phase Diagrams" 2nd ed. L. Subramanian, Kaprzak eds., ASM, Metal Park, Ohio, (1990).
- [29] K.U. Kainer "The Current State of Technology and Potential for futher Development of Magnesium Applications", Magnesium-Alloys and Technologies, Institut fur Werkstofforschung, Translation by Frank Kaiser, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co, (2003).
- [30] T. Lym, "Metals Handbook" 28th edn. Vol. 8 American Society for Metals, OH (1973).
- [31] X.N. Gu, Y.F. Zheng, Y. Cheng, S.P. Zhong, T.F. Xi, "Biomaterials" 30 484–498 (2009).
- [32] S.X. Zhang, X.N. Zhang, C.L. Zhao, J.N. Li, Y. Song, C.Y. Xie, et al., "Acta Biomater", 626–640 (2010).
- [33] X.B. Liu, D.Y. Shan, Y.W. Song, E.H. Han, Trans. "Nonferrous Met. Soc." China, 1345–1350 (2010).
- [34] C.J. Boehlert, K. Knittel, "Mater. Sci. Eng.", A 417 315–321 (2006).
- [35] D. Sameer Kumar, C. Tara Sasanka, K. Ravindra, K.N.S. Suman "Magnesium and Its Alloys in Automotive Applications – A Review American Journal of Materials Science and Technology" Vol. 4 No. 1 pp. 12-30 (2015).
- [36] H. Furuya, N. Kogiso, S. Matunaga, K. Senda, "Applications of magnesium alloys for aerospace structure systems", Mater. Sci. Forum, 350-351.341 (2000).
- [37] E. Aghion, B. Bronfin, and I. Schwartz, "Magnesium Applications in the Aerospace Industry—A Review" (2000).
- [38] Magnesium Electron Limited, "Magnesium Alloy Database", MATUS Databases, Engineering Information Co. Ltd., (1992).
- [39] Suveen N. Mathaudhul Eric A. Nyberg, "MAGNESIUM ALLOYS IN U.S. MILITARY APPLICATIONS: PAST, CURRENT AND FUTURE SOLUTIONS", From Magnesium Technology (2010).
- [40] M. Nurse, "MBM", 52 (1997).
- [41] S. Sugimoto, "53rd Annual Magnesium Congress" Ube City, Japan, (1996).
- [42] G. Cole, "Magnesium applications in Ford's PNGV", Mondeo, 50(9):30-34 (1998).

- [43] Sin LS, Dube D., “Influence of process parameters on fluidity of investment cast AZ91D magnesium alloy”, *Materials Science and Engineering A* 386:34–42 (2004).
- [44] I.J. Polmear, “*Materials Science and Technology*”, vol. 10, pp. 1–14 (1994).
- [45] Doehler HH., “*Die castings*”, McGraw Hill, New York (1951).
- [46] Bohlen J., “Microstructure and texture development during hydrostatic extrusion of magnesium alloy AZ31, *Scripta Materialia* 53:259–264 (2005).
- [47] G. L. Makar, J. Kruger, A., Joshi, “*Advances in Magnesium Alloys and Composites TMS*”, Phoenix, Arizona, January 26, pp. 105-121 (1998).
- [48] R. W. Murray, J. E. Hillis, “*Magnesium Finishing: Chemical Treatment and Coating Practices*”, SAE Technical Paper Series #900 791, Detroit (1990).
- [49] K. Nisancioglu, O. Lunder, T. K. Aune, “Corrosion Mechanism of AZ91 Magnesium Alloy”, *Proc.of 47th World Magnesium Association*, Mcleen, Virginia, pp. 43-50 (1990).
- [50] O. Linder, J. E. Lein, T. K. Aune, K. Nisancioglu, “Corrosion”, 45(9), 741 (1989).
- [51] A. Froats, T. K. Aune, D. Hawke, W. Unsworth, J. Hillis, “*Metals Handbook*”, 9th ed., Vol. 13, ASM Int., Materials Park, OH, pp. 740-754 (1987).
- [52] W. S. Loose, “*Corrosion and Protection of Magnesium*”, ASM Int., Materials Park, OH, pp. 173-260 (1946).
- [53] G. L. Makar, J. Kruger, “*Int. Mater*”. *Rev.*, 38(3), 138 (1993).
- [54] E. F. Emley, “*Principles of Magnesium Technology*”, Ch. XX, Pergamon Press New York (1966).
- [55] L.Shreir, “*Corrosion, Vol. 1, Metal/Environment Reactions*”, Newnes, Butterworths, Ch. 4, pp. 86-100 (1965).
- [56] Kang, J. H., Chen, S. B., Kim, H. and Cho, H. W., “Effect of Reheating and Warm Rolling on Microstructure and Mechanical Properties of Twin Roll Strip Cast Mg-4.5Al-1.0Zn-0.4Mn-0.3Ca Alloy Sheet”, *TMS (The Minerals, Metals & Materials Society)*, March 2008: 147–152 (2008).
- [57] Feyerabend, F., Johannisson, M., Liu, Z. and Willumeit-Römer, R., “Influence of various sterilization methods on hardness, grain size and corrosion rate of a Mg6Ag-alloy”, *BioNanoMaterials*, 16 (1): 51–58 (2015).
- [58] Ben-Hamu, K. S., Eliezer, G., Kaya, D., Na, A., Shin, G.H., “Microstructure And Corrosion Behavior Of Mg–Zn–Ag Alloys”, *Mater. Sci. Eng. A.*, 435– 436, 579–587 (2006).

- [59] Jing Zhang *, Rulin Zuo, Youxing Chen, Fusheng Pan, Xiaodong Luo, Microstructure evolution during homogenization of a -type Mg–Zn–Al alloy *Journal of Alloys and Compounds* 448 316–320 (2008).
- [60] A. Canakci, F. Arslan and T. Varol, “Physical and mechanical properties of stir-casting processed AA2024/B4Cp composites”, *Sci Eng Compos Mater.*, 21(4), 505-515, (2014).
- [61] M. Nagaral, Attar S, H. N. Reddappa, V. Auradi, S. S. Kumar and S. Raghu, Mechanical Behavior of Al7025- B4C Particulate Reinforced Composites, *Journal of Applied Mechanical Engineering. J Appl Mech Eng.*, 4 (6), 1000186, (2015).
- [62] R. Banchhor and P. S. Sahu, “Effect of different reinforcement on mechanical properties of aluminium metal matrix composites”, *Research Journal of Engineering*, 6 (7), 39-45, (2017).
- [63] G. Sivakaruna and P. S. Babu, “A Survey On Effects Of Reinforcement On Aluminium Metal Matrix Composites”, *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 8 (9), 112-131, (2017).
- [64] B. Rebba and N. Ramanaiah, “Studies on Mechanical Properties of 2024 Al-B4C Composites, *Advanced Materials Manufacturing & Characterization*”, 4 (1), 42-46, (2014).
- [65] A. Baradeswaran, S. C. Vettivel, A. E. Perumal, N. Selvakumar and R. F. Issac, “Experimental investigation on mechanical behaviour, modelling and optimization of wear parameters of B4C and graphite reinforced aluminium hybrid composites”, *Materials and Design*, 63, 620-632, (2014).
- [66] G. Sathish Kumar, K. Rajaguru, R. Ramkumar, M. Ranjithkumar “Evaluation of Al-C-B4C composites fabricated by powder metallurgy for hardness and wear behaviour” K. Ramakrishnan College of Technology, Tiruchirappalli 621112, India, (2020).
- [67] J. Zhang, "Corrosion resistance of AZ71 magnesium alloy reinforced with graphene nanoplatelets"., *Journal of Materials Science & Engineering*, 82, pp. 252-258 (2017).
- [68] H. F. Sun et al., *Materials Science and Engineering: A* 528 (12), 4361-4366 (2011).
- [69] S. M. Zhu et al., *Journal of Alloys and Compounds* 478 (1-2), 157-162 (2009).
- [70] A. K. Mondal et al., *Materials & Design* 32 (4), 2050-2058 (2011).
- [71] Wang L., "Microstructure and corrosion behavior of AZ91D magnesium alloy composites reinforced with graphene nanoplatelets and hydroxyapatite", *Applied Surface Science* (2015).

- [72] Surappa_M.K., “Corrosion behavior of boron carbide reinforced magnesium metal matrix composites”, Corrosion Science (2003).
- [73] Engin Cevik Murat Gundogan, Alper Incesu Muhammet Emre Turan “Corrosion Behavior of Graphene Nanoplatelet-Coated TiB₂ Reinforced AZ91 Magnesium Matrix Semi-Ceramic Hybrid Composites” Hittite Journal of Science and Engineering, 8 (1) 27–33 (2021).

ÖZGEÇMİŞ

Simge BAYHATUN, İzmir Öncü Temel Lisesinden mezun oldu. Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği öğrenimine 2017 yılında başlayıp 2021 yılında 2.86 ortalama ile mezun oldu. 2021 yılında Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı.