



**Mg/Al BİMETAL KOMPOZİTLERİN DÖKÜM VE
EKSTRÜZYON YÖNTEMLERİYLE ÜRETİMİ VE
KARAKTERİZASYONU**

Emre ÖZTÜRK

**2020
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

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

**Mg/Al BİMETAL KOMPOZİTLERİN DÖKÜM VE EKSTRÜZYON
YÖNTEMLERİYLE ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

Emre ÖZTÜRK

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

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

**KARABÜK
Temmuz 2020**

Emre ÖZTÜRK tarafından hazırlanan “Mg/Al BİMETAL KOMPOZİTLERİN DÖKÜM VE EKSTRÜZYON YÖNTEMLERİYLE ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU” 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. 10/07/2020

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mustafa ACARER (SÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin ZENGİN (KBÜ)

.....

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

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

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

Emre ÖZTÜRK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MG/AL BİMETAL KOMPOZİTLERİN DÖKÜM VE EKSTRÜZYON YÖNTEMLERİYLE ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

Emre ÖZTÜRK

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

Temmuz 2020, 173 sayfa

Bu çalışmada, ticari uygulamalarda yer bulmuş oldukça geniş yelpazeye sahip, şekillendirilebilir alüminyum ve magnezyum hafif metallerini kullanarak bimetal makro kompozit üretimi amaçlanmaktadır. Alüminyum hafif olması yanında, yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, korozyona dayanıklılığı, imal kolaylığı ve diğer metaller ile yüksek çekme mukavemetine sahip alaşımlar oluşturabilmesi önemini artırmaktadır. Magnezyum alaşımları en çok kullanılan yapısal metaller olan çelik ve alüminyumun yoğunluğundan oldukça düşük yoğunluğa sahip olmasına rağmen, özellikle dayanım, aşınma ve korozyon zayıflığı, magnezyum alaşımlarının daha az tercih edilmesine sebep olmaktadır. Bahsi geçen malzemelerden ilki mükemmel korozyon direncine sahip iken ikincisi düşük yoğunluğa sahiptir.

Bazen, tek bir malzeme, bazı endüstriyel uygulamalarda kullanılan hafif performansın yanı sıra integral performansın gerekliliklerini yerine getiremez. Al / Mg bimetel, bu endüstriyel uygulamalar için umut verici bir çözüm olabilir. Bu çalışmada kovan malzeme olan Al alaşımı sabit tutulup, çekirdek malzeme olan magnezyum ve türevlerinin değiştirilmesi planlanmıştır. Oluşan yeni mikroyapısal özellikler kontrol edilerek, magnezyum alaşımlarının hem dayanım hem de korozyon direncinin artırılması sağlanacaktır. Magnezyum alaşımları düşük basınçlı döküm yöntemiyle üretildikten sonra 16 mm çapında işlenecektir. İşlenen Mg alaşımları atmosfer kontrolü altında döküm yapmak üzere kalıba yerleştirildikten sonra Al alaşımı etrafını homojen bir şekilde kaplamak sureti ile dökümü gerçekleştirilecektir. Elde edilen numuneler sıcak ekstrüzyon işlemi sonrasında yapılacak mikroyapı ve mekanik testler ile bimetel makro kompozitler, incelenerek mikroyapı, mekanik özellikler ve proses koşulları arasında ilişki kurulacaktır. Böylelikle elde edilmesi hedeflenen üstün performanslı şekillendirilebilir Al-Mg bimetel makro kompozit ile hem bilimsel literatüre katkı sağlanacak hem de ülkemizde ticari ve akademik alanlarda az ilgi görmüş Al-Mg bimetel makro kompozit alaşımlarının şekillendirilmesi ile ilgili deneyim kazanılmış olup, ülke çapında yaygınlaşmasına olanak sağlanacaktır. Bu çalışmada üretilen Al7075/Mg alaşımı bimetel kompozitlerin (Mg alaşımı olarak AZ91, ZA62, ZK60, ZK61, AS21 ve Mg2Zn alaşım bileşenleri kullanılmış) kompozitlerin üretimi ve mekanik özellikleri incelenmiş olup elde edilen sonuçlar, Al7075/Mg2Zn bimetel kompoziti yüksek korozyon direncine, Al7075/ZA62 bimetel kompozitleri ise yüksek basma mukavemetine, aşınma direncine ve maksimum kayma gerilmesine sahiptir. Bununla birlikte Al7075/ZA62 bimetel kompozitin korozyon direnci, Al7075/AS21 bimetel kompozitin basma mukavemeti ve Al7075/ZK61 bimetel kompozit malzemesinin maksimum kayma gerilmesi düşük olarak bulunmuştur.

Anahtar Sözcükler : Magnezyum alaşımları, alüminyum alaşımları, düşük basınçlı döküm yöntemi, indüksiyon döküm ocağı, kokil kalıba döküm, ekstrüzyon, bimetel üretimi, kaplama, bimetel makro kompozit.

Bilim Kodu : 91512

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

MG / AL BIMETAL COMPOSITES CASTING AND EXTRUSION PRODUCTION AND CHARACTERIZATION

Emre ÖZTÜRK

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Metallurgy and Materials Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

July 2020, 173 pages

In this study, it is aimed to produce bimetal macro composites using a wide range of malleable aluminum and magnesium light metals, which have been found in commercial applications. In addition to being lightweight, aluminum increases the importance of its high electrical and thermal conductivity, corrosion resistance, ease of manufacture and ability to form alloys with high tensile strength with other metals. Although magnesium alloys have a relatively low density than the density of steel and aluminum, which are the most used structural metals, especially strength, wear and corrosion weakness makes magnesium alloys less preferred. While the first of the mentioned materials has excellent corrosion resistance, the second has low density. Sometimes, a single material cannot meet the requirements of integral performance as well as light performance used in some industrial applications. Al / Mg bimetal can be a promising solution for these industrial applications. In this study, it is planned to keep the Al alloy, which is the hive material, constant and to change the core material magnesium and its derivatives. By developing new microstructural properties, both

strength and corrosion resistance of magnesium alloys will be increased. Magnesium alloys will be processed with a 16 mm diameter after being produced by low pressure casting method. After the processed Mg alloys are placed in the mold to cast under atmospheric control, they will be cast by homogeneously covering the Al alloy. The microstructure and mechanical tests to be made after the hot extrusion process will be examined and bimetallic macro composites will be examined, and a relationship will be established between microstructure, mechanical properties and process conditions. Thus, with the high performance formable Al-Mg bimetal macro composite that is aimed to be obtained, it will be contributed to the scientific literature and the experience of shaping Al-Mg bimetal macro composite alloys, which has received little interest in commercial and academic fields in our country, has been gained and will be allowed to become widespread throughout the country. The intermetallics observed in the phase morphologies and XRD patterns that occur due to the interfacial bonding between the two metal alloys of the produced Al / Mg bimetal composite materials have been found to direct the mechanical and corrosion properties. The production and mechanical properties of Al7075 / Mg alloy bimetal composites (AZ91, ZA62, ZK60, ZK61, AS21 and Mg2Zn alloy components were used as the Mg alloy) were investigated and the results obtained were compared to Al7075 / Mg2Zn bimetal composite high corrosion resistance, Al7075 / ZA62 bimetal composites have high compressive strength, abrasion resistance and maximum shear stress. However, the corrosion resistance of the Al7075 / ZA62 bimetal composite, the compressive strength of the Al7075 / AS21 bimetal composite and the maximum shear stress of the Al7075 / ZK61 bimetal composite were found to be low.

Key Word : Magnesium Alloys, Aluminum Alloys, Low Pressure Casting Method, Induction Casting Furnace, Mold Casting, Extrusion, Bimetal Production, Coating, Bimetal Macro Composite.

Science Code : 91512

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI'ya sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalıőmaların gerçekleşmesinde ve deney sonuçlarının yorumlanmasında yardımlarını esirgemeyen değerli hocam, Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin ZENGİN'e katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımını esirgemeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

Ayrıca, bu çalıőmayı FYL-2019-2112 proje numarası ile destekleyen Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü'ne teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
GENEL BİLGİLER	3
2.1. MAGNEZYUM.....	3
2.1.1. Magnezyum Alaşımları ve Sınıflandırması	5
2.1.2. Magnezyum Alaşımlarında Yaygın Kullanılan Alaşım Elementleri.....	8
2.1.2.1. Alüminyum	9
2.1.2.2. Çinko	12
2.1.2.3. Zirkonyum.....	15
2.1.2.4. Mangan.....	17
2.1.2.5. Kalsiyum	17
2.1.2.6. Silisyum.....	17
2.1.2.7. Gümüş	18
2.1.2.8. Demir ve Nikel.....	18
2.1.2.9. Bakır.....	18
2.1.2.10. Berilyum	18
2.1.2.11. Lityum.....	18
2.1.2.12. Nadir Toprak Elementleri (RE)	19

	<u>Sayfa</u>
2.1.3. Magnezyum Alaşımlarının Uygulama Alanları.....	20
2.1.4. Magnezyum Alaşımlarının Döküm Yöntemleri	23
2.1.4.1. Yüksek Basınçlı Döküm	24
2.1.4.2. Gravite Döküm.....	25
2.1.4.3. Düşük Basınçlı Döküm	25
2.2. ALÜMİNYUM VE GENEL ÖZELLİKLERİ	28
2.2.1. İşlenik Alüminyum Alaşımları ve Simgeleme Dizisi.....	30
2.2.2. Alüminyum Döküm ve Döküm Alaşımları	37
2.2.3. Alüminyum Alaşımlarında Yaygın Kullanılan Elementler ve Etkileri ..	38
2.2.3.1. Bakırın Alüminyum Üzerine Etkisi	39
2.2.3.2. Silisyumun Alüminyum Üzerine Etkisi	40
2.2.3.3. Magnezyumun Alüminyum Üzerine Etkisi	41
2.2.3.4. Manganın Alüminyum Üzerine Etkisi	42
2.2.3.5. Çinkonun Alüminyum Üzerine Etkisi	42
2.2.3.6. Demirin Alüminyum Üzerine Etkisi.....	42
2.2.3.7. Nikelin Alüminyum Üzerine Etkisi	42
2.2.3.8. Kurşunun Alüminyum Üzerine Etkisi	42
2.2.3.9. Titanyumun Alüminyum Üzerine Etkisi.....	43
2.2.3.10. Geçiş Metallerinin Alüminyum Üzerine Etkisi	43
2.2.4. Alüminyum Serilerinin Önemli Özellikleri ve Genel Kullanım Yerleri	44
2.2.4.1. 1000 Serisi	44
2.2.4.2. 2000 Serisi	45
2.2.4.3. 3000 Serisi	45
2.2.4.4. 4000 Serisi	45
2.2.4.5. 5000 Serisi	46
2.2.4.6. 6000 Serisi	46
2.2.4.7. 7000 Serisi	47
2.2.4.8. 8000 Serisi	47
2.2.5. Alüminyum Kullanım Alanları.....	47
2.3. BİMETAL KOMPOZİT MALZEME.....	51
2.3.1. Kullanım Alanları	52
2.3.2. Kaynak Araştırması	54

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 3	64
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	64
3.1. BİMETAL KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ	64
3.1.1. Magnezyum Esaslı Alaşımların Dökümü	64
3.1.2. Al7075 Alaşımının Dökümü	67
3.1.3. Al70757/Mg Alaşımı Bimetal Kompozitin Ekstrüzyon İşlemi	68
3.2. Al7075/Mg ALAŞIMI BİMETAL KOMPOZİTLERİN KARAKTERİZASYONU	71
3.2.1. Yoğunluk Ölçümü	71
3.2.2. Mikroyapı Karakterizasyonu	72
3.2.2.1. XRD Analizi	72
3.2.2.2. Metalografik İncelemeler	72
3.2.3. Mekanik Özelliklerin Karakterizasyonu	72
3.2.3.1. Sertlik Testi	73
3.2.3.2. Basma Testi	73
3.2.3.3. Push-Out Testi	74
3.2.4. Korozyon Özelliklerinin Karakterizasyonu	75
3.2.4.1. Daldırma Testi	75
3.2.4.2. Potansiyodinamik Polarizasyon Testi	76
3.2.5. Aşınma Testi	76
 BÖLÜM 4	 78
DENEYSEL SONUÇLAR	78
4.1. BİMETAL KOMPOZİTLERİN DENEYSEL YOĞUNLUKLARI	78
4.2. XRD SONUÇLARI	79
4.3. MİKROYAPI SONUÇLARI	83
4.3.1. Optik Mikroyapı Görüntüleri	83
4.4. MEKANİK TEST SONUÇLARI	97
4.4.1. Sertlik Testi Sonuçları	97
4.4.2. Basma Testi Sonuçları	99
4.4.3. Push-Out Testi Sonuçları	106
4.5. KOROZYON TESTİ SONUÇLARI	123

	<u>Sayfa</u>
4.5.1. Daldırma Testi Sonuçları	123
4.5.2. Potansiyodinamik Polarizasyon Testi Sonuçları	129
4.6. AŞINMA TESTİ SONUÇLARI	141
BÖLÜM 5	159
GENEL SONUÇLAR	159
KAYNAKLAR	163
ÖZGEÇMİŞ	173

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Magnezyum birim hücre kristal yapılarının şematik gösterimi. a) atomik pozisyonlar, b) taban düzlem ve [1210] bölgesindeki temel düzlemler, c) [1100] bölgesindeki temel düzlemler ve d) temel yönler	4
Şekil 2.2. Magnezyum alaşımlarında kodlama yöntemi	5
Şekil 2.3. Magnezyumun alaşımlama davranışı.....	9
Şekil 2.4. Mg-Al ikili faz diyagramı	10
Şekil 2.5. AZ91E alaşımındaki b-(Mg ₁₇ Al ₁₂) fazının çökmesi. a) sürekli ve b) süreksiz	11
Şekil 2.6. a) AZ91 alaşımının 100 °C ve 200 °C' deki izotermal yaşlandırma eğrileri ve b) 200 °C' de 8 saat yaşlandırma sonrası oluşan b-(Mg ₁₇ Al ₁₂) çökeltilerinin TEM mikroyapısı.....	12
Şekil 2.7. Mg-Al-Zn alaşımlarının dökümü için uygun bileşim aralıkları.....	13
Şekil 2.8. Mg-Zn ikili faz diyagramı.....	14
Şekil 2.9. Mg-Al ve Mg-Zn ikili sistemlerin katı çözeltili sertleştirmeleri.....	14
Şekil 2.10. Mg-Zr ikili faz diyagramının Mg'ce zengin bölgesi.....	15
Şekil 2.11. Zn-Zr ikili faz diyagramı	16
Şekil 2.12. Mg-Mn faz diyagramı	17
Şekil 2.13. Elementlerin oda sıcaklığında maksimum çözünlükleri.....	19
Şekil 2.14. Magnezyum alaşımlarının yapısal malzeme olarak bazı kullanım alanları.....	21
Şekil 2.15. Magnezyum alaşımlarından üretilen otomobil parçaları ve sağladığı ağırlık kazançları.....	22
Şekil 2.16. Ekstrüzyon magnezyum alaşımlarının bazı uygulamaları	23
Şekil 2.17. Yüksek basınçlı döküm yöntemleri. a) sıcak hazneli ve b) soğuk hazneli	24
Şekil 2.18. Düşük basınçlı döküm yöntemi	26
Şekil 2.19. Amerikan Alüminyum Birliğinin dövme alaşımları için isimlendirme kriterleri.....	31
Şekil 2.20. Isıl işlem durumlarına göre hadde alüminyum alaşımları.....	33
Şekil 2.21. Al-Cu faz diyagramı	40
Şekil 2.22. Al-Si faz diyagramı.....	41

Şekil 2.23. Al-Mg faz diyagramı	41
Şekil 2.24. Alüminyumun kullanım alanlarına göre dağılımı.....	48
Şekil 2.25. Bimetalik madeni para.	52
Şekil 2.26. Bimetal plaka ve davranışları.	53
Şekil 2.27. Sıcaklığın etkisiyle açılıp, kıvrılan sarmal.....	53
Şekil 2.28. Bimetal bileşenin boyut olarak mm cinsinden üretim aşamaları. (a) Ortak kalıp, birlikte çekilmiş çubuktan kesilmiş; (b) İlk dövme basamağından sonra ön form (Başlık); (c) ikinci dövme adımından sonra bimetal bileşen (Net şekil dövme).....	54
Şekil 2.29. Mg / Al bimetalik külçelerin (a) 680 ° C, (b) 700 ° C ve (c) 720 ° C'de dökülmüş enine kesit görüntüleri.	55
Şekil 2.30. (a) WE43 / AZ31, BM (ana metal) AZ31 ve BM WE43 örneklerinin gerçek gerilim-gerinim eğrileri; (b) Kırılma yüzeyine dik olan yırtılmış örneklerin optik mikro yapıları.	55
Şekil 2.31. (a) AZ31 / WE43 bimetal kompozitlerinin görünüşleri; (b, c) AZ31 / WE43 bimetal kompozitlerin bağlanma ara yüz bölgesinin mikro yapıları; (d) Arayüz bağlama bölgesindeki çökelmiş fazların şematik diyagramı.	56
Şekil 2.32. (a) Mg / Al laminat kompozitinin ekstrüzyonla üretilmesini ve (b) numunelerin ekstrüzyon doğrultusu boyunca gerilim testleri için hazırlanmasını gösteren şematik diyagramlar.....	56
Şekil 2.33. (a) Üç tip Mg / Al çok tabakalı plakanın (belirtilen Mg / Al-1, Mg / Al-2 ve Mg / Al-3) bir ekstrüzyon sınırlama işlemiyle (b) imal edilmiş plakaların kesitsel SEM mikrografları (c) geçiş katmanının mikro yapısını ve bileşimini gösteren SEM mikrografları ve EDS haritalamaları. (EDS haritalarındaki kırmızı ve yeşil noktaları, özellikle Mg ve Al ögelerini temsil eder). ND, ED ve TD, sırasıyla haddelenmiş plakanın normal yönünü, enine yönünü ve ekstrüzyon yönünü ifade eder.	57
Şekil 2.34. Bimetalik eklem alanı (a); geçiş tabakası kalınlığı ölçümlerinin örnek sonuçları (b). Büyütme 500T.	58
Şekil 2.35. Temsilci: (a) Mg / 0.079 Al makrokompozit içinde minimal arayüzey bağlanma varlığını gösteren mikrograf ve (b) Mg-Al arayüzünde difüzyon bölgeleri gösteren EDS çizgi taraması.	59
Şekil 2.36. Deney ekipmanının şematik gösterimi.....	60
Şekil 2.37. Farklı vakum derecelerinden elde edilen Al / Mg bimetallerinin makrografları: (a) 0 MPa; (b) 0.01 MPa; (c) 0.03 MPa; (d) 0.05 MPa....	60
Şekil 2.38. Al / Cu eklemi doğrudan bağlamanın 160 ° C'de 160 saniye boyunca arayüzey mikroyapısının SEM görüntüleri (Örnek 1): (a) Kesit mikroyapısı; (b) (a) 'daki A dikdörtgeninin büyütülmüş görüntüsü; (c) (a) 'daki B dikdörtgeninin büyütülmüş görüntüsü; (d) (c) 'deki C dikdörtgeninin büyütülmüş görüntüsü.	61

Şekil 2.39. Farklı parametrelerde yapılan Al-Cu bimetallerin arayüz bölgesinin mikro yapıları (a, mekanik cilalı karşılaştırma 700 ° C 70 MPa, b, 680 ° C 70 MPa, c, 700 ° C 70 MPa, d, 720 ° C 70 MPa, e, 740 ° C 70 MPa, f, 700 ° C 30 MPa, g, 700 ° C 110 MPa).	62
Şekil 2.40. AZ91D kesici uç koşulu altında diğer parametrelerle üretilen Al / Mg bimetallerinin arayüz katmanlarının mikroyapıları: (a) Numune 4, (b) Numune 7, (c) Numune 10, (d) Numune 6, (e) Numune 9.	63
Şekil 3.1. Düşük basınçlı (a) Döküm sisteminin şematik ve b) döküm öncesi kapatılmış düşük basınçlı kalıbın görüntüsü.	65
Şekil 3.2. Magnezyum esaslı alaşımların kalıptan çıktıktan sonraki görüntüsü.	66
Şekil 3.3. Ergitme ünitesi a) Ergitme ocağı, b) Döküm potası.....	67
Şekil 3.4. Kokil döküm kalıbı.	68
Şekil 3.5. Al/Mg alaşımı bimetal kompozitin döküm halinde a) Boydan görünümü ve b) Önden görünümü.....	68
Şekil 3.6. Ekstrüzyon düzeneğinin görüntüsü.	69
Şekil 3.7. Ekstrüzyon işleminde kullanılan MoS2 bazlı spreyci yağlayıcı.	70
Şekil 3.8. Al7075/Mg alaşımı bimetal kompozit malzemenin ekstrüzyon sonrası görünümü.	70
Şekil 3.9. Yoğunluk ölçüm düzeneği.	71
Şekil 3.10. Sertlik ölçüm cihazı.	73
Şekil 3.11. a) Basma öncesi dik görünüm b) Basma testi öncesi yan görünüm	74
Şekil 3.12. Basma test cihazı.	74
Şekil 3.13. a) Push-out testinde kullanılacak alt kılavuz ve zımba, b) Numunenin kılavuza yerleştirilmesi ve zımbanın konumu.....	75
Şekil 3.14. İleri-geri aşınma testi cihazının şematik gösterimi.	77
Şekil 4.1. Al7075/AZ91 bimetal kompozitin XRD analizi.	79
Şekil 4.2. Al7075/ZA62 bimetal kompozitin XRD analizi.	79
Şekil 4.3. Al7075/ZK60 bimetal kompozitin XRD analizi.	80
Şekil 4.4. Al7075/ZK61 bimetal kompozitin XRD analizi.	81
Şekil 4.5. Al7075/AS21 bimetal kompozitin XRD analizi.	82
Şekil 4.6. Al7075/Mg2Zn bimetal kompozitin XRD analizi.	82
Şekil 4.7. Al7075/AZ91 bimetal kompozitlerin dağlanmış optik mikroyapı görüntüleri.	84
Şekil 4.8. Al7075/ZA62 bimetal kompozitlerin dağlanmış optik mikroyapı görüntüleri.	84
Şekil 4.9. Al7075/ZK60 bimetal kompozitlerin dağlanmış optik mikroyapı görüntüleri.	85

Şekil 4.10. Al7075/ZK61 bimetal kompozitlerin dağlanmış optik mikroyapı görüntüleri.	86
Şekil 4.11. Al7075/AS21 bimetal kompozitlerin dağlanmış optik mikroyapı görüntüleri.	87
Şekil 4.12. Al7075/Mg2Zn bimetal kompozitlerin dağlanmış optik mikroyapı görüntüleri.	87
Şekil 4.13. Al7075/AZ91 ve Al7075/ZA62 bimetal kompozitlerin SEM görüntüleri.	88
Şekil 4.14. Al7075/AZ91 bimetal kompozit malzemenin SEM görüntüsü.	89
Şekil 4.15. Al7075/ZA62 bimetal kompozit malzemenin SEM görüntüsü.	90
Şekil 4.16. Al7075/ZK60 ve Al7075/ZK61 bimetal kompozitlerin SEM görüntüleri.	91
Şekil 4.17. Al7075/ZK60 bimetal kompozit malzemenin SEM görüntüsü.	92
Şekil 4.18. Al7075/ZK61 bimetal kompozit malzemenin SEM görüntüsü.	93
Şekil 4.19. Al7075/AS21 ve Al7075/ Mg2Zn bimetal kompozitlerin SEM görüntüleri.	94
Şekil 4.20. Al7075/AS21 bimetal kompozit malzemenin SEM görüntüsü.	95
Şekil 4.21. Al7075/Mg2Zn bimetal kompozit malzemenin SEM görüntüsü.	96
Şekil 4.22. Bimetal kompozit numunelerden alınan sertliklerin numune üzerindeki pozisyonları.	97
Şekil 4.23. Mg/Al bimetal kompozitlerin sertlik grafikleri.	98
Şekil 4.24. Mg/Al bimetal kompozitlerin basma deneyi grafikleri.	100
Şekil 4.25. İncelenen Al7075/Mg alaşım bimetal kompozitlerin maksimum (a) akma mukavemetleri (b) maksimum basma mukavemetleri ve (c) hasara başlayana kadar % uzama miktarları.	102
Şekil 4.26. Basma deneyi sonrası Al7075/AZ91 ve Al7075/ZA62 BMK'lerin düşük ve yüksek büyötmeli görüntüleri.	103
Şekil 4.27. Basma deneyi sonrası Al7075/ZK60 ve Al7075/ZK61 BMK'lerin düşük ve yüksek büyötmeli görüntüleri.	104
Şekil 4.28. Basma deneyi sonrası Al7075/AS21 ve Al7075/Mg2Zn BMK'lerin düşük ve yüksek büyötmeli görüntüleri.	105
Şekil 4.29. Al7075/Mg bimetal kompozitlerin push-out deney sonuçları.	108
Şekil 4.30. İncelenen Al7075/Mg bimetal kompozitlerin maximum kayma mukavemetleri.	109
Şekil 4.31. Push-out deneyi sonrası Al7075/AZ91 ve Al7075/ZA62 BMK'lerin düşük ve yüksek büyötmeli görüntüleri.	110
Şekil 4.32. Push-out deneyi sonrası Al7075/ZK60 ve Al7075/ZK61 BMK'lerin düşük ve yüksek büyötmeli görüntüleri.	111

Şekil 4.33. Push-out deneyi sonrası Al7075/AS21 ve Al7075/Mg2Zn BMK'lerin düşük ve yüksek büyütme görüntüleri.	112
Şekil 4.34. Al7075/AZ91 ve Al7075/ZA62 bimetel kompozit malzemelerin puh-out testi sonrası çekirdek malzemenin yüzey SEM görüntüleri.	113
Şekil 4.35. Al7075/AZ91 ve Al7075/ZA62 bimetel kompozit malzemelerin Push out testi sonrası çekirdek malzemelerin yüzeyinden alınan EDS nokta analizleri.	114
Şekil 4.36. Al7075/ZK60 ve Al7075/ZK61 bimetel kompozit malzemelerin puh-out testi sonrası çekirdek malzemenin yüzey SEM görüntüleri.	116
Şekil 4.37. Al7075/ZK60 ve Al7075/ZK61 bimetel kompozit malzemelerin Push out testi sonrası çekirdek malzemelerin yüzeyinden alınan EDS nokta analizleri.	117
Şekil 4.38. Al7075/AS21 ve Al7075/Mg2Zn bimetel kompozit malzemelerin Push out testi sonrası çekirdek malzemenin yüzey SEM görüntüleri.	119
Şekil 4.39. Al7075/AS21 ve Al7075/Mg2Zn bimetel kompozit malzemelerin Push out testi sonrası çekirdek malzemelerin yüzeyinden alınan EDS nokta analizleri.	120
Şekil 4.40. Bimetel kompozit malzemelerde kullanılan alaşımların teorik ısı iletim katsayıları.	122
Şekil 4.41. Al7075 alaşımı ile Magnezyum alaşım bileşenlerinin ısı iletkenlikleri arasındaki farklar.	123
Şekil 4.42. Mg/Al bimetel kompozitlerin daldırma korozyon deneyi ağırlık kaybı grafikleri.	124
Şekil 4.43. 24 saat süre için daldırma korozyon deneyi sonundaki bimetel kompozitlerin ağırlık kaybı değişim değerleri.	124
Şekil 4.44. Daldırma korozyon deneyi sonrası Al7075/AZ91 ve Al7075/ZA62 bimetel kompozitlerin düşük ve yüksek büyütme görüntüleri.	126
Şekil 4.45. Daldırma korozyon deneyi sonrası Al7075/ZK60 ve Al7075/ZK61 bimetel kompozitlerin düşük ve yüksek büyütme görüntüleri.	127
Şekil 4.46. Daldırma korozyon deneyi sonrası Al7075/AS21 ve Al7075/Mg2Zn bimetel kompozitlerin düşük ve yüksek büyütme görüntüleri.	128
Şekil 4.47. Mg/Al bimetel kompozitlerin potansiyodinamik polarizasyon eğrileri.	129
Şekil 4.48. Mg/Al bimetel kompozitlerin korozyon potansiyel değerleri ve korozyon akım yoğunlukları.	131
Şekil 4.49. Potansiyodinamik polarizasyon testi korozyon sonrası Al7075/AZ91 ve Al7075/ZA62 bimetel kompozitlerin düşük ve yüksek büyütme görüntüleri.	132
Şekil 4.50. Potansiyodinamik polarizasyon testi korozyon sonrası Al7075/ZK60 ve Al7075/ZK61 bimetel kompozitlerin düşük ve yüksek büyütme görüntüleri.	133

Şekil 4.51. Potansiyodinamik polarizasyon testi korozyon sonrası Al7075/AS21 ve Al7075/Mg2Zn bimetal kompozitlerin düşük ve yüksek büyütme görüntüleri.	134
Şekil 4.52. Al7075/AZ91 ve Al7075/ZA62 bimetal kompozit malzemelerin korozyon testi sonrası korozyona uğramış yüzey SEM görüntüleri.	135
Şekil 4.53. Al7075/ZK60 ve Al7075/ZK61 bimetal kompozit malzemelerin korozyon testi sonrası korozyona uğramış yüzey SEM görüntüleri.	136
Şekil 4.54. Al7075/AS21 ve Al7075/Mg2Zn bimetal kompozit malzemelerin korozyon testi sonrası korozyona uğramış yüzey SEM görüntüleri.	137
Şekil 4.55. Al7075/Mg bimetal kompozitlerin ağırlık ölçümü yöntemine göre mpy sonuçları.	139
Şekil 4.56. Al7075/Mg bimetal kompozitlerin Faraday Kanunu yöntemine göre mpy sonuçları.	140
Şekil 4.57. Al7075/Mg bimetal kompozitlerin aşınma deneyi ağırlık kaybı sonuçları.	142
Şekil 4.58. Al7075/Mg bimetal kompozitlerin (g/Nxm)) cinsinden aşınma katsayıları.	143
Şekil 4.59. Al7075/Mg bimetal kompozitlerin (mm ² /Nxm)) cinsinden aşınma katsayılarının değişimi.	144
Şekil 4.60. Aşınma deneyi sonrası Al7075/AZ91 ve Al7075/ZA62 BMK'lerin aşınmış yüzeylerinin düşük ve yüksek büyütme görüntüleri.	146
Şekil 4.61. Aşınma deneyi sonrası Al7075/ZK60 ve Al7075/ZK61 BMK'lerin düşük ve yüksek büyütme görüntüleri.	147
Şekil 4.62. Aşınma deneyi sonrası Al7075/AS21 ve Al7075/Mg2Zn BMK'lerin aşınmış yüzeylerinin düşük ve yüksek büyütme görüntüleri.	148
Şekil 4.63. Al7075/ AZ91 ve Al7075/ZA62 bimetal kompozit malzemelerin aşınma testi sonra kırık yüzey SEM görüntüleri.	149
Şekil 4.64. Al7075/AZ91 ve Al7075/ZA62 bimetal kompozit malzemenin aşınma testi sonrası aşınmış yüzey EDS elementel harita analizi.	150
Şekil 4.65. Al7075/ZK60 ve Al7075/ZK61 bimetal kompozit malzemelerin aşınma testi sonrası aşınmış yüzey SEM görüntüleri.	152
Şekil 4.66. Al7075/ZK60 ve Al7075/ZK61 bimetal kompozit malzemenin aşınma testi sonrası aşınmış yüzey EDS elementel harita analizi.	153
Şekil 4.67. Al7075/ AS21 ve Al7075/Mg2Zn bimetal kompozit malzemelerin aşınma testi sonra aşınma yüzey SEM görüntüleri.	155
Şekil 2.68. Al7075/AS21 ve Al7075/Mg2Zn bimetal kompozit malzemenin aşınma testi sonrası aşınmış yüzey EDS elementel harita analizi.	156
Şekil 4.69. Al7075/Mg bimetal kompozitlerin aşınma deneyi sürtünme katsayıları.	158

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Magnezyumun bazı önemli fiziksel özellikleri.....	3
Çizelge 2.2. Magnezyum alaşımlarında kullanılan bazı elementlerin kodları.....	6
Çizelge 2.3. Magnezyum alaşımlarında kullanılan bazı elementler ve serileri.....	6
Çizelge 2.4. Bazı magnezyum alaşımları ve belirgin özellikleri	7
Çizelge 2.5. Bazı nadir toprak elementlerinin fiziksel özellikleri ve magnezyumdaki maksimum çözünürlükleri	20
Çizelge 2.6. AZ91 ve AM50 alaşımlarının yüksek basınçlı, düşük basınçlı ve gravite dökümlerinin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması	27
Çizelge 2.7. 20 °C'de katı metal. Yoğunluk için örneklenmiş değerler	28
Çizelge 2.8. Alüminyumun bazı özelliklerinin diğer metallerle karşılaştırılması ...	30
Çizelge 2.9. Alüminyum işlem alaşımlarında simgeleme dizisi	32
Çizelge 2.10. Temel işlemleri gösteren simgeler	34
Çizelge 2.11. Alüminyuma uygulanan ısı işlemler ve sembolleri	36
Çizelge 2.12. Alüminyum döküm alaşımlarında simgeleme dizisi.....	38
Çizelge 2.13. Alaşım elementlerinin katılma sıcaklığında ve oda sıcaklığında çözünürlükleri	39
Çizelge 2.14. Alüminyum alaşımlarına elementlerin etkileri.	44
Çizelge 3.1. Dökümde kullanılan saf metal ve master alaşımların kimyasal bileşimleri.	66
Çizelge 4.1. Üretilen Mg/Al bimetal kompozitlerin yoğunluk sonuçları.....	78
Çizelge 4.2. Al7075/AZ91 bimetal kompozit malzemenin EDS analiz sonuçları... 89	
Çizelge 4.3. Al7075/ZA62 bimetal kompozit malzemenin EDS analiz sonuçları... 90	
Çizelge 4.4. Al7075/ZK60 bimetal kompozit malzemenin EDS analiz sonuçları... 92	
Çizelge 4.5. Al7075/ZK61 bimetal kompozit malzemenin EDS analiz sonuçları... 93	
Çizelge 4.6. Al7075/AS21 bimetal kompozit malzemenin EDS analiz sonuçları... 95	
Çizelge 4.7. Al7075/Mg2Zn bimetal kompozit malzemenin EDS analiz sonuçları.96	
Çizelge 4.8. Mg/Al bimetal kompozitlerin sertlik değerleri.	98
Çizelge 4.9. Mg/Al bimetal kompozitlerin korozyon akım yoğunlukları ve potansiyel değerleri.	130

Çizelge 4.10. Bimetal kompozitlerin ağırlık kaybı ölçümü ve faraday kanuna göre
mdd değerleri. 139

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- $Cr_{eş}$: krom eşdeğerliliği
 $Ni_{eş}$: nikel eşdeğerliliği
Ag : gümüş
Al : alüminyum
Ar : argon
Au : altın
Cu : bakır
 H_2 : hidrojen
He : helyum
Mo : molibden
Ni : nikel
erf(z) : hata işlevi
 γ : birim hacim ağırlığı
 $\Gamma(x)$: gama işlevi
 θ : kutupsal açı
 σ : normal gerilme
 σ_c : tek eksenli basınç dayanımı

KISALTMALAR

- AISI : American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
- ASTM: American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu)
- AWS : American Welding Society (Amerika Kaynak Topluluğu)
- DIN : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
- EN : European Norm (Avrupa Normu)
- IIW : International Institute of Welding (Uluslararası Kaynak Enstitüsü)
- ITAB : Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
- TS : Türk Standardı
- BMK : Bimetal Kompozit

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Son yıllarda otomotiv ve havacılık sektörlerinde artan ağırlık kazanımı ihtiyacından dolayı hafif ve yüksek dayanımlı malzemeler ön plana çıkmaktadır. Modern endüstrinin gelişmesiyle birlikte, tek bir metalik malzeme için düşük maliyetle yüksek performans ve verim gereksinimlerini karşılamak zordur. Böyle durumlarda ise bimetalik tasarım ve imalat ideal bir çözüm gibi görünmektedir [1,2]. Magnezyum-Alüminyum bimetal, bu endüstriye uygulamalar için umut verici bir çözüm olabileceği düşünülerek, kendine has özellikleri nedeniyle büyük ilgi odağı durumundadır [3]. Alüminyum malzemesi yüksek mukavemet, korozyon direnci, düşük yoğunluk, kolay şekil alabilirlik, süneklik ve elektrik iletkenliği gibi özellikleri nedeniyle dünya çapında çok geniş bir kullanım alanına sahiptir ve gün geçtikçe kullanım alanı artmaktadır [4-5]. Alüminyumun mekanik özelliklerinin yeterli gelmemesi nedeniyle kullanılmadığı yerlerde dahi ana matrisi alüminyum olan kompozit malzemeler üretilerek kullanılabilmesi sağlanabilmektedir [6]. Magnezyum ve alaşımları ise, yüksek özgül dayanım (dayanım/ağırlık), yüksek özgül ısı kapasitesi, yüksek sönümleme kabiliyeti, düşük yoğunluk, döküm kolaylığı gibi mekanik özellikleri ile endüstriyel alandaki birçok uygulama için ilgi çekici ve umut vadeden bir metaldir [7,8]. Otomotiv, havacılık ve uzay sektörleri başta olmak üzere birçok alanda kullanılmakta olup, halen yeni magnezyum alaşımları geliştirilmektedir [9]. Ancak sahip oldukları düşük aşınma ve korozyon dirençleri sebebiyle bazı uygulamalarda kullanımı mümkün olamamaktadır. Magnezyum ve türevlerinin korozyon, aşınma, yorulma ve sürünme dirençleri geliştirilmesi gereken özelliklerdir [10]. Bu nedenle olası çözüm, homojen magnezyum alaşımlarına kıyasla yüksek mekanik performans sağlayan magnezyum-alüminyum (Mg-Al) bimetalik çubukların üretilmesidir. Literatürde bu konu ile ilgili birçok çalışma mevcuttur.

Bu çalışmanın amacı, tane boyutu ve ergime sıcaklıkları birbirine yakın Mg ve Al metalleri seçilerek birbirinin olumsuz özelliklerini gidererek olumlu özelliklerini ön plana çıkarmak için bimetal yöntemi kullanılarak üretilen bimetal malzemenin mekanik ve mikroyapı özelliklerinin incelenmesidir.

Magnezyumun adhezif ve abrasif aşınma direncinden daha iyi olan alüminyum metali ile bimetal makro kompozit yöntemi kullanılarak daha dayanıklı hale getirerek, kullanılacak çekirdek malzemeye göre daha yüksek sertliğe sahip alüminyumun, kompozit malzemenin sertlik değerini ve mukavemetini arttırması hedeflenmektedir. Malzemenin korozyif ortamlara karşı dirençli olmasını sağlamak amacıyla korozyif ortamda aktif olan metal yüzeyini pasifleştirme amacıyla kabuk malzemesi olarak alüminyum kullanılarak korozyon direncinin arttırılması amaçlanmaktadır. Mg/Al bimetal, magnezyumun düşük yoğunluğu, hafifliği, özgül yüksek mukavemeti ve Alüminyumun korozyon direnci, yüksek elektriksel ve termal iletkenliği birleştirilerek birçok endüstriye hitap eden malzeme üretilebileceği düşünülmektedir. Alüminyumun içini daha hafif bir metal olan magnezyum metalini çekirdek malzeme olarak kullanıp bimetal kompozit malzemenin ağırlığını azaltıp, daha hafif bir malzeme üretilmesi planlanmaktadır.

Magnezyum alaşımı takviye elemanlarını, Alüminyum alaşımli matris ile bimetal makro kompozit üretimini gerçekleştirip; Magnezyum'un düşük yoğunluğu, hafifliği, özgül ağırlığı, yüksek mukavemeti ile Alüminyum'un korozyon direnci, yüksek elektriksel ve termal iletkenliğini birleştirip üretilen bimetalin ağırlığını %60, masrafını %40 azaltılması düşünülmektedir. Mg/Al bimetalik malzemenin mikroyapı (Optik mikroskop, SEM, EDS ve XRD görüntüleri), mekanik (sertlik ölçümleri, basma ve push-out deneyleri), korozyon (daldırma ve potansiyodinamik polarizasyon deneyleri) ve aşınma deneyleri ile özelliklerinin incelenecektir. Literatürde bulunan mevcut çalışmalarda mekanik ve mikroyapı incelemelerinin birlikte gerçekleştirildiği çalışmalar yeterli sayıda değildir. Planlanan çalışmanın literatüre önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

2.1. MAGNEZYUM

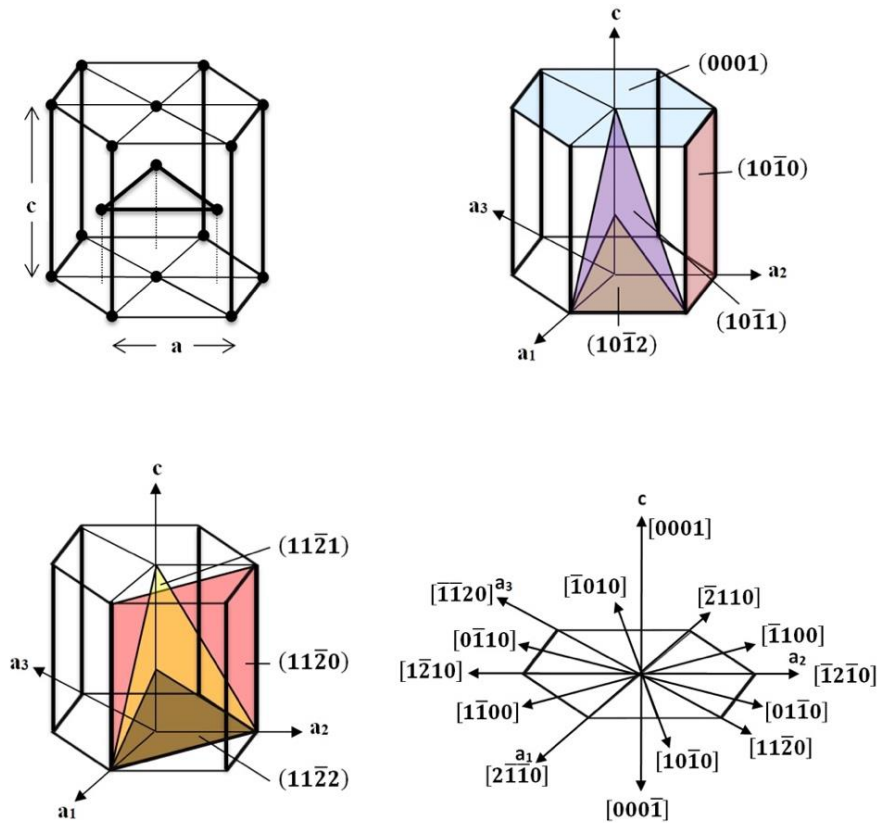
Magnezyum, 1,74 g/cm³ lük yoğunluğu ile kullanılan en hafif yapısal metaldir ve bu özelliği, ticari olarak en sık kullanılan metaller olan çelik (7,8 g/cm³) ve alüminyum ile (2,7 g/cm³) kıyaslanınca daha da ön plana çıkmaktadır [11]. Magnezyum, yeryüzünde en çok bulunan altıncı metal ve sekizinci elementtir. Magnezyumun diğer önemli fiziksel özellikleri Çizelge 2.1' de gösterilmiştir.

Magnezyumun düşük yoğunluğu, yüksek dayanım/ağırlık oranı ile birleşince, özellikle düşük ağırlık gerektiren parçalar için seçilmesini sağlamaktadır. Düşük erime sıcaklığı ve erime gizli ısı, döküm parçalarının dökülebilirliğini artırırken etkili bir şekilde üretilebilmesini sağlar. Ayrıca, magnezyum çok iyi işlenebilirliğe, iyi sönümleme kabiliyetine ve iyi kaynaklanabilirlik özelliğine sahiptir. Diğer taraftan, magnezyumun -2,37 V gibi oldukça düşük oksitlenme potansiyeline sahip olması galvanik korozyona olan yatkınlığını artırarak korozyon direncini düşürmektedir. Ayrıca magnezyum düşük sürünme dayanımına sahiptir.

Çizelge 2.1. Magnezyumun bazı önemli fiziksel özellikleri [11,12].

Atom numarası	12
Yoğunluk	1,738 g/cm ³
Ergime noktası	650 °C
Kaynama noktası	1090 °C
Özgül ısı	1,025 kJ.K-1 .kg-1 (20 °C' de)
Elastisite modülü	45 GPa
Sertlik	30-47 HB
Kristal yapısı	Hegzagonal sıkı paket (HSP)
Atom yarıçapı	0,159 nm

Saf magnezyum atmosferik basınç altında hegzagonal sıkı paket yapısında kristalize olur. Şekil 2.1’ de magnezyum birim hücresindeki atomik dizilimler ve temel düzlem ve yönler gösterilmektedir. Oda sıcaklığındaki saf magnezyumun latis parametreleri $a=0,32092$ nm ve $c=0,52105$ nm’ dir ve sahip olduğu 1,6236 c/a oranı ile mükemmel sıkı paket oranı olan 1,633’ e oldukça yakındır. Magnezyum sahip olduğu hegzagonal kristal yapı yüzünden oda sıcaklığında sınır sayıda aktif kayma sistemine sahiptir. Bu nedenle, deformasyon birincil kayma, ikincil kayma ve ikizlenme mekanizmalarını içerir. Birincil kayma (0001) taban düzleminde ve bu düzlemin en sıkı paketlenmiş yönü olan $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ yönünde gerçekleşir. İkincil kayma $(10\bar{1}0)$ prizmatik düzleminde ve $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ yönünde gerçekleşir. Artan sıcaklıkla $(10\bar{1}1)$ piramidal düzlemleri de devreye girer. İkizlenme, özellikle aktif kayma sistemlerinin yeterli olmadığı durumlarda gerçekleşir ve magnezyumun oda sıcaklığındaki deformasyonun sıkça görülür.



Şekil 2.1. Magnezyum birim hücre kristal yapılarının şematik gösterimi. a) atomik pozisyonlar, b) taban düzlem ve $[1\bar{2}10]$ bölgesindeki temel düzlemler, c) $[1\bar{1}00]$ bölgesindeki temel düzlemler ve d) temel yönler $[11]$.

2.1.1 Magnezyum Alaşımları ve Sınıflandırması

Saf magnezyum, düşük sertliğe ve düşük çekme-basma dayanımına sahip olduğu için yapı malzemesi olarak çok tercih edilmez. Ancak magnezyuma oda sıcaklığında, dinamik veya statik yükler altında yeterli dayanım ve süneklilik kazandırılırsa yapı malzemesi olarak kullanılabilir ve bu özellikler bilinen mukavemetlendirme mekanizmalarının (katı çözeltili sertleştirme, dispersiyon sertleştirme, deformasyon sertleştirme, tane küçültme) bir kombinasyonu sonucu kazandırılabilir.

Magnezyumun sünekliliği, tane boyutu küçültme işlemi ile çok büyük oranda artırılabilir ve bu belli alaşım elementlerinin eklenmesi ile elde edilebilir. Alaşım elementi ilavesi, eriyiğin reaktifliğini, dökülebilirliği ve korozyon özellikleri gibi diğer önemli özellikleri de etkileyebilir. Alaşım elementlerinin dikkatli seçimi ile magnezyum alaşımlarına istenilen özellikler kazandırılması mümkündür.

Magnezyum alaşımlarının isimlendirilmesinde, ilk iki alaşım elementinin Çizelge 2.2’de gösterilen kodları yazılarak, yanına bu elementlerin ağırlıkça yüzdeleri eklenir, Örn. Şekil 2.3’de gösterilen AZ91, ağırlıkça %9 Al ve ağırlıkça %1 Zn. Şimdiye kadar üretilmiş ve belli özellikler kazandırılarak kabul görmüş birçok magnezyum alaşımından biridir. Bunlardan bazıları ve belirgin özellikleri Çizelge 2.4 ve 2.5’te gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Magnezyum alaşımlarında kodlama yöntemi.

Çizelge 2.2. Magnezyum alaşımlarında kullanılan bazı elementlerin kodları [11].

A	Alüminyum
E	Nadir Toprak Elementi
J	Stronsiyum
K	Zirkonyum
L	Lityum
M	Mangan
P	Kurşun
Q	Gümüş
S	Silisyum
T	Kalay
W	İtriyum
X	Kalsiyum
Z	Çinko

Çizelge 2.3. Magnezyum alaşımlarında kullanılan bazı elementler ve serileri.

Magnezyum, alüminyum ve nadir toprak alaşımları	AE Serisi-Örn: AE42
Magnezyum, alüminyum ve stronsiyum alaşımları	AJ Serisi-Örn: AJ52
Magnezyum, alüminyum ve mangan alaşımları	AM Serisi-Örn: AM60B
Magnezyum, alüminyum ve silisyum alaşımları	AS Serisi-Örn: AS31
Magnezyum, alüminyum ve çinko alaşımları	AZ Serisi-Örn: AZ91D
Magnezyum, nadir toprak gümüş ve bakır alaşımları	EQ Serisi-Örn: EQ21
Magnezyum, nadir toprak ve çinko alaşımları	EZ Serisi-Örn: EZ33A
Magnezyum, toryum ve mangan alaşımları	HM Serisi-Örn: HM21A
Magnezyum, toryum ve zirkonyum alaşımları	HZ Serisi-Örn: HZ32A
Magnezyum, gümüş ve nadir toprak alaşımları	QE Serisi-Örn: QE22A
Magnezyum, gümüş ve toryum alaşımları	QH Serisi-Örn: QH21
Magnezyum, itriyum ve nadir toprak alaşımları	WE Serisi-Örn: WE43
Magnezyum, çinko ve bakır alaşımları	ZC Serisi-Örn: ZC71
Magnezyum, çinko ve zirkonyum alaşımları	ZK Serisi-Örn: ZK11
Magnezyum, çinko ve toryum alaşımları	ZT Serisi-Örn: ZT32

Çizelge 2.4. Bazı magnezyum alaşımları ve belirgin özellikleri [11].

AZ63	İyi oda sıcaklığı dayanımı ve süneklilik
AZ81	Tok, 0,0015 Be ilavesi yapılarak basınçlı döküm ile üretilir
AZ91	İyi dayanım ve genel kullanım amaçlı kum kalıba ve basınçlı döküme uygun
AM50	Yüksek basınçlı döküm ürünü
AM20	İyi süneklilik ve darbe direnci
AS41	150 °C' de iyi sürünme direnci
AS21	150 °C' de iyi sürünme direnci
AE42	150 °C' de iyi sürünme direnci
ZK51	Kum kalıba dökülebilir, İyi oda sıcaklığı dayanımı ve süneklilik
ZK61	ZK51 ile aynı özelliklerde
ZE41	İyi dökülebilirlik özellikleri, İyi oda sıcaklığı dayanımı ve süneklilik
ZC63	Basınçlı döküm ürünü, iyi yüksek sıcaklık özellikleri ve kaynak edilebilirlik
EZ33	İyi dökülebilirlik özellikleri, kaynak edilebilir ve iyi sürünme direnci
HK31	Kum kalıba dökülebilir, iyi dökülebilirlik özellikleri ve iyi 350 °C de sürünme direnci gösterir
HZ32	HK31 ile aynı özelliklerde
QE22	Kaynak edilebilir, 250 °C de iyi akma dayanımı
QH21	Kaynak edilebilir, iyi sürünme direnci, 300 °C de iyi akma dayanımı
WE54	Oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda iyi dayanım
WE43	İyi korozyon direnci, kaynak edilebilir
M1	Düşük veya orta dayanımlı alaşım, kaynak edilebilir, iyi korozyon direnci
AZ31	Orta dayanım, iyi şekillendirilebilirlik, kaynak edilebilir
AZ61	Yüksek dayanımlı alaşım, kaynak edilebilir
AZ80	Yüksek dayanımlı alaşım
ZM21	Orta dayanım, iyi şekillendirilebilirlik, iyi sönümlenme kabiliyeti
ZK30	Yüksek dayanımlı alaşım
ZK60	İyi şekillendirilebilirlik

Çizelge 2.4. (devam ediyor).

ZMC711	Yüksek dayanımlı alaşım
HK31	350 °C' de iyi sürünme direnci, kaynak edilebilir
HM21	350 °C' de iyi sürünme direnci, 425 °C' de kısa süre tutulabilir, kaynak edilebilir
WE43	İyi sürünme direnci
WE54	İyi sürünme direnci
LA141	Ultra hafif alaşım, düşük dayanım

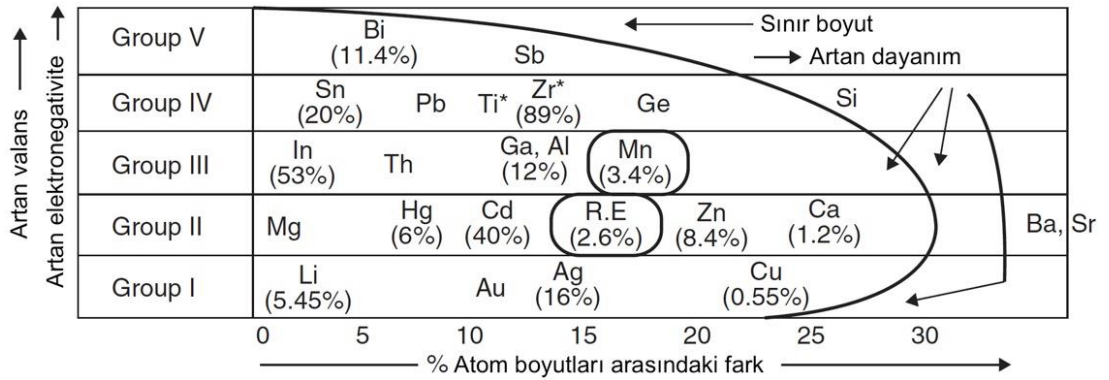
2.1.2. Magnezyum Alaşımlarında Yaygın Kullanılan Alaşım Elementleri

Magnezyum mühendislik uygulamaları için kullanılacaksa, diğer metallerle alaşımlandırılmalıdır. Çözünen elementlerin, sünekliği ve elastik özellikleri değiştirmesi ve katı çözelti sertleştirmesi sağlayarak mukavemeti arttırması beklenir. Kompozitler dikkate alınmazsa, sadece çözünebilir alaşım elementleri elastik sabitleri değiştirir [12]. Çözünürlüğü az olan alaşım elementi ilavesi sonucunda intermetalikler oluştuğunda dayanımda artış sağlanırken, süneklik kısıtlanır ve genellikle bu alaşımlar sadece döküm alaşımı olarak kullanılır. Oluşan termal kararlılığı yüksek intermetaliklerin uygun boyut kontrolü ve homojen dağılımları sağlandığında alaşımların sürünme direnci arttırılabilir. Ek olarak, intermetalik fazlar, sıcak deformasyon sırasında sahip oldukları boyutlara göre yeni çekirdeklenme bölgeleri oluşturarak tekstürün azaltılmasına yardımcı olabilir veya tane küçültücü etki göstererek yeniden kristalize edilmiş tane boyutunu küçültebilir.

Şekil 2.3 farklı alaşım elementlerinin; değerlik, elektronegatiflik ve atom boyutu farklılıkları bakımından magnezyum alaşımlandırılabilirliğini göstermektedir. Eğri içerisinde kalan elementler magnezyum içerisinde en az ağırlık %0,5 maksimum çözünürlüğe sahiptir. Alaşımların magnezyum içerisinde maksimum katı çözünürlükleri parantez içinde gösterilmiştir ve genellikle %15 atom boyutu farklılıklarına kadar ve valans değerlikleri 2 ve 3 olan alaşım elementlerinde çözünürlüğün yüksek olduğu görülmektedir. Bir alaşım elementinin etkili katı çözelti sertleşmesi sağlayabilmesi için ana element içerisinde yüksek katı

çözünürlüğüne ve farklı atom boyutlarına sahip olması gerekmektedir [13]. İndiyum (In) elementi %53 oranında maksimum çözünürlüğe sahip olmasına rağmen, atom boyutları magnezyum ile çok benzer olduğundan etkili katı çözeltili sertleşmesi sağlayamaz. Bu yüzden Al, Zn, RE gibi elementlerin bulunduğu %12-15 boyut farkında etkili katı çözeltili sertleşmesi bu alaşımlar ile sağlanabilir.

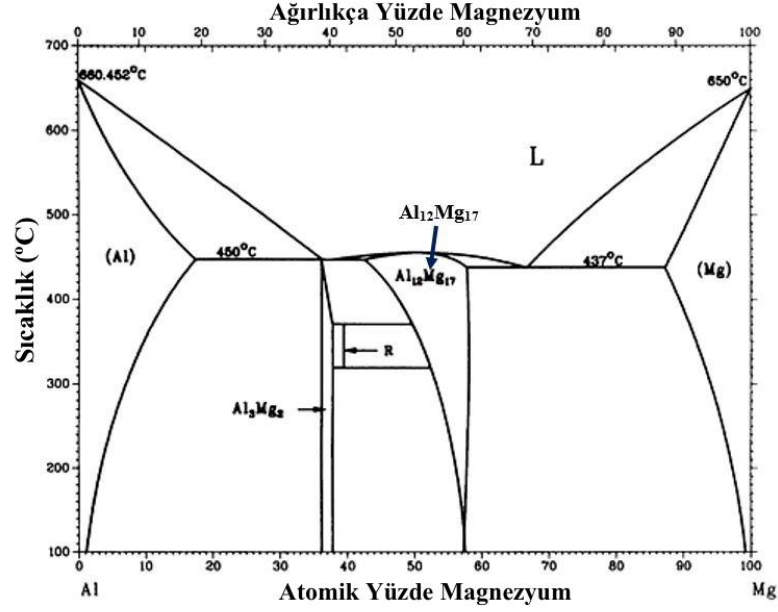
Magnezyum alaşımlarında yaygın olarak kullanılan alaşım elementlerinin ikili faz diyagramları ve magnezyuma olan etkileri aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 2.3. Magnezyumun alaşımlama davranışı [14].

2.1.2.1. Alüminyum

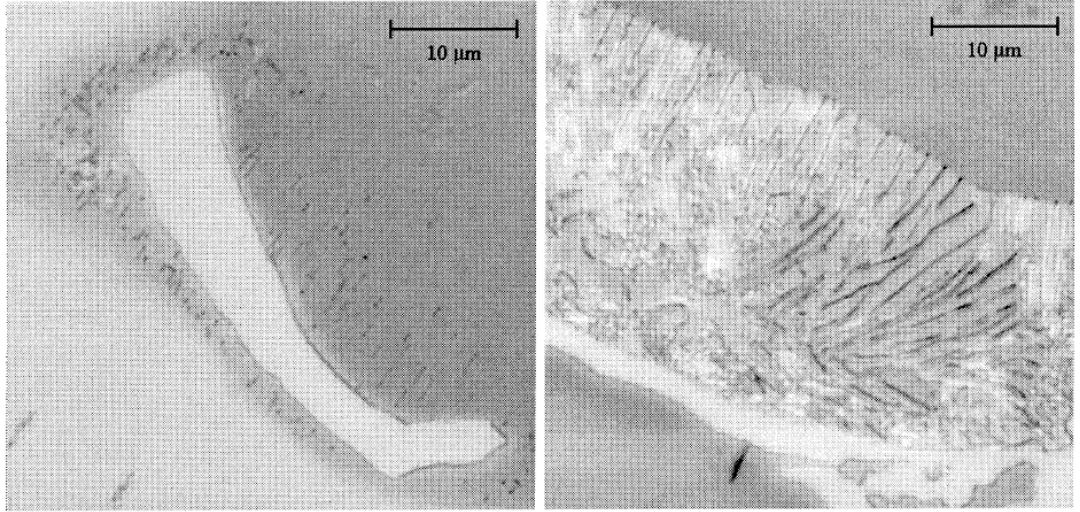
Alüminyum magnezyum alaşımlarında en çok kullanılan alaşım elementidir. Özellikle ticari olarak kullanılan basınçlı döküm magnezyum alaşımlarının temelini oluşturur. Magnezyum ve alüminyumun oluşturduğu ikili faz diyagramı Şekil 2.4' de gösterilmektedir. Alüminyumun magnezyum katı çözeltili içindeki maksimum çözünürlüğü 450 °C' de ağırlık %12,7 dir ve ağırlık %6' yı geçen alaşımlara ısıl işlem uygulanabilir [15,16]. Magnezyum ile atom boyutlarının farkı yaklaşık %12' dir ve bu fark sayesinde, katı çözeltili halindeyken kafes çarpılması oluşturarak dislokasyon hareketini etkili bir şekilde engeller ve alaşımın dayanımını artırır [14].



Şekil 2.4. Mg-Al ikili faz diyagramı [16].

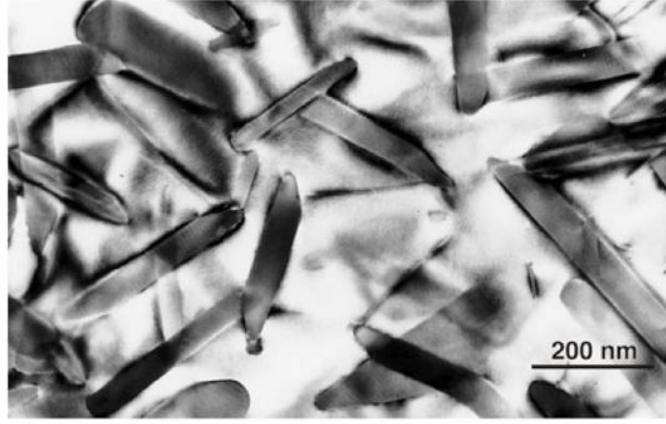
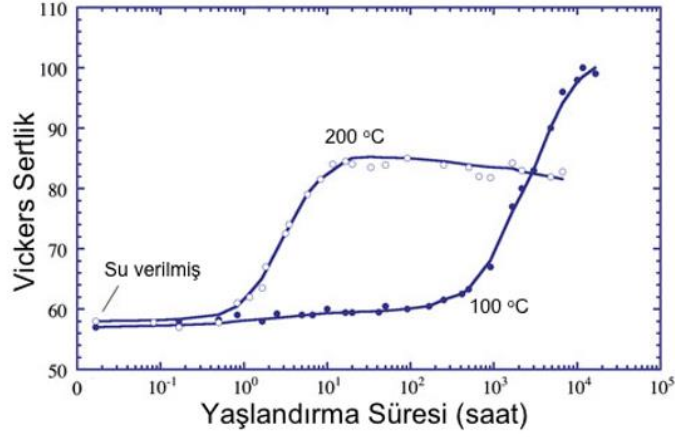
Al maksimum çözünürlüğün üzerinde olduğunda, kırılgen b-fazı (Mg₁₇Al₁₂) çöker. Maksimum çözünürlük oda sıcaklığında %1'e kadar düşer, bu nedenle b-fazı (Mg₁₇Al₁₂), alaşımın nihai özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynar. B-(Mg₁₇Al₁₂) fazı, Mg-Al alaşımlarının Al ağırlığı, %2 veya daha fazla miktarda bulunduğu ortaya çıkar [15]. Al oranı arttıkça, tane sınırlarında çöken b-(Mg₁₇Al₁₂) faz oranı artar ve Al oranı ağırlıkça %8'in üzerine çıktığında süneklik hızla azalır [15,17]. B-(Mg₁₇Al₁₂) fazının yapı içerisinde çökmesi sürekli veya süreksiz şekilde olabilir [18].

Sürekli çökme genellikle tane içlerinde görülür. Döküm sonrası yavaş soğuma meydana geldiğinde çoğunlukla tane sınırlarında süreksiz b-(Mg₁₇Al₁₂) fazı hücrel veya perlitik yapıda oluşabilir [18]. b-(Mg₁₇Al₁₂) fazının süreksiz çökmesi, alaşımın sürünme direncini olumsuz etkiler [17]. Şekil 2.5 sürekli ve süreksiz çökelmiş b-(Mg₁₇Al₁₂) fazlarını göstermektedir. Şekil 2.4'teki Mg-Al ikili faz diyagramından da anlaşılacağı üzere, b-(Mg₁₇Al₁₂) fazı, termal kararlılığı düşük olduğundan, alaşıma 400 °C civarında yapılacak bir tavlama işlemi ile bu fazın katı çözelti içerisinde tamamen çözünmesi sağlanabilir.



Şekil 2.5. AZ91E alaşıımındaki b-(Mg17Al12) fazının çökmesi. a) sürekli ve b) süreksiz [15].

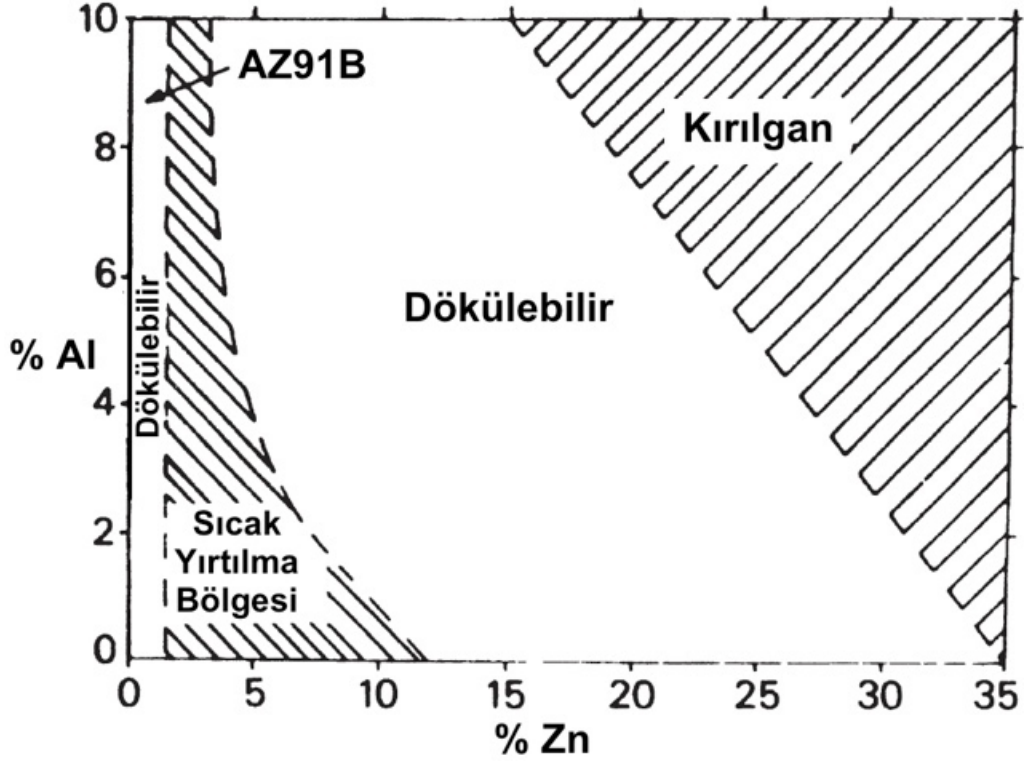
Alüminyumun oda sıcaklığında magnezyum içerisinde çözünabilirliği %1 e kadar düştüğü için, yaşlandırma işlemi ile de dayanımı ciddi derecede artırılabilir. Aşırı doymuş Mg-Al katı çözeltisinden, suni yaşlandırma ile b-(Mg17Al12) fazı genellikle GP (Guinier-Preston) bölgeleri ya da herhangi bir ara faz gözlenmeksizin çökmektedir. Şekil 2.6' da AZ91 alaşıımının yaşlandırılabilirliği ve yaşlandırma ile oluşan b-(Mg17Al12) çökeltilerinin mikroyapısı görülmektedir.



Şekil 2.6. a) AZ91 alaşımının 100 °C ve 200 °C’ deki izotermal yaşlandırma eğrileri ve b) 200 °C’ de 8 saat yaşlandırma sonrası oluşan b-(Mg₁₇Al₁₂) çökeltilerinin TEM mikroyapısı [19].

2.1.2.2. Çinko

Çinko, alüminyumdan sonra magnezyumda en çok kullanılan alaşım elementidir. Çoğunlukla alüminyumla birlikte oda sıcaklığındaki dayanımı arttırması için kullanılır ancak ağırlıkça %7-10 alüminyum içeren alaşımlarda ağırlıkça %1’ den fazla eklenen çinko sıcak yırtılmaya neden olur [11,17]. Şekil 2.7’ de Mg-Al-Zn alaşımlarında bileşime göre oluşabilecek sıcak yırtılma bölgesi gösterilmektedir. Çinko ergitme ve döküm sırasında akıcılığı geliştirir fakat döküm parçalarında mikroporoziteye de neden olabilmektedir. Çinko ayrıca iyi bir tane boyutu küçültücüdür [20] ve Hall Petch etkisi sonucu dayanımı arttırır [21,22]. Çinko ayrıca demir ve nikel impüritelerinin korozyona olan zararlı etkilerini de gidererek korozyon direncini arttırır [11,23].

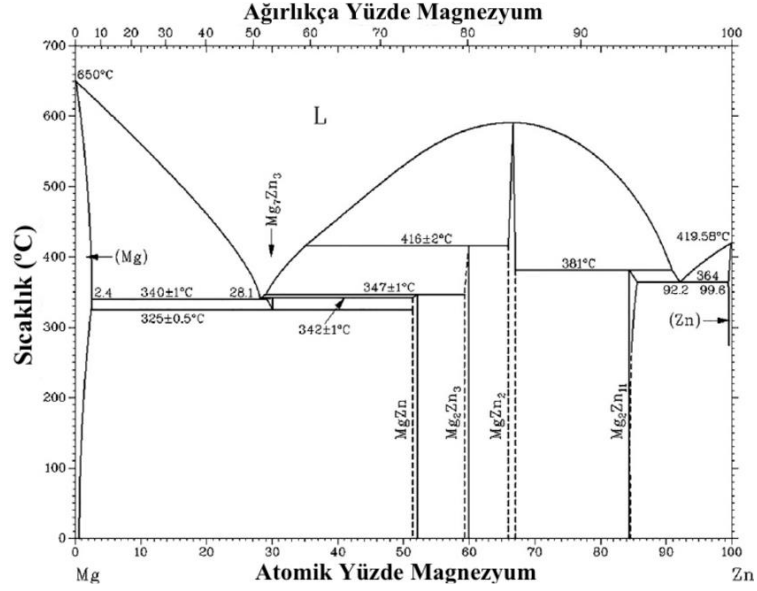


Şekil 2.7. Mg-Al-Zn alaşımlarının dökümü için uygun bileşim aralıkları [17].

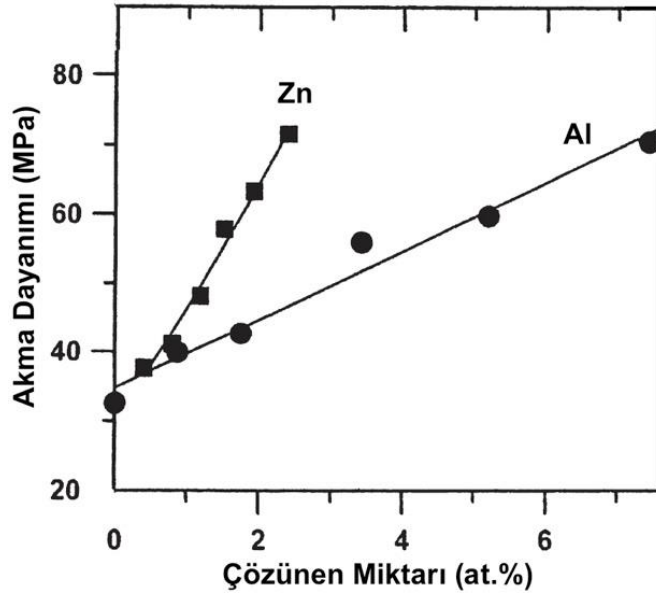
Şekil 2.8’ de magnezyum ve çinkonun ikili faz diyagramı görülmektedir. Çinkonun magnezyum katı çözelti içerisindeki maksimum çözünebilirliği yaklaşık ağı.%6,2’ dir ve ana alaşım elementi olarak genellikle bu oranın üzerinde kullanılmaz. Alüminyuma benzer şekilde, oda sıcaklığındaki çözünürlüğü yaklaşık ağı.%1 olduğundan aşırı doymuş katı çözeltinin bozunması ısı işlem ile kontrol edilerek, yaşlandırma gerçekleştirilebilir ve alaşımın dayanımı artırılabilir [24,25]. Öte yandan, çok kristalli magnezyuma Zn ilavesi ile özellikle oda sıcaklığındaki dayanım katı çözelti sertleşmesi ile ciddi miktarda artırılabilir. Caceres ve Blake, magnezyumun sünekliliğinin at.%1 (ağı.%2,6) çinko ilavesine kadar artırılabilirliğini göstermiştir [26]. Bu artışın nedeni olarak, çinko ilavesi sonucu prizmatik düzlemlerin yumuşaması gösterilmiştir. Artan Zn ilavesi ile gerinme sertleşmesi oranının artış gösterdiği ve bu ikincil kaymalardan meydana gelen yumuşamanın katı çözelti sertleşmesi ile dengelenerek sünekliliğin azaldığı görülmüştür [27].

Şekil 2.9’ da Mg-Al ve Mg-Zn ikili alaşımlarında Al ve Zn çözünen miktarının dayanıma etkisi karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Yüksek konsantrasyonda, Zn

ilavesinin magnezyumun dayanımını Al' ye kıyasla çok daha fazla arttırdığı görülmektedir.



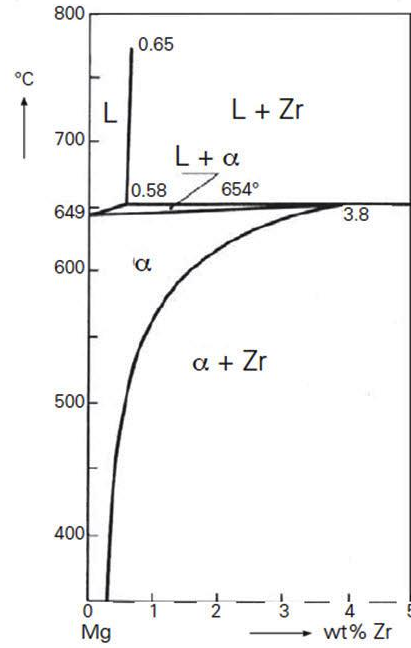
Şekil 2.8. Mg-Zn ikili faz diyagramı [16].



Şekil 2.9. Mg-Al ve Mg-Zn ikili sistemlerin katı çözelti sertleştirmeleri [17].

2.1.2.3. Zirkonyum

Zirkonyum, magnezyum alaşımlarında çok güçlü bir tane küçültücüdür ancak bu etkisi yapıda Al, Mn, Si ve Fe elementlerinin bulunmadığı durumlarda geçerlidir çünkü zirkonyum bu elementlerle kararlı bileşikler oluşturur ve tane küçültücü etkisi kaybolur [11]. Bu sebeple, sadece çinko ve nadir toprak elementleri tabanlı magnezyum alaşımları zirkonyum ile tane küçültülebilen alaşımlardır. Zirkonyumun tane boyutu küçültücü etkisi, α -zirkonyum ile magnezyumun latis parametrelerindeki benzerlikten dolayı katılaşma sırasında erken oluşan zirkonyumca zengin katı parçacıkların heterojen çekirdeklenme bölgeleri oluşturmasına dayandırılmaktadır [11,17].

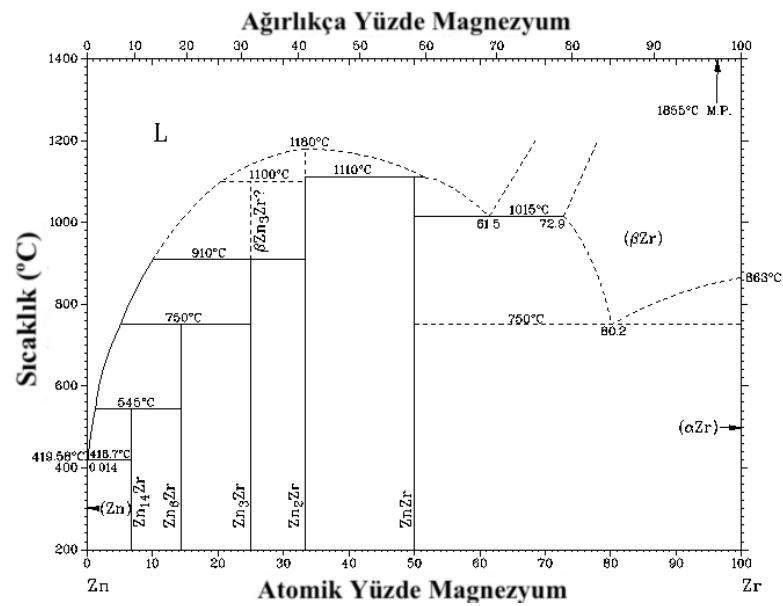


Şekil 2.10. Mg-Zr ikili faz diyagramının Mg'ce zengin bölgesi [16].

Şekil 2.9' da görüldüğü üzere, Zr' nin ergiyik saf magnezyumdaki maksimum çözünübilirliği 654 °C' de ağırlık yüzdesi %0,6' dır. Peritektik sıcaklığında bu değer ağırlık yüzdesi %3,8' e kadar yükselir daha sonra 300 °C' de iken ağırlık yüzdesi %0,3' e kadar düşer ve oda sıcaklığında bu değerde kalır. Hildebrand ve arkadaşları, Mg' ye ağırlık yüzdesi %4' e kadar olan Zn ilavesi ile Zr' nin çözünübilirliğinde artış olduğunu göstermişlerdir [28]. Bu durum her iki alaşım elementinden de büyük ölçüde faydalanılmasına sebep olduğundan Mg-Zn-Zr serisi

(ZK serisi) alaşımlarını çekici kılmaktadır. Ayrıca Zr ilavesi ile daha eşksenel veya daha küresel taneler oluşmaktadır ve bu durum da son alaşımın mekanik özelliklerini arttırmaktadır [28,29]. Zr elementinin dökme magnezyum alaşımlarında gösterdiği kendine has tane küçültme kabiliyeti, ekstrüzyon profillerinde daha da geliştirilebilmektedir [30]. Ayrıca Mg-Zn ikili sistemine Zr elementi ilavesi alaşımın solidus sıcaklığını artırır ve sıcak deformasyon işlemine ekstra fayda sağlar [29]. Bu özellikler, bazı önemli ticari Mg-Zn-Zr dövme magnezyum alaşımlarının (ZK40 ve ZK60) geliştirilmesine sebep olmuştur.

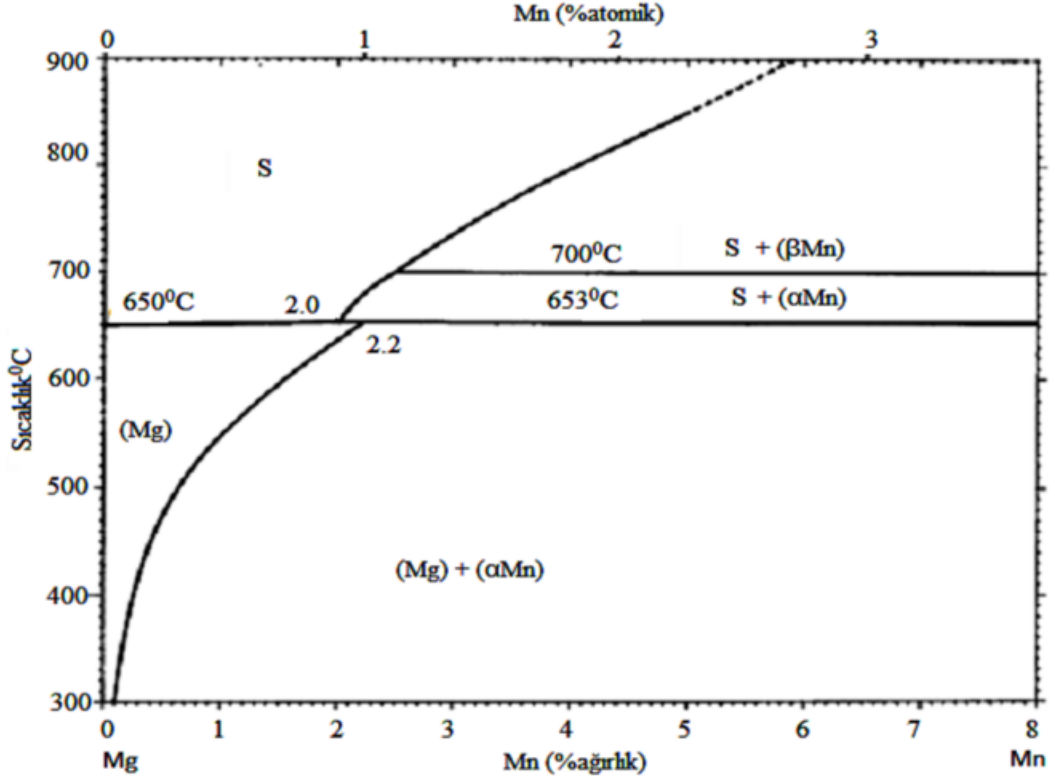
Mg-Zn-Zr sistemi, Zn ve Zr elementlerinin kombineli bir şekilde sağlamış olduğu faydalar sayesinde, Mg-Al-Zn sisteminden sonra en çok ticari olarak kullanılan ve geliştirilmeye en müsait magnezyum alaşım sistemi olarak kabul edilmektedir. Mg-Zn-Zr sisteminde şimdiye kadar yapılan incelemelerde bu üç elementin oluşturduğu herhangi bir üçlü faz bulunmamıştır [31,32]. Bu sistemde oluşan intermetalikler çoğunlukla Zn-Zr ve Mg-Zn ikili fazlarıdır. Zn ve Zr elementlerinin oda sıcaklığında Mg katı çözeltisi içindeki çözünürlüklerinin ve Zn ve Zr arasındaki oluşum entalpisinin düşük olması, bu bileşiklerin oluşumundaki ana sebep olarak gösterilebilir. Şekil 2.11’ da Zn-Zr ikili faz diyagramından da görüleceği üzere ZnZr ve Zn₂Zr intermetalikleri termal kararlılığı yüksek intermetalikler olup, Mg-Zn-Zr sistemini inceleyen önceki çalışmalarda bu intermetalikler sıkça gözlenmiştir [28,33–34].



Şekil 2.11. Zn-Zr ikili faz diyagramı [16].

2.1.2.4. Mangan

Demir ile reaksiyona girer ve yapıdaki serbest demir atomlarını azaltır ve böylece korozyon direncine önemli katkı sağlar [35].



Şekil 2.12. Mg-Mn faz diyagramı [36].

2.1.2.5. Kalsiyum

Kalsiyum elementi yine etkili bir tane incelticidir ve ergimiş haldeki alaşımın oksidasyonunu önlemektedir. Kalsiyum magnezyumun sürünme dayanımını iyileştirmektedir. Fakat kalsiyum çok hassas ölçülerde eklenebilir ve genellikle %0,3 seviyesini geçmez. [37].

2.1.2.6. Silisyum

Silisyum elementi dökülebilirliği artırmakta ve sürünme dayanımını iyileştirmektedir. Fakat demir içeren alaşımlamalarda korozyon dayanımını azaltmaktadır. [38]

2.1.2.7. Gümüş

Gümüş, yüksek sıcaklık değerlerinde sürünme ve çekme dayanımlarını artırmaktadır. Yaşlandırma ısıl işleminin etkilerine büyük katkı sağlamaktadır [39].

2.1.2.8. Demir ve Nikel

Magnezyum alaşımlarında korozyon direncine verdiği zarar sebebiyle eser miktarda olmasına önemşidir. %0.005 seviyesi tavsiye edilen en yüksek orandır [38].

2.1.2.9. Bakır

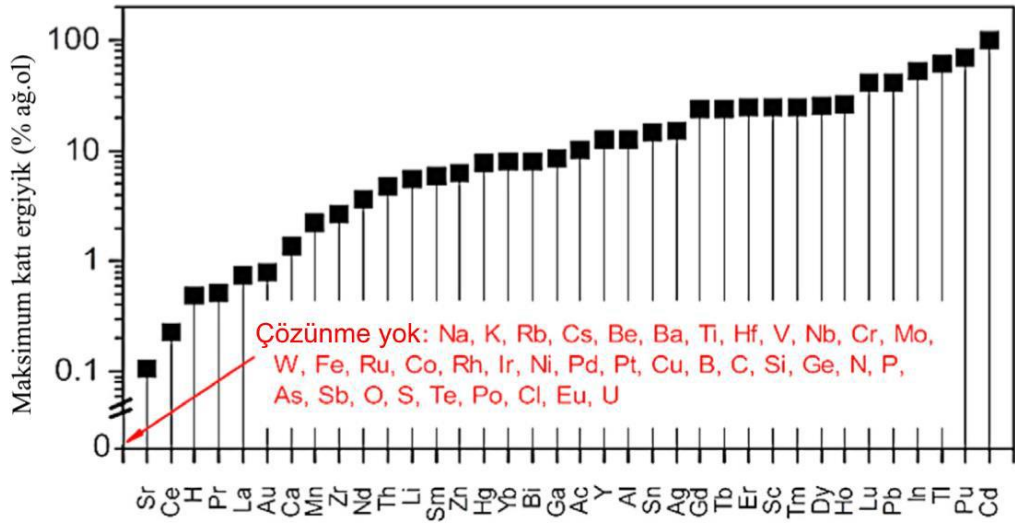
Mg-Al-Zn alaşımlarının korozyon direncini olumsuz etkilemektedir. Buna rağmen Mg-Zn alaşımlarının süneklğini iyi etkilemekte ve yaşlanma kabiliyetini geliştirmektedir. Ayrıca yüksek sıcaklık dayanımına katkı sağlamaktadır [40].

2.1.2.10. Berilyum

Eser miktarda (10 ppm dolaylarında) kullanılmakta ve oksidasyonu engellemektedir. Bunun yanında demir giderici olarak da bilinmektedir. Fakat Mg-Al alaşımlarında tane irileşmesi yapmaktadır [41].

2.1.2.11. Lityum

En önemli avantajı şekil alma kabiliyetini geliştirmesidir. Fakat diğer yandan mekanik özellikleri ve korozyon direncini azaltmaktadır [42].



Şekil 2.13. Elementlerin oda sıcaklığında maksimum çözünürlükleri [43].

2.1.2.12. Nadir Toprak Elementleri (RE)

Magnezyum alaşımlarında şimdiye kadar en yaygın kullanılan nadir toprak elementleri seryum (Ce), lantan (La), neodimium (Nd), toryum (Th), itriyum (Y), gadolonyum (Gd) ve skandiyum (Sc)' dur. Skandiyum ve radyoaktif olan toryum elementlerinin yararlı etkileri görülse de çok pahalı olduklarından uygulamada kullanılmaz. Nadir toprak elementleri magnezyum alaşımlarına ayrı ayrı veya benzer özellikler kazandırdıklarından karışım halinde de eklenebilir. Bu sınıftaki bütün metaller magnezyumun dayanımını arttırmaları ve az miktarda eklendiklerinde bile sünekliği arttırmaları. İyi dayanım özellikleri, iyi dökülebilirlik ve düşük kaynak kırılabilirliği ve özellikle yüksek sıcaklık sürünme direnci ve termal kararlılığı, bu alaşım elementlerini ticari uygulamalar için çekici kılmaktadır [44]. Buna rağmen ticari uygulamalarda dövme alaşım olarak ZE10 (Mg-1Zn-0,2Ce-MM), WE43 (Mg-4Y-3Nd-0,5Zr) ve WE54 (Mg-5Y-3,5Nd-0,5Zr) alaşımları geliştirilip kullanılmıştır. Nadir toprak elementlerinin yaygınlaşmamasındaki en büyük neden çok pahalı olmalarıdır.

Nadir toprak elementlerinin çoğu magnezyum içerisinde sınırlı çözünürlüğe sahiptir ve düşük miktarlarda eklendiğinde bile termal kararlılığı yüksek intermetalikler oluşturur. Bu durum, magnezyum alaşımlarının özellikle yüksek sıcaklık sürünme dayanımını arttırmasına yardımcı olsa da daha yüksek oranlarda ilave edildiğinde kaba

ikincil fazların oluşumu yüzünden magnezyum alaşımının sünekliğini düşürebilir. Ayrıca nadir toprak elementleri magnezyuma genellikle Zn veya Zr ile birlikte ilave edilir. Zn ile sağlanan katı çözümlü mukavemetlendirmesi ve Zr ile sağlanan tane küçültme etkisi ile birlikte nadir toprak elementi ilaveli yeni nesil umut vadeden dövülebilir magnezyum alaşımları geliştirilebilmektedir. Bazı nadir toprak elementlerinin fiziksel özellikleri ve magnezyum içerisindeki maksimum çözünebilirlikleri Çizelge 2.5’ de özetlenmiştir.

Çizelge 2.5. Bazı nadir toprak elementlerinin fiziksel özellikleri ve magnezyumdaki maksimum çözünebilirlikleri [11,44,45].

Element	Kristal Yapı	Yoğunluk (gr/cm ³)	Atom Yarıçapı (nm)	c/a	Ergime Sıcaklığı (°C)	Maksimum Çözünebilirlik (ağ.%)
La	HSP	6,146	0,187	1,613	918	0,22 (600 °C’ de)
Ce	YMK	6,770	0,182	-	798	0,74 (590 °C’ de)
Nd	HSP	7,008	0,182	1,613	1021	3,6 (552 °C’ de)
Y	HSP	4,469	0,180	1,571	1522	11,4 (567 °C’ de)
Gd	HSP	7,901	0,180	1,590	1313	23,5 (548 °C’ de)
Sc	HSP	2,989	0,164	1,594	1541	24,5 (710 °C’ de)
Er	HSP	9,066	0,175	1,570	1529	33,8 (555 °C’ de)

2.1.3. Magnezyum Alaşımlarının Uygulama Alanları

Magnezyum alaşımları, çelik ve alüminyum alaşımlarını takiben en yaygın kullanılan üçüncü yapısal metaldir. Yaklaşık olarak çeliğin dörtte biri ve alüminyumun üçte ikisi yoğunluğu ile en hafif yapısal metal olan magnezyum, özellikle ağırlık kazancının önemli olduğu uygulamalar için önemli fırsatlar sunmaktadır. Magnezyum alaşımları şimdiye kadar, taşınabilir cihazlar, dizüstü bilgisayarlar, kameralar, cep telefonları, mutfak el aletleri gibi elektronik cihazlar, tenis raketleri, bisiklet çerçeveleri, okçuluk yay kolları gibi spor aletleri ve en çok uygulama alanı bulduğu otomotiv ve havacılık sektöründeki motor blokları, jantlar, gösterge panoları, direksiyon aksamaları, koltuk çerçevesi, dişli kutuları gibi uygulama alanlarında kendine sıkça yer bulmuştur [46].

Bunların bazı örnekleri Şekil 2.14’ de gösterilmiştir. Bu uygulamaların çoğunda magnezyum alaşımları döküm sonrası halinde kullanılır.

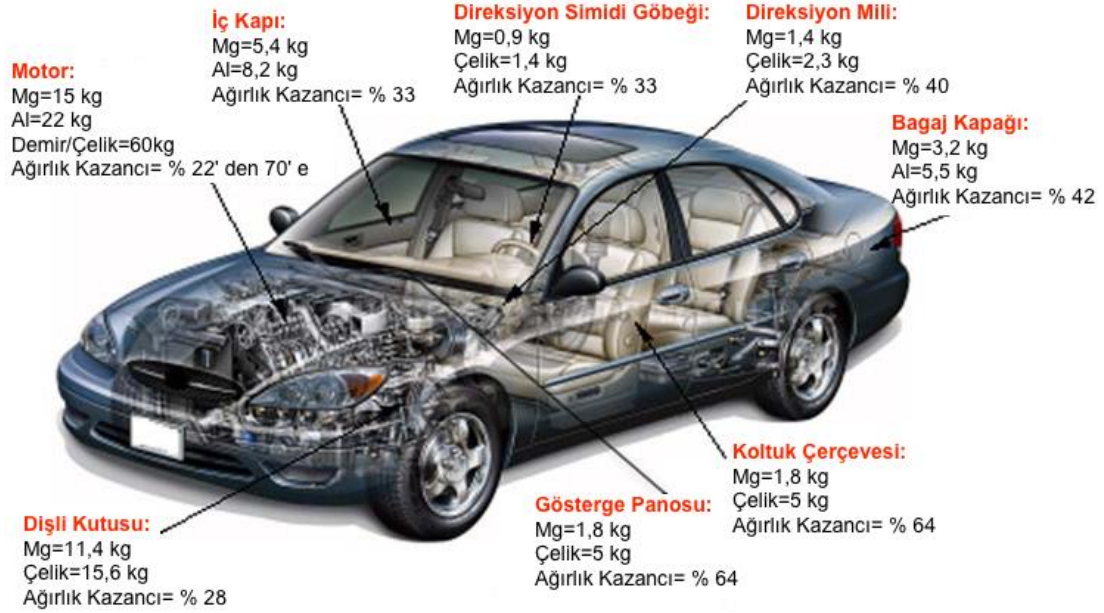


Şekil 2.14. Magnezyum alaşımlarının yapısal malzeme olarak bazı kullanım alanları [47–48].

Magnezyum alaşımlarının en çok kullanıldığı otomotiv sektöründe ilk uygulama alanı bulması oldukça eskiye dayanmaktadır. İlk olarak 1921 yılında, ABD’ de Dow Chemicals firması tarafından yarış motoru pistonu olarak üretilmiştir. Daha sonra yine motor pistonu olarak 1925 yılında Almanya’ da üretimi yapılmış ve 1937 yılına kadar 4 milyon adet kullanılmıştır [49]. Bu dönemden 2. dünya savaşı sonuna kadar kullanımı sürekli bir şekilde artmış ve 1971’ de Volkswagen Beetle ile birlikte

kullanım miktarı en üst seviyeye çıkmıştır. Bu dönemde temel olarak hava soğutmalı motor ve vites kutusu parçalarında kullanılmıştır ve bu iki parçanın toplam ağırlığı yaklaşık sadece 20 kg’ dır [50]. Ancak 1970’ li yıllardan sonra, gelişen teknoloji ile birlikte yeni nesil otomobillerin motor güçlerindeki artış gereksiniminin artması sonucu ile motor çalışma sıcaklıkları ve yükleri de aynı oranda artış göstermiş ve magnezyum bu artan çalışma sıcaklıklarında yeterli performansı artık gösterememiştir [51]. Her ne kadar magnezyumun son yıllarda otomotiv ve havacılık sektöründeki kullanımı azalmış olsa da yakın gelecekte daha çok geliştirileceği öngörülen yeni nesil elektrikli otomobillerin, insanlı/insansız hava araçlarının ağırlık kazancının magnezyum ile karşılanacak olmasına kaçınılmaz olarak bakılmaktadır. Şekil 2.15’ de bir otomobilde kullanılan magnezyum alaşımlarının sağlayacağı yaklaşık ağırlık kazanç oranları gösterilmiştir. Magnezyumun çelik ve alüminyum yerine kullanılması

ile bazı parçalarda %70 gibi çok yüksek ağırlık kazançlarının elde edilebileceği görülmektedir.



Şekil 2.15. Magnezyum alaşımlarından üretilen otomobil parçaları ve sağladığı ağırlık kazançları [52].

Magnezyum alaşımları döküm hali dışında ayrıca ekstrüzyon, dövme, haddelenmiş sac veya levha şeklinde de oldukça sık kullanılmaya başlanmıştır. Ekstrüzyon magnezyum alaşımları, alüminyum muadillerinin yapısal mukavemet avantajlarını yaklaşık %30' luk bir ağırlık tasarrufuyla sunar. Ağırlığın azaltılması doğrudan nakliye ve enerji maliyetlerini, montaj ve kullanım için gerekli insan gücünü ve yapı destekleri için yük gereksinimlerini doğrudan etkiler. Ekstrüzyon magnezyum alaşımları, yüksek mekanik mukavemet ve performans sunarken, en kolay işlenebilir yapısal metal olarak da üreticilere yüksek rekabetçi pazar için yenilikçi ürünler tasarlamının daha iyi yollarını sunar. Şekil 2.16' da ekstrüzyon magnezyum alaşımlarının bazı uygulama alanları gösterilmektedir. Farklı geometrilerde üretilebilen ekstrüzyon magnezyum alaşımları araçların koltuk, tavan veya gösterge çerçeveleri, tampon kirişleri, radyatör destekleri gibi parçalarının yanı sıra, bisiklet parçaları, merdiven ve fotoğrafçılıkta kullanılan üç ayak (tripod) yapımında da son yıllarda tercih edilmeye başlanmıştır.



Şekil 2.16. Ekstrüzyon magnezyum alaşımlarının bazı uygulamaları [53–54].

2.1.4. Magnezyum Alaşımlarının Döküm Yöntemleri

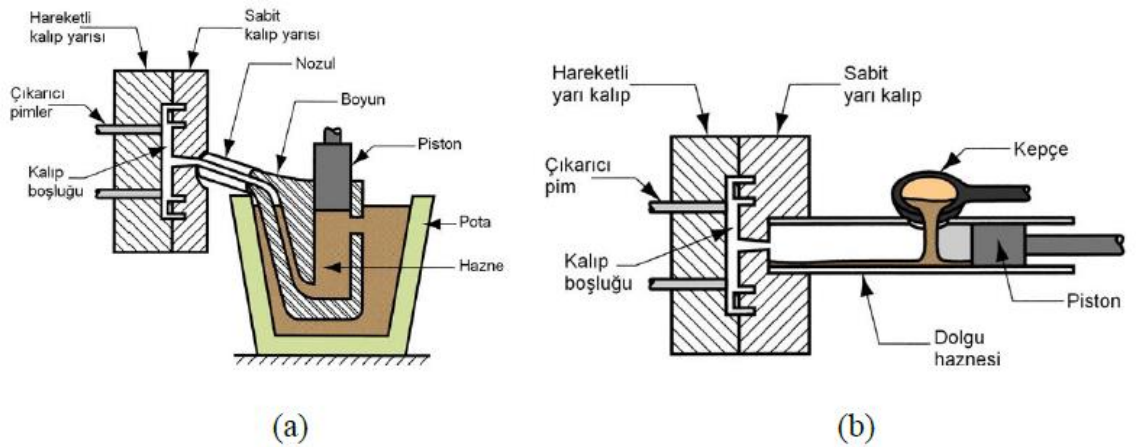
Magnezyum alaşımları çok iyi akıcılık ve hidrojen porozitesine karşı düşük hassasiyet gibi kendine has katılma özelliklerine sahip olduğundan, alüminyum ve bakır dökümlerine göre çok daha iyi dökülebilirliğe sahiptir. Döküm, magnezyum alaşım ürünlerinin üretimini domine eden bir prosestir ve yapısal olarak kullanılan magnezyum alaşımlarının %98' ini döküm ile üretilen parçalar oluşturmaktadır [12,50].

Ergiyik magnezyumun demir elementi ile afinitesi (reaksiyona girme eğilimi) düşük olduğundan, magnezyum alaşımları demirli malzemelerden üretilen potalarda ergitilebilir. Magnezyum alaşımlarının dökümünde çoğunlukla çelik ergitme potası ve çelik döküm kalıpları kullanılır. Ergiyik magnezyum, yüzey oksitlenmesine karşı korumaya alınmadığında, oksitlenme ve yanma eğilimindedir. Alüminyum alaşımlarının ergiyik yüzeyinde oluşturduğu sürekli ve geçirgen olmayan oksit tabakasına benzer bir tabakayı magnezyum alaşımları oluşturmaz ve oksijenin zayıf tabakadan içeri sızmasına yol açarak yanmasına sebep olur. Bu sebeple, magnezyum alaşımlarının dökümü sırasında flaks veya koruyucu gaz (Ar, CO₂ ve SF₆) kullanılarak oksijen geçirgenliği engellenmelidir [11,50].

Magnezyum alaşımlarının dökümü için temelde üç çeşit yöntem vardır. Bunlar yüksek basınçlı döküm, gravite (yer çekimi) döküm ve düşük basınçlı döküm. Bunlar haricindeki döküm yöntemleri yarı-katı döküm, sıkıştırılmalı döküm, kayıp köpük döküm ve ablasyon dökümdür [50].

2.1.4.1. Yüksek Basınçlı Döküm

Yüksek basınçlı döküm hafif metallerin üretiminde ve dizaynında çok iyi esneklikler sunduğundan oldukça yaygın bir metottur. Magnezyum alaşımlarının dökümünde çok üstün kalıp doldurma karakteristiğine sahiptir ve geniş, dar duvarlı ve kompleks döküm parçalarının dökümünün ekonomik bir şekilde yapılmasını sağlar. Yüksek basınçlı dökümün sıcak hazneli ve soğuk hazneli olmak üzere iki farklı yöntemi vardır ve bu yöntemler Şekil 2.17' de şematik olarak gösterilmektedir. Sıcak hazneli dökümde, ergiyik metal atmosfer kontrollü çelik potanın içinde tutulur ve belli hacimdeki metal valf tarafından itilerek kalıba doldurulur. Soğuk hazneli dökümde ise sıvı metal kepçe yardımı ile hazneye alınır ve hidrolik silindir ile kalıp boşluğuna itilir. Soğuk hazneli döküm düşük maliyet ve daha ince taneli döküm parçaları sunar ve kısa çevrim süresi sayesinde ergimiş magnezyumun kalıplarla temas süresini sınırlayarak kalıp malzemesi ve hava ile reaksiyon olasılığını en aza indirir. Bu sebeple soğuk hazneli yüksek basınçlı döküm birçok ticari magnezyum alaşımlarının dökümünde kullanılmaktadır [11,50].



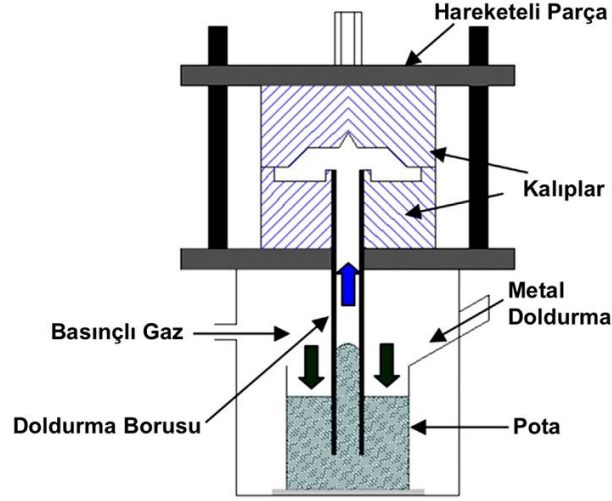
Şekil 2.17. Yüksek basınçlı döküm yöntemleri. a) sıcak hazneli ve b) soğuk hazneli [55].

2.1.4.2. Gravite Döküm

Gravite döküm, yerçekimi etkisini kullanarak geleneksel şekilde uygulanan ve birçok yapı malzemesinin üretiminde kullanılan bir yöntemdir. Kum kalıba ve kokil (metal) kalıba döküm bu kategoriye girmektedir. Magnezyum alaşımlarının kum kalıba dökümü diğer alaşımların kum kalıba dökümü ile aynıdır ancak kum karışımı, maça ve kalıplardaki reaksiyonları engellemek için farklı inhibitörler kullanılır (sülfür, borik asit, potasyum floroborat, amonyum florosilikat vb.). Kum kalıba dökümde oksitlenme eğilimini düşürmek için yolluk, kanal, besleyici dizaynları türbülansı önleyecek biçimde dikkatlice yapılmalıdır [50]. Kokil kalıba dökümü, kum kalıba dökümden ayıran tek özellik döküm kalıbının metal olmasıdır. Magnezyum alaşımlarının kokil kalıba dökümü daha iyi yüzey kalitesi, daha iyi boyutsal kontrol ve daha iyi mekanik özellik sunduğundan kum kalıba göre daha avantajlıdır. Kalıplar döküm sırasında oksijeni engellemek için koruyucu gaz altında olmalıdır [56].

2.1.4.3. Düşük Basınçlı Döküm

Düşük basınçlı döküm, Şekil 2.18' de şematik olarak gösterildiği gibi döküm kalıbının altına yerleştirilen besleyici kanallı basınç altındaki bir potadan oluşur. Potanın bulunduğu haznedeki basınç, ergiyik magnezyumu besleyici görevi gören kanaldan yukarı doğru iterek kalıbın içine dolmasını sağlar. Katılaşma tamamlanıncaya kadar basınç devam eder ve katılaşmadaki çekmeyi gidermek için yolluk kanalı besleyici görevi görür. Uygun tasarım yapılırsa, katılaşma sonrası basınç düşürüldüğünde kanaldaki metal hala sıvı kalır ve tekrar potanın içerisine döner.



Şekil 2.18. Düşük basınçlı döküm yöntemi [57].

Düşük basınçlı döküm yöntemi alüminyum döküm endüstrisinde iyi bir şekilde kurulmuştur ve ticari ekipmanları hazır ve erişimi kolaydır ancak bu durum henüz magnezyum alaşımları için geçerli değildir. Bu yöntem ile düşük gözenekli ve yarı otomatik şekilde magnezyum alaşımlarının üretimi mümkün olup ve çok yüksek döküm kalitesi, yüksek verimlilikte elde edilebilir. Yüksek basınç ile elde edilemeyen oyuk dökümler düşük basınçlı döküm yöntemi ile üretilebilir. Ayrıca düşük basınçlı döküm sistemi, yüksek basınçlı döküme göre daha ucuza mal olmaktadır. Bütün bu avantajlarına rağmen, 3 mm' den ince magnezyum parçaların üretimine uygun olmadığından ve döküm döngüsü yüksek basınçlıya göre 2-4 kat daha uzun sürdüğünden ticari alanda çok fazla kabul görmemiştir. Bu sebeple de magnezyumun düşük basınçlı döküm ile üretilip, proses parametrelerini ve üretilen parçaların mekanik özelliklerini inceleyen akademik çalışma sayısı da çok azdır [57-58]. Fu ve arkadaşları, AM50 magnezyum alaşımını düşük basınçlı döküm yöntemini kullanarak çok düşük çekme ve gözenek hataları ile üretmiş ve optimum proses parametrelerini 15-22 sn. doldurma süresi, 8-12 sn. basınçta bekleme süresi, 390-410 °C kalıp ve 705-710 °C döküm sıcaklıkları ve 0,07 MPa döküm basıncı olarak belirlemiştir [57].

Çizelge 2.6' de görüldüğü gibi düşük basınçlı döküm yöntemi ile üretilen alaşımların mekanik özellikleri gravite döküm ve yüksek basınçlı döküm yöntemi ile üretilen alaşımlara göre daha iyidir. Bunun sebebi, düşük basınçlı dökümde katılma

süresinde düşük basınç altında sıvı takviyesi devam ettiğinden porozitenin minimum seviyede olmasıdır.

Çizelge 2.6. AZ91 ve AM50 alaşımlarının yüksek basınçlı, düşük basınçlı ve gravite dökümlerinin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması [59].

Alaşım	Döküm Yöntemi	Durum	Akma Dayanımı (MPa)	Maksimum Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
AZ91	Düşük Basınçlı	Döküm	92,2	180,4	3,4
AZ91	Düşük Basınçlı	T4	76,9	218,5	6,6
AZ91	Düşük Basınçlı	T6	138,2	228,1	1,7
AZ91	Gravite	Döküm	82,7	178,4	3,9
AZ91	Yüksek Basınçlı	Döküm	110-130	130-175	0-1
AM50	Düşük Basınçlı	Döküm	57,8	192,3	8,7
AM50	Düşük Basınçlı	T4	68,3	210,6	9,5
AM50	Düşük Basınçlı	T6	66,4	200,3	8,6
AM50	Gravite	Döküm	53	173,4	8,1
AM50	Yüksek Basınçlı	Döküm	102-215	132-215	0-5
T4: Solüsyona Alınmış, T6: Solüsyona Alınmış+Suni Yaşlandırılmış					

2.2. ALÜMİNYUM VE GENEL ÖZELLİKLERİ

Alüminyum periyodik tablo içinde toprak metalleri grubunda üçüncü periyot, p blok olmak üzere 13 atom numarasına sahip bir metaldir. Gümüşümsü bir renge sahip olan bu metal 1.43 Å atom yarıçapa, 0.86 Å iyon çapına ve 26.97 atom ağırlığına sahip olup diğer metallere benzer biçimde, elektron serisine tabi olarak bir bileşik oluşturur. Elektron dizilimi incelendiğinde, 1s katmanında iki elektron doymuş K düzeyi ve 2s katmanında iki elektron ve atomun dış M düzeyinde üç elektron ile doyurulmuş iki elektron ile karakterizedir. İki tanesi 3'lü katmanda ve biri 3p orbitalidir. Bu sebeple Alüminyum'un valans elektronu üç olarak bilinir [60].

Alüminyum metalinin, mühendislik uygulamalarında kullanımını gerektiren birçok özelliği vardır. Bunlar;

- Alüminyum demirden daha yumuşaktır ve ağırlığı yaklaşık olarak demirin üçte biri kadardır.
- Diğer metallerin ilavesiyle alaşımlandığında, yoğunluğu çok az arttığında bile, mekanik mukavemetinde kayda değer bir artış mevcuttur.
- Berilyum ve Magnezyumdan sonra gelen en hafif metal olan alüminyum 2,7 g/cm³ yoğunluğa sahiptir. Aralık derecesinin artmasıyla sıvı ve katı alüminyumun yoğunluğu azalır. 20°C'de katı metal yoğunluğu için Çizelge 2.7'de çeşitli değerler verilmiştir. Elektroliz koşulları altında (950°C'de), alüminyumun yoğunluğu 2.303'tür. Çeliğin özgül ağırlığı sadece 2,80 iken bakır 8,8'dir.

Çizelge 2.7. 20 °C'de katı metal. Yoğunluk için örneklenmiş değerler [60].

Al (%)	99.25	99.40	99.75
D (g/cm ³)	2.727	2.706	2.703

- Alüminyumun iletkenliği bakırın iletkenliğinin sadece %60'ı kadar olmasına rağmen, düşük yoğunluğu nedeniyle birim kütle başına iletkenlik açısından bakırdan daha yüksek iletkenliğe sahiptir. Örneğin, 10 mm çapa sahip alüminyum bir telin elektrik mukavemeti, 6 mm çapa sahip bakır bir telin elektrik mukavemetine eşdeğerken, alüminyum tel bakır tele kıyasla daha düşük ağırlığa sahiptir. Elektrik dağıtım hatlarında kullanılan teller açısından bu önemli bir faktördür. Araştırmalar sonucunda, alüminyumdaki safsızlıklar farklı boyutlarda iletkenliği etkiler: Altın, berilyum, nikel, silikon, demir ve çinko iletkenlik üzerinde çok düşük etkiye sahiptir. Bakır, gümüş ve magnezyum iletkenliği daha güçlü bir şekilde azaltır.
- Alüminyumun yüksek ısı iletkenliğine sahip olması çeşitli ısı kazanlarının bölümlerinde kullanılmasına olanak tanır. Ayrıca saflık derecesinin artmasıyla, ısı iletkenliğide artar. Ayrıca ısı iletkenliği çoğalan saflık derecesiyle büyür. Bu oran %99,489 alüminyum içeriğine sahip bir metal için 200°C de 0,5 cal/cm.s°C iken %99,70 alüminyum içeriğine sahip bir metal için 0,531 cal/cm.s°C 'dir.
- Alüminyum metalinden geniş yelpazede yararlanılmasının sebeplerinden birisi de korozyona karşı yüksek direncidir. Alüminyumun bu özelliği, kimya ve gıda endüstrisinden inşaat endüstrisine hatta ev eşyalarına kadar sıkça kullanılmasının ana nedenidir. Korozyona karşı direncinin nedeni, alüminyum havada ince ama çok sıkı bir alüminyum oksit/ alümina (Al₂O₃) kabukla kaplıdır. Elektron mikroskopunun kullanıldığı çalışmalar kaplamanın sık ve gözeneksiz olduğunu göstermekte olup metali oksidasyona karşı korur ve yüksek mukavemet sağlar. Metalik parlak alüminyumun yüzeyindeki koruyucu alüminyum oksit yaklaşık 0.2 µ kalınlığındadır.
- Mekanik özelliklerinden en önemlisi esneklik katsayısıdır. Değeri çeliğin elastik modülünün 1/ 3'üne tekabül ettiğinden, çelik yerine alüminyum kullanılmasına karar verildiğinde, gerilmenin çelikten üç kat daha fazla olacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

- Alüminyumun sertliği 19-20 Brinell sertlik değeridir ve alaşımlarında 120 BHN'ye kadar çıkabilir. Bazı yaşlanma alaşımlarında çekme mukavemeti 9 MPa'dan 65 MPa'nın üzerine çıkabilir. Alüminyumun bazı özellikleri diğer metallerle karşılaştırıldığında çıkan sonuçlar Çizelge 2.8'de verilmiştir [61-63].

Çizelge 2.8. Alüminyumun bazı özelliklerinin diğer metallerle karşılaştırılması [60].

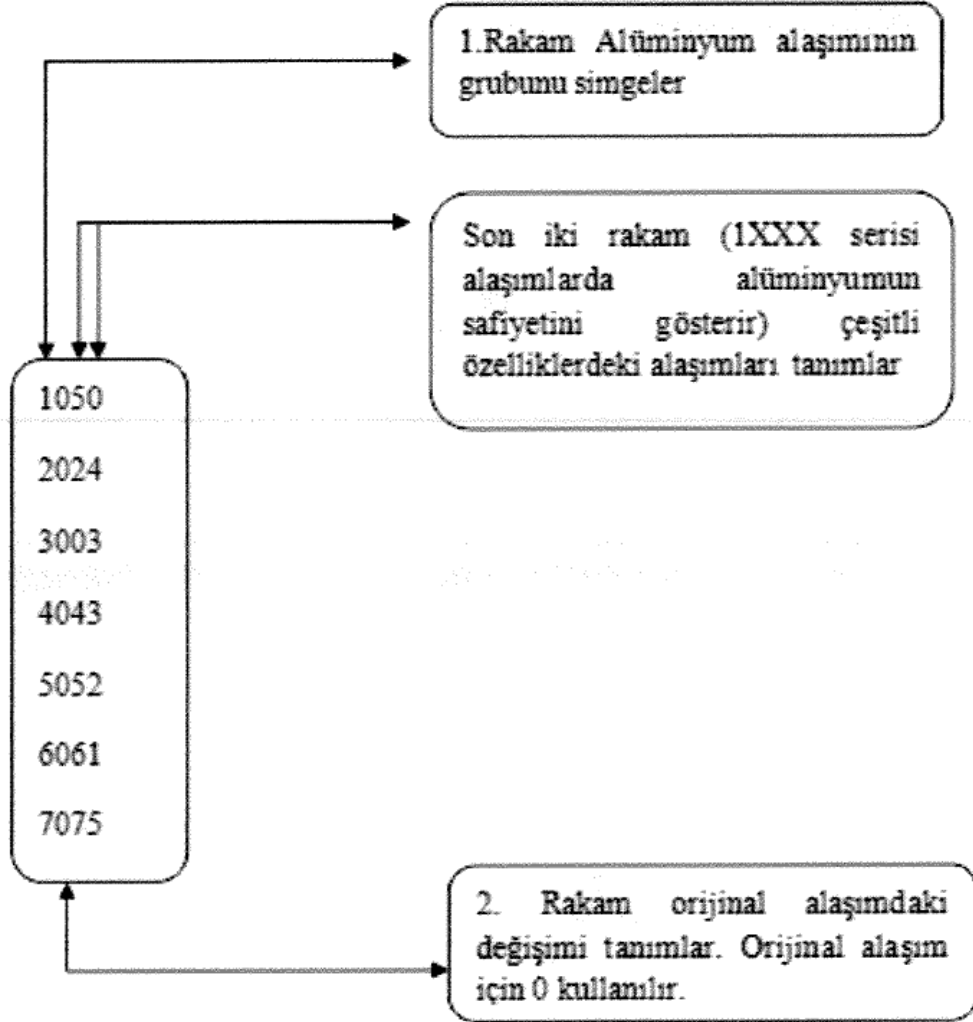
ÖZELLİK	Al	Cu	Fe	Zn	Mg
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	2,70	8,94	7,87	4,1	1,74
Elektrik Direnci (Ohm.mm ² /2).10 ²	2,66	1,68	9,8	6,00	4,46
Isı İletkenliği (cal/cm ² /cm°C)	0,52	0,92	0,19	0,27	0,37
Isıl Genleşme Kat. (mm/mm°C). 10 ⁻⁶	24	16,7	11,9	33	25,7
Ergime Sıcaklığı °C	660	1083	1535	420	651
Yanma Isısı (kcal/kg)	6970	-	1600	1270	6000
Uzama (%)	43	50	48	-	-
Sertlik (BHN)	19	25	70	-	-

Yukarıda belirtilen özellikler nedeniyle, alüminyum sanayi ve üretimde birçok uygulama ve kullanım alanı bulur.

2.2.1 İşlenik Alüminyum Alaşımları ve Simgeleme Dizisi

İşlem görmüş alüminyum ve alaşımları günümüzde sıkça kullanılan sembolizasyon serisi, Amerikan Standartlar Birliği (ASA) aracılığıyla belirlenen sembolizasyon serisidir. Daha önce Amerikan Alüminyum Birliği tarafından kullanılan bu sembolizasyon, 1957'de standardize edildi. Bu sembolizasyon, şekil 2.19' da açıklandığı gibi, ilk elde dört rakamlı kullanılan bir sayıya dayanmaktadır. Buna göre,

dört basamaklı sayısal sembolün birinci basamağı, başlıca hangi alaşım elementini ihtiva ettiğini gösterir [64-66].



Şekil 2.19. Amerikan Alüminyum Birliğinin dövme alaşımları için isimlendirme kriterleri [67].

Çizelge 2.9. Alüminyum işlem alaşımlarında simgeleme dizisi [60,68].

SİMGE	Temel Alaşım Elementi	Isıl-İşlem Durumu
1xxx	Alaşımsız alüminyum	Yaşlandırılmaz
2xxx	Bakırlı alüminyum alaşımı	Yaşlandırılabilir
3xxx	Manganezli alüminyum alaşımı	Yaşlandırılmaz
4xxx	Silis	Eğer Mg varsa yaşlandırılabilir
5xxx	Magnezyum	Yaşlandırılmaz
6xxx	Magnezyum + Silis	Yaşlandırılabilir
7xxx	Çinko	Yaşlandırılabilir
8xxx	Diğer elementler	Yaşlandırılabilir
9xxx	Kullanılmayan dizi	-

1XXX dizisi saf alüminyum (%99.00) değerini gösterir. Son iki sayı %99 değerinin noktadan sonra gelen sayıları ve alüminyum minimum ara değeridir.

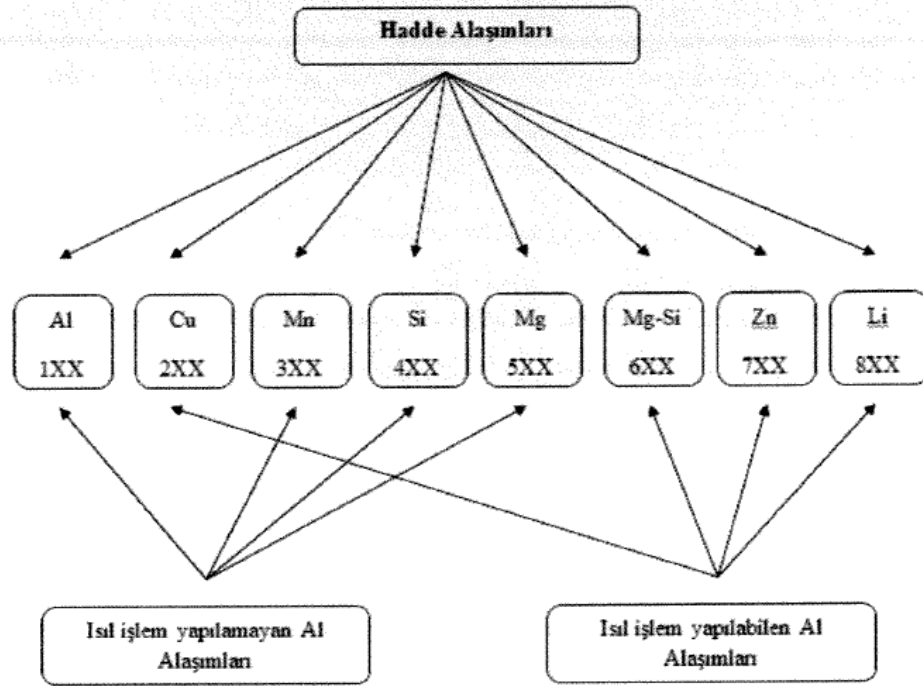
1XXX dizisinin solundan ikinci sayı, hususi olarak kontrol edilen empurite elemanları nicel olarak ifade eder ve 1 ile 9 arasında değişebilir. 1042 sembolünü örnek olarak verirsek, alaşımın arı alüminyum olduğunu ve arılık değerinin asgari olarak %99,42 olduğunu gösterir. 1042'de 0, kalan %1.00-% 0.42 =% 0.58'in spesifik olarak kontrol edilen herhangi bir element içermediğini gösterir.

2XXX ile 8XXX arasındaki seriler, Çizelge 2.10'da belirtilen alaşımları temsil eder. İlk sayı alaşım tipini, ikinci sayı değişiklikleri temsil eder. Özellikle, incelenen alaşımların sayısı, 1 ile 9 arasında bir sayıya sahip sembollerin sayısında ikinci basamak olarak kullanılır. 5065 örneğinde, spesifik olarak incelenen alaşım elementleri olmayan bir Al-Mg alaşımını temsil eder.

9XXX serisinde sadece deneyleri yapılarak geliştirilmekte olan alaşımlar değerlendirilir. Bu alaşımda 9XXX sembolü üretildiği andan itibaren alınır ve optimum reel sembol verilir. Bu alaşım standart olarak onaylanana kadar dört haneli sembolün başına bir X yerleştirilir.

İşlenmiş alüminyum alaşımları ısıl işleme karşı tutumlarına uygun olarak iki kısma ayrılır: ısıl işlem uygulanabilenler ve ısıl işlem uygulanamayanlar [60,64].

Genellikle 2XXX, 4XXX, 6XXX, 7XXX serilerine sahip alaşımlar ısıtıl işlem metotları ile özellikleri geliştirilebilen alaşımlardır. 3XXX ve 5XXX serilerine ısıtıl işlem metotları uygulanmaz. Bu serilerin dayanımları, kompozisyonlarındaki mangan ve magnezyumdan kaynaklanır. Bu son iki seri alaşım soğuk işlerde gerilim sertleşmesine maruz kalır [64].



Şekil 2.20. Isıl işlem durumlarına göre hadde alüminyum alaşımları [67].

Döküm veya şekillendirme yoluyla elde edilen alüminyum ve alüminyum alaşımlarının ısıtıl işlem uygulanmış halleri, eklenen bir ya da daha fazla harf ile tarif edilir (Çizelge 2.10.).

Çizelge 2.10. Temel işlemleri gösteren simgeler [60].

Simge	Temel İşlem
F	Fabrikasyondan sonraki hali
O	Tavlanmış - Yalnızca işlenik alaşımlar
H	Rekristalizasyon sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda yapılan plastik şekillendirme sonucu sertlik ve mukavemetin artışı
W	Çözelti ısı işlemi uygulanmış – doğal (tabii) yaşlananlar
T	F, O ve H dışındaki etkileri meydana getirmek için ısı işlem görmüş

Alt bölümler ve anlamları aşağıdaki gibidir:

EC; elektrik iletimi için kullanılan alüminyumlar içindir. En az %99,45 saflığındadır. Eser miktarda Cu ve Be ihtiva eder. Empüritelerin kontrolü Sıkı bir şekilde sağlanır.

O; Rekristalize işlemi görmüş alaşımlar için kullanılır, en düşük sertlikli durumu belirtilir.

F; imalattan sonra meydana gelen durumdur (üretildiği gibi). Bu hal Mukavemetini veya sertliğini değiştirmek için herhangi bir ek işlem yapılmadan üretildikten sonra fiziksel yapısını belirtir. Bilakis oluşan alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerinin teminatı yoktur. Örneğin döküm kutusu için 43-F işareti kullanılır.

H; sadece gerilim sertleştirilmesi ile sertleştirilebilen alaşımlara uygulanır ve bu durumu sembolize eder. Çoğunlukla yassı ürünleri (levha / levha) değerlendiren bir kodlamadır. Soğuk şekillendirme (yeniden kristalleşme sıcaklığı altında plastik şekillendirme) sonucunda oluşabilecek alüminyum alaşımlarında elde edilen mukavemet ve sertlikteki artışı ve kısmi yumuşatma elde etmek için ilave ısı işleminin gerçekleştirilip gerçekleştirilmediğini tabir eder. H'den sonra genellikle iki veya daha fazla sayı mevcuttur. İlk rakam ana işlemleri anlatır. Devamındaki rakamlar, plastik şekillendirme sınırları içindeki nihai fiziksel özellikleri göstermektedir. H1 voltajla sertleştirilmiş (soğuk işlenmiş) bir durum anlamına gelir. Sonraki bir ikinci basamak

1 ile 8 aralığında değerler alır. 1 - 8 sertlik koşulunu tanımlar. Buna uygun olarak 1, düşük sertlik; 2, çeyrek sertlik; 4, yarı sertlik; 6, 3 çeyrek sertlik ve 8, tam sertlik halini temsil eder. Tamamen sert, tavlanmış alaşımın %75 soğuk işlem görmüş yapıya sahip alaşımın çekme mukavemetine eş değer sertliktedir. Bazen çok sert alaşımlarda 9 rakamı kullanılır. Eğer bu simbolizasyona tam uymayan ya da karşılık gelmeyen özel bir alaşım varsa, üçüncü bir rakam kullanılır. Örneğin H121, burada bulunan H, soğuk işlem görmüş bir alaşımı ifade eder. 1 rakamı, bu alaşımın sadece soğuk işlem ile sertleşebildiğini; 2 rakamı, bu alaşımın çeyrek sert halde olduğunu ve son olarak 1 rakamı, H12'nin simgelediğinden biraz farklı değerlere sahip olduğunu gösterir. H12, gerilmeyle sertleştirilmiş ve kısmen yenilenmiş sertleştirme koşulunun gösterilmesi gereken alaşımlar için ikinci bir sayı kullanılır. Örneğin H24, soğuk işlem görmüş ve rejenerasyon işlemi ile kısmen sertleştirilmiş alaşımı temsil eder. H3, İçerisinde magnezyum ihtiva eden gerilim sertleştirilmesi uygulanmış alaşımlar, düşük sıcaklıklara ısıtıldığında yapılarında oluşan dönüşümler sonunda daha kararlı hale gelirler. Sonuç sürekli artıyor. Bu işlemi simgeleyen H3'e ikinci bir basamak eklendiğinde bu sertlik durumunu gösterir. H34, soğuk işlenmiş stabilize, yarı sert bir alaşımı gösterir.

W; çözeltiyeye alma ısısal işleminden sonra kalıcı olmayan yapıya değinmektedir. Bu durum doğal yaşlanma nedeniyle yaşlanma periyodu ile gösterilir. Örneğin, 2246-W-8 simgesi, 2246 alaşımının 8 saatlik bir yaşlanmadan sonra sahip olacağı özellikler için kullanılır.

T; Isıl işlem görmüş alaşımlar için kullanılır. Alaşım soğuk işlem görmüş ya da görmemiş olabilir. Yaşlanma süreci, T harfi ve ardından bir sayı ile gösterilen işlemlerden sonra elde edilen özelliklerle eşleşmezse, ikinci bir sayı kullanılır. Farklı tipte ısıl işlemler aşağıdaki gibi ifade edilir.

Çizelge 2.11. Alüminyuma uygulanan ısı işlemler ve sembolleri [60,69].

T1	Sıcak işlenmiş, soğutulup doğal olarak yaşlanmış anlamındadır. Dökümler ile sıcak ekstrüzyon alaşımlardan oda sıcaklığındaki yaşlanma ile dayanımı artanlara uygulanır.
T2	Tavllanmış (yalnızca dökümler) alaşımı simgeler. Sıcak işlemden sonra soğutulur, soğuk işlemden geçirilir ve doğal yaşlanma ile kararlı duruma getirilir.
T3	Çözündürme ısı işlemi uygulanmış işlenik alaşımlar sonradan soğuk işlem ile sertleştirilmiş. Bunu bir yaşlanma işlemi de izleyebilir.
T4	Çözündürme ısı işlemi ve doğal yaşlanma uygulanmış alaşımları simgeler.
T5	Yalnızca yapay yaşlanma (termik), döküm ve ekstrüzyon gibi yüksek sıcaklıktan soğuma sonucu yaşlanma olursa kullanılır.
T6	Çözelti ısı işlemi ve yapay yaşlanma (termik) uygulanmış alaşımları simgeler.
T7	Çözelti ısı işlemi ve kararlaştırılmayı simgeler. En yüksek sertlik için gerekli sıcaklık ve süre asıldığında ve kalan iç gerilimler ile büyümenin denetlendiği durumlarda kullanılır.
T8	Birbirini izleyen ısı işlemi soğuk işleme ve yapay yaşlanma işlemlerini simgeler (termik).
T9	Birbirini izleyen çözündürme ısı işlemi yapay yaşlanma (termik) ve soğuk işleme işlemlerini simgeler.
T10	Birbirini izleyen kısmi çözündürme ısı işlemi yapay yaşlanma (termik) ve soğuk işleme işlemlerini simgeler.
T42	Çözelti ısı işlemi yapılmış ve tabii olarak yaşlanmış. Tavllanmış veya F temperden ısı işlemi yapılmış deney malzemesine veya kullanıcı tarafından herhangi bir temperden ısı işlemi yapılmış mamullere uygulanır.
T62	Çözelti ısı işlemi görmüş ve suni olarak yaşlanmış, tavllanmış veya F temperden ısı işlemi yapılmış deney malzemesine veya kullanıcı tarafından herhangi bir temperden ısı işlemi yapılmış mamullere uygulanır.
T31	Çözelti ısı işlemi yapılmış, yaklaşık %1 oranında soğuk işlenmiş ve tabii olarak yaşlanmış
T351	Çözelti ısı işlemi yapılmış, kontrollü bir miktarı germe ile gerilim gidermeye tabi tutulmuş (sürekli set levhalar için %0,5-3 pleytler için %1,5-3, haddelenmiş veya soğuk işlenmiş çabuk için, %1-3, elde veya halka dövme ve haddelenmiş halka için %1-5) ve tabii olarak yaşlanmış mamullere germe sonrası daha fazla düzeltme yapılmaz.
T651	Çözelti ısı işlemi yapılmış, kontrollü bir miktarı germe ile gerilim gidermeye tabi tutulmuş (sürekli set levhalar için %0,5-3 pleytler için %1,5-3, haddelenmiş veya soğuk işlenmiş çabuk için, %1-3, elde veya halka dövme ve haddelenmiş halka için %1-5) ve suni olarak yaşlanmış. Mamullere germe sonrası daha fazla düzeltme yapılmaz.

Çizelge 2.11. (devam ediyor).

H111	Germe veya düzeltme gibi işlemler sırasında tavlanmış ve hafifçe soğuk biçimlendirme sertleşmesi yapılmış (H11'den az)
H112	Sınırlı bir soğuk işlemde (mekanik özellik limitleri belirlenmiş) veya yüksek bir sıcaklıktaki işlemde hafifçe soğuk biçimlendirme sertleşmesi yapılmış
H12	Soğuk biçimlendirme sertleşmesi yapılmış -¼ sert
H14	Soğuk biçimlendirme sertleşmesi yapılmış -½ sert
H16	Soğuk biçimlendirme sertleşmesi yapılmış -¾ sert
H18	Soğuk biçimlendirme sertleşmesi yapılmış - ⁴ / ₄ sert tam sertleştirilmiş
H19	Soğuk biçimlendirme sertleşmesi yapılmış ekstra sert
H22	Soğuk biçimlendirme sertleşmesi yapılmış ve kısmen tavlanmış -¼ sert
H24	Soğuk biçimlendirme sertleşmesi yapılmış ve kısmen tavlanmış -½ sert
H26	Soğuk biçimlendirme sertleşmesi yapılmış ve kısmen tavlanmış -¾ sert
H28	Soğuk biçimlendirme sertleşmesi yapılmış ve kısmen tavlanmış - ⁴ / ₄ sert (tam sertleştirilmiş)
H32	Soğuk biçimlendirme sertleşmesi yapılmış ve dengelenmiş -¼ sert
H34	Soğuk biçimlendirme sertleşmesi yapılmış ve dengelenmiş -½ sert
H36	Soğuk biçimlendirme sertleşmesi yapılmış ve dengelenmiş -¾ sert
H38	Soğuk biçimlendirme sertleşmesi yapılmış ve dengelenmiş - ⁴ / ₄ -sert (tam sertleştirilmiş)
H42	Soğuk biçimlendirme sertleşmesi yapılmış, boyanmış ve laklanmış -¼ sert
H44	Soğuk biçimlendirme sertleşmesi yapılmış ve laklanmış -½ sert
H46	Soğuk biçimlendirme sertleşmesi yapılmış, boyanmış ve laklanmış -¾ sert
H48	Soğuk biçimlendirme sertleşmesi yapılmış, boyanmış ve laklanmış ⁴ / ₄ sert (tam sertleştirilmiş)

2.2.2. Alüminyum Döküm ve Döküm Alaşımları

Alüminyum dökümler ve döküm alaşımları için kullanılan sembolizasyon tipi işlenmiş alüminyum alaşımlarına benzerdir. Ayrıca dört basamaklı bir sayı sembolü vardır; ancak üçüncü rakamdan sonra bir nokta ile ayrılır. Tüm alaşımların ikonları Çizelge 2.13'te mevcuttur. 1XX.X için ikinci ve üçüncü rakamlar alüminyumun %99.00 ötesindeki saflık mertebesini belirler. Son basamak sıfır (0) ise, bu parça dökümdür; 1 ise külçedir; Sayıların önünde 1X varsa, bu alaşım test kademesinde olduğunu gösterir.

2XX.X- 9XX.X arasındaki olan alaşımlar belirtilmiş olan alaşımları temsil eder. İkinci ve üçüncü basamaklar sadece bir tek sıralama sayısı oluşturur. Son basamak sıfır (0), parçanın döküm olduğunu temsil eder ve 1 ise külçe olduğunu temsil eder. 2 sayısı 0'ın bir varyasyonudur. Örneğin 332.0'da ilk 3 rakamı; bakır ve/veya magnezyum ile alüminyumun oluşturduğu alaşımı temsil ederken 0 rakamı parçanın döküm ile elde edildiğini gösterir. 32 rakamının ise hususi bir manası mevcut değildir [60].

Çizelge 2.12. Alüminyum döküm alaşımlarında simgeleme dizisi [64,70].

SİMGE	Bileşimi	Isıl İşlem Durumu
1XX.X	Alüminyum %99.00 en az	Yaşlandırılmaz
2XX.X	Bakır	Yaşlandırılabilir
3XX.X	Silis- Bakır ve/veya Magnezyum	Kısmen yaşlandırılabilir
4XX.X	Silis	Yaşlandırılmaz
5XX.X	Magnezyum	Yaşlandırılmaz
6XX.X	Kullanılmayan dizi	-
7XX.X	Çinko	Yaşlandırılabilir
8XX.X	Kalay	Yaşlandırılabilir
9XX.X	Diğer elementler	-

2.2.3. Alüminyum Alaşımlarında Yaygın Kullanılan Elementler Ve Etkileri

Alüminyum, sıvı formdayken bir hayli metal ile kolaylıkla karışabilir. Ancak katı durumdayken metallerin alüminyum içerisinde çözünürlüğüne bakıldığında yüzde birkaç değerinde olduğu görülmektedir. Birçok alaşımda, metallere arası meydana gelen intermetalik bileşikler mevcut alaşımın özelliklerine büyük ölçüde etkiler. Katı elementlerin hiçbiri alüminyum içerisinde tamamen (%100) çözülemez. Yukarıda sözü edilen metallere arası bileşikler çoğunlukla daha yüksek alaşımlardan oluşur ve sert ve gevrek bir yapıya sahip oldukları için mekanik özellikleri aksi yönde etkiler. Genel olarak toplam eklenen alaşım elementleri ilavesi %15'i geçmemelidir. Alaşımlar içerisinde en mühim ve geniş üretim 2XXX, 3XXX, 4XXX, 5XXX ve 7XXX serilerinden elde edilir.

Faz diyagramlarında da gözlemlenebileceği gibi alüminyumun Cu, Mn, Si, Mg ve Zn elementleriyle oluşturduğu ikili izomorfik faz diyagramları arasında birbirine olan yakın benzerlikleri söz konusudur. Katı çözünlükleri açısından bakıldığında yüksek sıcaklıklarda doğru orantılı olarak bir artış mevcutken; oda sıcaklığında düşük bir katı çözünlüğü görülmektedir. Bunların önde gelenleri de Çizelge 2.13'te gösterilmiştir.

Sıcaklık değerlerinin (yüksek sıcaklık, oda sıcaklığı) değişmesi ile çözünlük değerlerinin farklılık göstermesi bu alaşım elementlerinde çökeltme sertleşmesine sebep olmaktadır. Yaşlandırma ısıl işleminin asıl nedeni bu şekilde ifade edilmektedir [60,64].

Çizelge 2.13. Alaşım elementlerinin katılma sıcaklığında ve oda sıcaklığında çözünlükleri [60].

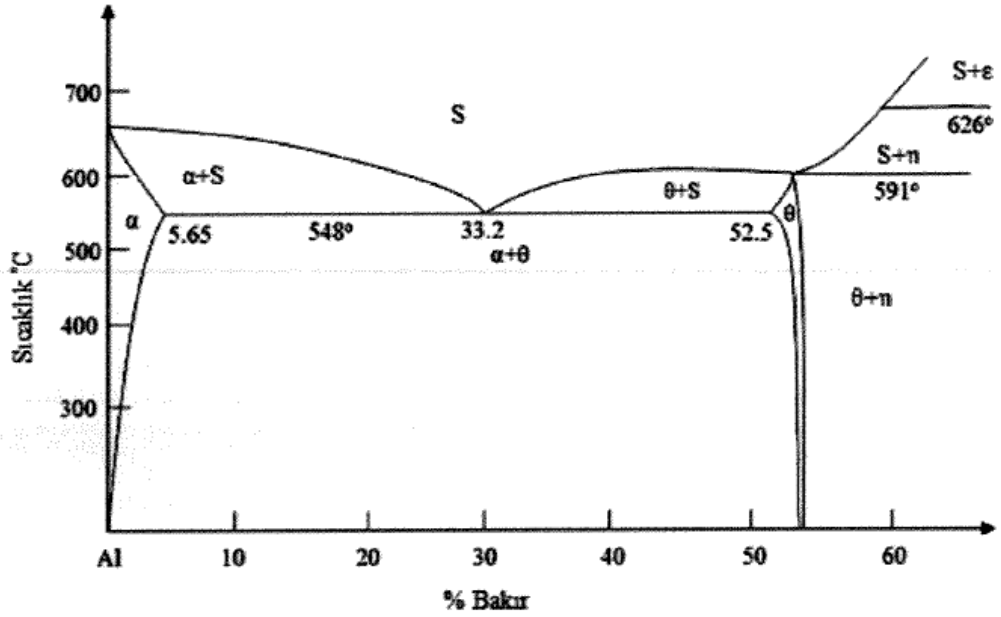
Alaşım Elementi	Katılma Sıcaklığında Çözünlük (%)	Oda sıcaklığında Çözünlük (%)
Cu	5,65 (548 °C)	0,02
Mg	14,9 (450 °C)	2,5
Mn	1,8 (659 °C)	0,3
Si	1,65 (577 °C)	0,1
Zn	82 (382 °C)	2,0

Alaşım elementlerinin çökeltme sertleşmesi sonucu oluşturduğu etkilerin yanında katı çözümlü sertleşmesi ve yüksek işlenebilirlik meydana getirir ve korozyon direncini de etkiler.

2.2.3.1. Bakırın Alüminyum Üzerine Etkisi

Alüminyum içerisinde bulunan bakır elementinin %12'ye dek olan değeri mukavemeti artırırken %12'den fazlası yapıda kırılabilirlik yaratır. Genellikle yüksek sıcaklık özellikleri ile işlenebilirliği artırır [60].

Bakırın alüminyum içindeki çözünürlüğü %5,65'tir. Sedimantasyon eğilmesi en fazla %2,5-5 Cu içerenlere uygulanır. θ fazı, CuAl_2 bileşiğinin katı bir çözeltilisidir. Çökelme yaşanması için alaşım, α faz bölgesine ısıtılır ve su içinde soğutulur. Bundan sonra, doğal yaşlandırılır ya da yapay yaşlanmaya bırakılır. En iyi bilinen Al-Cu alaşımı, %4 Cu (2017) içeren Duralüminyum'dur [60,71].

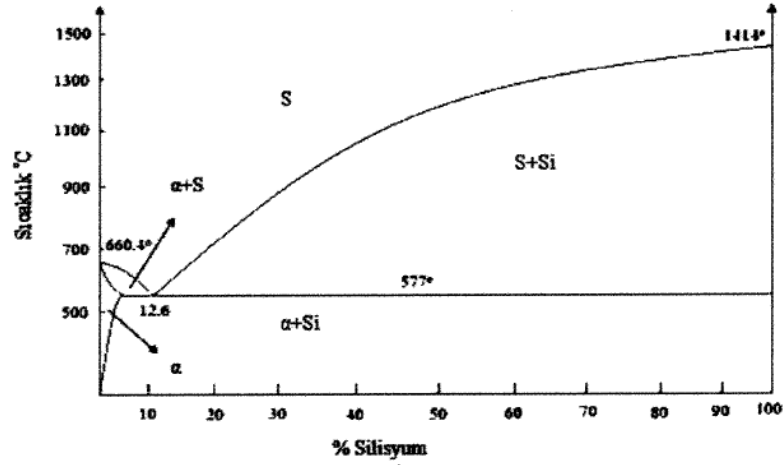


Şekil 2.21. Al-Cu faz diyagramı [72].

Al-Cu alaşımları ayrıca Si, Mn, Fe, Mg, Zn, Cr gibi az miktarda alaşım elementleri içerebilir. Örneğin; %4.5 Cu içeren bir alaşıma %1.5 Mg eklendiğinde, mukavemeti büyük ölçüde artar [60,73].

2.2.3.2. Silisyumun Alüminyum Üzerine Etkisi

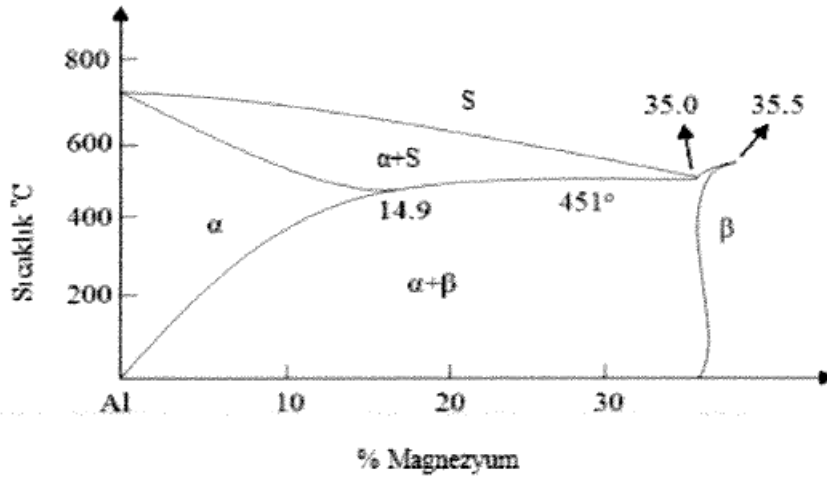
Alüminyumda bulunan silisyum elementi akıcılığı arttırırken sıcak çatlak meyilini azaltır. %3 oranından daha fazla silisyum içeren alaşımların işlenebilirlikleri oldukça zordur. Ayrıca silisyum alaşımın korozyon direncini arttırır [60,74].



Şekil 2.22. Al-Si faz diyagramı [75].

2.2.3.3. Magnezyumun Alüminyum Üzerine Etkisi

Magnezyum katı çözeltisi sertleşmesine neden olur. Yaşlandırmaya uygun bir yapı verir. Alaşımın %6 oranından fazla magnezyum içermesi çökelme sertleşmesine sebep olur. İçerisinde magnezyum ihtiva eden alaşımların dökümü zordur. [60,73-74]



Şekil 2.23. Al-Mg faz diyagramı [72].

2.2.3.4. Manganın Alüminyum Üzerine Etkisi

Mangan elementi, demir ile birlikte kullanılarak dökülebilirliği artırır. Ayrıca intermetalik bileşiklerin özelliklerini de etkiler. Yapıda büzülme önleyici rol oynar. Mangan, ihtiva edildiği alaşımları takviye ederek süneklik ve tokluk kazandırır [60,74].

2.2.3.5. Çinkonun Alüminyum Üzerine Etkisi

Alaşımında, mangan dökülebilirliği artırırken, çinko elementi dökülebilirliği azaltır. Benzer şekilde, sıcak çatlama eğiliminde de silisyum ile karşıt şekilde davranarak çatlak eğilimi ve soğuk çekmesi meydana getirir. Çinko oranı %10'dan yüksek olan alaşımlarda gerilim yenimi çatlama görülürken başka alaşım elementleriyle bulunursa mukavemeti büyük ölçüde artırır. Fakat %3'ten daha düşük çinko ihtiva eden ikili izomorfik alüminyum alaşımlarında çinkonun önemli bir tesiri bulunmamaktadır [60,74].

2.2.3.6. Demirin Alüminyum Üzerine Etkisi

Doğal olarak demir, alüminyum cevheri içinde bulunur. Düşük oranlarda bulunması birtakım alaşımların sertliğini ve mukavemetini artırır. Dökümlerin sıcak çatlama meyilini azaltmakta önemli bir görev alır [60,73-74].

2.2.3.7. Nikelin Alüminyum Üzerine Etkisi

Bakır ile eklendiğinde, yüksek sıcaklıkta sertliği ve mukavemeti artırır. Ayrıca termal genişleme katsayısını azaltır [73-74].

2.2.3.8. Kurşunun Alüminyum Üzerine Etkisi

% 0,1'den fazla eklendiğinde işlenebilirliği artırır [74].

2.2.3.9. Titanyumun Alüminyum Üzerine Etkisi

Bor ile eklendiğinde tane inceltmesini sağlamaktadır [74].

2.2.3.10. Geçiş Metallerinin Alüminyum Üzerine Etkisi

Alüminyumda mevcut olan geçiş metallerinin krom, zirkonyum, titan vb. olduğu bilinmektedir. Katı eriyikteki geçiş metalleri, alüminyumdaki çinko ve magnezyum; çinko ve magnezyum katı eriyik mukavemetini yüksek oranda azaltır. Örneğin; Zirkonyum mevcudiyetinin artması, elektron mikroskobu ile incelendiğinde alüminyumdaki çinko ve magnezyum katı eriyik mukavemetini önemli ölçüde azalttığı gösterilmiştir. Buna ek olarak katı eriyikte bulunan geçiş metalleri alüminyumdaki esas alaşım elementlerinin kararlı çözünlüğünü azaltır. Bu nedenle, geçiş metalleri katı eriyiğin mukavemetini arttırmalıdır. Alüminyum katı eriyiklerindeki geçiş metallerinin, atomik bağları kuvvetlendirdiğini ve atomların yayılma hareketini indirgediğini iddia eden görüşler mevcuttur. Bu yargıdan da anlaşılacağı gibi, geçiş metalleri eriyiğin mukavemetini yükseltmelidir. Bununla birlikte deneyler, alüminyumdaki çinko ve magnezyum, katı eriyik mukavemetinin geçiş metalleri ile alaşımlandığında azaldığını göstermektedir. Bu durumda, çözünlük artışını savunan ilk görüş daha doğru görünür. Aynı şey krom ve zirkonyum için de söylenebilir [60].

Aşağıda verilen Çizelge 2.14'te alaşım elementlerinin farklı karakteristikler üzerine etkileri gösterilmiştir.

- ** : önerilir
 * : iyi
 - - : kaçınılacak
 - : ortamın altında

Çizelge 2.14. Alüminyum alaşımlarına elementlerin etkileri.

Nitelikler	Cu	Si	Mg	Zn	Ni	Mn	Fe
Kopma mukavemeti	**	*	*	**	*		
Elastik sınır	**	*	-	*	-		
Sertlik	**		-	-	*	*	*
Isıya dayanıklılık	**		**		*		*
Kaynak kabiliyeti	-	**	*	-	-	*	
Talaş kaldırma ile işlenebilirlik	**	-	*	*	*	*	**
Elastikiyet modülü	*	**	-	*	*	*	-
Döküm kabiliyeti	*	**	-	*		-	-
Süneklik	-	--	*				--
Korozyona dayanım	-	*	**	*		-	--
Anodizasyona elverişsizlik	-	*	**	*		-	

2.2.4. Alüminyum Serilerinin Önemli Özellikleri ve Genel Kullanım Yerleri

2.2.4.1. 1000 Serisi

Saf veya çok az alaşım elemanı içeren malzemelerdir ve kolayca tabakalara, folyolara ve profillere dönüştürülebilirler. Derin çekme için de uygundur. EC grup iletkenleri mutfak gereçleri, kapı, pencere profili, korniş, folyo ve fazla dayanım gerektirmeyen birçok ürünlerin imalinde yararlanır. Bu seriye mensup alaşımlar yüksek korozyon dayanımı, yüksek ısı ve elektrik iletimi, düşük mekanik özellikler ve yüksek işlenebilirlik özelliği ile karakterize edilir. Bu grupta, deformasyon sertleştirme ile az miktarda mukavemet elde edilebilir [60,64,66].

2.2.4.2. 2000 Serisi

Bu seride geçen esas alaşım elementi Bakırdır. Metalurjik bir ısıl işlem yönteminin gerektiği bir seridir. Sertleştirilmiş alaşımın daha mukavim olması ile çekme dayanımında da artış görölmektedir. İyi işlenebilir özellik gösterir. Çekme mukavemeti 490 MPa ile yaklaşır. Düşük korozyon direncine sahiptir ve galvanizleme gerektirebilir. Esas olarak yüksek mukavemet ve hafiflik gerektiren otomotiv, vagon, uçak ve mühimmat endüstrilerinde kullanılır. Bu alaşımların en iyi özelliklerini elde etmek için, katı eriyik ısıl işlemin yapılması gerekmektedir. Alüminyum içerisindeki Bakır %12'ye kadar mukavemet değerini arttırır. %12'den fazlası yapıda kırılgnalık yaratır. Isıl işlem görmüş haldeki mekanik özellikleri bazı zamanlarda döküm çeliğini bile geçmektedir. Yapay yaşlandırma işlemi ile mekanik özellikleri daha fazla yükseltmeye yönelik çalışmalar yapılabilir. Maksimum gerilme mukavemeti üzerindeki etkisi çok büyük değerdir. Bu serideki alaşımlar, diğer birçok alüminyum alaşımı gibi iyi korozyon direncine sahip değerdir. Bazı koşullar altında taneler arası korozyona maruz kalmaktadır [60,64,66].

2.2.4.3. 3000 Serisi

Ana alaşım elemanı yaklaşık %1-1.5 mangandır. Alaşımı az miktarda demir ve silisyum olarak karakterize eder. Orta mukavemetli ve iyi işlenebilir özellikli alaşımlardır. Genellikle tanklarda, karavan yapımında, toplama kaplarında ve diğer levha içlerinde kullanılır. Bu gruptaki alaşımlar ısıl işleme eğilimli değerdir, kolayca işlenebilir ve kaynak yatknlıkları iyidir [60,64,66].

2.2.4.4. 4000 Serisi

Silisyum bu diziyeye mensup esas alaşım elementidir. Düşük ergime sıcaklığı, dekoratiflik ve elastikiyet bu serinin en önemli özellikleridir. Mimari yapılar, lehim teli ve radyatör dilimleri ana kullanım alanlarıdır. Ana alaşım elementi olan silisyumlu alaşım, gevreklik yaratmadan erime derecesini önemli ölçüde azaltacak bir miktarda eklenir. Bu nedenle Al-Si alaşımları, lehim alaşımlarında baz metalden daha düşük bir erime noktasına sahip olduğundan tel kaynağında kullanılır. Bu serideki alaşımların

çoğu ısıl işlemden geçirilemez. Fakat ısıl işlem gören alaşımların kaynağında ana metalden bazı alaşım elemanlarını kapabildikleri için belli bir limitte tutularak ısıl işlem tatbik edilebilir. Ciddi oranlarda silisyum ihtiva eden alaşımlara anodizasyon (anodik oksidasyon) yapıldığında koyu gri niteliğine sahip olurlar ki bu sebeple de mimari alanlarda yoğun şekilde ihtiyaç duyulur. İçeriğinde silisyum oranının yüksek olduğu dökümler; şanzımanlarda (vites kutuları), içten yanmalı motorlarda, silindir ve karterlerde nikel ve ona benzer metallerin eklenmesiyle piston yapımında kullanılır. %13'ten fazla silisyum içeren alaşımların işlenmesi çok zordur [60,64,66].

2.2.4.5. 5000 Serisi

Magnezyum en tesirli alaşım elementi olarak bu seri de geçer. Bu dizi için en önemli olan özellikler beyan edilecek olursa, yüksek aşınma direnci, sertlik, korozyon direnci, gerilme mukavemeti ve iyi kaynak edilebilirlik görülür. Soğuk şekillendirme yöntemi için elverişli değildir. Mukavemet ve sertlik özelliklerinden beklenen özel konstrüksiyonlar da yararlanılır. Alaşım elementi olarak baz alındığında veya mangan ile değerlendirildiğinde orta mukavemet değerlerine sahip olan ve ısıl işlem uygulaması yapılamayan bir alaşım oluşturur. Magnezyum sertleştirici olarak Mangan'dan daha etkilidir. %10 oranında Magnezyum içeren bir alaşım, tavlamadan sonra tüm alüminyum döküm alaşımları içinde çekme mukavemeti, uzama ve darbe direncinde en yüksek özelliğe sahiptir. İçeriği %6 oranından fazla magnezyum içeren alaşımlarda çökeltme sertleşmesi meydana gelir. Bu serideki alaşımlar, iyi kaynak özelliklerine ve iyi korozyon direncine sahiptir [60,64,66].

2.2.4.6. 6000 Serisi

Bu serinin karakteristik özelliklerini silisyum ve magnezyum birlikte ortaya koyar. Silisyum ve magnezyum birlikte bu dizinin ayırt edici özelliğini ortaya koyar. Bu dizinin önemli hususları orta seviyede mekanik mukavemet, iyi şekillenebilme, ısıl işleme yatkın olma ve korozyon direnci olarak sayılabilir ve bu seriyi oluşturan alaşımlar kimya, gıda ve ilaç sanayilerinde, paketlenme ve makine parçalarında (otomat parçaları gibi) kullanılır. Optimum ısıl işlem uygulaması yapılabilen ve bu seride en yaygın kullanılan 6061 alaşımıdır.

Alaşımında meydana gelen sertleşme, Mg₂Si metalleri arası kimyasal bileşimin sıcaklık vasıtasıyla değişen çözünürlüğünden kaynaklanır. Korozyon karşısında gösterdikleri direnç arı halde bulunan alüminyumdan bir parçada olsa noksanır, mukavemetleri 251 ila 408 MPa arasındadır [60,64,66].

2.2.4.7. 7000 Serisi

Bu serinin ana alaşım elementi %5 civarında çinko'dur ve alaşımlara çok yüksek çekme mukavemeti kazandırır. Başlıca uygulama alanları olarak kamyon kutuları, uçak, tavan vinçleri, vida makinesi parçaları, roket ve mühimmat sanayi parçaları sayılabilir. Temelde alaşım elementi olarak çinko kullanılan bu dizi az ölçüde magnezyum ile değerlendirildiğinde daha mukavim olarak ısı işlem uygulamalarında verim alınabilen alaşımları oluşturur. Alaşımındaki çinko dökülebilirliği azaltır. Çinko alaşımları soğuma çekmesi ve sıcak çatlama oluştururlar. Oran olarak %8'de fazla olan alaşımlar gerilmeli korozyon çatlama gösterir, fakat başka alaşım elementleriyle beraber bulunurlarsa, mukavemetleri oldukça artar [60,64,66].

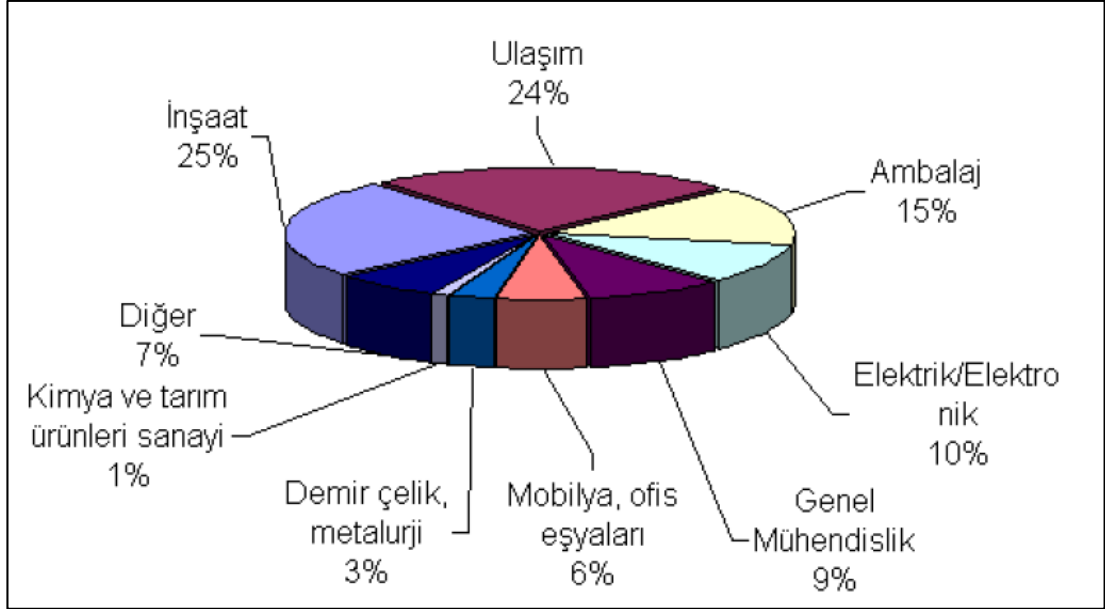
2.2.4.8. 8000 Serisi

Hafif olmasının yanı sıra yüksek akma ve çekme mukavemeti sağlayarak yaklaşık olarak %2 oranında lityum ihtiva eden seridir. Havacılık ve uzay sanayisinde sıkça kullanılır. Yüksek yorulma dayanımına sahiptir [60,64,66].

2.2.5. Alüminyum Kullanım Alanları

Yeryüzünde %7.5- 8.1 oranlarında olmasına karşın serbest durumda ender rastlanan alüminyum bir müddet altından daha çok rağbet görmüştür. 200 yıldan fazla bir üretime sahip geleceğin metali olarak anılan alüminyumun gün ve gün artış gösteren kullanım alanlarına günümüz dünyasında baktığımızda; elektrik-elektronik, ambalaj, ulaşım, uzay, kimya ve ambalaj endüstrisi; makine imalatı, inşaat alanı ve diğer birçok alanda yaygın olarak kullanım sağladığını görebiliriz.

Alüminyum metalin kullanım alanlarının dağılımı Şekil 2.24'te gösterilmiştir. Geniş kullanım yelpazesinde etkili olan elastikiyet, hafiflik ve dayanıklı olma özellikleri bir arada bulunmasıyla pek çok ürün için bulunmaz Hint kumaşı derecesinde bir metal olarak yer edinmiştir.



Şekil 2.24. Alüminyumun kullanım alanlarına göre dağılımı.

Yer kabuğunda her yıl üretimi sağlanan alüminyum ve alaşımları dayanıklılığı yanı sıra sahip olduğu dekoratif görünümü anodizasyon kaplamayla bir nevi ölümsüz kılar. Alüminyum ve alaşımları %25 oranında inşaat sektöründe mukavemeti, uzun ömürlülüğü, tersinir bir dönüşüme sahip olması, yüksek korozyon direnci, hafifliği, gerek doğal veya renkli anodizasyon kaplama gerek ise lake kaplama ile metalin çok yönlü oluşu ve çeşitli biçimde profil elde edilme olanakları sebebi ile cephe kaplaması, otoyollar, dekoratif radyatörler, uzay çatıları, seralar, binalarda kapı pencere çerçeveleri, çatı, merdiven ve inşaat alanındaki aksesuarlar gibi ürünlerde değerlendirilir.

Dünya çapında inovatif hale gelerek çok geniş bir pazar payı elde eden alüminyum köprü yapımında çelik için alternatif yapı elemanı olarak değerlendirilir ve köprünün kullanım kapasitesini arttırmaya olanak sağlar. Diğer yapı materyalleriyle mukayese edildiğinde ağırlık/ mukavemet oranında üstünlük sağlamanın yanında yüksek

korozyon direnci ile köprü bakım giderinde azaltma meydana getirerek kullanım ömrünü arttırır. Köprü yapımında yararlanılan alüminyum köprü ağırlığını minimize ederken üzerinde araç taşıma kapasitesini yükseltir.

Gelişen dünya ile birlikte ülkelerdeki halkın düşüncelerinin oluşturduğu baskılarla meydana gelen ekolojik kanun ve talimatların öngördüğü birtakım yaptırımlar ile karşı karşıya kalmamak ve rekabetteki oranlarını muhafaza edebilmek vasıtasıyla üretimi üstenilen otomobillerin gerek ekosistemde istikrarlı dengeleri, gerekse üretimini sağladıkları materyallerin ekonomiye yönelik olumlu etkiler sunması için çalışmalar sağlanır. Otomotiv endüstrisinde maliyet hesaplamaları yaparken verimliliği korumak, geri dönüşümü sağlamak, güvenilirliğe öncelik vermek, konforu artırmak ve daha düşük ölçüde yakıt tüketimi yapan araçlar üretmek için çaba harcanmaktadır. Otomotiv sektöründe daima gündemde olan alüminyum alaşımlarının Avrupa'da tüketiminin yaklaşık üçte birlik bir bölümü ulaşım sektöründe olması alüminyumu rakipsiz bir metal kılar. Otomotiv sanayisinde sürekli olarak gelişimine olanak sağlanan inovatif alaşımlar sayesinde çoğunlukla taşıtlarda kafes, tampon, motor, dişli, tekerlek, enerji emici çarpma kutuları, iç ve dış panellerin üretiminde yararlanılır.

Modern hava ve uzay endüstrisine bakıldığında alüminyumun önemli bir yer kapladığı ve hatta alüminyumun varlığının olmaması ihtimalinin bile bu endüstrilerden bahsedilemeyeceğini açık bir şekilde göstermektedir. Yaklaşık olarak %70 oranında alüminyum içeriğinden oluşan uçaklarda istenilen özellikler ölü yük ağırlığı (uçanın kendi ağırlığı) gibi kuvvetlerin tesirinde çalışırken güvenilir ve emniyetli olmasıdır. Bu özelliklerin yanı sıra genel olarak bakıldığında hava taşıtlarında korozyon vasıtasıyla oluşan zararlar mevcuttur. Bu nedenle agresif ortam koşullarında korozyon direnci yüksek olan alüminyum ve alaşımlarına benzer materyaller seçilmelidir.

Çelikten nispeten daha pahalı olan alüminyum, tekne üretiminde kullanıldığında ölü yük ağırlığında (teknenin ağırlığı) 1/2 oranında azalma görülür. Galvanik korozyona alüminyum fazlaca eğilim gösterdiğinden ve bir başka metal ile etkileşim halinde bulunduğu vakit korozyona uğrayacağından gereken kontroller yapılmalıdır. Alüminyum ve alaşımları kullanılarak üretimi sağlanan tekneler için yapılacak bakım maliyetleri düşüktür, boyamaya gereksinim duymazlar, kullanımı ve işlenebilirliği

kolay olmasının yanı sıra hafiftir, dayanıklılıklarının yanında pahalı teknelerde, lüks yatlarda çok yaygındır. Bunun yanı sıra alüminyum ve alaşımlarından demiryolu taşıtlarında yararlanılabilmeleri hızla çoğalırken yüksek hızlı tren endüstrisine büyük katkı sağlamıştır.

Geçtiğimiz yıllara mukayese edildiğinde süratli bir şekilde gelişim gösteren alüminyumun değerlendirildiği alanlardan biri olan ambalaj materyalleri çok fazla tercih edilmeye başlanmıştır. Kalınlığı birkaç mikron ölçüsü gerektiren alüminyum, çok fazla miktarda bulunan diğer ikame ambalaj materyalleri ile temin edilen korumaya kıyasla daha fazla tesir etmektedir. Alüminyumun benzeşik bir yapıya sahip olması, ince folyo biçiminde üretim kabiliyetinin bulunması, hava iletiminin mevcut olmaması (sızdırmazlık, geçirmezlik) ve kolay şekillenebilirlik özellikleriyle ideal bir ambalaj materyali olarak değerlendirilir. Alüminyum ambalajlarının geçirgen bir yapıya sahip olmaması (su, gaz, ışık, mikroorganizmalar vb.), sıcak ve soğuk koşullara karşı sağlam duruşu, hava da meydana gelen varyasyonlar ve oluşan çevre şartlarının üzerinde bir tesir oluşturmaması ilaç ve gıda endüstrisinde istenilen gereksinimin karşılığını verdiği gibi kızılötesi ve mor ötesi ışınlar için kalkan görevi görmesi gelişimi sağlanan ürünler içinde söz konusu olmasına imkan verir.

Avrupa'da %10'u, ABD'de %9'u, Japonya'da %7'si elektrik- elektronik alanına ait olan alüminyumun iletkenlik özelliği son derece yüksektir. Özünde çeliğin mensup olan alüminyum iletkenler (ACSR), 1000 volt üzeri elektrik nakil hatlarında istenilen tek materyal olarak geçer. Alüminyumdan yer altına gömülmüş halde bulunan güç kablolarında, motor makaralarının sarılmasında ve elektrik borularında geniş ölçüde yararlanır. Alüminyumdan esas olarak elektronik alanda faydalandığı yerler otomobil iskelet sistemleri, transistör soğutucuları, cihaz kutuları, yongalar ve veri kayıt diskleri olarak sıralanabilir.

Alüminyumun bir diğer çoğunlukla kullanım olanağı sağlandığı alanlardan biriside içecek kutularıdır. Alüminyum ve alaşımlarının hafifliği, açma işleminin kolayca yapılabilmesi, darbe dayanımı, dayanıklı oluşu, tersinir oluşu ve hızlıca soğutma özelliklerine sahip olması yerkürede değerlendirilen metal tenekelerin %80 civarında bir bölümünün alüminyumdan oluşmasına olanak sağlar. Son olarak diğer sektörlerle

mukayese edildiğinde alüminyum ve alaşımları havalandırma ürünlerinde, soğutma ürünlerinde, küçük ev cihazları ve spor ekipmanlarında kullanılır. Al_2S_3 pillere benzer pillerin imalinde de yararlanılmaya başlanmıştır. Bunun yanı sıra savunma sanayisinde büyük boyutlarda kullanılmakta olup bunu seyreden bir artış görülmektedir. Füze ve roket düzeneklerinde de değerlendirilmektedir. [60-66]

2.3 BİMETAL KOMPOZİT MALZEME

Bimetalik malzemeler; farklı iki metalin üstün karakteristik özelliklerini tek bir tasarımda toplamak amacıyla, bu iki farklı metalin çeşitli yöntemlerle birleştirilmesiyle üretilen makro kompozit malzemelerdir [76].

Bu metalurjik ilişki bir dizi üstün özelliğe sahiptir ki bunlardan bahsedecek olursak;

- Hafiflik; bimetalik malzemeler aynı ebatlardaki farklı bir malzemedenden daha hafif olabilirler.
- Düşük maliyet; bimetal malzeme aynı özelliklere sahip diğer malzemelerden daha ucuza üretilirler.
- Mekanik mukavemet, yüksek yorgunluk, vb. dayanım gösterebilirler.
- Aşınma direnci ve korozyon direnci gibi üstün özellikler içerirler [77].

Günümüzde bimetalik malzemeler birçok endüstri alanında sıkça başvurulan, alternatif bir malzeme haline gelmiştir. Elektrik-Elektronik sektörü başta olmak üzere, motor yatak sacları, buhar tuzakları, sensörler, termostatlar, termometreler gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Örneğin, alüminyum ile kaplanmış çelik tellerde; çelik teller dayanım ve yüksek mukavemet özellikleri sağlarken, alüminyum ise elektrik iletkenliği ve korozyon direnci gibi özellikleri sergileyerek; üstün performanslı bir bimetal malzeme meydana getirmektedirler. Daha somut bir örnek vermek gerekirse; şuanki madeni paraların birçoğu bimetalik malzemelere örnek olarak verilebilir.



Şekil 2.25. Bimetalik madeni para.

Bimetal üretiminde malzeme seçimi amaca bağlı olduğu için değişiklikler gösterebilir. Bimetal malzemeler: maliyet düşürme, korozyon ve aşınma direncini arttırmak, mekanik ve fiziksel özellikleri geliştirmek, ağırlığı azaltmak gibi birçok farklı amaca yönelik tasarlanıp üretilir [76].

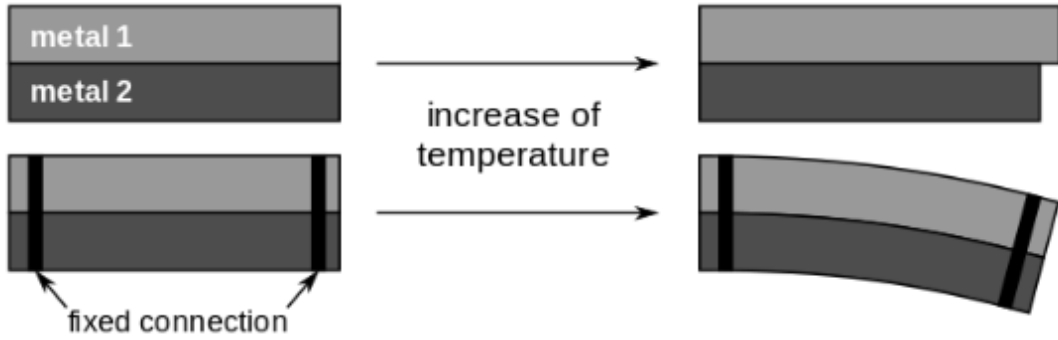
Mevcut üretim yöntemlerinin birçoğu bimetal malzeme üretiminde de kullanılabilir. Sürekli döküm, statik döküm, kaplama, hassas döküm, santrifüj döküm, ekstrüzyon vb üretim yöntemleri ile üretimi gerçekleştirilebilir [78].

Bu yöntemler, birleştirilmesi istenen parçanın boyutuna, döküm işlemine, kimyasal özelliklerine göre değişebilir ve üreticiye avantaj ya da dezavantaj sağlayabilir. Birleştirilen metallerin mekaniksel ve fiziksel özelliklerinin birbirinden farklı olması, bimetal üretimini zorlaştıran ana faktördür. Bimetal üretiminde en önemli nokta ise, iki metal arasında oluşacak fiziksel ve kimyasal bağlar ile metallerin metalurjik açıdan birbirine bağlanmasıdır.

2.3.1. Kullanım Alanları

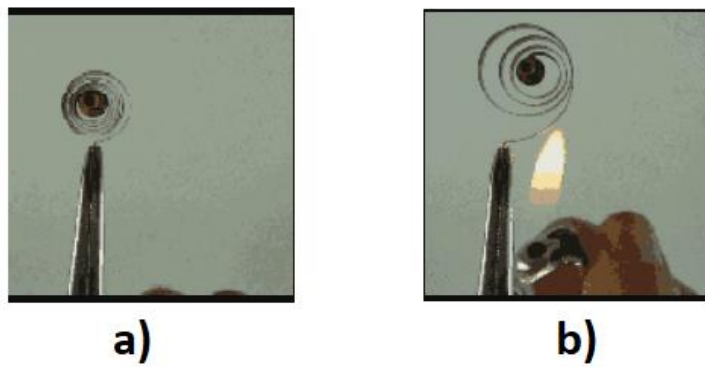
Bimetal oluşturacak metallerin seçim sürecinde bazı kriterler dikkate alınmalıdır. Bunlar, malzemenin; termal iletkenlik, genleşme, korozyon ve aşınma direnci, yapısal özellikleri gibi fiziksel ve mekaniksel özellikleridir.

Bimetaller; radyatörlerde, mil yataklarında, motor kafa contalarında, kâğıt endüstrisi kesme aletlerinde, mutfak eşyalarında, ısı eşanjörlerinde, metal, ahşap, tekstil, gıda ve madencilik endüstrisinde kullanılan kırıcılarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Son zamanlarda ise otomotiv endüstrisinde otomobillere ait çeşitli ince tabakalarda ve otomobil parçalarının şekillendirilmesinde kullanılan pres ve çeşitli kalıplarda kullanılmaya başlanmıştır [79].



Şekil 2.26. Bimetal plaka ve davranışları.

Bimetal şeritler, sıcaklık değişimini yer değiştirmeye dönüştürmek içinde kullanılır. Sarmal yapıda birbirine bağlı iki metalin ısıl genleşme değerlerinin farklı olması sebebiyle, bimetal bobin sıcaklığın etkisiyle açılıp, sıcaklığın düşmesiyle tekrar kıvrılarak sarmal bir hal almaktadır.

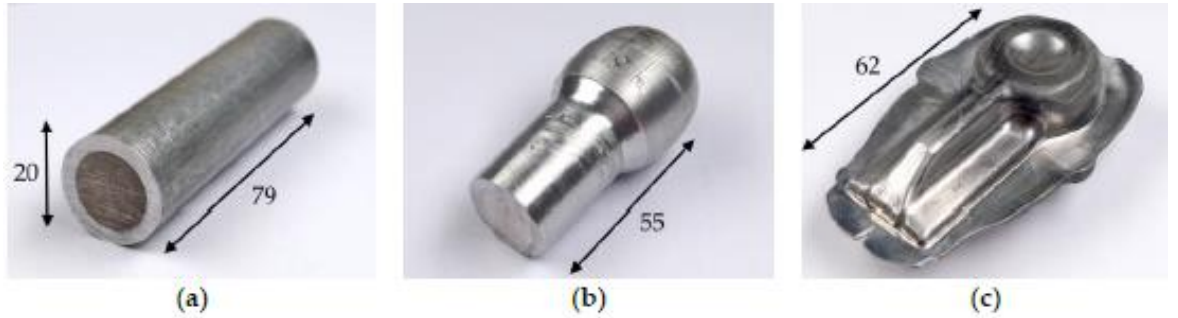


Şekil 2.27. Sıcaklığın etkisiyle açılıp, kıvrılan sarmal.

Sıcaklık değerini doğrudan gösteren kadranlı termometrelerde, bobin halinde sarılmış bimetal şeritler kullanılır. Bimetal şerit, kayıt termometresinde de kullanılır. Breguet termometresi, bir tri-metalik sarmaldan oluşur [80].

2.3.2. Kaynak Araştırması

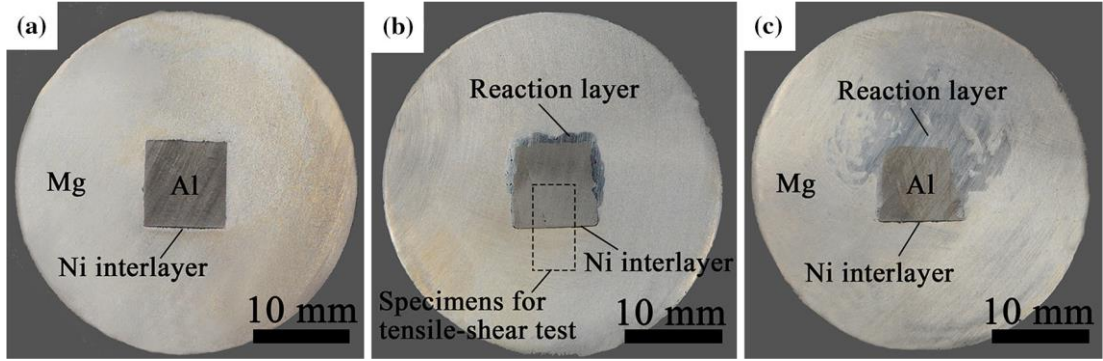
Förster ve arkadaşları [81], alüminyum kaplamalı magnezyum bileşeni üretimi için gerekli proses aşamalarını araştırmışlardır. Çalışmada ilk olarak malzemenin üretimi için işlem adımları tasarlanmış, hidrostatik ko-ekstrüzyonla malzeme üretimiyle başlayan işlem sürecinin ardından iki aşamalı kalıp dövme işlemiyle son halini almıştır. Üretilen bimetal malzeme ultrasonik testlere tabi tutulmuş, bu sayede alüminyum ve magnezyum malzemeleri arasında bağın sağlanıp sağlanmadığı analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre tasarlanan proses aşamalar ile alüminyum ve magnezyum malzemelerinden hafif bir bileşen üretilebildiği fakat haddeleme yöntemiyle yapılan üretime kıyasla boyutsal sınırlılığa sebep olduğu görülmüştür. Üretilmiş olan bimetal malzemenin mikroyapı görüntüleri de alüminyum ve magnezyum malzeme arasındaki bağın sağlanabildiğini ve bimetal malzeme üretilebileceğini doğrulamaktadır [81].



Şekil 2.28. Bimetal bileşenin boyut olarak mm cinsinden üretim aşamaları. (a) Ortak kalıp, birlikte çekilmiş çubuktan kesilmiş; (b) İlk dövme basamağından sonra ön form (Başlık); (c) ikinci dövme adımından sonra bimetal bileşen (Net şekil dövme).

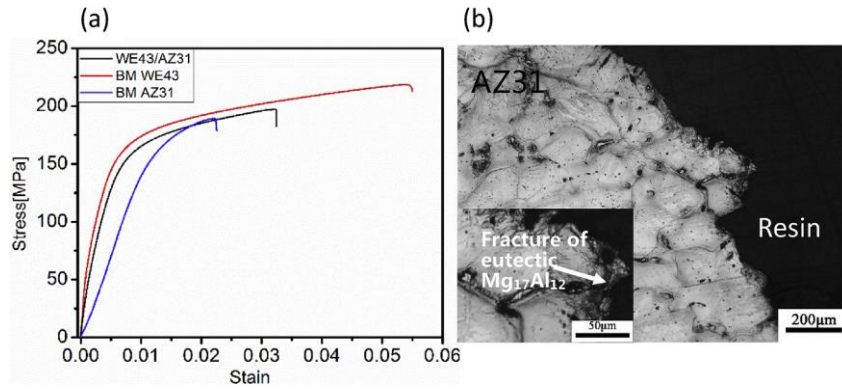
Lıu ve arkadaşları [82], nikel ara katmanının Mg/Al bimetalik dökümünün mekanik ve mikroyapı özelliklerine etkisini deneysel çalışmalar ve görüntü analizleri ile incelemiştir. Malzemenin mekanik özellikleri çekme deneyleri ve sertlik ölçümleri ile analiz edilmiştir. Çekme deneyleri ve sertlik ölçümlerinin sonucunda Ni ara katmanının ilave edilerek üretilen bimetalin, Ni ara katmanı olmadan üretilen bimetalle kıyasla mukavemet dayanımının (25.4 MPa) arttığı görülmüştür. Çekme deneyleri sonrasında kırılma yüzeyleri XRD ve EDS görüntüleri incelenerek görsel olarak analiz edilmiştir. Ni ara katmanı olmadan Mg/Al bimetalinde gevrek kırılmanın, Ni ara

katmanı ile üretilen Mg/Al bimetali ise gevrek ve sünek kırılmanın karışık şekilde gerçekleştiği görülmüştür. XRD ve EDS görüntülerinden elde edilen sonuçlar mekanik test sonuçlarıyla uyumluluk göstermektedir [82].

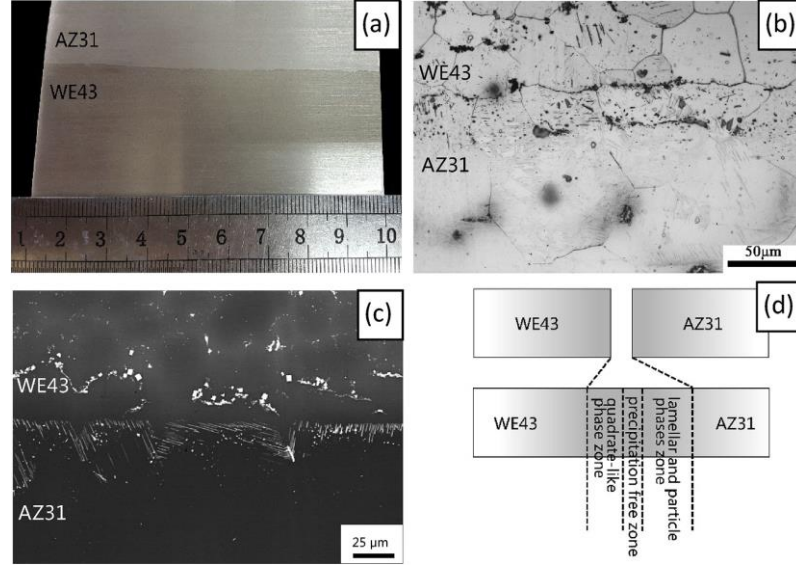


Şekil 2.29. Mg / Al bimetallik külçelerin (a) 680 ° C, (b) 700 ° C ve (c) 720 ° C'de dökülmüş enine kesit görüntüleri.

Zhao ve arkadaşları [83], AZ31 ve WE43 bimetal kompozitlerinin mekanik özelliklerini deneysel çalışmalar ile araştırmışlardır. Yapılan çekme deneyleri sonucunda, AZ31/WE43 bimetalinin baz malzemelere kıyasla daha yüksek çekme dayanımına (197 MPa) sahip olduğu görülmüştür. Elde edilen sertlik ölçümü sonuçları da bimetalin daha mukavemetli olduğu sonucunu doğrulamaktadır. Ayrıca elde edilen sonuçlar iki baz malzeme arasında iyi bir metalürjik bağ elde edilebildiğini göstermektedir [83].

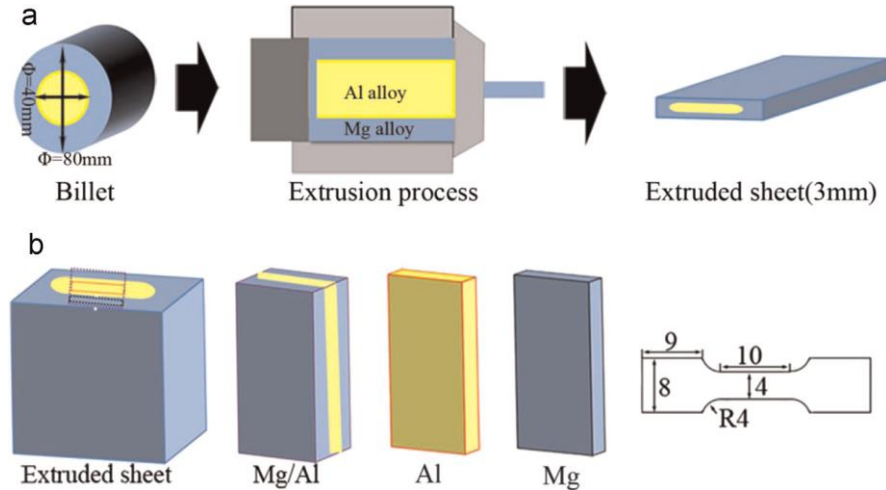


Şekil 2.30. (a) WE43 / AZ31, BM (ana metal) AZ31 ve BM WE43 örneklerinin gerçek gerilim-gerinim eğrileri; (b) Kırılma yüzeyine dik olan yırtılmış örneklerin optik mikro yapıları.



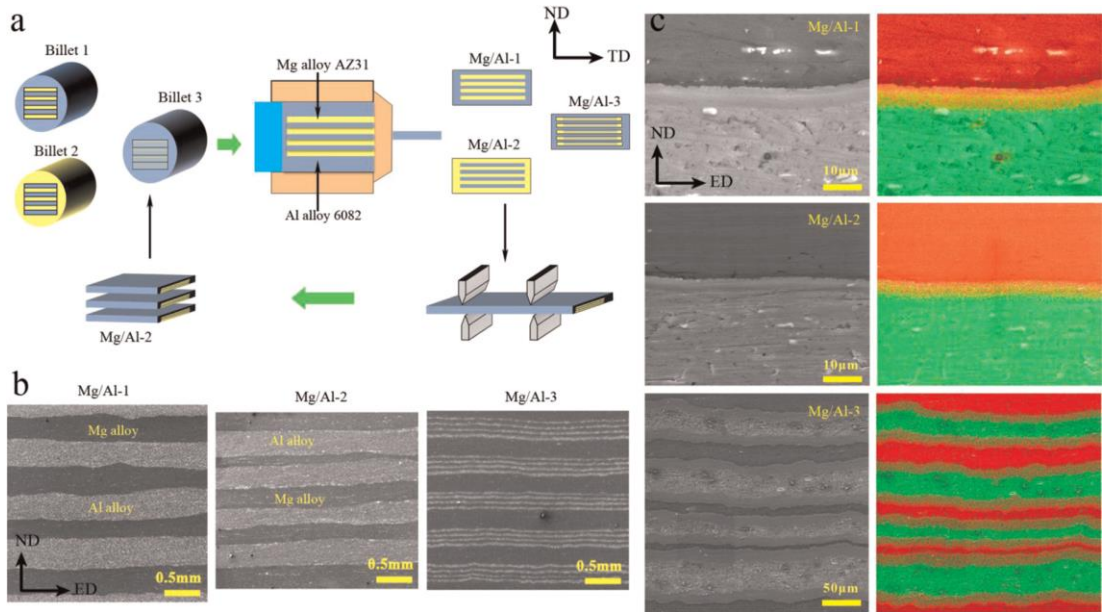
Şekil 2.31. (a) AZ31 / WE43 bimetal kompozitlerinin görünüşleri; (b, c) AZ31 / WE43 bimetal kompozitlerin bağlanma ara yüz bölgesinin mikro yapıları; (d) Arayüz bağlama bölgesindeki çökelmiş fazların şematik diyagramı.

Wu vd [84], ekstrüzyonla üretilen MgAZ31/Al7050 laminat kompozitinin mekanik ve mikroyapı özelliklerini çekme deneyi ve görüntüleme yöntemleri ile incelemişlerdir. Çekme deneyi ve görsel analiz (optik mikroskop, SEM, EDS) sonucunda %40,2'lik Al fraksiyonunun akma dayanımı 155 MPa'dan 300 MPa'a kadar arttırdığı, bu sayede kompozitin gevrek kırılmadan sünek kırılmaya eğilimli olduğu görülmüştür [84].



Şekil 2.32. (a) Mg / Al laminat kompozitinin ekstrüzyonla üretilmesini ve (b) numunelerin ekstrüzyon doğrultusu boyunca gerilim testleri için hazırlanmasını gösteren şematik diyagramlar.

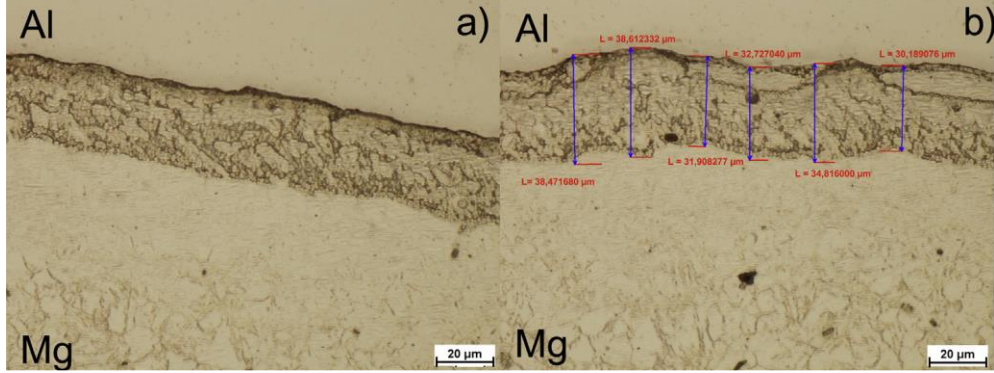
Xin ve arkadaşları [85], Mg/Al çok katmalı plakaların ekstrüzyonla birleştirilebilirliğini mekanik ve mikroyapı analizleriyle araştırmışlardır. Çalışma kapsamında malzemenin tanecik yapısı ve geçiş katmanı yapısı optik mikroskop ve SEM görüntüleri ile incelenmiştir. Ekstrüzyon işleminden sonra hem Mg hem de Al katmanının homojen bir tanecik yapıya sahip olduğu görülmüştür. Fakat Mg katmanının iç bölge ve yüzeyde benzer morfolojiye sahip olduğu gözlemlenirken, Al katmanının yüzey bölgesinde iç bölgeye kıyasla yeniden kristalize edilmiş tanecik oluşumu gözlemlenmiştir [85].



Şekil 2.33. (a) Üç tip Mg / Al çok tabakalı plakanın (belirtilen Mg / Al-1, Mg / Al-2 ve Mg / Al-3) bir ekstrüzyon sınırlama işlemiyle (b) imal edilmiş plakaların kesitsel SEM mikrografları (c) geçiş katmanının mikro yapısını ve bileşimini gösteren SEM mikrografları ve EDS haritalamaları. (EDS haritalarındaki kırmızı ve yeşil noktaları, özellikle Mg ve Al öğelerini temsil eder). ND, ED ve TD, sırasıyla haddelenmiş plakanın normal yönünü, enine yönünü ve ekstrüzyon yönünü ifade eder.

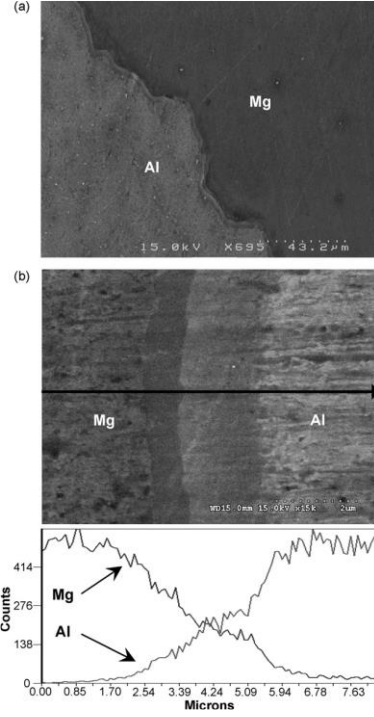
Mroz ve arkadaşları [86], patlayıcı kaplama yöntemiyle magnezyum-alüminyum bimetalik malzeme formunun mekanik ve mikroyapı özelliklerini mikrosertlik ölçümleri ve görüntüleme yöntemleri ile incelemişlerdir. Analiz sonucunda Mg/Al bağının bulunduğu geçiş bölgesinin yüksek sertlikte olduğu sonucuna varılmıştır.

Geçiş bölgesinin kimyasal bileşiminin incelendiği SEM ve EDX görüntülerinden de her iki malzeme arasında çok iyi bağ kalitesi elde edilebildiği görülmüştür [86].



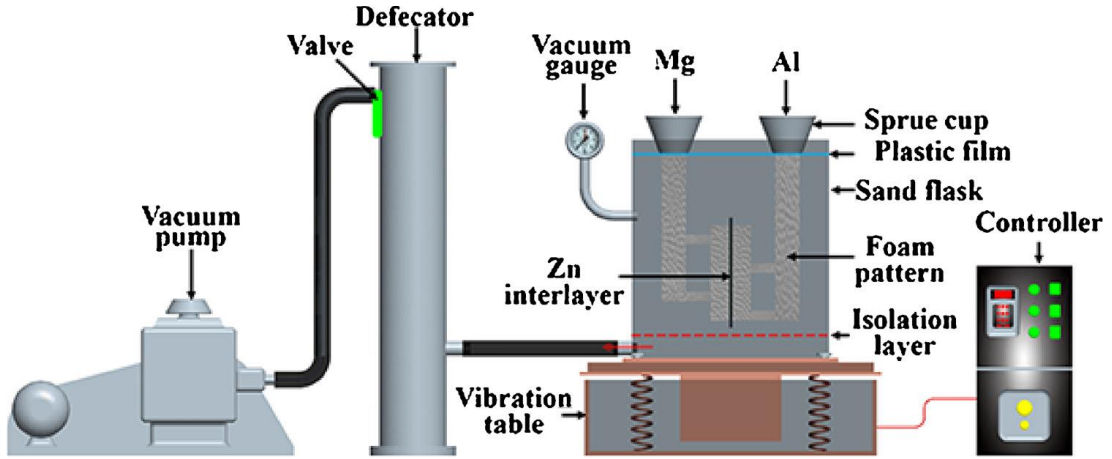
Şekil 2.34. Bimetalik eklem alanı (a); geçiş tabakası kalınlığı ölçümlerinin örnek sonuçları (b). Büyütme 500T.

Paramsothy ve arkadaşları [87], sıcak ekstrüzyonla imal edilen Mg/Al makro kompozitinin mekanik ve mikroyapı özelliklerinin incelemiştir. Üretilen makro kompozitin baz Mg malzemesine kıyasla termal stabiliteyi (CTE) ve dinamik modülü arttırdığını önemli ölçüde arttırdığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlar Mg ile Al malzemesinin iyi bir entegrasyon sağladığını göstermektedir [87].



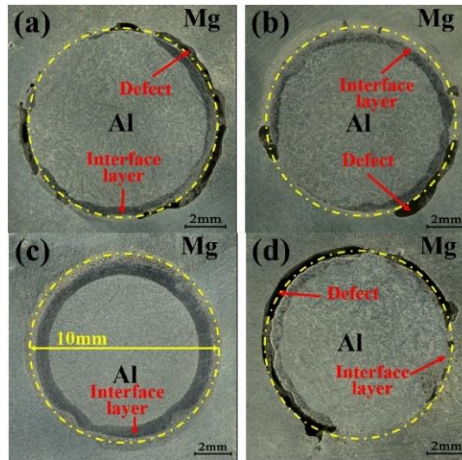
Şekil 2.35. Temsilci: (a) Mg / 0.079 Al makrokompozit içinde minimal arayüzey bağlanma varlığını gösteren mikrograf ve (b) Mg-Al arayüzünde difüzyon bölgeleri gösteren EDS çizgi taraması.

Zailiang Jiang ve arkadaşları [88], sıvı-sıvı bileşik döküm işlemi ile ürettikleri Mg / Al bimetal'in arayüzey yapıları ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmada: Mg/Al bimetal kompozit üretiminde sıvı metallerin doğrudan karışmasını önlemek ve intermetalik faz oluşumunu engellemek için Zn ara katmanı eklemiştir. Magnezyum alaşımının ve alüminyum alaşımının dökme sıcaklıkları Zn'nin erime sıcaklığından daha yüksektir, bu da Zn ara katmanının erimesine neden olur. Metalurjik reaksiyonların hepsi, Al, Mg ve Zn elementleri arasında meydana gelmiştir. AZ91D magnezyum alaşımı ve A356 alüminyum alaşımı arasında yaklaşık 25 mm kalınlığında bir kompakt bir metalurjik arayüz elde edilmiştir. Zn ara katmanın eklenmesi, Mg Al intermetalik oluşumunu da kısıtlar [88].



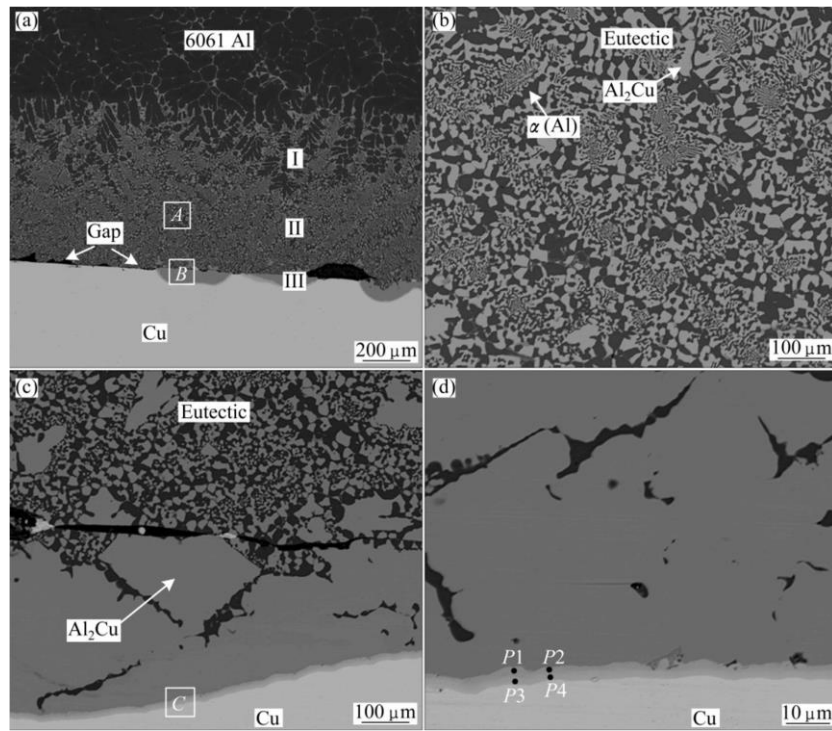
Şekil 2.36. Deney ekipmanının şematik gösterimi.

Li ve arkadaşları [89], makro kompozitlerde, vakum derecesinin arayüz mikro yapıları, mekanik özellikleri ve Al / Mg bimetalinin kırılma davranışı üzerindeki etkileri sistematik olarak incelemişlerdir. Farklı vakum dereceleri ile elde edilen Al / Mg bimetalinin arayüz katmanlarının mikro sertlikleri, Mg ve Al matrislerinininkinden çok daha yüksek olduğunu fakat arayüz katmanlarında ki mikro sertliklerin neredeyse aynı olduğunu belirtmişlerdir ki yine aynı şekilde vakum derecesinin bimetalinin arayüz katmanlarının faz bileşimleri üzerinde belirgin bir etkisi olmadığını savunmuşlardır. Arayüz katmanlarında ki faz yapıları genellikle aynı olup arayüz katmanları ise $Al_{12}Mg_{17} + \delta$ (Mg) ötektik, $Al_{12}Mg_{17} + Mg_2Si$ ve $Al_3Mg_2 + Mg_2Si$ olmak üzere üç reaksiyon katmanından oluştuğunu belirtmişlerdir [89].



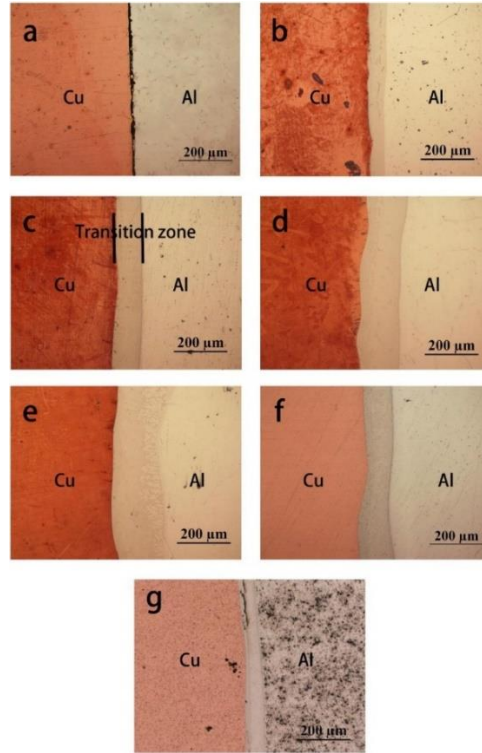
Şekil 2.37. Farklı vakum derecelerinden elde edilen Al / Mg bimetalinin makrografları: (a) 0 MPa; (b) 0.01 MPa; (c) 0.03 MPa; (d) 0.05 MPa.

Yuan HU ve arkadaşları [90], Al / Cu bağlantılarının farklı işlem parametreleriyle; mikroyapıları, mekanik özellikleri ve iletkenliklerini incelemiştir. Cilalanmış ve temizlenmiş Cu substrat üzerinde yaklaşık 6 μm kalınlığında bir Ni-P film biriktirilmiş ve Ni – P ara tabakası olan ve olmayan Al / Cu bağlantılarının karşılaştırmalarını yapmışlardır. Ni kaplama, yapılan bileşik dökümünde Cu substratı ve erimiş Al arasında bir ara katman olarak işlev görecektir. Ni ara katmanı kullanılmayan bileşik dökümlerin ara yüzlerinde Cu'ın yüzeyinde oluşan oksitler sebebiyle mükemmel bir metalürjik bağlanma sağlanmadığını gösteren belirgin boşluklar oluşur. Ni ara tabakaya sahip Al/Cu çiftinde ise, kesintisiz metalürjik bağ olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak; koruyucu bir film olarak elektriksiz Ni – P kaplama, Cu substratı üzerinde oksit oluşumunu etkili bir şekilde önleyebilir ve sağlam bir metalürjik bağ geliştirilmesine yardımcı olur [90].



Şekil 2.38. Al / Cu eklemi doğrudan bağlamanın 160 ° C'de 160 saniye boyunca arayüzey mikroyapısının SEM görüntüleri (Örnek 1): (a) Kesit mikroyapısı; (b) (a) 'daki A dikdörtgeninin büyütülmüş görüntüsü; (c) (a) 'daki B dikdörtgeninin büyütülmüş görüntüsü; (d) (c) 'deki C dikdörtgeninin büyütülmüş görüntüsü.

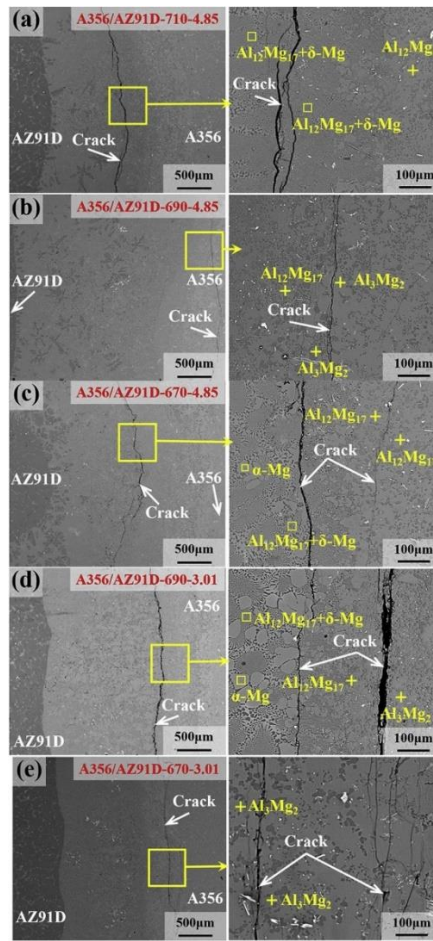
Teng Liu ve arkadaşları [91], Al-Cu Bimetalin dökme sıcaklığının ve uygulanan basıncın mikroyapı ve mekanik ve elektriksel özelliklere etkisini incelemişlerdir. Cu eklentisinin sadece mekanik cilalanmış olduğu zaman, iki malzeme arasında oksit tabakası nedeniyle Cu ve Al arasında oluşturulan metalurjik bağlanma yerine mekanik bağlanma nedeniyle net bir arayüz olduğu görülebilir. Cu içeren Al-Cu bimetal için termal püskürtme çinko kaplı iken, her numune için Al ve Cu arasındaki arayüzde iyi bir metalurjik bağlanmayı gösteren bir reaksiyon tabakası oluşturuldu. Dökme sıcaklığının artmasıyla difüzyon katsayısı artar, bu da geçiş bölgesinin kalınlaşmasına neden olur. Daha sonra dökme sıcaklığının 700 ° C'den 740 ° C'ye, artmasıyla birlikte elektriksel direnç artar [91].



Şekil 2.39. Farklı parametrelerde yapılan Al-Cu bimetalin arayüz bölgesinin mikro yapıları (a, mekanik cilalı karşılaştırma 700 ° C 70 MPa, b, 680 ° C 70 MPa, c, 700 ° C 70 MPa, d, 720 ° C 70 MPa, e, 740 ° C 70 MPa, f, 700 ° C 30 MPa, g, 700 ° C 110 MPa).

Li ve ark. [92], A356 alüminyum alaşımı ve AZ91D magnezyum alaşımı metallerini katı-sıvı bileşik köpük döküm yöntemini kullanarak bimetal malzemeyi üretmeyi başarmışlardır. İnsert malzemenin Al/Mg bimetal bağlanmasında önemli rol aldığını göstermişlerdir. Al / Mg bimetal kompozit malzemenin iyi bir metalurjik bağ elde

ettiğini savunmuşlardır. Farklı insert malzemelerle hazırlanan bimetal kompozit malzemelerin ara yüzlerinde $Al_3Mg_2+Mg_2Si$, $Al_{12}Mg_{17}+Mg_2Si$ ve $Al_{12}Mg_{17}+\delta-Mg$ ötektik tabakaları gözlemlemiştirler. A356 katı insert ile üretilen bimetal kompozitin, AZ91D katı insert ile elde edilen bimetal kompozite kıyasla daha yüksek bir bağlanma kuvveti olduğunu sergilerken sertliklerin hemen hemen aynı olduğunu belirtmişlerdir. Alüminyum ve Magnezyumun birleşme arayüzlerinde genişmeden dolayı çatlakların oluştuğunu ve bu çatlakların kayma mukavemetini büyük ölçüde zayıflattığını belirtmişlerdir [92].



Şekil 2.40. AZ91D kesici uç koşulu altında diğer parametrelerle üretilen Al / Mg bimetallerinin arayüz katmanlarının mikroyapıları: (a) Numune 4, (b) Numune 7, (c) Numune 10, (d) Numune 6, (e) Numune 9.

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada Al7075/AZ91, Al7075/ZA62, Al7075/ZK60, Al7075/ZK61, Al7075/AS21 ve Al7075/Mg2Zn şeklinde Al7075/Mg esaslı alaşım bimetal kompozitlerin üretimi, mekanik özellikleri(sertlik, basma testi, dışarı itme(push-out) testi), aşınma davranışları ve korozyon özellikleri incelenmiştir. Al7075/Mg alaşımı bimetal kompozitlerin 16 mm çapında ve 35 mm boyunda magnezyum esaslı bileşenlerin (AZ91, ZA62, ZK60, ZK61, AS21 ve Mg2Zn) üretimi düşük basınçlı döküm yöntemi ile yapılmıştır. Ardından döküm halinde 34 mm çapında ve 50 mm boyunda Al7075/Mg alaşımı bimetal kompozitin üretimini gerçekleştirmek için silindir bir kalıbın ortasına magnezyum alaşımı yerleştirilip, indüksiyon ocağında 680 °C'de ergitilen Alüminyum 7075 alaşımı, hava atmosferinde, yerçekimi kuvvetinde katı mg alaşımının çevresine dökülüp, sıvı alüminyumun magnezyum ile kalıp arasındaki boşluğu doldurması sağlanmıştır. Elde edilen malzeme soğutulduktan sonra Alüminyum ve Magnezyum metalleri arasında metalurjik bağ elde etmek amacıyla 350 °C'de 34/18 oranında ekstrüzyon işlemine tabi tutulup bimetal kompozit malzeme üretimi tamamlanmıştır.

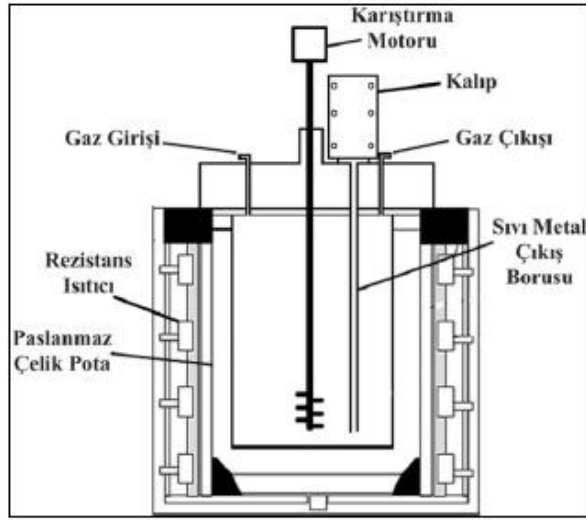
3.1. BİMETAL KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ

Bimetal kompozit üretimi sırasında öncelikle Mg alaşımı dökümü ve ardından Al7075 alaşımının dökümü yapılmıştır. Döküm halindeki bimetal kompozitler ekstrüze edilerek deneysel çalışmalar için hazır hale getirilmiştir.

3.1.1. Magnezyum Esaslı Alaşımların Dökümü

Alaşımların üretiminde düşük basınçlı döküm sistemi, Şekil 3.1' de şematik olarak ve döküm öncesi son hali ile gösterilmektedir. Ergitme ocağının dış gövdesi çelik

malzeme ile, iç kısmı ise refrakter tuğla ile kaplıdır. Ocak içi sıcaklığı ölçmek için ısı çift yerleştirilmiştir ve ocak üst kapağına maksimum sızdırmazlık sağlamak için levha şeklinde O-ring yerleştirilmiştir. Magnezyum alaşımlarının eritimi, ocak içine yerleştirilen paslanmaz çelik pota içerisinde yapılmıştır. Pota içerisindeki eriyiğin karıştırılmasında, paslanmaz çelikten yapılmış pervaneli bir mil kullanılmıştır. Ergitme işlemi esnasında ortamın atmosferle temasını kesmek için pota içerisinde sürekli argon gazı akışı sağlanmıştır. Ergitme ve karıştırma tamamlandıktan sonra, gaz çıkışı engellenerek pota içindeki basınç 2 bar seviyesine çıkarılmış ve basınç farkı ile sıvı metal çıkış borusundan yükselerek 250 °C'ye ısıtılmış ve döküm öncesi iç kısmı CO₂+SF₆ gazı ile doldurulmuş olan silindirik döküm kalıplarına dökümler gerçekleştirilmiştir. Sıvı metal kalıbı doldurduktan sonra basınç altında yaklaşık 2 dakika beklendikten sonra basınç düşürülerek döküm sonlandırılmıştır. Döküm sonrası elde edilen 34 mm çapında 190 mm boyundaki silindirik bir ingot Şekil 3.2' de gösterilmektedir. Yerçekimi ile döküm sırasında gerçekleşen türbülans ve çalkantı sonucu oluşacak çekme boşlukları, poroziteler, inklüzyonlar gibi döküm hataları, bu sistem ile minimuma indirilmeye çalışılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 3.1. Düşük basınçlı (a) Döküm sisteminin şematik ve (b) döküm öncesi kapatılmış düşük basınçlı kalıbın görüntüsü.



Şekil 3.2. Magnezyum esaslı alaşımların kalıptan çıktıktan sonraki görüntüsü.

Çizelge 3.1. Dökümde kullanılan saf metal ve master alaşımların kimyasal bileşimleri.

	Zn	Zr	Ca	Fe	Ni	Cu	Mn	Si	Cr	Ti	Sr	Al	Mg
Al7075	5,6			0,5		1,6	0,3	0,4	0,23	0,2		88,67	2,5
AZ91	1,1			0,002	0,001	0,014	0,18	0,016				9,2	89,487
ZA62	6,1			0,004	0,001	0,003	0,31					2,01	91,572
ZK60	6,314	0,563	0,005	0,006	0,008	0,004							93,1
ZK61	6,10	0,93		0,0035	0,00300	0,00100	0,00550	0,00070				0,00060	92,95000
AS21	0,15			0,05			0,01	1,15			0,001	2,15	96,489
Mg2Zn	2,001			0,006	0,001	0,004	0,01					0,007	97,971

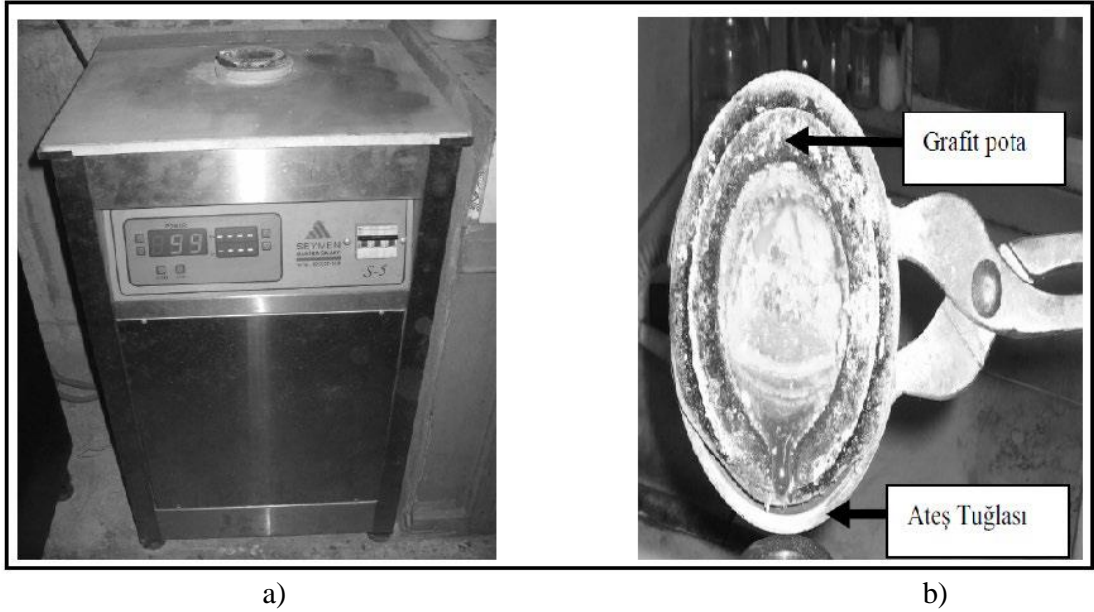
Bu çalışmada üretilen Al7075/Mg alaşımı bimetal kompozitin Mg alaşım bileşenleri AZ91, ZA62, ZK60, ZK61, AS21 ve Mg2Zn olup alaşımların içeriği çizelge 3.1’de verilmektedir.

Döküm işleminde, öncelikle fırın içindeki çelik pota saf Mg ile yüklenmiş ve sonra sızdırmazlık sağlayan kapak sıkıca kapatılmıştır. Fırın sıcaklığı 775 °C’ ye ayarlandıktan sonra fırın içerisine argon gaz akışı sağlanmıştır. Fırın 775 °C’ ye çıktıktan sonra tam ergimenin gerçekleştiğinden emin olunması için ergiyik yaklaşık 1 saat bu sıcaklıkta bekletilmiştir.

Çizelge 3.1’de verilen içeriklerde Mg alaşım bileşenleri üretmek için gerekli master alaşımlar belirlenen ağırlıklarda parçalar halinde pota içerisine atılmıştır ve daha sonra 15 dakika boyunca motorlu karıştırıcı ile sürekli karıştırılmıştır. Karıştırma bittikten sonra 10 dakika daha aynı sıcaklıkta hiçbir işlem yapılmadan bekletilmiştir. Daha sonra ergiyik 3 dakika daha sürekli olarak karıştırılmıştır. Bu işlemden hemen sonra, önceden 700 °C’ ye başka bir fırında ısıtılmış basıçlı döküm aparatı olan sıvı metal çıkış borusu ve bu borunun üzerine 250 °C’ ye ısıtılmış döküm kalıbı monte edilmiş ve sistem içerisine argon gazı yardımı ile basınç verilerek dökümler gerçekleştirilmiştir.

3.1.2. Al7075 Alaşımının Dökümü

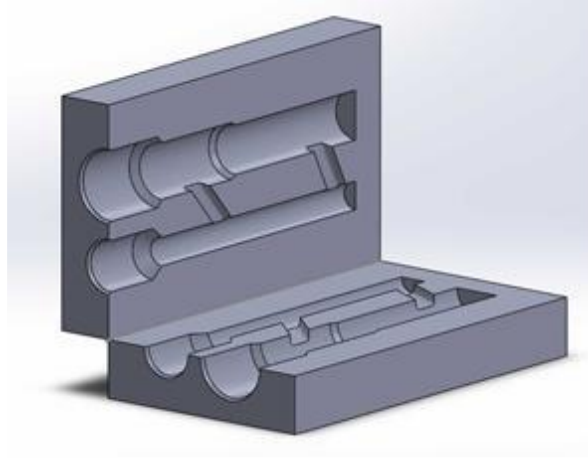
Al7075 alaşımının ergitme ve döküm proseslerinde Şekil 3.3'te gösterilen induksiyon döküm ocağı kullanılmıştır. Ocak gövdesinin dışı çelik malzeme iken ergimenin gerçekleştirildiği pota; 150 mm ateş tuğlasıyla kaplı olup içerisinde çapı 110 mm olan ayrı bir grafit potadan oluşmaktadır. Pota içerisindeki eriyiğin karıştırılmasında, paslanmaz çelikten yapılmış pervaneli bir mil kullanılmıştır. Ergitme esnasında ocak içerisindeki sıcaklık kontrolü termokupl ile sağlanıp ve ocağın üst kısmında ise koruyucu bir kapak sistemi konulmuştur. Ergitme ve döküm esnasında oksitlenmeden ve buna bağlı olarak metal kaybından korunmak için eriyiğin atmosfer ile temasını önlemek amacıyla koruyucu gaz (CO_2+SF_6) kullanılmıştır.



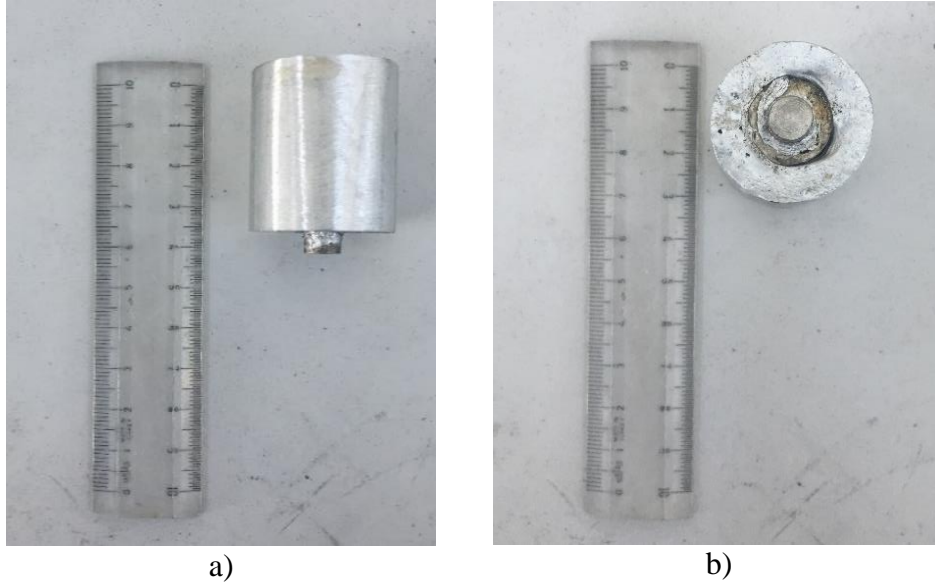
Şekil 3.3. Ergitme ünitesi a) Ergitme ocağı, b) Döküm potası.

Döküm işleminde, öncelikle Grafit pota içerisine Alüminyum 7075 alaşımı külçe olarak yüklenmiştir ve sızdırmazlık sağlayan kapak sıkıca kapatıldıktan sonra oksitlenmeyi engellemek amacıyla koruyucu gaz (CO_2+SF_6) akışı sağlanmıştır. Fırın $700\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye ulaştıktan sonra tam erimenin gerçekleştiğinden emin olmak için 30 dakika bu sıcaklıkta bekletilmiştir. Ardından karıştırma işlemi yapıp, cüruf toplandıktan sonra Şekil 3.4.'te görülen kalıba topuk yardımıyla yerleştirilen katı halde 16 mm çapında ve 35 mm boyunda magnezyum alaşımı bileşenleri ile kalıp arasındaki

boşluğu sıvı Al7075 alaşımı ile doldurmak suretiyle yerçekimi kuvvetinden yararlanılarak döküm gerçekleştirilmiştir. Döküm sonrası Al7075/Mg alaşımı bimetal kompozitlerin boydan ve önden görünümü Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Kokil döküm kalıbı.



Şekil 3.5. Al/Mg alaşımı bimetal kompozitin döküm halinde a) Boydan görünümü ve b) Önden görünümü.

3.1.3. Al7075/Mg Alaşımı Bimetal Kompozitin Ekstrüzyon İşlemi

Bimetal kompozitlerin ekstrüzyonu, Şekil 3.6'te gösterilen hidrolik pres yardımıyla yapılmıştır. Ekstrüzyon kalıpları kelepçe rezistanslar ile ısıtılmakta olup, prese

bağlantılı ünite ile sıcaklık kontrolü sağlanmaktadır. Her bir alaşımın ekstrüzyon işlemi 350 ° C'de yapılmıştır. Ekstrüzyon öncesinde öncelikle biyet, kalıp içi ve zımba Şekil 3.7' da gösterilen ısıya dayanıklı Molykote marka MoS2 bazlı spreyci yağlayıcı ile yağlanmıştır. Daha sonra kalıp, ekstrüzyon sıcaklığına ayarlanmış ve biyetler de başka bir fırında yine ekstrüzyon sıcaklığına kadar önceden ısıtılmıştır. Biyet fırından kalıp içerisine alındıktan sonra taşıma sırasında oluşan sıcaklık kaybını gidermesi için 15 dakika daha burada bekletilmiştir. Kalıp ve biyetin istenilen ekstrüzyon sıcaklığına geldiğinden emin olmak için kızılötesi lazer termometre ile sıcaklıkları ekstrüzyon öncesinde belli aralıklarda ölçülmüştür. İstenilen ekstrüzyon sıcaklığına ulaştıktan sonra, prese bağlı olan zımba 0,3 mm/s hızında aşağı yönde hareket ettirilmiş ve 90° açığa sahip kalıp içerisinde bulunan 32 mm çapa ve 30 mm boya sahip silindirik biyete baskı uygulayarak Şekil 3.8' de gösterilen 18 mm çapa sahip silindirik ekstrüzyon numuneleri elde edilmiştir. Ekstrüzyon oranı (EO) aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$EO = \frac{A_0}{A_s} \quad (3.1)$$

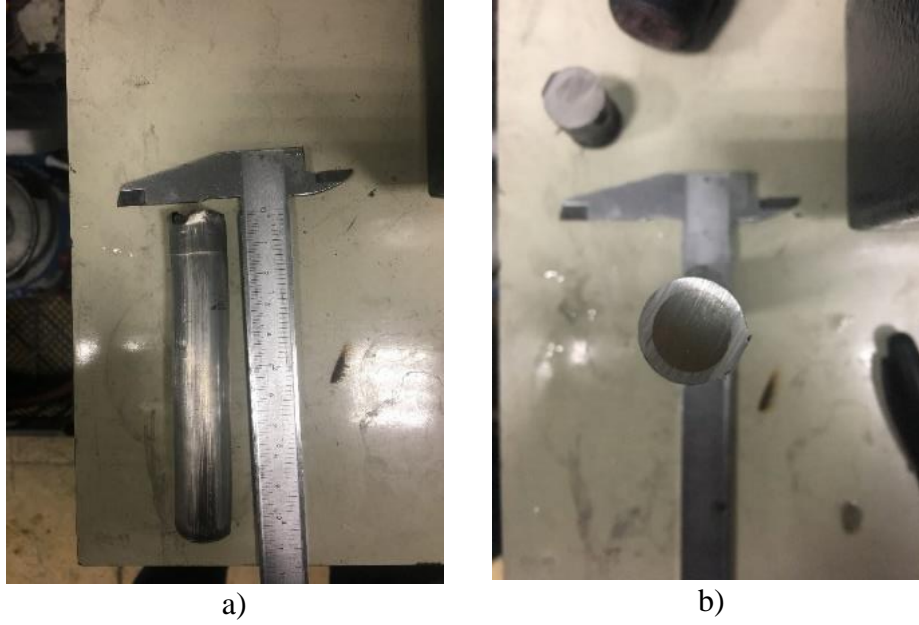
burada A_0 biyetin kesit alanı, A_s ekstrüzyon sonrası elde edilen numunenin kesit alanıdır. Bu çalışmada yapılan bütün ekstrüzyon işlemlerinde biyet çapı 32 mm ve ekstrüzyon çıkış çapı 18 mm kullanıldığından Eşitlik 3.1' e göre yaklaşık 3:1 ekstrüzyon oranında ekstrüzyon gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.6. Ekstrüzyon düzeneğinin görüntüsü.



Şekil 3.7. Ekstrüzyon işleminde kullanılan MoS₂ bazlı spreyl yağlayıcı.



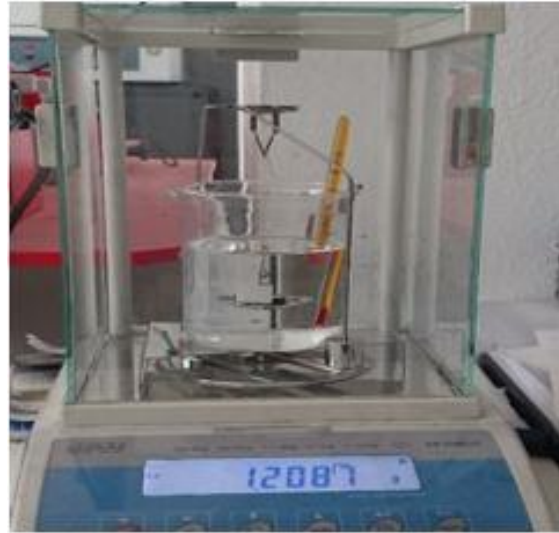
Şekil 3.8. Al7075/Mg alaşımı bimetall kompozit malzemenin ekstrüzyon sonrası görünümü.

3.2. Al7075/Mg ALAŞIMI BİMETAL KOMPOZİTLERİN KARAKTERİZASYONU

Üretilen bimetal kompozitler ekstrüzyon sonrası yoğunluk ölçümü, XRD analizi, mikroyapı (optik mikroskop, SEM, EDS) incelemeleri, sertlik ölçümü, basma testleri, push-out testleri, korozyon testleri ve aşınma testleri ile karakterize edilmiştir.

3.2.1. Yoğunluk Ölçümü

Üretimi gerçekleştirilen Al7075/Mg alaşımı bimetal kompozitlerin öz kütlelerini ölçmek için Arşimet terazisi yöntemi kullanılmıştır. Yoğunluğu bilinen saf su içerisine 1:1 oranında 18 mm çapında ve 18 mm boyunda silindir şeklinde işlenilen numuneler sırayla suyun içine daldırılmıştır. Numunelerin havadaki ağırlığı ile, saf suyun içerisindeki ağırlığı farkından yararlanılarak, hacim ölçümüne gerek duymadan yoğunluk tayini gerçekleştirilmiştir. Yoğunluk ölçümü esnasında tartma işlemi 0,0001 gr hassasiyete sahip terazi kullanılmıştır. Her bir numune için 3 defa yoğunluk ölçümü testi yapılmış ve bulunan sonuçların ortalaması alınmıştır.



Şekil 3.9. Yoğunluk ölçüm düzeneği.

3.2.2. Mikroyapı Karakterizasyonu

Üretilen bimetal kompozitlerin mikroyapı görüntüleri optik mikroskop ve SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ile, bileşenler arasında oluşan fazların tayini XRD (X-Işınları Kırınımı) yöntemi ile yapılmıştır.

3.2.2.1. XRD Analizi

Döküm sonrası incelenen numunelerin XRD profilleri Rigaku Ultima IV marka cihaz ile 10°-90° tarama açısı aralığında ve 3 °/dakika tarama hızında Al7075/Mg alaşımı bileşenlerinin arayüzey sınırında elde edilmiştir. XRD profillerindeki pikler standart kartlar ile karşılaştırılarak bimetal kompozit yapıda bulunan bileşen fazlar belirlenmiştir.

3.2.2.2. Metalografik İncelemeler

Üretilen bimetal kompozitlerin mikroyapı görüntüleri Nikon marka optik mikroskop ve EDS (enerji dağılımlı spektroskopi) donanımlı Carl Zeiss Ultra Plus Gemini marka SEM cihazı ile alınmıştır. İncelenen numunelerden görüntü alma öncesi hem önden hem de boyuna kesitten görüntü alabilmek için uygun ebatlarda kesilip, epoksi reçine ve sertleştirici karışımı ile silindirik biçimde soğuk kalıba alınmıştır. Daha sonra Mikrotest marka zımparalama ve parlatma cihazında standart metalografik prosedür uygulanarak yüzeyler dağlama için uygun hale getirilmiştir. Dağlama işlemi için 6 gr pikrik asit, 5 ml asetik asit, 10 ml saf su ve 100 ml etil alkol karışımı ile 2,5 ml nitrik asit, 1,5 ml hidroklorik asit (HCl), 1 ml hidroflorik asit (HF) ve 95 ml saf su karışımı kullanılmıştır.

3.2.3. Mekanik Özelliklerin Karakterizasyonu

İncelenen bimetal kompozit malzemelerin oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri, sertlik ölçümü, basma testi ve push-out testleri ile tayin edilmiştir.

3.2.3.1. Sertlik Testi

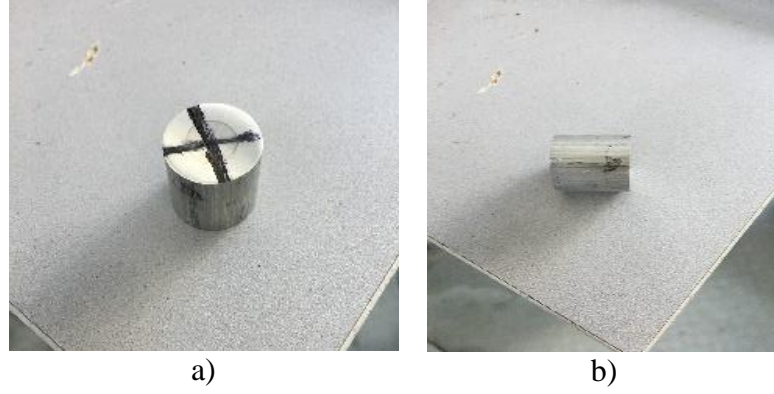
Metalografik olarak hazırlanan numunelerin sertlikleri Qness marka (Şekil 3.10) Vickers sertlik testi ile belirlenmiştir. Vickers sertlik deneyinde piramit şekilli batıcı uç 0,2 kg yük altında 15 saniye boyunca bekletilmiş ve oluşan izin köşegen uzunlukları ölçülerek sertlik değerleri belirlenmiştir.



Şekil 3.10. Sertlik ölçüm cihazı.

3.2.3.2. Basma Testi

Basma testi numuneleri için ölçüleri 1:1 oranında (18 mm çap ve 18 mm boy) olacak şekilde (Şekil 3.11) işlendikten sonra bimetal kompozit malzemelerin plastik akış özelliklerini ve sünek kırılma limitleri davranışlarını belirlemek amacıyla numunelere basma kuvveti uygulanmıştır. Bu testin uygulanması malzemenin işlenebilirliği hakkında fikir verirken numunelerin akma ve nihai dayanımları tespit edilmiştir. Bütün basma testleri Zwick/Roell Z600 çekme cihazında (Şekil 3.13), 0,5 mm/dk basma hızında ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.11. a) Basma öncesi dik görünüm b) Basma testi öncesi yan görünüm.

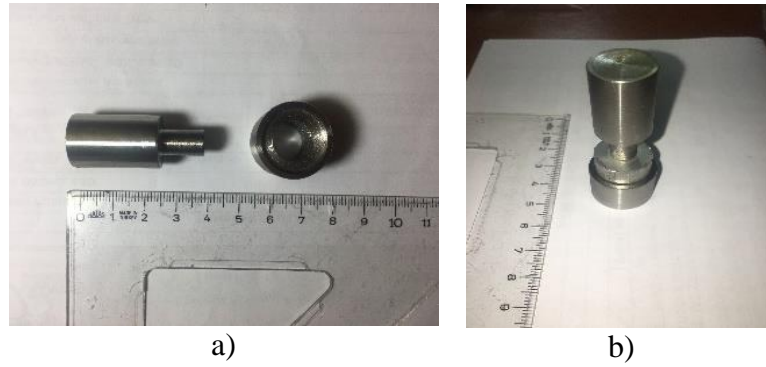


Şekil 3.12. Basma test cihazı.

3.2.3.3. Push-Out Testi

Bimetal kompozit malzemeyi oluşturan bileşenler arasında oluşan ara yüz bağlanması ve kompozit ara yüzünün yapışma mukavemetini belirlemek için incelenen malzemelere push-out testi uygulanmıştır. İçi boş bir kılavuz kalıba (Şekil 3.13 (a)), numunenin sıkıştırma yükünü kabuk malzeme taşıyacak şekilde bir kılavuz kalıba yerleştirilmiş akabinde bir zımba (Şekil 3.13 (b)) ile yukarıdan aşağı numuneye paralel yönde bir basma kuvveti uygulanıp altı boş olan çekirdek malzeme dışarı itilmiştir. Zımbanın yer değiştirmesiyle ara yüzde ölçülen, kesme kuvvetleri ile metallere arası bağlanma davranışı hakkında ilişki kurulmuştur.

Bimetal kompozit malzemenin ara yüzündeki birleşmenin mekanik kilitlenme mi yoksa ara yüzdeki intermetalik aracılığıyla metalurjik bağlarla mı oluştuğu araştırılmış ve yapışma mukavemeti incelenmiştir. İncelenen bimetal kompozitlerin push-out testleri Zwick/Roell Z600 çekme cihazında, 0,5 mm/dk basma hızında ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Push-out testi sonrasında her bir numunenin çekirdek malzemesinin yüzey görüntüleri SEM ile alınıp, bimetal kompozitin arayüzeyleri detaylı olarak incelenmiştir.



Şekil 3.13. a) Push-out testinde kullanılacak alt kılavuz ve zımba, b) Numunenin kılavuza yerleştirilmesi ve zımbanın konumu.

3.2.4. Korozyon Özelliklerinin Karakterizasyonu

Bimetal kompozit malzeme numunelerinin korozyon özelliklerinin karakterizasyonu tuzlu çözelti içinde geleneksel daldırma ve elektrokimyasal potansiyodinamik polarizasyon testleri ile yapılmıştır. Her iki korozyon testi için, numunelerin yüzeyleri 1200 numaralık zımparaya kadar zımparalanmış ve yüzeylerde kalıntı vb. gibi korozyon testini etkileyebilecek faktörler giderilmiştir.

3.2.4.1. Daldırma Testi

Daldırma testi numuneleri 18 mm çapa ve 10 mm boya sahip olacak şekilde silindirik olarak çıkarılmış ve yüzeyleri zımparalanıp ultrasonik cihaz içerisinde saf su ile temizlenmiştir. Numunelerin yüzey alanları hesaplanıp, daldırma öncesi ilk ağırlıkları 0,0001 gr hassasiyete sahip terazi ile ölçüldükten sonra cam kavanozlara eşit miktarda

konulan %3,5 NaCl çözeltisi içerisinde file yardımı ile asılı şekilde bırakılmıştır. Daldırılan numuneler 1, 2, 3, 5, 7, 9, 12 ve 24 saat aralıklarında çözülden çıkarılıp yüzeyleri temizlendikten sonra ağırlıkları ölçülüp kayıt edilmiştir. Her bir saat aralığında oluşan yüzeydeki korozyon ürünleri, 180 gr/L oranında saf su içerisinde hazırlanan kromik asit çözeltisi içerisinde numunelerin 10 dakika bekletilmesi ile temizlenmiştir. Numuneler daha sonra ultrasonik olarak alkol ile temizlenip tekrar %3,5 NaCl çözeltisi içerisine daldırılmıştır. Her bir saat için ağırlık kayıpları hesaplanıp toplamdaki ortalama korozyon hızları belirlenmiştir. 24 saat daldırma testi sonunda her bir numunenin korozyona uğramış yüzeylerinin makro görüntüleri alınıp, korozyon mekanizmaları incelenmiştir.

3.2.4.2. Potansiyodinamik Polarizasyon Testi

Potansiyodinamik polarizasyon testi için bakır tel ile sarıldıktan sonra incelenen numuneler ekstrüzyon yönüne dik olarak önden 254 mm² alan açıktaki kalacak şekilde epoksi reçine içine gömülmüştür. Potansiyodinamik polarizasyon testleri oda sıcaklığında, %3,5 NaCl çözeltisi içerisinde, bilgisayar kontrollü DC105 korozyon analizine sahip Gamry model PC4/300 mA potansiyostat/galvanostat ile yapılmıştır. Karşıt elektrot olarak grafit çubuk, referans elektrot olarak doymuş kalomel elektrot (SCE) ve çalışma elektrodu olarak numune yüzeyinin bulunduğu klasik üç elektrotlu hücre kullanılmıştır. Polarizasyon eğrileri, 1 mV.s-1 tarama hızında, -0,25 V (vs. açık devre potansiyeli, E_{oc}) +0,25 V (vs. E_{oc}) aralığında tarama ile oluşturulmuştur. Her bir parametre için 3 adet potansiyodinamik polarizasyon testi yapılmış ve bulunan sonuçların ortalaması alınmıştır. Korozyon testi sonunda her bir numunenin korozyona uğramış yüzeylerinin görüntüleri SEM ile alınıp, korozyon mekanizmaları detaylı olarak incelenmiştir.

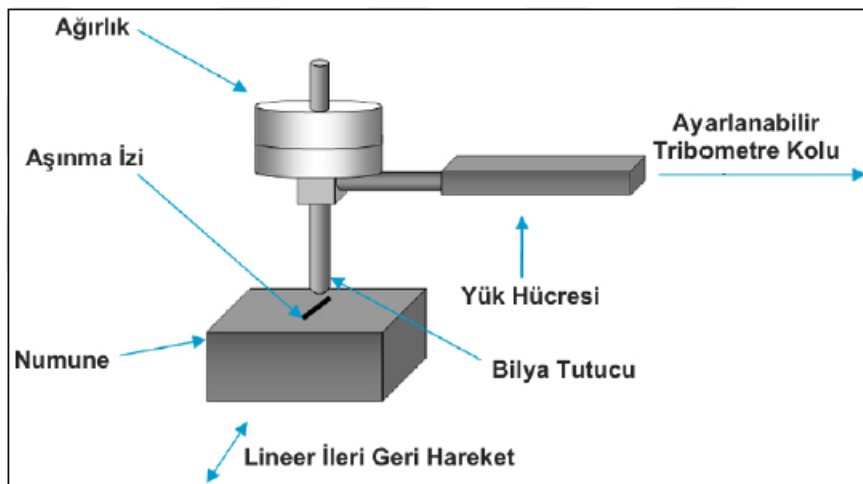
3.2.5. Aşınma Testi

İncelenen bimetal kompozitlerin aşınma testleri, Şekil 3.14' te şematik olarak gösterilen ileri-geri aşınma test cihazında sabit yük altında, sabit hızda ve sabit mesafede ölçülmüştür. Aşınma testi öncesi numuneler cihazdaki numune yatağına uygun gelecek şekilde kesilip yüzeyleri 1200 numaralık zımparaya kadar zımparalanıp

alkol ile temizlenmiştir. Aşınma testleri 20N yük altında, 0,1 m/s kayma hızında ve 50'şer metre aralıklarla toplamda 150 m kayma mesafesinde gerçekleştirilmiştir. Her bir kayma mesafesi bitiminde 0,1 gr hassasiyetine sahip dijital hassas terazide ağırlıkları ölçülmüştür. Aşınma sırasında sürtünme kuvveti, tribometre koluna bağlı olan yük hücresi ile ölçülüp anlık olarak bilgisayara kaydedilmiştir. Karşı malzeme, batıcı uç malzemesi olarak AISI 52100 kalite (100Cr6) yüksek sertlikte 6 mm çapa sahip çelik bilya kullanılmıştır. Test sonrası aşınma derinlikleri Mitutoyo SJ-410 marka yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazı ile ISO 1997 standardına uygun olarak 2 µm standart prob ile ölçülüp, her bir numunenin aşınma hacim kayıpları aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$V_w(mm^3) = \frac{2ab}{3}c \quad (3.2)$$

burada, V_w aşınma hacim kaybı, c , iz uzunluğu, a , iz genişliği ve b , iz derinliğidir. Buradan hesaplanan hacim kayıplarının toplam mesafeye oranından ise aşınma hızları hesaplanmıştır. Aşınan yüzeyler hem makro görüntüleri ile hemde SEM ile detaylı olarak incelenip aşınma mekanizmaları belirlenmiştir. Her bir numuneden 3 adet aşınma testi yapılmış ve bulunan sonuçların ortalaması alınmıştır.



Şekil 3.14. İleri-geri aşınma testi cihazının şematik gösterimi.

BÖLÜM 4

DENEYSEL SONUÇLAR

4.1. BIMETAL KOMPOZİTLERİN DENEYSEL YOĞUNLUKLARI

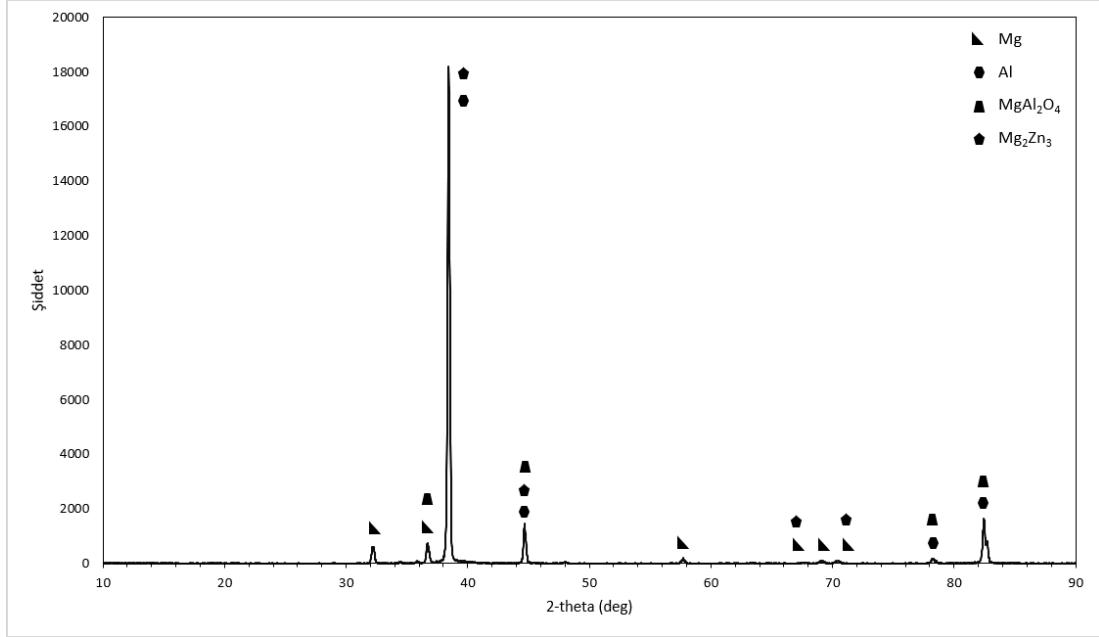
Çizelge 4.1’de üretilen Al7075/Mg alaşımı bimetal kompozitlerin yoğunluk değerleri verilmiştir. İncelenen bimetal kompozitlerde en düşük yoğunluğa sahip olanlar yaklaşık olarak 2,5000 gr/cm³ değeri ile Al7075/AZ91, Al7075/ZK61 ve Al7075/AS21 bimetal kompozitlerdir. İncelenen Al7075/Mg2Zn bimetal kompozit ise 2,5748 gr/cm³ değeri ile en yüksek yoğunluğu sergilemektedir.

Çizelge 4.1. Üretilen Mg/Al bimetal kompozitlerin yoğunluk sonuçları.

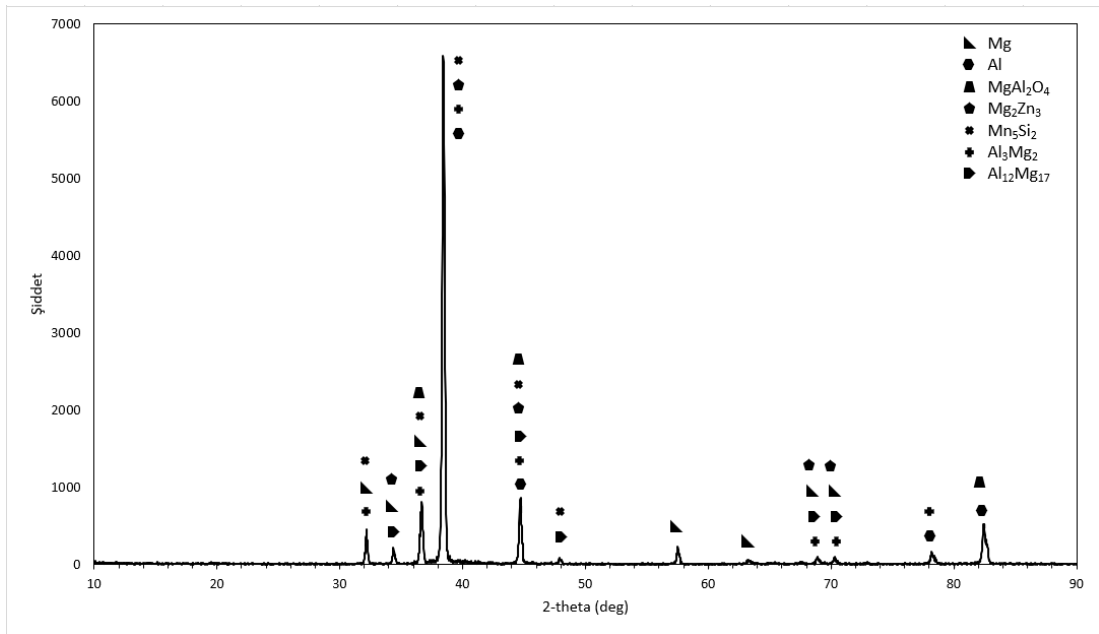
Bimetal Kompozitler	Yoğunluk (gr/cm ³)
Al7075/AZ91	2,4991
Al7075/ZA62	2,5524
Al7075/ZK60	2,5456
Al7075/ZK61	2,505
Al7075/AS21	2,5008
Al7075/Mg2Zn	2,5748

4.2. XRD SONUÇLARI

Şekil 4.1. – 4.6. incelenen bimetal kompozit malzemelerin bileşenlerinin sınır arayüzey bölgesi üzerinde gerçekleştirilen XRD sonuçları gösterilmektedir.

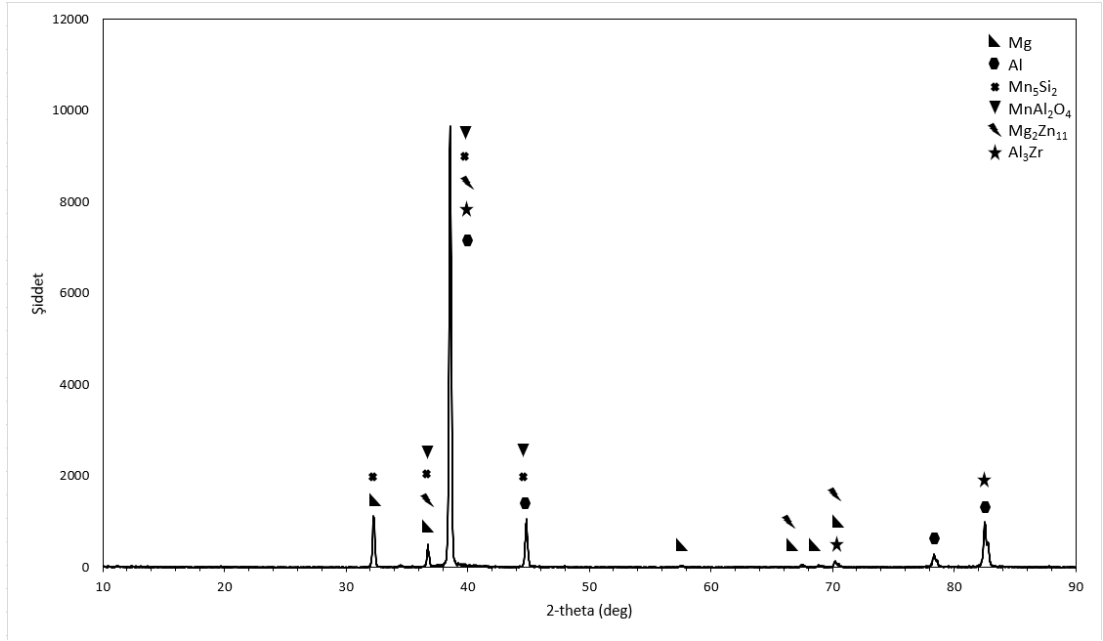


Şekil 4.1. Al7075/AZ91 bimetal kompozitin XRD analizi.

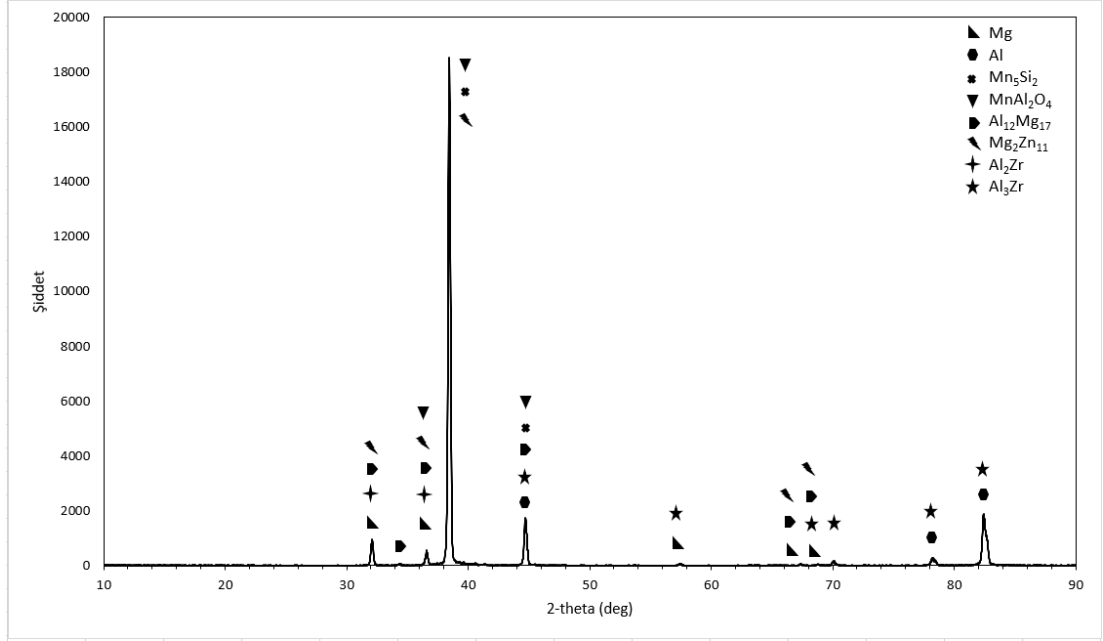


Şekil 4.2. Al7075/ZA62 bimetal kompozitin XRD analizi.

İncelenen bimetal kompozitler arasında temel alaşım olarak Al ve Zn elementlerinin yer aldığı AZ91 ve ZA62 alaşımları (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2), arayüzeyde daha az oranda intermetalik oluşumuna yol açmıştır. Benzer davranış Al7075/Mg2Zn bimetal kompozitinde gözlenmiştir. Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’ te verilen bimetal kompozitlerde Zr ve Si elementlerinin yer alması, oluşan intermetalik miktarını arttırmıştır. Intermetaliklerin içeriğinde yer alan Si, hem Al7075 hem de Mg alaşım bileşenlerinden meydana gelmiştir.

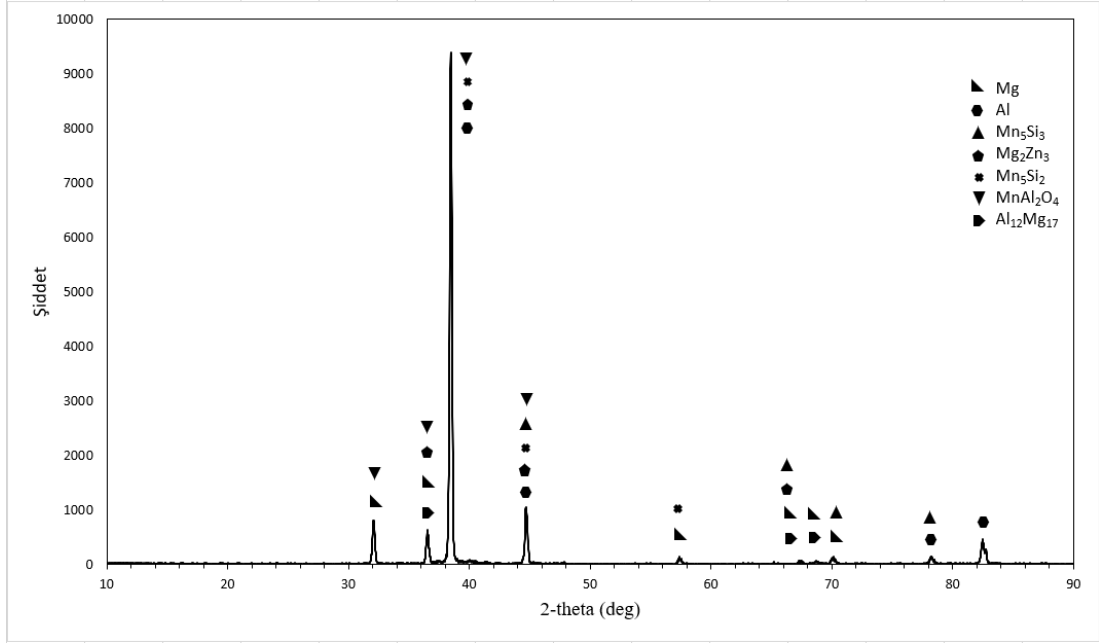


Şekil 4.3. Al7075/ZK60 bimetal kompozitin XRD analizi.

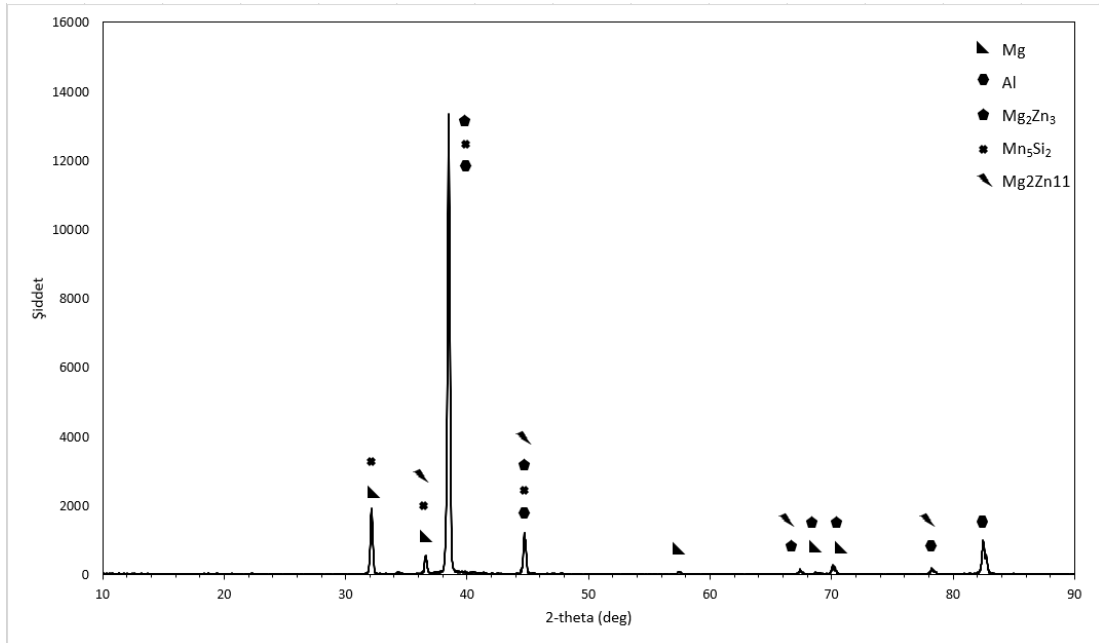


Şekil 4.4. Al7075/ZK61 bimetal kompozitin XRD analizi.

Bimetal kompoziti oluşturan bileşenlerin arayüz sınırında gerçekleştirilen XRD analizi, arayüzeyde $MgAl_2O_4$ ve $MnAl_2O_4$ kimyasal bileşiminde oksit oluşumunu ortaya koymuştur. $MgAl_2O_4$ oksiti (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2), bimetal kompozit üretimi sırasında Al içeren Mg alaşım bileşen kullanılması halinde meydana gelirken, $MnAl_2O_4$ oksiti (Şekil 4.3 ve 4.4) ise incelenen bimetal kompozitin Mg alaşım bileşeninden Al içermemesi durumunda meydana gelmiştir.



Şekil 4.5. Al7075/AS21 bimetal kompozitin XRD analizi.



Şekil 4.6. Al7075/Mg2Zn bimetal kompozitin XRD analizi.

4.3. MİKROYAPI SONUÇLARI

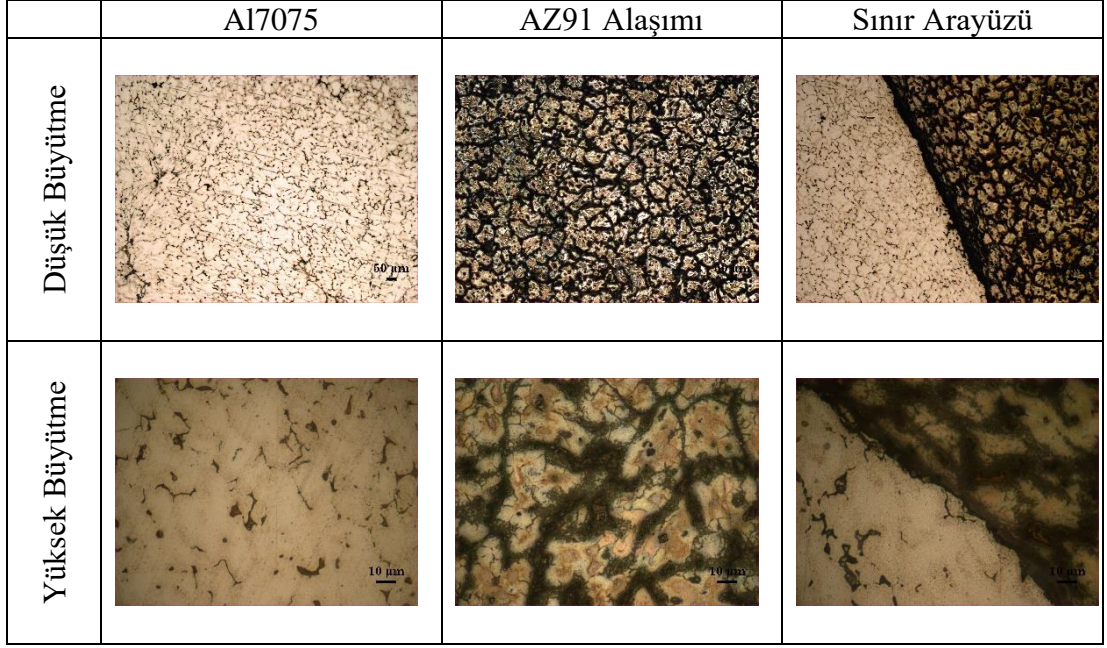
4.3.1. Optik Mikroyapı Görüntüleri

Şekil 4.7-4.12' de Al7075/Mg alaşım bimetel kompozit malzemelerin; Al7075 bileşeni üzerinden, Mg alaşımı bileşiği üzerinden ve arayüz sınır bölgesinden optik mikroskop görüntüleri gösterilmektedir.

Mikroyapılarda görülen siyah fazlar XRD paternlerinde çıkan intermetaliklere ait olduğu düşünülmektedir.

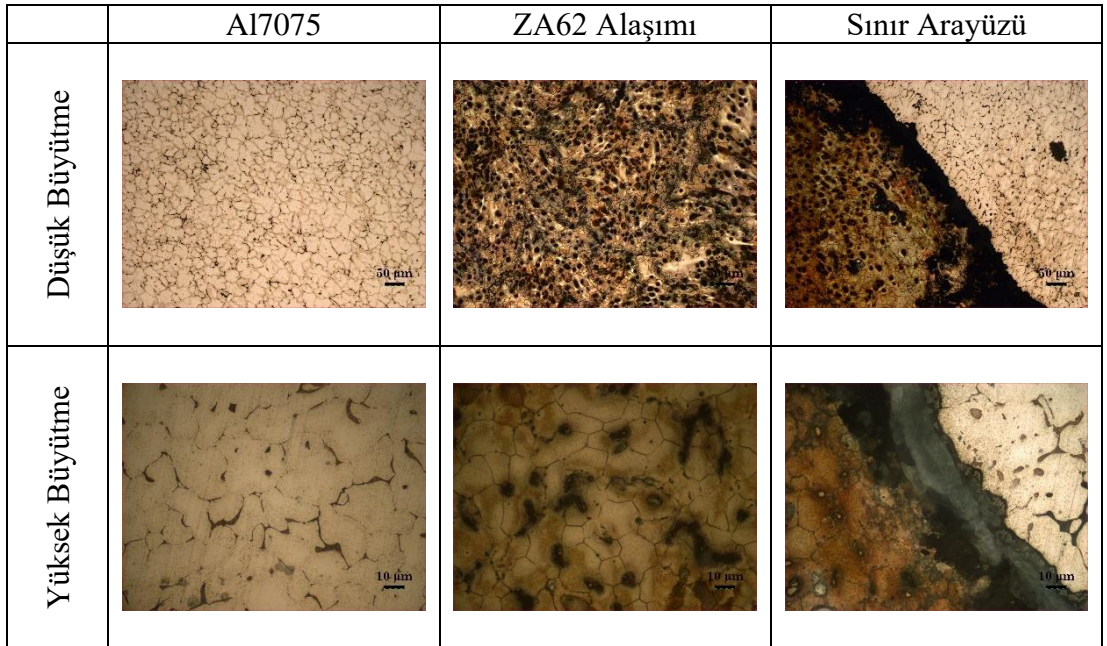
Zengin'e göre, Mg alaşımları faz morfolojileri, primer kaba α -Mg taneleri ve birbirinden ayrı halde bulunan küresel şekilde intermetalik fazlardan meydana gelmektedir [93]. Buna benzer olarak bu çalışmada oda sıcaklığında soğutulan bimetel kompozit malzemelerin Mg alaşımı bileşimindeki yapıda matris α -Mg fazı ile birlikte ikili intermetalik bileşikler meydana geldiği görülmektedir.

Şekil 4.7' de verilen Al7075/AZ91 bimetel kompozitte bileşenin AZ91 kalite magnezyum alaşımı bileşeni incelendiğinde matrisinde α -Mg ve ötektik fazlardan meydana geldiği görülmektedir. Bimetel kompozit malzemenin bileşenlerinin arayüz sınırını oluşturan yapısındaki kaba ötektik fazlar, tane sınırı boyunca dağıtılmıştır [94].



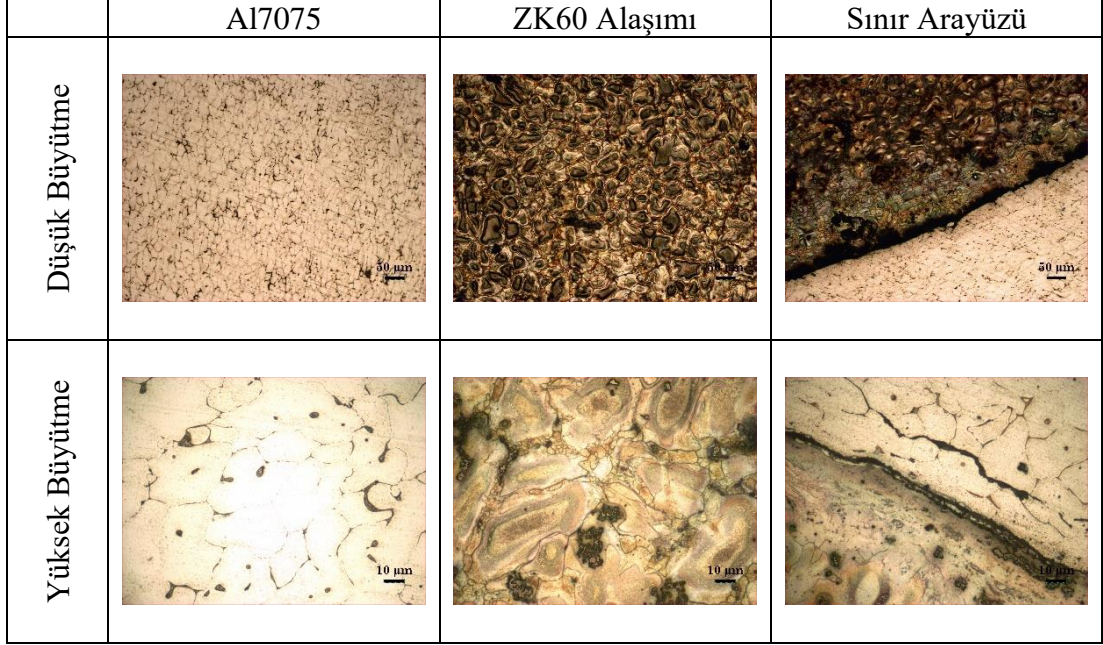
Şekil 4.7. Al7075/AZ91 bimetel kompozitlerin dağlanmış optik mikroyapı görüntüleri.

Al7075/ZA62 bimetel kompozitin arayüz bölgesinden alınan XRD analizine bakıldığında α -Mg, ötektik ve ikili fazlarının meydana gelmiş olduğu görülmektedir. Ötektik ve ikili fazların çoğu kompozitin Mg alaşım bileşenin tane sınırında bulunurken tane iç kısmında az miktarda MgZn fazının bulunması beklenmektedir [95].



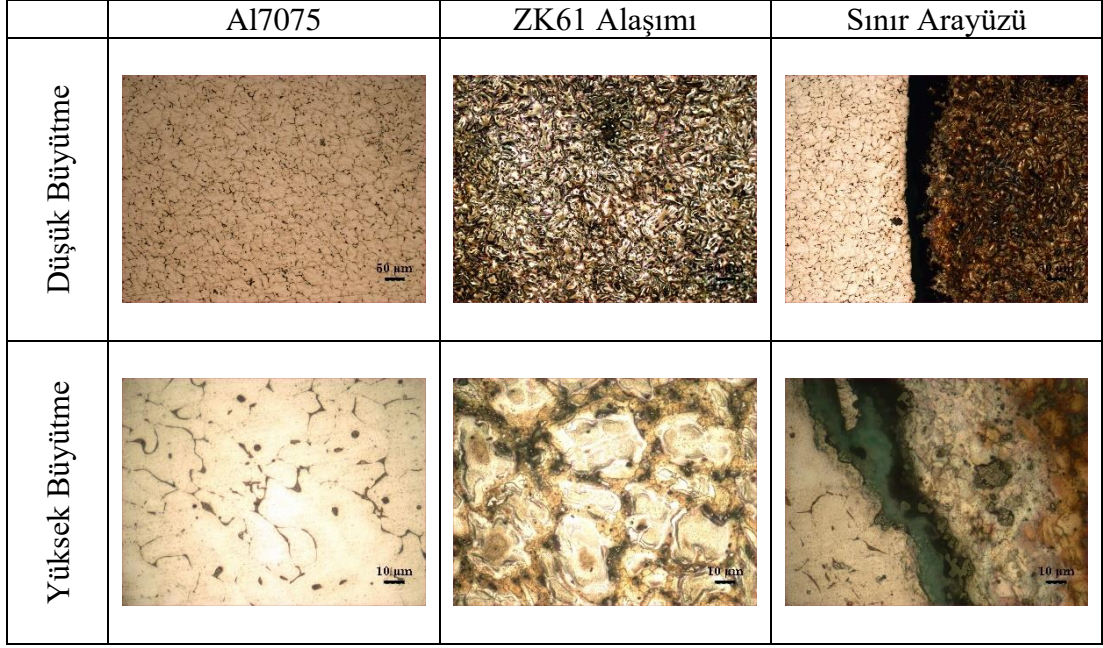
Şekil 4.8. Al7075/ZA62 bimetel kompozitlerin dağlanmış optik mikroyapı görüntüleri.

Bu çalışmada incelenen Al7075/ZK60 alaşımı bimetal kompozitin ZK60 Magnezyum bileşiminin alaşımı mikro yapısal karakterizasyonu tane sınırları boyunca üçlü noktalarda plaka şekilli veya ada şekilli olarak süreksiz dağılmış intermetalikler belirlenmektedir [96].



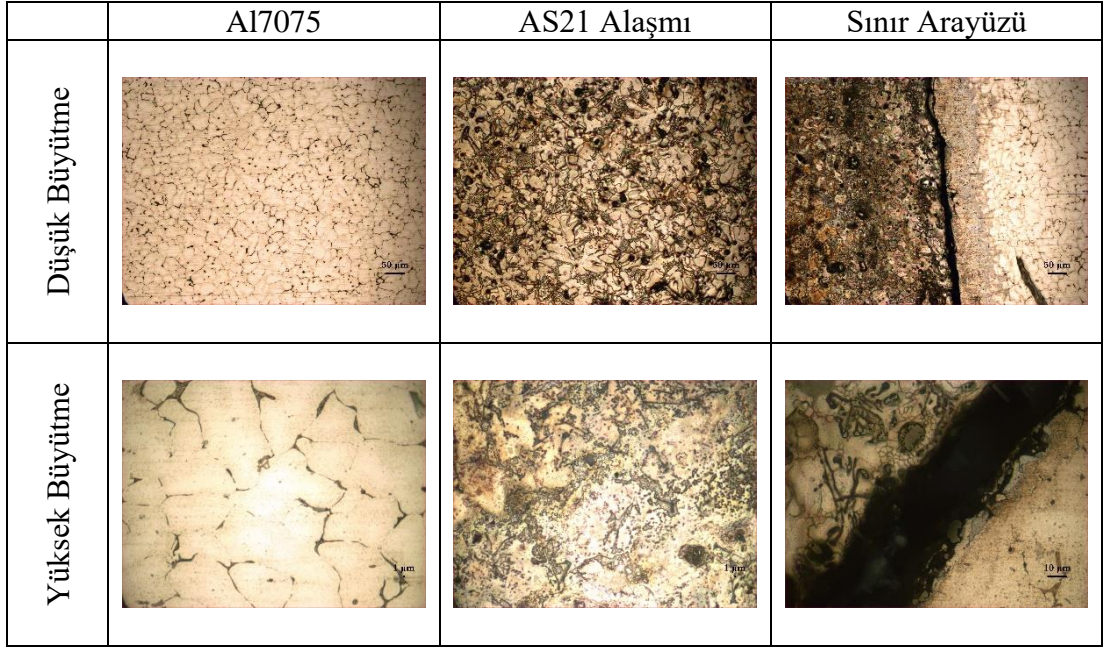
Şekil 4.9. Al7075/ZK60 bimetal kompozitlerin dağılmış optik mikroyapı görüntüleri.

Şekil 4.10'da gözlendiği gibi AL7075/ZK61 alaşımı bimetal kompozitlerin ZK61 alaşım bileşeninin mikroyapısı, ZK60 alaşım bileşeninin mikroyapısına benzer olup ZK61 alaşım bileşeninin yapısında Al-Zr ikili intermetalik oluşumu gözlenmiştir, (Şekil 4.4).

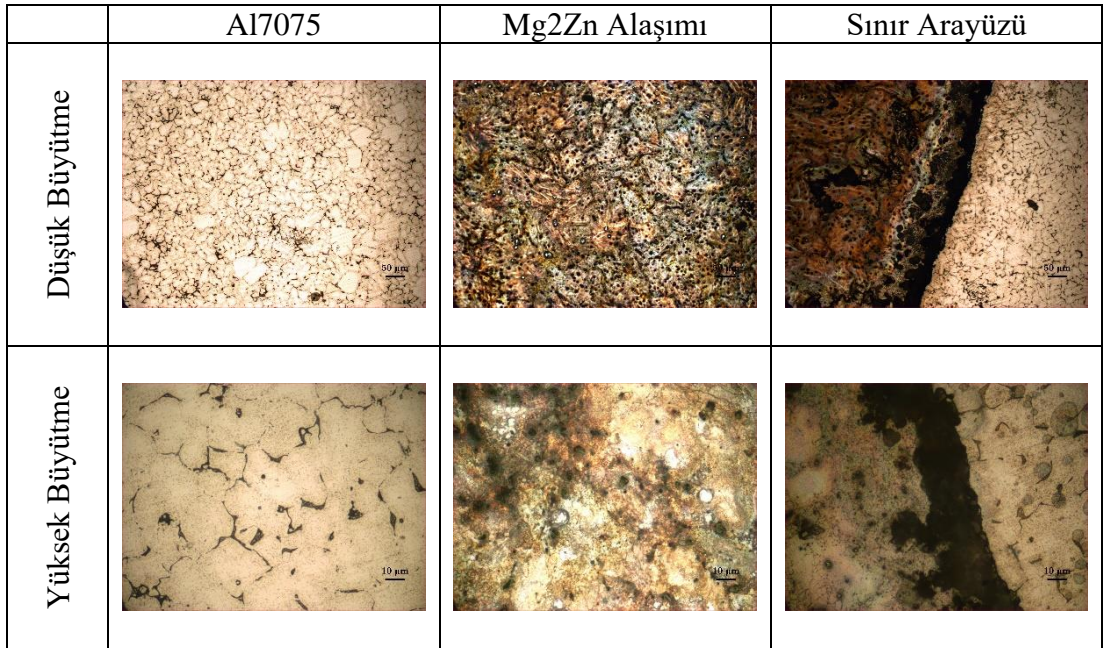


Şekil 4.10. Al7075/ZK61 bimetel kompozitlerin dağlanmış optik mikroyapı görüntüleri.

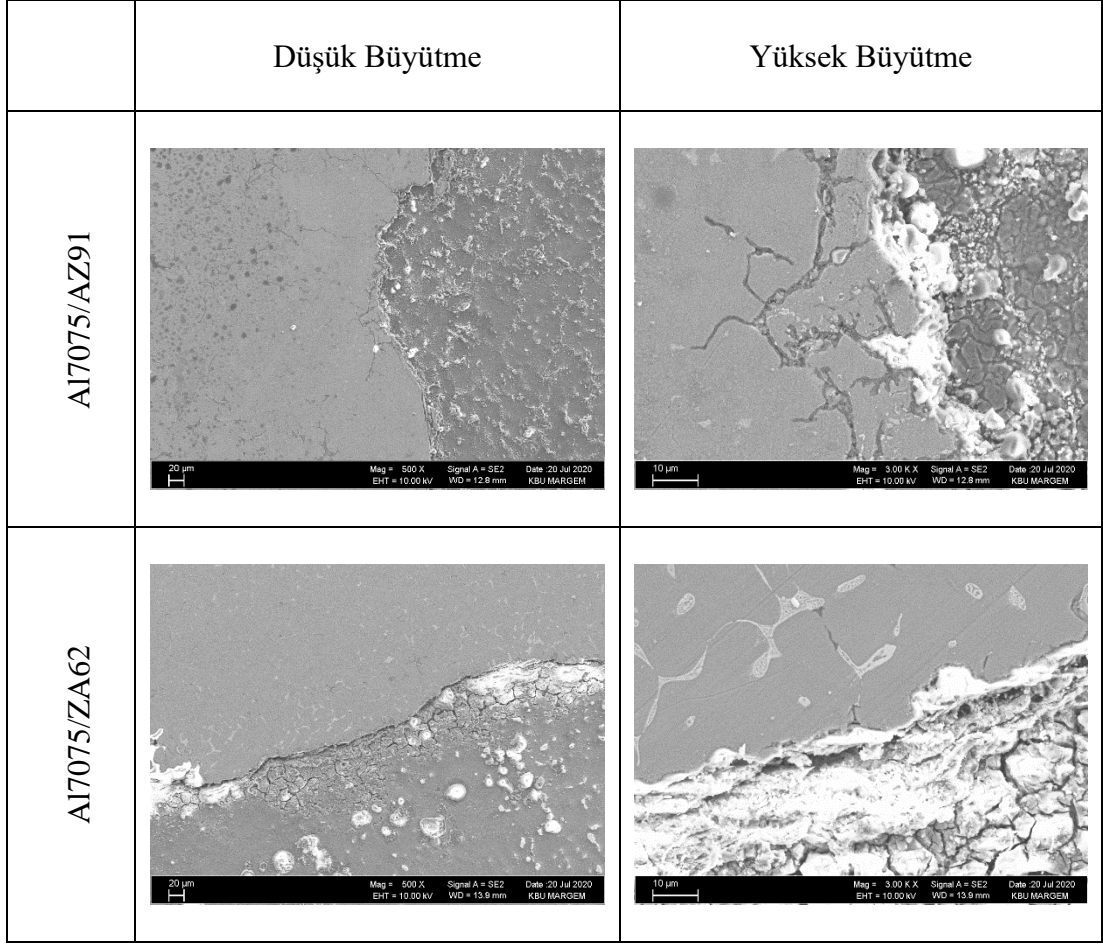
Al7075/AS21 alaşımı bimetel kompozitin arayüzey XRD analiz sonucuna uygun olarak Şekil 4.11, α -Mg matrisi içerisinde $Mg_{17}Al_{12}$, Mg-Zn ve Mn-Si esaslı intermetaliklerin oluşumu görülmektedir [97]. Mn-Si ve Mg-Zn fazlarının oluşumuna, Al7075 bileşeni katkı sağladığı düşünülmektedir [98]. Şekil 4.12' de verilen Al7075/Mg₂Zn alaşım bimetel kompozitin Mg alaşımı bileşeninin mikroyapısı, Mg fazı ve Zn-Mg₂Zn₁₁ ötektik yapısı içermekte olup arayüz sınır bölgesinde Al7075 alaşım bileşeninden dolayı Mn-Si fazları gözlenmektedir.



Şekil 4.11. Al7075/AS21 bimetel kompozitlerin dağlanmış optik mikroyapı görüntüleri.

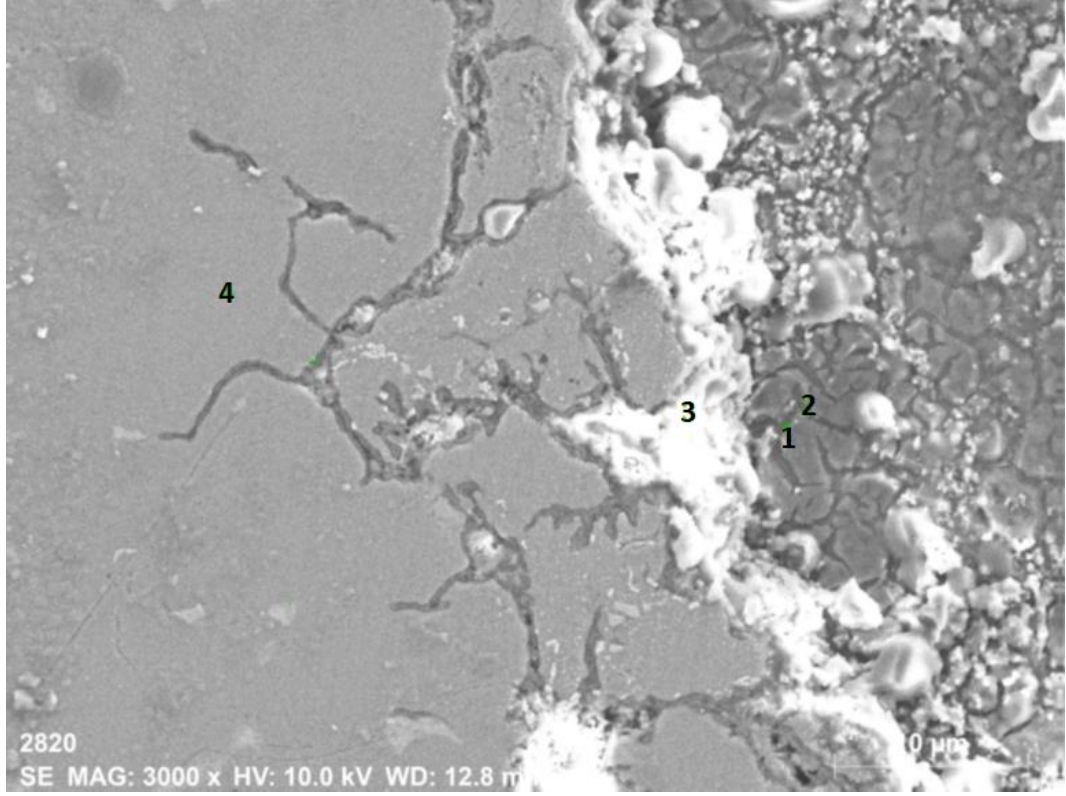


Şekil 4.12. Al7075/Mg2Zn bimetel kompozitlerin dağlanmış optik mikroyapı görüntüleri.



Şekil 4.13. Al7075/AZ91 ve Al7075/ZA62 bimetal kompozitlerin SEM görüntüleri.

Şekil 4.13’de verilen Al7075/AZ91 ve Al7075/ZA62 bimetal kompozitlerin SEM görüntülerine bakıldığında arayüz bölgesindeki sınır çizgisinin girintili-çıkıntılı yani lineer olmayan bir şekilde ilerlediği görülmektedir.

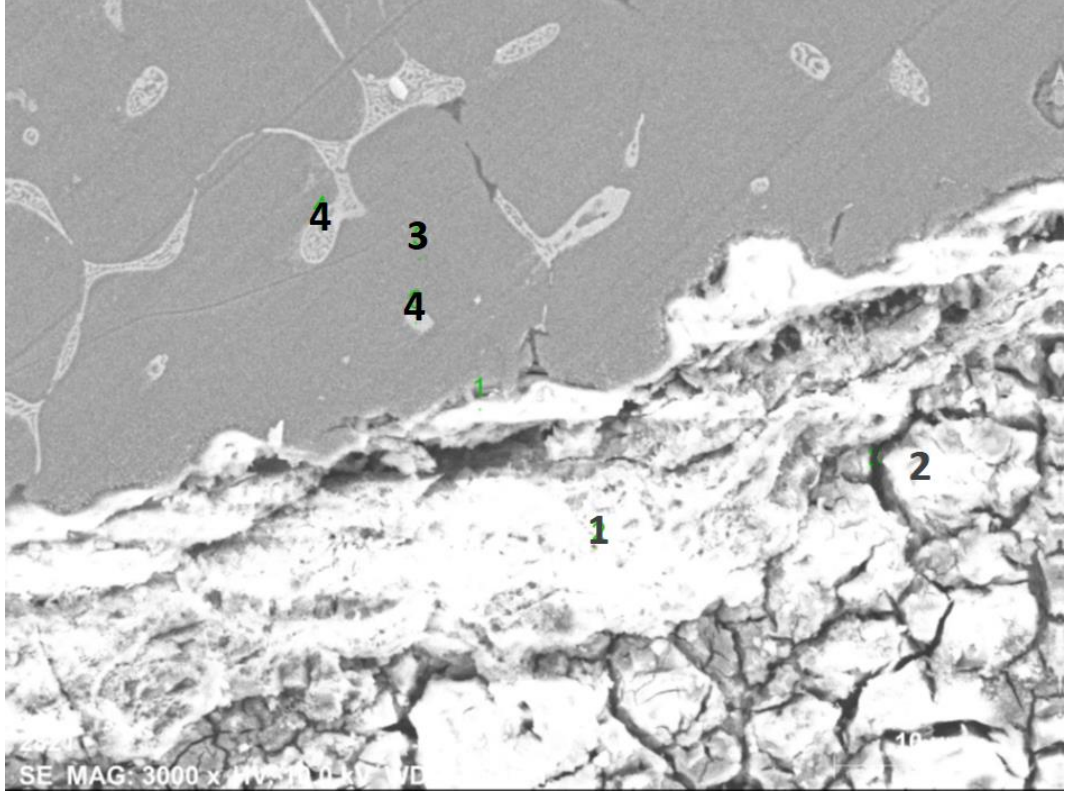


Şekil 4.14. Al7075/AZ91 bimetal kompozit malzemenin SEM görüntüsü.

Çizelge 4.2. Al7075/AZ91 bimetal kompozit malzemenin EDS analiz sonuçları.

Spektrum	Element (ağ.%)			
	O	Mg	Al	Zn
1 ve 2	41,19	44,59	9,01	5,21
3	45,62	12,29	31,15	10,94
4	3,43	4,87	85,00	6,70

Şekil 4.14'te verilen Al7075/AZ91 bimetal kompozit malzemenin SEM görüntüsü üzerindeki noktalardan alınan EDS analiz sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiş olup, 1 ve 2 numaralı noktaların Mg_2Zn_3 , 3 numaralı noktanın $MgAl_2O_4$ intermetalığı ve 4 numaralı noktanın α -Al olduğunu göstermektedir.

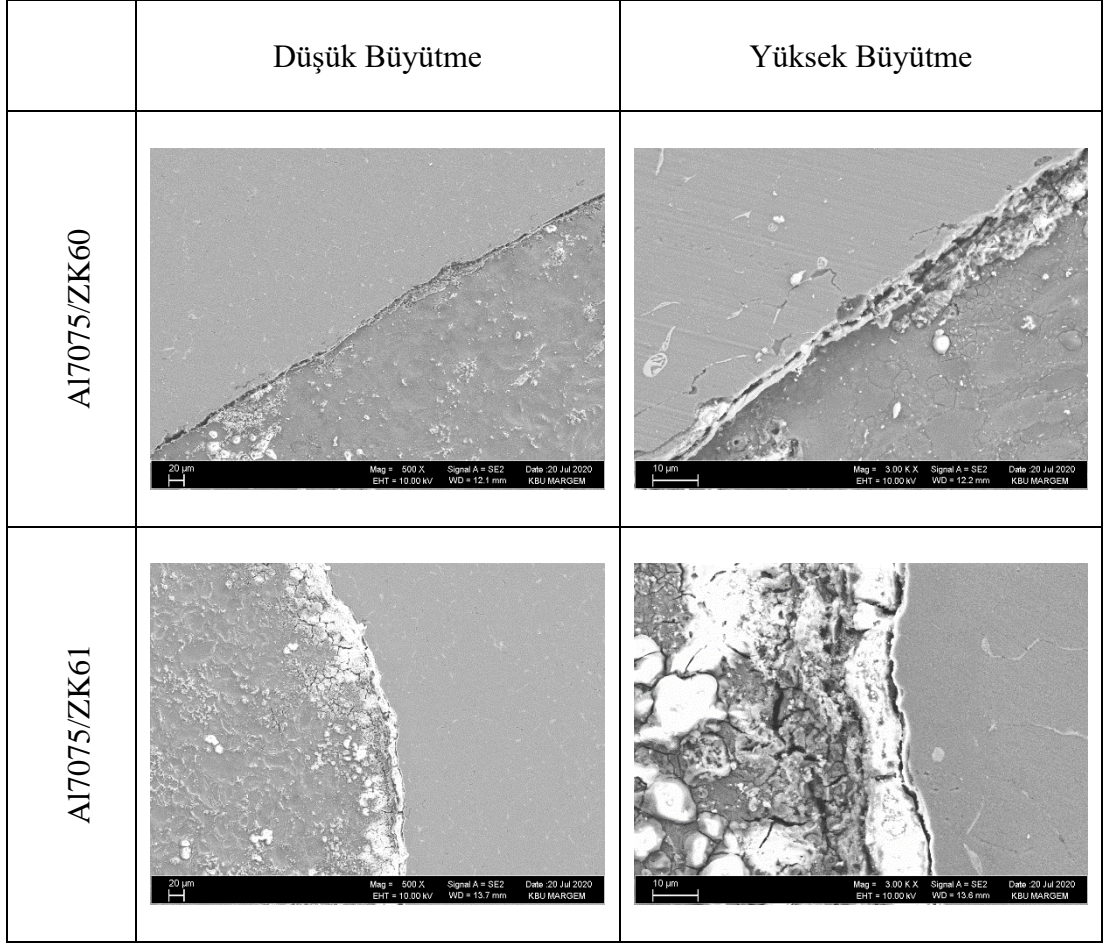


Şekil 4.15. Al7075/ZA62 bimetal kompozit malzemenin SEM görüntüsü.

Çizelge 4.3. Al7075/ZA62 bimetal kompozit malzemenin EDS analiz sonuçları.

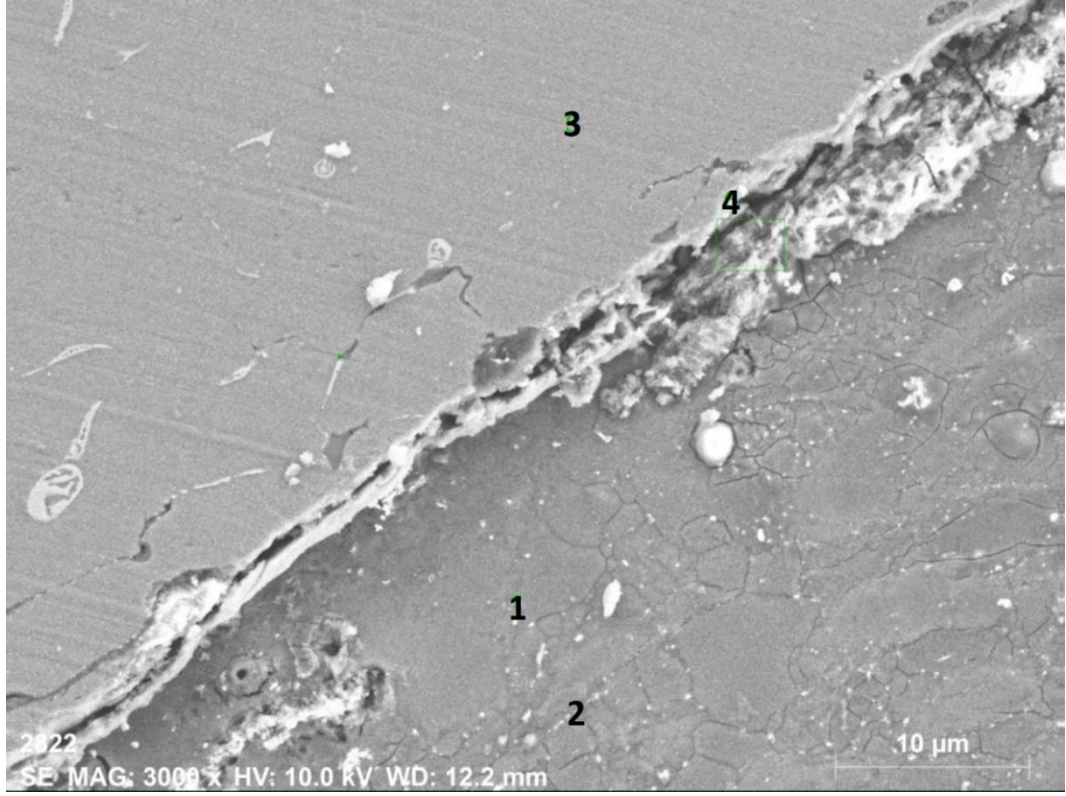
Spektrum	Element (ağ.%)					
	O	Mg	Al	Si	Mn	Zn
1	57.83	4.14	34.46	1.21	0.08	2.29
2	5.79	84.23	0.00	4.88	0.27	4.83
3	5.17	2.61	85.62	0.42	0.14	6.04
4	6,75	20.17	31,44	0.85	0.00	40,79

Şekil 4.15'te verilen Al7075/ZA62 bimetal kompozit malzemenin SEM görüntüsü üzerindeki noktalardan alınan EDS analiz sonuçları Çizelge 4.3'te verilmiş olup, XRD sonuçlarına göre 1 numaralı noktanın $MgAl_2O_4$ oksit intermetalığı, 2 numaralı bölgenin α -Mg, 3 numaralı bölgenin α -Al, ve 4 numaralı noktanın Mg_2Zn_3 intermetalığı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.16. Al7075/ZK60 ve Al7075/ZK61 bimetal kompozitlerin SEM görüntüleri.

Şekil 4.16'da verilen Al7075/ZK60 ve Al7075/ZK61 bimetal kompozitlerin SEM görüntüleri incelendiğinde arayüz bölgesindeki sınırın çizgisel düz bir hat boyunca ilerlediği gözlenmiştir. Al7075/ZK61 bimetal kompozitin ZK61 bileşiminin yapısı ise ZK60'a benzer olmakla birlikte ZK61 alaşımının yapısında Al-Zr ikili intermetalikler olduğu gözlenmektedir.

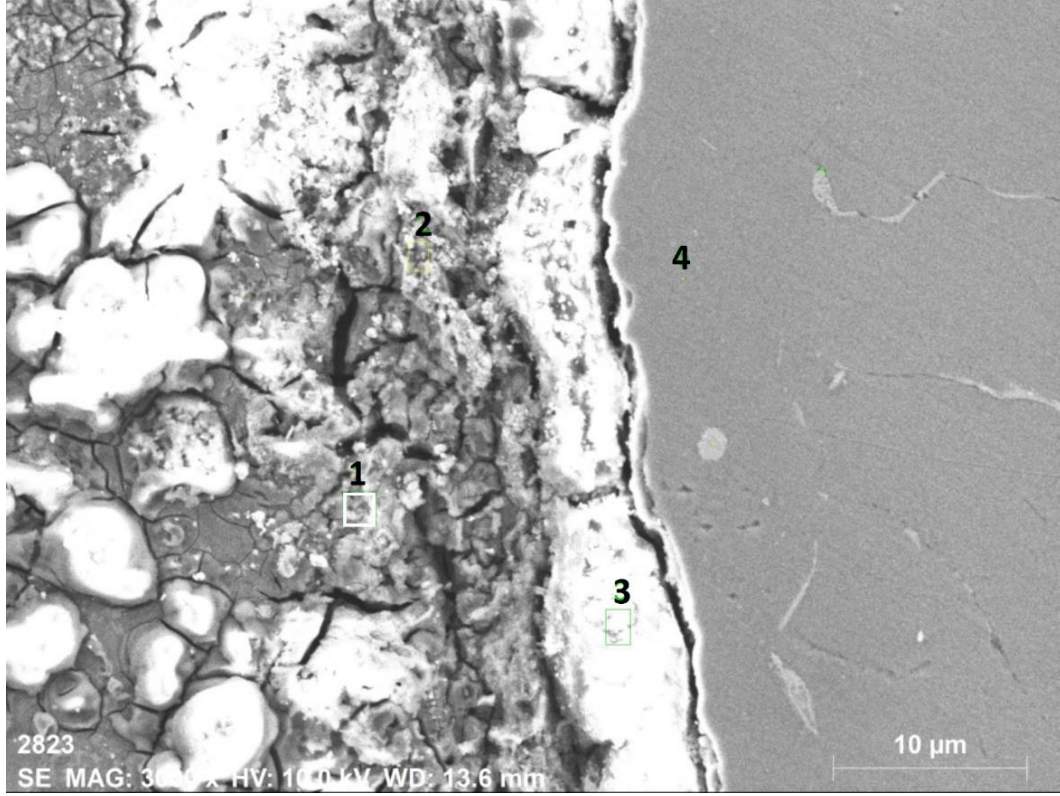


Şekil 4.17. Al7075/ZK60 bimetal kompozit malzemenin SEM görüntüsü.

Çizelge 4.4. Al7075/ZK60 bimetal kompozit malzemenin EDS analiz sonuçları.

Spektrum	Element (ağ. %)						
	O	Mg	Al	Si	Mn	Zn	Zr
1	19.02	70.60	0.71	0.00	0.00	9.68	0.00
2	8.18	36.55	13.49	0.47	0.00	41.13	0.18
3	2.72	2.91	85.88	0.15	0.38	7.96	0.00
4	40.46	46.97	7.85	0.00	1.75	2.30	0.67

Şekil 4.17’de verilen Al7075/ZK60 bimetal kompozit malzemenin SEM görüntüsü üzerindeki noktalardan alınan EDS analiz sonuçları Çizelge 4.4’te verilmiş olup, XRD sonuçlarına göre 1 numaralı noktanın Mg_2Zn_{11} intermetalığı, 2 numaralı noktanın Al_3Zr intermetalığı, 3 numaralı noktanın α -Al ve 4 numaralı noktanın $MnAl_2O_4$ oksit intermetalığı olduğu düşünülmektedir.

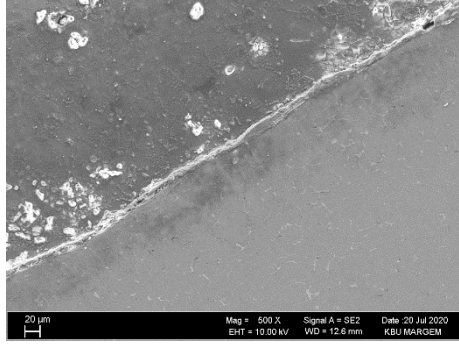
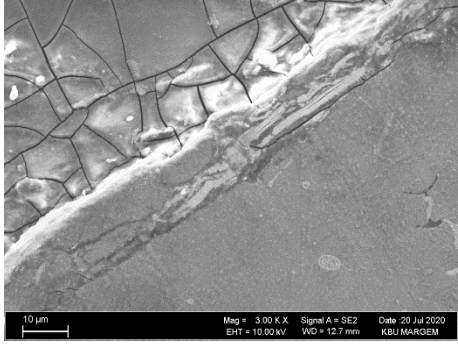

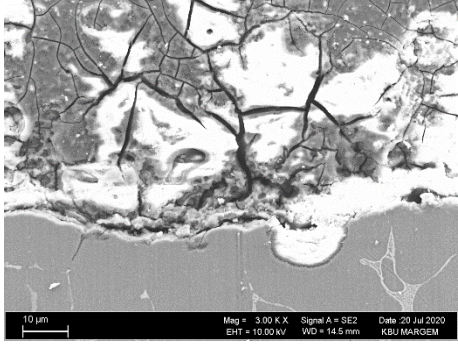


Şekil 4.18. Al7075/ZK61 bimetal kompozit malzemenin SEM görüntüsü.

Çizelge 4.5. Al7075/ZK61 bimetal kompozit malzemenin EDS analiz sonuçları.

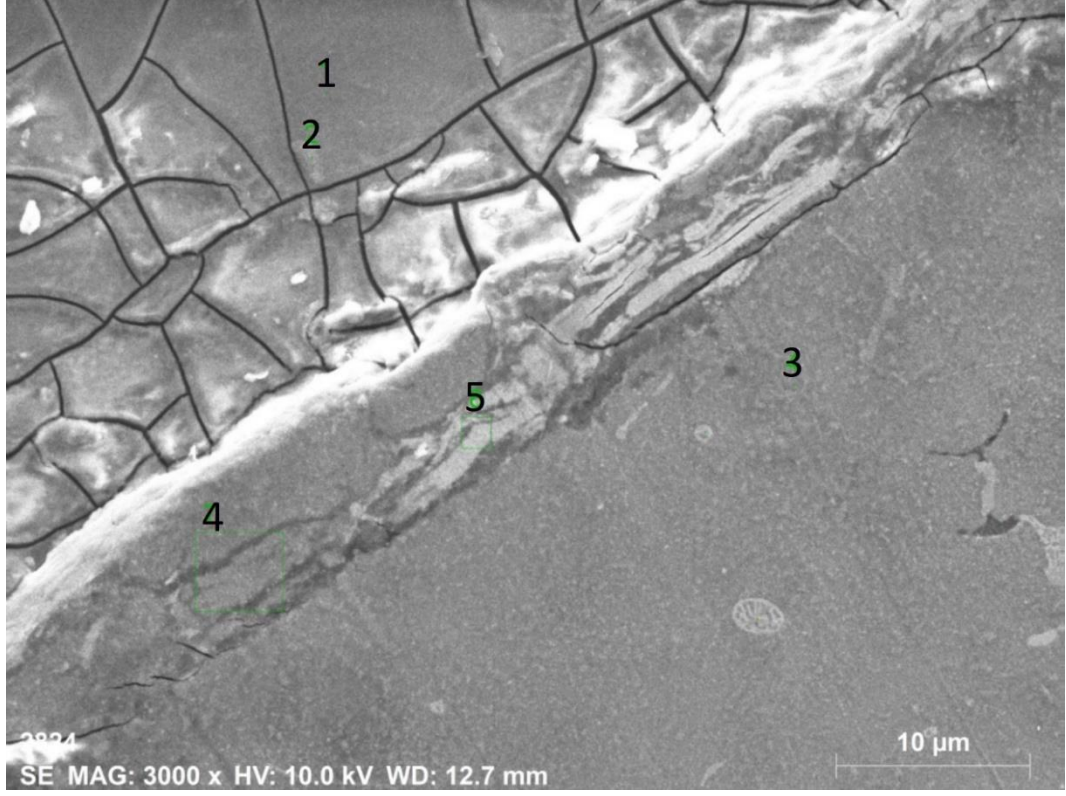
Spektrum	Element (ağ. %)						
	O	Mg	Al	Si	Mn	Zn	Zr
1	51.09	18.33	5.14	6.82	0.00	12.97	5.64
2	51.60	18.20	14.30	1.17	1.04	4.39	9.30
3	52.94	22.34	9.70	2.98	3.84	7.05	1.15
4	3.66	3.34	87.06	0.00	0.00	5.94	0.00

Şekil 4.18’de verilen Al7075/ZK61 bimetal kompozit malzemenin SEM görüntüsü üzerindeki noktalardan alınan EDS analiz sonuçları Çizelge 4.5’te verilmiş olup, XRD sonuçlarına göre 1 numaralı noktanın α -Mg, 2 numaralı noktanın Al_3Zr intermetalığı, 3 numaralı noktanın $MnAl_2O_4$ oksit intermetalığı, 4 numaralı noktanın α -Al olduğu düşünülmektedir.

	Düşük Büyütme	Yüksek Büyütme
Al7075/AS21		
Al7075/Mg2Zn		

Şekil 4.19. Al7075/AS21 ve Al7075/Mg2Zn bimetal kompozitlerin SEM görüntüleri.

Al7075/AS21 bimetal kompozitte arayüz dınır çizgisi lineer bir şekilde ilerlemesine rağmen Şekil 4.19’da görüldüğü gibi sınır etrafında bimetal kompozit bileşenleri arasında ara bağ oluşumu gözle görülmektedir. Al7075/Mg2Zn bimetal kompozitlerin SEM görüntüsünde ise arayüzdeki sınır çizgisinin girintili-çıkıntılı bir şekilde ilerlemesi bimetal kompozit malzeme bileşenlerinin birbirine daha iyi kilitlemesini sağlamıştır.



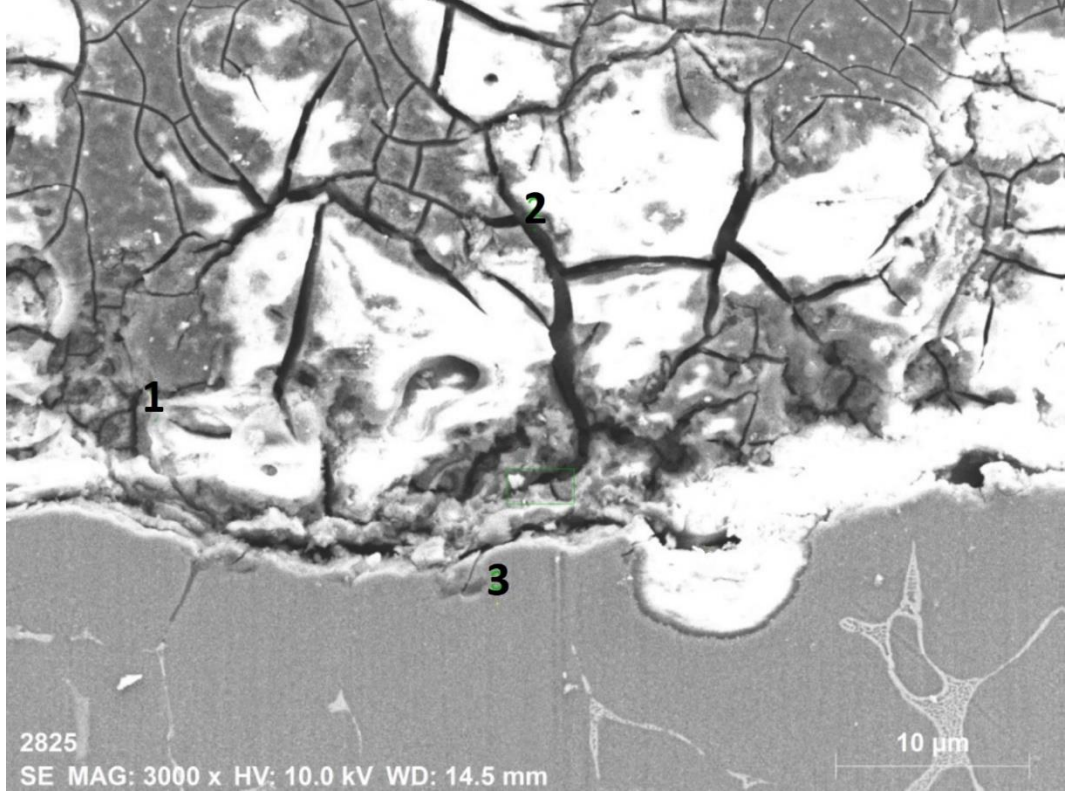
Şekil 4.20. Al7075/AS21 bimetal kompozit malzemenin SEM görüntüsü.

Çizelge 4.6. Al7075/AS21 bimetal kompozit malzemenin EDS analiz sonuçları.

Spektrum	Element (ağ. %)					
	O	Mg	Al	Si	Mn	Zn
1	50.38	44.49	3.03	0.47	0.00	1.63
2	57.16	28.19	2.88	10.06	0.09	1.62
3	16.14	5.70	69.89	0.13	0.48	7.65
4	32.72	9.77	50.38	0.34	0.66	6.13
5	53.95	13.92	5.90	5.93	5.63	14.66

Şekil 4.20 ve Çizelge 4.6’da verilen Al7075/AS21 bimetal kompozit malzemenin SEM görüntüsü üzerinden alınan EDS sonuçlarına bakıldığında, 1 numaralı nokta α -Mg matris, 2 numaralı noktanın $MnAl_2O_4$ oksit intermetalığı, 3 ve 4 numaralı noktalar α -Al matris ve 5 numaralı nokta ise Mn ve Si elementlerini içeren bir intermetalik olduğu XRD sonuçlarına dayandırılarak belirlenmiştir. 5 numaralı bölge Mn_5Si_3 ve Mn_5Si_2 iki intermetalikten biri olabilir. Ayrıca 3 ve 4 numaralı noktaların α -Al matris

olarak belirlenmesi, üretim sırasında arayüzde birbirlerini kenetleyen bir bağ oluşumuna işaret etmektedir.



Şekil 4.21. Al7075/Mg2Zn bimetal kompozit malzemenin SEM görüntüsü.

Çizelge 4.7. Al7075/Mg2Zn bimetal kompozit malzemenin EDS analiz sonuçları.

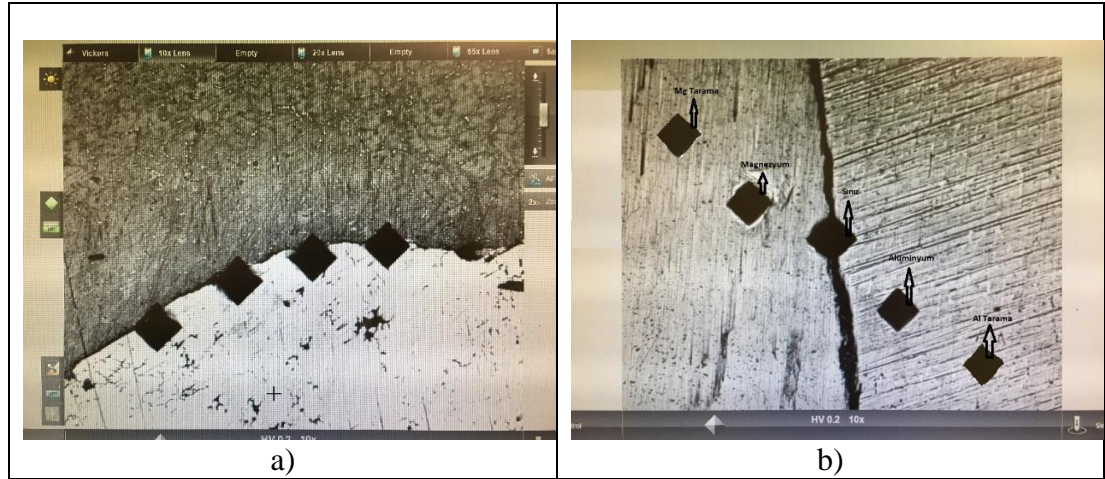
Spektrum	Element (ağ. %)					
	O	Mg	Al	Si	Mn	Zn
1	48.01	39.82	2.98	4.21	1.30	3.68
2	55.12	27.20	2.03	4.16	0.00	11.49
3	4.08	3.31	84.94	0.11	0.00	7.55

Al7075/Mg2Zn bimetal kompozit malzemeye ait Şekil 4.21’de verilen SEM fotoğrafı üzerinde gösterilen numaralardan alınan EDS analiz sonuçlarına (Çizelge 4.7) göre, 1 numaralı noktanın Mn_5Si_2 intermetalığı, 2 numaralı noktanın Mg_2Zn_3 intermetalığı ve 3 numaralı noktanın α -Al matris olduğu XRD sonuçları gözönünde bulundurularak belirlenmiştir.

4.4. MEKANİK TEST SONUÇLARI

4.4.1. Sertlik Testi Sonuçları

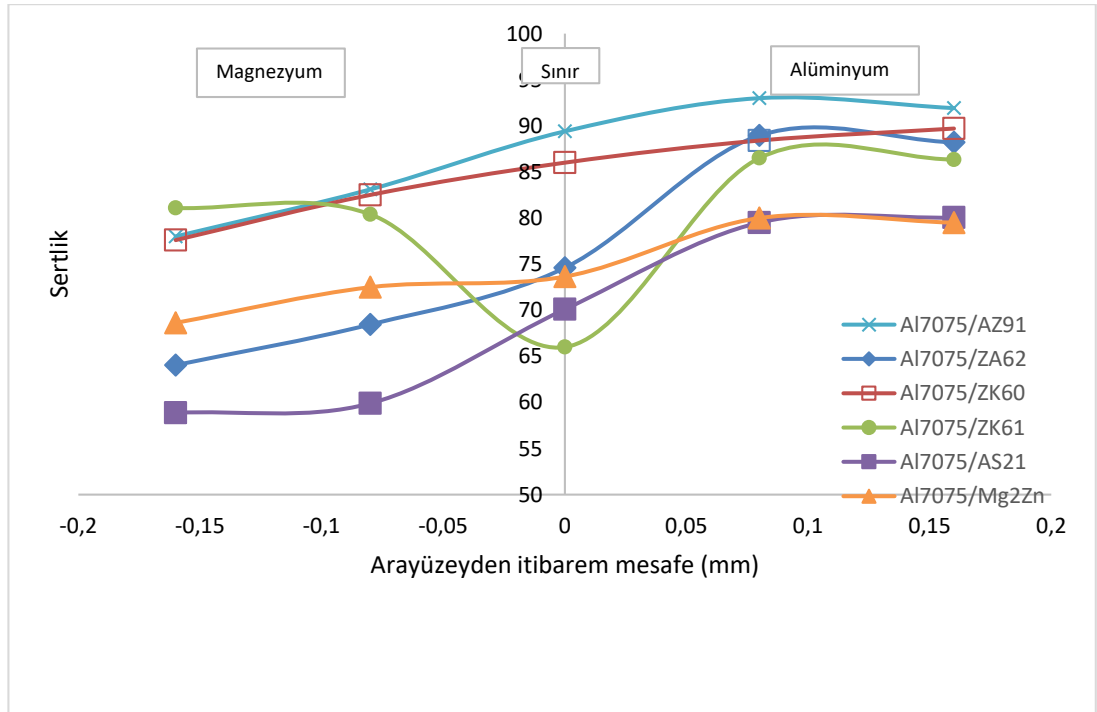
Bimetal kompozit malzemelerin içindeki alaşım elementlerinin sertlik değişimine etkileri birbiri ile karşılaştırılarak incelendiğinde sertliklerin alaşım elementleri ile orantılı olarak değiştiği görülmektedir. Çizelge 4.8’de Mg/Al bimetal kompozitlerin ekstrüzyon yönüne dik ve ekstrüzyon yönüne paralel kesitlerinden 0,2 kg altında 15 sn süre ile alınan HV cinsinden sertlik sonuçlarının ortalamaları verilmiştir. Bu çizelgeden elde edilen sertlik sonuçları daha rahat karşılaştırma yapabilmek amacıyla Şekil 4.23’te gösterilmiştir. Sertlik deneyinden elde edilen sonuçlar incelendiğinde Al7075/AZ91 kompozit arayüzeyinin en sert olduğu görülmüştür. En düşük arayüzey sertliğini ise Al7075/ZK61 bimetal kompozit malzemenin sergilediği tespit edilmiştir. Arayüzey sertlik değerlerini bütün alaşımlar için karşılaştırıldığında elde edilen sıralama büyükten küçüğe şu şekildedir: Al7075/AZ91 > Al7075/ZK60 > Al7075/ZA62 > Al7075/Mg2Zn > Al7075/AS21 > Al7075/ZK61.



Şekil 4.22. Bimetal kompozit numunelerden alınan sertliklerin numune üzerindeki pozisyonları.

Çizelge 4.8. Mg/Al bimetel kompozitlerin sertlik değerleri.

	Mg Alaşım Bileşeni		Sınır Arayüzeyi	Al Alaşım Bileşeni	
	Arayüzeyden İtibaren Mesafe (mm)			Arayüzeyden İtibaren Mesafe (mm)	
	0,16	0,08		0,08	0,16
Al7075/AZ91	78	83,1	89,4	93	91,91667
Al7075/ZA62	64,04167	68,45	74,6	88,95	88,2
Al7075/ZK60	77,6	82,5	86	88,4	89,7
Al7075/ZK61	81,08333	80,4	66	86,5	86,33333
Al7075/AS21	58,875	59,9	70,1	79,5	80,05
Al7075/Mg2Zn	68,63333	72,5	73,65	80	79,5



Şekil 4.23. Mg/Al bimetel kompozitlerin sertlik grafikleri.

Arayüzeydeki sertlik değerini belirleyen en önemli parametrenin iki metal alaşımı arasındaki yapışma olduğu için, bağlanmayı çinko elementinin etkilediği düşünülmektedir.

Al7075/Mg bimetel kompozitleri içinde magnezyum bileşeni sert olan AZ91 kalite magnezyum alaşımı içerdiği %1 çinko ve %9 alüminyum ile kovan malzeme Al7075 alaşımı ile güçlü bağ içerirken beklendiği üzere arayüzeyde en yüksek sertliği

sergilemiştir. Bunun sebebi olarak AZ91 kalite magnezyum bileşeninin içindeki %9 alüminyumun magnezyum alaşımının dayanımını arttırdığı gibi ara yüzey sınırında en yüksek sertliği sergilemesini sağlamıştır.

Alüminyum matrise sahip Al7075'in ikinci ana alaşım elementi çinko olduğu için, magnezyum alaşımlarında da çinko içeren magnezyum alaşımların sıralamasına göre çinko içeriği bakımından en zengin olan Al7075/ZK60 en yüksek ikinci sertliğe sahipken, devamında sırayla ZA62 ve Mg2Zn gelmektedir. ZK61 alaşımı çinko bakımından zengin olmasına karşılık zirkonyum elementinin yüksek oksijen afinitesi sebebiyle sınır bölgesinde oluşan oksitlenme sebebiyle sertlik değerinin diğer bimetalere kıyasla düşük olduğu gözlenmiştir. AS21 alaşımı ise çinko olmadığı için bimetal kompozitlerin sertlik sıralamasında sonlarda yer alırken içerdiği %1 silisyum oranı ile XRD paternlerinde ortaya (Şekil 4.5) çıkan Mn_5Si_3 intermetalığının oluşumundan dolayı bimetal kompozitin arayüzeyinde sertlik değerini, Ref.[99,100]' e uygun olarak, bir miktar arttırdığı düşünülmektedir.

Al7075/ZK60 alaşım bimetal kompozit içermiş olduğu üçlü intermetalik fazlar sebebiyle ve ince taneli yapısıyla yüksek sertlik sergilerken, Al7075/ZK61 arayüzeyinde Şekil 4.10'da görülen çatlaklar olduğu için arayüzey sertlik değeri en düşük olduğu görülmektedir.

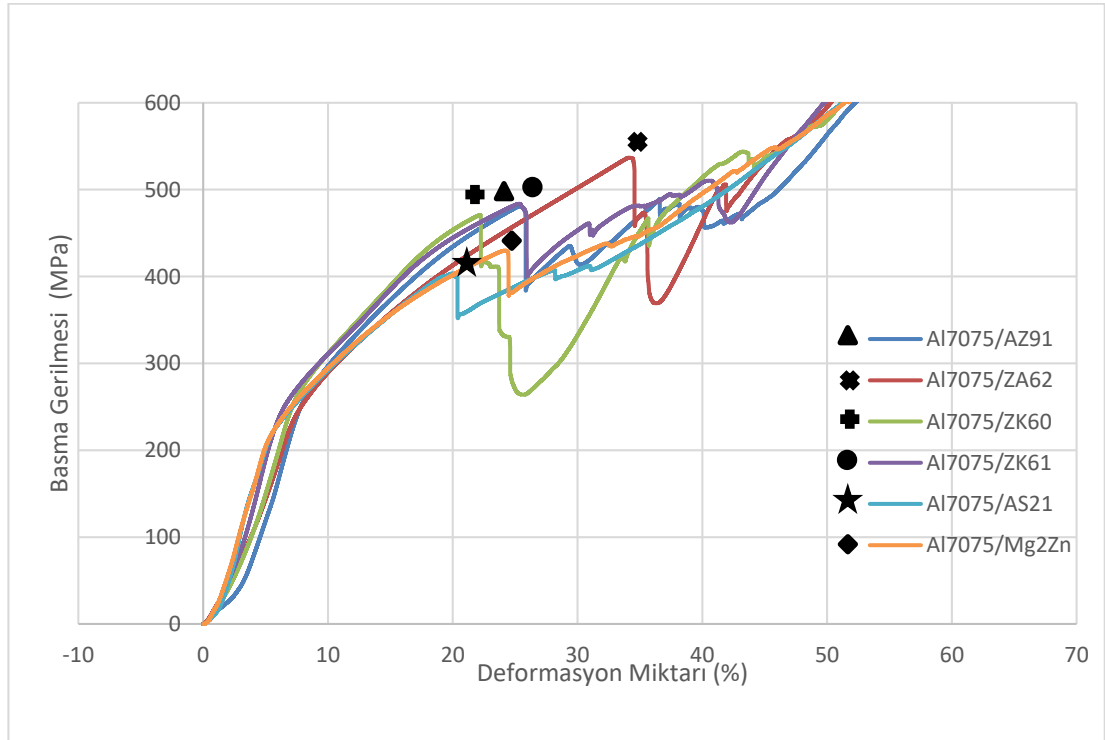
4.4.2. Basma Testi Sonuçları

İncelenen Al7075/Mg alaşım bimetal kompozitlerin basma deney sonuçları Şekil 4.24'te verilmiştir. Şekil 4.24'te verilen basma gerilmesi-Deformasyon miktarı grafiklerinden incelenen bimetal kompozitlerin akma mukavemetleri, basma mukavemetleri ve % uzama miktarları Şekil 4.25'te gösterilmiştir. Basma deney sonuçlarına göre Al7075/AZ91, Al7075/ZA62, Al7075/ZK60 ve Al7075/ZK61 bimetal kompozitlerinin basma ve akma mukavemet değerleri birbirine yakın bulunmuştur. Bu çalışmada en yüksek basma mukavemetine sahip olan bimetal kompozit Al7075/ZA62 iken en düşük basma mukavemetini Al7075/AS21 bimetal kompozit malzeme sergilemiştir. Maksimum basma mukavemetleri bütün kompozitler için kıyaslandığında elde edilen sıralama büyükten küçüğe doğru şu şekildedir:

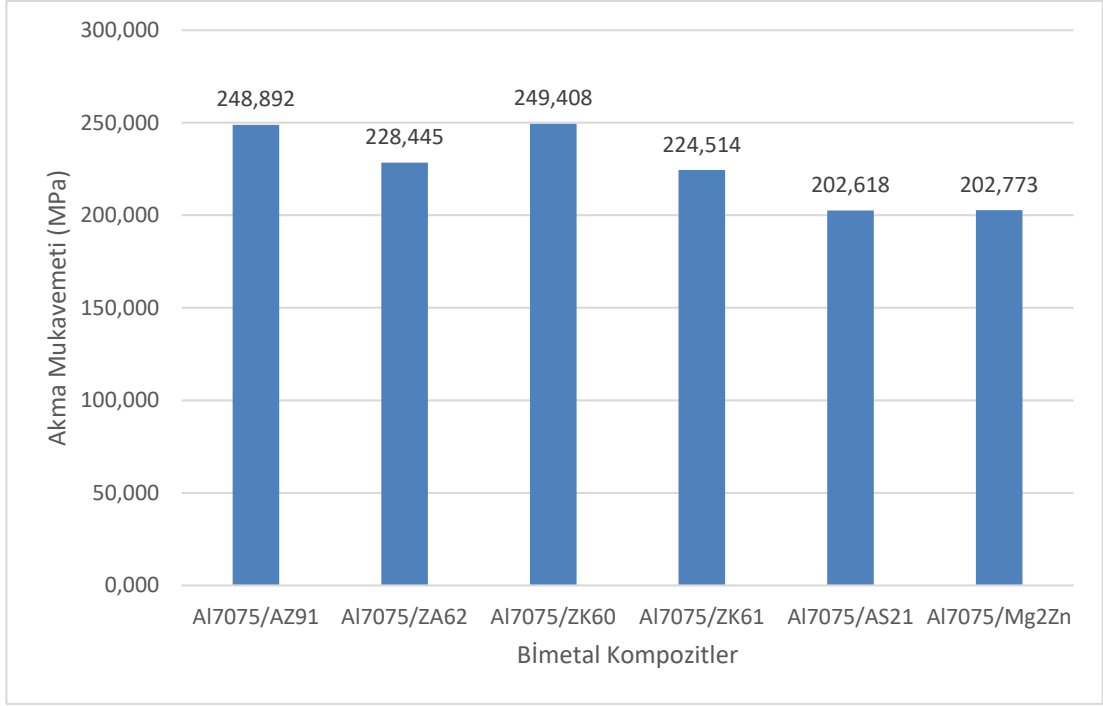
Al7075/ZA62 > Al7075/ZK61 > Al7075/AZ91 > Al7075/ZK60 > Al7075/Mg2Zn > Al7075/AS21.

Al7075/ZA62 bimetel kompozitin maksimum basma mukavemet değerinin yüksek çıkmasının sebebi çinko ilavesi iken Al7075/ZK61'in ikinci sırada olmasının sebebi TECER'inde belirttiği gibi [101] alaşımlarda yer alan %1 Zr'un alüminyum ile oluşturduğu Al₃Zr intermetalığının mukavemetinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Üçüncü sırada gelen Al7075/AZ91 bimetel kompozitin basma mukavemet değeri, Mg alaşım bileşenindeki %9 Al içeriğine dayandırılabilir.

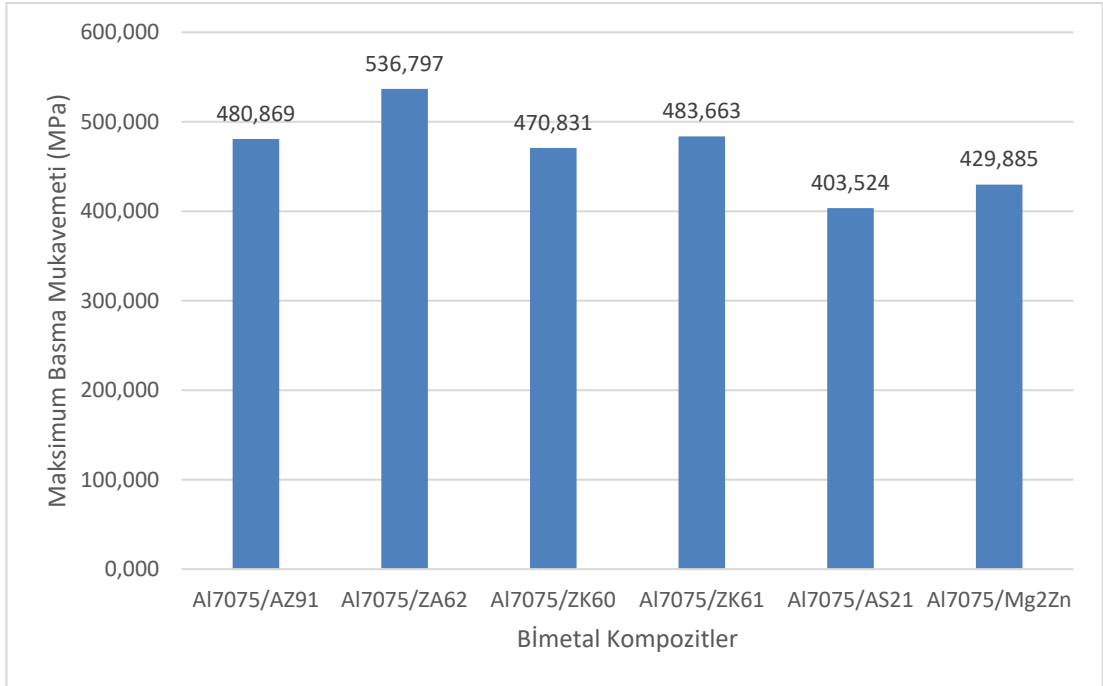
Al7075/Mg2Zn ve Al7075/AS21 bimetel kompozitleri birbirleri ile kıyaslandığında ise Al7075/Mg2Zn bimetel kompozit içermiş olduğu %2 çinko oranı ile daha sünek ve aynı zamanda maksimum basma mukavemeti daha yüksektir [102,103]. Al7075/AS21 bimetel kompozit malzemesinde ise magnezyum bileşeni içindeki %1 silisyum malzemenin gevrekleşmesine, darbe dayanımının azalmasına sebep olurken kırılma dayanımını sağlayarak diğer bimetel kompozitlerden daha düşük akma ve basma mukavemeti sergilemesini sağlamıştır [104-106].



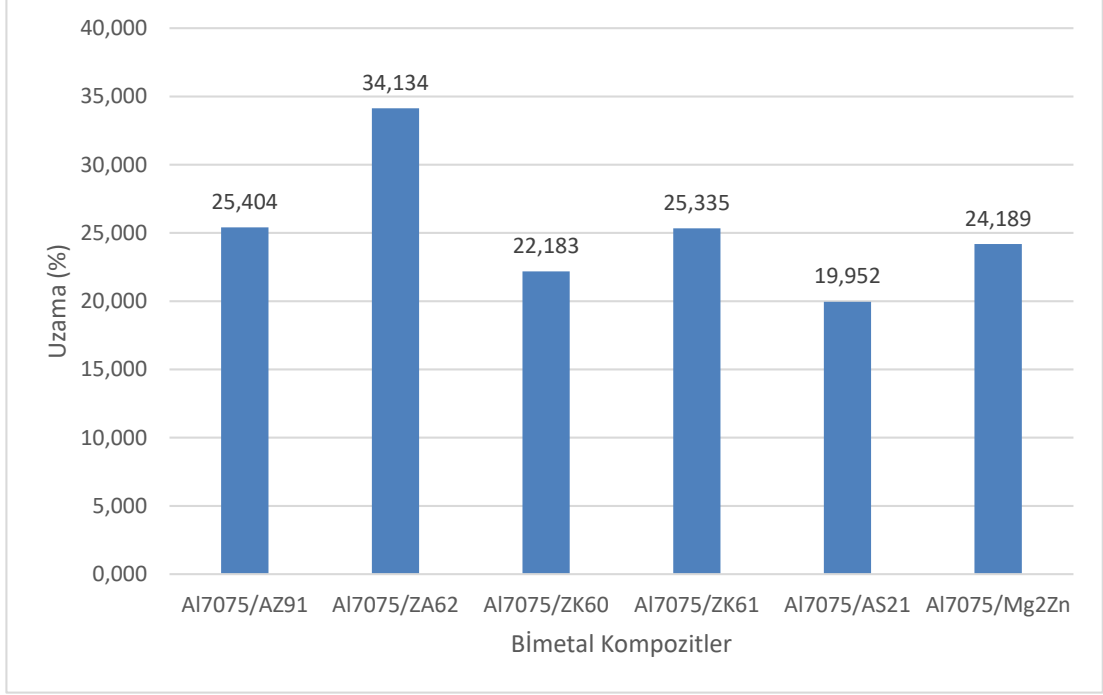
Şekil 4.24. Mg/Al bimetel kompozitlerin basma deneyi grafikleri.



(a)



(b)



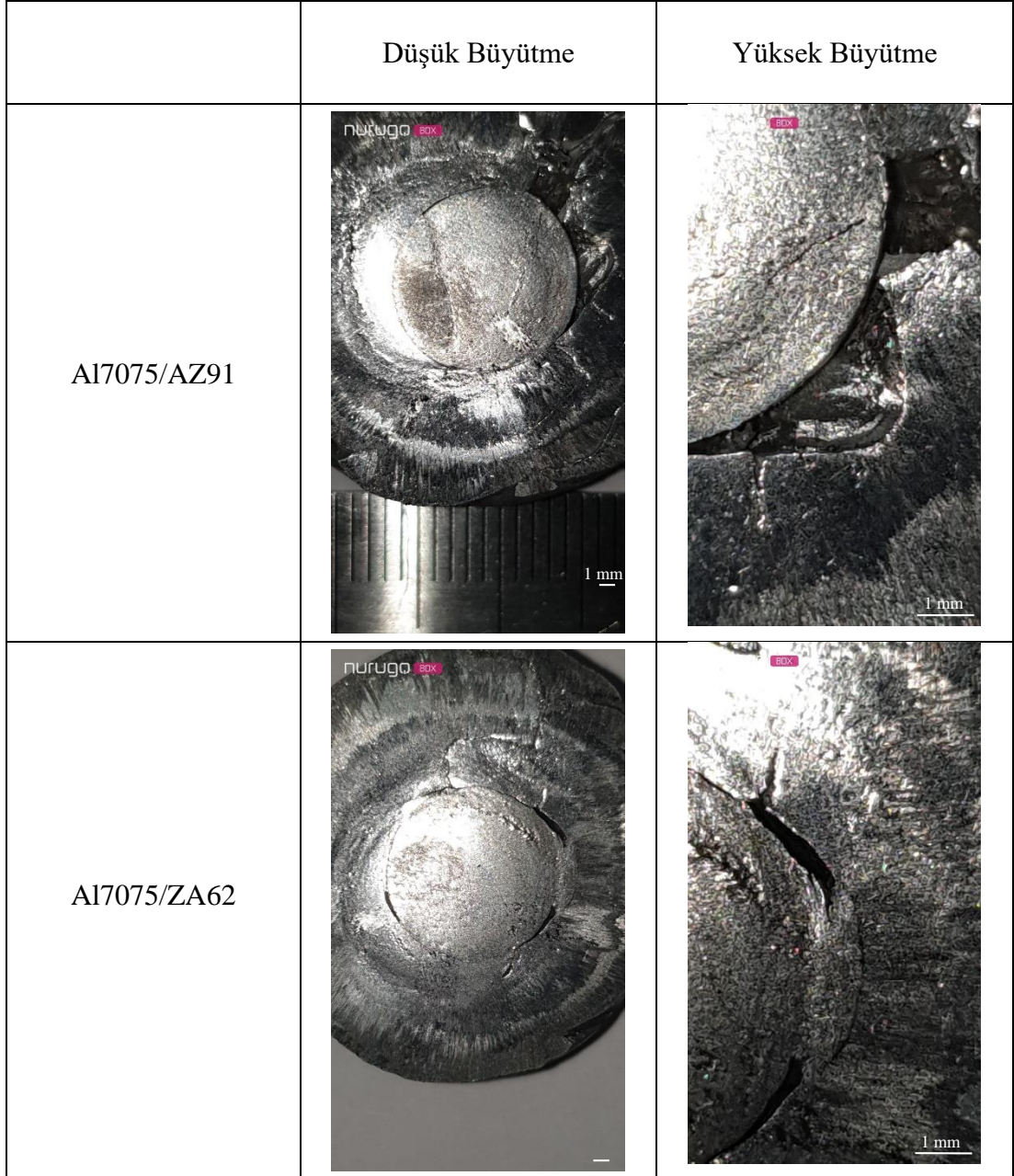
(c)

Şekil 4.25. İncelenen Al7075/Mg alaşım bimetal kompozitlerin maksimum (a) akma mukavemetleri (b) maksimum basma mukavemetleri ve (c) hasara başlayana kadar % uzama miktarları.

Akma mukavemeti ile basma mukavemeti benzer sonuçlar sergilerken Al7075/ZK60 bimetal kompozitin akma mukavemeti Al7075/AZ91 bimetal kompozitin akma mukavemeti ile kıyaslanabilir seviyede yüksek çıkmıştır. Diğer bimetal kompozitlerin akma mukavemetlerini büyükten küçüğe sıralayacak olursak: Al7075/ZK60 > Al7075/AZ91 > Al7075/ZA62 > Al7075/ZK61 > Al7075/Mg2Zn > Al7075/AS21.

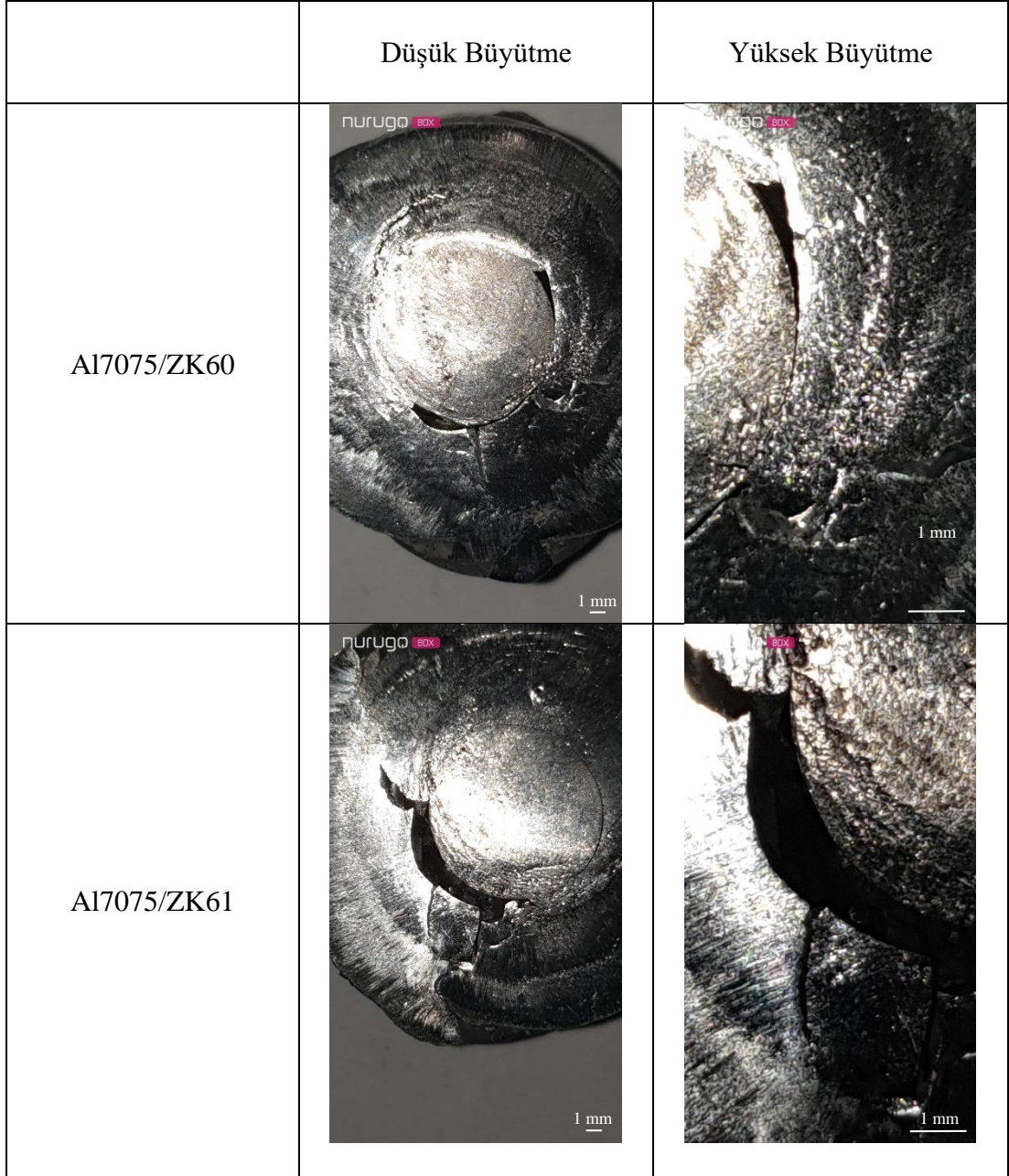
Al7075/AZ91 ve Al7075/ZA62 bimetal kompozitlerin Mg alaşım bileşenleri için maksimum basma mukavemetine alüminyumun etkisi yüksekken, akma mukavemetine etkisi daha düşüktür. Basma mukavemetinde Al7075/ZA62 bimetal kompozit içindeki %6 Zn hasara kadar ki maksimum mukavemetin ve sünekliğin biraz daha yükselmesine sebep olmuştur. Al7075/ZK60 ve Al7075/ZK61 bimetal kompozitlerde bulunan Al₃Zr intermetalığı ise taneleri incelterek uzamayı, akma ve basma mukavemetini orta değerde tutmuştur [107].

Basma deneyleri sonrası hasara uğrayan bimetal kompozitlerin makro görünümü Şekil 4.26-4.28’ de verilmektedir. Basma deneyleri sırasında kompozit bileşenlerinin yüksekliğinin azalması şeklinde plastik deformasyon meydana gelmesi, bileşenler arasında arayüzey kırılmalarının oluşumu ve ileri hasar tiplerinde ise Al7075 bileşeninin çap boyunca kırılması gözlenmiştir.



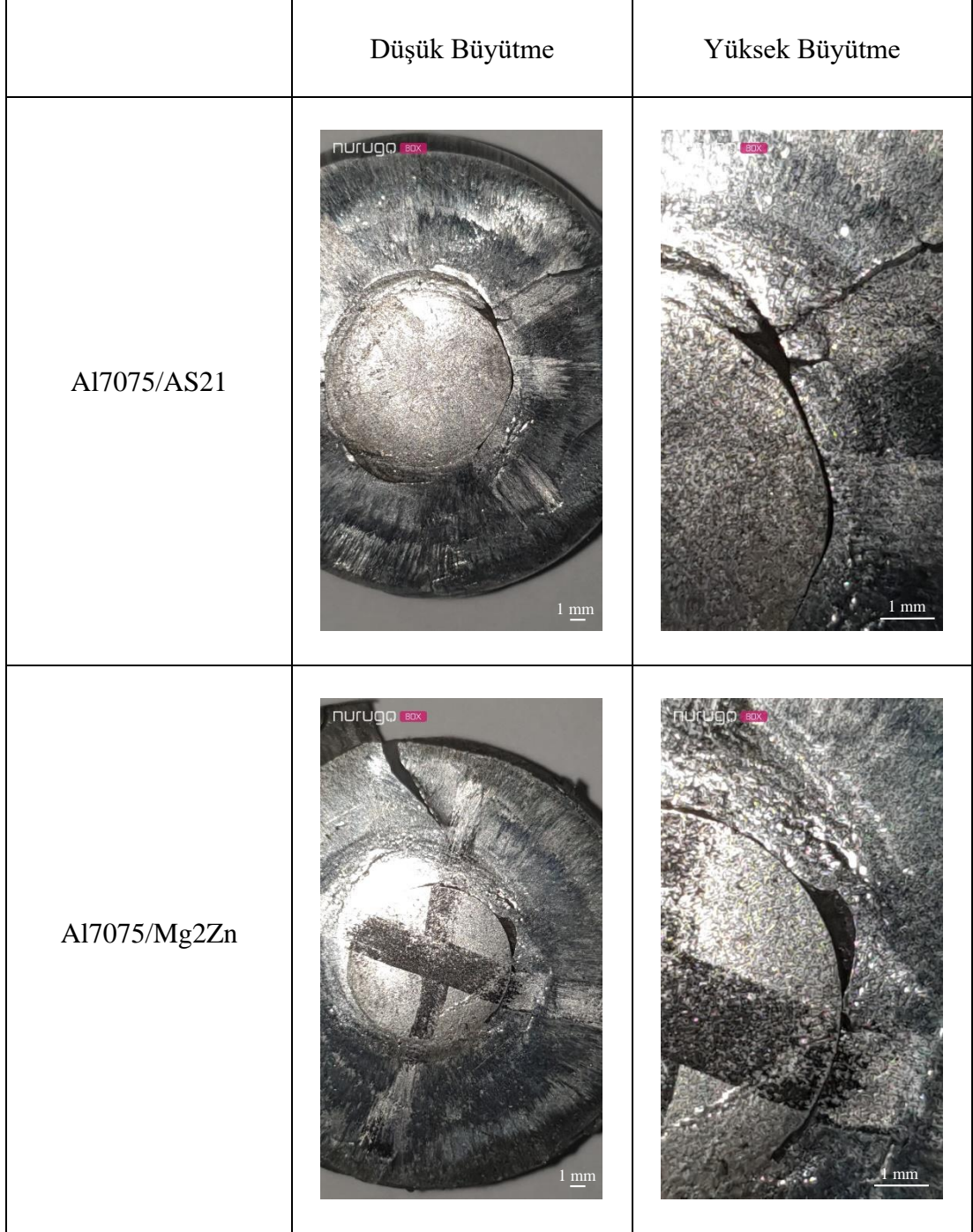
Şekil 4.26. Basma deneyi sonrası Al7075/AZ91 ve Al7075/ZA62 BMK’lerin düşük ve yüksek büyütme görüntüleri.

Al ve Zn elementlerince zengin Mg alaşım bileşenine sahip Al7075/AZ91ve Al7075/ZA62 bimetal kompozitlerinin basma deneyi sonrası kırılma mekanizmaları yalnızca yükseklik azalması şeklinde plastik deformasyon ve çok az miktarda arayüz kırılmaları gözlenmiştir. Bu durum, bimetal kompozitlerin Mg alaşım bileşeninin yük taşıma kabiliyetine dayandırılabilir.



şekil 4.27. Basma deneyi sonrası Al7075/ZK60 ve Al7075/ZK61 BMK'lerin düşük ve yüksek büyütme görüntüleri.

İncelenen bimetal kompozitlerden Zr içeren Al7075/ZK60 ve Al7075/ZK61 bimetal kompozitlerin basma deneyi sonrası kırılma davranışları, yüksek oranda arayüz kırılması şeklinde gerçekleşmiş olup bu olay arayüzde oluşan intermetalik yoğunluğuna (Şekil 4.3-4.4) dayandırılabilir.



Şekil 4.28. Basma deneyi sonrası Al7075/AS21 ve Al7075/Mg2Zn BMK'lerin düşük ve yüksek büyütme görüntüleri.

Mukavemet değerleri ve sünekliği düşük olan Al7075/AS21 ve Al7075/Mg2Zn alaşım bimetel kompozitler basma deneyi sonrasında Al7075 bileşeninin çap boyunca kırılarak hasara uğradığı gözlenmiştir.

4.4.3. Push-Out Testi Sonuçları

şekil 4.29' da Al7075/Mg alaşım bimetel kompozitlerin Push-out deney sonuçları kayma gerilmesi (MPa)-Yüzeyden itibaren mesafe değişimi grafik olarak verilmiştir. şekil 4.30' da ise bimetel kompozitlerin maksimum kayma gerilmeleri tepe noktalarına karşılık gelen noktalarda maksimum kayma gerilmeleri (MPa) belirlenmiş ve malzemeye bağlı olarak kayma gerilmelerinin değerleri çubuk grafiği olarak gösterilmiştir.

Push-out testlerinden elde edilen sonuçlar incelendiğinde Al7075/ZA62 bimetel kompozit en yüksek maksimum kayma mukavemetine sahip iken en düşük maksimum kayma mukavemetini ise Al7075/ZK61 bimetel kompozit sergilemiştir. Maksimum kayma mukavemetleri, incelenen bimetel kompozitler için karşılaştırıldığında büyükten küçüğe doğru sıralaması şöyledir: Al7075/ZA62 > Al7075/Mg2Zn > Al7075/AS21 > Al7075/AZ91 > Al7075/ZK60 > Al7075/ZK61.

En yüksek maksimum kayma gerilmesine Al7075/ZA62 bimetel kompozit sahip olmasına rağmen Al7075/AZ91, Al7075/ZA62, Al7075/AS21 ve Al7075/Mg2Zn bimetel kompozitlerinin maksimum kayma mukavemetleri birbirine yakın çıktığı görölmüştür.

Push-out testinde elde ettiğimiz maksimum kayma gerilmeleri arayüzey mukavemeti hakkında bilgi verirken, kayma gerilmesi yüksek olan bimetel kompozitlerin arayüzeylerinde yapışma mukavemetinin yüksek olduğunu, maksimum kayma gerilmesinin düşük olması ise yapışma mukavemetinin düşük olduğu anlamına gelmektedir. Buradan yola çıkararak en yüksek bağ mukavemetine Al7075/ZA62 bimetel kompozit sahip iken en düşük bağ mukavemetini Al7075/ZK61 bimetel kompozit malzemesi göstermektedir.

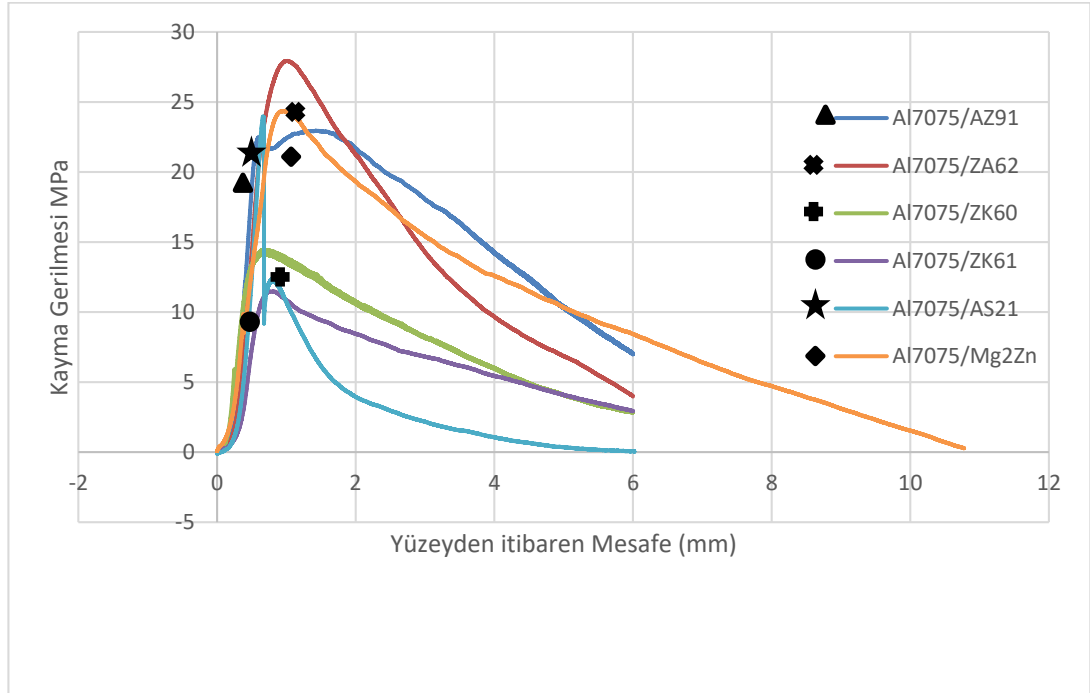
ZK60 ve ZK61 alaşımlarının Al7075 ile bağ mukavemetinin diğer bimetel kompozitlere nazaran daha düşük olması yapısında bulunan Al_3Zr intermetalğine ve arayüzey $MnAl_2O_4$ oksit bileşimine dayandırılabilir. Yaklaşık olarak %0,2'ye kadar düşük miktarda Zr ilavesi ile oluşan Al_3Zr 'nin mekanik özelliklere ve sünek kırılma davranışına etkisini inceleyen Cavaliere [108] ve Tecer [101]'e uygun olarak % 1 Zr ilavesinin yapıldığı bu çalışmada basma mukavemetinde ve basma sünekliğinde iyileşme gözlenirken push out testinden elde edilen maksimum kayma gerilmesi düşük çıkmıştır. Cavaliere [108], %0,1 Zr ilavesi ile oluşan Al_3Zr intermetalğinin ergime sıcaklığı yüksek ve oldukça sert olduğunu belirtmektedir. % 1 Zr ilavesi ile oluşan Al_3Zr intermetaliklerinin daha fazla gevreklik kazanması, push out testi sırasında arayüze etki eden kayma kuvvetleri altında daha kolay kırılmasına ve maksimum kayma gerilmesinin daha düşük çıkmasına yol açmıştır.

Ayrıca, bu çalışmada Al7075/ZK60 ve Al7075/ZK61 bimetel kompozitlerin diğer bimetalere kıyasla düşük kayma mukavemeti ise Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da görülen bimetel kompozitin sınırındaki boşluklara dayandırılabilir. Al_3Zr intermetalği metaller arası bileşik olup basma testinde olumlu katkı sağlarken push-out testinde düşük maksimum kayma gerilmesine yol açmıştır. Şekil 4.10' da Al7075/ZK61 bimetel kompozitin arayüzeyinde kalın bir siyah çizgi görülmektedir. Bunun bir kısmının oksit boşluğu olduğu düşünülmektedir. Bunlardan kaynaklı olarak malzemenin kayma gerilmeleri düşük olarak elde edilmiştir. Aynı şekilde buna ilave olarak Şekil 4.23' de verilen sertlik grafiklerinde de gözlemlendiği gibi Al7075/ZK61 bimetel kompozitin ara yüzey sertliğinin düşük olduğu bulunmuştur.

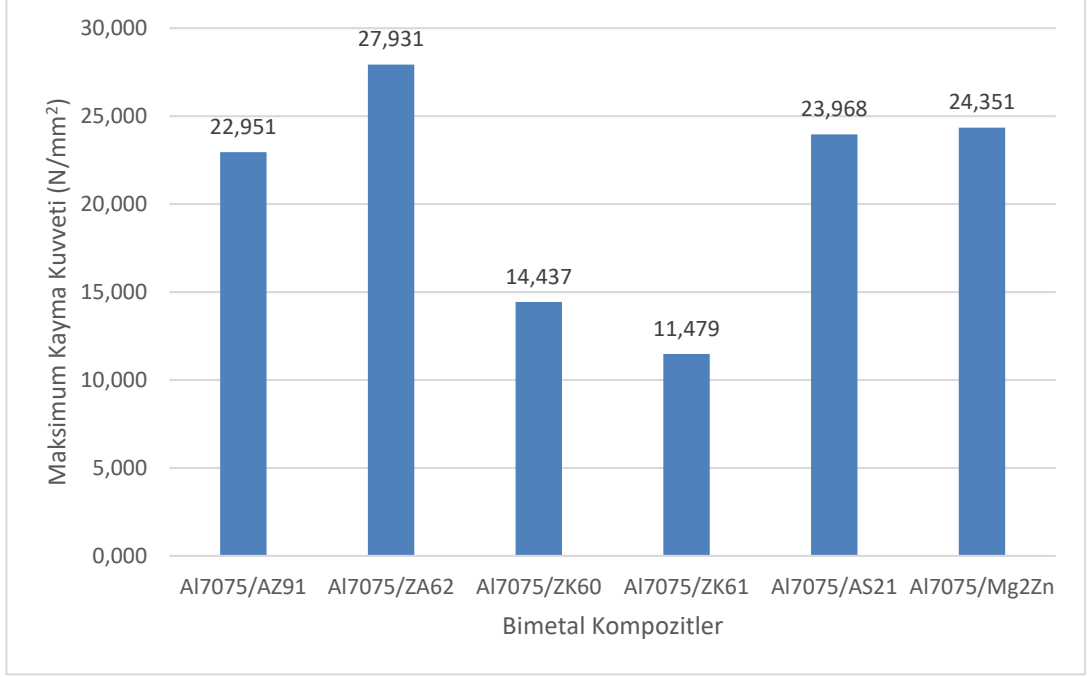
ZK61 içindeki Zirkonyumun oksijen afinitesi yüksek olduğu için oksitlenme gerçekleşmiş ve arayüzey bağ mukavemeti diğer bimetel kompozitlere kıyasla oldukça düşük çıkmıştır. Şekil 4.4'te Al7075/ZK61' in XRD paterninin maksimum piklerinde de oksit piklerine rastlanması bu yaklaşımı destekler niteliktedir. Al7075/ZK60'ta ise düşük miktarda zirkonyum olmasına rağmen $MnAl_2O_4$ oksit filmine rastlanmakla birlikte arayüz bağlanma mukavemetinin oldukça düşük olduğu görülmüştür. Bu çalışmada XRD incelemeleri sonrası Zr esaslı oksitler yerine $MnAl_2O_4$ tipi oksit tespit edilmiştir. $MgAl_2O_4$ 'ün oldukça yüksek mekanik özellikler sergilediği [109], bu

çalışmada teyit edilirken, $MnAl_2O_4$ esaslı oksitlerin maksimum kayma gerilmesine olumsuz etkisi, $MgAl_2O_4$ esaslı oksitlere kıyasla daha yüksektir.

Al7075/AZ91 arayüzey bağlanma mukavemetinde sertlik ve basma mukavemetiyle uyumlu çıkmıştır. Al7075/Mg2Zn ve Al7075/AS21 bimetal kompozitlerinin arayüzeylerinde intermetaliklerin az olmasından dolayı arayüz bağlanma mukavemetleri yüksek çıkmıştır.



Şekil 4.29. Al7075/Mg bimetal kompozitlerin push-out deney sonuçları.




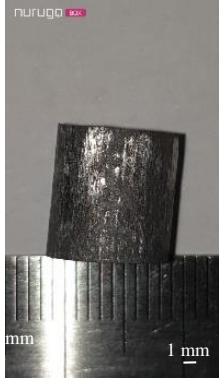


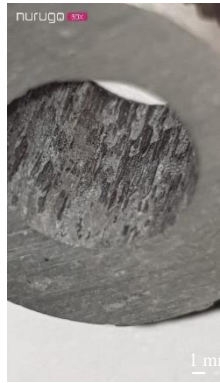



Şekil 4.30. İncelenen Al7075/Mg bimetal kompozitlerin maximum kayma mukavemetleri.

Push-out testleri sonrası hasara uğrayan numunelerin görüntüleri Şekil 4.31-4.33' te gösterilmiştir. Bu görüntülere bakıldığında kovan malzeme olan alüminyumun iç kısmında ve içinden çıkan çekirdek malzeme magnezyum alaşımlarının yüzeylerinde sürtünme izleri mevcuttur.









Al7075/ZA62 bimetal kompozit malzemenin yüksek maksimum kayma mukavemeti sergileme sebebi Şekil 4.31' de görülen derin sürtünme izlerine ve sınır bölgesinde çinko içeren Mg_2Zn_3 intermetalığı ve $MgAl_2O_4$ 'ün oldukça yüksek mekanik özellikler [109] sergilemesi ile olduğu düşünülen güçlü bir bağ oluştuğu söylenebilir. Bu intermetalik, arayüzeyde güçlü bir bağ oluşumuna yol açıp test sırasında kayma mekanizmalarını zorlaştırdığı düşünülmektedir.

Yine aynı şekilde Al7075/AZ91 bimetal kompozit malzemedede de Şekil 4.31' de görüldüğü gibi derin sürtünme izleri mevcut olup arayüzey bağlanma mukavemeti sertlik ve basma sonuçlarıyla uyumlu çıkmıştır.







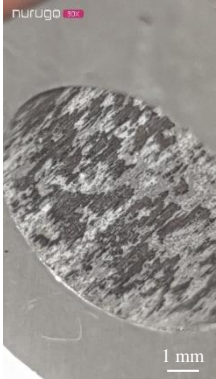

Al7075/ZK60 ve Al7075/ZK61bimetal kompozitlerinin bu şekilde diğer bimetal kompozitlerden daha düşük kayma mukavemeti sergilemesinin başka bir nedeni ise Şekil 4.9-4.10’ da mevcut olan çatlakların sebep olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.32’ de kırık yüzey incelemesi dikkate alındığında ise gerek kovan malzemede gerekse çekirdek malzemede yoğun olarak gümüş grisi renk hakim olup tam bir bağlanma söz konusu olmadığı düşünülmektedir.

	Düşük Büyütme		Yüksek Büyütme	
	Kovan Malzeme (Al)	Çekirdek Malzeme (Mg)	Kovan Malzeme (Al)	Çekirdek Malzeme (Mg)
Al7075/AZ91				
Al7075/ZA62				

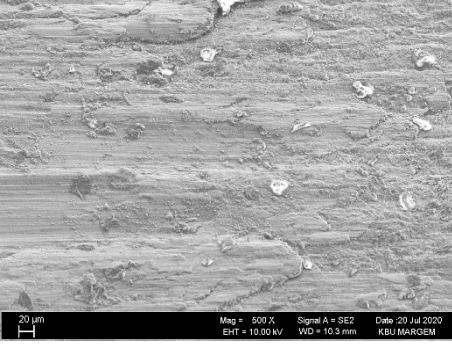
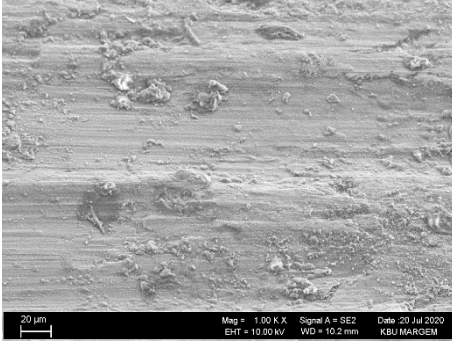

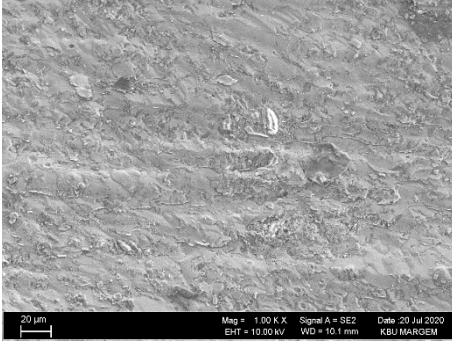
Şekil 4.31. Push-out deneyi sonrası Al7075/AZ91 ve Al7075/ZA62 BMK’lerin düşük ve yüksek büyütme görüntüleri.

	Düşük Büyütme		Yüksek Büyütme	
	Kovan Malzeme (Al)	Çekirdek Malzeme (Mg)	Kovan Malzeme (Al)	Çekirdek Malzeme (Mg)
Al7075/ZK60				
Al7075/ZK61				

Şekil 4.32. Push-out deneyi sonrası Al7075/ZK60 ve Al7075/ZK61 BMK'lerin düşük ve yüksek büyütme görüntüleri.

	Düşük Büyütme		Yüksek Büyütme	
	Kovan Malzeme (Al)	Çekirdek Malzeme (Mg)	Kovan Malzeme (Al)	Çekirdek Malzeme (Mg)
Al7075/AS21				
Al7075/Mg2Zn				

Şekil 4.33. Push-out deneyi sonrası Al7075/AS21 ve Al7075/Mg2Zn BMK'lerin düşük ve yüksek büyütme görüntüleri.

	Düşük Büyütme	Yüksek Büyütme
AZ91 Kalite Çekirdek Malzemesi		
ZA62 Kalite Çekirdek Malzemesi		


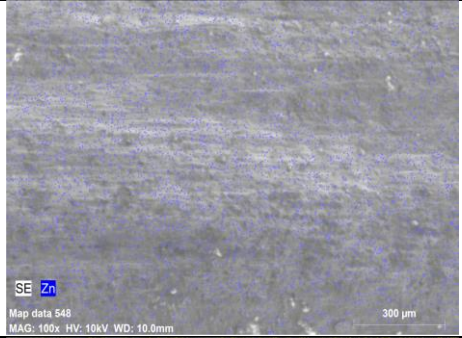

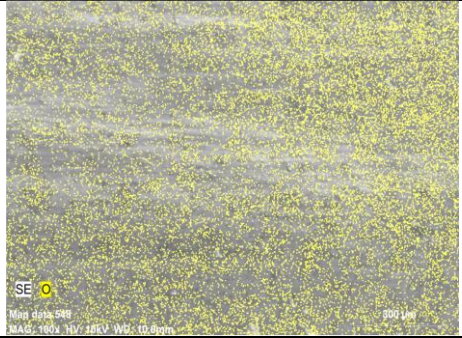

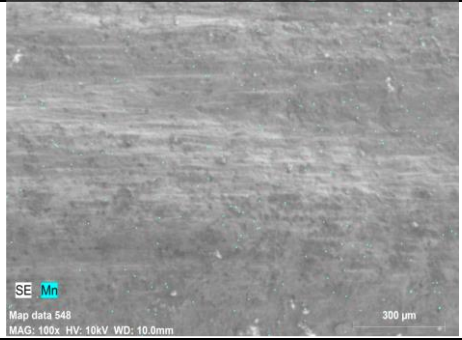
Şekil 4.34. Al7075/AZ91 ve Al7075/ZA62 bimetel kompozit malzemelerin puh-out testi sonrası çekirdek malzemenin yüzey SEM görüntüleri.

Al7075/AZ91 bimetel kompozit malzemenin çekirdek malzemesi olan Mg bileşiminin SEM görüntüsüne bakıldığında yüzeyinin pürüzlü olduğu ve çekirdek malzemenin yüzeyinde sürtünme ile oluşmuş yivler Şekil 2.34’de görülmektedir. Al7075/AZ91 bimetel kompozit malzemenin çekirdek malzeme olan AZ91 alaşımının yüzeyinde bulunan bu pürüzler ve yivler, yapışma mukavemetini olumlu yönde etkilediği söylenilebilir. Şekil 4.13’de verilen SEM mikroyapı görüntüleri arayüzeyin girintili-çukuntulu olduğunu desteklemektedir.

Al7075/ZA62 bimetel kompozit malzemenin çekirdek malzemesi olan ZA62 alaşımının yüzeyi SEM mikroskobu ile incelendiğinde ise Al7075/AZ91 bimetel kompozit malzemeye benzer bir görünüme sahip olan Al7075/ZA62 bimetel kompozit malzemede pürüzlerin ve yivlerin daha derin olması, yapışma mukavemetinin Al7075/AZ91 bimetel kompozit malzemenin daha iyi olduğunu desteklemektedir.

	AZ91 Kalite Çekirdek Malzeme	ZA62 Kalite Çekirdek Malzeme
SEM Görüntüsü		
Toplu Elementel Yüzey Haritası		
Al Yüzey Haritası		
Mg Yüzey Haritası		

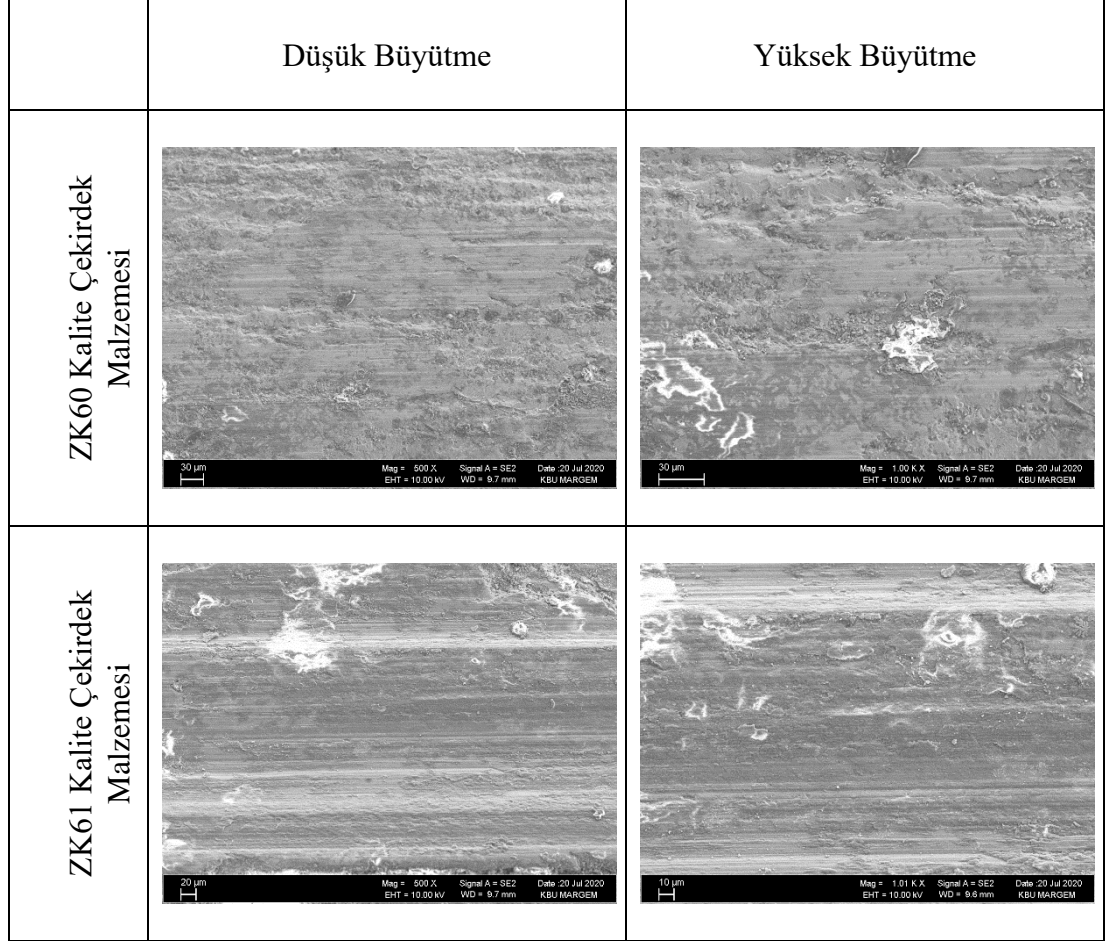
Şekil 4.35. Al7075/AZ91 ve Al7075/ZA62 bimetal kompozit malzemelerin Push out testi sonrası çekirdek malzemelerin yüzeyinden alınan EDS nokta analizleri.

Zn Yüzey Haritası	 SE Zn Map data 547 MAG: 100x HV: 10kV WD: 10.4mm 300 µm	 SE Zn Map data 548 MAG: 100x HV: 10kV WD: 10.0mm 300 µm
O Yüzey Haritası	 SE O Map data 547 MAG: 100x HV: 10kV WD: 10.4mm 300 µm	 SE O Map data 548 MAG: 100x HV: 10kV WD: 10.0mm 300 µm
Si Yüzey Haritası		 SE Si Map data 548 MAG: 100x HV: 10kV WD: 10.0mm 300 µm
Mn Yüzey Haritası		 SE Mn Map data 548 MAG: 100x HV: 10kV WD: 10.0mm 300 µm

Şekil 4.35. (devam ediyor).

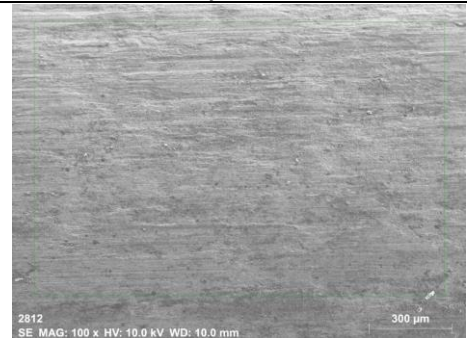
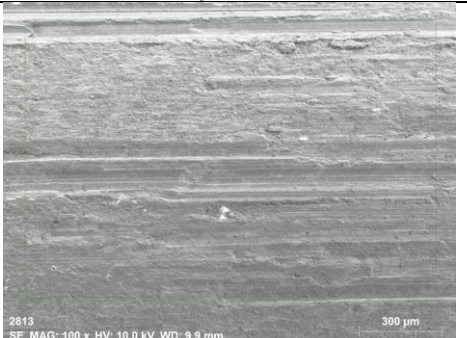
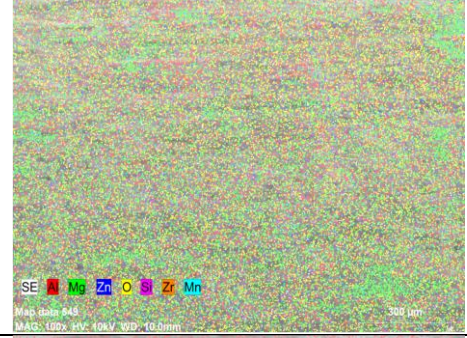
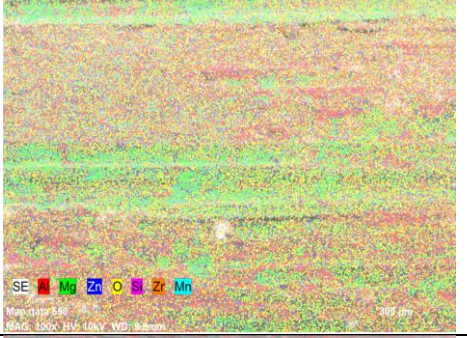

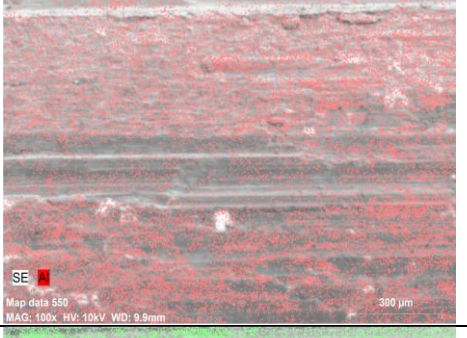
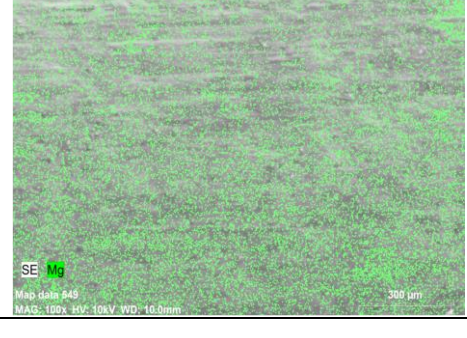
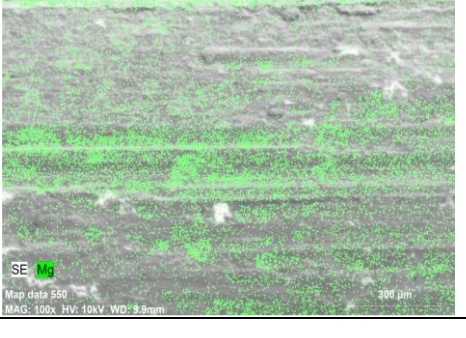
Al7075/AZ91 ve Al7075/ZA62 bimetal kompozitlerin çekirdek bileşeni olan magnezyum alaşımlarının yüzey haritalarına bakıldığında, kovan malzeme Al7075'ten Al partiküllerinin çekirdek malzemenin üzerinde görülmesi iyi bir yapışma mukavemeti olduğunu göstermektedir. Al7075/ZA62 bimetal kompozit malzemesinin Al7075 ve ZA62 alaşımları içinde yüksek oranda bulunan çinko elementi ile alaşımlar arasında güçlü bağ oluştuğu düşünülmektedir. ZA62 alaşımı AZ91 alaşımından daha

az alüminyum içermesine rağmen Şekil 4.35'te yüzey haritasında alüminyumca AZ91'den daha zengin gözükmesi Al7075 alaşımından çekirdek malzemeye alüminyumun yapıştığını ve alüminyumdan parçalar koparak ZA62'nin üzerinde kaldığı görülmektedir.

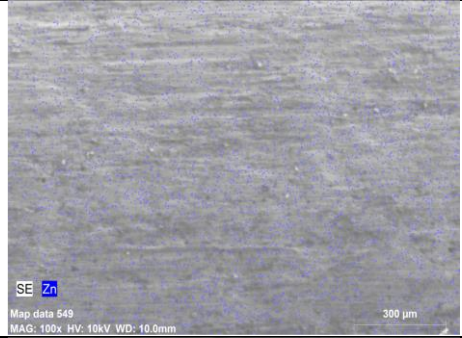


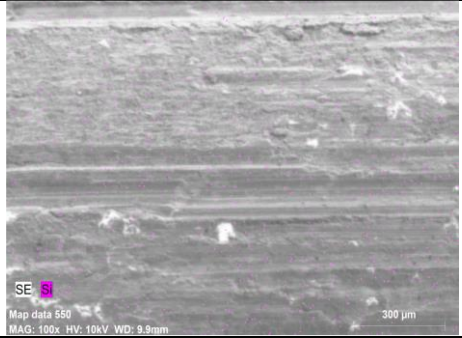
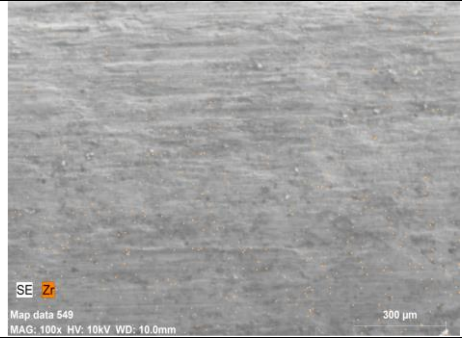
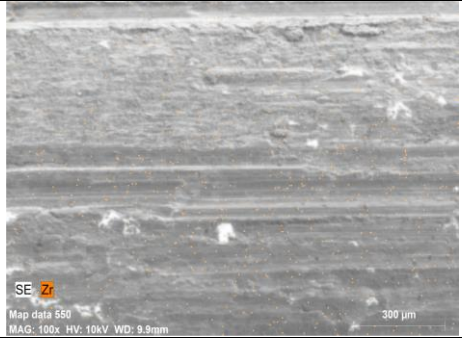

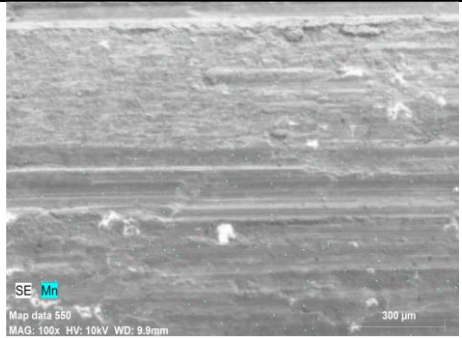
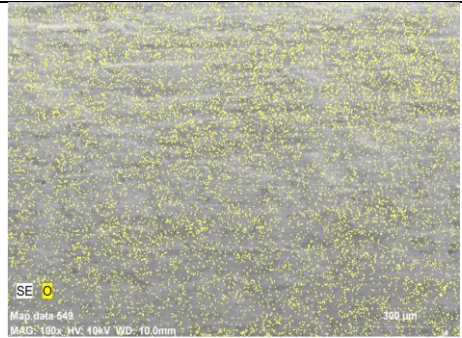
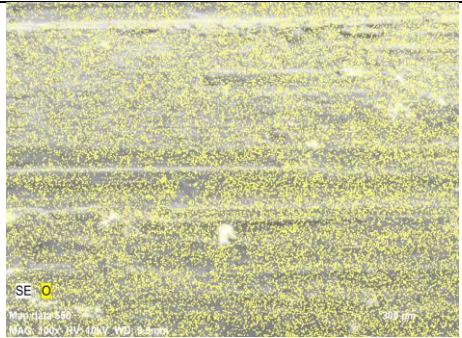


Şekil 4.36. Al7075/ZK60 ve Al7075/ZK61 bimetal kompozit malzemelerin puh-out testi sonrası çekirdek malzemenin yüzey SEM görüntüleri.

Al7075/ZK60 ve Al7075/ZK61 bimetal kompozitlerin çekirdek malzemeleri olan magnezyum alaşımlarının SEM görüntüleri birbirine benzer görünüm sergilerken, ZK61'in yüzeyi ZK60'a kıyasla bir miktar daha pürüzlü ve yivli olduğu (Şekil 4.16) görülmüştür. Bu durum ise Al7075 kalite kovan malzeme ile ZK61 kalite çekirdek malzemenin birbirine daha iyi yapıştığını ve tutunduğunu göstermektedir. ZK60 alaşımının ise push out testi sonrası yüzeyinin daha pürüzsüz bir yapıya sahip olması Al7075 ile ZK60 alaşımı arasındaki tutunmayı zorlaştırmış ve yapışma mukavemetinin daha düşük çıkmasına sebebiyet vermiştir.

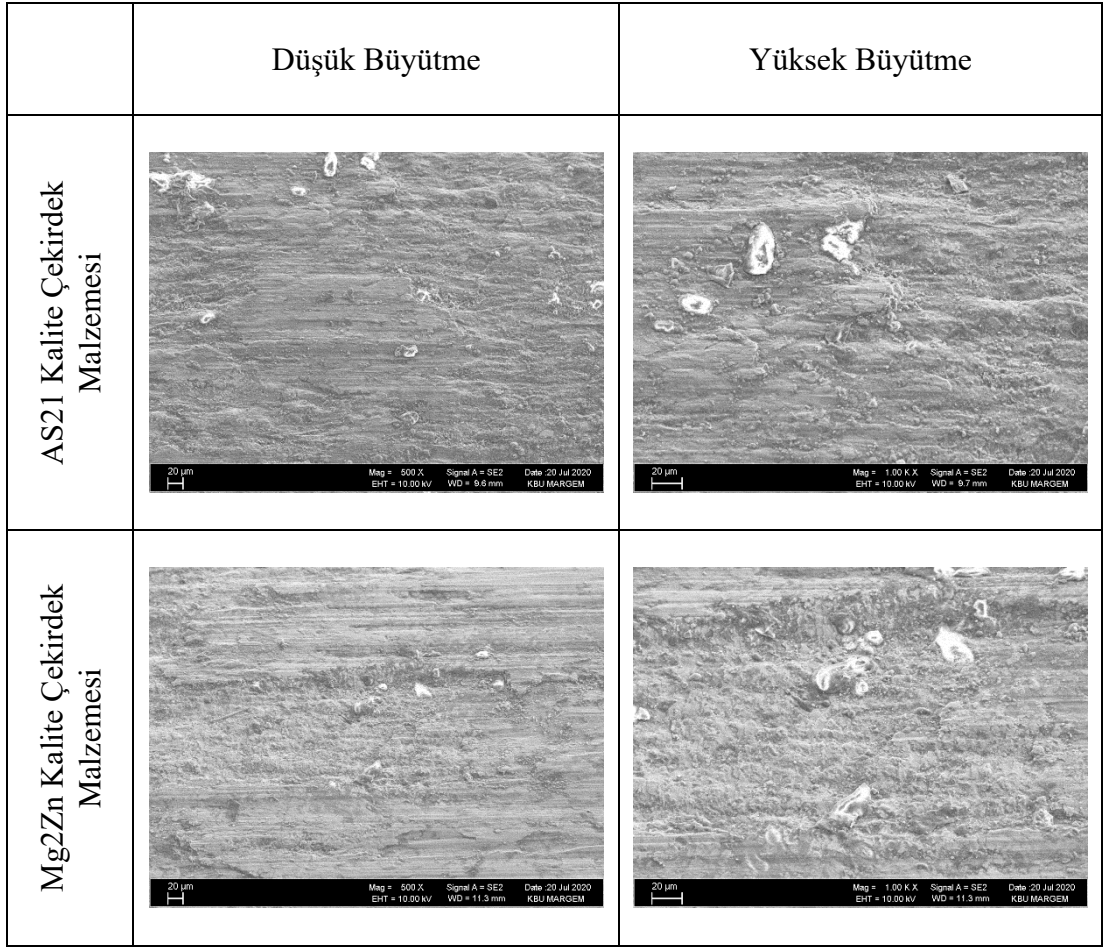
	ZK60 Kalite Çekirdek Malzeme	ZK61 Kalite Çekirdek Malzeme
SEM Görüntüsü		
Toplu Elementel Yüzey Haritası		
Al Yüzey Haritası		
Mg Yüzey Haritası		

Şekil 4.37. Al7075/ZK60 ve Al7075/ZK61 bimetel kompozit malzemelerin Push out testi sonrası çekirdek malzemelerin yüzeyinden alınan EDS nokta analizleri.

Zn Yüzey Haritası		
Si Yüzey Haritası		
Zr Yüzey Haritası		
Mn Yüzey Haritası		
O Yüzey Haritası		

Şekil 4.37. (devam ediyor).

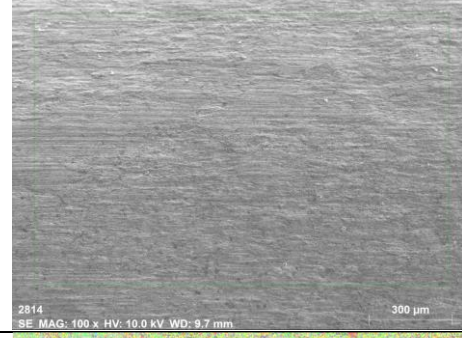
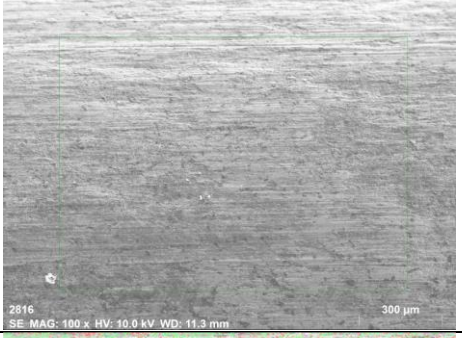


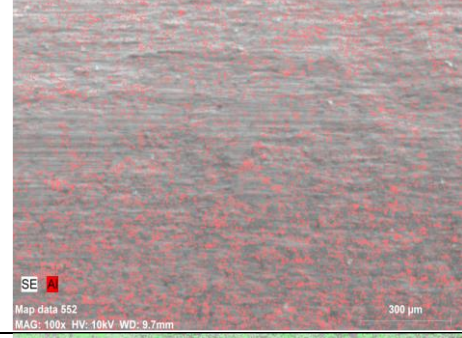
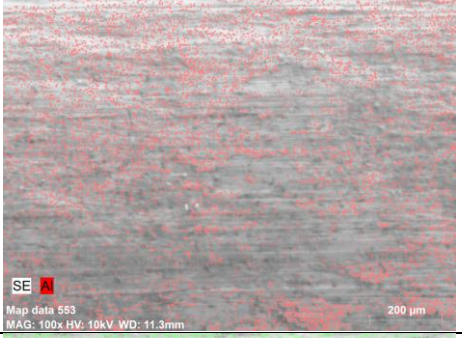
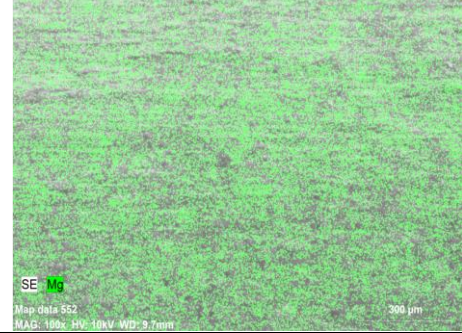
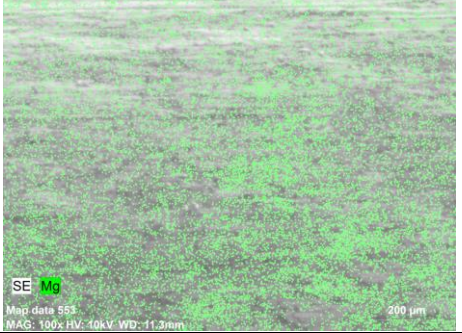
ZK60 ve ZK61 alaşımlarının yüzey haritaları görüntülerine (Şekil 2.37) baktığımızda ise alüminyum elementinin ZK61 alaşımı üzerinde daha yoğun olması kovan malzemedan ZK61 alaşımının yüzeyinde alüminyum kaldığını ve Al7075/ZK61 bimetal kompozit malzemenin yapışma mukavemetinin Al7075/ZK60 bimetal kompozit malzemesine kıyasla daha iyi olduğunu gösterir niteliktedir. Ayrıca ZK61 alaşımı yapısında bulunan Al_3Zr intermetalığı ve oksitlerde malzemenin yapışma mukavemetini iyileştirmiş ve ZK60'a kıyasla daha yüksek çıkmasına sebep olmuştur.





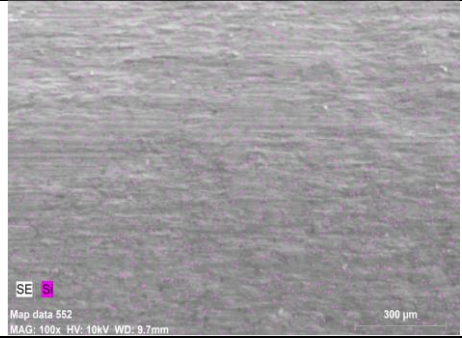



Şekil 4.38. Al7075/AS21 ve Al7075/Mg2Zn bimetal kompozit malzemelerin Push out testi sonrası çekirdek malzemenin yüzey SEM görüntüleri.

Şekil 4.38'de Al7075/AS21 ve Al7075/Mg2Zn bimetal kompozitlerinin çekirdek malzemelerinin SEM görüntülerine bakıldığında her iki alaşım elementinde yüzeyinde pürüzlükler olduğu görülmektedir. Bu pürüzlükler çekirdek malzeme olan magnezyum alaşımlarının Al7075 alaşımına daha iyi tutunmasını sağlarken, malzemelerin birbirine yapışma mukavemetinde arttırmaktadır. Şekil 4.38'de

Mg2Zn'nin görüntüsünde AS21 alaşımına kıyasla daha fazla olan pürüzlüklükler Mg2Zn'nin yapışma mukavemetinin daha yüksek olduğunu desteklemektedir.

	AS21 Kalite Çekirdek Malzeme	Mg2Zn Kalite Çekirdek Malzeme
SEM Görüntüsü		
Toplu Elementel Yüzey Haritası		
Al Yüzey Haritası		
Mg Yüzey Haritası		

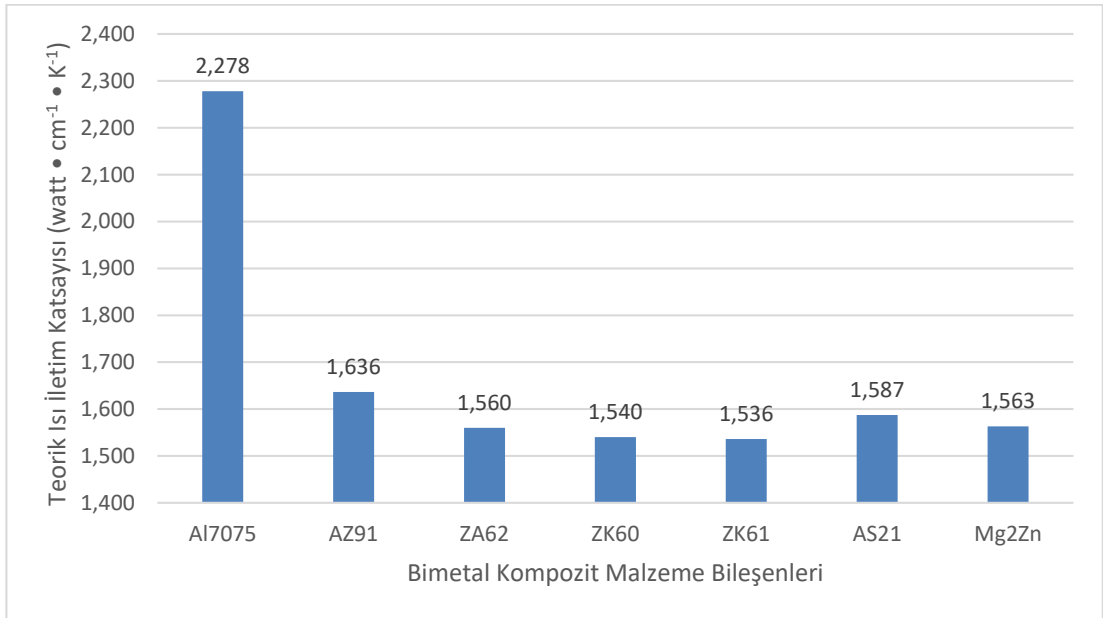
Şekil 4.39. Al7075/AS21 ve Al7075/Mg2Zn bimetel kompozit malzemelerin Push out testi sonrası çekirdek malzemelerin yüzeyinden alınan EDS nokta analizleri.

Mn Yüzey Haritası		
Si Yüzey Haritası		
Zn Yüzey Haritası		
O Yüzey Haritası		

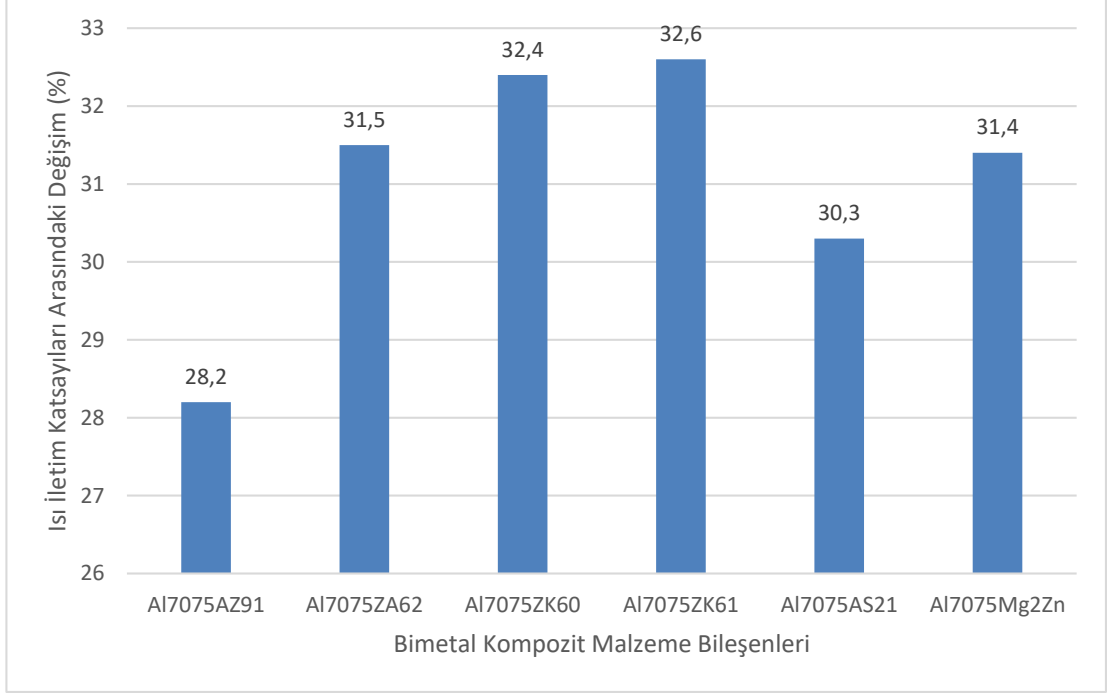
Şekil 4.39. (devam ediyor).

Şekil 4.39’da Al7075/AS21 ve Al7075/Mg2Zn bimetel kompozitlerinin çekirdek malzemelerinin EDS elementel harita analizine bakıldığında ise Mg2Zn alaşımı yüzeyine yayılan alüminyum elementinin AS21 alaşımından daha fazla olması Al7075/Mg2Zn bimetel kompozitinin yapışma mukavemetinin Al7075/AS21 bimetel kompozitinden daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Bimetal kompozit malzemelerde kullanılan alaşım elementleri kullanılarak, her bir alaşım bileşenin literatür [110,111] ısı iletim katsayıları ile çarpılmış ve bimetal kompozit malzemeyi oluşturan alaşımların teorik olarak ısı iletim katsayıları hesaplanmıştır. Teorik olarak hesaplanan magnezyum alaşımlarının ısı iletim katsayıları, kovan malzeme olan alüminyum 7075 alaşımına oranlanarak bimetal kompoziti oluşturan bileşenler arasındaki fark yüzde hesaplanmıştır. Bimetal kompoziti oluşturan bileşenler arasındaki % teorik ısı iletim katsayısı farkı arttıkça genel olarak bimetal kompozitin sahip olduğu maksimum kayma kuvveti düşmüştür.



şekil 4.40. Bimetal kompozit malzemelerde kullanılan alaşımların teorik ısı iletim katsayıları.

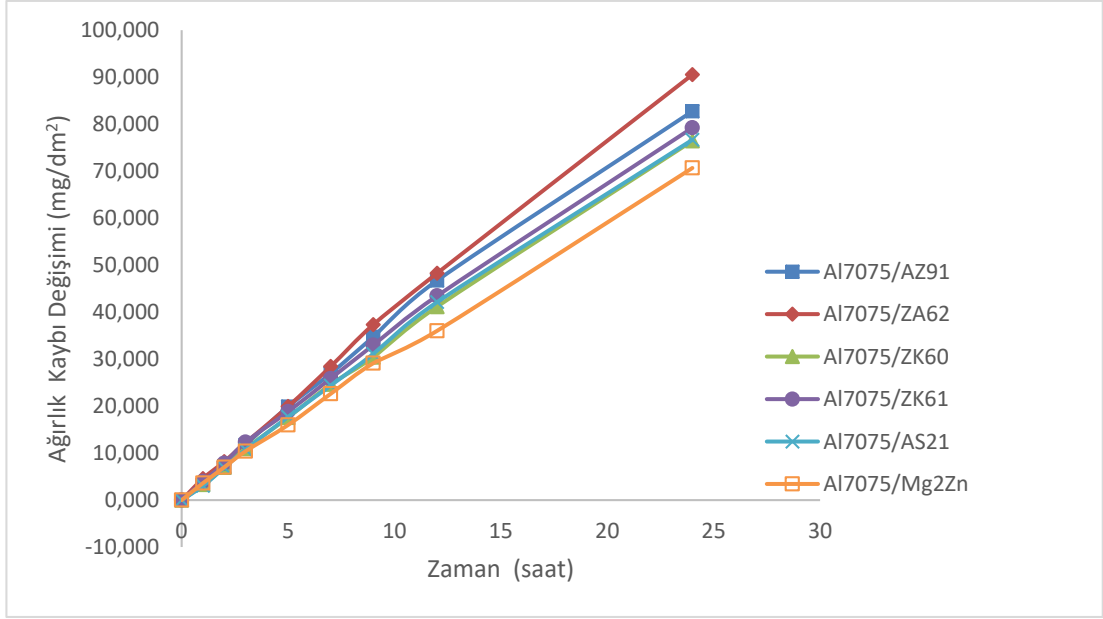


Şekil 4.41. Al7075 alaşımı ile Magnezyum alaşım bileşenlerinin ısı iletkenlikleri arasındaki farklar.

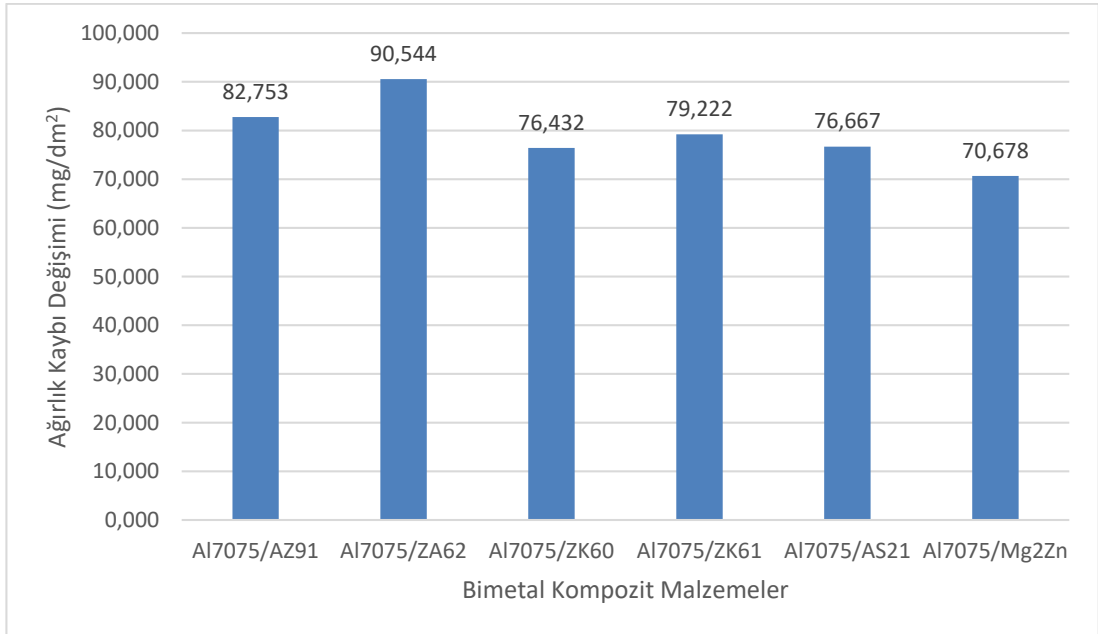
4.5. KOROZYON TESTİ SONUÇLARI

4.5.1. Daldırma Testi Sonuçları

Şekil 4.42' de Al7075/Mg alaşım bimetal kompozitlerin %3.5 NaCl çözelti içerisindeki daldırma korozyon testi sonuçları daldırma zamanına karşı ağırlık kaybı cinsinden verilmiştir. Şekil 4.42' de verilen Ağırlık kaybı-Zaman eğrilerinden 24 saatin sonundaki ağırlık kaybı değişimleri her bir bimetal kompozit için Şekil 4.43' de gösterilmiştir. Daldırma testlerinden elde edilen sonuçlar incelendiğinde Al7075/ZA62 kompozitinin en yüksek korozyon hızını sergileyerek, üretilen kompozitler içindeki en düşük korozyon performansına sahip (Şekil 4.43) kompozit malzeme olduğu görülmüştür. Buna rağmen en iyi korozyon direnci, düşük korozyon hızı ile Al7075/Mg2Zn kompoziti tarafından sergilenmiştir. İncelenen tüm bimetal kompozitler için korozyon dirençleri karşılaştırıldığında elde edilen sıralama büyükten küçüğe doğru şöyledir: Al7075/Mg2Zn > Al7075/ZK60 > Al7075/AS21 > Al7075/ZK61 > Al7075/AZ91 > Al7075/ZA62.



Şekil 4.42. Mg/Al bimetal kompozitlerin daldırma korozyon deneyi ağırlık kaybı grafikleri.

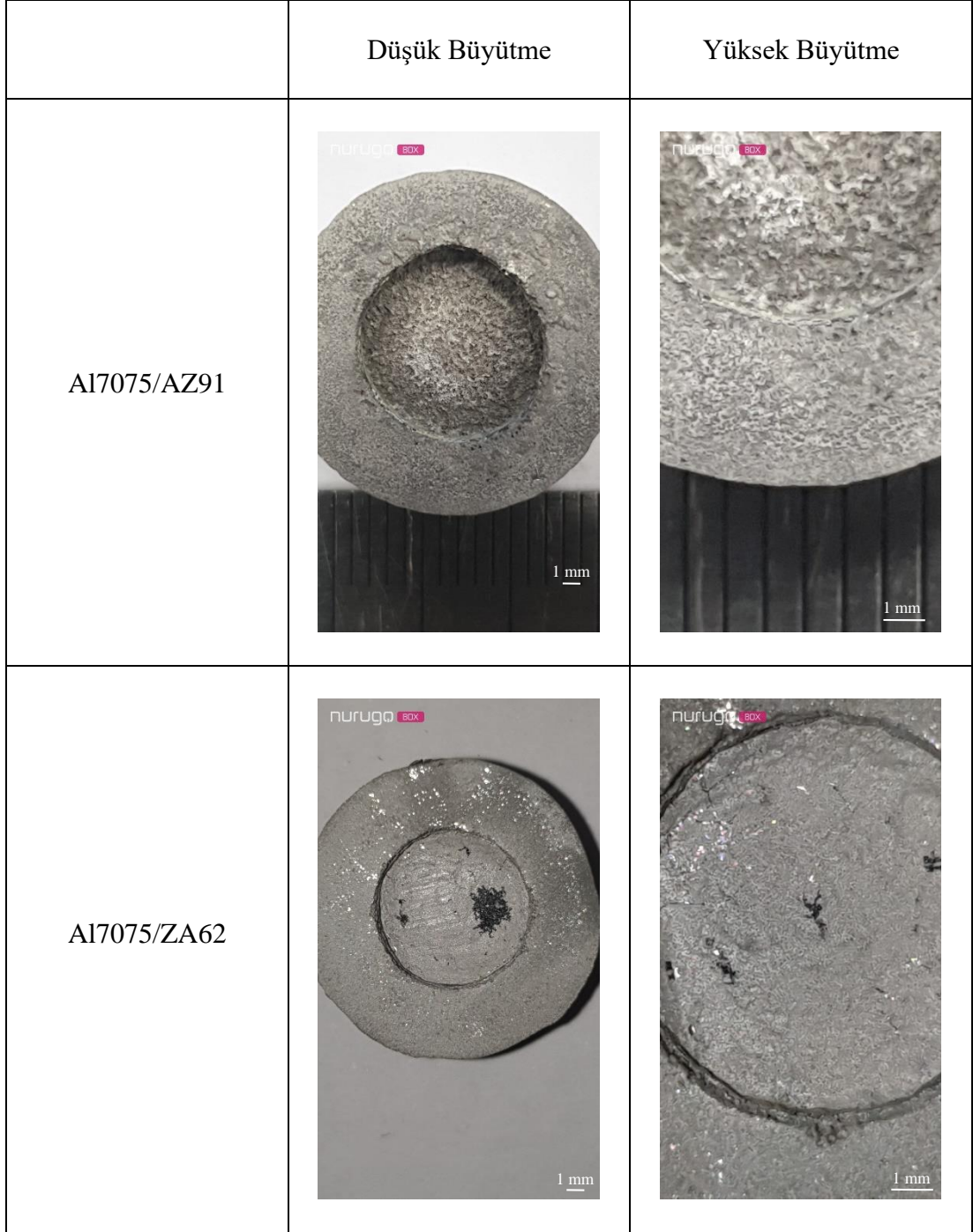


Şekil 4.43. 24 saat süre için daldırma korozyon deneyi sonundaki bimetal kompozitlerin ağırlık kaybı değişim değerleri.





Daldırma testleri sonrası temizlenen numunelerin görüntüleri de Şekil 4.44-4.46' da gösterilmiştir. Bu görüntülerde görüldüğü üzere iç kısımda bulunan çekirdek Mg alaşımı malzemelerin, dış kovan olan Al7075' e kıyasla, çok daha fazla korozyona uğradığı görülmektedir. Mg ve alaşımlarının genellikle yüksek derecede reaktif olduğu

ve -2.363 V'luk çok düşük standart elektrot potansiyeline (Mg/Mg^{2+}) ve korozyon potansiyeline E_{corr} (-1.6 V) sahip olduğu için çok düşük korozyon direnci gösterdiği bilinmektedir [112]. Galvanik atak genellikle Mg' ye normalde benzer olmayan metallerin ara yüzeyinde lokalize ağır bir atak olarak görülür. Alüminyumun Al/Al^{3+} reaksiyonu için standart elektrot potansiyeli -1.662 V ve korozyon potansiyeli -0.8-1.0 V arasındadır [113]. Bu sebeple bu iki metal arasında galvanik serideki potansiyel fark nedeniyle galvanik bağlantının oluşması mümkün olup korozyon hızında artış görülmesi büyük olasılıktır. Şekil 4.42-4.43' de görüldüğü üzere bütün kompozitlerde Al7075/Mg bimetal kompozitlerin ara yüzeylerinden ilerleyen güçlü korozyon ataklarının gerçekleştiği ve daha düşük potansiyele sahip olan Mg alaşımlarının çözünerek oyuk şekli oluşturduğu görülmüştür. Bu çalışmada kullanılan Al7075 ve farklı Mg alaşımları arasındaki potansiyel farkları arasındaki farklılıklar göz ardı edildiğinde kompozitlerin korozyon performanslarının kompozitlerin iç kısımlarında kullanılan farklı Mg alaşımlarının korozyon performansları ile orantılı olabileceği çıkarımı yapılabilir. Bu durumda Al7075/Mg2Zn kompozitinin iyi korozyon performans göstermesine sebep olarak Mg2Zn içerisinde mikrogalvanik etki yaratabilecek intermetalik fazlarının az olması ve alaşımdaki düşük miktardaki Zn ile birlikte yüzeyde oluşan koruyucu oksit tabakanın kararlılığının artması gösterilebilir. Liu ve arkadaşları [114] yapmış oldukları çalışmada Mg_2Zn_{11} ve $MgZn_2$ intermetalik fazlarının koruyucu film tabakasını desteklediğini savunmuşlardır. Bu çalışmada Al7075/Mg2Zn bimetal kompozitinin XRD paternlerinde görülen (Şekil 4.6) Mg_2Zn_{11} intermetalığının korozyona karşı oluşturulan film tabakasını desteklediği düşünülmektedir. Al7075/Mg2Zn kompozitindeki intermetalik miktarının az olduğu daha önce Şekil 4.6' da gösterilmiştir. Mg alaşımlarında genellikle artan alaşım elementi ilavesi ile daha fazla intermetalik oluşumu söz konusu olabilmektedir. Şekil 4.1' de gösterildiği gibi Al7075/ZA62 alaşımında farklı ikili ve üçlü intermetalik fazlar bulunmaktadır. Bu fazlar ayrıca Şekil 4.8' deki mikroyapı görüntülerinde de gösterilmiştir. Bu sebeple bu kompozitin düşük korozyon direncinin temel sebebi de yapıdaki bu çok sayıda oluşan intermetalik fazlardır. Üretilen bütün kompozitler genel olarak tartışılacak olursa yalnızca Zn içeren ve düşük Al içeren Mg alaşımlarının (Mg_2Zn , ZK60, AS21 ve ZK61) kullanıldığı kompozitlerin, AZ91 ve ZA62 alaşımlarının kullanıldığı kompozitlere kıyasla daha iyi korozyon direnci sergilediği görülmektedir. Buna sebep olarak Zn' nin oksit tabakasının kararlılığını arttırması ve


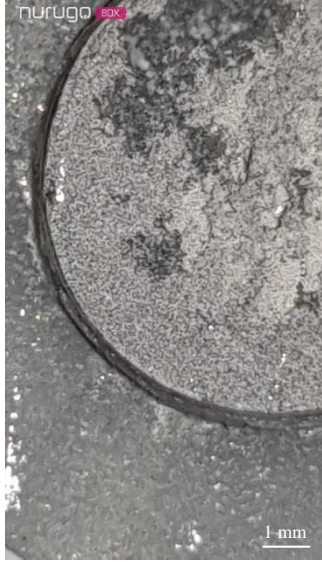


düşük mikrogalvanik etki yaratması gösterilebilir. Artan Zn ve Al ile birlikte gerçekleşen yüksek mikrogalvanik etki sonucunda yüksek korozyon hızlarının elde edildiği ve korozyon direncinde düşüş olduğu çıkarımı yapılmıştır.



Şekil 4.44. Daldırma korozyon deneyi sonrası Al7075/AZ91 ve Al7075/ZA62 bimetal kompozitlerin düşük ve yüksek büyütme görüntüleri.

	Düşük Büyütme	Yüksek Büyütme
Al7075/ZK60		
Al7075/ZK61		

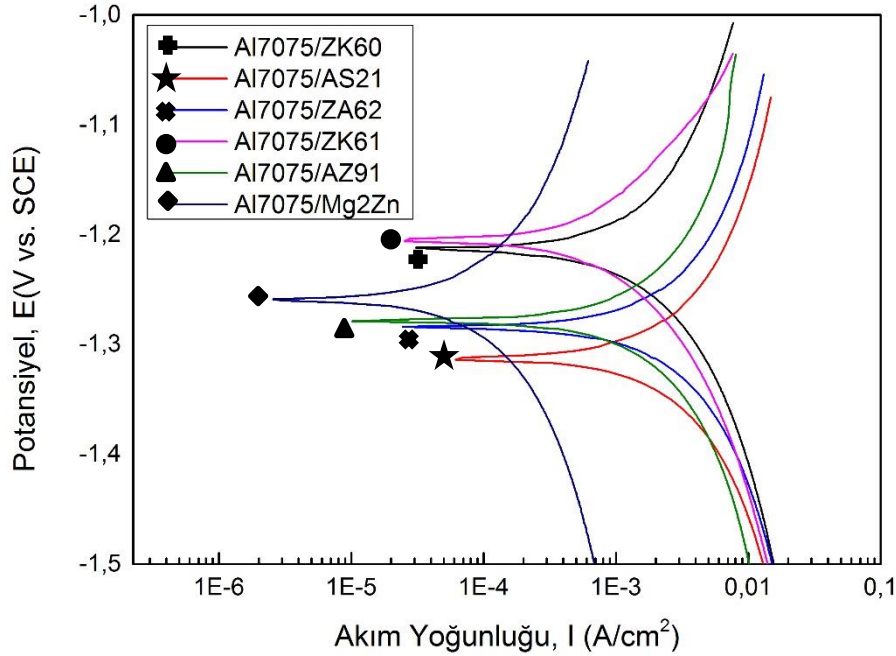
Şekil 4.45. Daldırma korozyon deneyi sonrası Al7075/ZK60 ve Al7075/ZK61 bimetal kompozitlerin düşük ve yüksek büyütme görüntüleri.

	Düşük Büyütme	Yüksek Büyütme
Al7075/AS21		
Al7075/Mg2Zn		

Şekil 4.46. Daldırma korozyon deneyi sonrası Al7075/AS21 ve Al7075/Mg2Zn bimetel kompozitlerin düşük ve yüksek büyütme görüntüleri.

4.5.2. Potansiyodinamik Polarizasyon Testi Sonuçları

Şekil 4.47’ de Al7075/Mg bimetel kompozitlerin potansiyodinamik polarizasyon eğrileri verilmiştir. Bu eğriler Tafel ekstrapolasyon yöntemi ile incelenmiş ve korozyon akım yoğunluğu (i_{corr}) ve korozyon potansiyeli (E_{corr}) değerleri grafik üzerinden çıkarılmıştır. Grafik üzerinden okunan A/dm² cindinden korozyon akım yoğunluğu ve Volt biriminde korozyon potansiyeli değerleri Çizelge 4.9.’da listelenmiş ve herbir bimetel kompozit için korozyon akım yoğunluğu ve potansiyeli bar çubuğu şeklinde Şekil 4.48’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.47. Mg/Al bimetel kompozitlerin potansiyodinamik polarizasyon eğrileri.

Tafel ekstrapolasyonu sonucunda elde edilen E_{corr} değerlerine bakıldığında potansiyellerde önemli değişiklikler görülmemesine rağmen incelenen bimetel kompozitler arasında Al7075/AS21 bimetel kompozitin düşük potansiyel değeri (yaklaşık - 1,31 V aralığında) sergilediği görülmüştür. Düşük E_{corr} (daha negatif) değerleri ve yüksek i_{corr} değerleri genellikle yüksek korozyon hızını ifade etmektedir. Bu çalışmada daldırma korozyon testine paralel olarak Al7075/ZA62 ve Al7075/AZ91 bimetel kompozitlerinin diğer kompozitlere göre daha düşük korozyon direncine sahip iken Al7075/Mg2Zn kompoziti ise yüksek bir korozyon direnci

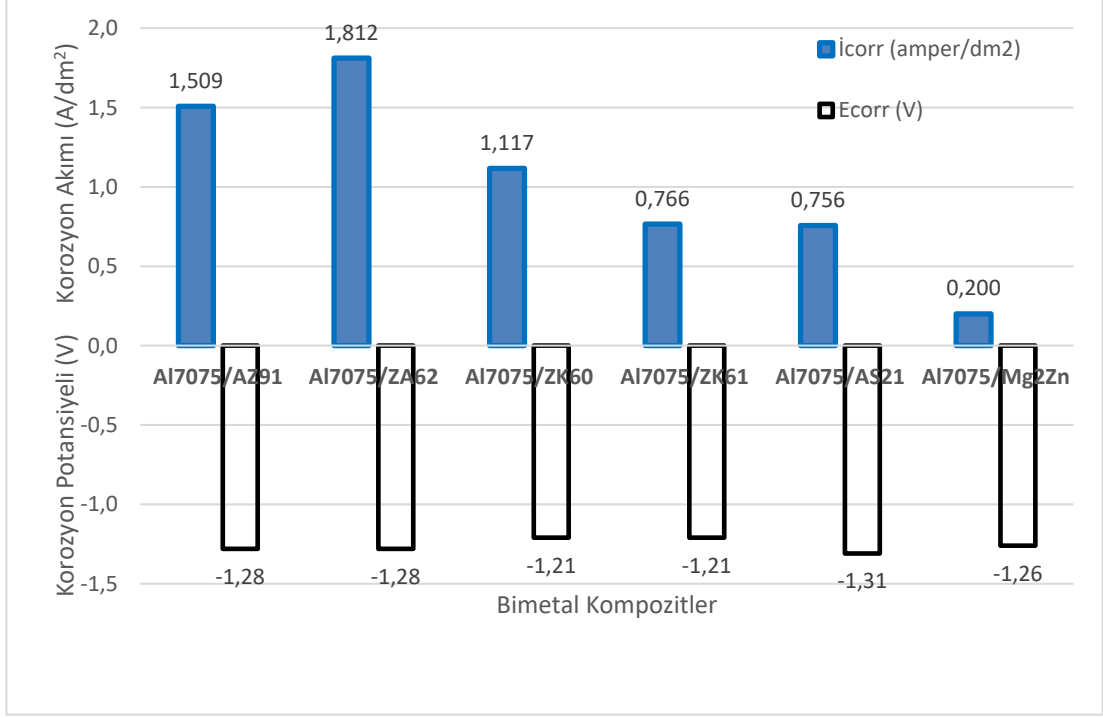
sergilediği görülmektedir. Korozyon akım yoğunluğu (i_{corr}) değerlerine göre korozyon dirençleri bütün bimetal kompozitler için karşılaştırıldığında elde edilen sıralama büyükten küçüğe doğru şöyledir: Al7075/Mg2Zn > Al7075/AS21 > Al7075/ZK61 > Al7075/ZK60 > Al7075/AZ91 > Al7075/ZA62.

Bu çalışmada Al7075/M2Zn bimetal kompozitin daha yüksek korozyon direnci sergilemesi, literature [114] uyumlu olarak yapısında bulunan Mg_2Zn_{11} intermetaliklerin daha az galvanik eşleşme oluşturmaları ve daha koruyucu oksit tabakası meydana getirmesinden kaynaklanmaktadır. İncelenen Al7075/ZA62 ve Al7075/AZ91 bimetal kompozitler, diğerleri ile karşılaştırıldığında daha düşük korozyon direnci göstermektedirler. Bu durum, Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de verilen XRD sonuçlarına göre bimetal kompozitlerin yapısında belirlenen Mn-Si, Mg-Zn ve Al-Mg ikili intermetaliklerin oluşumuna dayandırılabilir. Bu iki bimetal kompozitte bulunan sırasıyla %2 Al ve %9 Al içeriği, çekirdek olarak kullanılan ZA62 ve AZ91 alaşım bileşenlerinin korozyon hasarının artmasına yol açmıştır.

İncelene bimetal kompozitler arasında Al7075/AS21 ve Al7075/Mg2Zn bimetal kompozitlerinin korozyon direnci daha yüksek bulunmuştur. Özellikle Al7075/Mg2Zn bimetal kompozitinin en düşük korozyon hızı sergilemesi, içeriğinde bulunan Mg_2Zn_{11} intermetalikinin daha az galvanik eşleşme [114] meydana getirmesine dayandırılabilir.

Çizelge 4.9. Mg/Al bimetal kompozitlerin korozyon akım yoğunlukları ve potansiyel değerleri.




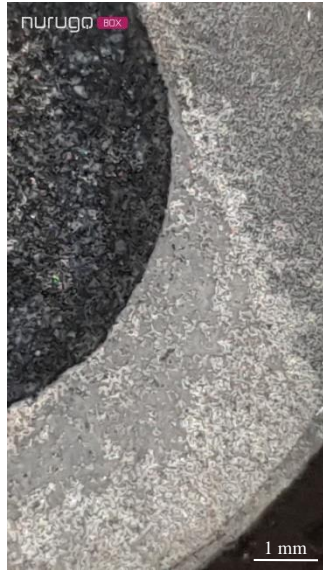
Al7075/Mg BMK	i_{corr} (A/dm ²)	E_{corr} (V)
Al7075/AZ91	1,509	-1,28
Al7075/ZA62	1,812	-1,28
Al7075/ZK60	1,117	-1,21
Al7075/ZK61	0,766	-1,21
Al7075/AS21	0,756	-1,31
Al7075/Mg2Zn	0,200	-1,26



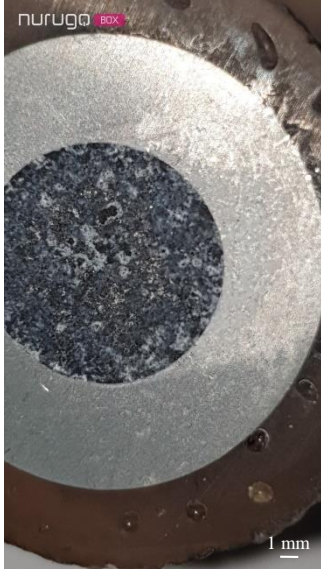



Şekil 4.48. Mg/Al bimetal kompozitlerin korozyon potansiyel değerleri ve korozyon akım yoğunlukları.

Daldırma korozyon testi sonuçları ile karşılaştırıldığında Al7075/ZK61 bimetal kompozit malzemenin korozyon hızı, Al7075/ZK60 bimetal kompozit malzemenin korozyon hızından daha düşük olarak elde edilmesi, yapıda bulunan Zr elementinin matrisi stabilize ederek korozyon direncinin iyileşmesindeki rolüne dayandırılabilir [115,116].

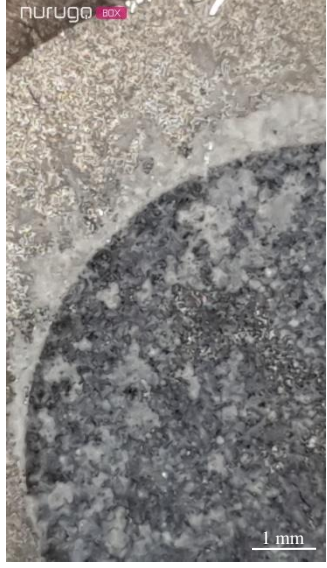

Şekil 4.49-4.51' de görüldüğü üzere elektrokimyasal deneyler sonucunda korozyona uğrayan Mg alaşımında korozyon hasarı, daldırmaya kıyasla çok daha az çözünme şeklinde görülmüştür.

	Düşük Büyütme	Yüksek Büyütme
Al7075/AZ91		
Al7075/ZA62		

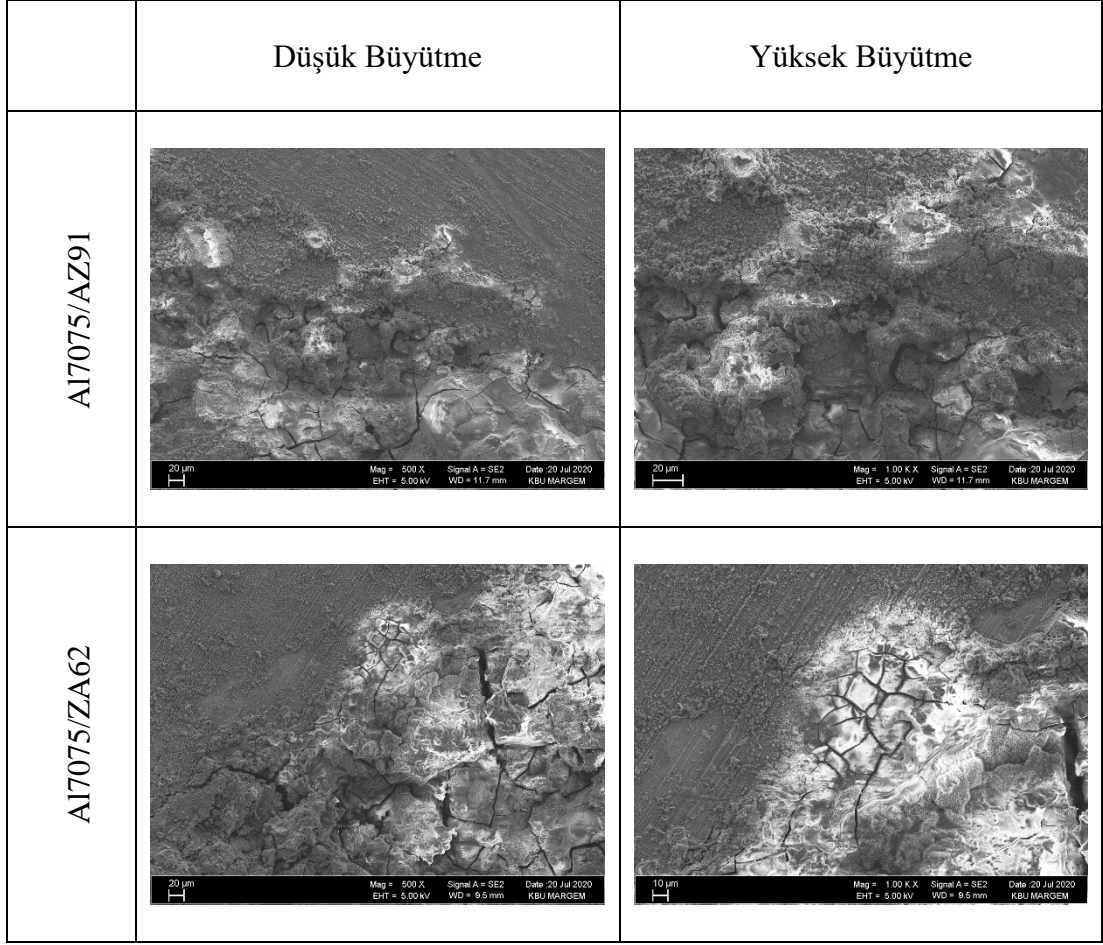
Şekil 4.49. Potansiyodinamik polarizasyon testi korozyon sonrası Al7075/AZ91 ve Al7075/ZA62 bimetal kompozitlerin düşük ve yüksek büyütme görüntüleri.

	Düşük Büyütme	Yüksek Büyütme
Al7075/ZK60		
Al7075/ZK61		

Şekil 4.50. Potansiyodinamik polarizasyon testi korozyon sonrası Al7075/ZK60 ve Al7075/ZK61 bimetal kompozitlerin düşük ve yüksek büyütme görüntüleri.

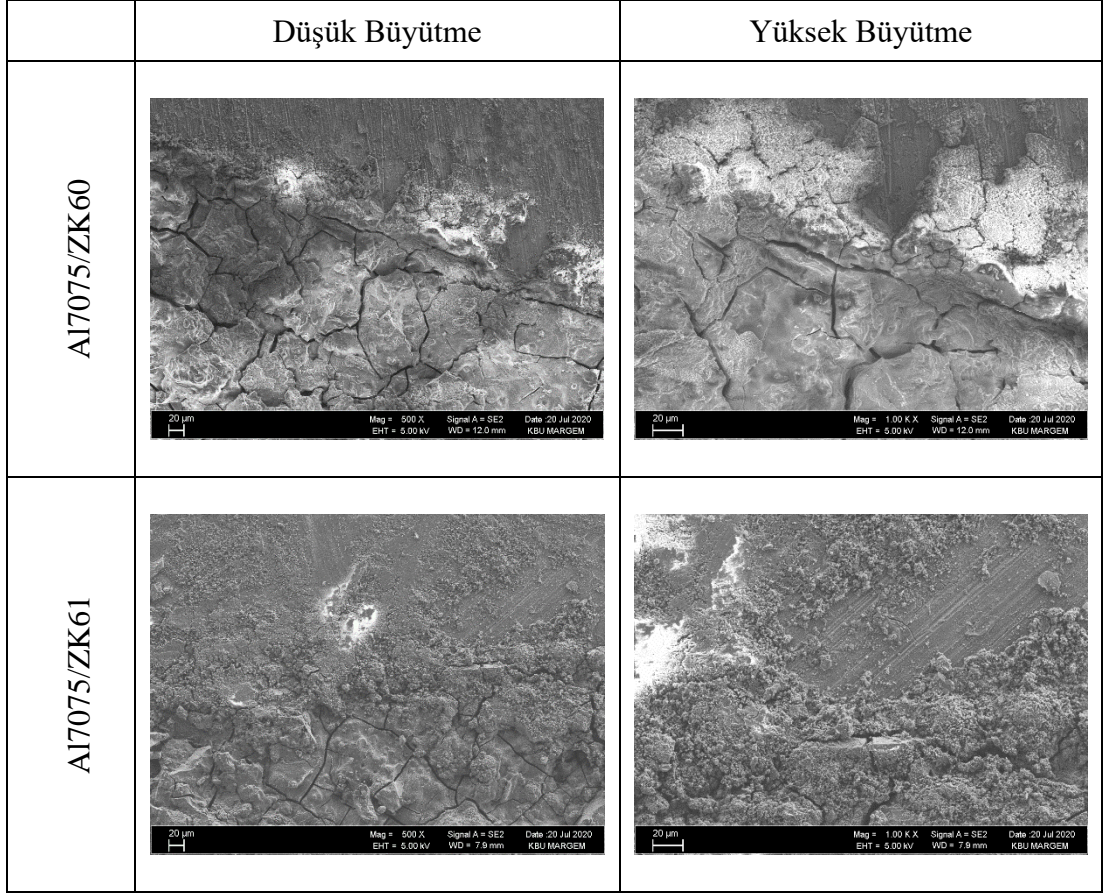
	Düşük Büyütme	Yüksek Büyütme
Al7075/AS21		
Al7075/Mg2Zn		

Şekil 4.51. Potansiyodinamik polarizasyon testi korozyon sonrası Al7075/AS21 ve Al7075/Mg2Zn bimetal kompozitlerin düşük ve yüksek büyütme görüntüleri.



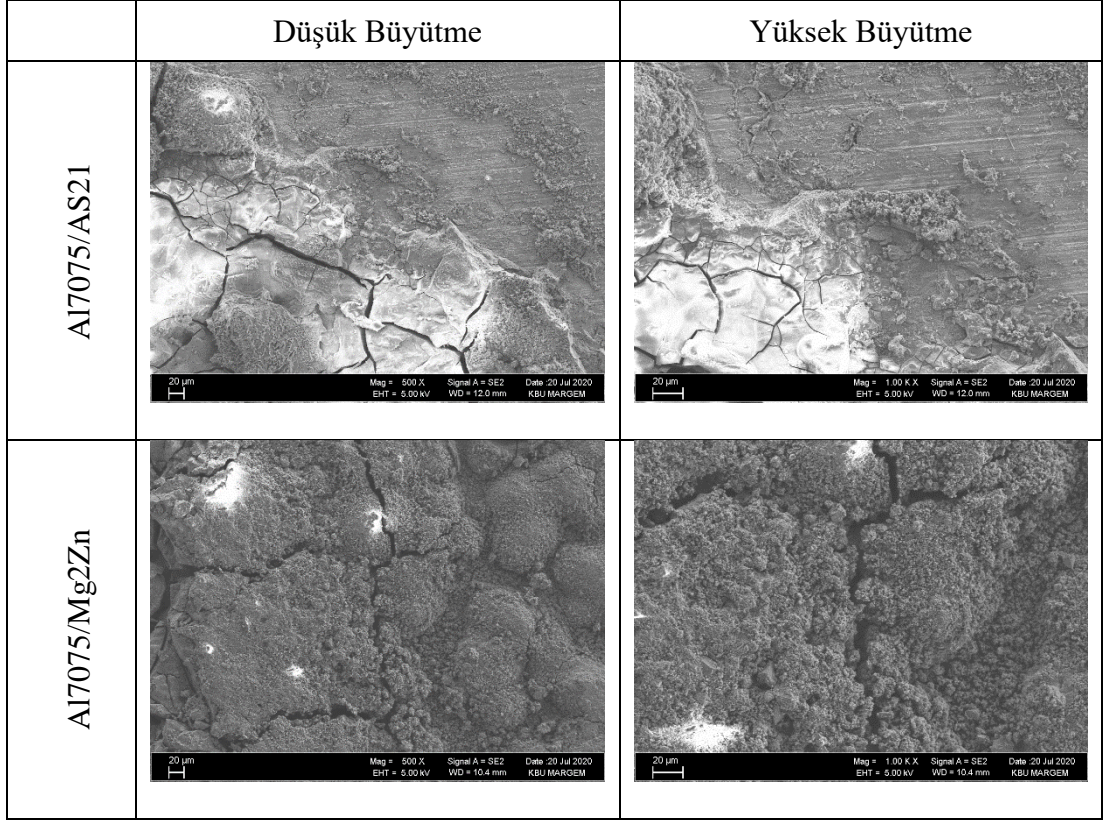
Şekil 4.52. Al7075/AZ91 ve Al7075/ZA62 bimetal kompozit malzemelerin korozyon testi sonrası korozyona uğramış yüzey SEM görüntüleri.

Potansiyodinamik korozyon testi sonrası SEM mikroskobu ile korozyon hasarı oluşum mekanizmasına bakıldığında Al7075/AZ91 bimetal kompozit malzemenin arayüzeyinde, Mg ve Al alaşım bileşeninde bulunan oksit film Şekil 4.52’de görüldüğü gibi yoğun çatlaklar içerdiğinden koruyucu özelliğini yitirmiştir. Al7075/ZA62 bimetal kompozit malzemenin potansiyodinamik korozyon testi sonrası SEM görüntülerimde ise korozyon çukurları ve çatlakların Al7075/AZ91 bimetal kompozit malzemeye kıyasla daha fazla olduğu Şekil 4.52’de görülmektedir. Hem Al7075/AZ91 hem de Al7075/ZA62 bimetal kompozitin çekirdek malzemesi olan AZ91 ve/veya ZA62 alaşımında meydana gelen oksit filmi kovan Al7075 alaşımı üzerinde meydana gelmemiştir. Al7075/ZA62 bimetal kompozit malzemenin içinde bulunan intermetalikler galvanik eşleşmeye sebep olarak bimetal kompozit malzemenin korozyon hızını arttırmıştır.



Şekil 4.53. Al7075/ZK60 ve Al7075/ZK61 bimetal kompozit malzemelerin korozyon testi sonrası korozyona uğramış yüzey SEM görüntüleri.

Al7075/ZK60 bimetal kompozit malzemesinin SEM incelemelerinde arayüzeyde ve Mg alaşımı bileşeninde görülen oksit filmi düz ve parlak olup bu oksit filminin daha yoğun ve belirgin çatlak içermesi koruyucu olma özelliğinin düşük olduğunu göstermektedir. Al7075/ZK61 bimetal kompozit malzemesinin SEM görüntüleri arayüzeyde ve Mg alaşımı bileşeni üzerinde daha az yoğunlukta ve süreksiz çatlak içeren oksit film oluşumunu göstermektedir.



Şekil 4.54. Al7075/AS21 ve Al7075/Mg2Zn bimetel kompozit malzemelerin korozyon testi sonrası korozyona uğramış yüzey SEM görüntüleri.

Al7075/AS21 bimetel kompozit malzemenin SEM görüntülerinde çatlak yoğunluğunun az olması ve korozyon direncinin Al7075/AZ91, Al7075/ZA62, Al7075/ZK60 ve Al7075/ZK61 bimetel kompozitlerden fazla olduğunu gösterir niteliktedir.

Al7075/Mg2Zn bimetel kompozit malzemenin SEM görüntülerinde görülen çatlak yoğunluğunun az olması ve gerek daldırma korozyon testinde en düşük ağırlık kaybını sergilemesi gerekse potansiyondinamik korozyon testinde düşük İcorr değeri, Al7075/Mg2Zn bimetelinin incelenen diğer bimetel kompozitlere kıyasla korozyon direnci yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ise XRD sonuçlarında Al7075/Mg2Zn bimetel kompozitlerde malzemenin yapısında bulunan Mg₂Zn₁₁ intermetalığının literatürcede [114] desteklenen koruyucu film tabakasını olumlu yönde etkilemesine dayandırılmaktadır.

Şekil 4.42’de verilen 24 saat süre için çizilen “ağırlık kaybı değişimleri-zaman” grafiğinin eğimi $\text{mg/dm}^2 \times \text{gün}$ (mdd) biriminde korozyon hızı değişimini vermekte olup incelenen malzemeler için Çizelge 4.10’ da verilmiştir. Çizelge 4.9’da verilen korozyon akım yoğunluğu verilerini kullanarak Faraday kanununa göre Denklem 4.1 yardımı ile mdd ($\text{mg/dm}^2 \times \text{day}$) cinsinden korozyon hızının belirlenmesi için öncelikle incelenen bimetal kompozitin molaritesinin hesaplanması gerekmektedir. Bimetal kompozit malzemelerin molariteleri, kompoziti oluşturan elementlerin ağırlıkça yüzdeleri oranında her bir elementin molariteye etkisini çıkararak bileşenler kuralına göre hesaplanmıştır.

$$mdd = \frac{M \times i}{n \times F} \times 86400 \text{s/gün} \quad (4.1)$$

Burada;

M: Elementlerin molaritesi

n: Valans electron numarası

F: Faraday sabiti yoğunluğu (C/mol)

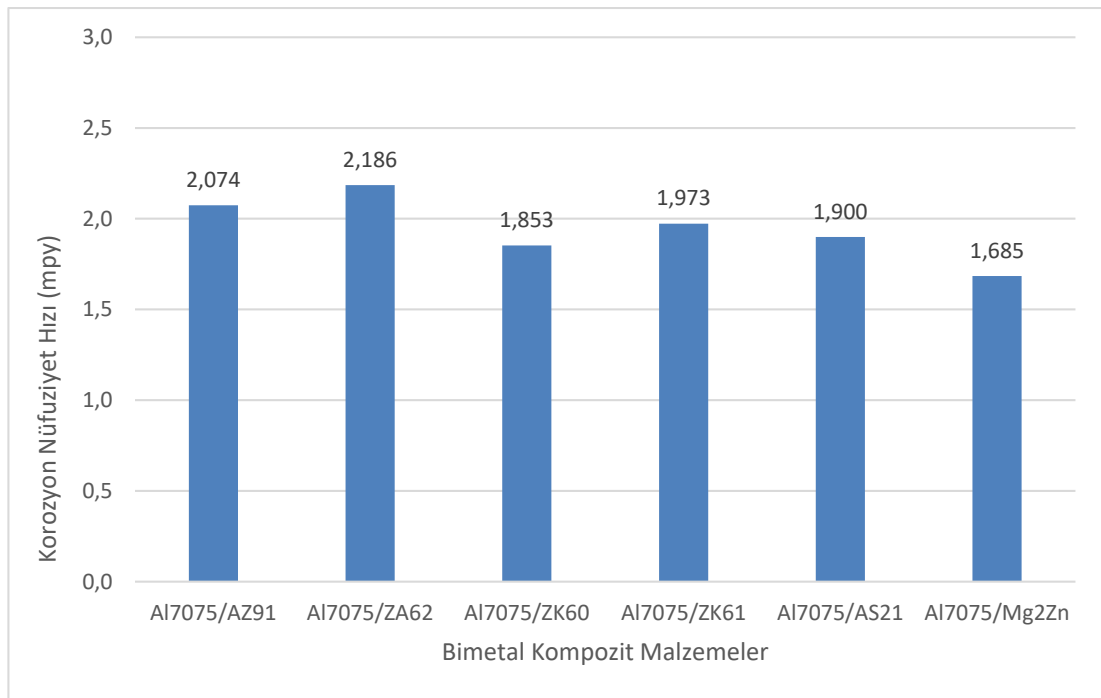
i: Korozyon akımı (A/dm^2)

Çizelge 4.10’da verilen mdd cinsinden korozyon hızı değerleri Denklem 4.2’de yerine yazılarak mpy cinsinden korozyon nüfuziyet hızları bulunmuş ve sırasıyla Şekil 4.55 ve Şekil 4.56’ da verilmiştir.

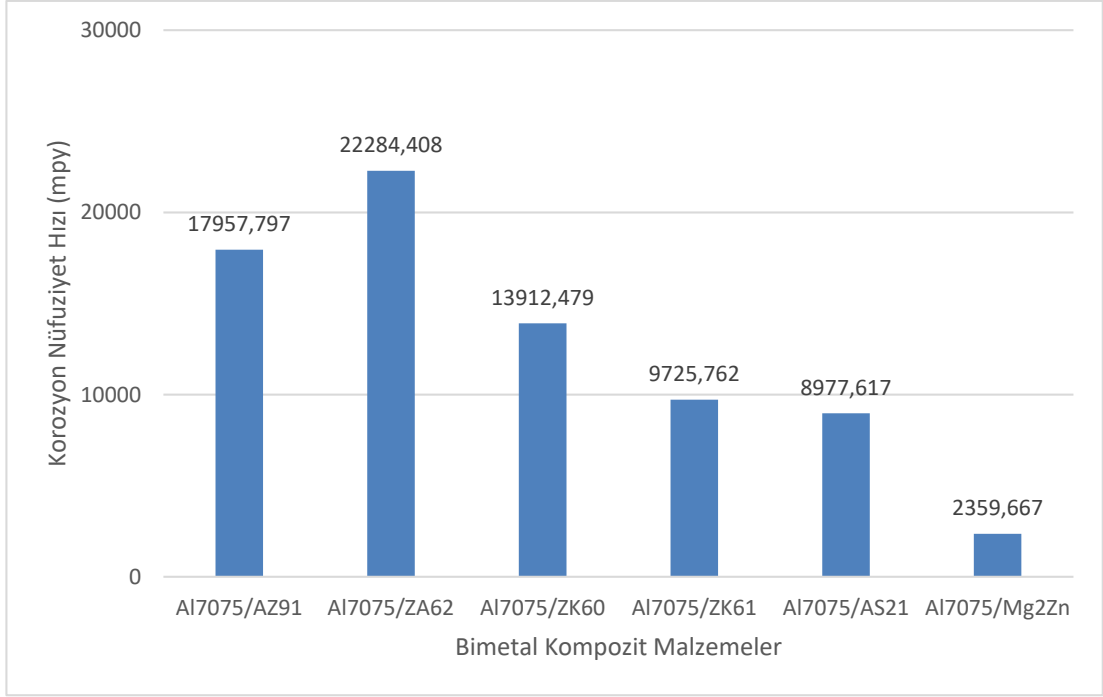
$$mpy = \frac{1,44 \times mdd}{\rho \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right)} \quad (4.2)$$

Çizelge 4.10. Bimetal kompozitlerin ağırlık kaybı ölçümü ve faraday kanuna göre mdd değerleri.

	mdd (Ağırlık Ölçümü Yöntemiyle) (mg/dm ² day)	mdd (Faraday Kanununa Göre Hesaplama) (mg/dm ² day)
Al7075/AZ91	3,600	31165,507
Al7075/ZA62	3,874	39499,114
Al7075/ZK60	3,275	24594,171
Al7075/ZK61	3,432	16918,774
Al7075/AS21	3,299	15591,129
Al7075/Mg2Zn	3,012	4219,216



Şekil 4.55. Al7075/Mg bimetal kompozitlerin ağırlık ölçümü yöntemine göre mpy sonuçları.



Şekil 4.56. Al7075/Mg bimetal kompozitlerin Faraday Kanunu yöntemine göre mpy sonuçları.

Çizelge 4.10' da verilen mdd sonuçlarından çıkarılan, Şekil 4.55 ve Şekil 4.56' da verilen daldırma korozyon testi sonuçlarına dayanan mpy değerleri, daha kısa sürede yapılan ve iyonların oluşumuna karşılık akım yoğunluğu ölçümüne dayanan potansiyodinamik polarizasyon testinde elde edilen mpy sonuçlar daha yüksek hesaplanmıştır. Daldırma korozyon testi sonuçları, korozyona maruz bırakılan numunenin yüzeyindeki oksit filmini daha etkin bir şekilde temizlenmesine dayanmaktadır. Bununla birlikte potansiyodinamik polarizasyon testinde korozyona maruz kalan numunenin yüzeyinde oksit filmi olmasına rağmen daha ince çukurların dibinde meydana gelen elektron transferi sonucu akım değeri ölçülebilmektedir. Bu durum potansiyodinamik polarizasyon testinden hesaplanan mpy değerinin daha yüksek çıkmasına yol açmıştır.

Bimetal kompozitleri gruplayarak inceleyecek olursak alüminyum ve çinko içeren grupta yer alan, Al7075/ZA62 bimetal kompozit malzemesi hem ağırlık ölçümü yöntemine göre hemde faraday kanunu yöntemine göre Al7075/AZ91 bimetal kompozit malzemesinden daha yüksek korozyon hızı sergilemiştir. Al7075/ZA62 bimetal kompozit malzemenin ağırlık ölçümü yöntemi ile belirlenen mpy sonuçlarına

göre diğer bimetel kompozitlerden daha yüksek hızda korozyona uğramasının sebebi içinde bulundurduğu fazla intermetaliklere bağlanırken, faraday kanuna göre hesaplanan mpy sonucu da bu görüşü desteklemektedir. Al7075/ZA62 bimetel kompozit malzemenin yapısında bulunan Mn_5Si_2 ve Al_3Mg_2 intermetalikleri Mg matrisi ile daha şiddetli bir galvanik eşleşme meydana getirdiğinden korozyon hızının artmasına yol açmıştır [115,117].

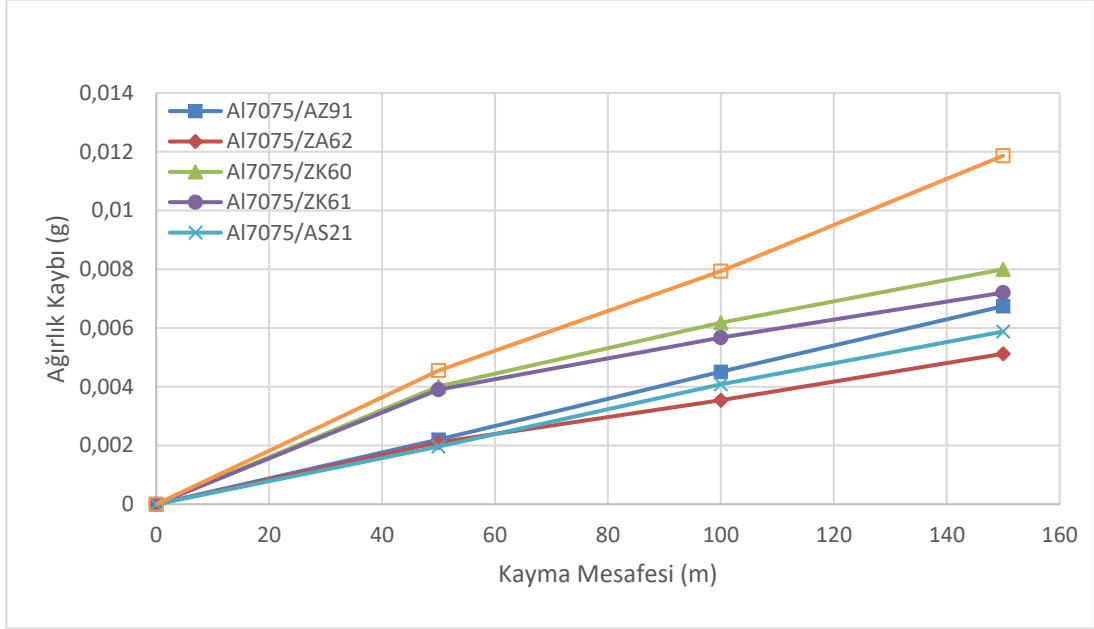
Al7075/AS21 bimetel kompoziti, Al7075/Mg2Zn bimetel kompozitinden daha yüksek korozyon hızı göstermektedir. Bunu sebebi ise Al7075/Mg2Zn bimetel kompoziti, Şekil 4.6' da verilen XRD sonuçlarına göre, Al7075/AS21 bimetel kompozitinden çok daha az miktarda intermetalik içerip Zn ile birlikte bimetel kompozitin magnezyum bileşeninde koruyucu oksit tabakanın kararlılığı arttığı ve Mg_2Zn_3 ve Mg_2Zn_{11} intermetaliklerinin oluşumu ile daha az galvanik eşleşme meydana geldiği söylenebilir [114]. Mg_2Zn_3 ve Mg_2Zn_{11} intermetaliklerinin oluşumu, Mn_5Si_2 intermetalığının zararlı [115,117] etkisini azalttığı düşünülmektedir.

Daldırma korozyon testinde Al7075/ZK61 bimetel kompozit malzemenin korozyon hızı Al7075/ZK60 bimetel kompozit malzemesininkinden daha yüksek iken, potansiyodinamik korozyon testinde Al7075/ZK61 bimetel kompozit, Al7075/ZK60 bimetel kompozite kıyasla korozyon hızı çok daha düşük çıkmıştır. Al7075/ZK61 bimetel kompozit malzeme içinde bulunan Al_3Zr intermetalığı kısa sürede gerçekleştirilen potansiyodinamik testinde malzemenin bileşiminde bulunan koruyucu film tabakasını desteklerken, deney süresi uzatıldığında bu film tabakasının etkisi zamanla azaldığı düşünülmektedir.

4.6. AŞINMA TESTİ SONUÇLARI

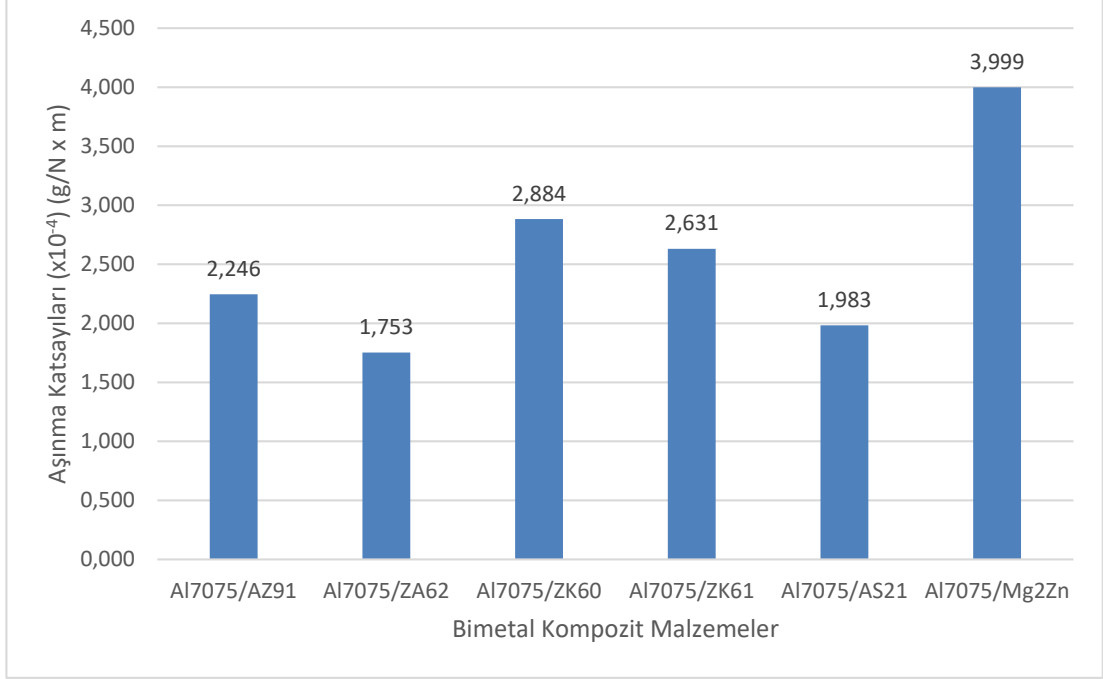
Şekil 4.57'de Al7075/Mg bimetel kompozitlerin aşınma deney sonuç grafiği verilmiştir. Şekil 4.57'de verilen "Ağırlık kaybı (g)-Kayma mesafesi (m)" grafiğinin eğrileri lineer olarak değişmektedir. Belirli bir kayma mesafesindeki aşınma test sonucu incelendiğinde Al7075/Mg2Zn bimetel kompozit en yüksek aşınma kaybı gösterirken en düşük aşınma kaybını Al7075/ZA62 bimetel kompozit sergilemiştir. Aşınma dirençleri incelenen bimetel kompozitler için karşılaştırıldığında büyükten

küçüğe doğru sıralama şöyledir: Al7075/ZA62 > Al7075/AS21 > Al7075/AZ91 > Al7075/ZK61 > Al7075/ZK60 > Al7075/Mg2Zn.



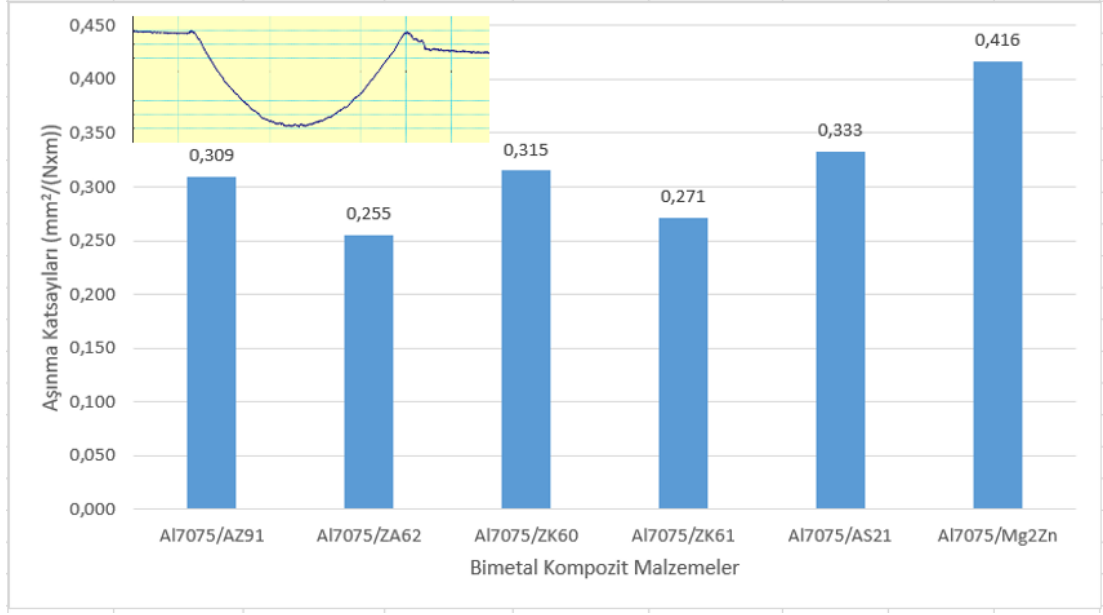
Şekil 4.57. Al7075/Mg bimetal kompozitlerin aşınma deneyi ağırlık kaybı sonuçları.

Şekil 4.57’de verilen “Ağırlık kaybı (g)-Kayma mesafesi (m)” eğrilerinin eğimi g/m cinsinden aşınma hızını vermekte olup bu çalışmada uygulanan yalnızca 20 N yük kullanılarak (g/(Nxm)) cinsinden aşınma katsayısı hesaplanmış ve incelenen kompozitler aşınma kat sayısına (Şekil 4.58) göre birbirleri ile karşılaştırılmıştır



Şekil 4.58. Al7075/Mg bimetal kompozitlerin (g/Nxm)) cinsinden aşınma katsayıları.

Bu çalışmada kullanılan aşınma test yöntemi, karşı malzeme olarak kullanılan 100Cr6 çelik bilyenin nelenen birmetal kompozitin üzerinde ileri-geri yönde sürtünmesidir. Bundan dolayıdırki aşınmış numune üzerinde elipsoit şekilde yarım daire kesitli bir yiv oluşmaktadır. Oluşan bu izin geometrisi, Mitutoya marka profilometre ile ölçülerek mm^2 cinsinden aşınma kaybı belirlenmektedir. Alan aşınma kaybı verilerini uygulanan yüke ve toplam kayma mesafesine oranladığımızda ($\text{mm}^2/(\text{Nxm})$) cinsinden aşınma katsayısı belirlenmiştir. Şekil 4.59’da verilen alan kabı cinsinden aşınma katsayısı değerleri, Şekil 4.58’deki verilere benzer eğilim göstermiştir.



Şekil 4.59. Al7075/Mg bimetal kompozitlerin (mm²/Nxm) cinsinden aşınma katsayılarının değişimi.

Al7075/ZA62 bimetal kompozit malzemesi, aşınma testinde diğer bimetallere kıyasla daha yüksek direnç göstermesinin sebebi, magnezyum bileşeni içinde bulunan %6 çinkodan dolayı Al7075 bileşeni ile oluşturduğu güçlü bağ (Şekil 4.31) olduğu düşünülmektedir. XRD incelemelerine (Şekil 4.2) bakıldığında ise Al7075/ZA62 bimetalinin arayüz sınırında bulunan Al₃Mg₂ intermetalikliği malzemenin aşınma direncini olumlu yönde etkilediği görülmektedir [118].

Bu çalışmada incelenen Al7075/AS21 bimetal malzemesinin, Al7075/ZA62 bimetal kompozit malzemesinden sonra yüksek aşınma direnci sergilemesi, bimetal kompozitin yapısında yer alan mangan, alüminyum ve silisyum elementleri yardımı ile oluşan Mn₅Si₂, Mn₅Si₃ ve Al₁₂Mg₁₇ [119,120] intermetaliklerden kaynaklandığı düşünülmektedir.





Al7075/AZ91 bimetal kompozitinin aşınma direnci, sertlik (Şekil 4.23) ve push-out (Şekil 4.29) test sonuçları ile orantılı çıkmıştır. Magnezyum bileşeni içinde bulunan %9 alüminyum bimetal kompozitin magnezyum bileşeninin mukavemetini arttırırken, %1 çinko ile arayüzeyde güçlü bağ oluşumunu, push-out testi sonrası çekilen makro fotoğraflardaki siyah bölgelerin yoğun olması (Şekil 4.31) desteklemektedir.

Al7075/ZK60 ve Al7075/ZK61 bimetal kompozitleri birbirine yakın aşınma dirençleri gösterirken Al7075/ZK61 bimetal kompozit malzemesinin magnezyum bileşeni içinde bulunan %1 Zr ile alüminyumun oluşturduğu XRD paternlerinde bulunan Al₃Zr intermetalığı Al7075/ZK61 bimetalinin Al7075/ZK60 bimetaline kıyasla daha dirençli hale getirmiştir.





İncelenen diğer bimetal kompozitlere kıyasla Al7075/Mg2Zn bimetal kompozitin aşınma direncinin düşük olması, bu bimetal kompozitin akma mukavemetinin düşük ve sünekliğinin yüksek almasından dolayı aşınma yüklemesi sırasında plastik deformasyon oluşumu ile aşınmanın gerçekleşmesine dayandırılabilir.

Şekil 4.60' da gösterilen aşınma deneyi sonrası aşınmış yüzey incelemelerinde Al7075/ZA62 bimetal malzemede aşınma izinin çok daha dalgalı olması, kolay bir plastik akışın olmadığını, malzemenin plastik deformasyon zorlanmasına maruz kaldığını gösterir niteliktedir. Deformasyon mekanizmasının zorlaşması malzemenin aşınmaya karşı direncini olumlu yönde etkilemiştir. Al7075/ZA62 bimetal kompozit malzemenin aşınmış yüzey görünümüne benzer davranış, Al7075/AS21 bimetal kompozit, Al7075/ZK61 bimetal kompozit ve Al7075/ZK60 bimetal kompozitte meydana gelmiştir. Buna dayanarak, Al7075/AS21 bimetal kompozitte yüksek aşınma direnci gözlenirken Al7075/ZK60 bimetal kompozitte diğerlerinden daha düşük aşınma direnci belirlenmiştir.




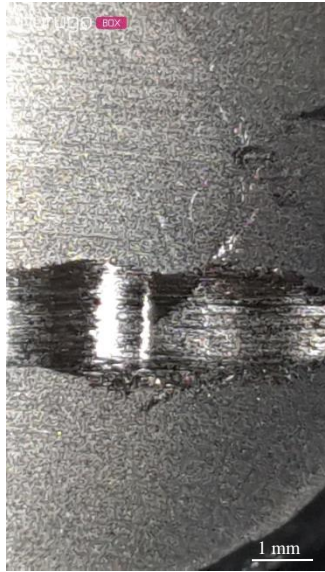
Al7075/AZ91 bimetal kompozitin aşınmış yüzey görünümünde çok az plastik akış ile birlikte abrasive aşınma izleri gözlenmektedir. Aşınma miktarı, incelenen diğer bimetal kompozitlerden daha yüksek olan Al7075/Mg2Zn kompozitin aşınmış yüzey görünümünde, diğer kompozitlerde meydana gelen plastik akış izlerinden daha az miktarda plastik akış izleri ve ayrıca adhesif aşınma mekanizmasının meydana geldiği gözlenmektedir. Bu durum, Al7075/Mg2Zn bimetal kompozitin aşınma miktarının artmasına yol açmıştır.

	Düşük Büyütme	Yüksek Büyütme
Al7075/AZ91		
Al7075/ZA62		

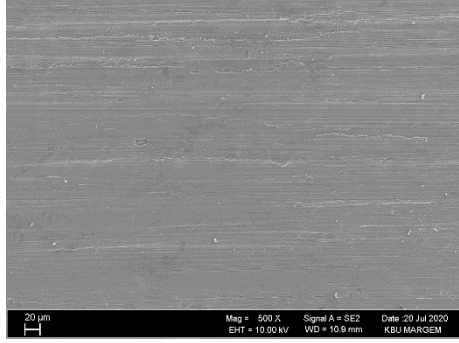
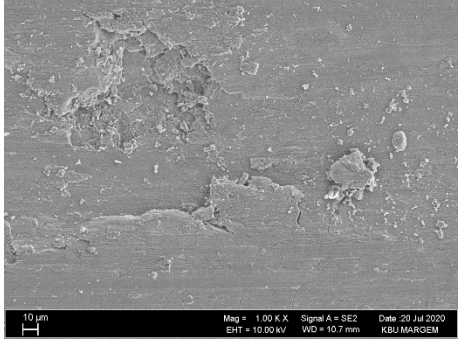
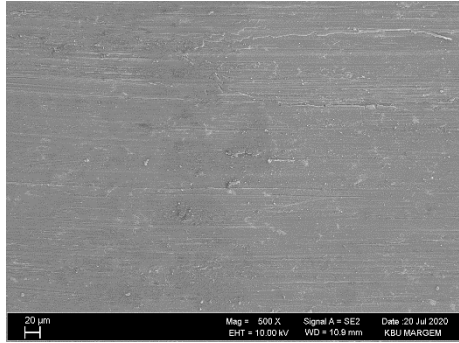
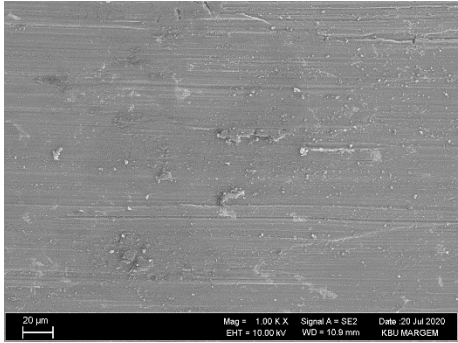
Şekil 4.60. Aşınma deneyi sonrası Al7075/AZ91 ve Al7075/ZA62 BMK'lerin aşınmış yüzeylerinin düşük ve yüksek büyütme görüntüleri.

	Düşük Büyütme	Yüksek Büyütme
Al7075/ZK60		
Al7075/ZK61		

Şekil 4.61. Aşınma deneyi sonrası Al7075/ZK60 ve Al7075/ZK61 BMK'lerin düşük ve yüksek büyütme görüntüleri.

	Düşük Büyütme	Yüksek Büyütme
Al7075/AS21		
Al7075/Mg2Zn		

Şekil 4.62. Aşınma deneyi sonrası Al7075/AS21 ve Al7075/Mg2Zn BMK'lerin aşınmış yüzeylerinin düşük ve yüksek büyütme görüntüleri.

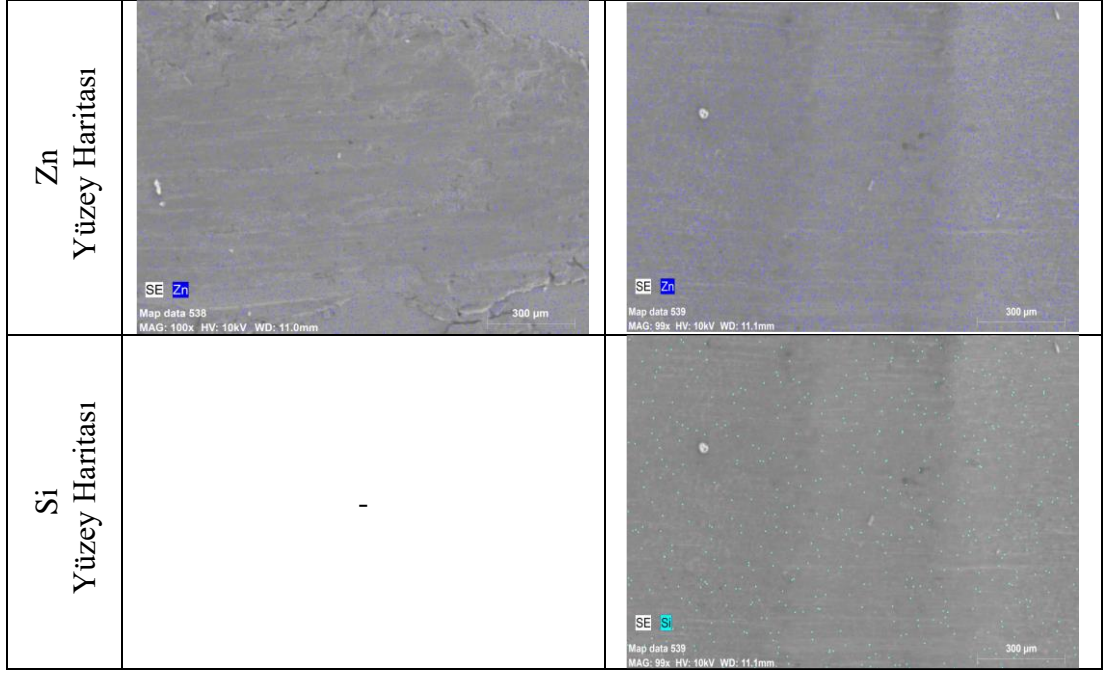
	Düşük Büyütme	Yüksek Büyütme
Al7075/AZ91		
Al7075/ZA62		

Şekil 4.63. Al7075/ AZ91 ve Al7075/ZA62 bimetal kompozit malzemelerin aşınma testi sonra kırık yüzey SEM görüntüleri.

Al7075/AZ91 ve Al7075/ZA62 bimetal kompozit malzemelerin aşınma testi sonrası aşınmış yüzey SEM incelemelerine bakıldığında, her iki bimetal kompozitinde aşınmasında adhesiv aşınma mekanizmasının hâkim olduğu görülmektedir. Al7075/AZ91 bimetal kompozit malzemenin SEM görüntülerine bakıldığında ise çekirdek malzeme olan magnezyum bileşenin içinde bulunan %9 alüminyum, magnezyum bileşenini sertleştirirken sünekliğini de bir miktar düşürmesinden (Şekil 4.25) dolayı Al7075/AZ91 bimetal kompozit malzemesinin aşınma mekanizmasında adhesiv aşınma ile birlikte abrasiv aşınma mekanizması da gözlenmiştir. Yüksek büyütmedeki SEM incelemeleri Al7075/AZ91 bimetal kompozit malzemesinin aşınmış yüzeyde parça kopmaları meydana gelmiştir. Al7075/ZA62 bimetal kompozit malzemelerin aşınmış yüzeylerinde oldukça pürüzsüz adhesif aşınma mekanizması gözlenirken parça kopması meydana gelmemiştir.

	Al7075/ AZ91	Al7075/ ZA62
SEM Görüntüsü		
Toplu Elementel Yüzey Haritası		
Al Yüzey Haritası		
Mg Yüzey Haritası		

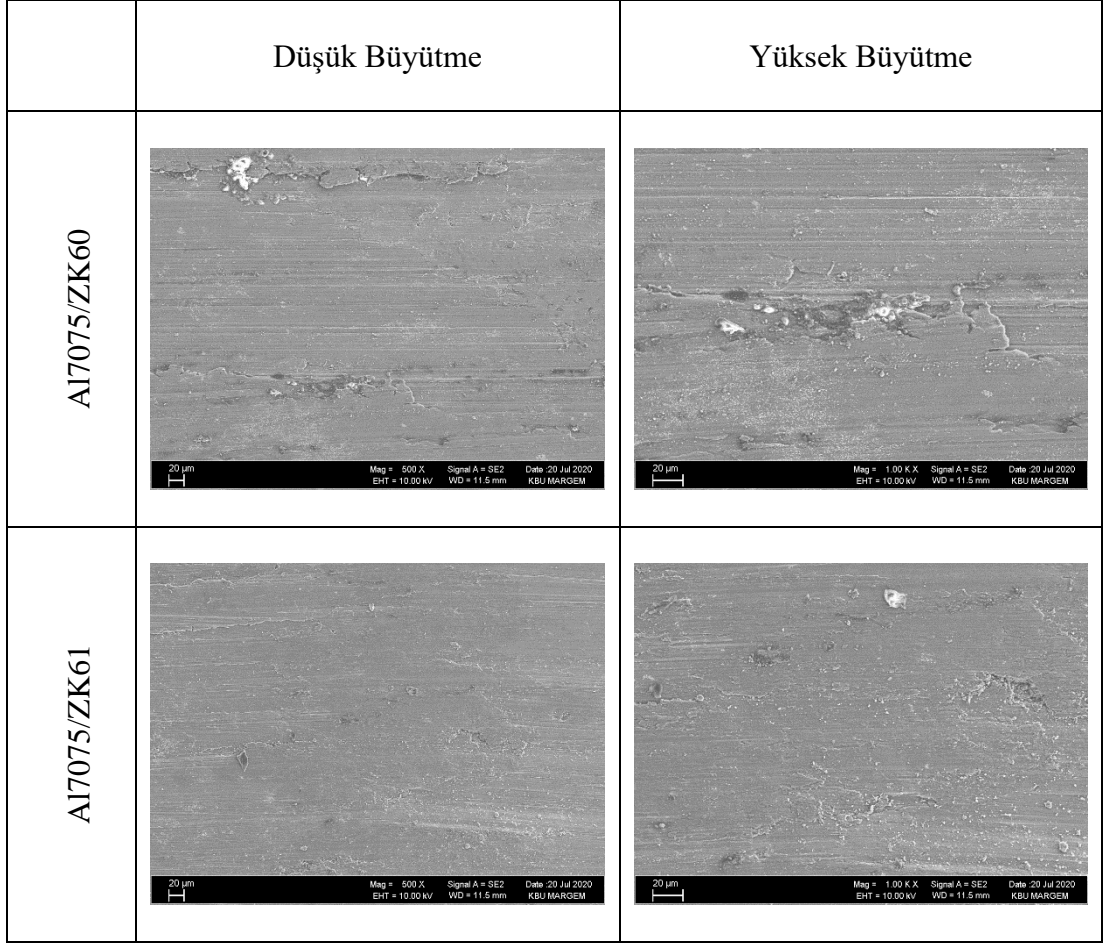
Şekil 4.64. Al7075/AZ91 ve Al7075/ZA62 bimetel kompozit malzemenin aşınma testi sonrası aşınmış yüzey EDS elementel harita analizi.



Şekil 4.64. (devam ediyor).

Al7075/ AZ91 bimetal kompozit malzemenin aşınma testi sonra aşınmış yüzey ve elementel harita analizlerinde adheziv aşınma ile birlikte aşınmış plaka şekilli parça kopması gözlenirken kopan parçaların Al ve Mg elementlerince zengin olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte aşınma izinin içinde Mg elementince zengin EDS nokta haritaları gözlenmekte olup aşınma sırasında aşındırıcı bilye tarafında çekirdek malzemesinin aşınma yüzeyine yapışması meydana gelmiştir.

Al7075/ ZA62 bimetal kompozit malzemenin aşınma testi sonra aşınmış yüzey EDS nokta harita analizlerinde ise EDS nokta haritaları büyükten küçüğe doğru Mg, Zn ve Al elementlerini içermektedir. Aşınma izinin içerisinde oluşan dalgalanma bölgelerinin üzerinde Al ve Zn spektrumları zenginleşmektedir. Bu durum Zolriasatein ve Khosroshahi [118] yazarları tarafından belirtildiği gibi aşınma direncinin artmasına Al_3Mg_2 intermetalığının katkısının yanısıra bu intermetalığe ilave olarak X-Ray incelemeleri sonucu bulunan Mg_2Zn_3 intermetalığı de aşınma direncinin iyileşmesine yol açmıştır.



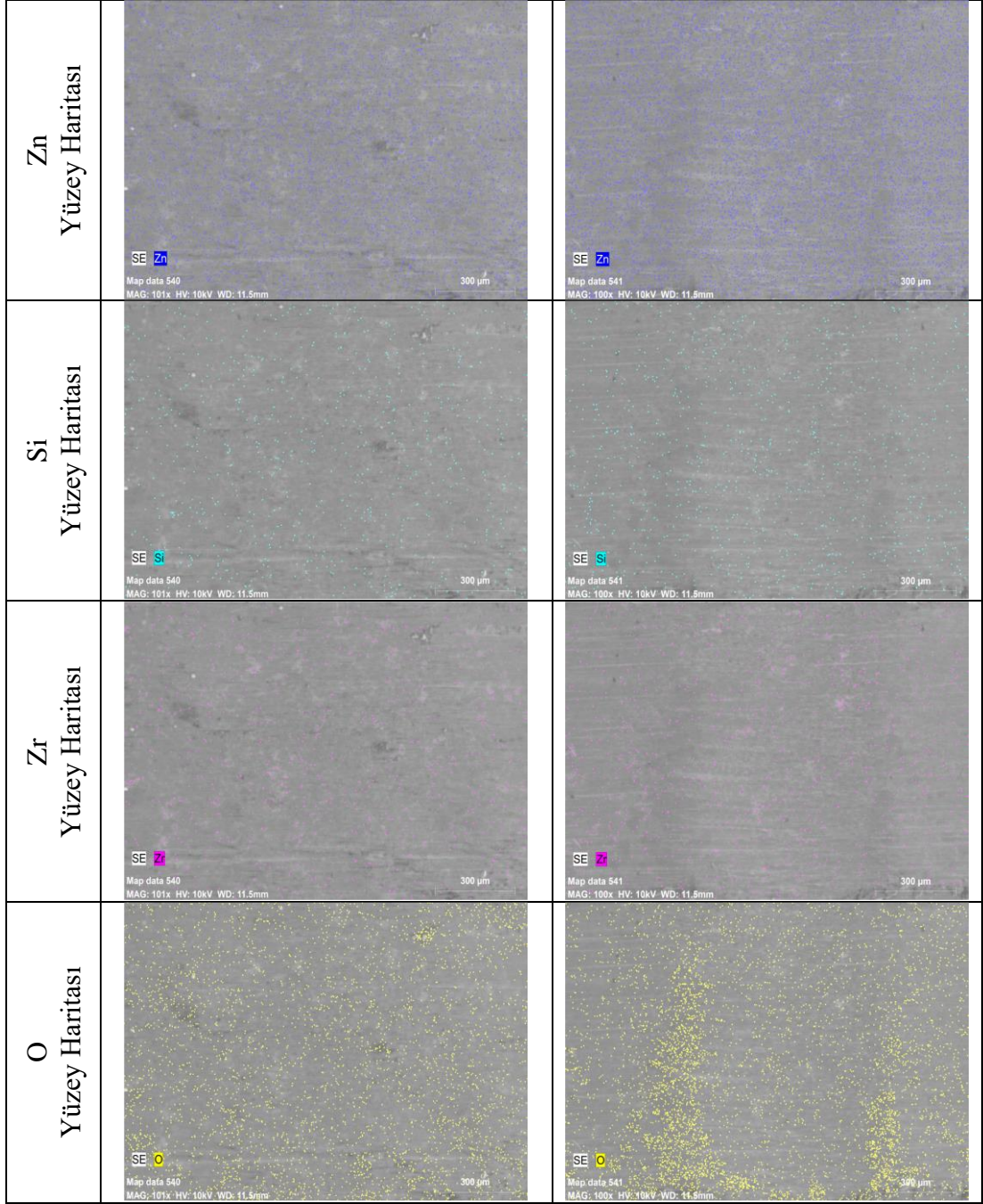
Şekil 4.65. Al7075/ZK60 ve Al7075/ZK61 bimetal kompozit malzemelerin aşınma testi sonrası aşınmış yüzey SEM görüntüleri.

Al7075/ZK61 bimetal kompozit malzemenin aşınma testi sonrası SEM görüntülerine baktığımızda adhesiv aşınma mekanizmasıyla aşınan yüzeylerden çıkan partiküllerin aşındırıcı bilya aracılığıyla tekrardan bimetal kompozit malzemenin yüzeyine sıvandığı görülmektedir.

Al7075/ZK60 bimetal kompozit malzemedede ise aşınan yüzeylerin SEM incelemesine bakıldığında ise Al7075/ZK61 bimetal kompozit malzemesi ile benzer davranış gösterirken Al7075/ZK61'den farklı olarak daha büyük ve daha fazla partikül koştugu SEM görüntülerinde de görülmektedir.

	Al7075/ZK60	Al7075/ZK61
SEM Görüntüsü		
Toplu Elementel Yüzey Haritası		
Al Yüzey Haritası		
Mg Yüzey Haritası		

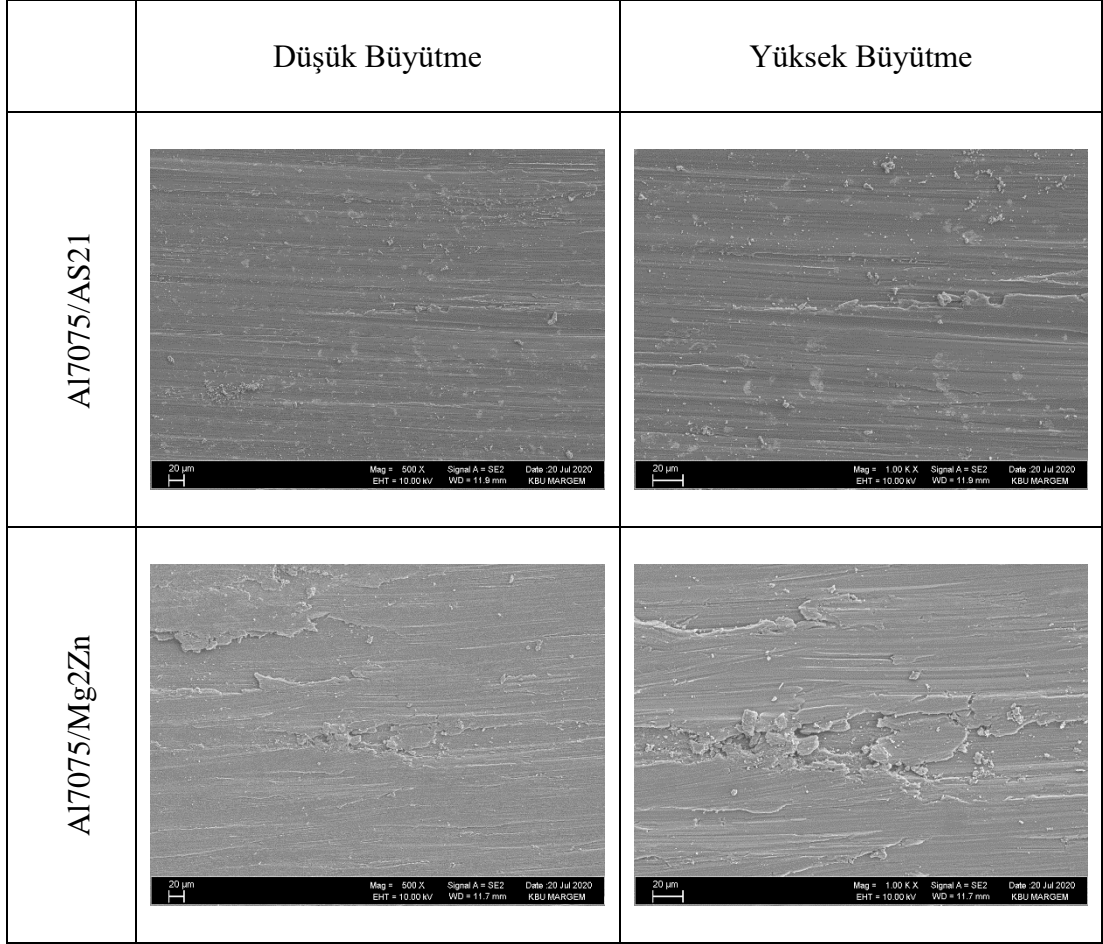
Şekil 4.66. Al7075/ZK60 ve Al7075/ZK61 bimetel kompozit malzemenin aşınma testi sonrası aşınmış yüzey EDS elementel harita analizi.



Şekil 4.66. (devam ediyor).

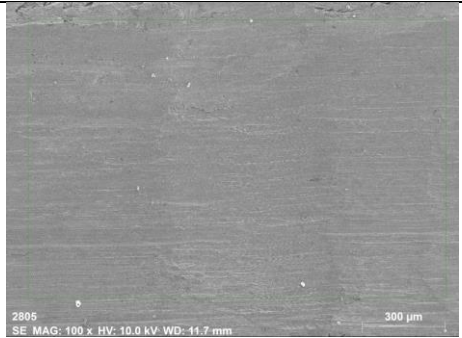
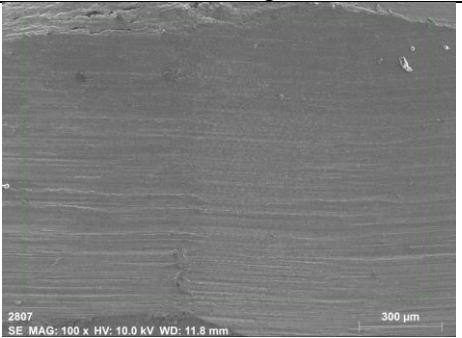
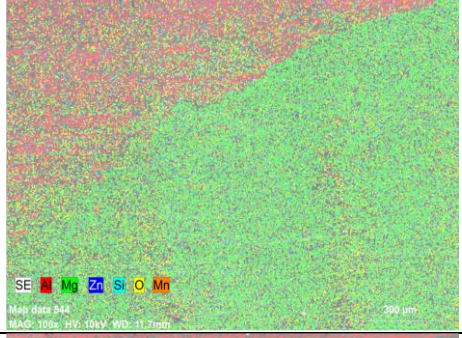
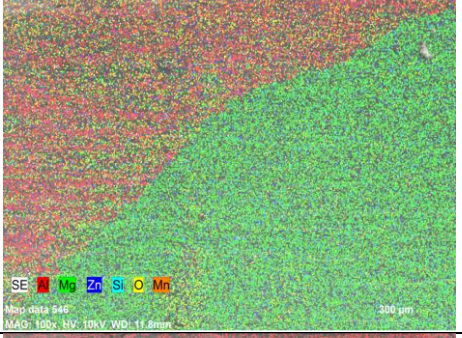
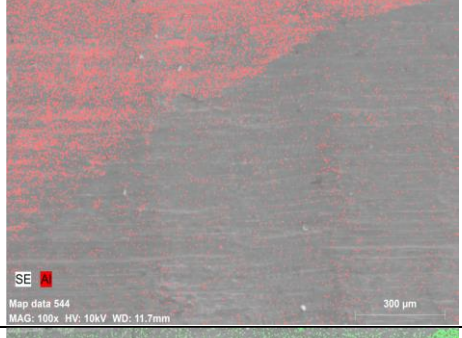
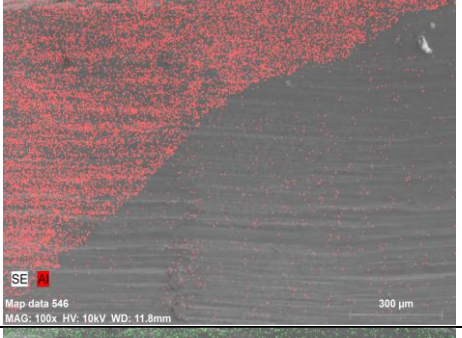
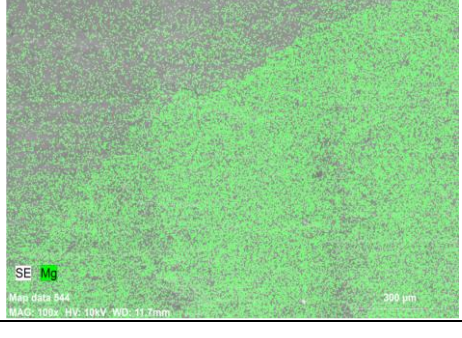
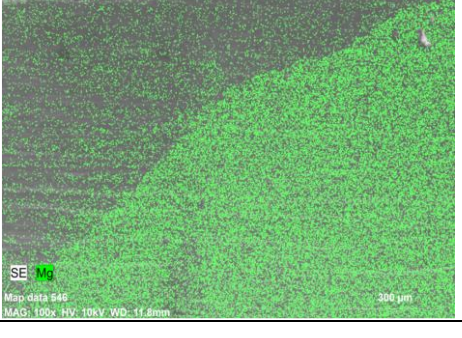
Al7075/ZK60 ve Al7075/ ZK61 bimetal kompozit malzemelerin aşınma testi sonrası aşınmış yüzey harita görüntüleri incelendiğinde pürüzsüz adhesif aşınma mekanizması gözlenmektedir. Bununla birlikte Al7075/ ZK61 bimetal kompozit malzemesinin aşınma yüzeyinden alınan EDS nokta haritaları dalgalanma bölgesinde Al, Mg ve oksijen spektrumları vermiştir. Bu, aşınma sırasında oksitlerin dalga oluşturarak aşınma direncinin artmasına neden olmuştur. Buna ilave olarak aşınma izi üzerinde Zr

elementince zengin noktaların olması arayüzeyde oluşan Al_3Zr intermetalığının aşınma davranışını iyileştirdiğini göstermektedir.

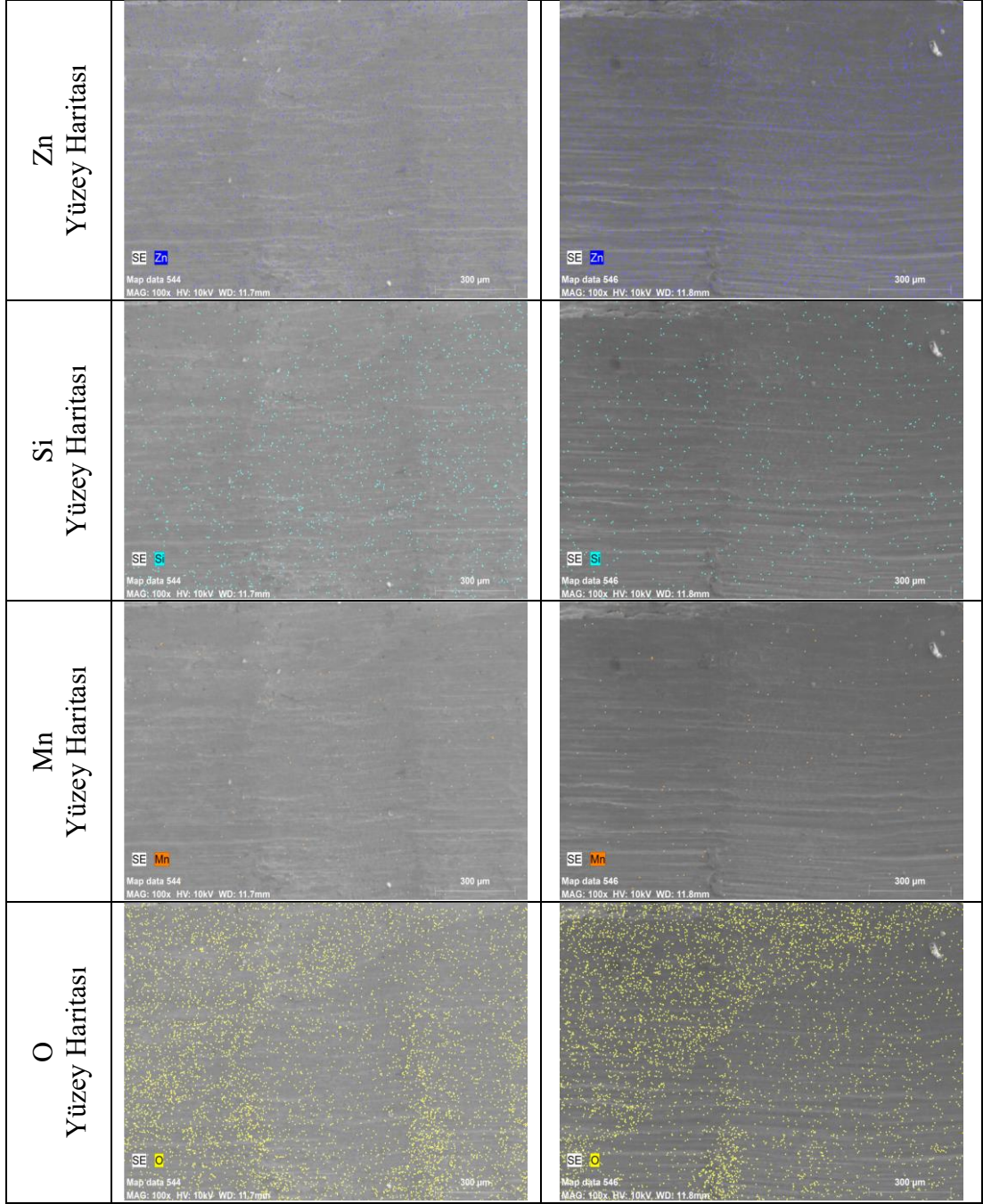


Şekil 4.67. Al7075/ AS21 ve Al7075/Mg2Zn bimetal kompozit malzemelerin aşınma testi sonra aşınma yüzey SEM görüntüleri.

İncelenen Al7075/AS21 ve Al7075/Mg2Zn bimetal kompozit malzemelerin aşınma deneyi sırasında her iki bimetal kompozit malzemede adhezif aşınmaya maruz kalmıştır. Şekil 4.67’de görüldüğü gibi Al7075/AS21 bimetal kompozit malzemeye kıyasla Al7075/Mg2Zn bimetal kompozit malzemede, yüzeyden partiküllerin kopması aşınmanın daha fazla ve şiddetli olduğunu göstermektedir.

	Al7075/AS21	Al7075/Mg2Zn
SEM Görüntüsü		
Toplu Elementel Yüzey Haritası		
Al Yüzey Haritası		
Mg Yüzey Haritası		

Şekil 2.68. Al7075/AS21 ve Al7075/Mg2Zn bimetal kompozit malzemenin aşınma testi sonrası aşınmış yüzey EDS elementel harita analizi.

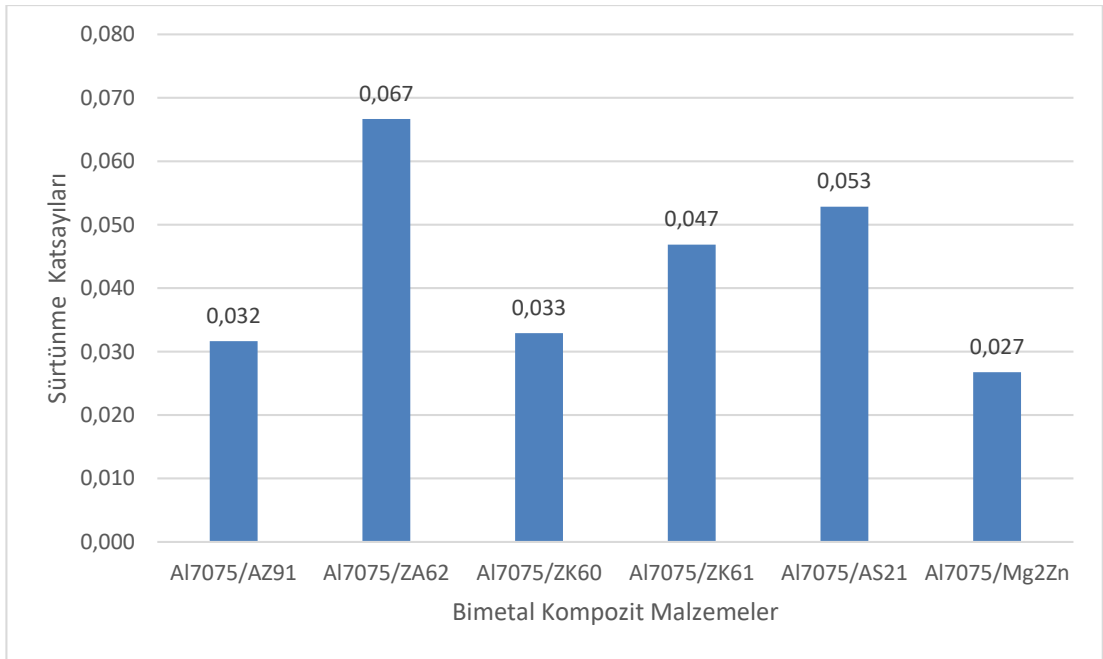


Şekil 2.68. (devam ediyor).

Aşınma direnci en yüksek ikinci bimetal kompozit malzeme olan Al7075/AS21 bimetal kompozit malzemenin harita görüntülerine bakıldığında, incelenen diğer bimetal kompozitlerden farklı olarak aşındırıcı bilyenin sürtünme etkisi ile çekirdek malzemenin başlıca elementi olan Mg metalinin aşınma yüzeyi boyunca kalın bir tabaka halinde yapılaşmadığı ve aşınma izlerinin bir kısmında Al spektrumlarının alındığı Şekil 2.68'de görülmektedir. Ayrıca Al7075/AS21 bimetal kompozit

malzemenin aşınma yüzeyinde Si nokta haritalarının yüksek olması, XRD sonuçlarına göre yapısında bulunan Mn_5Si_2 ve Mn_5Si_3 intermetaliklerinin aşınma direncini iyileştirdiğini ortaya koymaktadır [119,120].

Şekil 4.69’da verilen her bir bimetal kompozitin sürtünme katsayıları, plastik akış ve plastik deformasyon zorlanmasının yüksek olduğu durumda yüksek olup plastik akış izlerinin daha az ve adhesive karakterde aşınma mekanizmasının gözlemlendiği koşullarda sürtünme katsayısı düşük çıkmıştır. Bu çalışmada aşınma direncinin yüksek olduğu durumda sürtünme katsayısı da yüksek ve/veya tam tersi durum meydana gelmektedir.



Şekil 4.69. Al7075/Mg bimetal kompozitlerin aşınma deneyi sürtünme katsayıları.

BÖLÜM 5

GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada Al7075/Mg bimetal kompozitlerin üretimi, mekanik özellikleri, korozyon ve aşınma davranışları incelenmiş olup elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Mikroyapı incelemelerinde Al7075/Mg bimetal kompozit malzemelerin oda sıcaklığında soğutulmaları neticesinde bimetal kompozitin Mg alaşımı bileşenindeki yapıda α -Mg fazı ile birlikte intermetalik bileşikler meydana gelmiş ve ekstrüzyon işlemi neticesinde dinamik yeniden kristalleşme mekanizması ile tane incelmeleri görülmüştür. XRD sonuçlarına bakıldığında Al7075/AZ91 bimetal kompozitte: $MgAl_2O_4$, Mg_2Zn_3 intermetalikleri, Al7075/ZA62 bimetal kompozit malzemesinde: $MgAl_2O_4$, Mg_2Zn_3 , Mn_5Si_2 , Al_3Mg_2 , $Al_{12}Mg_{17}$ intermetalikleri, Al7075/ZK60 bimetal kompozit malzemesinde: Mn_5Si_2 , $MnAl_2O_4$, Mg_2Zn_{11} , Al_3Zr intermetalikleri, Al7075/ZK61 bimetal kompozit malzemesinde: Mn_5Si_2 , $MnAl_2O_4$, $Al_{12}Mg_{17}$, Mg_2Zn_{11} , Al_2Zr , Al_3Zr intermetalikleri, Al7075/AS21 bimetal kompozit malzemesinde: Mn_5Si_3 , Mg_2Zn_3 , Mn_5Si_2 , $MnAl_2O_4$, $Al_{12}Mg_{17}$ intermetalikleri, Al7075/Mg2Zn bimetal kompozit malzemesinde ise: Mg_2Zn_3 , Mn_5Si_2 ve Mg_2Zn_{11} intermetalikleri bulunmaktadır.
- Sertlik testi neticesinde, Al7075/Mg bimetal kompozit malzemelerinde arayüzey sertlik değerini etkileyen en önemli parametre iki metal alaşımı arasındaki yapıdır. AZ91 kalitesine sahip magnezyum alaşımının içerdiği %9 alüminyumun etkisi ile magnezyum alaşımının dayanımını artırarak kovan malzeme Al7075 alaşımı ile içerdiği güçlü bağ neticesinde arayüzeyde en yüksek sertliği sergilemiştir. Bu çalışmada kullanılan diğer Al7075/Mg bimetal kompozit malzemelerin arayüzey sertlik değerlerine yapıda bulunan çinko elementi etkilemektedir. % 6 Zn içeren Al7075/ ZK61 bimetal kompozit

malzemenin arayüzey sertliği en düşük olup yapısında %1 silisyum bulunan Al7075/ AS21 bimetal kompozit malzemenin sertliği Al7075/ ZK61 bimetal kompozitin sertliğinden bir miktar yüksektir. Al7075/ ZK61 bimetal kompozitin sertliğinin düşük olması arayüzeyde oluşak çatlaklara dayandırılırken Al7075/ AS21 bimetal kompozit malzemesinin sertliğinin birmiktar iyileşmiş olması Mn_5Si_3 intermetalığının oluşumundan kaynaklanmıştır.

- Mekanik testler neticesinde, basma mukavemetinde ve süneklikte en yüksek artış %6 çinko içeriği ile Al7075/ZA62 bimetal kompozitte gözlenirken en düşük basma mukavemeti %1 silisyum içeriği ile Al7075/AS21 bimetal kompozit malzeme sergilemiştir. Al7075/ZK61 bimetal kompozitin çinko içeriğinin Al7075/ZA62 bimetal kompozit malzemeye kıyasla daha yüksek olmasına rağmen basma mukavemetinde ikinci sırada gelmesi Al_3Zr intermetalığının taneleri incelterek uzamayı, akma ve basma mukavemetini orta değerde tutmuştur. Bunun ile beraber Al7075/AZ91 bimetal kompozitin çinko içeriğinin Al7075/Mg2Zn bimetal kompozitinkinden düşük olmasına rağmen Al7075/AZ91 bimetal kompozitin basma mukavemeti bir miktar yüksek olması %9 Al içeriğine dayandırılabilir. Basma deneyleri sırasında Al7075/AZ91 ve Al7075/ZA62 bimetal kompozit bileşenlerinin yalnızca yüksekliğinin azalması şeklinde plastik deformasyon meydana gelmesi basma test sonuçlarının iyileştiğini ve Al7075/AS21 ve Al7075/Mg2Zn bimetal kompozitlerinde ise ileri düzeyde hasar olarak Al7075 bileşeninin çap boyunca kırılması basma özelliklerinin kötüleştiğini göstermektedir.
- Push- out testi sonrası elde edilen maksimum kayma gerilmesi değerleri iki metalin arayüzey yapışma mukavemeti hakkında bilgi vermektedir. Al7075/ZA62 bimetal kompozit arayüzeyde en yüksek maksimum kayma mukavemetine sahip iken en düşük maksimum kayma mukavemetini ise Al7075/ZK61 bimetal kompozit sergilemiştir. Al7075/ZA62 bimetal kompozit malzemenin en yüksek maksimum kayma mukavemeti sergileme sebebi sınır bölgesinde $MgAl_2O_4$ bileşiklerine ve çinko içeren Mg_2Zn_3 intermetalığıdır. Al7075/AZ91 arayüzey bağlanma mukavemet değeri, sertlik ve basma mukavemet sonuçları ile uyumlu çıkarken ZK60 ve ZK61 alaşım bileşenlerinin Al7075 alaşım kovani ile bağ mukavemetinin diğer bimetal kompozitlere nazaran daha düşük olması yapısında bulunan Al_3Zr intermetalığına ve $MnAl_2O_4$

oksit bileşimine dayandırılabilir. Push- out testi neticesinde kovan malzeme olan alüminyumun iç kısmında ve içinden çıkan çekirdek malzeme magnezyum alaşımlarının yüzeylerinde oluşan sürtünme izleri bimetal kompozit malzemenin yapışma mukavemetinin iyileştiği hakkında bilgi vermektedir.

- İncelenen bimetal kompozitler arasında en iyi korozyon direncine, Al7075/Mg2Zn bimetal kompozit sahip iken en yüksek korozyon hızı Al7075/ZA62 bimetal kompozitinde gözlenmiştir. Bunun nedeni Al7075/Mg2Zn bimetal kompozitinin arayüzeyinde mikrogalvanik etki yaratabilecek intermetalik fazların az olması ve Mg_2Zn_{11} intermetalığının koruyucu oksit film tabakası oluşturmasıdır. Al7075/ZA62 bimetal kompozit malzemenin yapısında bulunan Mn_5Si_2 ve Al_3Mg_2 intermetalikleri Mg matriks ile daha şiddetli bir galvanik eşleşme meydana getirdiğinden korozyon hızını arttırırken Al7075/ZK61 bimetal kompozit malzeme içinde bulunan Al_3Zr intermetaligi kısa sürede gerçekleştirilen potansiyodinamik testinde malzemenin bileşiminde bulunan koruyucu film tabakasını desteklediği düşünülmektedir.
- Al7075/ZA62 bimetal kompozit malzemesinin aşınma direnci bimetal kompozitin arayüzünde bulunan Al_3Mg_2 intermetalığının olumlu etkisinden dolayı en yüksek bulunmuştur. Diğer kompozit malzemelere kıyasla Al7075/Mg2Zn bimetal kompozitin ağırlık kaybı miktarının daha fazla olması, akma mukavemetinin düşük ve sünekliğinin yüksek almasından dolayı aşınma yüklemesi sırasında plastik deformasyon oluşumu ile aşınmanın gerçekleşmesine dayandırılabilir. Al7075/AS21 bimetal kompozitin aşınma direncinin, Al7075/ZA62 bimetal kompozitin aşınma direncinden sonra yer alması bimetal kompozitin yapısında bulunan mangan, alüminyum ve silisyum elementleri yardımı ile oluşan Mn_5Si_2 , Mn_5Si_3 ve $Al_{12}Mg_{17}$ intermetaliklerinden kaynaklanmaktadır. Al7075/ZK60 ve Al7075/ZK61 bimetal kompozitlerinin aşınma dirençlerinin birbirleri ile karşılaştırıldığında, Al7075/ZK61 bimetal kompozit malzemesinin Al_3Zr intermetaligi içeriğinin yüksek olmasından dolayı Al7075/ZK60 bimetal kompozitine kıyasla Al7075/ZK61 bimetal kompozitini daha dirençli hale getirmiştir.
- Aşınma deneyi sonrası aşınmış yüzey incelemelerinde Al7075/ZA62 bimetal kompozit, Al7075/AS21 bimetal kompozit, Al7075/ZK61 bimetal kompozit ve Al7075/ZK60 bimetal kompozit malzemelerinde de rastlanılan aşınma izinin

çok daha dalgalı olması, kolay bir plastik akışın olmadığını, malzemenin plastik deformasyon zorlanmasına maruz kaldığını gösterir niteliktedir. Al7075/AZ91 bimetal kompozitin aşınmış yüzey görünümünde çok az plastik akış ile birlikte abrasive aşınma izleri gözlenmektedir. Al7075/Mg2Zn bimetal kompozitin aşınmış yüzey görünümünde, diğer kompozitlerde meydana gelen plastik akış izlerinden daha az miktarda plastik akış izleri ve ayrıca adhesif aşınma mekanizmasının meydana geldiği gözlenmektedir.

KAYNAKLAR

1. H. Zhang, Y. Chen, A.A. Luo, “A Novel Aluminum Surface Treatment For Improved Bonding In Magnesium/Aluminum Bimetallic Castings”, *Scripta Materialia*, 86 (0): 52–55 (2014).
2. Lee T.H. , Lee Y.J. , Park K.T. , Nersisyan H.H. , Jeong H.G. , Lee J.H., “Controlling Al/Cu Composite Diffusion Layer During Hydrostatic Extrusion By Using Colloidal Ag”, *Journal of Materials Processing Technology*, 213 (3): 487–494 (2013).
3. Schubert, E. , Klassen, M., Zerner, I. , Walz, C. , Sepold, G. , “Light-Weight Structures Produced By Laser Beam Joining For Future Applications In Automobile And Aerospace Industry”, *Journal of Materials Processing Technology*, 115, 2–8 (2001)
4. Kasaplar, G., “Alüminyum Yüzeyindeki Oksit Tabakasının Okzalit Asit Anodizing Yöntemiyle Geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, Türkiye, (2007).
5. Eruslu, N., Altmışoğlu, A., Taptık, Y., “Alaşım Ders Notu”, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, Maslak, İstanbul, 130- 137, (1990).
6. Kısasöz, A.A., “Alüminyum Matrisli Titanyumdiborür İn Situ Takviyeli Kompozitlerin Üretimi Ve Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2018).
7. Kiani, M., Gandikota, I., Rais-Rohani, M., and Motoyama, K., "Design Of Lightweight Magnesium Car Body Structure Under Crash And Vibration Constraints", *Journal Of Magnesium And Alloys*, 2 (2): 99–108 (2014).
8. Akdoğan, A., “Magnezyum ve Alaşımları Ders Notları”, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, İstanbul (2008).
9. Murillo-Gutiérrez, N. V., Ansart, F., Bonino, J. P., Menu, M. J., & Gressier, M., “Protection Against Corrosion Of Magnesium Alloys With Both Conversion Layer And Sol–Gel Coating”, *Surface and Coatings Technology*, 232, 606-615 (2013).
10. Harada, Y., Kumai, S., “Effect of Ceramics Coating Using Sol–Gel Processing On Corrosion Resistance And Age Hardening Of AZ80 Magnesium Alloy Substrate”, *Surface and Coatings Technology*, 228, 59-67 (2013).

11. Avedesian, M. M. and Baker, H., "ASM Specialty Handbook: Magnesium and Magnesium Alloys", *ASM International*, United States of America, 336 (1999).
12. Friedrich, H. E. and Mordike, B. L., "Magnesium Technology: Metallurgy, Design Data, Applications", *Springer Science & Business Media*, Germany, 696 (2006).
13. Mouritz, A. P., "Introduction to Aerospace Materials", *Elsevier*, 637 (2012).
14. Pekguleryuz, M. O., Kainer, K., and Kaya, A. A., "Fundamentals of Magnesium Alloy Metallurgy", *Elsevier*, 381 (2013).
15. Dahle, A. K., Lee, Y. C., Nave, M. D., Schaffer, P. L., and StJohn, D. H., "Development Of The As-Cast Microstructure In Magnesium–Aluminium Alloys", *Journal Of Light Metals*, 1 (1): 61–72 (2001).
16. Massalski T.B., Okamoto H., Subramanian P.R., Kacprzak L., "Binary Alloy Phase Diagrams", 2Rev Ed edition. Ed., *ASM International*, Materials Park, Ohio, 3589 (1990).
17. Polmear, I., "Light Alloys, Fourth Edition: From Traditional Alloys to Nanocrystals", 4 edition. Ed., *Butterworth-Heinemann*, Oxford ; Burlington, MA, 416 (2005).
18. Hutchinson, C. R., Nie, J. F., and Gorsse, S., "Modeling The Precipitation Processes And Strengthening Mechanisms In A Mg-Al-(Zn) AZ91 Alloy", *Metallurgical And Materials Transactions A*, 36 (8): 2093–2105 (2005).
19. Nie, J.-F., "Precipitation and Hardening In Magnesium Alloys", *Metallurgical And Materials Transactions A*, 43 (11): 3891–3939 (2012).
20. StJohn, D. H., Qian, M., Easton, M. A., Cao, P., and Hildebrand, Z., "Grain Refinement of Magnesium Alloys", *Metallurgical And Materials Transactions A*, 36 (7): 1669–1679 (2005).
21. Petch, N. J., "The Cleavage Strength of Polycrystals", *Journal Of The Iron And Steel Institute*, 174: 25–28 (1953).
22. Caceres, C. H., Mann, G. E., and Griffiths, J. R., "Grain Size Hardening In Mg And Mg-Zn Solid Solutions", *Metallurgical And Materials Transactions A*, 42 (7): 1950–1959 (2011).
23. Cai, S., Lei, T., Li, N., and Feng, F., "Effects Of Zn On Microstructure, Mechanical Properties And Corrosion Behavior Of Mg–Zn Alloys", *Materials Science And Engineering, C*, 32 (8): 2570–2577 (2012).
24. Wei, L. Y., Dunlop, G. L., and Westengen, H., "Precipitation Hardening Of Mg-Zn And Mg-Zn-RE Alloys", *Metallurgical And Materials Transactions A*, 26 (7): 1705–1716 (1995).

25. Gao, X. and Nie, J. F., "Characterization Of Strengthening Precipitate Phases In A Mg–Zn Alloy", *Scripta Materialia*, 56 (8): 645–648 (2007).
26. Cáceres C.H. and Blake A., "The Strength Of Concentrated Mg–Zn Solid Solutions", *Physica Status Solidi (A)*, 194 (1): 147–158 (2002).
27. Blake, A. H. and Cáceres, C. H., "Solid-Solution Hardening And Softening In Mg–Zn Alloys", *Materials Science And Engineering: A*, 483–484: 161–163 (2008).
28. Hildebrand, Z. C. G., Qian, M., StJohn, D. H., and Frost, M. T., "Influence Of Zinc On The Soluble Zirconium Content In Magnesium And The Subsequent Grain Refinement By Zirconium", *133rd Annual Meeting and Exhibition of Minerals, Metals & Materials Society (TMS)*, Charlotte, North Carolina, USA (2004).
29. Doan, J. P. and Ansel, G., "Some Effects Of Zirconium On Extrusion Properties Of Magnesium- Base Alloys Containing Zinc", *AIME*, 286–305 (1947).
30. Bohlen, J., Letzig, D., and Kainer, K. U., "New Perspectives For Wrought Magnesium Alloys", *Materials Science Forum*, 546–549: 1–10 (2007).
31. Bhan, S. and Lal, A., "The Mg-Zn-Zr System (Magnesium-Zinc-Zirconium)", *Journal Of Phase Equilibria*, 14 (5): 634–637 (1993).
32. Arroyave, R. and Liu, Z. K., "Thermodynamics Of Mg-Zn-Zr: Implication On The Effect Of Zr On Grain Refining Of Mg-Zn Alloys", *Magnesium Technology 2015*, TMS, 203–208 (2005).
33. Robson, J. D. and Paa-Rai, C., "The Interaction Of Grain Refinement And Ageing In Magnesium–Zinc–Zirconium (ZK) Alloys", *Acta Materialia*, 95: 10–19 (2015).
34. He, M. L., Luo, T. J., Zhou, J. X., and Yang, Y. S., "Microstructure And Mechanical Properties Of As-Cast Mg-4Zn-0.5Zr-0.2Cu-0.2Ce Alloy", *Materials Science And Technology*, 0 (0): 1–9 (2018).
35. Lunder, O., Aune, T., & Nisancioglu, K., "Effect Of Mn Additions On The Corrosion Behavior Of Mould-Cast Magnesium ASTM AZ91", *National Association of Corrosion Engineers*, 43(5): s. 291-295 (1987).
36. Baker, H., "Alloy Phase Diagrams". *ASM Handbook*, (Cilt 3) pp. 280-285 (1998).
37. Rokhlin, L., Dobatkina, T., Nikitina, N., & Tarytina, I., "Calcium-Alloyed Magnesium Alloys", *Metal Science and Heat Treatment*, 51(3): s. 164-169 (2009).

38. Correa, A. M., "Effect Of Solute Elements On The Lattice Parameters Of Magnesium", Master of Engineering Thesis, *Department of Mining, Metals, and Materials Engineering of McGill University*, Montréal, Canada (2006).
39. Ben-Hamu, G., Eliezer, D., Kaya, A., Na, Y., & Shin, K., "Microstructure And Corrosion Behavior Of Mg–Zn–Ag Alloys", *Materials Science and Engineering: A*, 435-436: 579-587 (2006).
40. Luo, A., & Pekguleryuz, M., "Cast Magnesium Alloys For Elevated Temperature Applications", *Journal of Materials Science*, 29(20): s. 5259–5271 (1994).
41. Cao, P., Qian, M., & Stjohn, D., "Grain Coarsening Of Magnesium Alloys By Beryllium", *Scripta Materialia*, 51(7), s. 647-651 (2004).
42. Jackson, J., Frost, P., Loonam, A., Eastwood, L., & Lorig, C. "Magnesium-Lithium Base Alloys—Preparation, Fabrication, And General Characteristics", *JOM I*, 1(2), s. 149-168 (1949).
43. M. Esmaily, J.E. Svensson, S. Fajardo, N. Birbilis, G.S. Frankel, S. Virtanen, R. Arrabal, S. Thomas, L.G. Johansson, "Fundamentals And Advances In Magnesium Alloy Corrosion", *Progress in Materials Science*, 89, s. 92-193, (2017).
44. Rokhlin, L. L., "Magnesium Alloys Containing Rare Earth Metals: Structure and Properties", *CRC Press*, 260 (2003).
45. Bernstein, B. T., "A Calculation Of The Elastic Constants Of Yttrium And The Rare Earth Metals", Doctor of Philosophy Dissertation, *Department of Chemistry of Iowa State University Of Science and Technology*, Ames, Iowa, (1959).
46. Mordike, B. L. and Ebert, T., "Magnesium: Properties- Applications- Potential", *Materials Science And Engineering: A*, 302 (1): 37–45 (2001).
47. Berkmortel, J. J., Hu, H., Kearns, J. E., and Allison, J. E., "Die Castability Assessment Of Magnesium Alloys For High Temperature Applications: Part 1 Of 2", *Society of Automotive Engineers World Congress (SAE)*, Detroit, Michigan, USA (2000).
48. Internet: <https://www.head.com/shop/en-IC/mxg-3-6.html> (2018).
49. Poole, W. J. and Kainer, K.-U., "9th International Conference on Magnesium Alloys and Their Applications: Conference Proceedings", Vancouver, BC, Canada, (2012).
50. Luo, A. A., "Magnesium Casting Technology For Structural Applications", *Journal Of Magnesium And Alloys*, 1 (1): 2–22 (2013).

51. Hu, H., Yu, A., Li, N., and Allison, J. E., "Potential Magnesium Alloys For High Temperature Die Cast Automotive Applications: A Review", *Materials And Manufacturing Processes*, 18 (5): 687–717 (2003).
52. Kulekci, M. K., "Magnesium And Its Alloys Applications In Automotive Industry", *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 39 (9–10): 851–865 (2008).
53. İnternet: Minor Metals Trade Association (MMTA), "Materials Selection In Bicycles", <https://mmta.co.uk/2016/06/01/materials-selection-in-bicycles/> (2018).
54. İnternet: AxelFoto, "Axelfoto Q111 Pro Tripod Magnesium Aluminium + Q08 Rocker Arm Ball Head", <https://www.axelfoto.com/stativi-sa-glavama/axelfoto-q111-protripod-magnesium-aluminium-q08-rocker-arm-ball-head/pro/2795> (2018).
55. İnternet: İstanbul Üniversitesi Makina Fakültesi, "İmal Usulleri Ders Notları, Turgut Gülmez", <http://web.itu.edu.tr/gulmezt/İMAL%20USULLERI/ch11-Dokum%20Yontemleri.ppt> (2018).
56. Sahoo, M., Weiss, D., and Marlatt, M., "Factors Affecting Successful Permanent Mold Casting Of Magnesium", *International Conference on Permanent Mold Casting of Al and Mg*, Dallas, Texas, USA, (2008).
57. Fu, P., Luo, A. A., Jiang, H., Peng, L., Yu, Y., Zhai, C., and Sachdev, A. K., "Lowpressure Die Casting Of Magnesium Alloy AM50: Response To Process Parameters", *Journal Of Materials Processing Technology*, 205 (1): 224–234 (2008).
58. Gertsman, V. Y., Li, J., Xu, S., Thomson, J. P., and Sahoo, M., "Microstructure And Second-Phase Particles İn Low- And High-Pressure Die-Cast Magnesium Alloy AM50", *Metallurgical And Materials Transactions A*, 36 (8): 1989–1997 (2005).
59. Luo, A. A., Sachdev, A. K., Fu, P. H., Peng, L. M., Jiang, H. Y., Zhai, C. Q., and Yu, Y. D., "Low Pressure Die Casting Of AZ91 And AM50 Magnesium Alloys", *Transactions Of The American Foundrymen's Society*, 116: 805 (2008).
60. Deschams, A., Dumont, D., Brechet, Y., Sigli, C. ve Dubost, B., "Process Modeling Of Age-Hardening Aluminum Alloys : From Microstructure Evolution To Mechanical And Fracture Properties", *ASM International, Materials Park*, OH, 298-305 (2001).
61. E. A. Association, "Aluminium in Cars–Unlocking The Light-Weighting Potential," *European Aluminium Association, Brussels*, (2013).

62. İnternet: European Aluminium, The Aluminium Effect, <https://www.europeanaluminium.eu/about-aluminium/the-aluminium-effect>, (2018).
63. T. Başer, "Alüminyum Alaşımları ve Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı," *Mühendis ve Makine Dergisi*, 53 (635): 51-58, (2012).
64. Durmuş, S., Akgün, S. ve Sahin, S., "Çökeltme Sertleştirilmesi Uygulanmış AA 7012 Alüminyum Alaşımlarında Sertliğin Mikro Yapı İle Değişiminin İncelenmesi", 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük, (2009).
65. Aluminium Statistical Review, Pennsylvania Devlet Üniversitesi, *Aluminium Association*, (1988).
66. İnternet: Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, "Alüminyum Alaşımları ve Serileri", <https://www.metalurjik.net/aluminyum-alasimlari-ve-serileri>, (2017).
67. Açar S., "AA7075-T6 Alüminyum Alaşımının Minimum Miktarda Yağlama Yöntemiyle Talaşlı İşlenebilirliğinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2014).
68. Askeland, D. R., Fulay, P. P. and Wright, W. J. "The Science And Engineering Of Materials, Sixth Edition", *Cengage Learning*, Stamford, USA, 539-569, (2010).
69. İnternet: Seykoç Alüminyum, "Isıl İşlem Sembolleri", <http://www.seykoc.com.tr/icerik/isil-islem-sembolleri?dil=tr>.
70. Gedik, D., "Alüminyum Yüzeyindeki Oksit Tabakasının Sodyum Dikromat ve Sülfirik Asit Anodizing Yöntemiyle Geliştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 19-1 (2008).
71. D. Apelian, "Aluminum Cast Alloys: Enabling Tools For Improved Performance," *North American Die Casting Association*, 6-17 (2009).
72. Şahin Y., "Kompozit Malzemelere Giriş", *Seçkin Yayın ve Dağıtım*, Gazi Üniversitesi, Ankara, (2006).
73. J. G. Kaufman and E. L. Rooy, "Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes, And Applications", *ASM International*, (2004).
74. J. Brown, "Foseco Non-Ferrous Foundryman's Handbook", *Butterworth Heinemann*, (1999).
75. Oğuz B., "Demir Dışı Metallerin Kaynağı", *Oerlikon Yayınları*, İstanbul (1990).

76. Xiuling Su, "Computer Aided Optimization Of An Investment Bi-Metal Casting Process", PhD Thesis, *Department of Research and Advanced Studies of the University of Cincinnati*, Cincinnati, Ohio, ABD (2001).
77. Dr. Jae-Young JUNG, "Bimetallic Casting Wear-Resistant Materials", *Metallic Materials and Coating Process Research Team*, Korae Research Institute Of Industrial Science And Technology, Pohang.
78. Çetintav I., "Farklı Malzemeler Kullanılarak Üretilmiş Bimetalik Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne (2014).
79. İnternet: Wikipedi Özgür Ansiklopedi, "Bimetal Şerit", https://tr.wikipedia.org/wiki/Bimetal_%C5%9Ferit.
80. Altındal A., "Sürtünme Kaynağında Birleştirilen Bimetalik Parçaların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne (2014).
81. Förster, W., Binotsch C. and Awiszus B., "Process Chain For The Production Of A Bimetal Component From Mg With A Complete Al Cladding", *Metals An Open Access Journal From MDPI*, 8(2): 97 (2018).
82. Liu N., Liu C., Liang C., and Zhang Y. "Influence of Ni Interlayer On Microstructure And Mechanical Properties Of Mg/Al Bimetallic Castings", *Metallurgical and Materials Transactions A*, 49: 3556- 3564 (2018).
83. Zhao K.N., Li H.X., Luo J.R., Liu Y.J., Du Q., Zhang J.S., "Interfacial Bonding Mechanism And Mechanical Properties Of Novel AZ31/WE43 Bimetal Composites Fabricated By İnsert Molding Method", *Journal of Alloys and Compounds*, 729: 344-353 (2017).
84. Wu Y., Feng B., Xin Y., Hong R., Yu H., Liu Q., "Microstructure And Mechanical Behavior Of A Mg AZ31/Al 7050 Laminate Composite Fabricated By Extrusion", *Materials Science and Engineering A*, 640: 454-459 (2015).
85. Xin Y., Hong R., Feng B., i Yu H., Wu Y., Liu Q. "Fabrication Of Mg/AL Multilayer Plates Using An Accumulative Extrusion Bonding Process", *Materials Science and Engineering A* , 640: 210-215 (2015).
86. Mroz S., Stradomski G., Dyja H., Galka A., "Using The Explosive Cladding Method For Production Of Mg-Al Bimetallic Bars", *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 15 (2): 317-323 (2015).
87. M. Paramsothy, N. Srikanth, M. Gupta "Solidification Processed Mg/Al Bimetal Macrocomposite: Microstructure And Mechanical Properties", *Journal of Alloys and Compounds*, 461 (1): 200-208 (2007).

88. Jiang Z., Fan Z., Jiang W., Li G., Wu Y., Guan F., Jiang Haixiao., “Interfacial Microstructures And Mechanical Properties Of Mg/Al Bimetal Produced By A Novel Liquid-Liquid Compound Casting Process”, *Journal of Materials Processing Technology*, 261: 149-158 (2018).
89. Li G., Yang W., Jiang W., Guan F., Jiang H., Wu Y., Fan Z., “The Role Of Vacuum Degree In The Bonding Of Al/Mg Bimetal Prepared By A Compound Casting Process”, *Journal of Materials Processing Technology*, 265: 112-121 (2019).
90. Hu Y., Chen Y., Li L., Hu H., Zhu Z., “Microstructure And Properties Of Al/Cu Bimetal In Liquid-Solid Compound Casting Process”, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 26(6): 1555-1563 (2015).
91. Liu T., Wang Q., Sui Y., Wang Q., Ding W., “An Investigation Into Interface Formation And Mechanical Properties Of Aluminum-Copper Bimetal By Squeeze Casting”, *Materials and Design*, 89: 1137- 1146 (2015).
92. Li G., Jiang W., Guan F., Zhu J., Jiang H., Fan Z., “Effect Of Insert Materials On Microstructure And Mechanical Properties Of Al/Mg Bimetal Produced By A Novel Solid-Liquid Compound Process”, *Journal of Manufacturing Processes*, 47: 62- 73 (2019).
93. Zengin H., “ZK60 Magnezyum Alaşımlarının Döküm Ve Ekstrüzyon Sonrası Mekanik Ve Korozyon Özelliklerine Alaşım Elementlerinin Etkisinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2018).
94. Yang, Z., Ma, A., Liu, H., Sun, J., Song, D., Wang, C., Yuan, Y. and Jiang, J., “Multimodal Microstructure And Mechanical Properties Of AZ91 Mg Alloy Prepared By Equal Channel Angular Pressing Plus Aging”, *Metals An Open Access Journal From MDPI*, 8(10): 763 (2018).
95. Wan, X., Sun, Y., Xue, F., Bai J., Tao, W., “Microstructure And Mechanical Properties Of ZA62 Based Magnesium Alloys With Calcium Addition”, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 20(5): 757-762 (2009).
96. He, S.M., Peng, L.M., Zeng, X.Q., Ding, W.J., Zhu, Y.P., “Comparison Of The Microstructure And Mechanical Properties Of A ZK60 Alloy With And Without 1.3 Wt.% Gadolinium Addition”, *Materials Science and Engineering A*, 433(1-2): 175-181 (2006).
97. Akyüz, B., “Effects Of Silicon (Si) And Zinc (Zn) Addition On Machinability And Wear Resistance Behaviours Of AZ21 And AS21 Magnesium Alloys”, *Journal of The Balkan Tribological Association*, 20(3): 339-350 (2014).
98. Galib, R.H., Sharif, A., “Development Of Zn-Mg Alloys As A Degradable Biomaterial”, *Advances in Alloys and Compounds*, 1(1): 1-7 (2015).

99. Lin, Y.H., Chuang, W.S., Huang, J.C., Chao, C.Y., And Chang, C.M., “Influence From Size And Morphology Of Mn₅Si₃ On Wear Resistance Of CuZn-Al-Mn-Si Alloys”, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 50(7): 3148-3157 (2019).
100. Bie, L., Chen, X., Liu, P., Zhang, T., Xu, X., “Morphology Evolution Of Mn₅Si₃ Phase And Effect Of Mn Content On Wear Resistance Of Special Brass”, *Metals and Materials International*, 26(1) 431- 443 (2019).
101. Tecer H., “Alüminyum-Zirkonyum İkili Alaşımın Elektriksel İletkenlik ve Çekme Mukavemeti Özelliklerinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri 2013.
102. Gavras, S., Buzolin, R. H., Subroto, T., Stark A., and Tolnai, D., “The Effect Of Zn Content On The Mechanical Properties Of Mg-4Nd-XZn Alloys (X = 0, 3, 5 And 8 Wt.%)”, *Materials An Open Access Journal From MDPI*, 11(7): 1103 (2018).
103. I.Basu, T. Al-Samman, “Triggering Rare Earth Texture Modification In Magnesium Alloys By Addition Of Zinc And Zirconium”, *Acta Materialia*, 67: 116- 133 (2014).
104. M. Abuchi, M., Kubota, K., Higashi, K., “Tensile Strength, Ductility And Fracture Of Magnesium-Silicon Alloys”, *Journal of Materials Science*, 31: 1529- 1535 (1996).
105. Srinivasan, A., Pillai, U.T.S. And Pai, B.C., “Microstructure And Mechanical Properties Of Si And Sb Added AZ91 Magnesium Alloy”, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 36: 2235- 2243 (2005).
106. Lü Y.-Z., Wang Q.-D., Zeng X.-Q., Ding W.-J. & Zhu Y.-P., “Effects Of Silicon On Microstructure, Fluidity, Mechanical Properties, And Fracture Behaviour Of Mg-6Al Alloy”, *Materials Science and Technology*, 17(2): 207- 214 (2013).
107. Dinaharan, I., Kumar, G. A., Vijay, S.J., Murugan N., “Development Of Al₃Ti And Al₃Zr Intermetallic Particulate Reinforced Aluminum Alloy AA6061 In Situ Composites Using Friction Stir Processing”, *Materials and Design*, 63: 213-222 (2014).
108. Cavaliere, P., “Effect Of Friction Stir Processing On The Fatigue Properties Of A Zr-Modified 2014 Aluminium Alloy”, *Materials Characterization*, 57(2): 100-104 (2006).
109. Yeh., CL, Chen, Y.C., “Fabrication Of MoSi₂-MgAl₂O₄ In Situ Composites By Combustion Synthesis Involving Intermetallic And Aluminothermic Reactions”, *Vacuum*, 167: 207-2013 (2019).
110. Shackelford, J.F., Alexander, W., “Materials Science And Engineering Handbook”, *CRC Press LLC*, London, New York, Washington, D.C. (2001).

111. İntenet: Arge ve Tasarım, “Metallerin, Metalik Elementlerin ve Alaşımların Isıl İletkenliği”, <https://argevetasarim.com/metallerin-metalik-elementlerin-ve-alasimlarinisil-iletkenligi/>, (2019).
112. Peng-Wei Chu, Microstructural Aspects Of Localized Corrosion Behavior Of Mg Alloys, Doctor Of Philosophy, *Materials Science and Engineering in the University of Michigan*, Michigan, ABD (2017).
113. Thirupathi, K., Bérczy, P., Somosvári, B. M., “Impact Of Corrosive Liquid On Trivalent Chromium Over Aluminium Alloys”, *Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology*, 7(3): 51-60 (2017).
114. Liu, S., Kent, D., Doan, N., Dargusch, M., Wang, G., “Effects Of Deformation Twinning On The Mechanical Properties Of Biodegradable Zn-Mg Alloys”, *Bioactive Materials*, 4: 8-16 2019.
115. Dani, M. S., Rao, V. J., Dave, I. B., “A Review On Corrosion Behaviour Of Mn Added Magnesium And Its Alloys”, *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, 2(12): 2393- 8021 (2015).
116. Hu R., Zhang Su, Bu J., Lin C., Song, G., “Recent Progress In Corrosion And Protection Of Magnesium Alloys”, *Progress in Organic Coatings*, 73(2-3): 129-141 (2005).
117. Yang, Y., Wu, P., Wang, Q., Wu, H., Liu, Y., Deng, Y., Zhou, Y. and Shuai, C., “The Enhancement Of Mg Corrosion Resistance By Alloying Mn And Lasermelting”, *Materials An Open Access Journal From MDPI*, 9(4): 216 (2016).
118. Zolriasatein, A., Khosroshahi, R.A., Emamy, M., and Nemati, N., “Mechanical And Wear Properties Of Al-Al₃Mg₂ Nanocomposites Prepared By Mechanical Milling And Hot Pressing”, *International Journal of Minerals Metallurgy and Materials*, 20(3): 290-297 (2012).
119. Lin, Y.H., Chuang, W.S., Huang, J.C., Chao, C.Y., And Chang, C.M., “Influence From Size And Morphology Of Mn₅Si₃ On Wear Resistance Of Cu-Zn-Al-Mn-Si Alloys”, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 50(7): 3148- 3157 (2019).
120. Bie, L., Chen, X., Liu, P., Zhang, T., Xu, X., “Morphology Evolution Of Mn₅Si₃ Phase And Effect Of Mn Content On Wear Resistance Of Special Brass”, *Metals and Materials International*, 26(1): 431- 443 (2019).

ÖZGEÇMİŞ

Emre ÖZTÜRK 1995 yılında KARABÜK'te doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Karabük Demir Çelik Anadolu Lisesi'nden 2013 yılında mezun oldu ve aynı sene Karabük Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünü kazandı. Lisans eğitimini 2018 Haziran ayında tamamladıktan sonra eğitimine ara vermeden Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı ve halen yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Barış Mah. Yüksek Mimar Yavuz İnce Cad.
Boğaz İçi Konutları 3. Etap Sitesi D Blok No:11/3
SAFRANBOLU/KARABÜK

Tel : (532) 631 1938

E-posta : emre_ozturk78@hotmail.com