

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AZ91 MAGNEZYUM ALAŞIMINA Ti VE Cr ALAŞIM
ELEMENTLERİNİN İLAVESİNİN ÖZELLİKLERE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Met. ve Malz. Müh. Gülşah ÜNVER

Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZ. MÜH.

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Süleyman Can KURNAZ

Ocak 2011

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AZ91 MAGNEZYUM ALAŞIMINA Ti VE Cr ALAŞIM
ELEMENTLERİNİN İLAVESİNİN ÖZELLİKLERE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**


YÜKSEK LİSANS TEZİ

Met. ve Malz. Müh. Gülşah ÜNVER

Enstitü Anabilim Dalı : MET. VE MALZ. MÜH.

Bu tez 24 / 01 / 2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Mehmet DURMAN
Jüri Başkanı


Doç. Dr. S. Can KURNAZ
Üye


Yrd. Doç. Dr. Uğur ÖZSARAC
Üye

TEŞEKKÜRLER

Tez konusunun belirlenmesinde ve tezin hazırlanmasında yardımlarını ve değerli bilgilerini esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Süleyman Can KURNAZ'a,

Tüm tez çalışmam boyunca her konuda desteğini ve yardımını gördüğüm Arş.Gör. Hüseyin ŞEVİK'e

Tüm laboratuvarlarını kullanmama izin veren Prof. Dr. Cuma BİNDAL'a, Prof. Dr. Fatih ÜSTEL'e, Yrd. Doç. Dr. Şükran DEMİRKIRAN'a,

İsim ayırt etmeksizin üzerimde emekleri olan tüm bölüm hocalarıma,

Son olarak da, üzerimdeki emeklerini hiçbir zaman ödeyemeyeceğim, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, her zaman yanımda olduklarını bildiğim yeri doldurulamaz varlıklarımın yegane sebebi, annem Güler ÜNVER ve babam Turgay ÜNVER'e yaşamın genelindeki sakinliği ve gelişen olaylar karşısındaki soğukkanlılığı ile beni hayretler içerisinde bırakan kardeşim Nazlı ÜNVER'e, çok sevdiğim yeğenim Melisa ÜNVER'e ve ayrıca, bu çalışmanın yürütülmesi ve sonuçlandırılmasında çalışma süresince her türlü fedakarlığı gösteren, her zaman yanımda olan, hayatım boyunca bana destek olmak isteyen ve ömrünün sonuna kadar hayatını benimle paylaşmak isteyen erkek arkadaşım Volkan Ziya BAYHAN'a ve daha adını sayamadığım, okul yaşamımda, hayatın genelinde bana destek olan herkese saygı ve şükranlarımı sunar, TEŞEKKÜR ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜRLER.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
MAGNEZYUM VE ALAŞIMLARI.....	3
2.1. Magnezyumun Genel Özellikleri.....	3
2.2. Magnezyum Alaşimleri.....	7
2.2.1. Magnezyum alaşımlarının sınıflandırılması.....	12
2.2.2. Magnezyum alaşımlarının kullanım alanları.....	13
2.2.2.1. Havacılıkta magnezyum.....	17
2.2.2.2. Otomotiv sektöründe magnezyum.....	18
2.3. Alaşım Elementlerinin Magnezyum Alaşımlarına Etkisi.....	22
2.3.1. Alüminyum.....	23
2.3.2. Bakır.....	23
2.3.3. Çinko.....	23
2.3.4. Demir.....	23
2.3.5. Gümüş.....	24
2.3.6. Kalay.....	24

2.3.7. Kalsiyum.....	24
2.3.8. Krom.....	24
2.3.9. Kurşun.....	25
2.3.10. Mangan.....	25
2.3.11. Silisyum.....	25
2.3.12. Stronsiyum.....	26
2.3.13. Titanyum.....	26
2.3.14. Toryum.....	27
2.3.15. Yitrium.....	27
2.3.16. Zirkonyum.....	28
2.3.17. Toprak alkali elementler (RE).....	28
2.4. Magnezyum-Alüminyum İkili Sistemi ve AZ91.....	28
2.4.1 Magnezyum-Alüminyum-Çinko alaşımları.....	35
2.5. Magnezyum Alaşımlarının Korozyonu.....	36
2.5.1. Ortam.....	37
2.5.2. Alaşım kalitesi.....	37
2.5.3. Konstrüksiyon faktörü.....	39
2.6. Magnezyum Alaşımlarının Korozyonunun Nedenleri.....	39
2.7. AZ91 Alaşımının Korozyon Davranışı Üzerine Son Yıllarda Yapılan Çalışmalar.....	40

BÖLÜM 3.

MAGNEZYUMUN METAL (KOKİL) KALIBA DÖKÜMÜ	43
3.1. Giriş.....	43
3.2. Üretim Metodları.....	44
3.3. İşlem Faktörleri ve Tasarımdan Kaynaklanan Döküm Hataları.....	52
3.4. Metal (Kokil) Kalıba Dökümün Avantajları.....	54
3.5. Metal (Kokil) Kalıba Dökümün Dezavantajları.....	55
3.6. AZ91 Alaşımı Döküm Özellikleri Üzerine Son Yıllarda Yapılan Çalışmaları.....	30 55

BÖLÜM 4.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	59
4.1. Çalışmanın Amacı.....	59
5.2. Çalışma Prosedürü.....	59
4.5.1. Sertlik deneyi.....	63
4.5.2. Çekme deneyi.....	63
4.5.3. Basma deneyi.....	64
4.5.4. Korozyon deneyi.....	65

BÖLÜM 5.

DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELENMESİ.....	68
5.1. X-Işımları Difraksiyon Analizleri.....	68
5.2. Alaşımların Mikroyapısı.....	69
5.3. Üretilen Alaşımlarda Sertlik.....	88
5.4. Üretilen Alaşımlarda Çekme Mukavemeti.....	90
5.5. Üretilen Alaşımlarda Basma Mukavemeti.....	95
5.6. Korozyon Deneyleri Sonuçları.....	97

BÖLÜM 6.

SONUÇLAR.....	103
6.1. Sonuçlar.....	103
KAYNAKLAR.....	105
ÖZGEÇMİŞ.....	111

SİMGELER LİSTESİ

AAS	: Alevli atomik absorpsiyon spektrometrik
ASTM	: Amerikan standart
a, c	: Kafes parametreleri
Al	: Alüminyum
BSD	: Brinell sertlik
BKK	: Basit kübik kristal
Cr	: Krom
HSP	: Hegzagonal sıkı paket
Mg	: Magnezyum
RE	: Toprak alkali metal
Ti	: Titanyum
VW	: Volkswagen
YMK	: Yüzey merkezli kübik
Zn	: Çinko
α	: Magnezyum matrisi
β	: İntermetalik faz
$\alpha+\beta$	: Ötektik faz

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Birim hücredeki ana düzlemler ve yönleri	5
Şekil 2.2.	Kesik halde Mg-Al kompozit motor bloğu	15
Şekil 2.3.	AZ91 alaşımı döküm parçaları	15
Şekil 2.4.	Li katkılı Mg alaşımı döküm parçaları	16
Şekil 2.5.	AM alaşımı döküm parçaları.....	16
Şekil 2.6.	Araç ağırlığındaki azalmayla elde edilecek yakıt tasarrufu	19
Şekil 2.7.	Otomobil parçalarında Mg alaşımının kullanımı	21
Şekil 2.8.	%2 nital ile dağlanmış AZ91 alaşımının optik mikroyapısı.....	29
Şekil 2.9.	Magnezyum-alüminyum faz diyagramı	31
Şekil 2.10.	Artan alüminyum miktarına göre Mg-Al sisteminde dentritik yapının oluşumu. (a) %1, 3, 5 ve 9Al ile sürekli kalıba dökülmüş (b) Mg-%15Al alaşımında elde edilen dentritlerin optik görüntüsü	32
Şekil 2.11.	Ötektik üstü Mg-Al alaşımlarında ötektik morfoloji Tamamen (a) ve kısmen (b) bölünmüş ötektik yapıda en açık bölgeler β -Mg ₁₇ Al ₁₂ fazı, en koyu bölgeler alüminyumca zengin α -Mg ve gri bölgeler ise primer α -Mg dentritleri.....	34
Şekil 2.12.	Sürekli kalıba dökülmüş ötektik üstü Mg-Al alaşımlarında alüminyum ve çinko miktarıyla soğuma hızının ötektik morfolojide etkisi	34
Şekil 2.13.	Mg-Al-Zn alaşım sisteminin dökülebilirliğinin şematik resmi ...	35
Şekil 2.14.	Mg-Zn denge diyagramı	36
Şekil 2.15.	Magnezyumun korozyonunda elektrokimyasal reaksiyonlar	38
Şekil 3.1.	Bazı önemli malzemelerin yoğunluğu	44
Şekil 3.2.	El ile çalışan kokil döküm sistemi	49
Şekil 3.3.	Kokil döküm sistemi	49

Şekil 3.4.	Kokil kalıpla yapılmış kompresör gövdesi ve çeşitli döküm parçalar	51
Şekil 3.5.	Kokil kalıba dökümde aşamalar: (1) kalıp ön tavllanır ve kaplanır	51
Şekil 3.6.	Kokil kalıba dökümde aşamalar: (2) maçalar (kullanılıyorsa) yerleştirilir ve kalıp kapatılır, (3) erimiş metal, içinde katılaşacağı kalıba dökülür	51
Şekil 3.7.	Kokil dökümle üretilen parçalar	54
Şekil 3.8.	Al-Mg alaşımlarında Al miktarına göre mikroyapı değişimleri...	57
Şekil 4.1.	Kullanılan kalıp ve pota.....	61
Şekil 4.2.	Kullanılan fırının görüntüsü	62
Şekil 4.3.	Döküm yapıldıktan sonra üretilen alaşım	62
Şekil 4.4.	Çekme mukavemeti deneylerinde kullanılan ASTM 8-81 AASHTO No: T68 standardına göre hazırlanan yuvarlak kesitli numunelerin şematik olarak gösterimi	64
Şekil 4.5.	Üretilen basma deneyi numunesi	64
Şekil 4.6.	Korozyon deney düzeneği	66
Şekil 4.7.	Korozyon deney hücresi	66
Şekil 4.8.	Potansiyostatik yöntemle çalışan statik korozyon deney düzeneği.....	67
Şekil 4.9.	Üretilen korozyon deneyi numunesi	67
Şekil 5.1.	AZ91 ve AZ91'e farklı oranlardaki Ti içeriği ile XRD analizi	68
Şekil 5.2.	AZ91 ve AZ91'e farklı oranlardaki Cr içeriği ile XRD analizi....	69
Şekil 5.3.	a) 1(AZ91) nolu alaşımın, b) 2(AZ91+%0,1Ti) nolu alaşımın, c) 3(AZ91+%0,3Ti) nolu alaşımın, d) 4(AZ91+%0,5Ti) nolu alaşımın, e) 5(AZ91+%0,1Cr) nolu alaşımın, f) 6(AZ91+%0,3Cr) nolu alaşımın, g) 7(AZ91+%0,5Cr) nolu alaşımın optik görüntüsü.....	71
Şekil 5.4.	a) 1(AZ91) nolu alaşımın, b) 2(AZ91+%0,1Ti) nolu alaşımın, c) 3(AZ91+%0,3Ti) nolu alaşımın, d) 4(AZ91+%0,5Ti) nolu alaşımın, e) 5(AZ91+%0,1Cr) nolu alaşımın, f) 6(AZ91+%0,3Cr) nolu alaşımın, g) 7(AZ91+%0,5Cr) nolu alaşımın 500x büyütmedeki SEM görüntüsü.....	74

Şekil 5.5.	a) 1(AZ91) nolu alaşımın, b) 2(AZ91+%0,1Ti) nolu alaşımın, c) 3(AZ91+%0,3Ti) nolu alaşımın, d) 4(AZ91+%0,5Ti) nolu alaşımın, e) 5(AZ91+%0,1Cr) nolu alaşımın, f) 6(AZ91+%0,3Cr) nolu alaşımın, g) 7(AZ91+%0,5Cr) nolu alaşımın 2000x büyütmedeki SEM görüntüsü.....	75
Şekil 5.6.	1 (AZ91) nolu alaşımın EDS analizi	76
Şekil 5.7.	1 (AZ91) nolu alaşımın EDS analizi	77
Şekil 5.8.	2 (AZ91+%0,1Ti) nolu alaşımın EDS analizi	78
Şekil 5.9.	3 (AZ91+%0,3Ti) nolu alaşımın EDS analizi	80
Şekil 5.10.	4 (AZ91+%0,5Ti) nolu alaşımın EDS analizi	82
Şekil 5.11.	4 (AZ91+%0,5Ti) nolu alaşımın EDS analizi	82
Şekil 5.12.	5 (AZ91+%0,1Cr) nolu alaşımın EDS analizi	84
Şekil 5.13.	6 (AZ91+%0,3Cr) nolu alaşımın EDS analizi	86
Şekil 5.14.	7 (AZ91+%0,5Cr) nolu alaşımın EDS analizi	88
Şekil 5.15.	Titanyum alaşım elementinin AZ91 alaşımı Brinell sertliğine etkisi	89
Şekil 5.16.	Krom alaşım elementinin AZ91 alaşımı Brinell sertliğine etkisi...	90
Şekil 5.17.	1 nolu alaşıma titanyum elementi ilavesinin çekme mukavemetine etkisi	92
Şekil 5.18.	1 nolu alaşıma krom elementi ilavesinin çekme mukavemetine etkisi	92
Şekil 5.19.	1 nolu alaşıma titanyum elementi ilavesinin % uzama değerine etkisi	94
Şekil 5.20.	1 nolu alaşıma krom elementi ilavesinin % uzama değerine etkisi.....	94
Şekil 5.21.	1 nolu alaşıma titanyum elementi ilavesinin basma mukavemetine etkisi.....	96
Şekil 5.22.	1 nolu alaşıma krom elementi ilavesinin basma mukavemetine etkisi	96
Şekil 5.23.	1 nolu alaşımın korozyon sırasında oluşan tafel eğrisi (%3,5 NaCl).....	97
Şekil 5.24.	2 nolu alaşımın korozyon sırasında oluşan tafel eğrisi (%3,5 NaCl).....	98

Şekil 5.25.	3 nolu alaşımın korozyon sırasında oluşan tafel eğrisi (%3,5 NaCl).....	98
Şekil 5.26.	4 nolu alaşımın korozyon sırasında oluşan tafel eğrisi (%3,5 NaCl).....	99
Şekil 5.27.	1, 2, 3 ve 4 nolu alaşımın korozyon sırasında oluşan tafel eğrisi (%3,5NaCl).....	99
Şekil 5.28.	5 nolu alaşımın korozyon sırasında oluşan tafel eğrisi (%3,5 NaCl).....	99
Şekil 5.29.	6 nolu alaşımın korozyon sırasında oluşan tafel eğrisi (%3,5 NaCl).....	100
Şekil 5.30.	7 nolu alaşımın korozyon sırasında oluşan tafel eğrisi (%3,5 NaCl).....	100
Şekil 5.31.	1, 5, 6 ve 7 nolu alaşımın korozyon sırasında oluşan tafel eğrileri (%3,5 NaCl).....	100

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Önemli metallerin yer kabuğundaki oranı.....	3
Tablo 2.2.	Saf magnezyumun (ağ.%99,9) fiziksel özellikleri.....	5
Tablo 2.3	Saf magnezyumun (ağ.%99,9) mekanik özellikleri.....	6
Tablo 2.4.	Saf magnezyum ve alüminyumun fiziksel özellikleri.....	6
Tablo 2.5.	Magnezyum alaşımlarının avantaj ve dezavantajları.....	8
Tablo 2.6.	Alaşım elementleri ve kısaltmaları.....	9
Tablo 2.7.	Mg alaşımları standartları ve bileşimleri.....	9
Tablo 2.8.	Önemli magnezyum alaşımlarından bazıları.....	10
Tablo 2.9.	Magnezyum alaşımlarında bazı üretim yöntemleri ve özellikleri.	11
Tablo 2.10.	ASTM sisteminde magnezyum alaşımlarının, alaşım ve menevişleme gösterimlerinin standart dört bölümü.....	12
Tablo 2.11.	Otomotiv sektöründe kullanılan magnezyum alaşımlarının özellikleri.....	18
Tablo 2.12.	Magnezyum alaşımlarından üretilmiş çeşitli parçalar.....	21
Tablo 2.13.	Mg alaşımlarında oluşan intermetalik fazlar ve çözünebilirlikleri.	22
Tablo 2.14.	ASTM AZ91 alaşımlarının kompozisyonları.....	30
Tablo 2.15.	ASTM AZ91 alaşımlarının mekanik özellikleri.....	30
Tablo 2.16.	%3-6 NaCl içeren çözeltide magnezyumun pratik olarak ölçülen korozyon potansiyeli.....	38
Tablo 3.1.	Magnezyum alaşımlarının kimyasal bileşimleri ve oda sıcaklığındaki tipik mekanik özellikleri.....	45
Tablo 3.1.	(Devam) Magnezyum alaşımlarının kimyasal bileşimleri ve oda sıcaklığındaki tipik mekanik özellikleri.....	46
Tablo 3.2.	Alaşımlar döküm sıcaklığı, kalıp ömrü, kalıp sıcaklığı.....	52
Tablo 4.1.	Elde edilen kimyasal analizler.....	61
Tablo 5.1.	5 (AZ91+%0,1 Cr) nolu alaşımın EDS analizi.....	84

Tablo 5.2.	Sertlik değerlerinin ortalaması.....	88
Tablo 5.3.	Çekme mukavemeti ve % uzama değerleri.....	91
Tablo 5.4.	Maksimum basma mukavemeti değerleri.....	95
Tablo 5.5.	Alınan korozyon değerlerinin ortalaması.....	101
Tablo 5.6.	Alınan korozyon değerlerinin ortalaması.....	102
Tablo 5.7.	Bazı korozyon çözeltilerinden alınan kimyasal analiz sonuçları...	102

ÖZET

Anahtar kelimeler: AZ91, titanyum, krom, metal (kokil) kalıba döküm, mekanik özellikler, korozyon

Magnezyum, tüm konstrüksiyon metalleri içerisinde en hafif olanıdır. Bu malzeme bir plastik kadar hafif aynı zamanda bir metal kadar da mukavemetlidir. Yüksek özgül dayanımı ve özgül rijitliği, iyi işlenebilirliği, dökülebilirliği ve bilinen yöntemlerle kaynaklanabilirliği bu malzemeyi cazip hale getirmektedir.

Otomotiv ve uzay-uçak sanayilerindeki ağırlık tasarrufuna yönelik arayışlarda Mg metali düşük yoğunluğu ile mühendislik uygulamaları açısından en hafif yapısal metal olarak ön plana çıkar. Hafif Mg alaşımlarının kullanımı ile araç ağırlığında yapılan azalmanın yakıt ekonomisi sağlaması ve bunun sonucu olarak gaz emisyonlarının da azaltılabilecek olmasıdır. Önümüzdeki yıllarda binek otomobillerde ulaşılması planlanan yakıt tüketimi 3 litre/100 Km gibi zorlu bir hedeftir ve bunun için otomobil ağırlığında yaklaşık %30'luk bir azalma gerekmektedir.

Magnezyum alaşımlarının üretimleri, çok çeşitli prosesler ile yapılmaktadır. Bu prosesler, üretilecek alaşımların mekanik özelliklerini ve mikro yapılarını direkt etkilediğinden proses seçimi oldukça önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, otomotiv, elektronik, havacılık ve savunma sanayinde kullanılan AZ91 serisi ileri teknoloji magnezyum alaşımlarının döküm özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla alaşıma ağırlıkça % 0,1, 0,3 ve 0,5 oranlarında Ti, Cr ilave edilmiştir. Metal (kokil) kalıba döküm yöntemiyle alaşımların üretilmesi ve ilave edilen alaşım elementinin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Üretilen numunelerde kimyasal analiz, sertlik deneyi, basma deneyi, çekme deneyi ve korozyon deneyi uygulanmıştır. Bu deneyler optik mikroskop (OM), x-ışınları analizleri, tarayıcı elektron mikroskobu (SEM) ve EDS analizleri ile desteklenmiştir. Alaşım elementi ilavesi ile sertlik, çekme mukavemeti, basma mukavemeti değerlerinin ve korozyon direncinin belli oranlarda arttığı görülmektedir.

INVESTIGATION OF EFFECT TO PROPERTIES ADDITION OF Ti AND Cr ALLOY ELEMENTS IN AZ91 MAGNESIUM ALLOY

SUMMARY

Key Words: AZ91, titanium, chrome, metal (die) casting, mechanical properties, corrosion

Magnesium is the lightest of all construction metals in. This material as light as plastic material that is also resistant to a metal. High specific strength and specific rigidity, good machinability, castability and weldability known methods makes it an attractive material.

In searches of weight savings for automotive and aerospace-aircraft industries, Mg metal with low density in terms of engineering applications stands out as the lightest structural metal. The reduction in vehicle weight with the use of lightweight magnesium alloys to provide fuel economy and gas emissions be reduced as a result of this is that. In the coming years to reach the planned fuel consumption of passenger cars is a challenging target such as 3 litres/100 Km and therefore it approximately a 30% reduction the automobile weighted at is required.

Production of magnesium alloys, with a wide variety of processes are performed. These processes, as directly affect produced in the mechanical properties of alloys and micro-structures selection process is fairly important. In this study, Ti, Cr elements have been added to AZ91 magnesium alloy in the ranges between 0,1-0,5 wt. % aiming to develop its casting properties that is used in automotive, aerospace and defence industry. Metal mould casting (permanet mould casting) method of production of alloys and alloying elements are added to investigate the effect of microstructure and mechanical properties. Produced in samples of chemical analysis, hardness test, compression test, tensile test and corrosion test was applied. These experiments, optical microscopy (OM), x-ray analysis, scanning electron microscopy (SEM) and EDS analysis were supported by. With the addition of alloying element hardness, tensile strength, compressive strength values and corrosion resistance increased of certain proportions are seen.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Birincil enerji kaynağının azalmasından dolayı günümüzün modern teknolojisi olan uzay, uçak ve otomotiv endüstrileri gibi ileri teknoloji alanında kullanılmak üzere hafif, üstün ve spesifik özelliklere sahip malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Demirli bileşiklerden hafif metallere geçilmesinin altında, ağırlık azaltılması, verimliliğin artırılması, yakıt tüketiminin düşürülmesi ve çevrenin korunması gibi ihtiyaçlar yatmaktadır. Bununla beraber özgül ağırlığının düşüklüğü bu malzemeleri cazip kılsa da, endüstriyel boyutta uygulanma sıklığı umulanın altındadır. Bunun nedeni maliyet ve mekanik/tribolojik özellikler açısından rekabet unsurunun eksikliğidir. Uzay, havacılık ve otomotiv sektörlerinde, mukavemet/ağırlık, mukavemet/yoğunluk oranları gibi malzeme özelliklerinin önemli olduğu ağırlığa duyarlı alanlarda kullanılan malzemelerin mukavemet limitlerinin zorlanması bu alanda önemli gelişmelere sebep vermiştir.

1930'lu yılların başında magnezyum metalinin önemini anlayan Almanya saf magnezyum metaline çeşitli elementler ilave ederek alaşımlandırma yapmış ve mekanik özelliklerini iyileştirmek için ilk adımları atmıştır. Nitekim ilk çalışmalar otomobiller içerisindeki aksamlar olmuştur ki en tanınmış örnek olarak VW-Beetle verilebilir. 1939'lu yıllarda üretilmeye başlanan bu otomobillerin içerisinde kullanılan metalik parçalar (örneğin vites kutusu, elektrik jeneratörlerinin kolları gibi) olarak her geçen gün magnezyum döküm alaşımları kullanılmaya başlanmıştır. 1962'de kullanılan toplam magnezyum ağırlığı 17 kg'a ulaşmıştır ki toplam ağırlık çelik ile karşılaştırıldığında 50 kg'lık bir kazanç söz konusu olmuştur. 1972 yılında Volkswagen grup toplamda 42 bin ton magnezyum alaşımı tüketmiştir. Diğer üreticiler ise bazı kompleks parçaların üretiminde magnezyumu kullanmışlardır. (örneğin traktör kaputu, helikopterlerin ana vites kutusu, zeplin makineleri için krank kutuları, soğutma kulelerinin fan pervaneleri gibi) Tüm dünyada magnezyum üretimi 1986'da 322.000 ton'dan 1990 yılına kadar 360.000 ton'a çıkmıştır. 2000 yılında bu

miktarın 436.000 ton, 2028'de ise hedefin 498.000 ton olacağı belirtilmektedir. Yapılan bu tahminlere rağmen günümüzde dünyadaki hızlı gelişmelere paralel olarak magnezyum üretimindeki artış hedeflerinin anormal boyutlara ulaştığı görülmektedir. Bir araştırma firması olan Roskill'in verdiği değerlere göre 2004 yılında magnezyum üretimi 660.000 ton/yıl ve 2008 yılında 964.000 ton/yıl değerlerine ulaşmıştır [1-2].

Farklı magnezyum alaşımları için farklı yöntemler uygulanmakta ve bu alaşımlar farklı mekanik özellikler göstermektedir. Kum kalıplarda tek döküm yapıldıktan sonra kalıp bozulmakta veya kumun kalıplama özelliği kaybolmaktadır. Metal kalıplarda ise, binlerce döküm yapılabilir. Kokil döküm için hazırlanacak kalıp maliyeti, kum kalıba göre çok yüksektir. Fakat kokil döküm kalıplarının kullanım ömrü daha fazla olduğu için kum kalıba göre daha ekonomik olmaktadır. AZ tipi alaşımlar kokil döküm yöntemiyle üretilen alaşımlardır. Bu yöntemde Mg alaşımları Al alaşımlarından çok daha hızlı dökülür. Al alaşımlarına göre kalıp ömrü daha uzundur. Çünkü Mg'da kalıp yüzeyine yapışma riski daha az Al'da ise daha fazladır.

Saf magnezyum alaşımı AZ91, konvansiyonel alüminyum alaşımlarına göre çok daha iyi korozyon dayanımına sahiptir. AZ91 (Mg-%9Al-%1Zn) alaşımları, çoğunlukla otomobil parçalarının üretimi için kullanılır. Diğer Mg alaşımlarıyla karşılaştırıldığında; AZ91 Mg alaşımı daha iyi döküm, daha iyi akma dayanımı özellikleri göstermektedir. AZ serisi alaşımlar otomobil, havacılık, bilgisayar ve mobil telefonlarda kullanılır [1].

Bu çalışmada, otomobil endüstrisinde, havacılık, bilgisayar, kamera ve mobil telefonlarda kullanılan AZ91 master alaşımı üretilmiştir. AZ91 alaşımına sırasıyla ağırlıkça %0,1, %0,3, %0,5 oranlarında krom ve titanyum alaşım elementi ilave edilmiştir. Çalışmanın 1. bölümünü genel bakış oluşturmaktadır. 2. ve 3. bölümde literatür çalışması gerçekleştirilecektir. Bu çalışmada kullanılmış deneysel işleyiş 4. bölümde tanımlanacaktır. 5. bölümde ise üretilmiş alaşımların mikroyapı karakterizasyonu ve alaşım elementinin mekanik özellikler üzerindeki etkileri incelenecektir. Son bölüm olan 6. bölümde sonuçlar özetlenecektir.

BÖLÜM 2. MAGNEZYUM VE ALAŞIMLARI

2.1. Magnezyumun Genel Özellikleri

Magnezyum alüminyumdan %36 demirden %78 daha hafif olmasından dolayı modern teknoloji olan uzay, uçak ve otomotiv parçalarında kullanım için göz alıcı bir malzemedir. Tüm yapı malzemeleri arasında en yüksek mukavemet/ağırlık oranına sahiptir. 1970'deki yakıt krizinden beri, düşük emisyon ve düşük yakıt tüketimi için araçların ağırlıkları düşürülmeye çalışılmaktadır. Yeni dizaynlar ile boyut küçültme veya bunların kombinasyonu ile modern teknoloji olan uzay, uçak ve otomotivlerin ağırlıkları azaltılmaktadır.

Tablo 2.1. Önemli metallerin yer kabuğundaki oranı

Element	Al	Fe	Mg	Ti	Zn	Ni	Cu	Pb
% oran	7,5	4,7	1,9	0,58	0,02	0,018	0,01	0,002

Magnezyum yer kabuğunda tablo 2.1'den görüldüğü gibi yaklaşık %2 oranında bulunmaktadır. Çeşitli ham maddelerden magnezyum metali üretilebilmektedir. Metalik magnezyum elementi şu anda dünyada kullanılabilir en düşük yoğunluğa sahip metaldir. Ekonomik olarak kazanılabilir magnezyum minerali 11 ülkede 38 önemli yatakta 380 milyon ton olarak çıkarılmaktadır. Magnezyumun kazanıldığı üç temel kaynak bulunmaktadır. Deniz suyu, mineral kayaçlar ve asbest Dünya'daki en büyük magnezyum yatakları şu şekilde dağılmıştır [1].

Kuzey Amerika: ABD, Kanada

Güney Amerika: Brezilya

Avrupa: Norveç, Avusturya, Çekoslovakya, Yunanistan, Türkiye, Rusya, Yugoslavya

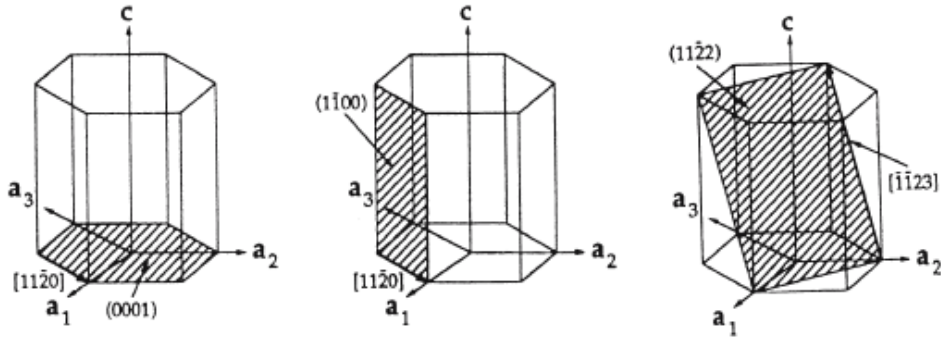
Asya: Çin, Hindistan, K.Kore

Okyanusya: Avustralya

Mg, yapısal uygulamalarda kullanılabilen en hafif metaldir. Element ilk olarak Sir Humphrey Davey tarafından 1808 yılında keşfedilmiştir. Yerkabuğunun %2'sinde ve okyanusların %0,13'ünde bulunması sebebiyle Mg, yer kabuğunda yaygın olarak bulunan ve periyodik tabloda IIA grubunda yer alan toprak alkali elementtir [3].

Magnezyum, toprak alkali metalleri (2A) grubuna dahil olan ve 3. periyotta bulunan bir elementtir. Atom numarası 12, atom ağırlığı 24,3050 g/mol olup; Mg sembolü ile gösterilir. Be (Berilyum), Ca (Kalsiyum), Sr (Stronsiyum), Ba (Baryum) ve Ra (Radyum) elementleriyle benzer elektron yapısına sahiptir. Elektron dizilimi $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$ şeklindedir. En dış enerji seviyesindeki 2 elektrondan dolayı, daima 2 değerlik alır. Atom çapı 0,32 nm ve atomik hacmi $14 \text{ cm}^3/\text{mol}$ 'dür. Kristal yapısı hegzagonal sıkı paketdir (HSP). Şekil 2.1 birim hücredeki temel düzlemleri göstermektedir. Saf magnezyumun oda sıcaklığında hesaplanan kafes parametreleri; $a = 0,3202 \text{ nm}$ ve $c = 0,5199 \text{ nm}$ 'dir. 1,6236 olan c/a oranı, ideal değere (1,633) oldukça yakındır. Bu nedenle magnezyumun, mükemmel sıkı paket yapıya sahip bir metal olarak düşünülebilir [4].

Günümüzde konstrüksiyon malzemesi olarak kullanılan metalik malzemeler içinde magnezyum en hafif olanıdır. Otomobil üretiminde daha yoğun olan çelik, dökme demir ve bakır esaslı alaşımlar ve hatta magnezyum esaslı alüminyum alaşımlarının yerini almasına sebep olan da bu özelliğidir. Avrupa Birliğine uyum çerçevesinde yasal sınırlamaların getirilmesinin bir sonucu olarak, araç parçalarının ağırlığını azaltma gereksinimi magnezyuma yeni bir ilgi oluşmasına sebep olmuştur. Magnezyum esaslı alaşımların daha geniş kullanımı paralel uygulamaları da gerektirmektedir. Hafiflik bakımından en büyük rakibide alüminyumdur. Magnezyum, hafifliği ve buharlaşma özellikleri bakımından plastıklere benzetilirken, bu malzeme bir metalin mekanik özelliklerine sahiptir. Ayrıca Mg, mühendislik plastiklerine göre çok daha rijit ve çok daha fazla geri dönüşümü mümkün bir malzemedir. Saf magnezyumun fiziksel ve mekanik özellikleri tablo 2.2 ve 2.3'de verilmiştir. En önemli rakibi alüminyum ile fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması ise tablo 2.4'de yapılmıştır.



Şekil 2.1. Birim hücredeki ana düzlemler ve yönleri [5]

Tablo 2.2. Saf magnezyumun (ağ.%99,9) fiziksel özellikleri [6]

Özellik	Değer
Ergime Noktası	650°C ± 2
Kaynama Noktası	1107°C ± 10
Ergime Gizli Isısı	0,37 MJ/kg
Buharlaştırma Gizli Isısı	5,25 MJ/kg
Yanma Isısı	25,1 MJ/kg
Özgül Isısı	
20°C'de	1030 J/(kg K)
600°C'de	1178 J/(kg K)
Elektriksel Direnci 20°C'de	4,45 µΩ cm
Isıl İletkenliği 25°C'de	155 W/(kg K)
Isıl Genleşme Katsayısı (Lineer) 20°C'de	25,2 * 10 ⁻⁶ K ⁻¹
Yoğunluk	
20°C'de	1,738 g/cm ³
600°C'de	1,622 g/cm ³
650°C'de (katı)	1,65 g/cm ³
650°C'de (sıvı)	1,58 g/cm ³
Katılaşma Sırasında Hacimsel Değişim	% 4,2
Soğuma Sırasında Hacimsel Değişim (650-20°C)	% 5

Tablo 2.3. Saf magnezyumun (ağ.%99,9) mekanik özellikleri [6]

	Çekme Dayanımı	Çekmede Akma Dayanımı	Basmada Akma Dayanımı	Uzama % 50 mm	Brinell Sertliği
	MPa	MPa	MPa	–	500 kp/10 mm
Kum döküm, Kalınlık 13 mm	90	21	21	2–6	30
Ekstrüzyon, Kalınlık 13 mm	165–205	69–105	34–55	5–8	35
Haddelenmiş levha	180–220	115–140	105–115	2–10	45–47
Tavlanmış levha	160–195	90–105	69–83	3–15	40–41

Tablo 2.4. Saf magnezyum ve alüminyumun fiziksel özellikleri [7]

Özellik (20°C)	Magnezyum	Alüminyum
Atom numarası	12	13
Atom ağırlığı	24,3	26,98
Kafes tipi	SDH	YMK
Ergime noktası	650 °C	659 °C
Kaynama noktası	1103 ± 8 °C	2447 °C
Yoğunluk (gr/cm ³)	1,738	2,699
Elektrik iletkenliği (m/ΩK)	22,2	37,6
Termal iletkenlik (W/m.K)	154	222
Özgül Isı Kapasitesi (J/kg.K)	1047	930
Hacimsel Isı Kapasitesi (J/m ³ .K)	1783	2430
Ort. Isıl Gen. Kat (10 ⁻⁶ m/m.K)	26 (0-100°C)	23,86 (0-100°C)
Elastisite modülü (10 ³ N/mm ²)	44,5	69,6

2.2. Magnezyum Alaşımları

1930'lu yılların başında magnezyum metalinin önemini anlayan Almanya saf magnezyum metaline çeşitli elementler ilave ederek alaşımlandırma yapmış ve mekanik özelliklerini iyileştirmek için ilk adımları atmıştır.

Magnezyum alaşımları mükemmel işlenebilirliği ile düşük ağırlıklı malzemeler için istenen boşluğu doldurmasına rağmen hala alüminyum ve plastikler ile yarışmamaktadır. Ana faktörü düşük ve sabit maliyetlerde dünya pazarına sunulamaması ve tatmin edici mekanik özelliklerin sağlanamaması oluşturmaktadır. Bu nedenle hala araştırmacılar magnezyum alaşımları üzerinde çalışmalarını sürdürmektedir ve ana konuları aşağıdaki başlıklar oluşturmaktadır [1]:

- Alaşım geliştirme
- Hızlı soğuma
- Üretim teknolojileri
- Kompozitler
- Korozyondan koruma
- Geri dönüşüm

bu konu başlıkların takibinde araştırmacıların amacını da aşağıdaki maddeler oluşturmaktadır:

- Birincil malzemelerin düşük maliyette üretilebilmesi
- Alaşım çeşitlerinin genişletilebilmesi ki bu sürünme davranışının geliştirilmesi ve spesifik ağırlığın düşürülmesi için gerekmektedir.
- Yenilikçi üretim metotları geliştirmek
- Geliştirilmiş kaplama teknikleri ile korozyon direncini arttırmak
- Hızlı soğuma proseslerinden faydalanabilme
- En iyi şekilde magnezyum matriksli kompozitlerin kullanım alanlarının geliştirilmesi
- İkincil geri dönüşüm tesislerinin kurulması ile geri dönüşüm kavramını genişletmek

Magnezyum parçaların sahip olduğu avantajlara rağmen hala dünya pazarında yerini tam olarak alamamıştır ki avantajları ve kullanım sınırlamaları tablo 2.5’de sunulmuştur [1,8].

Tablo 2.5. Magnezyum alaşımlarının avantaj ve dezavantajları

Avantajları	Dezavantajları
<ul style="list-style-type: none"> - Bütün metalik malzemelerin arasında en düşük yoğunluğa sahip - Yüksek spesifik mukavemet - Basıncı döküm için iyi dökülebilirlik ve kullanım - Yüksek kesme hızında kolay işlenebilirlik - İner gaz altında iyi kaynaklanabilirlik - Geliştirilmiş korozyon direnci - Plastikler ile karşılaştırıldığında iyi mekanik özellik, daha iyi elektrik ve termal iletkenlik, geri dönüşüm 	<ul style="list-style-type: none"> - Birkaç alaşıma sahip olması - Oda sıcaklığında düşük süneklilik ve tokluğa sahip - Yüksek sıcaklıkta limitli özellikler sürünme direnci gibi - Yüksek kimyasal reaksiyon - Yüksek döküm çekilmesi - Yüksek üretim maliyetleri

Magnezyum alaşımları için birçok değişik döküm yöntemi uygulanmaktadır. Farklı magnezyum alaşımları için farklı yöntemler uygulanmakta ve bu alaşımlar farklı mekanik özellikler göstermektedir. Genellikle magnezyum alaşımları otomobil parçalarında, savunma ve uzay sanayinde, dizüstü bilgisayarlarda, kamera cep telefonu gibi elektronik aletlerin aksamalarında kullanılmak üzere basınçlı döküm tekniği ile üretilirler [1,9,10].

Mg alaşımları ASTM (A275) standart sistemi tarafından belirlenmiştir. Yöntem iki harfle birlikte iki rakamı kapsamaktadır. İki harf; iki en büyük elemanına verilmiş olan harf kısaltması; rakamlar ise bu alaşımların en yakın tam sayıya yuvarlanmış yüzdelik dilimleridir. Tablo 2.6’da yaygın bir şekilde kullanılan alaşım elementleri tek harfle listelenmiş şekilde verilmiştir [8,12].

Tablo 2.6. Alaşım elementleri ve kısaltmaları [8,11]

Harf	A	B	C	D	E	H	J	K	L	M	Q	S	W	X	Z
Element	Al	Bi	Cu	Cd	RE	Tr	Sr	Zr	Li	Mn	Ag	Si	Yi	Ca	Zn

Örnek AZ91 alaşımının açıklaması aşağıda verilmektedir [8,11]

A - Al'yi yani Mg'den sonra alaşımdaki en fazla elementi ifade eder.

Z - Zn'yi yani 2. olarak en fazla kullanılan elementi ifade eder.

9 - Alaşımdaki Al oranının yaklaşık 8,6-9,4 arasında olacağını ifade eder.

1 - Alaşımdaki Zn oranının yaklaşık 0,6-1,2 arasında olacağını ifade eder.

Mg alaşımları ASTM B 93/B 93M ve ASTM B94'e göre standartları tablo 2.7'de gösterilmiştir [13-15].

Tablo 2.7. Mg alaşımları standartları ve bileşimleri [4]

Alaşım Elementi	Mg Alaşımları								
	AM50	AM60	AS21	AS41	AZ31	AZ80	AZ91	ZE10	ZK60
Al	4.5-5.3	5.6-6.4	1.9-2.5	3.7-4.8	2.5-3.5	7.8-9.2	8.5-9.5	0.05 max	0.05 max
Zn	0.20 max.	0.20 max.	0.15-0.25	0.10 max.	0.7-1.3	0.2-0.8	0.45-0.90	1.0-1.5	4.8-6.2
Mn	0.28-0.50	0.26-0.50	0.20 min.	0.35-0.60	0.20 min.	0.15-0.5	0.17-0.40	0.1 max.	0.1 max.
Si	0.05 max	0.05 max	0.70-1.2	0.60-1.4	0.05 max	0.10 max	0.05 max	0.05 max	0.05 max
Fe	0.004 max	0.004 max	0.004 max	0.035 max	0.005 max	0.05 max	0.004 max	0.03 max	0.03 max
Cu	0.008 max	0.008 max	0.008 max	0.015 max	0.05 max	0.05 max	0.025 max	0.025 max	0.05 max
Ni	0.001 max	0.001 max	0.001 max	0.001 max	0.005 max	0.005 max	0.001 max	0.005 max	0.005 max
Be	-	-	-	-	-	0.002	-	0.002	0.002
Ce	-	-	-	-	-	-	-	0.12-0.25	-
Zr	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3-0.9
Diğer	0.01	0.01	0.01	0.01	-	-	0.01	-	-
Mg	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan

Standart ASTM magnezyum alaşımları, içerilen elementin yüzdesine göre harf semboller ile gösterilmiştir. Alüminyum için A, manganez için M, silisyum için S, zirkonyum için Z, toryum için H, gümüş için Q, ve nadir toprak elementleri için E kullanılmaktadır [4]. Rakamlar ise içerilen alaşım elementinin sırasıyla yüzdesini ifade etmektedir. En eski ticari alaşım elementleri alüminyum, çinko ve manganezdır ve Mg-Al-Zn dökümleri II.Dünya savaşı sırasında Almanya da geniş ölçüde kullanılmıştır. Bu alaşımlarda ıslak ve rutubetli ortamlarda korozyon problemi ortaya

çıkış ve 1925 yılında küçük miktarlarda manganez ilavesi ile (% 0,2) bu problem azaltılmıştır. Bu ilavenin sıvıdan demiri ve zararsız intermetalik bileşikler içerisindeki diğer kalıntıları uzaklaştırdığı belirlenmiştir. Mg-Al-Zn sistemine dayanan alaşımlar ortam sıcaklıklarında kullanılmak üzere magnezyum döküm alaşımları için temel malzemeler olarak kalmıştır. En eski dövme alaşımı Mg-1,5Mn alaşımıdır ve levha, ekstrüzyon ve dövme ürünler olarak kullanılmıştır. Tablo 2.8’de önemli magnezyum alaşımlarından bazıları verilmektedir.

Tablo 2.8. Önemli magnezyum alaşımlarından bazıları [4]

Alaşım adı	Alaşım ilaveleri	Kullanımları	Kullanım nedenleri
AZ91	% 9.0 Al, % 0.7 Zn, % 0.13 Mn	Genel döküm alaşımı	Dökülebilirliğinin iyi olması, T<150°C’de iyi mekanik özellikler göstermektedir.
AM60	% 6.0 Al, % 0.15 Mn	Yüksek basınçlı metal kalıp alaşımı	AZ91’den daha fazla tokluk ve şekil değiştirebilme (haddelenme), bir miktar mukavemeti düşürür. Sık sık otomotivlerde yapısal uygulamalar için tercih edilirler.
AZ31	% 3.0 Al, % 1.0 Zn, % 0.2 Mn	Dövme magnezyum ürünleri	İyi ekstrüzyon alaşımıdır.
ZE41	% 4.2 Zn, % 1.2 Re, % 0.7 Zr	Özel döküm alaşımı	Nadir toprak element ilavesi, yüksek sıcaklıklarda sürtünme dayanımı sağlar.
AS41	% 4.2 Al, % 1.0 Si	Genel döküm alaşımı	Yüksek sıcaklıklarda AZ91’den daha iyi sürtünme direnci sergiler, fakat düşük dayanıma sahiptir.

İki dünya savaşı arasındaki dönemde, magnezyum döküm alaşımlarında sık sık zayıf mekanik özelliklerle sonuçlanan büyük ve değişken tane boyutu ve mikro gözeneklilik (mikroporozite) nedeniyle zorluklarla karşılaşmıştır. 1937’de Almanya da zirkonyumun magnezyumda tane inceltme üzerine oldukça etkili olduğu bulunmuştur. Ancak zirkonyumun hem alüminyumla hem de manganez ile kararlı bileşikler oluşturmasıyla ergiyikten uzaklaşması ve görevini yerine getirmemesi mevcut ticari alaşımlarda kullanımını sınırlamıştır. Bu durum hem oda sıcaklığında hem de yüksek sıcaklıklarda gelişmiş mekanik özelliklere sahip zirkonyum içeren yeni döküm ve dövme alaşım serisinin gelişmesine yol açmıştır. Mevcut zirkonyum içeren hem dövme hem de döküm alaşımlarında alüminyum ve manganez

bulunmamaktadır. Bu alaşımlar şu anda uzay araçları endüstrisinde geniş ölçüde kullanılmaktadır [1].

Magnezyum alaşımlarının üretiminde birçok değişik döküm ve dövme yöntemi uygulanmaktadır. Döküm alaşımları, soğuk ve sıcak kamaralı basınçlı döküm, yarı-katı döküm (thixocasting), savurma döküm, sürekli döküm ve kum döküm yöntemleri ile üretilmektedir. Normal döküm ürünlerine göre daha yüksek mekanik özelliklere, düşük maliyet, yüksek dayanım ve iyi süneklığe sahip dövme ürünler genellikle levha, plaka ve ekstrüzyon alaşımları olarak kullanılmaktadır. Tablo 2.9’da bazı üretim yöntemlerinin özellikleri verilmektedir. Genellikle makine veya metal yapı elemanları olarak tasarlanan magnezyum alaşım elemanları basınçlı döküm yöntemiyle üretilmektedir. Magnezyum döküm alaşımlarında döküm sıcaklığı yaklaşık olarak AZ91 alaşımı için 650-680°C, AM60 alaşımı için 670-685°C ve AS41 alaşımı için 665-680°C civarındadır.

Tablo 2.9. Magnezyum alaşımlarında bazı üretim yöntemleri ve özellikleri [1]

Ana Grup	Alt Grup	Özellikler
Döküm	Kum Döküm	Grift şekiller, düşük hacime uygun, iyi kalite, yüksek maliyet, büyük parça üretimi mümkündür.
	Kokil Döküm	Yüksek üretim hızı, iyi yüzey, düşük porozite, yüksek maliyet
	Kabuk Kalıp	Grift şekiller, yüksek hacime uygun, iyi kalite, yüksek maliyet, büyük parça üretimi mümkündür.
	Düşük-Basınçlı Döküm	Grift şekiller, yüksek kalite, orta boy parça dökümü, düşük maliyet özelliklerine sahiptir.
	Yüksek- Basınçlı Döküm	Nihai boyutlar,gerektiği kadar yüksek hacim ortalama büyüklükte parçalar, orta kalite, düşük maliyet özelliklerine sahiptir.
	Hassas Döküm	En hassas nihai boyut, yüksek kalite, çok grift parça üretimi, yüksek maliyet özelliklerine sahiptir.
Dövme	Levha	Düşük özellikler, yüksek maliyet
	Plaka	Düşük özellikler, düşük maliyet, iyi boyut kararlılığı
	Ekstrüzyon	Yüksek mekanik özellikler, düşük maliyet, grift parçalar
	Dövme	Yüksek kalite,ortalama özellik,ortalama maliyet

En önemli basınçlı döküm magnezyum alaşım grubu magnezyum-alüminyum sistemidir. Alüminyum bu sisteme yüksek dayanım ve iyi dökülebilirlik kazandırır. Pres dökümün kolaylıkla yapılabilmesi için %3’ün üzerinde alüminyum ilave edilmesi gereklidir [1].

2.2.1. Magnezyum alaşımlarının sınıflandırılması

Genel olarak magnezyum alaşımları döküm ve dövme alaşımlar olmak üzere ikiye ayrılır. Döküm alaşımlar kendi aralarında basınçlı, kum ve kalıcı kalıba döküm alaşımları olarak ayrılırken; dövme alaşımlarda sac, levha, ekstrüzyon ve dövme alaşımlar olarak alt bölümlere ayrılmaktadır. Sistemin çalışması ile ilgili bir örnek vermek için AZ91E alaşımını ele alabiliriz. Gösterimdeki ilk kısım, AZ, alüminyum ve çinkonun iki ana alaşım elementi olduğu anlamına gelir. Gösterimdeki ikinci kısım, 91, alüminyum ve çinkonun alaşım içindeki yuvarlatılmış yüzdelerini verir (sırasıyla %9 ve %1). Üçüncü kısım, E, %9 Al ve %1 Zn içeren standartlaştırılmış alaşımlar içinde, beşinci alaşım olduğunu ve yüksek korozyon direnci gösterdiğini belirtir. Tablo 2.10'da ASTM sisteminde magnezyum alaşımlarının, alaşım ve menevişleme gösterimlerinin standart dört bölümü gösterilmektedir.

Tablo 2.10. ASTM sisteminde magnezyum alaşımlarının, alaşım ve menevişleme gösterimlerinin standart dört bölümü [4]

Birinci Kısım	İkinci Kısım	Üçüncü Kısım	Dördüncü Kısım
İki temel alaşım elementini belirtir	İki ana alaşım elementinin miktarını belirtir	Temel alaşım elementi miktarları aynı olan alaşımlar arasındaki farkı belirtir	Menevişleme koşullarını belirtir
Azalan yüzde miktarlarına göre düzenlenmiş iki ana alaşım elementini ifade eden, iki harften meydana gelir (eğer miktarlar eşitse alfabetik olarak sıralanır)	İki ana alaşım elementinin yuvarlatılmış yüzdelerini gösteren iki rakamdan meydana gelir ve birinci kısımdaki gösterim sırasına göre düzenlenir	ASTM standardına göre belirlenmiş bir alfabetik harften oluşur (I ve O hariç) A: Birinci Bileşim B: İkinci Bileşim C: Üçüncü Bileşim D: Yüksek Safılıkta (HP) E: Yüksek Korozyon Direnci	Bir harfi izleyen bir numaradan meydana gelir (üçüncü kısımdan tire işaretiyle ayrılmıştır)

2.2.2. Magnezyum alaşımlarının kullanım alanları

Yer kabuğunda bulunan minerallerin %2'i magnezyum içermektedir. Bununla beraber deniz suyunda % 0,13 oranında magnezyum bulunmaktadır. 1 mil küp deniz suyu 6 milyon ton magnezyum içerir ve Amerikan Araştırma Enstitüsüne göre ise dünya üzerinde 330 milyon mil küp deniz suyu bulunmaktadır. Bugünkü kullanım miktarları üzerinden hesap yapıldığında, sadece İsrail'deki Ölü Deniz'de dünyaya yaklaşık 20.000 yıl yetecek kadar magnezyum vardır. Magnezyum bol miktarda bulunan bir metal olmasına rağmen az miktarlarda üretilmektedir. Yıllık magnezyum üretimi 2006 sonu itibariyle 726.000 ton olmasına karşın alüminyum üretimi yaklaşık 33.000.000 tondur [16].

Tüm konstrüksiyon metalleri içinde en hafif olan metal magnezyumdur. Bu malzeme bir plastik kadar hafif fakat bir metal kadar da dayanıklıdır. Çelik ve çinkodan %75, alüminyumdan ise %33 daha hafif olması, birçok sektörde yapı malzemesi olarak kullanımına olanak sağlamaktadır. Magnezyum doğada en çok bulunan 8. elementtir, ayrıca alüminyum ve demirden sonra en çok bulunan yapı metalidir. Tuzlu su tortuları, tuz gölleri ve okyanusları baz alıp düşündüğümüzde ise magnezyum büyük bir farkla en çok bulunan metal haline gelir [7].

Magnezyum metalinin saf halde kullanılması çoğu diğer metallerde olduğu gibi dayanımının düşük olmasından dolayı mümkün değildir. Bu durum, değişik alaşımların üretilmesini gerektirmiştir. Mg alaşımlarının da en önemli özelliği hafifliktir. Bu açıdan bazı Mg alaşımlarının özgül çekme dayanımı, Al ve çeliğin özgül çekme dayanımından daha büyüktür. Bundan dolayı bugün elektronik, savunma, havacılık ve uzay sanayinde yaygın olarak Mg alaşımları kullanılmaktadır [17].

Magnezyumun $1,74 \text{ g/cm}^3$ 'lük yoğunluğu ve 650°C 'lik ergime sıcaklığı, çelik ve alüminyum gibi diğer konstrüksiyon metallerine göre dökümde ve talaşlı imalatta önemli kolaylıklar sağlamaktadır. Örneğin magnezyum metali alüminyumdan iki kat daha hızlı dökülebilmekte ve işlenebilmektedir. Magnezyumun düşük

yoğunluğundan kaynaklanan düşük eylemsizliği, hızlı hareket eden parçalar için bir avantajdır. Hafiflik aynı zamanda, imalat sırasında parçanın daha kolay taşınması ve bitmiş ürünün daha ucuza sevk edilmesi demektir [4].

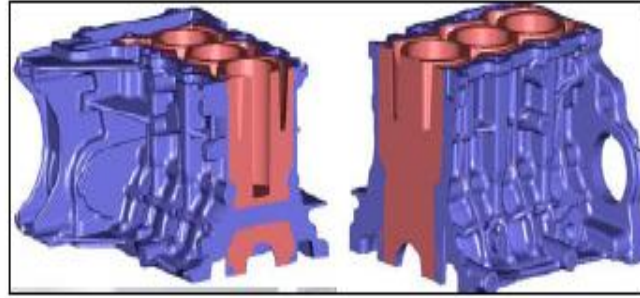
Magnezyum uygun karakteristikleri sayesinde birçok sektörde kullanılabilir bir metaldir. Özellikle otomotiv ve havacılık sektöründe hafifliği dolayısıyla tercih edilmektedir. Ancak bu koşulların sağlanabilmesi kolay olmamış, alüminyuma göre daha pahalı olmasından dolayı magnezyumun kabul görmesi uzun zaman almıştır. Düşen maliyetler neticesinde magnezyumda endüstride kendine yer bulmaya başlamıştır [18].

Otomotiv ve uzay-uçak sanayilerindeki ağırlık tasarrufuna yönelik arayışlarda Mg metali düşük yoğunluğu ile mühendislik uygulamaları açısından en hafif yapısal metal olarak ön plana çıkar. Günümüzde de Mg alaşımlarına olan en büyük ilgi otomotiv sektöründen gelmektedir. Bunun başlıca nedeni, hafif Mg alaşımlarının kullanımı ile araç ağırlığında yapılan azalmanın yakıt ekonomisi sağlaması ve bunun sonucu olarak gaz emisyonlarının da azaltılabilecek olmasıdır. Özellikle otomotivde hafif metalik malzemelere yönelik sadece günümüzün otomobilleri ile ilgili değildir. Güneş enerjisi, elektrik veya hidrojen gibi alternatif enerji kaynakları ile çalışacağı öngörülen geleceğin otomobillerinde hafiflik bugünküne kıyasla çok daha önemli bir gereksinimdir. Önümüzdeki yıllarda binek otomobillerde ulaşılmaya planlanan yakıt tüketimi 3 litre/100 Km gibi zorlu bir hedefdir ve bunun için otomobil ağırlığında yaklaşık %30'luk bir azalma gerekmektedir [19].

Mg'un Al ve çelikle karşılaştırıldığında yüksek fiyatlı olmasına rağmen, net şekle yakın döküm parçalar üretildiğinden otomobillerde kullanımı giderek artmaktadır. 2011 yılına kadar Mg alaşımlarının otomotiv ve elektronik endüstrisinde kullanımı %350 artması beklenmektedir [20].

Mg-Al-Zn (AZ91) alaşımları, çoğunlukla otomobil parçalarının dökümü için kullanılır. Diğer Mg alaşımlarıyla karşılaştırıldığında; AZ91 Mg alaşımı daha iyi döküm, daha iyi akma dayanımı özellikleri göstermektedir.

Mg döküm alaşımlarının gelecekte daha geniş kapsamlı kullanılabileceğine dair en iyi örneklerden biri de BMW firmasının yeni ürettiği Mg-Al kompozit motor bloğudur. Bu, Mg alaşımlarının yüksek sıcaklık motor uygulamasındaki ilk kullanımıdır [21]. Şekil 2.2’de kesik halde Mg-Al motor bloğu görülmektedir.



Şekil 2.2. Kesik halde Mg-Al kompozit motor bloğu [22]

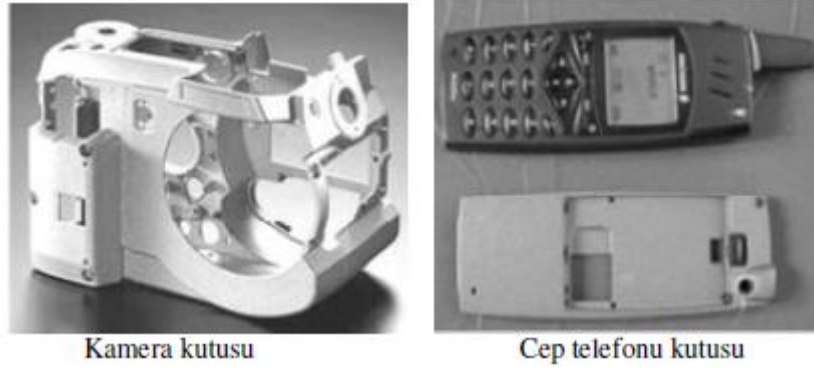
Mg-Al-Mn esaslı alaşımlar (AM20, AM50, AM60) iyi uzama ve darbe dayanımlarına sahiptirler [39]. Toprak elementleri içeren AS41, AS21 (Mg-Al-Si-Mn) ve AE42 (Mg-Al-Re) alaşımları artan sıklıkla, Mg-Al-Mn ve Mg-Al-Zn-Mn alaşımlarından daha yüksek sürünme dayanımıyla karakterize edilen aktarma parçaları imali için kullanılır [13].

AZ serisi alaşımlar otomobil, havacılık, bilgisayar, kamera ve mobil telefonlarda kullanılır. Şekil 2.3’de AZ91 alaşımından üretilmiş döküm parçalar görülmektedir [23].



Şekil 2.3. AZ91 alaşımı döküm parçaları [23].

Şekil 2.4’de Li esaslı Mg alaşımından dökülmüş kamera ve cep telefon kutusu görülmektedir.



Şekil 2.4. Li katkılı Mg alaşımı döküm parçaları [23]

Mg alaşımlarından AM serisi alaşımlar yüksek toklukları ve enerji absorblama özellikleri bakımından özellikle direksiyon, tekerlek, otomobil koltuk iskeleti yapımında kullanılır [24]. Şekil 2.5’de AM alaşımından dökülmüş parçalar görülmektedir [14,24-26].



Şekil 2.5. AM alaşımı döküm parçaları [14,24-27].

2.2.2.1.Havacılıkta magnezyum

Hava aracı sistemleri yapılarının üretiminde kullanılan metallerde istenilen temel özellikler; hafiflik, dayanıklılık ve korozyona karşı dirençtir. Ayrıca bazı özel kullanım alanları için metallerin diğer özellikleri de önemlidir. Hava aracı sistemleri yapılarının üretiminde yaygınlıkla kullanılan metaller; Alüminyum, Çelik, Titanyum, Magnezyum ve Bakırdır. Özel ihtiyaçların, düşük mukavemetleri nedeniyle saf metallerden karşılanması neredeyse olanaksız hale gelmiştir. Bu durumda yapısal olarak daha kullanışlı malzemeler elde etmek için alaşımlar geliştirilmiştir. Alaşımlar çoğunlukla metaller arası bileşikler halindedir. Buna karşılık bazı alaşımlar metal olmayan elementlerin de yer aldığı bileşikler şeklinde olabilmektedir. Magnezyumun havacılık sektöründeki durumu şu şekildedir:

- Mukavemet, hafif ağırlık, şok ve titreşim dirençleri
- Yanıcı olması ve kolayca korozyona uğraması dezavantajdır.
- Buna karşılık magnezyumun ağırlığı, aynı hacimdeki alüminyumun ağırlığının üçte ikisi kadar, demirinkinin beşte biri kadardır.
- Yüzeyine herhangi bir koruyucu kaplama uygulanmamış magnezyum alaşımları korozif bir ortamda beyaz renkte kümecikler veya noktalar şeklinde korozyona uğramaktadırlar.
- Magnezyum alaşımlarının yüzeylerinde oluşan oksit-karbonat filmi korozif olmayan ortamlarda dahi yeteri derecede korozyondan korunma sağlayamamaktadır.
- Bu alaşımların korozyonu uygun koruyucu kaplama uygulandığında önemli ölçüde azaltılır.

Havacılık malzemesi üretiminde kullanılan malzemeler seçilirken çalışma özelliğine göre metal seçimi yapılır. Özellikle korozif ortamda çalışan parçaların üretimi esnasında korozyona daha az meyilli metal veya alaşımların kullanılması gerekmektedir [28].

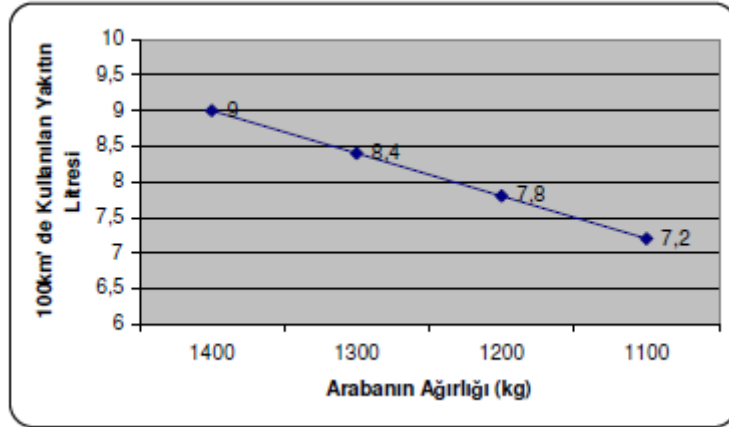
2.2.2.2. Otomotiv sektöründe magnezyum

Otomobil üreticileri de üstün ve tercih edilebilir özelliklerinden dolayı magnezyum alaşımlı parçalar üretmeye başlamışlardır. BMW firması AZ91 alaşımlı motor bloğu üretmiş ve ticari olarak kullanıma başlamıştır. R6 adını verdikleri motorda, krank kutusu, kam kapağı magnezyum ve alüminyum alaşımlı magnezyumdan imal edilmiş olup, emsal motora göre 10 kg daha hafiflik sağlamaktadır [28]. Sektörde sık olarak kullanılan alaşımlar ve özellikleri tablo 2.11’de verilmiştir.

Tablo 2.11. Otomotiv sektöründe kullanılan magnezyum alaşımlarının özellikleri [29]

ALAŞIM		AZ91D	AM50A	AM60B
Alüminyum (%)		8,5-9,5	4,5-5,3	5,6-6,4
Manganez (%)		0,17-0,3	0,28-0,50	0,26-0,50
Çinko (Zn) (%)		0,45-0,9	0,20 max	0,20 max
Silikon (%)		0,05 max	0,05max	0,05max
Bakır (%)		0,025 max	0,008max	0,008max
Nikel (%)		0,001 max	0,001max	0,001max
Demir (%)		0,004 max	0,004max	0,004max
Berilyum (%)		0,0005-0,0015	0,0005-0,0015	0,0005-0,0015
Diğer (%)		0,01max	0,01max	0,01max
FİZİKSEL ÖZELLİKLER				
Yoğunluk ($\text{kg/m}^3 \times 10^3$)		1,81	1,79	1,78
Termal Genleşme Sabiti $\mu\text{m/m}^\circ\text{K}$		25	26	25,625
Isıl İletkenlik ($\text{W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$)		72	62	62
Özgül Isı ($\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$)		1050	1050	1050
Rijitlik Modülü (Kayma ve burulma 10^6 psi)		2,4	-	-
Elastite Modülü (GPa)		45	45	45
Ergime oranı ($^\circ\text{C}$)		470-595	543-620	540-615
Brinell Sertliği (100mm bilya, 500 kgf yük)		75	57	62
Ortam Sıcaklığında	ÇEKME ÖZELLİKLERİ			
	%0,2 Akma Mukavemeti (MPa)	150	120	130
	Kopma Mukavemeti (MPa)	230	220	220
	% Uzama	3	6-10	6-8
	BASMA ÖZELLİKLERİ			
	%0,1 Akma Mukavemeti (MPa)	165	-	130
	Kopma Mukavemeti (MPa)	400	-	-
	KAYMA ÖZELLİKLERİ			
	Kayma Mukavemeti (MPa)	140	-	-
	DARBE ÖZELLİKLERİ			
	1/4" Çentiksiz Charpy (j)	2,2	9,5	6,1
	YORULMA ÖZELLİKLERİ			
	Dönel Eğme Testi (5×10^7 devir)	70	70	70

Şekil 2.6’da görüldüğü gibi günümüzde kullanılan orta üst sınıftaki bir sedan arabada hafif malzemelerin kullanımıyla yakıttan elde edilen tasarruf 100km. de 0,6 litredir. Dolayısıyla emisyonda da % 20’ lik bir azalma olacaktır.



Şekil 2.6. Araç ağırlığındaki azalmayla elde edilecek yakıt tasarrufu [30]

Günümüzde magnezyum alaşımlarının otomotiv sektöründe kullanıma girdiği veya potansiyel kullanım alanı olarak görülebilecek iki ana grup vardır. Bunlardan birincisi magnezyum alaşımlarının halen kabul gördüğü yapısal elemanlar olup (şase elemanları, dahili parçalar ve kaporta elemanları); bu uygulamalarda magnezyum alaşımları mukavemet, süneklik, yorulma ve darbe dirençlerinin yeterli olmaları nedeniyle iş görebilirler. Örnek olarak koltuk iskeleti, direksiyon ve direksiyon kolunu bileşenleri, ayna yuvaları, jantlar, süspansiyon kolları, iç konsol, bagaj kapağı, gösterge paneli, fren ve debriyaj pedalları verilebilir.

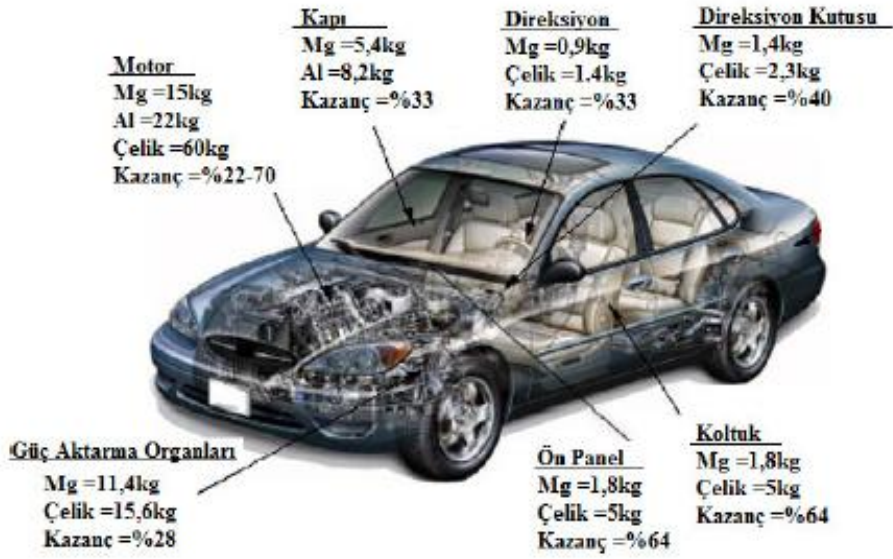
İkinci bir grup uygulama da, motor grubu ve transmisyon komponentlerinden oluşur. Birinci grubun özelliklerinin yanında, yüksek sıcaklıklar için sürünme ve korozyon dayanımı da gerektiren bu parçaların mevcut uygulamaları olmasına rağmen, alaşımları da gelişme sürecine devam etmektedir [30].

Otomobillerde magnezyumun kullanıldığı diğer parçaları listelersek:

- Tekerlekler
- ABS fren destek ve tutma braketi
- Geçme hava yastığı tutucuları
- Debriyaj gövdesi

- Koltuk yükselticisi
- Koltuk kızakları
- Orta konsol
- Kapı içi koruyucu kirişler
- Tekerlek göbeği
- İç kapı kolları
- Kol dayama yerleri
- Kapı kilidi gövdeleri
- Motor destek braketleri
- Endüksiyon sistemi yuvası
- Karter taban kısmı
- Silindir kapağı
- Yanma odaları
- Gösterge paneli destek kirişi
- Şanzıman gövdesi
- Emme manifoldu
- Far mesnedi
- Açılır tavan iskeleti
- Ventil
- Hava filtresi
- Soğutma peteği
- Araç ön paneli
- Travers
- Kaporta

Şekil 2.7’de otomobil parçalarında Mg alaşımının kullanımı gösterilmiştir. Bu şekilden de görüldüğü üzere Mg alaşımları otomobillerin hemen her kısmında kullanılmaktadır.



Şekil 2.7. Otomobil parçalarında Mg alaşımının kullanımı

Magnezyum alaşımlarından üretilmiş çeşitli parçalar araç ve alaşımları tablo 2.12’de görülmektedir.

Tablo 2.12. Magnezyum alaşımlarından üretilmiş çeşitli parçalar [4]

Şirket	Parça	Araç	Alaşım
Ford	Debriyaj yuvaları, yağ karteri, direksiyon kolonu	Ranger	AZ91HP
	Manuel transmisyon kutusu gövdesi	Bronco	AZ91D
General Motors	Valf kapakları, hava filtresi, debriyaj pedalı	Corvette	AZ91HP
	Fren pedalı, debriyaj pedalı	Pontiac	AZ91D
	Direksiyon kolonu braketleri	Pontiac	AZ91D
Chrysler	Destek braketleri, Yağ karteri	Jeep	
	Direksiyon kolonu	LH	
	Destek braketleri, Yağ karteri	Viper	
Mercedes-Benz	Koltuk iskeleti	500 SL	AM20/50
Alfa-Romeo	Çeşitli bileşenler (45kg)	GTV	AZ91B
Porsche AG	Çeşitli bileşenler (53kg)	911	AZ91D
	Tekerlekler (7,44kg)	944 Turbo	
Honda	Silindir Kapakları	City	AZ91D
	Tekerlekler (5,9kg)	Prelude	AM60B
Toyota	Direksiyon simidi	Lexus	AM60B
	Silindir bloğu, yağ pompası, kam mili kapağı	Quad 4	ZE41A

2.3. Alaşım Elementlerinin Magnezyum Alaşımlarına Etkisi

Magnezyum da diğer metaller gibi nadiren saf halde kullanılır. Malzemenin dayanım özelliklerinde belirli gelişmeler sağlamak için Mg'a alaşım elementleri katılarak döküm veya dövme ürünler elde edilmektedir. Mg HSP yapıya sahiptir ve sahip olduğu tane çapı da çok fazla sayıda elementle katı çözünebilirliğe müsaade eder. Mg yapısal bir malzeme olarak kullanıldığında Al, Be, Ca, Cu, Fe, Mn, Ni, Si, Ag, Sn, Zn ve Zr gibi ana elementler ile Na, K, Li alkali ve Ce, Ln, Y, Nd gibi toprak elementleri (RE) katılarak alaşımlandırılır. Bu elementlerin biri veya birkaçı ile alaşımlandırıldığı zaman alaşımlar genellikle yüksek mukavemet/ağırlık oranına sahip olur [11,13,31].

Mg alaşımları için katı eriyik sertleşmesi ve çökelti sertleşmesi iki önemli sertleştirme mekanizmalarıdır. Hume-Ruthery kuralına göre; eğer çözünen ve çözen atomların atomik çapları arasındaki fark %14-15'i aşarsa, katı çözeltili oluşmayabilir. Ayrıca, katı çözeltili oluşturabilmek için iki elementinde aynı kristal yapıya sahip olması gerekir [13,32]. Tablo 2.13'de ikili Mg alaşımlarında oluşan katı intermetalik fazlar ve çözünebilirlik verileri verilmiştir.

Tablo 2.13. Mg alaşımlarında oluşan intermetalik fazlar ve çözünebilirlikleri [32].

Sistem	Max. Çöz.		Faz	Ergime noktası °C	Sistem	Max. Çöz.		Faz	Ergime noktası °C
	% ağı.	% at.				% ağı.	% at.		
Mg-Al	12.7	11.6	Mg ₁₇ Al ₁₂	402	Mg-Sm	5.8	0.99	Mg ₂₅ Sm	-
Mg-Ca	0.95	0.58	Mg ₂ Ca	714	Mg-Nd	3.6	0.63	Mg ₄₁ Nd ₅	560
Mg-Sc	25.9	15.9	MgSc	800	Mg-Th	5.0	0.49	Mg ₂₁ Th ₄	772
Mg-Mn	2.2	1.0	Mg ₂ Mn	1245	Mg-Dy	25.8	4.83	Mg ₂₄ Dy ₅	610
Mg-Zn	8.4	3.3	MgZn	347	Mg-Ho	28.0	5.44	Mg ₂₄ Ho ₅	610
Mg-Y	12.0	3.6	Mg ₂₄ Y ₅	620	Mg-Tm	31.8	6.26	Mg ₂₄ Tm ₅	645
Mg-Zr	3.6	0.99	MgZr	1855	Mg-Yb	3.3	0.48	Mg ₂ Yb	718
Mg-Ag	15.5	4.0	Mg ₃ Ag	492	Mg-Lu	41.0	8.80	Mg ₂₄ Lu ₅	-
Mg-Sn	14.85	3.45	Mg ₂ Sn	770	Mg-Tl	60.5	15.4	Mg ₄ Tl ₇	413
Mg-Ce	0.74	0.13	Mg ₁₇ Ce	611	Mg-Pb	41.7	7.75	Mg ₂ Pb	538
Mg-Pr	1.7	0.31	Mg ₁₂ Pr	585	Mg-Bi	8.85	1.12	Mg ₇ Bi ₂	821

Ticari Mg alaşımlarında kullanılan farklı alaşım elementlerinin etkisi kısaca aşağıda belirtilmiştir.

2.3.1. Alüminyum

Mg esaslı alaşımlarda Al, en fazla kullanılan alaşım elementidir. Al katkısı alaşımın çekme dayanımını, sertliğini ve katılma zamanını arttırmakta, fakat sünekliğini ve darbe dayanımını azaltmaktadır. Ergiyiğin dökülebilirliğini geliştirmesinin yanı sıra Mg'un katı çökelti dayanımını ve döküm alaşımlarının mikro gözeneklerini azaltır. Alaşıma eklenen Al miktarı %6'yı aştığında, alaşımın ısı işlem kabiliyeti artar. Katı eriyik sertleşmesi ve çökelti sertleşmesi ile oluşan $Mg_{17}Al_{12}$ intermetalikliği düşük sıcaklıklarda ($\leq 120^{\circ}C$) oluşarak alaşımın dayanımını geliştirir [12,31,33].

2.3.2. Bakır

Cu, dökülebilirliği iyileştirir. Mg alaşımlarında Cu miktarı %0,05'i aştığında korozyon özelliklerine zararlı olmaktadır. Bununla birlikte Cu alaşımın yüksek sıcaklıklara dayanımını artırır [34].

2.3.3. Çinko

Zn, tane sınırlardaki ötektik miktarını artırarak, alaşımın katılma sıcaklığını düşürmektedir. Korozyon özelliklerinde Cu'nun kötü etkisini yok etmek için Zn ilave edilmektedir [11,33,35]. Zn, çökelti sertleşmesi sayesinde ortam sıcaklıklarında sertliği, dayanımı ve aynı zamanda ergiyiğin akıcılığını artırmakla birlikte, tane sınırlarına çökmesi ile sıcak yırtılma oluşturduğu için %2 ile sınırlıdır. Ayrıca Zn alaşımın çekme mukavemetini artırır [11,33].

2.3.4. Demir

Mg'un çelik kalıplarla kuvvetli reaksiyona girmesini artırır. Korozyon özelliklerini büyük oranda azaltır [34]. Mg alaşımlarında Fe içeriği %0.01-0.03 aralığını geçmemelidir.

2.3.5. Gümüş

Ag elementi katkısı Mg alaşımlarının sertliğini geliştirir, ancak Ag'nin pahalı oluşundan dolayı kullanımı sınırlıdır [11].

2.3.6. Kalay

Sn, Mg'dan daha düşük ergime sıcaklığına sahip ve Mg'dan daha az akıcılığı olan bir elementtir [36]. Mg'a ilave edilen Sn, alaşımın sünekliliğini artırır, sıcak işlem sırasında da alaşımın çatlama eğilimini azalttığı için aynı zamanda alaşımın işlenebilirliğini de artırmaktadır [37]. Sn içeren alaşımda Mg₂Sn intermetalik faz oluşumu soğuma hızına bağlıdır. Yüksek soğuma hızlarında çubuk tipi Mg₂Sn partiküllerin gözlenmesi Mg matrisi ile birlikte olur [38].

2.3.7. Kalsiyum

Ca'un, Mg içerisinde maksimum çözünebilirliği 565°C'de %1,34, 200°C'de ise yaklaşık %0'dır. İntermetalik bileşim olan Mg₂Ca'un ergime noktası 715°C'ye ulaşır. Mg'da Ca sınırlı çözünebilirliği ile katı eriyik sertleşmesine etkisi sınırlıdır. Mg alaşımlarına %1 oranında katılan Ca alaşımın sürünme direncini geliştirmesinin yanı sıra sıcak yırtılmalara karşı olan eğilimi artırır. Ayrıca, az da olsa ergiyik metalin oksidasyonunu azaltmaktadır [13,33,39].

2.3.8. Krom

Krom, metalik bir element olup, atom numarası 24, atom ağırlığı 51.996, yoğunluğu 7,19 g/cm³'dür. HMK kristal yapıdadır. Krom çok sert oluşu, erime noktasının 1857°C oluşu nedeniyle, metallere sertlik sağlamakta ve zırhlı araç yapımında kullanılır. En önemli kullanım alanı Ni ile beraber paslanmaz çeliklerdedir.

Oluşturduğu kromoksit tabakası çelik yüzeyinde film tabakası gibi kapatır ve kimyasal korozyona karşı dayanım sağlar.

Çekme mukavemetinde bir miktar artış sağlamanın yanında, dökülebilirliği kötü yönde etkiler ve dendritik büyümeyi hızlandırır. Sürünmeye karşı dayanımı artırıcı rol oynar [4].

2.3.9. Kurşun

Alaşımına ilave edilen Pb iyi bir çözünürlüğe sahip olduğundan, yüksek sıcaklıklarda (yaklaşık 460°C) %45'e kadar Pb çözünmekte ve ayrı faz olarak ortaya çıkmamasının yanı sıra $Mg_{17}Al_{12}$ intermetalik fazını da inceltmektedir [40].

2.3.10. Mangan

Alaşımına ilave edilen Mn daha çok korozyon direncini artırmak için %0,1-0,5 arasında kullanılır. Mn'nın Mg alaşımlarında, korozyon direncine etkisi fazladır. Fe-Mn çökeltlerinde, Fe'in kontrolü için Mn kullanılır. Mn, Mg alaşımlarının sürünme direncini geliştirir ve Fe'in etkisini azalttığı için, korozyonu engeller. Ancak Mg alaşımlarının dayanımında Mn'nın etkisi azdır [33].

2.3.11. Silisyum

Mg alaşımlarına eklenen Si, alaşımanın yüksek sıcaklıklarda dayanımını artırmaktadır. Eğer alaşımda Fe de varsa Si, Mg alaşımlarının korozyona karşı direncini azaltır [13]. Si atomları Mg matrisi içerisinde, oda sıcaklığında katı halde Mg_2Si intermetalik fazını oluşturur [36]. Kuma dökümlerde oluşan Mg_2Si fazı basınçlı dökümlerde oluşana göre yavaş soğumadan dolayı kabadır ve bu da alaşımı kırılgan yapmaktadır [41].

2.3.12. Stronsiyum

Sr'un mikro gözeneklerin dağılmasında etkisi vardır ve Mg alaşımlarının porozite eğilimini azaltır [42]. Mg alaşımına %2 Sr ilavesi ile alaşımın mekanik özellikleri ve korozyona direnci artmaktadır [43].

2.3.13. Titanyum

Alaşıma ilave edilen Ti, az da olsa tane inceltici görevi yapar ve Mg içinde çok az çözünürlüğe sahiptir. Hızlı katılaşma ile Mg alaşımları üretilirse Ti'nin çözünürlük miktarı artırılabilir [44].

Titanyum sembolü Ti olan 22 atom numaralı, yoğunluğu $4,506 \text{ g/cm}^3$, hegzagonal kristal yapıda olan kimyasal elementtir. Hafif, güçlü, parlak, korozyona karşı dirençli grimsi bir geçiş metalidir. Titanyum demir, alüminyum, vanadyum, molibden gibi elementler ile alaşım yapabilir. Bu güçlü, hafif alaşımlar havacılık (jet motorları, füzeler ve uzay araçları), askeri, endüstriyel işlemler (kimyasallar ve petrokimyasallar, arıtma santralleri, kağıt hamuru ve kağıt), otomotiv, yiyecek, tıp (protezler, implantlar, dental endodontik malzemeler, dental implantlar), spor eşyaları, mücevher, cep telefonu ve diğer uygulamalarda kullanılır [45]. Titanyum 1791'de William Gregor tarafından İngiltere'de keşfedildi ve Martin Heinrich Klaproth tarafından Yunan mitolojisindeki Titan'a atfen bu şekilde isimlendirildi.

Metal formun en yararlı özellikleri korozyona karşı dirençli olması ve bütün metaller içinde en yüksek dayanıklılık-ağırlık oranına sahip olmasıdır [46]. Alaşımsız haliyle %45 daha hafif olmasına rağmen bazı çelikler kadar dayanıklıdır [47].

Metalik bir element olan titanyum sahip olduğu yüksek dayanıklılık-ağırlık oranı ile bilinir [48]. Düşük yoğunluklu hafif ve güçlü bir metaldir. Saf haliyle tamamen esnektir (özellikle oksijensiz ortamda) [49]. Parlak, metalik beyaz renklidir. Göreli olarak yüksek erime noktası ($1,668^\circ\text{C}$) ile dayanıklı metallere göre olmasından dolayı kullanışlıdır.

Titanyumun en ünlü kimyasal özelliği korozyona karşı gösterdiği müthiş direncidir. Neredeyse platin kadar dirençli olan element asitler, klor gazı ve yaygın tuz çözeltilerinin maruziyetine karşı koyabilecek yeterliliktedir [48]. Saf titanyum su içerisinde çözünmez ancak yoğun asit içinde çözünebilir.

Titanyum doğada her zaman diğer elementler ile bağlı bir şekilde bulunur. Yer kabuğunda dokuzuncu en bol bulunan elementtir (kütle ile % 0,63) ve dördüncü en bol bulunan metaldir [47]. Titanyum volkanik kayalarda, tortul tabakalarda bulunur ve bunlardan çıkarılır [49,50]. United States Geological Survey tarafından analiz edilen 801 çeşit volkanik kayadan 784 tanesinde titanyum tespit edilmiştir. Topraklarda bulunma oranı yaklaşık olarak % 0,5, 1,5 arasındadır [47].

2.3.14. Toryum

Alaşıma ilave edilen Th, Y'da olduğu gibi, 300°C sıcaklıklara kadar gerilme ve sürünme özelliklerini geliştirir [51]. Dökülebilirliği iyileştirir, mikroporozite eğilimini azaltır ve Zn ile birlikte kullanıldığında kaynak edilebilme kabiliyetini geliştirir [13].

2.3.15. Yitriyum

Y, Mg alaşımlarının dayanımını artırır. Diğer toprak elementleriyle birlikte kullanıldığında 300°C sıcaklıklara kadar gerilme ve sürünme özelliklerini geliştirir [52]. Ayrıca Y, Mg'da yüksek çözünürlüğe sahiptir (%12,5) ve azalan sıcaklıkla birlikte çözünürlük de azalmakta ve çökelti sertleşmesi oluşmasına sebep olmaktadır [13].

2.3.16. Zirkonyum

Alaşıma ilave edilen Zr, Mg alaşımlarında tane inceltici olarak kullanılır. Zr, oda sıcaklığında mekanik özellikleri geliştirir [53]. Zn, RE ve Th içeren Mg alaşımlarında Zr tane inceltici olarak kullanılmaktadır. Zr, toprak elementleriyle birlikte kullanıldığında dökülebilirliği geliştirir [11,13].

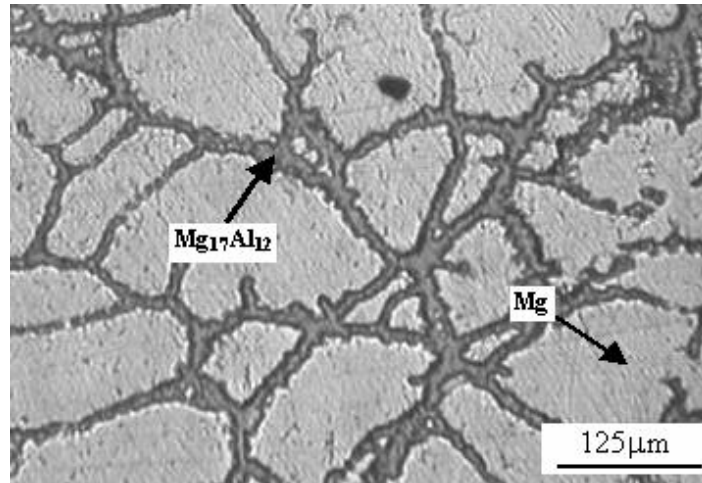
2.3.17. Toprak alkali elementler (RE)

RE elementleri yüksek ısı dayanımını ve sürünme direncinin artırdığını ve döküm porozitesini azalttığı araştırmalar sonucunda bilinmektedir [11,13,54]. RE elementleri dökülebilirliği iyileştirir ve Mg alaşımlarında mikroporoziteyi azaltır [51]. Oda sıcaklıklarında ve yüksek sıcaklıklarda alaşımda katı eriyik ve çökeltme sertleşmesi yaparlar [54]. Bu elementler, dayanım özelliklerini iyileştirir ve yükselen sıcaklıklarda alaşımların iyi sürünme dirençleri sayesinde kararlı çökeltileri matriste ve tane sınırlarında dağılır.

2.4. Magnezyum-Alüminyum İkili Sistemi ve AZ91

Mg-Al ikili sistemi en eski ve en yaygın kullanılan döküm alaşımlarıdır. AZ91, AM50 ve AM60 gibi alaşımlar tüm Mg alaşım dökümünün büyük bir bölümünü kapsamaktadır [11,13]. Şekil 2.7’de verilen ikili Mg-Al diyagramı incelendiğinde ötektik reaksiyon, bir başka deyişle $S_{1V1} \rightarrow Mg_{17}Al_{12} + \alpha\text{-Mg}$ dönüşümü, 437 °C gibi düşük bir sıcaklıkta olduğu gözlenmektedir. Bu sıcaklıkta Al’un maksimum çözünebilirliği %12,7’dir. Alaşım %2’den az Al içerdiğinde dökülebilirlik zorlaşır, %2’den fazla Al içerdiğinde ise mikroyapıda $Mg_{17}Al_{12}$ intermetalik bileşiği oluşumundan dolayı kırılma artar. Alaşımdaki Al içeriği %8’in üzerinde olursa $Mg_{17}Al_{12}$ bileşiği tane sınırları boyunca yayılır ve bu yüzden şekillenebilirlik de hızla azalır [11,13]. Mg-Al ikili alaşımları oldukça iyi döküm özelliklerine ve mekanik özelliklere sahiptir. Mg-Al alaşımları Mn, Zn, RE ve Si gibi ilave elementlerle üçlü ve dördü alaşımlar oluştururlar [11,25].

Sırasıyla ağırlıkça en fazla alüminyum, çinko ve mangan içeren AZ91 alaşımları 1,81 (g/cm^3) yoğunluğa, 71 ısı iletkenliğe (W/m K), 0,98 özgül ısısına (J/kg K), 26 ($10^{-6}/\text{K}$) termal genişleme katsayısına, 596-568°C katılaşıma aralığına, iyi mekanik özelliklere ve dökülebilirliğe sahiptir. Ancak Mg-Al alaşımları geniş katılaşıma aralığına sahiptir ve bu nedenle segregasyon, porozite ve sıcak yırtılma gibi döküm hatalarına karşı hassastır. Şu anda bu alaşımlar yüksek sıcaklıklarda (120°C üzerinde) mekanik özelliklerinin düşmesinden dolayı oda sıcaklığı civarında kullanılmaktadır. Şekil 2.8’de tipik AZ91 alaşımının mikroyapısı verilmektedir. Şekilden de görüleceği üzere magnezyum ve alüminyum çoğunlukla tane sınırlarında basit kübik kristal (bkk) $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ ötektiğini oluşturur. Bu nedenle alüminyum AZ91 alaşımının mekanik özelliklerini geliştirir. Tablo 2.14’de AZ91 alaşımlarının kompozisyonu tablo 2.15’de ise mekanik özellikleri verilmektedir [55-57].



Şekil 2.8. %2 nital ile dağlanmış AZ91 alaşımının optik mikroyapısı

Tablo 2.14. ASTM AZ91 alaşımlarının kompozisyonları [57]

AZ91 alaşımları	Kompozisyon						
	% Al	% Mn	% Zn	% Si	% Cu	% Ni	% Fe
AZ91A-F	8.3-9.7	Min.0.13	0.35-1.0	0.50	0.10	0.03	
AZ91B-F	8.3-9.7	Min.0.13	0.35-1.0	0.50	0.35	0.03	
AZ91C-T6	8.1-9.3	Min.0.13	0.40-1.0	0.30	0.10	0.01	
AZ91D-F	8.3-9.7	Min.0.15	0.35-1.0	0.10	0.030	0.002	Mak.0.005
AZ91E-T6	8.1-9.3	0.17- 0.35	0.4-1.0	0.20	0.015	0.001	Mak.0.005

* F; Die casting (Basınçlı metal kalıba döküm),

* T6; Sand casting and Permanent mold casting (Kuma ve sürekli kalıba döküm)

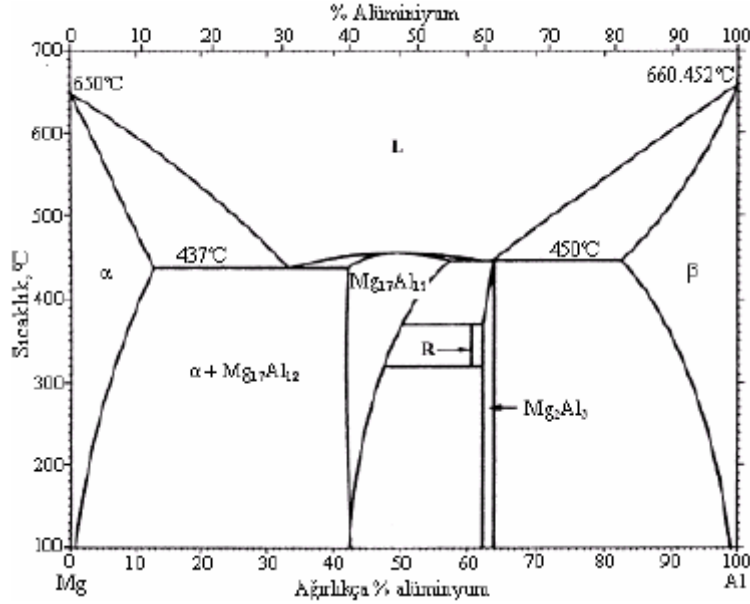
Tablo 2.15. ASTM AZ91 alaşımlarının mekanik özellikleri [57]

AZ91 alaşımları	Yoğunluk	Elastik Modülü	Çekme Mukv.	Akma dayanımı	Uzama	Sertlik	Kesme Mukv.
	(1000 kg/m ³)	(GPa)	(Mpa)	(Mpa)	(%)	(HB5 00)	(Mpa)
AZ91A-F	1.81	44.8	230	150 (165)	3	63	140
İşlem			F	F	F	F	F
AZ91B-F	1.81	44.8	230	150 (165)	3	63	140
İşlem			F	F	F	F	F
AZ91C-T6	1.81	44.8	275	195 (145)	6	66	145
İşlem			T6	T6	T6	T6	T6

Not: Parantez içersindeki değerler basma akma dayanımını göstermektedir.

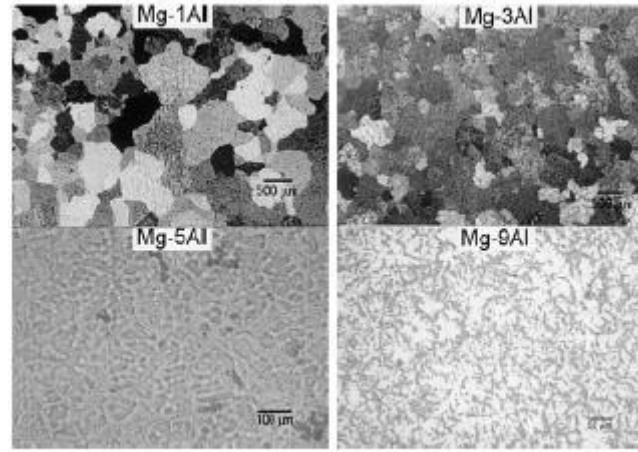
Şekil 2.9'da magnezyum-alüminyum faz diyagramı görülmektedir. Diyagramda üç ara faz mevcuttur. Bu fazlar Mg_2Al_3 ($a = 2.8239$ nm), $Mg_{17}Al_{12}$ ($a = 1.056$ nm) ve peritektoid reaksiyon ürünü rombohedral düz çizgi bileşiği R (ϵ , $a=1.03625$ nm)'dir. Ötektik sıcaklıkta maksimum alüminyum çözünübilirliği ağırlıkça yaklaşık %13 alüminyumdur. Magnezyum ve intermetalik bileşik $Mg_{17}Al_{12}$ arasında ötektik, ağırlıkça yaklaşık %33 alüminyumdan oluşmaktadır. Tüm ticari magnezyum alaşımlarda alüminyum miktarı maksimum katı çözülebilirlik sınırının altında kullanılır ve alaşımlar bu yüzden primer α -Mg fazıyla katılırlar. Bu alaşımların denge mikroyapıları %100 α -Mg'dir ancak dengersiz şartlarda normal olarak

katılaşma süresince yarı kararlı ötektik oluşur ve döküm mikroyapısında Mg-Al alaşımlarında ağırlıkça % 2 alüminyum azaldığı görülür.

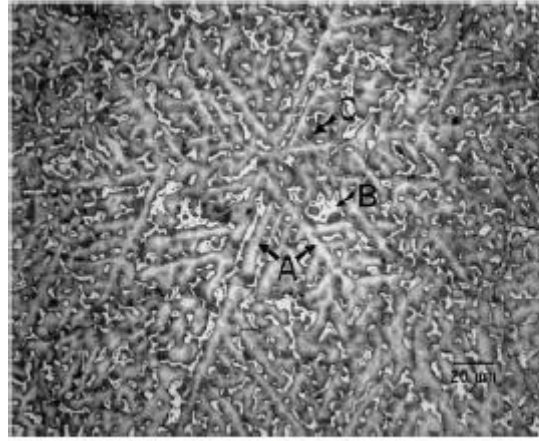


Şekil 2.9. Magnezyum-alüminyum faz diyagramı [4]

Mg-Al alaşımları katılaştığında primer dentrit ve ötektikten oluşan yapıya sahiptir bu oluşum alüminyum içeriğine bağlı olarak değişir. Bu durum şekil 2.10 (a)'da verilmektedir. Yapıda % alüminyum arttıkça oluşan dentritik yapı rahatlıkla görülebilmektedir. Küçük miktarda alüminyum ilavesi, primer fazın hüreselden dentritik yapıya doğru morfolojik değişikliğine neden olur. Rozet'e benzer küre şeklindeki eş eksenli taneler zengin alüminyum katı eriyiği ile dentrit kolları arasında oluşur. Alüminyum miktarı % 5'den daha fazla artırıldığında, dentrit kolları arasında ötektik faz gölcükleri ile dentritler gelişmeye başlar ve alüminyum daha da artırıldığında tamamen dentritik yapı elde edilir. Mg-Al alaşımlarına çinko, mangan, silisyum ve nadir toprak elementleri gibi alaşım elementlerinin az miktarlarda ilave edilmesi bu elementlerin primer fazın çekirdeklenmesinden sonra ikincil fazı oluşturmak için çoğunlukla segragasyonundan dolayı primer fazın çekirdeklenmesinde etkisi az olmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 2.10. Artan alüminyum miktarına göre Mg-Al sisteminde dentritik yapının oluşumu. (a) %1, 3, 5 ve 9Al ile sürekli kalıba dökülmüş (b) Mg-%15Al alaşımında elde edilen dentritlerin optik görüntüsü [56]

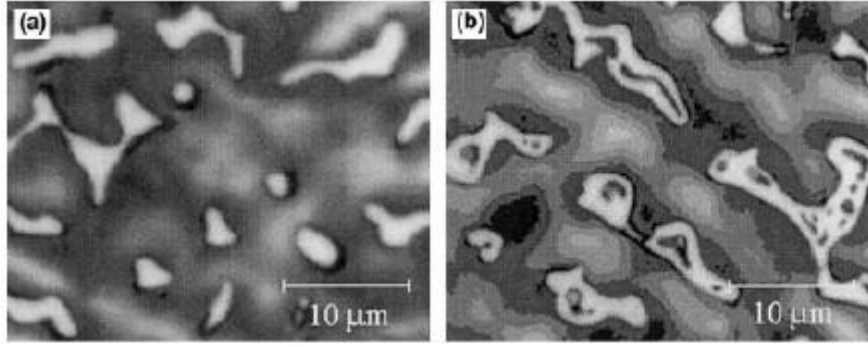
Alüminyum miktarının artmasıyla birlikte dentritik yapının tamamen geliştiği rahatlıkla görülebilmektedir. Şekil 2.10 (b)'de alaşımın mikroyapısı ağırlıkça % 9 alüminyum alaşımına benzemektedir, fakat dentritik yapı % 9 Alüminyum alaşımına göre daha net görülebilmektedir. Magnezyum dentritleri karakteristik simetrisi altı kat olan forma sahiptir.

Mg-Al alaşımlarının katılaşması 600-650°C aralığında, saf magnezyumun ergime noktasından Mg-9Al'un sıvı sıcaklığına doğru primer α -Mg'un çekirdeklenmesiyle başlar. Sonraki katılaşma, 437°C'de elde edilen Mg-Mg₁₇Al₁₂ reaksiyonu ile ötektik fazın oluşumunu içermektedir. Mg-Al alaşımlarında oluşan tipik mikroyapıda (Şekil

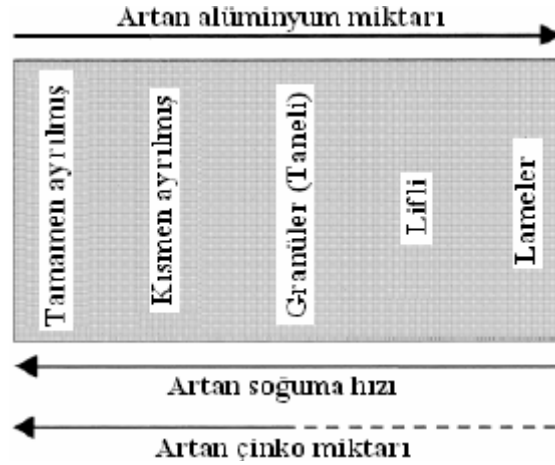
2.10(b)) ikincil kollarla primer α -Mg dentritlerinin gelişimi rahatlıkla görülebilmektedir. Mg-Al faz diyagramına göre ötektik fazın alüminyum miktarının ağırlıkça % 13'e ulaştığında görünmesi beklenilir. Ancak yukarıda da bahsedildiği gibi dengesiz soğuma şartlarında ötektik miktarı az gözükecektir.

Basınçlı metal kalıba döküm AZ91, AM50 ve AM60 genel ticari magnezyum alaşımlarıdır ve bu nedenle önemli ötektik miktarına sahiptirler. Bu alaşımlarda ötektik katılaşmanın anlaşılması iki ana sebepten dolayı önemlidir. Birincisi, katılaşma sonucu, son mikroyapıda bu alaşımların hem sünekliğini hem de sürünme dayanımını etkileyen daha kırılğan β -Mg₁₇Al₁₂ fazının dağılımını, şekli ve boyutunu kontrol eder. İkincisi, katılaşma işleminin son aşaması olan dentritler arası beslemenin olduğu önemli aşamada, ötektik büyüme besleyebilirliği etkiler ve büyük basınç farklılıkları dentritik ağları içinden sıvı çekilmesini gerektirir. Ötektik büyüme modunda ki fark, sıvıyı dentritik ağ içinden kolaylıkla çekebilmesiyle büyük etkiye sahiptir ve bu nedenle de bu alaşımlarda porozite oluşumuna neden olmaktadır.

%10'un altında alüminyum içeren Mg-Al sisteminde ötektik morfoloji, genelde tamamen ya da kısmen bölünmüş olarak görülürken alüminyum miktarıyla alaşım ötektik kompozisyona (%33 Al) yaklaştığında düzenli lameler ya da lifli ötektik mikroyapıya sahiptir. Şekil 2.11'de tamamen ve kısmen bölünmüş iki ötektik mikroyapı verilmektedir. Alüminyum ve çinko miktarı ile soğuma hızının sürekli kalıba dökülmüş alaşımların ötektik morfolojisinde nasıl bir etkide bulunduğu şekil 2.12'da görülmektedir. Ötektik, alüminyum miktarının artmasıyla az bölünmüş iken çinko miktarı ve soğuma hızının artmasıyla daha fazla bölünmüştür. Kompozisyonun ve soğuma hızının ötektik morfolojideki etkisi üzerine ana mekanizma katılaşma süresince oluşan alt soğuma ile ilişkilendirilmiştir. Bu mekanizmanın anlaşılması Mg-Mg₁₇Al₁₂'nin modifikasyonu için yapılan araştırmalara yol göstermiştir.



Şekil 2.11. Ötektik üstü Mg-Al alaşımlarında ötektik morfoloji [54]. Tamamen (a) ve kısmen (b) bölünmüş ötektik yapıda en açık bölgeler β -Mg₁₇Al₁₂ fazı, en koyu bölgeler alüminyumca zengin α -Mg ve gri bölgeler ise primer α -Mg dentritleridir



Şekil 2.12. Sürekli kalıba dökülmüş ötektik üstü Mg-Al alaşımlarında alüminyum ve çinko miktarıyla soğuma hızının ötektik morfolojide etkisi [56]

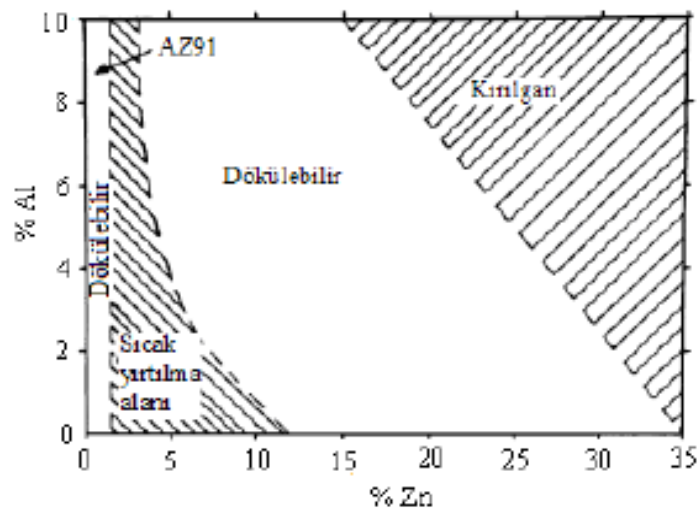
Mg-Al alaşım sisteminde çinkonun, katılaşma sırasında sıcak çatlama davranışını artırması nedeni ile ilavesi sınırlanmaktadır. Ancak bir miktar mukavemetlenmeye neden olur. Çinko düzeyi alüminyum miktarı ile zıt olarak hareket eder. AZ91 ve AZ63 gibi iki ticari alaşım nispeten yüksek yorulma dayanımı sergileyen alaşımlardır. Bu alaşımlar ikili Mg-Al alaşımlarından daha geniş kullanım alanı bulmaktadır.

Mg-Al alaşımlarının geniş katılaşma aralığı ve düşük ötektik hacim miktarı nedeniyle ince parçalar dökülebilmektedir. Ancak, bu avantaj aynı zamanda bu alaşımların ötektik segregasyon, porozite ve sıcak yırtılma hatalarına karşı hassaslığını artırır. Döküm parametrelerinin kontrol edilmesiyle bu hataların neden olduğu zararlar minimize edilebilir. Ancak bu hataların oluşumunu önceden tespit

edebilmek ve sonrasında engelleyebilmek için Mg-Al alaşımlarının mekanik davranışları ve katılma özellikleri hakkında daha fazla araştırma yapılmaya ihtiyaç vardır.

2.4.1. Magnezyum-Alüminyum-Çinko alaşımları

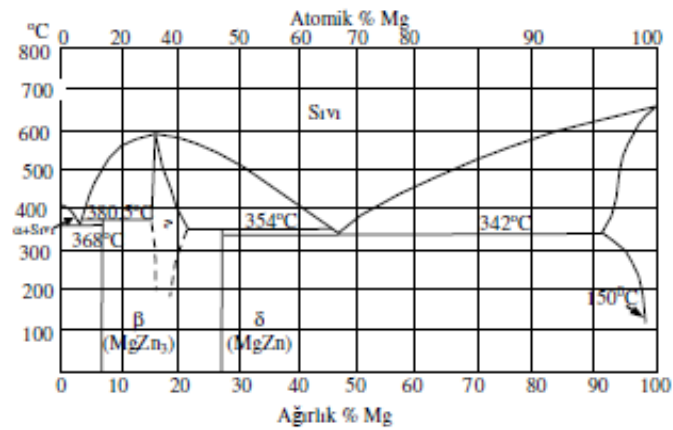
Mg-Al-Zn alaşım sistemi, Mg döküm alaşımlarında önemli bir yere sahiptir. 1913 yılında keşfedilen bu alaşım sistemi daha sonra bir çok araştırmacı tarafından geliştirilmiştir [13]. Şekil 2.13'de Mg-Al-Zn esaslı döküm alaşımlarının dökülebilirlik aralıkları verilmiştir. Şekil 2.14'de magnezyum-çinko faz diyagramı görülmektedir.



Şekil 2.13. Mg-Al-Zn alaşım sisteminin dökülebilirliğinin şematik resmi [13,53,54]

Diyagram incelendiğinde dört bölgeden oluştuğu görülmektedir.

- 1) Düşük Zn'de dökülebilir bölge : Mg ve $Mg_{17}Al_{12}$ fazları vardır ve AZ alaşımı bu bölgededir.
- 2) Sıcak yarıtlma bölgesi
- 3) Yüksek Zn'de dökülebilir bölge: Yüksek Zn'lu alaşımın dökülebilirliğini gösterir ve $Mg_{32}(AlZn)_{49}$ intermetalik bileşiği bu bölgededir.
- 4) Kırılgan bölge



Şekil 2.14. Mg-Zn denge diyagramı [13,33]

2.5. Magnezyum Alaşımlarının Korozyonu

Magnezyum alaşımları en hafif konstrüksiyon malzemesidir. Otomobil üretiminde, portatif aletlerde, bilgisayarlarda, uçak ve diğer hafif makine üretiminde önemli avantajlara sahiptir. Malzeme seçiminde, magnezyum alaşımlarının korozyon özelliklerinin belirlenmesi için farklı malzemelerin korozyon davranışları dikkate alınır. Demir, nikel ve bakır gibi ağır metallerin magnezyumun korozyon hızı üzerindeki negatif etkisi çok uzun zamandır bilinmektedir. Ancak bunun pratik uygulaması daha yeni olmakla birlikte, 1980'li yıllarda alaşımların korozyon dayanımı konusunda önemli gelişmeler olmuştur. Son yıllarda yeni, korozyon dayanımı yüksek ve aynı zamanda deformasyon kabiliyeti olan alaşımlar geliştirilmiş ve otomobillerde kullanılmaya başlanmıştır [7].

Diğer metalik malzemelerde olduğu gibi magnezyum alaşımlarının korozyon davranışında rol oynayan birçok faktör vardır. Bu faktörler;

- Ortamın korozif etkisi,
- Alaşım kalitesi,
- Döküm pratiği,
- Konstrüktif özellikler,
- Yüzey işlemleridir.

2.5.1. Ortam

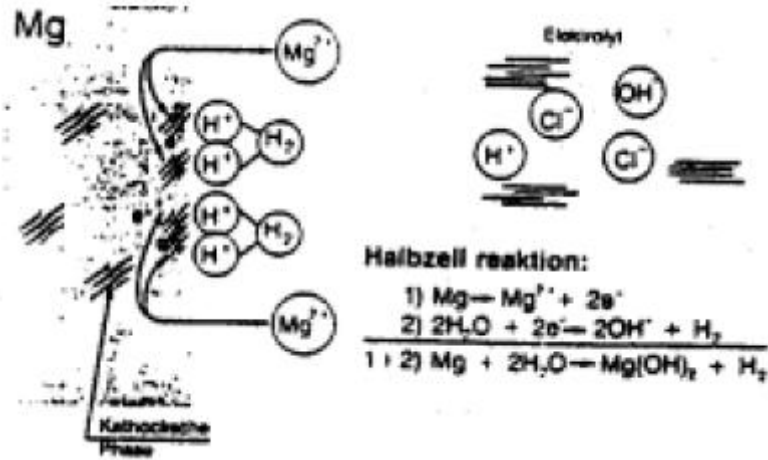
Atmosferik koşullarda magnezyumunun üzerinde magnezyum-karbonat ve sülfat gibi başka bir takım bileşiklerden oluşan bir koruyucu tabaka oluşur. Bu tabakaların oluşumu atmosferik koşullara bağlıdır. Bu tabaka normal atmosferik koşullarda korozif etkilere karşı oldukça iyi bir koruma sağlar. Rutubetli, tuz içeren atmosferlerde ve korozif endüstriyel ortamlarda oluşan gri ve poröz oksit filmi çok düşük koruyucu etkiye sahiptir. Saf su ve slika, florür, fosfat ve bikromat çözeltilerinde korozyon önemli bir etkiye sahip değildir. Cl^- , Br^- , NO_3^- ve SO_4^{2-} iyonlarının bulunduğu çözeltiler magnezyum için çok kuvvetli korozif ortamlardır. Kromik asit ve florik asit gibi mineral asitler magnezyum için çok tehlikelidir. Alkaliler genellikle magnezyum ve magnezyum alaşımlarına etki etmezler [4].

2.5.2. Alaşım kalitesi

Magnezyum korozyonuna neden olan teknik anlamdaki en önemli sebepler, metallerin elektrokimyasal özelliklerinden ortaya çıkarılır. Magnezyum diğer konstrüksiyon metallerine göre daha soy metal değildir. Magnezyum ve magnezyum alaşımlarının pratik korozyon potansiyeli (Tablo 2.16) çinko ve alüminyuma göre belirgin olarak negatiftir ve bu nedenle magnezyumun korozyon eğilimi çok fazladır. Bu nedenlerle magnezyum nötr veya alkali ortamlarda Mg hidroksit pasif filmi oluşturur. Bu pasif tabaka stabil değildir ve tabakada çatlaklar oluşur, böylece aktifleşen metal yüzeyinde korozyon hızlanarak devam eder. Klor içeren korozif ortamların türü ve miktarına bağlı olarak metal yapısı içinde bulunan safsızlıklar korozyon olayının devamında farklı roller oynar. Şekil 2.15'de magnezyumun korozyonunda rol oynayan elektrokimyasal reaksiyonlar şematik gösterilmiştir [61].

Tablo 2.16. %3-6 NaCl içeren çözeltide magnezyumun pratik olarak ölçülen korozyon potansiyeli [61]

METAL	V _{KORR.} -(O.IN.KE)
Mg	-1.73
Mg alaşımları	-1.67
Çinkosuz çelik	-1.14
Zn	-1.05
Kadmiyumlu çelik	-0.86
Al(%99.99)	-0.85
Al(%12Si)	-0.83
Çelik	-0.78
Dökme Demir	-0.78
Pb	-0.55
Sn	-0.50
Krom çeliği,aktif	-0.43
Pirinç(60/40)	-0.33
Cu	-0.22
Ni	- 0.14
Krom çeliği,passif	-0.13
Ag	-0.05
Au	+0.18



Şekil 2.15. Magnezyumun korozyonunda elektrokimyasal reaksiyonlar [62]

Demir, nikel ve bakır gibi safsızlıklar katodik bileşikler olarak katılır ve korozyon hızının yükselmesine neden olurlar. Bugün magnezyum döküm alaşımları çok düşük miktarda bakır ve nikel içerirler. Demir içeriği sıvı metalin mangan klorürle redüklenmesiyle, çok küçük miktarda zararlı maddeler oluşturmasına neden olur.

2.5.3. Konstrüksiyon faktörü

Magnezyum diğer bütün konstrüktif malzemelere göre daha soy değildir. Galvanik korozyonu oluşturan sebepler şunlardır:

- iki metal arasında elektrik iletimi,
- temas noktalarında elektrolit birikimi.

Korozyon oluşumunun derecesi kontak şekline ve elektrolite bağlı olarak değişir. Kontak korozyonunda en etkin korozif bölgeler, örneğin otomobillerin atmosferle temasta olan dış yüzeyleridir. Bu tip bir korozyonu engellemek için şu noktalara dikkat edilmelidir.

- Bakır, nikel, demir ve paslanmaz çeliklerle doğrudan temas engellenmelidir.
- Al-Mg alaşımları (Al-Mg2.5, AlMg4.5Mn veya AlMgSi1) çinko ve kadmiyum gibi elementler magnezyumun üzerinde düşük galvanik etkiye sahiptirler.
- Mümkünse izolasyonla metalik kontağın engellenmesi gereklidir. Kontak bölgelerinde elektrolit toplanmasının engellenmesi gereklidir.
- Vida başı gibi yüzeylerin mümkün olduğunca plastiklerle kaplanması veya kısa tutulması gereklidir [7].

2.6. Magnezyum Alaşımlarının Korozyonunun Nedenleri

Zayıf korozyon direnci magnezyumun bilinen özelliğidir ve bu özellik başta uçak ve uzay endüstri olmak üzere magnezyumun birçok alanda kullanımını kısıtlamaktadır. Magnezyum, mühendislik uygulamalarında kullanılan en aktif metaldir ve bazı doğal çevre koşullarında kendiliğinden korozyona uğramaktadır. Bu nedenle, örnek olarak gemilerin tekne kısımlarında, yer altı boru hatlarında ve çelik borularda ve böyle birçok yapısal uygulamalarda kurban anot olarak kullanılmaktadır. Bu özelliğine rağmen kaplama yapılmış magnezyum, atmosfer korozyonuna karşı yumuşak çelikten daha dirençlidir. Bunlardan başka magnezyum alaşımları, sulu ortamda

uygun alaşımlandırma ile ve yüzey davranışlarının arandığı durumlarda da sık sık uygulanır.

Örneğin Mg-4Al-0,2Mn'li kanolar on yılı aşkın süredir tatlı su gölünde boyanmaksızın kullanılmaktadır. Alaşım elementlerinin magnezyumun korozyon direnci üzerine etkileri daha iyi anlaşıldıkça, yapısal uygulamalarda magnezyumun daha önemli roller alması sağlanacaktır [63].

2.7. AZ91 Alaşımının Korozyon Davranışı Üzerine Son Yıllarda Yapılan Çalışmalar

AZ91'in korozyonu üzerine mikroyapının etkisi, Song v. d. (1999) tarafından çalışılmıştır. AZ91D döküm alaşımının korozyon davranışlarını daha iyi anlamak için karşılaştırmak amacı ile yüksek saflıkta AZ91, Mg-%2Al, Mg-%9Al, düşük saflıkta Mg ve yüksek saflıkta Mg'nin mikroyapı çalışmaları da yapılmıştır. Korozyon deneyleri 1N NaCl çözeltisinde pH=11'de yapılmıştır. Elektrokimyasal korozyon eğrileri sonucunda AZ91D'nin yüzeyi iç kısmına oranla daha iyi korozyon dayanımı göstermiştir. Bu durum, yüzeyin iç kısma kıyasla daha düşük oranda porozite içermesine dayandırılmıştır [64].

Wu v. d. (2005), AZ91D'nin korozyon davranışları, mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerine Ca ve toprak alkali (RE) elementlerinin etkisini çalışmışlardır. Çekme testleri, X-Ray Difraksiyonu (XRD), SEM, EDX, daldırma testleri ve elektrokimyasal polarizasyon deneyleri yapılmıştır. %1 Ca ilave edilen alaşım Al_2Ca fazı oluşturması nedeniyle AZ91D alaşımının korozyon dayanımını artırmıştır. Al_2Ca fazı AZ91D'nin mekanik özellikleri üzerine olumsuz etki yapmıştır. Buna karşılık AZ91'in çekme dayanımı RE element ilavesiyle artmıştır. Ca ilavesi, RE ilaveleriyle kıyaslandığında, korozyon dayanımını artmıştır. %1 Ca ve %1 toprak alkali (RE) ilavesi ile çekme dayanımı %15 artmıştır. Al_2Ca fazının oluşmasından dolayı korozyon hızı düşmüştür [66].

Potansiyodinamik polarizasyon tekniği kullanılarak AZ91 Mg alaşımının pH=7 ve 11'de Cl^- ve Cl^- 'suz ortamda H_3PO_4 tampon çözeltisi içerisinde anodik davranışları Anık v. d. (2006) tarafından çalışılmıştır. AZ91 içindeki ötektik faz pH=7'de anodik bariyer olarak davranırken pH=11'de bu faz tercihli korozyon bölgesi olarak ortaya çıkmaktadır. pH=7 ve 11'de Cl^- iyonlarının varlığında lokal korozyonun arttığı gözlenmiştir [67].

AZ91 alaşımının korozyon davranışı üzerine Si ve Sb ilavesinin etkisi, Srinivasan v. d. (2007) tarafından araştırılmıştır. Daldırma deney numuneleri 15mm çapında ve 15mm uzunluğunda hazırlanıp %3,5 NaCl çözeltisinde 100 saat bekletilerek korozyon deneyi gerçekteştirilmiştir. Korozyon hızı ve davranışını tahmin etmek için ayrıca potansiyodinamik polarizasyon ve elektrokimyasal impedans ölçümleri kullanılmıştır. Korozyon numunelerinin morfolojisi SEM ile incelenmiştir. AZ91'e Si ilavesi ile korozyon dayanımı artarken Sb ilavesi ile korozyon dayanımının azaldığı gözlenmiştir [69].

Ünal, (2008) yaptığı çalışmada; AZ91 alaşımına %0,5, %1 ve %2 oranlarında Sn, Pb gibi yüzey aktif, Si, Fe, Cu gibi yüzey aktif olmayan ve Ti, Zr gibi aşılایıcı elementler ilave ederek akıcılık özelliğine olan etkilerini incelemiştir. Çalışma sonucunda, %0,5 Sn, %0,5 Pb ve %1'e kadar Cu ilavelerinde akıcılığın yükseldiği, artan Si ve Fe ilavelerinde ise akıcılığın azaldığını gözlemlemiştir. Si ve Fe elementleri yüzey aktif elementler olmadığından Mg'un oksit filmini ve yüzey gerilimini etkilemeyecekleri ve oluşturdukları katı intermetalikler ile vizkositeyi artırarak AZ91 alaşımının akıcılığını düşürdüğünü rapor etmiştir. Ayrıca Cu elementinin de yüzey aktif element olmasına rağmen akıcılığı artırması, Al, Mg ve Zn ile oluşturduğu düşük ergime dereceli ötektiklere bağlanabileceğini bildirmiştir [69].

Koç (2008) yaptığı çalışmada AZ91 magnezyum alaşımlarının döküm özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla alaşıma ağırlıkça %0,2, 0,3 ve 0,4 oranlarında yüzey aktif (Sn, Pb), yüzey aktif olmayan (Si) ve aşılایıcı elemanları (Ti, Zr) ilave ederek akıcılık, sıcak yırtılma, mikroyapı ve mekanik özelliklere etkilerini araştırmıştır. Sonuçlarda, Pb ve Sn'ın akıcılığı artırdığı gözlenmiştir. Bu durum Mg'un yüzey

enerjisini düşürmesi ve buharlaşma nedeniyle oksit oluşumunu engellemesine dayandırılmıştır. Sıcak yırtılma Ti ilavesi ile artarken diğer alaşım elemanlarının ilavesinde bir değişiklik gözlenmemiştir. Ayrıca Pb ve Sn ilaveleri çekme ve akma dayanımlarını sırasıyla yaklaşık %35 ve %65 artırmıştır. Si, Ti ve Zr akıcılığı düşürmüş sıcak yırtılma eğilimini artırmıştır. Si, Ti ve Zr ilaveleri çekme ve akma dayanımlarını artırmasına karşılık etkileri Pb ve Sn ilavelerindekinden daha az olduğu gözlenmiştir [70].

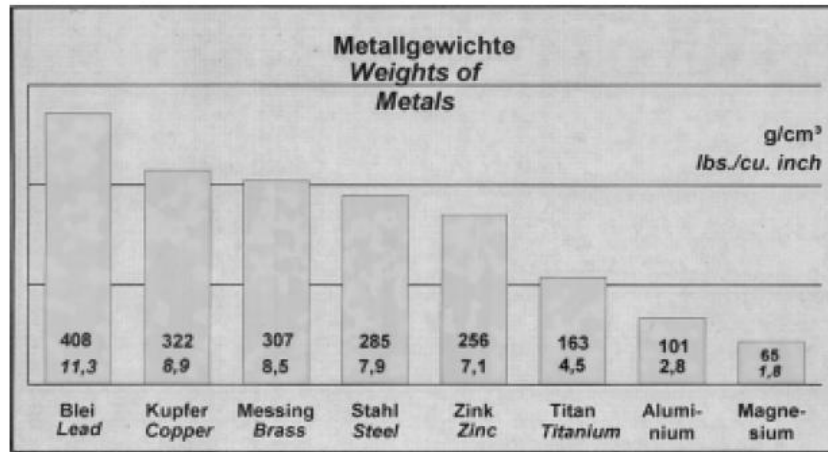
BÖLÜM 3. MAGNEZYUMUN METAL (KOKİL) KALIBA DÖKÜMÜ

3.1. Giriş

Hafif yapılarda ve otomotiv uygulamalarında magnezyum döküm parçalarının kullanımı gözle görülür bir artış geçirmiştir; genelde magnezyum parçalarının avantajları gibi uygulama alanları ve malzemelerin özellikleri hakkında mühendislik bilgileri artıyor. Yenilikçi ve yeni ufuklar açan çözümler hammadde firmaları, dökümhaneciler, sistem firmaları ve otomobil endüstrisi arasındaki yakın temas sonucunda gerçekleşir. 3 litre-araba isteğine doğru eğilimden dolayı ve daha fazla ağırlık tasarrufuna ihtiyaç duyulması magnezyumu umut edici kılmaktadır. Bazı otomobil üreticileri ham madde üretici firmaları ile anlaşmalar imzalamakta veya imalat fabrikalarında yatırım yapmaktadırlar. Çünkü otomobil üreticileri magnezyumun büyük stratejik öneme sahip olduğunu düşünmektedir. 3 litre-araba arzusu arabalarda magnezyum döküm parçalarının kullanımına doğru eğilimin daha fazla olmasını sağlamıştır. Şekil 3.1'de bazı önemli malzemelerin yoğunluğu görülmektedir. Yeni düzenlemeler ile ilgili olarak elektronik alıcıların elektro manyetik radyasyon, magnezyum döküm parçalarını kullanması için bir yol açmıştır. Uç nokta mobil telefonların yıllardır magnezyumdan yapılmış olmasıdır ve bu durum şimdi kamera çerçevesi ve diz üstü bilgisayarlara kadar genişlemiştir. Bu uygulamalar güzel bir şekilde magnezyumun avantajlarını vurgular; böylece, mükemmel dökülebilirlik, yüksek rijitlik ve yüksek boyutsal doğruluğa sahip ince cidarlı parçalar sunulur [1].

Magnezyum alaşımları için çok değişik döküm yöntemleri uygulanabilmektedir. Bu yöntemler soğuk ve sıcak kamaralı basınçlı döküm, kum kalıba döküm, hassas döküm, sürekli kalıba (kokil) döküm, düşük basınçlı döküm (low pressure die casting), vakumlu döküm, yarı-katı metal döküm (semisolid metal casting) ve

sıkıştırma döküm (squeeze casting) yöntemleridir. Son yıllarda basınçlı döküm alaşımlarının kullanımı oldukça artmıştır. Özel bir parça için döküm yöntemi seçiminde; tasarım şekli, arzu edilen mekanik ve yüzeysel özellikler, üretilecek toplam parça sayısı ve alaşımların dökülebilirliği belirleyicidir. Dökümde kullanılacak çok fazla alaşım çeşidi bulunmasına rağmen, her alaşım her döküm yönteminde kullanıma uygun değildir [4].



Şekil 3.1. Bazı önemli malzemelerin yoğunluğu [1]

Şekil 3.1’de görüldüğü gibi, çinko, dökme demir ve çelik magnezyumdan 4 kez daha ağır iken alüminyum magnezyumdan %50 daha ağırdır [1].

3.2. Üretim Metotları

Magnezyum, genellikle diğer metallerin üretildiği yöntemlerle şekillendirilebilir. İmalat yönteminin seçiminde malzemeden beklenen optimum özellikler dikkate alınmalıdır. Bazı özel parçaların şekillendirilmesinde spesifik imalat yöntemleri tercih edilebilir. Farklı yöntemlerde kullanılan magnezyum alaşımlarının kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri ise tablo 3.1’de gösterilmektedir.

Genel olarak bakıldığında, döküm yolu ile şekillendirilen magnezyum alaşımlarının miktarında, özellikle 1995 yılından itibaren önemli artışlar gözlenmektedir.

Magnezyum dökümünde meydana gelen global büyümenin içinde bulunduğumuz yüzyılda da hızlı bir şekilde gelişme göstereceği tahmin edilmektedir [4].

Tablo 3.1. Magnezyum alaşımlarının kimyasal bileşimleri ve oda sıcaklığındaki tipik mekanik özellikleri [4]

Alaşım	Bileşim, %						Çekme Dayanımı Mpa	Akma Dayanımı		Uzama 50 mm %	Kesme Dayanımı Mpa	Sertlik HRB
	Al	Mn	Th	Zn	Zr	Diğer		Çekme	Basma			
								Mpa	Mpa			
Kum ve Kalıcı (Kokil) Kalıba Döküm Alaşımları												
AM100A-T61	10.0	0.1	...	...	...	...	275	150	150	1	...	69
AZ63A-T6	6.0	0.15	...	3.0	...	...	275	130	130	5	145	73
AZ81A-T4	7.6	0.13	...	0.7	...	...	275	83	83	15	125	55
AZ91C, E-T6	8.7	0.13	...	0.7	...	...	275	145	145	6	145	66
AZ92A-T6	9.0	0.10	...	2.0	...	...	275	150	150	3	150	84
EQ21A-T6	...	...	...	...	0.7	1.5Ag, 2.1Di	235	195	195	2	...	65-85
EZ33A-T5	...	...	...	2.7	0.6	3.3RE	160	110	110	2	145	50
HK31A-T6	...	...	3.3	...	0.7	...	220	105	105	8	145	55
HZ32A-T5	...	...	3.3	2.1	0.7	...	185	90	90	4	140	57
K1A-F	...	...	...	...	0.7	...	180	55	...	1	55	...
QE22A-T6	...	...	...	...	0.7	2.5Ag, 2.1Di	260	195	195	3	...	80
QH21A-T6	...	...	1.0	...	0.7	2.5Ag, 1.0Di	275	205	...	4	...	...
WE43A-T6	...	...	...	...	0.7	4.0 Y, 3.4RE	250	165	...	2	...	75-95
WE54A-T6	...	...	...	...	0.7	5.2 Y, 3.0RE	250	172	172	2	...	75-95
ZC63A-T6	...	0.25- 0.75	...	6.0	...	2.7 Cu	210	125	...	4	...	55-65
ZE41A-T5	...	...	...	4.2	0.7	1.2RE	205	140	140	3.5	160	62
ZE63A-T6	...	...	...	5.8	0.7	2.6RE	300	190	195	10	...	60-85
ZH62A-T5	...	...	1.8	5.7	0.7	...	240	170	170	4	165	70
ZK51A-T5	...	...	...	4.6	0.7	...	205	165	165	3.5	160	65

Tablo 3.1. (Devam) Magnezyum alaşımlarının kimyasal bileşimleri ve oda sıcaklığındaki tipik mekanik özellikleri [4]

ZK61A-T5	...	...	...	6.0	0.7	...	310	185	185	...	170	68
ZK61A-T6	...	...	...	6.0	0.7	...	310	195	195	10	180	70
Basınçlı Döküm Alaşımları												
AM60A,B-F	6.0	0.13	...	...	...	...	205	115	115	6	...	...
AS21X1	1.7	0.4	...	...	...	1.1 Si	240	130	130	9	...	...
AS41A-F	4.3	0.35	...	...	...	1.0 Si	220	150	150	4	...	...
AZ91A,B, D-F	9.0	0.13	...	0.7	...	...	230	150	165	3	140	63
Ekstrüzyon Alaşımları												
AZ10A-F	1.2	0.2	...	0.4	...	...	240	145	69	10	...	...
AZ21X1-F	1.8	0.02	...	1.2	...	...	...	...	...	...	...	...
AZ31 B, C-F	3.0	...	...	1.0	...	...	260	200	97	15	130	49
AZ61A-F	6.5	...	...	1.0	...	...	310	230	130	16	140	60
AZ80A-T5	8.5	...	...	0.5	...	...	380	275	240	7	165	82
HM31A-F	...	1.2	3.0	...	...	...	290	230	185	10	150	...
M1A-F	...	1.2	...	...	...	...	255	180	83	12	125	44
ZC71-F	...	0.5-1.0	...	6.5	...	1.2 Cu	360	340	...	5	...	70-80
ZK21A-F	...	...	...	2.3	0.45	...	260	195	135	4	...	...
ZK40A-T5	...	...	...	4.0	0.45	...	276	255	140	4	...	...
ZK60A-T5	...	...	...	5.5	0.45	...	365	305	250	11	180	88
Sac ve Levha Alaşımları												
AZ31B-H24	3.0	...	...	1.0	...	...	290	220	180	15	160	73
HK31A-H24	...	...	3.0	...	0.6	...	255	200	160	9	140	68
HM21A-T8	...	0.6	2.0	...	...	...	235	170	130	11	125	...
PE	3.3	...	...	0.7	...	...	...	...	...	...	...	...

RE: Nadir Toprak

Di: Didymim (%85 Neodyum %15 proseodyumdan oluşan nadir toprak karışımı)

PE: Fotograf baskı levhası

Magnezyum alaşımlarının kum kalıba döküm yöntemiyle üretimi çok sayıda alaşıma uygulanabilmekte ve farklı boyutlarda parçalar elde edilebilmektedir. Ancak yöntem,

kalıp kumu ile ergiyik magnezyum arasındaki reaksiyonlardan dolayı inhibitör kullanımını gerekli kılar. Yüksek adetlerde parça üretimi için uygunken, yüzey bitirme ve tolerans değerleri açısından çok iyi özellikler sağlanamaz.

Kum kalıba döküm yöntemiyle sağlanamayan bazı özellikler, hassas dökümle sağlanabilir. Ancak hassas döküm yöntemi için parça başına maliyet ve ilk yatırım maliyetleri oldukça yüksektir. Magnezyum alaşımlarının sürekli kalıba döküm yöntemiyle üretiminde ise, kalıbın tekrar kullanılabilmesi maliyetler açısından bir avantaj gibi gözükse de, kalıpların yüksek ilk yatırım maliyetlerinin amortismanı, bir kalıptan alınabilecek parça adediyle karşılanamayabilir. Yüzey bitirme özellikleri ve boyutsal toleranslar açısından iyi sonuçlar alınmasının yanında, çok sayıda alaşım türüne uygulanabilir bir yöntemdir [4].

Farklı magnezyum alaşımları için farklı yöntemler uygulanmakta ve bu alaşımlar farklı mekanik özellikler göstermektedir.

Kalıp malzemesi olarak çelik veya dökme demirin kullanıldığı döküm yöntemine 'kokil döküm' adı verilir. Bu bakımdan kokil döküm, 'metal kalıba döküm' olarak da bilinir.

Kum kalıplarda bir defa döküm yapıldıktan sonra kalıp bozulmakta veya kumun kalıplama özelliği kaybolmaktadır. Metal kalıplarda ise, binlerce döküm yapılabilir. Kokil döküm için hazırlanacak kalıp maliyeti, kum kalıba göre çok yüksektir. Fakat kokil döküm kalıpları çok sayıda döküm için kullanıldığından ekonomik olmaktadır. Kokil kalıp dökümde, aynı şekilli birçok parçanın dökümü hızlı bir şekilde yapılabilir. Sıvı metal yer çekimi etkisiyle kalıba girer. Kokil döküm özellikle yüksek yoğunluklu parça üretimi için uygundur. Kum dökümle kıyaslandığında kokil kalıp dökümünün üstünlüğü; boyutsal toleransları ve yüzey kalitesi sayesinde, daha uniform döküm parçaların üretiminin sağlanmasıdır [13]. Döküm işleminin süresinin uzaması ile ergimiş metal, kalıba keskin bir türbilans ve sıçrama ile girer. Ergimiş metalin uzun sürede düşmesini önlemek amacıyla eğik döküm makinesi, üretimde sıklıkla kullanılmaktadır [13,71].

Metalsel kalıbın ısı iletkenliği kum kalıba göre yüksek olduğundan, dökülen metal hemen soğur ve kendini çekme sebebiyle kalıba yapışmaz. Metalin kalıba yapışma ihtimalini azaltmak için, grafit veya kil ihtiva eden bir sıvı kalıp cidarlarına püskürtülür veya sürülür. Bu malzeme sıcak metal ile temas ettiği zaman, gaz haline geçerek yapışmayı önler. Kokil ve kum döküm ile elde edilen döküm parçaları mukayese ettiğimizde, kokil döküm parçalarının aşağıdaki üstünlüklere sahip olduklarını görürüz:

- a) İş parçasının yüzeyi daha düzgün olup, talaş kaldırmayı dahi gerektirmez.
- b) Mekanik özellikler daha yüksektir.
- c) Referanslar daha dar tutulabilir ve boyutları daha hassas parçalar elde edilebilir.
- d) Temizleme masrafı daha azdır.
- e) Karmaşık şekilli parçalar kolaylıkla dökülebilirler.

Yukarıda sayılan avantajlara rağmen kokil dökümün tatbikini sınırlayan bazı haller mevcuttur.

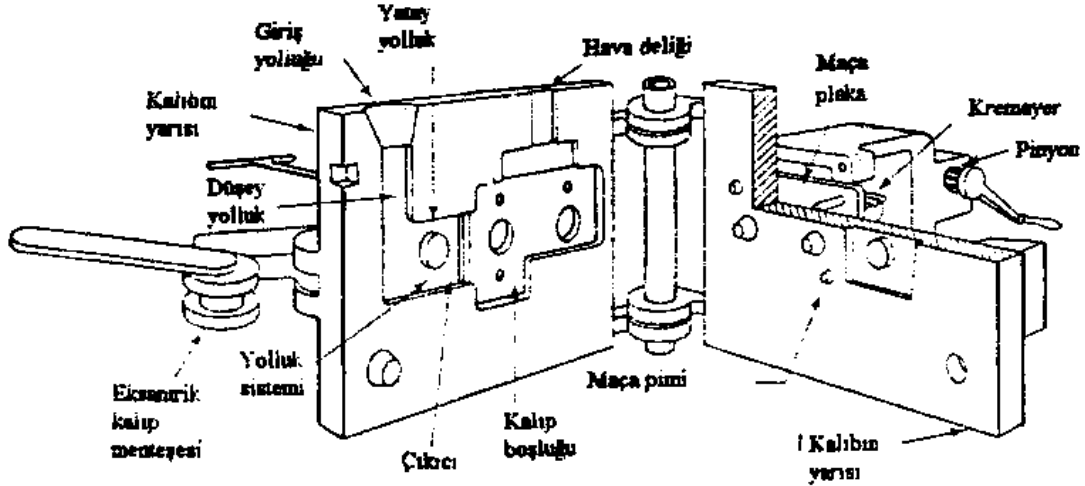
Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- a) Bir boyut sınırlaması olmamasına rağmen, kokil döküm genellikle çok ufak boyutlu parçalara tatbik edilir.
- b) Bütün alaşımlar metal kalıpta döküme elverişli değildir. Metal kalıpta alüminyum, bakır, magnezyum, çinko esaslı alaşımlar ve ötektoid üstü gri dökme demir dökülebilir.
- c) Az sayıda parça için çok pahalı hale gelir.
- d) Kalıptan çıkarma zorlukları sebebiyle bazı parçaların dökümü imkansızdır.

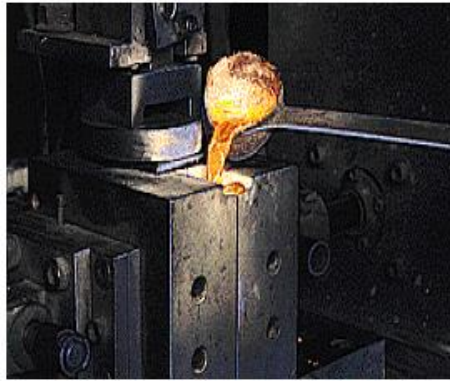
Metal kalıp yüksek ergime sıcaklıkları sebebiyle, çelik malzemeden yapılacak parçaların dökümü için uygun olmamaktadır. Ayrıca dökülecek malzeme cinsine göre metal kalıp ömrü değişmektedir.

Metal kalıba dökümde kalıpların açılıp kapatılması el ile veya hidrolik mekanizmalarla olabilir. Hidrolik tertibat çok sayıda parça üretiminde kullanılır. Şekil 3.2'de el ile çalışan bir kalıp düzeni görülmektedir. Küçük ve düşük ağırlıklı

döküm parçalarının imalatı için sıvı metalin kalıba doldurulması ve katılaştan dökümün kalıptan çıkarılması el ile yapılabilir. Fakat döküm sıcaklığı yükseldikçe ve parça ağırlığı arttıkça el ile çalışmak zorlaşır. Bu durumda bu işlemlerin mekanik tertibatlarla yapılması gerekir.



Şekil 3.2. El ile çalışan kokil döküm sistemi [72].



Şekil 3.3. Kokil döküm sistemi [73]

Metal (kokil) kalıba döküm yönteminde katılaşma sırasındaki soğuma, kum kalıplardan daha hızlı olduğu için iç yapı daha ince tanelidir. Boyut hassasiyeti 0,25 mm olup, parça yüzeyleri temizleme işlemi gerektirmeyecek kadar yüksek kalitededir. Metal kalıplarda kullanılan maçalar metal, kum veya alçıdan yapılabilir.

Kalıp ömrünü arttırmak için kalıp boşluğu ısıya dayanıklı malzemelerle kaplanır ve bu sayede parçanın kalıptan çıkarılması da kolaylaşır.

Kalıp üretiminde kalıp boşluğu ve diğer kanallar talaşlı imalat yöntemiyle açılır. Kalıp malzemesi geçirgen olmadığından hava kanalları açılması zorunludur. Kokil kalıp tasarımı büyük deneyim ister. Kalıp cidar kalınlıkları genellikle 18...50 mm arasında seçilir. Metal kalıpların cidar kalınlığının belirlenmesinde ısı girdi ve çıktılarının dikkate alınması gerekir. Çünkü bu yöntemin başarısı kalıbın sürekli çalışma sırasındaki sıcaklığına bağlıdır ve gerektiğinde kalıp soğutulabilir. Ayrıca döküm başlangıcında metalin kalıba sorunsuz dolması için birçok kez kalıp ön ısıtılır.

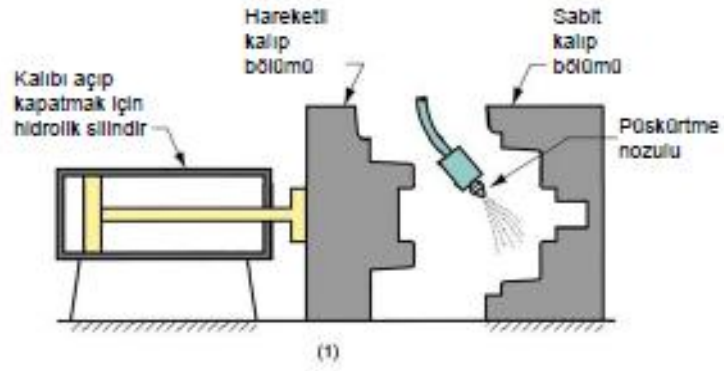
Kalıcı kalıpların malzemesi metal dışında refrakter özelliği daha iyi olan malzemeler de olabilir. Bu sayede daha yüksek döküm sıcaklıkları kullanılabilir. Buna örnek grafit kalıplardır. Grafit, işlenmesi ve onarımı kolay, çok yüksek ısılara dayanabilen, genişmesi az, ısı iletimi iyi bir kalıp gerecidir. Statik döküm, pres ve savurma döküm tekniklerine de uygun olan grafitin aşınması fazla olduğu için özel tedbirler almak gerekir. Bu kalıplar alüminyum, magnezyum gibi alaşımlardan az sayıda parça için tercih edilirler. Ancak çok çabuk aşındıklarından sadece özel uygulamalarda kullanılırlar. Döküm sıcaklığı arttıkça kalıp ömrü azalır.

Döküm sonrasında mümkünse parça tam soğuma beklenmeden hemen çıkarılır ve böylece parçanın oda sıcaklığına kadar serbestçe büzülmesi sağlanır.

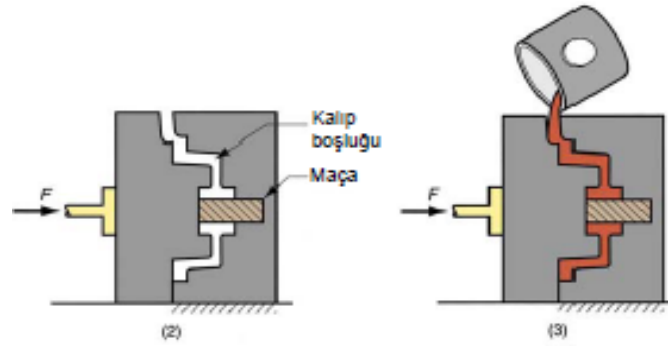
Genellikle demirdışı metallerin dökümü için kullanılan kokil döküm yöntemiyle üretilen parçalara örnek olarak soğutucu kompresör gövdeleri, hidrolik fren silindirleri, biyel kolları, alüminyum daktilo parçaları ve mutfak eşyaları gösterilebilir [72].



Şekil 3.4. Kokil kalıpla yapılmış kompresör gövdesi ve çeşitli döküm parçalar [73]



Şekil 3.5. Kokil kalıba dökümde aşamalar: (1) kalıp ön tavlınır ve kaplanır [72].



Şekil 3.6. Kokil kalıba dökümde aşamalar: (2) maçalar (kullanılıyorsa) yerleştirilir ve kalıp kapatılır, (3) erimiş metal, içinde katılacağı kalıba dökülür [72].

Tablo3.2. Alaşımlar döküm sıcaklığı, kalıp ömrü, kalıp sıcaklığı [73]

Metal	Döküm sıcaklığı °C	Yaklaşık kalıp ömrü (döküm parça sayısı)	Kalıp çalışma sıcaklığı °C
Alüminyum Esash	704-760	10.000 e kadar	343-427
Bakır Esash	1038-1149	5000 – 20.000	121-260
Magnezyum Esash	649-704	20.000 – 100.000	149-316
Çinko Esash	388-427	100.000 +	204-260
Gri Dökme Demir	1260-1482	5000 – 20.000	316-427

3.3. İşlem Faktörleri ve Tasarımdan Kaynaklanan Döküm Hataları

Magnezyum alaşımlarının dökümünde en çok karşılaşılan hatalar; eksik dolun, soğuk birleşme, gaz porozitesi ve kendini çekme boşluklarıdır. Hataların oluşumu birbiriyle bağlantılı birçok faktörden kaynaklanmaktadır. Yanlış işlem parametreleri, hatalı parça veya kalıp dizaynı, alaşım içindeki katkıların kötü etkileri; hata faktörlerini oluşturmaktadır. Aşağıda oluşan hatalar ve oluşum sebepleri kısaca anlatılmıştır.

-Yetersiz dolun veya kalıp boşluğunun tam olarak dolmaması, kalıbın soğuk olmasından, ergimiş metal sıcaklığının düşük olmasından, kirli alaşımdan (aşırı oksit içeriyorsa), havalandırmanın yetersiz olmasından, kalıba eksik sıvı metal koyulmasından kaynaklanabilir.

-Soğuk birleşme veya soğuk akış; sıvı metalin kısmen katılaşmış bir bölgeyle karşılaştığı zaman meydana gelir. Genellikle, ergimiş metalin veya kalıbın düşük sıcaklığa sahip olmasından kaynaklanır.

-Gaz boşlukları; hava veya gazların kalıp boşluğuna sıkışması veya ergiyik içinde çözünen hidrojenin ayrışması sonucu meydana gelmektedir. Bu hatanın oluşumu;

yolluk, havalandırma ve yağlama sistemlerinin optimum şekilde ayarlanması ile minimum seviyelere çekilebilir.

-Büzülme (kendini çekme) boşlukları; metal beslemesinin kendini çekmeyi telafi edemediği yerlerde sıcak benekler olarak karşımıza çıkabilmektedir.

-Akış veya girdap izleri; parçanın yüzeyinde oluşan bu izler, dolum esnasındaki türbülans, sıçramalardan veya aşırı kalıp yağlayıcılarının kullanımından kaynaklanabilmektedir.

-Sıcak yırtılmalar; sıvı metalin kısmen katılaştığı durumlarda karşımıza çıkar. Kalıp içindeki gerilmeleri arttıracak sınırlamalar, keskin köşeler, parçanın kalıptan geç çıkarılması sıcak yırtılma eğilimini arttıran durumlardır.

-Deformasyon, burkulma ve kırılmalar; parçanın kalıptan dışarı çıkartılması esnasında, büzülme gerilmeleri sebebiyle oluşmaktadır. Parça ve kalıbın dizaynı yapılırken, artık gerilmelerin dikkate alınması ve dökümden sonra ısı işlem uygulanması ile deformasyon ve distorsiyon hatalarının oluşumu azaltılabilir [72,73].

Genelde, birçok sebebin etkileşimi ile belirli bir hata oluşumu meydana gelmektedir. Bu faktörlerin her biri sistematik bir şekilde analiz edilmeli ve hata oluşumu bundan sonra değerlendirilmelidir. Çeşitli hata türleri ve bunların oluşumunda proses parametrelerinin etkileri üzerine, çok sayıda sistematik analiz çalışması yapılmıştır [4].

AZ tipi alaşımlar kokil döküm yöntemiyle üretilen alaşımlardır. Bu yöntemde Mg alaşımları Al alaşımlarından çok daha hızlı dökülür. Al alaşımlarına göre kalıp ömrü daha uzundur. Çünkü Mg'da kalıp yüzeyine yapışma riski daha az Al'da ise daha fazladır. Doğru bir biçimde kullanıldığında ve korunduğunda, koruyucu kaplama yöntemleri ile de kalıp ömrü daha da çok artırılabilir. Mg alaşımının farklı fiziksel ve kimyasal özellikleri Al ile karşılaştırıldığında farklı pota malzemeleri kullanılır.

Ergimiş Mg, ergimiş Al'da olduğu gibi Fe ile reaksiyona girmez. Bu nedenle Mg ve alaşımları Fe ve çelik potalarda ergitilebilir ve tutulabilir [73].

3.4. Metal (Kokil) Kalıba Dökümün Avantajları

- İnce taneli iç yapı sayesinde mekanik özellikleri daha iyidir. Katılaşmanın ve soğumanın çok hızlı oluşu, daha sık ve ince bir yapının elde edilmesini sağlar. Çekme gerilmesi ve akma sınırı artar. Daha fazla sertlik ve tokluk elde edilir. Döküm süresi kısaldır.
- Hassas boyut toleransları sağlanabilir.
- Karmaşık parçaların üretimi mümkündür.
- Parçanın yüzey kalitesi iyi olup, temizleme masrafları düşüktür.
- Seri üretim için ekonomik bir uygulamadır. Çok fazla parça dökmek maliyeti düşürür.
- Gaz kabarcığı ve karıncalanma gibi hatalar meydana gelmez .
- Ölçü değişimi daha az olduğu için hassas toleranslar ve işleme payları verilir.
- Kokil ile alaşımların sıcaklıklarının ayarlanması ile elde edilecek parça sertlikleri ayarlanabilir .
- Küçük bir alanda fazla miktarda üretim sağlanır.



Şekil 3.7. Kokil dökümle üretilen parçalar [73]

3.5. Metal (Kokil) Kalıba Dökümün Dezavantajları

- Kokil kalıp pahalı olduğundan yöntem ancak seri üretimde ekonomiktir. Yöntem düşük sayıda parça üretiminde çok pahalı hale gelir.
- Bu yöntemle her malzeme dökülemez. Bütün alaşımlar metal kalıpta dökülmeye uygun değildir.
- Sadece küçük parçaların üretimi için uygundur.
- Bazı şekillerin bu yöntemle üretimi olanaksızdır, buna ya mala yüzeyinin (ayırma yüzeyi) yeri veya dökümün kalıptan çıkarılışındaki zorluk neden olmaktadır [72,73].

3.6. AZ91 Alaşımı Döküm Özellikleri Üzerine Son Yıllarda Yapılan Çalışmalar

Ha, W ve Kim, Y (2006), yaptıkları çalışmada; Mg alaşımlarının ergitiminde koruyucu gaz olarak SF₆ gazının yerine HFC-134a ve SO₂ gazlarının kullanımının yüzeye etkisini incelemişlerdir. HFC-134a ve SF₆ gibi florin içeren gazların Mg'un daha fazla buharlaşmasını ve oksitlenmesini önleyen magnezyum florini oluşturduğu için SO₂ gibi florinsiz gazlardan daha iyi koruyucu özelliğe sahip olduğu bildirilmiştir.

Zeng, X.Q et al. (2000), berilyum ve toprak elementlerinin döküm sırasında AZ91 Mg alaşımının yüzey korumasına ve çekme özelliklerine etkisini incelemişlerdir. %0.3 Be ilave edilen AZ91 alaşımında koruyucu gaz kullanılmadan ergitmenin yapılabildiğini, ancak mikroyapıda küresel Mg₁₇Al₁₂ oluştuğu ve tanelerin kabalaştığı, bunun da mekanik özellikleri azalttığını bildirmişlerdir. %0.3 Be ile birlikte ilave edilen %1 toprak elementleri alaşımın tane yapısını inceltmiş, Al₄Re partiküllerini oluşturmuş ve bunun sonucunda da % uzama çekme dayanımını artırdığı sonucuna varmışlardır.

Cashion et al. (2000), ergimiş Mg ve alaşımlarının döküm esnasında yanma korunması üzerine çalışmışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda, HFC-134a (hidroflorokarbon) gazının SF₆ gazına göre şu avantajları gözlenmiştir:

- 1) Küresel ısınmaya karşı düşük potansiyele sahiptir,
- 2) Ozon tabakasına karşı zararsızdır,
- 3) Oda sıcaklığında korozyona karşı dirençli, güvenli ve zehirsizdir,
- 4) Yanma özelliği yoktur,
- 5) SF₆ gazından daha ucuzdur,
- 6) Kullanışlıdır.

Zhao, H.L et al. (2007) yaptıkları çalışmada; AZ91 alaşımına Stronsiyum (Sr) ve Bor (B) eklenmesiyle mikroyapı ve mekanik özelliklerde meydana gelen değişimleri incelemişlerdir. AZ91'e %0,5 Sr eklendiğinde alaşımın tane yapısının incelendiği, Sr ile birlikte %0,09 B elementinin eklenmesiyle de tane boyutunun 42µm, en yüksek çekme dayanımının 151MPa ve en yüksek % uzamanın da %1,62 olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca tane sınırlarında iğne şeklinde A₁₄Sr partiküllerinin yayıldığı gözlenmiştir. AZ91 alaşımına Sr ve B elementlerinin birlikte ilavesiyle alaşımın sıvı sıcaklığının azaldığı, ancak katı sıcaklığının hemen hemen hiç değişmediği, bu durumun da döküm özelliğinin gelişmesinde etkili olan katılma aralığının düşmesine neden olduğu rapor edilmiştir.

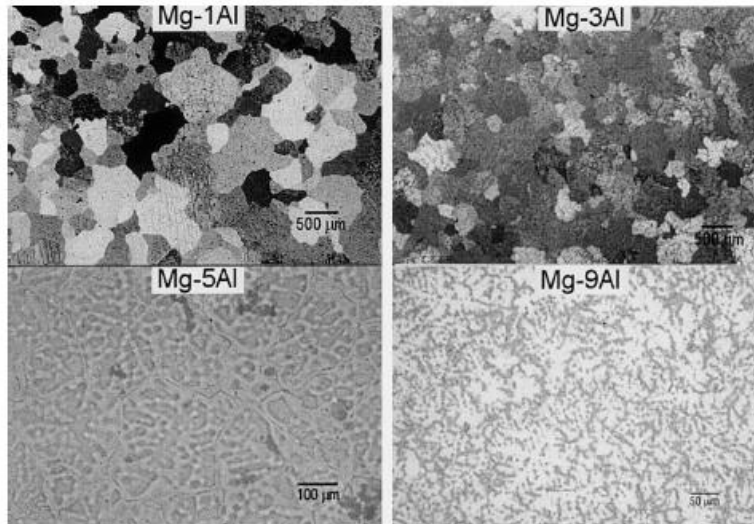
Qudong et al. (1999), yaptıkları çalışmada; toprak elementleri (RE) ilavesinin parçanın kesit kalınlığına, kalıp ve döküm sıcaklığına bağlı olarak akıcılığa olan etkisini incelemişlerdir. Buna göre %1'e kadar RE AZ91'in akıcılığını yükseltmekte, fakat daha fazla RE eklenmesi durumunda akıcılık parçanın kesit kalınlığına bağlı olarak artmaktadır. Ayrıca kalıp sıcaklığı arttıkça akıcılık artmaktadır. Bu artış kalın kesitlerde daha az, ince kesitlerde daha fazla gözlenmektedir. Bunun yanında döküm sıcaklığının akıcılığa etkisi ince kesitli parçalarda daha az, kalın kesitli parçalarda ise daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir.

Li et al. (2005) yaptıkları çalışmada; AZ91'e %0,1'den %1'e kadar Ca ilavesinin alaşımın sıcak yırtılma ve mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda AZ91'e ilave edilen Ca miktarının artması ile Mg₁₇Al₁₂ tanelerinin incelendiği ve tane sınırlarında A₁₂Ca fazının ortaya çıktığı görülmüştür. Alaşımın Ca miktarının %0'dan %1'e çıkarken sıcak yırtılma oluşma eğiliminin aşırı derecede arttığı tespit edilmiştir. Tane sınırlarında oluşan A₁₂Ca fazından dolayı,

artan Ca miktarı ile çekme dayanımı ve uzama miktarı azalırken akma dayanımlarının arttığı kanaatine varmışlardır.

Cao, G ve Kou, S (2006), yaptıkları çalışmada; Mg-Al alaşımlarında sıcak yırtılma ve çatlamanın %8 Al oranında en az olduğunu, Al miktarının %8'i geçtikten sonra sıcak yırtılmanın daha fazla olacağını tespit etmişlerdir. Ayrıca Al miktarı çok fazla artınca malzemede kırılmalar başladığını da gözlemlemişlerdir.

Lee et al. (2000), yaptıkları çalışmalarda; Al ve Sr katkılarının Mg alaşımlarının tane boyutu üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Alaşımın Al içeriği %0'dan %5'e çıktığında tane boyutunun küçüldüğünü ve daha da fazla ilave edildiğinde ise tane büyüklüğünde herhangi bir etkinin olmadığını rapor etmişlerdir. Ayrıca Lee et al. (2000), hem Mg- %3 Al hem de Mg- %9 Al için Mg-Al alaşımlarında Sr katkılarının etkilerini de araştırmıştır. Sonuçlarda %0,01- 0,1 Sr katkısının ortalama tane çapını yaklaşık 100 μm azaltma ile çok güçlü tane küçültme etkisinin var olduğunu gözlemlemişlerdir. %9 Al alaşımı için sonuçlar daha az aralıkta tane küçültme olduğunu, Al-Mg nin mikroyapısının %1 Al katkısıyla küreselleştiğini Al içeriğinin %9'a kadar artırıldığında küresel yapıdan dentritik yapıya geçiş olduğunu rapor etmişlerdir. Şekil 3.8'de bu geçiş gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Al-Mg alaşımlarında Al miktarına göre mikroyapı değişimleri [68]

Ünal, (2008) yaptığı çalışmada; AZ91 alaşımına %0,5, %1 ve %2 oranlarında Sn, Pb gibi yüzey aktif, Si, Fe, Cu gibi yüzey aktif olmayan ve Ti, Zr gibi aşılama elementler ilave ederek akıcılık özelliğine olan etkilerini incelemiştir. Çalışma sonucunda, %0,5 Sn, %0,5 Pb ve %1'e kadar Cu ilavelerinde akıcılığın yükseldiği, artan Si ve Fe ilavelerinde ise akıcılığın azaldığını gözlemlemiştir. Si ve Fe elementleri yüzey aktif elementler olmadığından Mg'un oksit filmini ve yüzey gerilimini etkilemeyecekleri ve oluşturdukları katı intermetalikler ile viskoziteyi artırarak AZ91 alaşımının akıcılığını düşürdüğünü rapor etmiştir. Ayrıca Cu elementinin de yüzey aktif element olmasına rağmen akıcılığı artırması, Al, Mg ve Zn ile oluşturduğu düşük ergime dereceli ötektiklere bağlanabileceğini bildirmiştir.

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Çalışmanın Amacı

AZ91(Mg-%9Al-%1Zn) alaşımı, diğer Mg alaşımlarıyla karşılaştırıldığında daha iyi döküm, daha iyi akma dayanımı gibi avantajları nedeni ile kullanım açısından magnezyum alaşımları içerisinde en çok tercih edilen alaşım türlerinden birisidir. Buna karşın, alüminyum alaşımları ile karşılaştırıldığında, oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıkta yeterli mukavemet ve korozyon direncine ulaşamadığı için kullanım alanları sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle, AZ91 magnezyum alaşımı ana malzeme olarak tercih edilmiş ve çeşitli ağırlık oranlarında Cr ve Ti alaşım elementleri ana malzemeye ilave edilerek mekanik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

4.2. Çalışma Prosedürü

Bu çalışmada, master alaşım olan AZ91 alaşımı 8 kg olarak üretilmiştir. Master alaşım üretimi esnasında saf Mg, saf Al ve saf Zn kullanılmıştır. AZ91 alaşımına sırasıyla ağırlıkça %0,1, %0,3, %0,5 oranlarında krom ve titanyum alaşım elementi ilave edilmiştir. Ana alaşıma Cr alaşım elementi ilave edebilmek için, Al-%20Cr alaşımı laboratuarda üretilmiştir. Ti alaşım elementi için Al-%6Ti alaşımı kullanılmıştır. Magnezyum alaşımları koruyucu gaz atmosferinde paslanmaz çelik pota içerisinde ergitilmiştir. Ergime esnasında elde edilmesi amaçlanmış alaşım için gerekli alaşım elementleri ilave edilerek metal(kokil) kalıba döküm yöntemi ile normal olarak metal kalıba döküm gerçekleştirilmiştir. Metal(kokil) kalıba döküm işlemi sırasında koruyu gaz kullanılmadan döküm yapılmıştır ve üretilen alaşımların karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Daha sonra elde edilen alaşımlara kimyasal analiz, sertlik deneyi, basma deneyi, çekme deneyi ve korozyon deneyi

uygulanmıştır. Bu deneyler optik mikroskop (OM), x-ışınları analizleri, tarayıcı elektron mikroskobu (SEM) ve EDS analizleri ile desteklenmiştir.

4.3. Alaşımların Üretimi

Ana alaşım olarak AZ91 alaşımı 8 kg'lık master alaşımı olarak üretilmiştir. Master alaşımı üretimi esnasında saf Mg, saf Al ve saf Zn kullanılmıştır.

AZ91 ve alaşımlarının ergitilmesi, fırının içine yerleştirilen 2 kg ergitme kapasiteli ısıya dayanıklı, reaksiyon yapmayan ve yüksek sıcaklıklara çıkabilen 310 paslanmaz çelik potada gerçekleştirilmiş ve ergime esnasında elde edilmesi amaçlanmış alaşım için gerekli alaşım elementleri ilave edilmiştir. Ergitme işlemi esnasında ortamın atmosferle temasını kesmek için ergitme süresince fırına koruyucu gaz olarak %0,2SF₆ - CO₂ karışım gazı kullanılmıştır.

Fırın ve metal sıcaklığı döküm şartları dikkate alınarak 750°C olarak seçilmiştir. Fırın istenilen sıcaklığa çıktıktan sonra yaklaşık 30 dakika bekletilerek alaşımın döküm sıcaklığına gelmesi sağlanmıştır. Bekleme gerçekleşikten sonra pota, fırının ergitme kısmından alınarak kalıp üstüne alınmış ve sabit bir şekilde sıkıştırılmıştır. Kontrollü atmosfer ortamında segregasyonu önlemek amacıyla karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. İşlemler bittikten sonra potanın stoperi açılarak kalıba sıvı metalin akması sağlanmış, serbest döküm gerçekleşmiştir. Döküm işlemi sırasında kalıp ısıtılmadan döküm yapılmıştır.

Yukarıda anlatılan prosedür kullanılarak 1-7 nolu alaşımlar üretilmiştir. Üretilen alaşımlardan hazırlanan ince tozların kimyasal analizi, kimya laboratuvarında alevli atomik absorpsiyon spektrometrik (AAS) tekniği ile tayin edilmiştir. Elde edilen kimyasal analizler tablo 4.1'de görülmektedir.

Tablo 4.1. Elde edilen kimyasal analizler

Alaşım No:	Alaşım	Al	Zn	Ti	Cr	Mg
1	Mg-9Al-1Zn	8.971	0.985	-	-	Kal.
2	Mg-9Al-1Zn-0.1Ti	8.953	0.976	0,09	-	Kal.
3	Mg-9Al-1Zn-0.3Ti	8.962	0.983	0.29	-	Kal.
4	Mg-9Al-1Zn-0.5Ti	8.898	0.981	0.49	-	Kal.
5	Mg-9Al-1Zn-0.1Cr	8.988	0.991	-	0.09	Kal.
6	Mg-9Al-1Zn-0.3Cr	8.981	0.987	-	0.25	Kal.
7	Mg-9Al-1Zn-0.5Cr	8.889	0.988	-	0.49	Kal.



Şekil 4.1. Kullanılan kalıp ve pota

Şekil 4.1’de üretim esnasında kullanılan kalıp ve potalar görülmektedir.



Şekil 4.2. Kullanılan fırının görüntüsü

Şekil 4.2’de kullanılan ergitme fırını temsil etmektedir. Döküm yapıldıktan sonra üretilen alaşım şekil 4.3’de gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Döküm yapıldıktan sonra üretilen alaşım

4.4. Metalografik Çalışmalar

Üretilen alaşımların mikroyapılarını incelemek için standart metalografik işlemler uygulanmıştır. Alaşım elementi ilave edilen numuneler sırasıyla 240, 400, 600, 800, ve 1200 meshlik SiC zımparalar kullanılarak zımparalanmış ardından da 0,05 µm lik alümina pasta kullanılarak parlatma işlemleri uygulanmıştır. Yüzeyleri alkol ile temizlenerek kurutulmuştur. Parlatılmış numuneler %3'lük nital kullanılarak dağlanmıştır. Hazırlanan numuneler optik mikroskop (AXİOCAMMRCs), SEM (JEOL 6060LV-TESCAN) ve EDS analizlerinde kullanılmıştır. Üretilen alaşımlarda oluşan fazlar Rigaku X-Ray Diffraction D/MAX/2200 marka X-ışınları difraktometresi kullanılarak yapılmıştır.

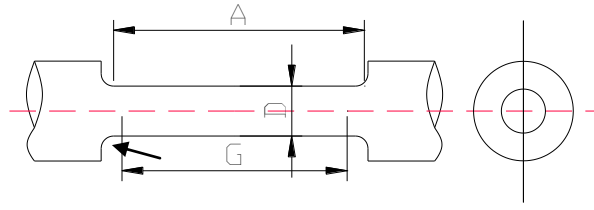
4.5. Mekanik Testler

4.5.1. Sertlik deneyi

Üretilen alaşımların sertlik deneyleri 31,25/2.5/30 kombinasyonuna sahip Brinell sertlik (BRN) skalasında Brooks marka sertlik cihazı kullanarak ölçülmüştür. Tüm alaşım sınıflarından alınan numuneler üzerinde 8'er ölçüm yapıp sertlik değeri olarak bu ölçümlerin ortalaması alınmıştır.

4.5.2. Çekme deneyi

Üretilen alaşımların çekme deneyleri INSTRON 3367 30KN'luk çekme cihazında yapılmıştır. Her bir numunenin çekme mukavemeti hesaplanırken 4 adet numune kullanılmıştır ve çekme hızı da 5×10^{-1} mm/dakika olarak ayarlanmıştır. Şekil 4.4'de çekme mukavemeti deneylerinde kullanılan ASTM 8-81 AASHTO No:T68 standardına göre hazırlanan yuvarlak kesitli numunelerin şematik olarak gösterimi görülmektedir.



- A= 32 mm daralan kesitin boyu.
 D= 6 mm numunenin çapı.
 G= 25 mm ölçü uzunluğu
 R= 6 mm eğrilik çapı.

Şekil 4.4. Çekme mukavemeti deneylerinde kullanılan ASTM 8-81 AASHTO No: T68 standardına göre hazırlanan yuvarlak kesitli numunelerin şematik olarak gösterimi

4.5.3. Basma deneyi

9 mm çapında, 13 mm yüksekliğinde basma numuneleri hazırlanmıştır. Üretilen alaşımların basma deneyleri INSTRON 3367 30KN'luk basma cihazında yapılmıştır. Her bir alaşımın basma mukavemeti hesaplanırken 0,5 mm/dakika basma hızında 4 adet numune kullanılmış ve ortalaması alınmıştır. Şekil 4.5'de üretilen alaşımın basma deneyi numunesi görülmektedir.



Şekil 4.5. Üretilen basma deneyi numunesi

4.6. Korozyon deneyi

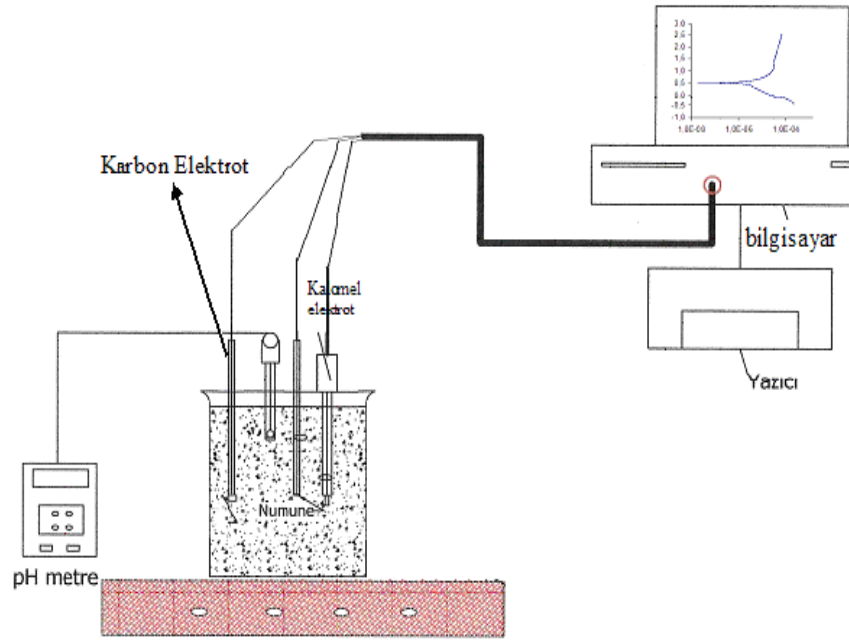
9 mm çapında, 13 mm yüksekliğinde korozyon numuneleri hazırlanmıştır ve bu numunelere 2,5 metriklik klavuz ile yuva açılmıştır. 1-7 alaşımlarının korozyon numunelerinin tuzlu su içerisindeki korozyon davranışını incelemek için, %3,5 NaCl içeren destile su ile hazırlanmış, pH'ı 5,6 olan çözelti kullanılmış, korozyon deneyleri açık atmosferde ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Korozyon testi gerçekleştirilmeden önce her bir numune 1200 mesh'lik zımparadan geçirilmiştir. Zımparalama işleminden sonra saf alkol ile her bir numunenin yüzeyi temizlenmiştir. Deneyler, GAMRY INSTRUMENTS PCI4/750 potentiostat/galvanostat cihazı kullanılarak pyrex bir cam hücre içerisinde 3 elektrot tekniği ile yapılmıştır. Referans elektrot olarak kalomel $Ag/AgCl_3$ (Doymuş KCl çözeltisi), yardımcı elektrot olarak grafit çubuk kullanılmıştır. Çözeltiye maruz kalan numune alanı dışındaki kısımlar izole edilmiştir. Numunelerin korozyon davranışı potentiodynamic polarizasyon (Tafel) ile incelenmiştir. Potentiodynamic polarizasyon ölçümleri -2; 2 arasında voltaj uygulanarak 5 mV/s hızda yapılmıştır. Korozyon potansiyeli ve korozyon akım yoğunluğu Tafel extrapolation metodu kullanılarak tespit edilmiştir. Bu sayede alaşım elementi ilave edilmiş numunelerin korozyon davranışları birbiriyle kıyaslanmıştır. Deney sonrasında ise oluşan çözeltilerden kimyasal analiz yapılmıştır. Şekil 4.6'da korozyon deneylerinin yapıldığı cihazın görüntüsü ve şekil 4.7'de korozyon deney hücresi yer almaktadır. Şekil 4.8'de potansiyostatik yöntemle çalışan statik korozyon deney düzeneğini temsil etmektedir. Üretilen alaşımın korozyon deneyi numunesi şekil 4.9'da görülmektedir.



Şekil 4.6. Korozyon deney düzeneği



Şekil 4.7. Korozyon deney hücresi



Şekil 4.8. Potansiyostatik yöntemle çalışan statik korozyon deney düzeneği

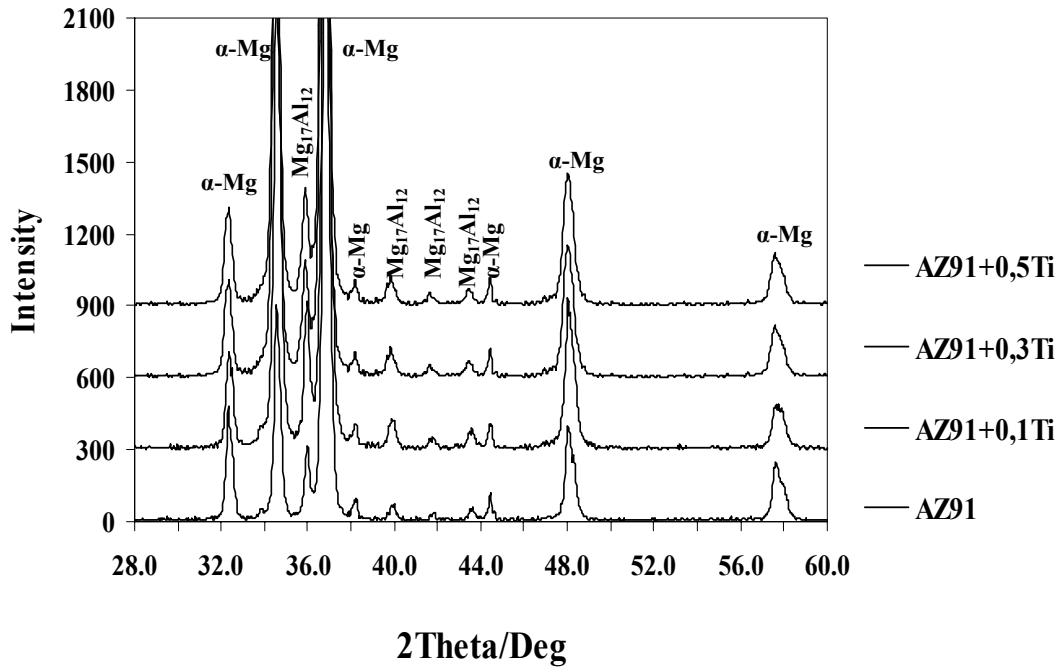


Şekil 4.9. Üretilen korozyon deneyi numunesi

BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELENMESİ

5.1. X-Işınları Difraksiyon Analizleri

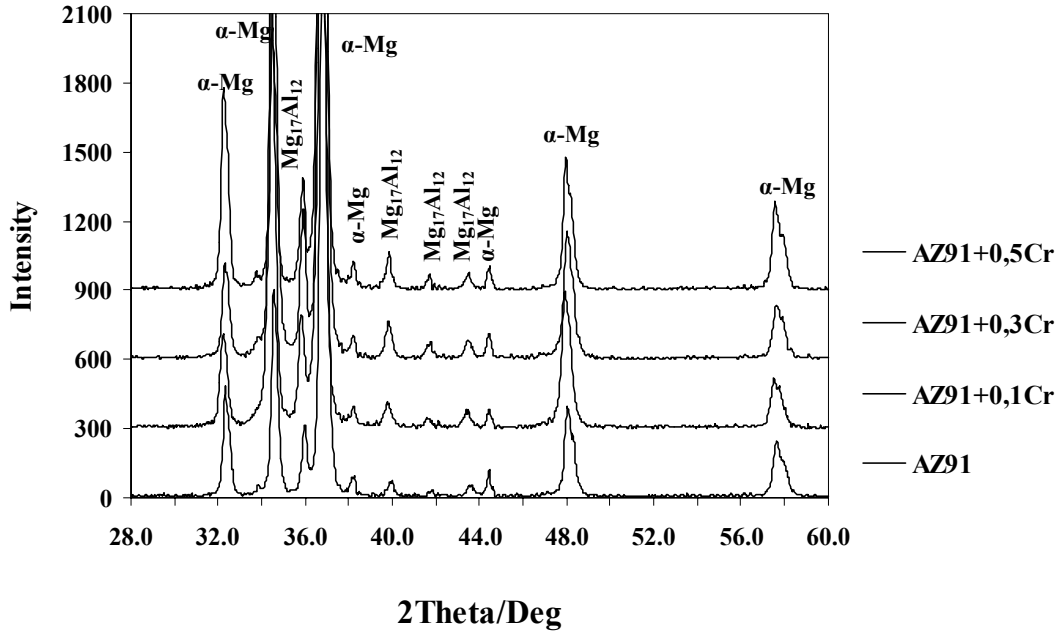
AZ91 master alaşımına farklı oranlarda Ti ilavesiyle elde edilen XRD analizi şekil 5.1’de görülmektedir. X-ışınları difraksiyon analizleri sonucunda üretilen alaşımlarda, literatür çalışmalarında bahsedilen ve denge diyagramında görülen $Mg_{17}Al_{12}$ intermetalikinin oluştuğu gözükmemektedir. Bunun dışında yapıda α -Mg fazında olduğu görülmektedir. AZ91 master alaşımına ilave edilen Ti içeriğine göre yeni bir faz oluşumu x-ışını difraksiyon analiz sonuçlarında görülmemektedir.



Şekil 5.1. AZ91 ve AZ91’e farklı oranlardaki Ti içeriği ile XRD analizi

AZ91 master alaşımına farklı oranlarda Cr ilavesiyle elde edilen XRD analizi şekil 5.2’de görülmektedir. X-ışınları difraksiyon analizleri sonucunda yapıda α -Mg ve $Mg_{17}Al_{12}$ fazlarının olduğu görülmektedir. Ti ilavesinde olduğu gibi, AZ91 master

alaşımına ilave edilen Cr içeriğine göre de yeni bir faz oluşumu x-ışını difraksiyon analiz sonuçlarında görülmemektedir.



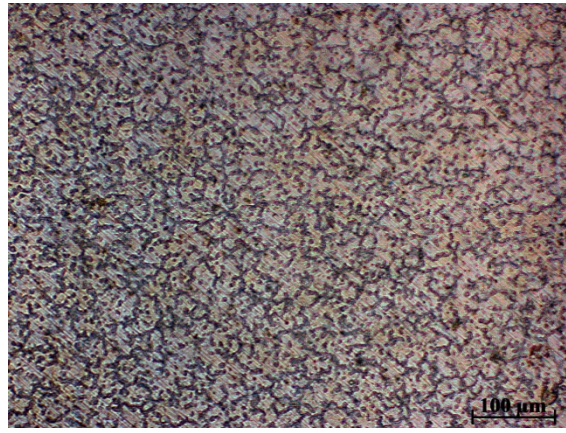
Şekil 5.2. AZ91 ve AZ91'e farklı oranlardaki Cr içeriği ile XRD analizi

5.2. Alaşımların Mikroyapısı

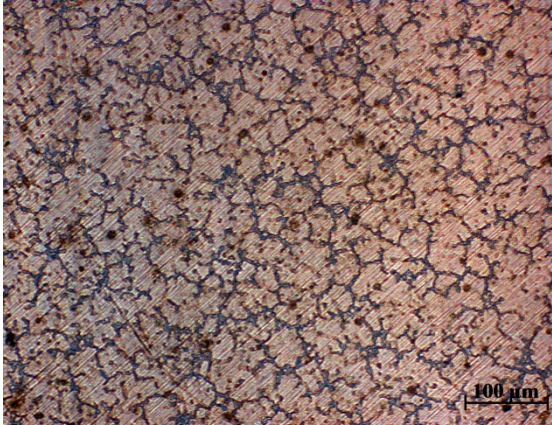
Şekil 5.3'de 1-7 nolu alaşımların optik görüntüleri görülmektedir. Şekil 5.3a daki 1 (AZ91) nolu alaşımın mikroyapısının dendritik α -Mg ve ötektik yapıdan oluştuğu anlaşılmaktadır. Ötektik yapı içerisinde β - $Mg_{17}Al_{12}$ bileşiği homojen ve sürekli bir faz görünümünde bulunmaktadır. Bu bileşik sert ve gevrek olarak bilinmekte ve düşük sıcaklıkta ($437^{\circ}C$) ergimektedir. Literatürde AZ91 alaşımında α -Mg matrisin yanı sıra β - $Mg_{17}Al_{12}$ intermetaliti ve ötektik α ($\alpha+\beta$ ötektiği) oluştuğu rapor edilmektedir [78]. Fazların analizi için XRD incelemesi yapılmış ve yapıda α -Mg, β - $Mg_{17}Al_{12}$ fazlarının varlığı tespit edilmiştir (Şekil5.1-2). Şekil 5.3a 1'nolu alaşımın optik mikroyapı görüntüsünü b, 2 ve c, 3 nolu Ti ilave edilmiş alaşımlarla karşılaştırdığımızda fazların şekillerinde bir değişim gözlenmemektedir. Şekil 5.3d'de 4'nolu alaşımla karşılaştırdığımızda ise magnezyumca zengin birincil α -Mg fazının daha küçük yapıda olduğu fakat ağ yapısının bozulmadığı görülmektedir.

Optik görüntülerde bazı bölgelerde görülen siyah yapılar boşluk değil dağlamada yanmış $Mg_{17}Al_{12}$ fazlarıdır.

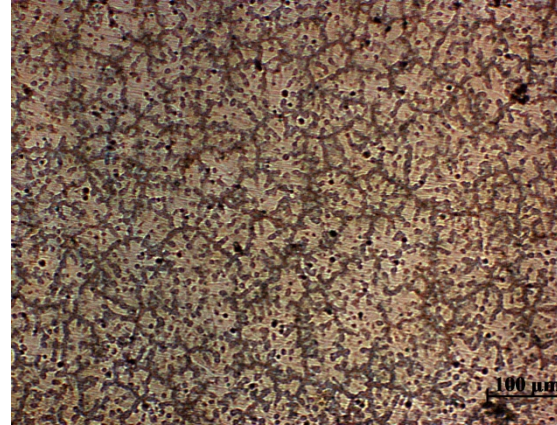
Şekil 5.3'de e, f, ve g ise artan Cr içeriğine göre mikroyapıları göstermekte olup, α -Mg fazlarının hücresel yapıdan daha dendiritik ve ikincil dendirit kolları oluşacak şekilde oluştuğu görülmektedir. Ötektik dönüşüm esnasında dentritler arasında oluşan birincil β - $Mg_{17}Al_{12}$ intermetalik fazının daha kabalaşmış bir yapıda olduğu görülmektedir.



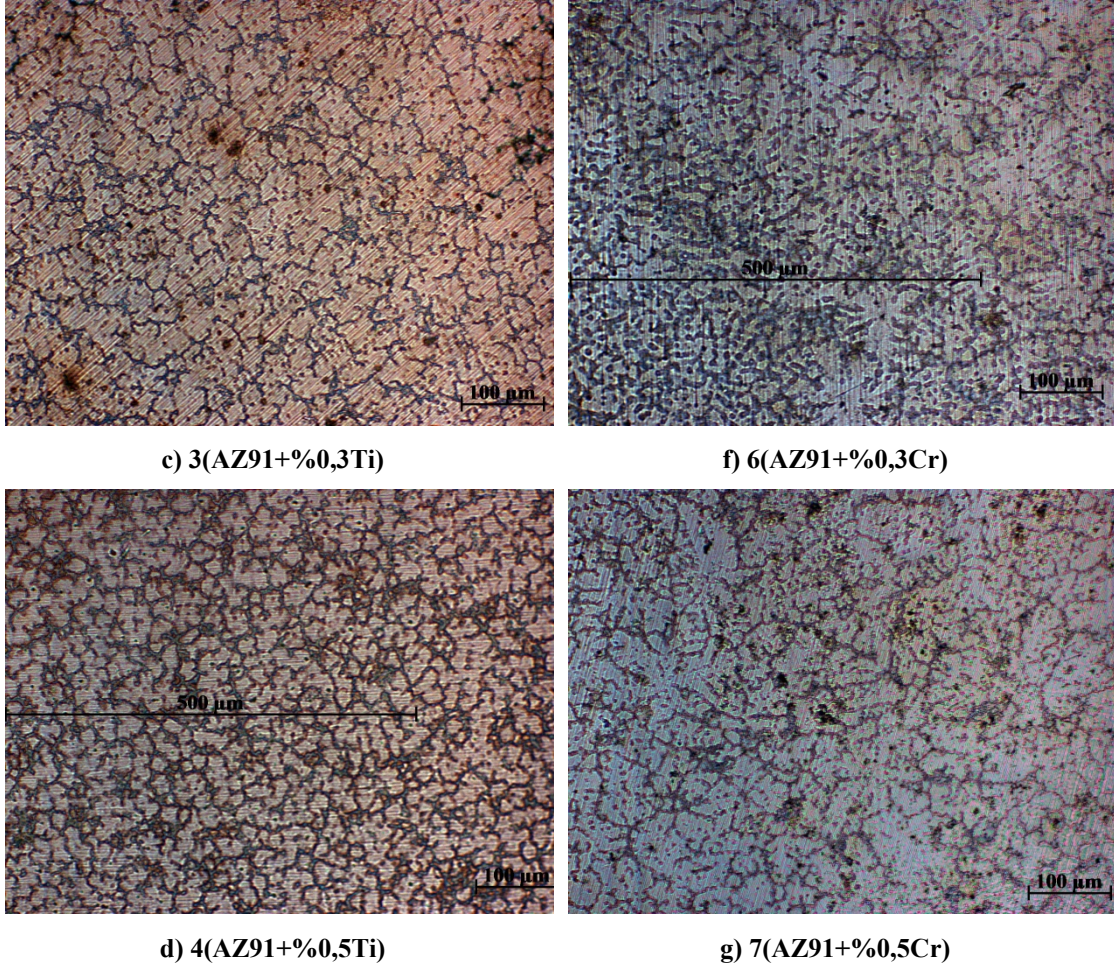
a) 1(AZ91)



b) 2(AZ91+%0,1Ti)



e) 5(AZ91+%0,1Cr)



Şekil 5.3. a) 1(AZ91) nolu alaşımın, b) 2(AZ91+%0,1Ti) nolu alaşımın, c) 3(AZ91+%0,3Ti) nolu alaşımın, d) 4(AZ91+%0,5Ti) nolu alaşımın, e) 5(AZ91+%0,1Cr) nolu alaşımın, f) 6(AZ91+%0,3Cr) nolu alaşımın, g) 7(AZ91+%0,5Cr) nolu alaşımın optik görüntüsü

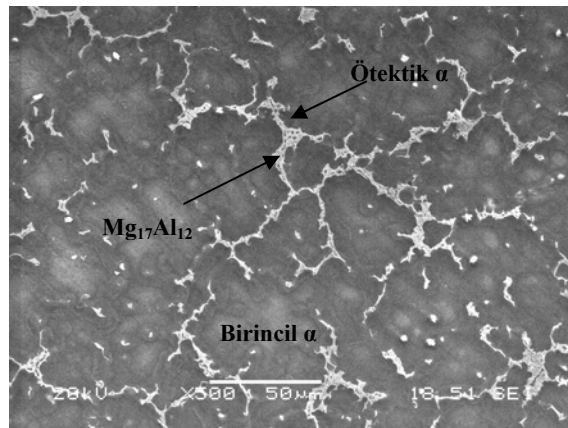
Şekil 5.4'de 1-7 nolu alaşımların 500x büyütmedeki SEM görüntüleri görülmektedir. Şekil 5.4a 1 nolu alaşımın döküm sonrası mikroyapısı görülmektedir. Mg-Al alaşımlarında % 2 den daha fazla alüminyum içeriği döküm mikroyapısında $Mg_{17}Al_{12}$ intermetalikliğinin varlığına neden olmaktadır (Bkz. Bölüm 2). Yapılan SEM-EDS çalışmasıyla iç yapıda incelenen tüm alaşımlarda α -Mg matrisin yanı sıra tane sınırları boyunca uzanan β - $Mg_{17}Al_{12}$ fazı ve tane sınırlarında ince bir faz olarak ötektik α gözlemlenmiştir (Şekil 5.4a). Soğuma esnasında Zn'nun yüksek segregasyon eğiliminden ve katılaşmanın ilk evrelerinde katı-sıvı ara yüzeyi önündeki yapısal alt soğumadan dolayı, birincil dentritlerin büyümesi, Al'un dentrit kolları tarafından ötelenmesine ve tane sınırlarında zenginleşmesine neden olmaktadır. Zenginleşen Al, α -Mg ile ötektik yapıyı veya β fazını oluşturmaktadır

[70]. Tane sınırlarında β fazını oluşturmak için yeterli kompozisyona ulaşamayan bölgelerde alüminyumca zengin α -Mg fazını meydana getirmektedir.

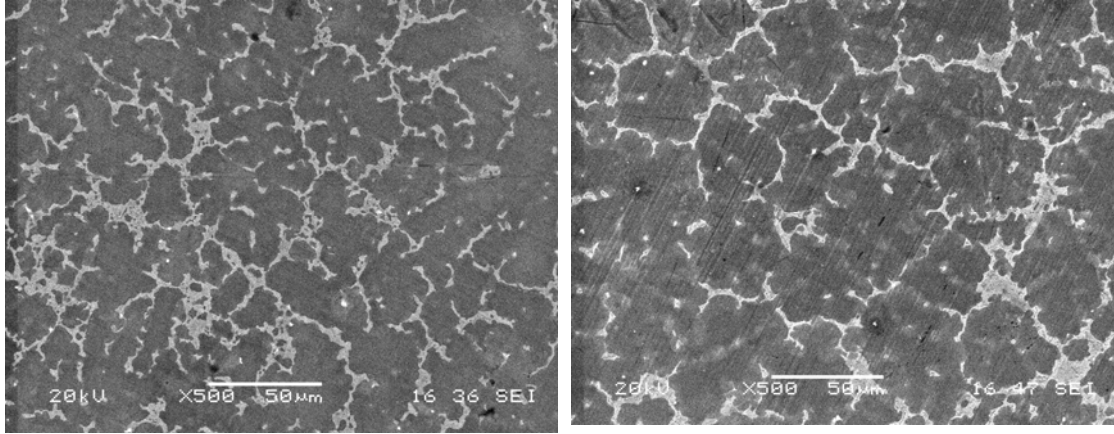
Şekil 5.4a'daki 1(AZ91) nolu alaşımın 3 farklı fazdan oluştuğunu ve açık gri renkteki bölgenin magnezyumca zengin birincil α -Mg fazı, koyu gri bölgenin alüminyumca zengin α -ötektik fazı ve beyaz bölgenin de ötektik dönüşüm esnasında dentritler arasında oluşan birincil β -Mg₁₇Al₁₂ intermetalik fazı olduğunu göstermektedir.

Titanyum elementinin alüminyum alaşımları için tane inceltici etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Şekil 5.4a'daki 1(AZ91) nolu alaşımın SEM görüntüsünü b, 2 ve c, 3 nolu alaşımlarla karşılaştırdığımızda bir değişim görülmemektedir, d, 4 nolu numune ile karşılaştırdığımızda ise α -Mg tane boyutunun daha küçük yapıda olduğu görülmektedir. Araştırmacı Buha Mg-Zn alaşımına ağırlıkça %0,4Ti ilave ederek titanyum elementinin tane inceltici etkisini gözlemlemiştir [77].

Yapılan literatür çalışmasında magnezyum alaşımlarına krom elementinin ilavesi ile ilgili herhangi bir bilgiye rastlanmamıştır. Şekil 5.4e-g SEM görüntülerinin yapısındaki β -Mg₁₇Al₁₂ intermetalik fazı şekil 5.4a'da 1(AZ91) nolu alaşımın yapısındaki β -Mg₁₇Al₁₂ intermetalik fazına göre daha kaba bir yapı göstermektedir. Krom alaşım elementi ilavesi ile ötektik dönüşüm esnasında dentritler arasında oluşan birincil β -Mg₁₇Al₁₂ intermetalik fazı daha kaba bir yapıda görünmektedir.

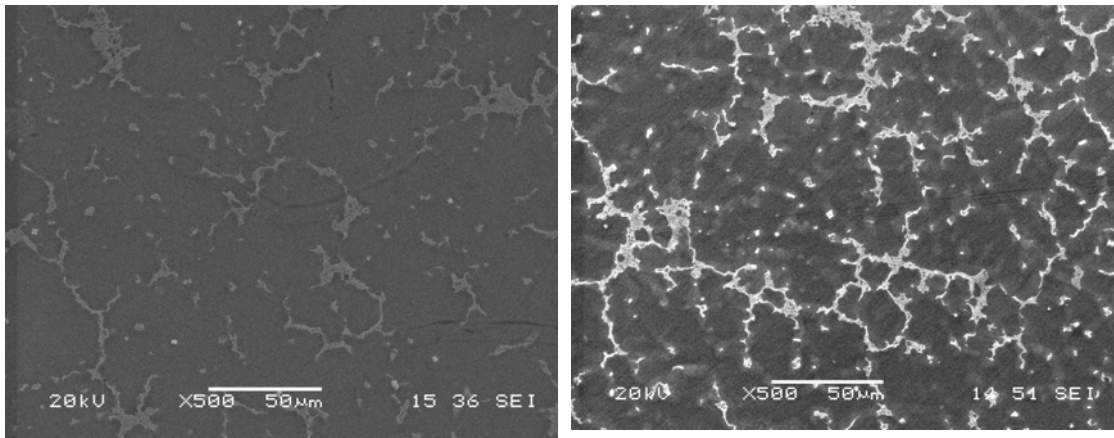


a) 1 (AZ91)



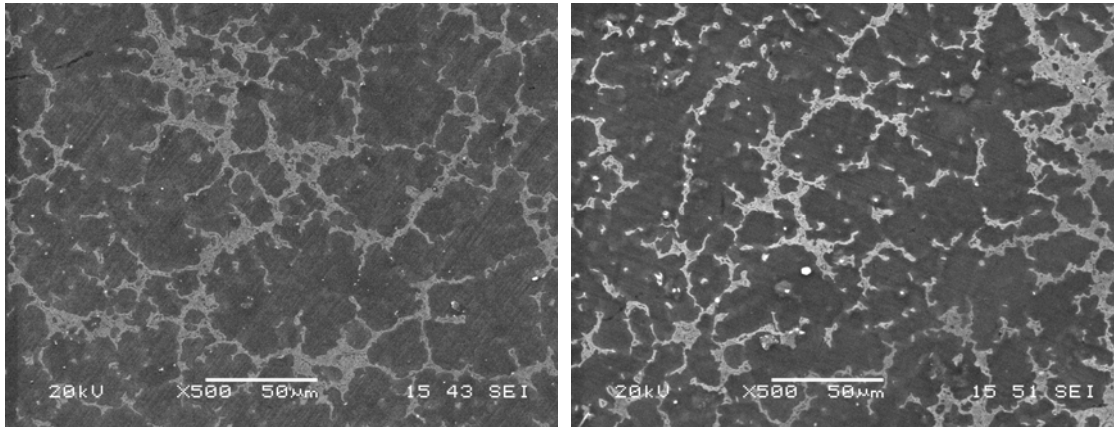
b) 2 (AZ91+%0,1Ti)

e) 5 (AZ91+%0,1Cr)



c) 3 (AZ91+%0,3Ti)

f) 6 (AZ91+%0,3Cr)



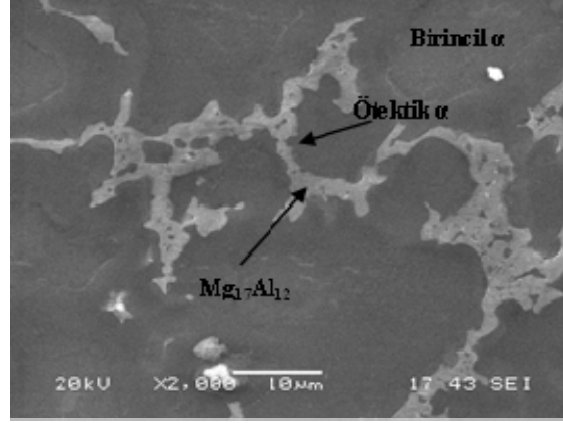
d) 4 (AZ91+%0,5Ti)

g) 7 (AZ91+%0,5Cr)

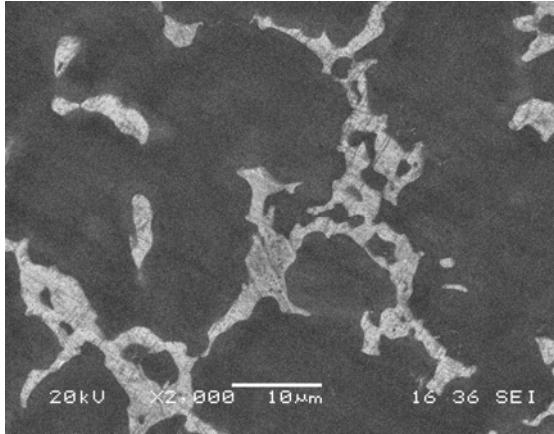
Şekil 5.4. a) 1(AZ91) nolu alaşımın, b) 2(AZ91+%0,1Ti) nolu alaşımın, c) 3(AZ91+%0,3Ti) nolu alaşımın, d) 4(AZ91+%0,5Ti) nolu alaşımın, e) 5(AZ91+%0,1Cr) nolu alaşımın, f) 6(AZ91+%0,3Cr) nolu alaşımın, g) 7(AZ91+%0,5Cr) nolu alaşımın 500x büyütmedeki SEM görüntüsü

Şekil 5.5'de 1-7 nolu alaşımların 2000x büyütmedeki SEM görüntüleri görülmektedir. İncelenen tüm alaşımlarda ötektik yapı, literatürde tanımlandığı gibi, parçalı ayrılmış şekilde bulunmaktadır. Parçalı ötektik yapı boyutu Ti ve Cr

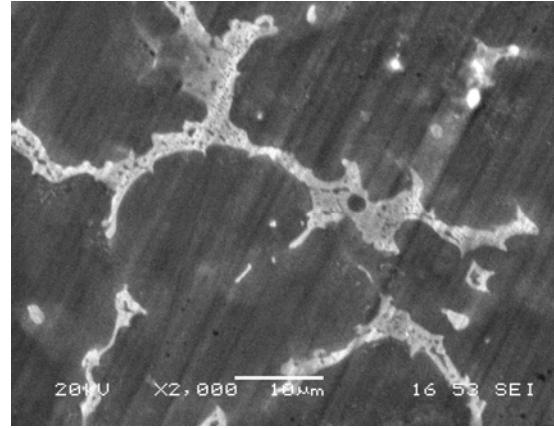
elementlerinin artmasıyla AZ91 alaşımınıninkine oranla kabalaştığı görülmektedir. Ayrıca, ötektik yapıyı oluşturan bileşenlerden ötektik α 'nın bulunma oranı aynı şekilde Ti ve Cr ilavelerinin artmasıyla arttığı tespit edilmektedir. Yani, ötektik yapıdaki ötektik α adacıklarının sayısı ve boyutu artmıştır.



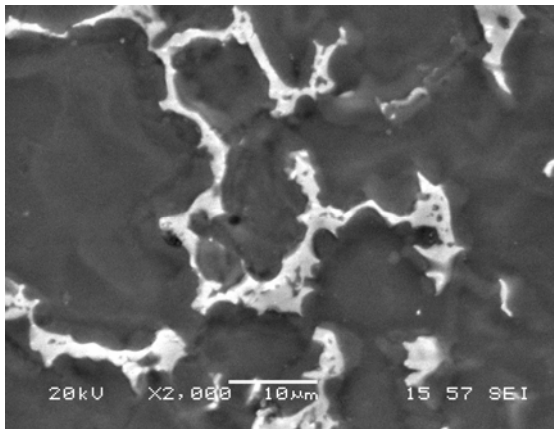
a) 1 (AZ91)



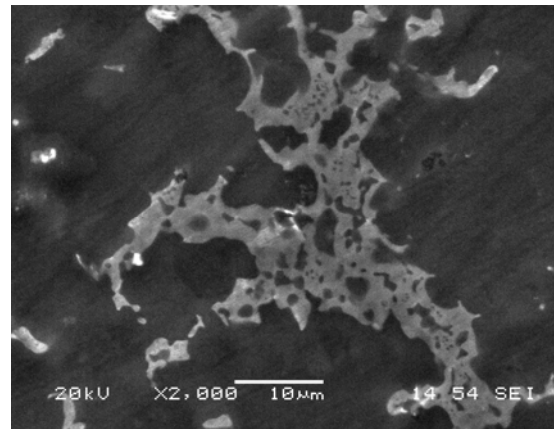
b) 2 (AZ91+%0,1Ti)



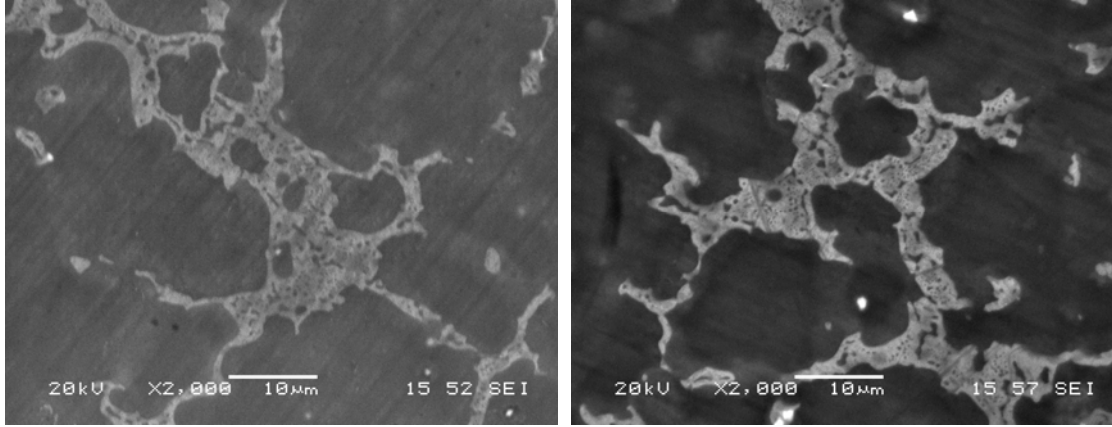
e) 5 (AZ91+%0,1Cr)



c) 3 (AZ91+%0,3Ti)



f) 6 (AZ91+%0,3Cr)

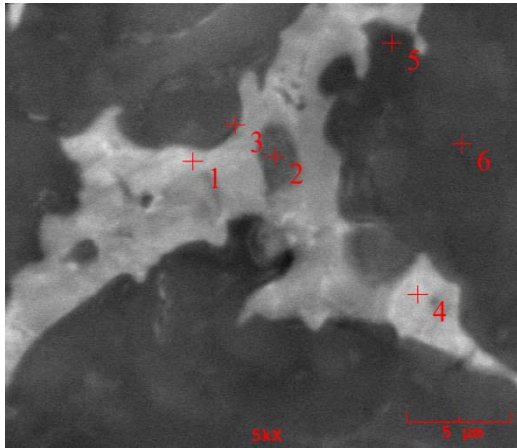


d) 4 (AZ91+%0,5Ti)

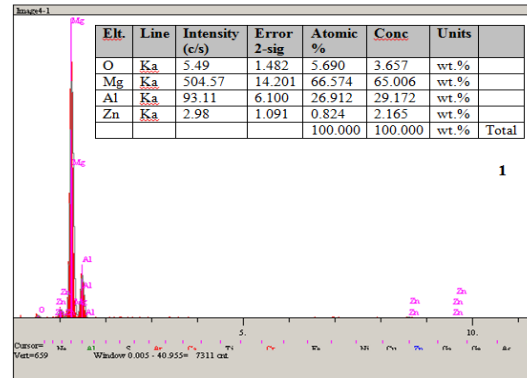
g) 7 (AZ91+%0,5Cr)

Şekil 5.5. a) 1(AZ91) nolu alaşımın, b) 2(AZ91+%0,1Ti) nolu alaşımın, c) 3(AZ91+%0,3Ti) nolu alaşımın, d) 4(AZ91+%0,5Ti) nolu alaşımın, e) 5(AZ91+%0,1Cr) nolu alaşımın, f) 6(AZ91+%0,3Cr) nolu alaşımın, g) 7(AZ91+%0,5Cr) nolu alaşımın 2000x büyütmedeki SEM görüntüsü

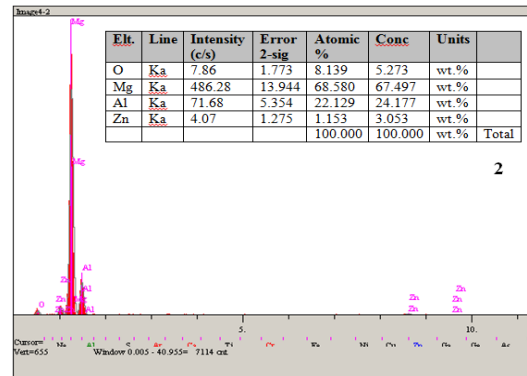
Şekil 5.6 ve şekil 5.7 1 (AZ91) nolu alaşımın EDS analizini vermektedir. Değişik bölgelerden alınan analizlerde, α -Mg ve β -Mg₁₇Al₁₂ fazlarının olduğu EDS analiz sonuçlarında görülmektedir.



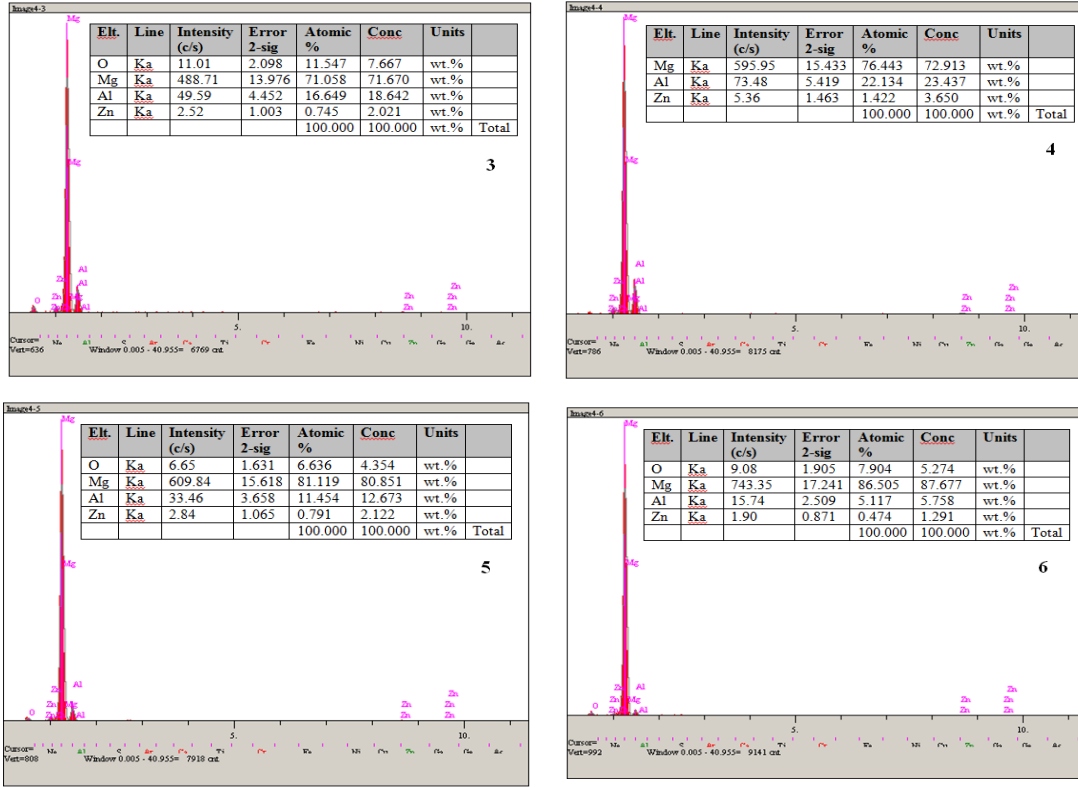
1 (AZ91)



1

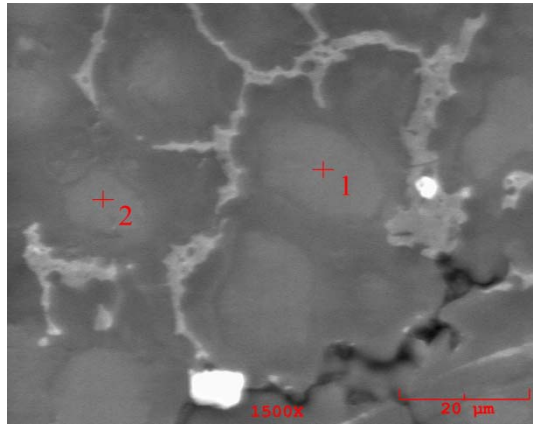


2

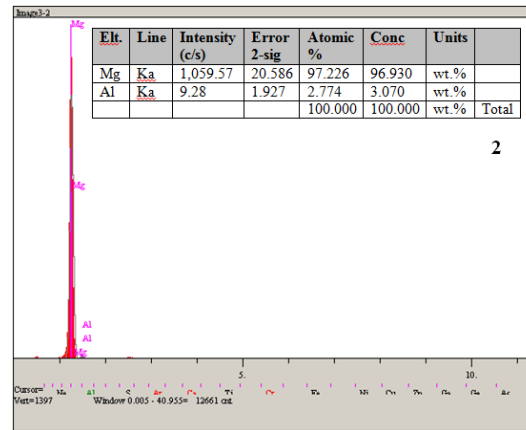
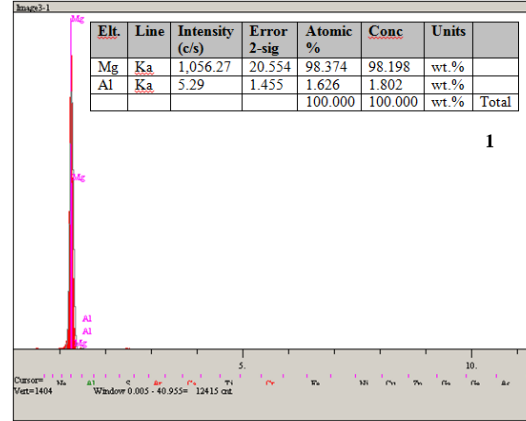


Şekil 5.6. 1 (AZ91) nolu alaşımanın EDS analizi

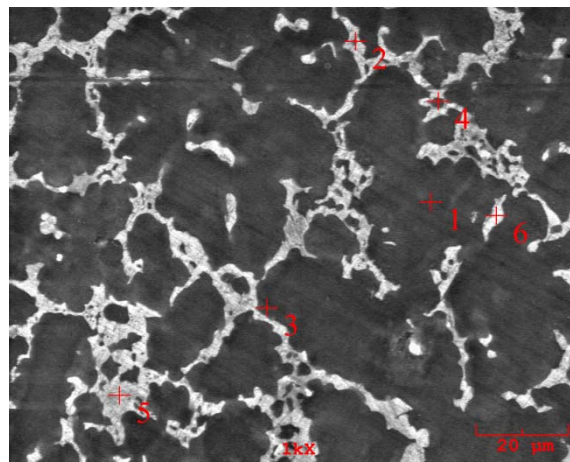
Şekil 5.7’de EDS analizi sonucunda açık gri renkteki bölge magnezyumca zengin birincil α -Mg fazındaki Al konsantrasyonu 1 noktasında 1,802 ve 2 noktasında 3,070 dir. Şekil 5.8’de EDS analizi sonucunda α -Mg fazındaki Al konsantrasyonu 1 noktasında 6,782’dir. Şekil 5.9’da EDS analizi sonucunda α -Mg fazındaki Al konsantrasyonu 1 noktasında 3,093 ve 2 noktasında 3,920 dir. Şekil 5.10’da EDS analizi sonucunda α -Mg fazındaki Al konsantrasyonu 1 noktasında 7,282, 2 noktasında 3,241 ve 3 noktasında 4,925 dir. α -Mg fazındaki Al konsantrasyonu Ti elementinin ilavesi ile gittikçe artmaktadır. α -Mg fazındaki Al konsantrasyonu %2 civarında beklenirken, Ti ve Cr ilavesi ile α -Mg fazındaki Al konsantrasyonun yaklaşık %6’lara çıktığı görülmektedir. Ti ve Cr ilavesi ile birincil α ’nın içerdiği Al miktarı yaklaşık üç kat daha fazla olmaktadır. Ayrıca, β -Mg₁₇Al₁₂ intermetalığının yapıdaki süreklilik görüntüsü değişmeden kalmakta ve içindeki ötektik α adacıklarının sayısının ve boyutunun arttığı görülmektedir. SEM görüntüleri ile üretilen alaşımlardan alınan x-ışınları sonuçlarının uyumlu olduğu, Ti ve Cr ilaveli alaşımların α -Mg ve Mg₁₇Al₁₂ fazlarının pik şiddetlerinin AZ91 alaşımınıninkine oranla artması ile anlaşılmaktadır. (Bkz. Şekil 5.1-2).



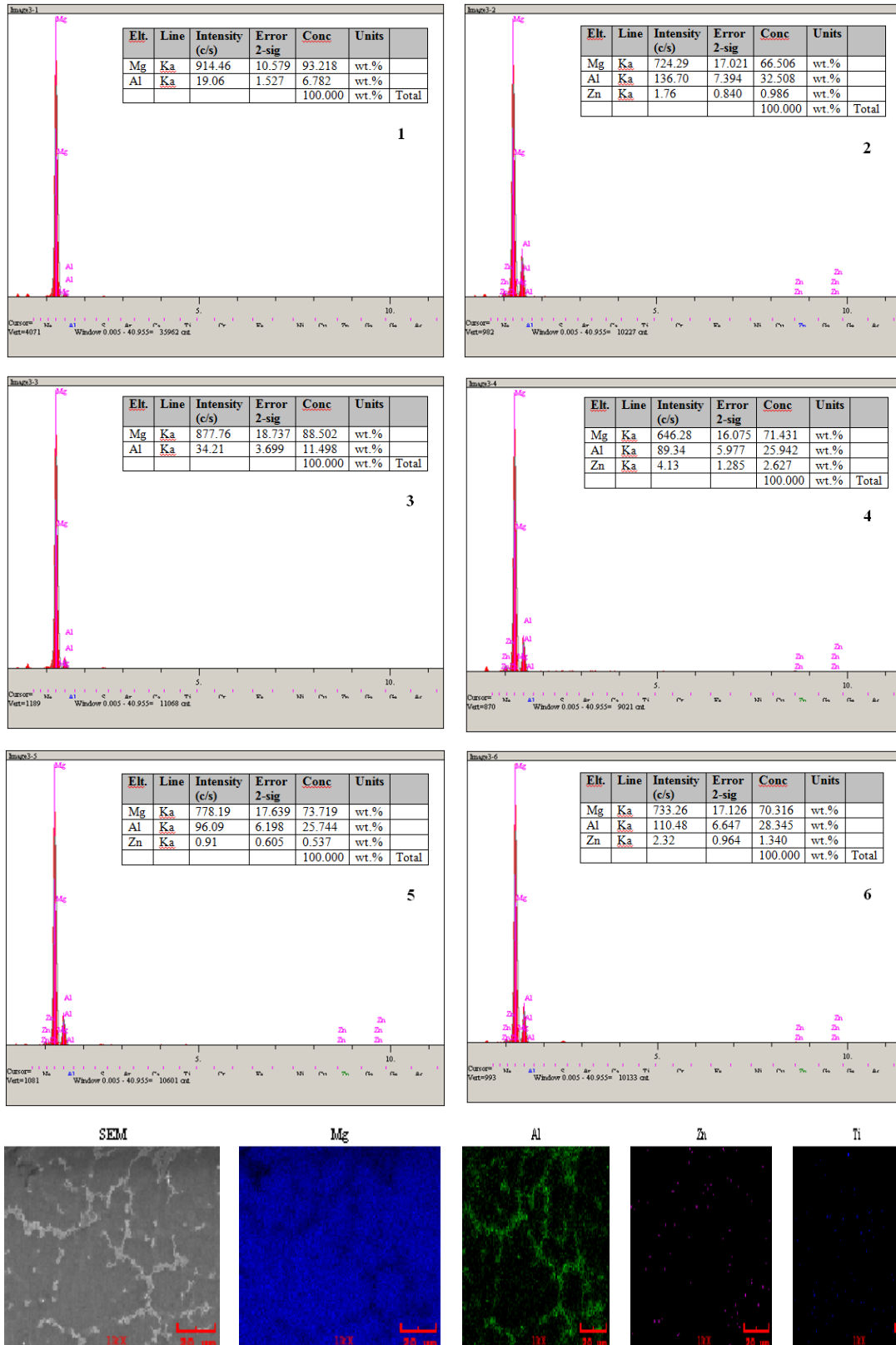
1 (AZ91)



Şekil 5.7. 1 (AZ91) nolu alaşımın EDS analizi

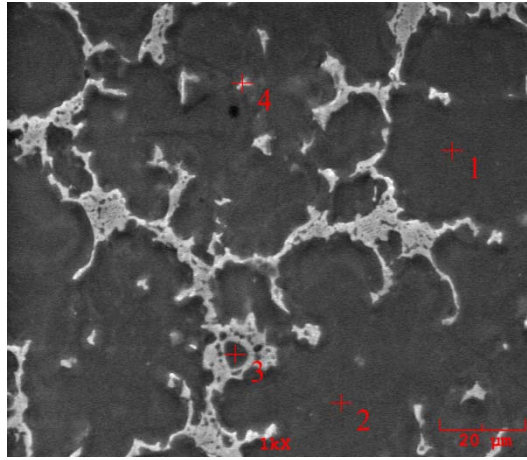


2 (AZ91+0,1Ti)

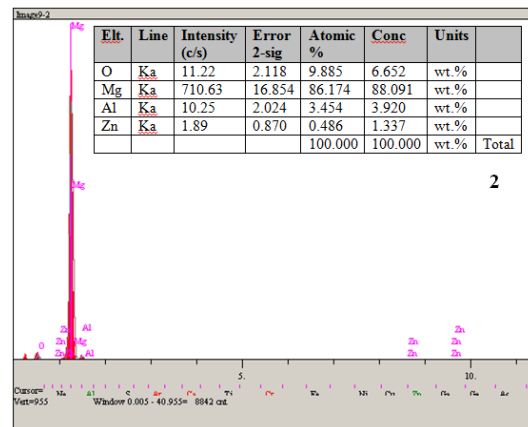
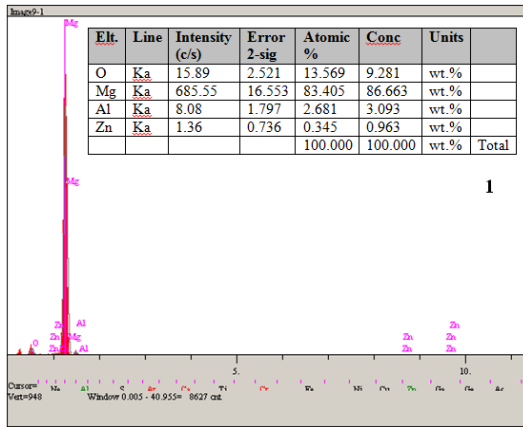


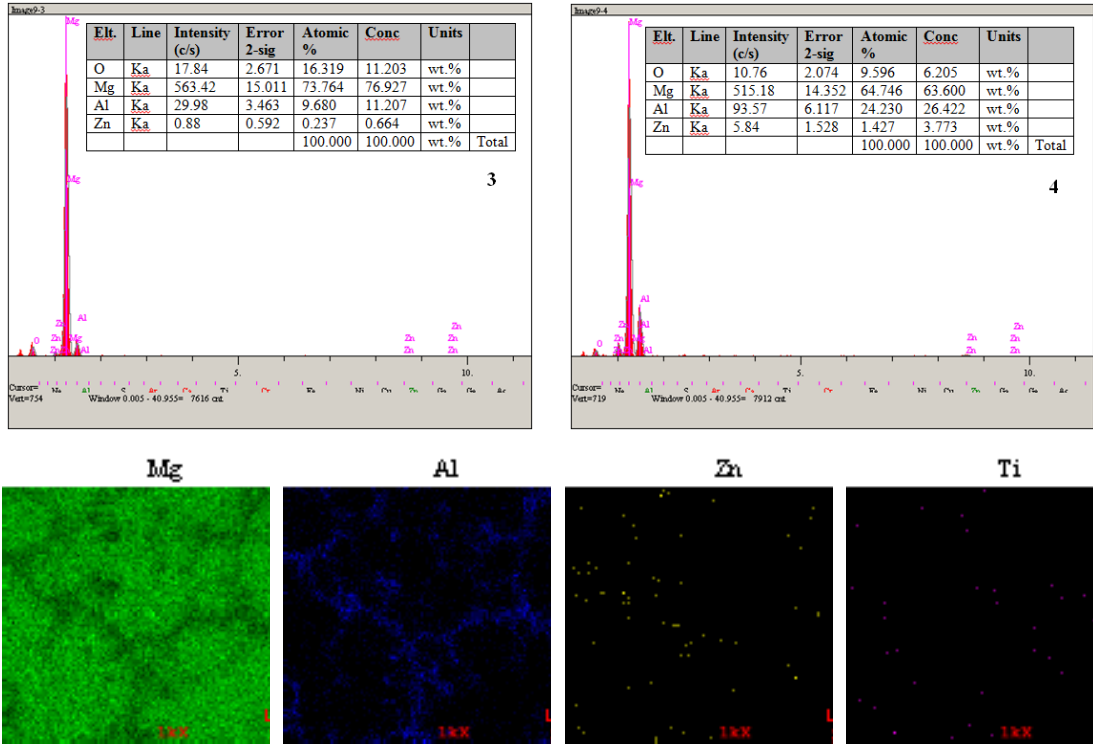
Şekil 5.8. 2 (AZ91+0,1Ti) nolu alaşımın EDS analizi

Titanyum alaşım elementi magnezyum latisi içerisinde çok düşük çözünürlüğe sahiptir [70]. Bu nedenle, EDS analizi olarak alan taraması yapılmıştır. EDS analizinden görüldüğü gibi titanyum tane sınırlarında bulunmaktadır. şekil 5.8 2'nolu alaşımın, şekil 5.9'da 3'nolu alaşımın şekil 5.10 ve şekil 5.11'de 4'nolu alaşımın EDS analizlerini vermektedir ve yapılan EDS analizlerine bakıldığında α -Mg, β -Mg₁₇Al₁₂ ve ötektik α fazlarından başka magnezyumun Ti ile alaşım içinde herhangi bir intermetalik bileşik oluşturmadığı gözlemlenmiştir.

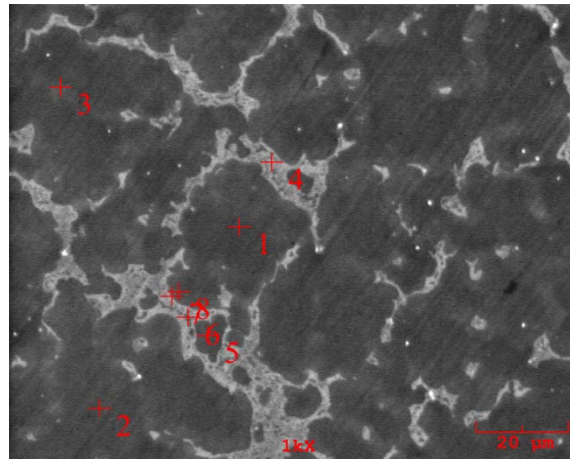


3 (AZ91+%0,3Ti)

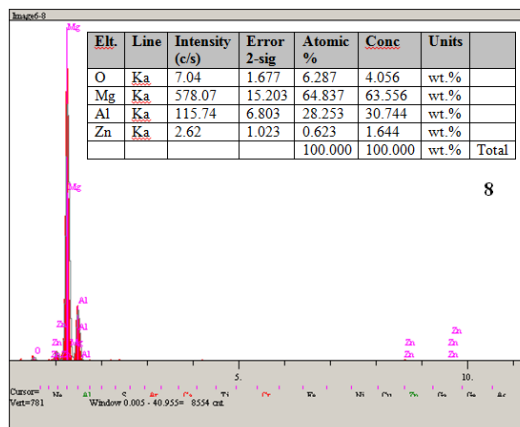
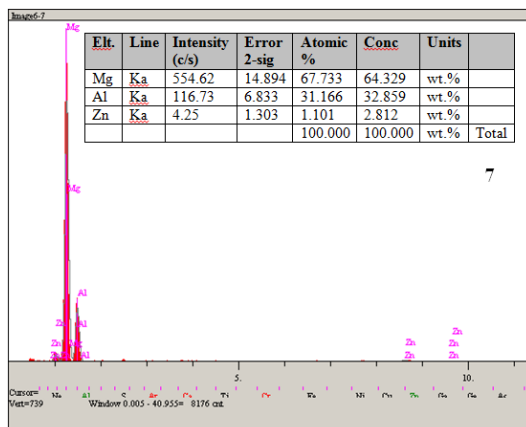
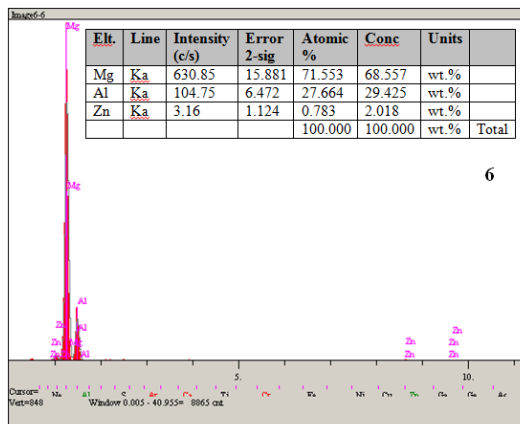
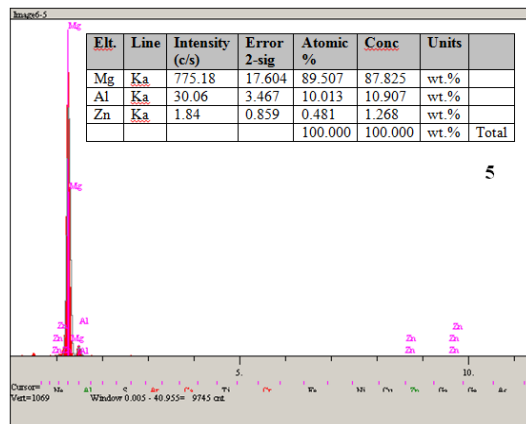
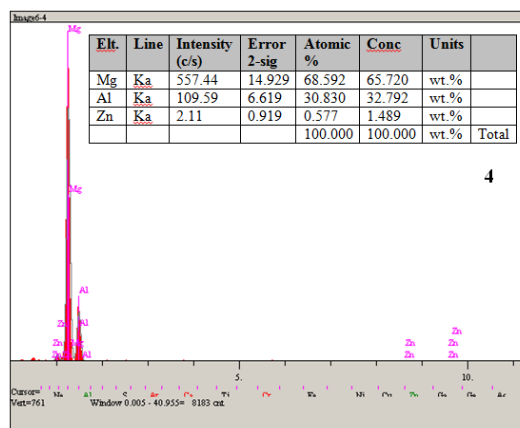
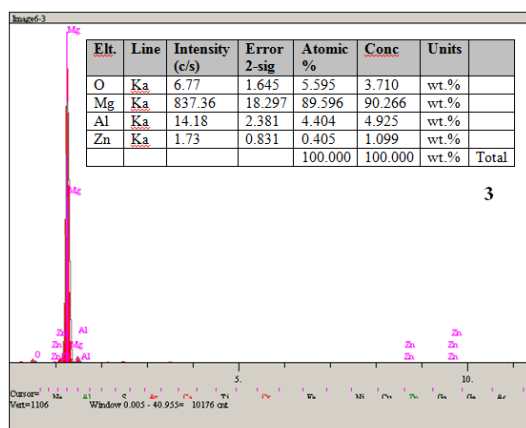
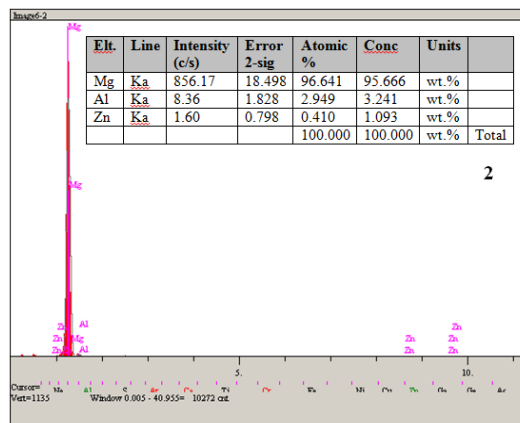
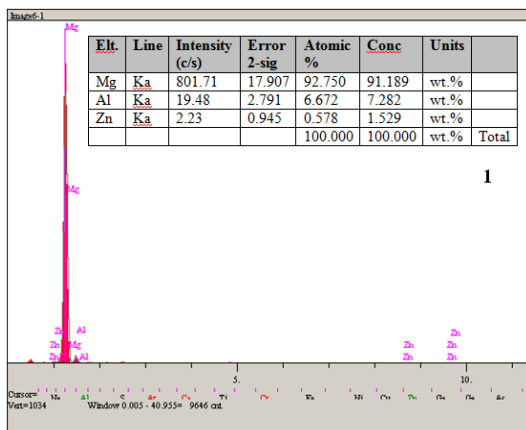


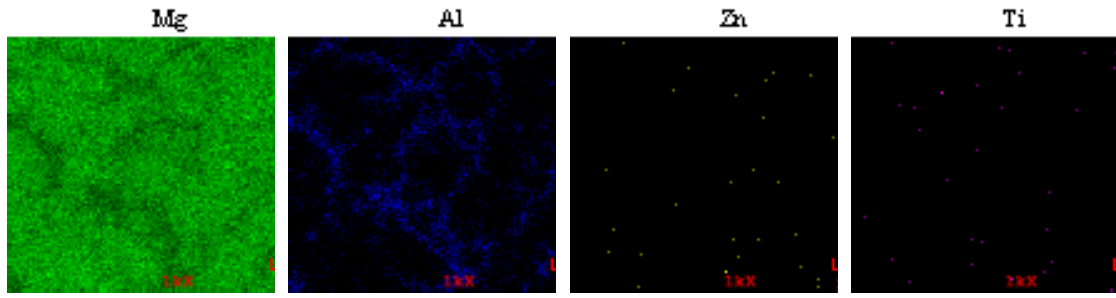


Şekil 5.9. 3 (AZ91+%0,3Ti) nolu alaşımın EDS analizi

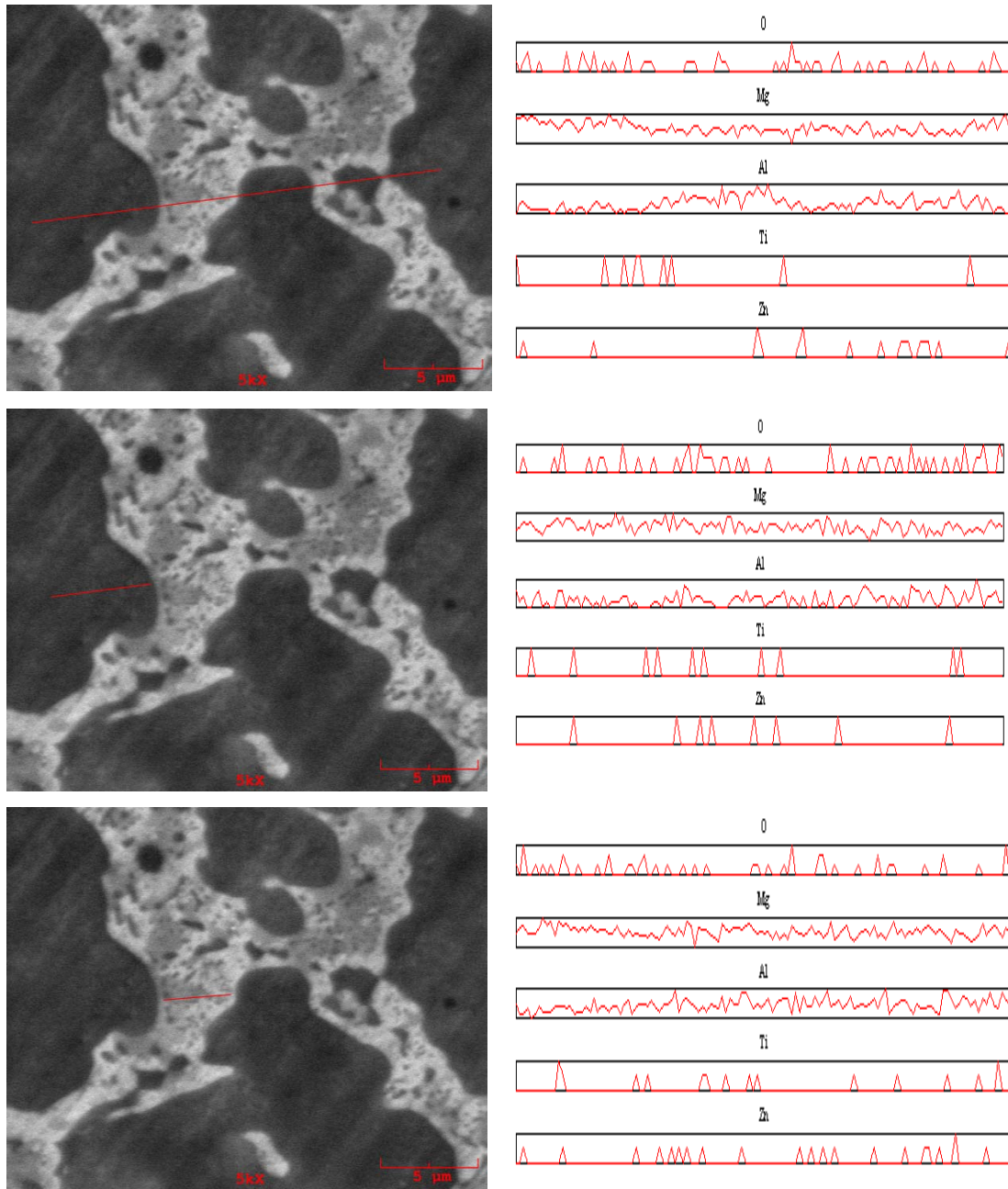


4 (AZ91+%0,5Ti)





Şekil 5.10. 4 (AZ91+%0,5Ti) nolu alaşımanın EDS analizi

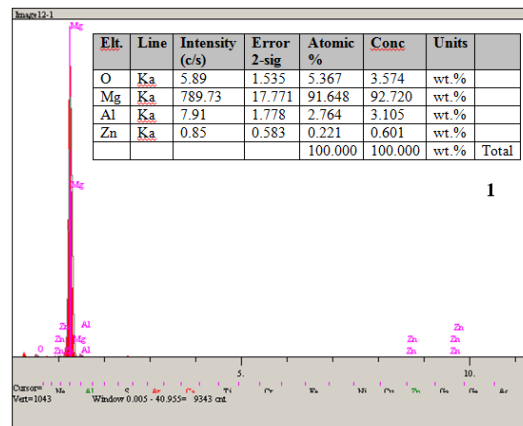
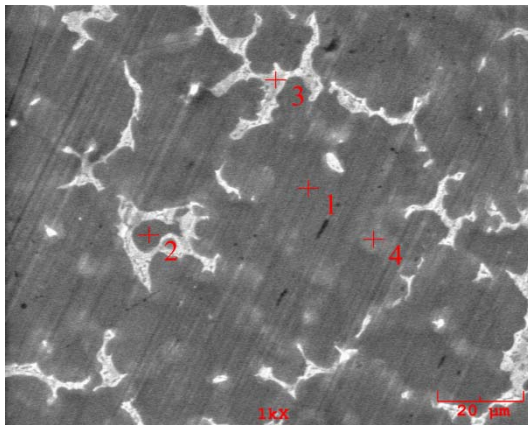


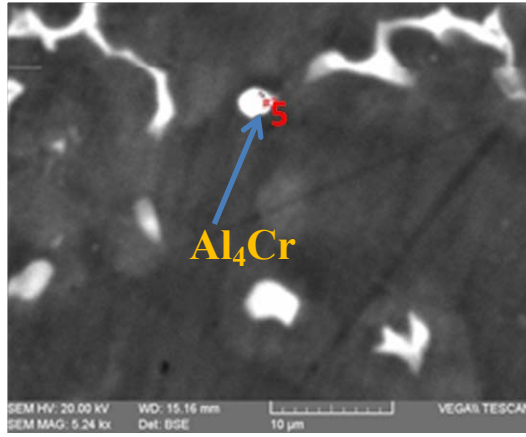
Şekil 5.11. 4 (AZ91+%0,5Ti) nolu alaşımanın EDS analizi

Krom alaşım elementi magnezyum latisi içerisinde çok düşük çözünürlüğe sahip olduğu düşünüldüğünden dolayı EDS analizi olarak alan taraması yapılmıştır. EDS analizinde görüldüğü gibi çinko ve krom tane sınırlarında bulunmaktadır. Tane sınırlarında bulunan krom elementi muhtemelen katılaşma esnasında tane büyümesini engellemiştir. Şekil 5.12, şekil 5.13 ve şekil 5.14 sırasıyla 5, 6 ve 7' nolu alaşımların EDS analizini vermektedir.

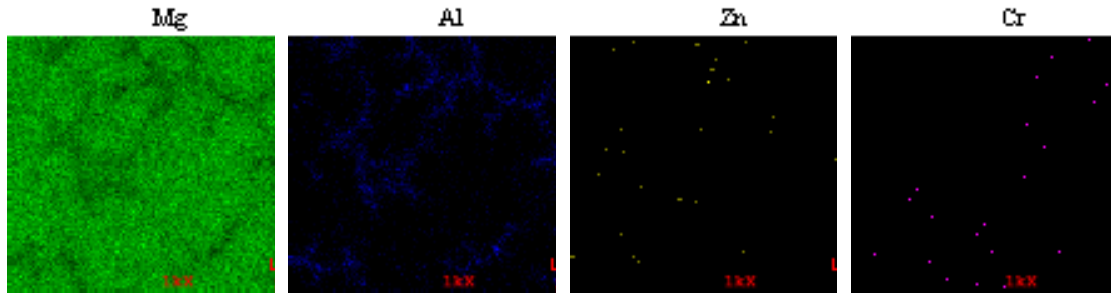
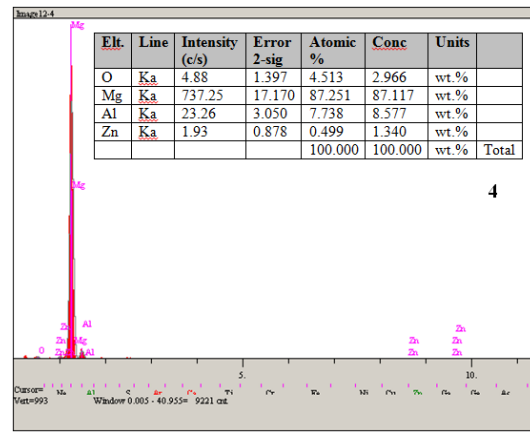
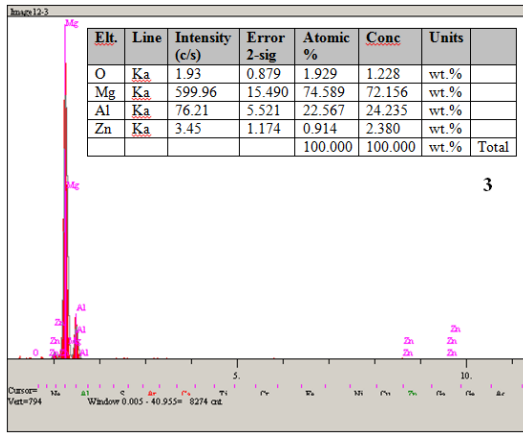
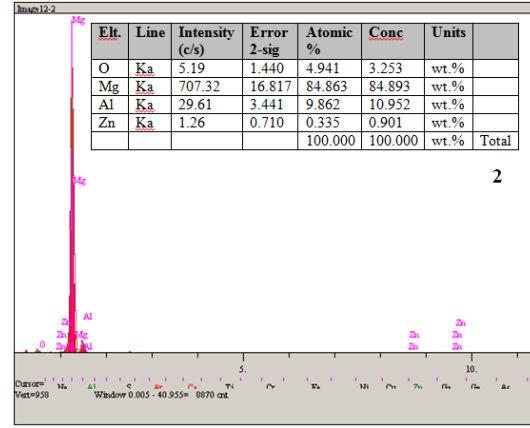
Şekil 5.7'de EDS analizi sonucunda açık gri renkteki bölge magnezyumca zengin birincil α -Mg fazındaki Al konsantrasyonu 1 noktasında 1,802 ve 2 noktasında 3,070 dir. Şekil 5.12'de EDS analizi sonucunda α -Mg fazındaki Al konsantrasyonu 1 noktasında 3,105'dir. Şekil 5.13'de EDS analizi sonucunda α -Mg fazındaki Al konsantrasyonu 4 noktasında 4,196'dır. Şekil 5.14'de EDS analizi sonucunda α -Mg fazındaki Al konsantrasyonu 7 noktasında 5,932'dir. Ti'da olduğu gibi, α -Mg fazındaki Al konsantrasyonu da Cr ilavesi ile gittikçe artmaktadır.

α -Mg, β ve ötektik α fazına ek olarak krom ilave edilmiş yapılarda şekil 5.12'deki EDS analizinde 5 nolu noktada Al_4Cr intermetalik fazının var olduğu görülmektedir. EDS analizinde ise Al_4Cr intermetalik fazının küresel şekilde var olduğu görülmektedir. Tablo 5.1'de 5' nolu alaşımların kimyasal kompozisyonu (%ağ.) ve atom oranları görülmektedir.





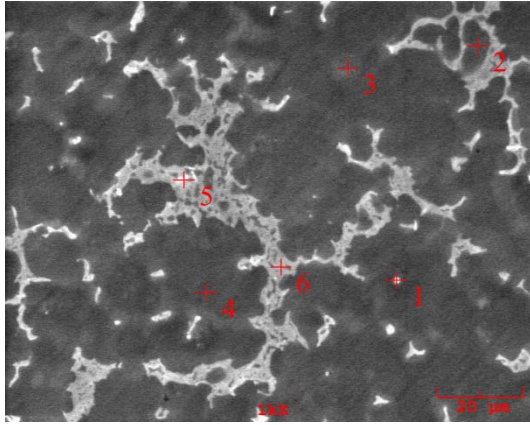
5 (AZ91+%0,1Cr)



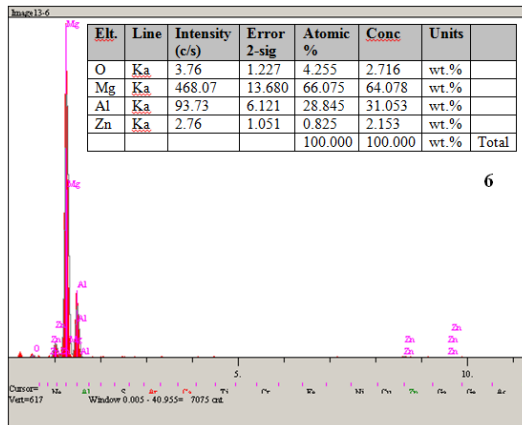
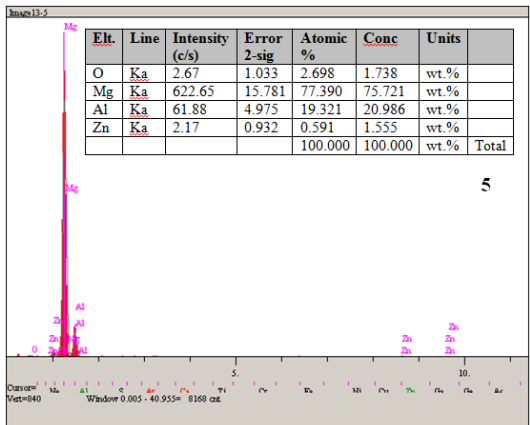
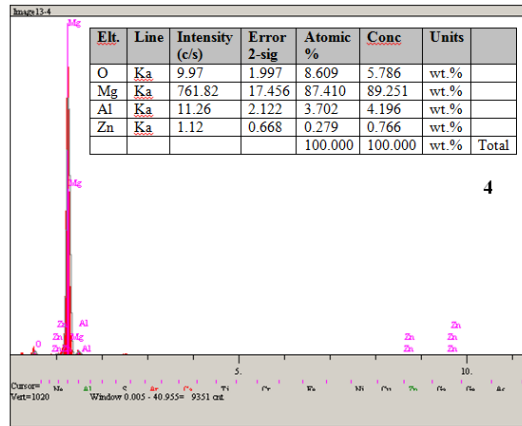
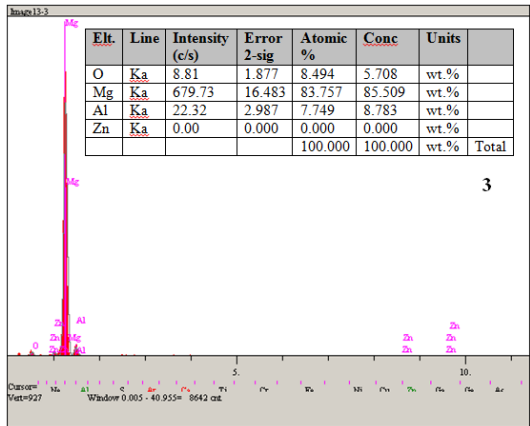
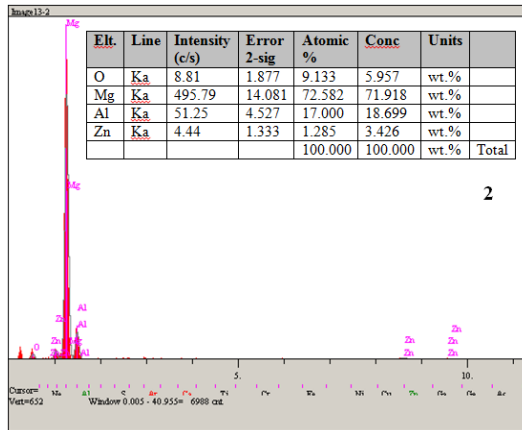
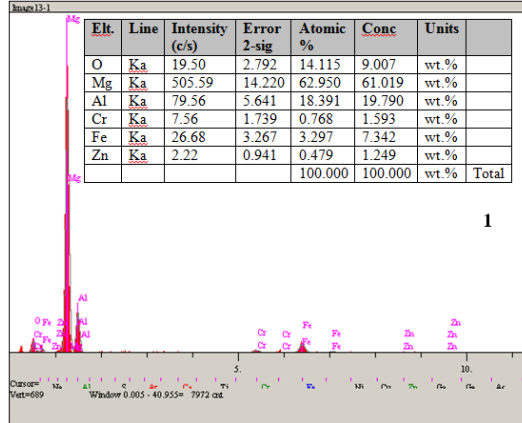
Şekil 5.12. 5 (AZ91+%0,1Cr) nolu alaşımın EDS analizi

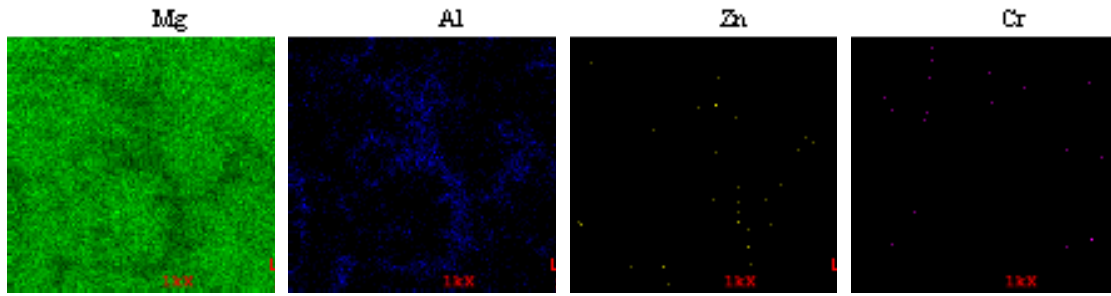
Tablo 5.1. 5 (AZ91+%0,1 Cr) nolu alaşımın EDS analizi

Nokta no:	Kimyasal kompozisyon (%ağ.)					Atom oranı			
	Al	Zn	Ti	Cr	Mg	Mg/Al	Mg/Zn	Al/Zn	Al/Cr
5	32,1	1,7	-	10	38,7	1,20	22,76	18,88	3,21



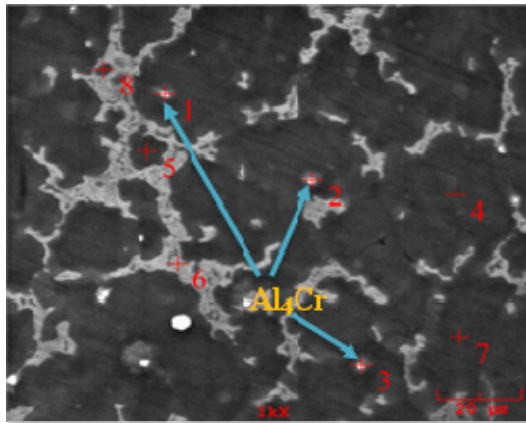
6 (AZ91+0.3Cr)



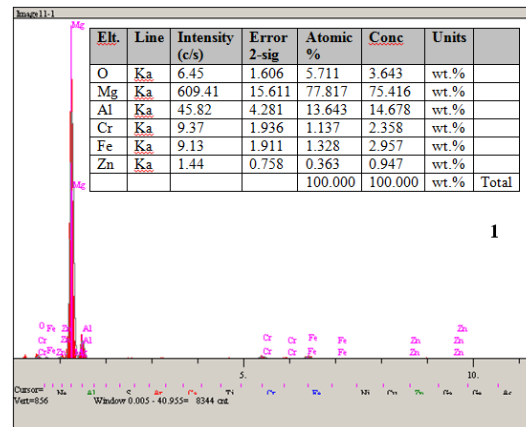


Şekil 5.13. 6 (AZ91+%0,3Cr) nolu alaşımın EDS analizi

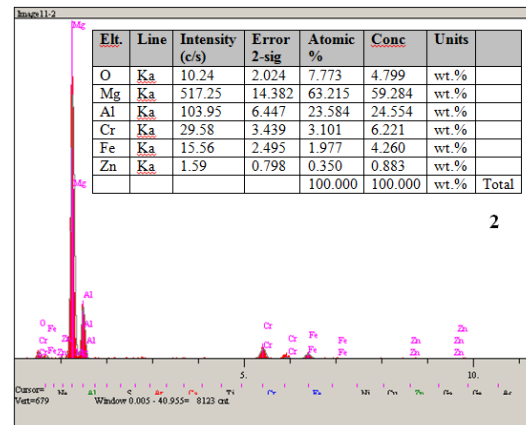
Mg-Al-Zn alaşımlarının ticari olarak en yaygın kullanılan alaşım kombinasyonları AZ91 olarak adlandırılan alaşımdır. Ayrıca α , β ve ötektik α fazına ek olarak krom ilave edilmiş yapılarda şekil 5.14'deki EDS analizinde Al_4Cr intermetalik fazının küresel şekilde var olduğu görülmektedir.



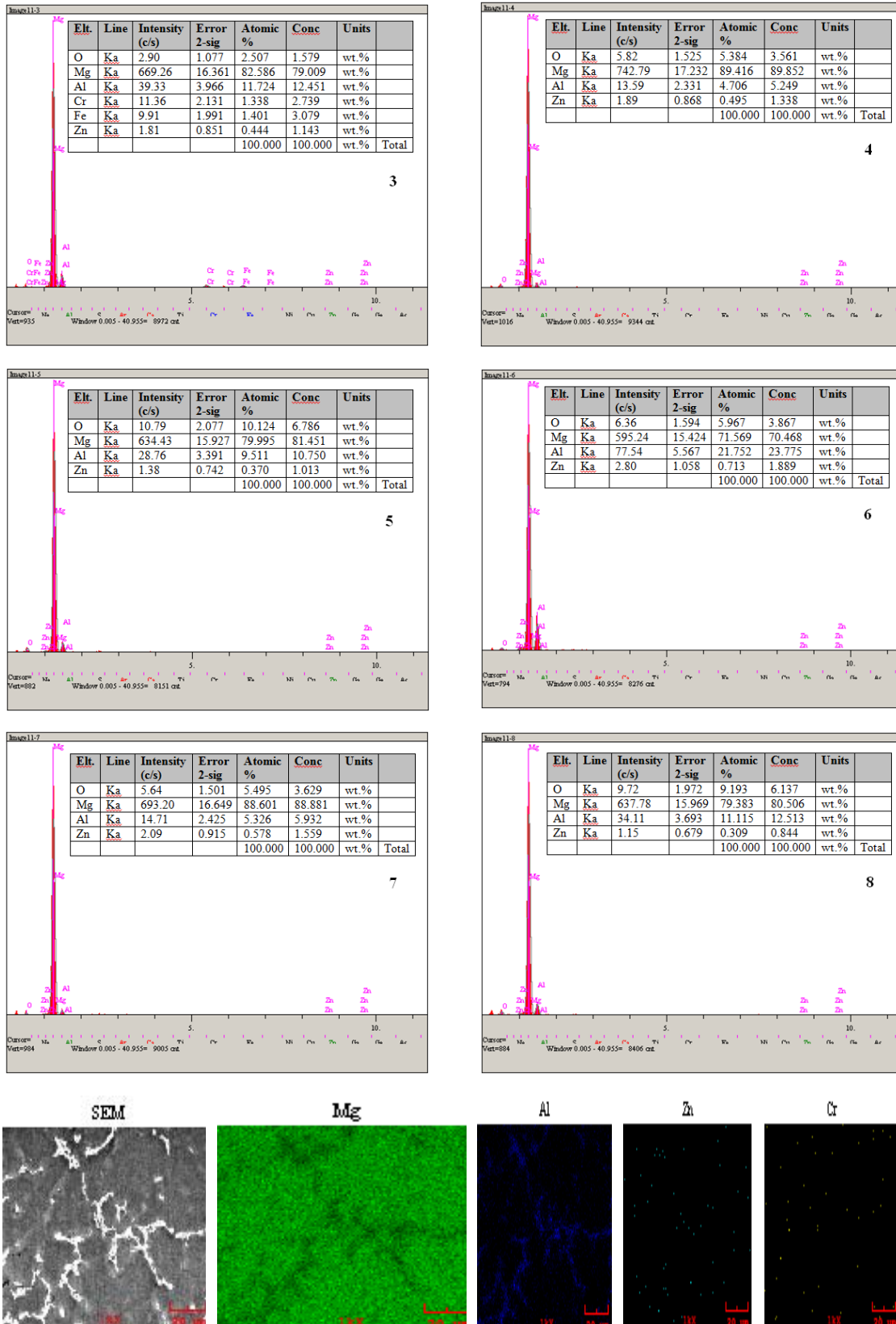
7 (AZ91+%0,5Cr)



1



2



Şekil 5.14. 7 (AZ91+0.5Cr) nolu alaşımanın EDS analizi

Genel olarak alaşım elementlerinin ilavesi ile;

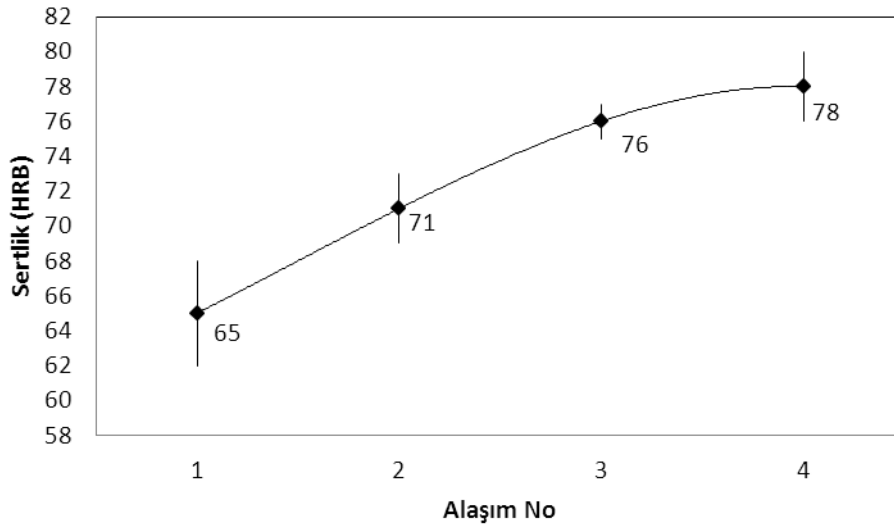
- Ti ilavesi ile birincil α boyutunda ve şeklinde önemli bir değişim oluşmazken, Cr ilavesi ile hücrel görünümünden dendritik yapıya dönüşüm olmaktadır.
- Ti ve Cr ilavesi ile β 'nın sürekli yapıdaki görünümünde bir değişim tespit edilmemiştir.
- Ti ve Cr ilavesi ile birincil α 'nın içerdiği Al miktarı yaklaşık üç kat daha fazla olmaktadır.
- Ötektik yapıyı oluşturan β 'nin kalınlığı Ti ve Cr ilavesi ile artmaktadır. Ayrıca ötektik yapıdaki α oranında ve boyutunda Ti ve Cr ilavesi artışlara neden olmaktadır.
- Cr ilavesi sonucu alaşımlarda Al_4Cr oluşmaktadır.

5.3. Üretilen Alaşımlarda Sertlik

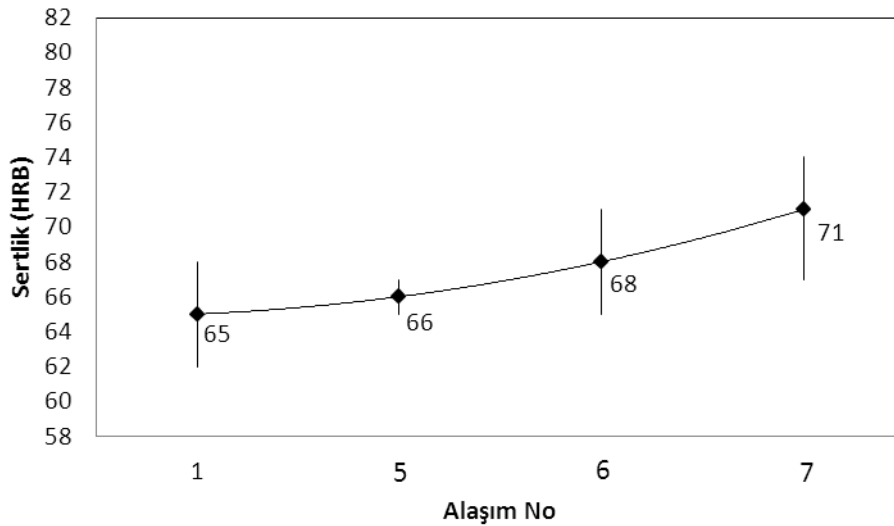
Tablo 5.2'de üretilen alaşımlardan alınan sertlik değerleri verilmektedir. Alaşım elementlerinin ilavesi ile sertlik değerinin arttığı görülmektedir. Ti elementi ilavesinin sertlik değerinin artmasına Cr elementinden biraz daha fazla katkısının olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 5.2. Sertlik değerlerinin ortalaması

Alaşım No	Numune Adı	Brinell Sertlik Değeri
1	AZ91	65 \pm 3
2	AZ91 + 0,1 Ti	71 \pm 2
3	AZ91 + 0,3 Ti	76 \pm 1
4	AZ91 + 0,5 Ti	78 \pm 2
5	AZ91 + 0,1 Cr	66 \pm 1
6	AZ91 + 0,3 Cr	68 \pm 3
7	AZ91 + 0,5 Cr	71 \pm 3



Şekil 5.15. Titanyum alaşım elementinin AZ91 alaşımı Brinell sertliğine etkisi



Şekil 5.16. Krom alaşım elementinin AZ91 alaşımı Brinell sertliğine etkisi

1(AZ91) nolu alaşımın döküm sonrası sertlik değerlerinin 60-70 Brinell kadar olduğu ifade edilmektedir [4]. Şekil 5.16'da ağırlıkça %0,1, 0,3 ve 0,5 titanyum alaşım elementi ilavesinin 1 nolu alaşımın sertliğine etkisi görülmektedir. Şekil 5.16'dan görüldüğü gibi titanyum alaşım elementinin 1 nolu alaşıma ilave edilmesi sonucu sertlik değerleri belli bir oranda artmaktadır. 1 nolu alaşımın sertlik değeri 65 Brinell ölçülürken, %0,1, 0,3 ve 0,5 alaşımlar sırası ile 71, 76, 78 Brinell ölçülmüştür. Titanyum elementinin %0,3 oranlarında ilavesi 1 nolu alaşımın sertliğini %17

oranlarında arttırarak 65 Brinell'den 76 Brinell'e çıkarmıştır. Alaşım elementinin 0,5 Ti olması durumunda matriks alaşımının sertliğini yaklaşık %20 arttırmıştır.

Şekil 5.16'da ağırlıkça %0,1, 0,3 ve 0,5 krom alaşım elementi ilavesinin 1 nolu alaşımın sertliğine etkisi görülmektedir. Şekil 5.15'den görüldüğü gibi krom alaşım elementinin 1 nolu alaşıma ilave edilmesi sonucu sertlik değerleri belli bir oranda artmaktadır. 1 nolu alaşımın sertlik değeri 65 Brinell ölçülürken, %0,1, 0,3 ve 0,5 alaşımlar sırası ile 66, 68, 71 Brinell ölçülmüştür. Maksimum sertlik değeri ağırlıkça %0,5 krom ilavesi ile elde edilmiştir ve 1 nolu alaşımın sertliğini yaklaşık % 9 arttırmıştır.

Mikro yapı çalışmasındaki EDS analizlerinden görüldüğü gibi sertlik değerindeki artış α -Mg fazındaki Al konsantrasyonu Ti ve Cr elementlerinin ilavesi ile gittikçe artmaktadır. Cr elementinin de alaşım içerisinde olması Al_4Cr intermetalliğini yapabildiği ve böylece sertliğin artışında bu intermetaliginde rol oynadığı var sayılmaktadır. Parçalı ötektik yapının boyutu Ti ve Cr elementlerinin artmasıyla AZ91 alaşımıninkine oranla kabalaştığı görülmektedir. Ötektik yapıyı oluşturan bileşenlerden ötektik α 'nın bulunma oranı aynı şekilde Ti ve Cr ilavelerinin artmasıyla arttığı tespit edilmektedir. Yani, ötektik yapıdaki ötektik α adacıklarının sayısı ve boyutu artmıştır. Ayrıca alaşım elementlerinin ilavesi sonucu ötektik fazın (β - $Mg_{17}Al_{12}$ ve ötektik α) kalınlaşmasının da sertliğin artmasına neden olduğu düşünülmektedir. Bu değişimlerin mukavemeti arttırdığı dolayısıyla sertliğin artmasına neden oldukları düşünülmektedir.

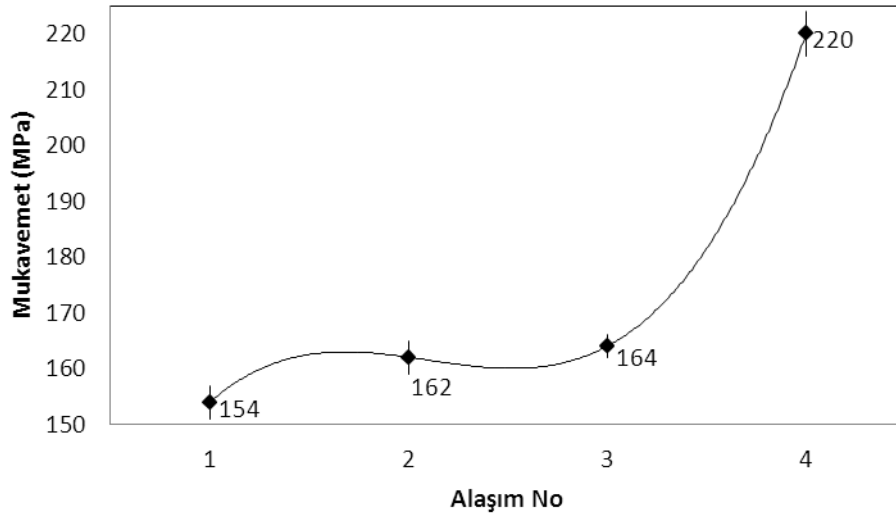
5.4. Üretilen Alaşımlarda Çekme Mukavemeti

Her bir numunenin çekme mukavemeti hesaplanırken 4 adet numune kullanılmıştır, çekme hızı da 5×10^{-1} mm/dakika olarak ayarlanmıştır ve tablo 5.3'de gösterilmiştir.

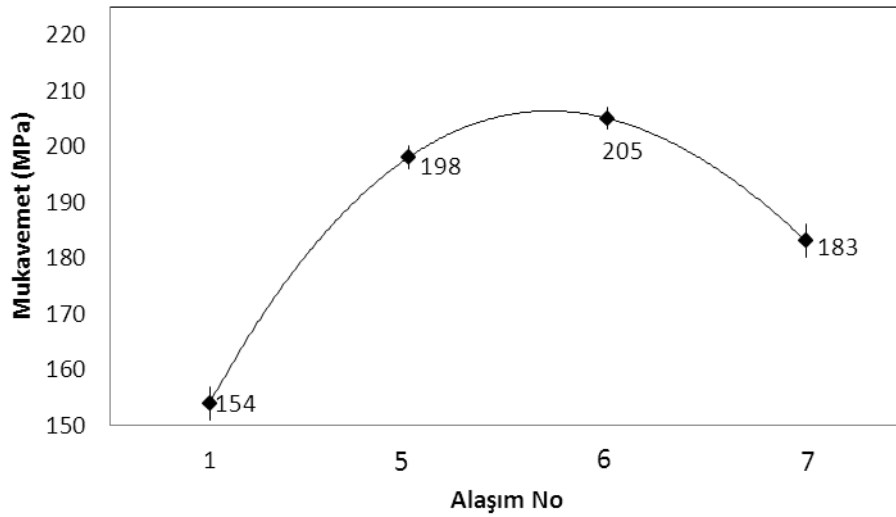
Tablo 5.3. Çekme mukavemeti ve % uzama değerleri

Alaşım No	Numune Adı	Çekme Mukavemeti (MPa)	Yüzde Uzama (%)
1	AZ91	154 ±3	3,7 ±1
2	AZ91 + 0,1 Ti	162 ±3	4,7 ±1
3	AZ91 + 0,3 Ti	164 ±2	6,2 ±1
4	AZ91 + 0,5 Ti	220 ±4	7,8 ±1
5	AZ91 + 0,1 Cr	198 ±2	6,1 ±1
6	AZ91 + 0,3 Cr	205 ±2	6,8 ±1
7	AZ91 + 0,5 Cr	183 ±3	6,8 ±1

Şekil 5.17’de 1 nolu alaşıma titanyum elementi ilavesinin, şekil 5.18’de ise 1 nolu alaşıma krom elementi ilavesinin çekme mukavemetine etkisi görölmektedir. 1 nolu alaşımın çekme mukavemetindeki artışı alaşım elementlerinin belirli oranlarda ilavesi ile gerçekteşmiştir. 1 nolu alaşımın çekme mukavemeti 154 MPa olarak bulunmuştur. Şekil 5.17’de göröldüğü gibi titanyum alaşım elementinin ilavesi ile 1 nolu alaşımın çekme mukavemetini bir miktar arttırmıştır. Ağırlıkça %0,1, 0,3 ve 0,5 oranlarında titanyum alaşım elementinin ilavesi ile çekme mukavemeti değerleri sırasıyla 162, 164 ve 220 MPa bulunmuştur.



Şekil 5.17. 1 nolu alaşıma titanyum elementi ilavesinin çekme mukavemetine etkisi



Şekil 5.18. 1nolu alaşıma krom elementi ilavesinin çekme mukavemetine etkisi

Şekil 5.18’de ise krom alaşım elementinin ilavesi ile 1 nolu alaşımın çekme mukavemeti bir miktar artmıştır fakat artan krom ilavesi ile çekme mukavemeti, 1 nolu alaşımın değerinden daha yüksek kalacak şekilde azalmıştır. Ağırlıkça %0,1, 0,3 ve 0,5 oranlarında krom alaşım elementinin ilavesi ile çekme mukavemeti değerleri sırasıyla 198, 205 ve 183 MPa bulunmuştur. Çekme mukavemetinin belli bir değere kadar arttığı, daha sonra düştüğü görülmektedir. Bu durum Al_4Cr oranının artmasından olabilir. Maksimum mukavemet değerinin %0,3 krom ilavesi ile elde

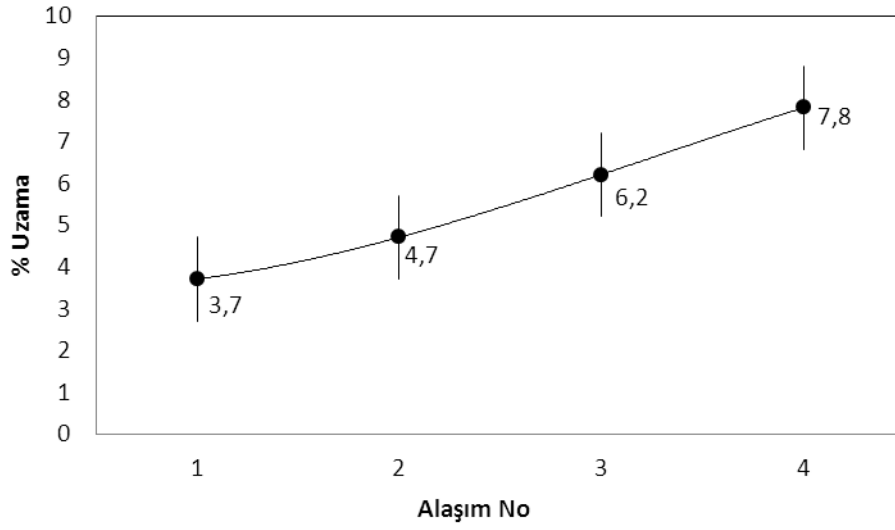
edildiği görülmektedir. Al_4Cr 'ların etrafında iç gerilimler oluşarak çatlakların başlamasına ve mukavemetin düşmesine neden olduğu düşünülmektedir.

Yapılan testler sonucunda, maksimum mukavemet değeri ağırlıkça %0,5 Ti ilavesi ile elde edildiği anlaşılmaktadır. 1 nolu alaşımın çekme mukavemeti yaklaşık %43 artarak 220 MPa'a ulaşırken, %0,3 Cr ilavesi ile yaklaşık %33 artarak 205 MPa değerine çıkmıştır.

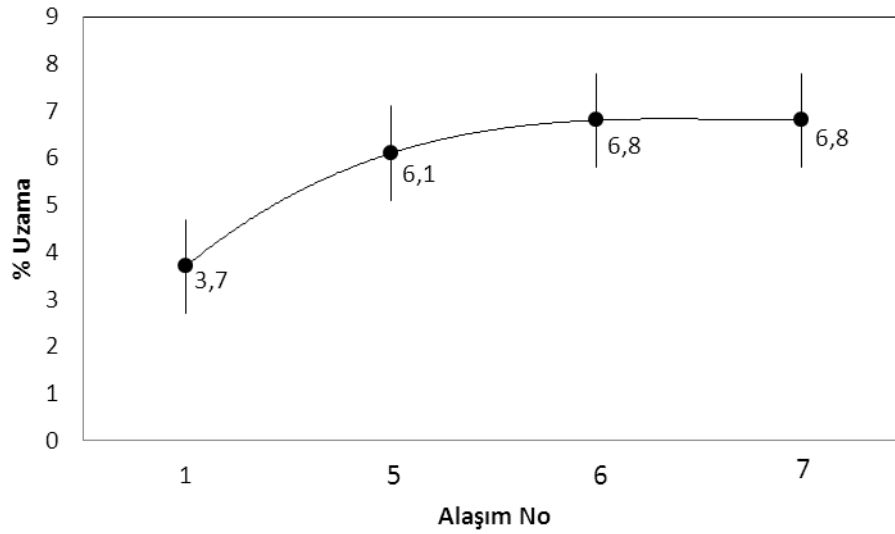
Çekme mukavemetinin artmasına mikroyapı incelemelerinde anlatılan bazı değişimlerin etkili olduğu düşünülmektedir. Buna göre, mikroyapı ve alan taraması çalışmasında görüldüğü gibi, titanyum ve krom elementlerinin tane sınırlarına yerleşmesi ile tane sınırlarının direncini belli bir miktar artırarak dislokasyon hareketinin engellenmesi ile mukavemet artışının olduğu tahmin edilmektedir. Parçalı divorce ötektik yapıdaki $\beta-Mg_{17}Al_{12}$ intermetalik fazı içerisindeki ötektik α miktarının Ti ve Cr ilavelerinin artmasıyla arttığı tespit edilmektedir. Yani, ötektik yapıdaki ötektik α adacıklarının sayısı ve boyutu artmıştır. Ötektik α fazı miktarının fazla olması sert ve gevrek fazda (β) çatlak başladığı zaman engelleyici görevi görerek ve daha fazla enerji absorblayarak çatlağın ilerlemesini durdurduğu düşünülmektedir. $\alpha-Mg$ fazındaki Al konsantrasyonu Ti ve Cr elementlerinin ilavesi ile gittikçe artmaktadır. Cr ilavesi sonucu alaşımlarda Al_4Cr intermetalliği oluşmaktadır. Ayrıca, Ti ilave edilmiş alaşımlarda da görülen $\beta-Mg_{17}Al_{12}$ intermetalik fazı içerisindeki Ti'larda çatlak oluşumunu engelleyici olabilir (Şekil 5.11). Bu durumların mukavemeti arttırdığı düşünülmektedir.

Şekil 5.19'da 1 nolu alaşıma titanyum elementi ilavesinin, şekil 5.20'de ise 1 nolu alaşıma krom elementi ilavesinin % uzama değerine etkisi görülmektedir. Şekil 5.19'da görüldüğü gibi titanyum alaşım elementinin ilavesi ile 1 nolu alaşımın % uzama değeri artmıştır. 1 nolu alaşımın % uzama değeri 3,7 ölçülürken, ağırlıkça %0,1, 0,3 ve 0,5 oranlarında titanyum alaşım elementinin ilavesi ile % uzama değerleri sırasıyla 4,7, 6,2 ve 7,8 bulunmuştur. Maksimum % uzama değeri ağırlıkça %0,5 titanyum ilavesi ile elde edilmiştir ve 1 nolu alaşımın % uzama değerini yaklaşık % 110 arttırmıştır. Çekme mukavemetinin artmasına neden olan etmenler

(alaşım elementi ilavesi, β -Mg₁₇Al₁₂ intermetalik fazının morfolojisinin değişmesi)
% uzama değerlerini de artırmıştır.



şekil 5.19. 1 nolu alaşıma titanyum elementi ilavesinin % uzama değerine etkisi



şekil 5.20. 1 nolu alaşıma krom elementi ilavesinin % uzama değerine etkisi

şekil 5.20'de ise krom alaşım elementinin ilavesi ile 1 nolu alaşımın % uzama değerlerinin artığı görülmüştür. Ağırlıkça %0,1, 0,3 ve 0,5 oranlarında krom alaşım elementinin ilavesi ile % uzama değerleri sırasıyla 6,1, 6,8 ve 6,8 bulunmuştur. Maksimum % uzama değeri ağırlıkça %0,3 ve %0,5 krom ilavesi ile elde edilmiştir ve 1 nolu alaşımın % uzama değerini yaklaşık % 84 arttırmışlardır. % uzama değerinin belli bir değere kadar arttığı, daha sonra sabit kaldığı görülmektedir. Bu durum Al₄Cr oranının artmasından olabilir. Optimum sonucun %0,3 krom ilavesi ile

elde edildiği görülmektedir. Al₄Cr oranının yükselmesi belli bir değerden sonra mukavemeti azaltıyordu, % uzama değerinde belli bir değerden sonra sabit kaldığı görülmektedir. Al₄Cr'ların etrafında i gerilimler oluşarak çatlakların başlamasına ve birden malzemenin kırılmasına neden olabilir. Malzeme erken kırıldığı için fazla uzama olmadığı düşünülmektedir.

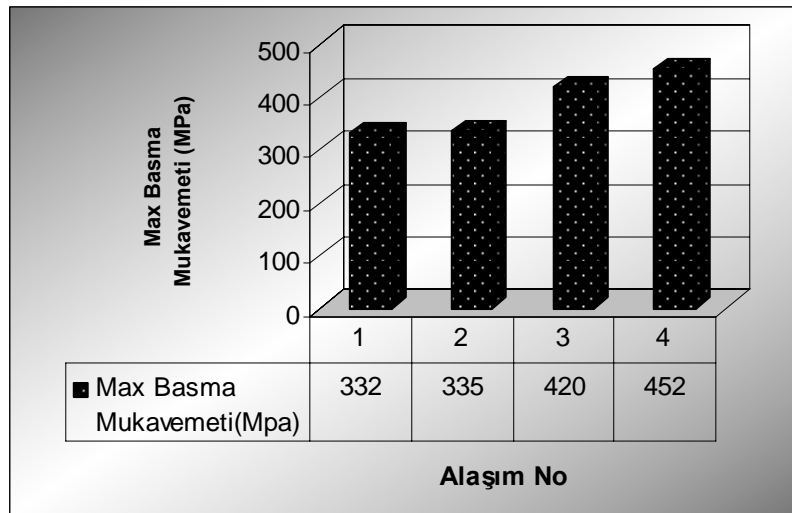
5.5. Üretilen Alaşımlarda Basma Mukavemeti

Her bir numunenin basma mukavemeti hesaplanırken 4 adet numune kullanılmıştır ve basma hızı da 0,5 mm/dakika olarak ayarlanmıştır ve tablo 5.4'de gösterilmiştir.

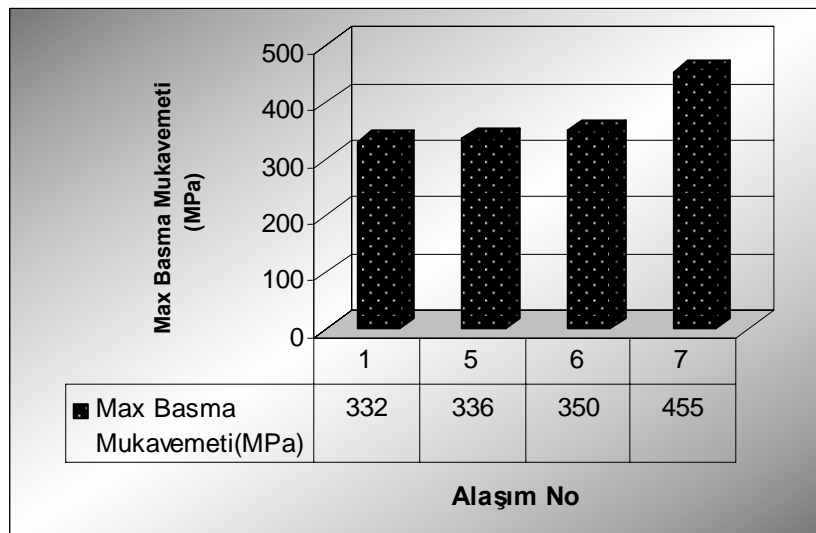
Tablo 5.4. Maksimum basma mukavemeti değerleri

Alaşım No	Numune Adı	Max Basma Mukavemeti (MPa)
1	AZ91	332
2	AZ91 + 0,1 Ti	335
3	AZ91 + 0,3 Ti	420
4	AZ91 + 0,5 Ti	452
5	AZ91 + 0,1 Cr	336
6	AZ91 + 0,3 Cr	350
7	AZ91 + 0,5 Cr	455

şekil 5.21 ve 5.22'de 1 nolu alaşıma Ti ve Cr ilavesi ile maksimum basma mukavemetinin doğrusal bir şekilde arttığı görülmektedir. 1 nolu alaşımın max basma mukavemeti 332 MPa iken, alaşımına titanyum ilavesi ile max basma mukavemeti 2, 3 ve 4'de sırasıyla 335, 420 ve 452 MPa, Cr ilavesi ile max basma mukavemeti 5, 6 ve 7'de sırasıyla 336, 350 ve 455 MPa olarak artmıştır. Maksimum basma mukavemeti ağırlıkça %0,5 krom ilavesi ile elde edilmiştir ve 1 nolu alaşımın max basma mukavemeti değerini yaklaşık % 36 arttırmıştır.



Şekil 5.21. 1 nolu alaşıma titanyum elementi ilavesinin basma mukavemetine etkisi



Şekil 5.22. 1 nolu alaşıma krom elementi ilavesinin basma mukavemetine etkisi

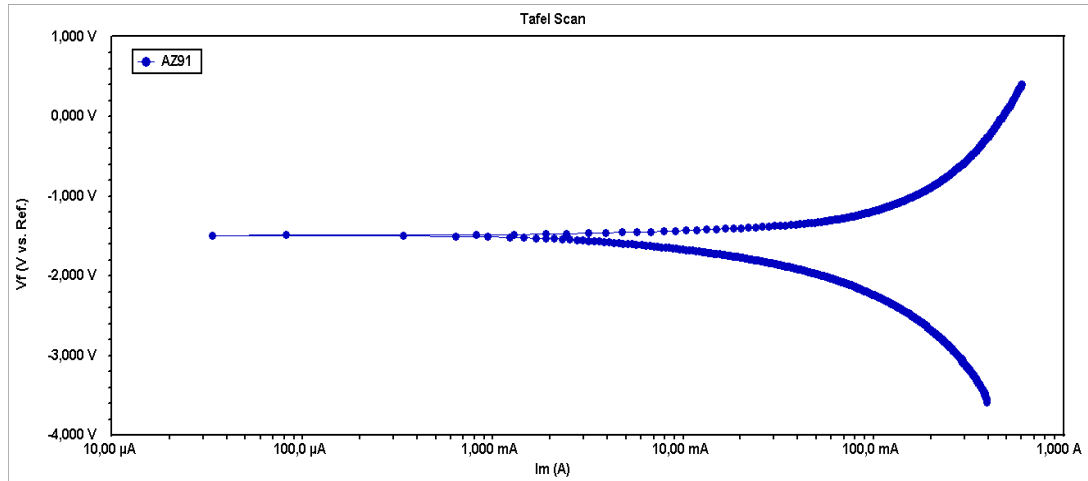
Ti ve Cr ilavesi arttıkça α -Mg fazındaki Al konsantrasyonu gittikçe artmaktadır, bu durumda mukavemetin yükselmesine neden olduğu düşünülmektedir. Metalografik çalışmada da bahsedildiği gibi parçalı divorce ötektik yapıdaki β -Mg₁₇Al₁₂ intermetalik fazı içerisindeki ötektik α miktarının Ti ve Cr ilavelerinin artmasıyla arttığı ve bu sayede gevrekliğin azalması daha fazla enerji absorblamayı sağladığı düşünülerek mukavemetin artmasına neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, Ti alaşım elementinin ilavesi ile azda olsa gözlenen tane incelmeleri ve Cr

alaşım elementinin ilavesi ile Al_4Cr intermetalığının oluşması bu artışta etkili olmuş olabilir.

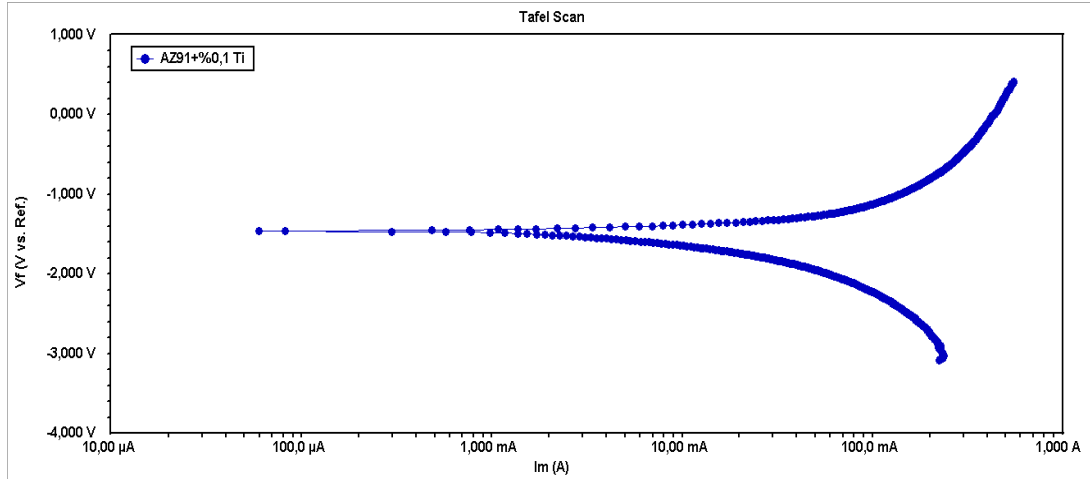
5.6. Korozyon Deneyleri Sonuçları

Yapılmış birçok çalışmaya rağmen halen magnezyum alaşımlarının korozyon mekanizması tam olarak anlaşılamamıştır. $Mg_{17}Al_{12}$ intermetalığının matrikse göre katodik olduğu bilinmektedir.

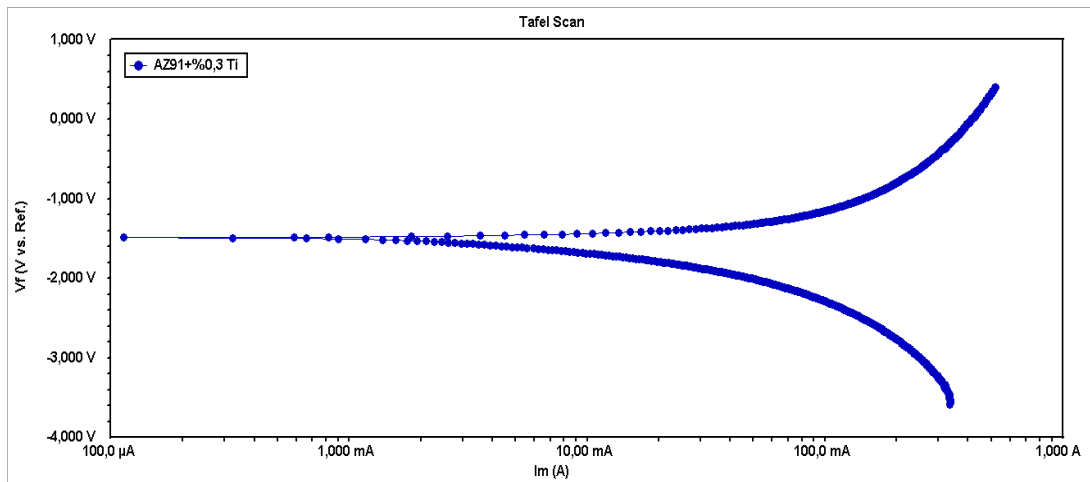
Korozyon ortamı olarak destile su ile %3,5'luk NaCl çözeltisi hazırlanmıştır. Alaşım elementi ilave edilerek üretilmiş olan numuneler hazırlanan bu çözelti içerisinde korozyona uğratarak Tafel eğrileri elde edilmiştir. Şekil 5.23'de 1, şekil 5.24'de 2, şekil 5.25'de 3, şekil 5.26'da 4, şekil 5.28'de 5, şekil 5.29'da 6 ve şekil 5.30'da 6 nolu alaşımların korozyon sırasında oluşan tafel eğrileri görülmektedir. Şekil 5.27'de 1, 2, 3 ve 4, şekil 5.31'de ise 1, 5, 6 ve 7 nolu alaşımların korozyon sırasında oluşan tafel eğrileri birlikte görülmektedir.



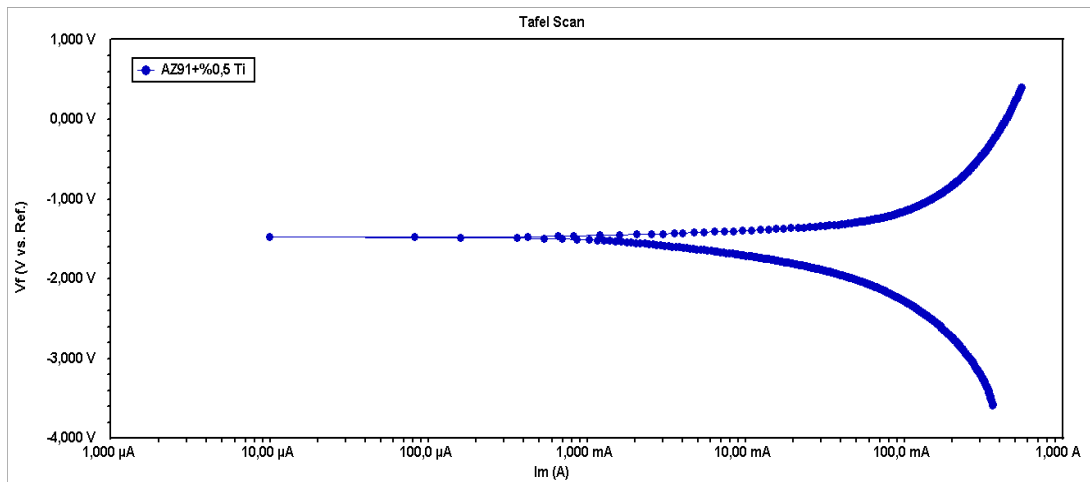
Şekil 5.23. 1 nolu alaşımların korozyon sırasında oluşan tafel eğrisi (%3,5 NaCl)



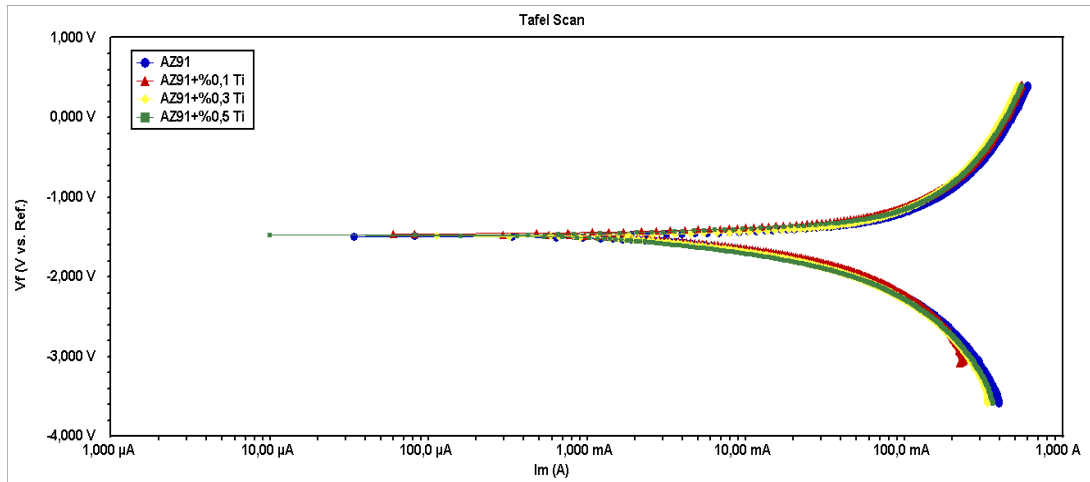
Şekil 5.24. 2 nolu alaşımın korozyon sırasında oluşan tafel eğrisi (%3,5 NaCl)



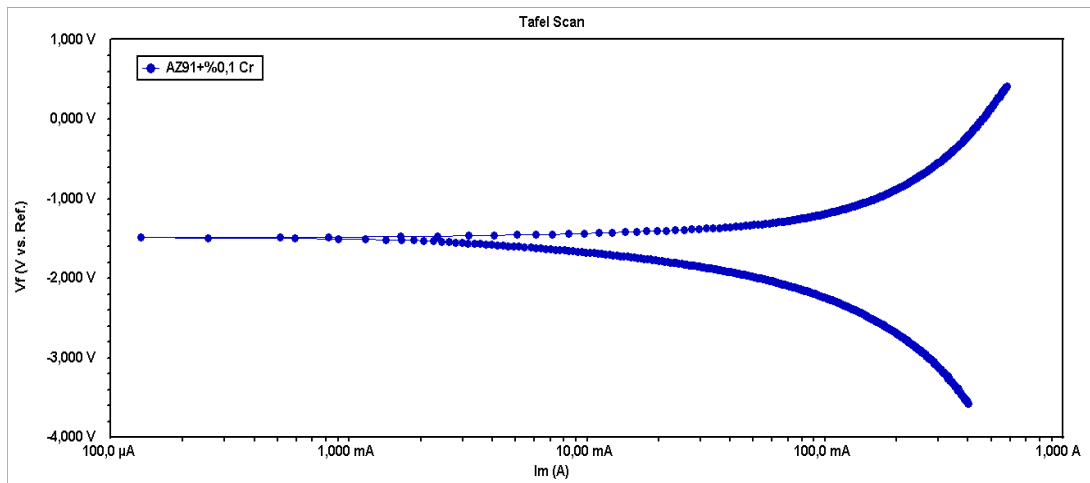
Şekil 5.25. 3 nolu alaşımın korozyon sırasında oluşan tafel eğrisi (%3,5 NaCl)



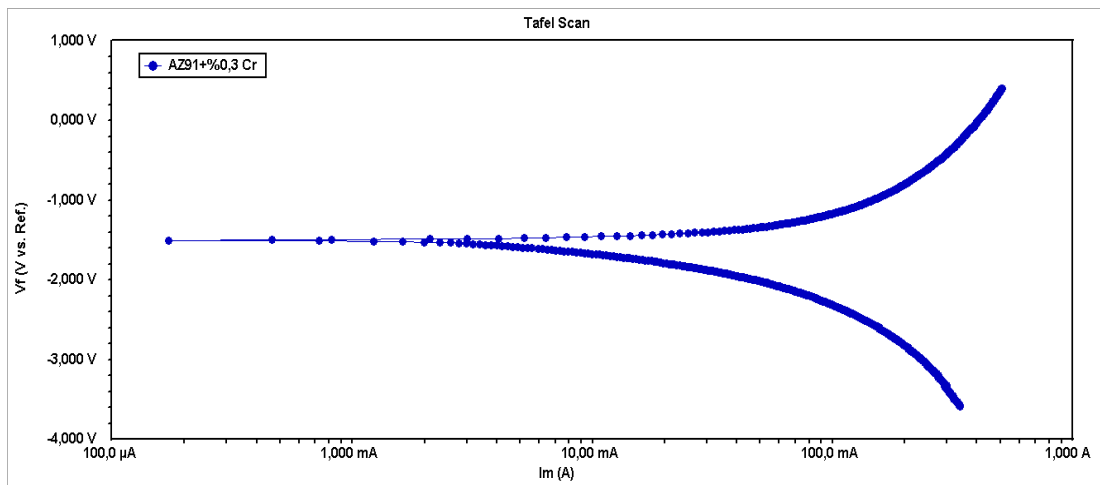
Şekil 5.26. 4 nolu alaşımın korozyon sırasında oluşan tafel eğrisi (%3,5 NaCl)



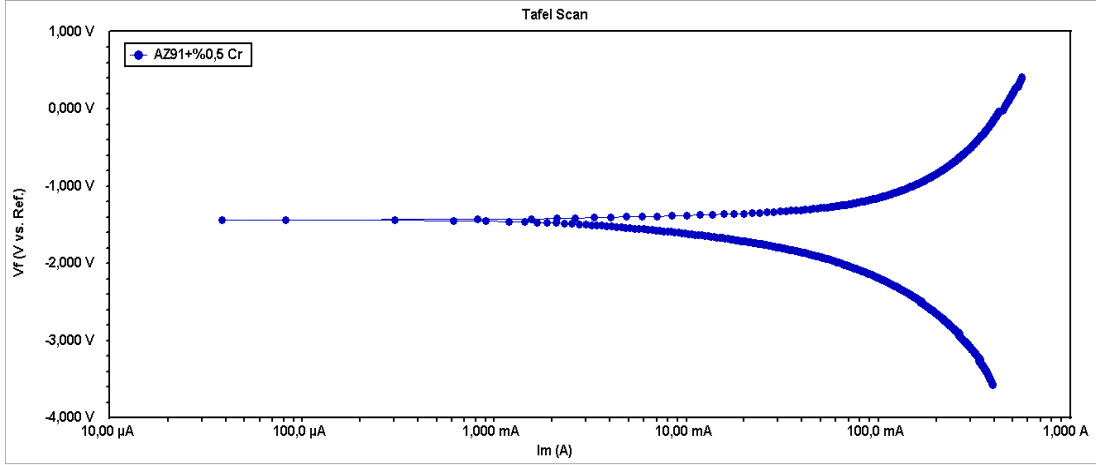
Şekil 5.27. 1, 2, 3 ve 4 nolu alaşımın korozyon sırasında oluşan tafel eğrisi (%3,5 NaCl)



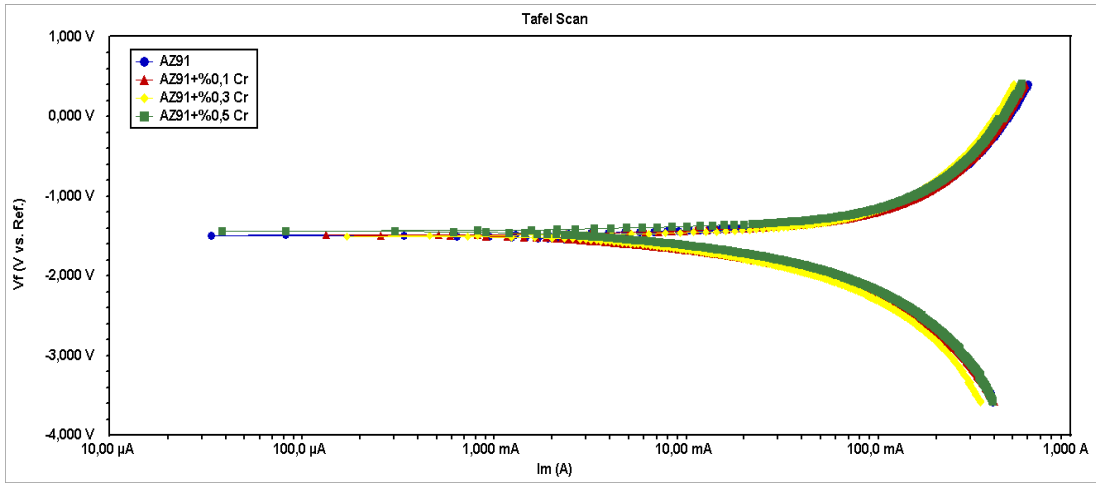
Şekil 5.28. 5 nolu alaşımın korozyon sırasında oluşan tafel eğrisi (%3,5 NaCl)



Şekil 5.29. 6 nolu alaşımın korozyon sırasında oluşan tafel eğrisi (%3,5 NaCl)



Şekil 5.30. 7 nolu alaşımın korozyon sırasında oluşan tafel eğrisi (%3,5 NaCl)



Şekil 5.31. 1, 5, 6 ve 7 nolu alaşımın korozyon sırasında oluşan tafel eğrileri (%3,5 NaCl)

Tafel eğrisinden E_{kor} , I_{kor} değerlerine ulaşılabildiği gibi pasifleşme olup olmadığı da görülebilmektedir. Tafel eğrisinden E_{kor} , I_{kor} değerleri kıyaslamalı olarak tablo 5.5 ve tablo 5.6'da verilmektedir. Denklem (5.1)'den korozyon hızı değerleri hesaplanmaktadır.

$$Korozyon\ Hızı = K_i \left(\frac{i_{kor}}{\rho} \right) \cdot EW \quad (5.1)$$

Korozyon Hızı = mm/yıl

$K = 3.27 \times 10^{-3}$ mmg/ μ Acmyıl

i_{kor} = Korozyon akım yoğunluğu (mA/m^2 - $\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

ρ = Yoğunluk (gr/cm^3)

EW = Ekvivalent değeri = $\frac{\text{Mol Ağırlığı}}{\text{Fesir Değeri}}$

Pratikte korozyon hızının derinlik (yani metal kalınlığındaki azalma) olarak ifade edilmesi büyük kolaylık sağlar. Korozyon hızı olarak genellikle “mm/yıl” birimi kullanılır. Bunun anlamı, metal yüzeyinden 1 yılda korozyon ile uzaklaşan mm olarak metal kalınlığıdır. İngiliz ölçü sisteminde penetrasyon değeri ipy (inch per year) veya mpy (mil per year) cinsinden verilmektedir. Bu birimlerin mm/yıl olarak karşılıkları şöyledir: 1 ipy = 1000 mpy = 25,4 mm/yıl [80].

Tablo 5.5’de yapılan korozyon deneyinde 1 nolu alaşıma titanyum alaşım elementinin ilavesinin korozyon hızına etkisi görülmektedir. 1 nolu alaşımın korozyon hızı 548,8 mpy bulunurken ağırlıkça % 0,1, 0,3 ve 0,5 titanyum ilavesi ile korozyon hızı sırasıyla 375,0, 368,4 ve 157,2 mpy olarak bulunmuştur. Korozyon testi sonunda 157,2 mpy hızı ile en düşük % 0,5 Ti ilavesinde elde edilmiştir. 1 nolu alaşımın korozyon hızını yaklaşık %71 düşürmüştür. 4 nolu alaşım 1 nolu alaşıma göre korozyona daha dayanıklı demektir.

Tablo 5.5. Alınan korozyon değerlerinin ortalaması

Alaşım No	Numune	Yoğunluk (g/cm ³)	E _{kor} (V)	I _{kor} (mA/m ²)	Korozyon Hızı(mpy)
1	AZ91	1,7537	-1,490	2,303	548,8
2	AZ91 + 0,1 Ti	1,7200	-1,460	2,240	375,0
3	AZ91 + 0,3 Ti	1,7906	-1,490	2,160	368,4
4	AZ91 + 0,5 Ti	1,7970	-1,480	0,893	157,2

Tafel eğrileri 1 nolu alaşım ile kıyaslandığında %0,5 Cr ilave edilmesinden sonra korozyon potansiyellerinin(E_{kor}) daha pozitive kaydığı ve korozyon akım yoğunluğununda(I_{kor}) azaldığı gözlenmektedir. Tablo 5.6’da 1 nolu alaşıma krom alaşım elementi ilavesinin korozyon hızına etkisi görülmektedir. 1 nolu alaşımın korozyon hızı 548,8 mpy bulunurken ağırlıkça % 0,1, 0,3 ve 0,5 krom ilavesi ile korozyon hızı sırasıyla 362,4, 348,2 ve 151,4 mpy olarak bulunmuştur. Korozyon testi sonunda 151,4 mpy hızı ile en düşük % 0,5 Cr ilavesinde elde edilmiştir. 1 nolu

alaşımın korozyon hızını yaklaşık %72 düşürmüştür. 7 nolu alaşım 1 nolu alaşıma göre korozyona daha dayanıklı demektir.

Tablo 5.6. Alınan korozyon değerlerinin ortalaması

Alaşım No	Numune	Yoğunluk (g/cm ³)	E _{kor} (V)	I _{kor} (mA/m ²)	Korozyon Hızı(mpy)
1	AZ91	1,7537	-1,490	2,303	548,8
5	AZ91 + 0,1 Cr	1,7229	-1,490	1,990	362,4
6	AZ91 + 0,3 Cr	1,4818	-1,500	1,660	348,2
7	AZ91 + 0,5 Cr	1,6793	-1,437	0,803	151,4

Titanyumun oksijen afinitesinin yüksek olması nedeniyle oluşturduğu koruyucu oksit filmi korozyon hızını azaltan etki olabilir. Korozyon hızının azalışı tane sınırlarında bulunan titanyum ve krom elementi Mg₁₇Al₁₂ intermetalığının kararlılığını artırmış olabilir. Ti ve Cr alaşım elementlerinin ilavesi ile mevcut Mg₁₇Al₁₂ intermetalığının bağ yapısının bozulmaması alaşımın korozyon direncini artırmış olabilir.

Korozyon numune çözeltilerinin kimyasal analizi, kimya laboratuvarında alevli atomik absorpsiyon spektrometrik tekniği ile tayin edilmiştir. Korozyon deneyi sonucunda çıkan çözeltilerin içindeki magnezyum, alüminyum, çinko ve krom oranları ölçülmüş ve tablo 5.7’de belirtilmiştir. Belirtilemeyen değerler tayin sınırının altındadır. AZ91 çözeltisi incelendiğinde yapıda %Mg oranı 1,2 iken, AZ91+%0,5 Ti çözeltisinde 0,2 ve AZ91+%0,5 Cr çözeltisinde 0,5 olduğu görülmektedir. Alaşım elementi ilavesi ile çözeltiye geçen %Mg oranı azalmaktadır. Korozyon direncinin alaşımlı olanlarda daha yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo.5.7. Bazı korozyon çözeltilerinden alınan kimyasal analiz sonuçları

Alaşım No	%Mg	%Al	%Zn	%Ti	%Cr	%Na	%Cs	%Pb	%Rb
1	1,2	0,03	0,01	-	-	3,56	0,9	1	0,3
4	0,2	0,05	0,01	yapıla madı	-	3,61	0,7	-	-
7	0,5	0,02	0,01	-	0,02	3,60	1	1	-

BÖLÜM 6. SONUÇLAR

6.1. Sonuçlar

Magnezyum alaşımlarının üretimleri, çok çeşitli prosesler ile yapılmaktadır. Bu prosesler, üretilecek alaşımların mekanik özelliklerini ve mikro yapılarını direkt etkilediğinden proses seçimi oldukça önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, metal (kokil) kalıba döküm yöntemiyle alaşımların üretilmesi ve ilave edilen alaşım elementinin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Üretilen numunelerde kimyasal analiz, sertlik deneyi, basma deneyi, çekme deneyi ve korozyon deneyi uygulanmıştır. Bu deneyler optik mikroskop (OM), x-ışınları analizleri, tarayıcı elektron mikroskobu (SEM) ve EDS analizleri ile desteklenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

1. AZ91 alaşımının mikroyapısı α -Mg olarak bilinen dendritik ve ötektik yapıdan oluşmaktadır. Ötektik yapı içerisinde β -Mg₁₇Al₁₂ bileşiği homojen olarak dağılmıştır. Ti ilavesi ile birincil α boyutunda ve şeklinde önemli bir değişim oluşmazken, Cr ilavesi ile hücresel görünümünden dendritik yapıya dönüşüm olmaktadır.
2. Ti ve Cr ilavesi ile β 'nın sürekli yapıdaki görünümünde bir değişim tespit edilmemiştir.
3. Ti ve Cr ilavesi ile birincil α 'nın içerdiği Al miktarı yaklaşık %2'den %6'ya çıkmaktadır. Bu nedenle mukavemetin artmasına katkı eriyik sertleşmesinin etkili olduğu düşünülmektedir.
4. Ötektik yapıyı oluşturan β 'nın kalınlığı Ti ve Cr ilavesi ile artmaktadır. Ayrıca ötektik yapıdaki α oranında ve boyutunda Ti ve Cr ilavesi artışlara neden olmaktadır.

5. EDS analizlerine bakıldığında α -Mg, β -Mg₁₇Al₁₂ ve ötektik α fazlarından başka magnezyumun Ti ile alaşım içinde herhangi bir intermetalik bileşik oluşturmadığı gözlemlenmiştir. Krom ilave edilmiş yapılarda ise, α , β ve ötektik α fazına ek olarak Al₄Cr intermetalik fazında küresel şekilde var olduğu görülmektedir.
6. Ti alaşım elementinin ilavesi AZ91 matriks alaşımının sertliğini yaklaşık 65 Brinell değerinden 78 Brinell değerine çıkararak %20 arttırmıştır. Cr alaşım elementinin ilavesi AZ91 matriks alaşımının sertliğini yaklaşık 65 Brinell değerinden 71 Brinell değerine çıkararak %9 arttırmıştır.
7. Maksimum mukavemet değeri ağırlıkça %0,5 Ti ilavesi ile elde edilmiştir. 1 nolu alaşımın çekme mukavemeti yaklaşık %43 artarak 220 MPa'a ulaşırken, %0,3 Cr ilavesi ile yaklaşık %33 artarak 205 MPa değerine çıkmıştır.
8. Ağırlıkça %0,5 titanyum ilavesi ile maksimum % uzama değeri elde edilmiştir ve 1 nolu alaşımın % uzama değerini yaklaşık %110 arttırmıştır. Maksimum % uzama değeri ağırlıkça %0,3 ve %0,5 krom ilavesi ile elde edilmiştir ve 1 nolu alaşımın % uzama değerini yaklaşık %84 arttırmışlardır.
9. Maksimum basma mukavemeti ağırlıkça %0,5 Cr ilavesi ile 455 MPa elde edilmiştir ve 1 nolu alaşımın max basma mukavemeti değerini yaklaşık % 36 arttırmıştır. % 0,5 Ti ilavesi ile max basma mukavemeti 452 MPa'dır.
10. Korozyon hızı artan Ti ve Cr ilavesi ile azaltılmıştır ve korozyon direnci arttırılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] KÄNER, K., Magnesium Alloys and Technology, Institute for Materials Research, Center for Magnesium Technology, GKSS Research Center Geesthacht GmbH, Geesthacht, ISBN 3-527-30256-5, syf. 1, 23, 45, 56, 72, 90, 106, 218, 226, Ocak 2003.
- [2] <http://www.roskill.com/reports/magnesium>, Ocak 2009.
- [3] KRAMER, A., Magnesium It's Alloys and Compounds, U.S Geological Survey Open-File Report, U.S.A, syf. 300-341, 2002.
- [4] ASM Specialty Handbook, Magnesium and Magnesium Alloys, ASM International Handbook Committee, United States of America, syf. 305-415, 1999.
- [5] FRIEDRICH, H. E., ve MORDIKE, B.L., Magnesium Technology (Metallurgy, Design Data, Applications), Springer, Berlin, syf. 1-5, 2006.
- [6] ASM Handbook Volume 2, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials, ASM International Handbook Committee, United States of America, syf. 700-750, 1996.
- [7] ZEYTİN, H., Magnezyum Alaşımları: Otomotiv Endüstrisinde Uygulaması ve Geleceği, Marmara Araştırma Merkezi, Kocaeli, syf. 3-39, 1999.
- [8] GÄNES, L., CUENCA R., STODOLSKY, F., WU, S., Potential Automotive Technology Development, Automotive Technology Development Conference, Conference Paper, syf. 1-7, Kasım 1996.
- [9] CASHİON, S.P., RİCKETTS, N.J., HAYES, P.C., Characterisation of protective surface films formed on molten magnesium protected by air/ SF₆ atmospheres, Journal of light metals 2, syf. 37-42, 2002.
- [10] BARTOS, S., MARKS, J., KANTAMANENİ, R., LAUSCH, C., Measured SF₆ emissions from magnesium die casting operations, Magnesium Technology, syf. 23-29, 2003.
- [11] BARBER, L. P., Master Thesis, Characterization of the Solidification Behavior and Resultant Microstructures of Magnesium-Aluminum Alloys, Worcester Polytechnic Institute, syf. 14, 103, Aralık 2004.

- [12] KAİNER, K. U., The Current State of Technology and Potential For Further Development of Magnesium Applications Wiley-Vch Germany, syf. 3-20, 2006.
- [13] ZHANG, Z., Development of Magnesium-Based Alloys for Elevated Temperature Applications, Doktora Tezi, Faculte Des Sciences Et De Genie Universite, Quebec-Canada, syf. 2-75, 1999.
- [14] BOLSTAD, J., Magnesium Alloy Development for Intelligent Magnesium Designs, SinoMaG seminar, Beijing-China, syf. 8-14, 2000.
- [15] SARENNAH, J. P., The Bolting of Magnesium Components in Car Engines, Master, University of Cambridge, Cambridge, syf. 6-10, 2001.
- [16] International Magnesium Association Web Sitesi, <http://www.intlmag.org>, Kasım 2009
- [17] ÇITAK, K., Magnezyum alaşımları seçim ve kullanım kriterleri, Metal Dünyası Dergisi, syf. 10-20, Eylül 2004.
- [18] SMİTH, W. F., Çeviren KİNIKOĞLU, N.G., Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Literatür Yayıncılık, İstanbul, syf. 525-526, 2001.
- [19] FRİEDRİCH, H., SCHUMANN, S., Research for a new age of magnesium in the automotive industry, Journal of Materials Processing Technology, syf. 276-281, 2001.
- [20] PLANO, S., Nanomag, Sustainable Production The Role of Nanotechnologies, Copenhagen, syf. 5-10, 2002.
- [21] BLAWERT, C., HORT, N., KAİNER, K. U., Automotive Applications of Magnesium and Its Alloys, Trans. Indian Inst. Met. Vol. 57, syf. 397-408, 2004.
- [22] FENT, A., Aluminium/magnesium composite crankcase, BMW Landshut Plant report, Germany, syf. 5-20, 2005.
- [23] DOBRZANSKİ, L. A., TANSKİ, T., CİZEK, L. ve BRYTAN, Z., Structure and Properties of Magnesium Cast Alloys, Journal of Materials Processing Technology, syf.5-9, 2007.
- [24] MORDİKE, B. L., EBERT, T., Magnesium Properties-applications-potential, Materials Science&Engineering A, syf. 37, 2001.
- [25] BEFFORT, O., HAUSMANN, C., Das Leichtmetall Magnesium und seine egierungen, EMPA Mg seminar, Thun, syf. 15-22, 1999.
- [26] Li, N., Automotive Magnesium Applications and Life Cycle Environmental Assesment, 3rd International Conference on SF₆ and the

- Environment, Scottsdale, Arizona, syf. 1-26, 2004.
- [27] LANDKOF, B., Magnesium alloys applications, Magnesium Alloys Science, Technology and Application, Dead Sea Magnesium, Ben-Guron University, syf. 293-316, 2005.
- [28] <http://www.autozine.org/html/BMW/3er.html#R6>, 1997-2005, Aralık 2007.
- [29] Magnesium Elektron, Magnesium in Automotive- ELEKTRON - Diecasting Alloys, <http://www.magnesium-elektron.com/data/downloads/DS475Diecastingalloys.pdf>, Aralık 2008.
- [30] KANDEMİR, K., CAN, A. Ç., Otomotiv Endüstrisi İçin Magnezyum Alaşımlarının Kullanım Potansiyeli, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1, syf. 37-45, 2003.
- [31] JOHANSSON, S., Magnesium Alloys, Summary of chapter 1-7 in Light alloys by I. J. Polmear, Engineering Materials, syf. 17-20, 2002.
- [32] MORDİKE, B. L., KÄİNER, K. U., Magnesium Alloys And Their Applications, Werkstoff- Informationsgesellschaft, Frankfurt, syf. 34-47, 125-132, 289-294, 477-482, 1998.
- [33] SCHWAN, D., WALLECE, J. F., ZHU, Y., VISWANATHAN, S., ISKANDER, S., Enhancements in Magnesium Die Casting Impact Properties, Final Report, Case Western Reserve University, Ohio, syf. 5-22, 2000.
- [34] KURZE, P., Corrosion and Surface Protections, Magnesium Technology, Springer, syf. 431-494, 2006.
- [35] WATARAI, H., Trend of Research and Development for Magnesium Alloys, Science and Technology Trends, syf. 84-97, 2006.
- [36] AİZAWA, T., SONG, R., Mechanically induced reaction for solid-state synthesis of Mg₂Si and Mg₂Sn, Intermetallics, syf. 382-391, 2006.
- [37] CHUNG, Y. J., PARK, J. L., KİM, N. J., SHİN, K. S., Effects of Alloying Elements on Mechanical Properties of Mg-Al Alloys, Materials Science syf. 488-489, 845-848, 2005.
- [38] KANG, D. H., PARK, S. S., OH, S., KİM, N. J., of nano-particles on the creep resistance of Mg-Sn based alloys, Materials Science & Engineering, syf. 318-321, 2007.
- [39] VOGEL, M., Mikrostruktur und Kriechverhalten von Magnesium-Druckgusslegierungen im System Mg-Zn-Al-Ca, Doktora Tezi, Max-Planck-Institut für Metallforschung, Stuttgart, syf. 6-20, 2002.

- [40] BALASUBRAMANĪ, N., SRĪNĪVASAN, A., PĪLLAI, U.T.S., PAĪ, B. C., Effect of Pb and Sb additions on the precipitation kinetics of AZ91 magnesium alloy, *Materials Science & Engineering*, syf. 275-281, 2007.
- [41] KĪMA, J. M., PARK, B. K., JUN, J. H., KĪM, K. T., JUNG, W. J., Microstructure and Properties of Mg-Al Based Casting Alloys Modified With Minor Alloying Elements, *Materials Science*, syf. 488-489, 149-150, 2005.
- [42] HĪRAĪ, K., SOMEKAWA, H., TAKĪGAWA, Y., HĪGASHĪ, K., Effects of Ca and Sr addition on mechanical properties of a cast AZ91 Magnesium alloy at room and elevated temperature, *Materials Science and Engineering*, syf. 276-280, 2005.
- [43] FAN, Y., WU, G., ZHAĪ, C., Effect of Strontium on Mechanical Properties and Corrosion Resistance of AZ91, *Materials Science*, syf. 567-570, 2007.
- [44] ZHAO, P., WANG, Q., ZHAĪ, C., ZHU, Y., Effects of strontium and titanium on the microstructure, tensile properties and creep behavior of AM50 alloys, *Materials Science and Engineering*, syf. 318-326, 2007.
- [45] <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/597135/titanium-Ti>, Ocak 2009.
- [46] MATTHEW, J., DONACHĪE, J., TITANIUM, A Technical Guide, Metals Park, OH: ASM International, ISBN 0-87170-309-2, syf.11, 1998.
- [47] BARKSDALE, J., The Encyclopedia of the Chemical Elements, syf. 32-38 Titanium, Skokie, Illinois, Reinhold Book Corporation. LCCCN syf. 68, 1968.
- [48] Titanium, Columbia Encyclopedia (6th edition), New York: Columbia University Press, ISBN 0-7876-5015-3, syf. 4-8, 2000.
- [49] Titanium, Encyclopædia Britannica, Retrieved syf. 12-29, 2006.
- [50] Titanium, Los Alamos National Laboratory, 2006-12-29 tarihinde erişilmiştir alloy at room and elevated temperature, *Materials Science and Engineering*, syf. 276-280, 2005.
- [51] KAMMER, C., Wrought Alloys, Magnesium Casting Alloys, syf. 204-214, 2003.
- [52] PODOSEK, M. S., LĪTYNSKA, L., Effect of yttrium on structure and mechanical properties of Mg alloys, *Materials Chemistry and Physics*, syf. 472-475, 2003.
- [53] DUFFY, L., Magnesium Alloys-Zirconium Containing Casting Alloys, *Materials World*, syf. 127-130, 1996.

- [54] LU, Y., WANG, Q., ZENG, X., DING, W., ZHAI, C., ZHU, Y., Effects of rare earths on the microstructure, properties and fracture behavior of Mg–Al alloys, *Materials Science and Engineering*, syf. 66-76, 2000.
- [55] CAHN, R., HAASEN, P., KRAMER, E. J., Structure and properties of nonferrous alloys, *Materials Science and Technology*, 8: Matuchan, K., H., Almany, syf. 117-206, 1996.
- [56] DAHLE, A. K., LEE, Y. C., NAVE, M. D., SCHAFFER, P. L., STJOHN, D. H., Development of the as-cast microstructure in magnesium-aluminium alloys, *Journal of Light Metals* 1, syf. 61-72, 2001.
- [57] Efun,da Engineering Fundamentals, magnesium alloy, http://www.efunda.com/materials/alloys/magnesium/list_magnesium.cfm?m=cas&Page_Title=Magnesium%20Alloys%20for%20Castings&C=magnesium&P=casting, Aralık 2004.
- [58] POLMEAR, I. J., Light Alloys-Metallurgy of the light metals, *Metallurgical and Materials Science*, Prof. Hancock, P., Prof. Honeycombe, R. W. K., Monash University, London, syf. 127-145, 1981.
- [59] POLMEAR, I. J., Magnesium Alloys, Light Alloys, 669.2, Honeycombe, R.:V:K., Hancock, Metallurgy and Materials Science Series, New York, syf. 169-210, 1989.
- [60] ZHANG, Z., COUTURE, A., LUO, A., An Investigation of The Properties of Mg-Zn-Al Alloys, *Scripta Materialia*, syf. 45-53, 1998.
- [61] OLSEN, A. L., Korrosioneigenschaften von neun Magnesiumlegierungen, *Metall*, 46.Jahrgang, Heft 6, syf. 570-574, Haziran 1992.
- [62] RIENASS, G., Magnesiumguss, Werkstoffe und Werkstoffeigenschaften, *Gießerei* 78, Nr. 21, syf. 779-786, 1991.
- [63] MAKAR, G. L., KRUGER, J., Corrosion of Magnesium. *Int Mater Rev*, syf. 138-53, 1993.
- [64] SONG, G., ATRENS, A., DARGUSCH, M., Influence Of Microstructure On The Corrosion Of Diecast AZ80D, *Corrosion Science* 41 , syf. 138-162, 1999.
- [65] WU, G., FAN, Y., GAO, H., ZHAI, H., ZHU, Y. P., The Effect Of Ca And Rare Earth Elements On The Microstructure, Mechanical Properties And Corrosion Behavior Of AZ91D , *Materials Science And Engineering A* 408, syf. 255–263, 2005.
- [66] PANTELIS, D. I., BOUYIOURI, E., KOULOUMBI, N., VASSILIOU, P., KOUTSOMICHALI, A., Wear And Corrosion Resistance Of Laser Surface Hardened Structural Steel, *Surface and Coatings*

Technology, Volume 161, syf. 125-134, 2002.

- [67] ANIK, M., AVCI, P., TANRIVERDİ, A., BAKSAN, B., GÜRLER, R., Effect of the Eutectic Phase Mixture on the Anodic Behavior of Alloy AZ91, *Materials and Design*, syf. 347-355, 2006.
- [68] SRİNİVASAN, A., NİNGSHEN, S., KAMCHİ, MUDALİ, U., PAİ, B. C., Influence Of Si And Sb Additions On The Corrosion Behavior Of AZ91 Magnesium Alloy, syf. 1511, 1517, 2007.
- [69] ÜNAL, M., Magnezyum Alaşımlarının Döküm Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, syf. 127-130, 2008.
- [70] KOÇ, E., Alaşım Elementlerinin Magnezyum Döküm Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. K.Ü. Fen Bilimleri Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi Karabük, syf. 89, 2009.
- [71] WEST, C., GNİBACH, E., Permanent Mould Casting, *Metals Handbook*. ASM International, Metals Park, syf. 275-285, 1988.
- [72] ARAN, A., Döküm Teknolojisi, İmal Usülleri Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi, syf. 73-99, 2007.
- [73] ÖZEL, A., Kalıcı Kalıplara Döküm, Sakarya Üniversitesi, syf.40-45, 2007.
- [74] LOOZE, G., CARRİG, J., NGUYEN, V., High-yield, high-integrity, permanent mould magnesium casting, *Foundry Trade Journal*, syf. 280-282, 2005.
- [75] LEE, Y. C., DAHLE, A. K., STJOHN, D. H., The Role Solute in Grain Refinement of Magnesium, *Metallurgical and Materials Transactions*, syf. 2895-2906, 2000.
- [76] CİZEK, L., HANUS, A., SOZANSKA, M., TANSKİ, T., PAWLİCA, L., Structure characteristics of magnesium alloys with admixture of aluminium, silicon and zirconium, *Acta Metallurgica Slovaca*, syf. 531-538, 2007.
- [77] BUHA, J., Natural ageing in magnesium alloys and alloying with Ti, syf. 1220-1227, 2008.
- [78] <http://w3.gazi.edu.tr/~balbasi/BOLUM-6.pdf>, 10 Aralık 2010.

ÖZGEÇMİŞ

Gülşah ÜNVER, 1984 yılında Bursa / Yıldırım ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğretimini Setbaşı İlköğretim Okulu, lise öğrenimini Çelebi Mehmet lisesinde tamamladı. 2004 yılında Sakarya Üniversitesinde Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde Lisans öğrenimine başladı ve lisans öğrenimini birincilikle bitirmiştir. 2005 yılında da Makine Mühendisliğine başladı. 2008 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği anabilim dalında yüksek lisans öğrenimine başlamıştır ve halen devam etmektedir.