

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Mg-%3Sn ALAŞIMINA STRONSIYUM İLAVESİNİN  
ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Met. Ve Malz. Müh. Mediha ÖBEKCAN**

**Enstitü Anabilim Dalı : MET. VE MALZ. MÜH.**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. S. Can KURNAZ**

**Ocak 2012**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


**Mg-%3Sn ALAŞIMINA STRONSIYUM İLAVESİNİN  
ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**


**YÜKSEK LİSANS TEZİ**


**Met. Ve Malz. Müh. Mediha ÖBEKCAN**

**Enstitü Anabilim Dalı : MET. VE MALZ. MÜH.**

Bu tez 09 / 01 /2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirligi ile kabul edilmiştir.

  
Pr.of. Dr.  
S. Can KURNAZ  
Jüri Başkanı

  
Prof. Dr.  
Uğur ŞEN  
Üye

  
Yrd. Doç. Dr.  
Özkan ÖZDEMİR  
Üye

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca danışmanlığımı üstlenen, tez hazırlama sürecinde hiçbir yardımını esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım hocam Sayın Prof. Dr. S. Can KURNAZ' a teşekkür ederim.

Sakarya Üniversitesi araştırma görevlilerinden Dr. Hüseyin ŞEVİK' e çalışmalarım süresince yardımları ve katkılarından dolayı teşekkür ederim. Ayrıca Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Teknikerleri Ebubekir CEBECİ ve Metin GÜNAY' a ve Uzman Fuat KAYIŐ' a teşekkür ederim. Tüm laboratuvarları kullanmama izin veren Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölüm başkanı Sayın Prof. Dr. Hatem AKBULUT' a teşekkür ederim.

Beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan ve tezimi hazırlama sürecinde ucundan kıyısından köşesinden yardımcı olan, uzakta olsalar da manevi desteklerini esirgemeyen tüm dostlarıma teşekkür ederim.

Beni büyüten, yetiştiren, cefakar, vefakar, her zaman söylense de bıkmadan usanmadan arkamı toplayan sevgili annem Safınaz ÖBEKCAN' a, atsan atılmaz satsan satılmaz ablam Çağla ÖBEKCAN' a, evimizin neşesi küçük kardeşim Onur ÖBEKCAN' a ve her zaman yanımda olan, en güvenilir dostum, varlığı bana güç veren babam Mehmet Daniyal ÖBEKCAN' a teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY.....	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
MAGNEZYUM ALAŞIMLARI.....	4
2.1. Magnezyum.....	4
2.2. Magnezyum Alaşimleri.....	5
2.2.1. Magnezyum alaşımlarının standartlarla gösterimi .....	7
2.2.2. Alaşım elementlerinin magnezyum metaline etkileri.....	9
2.3. Magnezyum-Alüminyum Alaşimleri.....	10
2.4. Magnezyum-Alüminyum-Stronsiyum Alaşimleri.....	12
2.5. Magnezyum-Kalay Alaşimleri.....	14
2.6. Magnezyum Alaşımlarının Katılma Davranışı.....	15
BÖLÜM 3.	
MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ DÖKÜMÜ.....	19
3.1. Giriş.....	19
3.2. Kum Kalıba Döküm Yöntemi.....	21
3.3. Kokil Kalıba Döküm Yöntemi.....	23

BÖLÜM 4.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	26
4.1. Çalışma Programı.....	26
4.2. Kullanılan Deney Malzemeleri.....	27
4.3. Üretim.....	28
4.4. Kimyasal Analiz.....	30
4.5. Metalografi Çalışmaları.....	31
4.6. Mekanik Testler.....	32
4.6.1. Sertlik Deneyi.....	32
4.6.2. Çekme Deneyi.....	33
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL SONUÇLAR.....	35
5.1. Alaşımların Mikroyapısı.....	35
5.2. Mekanik Testler.....	48
5.2.1. Sertlik deneyi sonuçları.....	48
5.2.2. Çekme testi sonuçları.....	50
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR.....	57
KAYNAKLAR.....	59
ÖZGEÇMİŞ.....	64

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY.....	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
MAGNEZYUM ALAŞIMLARI.....	4
2.1. Magnezyum.....	4
2.2. Magnezyum Alaşimleri.....	5
2.2.1. Magnezyum alaşımlarının standartlarla gösterimi .....	7
2.2.2. Alaşım elementlerinin magnezyum metaline etkileri.....	9
2.3. Magnezyum-Alüminyum Alaşimleri.....	10
2.4. Magnezyum-Alüminyum-Stronsiyum Alaşimleri.....	12
2.5. Magnezyum-Kalay Alaşimleri.....	14
2.6. Magnezyum Alaşımlarının Katılma Davranışı.....	15
BÖLÜM 3.	
MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ DÖKÜMÜ.....	19
3.1. Giriş.....	19
3.2. Kum Kalıba Döküm Yöntemi.....	21
3.3. Kokil Kalıba Döküm Yöntemi.....	23

BÖLÜM 4.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	26
4.1. Çalışma Programı.....	26
4.2. Kullanılan Deney Malzemeleri.....	27
4.3. Üretim.....	28
4.4. Kimyasal Analiz.....	30
4.5. Metalografi Çalışmaları.....	31
4.6. Mekanik Testler.....	32
4.6.1. Sertlik Deneyi.....	32
4.6.2. Çekme Deneyi.....	33
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL SONUÇLAR.....	35
5.1. Alaşımların Mikroyapısı.....	35
5.2. Mekanik Testler.....	48
5.2.1. Sertlik deneyi sonuçları.....	48
5.2.2. Çekme testi sonuçları.....	50
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR.....	57
KAYNAKLAR.....	59
ÖZGEÇMİŞ.....	64

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

°C	: Santigrad derece
SF <sub>6</sub>	: Kükürt hegzaflorür
OM	: Optik mikroskop
SEM	: Taramalı electron mikroskobu
EDS	: Enerji ayırma spektrometresi
XRD	: X ışınları difraksiyonu
AAS	: Atomik absorpsiyon spektrometrik
KW	: Kilowatt
MPa	: Megapascal
mm	: Milimetre
HB	: Brinell sertlik birimi
KN	: Kilonewton



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Farklı metallerin spesifik elastik modül ve dayanımlarının karşılaştırılması.....	1
Şekil 2.1.	Mg-Al ikili denge diyagramı.....	11
Şekil 2.2.	Mg-Al alaşımının (AM60) tipik mikroyapı görüntüsü( $\alpha$ : Mg, $\beta$ : $Mg_{17}Al_{12}$ ).....	11
Şekil 2.3.	Mg-Al ikili diyagramının magnezyumca zengin kısmı.....	12
Şekil 2.4.	Mg-Sr ikili denge diyagramı.....	13
Şekil 2.5.	Basınçlı döküm alaşımların mikroyapısı a) AJ51(Mg-5Al-1Sr) b) AJ62L (Mg-6Sr-1.6Sr) alaşımları ile Sr/Al oranı 0.3 den düşük, $Al_4Sr$ ikincil faz, c) AJ52(Mg-5Al-2Sr) ve d) AJ62L (Mg-6Al-2Sr) alaşımları ile Sr/Al oranı 0.3 den yüksek ve iki tür ikincil faz mevcut, $Al_4Sr$ ve Mg-Al-Sr üçlü bileşeni.....	14
Şekil 2.6.	Magnezyum-Kalay ikili denge diyagramı.....	15
Şekil 2.7.	Saf Magnezyuma Al ilavesinin Tane Boyutuna Etkisi.....	17
Şekil 2.8.	AM60 alaşımına Sn ilavesinin tane boyutuna etkisi.....	18
Şekil 3.1.	Sıcak hazneli basınçlı döküm.....	20
Şekil 3.2.	Soğuk hazneli basınçlı döküm.....	21
Şekil 3.3.	Menteşeli bir kokil kalıp örneği.....	24
Şekil 3.4.	İki parçalı bir kokil kalıpta döküm işleminin gösterimi.....	25
Şekil 4.1.	Kullanılan deney malzemeleri.....	27
Şekil 4.2.	Kullanılan koruyucu gaz.....	27
Şekil 4.3.	Kullanılan fırının görünümü.....	28
Şekil 4.4.	Kullanılan fırının kontrol paneli.....	39
Şekil 4.5.	Kullanılan kokil kalıbın görünümü.....	29
Şekil 4.6.	Kullanılan potanın görünümü.....	30
Şekil 4.7.	AAS cihazı.....	31
Şekil 4.8.	Kullanılan sertlik cihazı.....	32

Şekil 4.9.	Kullanılan çekme cihazı.....	33
Şekil 4.10.	Elde edilen verilerin bilgisayar ortamına aktarılması.....	33
Şekil 4.11.	Çekme numunesi.....	34
Şekil 5.1.	a) Alaşım 1, b) Alaşım 2, c) Alaşım 3, d) Alaşım 4, e) Alaşım 5, f) Alaşım 6'ya ait optik mikroskop görüntüleri.....	36
Şekil 5.2	Alaşım 1, Alaşım 3 ve Alaşım 6'ya ait XRD analizleri.....	37
Şekil 5.3	a) Alaşım 1, b) Alaşım 2, c) Alaşım 3, d) Alaşım 4, e) Alaşım 5, f) Alaşım 6'ya ait SEM görüntüleri.....	39
Şekil 5.4	Alaşım 1'e ait EDS analizleri.....	40
Şekil 5.5	Alaşım 2'ye ait EDS analizleri.....	40
Şekil 5.6	Alaşım 3'e ait EDS analizleri.....	41
Şekil 5.7	Alaşım 4'e ait EDS analizleri.....	42
Şekil 5.8	Alaşım 5'e ait EDS analizleri.....	43
Şekil 5.9	Alaşım 6'ya ait EDS analizleri.....	44
Şekil 5.10	Alaşım 1'e ait alan analizi.....	45
Şekil 5.11	Alaşım 2'ye ait alan analizi.....	45
Şekil 5.12	Alaşım 3'e ait alan analizi.....	46
Şekil 5.13	Alaşım 4'e ait alan analizi.....	46
Şekil 5.14	Alaşım 5'e ait alan analizi.....	47
Şekil 5.15	Alaşım 6'ya ait alan analizi.....	47
Şekil 5.16	Alaşımın ortalama sertlik değerlerinin gösterimi.....	48
Şekil 5.17	Alaşımın ortalama akma mukavemet değerlerinin grafiksel gösterimi.....	51
Şekil 5.18	Alaşımın ortalama çekme mukavemeti değerlerinin grafiksel gösterimi.....	51
Şekil 5.19	Alaşımın ortalama kopma uzaması değerlerinin grafiksel gösterimi.....	51
Şekil 5.20	a) Alaşım 1, b) Alaşım 2, c) Alaşım 3, d) Alaşım 4, e) Alaşım 5, f) Alaşım 6'ya ait kırık yüzeyi görüntüleri.....	54

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1	Saf magnezyumun mekanik ve fiziksel özellikleri.....	4
Tablo 2.2.	Önemli metallerin yer kabuğundaki oranı.....	5
Tablo 2.3.	Magnezyum ve magnezyum alaşımlarının avantaj ve dezavantajları.....	7
Tablo 2.4.	Magnezyum elementine ilave edilen alaşım elementlerinin ASTM sisteminde tanımlanması.....	8
Tablo 2.5.	Alaşımlara uygulanan ısıt işlemler.....	8
Tablo 2.6.	Magnezyum metaline alaşım elementlerinin etkisi.....	9
Tablo 3.1.	Kokil kalıba dökümün avantaj ve dezavantajları.....	25
Tablo 4.1.	Kimyasal analiz sonuçları.....	31
Tablo 5.1.	Uygulanan mekanik testlerin sonuçları.....	48

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Magnezyum Alaşımları, Kalay(Sn), Stronsiyum(Sr), Mikroyapı, Mekanik Özellikler

Bu alışmada, Mg-%3Sn alaşımına stronsiyumun etkisi incelenmiştir. Mg-%3Sn alaşımına ağ. %0.05-0.1-0.2-0.5 ve %1 oranında Sr ilave edilmiştir. Üretim, kontrollü atmosfer altında kokil döküm yapılarak sağlanmıştır. Üretilen alaşımların mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

Sonuçlarda, optik mikroskop görüntülerinden stronsiyum ilavesinin mikroyapıyı değiştirdiği görölmüştür. X ışınları difraktometresinde tüm alaşımlarda ana fazların  $\alpha$ -Mg ve Mg<sub>2</sub>Sn olduğu ortaya çıkmıştır. Sr ilavesi ile yeni bir faz oluşumu gözlenmemiştir. Sr miktarının artmasıyla sertlik değerinin arttığı, akmanın sabit kaldığı gözlemlenmiştir. En iyi çekme mukavemeti ve uzama değeri ağırlıkça %0.1 Sr elementi ilavesi yapılan alaşımda elde edilmiştir.

# **THE ADDITION OF STRONTIUM ELEMENT IN Mg-3Sn ALLOY AND INVESTIGATION OF ITS PROPERTIES**

## **SUMMARY**

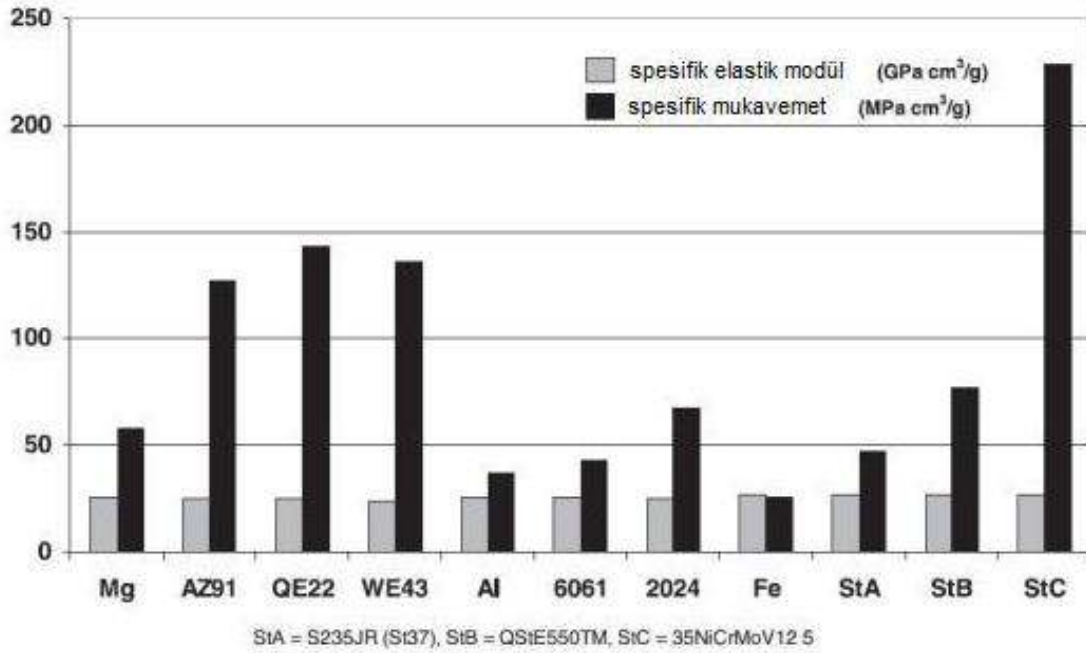
Key Words: Magnesium Alloys, Tin(Sn), Strontium(Sr), Microstructure, Mechanical Properties

In this study, The effect of strontium element in Mg-3Sn alloy were investigated. Wt.%0.05-0.1-0.2-0.5 and %1 value of strontium was added to Mg-3Sn alloy. The alloys were produced under acontrolled atmosphere by a gravity-casting process. The microstructures and mechanical properties of the alloys were investigated.

The results show that the addition of Sr element modified the microstructure. X-ray diffractometry revealed that the main phases are  $\alpha$ -Mg, Mg<sub>2</sub>Sn in the all of alloys. Furthermore, it is not observed any Sr based intermetallics in all alloys tested. The hardness of Mg-3Sn alloy increased however, the yield strength of alloys didn't change by adding Sr. The greatest tensile strenght and elongation were exhibited by Mg-3Sn-0.1Sr alloy.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Birçok endüstriyel uygulamada hafif mühendislik malzemelerine olan talep sürekli artmaktadır. Magnezyum düşük yoğunluğundan dolayı yapısal malzemeler arasında en hafifidir. Magnezyum alaşımları düşük mukavemetli olmasına rağmen, sahip olduğu spesifik dayanım ve spesifik elastik modülü ile alüminyum ve çelikle kıyaslandığında benzer ve hatta Şekil.1 göz önüne alındığında daha iyi değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle otomotiv endüstrisinde, makinelerde, elektronik eşyalar ve diğer yüksek performans gerektiren endüstriyel uygulamalarda alüminyum ve çeliğe alternatif olabilecek bir malzeme konumundadır[1,2].



Şekil 1.1. Farklı metallerin spesifik elastik modül ve dayanımlarının karşılaştırılması[1]

Magnezyum otomotiv uygulamalarında uzun bir geçmişe sahiptir. Otomotiv alanında yapılan araştırma ve geliştirme çalışmalarında, taşıtlardan daha yüksek yakıt verimliliğinin elde edilmesi, enerji tüketiminin azaltılması ve hava kirliliğinin

önlenmesi konularındaki çalışmalar önem kazanmaktadır. Otomotiv uygulamalarında ağırlığın azaltılması arabanın harekete geçiş sürecini hızlandırıp ivmelenme enerjisini düşürerek aracın performansını artırır, dolayısıyla yakıt tüketimini düşürerek CO<sub>2</sub> gazı emülsiyonunun azalmasına katkıda bulunur. Yakıt tüketimini azaltmak için, otomotiv endüstrisinde en önemli unsur araçların ağırlığının azaltılmasıdır. Bu nedenle, hafif metaller özellikle magnezyum her geçen gün önemini arttırmaktadır[1,3].

Magnezyum ve alaşımlarının ulaşım endüstrisindeki yaygın kullanımına rağmen henüz mekanik özelliklerinin ve korozyon direncinin istenen seviyelere gelememiş olması endüstriyel kullanımını kısıtlamaktadır. Bu nedenle araştırmacılar magnezyum alaşımlarının oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıktaki mukavemetini, korozyon ve aşınma direncini geliştirmek üzerine yoğunlaşmıştır[1].

Magnezyumun en önemli alaşım elemanları alüminyum, çinko, kalay, zirkonyum, stronsiyum, kalsiyum ve toprak alkaliler olarak sayılabilirler. Buna karşın AZ91(Mg-9Al-1Zn), AM60(Mg-6Al-0,3Mn) gibi alüminyum ve çinko içeren magnezyum alaşımları endüstriyel uygulamaya sahiptir. Yüksek sıcaklık uygulamaları için geliştirilen yeni magnezyum alaşımlarında nadir toprak metalleri kullanılmaktadır. İlk magnezyum alaşımları 1908’ de Alman şirketi “Chemische Fabrik Griesheim” tarafından üretilmiştir fakat gerçek anlamda önem kazanması 1923 yılında “Elrasal” prosesinin tanıtılmasıyla olmuştur. Bu proses eriyiğin özelliklerinin iyileştirilmesine yöneliktir. Döküm yoluyla elde edilen magnezyum parçalarda çok daha iyi metalurjik özellikler elde edildiği gözlenmiştir. O zamandan bu yana otomotiv uygulamalarında kullanımı sürekli bir artış göstermiştir[1].

Gümüş beyazı rengindeki magnezyum metal alaşımları otomotivdeki en parlak yıllarını popüler “VW Beetle” a borçludur. Türkçe'deki takma adıyla “VW kaplumbağa” arkadan motorlu olduğu için arka aksa gereksiz yük bindirmemek amacı ile hafif magnezyum alaşımlarının kullanımını gerekli kılmıştır. 1980' lerin başlarına kadar 19 milyondan fazla Beetle' da yaklaşık 480 bin ton magnezyum kullanılmıştır. Beetle' da sadece transmisyon gövdesi ve karterlerde kullanılan

magnezyum parçalar 17 kg gelmekteyken, aynı parçaların dökme demirden yapılması haline göre 50 kg.'lık bir ağırlık avantajı sağlanmıştır[3].

Günümüzde magnezyum ve alaşımları otomotiv sektöründe kullanılan basınçlı döküm, kum kalıba döküm, hassas döküm, sürekli ve yarı sürekli döküm ve kokil kalıba döküm yöntemlerinden herhangi biriyle üretilmektedir. Bu yöntemler arasında kokil kalıba döküm yönteminde yer çekimi kuvvetinden faydalanılır ve en önemli özelliği seri üretim maliyetlerinin düşük olmasıdır. Ayrıca daha üniform döküm parçalarının üretiminin sağlanması, boyutsal toleransları ve yüzey kalitesi kokil kalıba döküm yöntemini cazip kılmaktadır.

Bu çalışmada saf magnezyum metaline kalay ve stronsiyum eklenerek alaşımlama yapılmıştır. Öncelikle saf magnezyuma ağırlıkça %3 oranında saf kalay elementi ilave edilerek ana alaşım elde edilmiştir. Daha sonra sırasıyla %0,05-%0,1-%0,2-%0,5 ve %1 oranlarında stronsiyum ilave edilerek farklı kimyasal kompozisyonlara sahip alaşımlar elde edilmiştir. Stronsiyum ilavesi Mg-20Sr alaşımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üretim yöntemi olarak kokil kalıba döküm kullanılmıştır. Üretilen alaşımların mikroyapı incelemesi ve sertlik ölçümü yapılmış, mekanik test olarak çekme ve aşınma deneyleri uygulanmıştır. X-ışınları kullanılarak alaşımların içerdiği fazlar tespit edilmiştir. Mikroyapı sonuçları optik mikroskop ve SEM fotoğraflarıyla desteklenmiştir.



## BÖLÜM 2. MAGNEZYUM ALAŞIMLARI

### 2.1. Magnezyum

Magnezyum, sahip olduğu düşük yoğunluğundan dolayı yapısal uygulamalarda kullanılabilecek en hafif metaldir[4]. Magnezyum alüminyumdan %36, demirden %78 daha hafif olması sebebiyle önemini her geçen gün artırmaktadır[5]. Saf magnezyumun mekanik ve fiziksel özellikleri Tablo 2.1’ de verilmiştir[6,7].

Tablo 2.1. Saf magnezyumun mekanik ve fiziksel özellikleri[6,7]

SİMGESİ	MAGNEZYUM
Atom Numarası	12
Atom Ağırlığı	24.312 g/mol
Kaynama Noktası	1090 °C
Ergime Noktası	650 °C
Yoğunluğu	1.74 g/cm <sup>3</sup>
Elektron Düzeni	1s <sup>2</sup> , 2s <sup>2</sup> , 2p <sup>6</sup> , 3s <sup>2</sup>
Kristal Yapısı	Hekzagonal sıkı paket
Çekme Dayanımı	80-180 MPa
Elastik Modülü	44,5 GPa
Çekme (katı-sıvı)	4.2 %
Akma Dayanımı	20 MPa
Brinell Sertlik Değeri	30 HB
Poison Oranı	0,35
Atom Hacmi	14.0 (atom ağırlığı/yoğunluk)
Özgül Isısı	0.25 cal/g °C
Isı İletkenliği	156 W/m°K, s.cm.°C (oda sıcaklığında)
Elektrik İletkenliği	22.4 m/(Ωmm <sup>2</sup> ) (oda sıcaklığında)
Kaynama Isısı	32.517 kcal/atomgram

Tablo 2.2. Önemli metallerin yer kabuğundaki oranı

Element	Al	Fe	Mg	Ti	Zn	Ni	Cu	Pb
% Oran	7,5	4,7	2,7	0,58	0,02	0,018	0,01	0,002

Magnezyum, Tablo 2.2' de görüldüğü gibi, yaklaşık olarak yer kabuğunun %2,7'sini oluşturmaktadır. Bu magnezyumu nispeten kolay bulunur bir element yapmaktadır[8,9]. Çeşitli ham maddelerden magnezyum metali üretilebilmektedir. Ekonomik olarak kazanılabilir magnezyum minerali 11 ülkede 38 önemli yatakta 380 milyon ton civarındadır. Magnezyumun kazanıldığı üç temel kaynak deniz suyu, mineral kayalar ve asbesttir. Dünya'daki en büyük magnezyum yatakları ise şu şekilde dağılmıştır[10]:

- Kuzey Amerika (ABD, Kanada)
- Güney Amerika (Brezilya)
- Avrupa (Norveç, Avusturya, Çekoslovakya, Yunanistan, Türkiye, Rusya, Yugoslavya)
- Asya (Çin, Hindistan, K. Kore)
- Okyanusya (Avustralya)
- Afrika

Hegzagonal sıkı paket yapıya sahip magnezyum, diğer kristal yapılar ile karşılaştırıldığında daha az kayma sistemine sahiptir. Bu nedenle özellikle düşük sıcaklıklarda magnezyumun deformasyon kabiliyeti son derece sınırlıdır[11,12]. Buna karşın alaşımlama aktif kayma düzlem sayısını arttırdığı için magnezyum alaşımları oda sıcaklığında bir miktar sünekliliğe sahiptir. Fakat halen Alüminyum ve alaşımlarının sahip olduğu sünekliliğe ulaşamamıştır. Yüksek sıcaklıklarda ise kolaylıkla şekillendirilebilir[13].

## 2.2. Magnezyum Alaşımları

Diğer birçok metal gibi magnezyum metali de nadiren saf olarak kullanılır. Magnezyumun sahip olduğu özellikleri iyileştirmek amacıyla, döküm yöntemi ile,

farklı metaller kullanılarak alaşımlandırma yapılır. Başlıca alaşım elementleri alüminyum, çinko, manganez ve nadir toprak elementleridir[9].

Magnezyum alaşımları hafiflikleri yanında göreceli olarak mekanik özellikleri de iyi olan alaşımlardır. Bütün taşıt araçlarının özellikle uçakların birçok parçalarının yapımı; çeşitli levha, plaka, borular ve mobilya parçaları; piston, biyel, vantilatör kanatları, ambalaj sanayi vb. örnek olarak gösterilebilir[14].

Magnezyum alaşımları hafifliği ile birçok konuda çözüm olmasına rağmen halen alüminyum ve plastikler ile yarışmamaktadır. Bu problemde en büyük etken mekanik özelliklerinin tatmin edici olmamasıdır. Bu nedenle halen araştırmacılar magnezyum alaşımları üzerinde çalışmalarını sürdürmektedir ve ana konuları aşağıdaki başlıklar oluşturmaktadır[15-18]:

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

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 ve magnezyum alaşımlarının avantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Tablo 2.3):

Tablo 2.3 Magnezyum ve magnezyum alaşımlarının avantaj ve dezavantajları[10,16,19]

AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bütün metalik yapı elemanları içerisinde en düşük yoğunluğa sahiptir</li> <li>- Yüksek özgül mukavemet</li> <li>- Dökülebilirliği iyi olup, yüksek basınçlı kalıp dökümlerine uygundur</li> <li>- Yüksek hızlarda tornalanabilir ve frezelenebilirlik</li> <li>- Kontrollü atmosfer şartlarında iyi kaynak edilebilirlik</li> <li>- Yüksek saflıkta magnezyum kullanıldığında daha yüksek korozyon direnci</li> <li>- Kolay bulunabilirlik</li> <li>- Polimerik malzemelerle kıyaslandığında <ul style="list-style-type: none"> <li>- Daha iyi mekanik özellikler</li> <li>- Yaslanmaya direnç</li> <li>- Daha iyi elektrik ve ısısal iletim</li> <li>- Geri dönüşüm</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Düşük elastik modül</li> <li>- Sınırlı soğuk şekillendirilebilme ve tokluk</li> <li>- Sınırlı yüksek mukavemet ve yükselen sıcaklıklarda sınırlı sürünme direnci</li> <li>- Katılaşmada yüksek derecede kendini çekme</li> <li>- Yüksek kimyasal reaktivite</li> <li>- Bazı uygulamalarda sınırlı korozyon direnci</li> </ul>

### 2.2.1. Magnezyum alaşımlarının standartlarla gösterimi

Mg alaşımları ASTM standart sistemi tarafından belirlenmiştir. Yöntem iki harfle birlikte iki rakamı kapsamaktadır. İki harf; iki ana alaşım elemanına verilmiş olan harf kısaltması; rakamlar ise bu alaşımların en yakın tam sayıya yuvarlanmış yüzdeleridir. Eğer alaşıma ısısal işlem uygulanmışsa sonuna eklenerek belirtilir. Tablo 2.4'te alaşım elementlerine temsil eden harfler, Tablo 2.5'te uygulanan ısısal işlemleri tanımlayan kısaltmalar ve açıklamaları verilmiştir. A,B gibi harfler numaraları takip ederse bu, genellikle Genelde malzemenin saflık derecesini tanımlar. A harfi 1. bileşim, B harfi 2. bileşim, C harfi 3. bileşim, D harfi yüksek saflık ve E harfi yüksek korozyon direncini tanımlar[10,20].

Tablo 2.4. Magnezyum elementine ilave edilen alaşım elementlerinin ASTM sisteminde tanımlanması[10,20]

KISALTMA HARFİ	ALAŞIM ELEMENTİ	KISALTMA HARFİ	ALAŞIM ELEMENTİ
A	Alüminyum	M	Manganez
B	Bizmut	N	Nikel
C	Bakır	P	Kurşun
D	Kadmiyum	Q	Gümüş
E	Nadir elementler	R	Krom
F	Demir	S	Silisyum
H	Toryum	T	Kalay
J	Stronsiyum	W	Yitriyum
K	Zirkonyum	Y	Antimuan
L	Lityum	Z	Çinko

Tablo 2.5. Alaşımlara uygulanan ısı işlemleri[20]

Temel Bölümler	
F	Üretildiği gibi
O	Tavlanmış ve yeniden kristalleşme işlemi uygulanmış (sadece dövme alaşımları için geçerli)
H	Gerinim sertleşmesi işlemi gerçekleştirilmiş
W	Çökelti ısı işlemine tabi tutulmuş (kararsız menevişleme)
T	F,O veya H işlemlerinden başka kararlı meneviş işlemlerine tabi tutulmuş
Isıl işlem (T) türleri	
T1	Soğutulmuş ve doğal yaşlandırılmış
T2	Tavlanmış (sadece döküm alaşımları için)
T3	Çözelti ısı işlemine tabi tutulmuş ve soğuk işlenmiş
T4	Çözelti ısı işlemine tabi tutulmuş
T5	Soğutulmuş ve yapay yaşlandırma gerçekleştirilmiş
T6	Çözelti ısı işlemine tabi tutulmuş ve yapay yaşlandırma gerçekleştirilmiş
T7	Çözelti ısı işlemine tabi tutulmuş ve kararlı duruma getirilmiş
T8	Çözelti ısı işlemine tabi tutulmuş, soğuk işlem uygulanmış ve yapay yaşlandırma gerçekleştirilmiş
T9	Çözelti ısı işlemine tabi tutulmuş, yapay yaşlandırma gerçekleştirilmiş ve soğuk işlenmiş
T10	Soğutulmuş, yapay yaşlandırma gerçekleştirilmiş ve soğuk işlenmiş

## 2.2.2. Alaşım elementlerinin magnezyum metaline etkileri

Alaşım elementlerinin etkileri tablo halinde verilmiştir (Tablo 2.6).

Tablo 2.6 Magnezyum metaline alaşım elementlerinin etkisi[10, 15,18, 21-29]

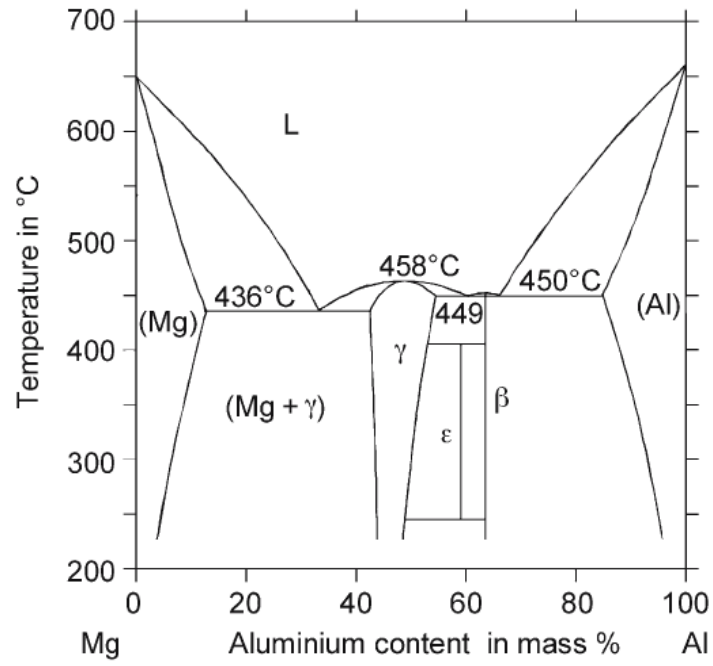
Al	Magnezyum alaşımının çekme mukavemetini ve sertliğini artırır. Katı eriyik sertleşmesi ve çökeltme sertleşmesi(Mg17Al12) düşük sıcaklıkta(<120°C) alaşımın mukavemetine katkıda bulunur. Yüksek oranlarda ilavesi mikro poroziteyi artırır. Dökülebilirliği artırır.
Be	Çok düşük konsantrasyonlarda (<30ppm)erimiş metal yüzeyinde oksidasyonu azaltır. Mg-Al alaşımlarında berilyum tane kabalaşmasına neden olabilir.
Ca	Kararlı intermetalik bileşen Mg2Ca ergime sıcaklığının 715°C olması sürünme direncini artırır ve tane küçülmesinde pozitif etki yapar. Aynı zamanda ergimiş metalin oksidasyonunu biraz durdurur. Buna karşın korozyon davranışı üzerinde olumsuz etkiye sahiptir.
Li	Ortam sıcaklığında katı eriyik sertleşmesi oluşturur. Yoğunluğu düşürür ve sünekliği artırır.
Mn	Mangan Fe-Mn çökelti bileşeni vasıtası ile magnezyum eriyiğindeki demir içeriğini kontrol etmekte kullanılır. Alaşımların sürünme direncini arttırabilir ve demir kontrolü ile korozyon direncini geliştirir. Ama magnezyum alaşımlarının mukavemetinde çok az etkiye sahiptir.
Si	Silisyum oluşturduğu kararlı silisit Mg2Si intermetaliklerinden dolayı yüksek sıcaklık özelliklerini geliştirebilir. Ama magnezyum alaşımlarının dökülebilirliğini düşürür. Silisyumun korozyona etkisi göz ardı edilebilir.
Sn	Kalay, magnezyum alaşımlarında tane inceltici etkiye sahiptir, aynı zamanda sünekliğini artırır. Sıcak işlem sırasında alaşımın çatlama eğilimini azaltır. Bundan dolayı da alaşımın işlenebilirliğini de arttırmaktadır. Sn içeren alaşımda Mg ile birlikte Mg2Sn intermetalik fazı oluşur. Bu intermetalik fazın ergime sıcaklığı 770°C'dir. Bu nedenle Mg-Sn esaslı alaşımlar yüksek sıcaklıklarda daha yüksek sürünme direncine sahiptir. Yüksek sıcaklık uygulamaları için daha uygundur. Ayrıca sıcaklık ile çözünürlüğün değişebilir olması Mg-Sn alaşım sistemlerini yaşlandırma ile sertleştirme işlemi için cazip kılmaktadır. Kalay ilavesi, alaşımın sertlik, çekme-basma mukavemeti gibi mekanik özelliklerini iyileştirmektedir.
Sr	Çekme boşluğu veya dağılımında olumlu etkiye sahiptir ve magnezyum alaşımının porozite eğilimi azalır. Mg-Al sistemlerinde tane inceltici etkiye sahiptir ve aynı zamanda sürünme direncini arttırmaktadır.
Ag	Nadir elementler ile yüksek sıcaklıkta mukavemeti ve sürünme direncini artırır, fakat aynı zamanda korozyon direncini azaltır.
Th	Magnezyum alaşımlarının yüksek sıcaklıkta mukavemetini ve sürünme direncini artırır, fakat radyoaktif elementtir.
Zn	Ergimiş metalin akıcılığını artırır ve tane inceltici etki gösterir, buna karşın mikro porozite oluşumuna eğilim gösterir.
Zr	Katılma esnasında Zr'ca zengin partiküller Mg tanelerinin heterojen çekirdeklenmesine neden olur. Bu nedenle Zr elementi Si, Al ve Mn ile kullanılmadığı zaman çok güçlü tane inceltici etkiye sahiptir. Sonuç olarak ortam sıcaklığında çekme mukavemetini geliştirir.
RE	Tüm nadir elementler magnezyum ile sınırlı çözünürlük içermektedir ki bundan dolayı çökeltme sertleşmesi mümkündür. Buda sürünme davranışını, korozyon davranışını ve yüksek sıcaklık mukavemetini artırır. Teknik alaşım elementleri olarak yttrium, neodimium ve cerium dur. Yüksek maliyetlerinden dolayı genelde yüksek teknolojik alaşımlarda kullanılırlar.

### 2.3. Magnezyum-Alüminyum Alaşımları

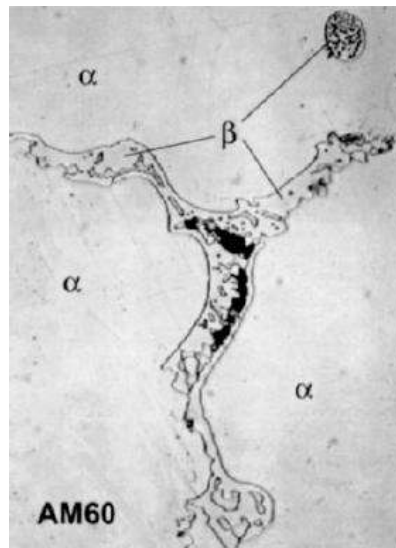
Mg-Al ikili sistemi en eski ve en yaygın kullanılan döküm alaşımlarıdır. AZ91, AM50 ve AM60 gibi alaşımlar tüm Mg alaşım dökümünün büyük bir bölümünü kapsamaktadır. Al katkısı alaşımın çekme dayanımını, sertliğini ve katılaştırma zamanını artırmakta, fakat sünekliğini ve darbe dayanımını azaltmaktadır. Ergiyiğin dökülebilirliğini geliştirmesinin yanı sıra Mg'un katı çökelti dayanımını ve döküm alaşımlarının mikro gözeneklerini azaltır[8,30].

Şekil 2.1 Mg-Al ikili denge diyagramını göstermektedir. Diyagramdan da görüldüğü gibi Al magnezyum içinde kolayca çözünen metallere biridir. Ötektik reaksiyon, bir başka deyişle  $Sıvı \rightarrow Mg_{17}Al_{12} + \alpha (Mg)$  dönüşümü, 436 °C gibi düşük bir sıcaklıkta oluştuğu gözlenmektedir. Bu sıcaklıkta Al'un maksimum çözünebilirliği %12,7 dir. Alaşım %2'den fazla Al içerdiğinde, dökümün mikroyapısında  $Mg_{17}Al_{12}$  intermetalik bileşiği oluşur. Eğer alaşımdaki Al içeriği %8'in üzerinde olursa  $Mg_{17}Al_{12}$  bileşiği tane sınırları boyunca yayılır ve sonuçta şekillenebilirlik hızla azalır. Şekil 2.2 AM60 alaşımına ait tipik bir mikroyapıyı göstermektedir. Tane sınırlarındaki  $Mg_{17}Al_{12}$  bileşiği görülebilmektedir.

Yaşlandırma işlemi ile Mg-Al alaşımlarının mekanik özellikleri iyileştirilebilir. Çözünme işlemi, 420 °C civarında  $Mg_{17}Al_{12}$  bileşiğinin yayılmasıyla sonuçlanır ve şekillenebilirlik yükselir.  $Mg_{17}Al_{12}$  çökmesi 150 °C'de yaşlanmaya neden olur ve bu çökelti dayanımı geliştirir. Şekil 2.3'te magnezyumca zengin kısım daha açık bir şekilde görülmektedir[8,20].

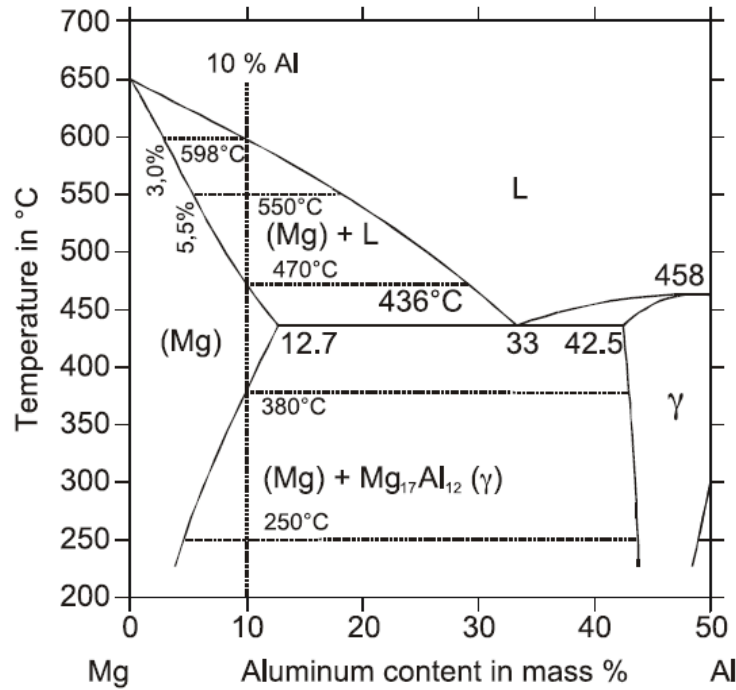


Şekil 2.1. Mg-Al ikili denge diyagramı [33]



Şekil 2.2. Mg-Al alaşımının (AM60) tipik mikroyapı görüntüsü ( $\alpha$  : Mg,  $\beta$  : Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub>) [20]



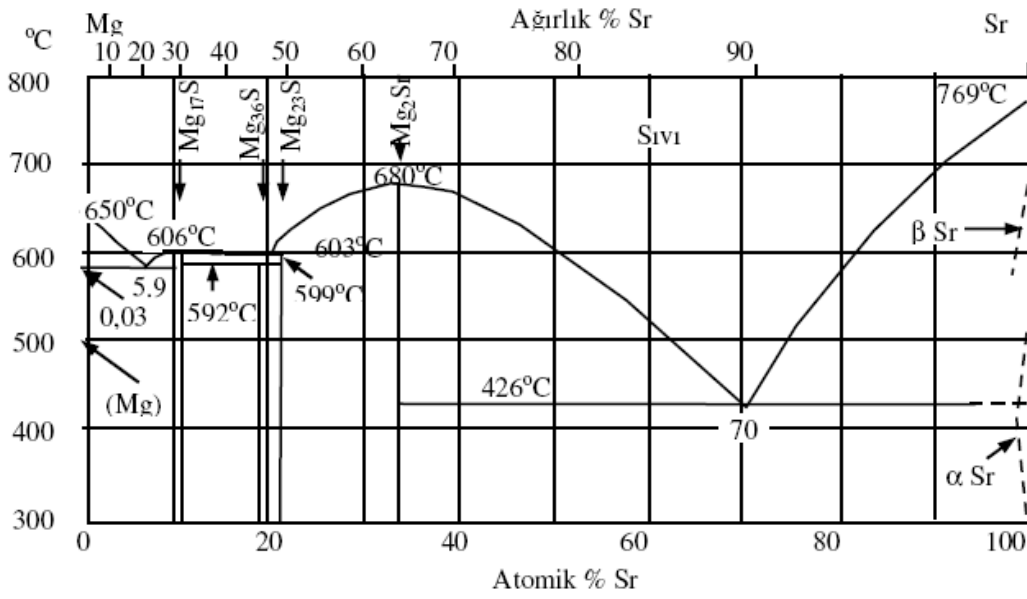


Şekil 2.3. Mg-Al ikili diyagramının magnezyumca zengin kısmı [20]

#### 2.4. Magnezyum-Alüminyum-Stronsiyum Alaşımları

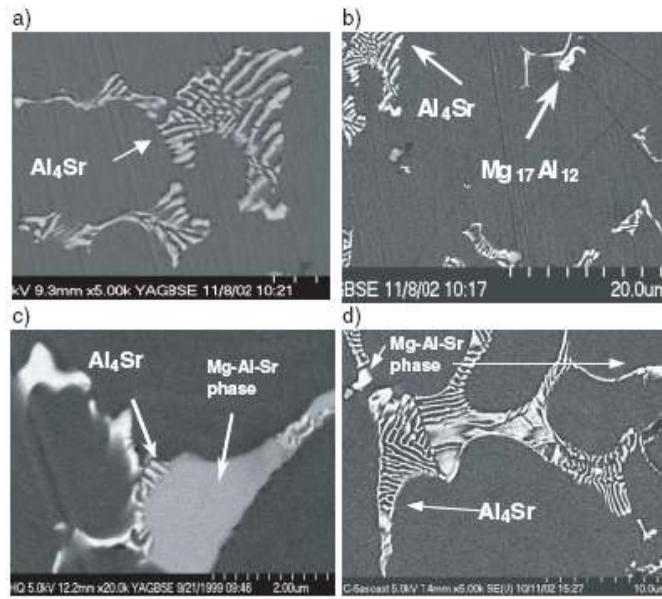
Sr içeren Mg-Al alaşımları ilk olarak 1990'larda üretilmeye başlanmıştır. Literatürde AJ olarak isimlendirilmektedir. Mg-Al alaşımları yüksek sıcaklıklarda sergiledikleri düşük sürünme mukavemetleri nedeniyle halen otomotiv sektöründe sınırlı bir alanda kullanılabilir. Sr ilavesi kokil kalıba döküm yöntemiyle üretilen magnezyumun 175 °C'yi aşan sıcaklarda sürünme direncini artırır. Bunun yanında Sr'un mikro gözeneklerin dağılmasında etkisi vardır ve Mg alaşımlarının porozite eğilimini azaltır. Alaşım içindeki Sr miktarı %0.02 ile %3 arasında değişebilir ve önerilen döküm sıcaklığı 675-700 °C arasındadır[31].

Şekil 2.4 magnezyum-stronsiyum(Mg-Sr) ikili denge diyagramını göstermektedir. Şekil 2.4'te görüldüğü gibi, magnezyum içerisinde stronsiyumun çözünürlüğü 585°C sıcaklıkta %0,11 ve 200°C sıcaklıkta yok denecek kadar az çözünürlüğe sahiptir. Bu sistemde 4 kararlı intermetalik bileşen mevcuttur. Mg<sub>17</sub>Sr<sub>2</sub>, Mg<sub>38</sub>Sr<sub>9</sub>, Mg<sub>23</sub>Sr<sub>6</sub> ve Mg<sub>2</sub>Sr intermetaliklerin ergime noktaları sırasıyla 606, 592, 599 ve 680°C'dir[11,15,32].



Şekil 2.4. Mg-Sr ikili denge diyagramı[33]

Ağırlıkça %3 Sr içeren Mg-Al alaşımının sürünme direnci, mekanik özellikleri ve mikroyapısı üzerine E. Baril ve arkadaşları çalışmalar yapmıştır. Saf magnezyumun tane sınırlarında oluşan lamel yapıdaki Al<sub>4</sub>Sr fazı içeren mikroyapıyı elde etmiş ve bunun birçok alaşım için mükemmel dökülebilirlik ve iyi sürünme direnci sağladığını rapor etmişlerdir[34]. Pekgülyüz ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalarda farklı mikro yapı oluşumunun Sr/Al oranına bağlı olduğu görülmüştür[11]. Bu oranın 0.3 değerinin altında olduğu durum için, Al<sub>4</sub>Sr intermetalığı yapıda ikincil faz olarak ortaya çıkmaktadır (Şekil 2.5). Bu oran daha yüksek olduğu zaman, iri yapıda ikincil intermetalik faz (üçlü Mg-Al-Sr fazı), Al<sub>4</sub>Sr intermetalığı ile birlikte gözlenmiştir. İri yapılu üçlü Mg-Al-Sr fazı birçok araştırmacı tarafından tespit edilmeye çalışılmış ve ilk dönemlerde Pekgülyüz ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışma sonucunda mevcut üçlü faz Mg<sub>13</sub>Al<sub>3</sub>Sr olarak tanımlanmıştır[35]. Parvez ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışma Pekgülyüz ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmayı doğrulamaktadır[36]. Kunst ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada ise mevcut üçlü fazın Mg<sub>9</sub>Al<sub>3</sub>Sr fazı olduğu belirtilmiştir[37]. Sonuç olarak araştırmacıların ortak düşüncesi bahsedilen alaşım sistemlerinde daha fazla çalışma gerçekleştirip, üçlü faz diyagramının belirlenmesi ve mevcut fazların tanımlanması gerekliliğidir.



Şekil 2.5. Basınçlı döküm alaşımların mikroyapısı a) AJ51(Mg-5Al-1Sr) b) AJ62L (Mg-6Sr-1.6Sr) alaşımları ile Sr/Al oranı 0.3 den düşük,  $Al_4Sr$  ikincil faz, c) AJ52(Mg-5Al-2Sr) ve d) AJ62L (Mg-6Al-2Sr) alaşımları ile Sr/Al oranı 0.3 den yüksek ve iki tür ikincil faz mevcut,  $Al_4Sr$  ve Mg-Al-Sr üçlü bileşeni[35]

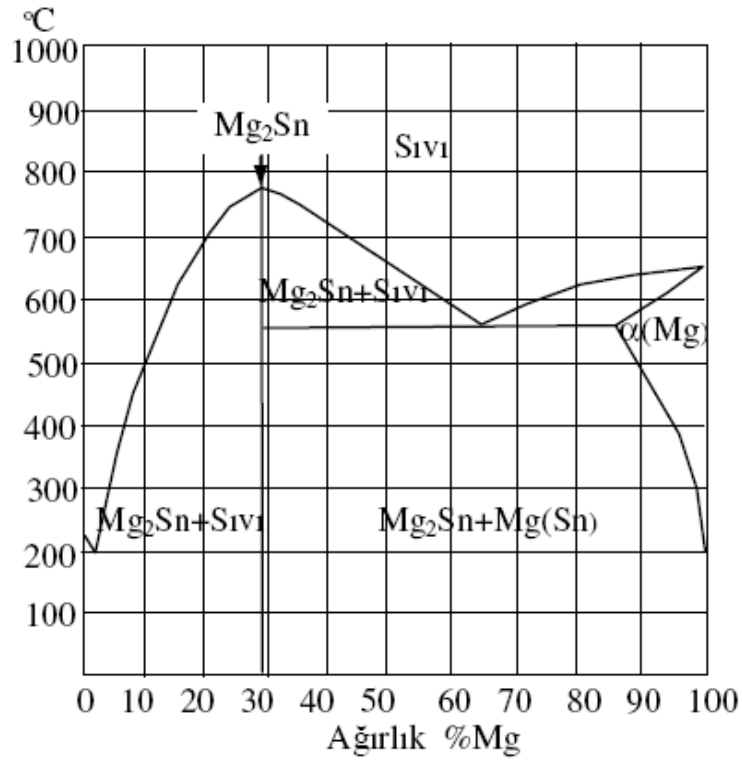
## 2.5. Magnezyum-Kalay Alaşımları

Kalay(Sn) ilaveli magnezyum alaşımları ilk olarak 1934 yılında denenmiştir. Magnezyum-Kalay alaşımları literatürde (AT) olarak isimlendirilmektedir. Son günlerde, yüksek sıcaklık uygulamaları için potansiyeli olduğuna inanılan Mg-Sn esaslı alaşımlara ilgi artmıştır. Sn, Mg'dan daha düşük ergime sıcaklığına sahip ve Mg'dan daha az akıcılığı olan bir elementtir. Mg'a ilave edilen Sn, alaşımın sünekliliğini artırır, sıcak işlem sırasında da alaşımın çatlama eğilimini azalttığı için aynı zamanda alaşımın işlenebilirliğini de artırmaktadır[30,38,39].

Şekil 2.6'da Mg-Sn sistemini göstermektedir. Görüldüğü gibi kalay elementi  $561^{\circ}C$ 'de yaklaşık ağırlıkça %14.85 değerlerinde magnezyum içerisinde çözünmektedir. Bu çözünürlük  $200^{\circ}C$ 'de ağırlıkça %0.45 değerine düşer ve oda sıcaklığında çözünürlük yok denecek kadar azalır.

Magnezyum-kalay ikili alaşımları yüksek ergime sıcaklığına sahip  $Mg_2Sn$  intermetalığı içermektedir. Sn içeren alaşımda  $Mg_2Sn$  intermetalik faz oluşumu soğuma hızına bağlıdır. Yüksek soğuma hızlarında çubuk tipi  $Mg_2Sn$  partiküllerin

gözenmesi Mg matrisi ile birlikte olur. Mevcut  $Mg_2Sn$  intermetaligi termal kararlılığa sahiptir ve bu alaşımlarda sürünme direncini geliştiren en önemli unsurdur. Son dönemlerdeki çalışmalara göre Mg alaşımlarına ağırlıkça %5'e kadar kalay ilavesi, bu alaşımların çekme mukavemetini ve sürünme direncini arttırmaktadır. Mg-Sn alaşımlarında intermetalik faz  $Mg_2Sn$  ( $770^\circ C$ ),  $Mg_{17}Al_{12}$  ( $462^\circ C$ ) fazından daha yüksek ergime noktasına sahiptir. Bu nedenle Mg-Sn esaslı alaşımlar yüksek sıcaklıklarda Mg-Al esaslı alaşımlardan daha yüksek sürünme direncine sahiptir. Yüksek sıcaklık uygulamaları için daha uygundur. Ayrıca sıcaklık ile çözünürlüğün değişebilir olması Mg-Sn alaşım sistemlerini yaşlandırma ile sertleştirme işlemi için cazip kılmaktadır[40,41].



Şekil 2.6. Magnezyum-Kalay ikili denge diyagramı[33]

## 2.6. Magnezyum Alaşımlarının Katılma Davranışı

Magnezyum-alüminyum alaşımlarının mikroyapısı, birincil tanelerin ve ötektik yapının her ikisinin de çekirdeklenmesine ve büyüme karakteristiğine bağlı olacaktır.

Bu nedenle katılaşıma esnasında alaşım elementleri, tane incelticiler ve soğuma hızı döküm alaşımının mikroyapı ve özellikleri üzerinde etkili olmaktadır[9,15,20].

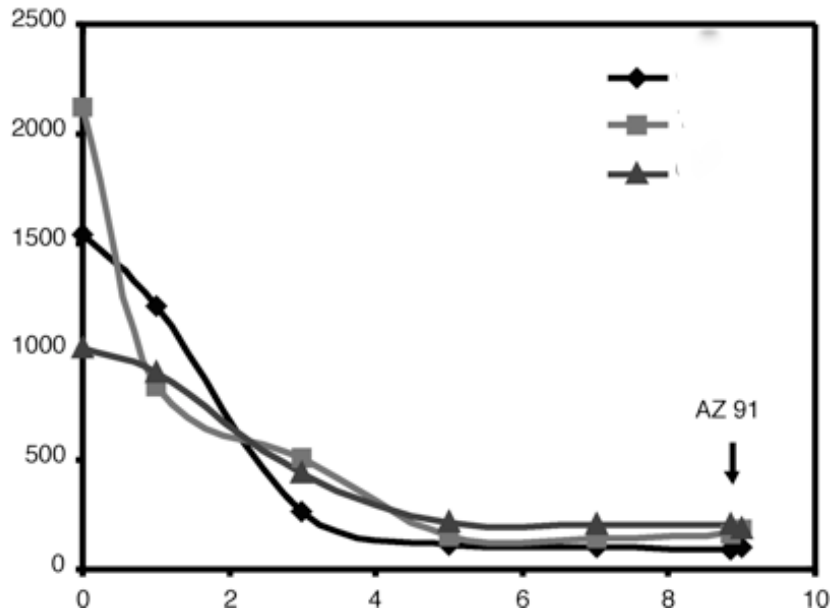
Çekirdeklenme, tane incelticiler kullanılarak kontrol edilebilir. Magnezyum döküm alaşımlarındaki tane incelticiler alüminyum alaşımlarındaki gibi iyi bir şekilde anlaşılmemiştir. Mg-Al ikili sisteminde birincil dendritler ve ötektik yapının büyüme morfolojisi, alüminyum içeriğine ve soğuma hızına oldukça bağlıdır. Mg-Al sistemi için güçlü bir tane inceltici mevcut değildir. Zirkonyum bazı magnezyum alaşımları için başarılı bir tane incelticidir. Buna karşın alüminyum ve zirkonyum magnezyum alaşımlarında bir arada bulunmaz çünkü kolayca kararlı Al-Zr intermetalığı oluşturabilirler[24].

Bunun yanında çoğu Mg-Al alaşımları yüksek basınçlı döküm yöntemi ile üretilmektedir ve bu yöntem çok yüksek soğuma hızlarına sahiptir ki bu durum çekirdeklenme için önemli bir itici gücü oluşturur. Bu, çekirdeklenme artışına neden olur ve bu nedenle birincil tanelerin sayısı artar. Böylece tane inceltici ihtiyacı azalır. Mg-Zn ve Mg-RE(nadir element) sistemlerine ait alaşımlara Zr ilavesi yapıldığı zaman çok sayıda ince tanelerin oluştuğu görülmüştür. Zr elementinin tane inceltici mekanizması çok iyi anlaşılmiş değildir. Ama tane inceltici mekanizmanın Zr ve Mg'un benzer latis parametresi ve kristal yapısına sahip olmasından kaynaklandığına inanılmaktadır[9,20,42].

Son yıllarda yapılan çalışmalar sonucunda, Stronsiyum(Sr) alaşım elementinin Mg-Al sistemlerinde tane inceltici etkiye sahip olduğu görülmüştür. Sr alaşım elementinin tane inceltici mekanizması tam olarak tanımlanamamıştır. Buna karşın Sr elementi magnezyum içinde oldukça düşük çözünürlüğe sahiptir(%0,11). Bu nedenle katılaşıma esnasında katı/sıvı arayüzeyine Sr elementi kusulması büyüme kinetiğinin azalmasına neden olur. Bu durumunda tane inceltici etkiye neden olduğu düşünülmektedir[26].

Lee ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, Sr ve Al ilavesinin magnezyum alaşımının tane boyutuna etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmada, Al içeriğinin ağırlıkça %5'e kadar artışı ile tane boyutunun azaldığı görülmüştür. Daha fazla ilave

tane boyutunu etkilememiştir. Şekil 2.7 saf Mg içerisine Al ilavesinin tane boyutuna etkisini göstermektedir. Ayrıca Lee ve arkadaşları ağırlıkça %3 ve %9 Al içeren Mg-Al sistemine Sr ilavesi ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Ağırlıkça %3 Al içeren alaşıma %0.01-0.1 Sr ilavesi son derece güçlü tane inceltici etkiye neden olurken, ağırlıkça %9 Al içeren alaşımda ise daha az tane inceltici etki görülmüştür[9]. Bir diğer benzer çalışmada Yichuan ve arkadaşları tarafından yapılmış ve diğer çalışmalar ile paralel sonuçlar elde edilmiştir[44].

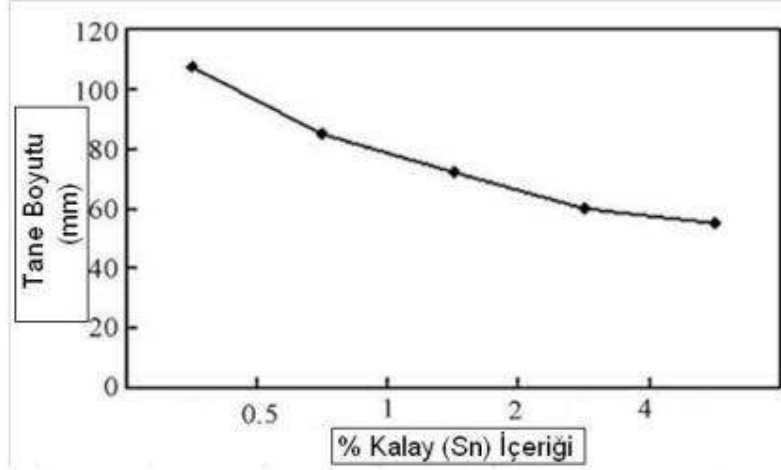


Şekil 2.7. Saf Magnezyuma Al ilavesinin Tane Boyutuna Etkisi[7]

Yine son yıllarda yapılan farklı çalışmalar sonucunda, kalay (Sn) alaşım elementinin magnezyum ve alaşımlarında tane inceltici etkiye sahip olduğu ve mekanik özellikleri iyileştirdiği görülmüştür(Şekil 2.8). Bu nedenle, yüksek sıcaklık uygulamaları için potansiyeli olduğuna inanılan Mg-Sn alaşımlara ilgi artmıştır.

Mg- Sn ikili alaşımları için maksimum katılaşma aralığı 67°C'dir. Bu aralık Mg-Al (136°C) ve Mg-Zn (283°C) ikili alaşımlarına göre daha kısıtlıdır. Dolayısıyla Mg-Sn alaşımlarında büzülme(çekinti) ve sıcak yırtılma gibi döküm hataları, Mg-Al ve Mg-Zn alaşımlarından daha az görülmektedir.  $\alpha$ -Mg katı çözelti içinde Sn çözünürlüğü 561°C ötektik dönüşüm sıcaklığında %14.85'ten 200°C'de %0.45'e keskin bir biçimde düşmektedir. Bu özelliği ile Mg-Sn alaşımları çökeltme sertleşmesi ile mukavemet artırma yöntemine elverişli alaşımlardır. Mg-Sn alaşımlarında

intermetalik faz  $Mg_2Sn$  (ergime noktası  $770^{\circ}C$ ),  $Mg_{17}Al_{12}$  (ergime noktası  $462^{\circ}C$ ) fazından daha yüksek ergime noktasına ve termal kararlılığa sahiptir. Bu nedenle Mg-Sn esaslı alaşımlar yüksek sıcaklıklarda Mg-Al esaslı alaşımlardan daha yüksek sürünme direnci göstermektedir.



Şekil 2.8. AM60 alaşımına Sn ilavesinin tane boyutuna etkisi[45]

Hongmei Liu ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, saf magnezyuma ağırlıkça %1-10 kalay (Sn) ilavesi ile oluşturulan alaşımlarda mikroyapı, çekme özellikleri ve sürünme davranışları incelenmiştir. Mikroyapı çalışmalarında, birincil  $\alpha$ -Mg fazının dentrit ve ikincil dentritik kol aralıklarının, kalay içeriğinin artmasıyla azaldığı gözlenmiştir. Dentritik kol aralıkları, alaşımların mekaniksel özellikleri üzerinde önemli etkiye sahiptir. Kalay alaşım elementinin bu etkisi temel olarak katılaşma esnasında katı-sıvı ara yüzeyinde bulunarak aşırı soğuma etkisi oluşturmasına bağlanmaktadır. Bu durumda tane büyümesini engelleyerek tane inceltici etkiyi oluşturur.

Yapılan deneysel çalışmalarda bu etki tespit edilmiş ve kalay ilavesinin belli oranlara kadar mekanik özellikleri arttırdığı görülmüştür. Kim ve arkadaşlarının Mg-Al-Zn alaşımında çeşitli oranlarda Sn ilavesi ile yaptığı çalışmada benzer sonuçlar elde ettiği görülmüştür. Bir başka çalışmada, Şevik ve arkadaşlarının AM60 alaşıma kalay ilavesinin mekanik özellikler etkisi üzerine olmuş ve benzer sonuçlar elde edilmiştir[40,41,45].

## BÖLÜM 3. MAGNEZYUMUN DÖKÜMÜ

### 3.1. Giriş

Ham malzemeyi kullanılabilir bileşen haline getirmek için en ekonomik üretim yöntemlerinden bir tanesi döküm ile üretimdir. Yüksek basınçlı döküm, gravity döküm ( kum kalıba döküm ve sürekli kalıba döküm), sıkıştırma döküm ve çeşitli yarı-katı döküm metotları mevcuttur. Döküm ile üretilmiş alaşımlar, kullanılan yöntemlere göre farklı mekanik özellikler içerirler[38].

Dökümde kullanılacak çok fazla alaşım çeşidi mevcut olmasına rağmen, her alaşım her döküm yönteminde kullanıma uygun değildir. Özel bir parça için döküm yöntemi seçiminde tasarım şekli, arzu edilen mekanik ve nihai yüzey özellikleri, üretilecek toplam döküm parça adedi ve alaşımların dökülebilirliği belirleyicidir[38].

Magnezyum döküm alaşımları genellikle, dışarıdan ısı uygulamalı bir çelik karbon (<math>0.12\%</math>) potada ergitilir. Çelik pota çok yaygın olarak kullanılır, çünkü magnezyum normal döküm sıcaklıklarında (magnezyum 650°C de ergir) çelikle çok yavaş reaksiyona girer[45].

Ergiyik magnezyum metali için yaygın uygulama ergitmenin hemen ardından potadan döküm işlemini gerçekleştirmektir. Kalıptaki demir sıvı magnezyum alaşımı içinde daha az çözüldüğünden, alaşımın kalıba yapışma eğilimi alüminyum alaşımlarına göre daha azdır. Buna bağlı olarak kalıp ömrü alüminyum parçalara kıyasla 2-3 kat daha uzundur[45].

Alüminyum ve çeliğe kıyasla çoğu alaşımı yüksek akıcılığa sahiptir, bu da ince cidarlı ve karışık parçaların dökümüne olanak sağlar. Çeliğe göre üstün



dökülebilirliği, parçaların birçok bileşenden ziyade, bütün olarak dökümüne olanak tanır. Alüminyum alaşımları 2-2.5 mm kesit kalınlıklarına kadar dökülebilirken magnezyum alaşımları 1-1.5 mm kesit kalınlıklarına kadar dökülebilen alaşımlardır[39,45].

Magnezyum alaşımlarının dökülmesindeki ana problem oksitlenme ve yanma kaybıdır. Önlem alınmadığı takdirde magnezyum alaşımları oksitlenmeye meyillidir. Ergimiş magnezyum alaşımları alüminyumdan farklı davranış gösterir. Ergiyik üzerinde oksijen geçirgen ince bir film oluşturur ve oksitlenme artar. Bu oluşum oksijenin içeriye girmesine ve oksit tabakası altında yanmanın oluşmasına sebep olur. Bu nedenle ergiyik magnezyum yüzeyleri hava ile oksidasyondan korunmalıdır[30].

Oksitlenmenin önlenmesi için ergimiş metalin korunmasında ve dökümünde koruyucu gazlar kullanılır. Günümüzde en yaygın kullanılan koruyucu atmosfer kükürt hekzaflorit(SF<sub>6</sub>) gazı ile sağlanır. SF<sub>6</sub> gazını taşıyıcı olarak karbondioksit ve/veya kuru hava kullanılır. Tipik koruyucu gaz karışımı için aşağıdaki üç örnek verilmiştir:

- AZ91 650-725°C → Hava + %2 SF<sub>6</sub>
- AZ91 650-725°C → %75 Hava + %25 CO<sub>2</sub> + %0.2 SF<sub>6</sub>
- AZ91 650-725°C → %50 Hava + %50 CO<sub>2</sub> + %0.3 SF<sub>6</sub>

SF<sub>6</sub> %5 in üstündeki konsantrasyonlarda kullanıldığında magnezyum için çok iyi bir koruyucu olmakta, ancak çelik kalıplarla ve pota ile reaksiyona girmektedir[30].

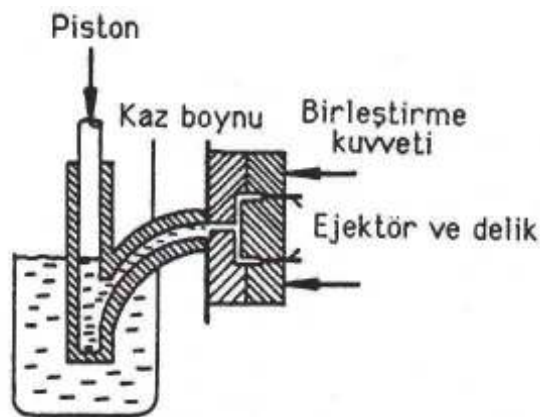
Magnezyum ve alaşımlarının üretiminde kullanılan döküm teknikleri 4 grupta toplanır. Bunlar[46];

1. Kum kalıba döküm
2. Kokil kalıba döküm
3. Basınçlı döküm
4. Yarı-katı döküm

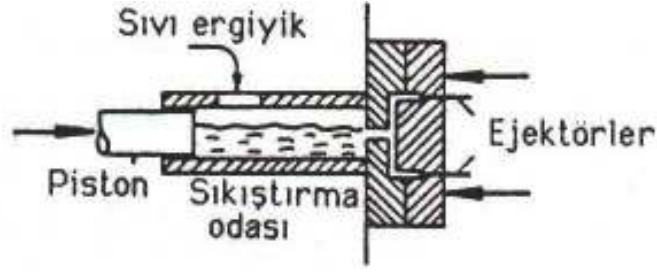
Magnezyum ve alaşımlarının kum döküm yöntemiyle şekillendirilmesi çok fazla sayıda alaşıma uygulanabilmekte ve çok değişken boyutlarda parça elde edilebilmektedir. Ancak yöntem, kalıp kumu ve ergiyik magnezyum metali arası reaksiyonlardan dolayı inhibitör kullanımını gerekli kılar. Yüksek adetlerde parça üretimi için uygunken, yüzey bitirme ve tolerans değerleri açısından çok iyi özellikler sağlanamaz[3].

Kum döküm yöntemiyle sağlanamayan bu özellikler hassas dökümle sağlanabilir. Ancak hassas döküm yönteminin hem parça başına maliyetleri, hem de ilk yatırım maliyetleri oldukça yüksektir. Magnezyum ve alaşımlarının sürekli kalıba döküm yöntemiyle şekillendirilmesinde, kalıbın tekrar kullanılabilmesi maliyetler açısından bir avantaj gibi gözükse de, kalıpların yüksek ilk yatırım maliyetlerinin amortismanı, bir kalıptan alınabilecek parça adediyle sağlanamayabilir. Yüzey bitirme ve boyutsal toleranslar açısından iyi sonuçlar alınırken, çok sayıda alaşım türüne uygulanabilir bir yöntemdir[3].

Magnezyum alaşımlarının üretimi için en yaygın üretim yöntemi basınçlı dökümdür. Basınçlı döküm, kullanılan makineye bağlı olarak sıcak kamaralı ve soğuk kamaralı basınçlı döküm olmak üzere iki tür yönteme ayrılabilir (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2)[3].



Şekil 3.1. Sıcak hazneli basınçlı döküm[47]



Şekil 3.2. Soğuk hazneli basınçlı döküm[47]

Sıcak hazneli teknolojiye; enjeksiyon mekanizması, bekletme fırınının ergiyik magnezyum banyosuna daldırılır. Ergiyik metal de piston vasıtasıyla kalıba doğru itilir. Bu yöntemle nispeten küçük magnezyum alaşımı parçalar dökülürken, döküm makinaları biraz kompleks ve pahalıdır. Soğuk hazneli basınçlı dökümde; metal el potaları ile doldurulur. Pistonlar da ergitme fırınından dağıtırlar. Yöntemin avantajı, sıvı metalin fırın içinden doğrudan silindirler vasıtası ile taşınması nedeniyle oksidasyondan korunmasıdır. Soğuk hazneli teknoloji, büyük et kalınlığına sahip parçalar için tercih edilir[3].

### 3.2. Kum Kalıba Döküm Yöntemi

Kum kalıba döküm, tüm döküm yöntemleri içinde en yaygın olanıdır. Çok farklı büyüklükteki parçalara uygulanışı ve kalıplama maliyetinin az oluşu, tercih nedenlerinin başında gelir.

Bu yöntemde kum aralarından hava alacağından magnezyumun yanma tehlikesine karşı önlemler alınmalıdır. Kalıp boşluğu gaz ile korunmalıdır. Magnezyum alaşımlarında bilinen ve uygulanan en iyi kum döküm yöntemi kabul kalıpcılığıdır. Bu kalıpta kumlar arasında reçine tabaka oluştuğundan magnezyumun kalıp içinde yanma tehlikesi azalmış olacaktır[30, 39, 48].

Magnezyumun kum kalıba dökümünde dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Magnezyum alaşımları kalıpcılığında göz önüne alınacak önlemler şunlar olabilir:

- Metalin özgül ağırlığının çok düşük olması kalıbın doldurulması için gereken basıncın sağlanmasını zorlaştırır. Yollukların ve besleyicilerin boylarının yüksek tutulması gerekir.
- Magnezyum alaşımlarının katılaşma sırasında hacimsel küçülmeleri yani çekmeleri fazladır. Kalıpların yapımında bu durum göz önüne alınmalıdır.
- Çok kolay oksitlenir. Hava ve kumun nemi ile reaksiyona girebilir[14].

Diğer alaşımların dökümlerinde kullanılan döküm kumları magnezyum alaşımlarında kullanılamaz. Magnezyum, kumun içinde bulunan nem ile reaksiyona girer. Dökülen alaşım kumun içinde tamamen yanabilir. Bunun önlenmesi için şunlar yapılabilir:

- Kalıplar 450 °C de kurutularak kumdaki nem tamamen giderilir. Ancak bu iyi bir yol sayılmaz. Çünkü maliyeti arttırır, kum ve dereceler çok yıpranır. Aynı zamanda çok sertleşen kalıplar, metalin katılaşması sırasında katılaşma gerilimleri üretir.
- Kalıpları yaş olarak dökmeye elverişli kumlar hazırlanmalıdır. Bu kumların bilinen özellikleri yanında, gaz geçirgenlikleri çok yüksek olmalıdır. Kalıp içinde bulunan ve metalin akışını engelleyen hava ve gazların atılmasına yardım etmelidir[14].

İri taneli kumların kullanılması uygun görülmele beraber, dökülen parçaların yüzeylerinin pürüzlü çıkmasına neden olur. Kumda gözeneklerin tıkanmasına sebep olan tozların bulunmaması gerekir. Yine gözeneklerin azalmaması için kalıp kumu fazla sıkıştırılmaz.

Kalıp kumlarında nemi olmayan bağlayıcılar kullanılır. Yüksek saflıktaki silis kumuna %3-4 kil ilave edilir. Formaldehit reçineleri kullanılabilir. Kalıp kumunun çok iyi karıştırılıp homojenleştirilmesi ve havalandırılması gerekir[14].

Kalıp kumunun sıkıştırılma işlemi bilinen yöntemlerle yapılır. Kumun sıkılığı olabildiği kadar az olmalıdır. Bu durum hem gözeneklerin fazla olmasına yardım eder, hem de metalin katılaşması sırasında metalin çekmesine karşılık kumun

esneyebilmesini sağlar. Çünkü magnezyum ve alaşımları katılaşma sırasında sıcak yırtılma eğilimi gösterirler. Fazla sıkıştırılan kalıplarda kum esneyemediği için bu hata daha fazla meydana gelir. Yumuşak sıkıştırılan kalıplarda kum daha fazla esneyecek ve katılaşma çekmesinden kaynaklanan katılaşma gerilimleri elimine edilerek sıcak yırtılma hatası oluşmayacaktır[14].

### 3.3. Kokil Kalıba Döküm Yöntemi

Kokil kalıba döküm yöntemi karmaşık şekilli, dar boyut toleransları olan ve çok sayıda üretilmesi istenen parçalar için kullanılır. Kokil kalıba döküm genellikle demir dışı metallerin dökümü için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemle üretilen parçalara örnek olarak hidrolik fren silindirleri, biyel kolları, soğutucu kompresör gövdeleri, mutfak eşyaları ve alüminyum daktilo parçaları verilebilir[47].

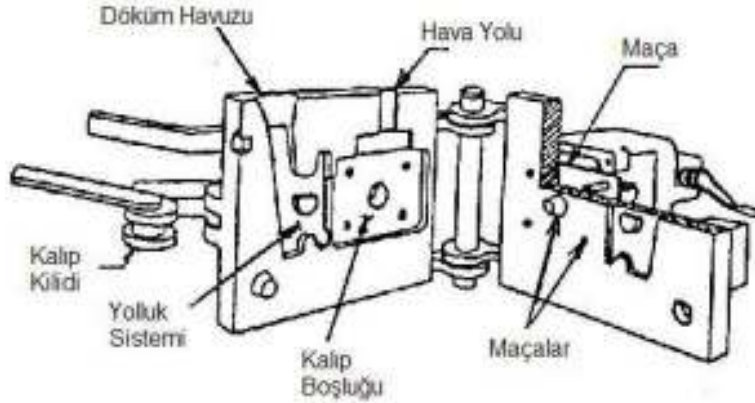
Kokil dökümde tek bir kalıpla demir esaslı malzemelerden 3000 ile 10000 adet, alüminyum ve magnezyum gibi düşük ergime sıcaklıklı metallerden 100000 adete kadar parça dökülebilir. Aynı şekilli birçok parçanın dökümü hızlı bir şekilde yapılabilmektedir[49].

Bu yöntemde sıvı metal yerçekimi etkisiyle kalıba girer. Metal kalıba döküm yönteminde katılaşma hızı kum kalıplardan daha yüksek olduğu için bu yöntemle dökülen parçaların iç yapısı incedir ve tane boyutu küçüktür. Boyut hassasiyeti  $\pm 0.25$  mm olup parçaların yüzey düzgünlüğü ilave işlem gerektirmeyecek kadar yüksektir[46].

Kokil kalıplar genellikle açılıp kapanan iki veya daha çok parçadan oluşur (Şekil 3.3 ve Şekil 3.4). Kalıp kapandıktan sonra oluşan boşluğa ergimiş metal dökülür ve katılaşma beklendikten sonra kalıp açılarak parça çıkarılır. Bu işlemler elle yapılabileceği gibi, bir tertibat yardımıyla veya mekanizasyona geçilmesi halinde makineler tarafından da yapılabilir[49].

Kalıp üretiminde kalıp boşluğu ve diğer kanallar işlenerek açılır. Kalıp malzemesi geçirgen olmadığından hava kanallarının da açılması zorunludur. Kokil kalıp

tasarımı büyük deneyim ister. Metal kalıpların cidar kalınlığının belirlenmesi, ısı girdi ve çıktılarının dikkate alınması gerekir. Çünkü bu yöntemlerin başarısı kalıbın sürekli çalışma sıcaklığına bağlıdır. Kalıp cidar kalınlıkları genellikle 18-50 mm arasında seçilir. Gerektiğinde kalıp soğutulabilir[48,49].



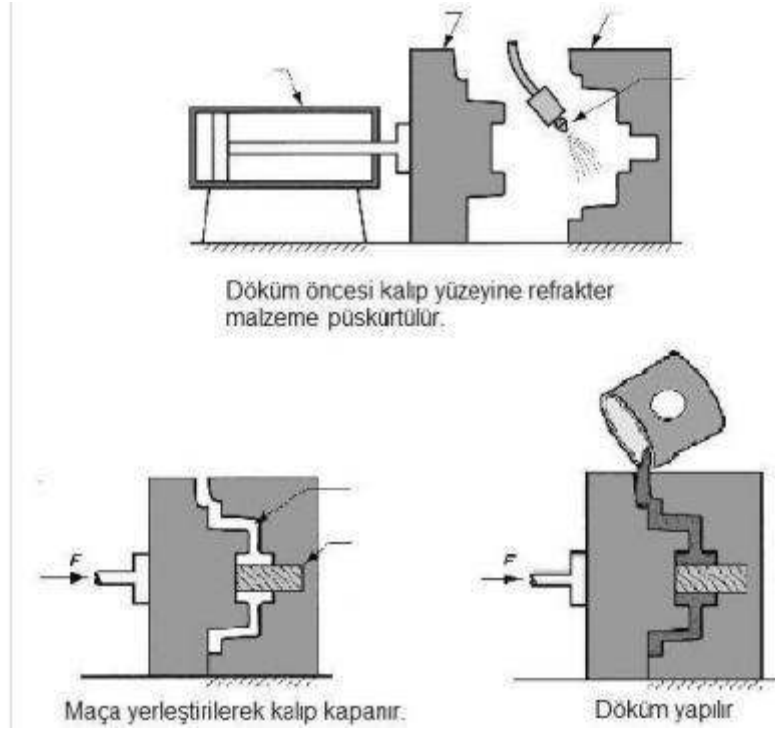
Şekil 3.3. Mentşeli bir kokil kalıp örneği[48]

Kokil kalıba döküm gerçekleştirildikten sonra eğer mümkünse parça tam soğuma gerçekleşmeden hemen çıkarılır ve bu sayede dökülen parçanın oda sıcaklığına kadar serbestçe büzülmesi sağlanır.

Daha yüksek döküm sıcaklıklarına çıkabilmek için kalıcı kalıpların malzemesi metal dışında refrakter özelliği daha iyi olan malzemeler de kullanılabilir. Grafit kalıplar buna örnektir. Bu kalıplar alüminyum ve magnezyum gibi alaşımlarda az sayıda parça üretimi için tercih edilir. Fakat döküm sıcaklığı arttıkça kalıp ömrü azalır ve bu kalıplar çok çabuk aşındıkları için özel uygulamalarda kullanılırlar[48].

Bu yöntemde magnezyum alaşımları alüminyum alaşımlarından çok daha hızlı dökülür. Alüminyum alaşımlarına göre kalıp ömrü daha uzundur. Çünkü magnezyumda kalıp yüzeyine yapışma riski daha az, alüminyumda ise daha fazladır. Doğru bir biçimde kullanıldığında ve korunduğunda, koruyucu kaplama yöntemleri ile de kalıp ömrü daha da çok artırılabilir. Magnezyum alaşımının farklı fiziksel ve kimyasal özellikleri alüminyum ile karşılaştırıldığında, farklı pota malzemeleri kullanılır. Ergimiş magnezyum, ergimiş alüminyumda olduğu gibi demir ile

reaksiyona girmez. Bu nedenle magnezyum ve alaşımları, demir ve çelik potalarda ergitilebilir ve tutulabilir[46].



Şekil 3.4. İki parçalı bir kokil kalıpta döküm işleminin gösterimi[48]

Kokil dökümün sahip olduğu birtakım avantaj ve dezavantajlar Tablo 3.1' de verilmiştir[50].

Tablo 3.1. Kokil kalıba dökümün avantaj ve dezavantajları[50]

AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
<ul style="list-style-type: none"> <li>- İş parçasının yüzeyi daha düzgün olup talaş kaldırmayı dahi gerektirmez.</li> <li>- Mekanik özellikler daha yüksektir.</li> <li>- Boyutları daha hassas parçalar elde edilebilir.</li> <li>- Karmaşık şekilli parçalar daha kolay dökülebilir.</li> <li>- Temizleme masrafı daha azdır.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Genellikle çok ufak boyutlu parçalara tatbik edilir.</li> <li>- Bütün alaşımlar dökülemez.</li> <li>- Az sayıda parça için çok pahalıdır.</li> <li>- Kalıptan çıkarma zorlukları sebebiyle bazı parçaların dökümü imkansızdır.</li> <li>- Döküm sıcaklığı ve parça ağırlığı arttıkça el ile çalışmak zorlaşır. Bu durumda işlemlerin mekanik tertibatlarla yapılması gerekir.</li> </ul>

## BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 4.1. Çalışma Programı

Bu çalışmada magnezyum metaline kalay ve stronsiyum ilave ederek alaşımlama yapılmış ve özellikleri incelenmiştir.

Kalay, magnezyum alaşımlarında tane inceltici etkiye sahiptir, aynı zamanda sünekliliğini arttırır. Sıcak işlem sırasında alaşımın çatlama eğilimini azaltır. Bundan dolayı da alaşımın işlenebilirliğini de artmaktadır. Kalay ilavesi, alaşımın sertlik, çekme-basma mukavemeti gibi mekanik özelliklerini iyileştirmektedir. Bunun yanında magnezyum ile  $Mg_2Sn$  intermetalığı oluşturur. Bu intermetalığın ergime sıcaklığı Mg-Al alaşımlarındaki intermetaliklerden çok daha yüksektir. Dolayısıyla magnezyum kalay alaşımlarının yüksek sıcaklık dayanımları daha iyidir. Stronsiyum elementinin ise magnezyumun mikroyapısını modifiye edici özelliği vardır. Çekme boşluğu veya dağılımında olumlu etkiye sahiptir ve magnezyum alaşımının porozite eğilimi azalır. Fakat günümüzde çok fazla stronsiyum üzerine olan çalışma bulunmamaktadır.

Magnezyuma ağırlıkça %3 oranında kalay ilavesi ve kalay oranı %3 oranında sabit tutularak buna ek olarak sırasıyla ağırlıkça %0.05, %0.1, %0.2, %0.5 ve %1 oranlarında stronsiyum ilavesiyle alaşımlama yapılmıştır.

Üretim yöntemi olarak kontrollü atmosfer altında metal kalıba kokil döküm yöntemi kullanılmıştır. Üretilen alaşımların kimyasal analizleri yapılmıştır. Daha sonra bu alaşımlara sertlik ve çekme testleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar optik mikroskop (OM) görüntüleri ile desteklenmiştir. Ayrıca üretilen bu alaşımlar üzerinde daha ayrıntılı mikroyapı, X-ışını analizi, EDS ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) çalışmaları yapılarak var olan fazlar incelenmiştir.



#### 4.2. Kullanılan Deney Malzemeleri

Saf magnezyum ve farklı element ilavesi ile elde edilecek alaşımların üretimi için her bir alaşımda ağırlıkça %3 saf kalay kullanılmıştır. Diğer bir alaşım elementi olan ve stronsiyum sırasıyla ağırlıkça %0.05, %0.1, %0.2, %0.5 ve %1 oranlarında Mg-%3 Sn alaşımına ilave edilen stronsiyum Mg-%20Sr alaşımı kullanılarak temin edilmiştir.



Şekil 4.1. Kullanılan deney malzemeleri

Magnezyum alaşımlarının kontrollü atmosfer altında metal kalıba kokil döküm yöntemi ile üretilmesi esnasında ergiyiğin korunması için %99.8 CO<sub>2</sub>+%0.2 SF<sub>6</sub> gaz karışımı kullanılmıştır.



Şekil 4.2. Kullanılan koruyucu gaz

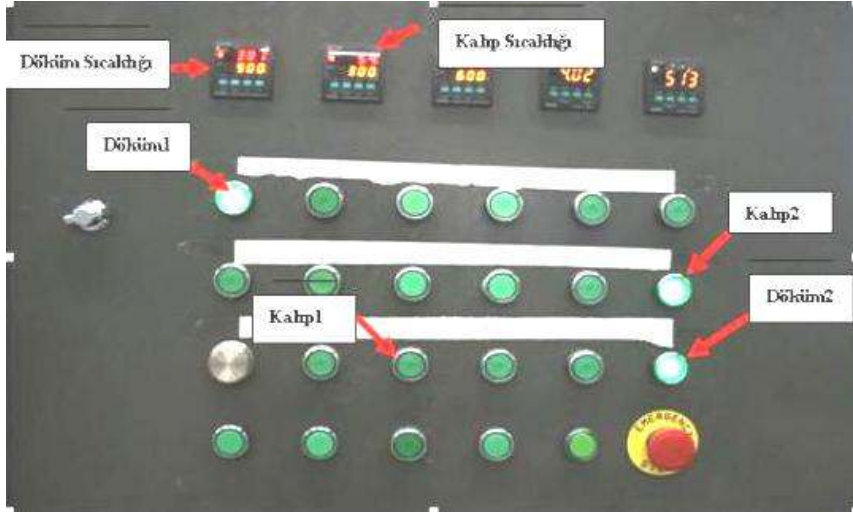
Kullanılan koruyucu gaz SF<sub>6</sub> (kükürt hegzaförür), havadan beş kat daha ağırdır. SF<sub>6</sub> gazı içindeki flor gazları magnezyum yüzeyinde MgF<sub>2</sub> oluşturarak magnezyumun dışarıyla temasını kesecek ince, koruyucu bir tabaka meydana getirir. Böylece oksitlenmeyi engeller.

### 4.3. Üretim

Üretim iki kademeli yapılmıştır. Üretimin ilk kademesinde 2KW gücünde, 1100 °C'ye çıkabilen bir fırında saf magnezyum, koruyucu gaz atmosferinde, 310 paslanmaz çelik pota içerisinde ergitilmiştir. Saf magnezyumun ergimesi tamamlandıktan sonra elde edilmesi amaçlanan alaşım için gerekli bileşenler ilave edilmiştir. Her bir alaşım için eriyik 830 °C sıcaklıkta 10 dakika bekletilmiştir. Ergitme esnasında kontrollü atmosfer altında gerçekleştirilecek dökümde kullanılacak kalıp ön ısıtmaya tabi tutularak 300 °C sıcaklığa kadar ısıtılmıştır ve döküm gerçekleştirilmiştir. Kullanılan fırın, pota ve kalıp şekillerde gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Kullanılan fırının görünümü



Şekil 4.4. Kullanılan fırının kontrol paneli



Şekil 4.5. Kullanılan kokil kalıbın görünümü



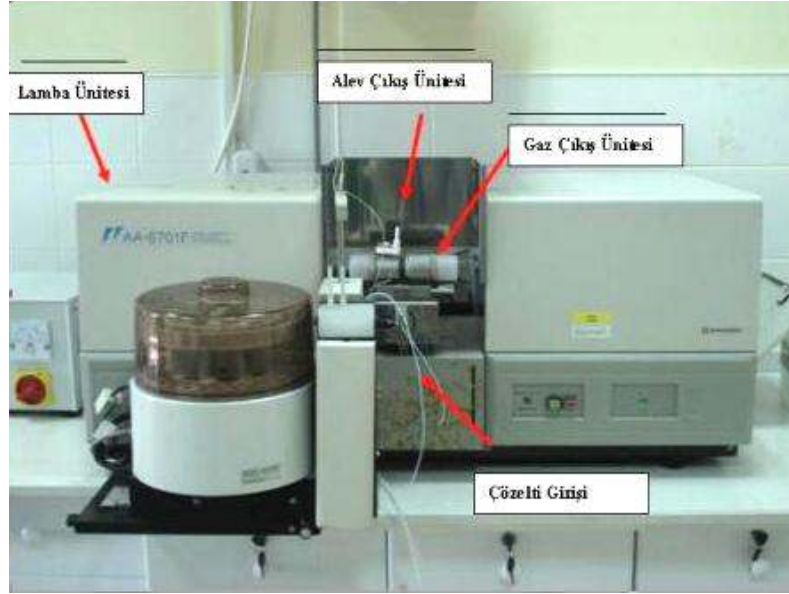
Şekil 4.6. Kullanılan potanın görünümü

Üretilen alaşımların içerikleri sırasıyla Saf Mg+%3Sn, Saf Mg+%3Sn+%0.05Sr, Saf Mg+%3Sn+%0.1Sr, Saf Mg+%3Sn+%0.2Sr, Saf Mg+%3Sn+%0.5Sr, Saf Mg+%3Sn+%1Sr şeklindedir.

Magnezyum yanıcı bir malzeme olduğundan havayla direkt olarak reaksiyona girmektedir. Bundan dolayı üretilen alaşımların yüzeylerinde birtakım yüzey hataları görülebilmektedir. Bu hatalar kesme ve zımparalama ile giderilebilmektedir.

#### 4.4. Kimyasal Analiz

Üretilen numunelerden hazırlanan ince tozların kimyasal analizi, kimya laboratuvarında alevli atomik absorpsiyon spektrometrik (AAS) tekniği ile tayin edilmiştir. Kullanılan AAS cihazı şekilde gösterilmiştir. Hazırlanan tozların kimyasal analizinin yapılması için gerekli bileşenler sulu faza çekilmiştir. Uygulanan çözünürleştirme işlemi ile seyreltilmiş ve belli bir hacme tamamlanarak magnezyum, kalay ve stronsiyum oranları alevli atomik absorpsiyon spektrometri cihazı ile ölçülmüştür.



Şekil 4.7. AAS cihazı

Tablo 4.1. Kimyasal analiz sonuçları

ALAŞIM	İÇERİK	MAGNEZYUM	KALAY	STRONSIYUM
1	Saf Mg+%3Sn	%96.8	%2.97	
2	Saf Mg+%3Sn+%0.05Sr	%96.5	%2.92	%0.046
3	Saf Mg+%3Sn+%0.1Sr	%96.1	%2.94	%0.09
4	Saf Mg+%3Sn+%0.2Sr	%95.9	%2.97	%0.183
5	Saf Mg+%3Sn+%0.5Sr	%95.9	%2.94	%0.45
6	Saf Mg+%3Sn+%1Sr	%95.7	%2.89	%0.92

#### 4.5. Metalografi Çalışmaları

Üretilen alaşımların mikroyapılarını incelemek için standart metalografik işlemler uygulanmıştır. Kesme işlemi ile hazırlanan metalografi numuneleri ilk önce 240, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 mesh' lik zımparalardan geçirilerek yüzeyi pürüzsüzleştirilmiştir. Zımparalama işlemi bittikten sonra numuneler 0,05 µm' lik alümina, etilen glikol ve etil alkol içeren solüsyon kullanılarak parlatılmıştır. Dağlayıcı olarak asetik pikrik ve nital çözeltileri kullanılmıştır. Asetik pikrik çözeltisinin içeriği 5 ml asetik asit, 6 g pikrik asit, 10 ml distile su ve 100 ml etil alkolden oluşmaktadır. Nital çözeltisi %3 oranında nitrik asit ve %97 oranında etil alkolün karıştırılmasıyla elde edilmiştir. Numuneler önce pikrik asit ile ön dağlamaya

maruz bırakılmıştır. Daha sonra nitalle dağlanarak mikroyapı çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan numuneler optik mikroskopta (OM) ve taramalı elektron mikroskobunda (SEM) incelenmiştir.

#### 4.6. Mekanik Testler

##### 4.6.1. Sertlik deneyi

Üretilen alaşımların sertlik deneyleri 31.25/30/2.5 kombinasyonuna sahip Brinell sertlik (HRB) skalasında BROOKS marka sertlik cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Tüm alaşım sınıflarından alınan numuneler üzerinde 9' ar ölçüm yapılıp sertlik değerleri olarak bu değerlerin ortalaması alınmıştır.



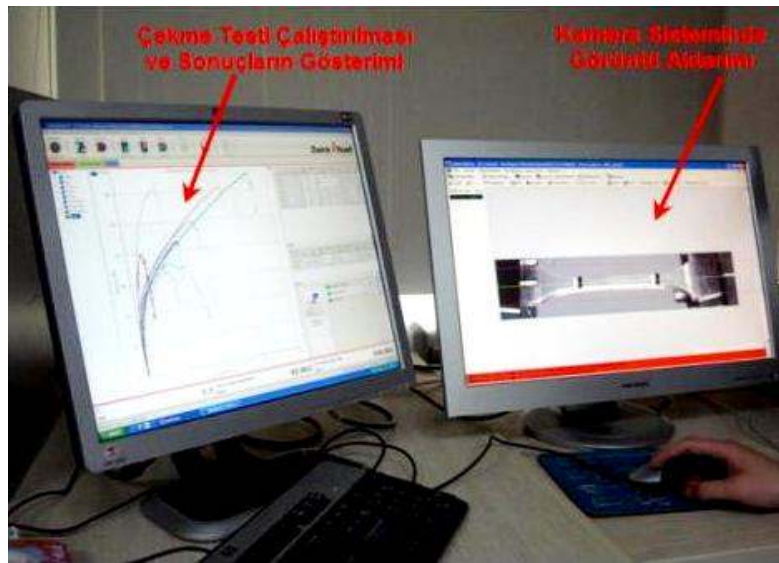
şekil 4.8. Kullanılan sertlik cihazı

#### 4.6.2. Çekme deneyi

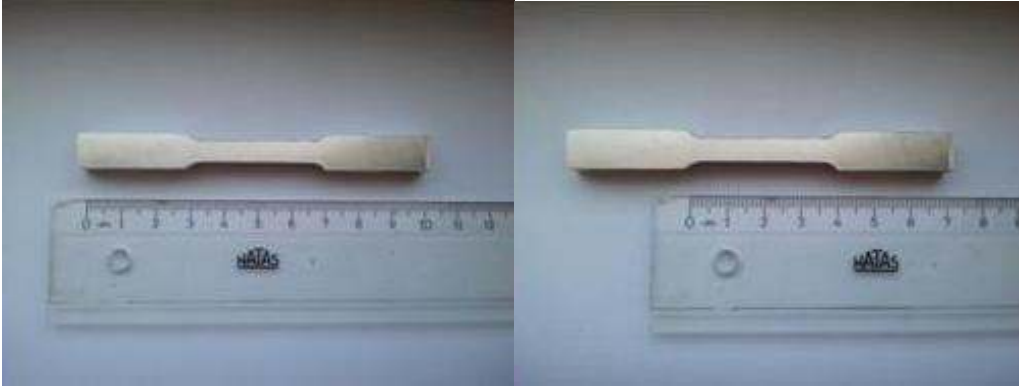
Üretilen alaşımların çekme deneyleri INSTRON 3367 30 kN' luk çekme cihazında yapılmıştır. Her bir numunenin çekme mukavemeti hesaplanırken 2 adet numune kullanılmıştır ve deformasyon hızı 1 mm/dakika olarak ayarlanmıştır. Çekme cihazı ve çekme numunelerinin fotoğrafları şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Kullanılan çekme cihazı



Şekil 4.10. Elde edilen verilerin bilgisayar ortamına aktarılması



Şekil 4.11. Çekme numunesi

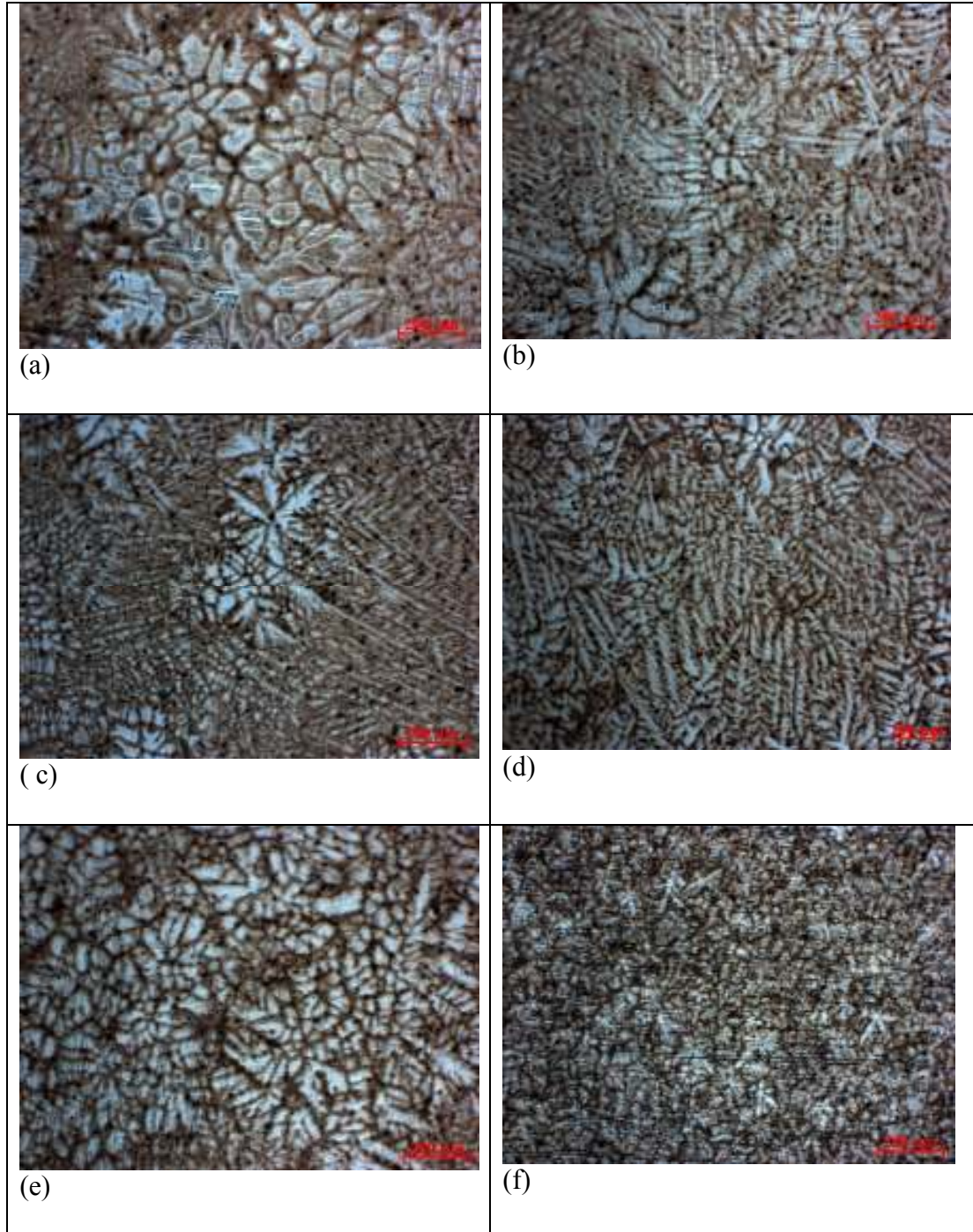


## BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLAR

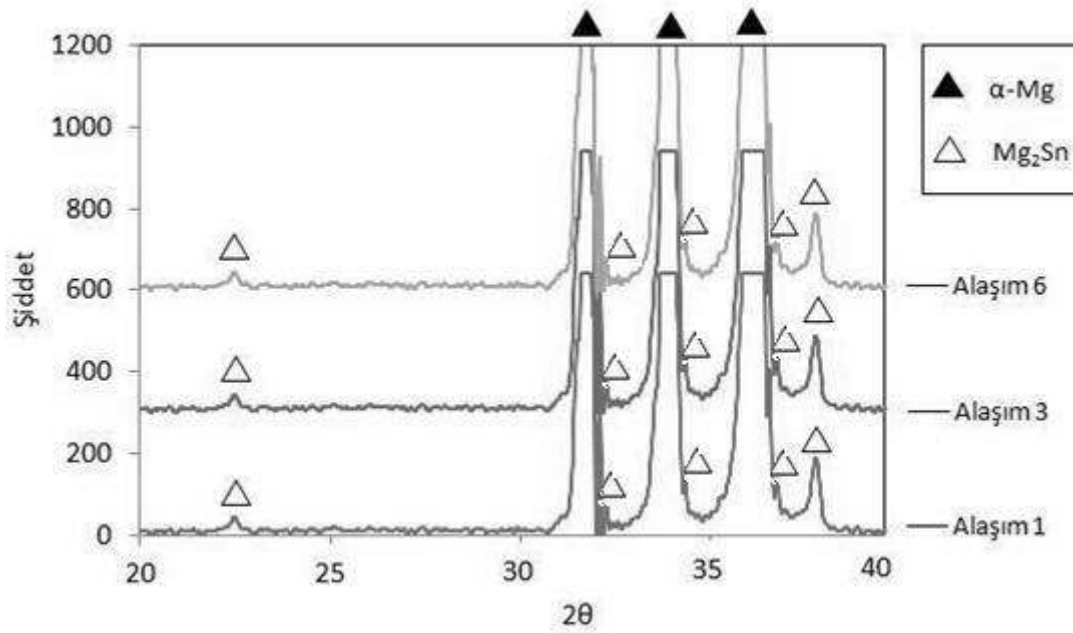
### 5.1. Alaşımın Mikroyapısı

Magnezyum esaslı alaşımların üretilmesi ve incelenmesi konusu kapsamında magnezyum metaline kalay ve stronsiyum ilavesi ile ürettiğimiz alaşımların mikroyapı görüntüleri Şekil 5.1 de gösterilmektedir. Şekil 5.1 (a) Alaşım 1 (Mg+%3 Sn), Şekil 5.1 (b) Alaşım 2 (Mg+%3 Sn+%0.05 Sr), Şekil 5.1 (c) Alaşım 3 (Mg+%3 Sn+%0.1 Sr), Şekil 5.1 (d) Alaşım 4 (Mg+%3 Sn+%0.2 Sr), Şekil 5.1 (e) Alaşım 5 (Mg+%3 Sn+%0.5 Sr) ve Şekil 5.1 (f) Alaşım 6 (Mg+%3 Sn+%1 Sr) mikroyapılarına ait optik mikroskop görüntüleridir.

Şekil 5.1 (a)'da görüldüğü gibi Alaşım 1 yani magnezyuma ağırlıkça %3 kalay ilavesi ile elde edilen alaşımın mikroyapısı literatürde magnezyum-kalay ikili denge diyagramından bilindiği üzere  $\alpha$ -Mg ve Mg<sub>2</sub>Sn intermetaliğinden oluşmaktadır. Şekil 5.1 (b), (c), (d), (e) ve (f)'de ağırlıkça %3 kalay ilaveli magnezyuma sırasıyla ağırlıkça %0.05, %0.1, %0.2, %0.5 ve %1 oranlarında stronsiyum ilavesinin mikroyapıya etkisi görülmektedir. Şekil 5.1 (b)' de yani ağırlıkça %0.05 stronsiyum ilavesi ile üretilen malzemenin yapısında kaba tanelerin incelendiği ve dendrit kollarının belirginleştiği gözlemlenmektedir. Şekil 5.1 (c)'de ağırlıkça %0.1 stronsiyum ilavesinin mikroyapıya etkisi görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi yapıdaki stronsiyum miktarının artmasıyla dendrit kolları daha da kısalmış ve taneler daha da küçülmüştür. Şekil 5.1 (d)'de ağırlıkça %0.2 stronsiyum ilavesi ile dendrit kollarının %0.1 stronsiyum ilavesiyle gerçekleşen kısalmanın aksine uzadığı ve tanelerin kalınlaşmaya başladığı görülmektedir. Şekil 5.1 (e) yani ağırlıkça %0.5 stronsiyum ilaveli alaşımda tanelerdeki kabalaşmanın devam ettiği görülmektedir. Şekil 5.1 (f)'de stronsiyum ilavesinin ağırlıkça %1'e çıkmasıyla tanelerin çok küçüldüğü ve aynı oranda dendrit kollarının kısaldığı görülmektedir.



Şekil 5.1. a) Alaşım 1, b) Alaşım 2, c) Alaşım 3, d) Alaşım 4, e) Alaşım 5, f) Alaşım 6'ya ait optik mikroskop görüntüleri



Şekil 5.2. Alaşım 1, Alaşım 3 ve Alaşım 6'ya ait XRD analizleri

Şekil 5.2'de ağırlıkça %3 kalay ilave edilen magnezyumun (Alaşım 1) ve kalaya ek olarak sırasıyla ağırlıkça %0.1 (Alaşım 2) ve %1 (Alaşım 3) stronsiyum ilave edilen Mg-%3Sn alaşımlarının XRD analizleri görülmektedir. Analiz sonucunda görüldüğü gibi stronsiyum alaşım elementinin ilavesi ile yeni bir faz oluşmadığı görülmüştür.

Şekil 5.3'te ağırlıkça %3 kalay ilaveli magnezyum ve bu alaşıma değişik oranlarda stronsiyum eklenmesiyle meydana gelen alaşımların ayrıntılı SEM mikroyapıları verilmiştir. Alaşımların, koyu renk matris ve partikül şeklinde bulunan açık renk fazlardan meydana geldiği görülmektedir. XRD analizlerinden bu fazların  $\alpha$ -Mg (koyu renkli matris) ve  $Mg_2Sn$  (açık renk partiküller) olduğu görülmektedir. Stronsiyum ilavesi ile yapıda yer alan  $Mg_2Sn$  fazının morfolojisi değişmiş, yapıda beyaz ince partiküller şeklinde görünen  $Mg_2Sn$  fazının önce fiberimsi hale dönüştüğü daha sonra stronsiyum miktarının artmasıyla fiberimsi yapının ağı yapıya dönüştüğü görülmektedir.

Şekil 5.3 (a)' da Alaşım 1' e ait yani ağırlıkça %3 kalay ilave edilen magnezyumun SEM görüntüsü görülmektedir. Yapılan XRD ve EDS analizleri sonuçlarından görüntüdeki koyu kısmın birincil faz  $\alpha$ -Mg' a, açık renkteki partiküllerin yapıya ilave edilen kalayın magnezyum içerisinde çözünmesiyle oluşan  $Mg_2Sn$  fazına ait olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 5.3 (b), (c), (d), (e) ve (f)' de ağırlıkça %3 kalay ilave edilen magnezyuma sırasıyla ağırlıkça %0.05, %0.1, %0.2, %0.5 ve %1 oranlarında stronsiyum ilavesinin yapıda meydana getirdiği değişim görülmektedir.

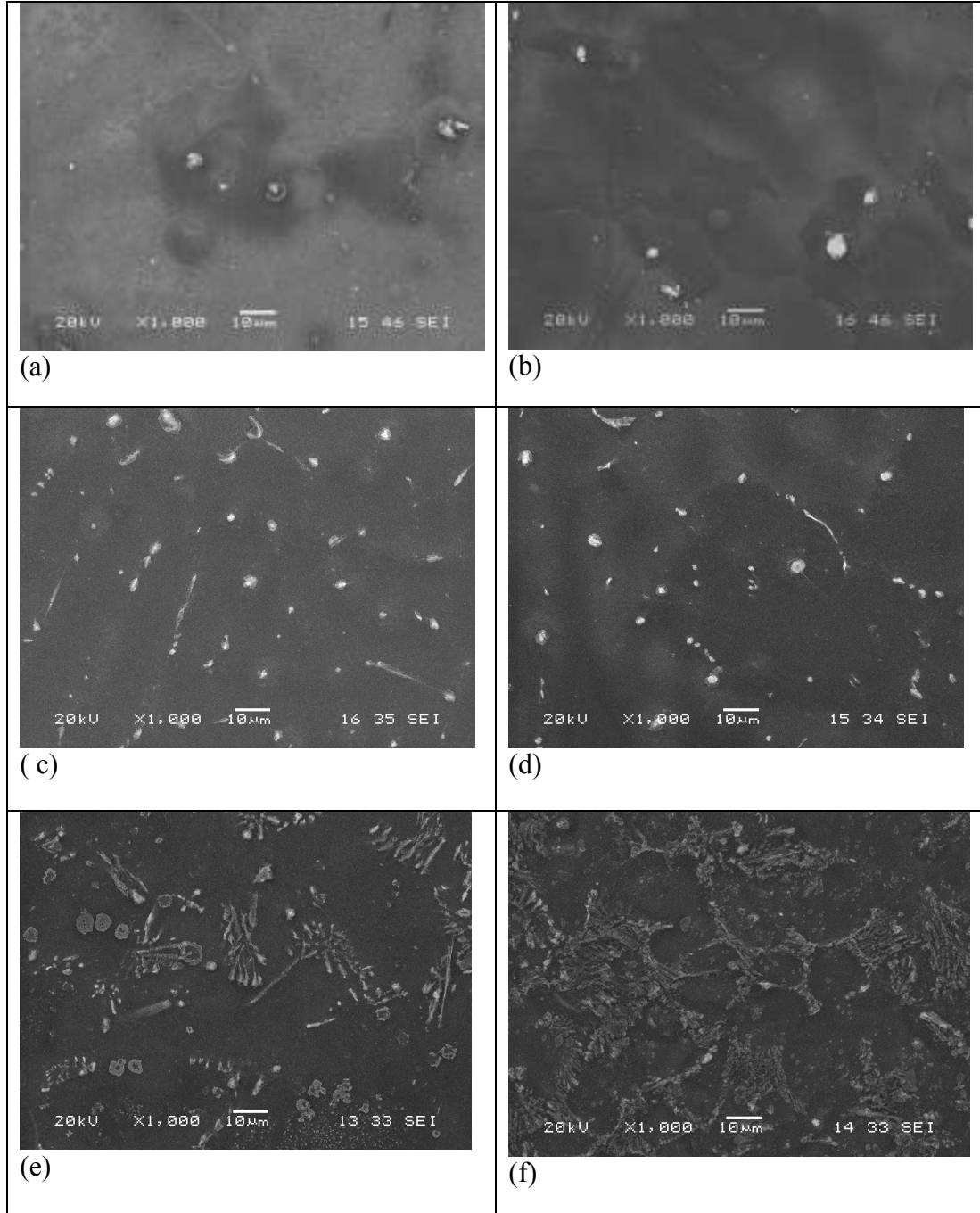
Şekil 5.3 (b)' de Alaşım 1' e ağırlıkça %0.05 stronsiyum ilave edildiğinde meydana gelen yapı görülmektedir. Elde edilen Sem görüntüsünden ağırlıkça %0.05 stronsiyum elenti ilavesinin yapı üzerinde fazla bir etkisi olmadığını ve yapının Alaşım 1' e benzer olduğu görülmektedir.

Şekil 5.3 (c)' de Alaşım 3' e ait SEM görüntüsü görülmektedir. Ağırlıkça %0.1 stronsiyum ilaveli olan bu yapıda Alaşım 2' de az miktarda bulunan  $Mg_2Sn$  partiküllerinin çoğaldığını ve bir araya gelerek fiberimsi yapılar oluşturduğu gözlemlenmektedir.

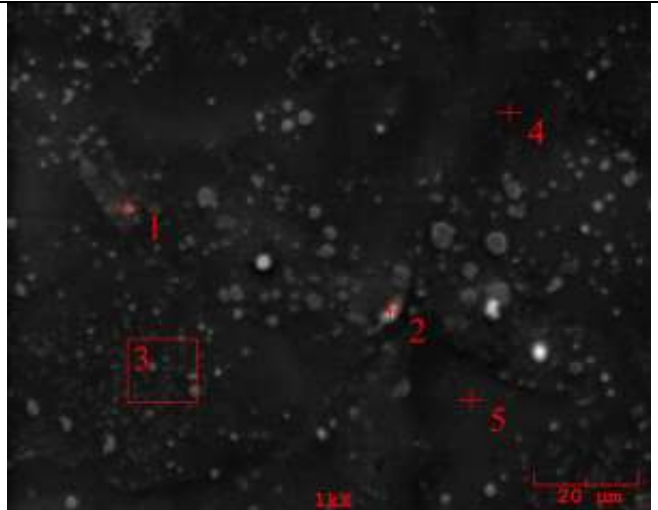
Şekil 5.3 (d)' de yani ağırlıkça %3 kalay ilaveli magnezyuma %0.2 stronsiyum ilave edilmesiyle Alaşım 3' te elde edilen fiberimsi yapının bozulmaya başladığı ve  $Mg_2Sn$  intermetalığının tekrar matriks içine dağılma eğilimi gösterdiği görülmektedir.

Şekil 5.3 (e)' de stronsiyum ilavesinin ağırlıkça %0.5' e çıkmasıyla malzeme yapısının ağırsı bir görünüm kazanmaya başladığı görülmektedir. Gruplaşma eğilimi gösteren  $Mg_2Sn$  fazının yapı içinde rastgele dağıldığı görülmektedir.

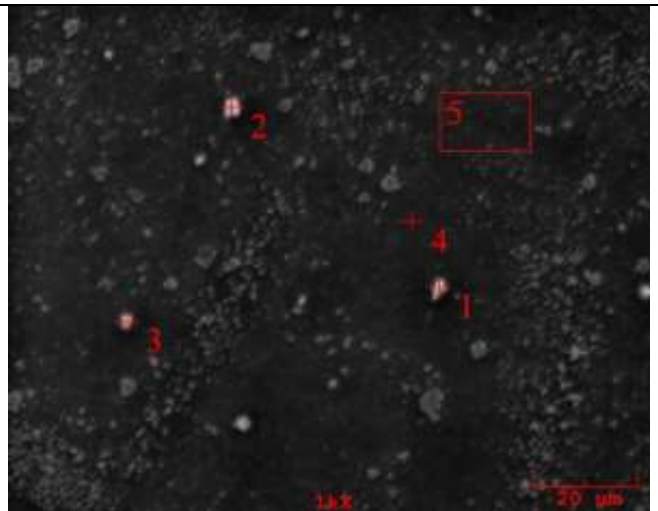
Şekil 5.3 (f)' de Alaşım 1' e yani ağırlıkça %3 kalay ilaveli magnezyuma ağırlıkça %1 oranında stronsiyum ilave edilmesiyle elde edilen SEM görüntüsü görülmektedir. Stronsiyum miktarının %1' e ulaşması mikroyapının tamamını Şekil 5.3 (e)' de oluşmaya başlayan ağırsı yapıya dönüşmüştür.



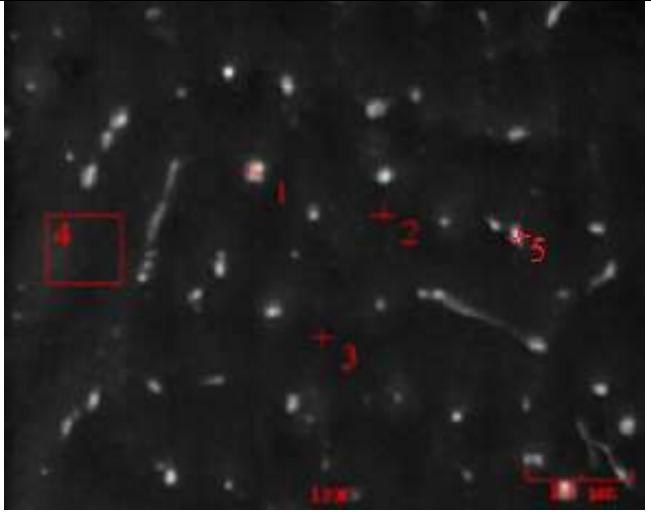
Şekil 5.3. a) Alaşım 1, b) Alaşım 2, c) Alaşım 3, d) Alaşım 4, e) Alaşım 5, f) Alaşım 6'ya ait SEM görüntüleri

Saf Mg+%3 Sn				
%ağ.	Mg	Sn	Sr	O
1	73,544	11,916	-	14,450
2	67,805	12,497	-	19,698
3	99,041	0,959	-	-
4	95,098	2,577	-	2,325
5	100,00	-	-	-

Şekil 5.4. Alaşım 1'e ait EDS analizleri

Saf Mg+%3 Sn+ %0.05 Sr				
%ağ.	Mg	Sn	Sr	O
1	74,604	10,008	1,009	14,379
2	53,656	28,850	1,631	15,864
3	83,249	6,262	0,623	9,867
4	67,649	2,531	-	-
5	96,564	3,436	-	-

Şekil 5.5. Alaşım 2'ye ait EDS analizleri

Saf Mg+%3 Sn+%0.1 Sr				
1	73,800	11,919	2,014	12,268
2	97,154	2,846	-	-
3	93,701	3,052	-	3,247
4	96,191	3,809	-	-
5	76,374	7,978	1,981	13,667

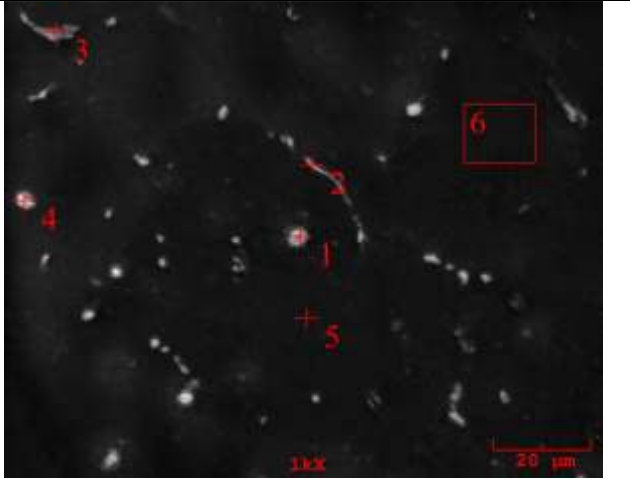
Şekil 5.6. Alaşım 3'e ait EDS analizleri

Şekil 5.4' ten başlayarak Şekil 5.9' e kadar alaşımların ayrıntılı EDS analizleri verilmektedir. Analiz yapılırken koyu renkli matriks ve açık renkli fazların içeriğinin tespiti ve yapıya ilave edilen stronsiyumun yapı içerisinde nerelerde yer aldığı tespit amaçlanmıştır.

Şekil 5.4' te Alaşım 1 yani ağırlıkça %3 kalay ilaveli magnezyuma ait ayrıntılı EDS analizi görülmektedir. Yapılan analizler sonucunda koyu renkli matriksin magnezyum, açık renkli partiküllerin magnezyum ve kalay içerdiği tespit edilmiştir. Mg-Sn ikili denge diyagramına göre kalay elementi 561 °C' de yaklaşık ağırlıkça %14.85 değerinde magnezyum içerisinde çözünmektedir ve yüksek ergime sıcaklığına sahip Mg<sub>2</sub>Sn (770 °C) intermetalığı oluşturmaktadır. Buradan yola çıkarak magnezyum ve kalay içeren partiküllerin Mg<sub>2</sub>Sn fazına ait olduğu görülmektedir. Magnezyum ve kalayın yanı sıra yapıda çok düşük miktarda oksijen varlığı tespit edilmiştir. Bu safsızlığın sebebinin muhtemelen külçe magnezyumdan kaynaklandığı düşünülmektedir.

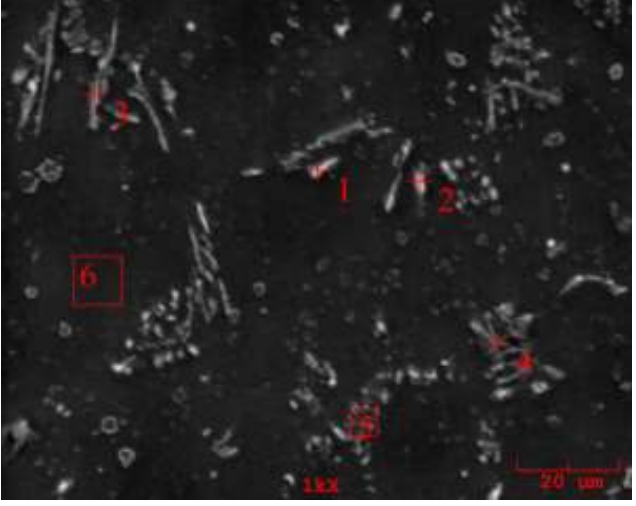
Şekil 5.5 Alaşım 2' ye ait EDS analizini göstermektedir. Alaşım 2, ağırlıkça %3 kalay ve %0.05 stronsiyum içeren alaşımdır. EDS analizi incelendiğinde matrikse yine magnezyumun hakim olduğunu, bunun yanında matriks içinde çok düşük bir miktarda kalay olduğu görülmektedir. İlave edilen stronsiyumun varlığı magnezyum kalay intermetaliti olan  $Mg_2Sn$  partikülleri (açık renkli partiküller) içinde gözlemlenmiştir. Matriks (koyu renkli kısım) içinde stronsiyuma rastlanmamıştır.

Şekil 5.6' te ağırlıkça %3 kalay içeren magnezyuma %0.1 stronsiyum ilavesi ile üretilen alaşımın EDS analizi görülmektedir. Analiz sonuçlarında görüldüğü gibi stronsiyum yine magnezyum kalay intermetaliti içinde çözünmüştür. Koyu renkli matriks  $\alpha$ -Mg içerisinde yine magnezyumun hakimiyeti yanında düşük oranda kalayın varlığını koruduğu görülmektedir.

Saf Mg+%3 Sn+%0.2 Sr				
%ağ.	Mg	Sn	Sr	O
1	71,151	11,705	0,853	16,291
2	77,230	12,182	1,793	8,795
3	70,149	12,602	1,694	15,555
4	70,685	12,808	1,708	14,799
5	96,558	3,442	-	-
6	98,009	1,991	-	-

Şekil 5.7. Alaşım 4'e ait EDS analizleri

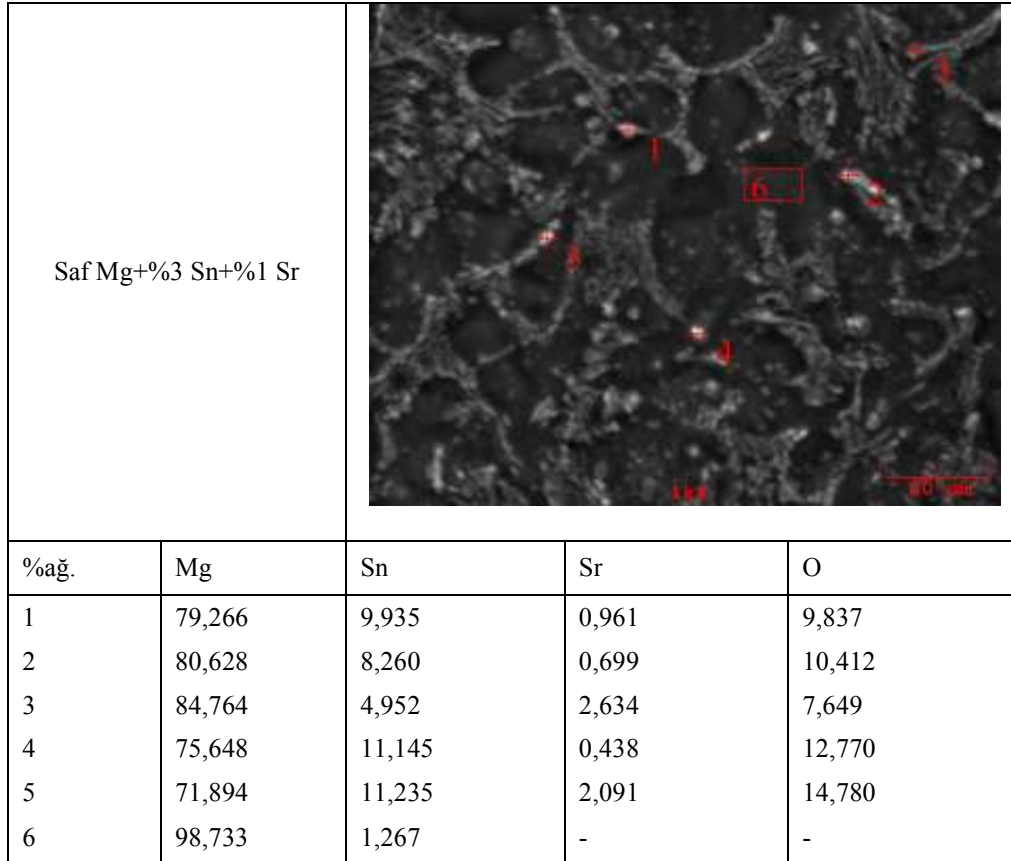


Saf Mg+%3 Sn+%0.5Sr				
%ağ.	Mg	Sn	Sr	O
1	68,126	9,207	0,469	22,199
2	57,572	16,670	2,198	23,360
3	57,529	16,142	5,150	21,449
4	81,392	6,886	0,658	11,065
5	92,637	5,455	1,908	-
6	97,199	2,801	-	-

Şekil 5.8. Alaşım 5'e ait EDS analizleri

Şekil 5.7' de ağırlıkça %3 kalay ilave edilen magnezyuma ağırlıkça %0.2 stronsiyum ilavesi ile üretilen alaşımın yani Alaşım 4' ün EDS analizi görülmektedir. Analiz sonuçlarında görüldüğü üzere elde edilen sonuçlar ağırlıkça %0.1 stronsiyum içeren alaşım ile benzerdir. Yapıdaki stronsiyum burada da  $Mg_2Sn$  fazı içinde yer almaktadır.

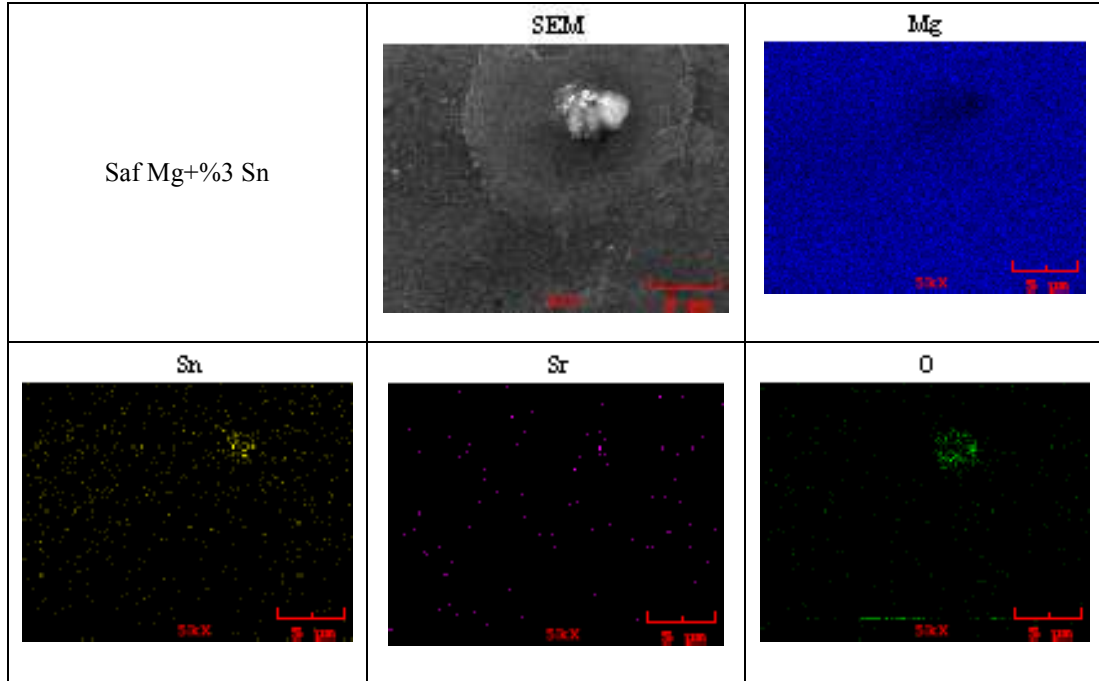
Şekil 5.8' de yani ağırlıkça %0.5 stronsiyum ilavesi yapılan alaşımın EDS analizi görülmektedir. EDS analizi incelendiğinde stronsiyum ilavesi arttıkça magnezyum kalay intermetaliti içindeki stronsiyum miktarı da artış göstermektedir. Koyu renkli matriksin içeriğinde değişiklik olmadığı, halen magnezyumun hakim olduğu ve çok düşük miktarda kalay varlığı görülmektedir.



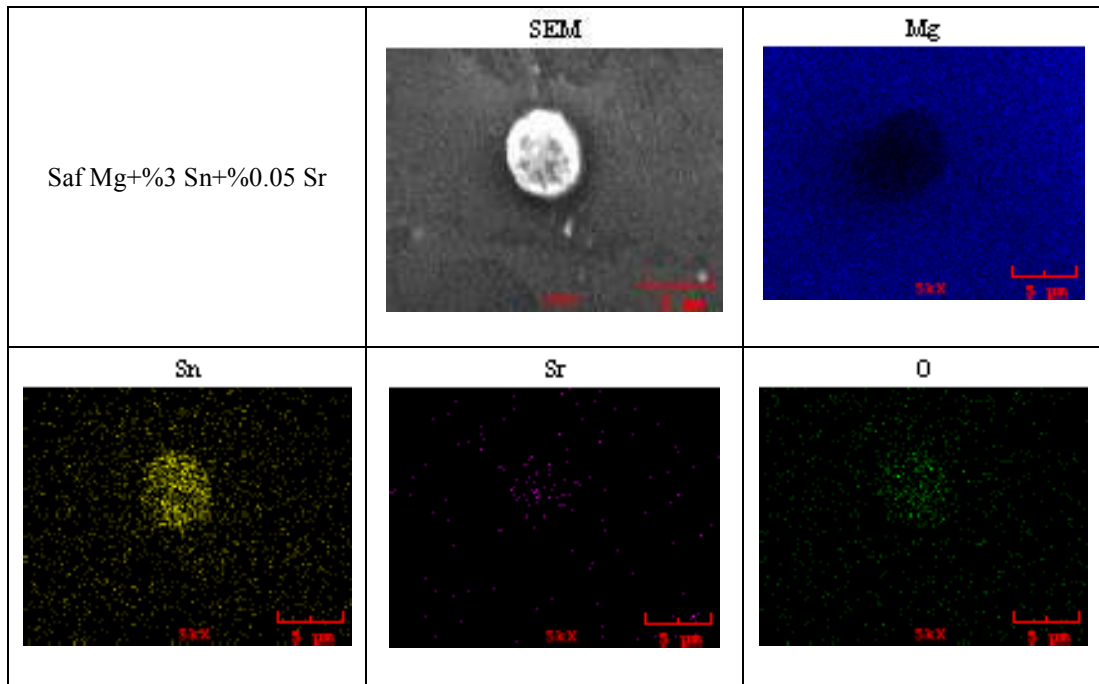
Şekil 5.9. Alaşım 6'ya ait EDS analizleri

Şekil 5.9' de Alaşım 6' nın yani ağırlıkça %3 kalay ilave edilen magnezyuma ağırlıkça %1 oranında stronsiyum ilavesi ile üretilen alaşımın EDS analizi sonucu verilmiştir. EDS analizi sonuçlarına bakıldığında artan stronsiyum miktarının koyu renkli matrikste herhangi bir değişiklik meydana getirmediği ve magnezyum kalay intermetalığı içinde çözünmeye devam ettiği görülmektedir.

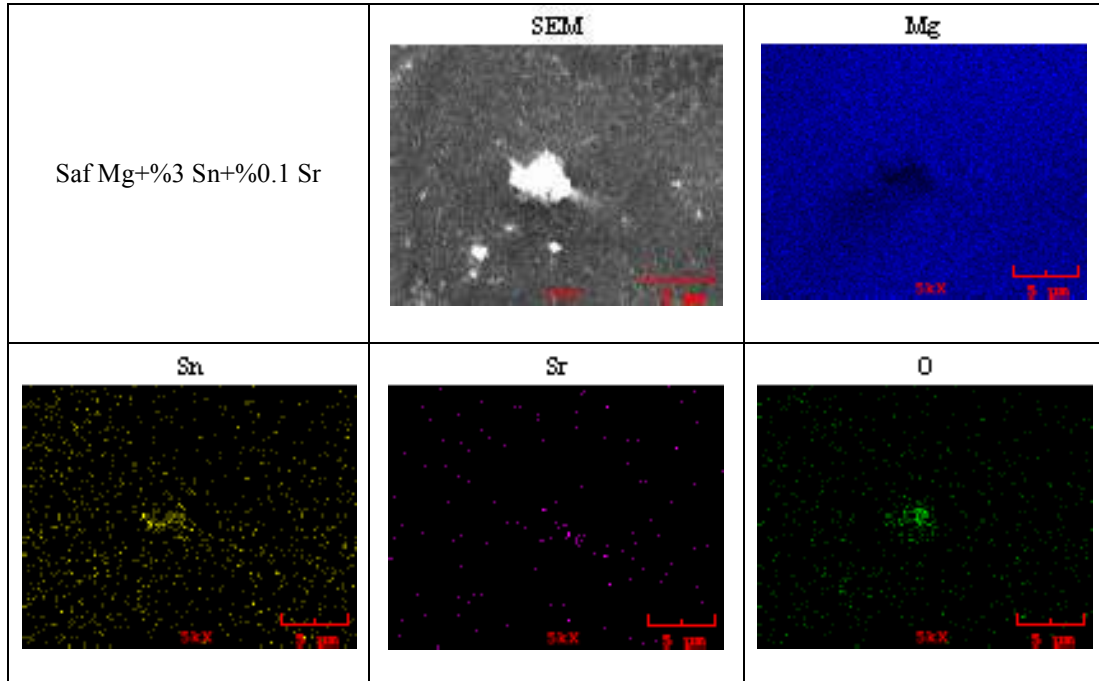
EDS analizlerinden elde edilen verilerde magnezyum-kalay-stronsiyum intermetalığı içinde oksijenin biriktiği, stronsiyumun olmadığı bölgelerde ise oksijen varlığının çok az olduğu görülmektedir. Oksijenin yapıdaki dağılımını görmek amacıyla alan analizi yapılmıştır. Şekil 5.10' dan Şekil 5.15'e kadar alaşımların alan analizleri verilmiştir. Oksijenin tüm yapıya dağıldığı, intermetalığın oksijen tutucu bir özelliği olmadığı anlaşılmıştır.



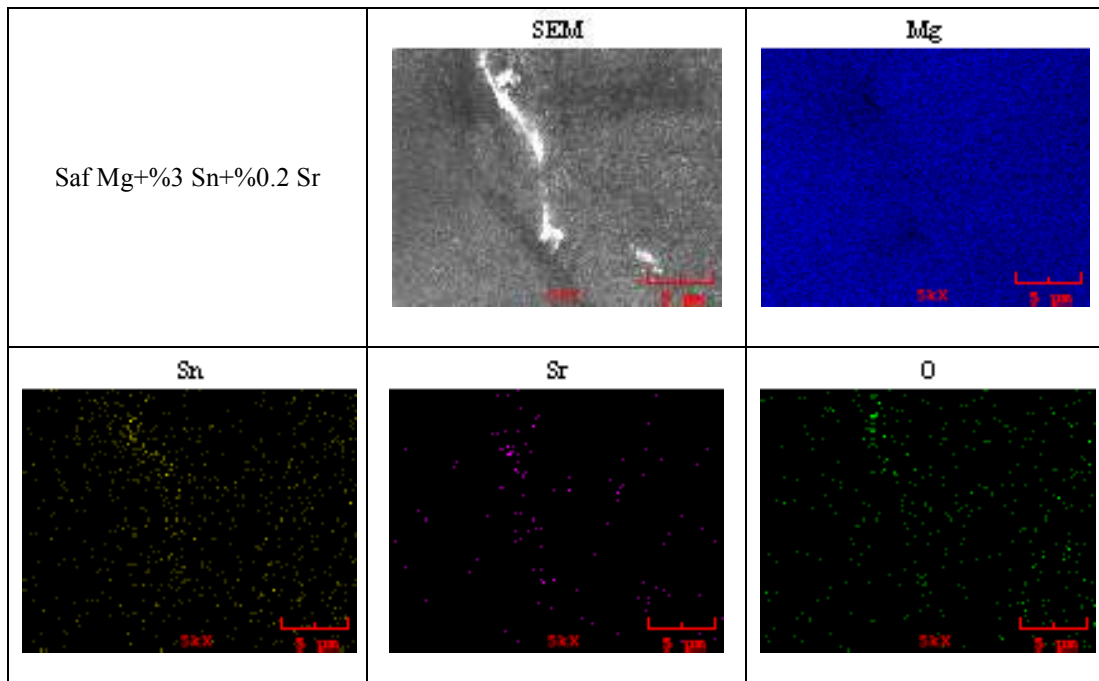
Şekil 5.10. Alaşım 1'e ait alan analizi



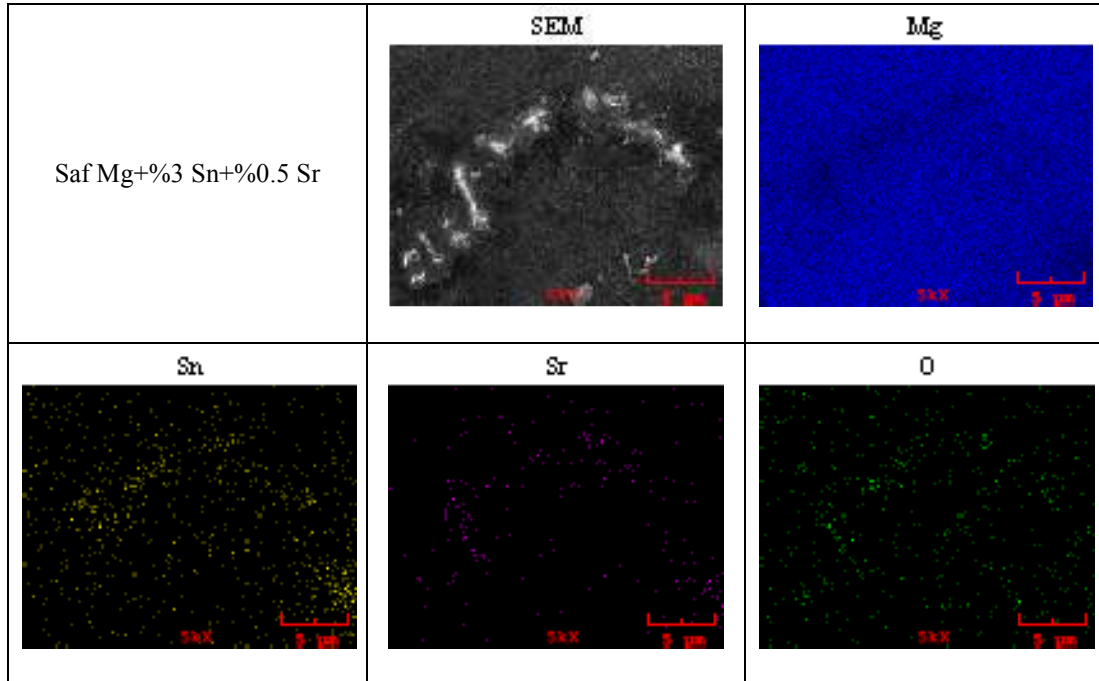
Şekil 5.11. Alaşım 2'ye ait alan analizi



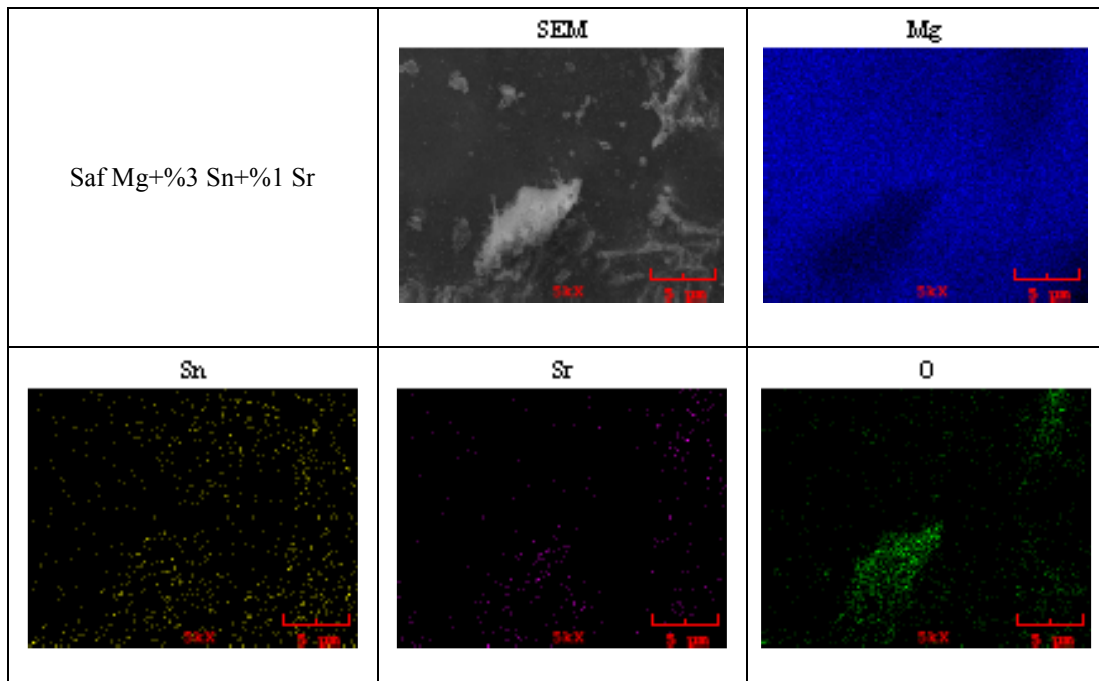
Şekil 5.12. Alaşım 3' e ait alan analizi



Şekil 5.13. Alaşım 4' e ait alan analizi



Şekil 5.14. Alaşım 5' e ait alan analizi



Şekil 5.15. Alaşım 6' ya ait alan analizi

## 5.2. Mekanik Testler

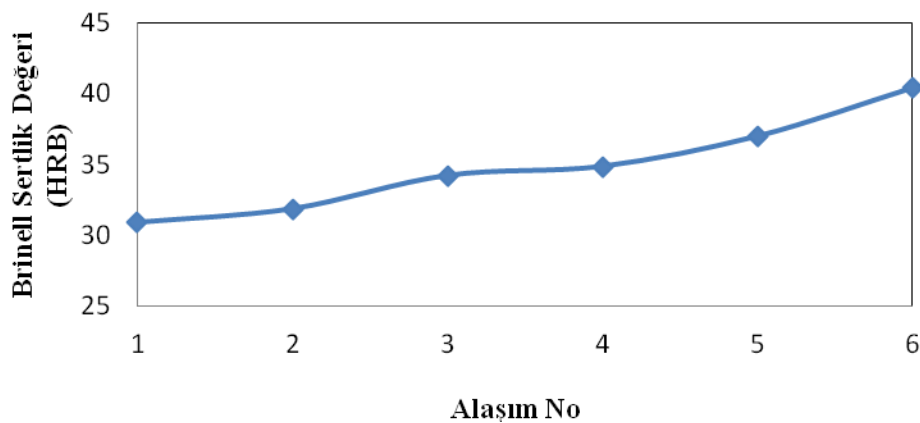
Üretilen alaşımlara mekanik test olarak uygulanan sertlik ve çekme deneylerinden elde edilen sonuçlar Tablo 5.1’ de özetlenmiştir.

Tablo 5.1. Alaşımlara uygulanan mekanik testlerin sonuçları

NUMUNE ADI	BRINELL SERTLİK (HRB)	AKMA DAYANIMI (MPa)	ÇEKME DAYANIMI (MPa)	KOPMA UZAMASI (%)
Alaşım 1	31	64	134	4.65
Alaşım 2	32	63	139	4.9
Alaşım 3	34	67	157	6.2
Alaşım 4	35	65	117	3.35
Alaşım 5	37	67	108	1.85
Alaşım 6	40	66	101.5	1.65

### 5.2.1. Sertlik deneyi sonuçları

Üretilen alaşımlardan elde edilen sertlik sonuçları Şekil 5.10’da gösterilmiştir. Sertlik deneyinde her malzeme için 9’ ar sertlik değeri ölçülmüş ve elde edilen sonuçların ortalaması sertlik değeri olarak kabul edilmiştir.



Şekil 5.16. Alaşımların ortalama sertlik değerlerinin gösterimi

Yan ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada[52], Mg-Al-Ca alaşımına sırasıyla ağırlıkça %0.1-0.2-0.3-0.5 değerlerinde stronsiyum elementi ilave ederek alaşımların mikroyapı ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Stronsiyum elementi ilavesinin yapıdaki Al<sub>4</sub>Ca intermetalığının miktarını artırarak yapıyı güçlendirdiği sonucuna varmışlardır.

Yine son dönemde Liu ve arkadaşları[53] AZ91 alaşımına stronsiyum ilavesinin etkisini araştırmışlardır. Yapıya ilave edilen stronsiyum alaşım elementi oranları ağırlıkça %1-2-3 olarak seçilmiştir. AZ91 alaşımına ilave edilen stronsiyumun alüminyum ve çinkonun tane içindeki çözünürlüğünü artırarak tane yapısını güçlendirdiği ve sertliği artırdığı sonucuna varmışlardır.

Şekil 5.16' da ve Tablo 5.1' de görüldüğü gibi, magnezyuma ağırlıkça % stronsiyum ilavesi ile sertlik değerleri artmıştır. Şekil 5.16' da görüldüğü gibi magnezyuma ağırlıkça %3 kalay ilavesi yapılan alaşımın Brinell sertlik değeri (HB) yaklaşık olarak 31 Brinell olarak ölçülmüştür. Yapıya stronsiyum ilave edilmesiyle sertlik değeri stronsiyum ilavesi arttıkça artmış ve yaklaşık 40.5 Brinell değerine kadar yükselmiştir. Yine grafikten görüldüğü üzere magnezyuma ağırlıkça %3 kalay ilave edilerek üretilen Alaşım 1 ve kalaya ek olarak düşük oranlarda stronsiyum ilave edilerek üretilen alaşımların yani Alaşım 2, Alaşım 3, Alaşım 4, Alaşım 5 ve Alaşım 6' ya uygulanan sertlik testleri sonuçları sırasıyla yaklaşık olarak 31, 32, 34, 35, 37 ve 40 Brinell değerindedir.

Optik mikroskop (Şekil 5.1) ve SEM görüntülerinde (Şekil 5.3) görüldüğü gibi, stronsiyum ilavesi ağırlıkça %3 kalay ilavelerine ek olarak değişik oranlarda ilave edilen ağırlıkça % stronsiyum alaşım elementi mikroyapıyı modifiye etmekte ve tane boyutunu küçültmektedir. Saf magnezyuma ağırlıkça % 3 kalay ilavesi sonucunda alaşım elementinin bir miktarının  $\alpha$ -Mg içerisinde çözünmesi neticesinde meydana gelen katı eriyik sertleşmesi ve oluşan Mg<sub>2</sub>Sn intermetalığı ile sert ikincil fazın bünyede bulunması sertlik artışının temel unsurlarıdır.

Stronsiyum elementinin ilavesi yapıyı karmaşık bir hale getirmektedir. Ağırlıkça %0.05 değerinden %0.1 değerine kadar değişik oranlarda yapıya ilave edilen

stronsiyum (Sr) ilavesi magnezyum ile birlikte herhangi bir yeni faz oluşturmamaktadır (Şekil 5.2 XRD analizleri). Ayrıca stronsiyum elementinin  $Mg_2Sn$  intermetalığı içerisinde çözünmesinin yanı sıra, yapıya stronsiyum ilave edilmesiyle  $\alpha$ -Mg içerisinde kalay elementinin de çözüldüğü görülmüştür (Şekil 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9 EDS analizleri). Dolayısıyla  $\alpha$ -Mg, kalay elementi ile güçlenerek mukavemet kazanmış ve sertlik değerlerinde daha fazla artış meydana gelmiştir.

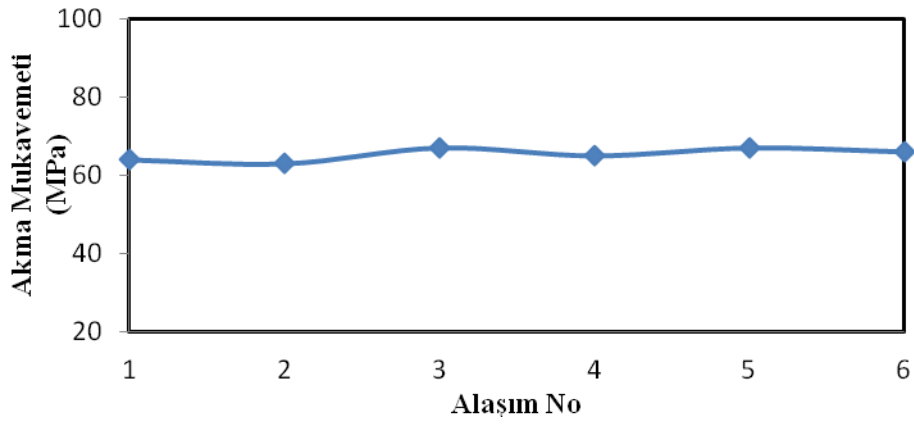
Tüm alaşımların sertlik değerlerine bakıldığında, elde edilen sonuçlarda sürekli bir artış olduğu görülmektedir. Bunun ana sebebi stronsiyum ilavesinin, ağırlıkça %3 kalay elementi ile alaşımlandırılan magnezyumun yapısını kuvvetlendirmesidir. Kalay ve stronsiyum ilavesi, magnezyumun sertliğini iyileştirici etkiye sebep olmuştur. Stronsiyum alaşım elementinin ilavesi ile matriks alaşımının sertlik değeri yaklaşık %33 artmıştır.

### 5.2.2. Çekme testi sonuçları

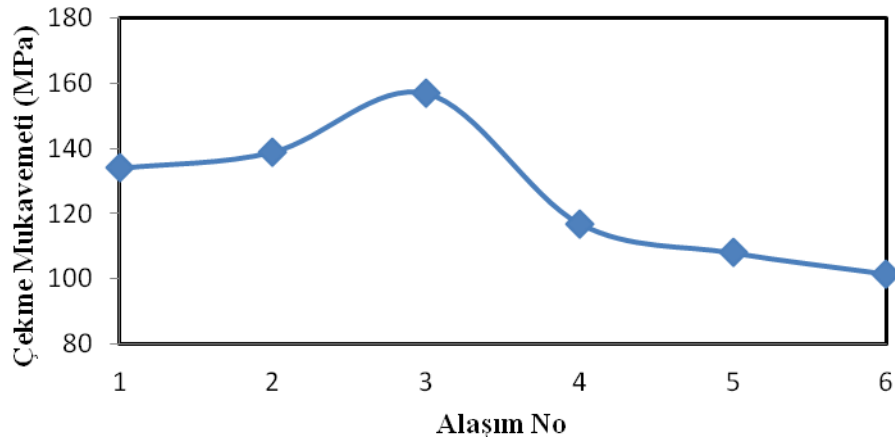
Üretilen alaşımların çekme deneyi sonrası elde edilen akma, çekme mukavemeti ve yüzde (%) uzama değerleri sırası ile Tablo 5.1' de verilmiştir.

Konu ile ilgili literatürde benzer çalışmalar yapılmıştır. Liu ve arkadaşları[54] ağırlıkça %5 kalay ilave edilen magnezyuma %1-10 arasında belli değerlerde stronsiyum elementi ilave ederek alaşım üretmişlerdir. Yapılan çekme testleri sonucu çekme mukavemeti ve uzama miktarının, yapıdaki stronsiyum elementi varlığının artmasıyla önce arttığını daha sonra azaldığını gözlemlemişlerdir. Bunun nedeninin Mg-%5Sn içerisinde çözünen stronsiyum elementinin belli bir miktardan sonra malzemenin gevrekleşmesine neden olduğu sonucuna varmışlardır. Bir diğer çalışmada AZ31 alaşımına stronsiyum ilavesinin etkisi incelenmiştir. Zeng ve arkadaşlarının[55] yaptığı çalışmada stronsiyum elementi ilavesi ile çekme mukavemeti değerleri belli bir stronsiyum miktarına kadar artmış daha sonra azalmıştır.

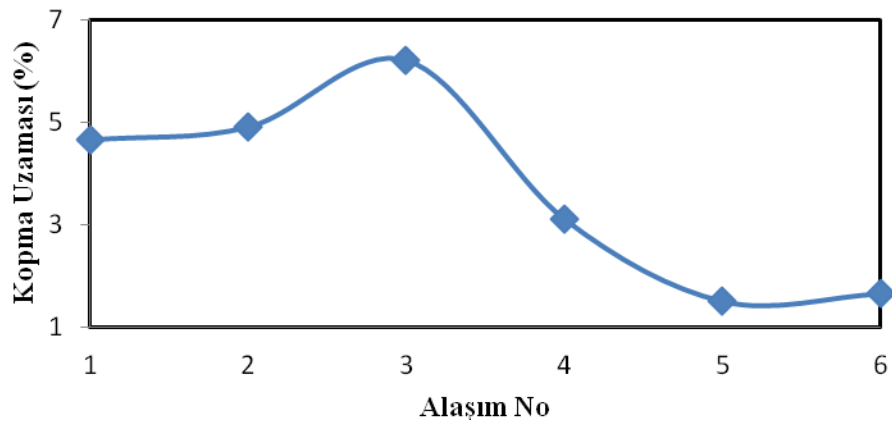




Şekil 5.17. Alaşımın ortalama akma mukavemet değerlerinin grafiksel gösterimi



Şekil 5.18. Alaşımın ortalama çekme mukavemeti değerlerinin grafiksel gösterimi



Şekil 5.19. Alaşımın ortalama kopma uzaması değerlerinin grafiksel gösterimi

Şekil 5.17' de ve Tablo 5.1' de görüldüğü gibi, ağırlıkça %3 kalay ilavesi ile elde edilen magnezyum alaşımına değişik oranlarda stronsiyum elementi ilave edilmesiyle akma mukavemeti değerlerinin sabit kaldığı görülmektedir. Ağırlıkça %3 kalay ilaveli magnezyumun akma mukavemeti değeri 62,5 MPa olarak ölçülürken, ağırlıkça % stronsiyum ilavesinin artmasıyla Alaşım 2, 3, 4, 5 ve 6' nın akma mukavemeti değerleri sırasıyla 64, 63, 67, 65, 67, 66 MPa olarak ölçülmüştür. Stronsiyum elementi ilavesinin, ağırlıkça %3 kalay elementi ilavesi yapılmış magnezyumun akma mukavemetinde etkin bir değişime sebep olmadığı görülmektedir.

Şekil 5.18 ve Şekil 5.19' da görüldüğü gibi, Alaşım 1' e yani ağırlıkça %3 kalay elementi içeren magnezyuma ağırlıkça % stronsiyum ilavesi ile yüzde uzama değerleri belli bir orana kadar artıp daha sonra azalırken aynı durum çekme mukavemeti değerlerinde de gözlenmiştir. Tablo 5.1' de elde edilen verilerde, Alaşım 1' in yüzde uzama değeri 4.65 olarak ölçülürken Alaşım 2, 3, 4, 5 ve 6' nın yüzde uzama değerleri 4.9, 6.2, 3.1, 1.5 ve 1.65 olarak ölçülmüştür. Tablo 5.1' de maksimum çekme mukavemeti değerlerine bakıldığında, Alaşım 1'in maksimum çekme mukavemeti 134 MPa olarak ölçülürken Alaşım 2, 3, 4, 5 ve 6' nın maksimum çekme mukavemetleri sırasıyla 139, 157, 117, 108 ve 101.5 MPa olarak ölçülmüştür.

Ağırlıkça % 0.1 stronsiyum ilavesine kadar çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerlerindeki artış, yapıya ilave edilen stronsiyumun  $Mg_2Sn$  fazının miktarını artırıp çoğunlukla tane sınırlarında çökmesiyle dislokasyon hareketini engelleyip, tane sınırlarını kuvvetlendirme etkisinden ileri gelmektedir. Ağırlıkça % 0.1 stronsiyum ilavesinden sonra  $Mg_2Sn$  intermetaligi içerisinde çözünen stronsiyum elementi miktarının artmasıyla yapı içindeki  $Mg_2Sn$  miktarı artarak tane sınırlarında ağ formu oluşturmaya yönelmektedir. Bu intermetalik fazların varlığı ve ağ morfolojisi, çatlakların başlamasını ve çoğalmasını kolaylaştırarak mukavemet ve süneklik üzerinde ters etkiye sebep olur.

Yapılan optik mikroskop çalışmalarından elde edilen mikroyapı görüntülerinden (Şekil 5.1) görüldüğü gibi, ağırlıkça %3 kalay ilavesine ek olarak ağırlıkça %0.05,

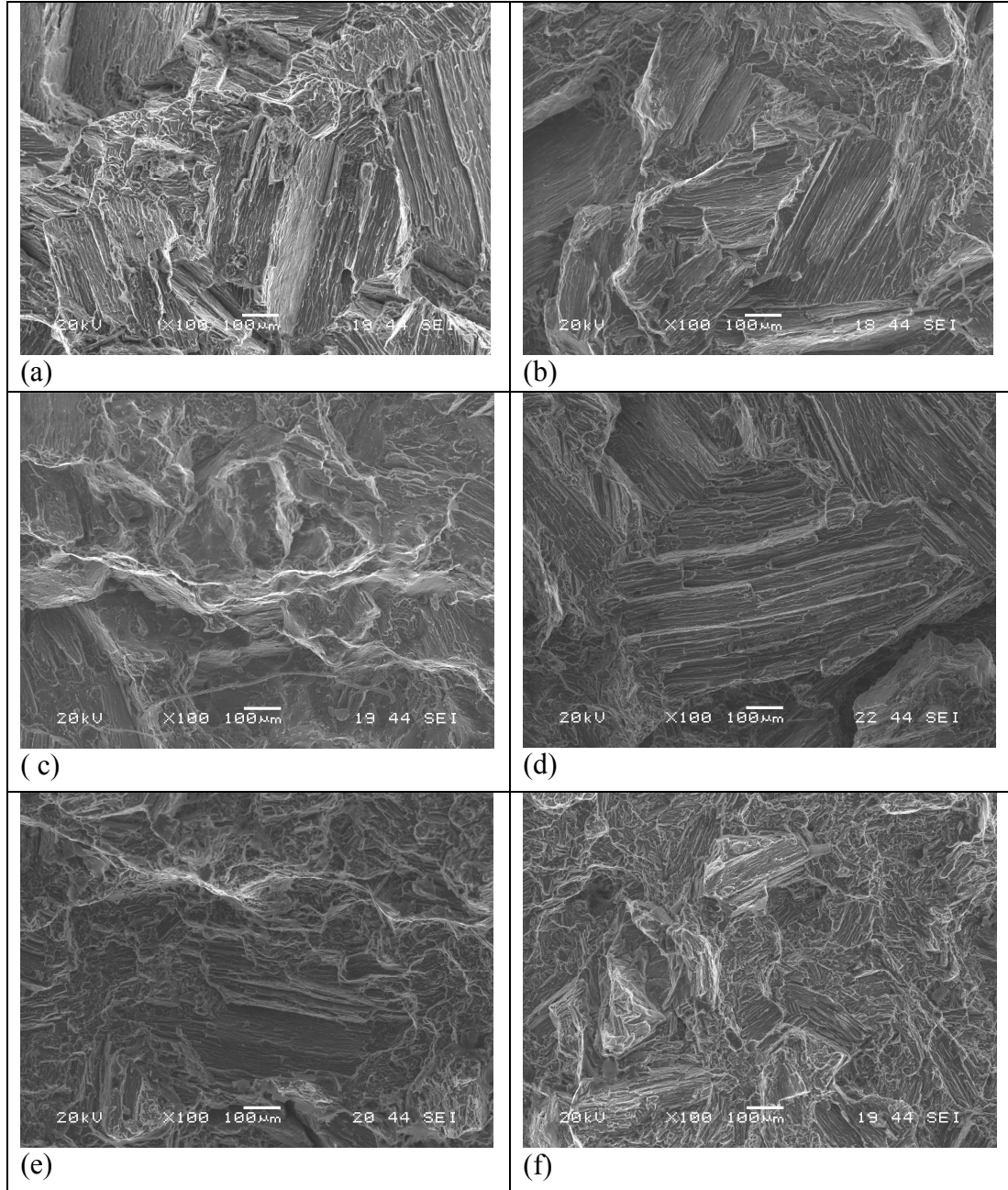
%0.1, %0.2, %0.5 ve %1 stronsiyum alaşım elementi ilavesi saf magnezyumun tane boyutunu dūřürmekte, yeni bir faz oluşturmamakta (şekil 5.3) ve EDS analizlerinde de  $\alpha$ -Mg içerisinde kalay elementi çözünmektedir(şekil 5.5 -5.9).  $\alpha$ -Mg içinde bir miktar kalay alaşım elementinin çözünmüş olması katı eriyik sertleşmesi sağlamış ve sertlik artmıştır.

Ağırlıkça % 3 kalay ilaveli magnezyum alaşımına ağırlıkça %0.1 değerine kadar stronsiyum ilavesi ile mukavemet artmış, ağırlıkça % stronsiyum ilavesinin değeri %1' e ulaştığında mukavemet azalmıştır. Ağırlıkça % stronsiyum ilavesi ile  $Mg_2Sn$  intermetaliliğinin bünyesindeki çözünmüş stronsiyum miktarının artmasıyla malzeme gevrekleşmiş, çatlak oluşumu gibi durumlar daha kolay hale gelmiştir ve çekme dayanımı dūřmüřtür. Sonuç olarak, ağırlıkça %3 kalay ilaveli magnezyuma stronsiyum alaşım elementi ilavesi ile yüzde uzama ve çekme mukavemetinin belli bir seviyeye kadar artmasının sebebi katı eriyik sertleşmesi, bünyede  $Mg_2Sn$  intermetaliliğinin içerisinde çözünmüş olan kalay alaşım elementinin yapıyı kuvvetlendirmesidir.

En iyi yüzde uzama ve çekme mukavemeti değerleri, saf magnezyuma ağırlıkça %3 kalay ilavesine ek olarak ağırlıkça %0.1 stronsiyum ilavesi yapılan alaşım yani Alaşım 3' te elde edilmiştir.

şekil 5.14'de alaşımların oda sıcaklığındaki çekme testi sonucunda meydana gelen kırılma yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri gösterilmektedir.

Magnezyum alaşımlarının başlıca kırılma modları; klivaj kırılma, yarı klivaj kırılma ve tanelerarası kırılmadır. Birçok Mg alaşımı, hegzagonal kristal yapıya ve birkaç kayma sistemine sahiptir. İki veya daha fazla kayma sistemi aynı zamanlarda aktif olur. Buna rağmen, sünek kırılma çukurlaşma karakteristiği, Mg alaşımlarının başlıca kırılma modunda değildir[51].



Şekil 5.20. a) Alışım 1, b) Alışım 2, c) Alışım 3, d) Alışım 4, e) Alışım 5, f) Alışım 6'ya ait kırık yüzeyi görüntüleri

Şekil 5.20 (a)' da saf magnezyuma ağırlıkça %3 kalay ilave edilerek üretilen Alışım 1' in oda sıcaklığında çekme kırılma yüzeylerinin SEM görüntüsü verilmiştir. Çok büyük paralel düzlemlerin mevcudiyeti görülmektedir. Bu da, yüzeyde daha çok gevrek kırılma yani klivaj kırılmanın hakim olduğunu göstermektedir. Klivaj kırılmada kırılan yüzeyin görüntüsü sünek kırılmaya kıyasla daha düz ve daha parlaktır.

Şekil 5.20 (b)' de Alaşım 2'nin kırık yüzeyinin SEM mikroyapı görüntüsü görülmektedir. Alaşım 1' e göre ağırlıkça %0.05 stronsiyum (Sr) ilaveli alaşımın (Alaşım 2) kırık yüzeyinde nispeten çukurlaşmalar (dimples) meydana gelmiştir. Kırık yüzeylerin SEM görüntüsünden, stronsiyum (Sr) alaşım elementinin ağırlıkça %0.05 ilavesi ile süneklik düşük bir miktarda artmıştır. Fakat yine de bazı kısımlarda düz paralel parlak yüzeyler mevcuttur. Bu kırılma görüntüsü tamamen sünek kırılmaya sahip değildir.

Şekil 5.20 (c)' de Alaşım 3' ün çekme deneyi sonrası oluşan kırık yüzeyinin SEM görüntüsünden, Alaşım 1' e göre ağırlıkça %0.1 stronsiyum (Sr) ilavesi ile çukurlaşmaların daha da arttığı görülmektedir. Dolayısıyla gevrek kırılmaya ait düz parlak yüzeyler azalarak alaşımın sünekliliğini daha da arttırmıştır.

Şekil 5.20 (d)' de Alaşım 4' ün çekme deneyi sonrası kırık yüzeyinin SEM görüntüsü verilmektedir. Bu SEM görüntüsünden Alaşım 4'ün ağırlıkça %0.2 stronsiyum (Sr) ilavesi ile meydana gelen çukurcukların (dimples) Alaşım 3'e göre azaldığı, gevrek kırılmaya ait parlak düzlemsel yapılarında arttığı net bir şekilde görülmektedir.

Şekil 5.14 (e)' de Alaşım 5'in kırık yüzeyinden alınan SEM görüntüsünden, ağırlıkça %3 kalay elementi ilaveli magnezyuma (Alaşım 1) göre ağırlıkça %0.5 stronsiyum (Sr) ilavesi ile sünek kırılmaya ait çukurcukların (dimples) azaldığı ve gevrek kırılmaya ait parlak düzlemlerin arttığı görülmektedir.. Dolayısıyla artan stronsiyum alaşım elementi ilavesi ile birlikte süneklik azalmıştır. Alaşım 5, Alaşım 2 ve Alaşım 3 ve Alaşım 4' e göre daha gevrek bir yapıya sahiptir.

Şekil 5.20 (f)' de Alaşım 6'nın çekme deneyi sonrası kırık yüzeyinden alınan SEM görüntüsünden, ağırlıkça %3 kalay ilavesinin yanında ağırlıkça %1 stronsiyum ilavesi ile oluşan çukurcukların (dimples) daha da azalmasıyla kırılma modu olarak gevrek kırılma daha fazla hakim olmuştur. Dolayısıyla Alaşım 6; Alaşım 1, Alaşım 2, Alaşım 3, Alaşım 4 ve Alaşım 5'ten daha gevrek bir yapıya sahiptir.

Sonuç olarak %3 kalay ilaveli alaşımlar arasında Alaşım 3 maksimum sünekliğe sahiptir. Saf magnezyuma ağırlıkça % stronsiyum ilavesi ile süneklik belli bir orana kadar artmakta daha sonra azalmaktadır. Bu azalmanın sebebi, muhtemelen ilave edilen stronsiyum alaşım elementinin magnezyum (Mg) ile kalayın (Sn) oluşturduğu sert ve kırılgan özelliğe sahip  $Mg_2Sn$  intermetalığının içinde çözünmesi ile yapıyı değiştirmesidir. Alaşım 4, 5 ve 6'nın sünekliğinin azalmasından ağırlıkça % stronsiyum oranının 0.2 ve üstü değerlere ulaşmasının yapıyı gevreklettiği görülmektedir.

## BÖLÜM 6. SONUÇLAR

Magnezyum ve alaşımlarının üretimleri, çok çeşitli prosesler ile yapılmaktadır. Bu prosesler, üretilecek alaşımların mekanik özelliklerini ve mikro yapılarını direk etkilediğinden proses seçimi oldukça önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, kokil kalıba döküm yöntemiyle alaşımların üretilmesi ve ilave edilen alaşım elementlerinin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Üretilen numunelerde mikro yapı ve mekanik test (sertlik ve çekme) çalışmaları yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

1. Ağırlıkça %3 kalay alaşım elementi ilave edilen saf magnezyuma kalay değeri sabit tutularak belirli oranlarda (%0.05-0.1-0.2-0.5-1) stronsiyum alaşım elementi ilavesi ile yapıda meydana gelen değişim gözlenmiştir. Alınan optik mikroskop görüntülerinde stronsiyum ilavesi ile dendrit kollarının kısaldığı görülmüştür. XRD sonuçlarında, stronsiyum ilavesinden sonra yapıda  $\alpha$ -Mg ve kalay ilavesi ile yapıda oluşan  $Mg_2Sn$  intermetalığı dışında herhangi yeni bir fazın oluşmadığı tespit edilmiştir. Fakat yapılan EDS analizlerinde yapıya ilave edilen stronsiyumun  $Mg_2Sn$  intermetalığı içerisinde çözüldüğü ve ayrıca stronsiyum alaşım elementinin ilavesi ile  $\alpha$ -Mg fazında bir miktar kalay elementi çözüldüğü görülmektedir. Stronsiyum magnezyum içindeki düşük çözünürlüğü ve ilave miktarının az olması sebebiyle yapıda yeni bir faz meydana getirmemiştir.
2. Stronsiyum alaşım elementinin ilavesi arttıkça ağırlıkça %3 kalay içeren magnezyumun sertliği artmıştır. Stronsiyum ilavesi olmayan ilk alaşımda sertlik değeri 31 iken içerdiği stronsiyum değeri ağırlıkça %1 olan son alaşımın sertlik değeri 40.5 Brinell olarak ölçülmüştür. Stronsiyum alaşımın sertlik değerini yaklaşık %33 oranında artırmıştır.

3. Alaşımlara uygulanan çekme testleri sonucunda stronsiyum elementi ilavesinin akma mukavemetini değiştirmediği görülmüştür. İlk alaşımda 64 MPa olarak ölçülen akma mukavemeti değeri diğer alaşımlarda sırasıyla 63, 67, 65, 67 ve 66 MPa olarak ölçülmüştür.
4. Ağırlıkça %3 kalay içeren saf magnezyuma stronsiyum elementi ilavesi ile çekme mukavemeti belli bir değere kadar artmış (ağ. %0.1) ve stronsiyum miktarının artmasıyla azalmıştır. Ağırlıkça %3 kalay içeren magnezyum alaşımında %0.1'e kadar olan stronsiyum elementi ilavesinin yapıya pozitif etki ettiği gözlemlenmiştir.
5. Çekme testinden elde edilen % uzama verilerinde çekme mukavemeti değerlerinde gözlemlenen sonuçlara benzer şekilde ağırlıkça %0.1 stronsiyum elementi ilavesinde en yüksek uzama değeri elde edilmiş fakat stronsiyum miktarının artmasıyla uzama değeri belirgin bir biçimde düşüş göstermiştir. Sonuç olarak yapıdaki stronsiyum miktarının %0.1'den sonra malzemenin sünekliğini düşürdüğü gözlemlenmiştir.



## KAYNAKLAR

- [1] BLAWERT N., HORT N., KAINER K. U., Automotive Applications of Magnesium and its Alloys, Center for Magnesium Technology, Institute for Materials Research, GKSS-Research Centre Geesthacht GmbH, Vol. 57, No. 4, Ağustos 2004
- [2] BARTOS S., LAUSH C., SCHARFENBERG J., KANTAMAMENI R., Reducing Greenhouse Gas Emissions from Magnesium Diecasting, Journal of Cleaner Production 15, syf. 979-987, 2007
- [3] [http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/malzeme2/Magnezyum\\_ve\\_Magnezyum\\_Alasimlari.pdf](http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/malzeme2/Magnezyum_ve_Magnezyum_Alasimlari.pdf), Eylül 2011
- [4] KARTERİ İ, Yüksek Lisans Tezi, Magnezyum Esaslı Alaşımlarda Faz Dönüşümlerinin İncelenmesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Ağustos 2010
- [5] KULEKÇİ K. K., Magnesium and its Alloys Applications in Automotive Industry, International Advanced Manufacturing Technology, 2007
- [6] <http://tr.wikipedia.org/wiki/Magnezyum>, Ocak 2011
- [7] <http://www.keytometals.com/Article138.htm>, Ocak 2011
- [8] ÜNAL M., Doktora Tezi, Magnezyum Alaşımlarının Döküm Özelliklerinin İncelenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi, Ocak 2008
- [9] BARBER L. P., Master Thesis, Characterization of the Solidification Behaviour and Resultant Microstructures of Magnesium-Aluminum Alloys, Worcester Polytechnic Institute, Materials Science and Engineering, Aralık 2004
- [10] KAINER K. U., Magnesium-Alloys and Technology, German Association for Material Science, Institute for Material Research, GKSS Research Center Geesthacht GmbH, 2003
- [11] PEKGULERYUZ M. O., KAYA A. A., Creep Resistant Magnesium Alloys for Powertrain Applications, Advanced Engineering Materials 5, No. 12, 2003

- [12] LIHONG W., LIGUO W., PAN W., SHAOKANG G., Superplasticity and Deformation Mechanism of Mg-7.0Al-0.27Zn Alloys, Rare Metal Materials and Engineering, Volume 39, Issue 2, syf. 194-198, Şubat 2010
- [13] [http://web.itu.edu.tr/ozgulkeles/dersler/Malzeme\\_Bilimi\\_13\\_2008.pdf](http://web.itu.edu.tr/ozgulkeles/dersler/Malzeme_Bilimi_13_2008.pdf), Aralık 2011
- [14] [http://megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/modul\\_pdf/521MMI286.pdf](http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/modul_pdf/521MMI286.pdf), Aralık 2011
- [15] SADDOCK N. D., Ph. D. Thesis, Microstructure and Creep Behaviour of Mg-Al Alloys Containing Alkaline and Rare Earth Additions, The University of Michigan, Materials Science and Engineering, 2008
- [16] KAÇAR İ., ÖZTÜRK F., Magnezyum Alaşımlarının Şekillendirilmesinde Son Gelişmeler, Tasarım İmalat Analiz Kongresi, syf. 354-361, Nisan 2006
- [17] GRAY J. E., LUAN B., Protective coatings on Magnesium and its Alloys-A Critical Review, Journal of Alloys and Compounds 336, syf. 88-113, 2002
- [18] MORDIKE B. L., Creep-resistant Magnesium Alloys, Materials Science and Engineering A324, syf. 103-112, 2002
- [19] MORDIKE B. L., EBERT T., Magnesium Properties-Applications-Potential, Material Science and Engineering A302, syf. 37-45, 2001
- [20] FRIEDRICH H. E., MORDIKE B. L., Magnesium Technology-Metallurgy, Design, Data, Applications, syf. 145-166, 2006
- [21] ÖZTÜRK K., LIU Z., Phase Identification and Microanalysis in the Mg-Al-Ca System, Magnesium Technology, syf. 195-200, 2003
- [22] SONG G. L., ATRENS A., Corrosion Mechanisms of Magnesium Alloys, Advanced Engineering Materials, 1, No. 1, 1999
- [23] LEIL T. A., HORT N., DIETZEL W., BLAWERT C., HUANG Y., KAINER K. U., RAO K. P., Microstructure and Corrosion Behaviour of Mg-Sn-Ca Alloys After Extrusion, Transactions of Nonferrous Metals Society of China 19, syf. 40-44, 2009
- [24] CAO P., QIAN M., STJOHN D. H., Grain coarsening of magnesium alloys by beryllium, Scripta Materialia 51, syf. 647-651, 2004
- [25] CIZEK L., PAWLICA L., KOCICH R., JANOSEC M., TANSKI T., PRAZMOWSKI M., Structure and properties of Mg-Zr and Mg-Si Alloys, Journal of Achievements in Materials and MANufacturing Engineering, Volume 27, Issue 2, syf. 127-130, Nisan 2008

- [26] LEE Y. C., DAHLE A. K., StJOHN D. H., The Role of Solute in Grain Refinement of Magnesium, Metallurgical and Materials Transactions A, Volume 31A, syf. 2895-2906, Kasım 2000
- [27] QIU D., ZHANG M. X., Effect of active heterogeneous nucleation particles on the grain refining efficiency in an Mg-10 wt%Y cast alloy, Journal of Alloys and Compounds 488, syf. 260-264, 2009
- [28] SUZUKI A., SADDOCK N. D., RIESTER L., LARA-CURZIO E., JONES J. W., POLLOCK T. M., Effect of Sr Additions on the Microstructure and Strength of a Mg-Al-Ca Ternary Alloy, Metallurgical and Materials Transactions A, 420, Volume 38A, syf. 420-427, Şubat 2007
- [29] YANG Z., LI J. P., ZHANG J. X., LORIMER G. W., ROBSON J., Review on Research and Development of Magnesium Alloys, Acta Metallurgica Sinica, Volume 21, No. 5, syf. 313-328
- [30] KOÇ E., Alaşım Elementlerinin Magnezyum Döküm Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi, Temmuz 2008
- [31] ZHANG Q., WANG S. P., HU H., Effect of strontium content on porosity and tensile properties of squeeze cast Mg-Al-Sr alloy, Materials Technology, Vol. 24, No. 3, syf. 166-169, 2009
- [32] BARIL E., LABELLE P., PEKGÜLERYÜZ M. O., Elevated Temperature Mg-Al-Sr: Creep Resistance, Mechanical Properties, and Microstructure, Journal of Materials, syf. 34-39, Kasım 2003
- [33] ASM Handbook, Vol. 3, syf. 305-1108, 1992
- [34] GRÖBNER J., JANZ A., KOZLOV A., MIRKOVIC D., SCHMID-FETZER R., Phase Diagrams of Advanced Magnesium Alloys Containing Al, Ca, Sn, Sr, and Mn, Journal of Materials, syf. 32-38, Aralık 2008
- [35] PEKGÜLERYÜZ M., LABELLE P., ARGO D., BARIL E., Magnesium Diecasting Alloy AJ62X With Superior Creep Resistance, Ductility and Diecastability, Magnesium Technology, syf. 201-206, 2003
- [36] PARVEZ M. A., MEDRAJ M., ESSADIQI E., MUNTASAR A., DENES G., Experimental Study of the ternary Magnesium-Aluminium-Strontium System, Journal of Alloys and Compounds 402, syf. 170-185, 2005
- [37] KUNST M., BUNK A. F., L'ESPERANCE G., PLAMONDON P., GLATZEL U., Microstructure and dislocation analysis after creep deformation of die-cast Mg-Al-Sr (AJ) alloy, Materials Science and Engineering A 510-511, syf. 387-392, 2009

- [38] KESKİN S., Yüksek Lisans Tezi, Kalay ve Çinko Elementlerinin Magnezyum Metaline İlavesi ve Özelliklerinin İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Ocak 2011
- [39] ERÇAYHAN Y., Alaşım Elementlerinin Magnezyumun Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 2010
- [40] LIU H., CHENA Y., TANG Y., WEI S., NIU G., The microstructure, tensile properties, and creep behaviour of as-cast Mg-(1-10)%Sn alloys, Journal of Compounds 440, syf. 122-126, Aralık 2006
- [41] KIM B. H., JEON J. J., PARK K. C., PARK B. G., PARK Y. H., PARK I. M., Microstructural characterization and mechanical properties of Mg-xSn-Al-Zn alloys, Archives of Materials Science and Engineering, Vol. 30, Issue 2, syf 93-96, Nisan 2008
- [42] QIAN M., StJOHN D. H., FROST M. T., Zirconium Alloying and Refinement of Magnesium Alloys, Magnesium Technology, syf. 209-214, 2003
- [43] YICHUAN P., XIANGFA L., HUA Y., Sr Microalloying for Refining Grain Size of AZ91D Magnesium Alloy, Journal of Wuhan University of Technology-Material Science Education, Vol. 22, No. 1, syf. 74-76, Şubat 2007
- [44] ŞEVİK H., AÇIKGÖZ Ş., KURNAZ S. C., The effect of tin addition on the microstructure and mechanical properties of squeeze cast AM60 alloy, Journal of Alloys and Compounds 508, syf. 110-114, 2010
- [45] ATALAY O., Magnezyum ve Alaşımlarının Konstrüksiyon Malzemesi Olarak Kullanımı, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Haziran 2006
- [46] ZHANG Z., PhD. Thesis, Development of Magnesium-Based Alloys for Elevated Temperature Applications, University of Naval, Quebec, Ocak 2000
- [47] ÇİĞDEM M., İmal Usulleri, syf. 54, 2006
- [48] ARAN A., Döküm Teknolojisi, İmal Usulleri Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, syf. 73-76, 2007
- [49] [www.atacelik.com/kokil.html](http://www.atacelik.com/kokil.html), Kasım 2011
- [50] <http://mf.dpu.edu.tr/~runal/dersler/uretim/02dokumdiger.pdf>, Kasım 2011

- [51] JIHUA C., ZHENHUA C., HONGGE Y., FUQUAN Z., KUN L., Effect of Sn addition on microstructure and mechanical properties of Mg-Zn-Al alloys, Elsevier, Journal of Alloys and Compounds 461, syf. 209-215, 2008.
- [52] YAN L., XING B., LUO-XING L., Effect of Sr addition of as-cast Mg-Al-Ca alloy, Transactions of Nonferrous Metals Society of China 21, syf.1247-1252, 2011.
- [53] LIU S. F., LIU L. Y., KANG L. G., Refinement role of electromagnetic stirring and strontium in AZ91 magnesium alloy, Journal of Alloys and Compounds 450, syf. 546-550, 2008.
- [54] LIU H., CHEN Y., ZHAO H., WEI S., GAO W., Effects of strontium on microstructure and mechanical properties of as-cast Mg-5wt.%Sn alloy, Journal of Alloys and Compounds 504, syf. 345-350, 2010.
- [55] ZENG X., WANG Y., DING W., LUO A. A., SACHDEV K., Effect of Strontium on the Microstructure, Mechanical Properties, and Fracture Behaviour of AZ91 Magnesium Alloy, Metallurgical and Materials Transactions A, Vol. 37A, syf 1333-1341, Nisan 2006.

## ÖZGEÇMİŞ

Mediha Öbekcan, 30.11.1987 de Samsun' da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Samsun' da tamamladı. 2005 yılında Samsun 19 Mayıs Lisesi, Fen Bilimleri Bölümünden mezun oldu. 2005 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünü 2009 yılında bitirdi. 2009 yılında Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans yapmaya hak kazandı. Halen yüksek lisansı devam etmektedir.