

**MAGNEZYUM-ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ  
KONTROLLÜ ATMOSFERDE GRAVİTYE  
DÖKÜM YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMESİ VE  
ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ÖZELLİKLERE  
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**GÜLŞAH GERMEN TUTAŞ**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NANOTEKNOLOJİ VE İLERİ MALZEMELER  
ANA BİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Danışman  
Prof. Dr. Ahmet BALDAN  
Eş Danışman  
Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ŞEVİK**

**MERSİN  
OCAK – 2016**

Gülşah GERMEN TUTAŞ tarafından Prof. Dr. Ahmet BALDAN danışmanlığında ve Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ŞEVİK eş danışmanlığında hazırlanan 'Magnezyum-Alüminyum Alaşımlarının Kontrolü Atmosferde Gravity Döküm Yöntemi İle Üretilmesi Ve Alaşım Elementlerinin Özelliklere Etkisinin İncelenmesi' başlıklı bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Prof. Dr. Ahmet BALDAN

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ŞEVİK

Yrd. Doç. Dr. Levent Cenk KUMRUOĞLU

Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 26./02./2016 tarih ve 2016.8/309 sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

Gülşah GERMEN TUTAŞ tarafından Prof. Dr. Ahmet BALDAN danışmanlığında ve Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ŞEVİK eş danışmanlığında hazırlanan ‘Magnezyum-Alüminyum Alaşımlarının Kontrollü Atmosferde Gravity Döküm Yöntemi İle Üretilmesi Ve Alaşım Elementlerinin Özelliklere Etkisinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Prof. Dr. Ahmet BALDAN

.....

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ŞEVİK

.....

Yrd. Doç. Dr. Levent Cenk KUMRUOĞLU

.....

Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun ...../...../.....tarih ve ...../..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Ayla ÇELİK  
Enstitü Müdürü

*Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.*

# **MAGNEZYUM-ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ KONTROLLÜ ATMOSFERDE GRAVİTY DÖKÜM YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMESİ VE ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**GÜLŞAH GERMEN TUTAŞ**

## **ÖZ**

Magnezyum alaşımlarının mukavemet/ağırlık, mukavemet/yoğunluk oranları diğer metal alaşımlarına göre dikkat çekici hale gelmiştir ve birçok çalışmaya konu olmuştur. Bu çalışmada, magnezyum esaslı Mg-3Al-3Sn alaşımı gravity döküm yöntemiyle kontrollü atmosferde üretilmiş ve farklı oranlarda ilave edilen Sr'nin alaşım üzerine etkileri incelenmiştir. Kuru kaydırmalı koşullarda pin-on-disc yöntemi kullanılarak Mg-3Al-3Sn-xSr alaşımının aşınma davranışı test edilmiştir. Aşınma testi iki farklı 5 ve 10 N yük altında,  $1\text{ms}^{-1}$  sabit kaydırma hızı ve oda sıcaklığında 3.6 km'lik toplam kaydırma uzaklığı koşullarında yapılmıştır. Aşınmış yüzey, tarayıcı elektron mikroskobu ve enerji dağıtıcı X-ray spektrometrisi kullanılarak aşınma mekanizmalarını belirlemek amacıyla analiz edilmiştir. Ayrıca çekme testi, sertlik testi gibi mekanik testler uygulanmıştır. Stronsiyum ilavesinin alaşımın akma, çekme mukavemeti ve sertlik değerlerine etkisi incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Magnezyum Alaşımları, Magnezyum-Alüminyum Alaşımları, Stronsiyum, Gravity Döküm

**Danışman:** Prof. Dr. Ahmet BALDAN, Mersin Üniversitesi, Nanoteknoloji ve İleri Malzemeler Anabilim Dalı

**Eş Danışman:** Yrd. Doç. Dr Hüseyin ŞEVİK, Mersin Üniversitesi, Nanoteknoloji ve İleri Malzemeler Anabilim Dalı

## **RESEARCH OF MAGNESIUM-ALUMINUM ALOYS PRODUCED BY GRAVITY CASTING PROSESS TO CONTROL THE ATMOSPHER AND IMPACT PROPERTIES OF ALLOY ELEMENTS**

**GÜLŞAH GERMEN TUTAŞ**

### **ABSTRACT**

The Strenght/weight, strenght/density ratio of magnesium alloys according to other metal alloys to be attractive and many studies were done on this topic. In the study, the magnesium-based Mg-3Al-3Sn alloy produced by gravity casting method to controlled atmosphere and the effects of addition of Sr in the alloy was investigated at different rates. The wear behavior of Mg-3Al-3Sn-xSr alloys was tested using pin-on-disc in dry sliding condition. Wear tests were carried out at two different loads of 5 and 10 N, constant sliding speed of 1 ms<sup>-1</sup> and a total sliding distance of 3.6 km at room temperature. Worn surface was analyzed using scanning electron microscopy and energy dispersive X-ray spectrometry to define the main wear mechanisms. In addition, tensile test and hardness test. The effect of tensile strength and hardness of the alloy by addition of stronsium was examined.

**Key Words:** Mgnesium Alloys, Magnesyuim-Alüminium Alloys, strontium, gravity casting

**Advisor:** Prof. Dr. Ahmet Baldan, Mersin University, Department of Nanotechnology and Advanced Materials

**Co-Advisor:** Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ŞEVİK, Mersin University, Department of Nanotechnology and Advanced Materials

## **TEŞEKKÜRLER**

Amacı bilim dünyasına ve insanlığa katkı sağlamak olan ‘Magnezyum-Alüminyum Alaşımının Kontrollü Atmosferde Gravity Döküm Yöntemi İle Üretilmesi Ve Alaşım Elementlerinin Özelliklere Etkisinin İncelenmesi’ konulu yüksek lisans tezimde öncelikle yüksek lisansım boyunca desteğini esirgemeyen danışmanım Sn. Prof. Dr. Ahmet BALDAN’a teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tezi hazırlama sürecinde ve yüksek lisansım boyunca yaptığım bütün çalışmalarda bilgi ve desteğini esirgemeyen eş danışmanım Sn. Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ŞEVİK’e teşekkürü bir borç bilirim ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yardımlarından dolayı arkadaşım Burak TOKÖZ’e teşekkür ederim.

Ayrıca hayatım boyunca yanımda olan ve benim bu günlere gelmemi sağlayan aileme, bu süreçte her daim yanımda olan eşim Çetin TUTAŞ ve ailemize teşekkürleri bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>ÖZ</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iv</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>v</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI</b> .....	<b>5</b>
2.1 MAGNEZYUMUN GENEL ÖZELLİKLERİ.....	5
2.2. MAGNEZYUM ALAŞIMLARI.....	9
2.2.1. Magnezyum Alüminyum Alaşımları .....	13
2.2.2. Magnezyum Çinko Alaşımları .....	16
2.2.3. Magnezyum Kalay Alaşımları .....	21
2.2.4. Magnezyum Alüminyum Kalay Alaşımları .....	24
2.3. MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ ÜRETİM YÖNTEMELRİ .....	25
2.3.1. Giriş.....	25
2.3.2. Magnezyum Alaşımının Yüksek Basıncı Döküm Yöntemi .....	28
2.3.3. Gravity Döküm Yöntemi .....	34
2.3.3.1. Kum Kalıba Döküm .....	34
2.3.3.2. Kokil Kalıba Döküm .....	35
2.3.4. Düşük Basıncı Döküm .....	39
2.3.5. Sıkıştırılmalı Döküm .....	40
2.3.5.1. İndirect Sıkıştırılmalı Döküm .....	44
2.3.5.2. Direct Sıkıştırılmalı Döküm .....	45
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>46</b>
3.1. Giriş.....	46
3.2. Mikro Yapı İncelenmesi.....	47
3.3. Mekanik Deneyler.....	47
3.3.1. Sertlik Deneyi.....	47
3.3.2. Çekme Deneyi.....	47
3.3.3. Aşınma Testi.....	48
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA</b> .....	<b>50</b>
4.1. Mikro Yapı İncelenmesi.....	50

## **İÇİNDEKİLER**

4.2. Mekanik Deneylerin İncelenmesi .....	54
4.2.1. Sertlik Deneyi.....	54
4.2.2. Çekme Deneyi.....	55
4.2.3. Aşınma Testi. ....	56
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>60</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>61</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>67</b>



## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1. Önemli elementlerin yer kabuğundaki oranı.....	5
Çizelge 2.2. Mg temel özellikleri.....	7
Çizelge 2.3. Saf magnezyumun fiziksel özellikleri .....	8
Çizelge 2.4. Saf magnezyumun atom özellikleri .....	8
Çizelge 2.5. Saf magnezyumun diğer mekanik özellikleri .....	9
Çizelge 2.6. Magnezyum, alüminyum ve çeliğin yoğunluklarının ve dirençliklerinin kıyaslanması.....	9
Çizelge 2.7. Alaşım elementlerinin Magnezyum metali üzerindeki etkileri.....	10
Çizelge 2.8. Magnezyum alaşımlarının avantaj ve dezavantajları .....	12
Çizelge 2.9. Yaygın olarak kullanılan Mg-Al alaşımlarının mekanik özellikleri ....	15
Çizelge 2.10. Mg-Zn alaşımları .....	17
Çizelge 2.11. Katı fazlar ve sembolleri .....	19
Çizelge 2.12. Mg-Zn-Al alaşım oranları .....	20
Çizelge 2.13. Mg-Zn-Al alaşımlarının mekanik özellikleri .....	20
Çizelge 2.14. Soğuk kamaralı ve sıcak kamaralı basınçlı döküm yöntemlerinin karşılaştırılması .....	33
Çizelge 2.15. Basınçlı döküm ile üretilmiş çeşitli magnezyum alaşımlarının mekanik özellikleri.....	33
Çizelge 2.16. AZ91 ve AM50 alaşımlarının döküm yöntemlerine göre mekanik özelliklerini karşılaştırılması LPDC (düşük basınçlı döküm) GPMC ( Gravity Kokil kalıba Döküm) HPDC (yüksek basınçlı döküm) .....	40
Çizelge 3.1. Alaşım kompozisyonları .....	46
Çizelge 4.1. Alaşımların Brinell sertlikleri.....	54
Çizelge 4.2. Alaşımların çekme testi .....	55
Çizelge 4.5. Aşınma deneyi sonucu sürtünme katsayıları .....	56

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 1.1. Taşıtların yıllar bazında ağırlık, yakıt tüketimi ve CO2 emisyonu değişimi .....	2
Şekil 2.2. Convair B-36 uzun menzilli bombardıman uçağı .....	6
Şekil 2.3. Magnezyum-Alüminyum ikili denge diyagramı .....	13
Şekil 2.4. Mg-Al sisteminin magnezyumca zengin olan bölümü .....	14
Şekil 2.5. AE42 magnezyum alaşımı mikro yapı görüntüsü .....	15
Şekil 2.6. Mg-Zn denge diyagramı. ....	16
Şekil 2.7. Çinkonun magnezyum içinde sıcaklığa göre eriyebilme sınırını veren XY eğrisi .....	17
Şekil 2.8. Mg-Zn-Al üçlü denge diyagramı .....	18
Şekil 2.9. Mg-Al-Zn üçlü faz diyagramı .....	19
Şekil 2.10. Mg-X ikili alaşımlarının ergime noktalarına göre kristal yapıları .....	22
Şekil 2.11. Mg-Sn denge diyagramı .....	22
Şekil 2.12. Extrude edilmiş Mg, Mg5Sn optik mikroskopta görüntüsü a)Mg b)Mg5Sn Sem görüntüsü a-1)Mg b-1) Mg5Sn .....	23
Şekil 2.13. Sn-Al-Mg üçlü denge diyagramı .....	24
Şekil 2.14. Magnezyum alaşımlarının açık potada ergimesi için kullanılan sabit yakıt yakan fırının kesiti .....	26
Şekil 2.15. Sıcak kamaralı basınçlı döküm sisteminin görünümü .....	31
Şekil 2.16. Soğuk kamaralı basınçlı döküm sisteminin görünümü .....	32
Şekil 2.17. Mentşeli bir kokil kalıp örneğı .....	36
Şekil 2.18. İki parçalı bir kokil kalıpta döküm işleminin gösterimi .....	36
Şekil 2.19. Düşük basınçlı döküm sistemi .....	39
Şekil 2.20. Sıkıştırma döküm prosesinin şematik görünümü .....	43
Şekil 3.1. INSTRON 3367 Çekme Cihazı .....	48
Şekil 3.2. Aşınma cihazının şematik gösterimi .....	49
Şekil 4.1. Tüm alaşımların XRD ile fazları .....	50
Şekil 4.2. Alaşımların optik mikrografi görüntüleri .....	52
Şekil 4.3. Mg-3Al-3Sn-1Sr alaşımı (a)mikro yapısı SEM görüntüsü (b)Mg-3Al-3Sn-1Sr alaşımı EDS analizi .....	53
Şekil 4.4. SEM mikroyapıları ; (a) Mg-3Al-3Sn, (b) Mg-3Al-3Sn-0.1Sr, (c) Mg-3Al-3Sn-0.5Sr, (d)Mg-3Al-3Sn-1Sr .....	54
Şekil 4.6. Alaşımların yük altında aşınma oranları .....	56
Şekil 4.7. Yıpranan yüzeylerin SEM görüntüleri a) ve b) Mg-3Al-3Sn, c) ve d) Mg-3Al-3Sn-1Sr, 10 N yük altında .....	58
Şekil 4.8. Mg-3Al-3Sn-1Sr alaşımının 10 N yük altında aşınma izlerinin EDS analizi .....	59

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

cm <sup>3</sup> /mol	: Santimetre küp/Mol
dP	: Mesnet noktasının sürtünme transdüserine olan mesafe
dT	: Mesnet noktasının aşınma transdüseine olan mesafe
EDS	: Elektron Saçılım Spektroskopisi
FT	: Sürtünme kuvveti
FN	: Normal Yük
F	: UygulananYük
g/mol	: Gram/Mol
HB	: Brinell sertliği
J	: Joule
Kg	: Kilogram
km/h	: Kilometre/saat
km	: Kilometre
K	: Kelvin
MPa	: Megapascal
m/s	: Metre/saniye
mm	: Milimetre
mm/min	: Milimetre/dakika
mg/km	: Miligram/kilometre
nm	: Nanometre
N	: Newton
OM	: Optik Mikroskop
ppm	: Partspermilion
Rc	: Rocwell
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
T	: Sürtünme katsayısı
XRD	: X Işınları Difraksiyometresi
°C	: Santigrat Derece
δ	: Gama
α	: Alfa

$\mu$  : Sürtünme katsayısı

$\beta$  : Beta

% e : Yüzde Uzama

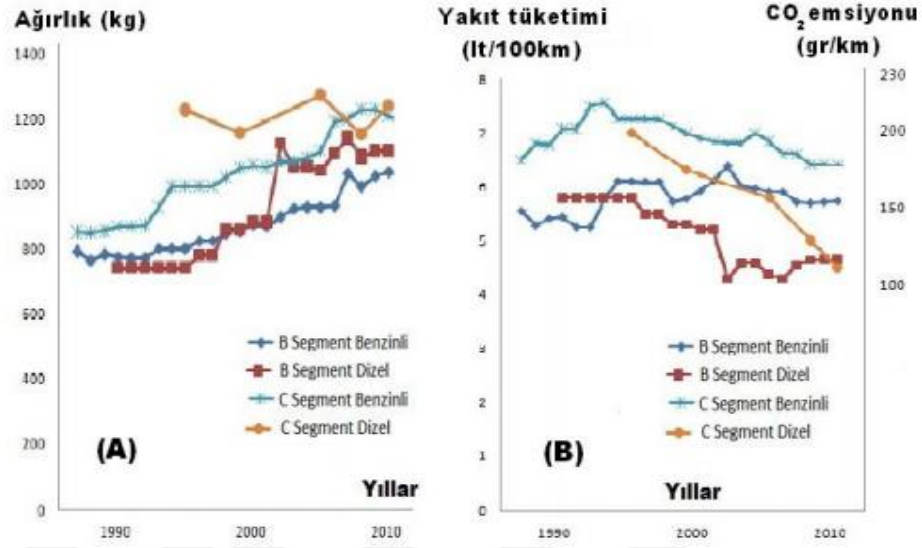


## 1.GİRİŞ

Dünyanın gelişimi, gelişen bilim teknolojisiyle mümkün olabilmektedir. Teknoloji hıza, performansa, ekonomikliğe ve bu oranda da dayanıklılığa dayandırılmaktadır. Bunun nedenlerinin en başında ise yaşam için gereken doğal kaynakların azalması, insan popülasyonunda bu oranda artması gelmektedir. Uçak sanayi, savunma sanayi ve otomobil sanayi gibi birçok sektör CO<sub>2</sub> emisyonunu minimuma indirmek için bazı çalışmalar yapmaktadır[1,2].

Amaçlanan CO<sub>2</sub> emisyonlarının azalması ve sınırlı yakıt rezervlerinin korunmasının sağlanmasıyla beraber; araçlardaki ışık, ses, güvenlik, konfor, eğlence donanımları gibi ek unsurlardan kaynaklanan ağırlık artışı sorunlarının giderilmesi noktasında magnezyum alaşımlı ürünler artan bir önem kazanmıştır [7,8]. Daha fazla konfor için yapılan ilave donanımlar yakıt verimliliğini artırma ve çevreyi koruma talepleriyle uyumsuzluk göstermektedir. Şekil 1.1’de taşıtların ağırlık ve yakıt tüketimi ilişkisi verilmiştir. Sweeder bir araçtaki %10’luk ağırlık azalması ile aşağıdaki sonuçların ortaya çıkacağını ileri sürmüştür[1]:

- Yakıt tasarrufu – 0,8 lt/100km iyileşme
- Performans iyileştirmesi – 0-100 km/h hızlanmada0,5 s düşüş
- Emisyonların azaltılması - % 7 daha az gaz salınımı
- Güvenlik - %10 daha az kinetik enerji
- Yük taşıma kapasitesi – 140 kg’lık iyileşme
- Frenleme mesafesi – 100-0 km/h yavaşlamada 3m azalma
- Mevcut donanımların artırılabilmesi – DVD player, araç içi eğlence sistemleri gibi



Şekil 1.1. Taşıtların yıllar bazında ağırlık, yakıt tüketimi ve CO<sub>2</sub> emisyonu değişimi [17,19]

CO<sub>2</sub> emisyonlarının azalması için yapılan çalışmaların en başında yapı elemanlarının ağırlığını azaltmak gelmektedir. Demir esaslı alaşımlar yerine hafif metal esaslı alaşımlara yönelim artışı her geçen gün artmaktadır. Hafif metal alaşımları içinde en yaygın kullanılanı ise alüminyum (Al) esaslı alaşımlardır. Fakat hafif metal sınıfında olan Mg alaşımları düşük yoğunluğu, yüksek mukavemet/ağırlık oranından dolayı bu endüstriye hakim olan Al alaşımlarına bir alternatif olarak gelişmektedir [34,35].

Magnezyum, alüminyumdan %36 demirden %78 daha hafif bir metaldir. Bu özelliği ile modern teknoloji olan uzay, uçak ve otomotiv parçalarında kullanımı kaçınılmaz hale gelmektedir. Fakat saf halde magnezyumun kullanımı dayanıklılığının düşük olmasından ötürü mümkün değildir. Bu nedenle çeşitli alaşım elementleri ilave edilerek mg alaşımlarının mukavemet/ağırlık, mukavemet/yoğunluk oranları diğer metal alaşımlarına göre dikkat çekici hale gelmiştir.

Dünyada birkaç ülke dışında magnezyum alaşımları hakkında bilgi sahibi ülke bulunmamaktadır. Fakat çeşitli araştırma kurumlarının yaptığı çalışmalar göstermektedir ki özellikle Avrupa ülkeleri araştırma konularından bir tanesi olarak magnezyum alaşımlarını belirlemiştir.

Tüm dünyada magnezyum üretimi 1986'da 322.000 tondan 1990 yılına kadar 360.000 tona çıkmıştır. 2000 yılında bu miktarın 436.000 ton, 2028 'de ise hedefin 498.000 ton olacağı belirtilmektedir. Yapılan bu tahminlere rağmen günümüzde dünyadaki hızlı gelişmelere paralel olarak magnezyum üretimindeki artış hedeflerinin anormal boyutlara ulaştığı görülmektedir. Bir araştırma firması olan Roskill'in verdiği değerlere göre 2008 yılında magnezyum üretimi 660.000 ton/yıl değerlerine ulaşmıştır.

Avrupa Birliği ülkeleri önümüzdeki yüzyılda motorlu araçlarda yakıt tüketiminde 3 litre/100km hedefine ulaşmayı planlamaktadır ve bu hedefin gerçekleştirilebilmesi için yönelmiş oldukları konulardan bir tanesi de daha öncede değinildiği gibi magnezyum alaşımlarıdır. Fakat Türkiye'de magnezyum alaşımları hakkında çok az çalışma bulunmaktadır. Ülkemizde katodik koruma külçeleri dışında magnezyum ürünleri üretimi yapılmamaktadır. Özellikle otomotiv, savunma sanayi ve havacılık sektörlerinin hızla artan magnezyum ürün taleplerini karşılamak için acilen altyapı çalışmaları başlatılmalı gerekli bilgi donanımına sahip olmamız gerekmektedir.

Magnezyum alaşımları tercih edilme sebepleri; Magnezyumun hafif olması, alaşımın sert ve dayanıklı olması isteniyorsa sert metallerle karışımı yapılarak alaşımı elde edilebilmesi, parlak ve beyaz bir metal olması nedeniyle dış yüzeyde kullanımında görsel güzelliği olması ve mukavemeti oldukça düşük olmasına rağmen mukavemet/yoğunluk değerinin yüksek olması nedeniyle tercih edilmektedir. Magnezyumun en fazla kullanılan alaşımı ise magnezyum-alüminyum alaşımlarıdır [32].

Bu çalışmanın amacı, magnezyum alaşımlarına optimum özellikleri kazandıracağını düşündüğümüz gravity döküm yöntemi ile magnezyum alaşımlarını üretmek ve seri üretime uygunluğunu kapsamaktadır. Özgün olarak dizayn edilen döküm sisteminde üretilecek alaşımların oksitlenmesini önlemek için SF<sub>6</sub> ve CO<sub>2</sub> gazı kullanılarak kontrollü atmosfer ortamı oluşturulmuş ve saf Magnezyum, alüminyum ve kalay kullanılarak Mg-3Al-3Sn alaşımı elde edilmiştir. Stronsiyum ilaveli alaşımların üretilmesi için Mg-20Sr master alaşımı kullanılmış ve ağırlıkça sırasıyla Mg-3Al-3Sn-0,01Sr, Mg-3Al-3Sn-0,1Sr, Mg-3Al-3Sn-0,5Sr ve Mg-3Al-3Sn-1Sr alaşımları üretilmiştir. Elde edilen alaşımlara sertlik, çekme ve aşınma

deneylei uygulanmıştır. Optik mikroskop (OM), taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak mikro yapı çalışmaları gerçekleştirilmiştir. EDS analizi ile elementel kompozisyonları tanımlanmıştır. Ayrıca XRD kullanılarak faz analizi yapılmış ve mikro yapı çalışmaları desteklenmiştir.





## 2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

### 2.1 MAGNEZYUMUN GENEL ÖZELLİKLERİ

Magnezyum periyodik cetvelin II A grubunda yer alan toprak alkali metallere bir kimyasal elementtir. 1795’de J.C. Delanetherie magnezyum tuzlarına magnezit adını verdi. 1803’de C.F. Ludwig doğal magnezyum karbonatı buldu. Sir Humphrey Dewy magnezyumu arı olarak elde etti. 1833’de Faraday magnezyum metalini açığa çıkardı. Magnezyum dünya üzerinde en bol bulunan elementlerden biridir ve yer kabuğunun ağırlıkça yaklaşık %2,7'sini teşkil eder ki en çok bulunan sekizinci elementtir ve altıncı metaldir. Tabiatta; deniz suyunda çözülmüş olarak (%0,13) ve toprakta çeşitli cevherin içinde bileşikler halinde mevcuttur. Bu cevherlerin en yaygınları Dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), Magnesit( $\text{MgCO}_3$ ) ve Karnalit ( $\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) olarak sayılabilir [22].

Çizelge2.1. Önemli elementlerin yer kabuğundaki oranı

O	Si	Al	Fe	Ca	K	Na	Mg	H	Ti	Cl	P	Mn	C	S
49,2	25,7	7,5	4,7	3,4	2,6	2,4	1,9	0,9	0,6	0,2	0,1	0,1	0,09	0,05

Magnezyumun kazanıldığı üç temel kaynak bulunmaktadır. Deniz suyu, mineral kayaçlar ve asbesttir. Dünya'daki en büyük magnezyum yatakları şu şekilde dağılmıştır [23].

Kuzey Amerika: ABD, Kanada

Güney Amerika: Brezilya

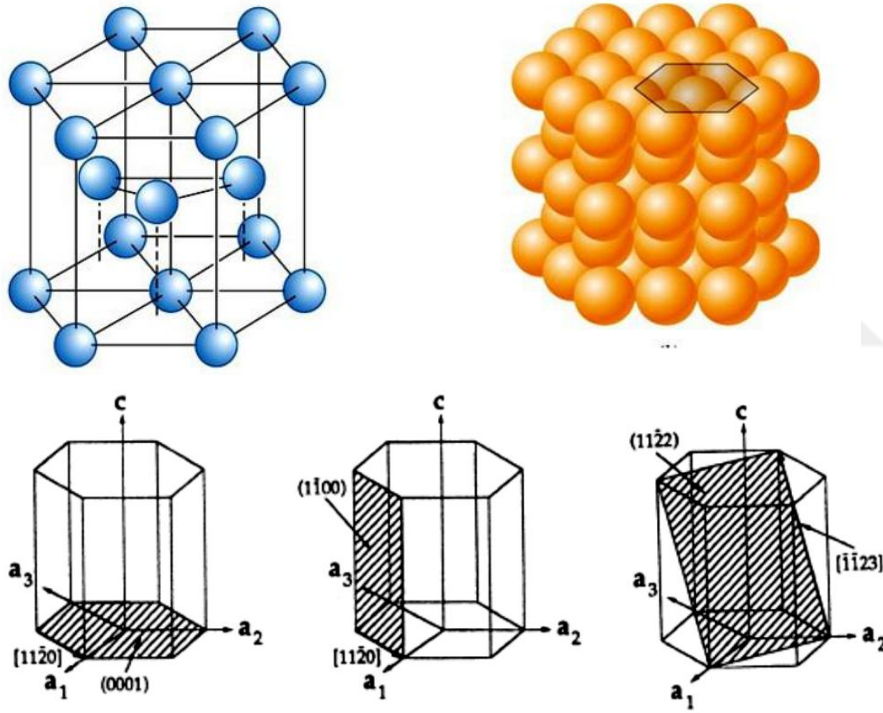
Avrupa: Norveç, Avusturya, Çekoslovakya, Yunanistan, Türkiye, Rusya,

Yugoslavya

Asya: Çin, Hindistan, K.Kore

Okyanusya: Avustralya

Magnezyum, atom numarası 12, atom ağırlığı 24,3050 g/mol'dür. Mg sembolü ile gösterilir. Atom çapı 0,32 nm ve atomik hacmi  $14 \text{ cm}^3/\text{mol}$ 'dür. Kristal yapısı hegzagonal sıkı pakettir (HSP). Şekil 2.1. birim hücredeki temel düzlemleri göstermektedir. Saf magnezyumun oda sıcaklığında hesaplanan kafes parametreleri;  $a = 0,3202 \text{ nm}$  ve  $c = 0,5199 \text{ nm}$ 'dir. 1,6236 olan  $c/a$  oranı, ideal değere (1,633) oldukça yakındır. Bu nedenle magnezyumun, mükemmel sıkı paket yapıya sahip bir metal olarak düşünülebilir [21].



Şekil 2.1. Birim hücredeki ana düzlemler ve yönleri [20]

Örneğin Convair B-36 bombardıman uçağında 5.555kg levha magnezyum ve 700kg kadar dövme magnezyum kullanılmıştı. Aynı dönemlerde tasarımı yapılan Tupolev Tu-95MS uçağında da 1.550kg kadar magnezyum kullanılmıştır. Bununla birlikte

daha sonra ki dönemden bugüne gelene kadar magnezyum kullanımı çeşitli sebeplerle giderek azalmış ve çok düşük seviyelere inmiştir.



Şekil 2.2. Convair B-36 uzun menzilli bombardıman uçağı [24,25]

ConvairB-36 uzun menzilli bombardıman uçağının inşasında toplam 8.600kg magnezyum kullanılmıştır [25].

Saf magnezyumun temel fiziksel atom ve diğer özellikleriçizelge2.2,2.3, 2.3. ve 2.5.'de verilmiştir.

Çizelge2.2. Mg temel özellikleri [26]

Temel özellikleri	
Atom numarası	12
Element serisi	Alkalinler
Grup, periyot, blok	2, 3, s
Görünüş	Gümüş Beyazı 
Atom ağırlığı	24,312 g/mol
Elektron dizilimi	[Ne] 3s <sup>2</sup>
Enerji seviyesi başına Elektronlar	2,8,2
CAS kayıt numarası	{{{CAS_kayıt_numarası}}}

Çizelge2.3. Saf magnezyumun fiziksel özellikleri [26]

Fiziksel Özellikleri	
Maddenin hali	katımsı
Yoğunluk	1.738 g/cm <sup>3</sup>
Sıvı haldeki yoğunluğu	1.584 g/cm <sup>3</sup>
Ergime noktası	923 °K 650 °C
Kaynama noktası	1363 °K 1090 °C
Ergime ısısı	{{{Ergime_ısısı}}} kJ/mol
Buharlaşma ısısı	128 kJ/mol
Isı kapasitesi	24.869 J/(mol·K)

Çizelge2.4. Saf magnezyumun atom özellikleri [26]

Atom özellikleri	
Kristal yapısı	hexagonal
Yükseltgenme seviyeleri	2
Elektronegatifliği	1.31 Pauling ölçeği
İyonlaşma enerjisi	1. 737.7 kJ·mol <sup>-1</sup> 2. 1450.7 kJ·mol <sup>-1</sup> 3. 7732.7 kJ·mol <sup>-1</sup> kJ/mol
Atom yarıçapı	150 pm pm
Atom yarıçapı (hes.)	145 pm pm
Kovalent yarıçapı	130 pm pm
Van der Waals yarıçapı	173 pm pm

Çizelge2.5. Saf magnezyumun diğer mekanik özellikleri [26]

Diğer özellikleri	
Elektrik direnci	43.9 nΩ·m (20°C'de)
Isıl iletkenlik	156 W/(m·K)
Isıl genleşme	24.8 μm/(m·K) (25°C'de)
Ses hızı	4940 m/s ('de)
Mohs sertliği	2.5
Vickers sertliği	MPa
Brinell sertliği	260 MPa

## 2.2. MAGNEZYUM ALAŞIMLARI

Magnezyum göstermiş olduğu mekanik ve fiziksel özelliklerinden dolayı saf halde kullanılamamaktadır. Bu yüzden çeşitli alaşım elementleri ilave edilerek fiziksel ve kimyasal özellikleri üstün magnezyum alaşımları oluşturulmuştur. Magnezyum 1.74 kg/m<sup>3</sup> ile oldukça düşük bir yoğunluğa sahiptir. Magnezyum metalinin yoğunluğunu diğer metallerin yoğunluğuyla karşılaştırırsak; (alüminyumun yoğunluğu 2.80 kg/m<sup>3</sup> , titanyumun 4.95 kg/m<sup>3</sup> ve çeliğin 7.80 kg/m<sup>3</sup> ) oldukça düşük olduğunu görürüz. Çizelge 2.6.'da magnezyum, alüminyum ve çeliğin yoğunluklarının ve dirençliklerinin kıyaslanması incelenmiştir. Bu yoğunluk değeriyle magnezyum, polimerlerin yoğunluk değerlerine yaklaşmaktadır [9]. Bu yüzden ağırlığın önemli bir tasarım faktörü olduğu mühendislik uygulamaları için magnezyum alaşımları çok iyi bir tercih olmaktadır [10]. Magnezyum alaşımları oldukça hafif bir metal olmanın yanında; iyi ısı iletkenliğine, titreşim sönümleme kapasitesine, düşük akustik empedans karakteristiğine sahiptir [11].

Çizelge 2.6. Magnezyum, alüminyum ve çeliğin yoğunluklarının ve dirençliklerinin kıyaslanması [17,19]

	Magnezyum	Alüminyum	Çelik	
Yoğunluk ( $\rho$ ) gr/cm <sup>3</sup>	1,74	2,70	7,86	
Elastikiyet (E) GPa	45	70	211	
Akma Dayanımı (YS)MPa	150	200	250	
Kopma Dayanımı (UTS)MPa	250	300	400	
Erime Noktası (T) <sup>o</sup> C	600	650	1500	
E/ $\rho$	26	26	27	
YS/ $\rho$	86	74	32	
UTS/ $\rho$	144	112	51	
Sürekli Rüçlülük	Kalınlık	% 167	% 144	% 100
	Ağırlık	% 37	% 50	% 100

Saf magnezyum yüksek korozyon direncine sahiptir. İçeriğinde bulunabilecek bakır, demir nikel, klorür, oksit, nitrür gibi safsızlıklar ise korozyon direncini düşürür. Magnezyum, alkali metal hidroksit çözeltilerine, hidroflorik aside karşı dirençlidir. Su ile şiddetli reaksiyona girer ve hidrojen (H<sub>2</sub>) üretir. Bununla birlikte saf magnezyum mühendislik uygulamalarında nadiren kullanılır. Çoğunlukla Alüminyum (Al) Mangan (Mn) Çinko (Zn) ve nadir metallerle ile yüksek mukavemet-ağırlık oranına sahip alaşımlar halinde kullanılır. Bütün magnezyum alaşımı imalâtlarının %85-90 kadarı Al-Mn-Zn ile üretilen döküm alaşımlarıdır [25].

Magnezyumun çok düşük özgül ağırlık ve fazla oksitlenme kabiliyetiyle belirgindir. Oksidi, oluşmasıyla birlikte bir büzülmesi de olduğundan koruyucu değildir ve atmosferik etkenlere, özellikle deniz atmosferine az dayanır. Al ve Zn gibi metallerle katı eriyikler ve belli bileşikler oluşturur. Erime kabiliyetlerinin sıcaklıkla değişmesi, ısıl işlemi mümkün kılmaktadır. Genel olarak alüminyum mekanik mukavemet ile korozyon dayanımını; çinko, şekil değiştirme kabiliyetini ve elastik sınırı; manganez (% 0,3) korozyon dayanımını (atmosferik etkenlere); zirkonyum, mekanik mukavemeti; kadmiyum, elastik sınırı; seryum da ateşe dayanımını artırır. Böylece de Mg-Al-Zn-Mn alaşımları özellikle tercih edilerek uçak tekerleri ve motor kartellerinin (dökme) imalinde kullanılırlar. İlâve elementlerin oranı nadiren % 10-12'yi (ağırlık olarak) geçer ve böylece özgül ağırlığı fazla artırmadan ( $d < 2$ ) "ultra-hafif" alaşımlar alanında kalınır. Alaşım elementlerinin Mg üzerine etkisi Çizelge 2.7. de incelenmiştir[23-27,28-29].

Çizelge2.7. Alaşım elementlerinin Magnezyum metali üzerindeki etkileri

Al	Magnezyum alaşımının çekme mukavemetini ve sertliğini artırır. Katı eriyik sertleşmesi ve çökeltme sertleşmesi(Mg <sub>17</sub> Al <sub>12</sub> ) 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.
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. Alaşımın sürünme direncini arttırabilir ve demir kontrolü ile korozyon direncini geliştirir. Ama magnezyum alaşımlarının mukavemetinde çok az etkiye sahiptir.
Si	Silisyum oluşturduğu kararlı silisit $Mg_2Si$ intermetaliklerinden dolayı yüksek sıcaklık özelliklerini geliştirebilir. Ama magnezyum alaşımlarının dökülebilirliğini düşürür. Silisyum korozyona etkisi göz ardı edilebilir.
Ag	Nadir elementler ile yüksek sıcaklıkta mukavemeti ve sürünme direncini arttırır fakat aynı zamanda korozyon direncini azaltır.
Th	Magnezyum alaşımlarının yüksek sıcaklıkta mukavemetini ve sürünme direncini arttırır fakat radyoaktif elementtir.
Zn	Ergimiş metalin akıcılığını arttırır 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.
Sn	Magnezyuma ilave edilen kalay, alaşımın sünekliğini arttırır. Sıcak işlem sırasında alaşımın çatlama eğilimini azaltır. Bundan dolayı da alaşımın işlenebilirliğide artmaktadır. Sn içeren alaşımda Mg ile birlikte $Mg_2Sn$ intermetalik fazı oluşur. Bu intermetalik fazın ergime sıcaklığı $770^{\circ}C$ '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.

Magnezyum alaşımlı parçaların üretilmesinde birçok üretim metodu kullanılmaktadır. Form verme ve dövme metoduna kıyasla karmaşık şekilli parçaların üretiminde daha az parça ve montaj avantajı sağladığı için döküm metodu

düşük maliyetler ile ön plana çıkmaktadır. Magnezyum alaşımlarının dökümünde sıkıştırma döküm, kokil döküm, kum kalıba döküm ve gravity döküm yöntemleri kullanılmaktadır. Magnezyum alüminyuma göre mükemmel dökülebilirlik kabiliyetine sahiptir. Ancak sıvı magnezyum normal atmosferde çok hızlı bir biçimde oksijen ile reaksiyona girer. Reaksiyonların önlenmesi için sülfür hegzaför (SF<sub>6</sub>) içeren gaz karışımları döküme koruyucu atmosfer oluşturmak için kullanılmaktadır. Eriyik magnezyumda SF<sub>6</sub> gazı CO<sub>2</sub> veya kuru hava gibi gazlar ile karışım halinde kullanıldığında yeterli koruma sağlanabilmektedir [30,31].

Magnezyum alaşımlarının sanayideki kullanımına ilişkin avantaj ve dezavantajları çizelge 2.8. de verilmiştir.

Çizelge 2.8. Magnezyum alaşımlarının avantaj ve dezavantajları [32]

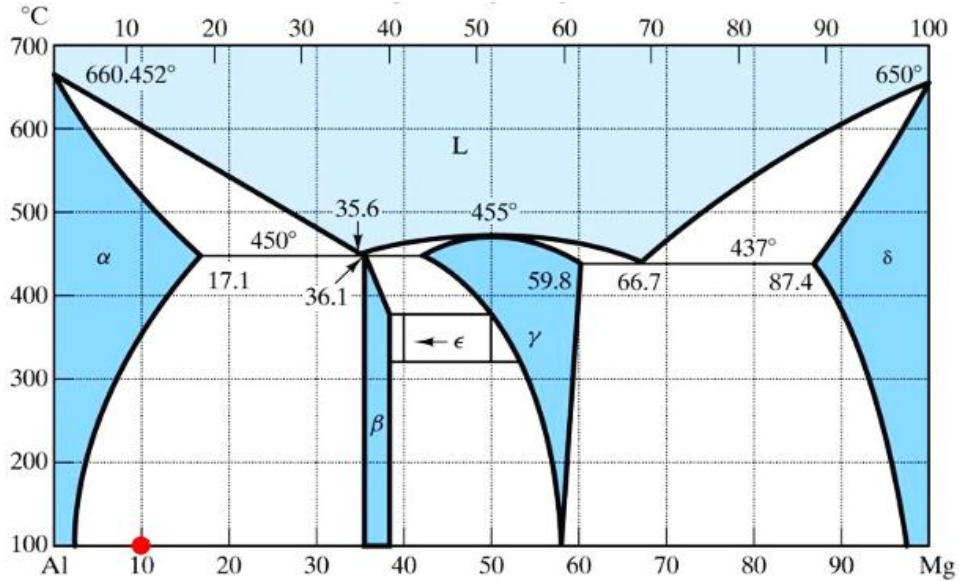
Avantajları	Sınırlılıkları
⇒ Tüm yapı metalleri içerisinde en düşük yoğunluğa sahip olması	⇒ Geliştirilen alaşımların yetersiz olması
⇒ Yüksek özgül direnç	⇒ Oda sıcaklığında düşük süneklik ve tokluğa sahip olması
⇒ İyi dökülebilirlik kabiliyeti ve basınçlı döküme uygunluğu	⇒ Yüksek sıcaklık özelliklerinin (ısı direnç ve sürünme direnci) sınırlı olması
⇒ Yüksek kesme hızlarında kolay işlenebilmesi	⇒ Kimyasal reaksiyon girme yatkınlığının yüksek olması
⇒ Doğada yüksek oranda bulunması	⇒ Yüksek çekme oranı
⇒ Soygazlar altında iyi kaynak edilebilirliği	⇒ Ayrıntılı geri dönüşüm konseptlerinin olmaması
⇒ Son derece gelişmiş korozyon direnci	⇒ Tutuşma ve korozyon davranışı hakkındaki bilgi eksikliği
⇒ Plastiklere kıyasla;	⇒ Üretici sayısındaki sınırlılık ve fiyatlardaki kararsız durum
▪ Daha iyi mekanik özelliklere sahip olması	
▪ Yaşlanma direnci	
▪ Daha iyi elektriksel ve termal iletkenlik	
▪ Geri dönüştürülebilirliği	



## 2.2.1. Magnezyum-Alüminyum Alaşımları

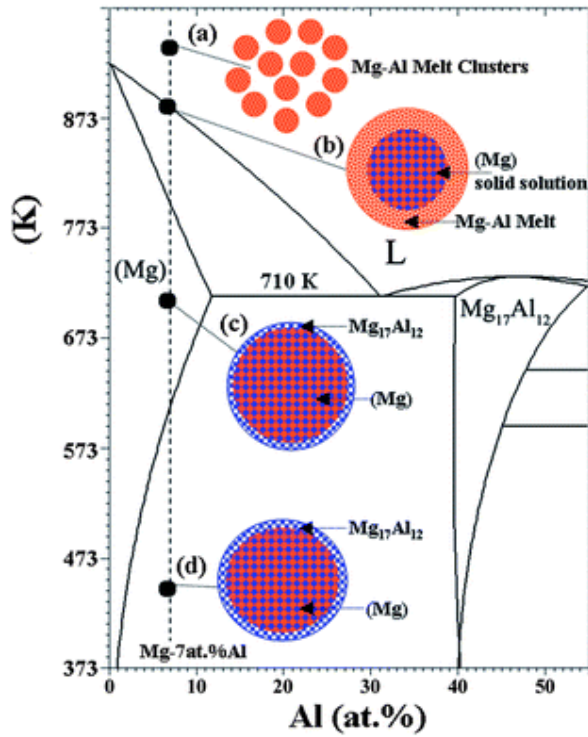
Alüminyum (Al) tabiatta en çok bulunan elementlerden biridir ve mühendislik yapılarında çelikten sonra en çok kullanılan metaldir. Magnezyum alaşımları arasında alüminyumun çok tercih edilmesinin nedeni, tabiatta çok bulunması buna bağlı olarak maliyetinin uygun oluşu ve göstermiş olduğu fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayıdır. Alüminyumun yoğunluğu  $2,71 \text{ g/cm}^3$  dür. Magnezyum-alüminyum sistemi (Şekil 2.7.) Pratik açıdan Mg-Al ultra-hafif alaşımlarına, magnezyumdan yana zengin  $\delta$  katı eriyik dendritlerinden ve yeterli alüminyum oranında,  $\alpha$ -kristallerinden oluştukları görülür.  $\delta$ ,  $\alpha$ -iç yapısına sahip  $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$  bileşiminde bir katı eriyik oluşmaktadır [36,37].

Şekil 2.3. de Mg-Al ikili denge diyagramı görülmektedir.  $437^\circ\text{C}$  ötektik reaksiyon gerçekleşmektedir. Ötektik reaksiyon, eriyik halde bulunan magnezyum ve alüminyum fazı,  $L \leftrightarrow \text{Mg}_{17}\text{Al}_{12} + \delta(\text{Mg})$  fazlarını meydana getirir. Bu ötektik sıcaklıkta alüminyumun maksimum çözünürlüğü %12,7'dir. Ve eriyebilirlik oda sıcaklığında yaklaşık %2 ye düşer. Buradaki karakteristikler Mg-Al alaşım sisteminin alaşımlarının iyi dökülebilirlik, katı eriyik sertleşmesi ve çökelme sertleşmesi sağlayabileceğini göstermektedir [36-37].



Şekil 2.3. Magnezyum-Alüminyum ikili denge diyagramı [38]

Şekil 2.4.'de görüldüğü gibi Mg-Al alaşım sistemleri % 2 den daha fazla alüminyum içerdiği zaman döküm mikro yapısında  $Mg_{17}Al_{12}$  intermetalitiği görülür. Alaşımlarda alüminyum içeriği % 7'nin üzerinde ise ağ yapısını tamamlamamış  $Mg_{17}Al_{12}$  intermetalitiği tane sınırları boyunca dağılım gösterir, meydana gelen faz farklılığından dolayı süneklik azalır kırılmalık artar.  $\approx 700$  K de çözelti  $Mg_{17}Al_{12}$  intermetalitiğinin çözünmesine sebep olur, katı eriyik sertleşmesi meydana gelir ve her iki durumda çekme mukavemeti ve sünekliği artırmaktadır. 373 K ile 473 K aralığında  $Mg_{17}Al_{12}$  intermetalitiği çökebilir ve bu çökelti partikülleri çekme mukavemetinin artmasını sağlar. Buna karşın Mg-Al alaşımları yapısal malzemeler olarak kullanılmak için gerekli özellikleri taşımamaktadır. Çinko, manganez, silisyum, nadir elementler gibi elementler Mg-Al alaşım sistemine ilave edilerek özelliklerin geliştirilmesi sağlamaktadır [39, 40-41].



Şekil 2.4. Mg-Al sisteminin magnezyumca zengin olan bölümü [38]

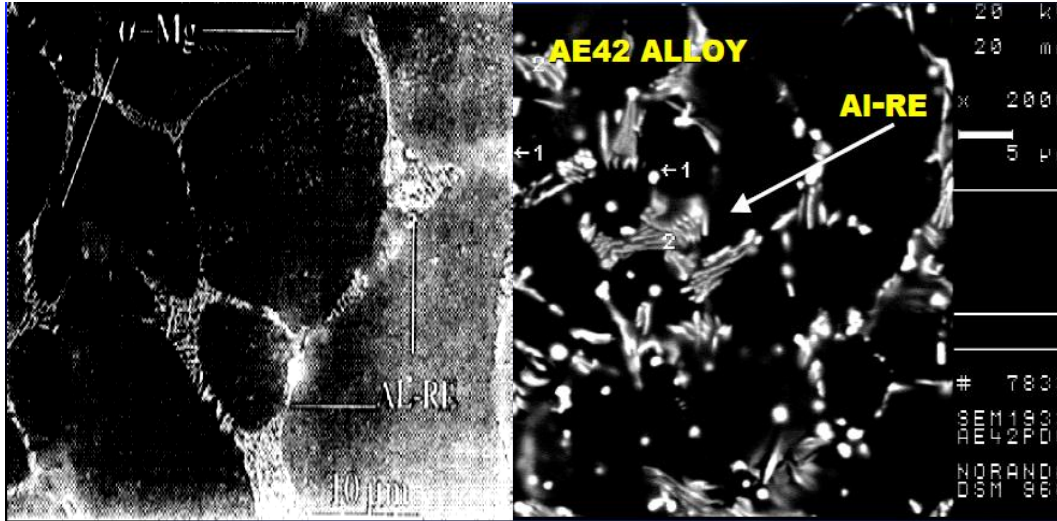
Yaygın olarak kullanılan magnezyum-alüminyum esaslı alaşımlar, Çizelge 2.9.'da mekanik özellikleriyle birlikte verilmiştir. En yaygın olarak kullanılan alaşımlar AZ91, AM50 ve AM60 alaşımlarıdır. AZ91 alaşımı yüksek direnç ve

mükemmel dökülebilme özelliklerine sahiptir. AM50 ve AM60 alaşımları ise yüksek süneklik ve kopma tokluğu özellikleri ile araçlarda jant ve gösterge panellerinde tercih edilmektedirler. AS ve AE serisi magnezyum alaşımları ise içerdiği nadir toprak elementleri alaşımları sayesinde yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılmaktadırlar.

Çizelge 2.9. Yaygın olarak kullanılan Mg-Al alaşımlarının mekanik özellikleri [42]

	Al	Mn	Zn	Diğer	Akma Dayanımı	Çekme Dayanımı	Uzama	Sertlik
					N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	%	HB
AE42	4.0	0.1	-	2.5 RE	145	230	11	60
AM50	4.9	0.26	-	-	125	230	15	60
AM60	6.0	0.13	-	-	130	240	13	65
AS21	2.2	0.1	-	1.0 Si	120	220	13	55
AS41	4.2	0.2	-	1.0 Si	140	240	15	60
AZ91	9.0	0.13	0.7	-	160	250	7	70

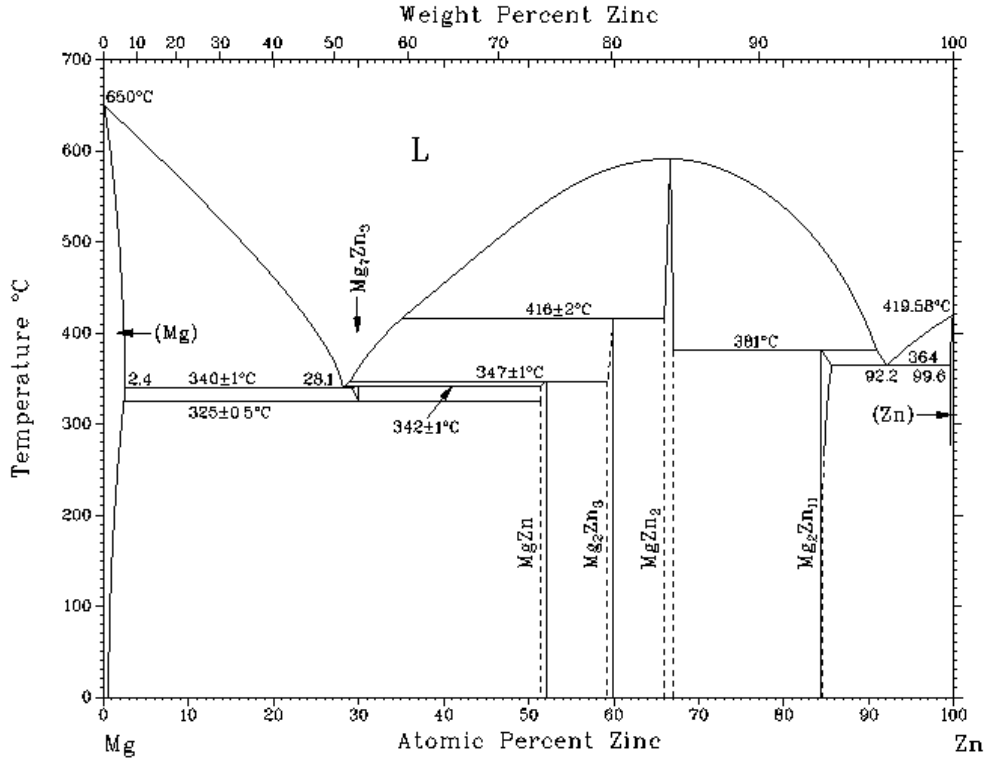
AE42 Alaşımını ele alacak olursak Şekil 2.5.'da  $\alpha$ -Mg fazı ve Al-RE fazından meydana gelmektedir. Aktivasyon enerjisi 35-40 kJmol<sup>-1</sup>'dir. Yüksek sürünme direncine sahiptir. Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> fazı içermemektedir fakat Al katılaşmaları vardır [45].



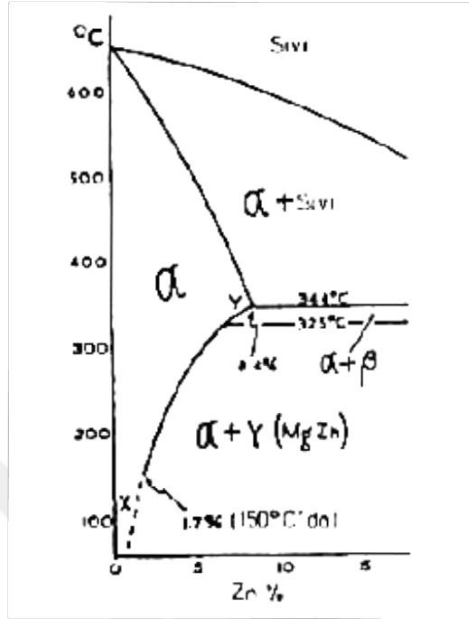
Şekil 2.5. AE42 magnezyum alaşımı mikro yapı görüntüsü [45]

### 2.2.3. Magnezyum Çinko Alaşımları

Magnezyum-çinko (Zn) sistemi (Şekil 2.6.). Sistem, çoktan beri bilinen uygun ergimeli bir  $MgZn_2$  bileşimi ile buna daha sonra eklenmiş iki yeni bileşim,  $Mg_2Zn_3$  ve  $MgZn$ 'den oluşur. Katı fazlar belli bir homojenlik alanına sahiptir. Bu alana düşük sıcaklıkta az rastlanır. Çinkonun magnezyum içinde sıcaklığa göre eriyebilme sınırını veren XY eğrisi (Şekil 2.7.) birçok araştırmaya konu olmuş olup XY boyunca eriyebilme kabiliyetindeki değişme, çökeltme sertleşmesini mümkün kılmaktadır. Pratik olarak Mg-Zn ultra-hafif alaşımların, magnezyumdan yana zengin  $\alpha$  katı eriyik dendritleriyle  $\alpha + MgZn$  ötektidinden oluştuğu görülür [47,48,49,50].



Şekil 2.6. Mg-Zn denge diyagramı [47]



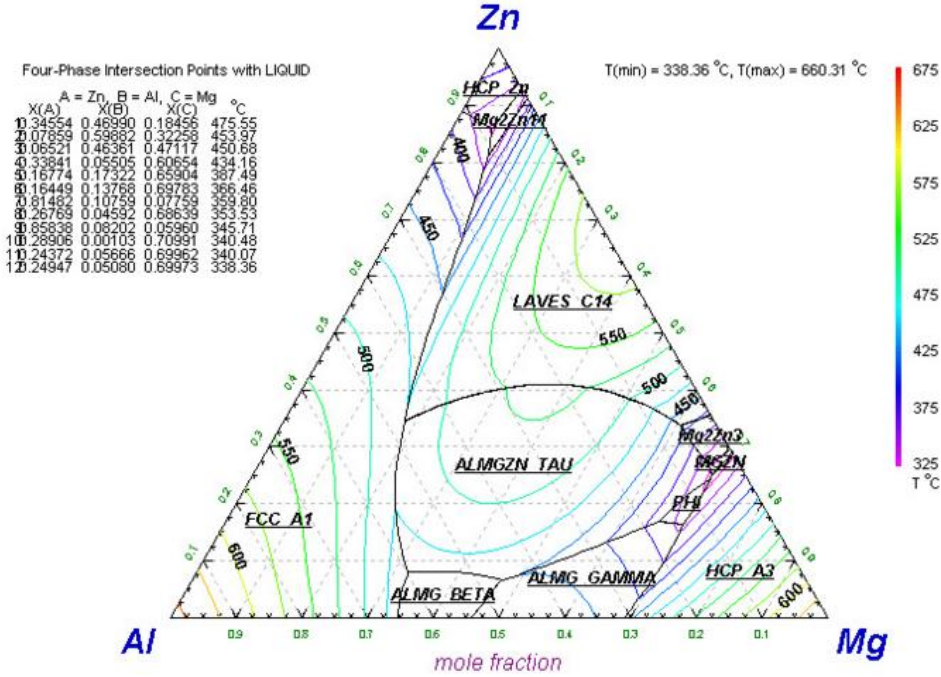
Şekil 2.7. Çinkonun magnezyum içinde sıcaklığa göre eriyebilme sınırını veren XY eğrisi [44]

Mg-Zn alaşımlarından birkaçını sınıflandıracak olursak (Çizelge 2.10.): Mg-Zn-Zr döküm alaşımları bu alaşımlar (ZK51, ZK61) sınırlı kullanıma sahiptir. Çünkü döküm sırasında mikro boşluk oluştururlar ve yüksek çinko içeriklerinden dolayı kaynaklanamazlar. Mg-Zn-Nadir Toprak-Zr Döküm Alaşımlar Bu alaşımlar (EZ33, ZE63) nispeten iyi dökülebilirliğe sahiptir. Nadir toprak elementlerinin ilavesi mikro boşlukları doldurma eğiliminde olduklarından dökülebilirlik iyileşir.

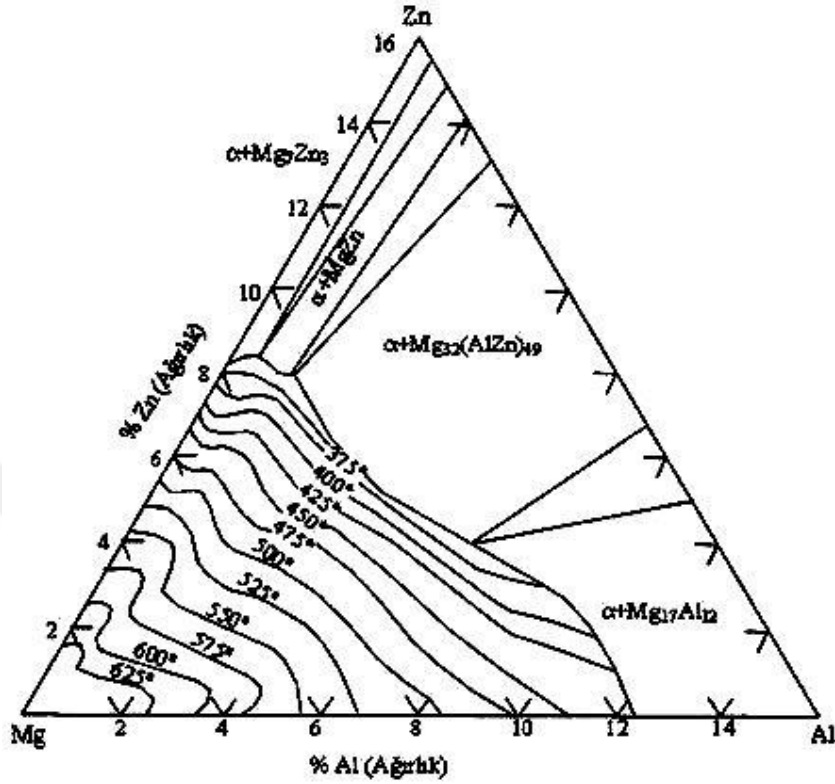
Çizelge 2.10. Mg-Zn alaşımları [43]

Alaşım	%Zn	%RE	%Zr	Uygulamalar
ZK51	4,6		0,7	Kum dökümler; oda sıcaklığında iyi dayanımlar
ZK61	6,0		0,8	Kum dökümler; oda sıcaklığında iyi dayanımlar
EZ33	2,6	3,2	0,7	175-260 °C' de uygulamalar için basınç sızdırmaz kum ve metal kalıba dökümler
ZE41	4,2		0,7	Kum dökümler; oda sıcaklığında iyi dayanımlar
ZE63	5,7	2,5	0,7	ZK alaşımlarının üzerinde iyileştirilmiş dökülebilirlik

Çinkonun magnezyum alaşımlarında en yaygın kullanımı Magnezyum Alüminyum ve Çinko alaşımlarıdır (Mg-Al-Zn). Bu alaşımlarda Al oranı çinkodan daha fazladır. Mg-Al-Zn alaşımları, dayanım, iyi korozyon ve hafiflik özelliklerinden dolayı önem taşır. Alaşımların çoğu kokil kalıba dökümdür. Mg-Al alaşımlarına çinko ilavesi ile dayanım, katı eriyik mukavemeti ve çökeltme sertleştirilmesi ile artar. Magnezyum, yaklaşık % 10'dan fazla Al+Zn ile alaşımlandırılmaz çünkü alaşımların sünekliği, gevrek metaller arası bileşik oluşumu nedeni ile azalır. Yapılan akademik çalışmalarda Mg-Zn-Al-RE alaşımlarının Mg-Al-Zn alaşımlarına göre avantajları tespit edilmiştir. Bu alaşımlarda Zn oranı Al göre daha fazladır. Mg-Zn-Al alaşımları Mg-Al-Zn alaşımları ile arasındaki ısıl direnç farkını kapatmaktadır fakat daha maliyetlidir. Mg-Zn-Al üçlü denge diyagramında Zn/Al oranının fazla olduğu alanlarda  $Mg_{17}Al_{12}$  fazı bulunmamaktadır Şekil 2.8.'de gösterilmektedir. [51]



Şekil 2.8. Mg-Zn-Al üçlü denge diyagramı [51]



Şekil 2.9. Mg-Al-Zn üçlü faz diyagramı [45]

Şekil 2.9.'da gösterilen Mg-Zn-Al alaşım sisteminin üçlü faz diyagramında Al'ca zengin bölge incelendiğinde, üç temel metalik faz olduğu görülmektedir. Bunlar;  $MgZn$ ,  $Mg_{32}(AlZn)_{49}$  ve  $Mg_{17}Al_{12}$ 'dir. Yani Çinkoca zenginden farklı fazlar gözlenmektedir. Katı fazlar ve Sembolleri Çizelge 2.11.'de verilmiştir [43,44].

Çizelge2.11. Katı fazlar ve sembolleri[43]

Faz	Sembol	Sıcaklık Aralığı (°C)	Faz	Sembol	Sıcaklık Aralığı (°C)
(Al)	-	<660.5	$Mg_7Al_3$	$\delta$	342-325
(Mg)	-	<650	$MgZn$	$\epsilon$	<347
Zn	-	<419.6	$Mg_3Al_3$	$\zeta$	<416
$Mg_2Al_3$	$\beta$	<453	$MgZn_2$	$\eta$	<590



<b>Mg<sub>23</sub>Al<sub>30</sub></b>	x	450-428	<b>Mg<sub>2</sub>Zn<sub>11</sub></b>	θ	<381
<b>Mg<sub>18</sub>Al<sub>52</sub></b>	y	-	<b>Mg<sub>32</sub>(AlZn)<sub>49</sub></b>	τ	<535
<b>Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub></b>	γ	<460	<b>Al<sub>2</sub>Mg<sub>5</sub>Zn<sub>2</sub></b>	φ	393-?

Mg-Zn-Al alaşımlarına ilişkin yapılan bir çalışma Çizelge 2.12.'de verilmiştir. Bu alaşımların mekanik özellikleri incelendiğin 150 °C de mekanik özellikleri Çizelge 2.13.'da verilmiştir. Yapılan çalışmada 150°C çekme dayanımının Zn oranı arttıkça arttığını göstermektedir[52].

Çizelge 2.12. Mg-Zn-Al alaşım oranları [52]

Alloy	Composition (mass %)							
	Zn	Al	Ce	La <sup>a</sup>	Nd <sup>a</sup>	Pr <sup>a</sup>	Mg	Total (RE)
ZAE654	5.364	4.994	2.079	1.092	0.822	0.229	Bal.	4.222
ZAE674	5.943	6.875	1.997	1.049	0.607	0.228	Bal.	3.881
ZAE854	8.014	4.772	2.379	1.250	0.723	0.272	Bal.	4.624
ZAE1054	10.146	4.987	1.956	1.027	0.594	0.223	Bal.	3.800

Çizelge 2.13. Mg-Zn-Al alaşımlarının mekanik özellikleri [52]

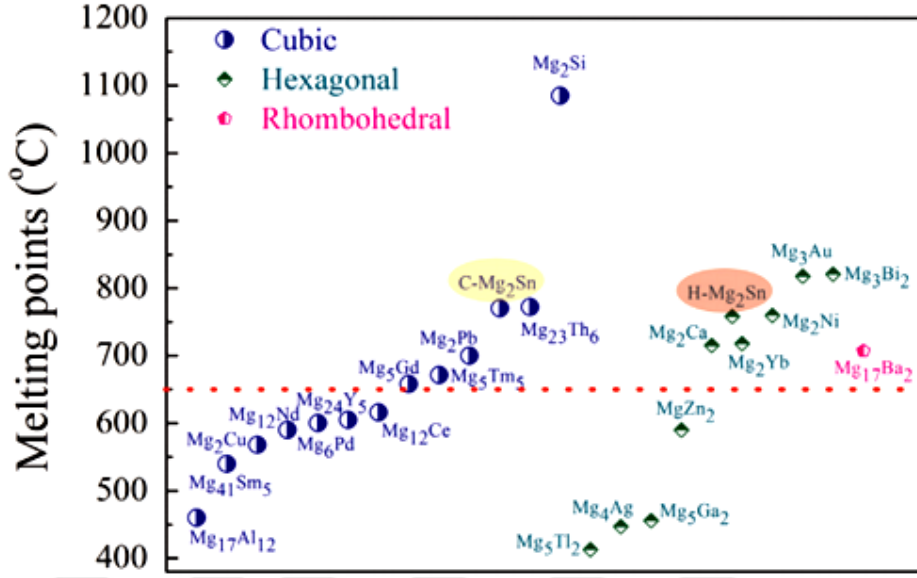
Alloy	UTS (MPa)		YS (MPa)		Elongation (%)	
	RT	150 °C	RT	150 °C	RT	150 °C
ZAE654	242	125	140	89	6.4	9.1
ZAE674	168	112	93	70	3.2	5.4
ZAE854	174	120	95	86	3.1	4.3
ZAE1054	159	127	93	86	1.8	3.1



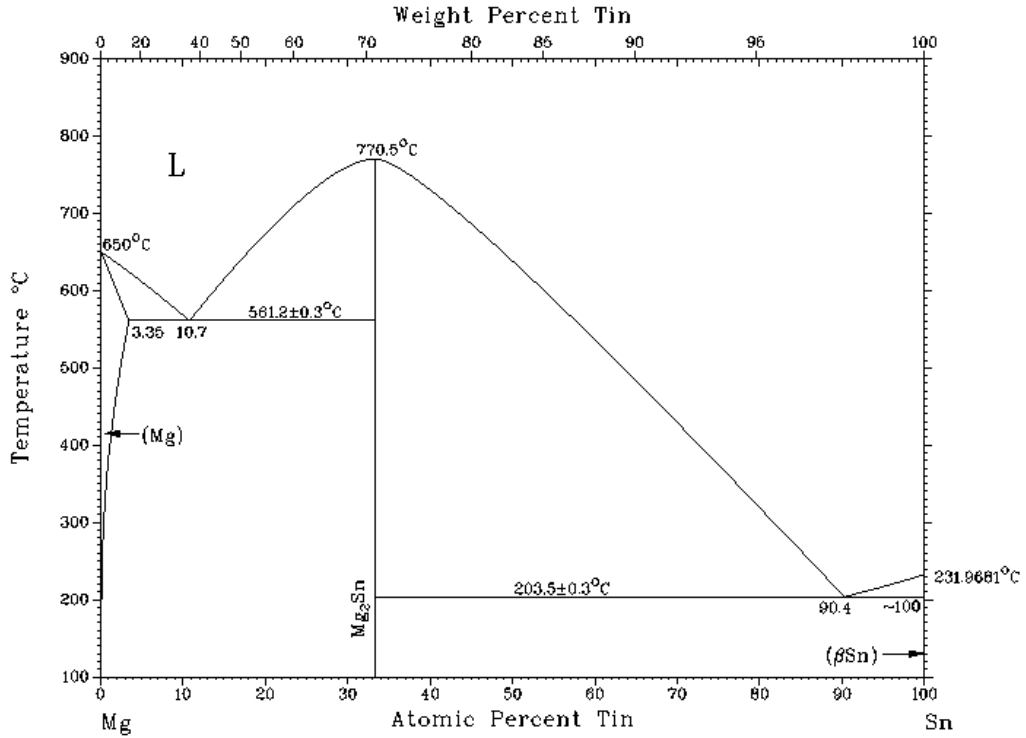
#### 2.2.4. Magnezyum Kalay Alaşımları

Magnezyum Kalay (Mg-Sn) alaşımları diğer mg alaşımlarına oranlı daha düşük maliyetli ve kalayın daha fazla rezerve sahip olmasından dolayı tercih edilir. Ayrıca Sn ilavesi ile Mg-Sn alaşımlarında yüksek mukavemet özellikleri sağlanmaktadır. Şekil 2.15. Magnezyum-Kalay denge diyagramında bulunan  $Mg_2Sn$  fazı yüksek ergime sıcaklığına sahiptir. Fakat farklı alaşım elementleri ilavesi ile yüksek ısı direnç sağlanabilir. Yüksek ergime sıcaklığından dolayı Mg-Sn alaşımlar geniş aralıklarda sıcaklık ve hız ile extrude olurlar. Şekil 2.12 bir extrude işlemi ardından mikro yapı görüntüleri verilmiştir. Çünkü diğer Mg-Zn ya da Mg alaşımlarında ısı çatlama meydana gelebilir.

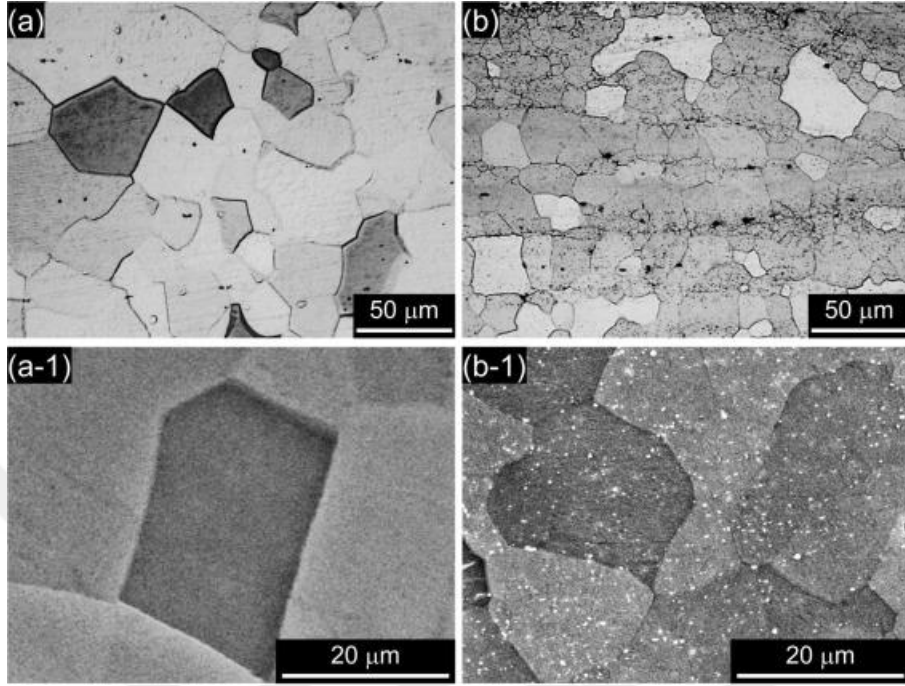
Mg-Sn denge diyagramı (Şekil 2.11) iki ötektik reaksiyon ve bir eşleşik eriyik bileşiği,  $Mg_2Sn$ , karakteristiği göstermektedir. Eriyik bulunurken, mg katı çözeltiler olması göz önünde bulundurulur, karışımın ısısı sıcaklıktan bağımsızdır ve kalay içerisindeki magnezyumun katı çözünürlüğü sıfırdır. Uygun bir boyut faktörü olmasına rağmen magnezyumda kalay çözünürlüğü stabil  $Mg_2Sn$  bileşiği oluşumu ile sınırlandırılmıştır. Maximum katı çözeltili  $561,2^{\circ}C$  Magnezyum içerisinde %3.35 Sn bileşiği ile meydana gelmektedir. Fakat bu çözeltili kararlı bir çözeltili değildir. Yarı kararlı fazdaki kalayca zengin Mg-Sn alaşımları düşük sıcaklıktaki eriyikten kolayca sönmüldüğü görülmektedir. Bu yarı kararlı faz oda sıcaklığında stabil değildir. Ve -40 -100  $^{\circ}C$  da çözünür. Yarı kararlı faz -190  $^{\circ}C$  hegzagonal yapıdadır. Ani soğutulan magnezyumca zengin Mg-Sn alaşımlarında yüzey merkezli kübik yapı (FCC) (Şekil 2.10.) yarı kararlı fazın formunda görülür. Diğer yarı kararlı faz  $Mg_2Sn$  bileşiğinin Kalayca zengin tarafında bulunur. Bu fazın oda sıcaklığından 150  $^{\circ}C$  ye Mg zengin numuneler için, Sn zengin numuneler için oda sıcaklığından 325  $^{\circ}C$  yeyarı kararlı olduğu görülmüştür. Kübik  $Mg_2Sn$  600  $^{\circ}C$  dan 1200  $^{\circ}C$  a kadar sıcaklığa maruz kaldığı zaman ve 2,5-5,5 GPa yük altında hegzagonal yapıya dönüşür. Bu dönüşüm 770,5  $^{\circ}C$ 'nin üzerinde daha hızlı gerçekleşir, atmosfer basıncıda  $Mg_2Sn$ 'nin katı eriyiği. Eriyik soğuduğunda yeni fazda (hegzagonal) (Şekil 2.10.) iri taneler oluşmaktadır. Bu dönüşümün sıcaklık-basın ilişkisi tespit edilmiştir. Yüksek basınç yapısı yüksek sıcaklıktan ani soğutma takibinde basıncın serbest bırakılması ile korunabilmektedir [46].



Şekil 2.10. Mg-X ikili alaşımlarının ergime noktalarına göre kristal yapıları [53]



Şekil 2.11. Mg-Sn denge diyagramı

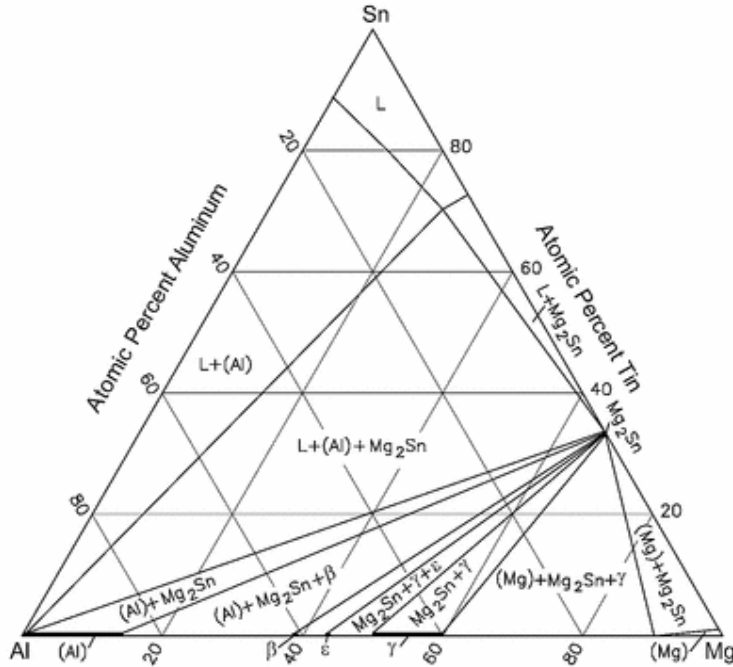


Şekil 2.12.Extrude edilmiş Mg, Mg5Sn optik mikroskopta görüntüsü a)Mg b)Mg5Sn Sem görüntüsü a-1)Mg b-1) Mg5Sn [46]

Şekil 2.12. de yer alan mikro yapılar Mg ve Mg5Sn alaşımına aittir. Optik mikroskopta alınan a ve b görüntüleri verilmiştir. Kristalleşmiş  $\alpha$ -Mg tanelerinin ortalama boyutu  $31,3 \pm 5,94$  ve Mg5Sn alaşımının tanelerinin ortalama boyutu  $19,3 \pm 10,59 \mu\text{m}$ 'dir.Ekstrüzyon işlemi sırasında meydana gelen dinamik tekrar kristalleşme ve dinamik çökeltme nedeniyle Mg örnekleri ile Mg5Sn alaşımı ile kıyaslandığında, Mg5Sn alaşımı nispeten küçük tane boyutları ve daha düzensiz tane boyutu dağılımı sergilemektedir. Mg5Sn alaşımının optik mikroskop ve sem görüntüleri matrix de 2. fazlar görülmektedir. Mg örneğinin ise tane içi ve tane sınırı net bir şekilde görülmektedir [46].

## 2.2.5. Magnezyum Alüminyum Kalay Alaşımları

Mg-Al-Sn alaşımları magnezyum alaşımları arasında yeni geliştirilen bir seridir. Yapılan araştırmalarda Mg Al Sn alaşımlarının iyi sürünme direncine sahip oldukları ayrıca alaşımların sünek ve yüksek ısıl direnç davranışları gösterdiği gözlenmiştir. Eğer Mg-Al-Sn alaşımının Al/Sn oranı daha düşük olursa yüksek sünekliğe sahip, dövülebilir magnezyum alaşımları olabilir. Fakat dövülebilir yada şekillendirilebilir Mg-Al-Sn alaşımlarının, bileşiğin mikro yapı ve mekanik özellikler üzerine etkisi çok dikkat çekici bulunmamıştır. Bu yüzden Mg-Al-Sn alaşımlarının ilave alaşım elementleri kullanılarak mikro yapı ve mekanik özellikleri üzerine çeşitli çalışmalar yapılmaya devam edilmektedir [53,54]. Şekil 2.13 de Sn-Al-Mg üçlü denge diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.13.Sn-Al-Mg üçlü denge diyagramı [55]

## 2.3. MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ ÜRETİM YÖNTEMLERİ

### 2.3.1. Giriş

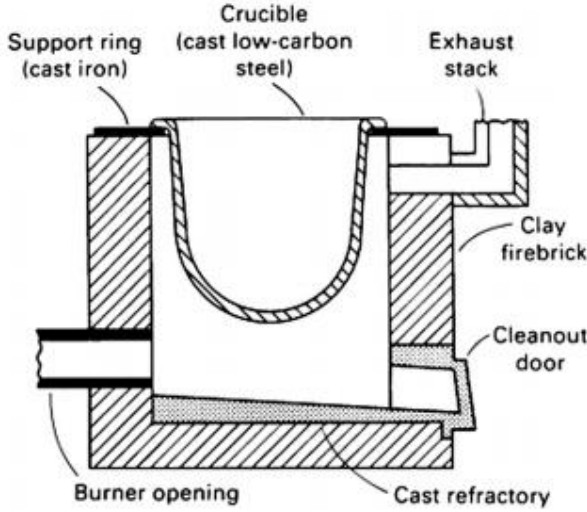
Magnezyum alaşımları üretiminde en sık kullanılan yöntem döküm yöntemleridir. Yüksek basınçlı döküm, gravity döküm ( kum kalıba döküm ve sürekli kalıba döküm), sıkıştırma döküm ve çeşitli yarı-katı döküm metotları mevcuttur. Döküm yöntemlerinin diğer yöntemlerinden bazı üstünlükleri tercih nedeni olmasına sebep olmaktadır. Bunlar;Seri üretime uygundur. Seri üretim durumunda oldukça ekonomiktir. Hem çok büyük hem de küçük parçaların üretilebilir. Dökümle üretilen parçaların genellikle aşınma dayanımları daha iyidir. Genellikle tüm alaşımların dökümü yapılabilmektedir.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. Dökümde kullanılacak çok fazla alaşım çeşidi mevcut olmasına rağmen, her alaşım her döküm yönteminde kullanıma uygun değildir[59].

Demir alaşımlarının yapısından dolayı döküm sık kullanılan bir yöntemdir ancak magnezyum bileşiklerinde de magnezyumun yapı uygulamalarında %98 oranında döküm kullanılmaktadır.Magnezyumun akıcılık özelliği, alüminyum ve çinko gibi demir dışı metallerden çok daha iyidir. İyi akıcılık özelliği basınçlı döküm yöntemi ile ince cidarlı parçaların dökümüne izin verir [64].

Mg alaşımlarının dökülmesindeki ana problem, oksitlenme ve yanma kaybıdır. Havacılıkta kullanılan Mg esaslı parçaların büyük oranının döküm yoluyla üretildiği göz önüne alınırsa parça üretiminde döküm problemlerinin çözümü ana öncelikler arasında yer almaktadır[65].

Magnezyum döküm alaşımları genellikle, dışarıdan ısı uygulamalı bir çelik karbon (<%0,12C)potada ergitilir. Çelik pota çok yaygın olarak kullanılır, çünkü magnezyum normal döküm sıcaklıklarında (magnezyum 650°C' de ergir) çelikle çok yavaş reaksiyona girer (Şekil 2.14.). Ergiyik magnezyum prosesi için en yaygın uygulama yöntemi, metali aynı anda ergitme ve potadan kalıba dökmektir. 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.

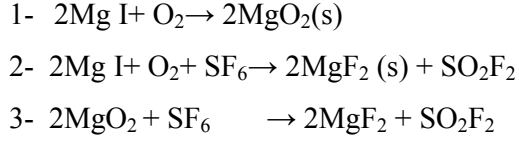


Şekil 2.14. magnezyum alaşımlarının açık potada ergimesi için kullanılan sabit yakıt yakan fırının kesiti [56]

Ancak ergiyik magnezyum ve alaşımları havada oksitlenme ve yanma eğilimindedirler ve bu nedenle ergiyik magnezyum yüzeyleri hava ile oksidasyondan korunmalıdır. Bugün çoğu modern dökümhaneler, hava-kükürt hekzaflorit gaz karışımı ( $SF_6$ ) şeklinde bir örtüsüz proses kullanmaktadır[26].

Erimiş magnezyum oksidasyona karşı yüzeyini korumak için alınan bir önlem olmadığı sürece okside ve yanma eğilimindedir. Alüminyum alaşımlarının aksine, geçirmez oksit yüzeyi ergimiş banyo daha fazla oksitlenme eğilimindedir, magnezyum alaşımı sınırlanır ve ergimiş metal yüzeyi geçirgen oksit kaplama oluşturur. Bu oksijen geçişi oksit yüzey altındaki yanmayı destekler. Ergimiş alaşımın korunması için oksijen hariç koruyucu atmosfer gereklidir. Magnezyum alaşımlarının ergime prosesinde korunması için iki temel sistem vardır, eritgenli ve eritgensiz.

Mg alaşımının ergitimi ve dökümünde koruyucu olarak kullanılan gazların (Ar,  $SF_6$ , N ve HFC-134a) etkileri araştırmacıların ilgisini çekmektedir [26]. Döküm malzemesi içindeki cürufların kalıntıları korozyon dayanımını düşürmektedir. Günümüzde  $SF_6$  içeren gaz karışımları sıvı Mg'yi korumak için daha sık kullanılmaktadır. Koruma sistemi için aşağıda üç örnek verilmiştir[56].



SF<sub>6</sub>, %5'in üstündeki konsantrasyonlarda kullanıldığında Mg için çok iyi bir koruyucu olmakta, ancak çelik kalıplarla ve pota ile reaksiyona girmektedir. Mg alaşımlarına çok az miktarda Be ilavesi alaşımın yanmasını engelleyici etkisi vardır. Alaşımların ergitilmesinde özel olarak dizayn edilip hazırlanmış ergitme ocakları kullanılmaktadır. Bu ocaklarda Mg alaşımları atmosfer ortamından tamamen uzak ve koruyucu gaz altında ergitmeler yapılmıştır[60-62]. Magnezyum ve alaşımlarının üretiminde kullanılan döküm teknikleri genel olarak Bunlar; [56]

- 1)Yüksek Basınçlı Kalıp Döküm:Sıcak kalıba döküm, Soğuk kalıba döküm Vakumla Kalıba Döküm
- 2) Garvity Döküm: Kum kalıba Döküm,Sürekli Kalıba Döküm
- 3) Düşük BasınçlıDöküm
- 4) Sıkıştırılmalı Döküm: Direct Sıkıştırılmalı Döküm, İndirect Sıkıştırılmalı Döküm

Günümüzde çeşitli sektörlerde kullanılan Mg-Al(AM serisi) ve Mg-Al-Zn(AZ serisi) gibi magnezyum alaşımları için en yaygın kullanılan döküm yöntemi, yüksek basınçlı döküm yöntemidir. Bu alaşımlar göreceli olarak oda sıcaklığında iyi mukavemet veya yüksek süneklilik özelliklerinden birine sahiptirler. Buna karşın yüksek basınçlı döküm teknolojisi ile üretilmiş alaşımlarda porozite, sıcak yırtılma ve segregasyon gibi hataların oluşması araştırmacıları yeni arayışlara yöneltmiştir [64,65,66]. Kalıcı kalıba dökümün özel bir şekli olan sıkıştırma döküm (squeeze casting) yüksek basınç altında kapalı kalıp içinde ergimiş metalin katılaşmasını içeren bir yöntemdir. Uygulama, alüminyum otomotiv bileşenlerinin üretiminde son derece başarılıdır. Bu teknoloji hem dövme hem de döküm özelliklerini içerdiği için hafif alaşımların çekme mukavemeti, yorulma ve darbe direnci gibi mekanik özellikleri ve sünekliliğini iyileştirir. Buna karşın sıkıştırma döküm ile üretilmiş magnezyum bileşenlerinin üretimi geniş çapta araştırılmamıştır. Magnezyum alaşımları için dövme döküm teknolojisinin geliştirilmesi otomotiv sektöründeki magnezyum bileşenlerinin yarışabilirliğini arttıracaktır [60-62].

### 2.3.2. Magnezyum Alaşımlarının Yüksek Basıncılı Döküm Yöntemi

Yüksek basınçlı döküm yöntemi hafif metal bileşiklerinin dizayn ve yüksek kalitede imalatında esneklik sağlar. Basıncılı ve döküm, yüksek basınç altında sıvı metalin, kalıcı metal kalıbı ayırmaya zorlamasına dayanan bir prosestir. Magnezyum alaşımları mükemmel bir kalıp doldurma sağlar bu prosesle ince cidarlı ve karmaşık dökümler oldukça ekonomik yapılır.

Magnezyum kalıp döküm alanlarında ince cidarlı dizayn edilebilir alaşımın mukavemeti bununla ilgili değildir ve kalın duvarlar yüksek direnç gerektirir. Magnezyum alüminyuma nazaran ince cidarlı dökülebilir. Alüminyumla kıyaslandığında magnezyumun dezavantajı kıvamıdır, alüminyum bölgesel boşluk kalan yerleri kalınlığı artırmadan telefi edebilir. Alüminyuma nazaran, magnezyum katılma için düşük ergime sıcaklığına sahiptir. Bu özellik basınçlı dökümde kısa döküm çevrimi ve uzun kalıp ömrü sağlar.

Kum ve kokil döküm ile karşılaştırıldığında kalıbı doldurma, yerçekimi kuvveti altında basit bir şekilde meydana gelmez. Bu durum yerine eriyik üzerindeki basınç kinetik enerjiye çevrilir ve sonuçta da kalıp yüksek hızlarda dolar. Bu nedenle kalıp dolana kadar eriyik içinde çok fazla türbülans olur. Özetle, basınçlı dökümün avantajları; Yüksek hızda üretilebilirlik ve ince cidarlı karmaşık parçaların üretim mümkünlüğü, Nihai ürüne yakın ürün elde edilmesi, hızlı soğuma ile iyi mekanik özellikli çok ince taneli mikro yapının oluşması şeklinde sıralanabilir.

Magnezyum basınçlı kalıp döküm alaşımlarının avantajları aşağıda olduğu gibi sıralanabilir [3]:

- Yüksek verimlilik,
- Yüksek hassasiyet,
- Yüksek kaliteli yüzey,
- İnce döküm yapısı,
- İnce duvarlı kompleks parçaların üretimi.

Alüminyumla karşılaştırıldığında;



- % 50'den daha yüksek döküm oranı,
- Çelik ingot kullanılabilir (uzun ömür),
- Daha düşük ısı içerir (enerji tasarrufu),
- İyi işlenebilirlik,
- Takım maliyetinin yarısı,
- Ergiyik halde yüksek akışkanlık.

Magnezyum alaşımlarının basınçlı dökümle üretilmesinin olumsuz tarafları;

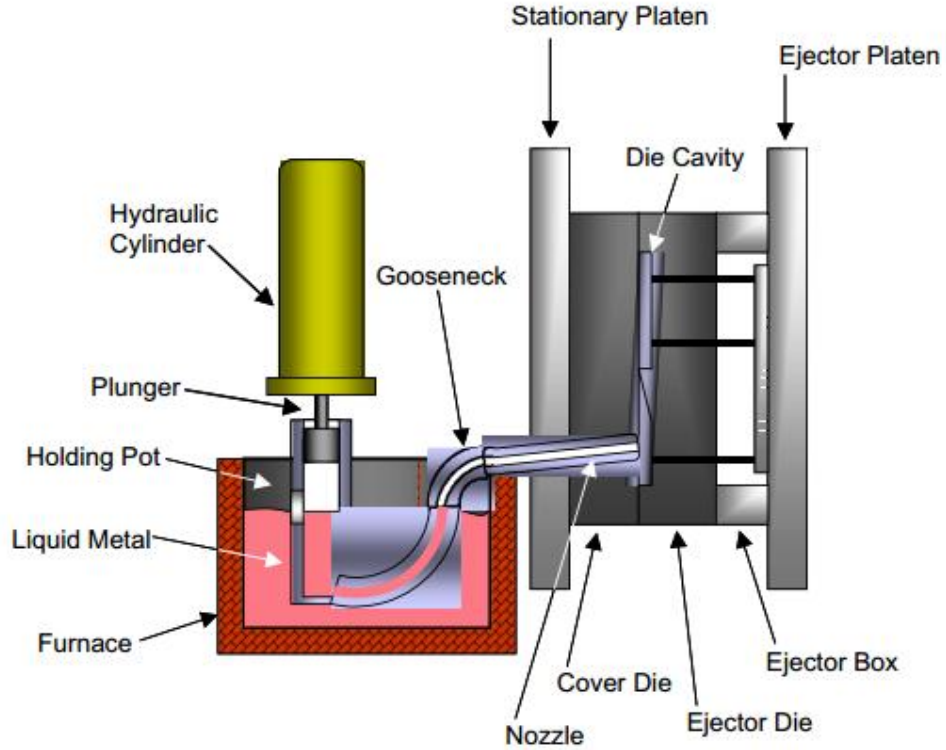
- Yüksek doldurma oranının bir sonucu olarak gaz gözeneklerinin oluşması ve bu şekilde katılaşması,
- Et kalınlığı fazla olan parçaların dökülebilirliği sınırlıdır,
- Daha ucuz kalıp döküm alaşımlarında mekaniksel özellikler sınırlıdır,
- Alaşımların elde edilebilirliği sınırlıdır,
- Döküm mikro yapısının ince taneli olması nedeniyle sürünme direnci kötüdür,
- Mg-Al-nt (nadir toprak) alaşımlarının sürünme direncinin dökülebilirliği sınırlıdır ve pahalıdır,
- Isıl işlem mümkün değildir,
- Kaynağa uygun değildir.

Magnezyum alaşımlarının üretimi için en yaygın üretim yöntemi basınçlı dökümdür. Bu döküm yöntemi kullanılarak elde edilen magnezyum alaşımları, alüminyum ve çinko alaşımları ile karşılaştırıldığında çok daha fazla avantajlara sahiptir.. Ayrıca, magnezyum metali alüminyum gibi demir kalıplar ile reaksiyona girmez, kalıplar dik çeperlere sahip olabilir ve alüminyum döküm ile karşılaştırıldığında takımlar yaklaşık %50 daha fazla kullanım ömrüne sahip olabilirler. Buna karşın magnezyum dökümü esnasında birkaç önemli özelliği göz önünde bulundurmaya ihtiyaç vardır. Örneğin, magnezyum eriyiğinin oksijene çok yüksek duyarlılığı, fırın, borular ve pompalar içinde inört atmosfer oluşturulmasını gerekli kılmaktadır [59, 65, 63, 67].

Basınçlı döküm, kullanılan makineye bağlı olarak sıcak kamaralı ve soğuk kamaralı basınçlı döküm olmak üzere iki tür yönteme ayrılabilir. Vakum altında basınçlı döküm gibi özel yöntemler bu proseslerin varyasyonlarıdır. Sıcak kamaralı makinenin ön kısmında, ergimiş metali döküm sıcaklığında tutan bir fırın bulunmaktadır ve enjeksiyon işlemi genellikle ergimiş metalin içine daldırılmış silindir-piston (kaz boynu) düzeneği ile sağlanır (Şekil 2.15.) [1, 21].

Fırın metali akışkan olarak tutar; ergime, bölünmüş fırın içinde yapılır. Sıcak kamaralı döküm özellikleri:

- Eriyik, bölünmüş bölümde bulunmaktadır. Ayrıca kalıp kapalıdır ve kaz boynu silindir ergimiş metal ile doludur.
- Makine büyüklüğü 900 ton kenetlenme kuvvetine kadar uzanmaktadır
- Eriyik basıncı 150 ile 200 bar arasındadır
- Vuruş 5-6 kg ile sınırlıdır
- Yüksek üretilebilirlik(saatte 100 vuruştan daha fazlası mümkün )
- Cidar kalınlığı: 0,8 ile 10 mm.
- AZ91,AM50 ve AM60 alaşımlarına uygulanabilir.



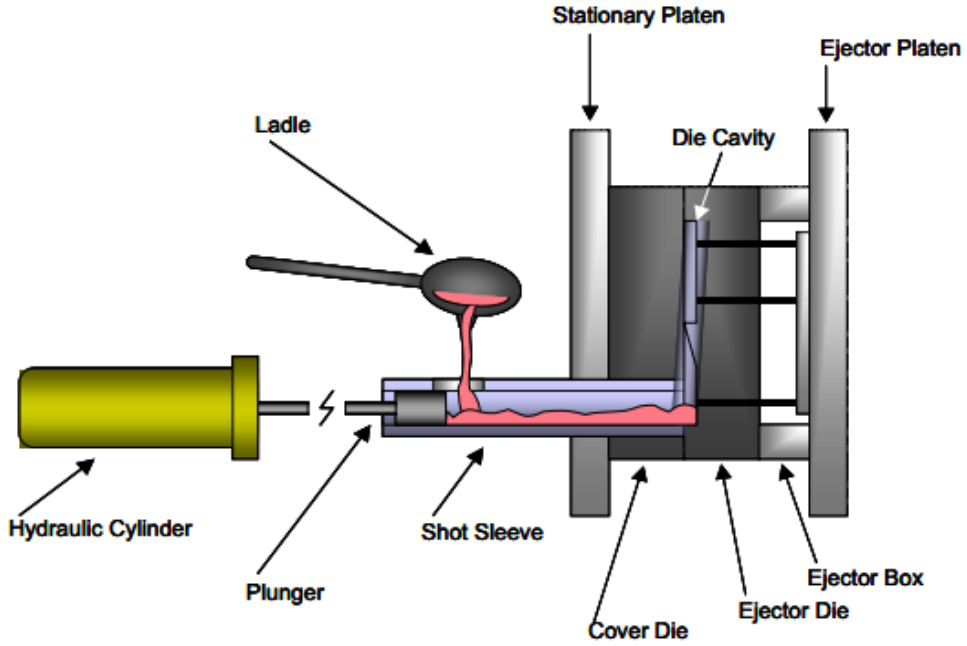
Şekil 2.15. Sıcak kamaralı basınçlı döküm sisteminin görünümü [56]

Eğer parça ince cidarlara sahipse, sıcak kamaralı makinede döküm, soğuk kamaralı prosesin kullanımından daha ekonomiktir. Buna karşın tüm alaşımlar sıcak kamaralı makinede üretilemezler [63].

Soğuk kamaralı basınçlı döküm makinelerinde metal basma haznesi ısıtılmaz(Şekil 2.16.). Hazne yalnızca sıvı metalin etkisiyle ısınır. Soğuk kamaralı makinenin özellikleri aşağıdaki gibidir[59,64,63]:

- Harici bölünmüş bölge vardır ve ayrıca kalıp kapalı ve ergimiş metal soğuk kamaraya el ile konur.
- Düşük üretilebilirlik
- 4500 tona kadar makine büyüklüğü
- Eriyik basıncı 300 ile 900 bar arasında
- Vuruş 60 kg ile sınırlı
- Cidar kalınlığı 1.5 mm den 30 mm ye

- Tüm magnezyum alaşımlarına uygulanabilir.



Şekil 2.16. Soğuk kamaralı basınçlı döküm sisteminin görünümü[56]

Sonuç olarak, basınçlı döküm etkili ve ekonomik bir üretim yöntemidir. Kum kalıba döküm ile karşılaştırıldığında basınçlı döküm yöntemi ile karmaşık şekilli parçalar seri olarak nihai ürüne yakın şekilde üretilebilir. İnce cidarlı parçalar rahatlıkla üretilebilir. Büyük hacimli parçalar daha uniform olarak üretilebilir. Buna karşın yüksek basınçlı döküm teknolojisi ile üretilmiş parçalarda başta porozite olmak üzere, sıcak yırtılma ve segregasyon gibi hatalar mevcuttur. Porozite dört ana nedenden dolayı meydana gelir. Birincisi katılma sıcaklığında katılmış metal ve sıvı sıcaklığındaki eriyik metalin hacmindeki farklılıktan dolayı oluşan çekilme boşluğudur. İkincisi katılma esnasında çözülmüş hidrojenin bünyeyi terk etmesi sonucunda yerine boşlukların oluşması, üçüncüsü kalıp yağlayıcılarından dolayı oluşan porozitedir. Sonuncusu da kalıpta kalan hapsolmuş havadan meydana gelmektedir[64, 63].

Çizelge 2.14. Soğuk kamaralı ve sıcak kamaralı basınçlı döküm yöntemlerinin karşılaştırılması [3]

Yöntem	Soğuk Kamaralı	Sıcak Kamaralı
Fırının yeri	Basınçlı döküm makinesinden ayrı	Basınçlı döküm makinesiyle bütünleşik
Kilitleme kuvveti	1 MN – 45 MN	0,2 MN – 8 MN
Parçanın toplam kesit alanı	En fazla 1,0 m <sup>2</sup>	En fazla 0,4 m <sup>2</sup>
Enjeksiyon sırasındaki basınç	30 – 100 MPa	15 – 40 MPa
Katılma sırasındaki basınç	Max. 120 MPa	Max. 25 MPa
Parçanın ağırlığı	50 g – 40 kg	<10 g – 7 kg
Parçanın cidar kalınlığı	1,5 – 30 mm	0,8 – 10 mm
Alaşımlar	Tüm Basınçlı Döküm Mg alaşımları	AZ91, AM50, AM60

Çizelge 2.14.'de verilen soğuk kamaralı ve sıcak kamaralı dökümler kıyaslandığında soğuk kamaralı basınçlı dökümün magnezyum alaşımlarının tüm basınçlı döküm uygulamalarında kullanabildiği görülmektedir. Sıcak kamaralı dökümde sınırlamalar vardır. Fakat sıcak kamaralı döküm de daha hassastır.

Çizelge2.15. Basınçlı döküm ile üretilmiş çeşitli magnezyum alaşımlarının mekanik özellikleri[64, 63]

Özellik	Birim	AZ91	AM60	AM50	AM20	AS41	AS21	AE42
Çekme Mukavemeti	MPa	240	225	210	190	215	175	230
Akma Mukavemeti	MPa	160	130	125	90	140	110	145
Uzama	%	3	8	10	12	6	9	10
Darbe mukavemeti (ÇentiksizCharpy)	J	6	17	18	18	4	5	5

Yüksek basınçlı magnezyum döküm alaşımlarının mekanik özellikleri üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda bazı magnezyum alaşımlarının basınçlı döküm yöntemi ile üretilmesi sonucunda elde edilen mekanik özellikler çizelge2.15' de özetlenmiştir. Buna karşın halen basınçlı

döküm ile üretilmiş alaşımların mikro yapısı ve mekanik özellikleri tam olarak anlaşılammıştır. Yapılan çalışmaların sonucunda döküm parçalarının mekanik özelliklerinin üretim yöntemine, eriyiğin kalıpta katılaşma durumuna ve alaşımın genel bileşimine bağlı olduğu anlaşılmıştır[64, 63].

### 2.3.3 Gravity Döküm Yöntem

Genellikle magnezyum alaşımlarında yüksek üretilebilirlik ve yüksek kalıplanabilme özelliklerinden dolayı yüksek basınçlı döküm yöntemleri tercih edilse de çeşitli yapı uygulamalarında gravity döküm yöntemleri tercih edilir. Gravity döküm yöntemleri kendi içerisinde ikiye ayrılır. Bunlar,

- 1- Kum Kalıba Döküm (SandCasting)
- 2- Sürekli Kalıba Döküm /Kokil Kalıba Döküm (Permanent Mould Casting) dir [56].

#### 2.3.3.1 Kum Kalıba Döküm

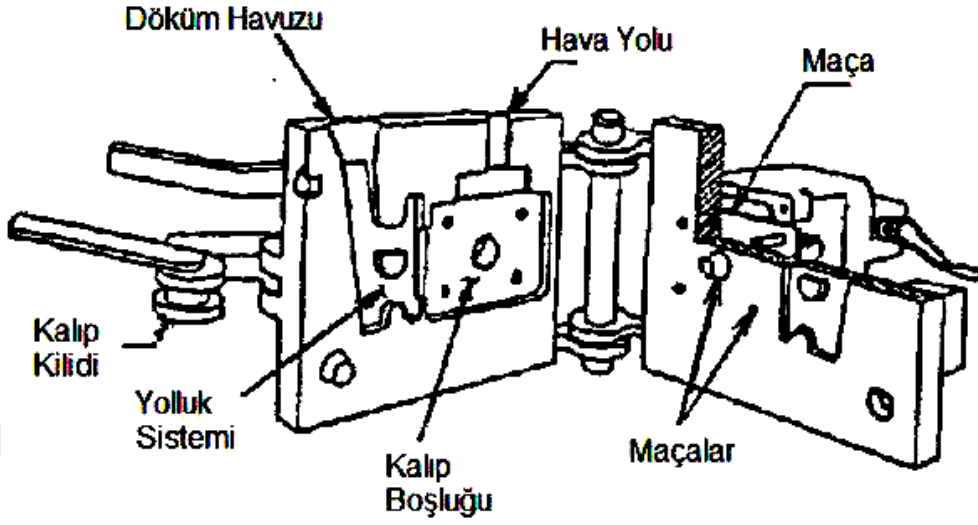
Magnezyum dökümlerinin 1400 kg a kadar geniş bir aralıkta kum kalıba döküm prosesi uygulanabilir(yeşil kum, CO<sub>2</sub> /silikat yada reçine bağlı kum). Magnezyum alaşımlarının kum kalıba dökümü diğer metal dökümlerine çok benzer, kalıplama ve esas kum karışımında verimli inhibitörlerin kullanılması döküm/kum ve metal reaksiyonlarını inlemek için gereklidir. Bu inhibitörlerin ilavesinde yalnız ve ya kombinasyon olarak; sülfür, borik asit, potasyum florit ve amonyum florikasit kullanılır. Düşük maliyetli ahşap kalıp ekipmanı, normalde genel amaçlı dökümler için kullanılır. Fakat yüksek boyut kaliteli magnezyum dökümlerinde hassas imal edilen metal veya plastik kalıplar ve maça sandığı kalıp kullanılır. Ergimiş magnezyumun düşük yoğunluğu ve belirgin oksidasyon eğilimi nedeniyle yolluk ve yolluk sisteminin magnezyumun akışı sırasında türbülansı en aza indirmesi ve katılaşmayı sağlaması gerekmektedir [56].

Mg alaşımlarında bilinen ve uygulanan en iyi kum döküm yöntemi kabuk kalıpcılığıdır[59,63]. Bu kalıpta kumlar arasında reçine tabaka olduğundan Mg'nin kalıp içinde yanma tehlikesi azalmış olacaktır. Mg-Al ve Mg-Al-Zn alaşımları genelde kolay dökülmelerine rağmen, belli durumda sınırlılıkları vardır. Kum kalıba döküldüklerinde mikro çekme gösterirler ve 95°C'in üzerindeki sıcaklıklardaki uygulamalar için uygun olmadığı gözlenmiştir.EZ33A alaşımında kuma dökümler çok iyi dayanım gösterirler [9,59,63].

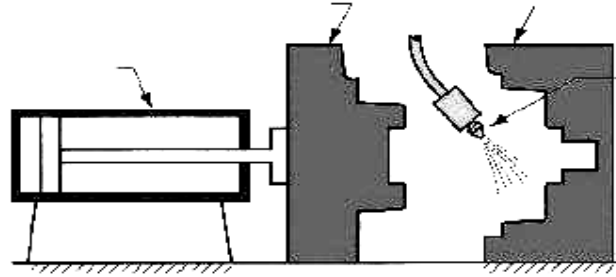
### 2.3.3.2 Kokil Kalıba Döküm

Kokil kalıba dökümün kum kalıba dökümden tek farkı metal kalıp kullanılmasıdır.İki tip kokil kalıba döküm vardır. Bu tipler tasarımdaki maçanın çeşidine göre belirlenir. Bunlar metal, kum veya alçı olabilir.Maçalar metal malzemeden ise, yani maça kalıbın bir parçası olması durumunda, bunların biçimi parçanın soğuyarak büzülmesi sonrasında çıkarılması zorlaştırmayacak şekilde olmalıdır. Bu mümkün değil ise, metal olmayan maçalar da yani kum veya alçı maça kullanılır.Bu yöntemde de, yarı kalıcı kalıba döküm denir. Kalıp ömrünü arttırmak için kalıp boşluğu döküm öncesinde refrakter malzemelerle kaplanır ve bu sayede parçanın kalıptan çıkarılması kolaylaştırılır[63].

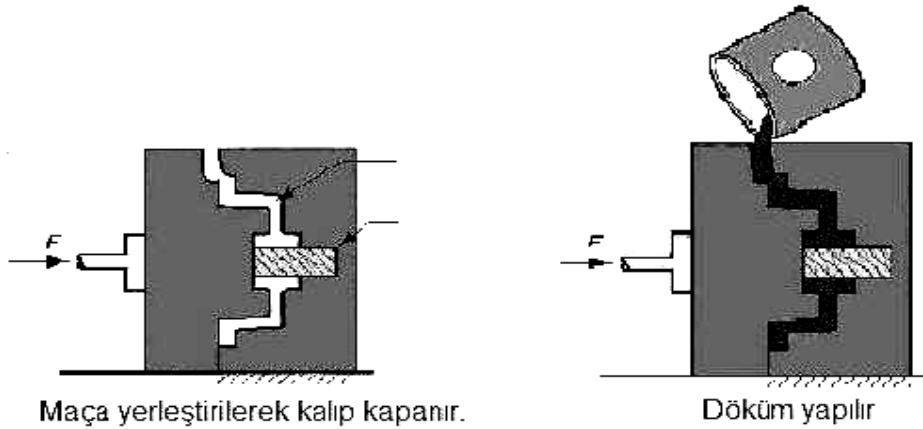
Metal yani kokil kalıba döküm yönteminde katılma sırasında soğuma, kum kalıplardan daha hızlıdır. Bu nedenle dökülen üretilen malzemenin içyapısı daha ince taneli olur. Boyut hassasiyeti +- 0,25 mm olduğundan, parça yüzeylerinin temizleme işlemini gerektirmeyecek kadar yüksek kalitededirler[63]. Kum dökümle kıyaslandığında kokil kalıp dökümünün üstünlüğü; boyutsal toleransları ve yüzey kalitesi sayesinde, daha uniform döküm parçaların üretiminin sağlanmasıdır. Döküm işleminin süresinin uzaması ile ergimiş metal, kalıba keskin bir türbülans ve sıçrama ile girer. Ergimiş metalin uzun sürede düşmesini önlemek amacıyla eğik döküm makinesi, üretimde sıklıkla kullanılmaktadır [9].



Şekil 2.17. Mentşeli bir kokil kalıp örneği[63]



Döküm öncesi kalıp yüzeyine refrakter malzeme püskürtülür.



Maça yerleştirilerek kalıp kapanır.

Döküm yapılır

Şekil 2.18. İki parçalı bir kokil kalıpta döküm işleminin gösterimi[63]



Şekil 2.17. ve 2.18.kokil kalıpların genellikle açılıp kapanan ya da daha çok parçadan oluştuğunu göstermektedir. Kalıp kapandıktan sonra oluşan boşluğa ergimiş metal dökülür. Katılma beklendikten sonra kalıp açılarak dökülen parça çıkarılır.Metal kalıpların cidar kalınlığının belirlenmesinde ısı girdi ve çıktılarının dikkate alınması gerekmektedir. Bunun sebebi, kokil kalıba döküm yönteminin başarısı kalıbın sürekli çalışma sırasındaki sıcaklığa bağlıdır ve gerektiğinde kalıp soğutulabilmektedir. Ayrıca döküm başlangıcında ergimiş metalin kalıba düzgün bir şekilde dolması için birçok kez kalıp önceden ısıtılır[63].

Daha yüksek döküm sıcaklıklarına çıkabilmek için, kalıcı kalıpların malzemesi metal dışında refrakter özelliği daha iyi olan malzemelerde 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[63].

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

Kokil (metal) kalıba döküm yönteminin avantajları;

- Üretilen parçanın yüzey kalitesinin iyi olması
- Temizleme masraflarının düşük olması,
- Hassas boyut toleransları,
- İnce taneli iç yapı sayesinde mekanik özellikleri daha iyi,
- Seri üretim için ekonomik bir uygulama.

Bu yöntemin dezavantajları ise;

- Her malzemenin bu yöntem ile dökülememesi,
- Bazı dökülen parçalar için kalıptan çıkarma güçlüğü,
- Sadece küçük parçaların üretimi için uygun olması,
- Kokil kalıp maliyet gerektirdiğinden ancak seri üretimde ekonomik olması.

Mg-Al-Zn tipi alaşımlar kokil döküm yöntemiyle üretilen alaşımlardır. Bu yöntemde Mg alaşımları Al alaşımlarından çok daha hızlı dökülür. Al alaşımlarına göre kalıp ömrü daha uzundur.Çünkü Mg'da kalıp yüzeyine yapışma riski daha az Al'da ise daha fazladır. Doğru bir biçimde kullanıldığında ve korunduğunda,

koruyucu kaplama yöntemleri ile de kalıp ömrü daha da çok artırılabilir. Mg alaşımının farklı fiziksel ve kimyasal özellikleri Al ile karşılaştırıldığında farklı pota malzemeleri kullanılır. Ergimiş Mg, ergimiş Al'da olduğu gibi Fe ile reaksiyona girmez. Bu nedenle Mg ve alaşımları Fe ve çelik potalarda ergitilebilir ve tutulabilir[61].

Magnezyumunun kokil kalıba dökümünün kalitesini birçok faktör etkilemektedir. Bunlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

-Kalıp temizliğinde gaz kaplamayla birlikte örneğin CO<sub>2</sub> / SF<sub>6</sub> gibi gazlar ile ilk dökümün serbest oksijeni ve döküm kalitesini iyileştirmek için kullanılabilir

-C<sub>2</sub>Cl<sub>6</sub> tablet magnezyum dökümünde gaz gidermeye etki eder.

-Kokil kalıba dökümde NaF gibi florlanmış bileşikler ilave etmek MgF<sub>2</sub> yapısının oluşmasıyla metal kalıp ara yüzeyinde oksitlenmeyi azaltarak döküm kalitesinin artmasını sağlayabilir.

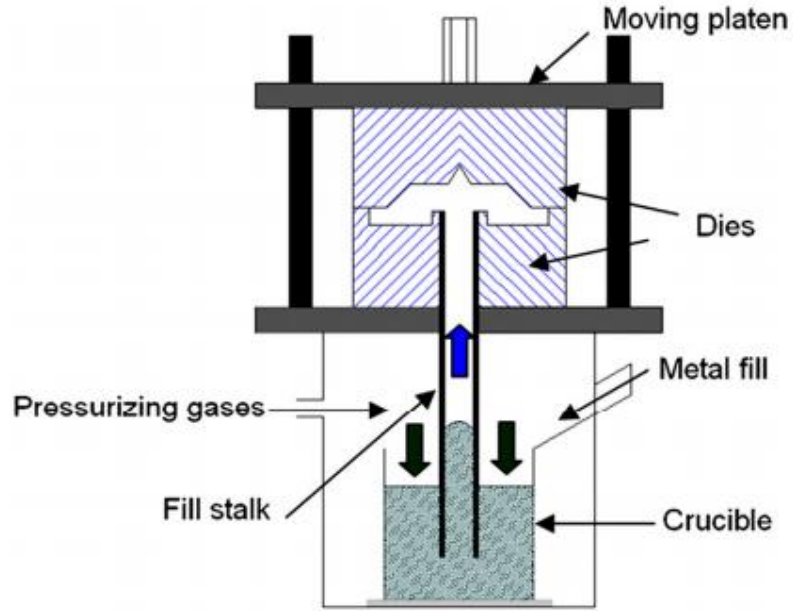
-Magnezyum alaşımlarının düşük ergime noktası nedeniyle düşük hacimli üretim için H13 takım çeliği kalıplar, yüksek hacimli üretim için tercih edilerek dökme demir kalıplar kullanılabilir

-Tamamı tanecikli yapı olmayan ötektik içerikli ve/ veya geniş donma aralığına sahip alaşımlar sıcak yırtılma eğilimindedirler. İnce tane boyutu dentritler arası beslemeyi, alt taneler arası gerilmeleri, sıcak yırtılma iyileşmesini artırır.İnerdendritik sıvının yüksek yüzey gerilimi, ki bu interdendritik kanal iyileşmesini engeller, sıcak yırtılma direncini artırabilir.

-Oksit kalıntıları interdendritik beslenmesini ve interdendritik sıvının ıslatılabilirliğini engeller ve sıcak yırtılma eğilimi üzerinde olumsuz etkise sahiptir.

### 2.3.4 Düşük Basıncılı Döküm

Magnezyum alaşımlarının döküm yöntemlerinden biri olan düşük basınçlı döküm tekniği tamamen kapalı sistemde yapılan ergitme ve döküm nedeniyle çok kaliteli, temiz alaşım üretimini sağlar. Şekil 2.19’de düşük basınçlı döküm sisteminin şematik resmi görülmektedir[56].



Şekil 2.19. Düşük basınçlı döküm sistemi [56]

Çizelge 2.16. AZ91 ve AM50 alaşımlarının döküm yöntemlerine göre mekanik özelliklerini karşılaştırılması LPDC (düşük basınçlı döküm) GPMC ( Gravity Kokil Kalıba Döküm) HPDC (yüksek basınçlı döküm)[56]

Alloy	Casting	Temper	Yield strength, MPa	Ultimate tensile strength, MPa	Elongation, %
AZ91	LPDC	As-cast	92.2	180.4	3.4
AZ91	LPDC	T4	76.9	218.5	6.6
AZ91	LPDC	T6	138.2	228.1	1.7
AZ91	GPMC	As-cast	82.7	178.4	3.9
AZ91	HPDC	As-cast	110–130	130–175	0–1
AM50	LPDC	As-cast	57.8	192.3	8.7
AM50	LPDC	T4	68.3	210.6	9.5
AM50	LPDC	T6	66.4	200.3	8.6
AM50	GPMC	As-cast	53	173.4	8.1
AM50	HPDC	As-cast	102–122	132–215	0–5

Çizelge 2.16 de üç döküm yönteminin aynı kalınlıkta üretilen (10mm) AZ91 ve AM50 alaşımları üzerine etkisi incelenmiştir. Alaşımların döküldüğü sıcaklıklarda (As cast) çekme dayanımının (ultimate tensile strength) düşük basınçta dökme ile daha yüksek olduğu gözlenmektedir. AZ91 alaşımının LPDC ile dökümünde T6 sıcaklığında en iyi mekanik özellikleri gösterdiği görülmektedir. AM51 alaşımının ise T4 sıcaklığında akma ve çekme dayanımının diğer sıcaklıklara göre daha iyi olduğu gözlenmektedir.

### 2.3.5. Sıkıştırma Döküm

Döküm işlenmiş malzemelerin kullanılabilir parçalara dönüştürülmesinin en kolay yoludur. Bununla birlikte, geleneksel döküm tekniklerinin başlıca sakıncası gözeneklilik gibi kusurların oluşumudur. Daha da önemlisi, sıcak yırtılmalar, segregasyon kusurları ve bant oluşumu dökülmüş parçaların çalışması esnasında potansiyel çatlak başlangıçtan olabilirler. Bu nedenle, bu kusurları gidermek için yeni döküm teknikleri geliştirilmiştir. Çok sayıda kullanılabilir döküm tekniğinden

biri olan sıkıştırma döküm, daha az kusurlu döküm parçalan yaratmak için büyük bir potansiyele sahiptir [57].

Sıkıştırma döküm prosesi nihai şekle yakın malzemeyi üretmek için son derece uygun bir prosestir. Alüminyum, magnezyum ve bakır alaşımları bu proses ile kolayca üretilebilir. Sıkıştırma döküm basit ve ekonomik bir sistemdir. Uygulanan basınç ve kalıp yüzeyi ile eriyik metalin temas anında ısı transferi çok hızlıdır ve ürünler dövme alaşımlarına yakın mekanik özellikler ile porozitesiz ve ince taneli yapıda elde edilirler. Döküm ürünlerinde en yüksek mekanik özellikler sıkıştırma döküm ile elde edilebilir [60-62]

Sıkıştırma-Döküm düşey tertipte döndürülebilir döküm ünitesi ve kalıp yönü ile özel bir prosestir. Ünite doldurulduğu zaman kapatılır ve kalıba yanaştırılır. Daha sonra piston yukarı hareket ettirilir ve gerçek doldurma başlar (şekil 2.20.). Basınçlı dökümün tersine sıkıştırma döküm yönteminde kalıp yavaşça doldurulur (minimum türbülans ve bu nedenle düşük porozite) ve katılma esnasında uygulanan son basınçta aynıdır. Buna karşın sıkıştırma-dökümde basınç tamamen soğuyana kadar uygulanır ve hatta yarı soğuma durumunda daha fazla besleme yapılır. Genelde enjeksiyon basınçlar kompakt, ince taneli mikroyapı elde etmek için 70 ile 100 MPa arasındadır. Sıkıştırma-döküm basınçlı döküm, düşük porozite, kaynaklanabilirlik, ısıl işlem uygulanabilirlik de yüksek kalitede tekrar üretilebilirlik için mükemmel bir metottur. Gittikçe artarak kokil dökümün yerini almaktadır. Mekanik özelliklerin geliştirilmesi için düşük poroziteden dolayı T6 ısıl işlemleri bile mümkündür. Döküm hızı yavaş olduğundan dolayı parçalar çapaklara sahip değildir. Sıkıştırma döküm yöntemi ile kaliteli bir döküm alabilmek için eriyik hacmi ve kalitesi, uygulanan basıncın süresi ve büyüklüğü, kalıp sıcaklığı, eriyiğin kalıbı doldurma sıcaklığı, basıncın uygulanmasından önce geçen zaman, kullanılan yağlayıcı gibi parametreleri optimize etmek gerekmektedir[59, 60, 61].

#### Sıkıştırma Dökümün Avantajları:

· Uygulanan basınç sayesinde katkı fazının sıvı metal tarafından ıslatabilirliğinin artması,

· Katılaştırmanın basınç altında gerçekleşmesi, makro-mikro porozitelerin giderilmesine ve dolayısıyla alüminyum matris alaşımının daha iyi metalürjik bir yapıya sahip olmasını sağlar.

· Daha yüksek mekanik özellikler gösterir.

· Yüksek sıcaklıklarda ısıl kararlılık,

· Daha ince mikro yapı,

· Geleneksel döküm yöntemlerine göre segregasyonunun en aza indirilmesi ve porozitenin engellenmesi,

· Net veya net şekle yakın üretim sağlaması, karmaşık şekillerin üretilmesi,

· Isıl işlem yapılabilmesi,

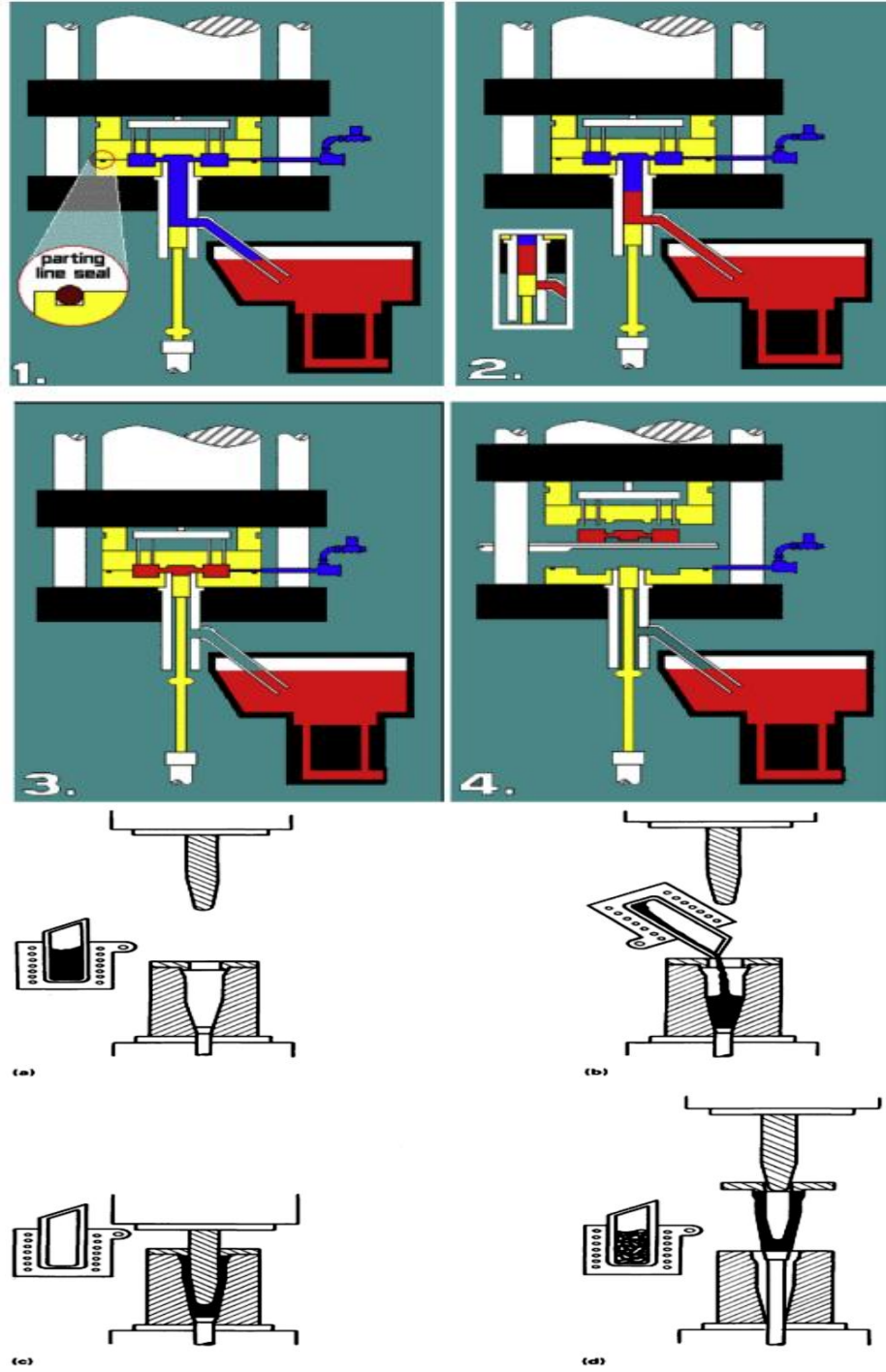
· Kaynaklanabilme yeteneği,

· Kusursuz yüzey bitirme,

· Daha az enerji gereksinimi,

· Kompozit üretimine uygulanabilmesi ve özel alaşımlarının dökülebilmesi gibi avantajlar sağlar [56]

Proses direkt ve endirekt olmak üzere ikiye ayrılır.



Şekil 2.20. Sıkıştırma döküm prosesinin şematik görünümü; a-1: metalin ergitilmesi, kalıbın yağlanması ve ısıtılması, b-2: ergimiş metalin kalıp boşluğuna dökülmesi, c-3: kalıbın kapanması ve eriyiğin basınç altında katılaştırılması, d-4: döküm parçasının çıkarılması ve ergitilecek metalin şarj edilmesi[58]

Sıkıştırma döküm ile üretilmiş magnezyum alaşımları hakkında çok az sayıda çalışma bulunmaktadır[59,60]. Örneğin Zhou ve arkadaşları bir çalışmada, sıkıştırma döküm ve yüksek basınçlı döküm yöntemi ile üretilmiş AM50A alaşımının mekanik özelliklerinin karşılaştırmasını yapmıştır. Elde edilen sonuçlar neticesinde sıkıştırma döküm ile üretilmiş alaşımın çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerleri daha yüksek elde edilmiş ve bu durum daha düşük porozite oranının elde edilmesine bağlanmıştır[63]. Benzer bir çalışma Luo ve arkadaşları tarafından AZ91D alaşımı için gerçekleştirilmiş ve benzer sonuçlar elde edilmiştir[21].

#### 2.3.5.1. İndirekt Sıkıştırma Döküm

İndirekt sıkıştırma-döküm basınçlı döküm ile karşılaştırıldığında, basınçlı döküm sisteminde kullanılan enjeksiyon kanalından daha büyük bir kanaldan kalıba sıvı magnezyum enjekte edilir. Eriyiğin akış hızı yaklaşık 0.5 m/s ve bu nedenle basınçlı dökümde(30 m/s) olduğundan çok daha düşük bir değerdir. Bu düşük enjeksiyon hızı hava absorpsiyonundan eriyiği korur ve kalıp türbülanssız bir şekilde dolar. Basınç ve sıcaklık sürekli olarak kontrol edilir ve sonuçta soğuma esnasında ve sonrasında boşluk içindeki basınç neredeyse sabit kalır. Bu aynı zamanda maça ve boşluktaki erkek kalıpların kullanımına izin verir. Oysa basınçlı dökümde yüksek basınç bu parçaları deforme eder[64, 60].

Endirekt sıkıştırma-döküm preform olarak adlandırılan (poroziteli fiber veya partikül şekilleri) yapıya sıvı metalin girişine ve kompozit üretimine olanak sağlar. Sanayi tek adımda çeşitli bileşenler üretmek için endirekt sıkıştırma-döküm kullanır[60, 61].



### 2.3.5.2. Direkt Sıkıştırma Döküm

Direkt sıkıştırma-dökümde basıncı sağlayan punç, kalıbın en küçük parçasıdır, oysa endirekt döküm standart girişe ihtiyaç duyar. Bu, kalıp üretiminin çok daha kolay olmasını sağlar. Bir veya iki parçadan yapılabilir. Basınç üst punç tarafından uygulanır; alttaki döküm parçasını atar. Bu basit kalıp endirekt döküm yöntemindeki ile karşılaştırıldığında kenetleme kuvveti gerektirmez ve neden ile maliyetler düşüktür[60].

Diğer taraftan direkt sıkıştırma-döküm yönteminde eriyik miktarının tam belirlenmiş olması gerekmektedir, sonuçta bu durum direk olarak döküm parçasının şeklini etkileyecektir. Karmaşık parçalar maça ve punçlar eklenerek şekillendirilebilir. Parçanın soğumasını, kalıp ve punçların farklı sıcaklıklara sahip olması etkileyebilir. Porozitesiz parça elde etmek için soğuma ve basınç özelliklerinin direk döküm kullanılacağı zaman giriş kısmı olmadığı için kritik değildir. Diğer taraftan endirekt döküm bu faktörlere daha fazla bağımlıdır[60].

Eriyik (örneğin döküm parçası) ve kalıp arasındaki ısı transferi sıkıştırma-döküm prosesindeki yüksek basınçtan dolayı oldukça iyidir, çünkü takım ile parçanın cidarı arasında hava boşluğu yoktur. Sonuç olarak yüksek soğuma hızları sağlandığından, mikroyapı çok ince tane yapısına sahip olacaktır[59].

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Giriş

Bu çalışmada, magnezyum-alüminyum alaşımlarının kontrollü atmosferde gravity döküm yöntemi ile üretilmesi ve alaşım elementlerinin özelliklere etkisi incelenmiştir. Temel alaşım olarak Mg-3Al-3Sn gravity döküm yöntemi ile üretilmiş ve ağırlıkça % Sr (0.01, 0.1, 0.5, 1 wt%) ilavesinin alaşım üzerindeki etkileri mekanik ve kimyasal özellikleri testlerle incelenmiştir. Mikro yapı incelenmesi sertlik, çekme dayanımı ve aşınma direnci testleri ayrıntılı olarak incelenmiş ve sonuçlar irdelenmiştir.

Paslanmaz çelik pota kullanılarak elektrik dirençli fırınlar içerisinde Çizelge 4.1 de yer alan alaşımlar, %98 CO<sub>2</sub> ve %2 SF<sub>6</sub> (sülfürhekzaflorid) gaz karışımı altında saf halde bulunan magnezyum, alüminyum ve kalay kullanılarak hazırlanmıştır. Mg-20Sr yüksek alaşımı oluşturmak için stronsiyum ilave edilmiştir. Eriyik 760<sup>0</sup>C kalıp döküm sıcaklığında 30 dk. boyunca tutulmuştur ve grafit kalıp içerisinde homojenliğinin sağlanması için karıştırılmıştır. Çizelge 4.1. de görüldüğü gibi Mg+%3Al+%3Sn alaşımına il olarak %0,01 stronsiyum ilave edilmiştir. Elde edilen yeni alaşımın mekanik ve kimyasal test sonuçları incelenip stronsiyum ilavesi %0,1 oranına artırılmıştır. Son iki aşamada Mg+%3Al+%3Sn alaşımına ise %0,5 ve %1 stronsiyum ilavesi ile elde edilen analiz sonuçları irdelenmiştir.

Çizelge 3.1 Alaşım kompozisyonları

	ALAŞIM KOMPOZİSYONU	Mg%	Al%	Sn %	Sr %
1	Mg+%3Al+%3Sn	93.980	3.048	2.972	
2	Mg+%3Al+%3Sn+%0.01Sr	94.045	2.978	2.969	0.008
3	Mg+%3Al+%3Sn+%0.1Sr	93.948	2.943	2.992	0.117
4	Mg+%3Al+%3Sn+%0.5Sr	93.609	2.992	2.967	0.432
5	Mg+%3Al+%3Sn+%1Sr	93.057	3.004	2.898	1.041

### 3.2. Mikro yapı İncelenmesi

Metalografik örnekler her bir kalıptan aynı pozisyondan olacak şekilde tel erozyon makinesi kullanılarak alınmış ve standart metalografik yöntemlere uygun şekilde hazırlanmıştır. Mikroyapı incelemeleri için optik ve EDS ile birlikte Taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscopy SEM JEOL 6060LV) kullanılmıştır. Mikroyapı incelemesi öncesi numuneler üzerine asetil glikol (20 ml asetik asit, 1 ml nitrik asit, 60 ml etilen glikol, 19 ml distile su) kullanılarak kimyasal dağlama işlemi uygulanmıştır. Alaşımlarda oluşan fazların analizi için X-ışını difraksiyon (XRD) RigakuDMax 1000 X-ray diffractometer marka cihazı kullanılmıştır.

### 3.3 Mekanik Deneyler

#### 3.3.1. Sertlik Deneyi

Üretilen alaşımların makro sertlik deneyleri 31.25/2.5/30 kombinasyonuna sahip Brinell sertlik(HB) skalasında Brooks marka sertlik cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tüm alaşım sınıflarından alınan numuneler 50x50x10mm boyutlarında hazırlanmış ve Alaşımların Brinell sertliği, üzerine 31.25 kg'lık yük uygulanarak ve çapı 2.5 mm olan bilye ile ölçülmüştür. Yük 30 saniye boyunca uygulanmıştır. Her bir alaşım örneğinin sertliği okunan beş değerlerin ortalaması şeklinde alınmıştır.

#### 3.3.2. Çekme Deneyi

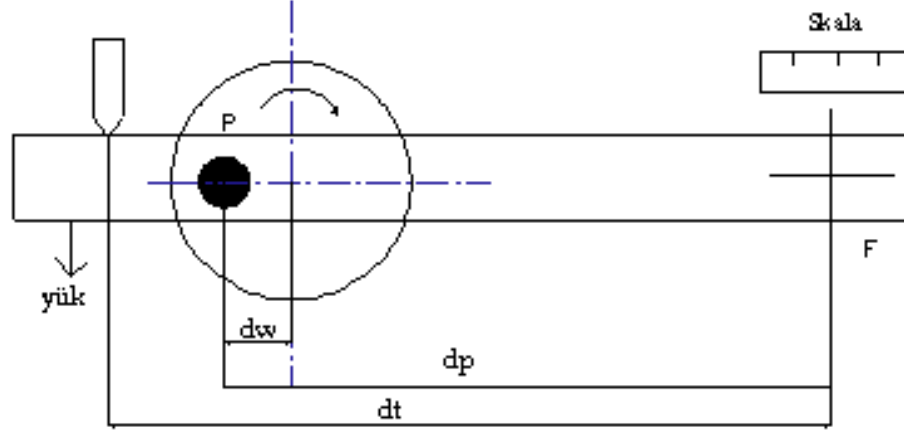
Üretilen alaşımların çekme deneyleri INSTRON 3367 universal çekme cihazında yapılmıştır. Her bir numunenin mukavemeti ve yüzde uzama değerlerinin hesaplanması için 10 adet numune kullanıldı ve bu 10 adet numunenin ortalaması sonuç olarak kabul edildi. Çekme testleri oda sıcaklığında ve çekme hızı 0.2 mm/min olarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.10 çekme mukavemeti deneylerinde kullanılan bilgisayarlı çekme cihazı görülmektedir.



Şekil 3.1. INSTRON 3367 Çekme Cihazı

### 3.3.3 Aşınma Testi

Aşınma deneyleri DIN 50324 standardına göre dizayn edilmiş pin-on-disk (disk üstünde silindirik numune) prensibine göre çalışan aşınma cihazında gerçekleştirilmiştir. Aşındırıcı olarak kullanılan disk, 63 Rc (150kg yükte) sertliğinde sementasyon çeliğidir (0,2 C, 0.55Ni, 0.50Cr, 0.80Mn, 0.2Mo). Bu diskler, frekans kontrolü ile hassas bir şekilde devir ayarı yapılabilen bir motora bağlı diske vida yardımı ile bağlanmıştır. Numunelerin yatağa uygun bir şekilde oturmasına dikkat edilerek yatakta metilalkol ile temizlenmiştir. Aşınma testi iki farklı 5 ve 10 N yük altında,  $1\text{ms}^{-1}$  sabit kaydırma hızı ve oda sıcaklığında 3.6 km'lik toplam kaydırma uzaklığı koşullarında yapılmıştır. Numunedeki sürtünme katsayısını tespit etmek için şekil 3.2.' de T noktasına, normal yüke dik olacak bir transdüser monte edilmiştir. Böylece açısal sürtünme kuvveti ölçülmüştür.



Şekil 3.2. Aşınma cihazının şematik gösterimi. T: Sürtünme katsayısı .l.üm transdüseri, dP ve dT : Mesnet noktasının sürtünme ve aşınma transdüserlerine olan mesafeyi göstermektedir.

Aşınma sırasında malzeme sürtünme katsayısı( $\mu$ ) değerlerinin, sürtünmede oluşan açısız sürtünme kuvvetinin( $F_T$ ), uygulanan normal yüke olan oranına ( $F_N$ ) göre değiştiği bilindiğinden, (4.1.) denklemi kullanılmıştır.Kullanılan bu eşitlik ile her bir numunenin değişik deney şartındaki sürtünme katsayısı hesaplanmıştır.

$$\mu = F_T * dt / F_N * dp \quad (3.1)$$

Eşitlik(3.1.) 'deki dt, mesnet noktasının yanal kuvvetin hesaplanmasında kullanılan Tnoktasındaki transdüserine olan mesafesini, dp ise, mesnet noktasının P noktasında bulunan aşınma numunesine olan mesafesini belirtmektedir.

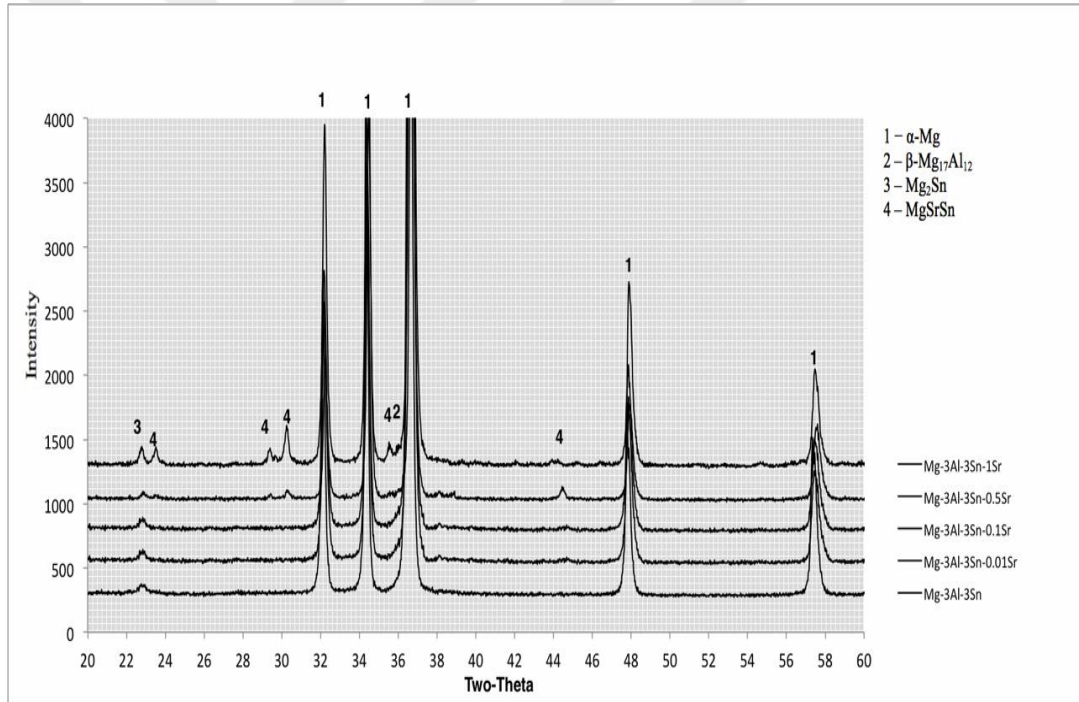
Ayrıca aşınma sırasında numunede meydana gelen ağırlık kayıplarını belirlemek ve aşınma hızını hesaplamak için, deneye başlamadan önce ölçülen m1, deney bitiminde ölçülen m<sup>2</sup>ağırlık kaybı arasındaki fark kullanılmıştır.

Aşınmış yüzeyleri SEM ve EDS kullanılarak ayrıntılı olarak incelenmiş ve mekanizmalar yorumlanmıştır.

## 4.BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Mikroyapı İncelenmesi

Mikroyapı XRD ile her bir alaşımın fazları tespit edilmiş ve Şekil 4.1. de gösterilmiştir. Ana alaşım  $\alpha$ -Mg,  $\beta$ -Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> ve Mg<sub>2</sub>Sn fazlarından oluşurken, stronsiyum ilavesi ile elde edilen yeni alaşımlarda ağırlıkça % 0.5 Sr ilavesinden sonra belirgin bir şekilde pikin görüldüğü yeni bir faz olan MgSrSn intermetaligi tespit edilmiştir.



Şekil 4.1 Tüm alaşımların XRD ile fazları

Şekil 4.2.' de ana alaşım ve Sr ilavesiyle modifiye edilmiş alaşımların optik mikrofafi sonuçları gösterilmektedir ve artan stronsiyum içeriğiyle beraber dane büyüklüğünde azalma olduğu görülmüştür. Ayrıca %0.5 Sr ilavesinden sonra dane morfolojisi yuvarlaktan dentritik yapıya doğru değiştiği görülmektedir.





(a)

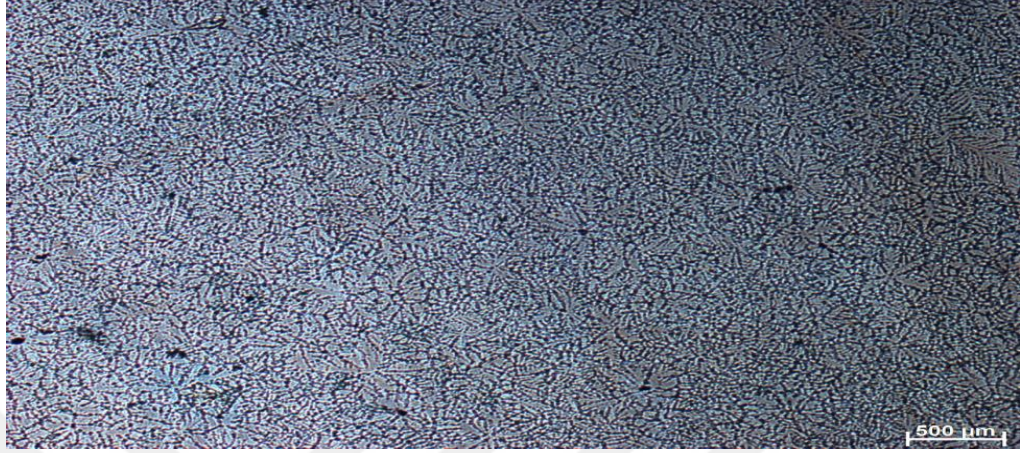


(b)

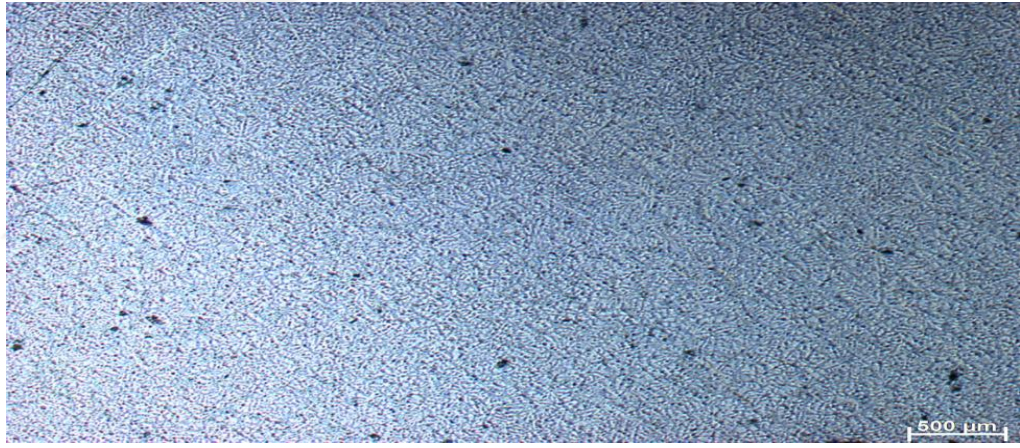


(c)





(d)

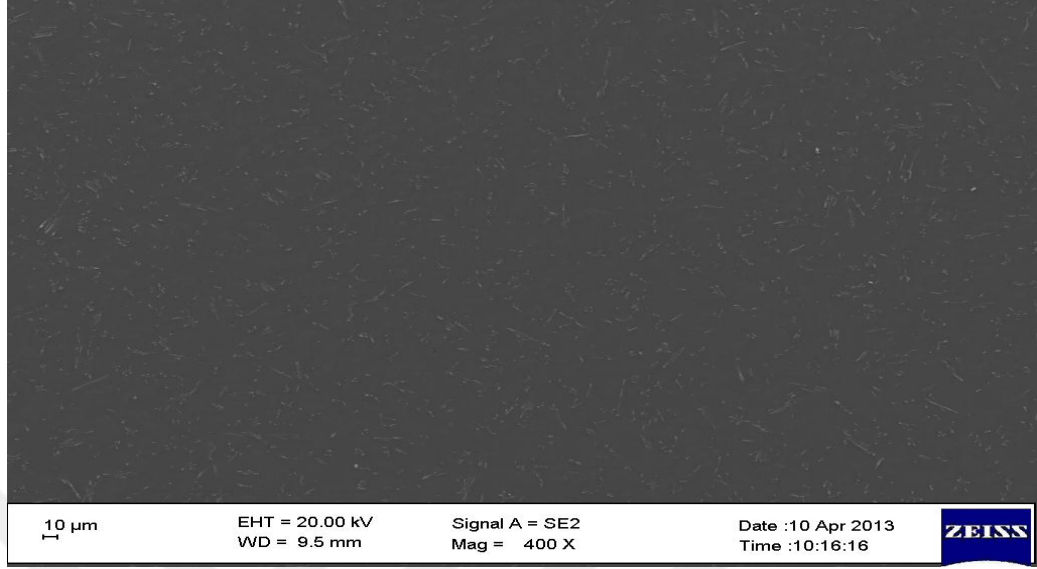


(e)

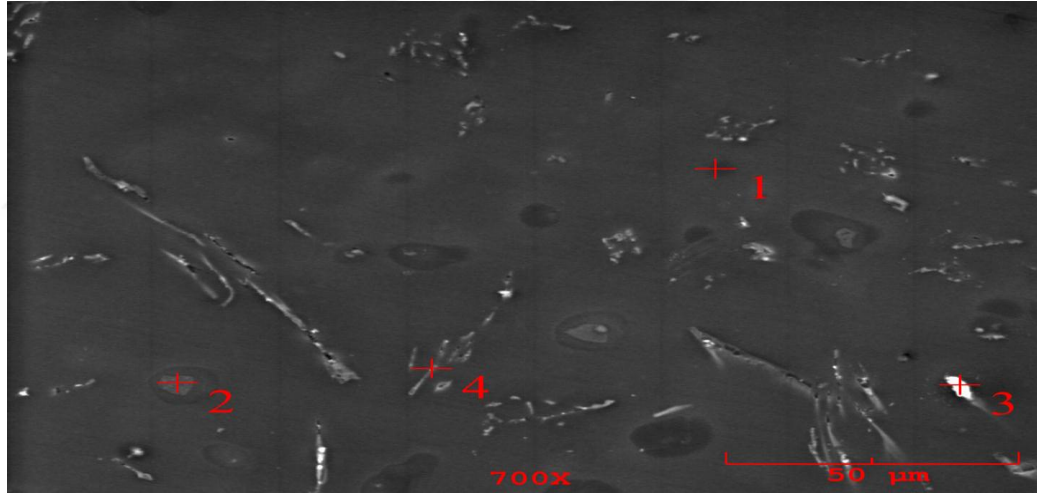
Şekil 4.2. Alaşımların optik mikrografi görüntüleri a) Mg-3Al-3Sn, b) Mg-3Al-3Sn-0.01Sr, c) Mg-3Al-3Sn-0.1Sr, d) Mg-3Al-3Sn-0.5Sr, e) Mg-3Al-3Sn-1Sr

Mg-3Al-3Sn-1Sr alaşımının SEM mikrografi ve EDS analizleri Şekil 4.3. de gösterilmiştir. Şekil 4.3. de açıkça görülebildiği üzere çubuksu MgSrSn intermetalik fazı Mg-3Al-3Sn-1Sr alaşımında ortaya çıkmıştır. Atomik oranlar göz önüne alındığı zaman, sırasıyla Şekil 4.4. üzerinde birinci ile ikinci kısımların  $\alpha$ -Mg ve  $\beta$ -Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> fazlarına ve üçüncü ile dördüncü kısımların ise MgSnSr intermetalik fazına ait olarak kabul edilebileceği söylenebilir. Şekil 4.3. de alaşımların SEM görüntüleri verilmiştir. Net bir şekilde MgSnSr fazlarının çubuksu yapısı şekil c ve d de görülmektedir.





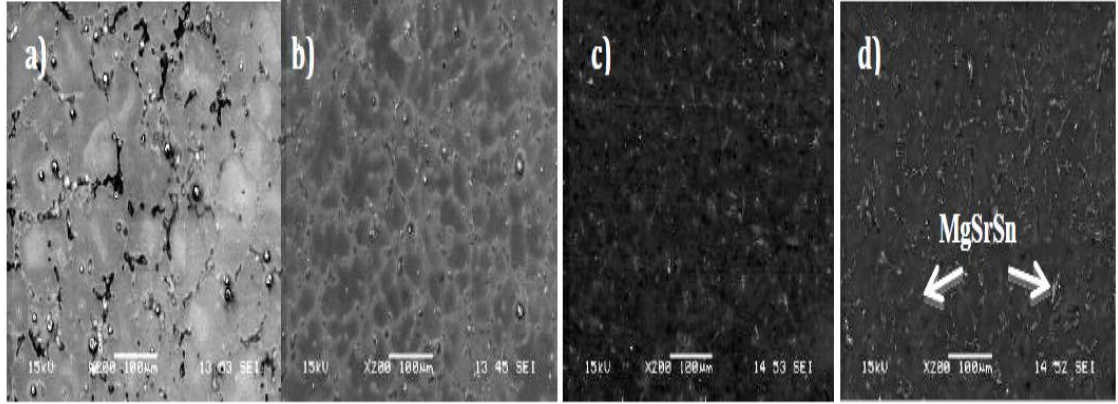
(a)



(b)

Alaşım No:	Kimyasal Kompozisyon, (at.%)				Atomik Oran		
	Al	Sn	Sr	Mg	Sn/Sr	Al/Sr	Mg/Al
1	3,93	0,30	-	95,77	-	-	24,36
2	37,48	0,20	-	62,32	-	-	1,66
3	5,60	3,08	2,36	88,96	1,3	0,42	15,88
4	2,52	1,18	1,12	95,18	1,05	0,44	-

Şekil 4.3. Mg-3Al-3Sn-1Sr alaşımı (a)mikro yapısı SEM görüntüsü(b)Mg-3Al-3Sn-1Sr alaşımı EDS analizi



Şekil 4.4. SEM mikroyapıları ; (a) Mg-3Al-3Sn, (b) Mg-3Al-3Sn-0.1Sr, (c) Mg-3Al-3Sn-0.5Sr, (d) Mg-3Al-3Sn-1Sr.

## 4.2. Mekanik Deneylerin İncelenmesi

### 4.2.1 Sertlik Deneyi

Bütün alaşımların sertliği Çizelge 5.1.'de gösterilmiştir. Sonuçlar gösteriyor ki artan Sr ilavesiyle temel alaşımın sertliği artmıştır. Mg-3Al-3Sn alaşımının sertliği 42 Brinell ölçülürken ağırlıkça %1 Sr ilavesi ile sertlik miktarı yaklaşık %14 artış göstererek 48 Brinell değerine çıkmıştır. Muhtemelen bu, alaşımın sertliğinin artması dane sınırında gerçekleşen yeni intermetalik MgSnSr fazının bir sonucudur.

Çizelge 4.1 Alaşımların brinell sertlikleri

	Alaşım Kompozisyonu	Sertlik (Brinell)
1	Mg+%3Al+%3Sn	42
2	Mg+%3Al+%3Sn+%0.01Sr	43
3	Mg+%3Al+%3Sn+%0.1Sr	43
4	Mg+%3Al+%3Sn+%0.5Sr	45
5	Mg+%3Al+%3Sn+%1Sr	48

#### 4.2.2 Çekme Deneyi

Çizelge 4.2’de çekme deneyi sonuçları gösterilmektedir. Çizelgede de açık bir şekilde görüldüğü gibi, alaşımın stronsiyum ilavesi ile akma dayanımı ve çekme dayanımı artmıştır. Yüzde uzama miktarı ise azalmıştır (e%). Maksimum akma dayanımını % 1 stronsiyum ilave edilen alaşım 5 göstermiştir. Alaşım 1’e 0.01 stronsiyum ilavesiyle çekme dayanımını artmasına rağmen stronsiyum ilavesinin artmasıyla çekme mukavemeti değerlerinde düşme eğilimi gözlenmiştir. Bu düşüşün temel nedeninin çubuksu yapıda olan MgSrSn intermetalığının çentik etkisi oluşturması olduğu ve ayrıca sünekliğin azalmasında da aynı durumun baskın olduğu düşünülmektedir.

Sonuçlar gösteriyor ki artan stronsiyum ilavesiyle ana alaşımın akma mukavemetinin artış göstermesi;  $\alpha$ -Mg içerisinde bir miktar Sr çözünmesiyle katı eriyik sertleşmesi, dane boyutunun düşmesi ve MgSnSr intermetalik fazından dolayı dislokasyon hareketinin engellenmesine bağlanabilir.

Çizelge 4.2. Alaşımların çekme testi

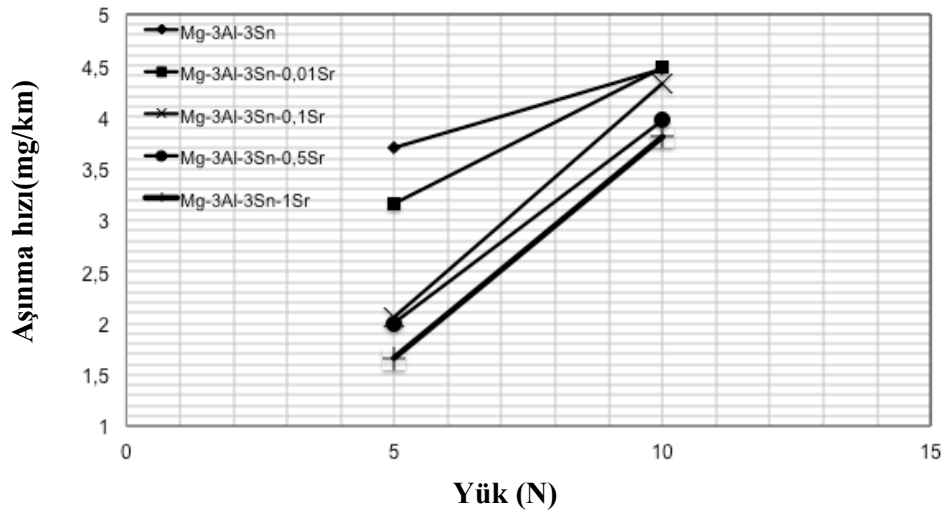
Alaşım No:	%e	Akma Muk. (MPa)	Çekme Muk. (MPa)
Alaşım 1	4,8	69	129
Alaşım 2	4,8	87	148
Alaşım 3	4,5	90	143
Alaşım 4	4,2	92	142
Alaşım 5	3,6	93	136

#### 4.2.3 Aşınma Testi

Çizelge 4.5. aşınma testi sonucu ana ve modifiye edilmiş alaşımlardan elde edilen sürtünme katsayılarını göstermektedir. Çizelgeden de görüldüğü gibi sürtünme katsayılarında herhangi bir trend belirlenememiştir. Şekil 4.6.'da sabit  $1 \text{ ms}^{-1}$  kayma hızıyla uygulanan yükün alaşım üzerinde oluşturduğu aşınma hızı görülmektedir. Şekil 4.6.'da gözlemlendiği üzere her iki yükte de Mg-3Al-3Sn alaşımının aşınma hızı stronsiyum ilaveli alaşımdakilere göre daha fazladır.

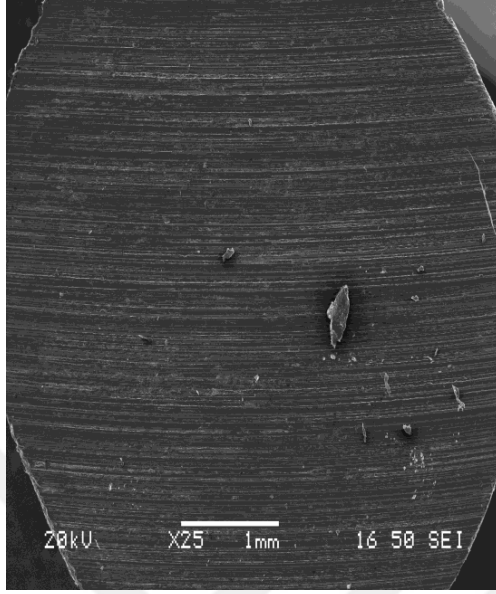
Çizelge 4.5. Aşınma deneyi sonucu sürtünme katsayıları

Alaşım No:	5 Newton (N)	10 Newton (N)
Alaşım 1	0,6	0,8
Alaşım 2	0,72	0,67
Alaşım 3	0,52	0,78
Alaşım 4	0,6	0,78
Alaşım 5	0,52	0,82

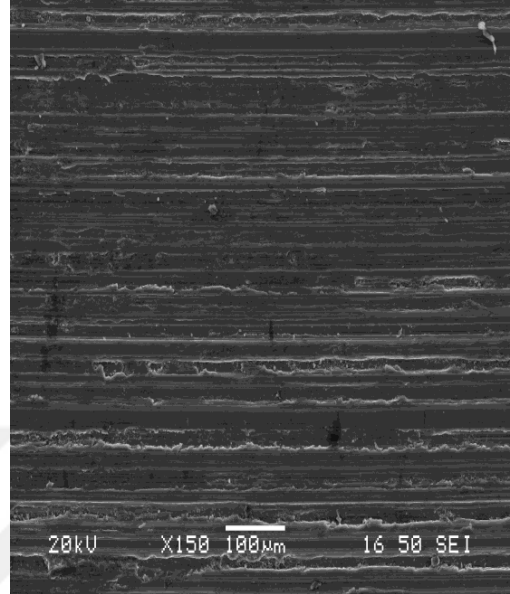


Şekil 4.6. Alaşımların yük altında aşınma oranları

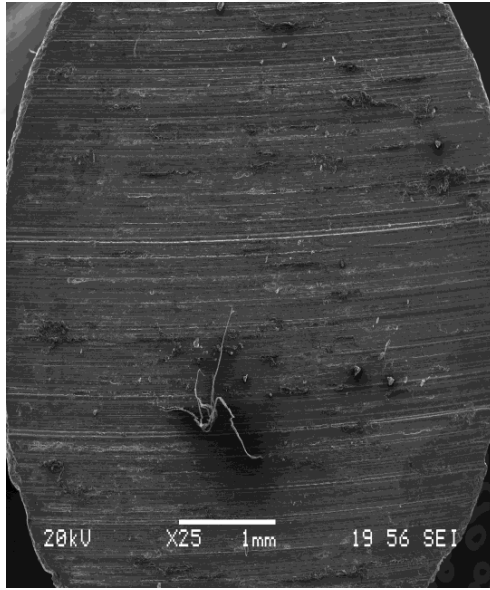
Şekil 4.7.'de ise kuru kayma koşullarında aşındırılmış yüzeyleri üzerinde sırasıyla Mg-3Al-3Sn ve Mg-3Al-3Sn-1Sr alaşımlarının aşınma izlerinin SEM ile elde edilmiş görüntüleri görülmektedir. Aşınmış yüzeyin BSE (backscatter electron) ile incelenen Mg-3Al-3Sn-1Sr alaşımının aşınma izleri şekil 4.7.'de sergilenmiştir. Aşınma deneyleri esnasında hem abrasif(yırtılma) hem de adhesiv(yapışma) aşınma mekanizmalarının alaşımlar için aktif olduğu Şekil 4.7'de görülmektedir. Buna ek olarak, Mg-3Al-3Sn alaşımının abrasif aşınması Mg-3Al-3Sn-1Sr alaşımından daha fazladır. Şekil 4.6. ve 4.7.'den anlaşılacağı gibi çubuksu MgSnSr intermetalik fazı sayesinde Mg-3Al-3Sn alaşımı abrasif aşınmaya karşı direnç kazanmıştır. Mg-3Al-3Sn alaşımındaki aşınma direncinin gelişmesi mikro yapı değişiklikleri, sertlikte artış ve alaşımın akma dayanımı ile ilişkilendirilebilir.



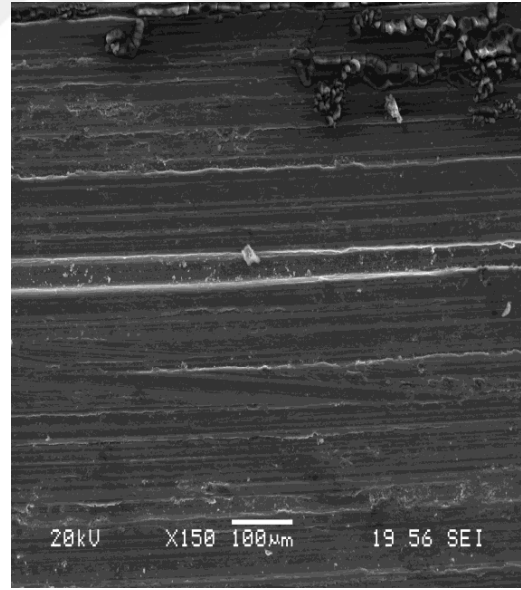
**a**



**b**

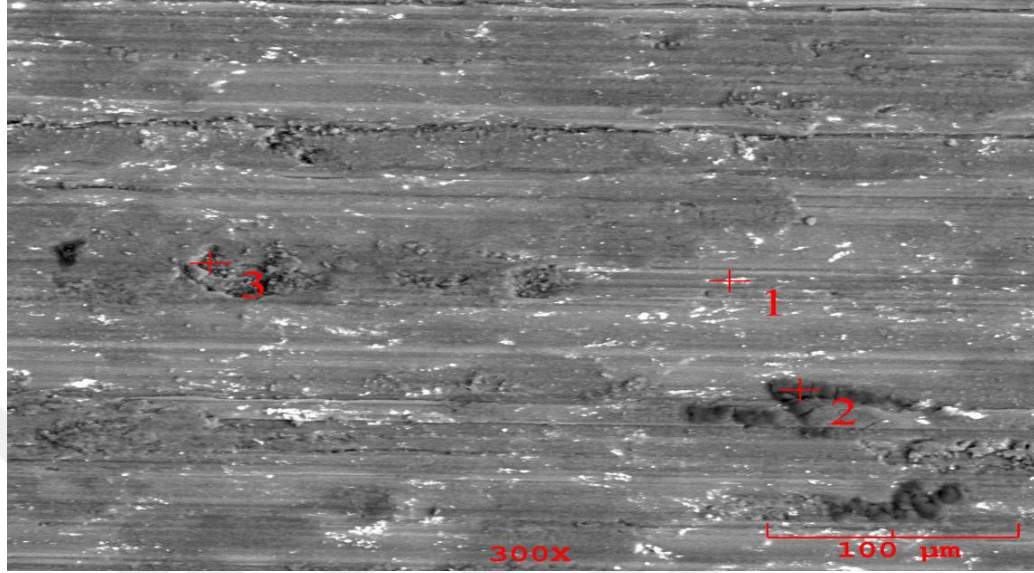


**c**



**d**

Şekil 4.7. Yıpranan yüzeylerin SEM görüntüleri a) ve b) Mg-3Al-3Sn, c) ve d) Mg-3Al-3Sn-1Sr, 10 N yük altında



Alaşım No:	Kimyasal Kompozisyon, (at.%)					Atomik Oran			
	Al	Sn	Sr	Mg	O	Sn/Sr	Al/Sr	Mg/Al	Mg/O
1	2,62	3,10	4,16	90,12	-	0,74	0,62	-	-
2	0,67	0,24	0,12	40,08	58,89	-	-	-	0,68
3	1,32	0,58	0,24	60,78	37,08	-	-	-	1,63

Şekil4.8.Mg-3Al-3Sn-1Sr alaşımlarının 10 N yük altında aşınma izlerinin EDS analizi

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan analiz sonucunda magnezyum-alüminyum alaşımlarının kontrollü atmosferde gravity döküm yöntemi ile üretilmesi ve alaşım elementlerinin özelliklere etkisi incelenmiştir.

XRD (X-ışını difraksiyon) ile fazları, SEM (Taramalı elektron mikroskobu) Optik mikroskop ve EDS testleri (Enerji dağılımlı x-ışınları analizi) ile mikro yapılar incelenmiştir. Mekanik testler sertlik, çekme ve aşınma testleri olarak belirlenmiş ve tüm alaşımlara belirli sayılarda uygulanarak ortalama değerleri sonuçlara yansıtılmıştır. Aşınma testleri sonucunda mikro yapılar tekrar incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar bu bölümde özetlenmektedir;

- 1) Mg-%3Al-%3Sn temel alaşımdaki başlıca bileşenler  $\alpha$ -Mg,  $\beta$ -Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> ve Mg<sub>2</sub>Sn fazlarıdır. X-ışınları analizi stronsiyum ilavesi ile oluşturulan yeni alaşımlarda yeni bir faz meydana gelmiş olduğu ve bu intermetalik faz MgSnSr olarak tespit edilmiştir. Ana alaşımın iri daneli yapısı %0,01 ve %0,1 stronsiyum ilavesi ile gözle görülür bir şekilde küçülmeye uğramıştır. Stronsiyum ilavesinin %0,5 ve %1 olmasıyla birlikte yapıda çubuksu yapılar meydana geldiği görülmüş ve bu fazın MgSnSr olduğu EDS analizlerinden atomik oranlar göz önüne alınarak belirlenmiştir..
- 2) Artan stronsiyum konsantrasyonu ile Mg-3Al-3Sn alaşımının sertliği artmıştır. Sertlik artışının sebebi fazdaki değişimler olarak belirlenmiştir.
- 3) Stronsiyum ilavesi akma mukavemetini iyileştirirken ağırlıkça %0,1Sr ilavesinden sonra hem çekme mukavemeti hem de sünekliliğin düştüğü görülmüştür.
- 4) Artan stronsiyum konsantrasyonu ile her iki yük koşullarında ana alaşımın aşınma hızı düşmüştür.



## **KAYNAKLAR**

- [1]. SWEEDER, T., Demand for Lightweight Technology, Magnesium Expo, Michigan-USA, 2000.
- [2]. KAINER, K.U., Magnesium Alloys and Technology, 2003.
- [3]. KUDRET K., A. ÇETİN C., Otomotiv Endüstrisi için magnezyum alaşımlarının kullanım potansiyeli (basınçlı dökümde)Politeknik Dergisi Journal Cilt:13 Sayı: 3 s. 165-176, 2010
- [4]. WOLFGANG WEISSBACH , Malzeme Bilgisi ve MuayenesiBirsen Yayınevi , İstanbul, 2000
- [5]. KAİNER, K.U., BUCH, F.V., The Current State of Technology and Potential for further Development of Magnesium Applications, Magnesium-Alloys and Technologies Conference, Germany, pp.1-22 ,2003
- [6]. MERT, F.,ÖZDEMİR, A., KARATAŞ, Ç.,Magnezyum Alaşımlarının Basınçlı Döküm Yöntemiyle Kalıplanabilirliğinin Değerlendirilmesi
- [7]. FRIEDRICH, et al., The Second Age of Magnesium,Dead Sea Magnesium Conference, pp. 9.2000,
- [8]. AGHION, E., BRONFIN, B., ELIEZER, D., 2001, The Role of The Magnesium Industry in Protecting Environment, Journal of Material Processing Technology, Vol.117, pp.381-385, 2001
- [9]. National Research Council (U.S.). Opportunities in protection materials science and technology for future army applications, National Academies Press, Washington, D.C. ,(2011).
- [10]. FLEMİNG, S. “An Overview of Magnesium based Alloys for Aerospace and Automotive Applications” Yüksek Lisans Tezi, Graduate Faculty of Rensselaer Polytechnic Institute, New York, 2012.

- [11]. CHO, K., SANO, T., DOHERTY, K., YEN, C., GAZONAS, J. M., MOY, P., DAVIS, B. & DELORME, R. “Magnesium Technology and Manufacturing for Ultra Lightweight Armored Ground Vehicles” Proceedings of the 2008 Army Science Conference, ARL-RP-236, 2009.
- [12]. International Magnesium Association Web Sitesi, <http://www.intlmag.org>, Kasım 2009
- [13]. ASM Handbook Volume 2, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials, ASM International Handbook Committee, United States of America, syf. 700-750, 1996.
- [14]. FROES, F.H., D. Eliezer and E. Aghion, “The Science, Technology and Applications of Magnesium”, Journal of the Minerals, Metals and Materials Society, vol.5, pp. 30-34, 1998.
- [15]. MORDİKE, B.L., T. Ebert, “Magnesium Properties-applications-potential,” Materials Science & Engineering, vol.302, pp. 37-45, 2001.
- [16]. ABBOTT, T., “Why Choose Magnesium?,” Material Science Forum, vol.618-619, pp.3-6, 2009.
- [17]. PINTO, F., “Evolution of weight, fuel consumption and CO<sub>2</sub> of automobiles,” M.Sc. Thesis, The Instituto Superior Técnico, Portugal, 2009.
- [18]. MERT, F., ÖZDEMİR, A. ,Magnezyum Alaşımlarının Basınçlı Dökümü ve Otomotivdeki Uygulamaları 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11), Elazığ, Turkey, 16-18 May 2011.
- [19]. <http://www.roskill.com/reports/magnesium>, Ocak 2009.
- [20]. <http://www.autozine.org/html/BMW/3er.html#R6>, 1997-2005, Aralık 2007.
- [21]. <http://www.nkfu.com/magnezyum-nedir-magnezyum-elementinin-ozellikleri/>, Ocak, 2016
- [22]. KÄNER, K., Magnesium Alloys and Technology, Institute for Materials Research, Center for Magnesium Technology, GKSS Research Center

- Geesthacht GmbH, Geesthacht, ISBN 3-527-30256-5, syf. 1, 23, 45, 56, 72, 90, 106, 218, 226, Ocak 2003.
- [23]. [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Convair\\_B-36\\_Peacemaker.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Convair_B-36_Peacemaker.jpg), 2010
- [24]. <http://uskudar.biz/malzeme-bilgisi/magnezyum>, Ağustos, 2013.
- [25]. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Magnezyum>, 2016.
- [26]. KRAMER, A., Magnesium It's Alloys and Compounds, U.S Geological Survey Open-File Report, U.S.A, syf. 300-341, 2002.
- [27]. ASM Specialty Handbook, Magnesium and Magnesium Alloys, ASM International Handbook Committee, United States of America, syf. 305-415, 1999.
- [28]. GAINES, L., CUENCA R., STODOLSKY, F., WU, S., Potential Automotive Technology Development, Automotive Technology Development Conference, Conference Paper, syf. 1-7, Kasım 1996.
- [29]. PAXTON, D.M. , CARPENTER, J.A. , SKLAD, P.S. , SMİTH, M.T. ,“Overview of Light weighting Materials Research Development in the United States Freedom Car and Fuel Partnership,” Material Science Forum, vol. 618-619, pp.395-404, 2009.
- [30]. KAİNER , K.U. , BUCH, F.V. , “The Current State of Technology and Potential for further Development of Magnesium Applications,” Magnesium-Alloys and Technologies Conference, Germany, pp.1-22, 2003
- [31]. KAİNER, K.U., BUCH, F.V., The Current State of Technology and Potential for further Development of Magnesium Applications, Magnesium-Alloys and Technologies Conference, Germany, pp.1-22. 2003,
- [32]. <http://www.magnezyum.gen.tr/magnezyum-alasimlari.html>, 2015.
- [33]. OSTROVSKY, I., HENN, Y.,Present Stateand Future of Magnesium Application in AerospaceIndustry, 2007,
- [34]. WANG F., LIU H., A Y., JIN Y. “Effect of Si content on the dry sliding wear properties of spray- deposited Al-Si alloys”, Metarial and Desing 25(2004) 163-166.
- [35]. YURDAKUL M., ÖZBAY O.,İÇ Y.T., “ Havacılık Alanında Kullanılan Alüminyum Alaşımlarının Seçimi” Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt 17, s. 1-23.

- [36]. BARBER, L., Master Thesis, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, 2004.
- [37]. WANG, Y., XIA, M., FAN, Z., ZHOU, X., THOMPSON, G., E., *Intermetallics*, 18, sayfa 1683-1689, 2010.
- [38]. [http://fog.ccsf.ca.us/~wkaufmyn/ENGN45/ENGN45\\_Online\\_Homework/10\\_Homework\\_Kinetics\\_SOLUTIONS.htm](http://fog.ccsf.ca.us/~wkaufmyn/ENGN45/ENGN45_Online_Homework/10_Homework_Kinetics_SOLUTIONS.htm)
- [39]. ZHANG, Z., Ph.D. Thesis, University of Naval, Quebec, 2000.
- [40]. SUZUKI, A., SADDOCK, N., D., RIESTER, L., CURZIO, E., JONES, J., W., POLLOCK, T., *Metallurgical and Materials Transactions A*, 38, sayfa 420-427, 2007.
- [41]. NAVE, M., D., DAHLE, A., K., STJOHN, D., H., *Magnesium Technology*, sayfa 233-242, 2000.
- [42]. FRIEDRICH, H.E. VE MORDIKE, B.L., 2006, *Magnesium Technology (Metallurgy, Design Data, Applications)*, Springer, Berlin.
- [43]. ZHANG, Z., Ph.D. Thesis, University of Naval, Quebec, 2000.
- [44]. ZHAN ZHANG and ALAIN COUTURE, *An investigation of the properties of Mg-Zn-Al alloys*, 1998.
- [45]. DIERINGA H, HUANG Y., MAIER P., Hort N., Kainer K., *Tensile and compressive creep behavior of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> short fiber reinforced magnesium alloy AE42*, *Mater. Sci. And Eng. A*, 410, sayfa 85-8, 2005.
- [46]. KANGA, J.Y., YANGB, J. YIMA, C. D., YOUA, B.S., *Role of Sn in corrosion and passive behavior of extruded Mg-5 wt%Sn alloy*, Pages 355–362, January ,2016.
- [47]. CHADWICK, R.J. , *INST. MET.J*, 39, 285-299, (1928).
- [48]. Hume-Rothery, W. and Rounsefell, E.D. *Inst. Met. J.* , 41, 119-138 (1929). 57Cl<sub>a</sub>:
- [49]. J.B. CLARK AND F.N. RHINES, *TRANS. AIME*, 209, 425-430 (1957). 57Par:
- [50]. PARK, J.J. AND WYMAN, L.L. , *WADC Tech. Rep. 57-504*, Astia Document No. AD142110, 1-27 (1957). Published in *Phase Diagrams of Binary Magnesium Alloys*, 1988.
- [51]. ZHAN, Z. AND ALAIN COUTURE, A., *An Investigation of The Properties of Mg-Zn-Al alloys* Accepted in revised form March 26, 1998.

- [52]. WENLONG X., , SHUSHENG J., LİDONG W., YAOMİNG W., LiminW, The microstructures and mechanical properties of cast Mg–Zn–Al–RE alloys ,Journal of Alloys and Compounds 480 ,L33–L36, 2009.
- [53]. FU, H., GUO, J., WU, W., LİU, B., PENG, Q.,High pressure a gingsynthesis of a hexagonal Mg<sub>2</sub>Sn strengtheningprecipitate in Mg–Snalloys,Materials Letters 157,172–175, 2015
- [54]. J. SHE J. , F. PAN F., , ZHANG J. , TANG A. , LUO S., B , YU Z. , SONG K. , RASHADM., Microstructure and mechanical properties of MgeAleSnextrudedalloys,Journal of AlloysandCompounds 657, 893-905, 2016.
- [55]. <http://static-content.springer.com/lookinside/art%3A10.1007%2Fs11669-010-9798-1/000.png>
- [56]. LUO A.A.,Magnesium Casting Technology For Structural Applications, Journal of Magnesiumand Alloys 1, 2-22, 2013.
- [57]. BİLGİCİ Ö.E, Sıkıştırma Döküm Yöntemi İle Kompozit Üretimi Yüksek Lisans Tezi Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü ,Ocak, 2004 İZMİR
- [58]. ILGAZ U.M, Basınçlı Döküm Yöntemiyle Üretilen Seramik Parçacık Takviyeli Al-Si Esaslı Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şubat- 1997
- [59]. SMITH F. W., Çeviri: ERDOĞAN M., University Of Central Florida, Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri Demir Dışı Alaşımlar Cilt 2,Nobel,ANKARA ,Ekim 2001.
- [60]. Modern TribologyHandbook, volumeI ,chapter 4, by CRC Press LLC,2001.
- [61]. CHEN Z.W., JAHENDI M.Z., “ Dieerosionanditseffect on solderingformation in highpressurediecasting of aluminiumalloys”, Materialsand Design 20, p. 303-309,1999.
- [62]. GHOSH P. K., RAY S. “ Effect of porosityand alumina content on the high temperature mechanical properties of compocast aluminium alloy- alumina particulate composite”, Journal of Materials Science 22, p. 4077-4086,1987.
- [63]. AKBULUT H. “Alümina Fiber Takviyeli Al-Si Metal Matrisli kompozitlerin Üretimi ve Mikroyapı Özellik İlişkilerinin İncelenmesi” İstanbul Teknik

Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalürji Mühendisliği Malzeme Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, 1994.

- [64]. ASTM HANDBOOK Vol. 2 Chapter 1.,s.8.
- [65]. STUBBINGTON, C.A., “Materials Trends in Military Airframes”, Metals and Materials, p.424,1988.
- [66]. ASM Handbook Cast Metal-Matrix Composites Vol:8 Casting p:840-853.
- [67]. Modern Tribology Handbook, volume I, chapter 7. p.24 by CRC Press LLC,2001.



## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı:** Gülşah GERMEN TUTAŞ

**Doğum Tarihi:** 08/07/1989

**Öğrenim Durumu:**

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lise	Sayısal	Niğde Anadolu Lisesi	2003-2007
Lisans	Metalurji ve Malzeme Mühendisliği	Karadeniz Teknik Üniversitesi	2007-2012
Yüksek Lisans	Nanoteknoloji ve İleri Malzemeler	Mersin Üniversitesi	2012-2016

**Görevler:**

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Kalite Kontrol Sorumlusu	MTSO Tedarik Zinciri Test ve Ar-ge Merkezi-MERSİN	2013-2015
Kalite Güvence Sorumlusu	Mikron's Mikronize Minarel Endüstri A.Ş NİĞDE	2015-

### ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

1. Gülşah Germen<sup>a</sup>, Hüseyin Şevik<sup>a</sup>, S. Can Kurnaz<sup>b</sup> Influence of Strontium Addition on The Mechanical Properties of Gravity Cast Mg-3Al-3Sn Alloy, AIP Conference Proceedings 1569, 199 , 2103.

2.Gülşah Germen, Güven Yarkadaşan, Hüseyin Şevik ,Influence of strontium addition on the wear behavior of Mg-3Al-3Sn alloys produced by gravity casting, DOI 10.3139/120.110806 Materials Testing 57 ,11-12, pages 997-1000, Nowember 24 2015.