



# **ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI DÖKÜMÜNDE AKIŞ ORANININ MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

**Furkan BAYTAR**

**2020  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Tansel TUNÇAY**

**ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI DÖKÜMÜNDE AKIŞ ORANININ MEKANİK  
ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

**Furkan BAYTAR**

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

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Tansel TUNÇAY**

**KARABÜK  
Kasım 2020**

Furkan BAYTAR tarafından hazırlanan “ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI DÖKÜMÜNDE AKIŞ ORANININ MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Tansel TUNÇAY

.....

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 20/11/2020

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Yakup KAYA (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Tansel TUNÇAY (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet AKKAŞ (KÜ)

.....

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

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

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

Furkan BAYTAR

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI DÖKÜMÜNDE AKIŞ ORANININ MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

**Furkan BAYTAR**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Doç. Dr. Tansel TUNÇAY**

**Kasım 2020, 45 sayfa**

Bu çalışmada, döküm parçaların yolluk sistemlerinin akış oranlarına bağlı olarak mekanik özelliklere üzerine etkisini araştırması üzerine yapılmıştır. Bu aşamada, farklı (dairesel, dikdörtgen, kare ve ikizkenar üçgen) geometride, eşit hacim ve ağırlığa sahip döküm boşlukları ve sabit yolluk sistemi tasarlanmıştır. Çalışmada, Al-Si-Mg alüminyum alaşımı ile döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan döküm malzemelerinde akış oranının belirlenmesi için, ısıya dayanıklı cam ile akış karakteristiği incelenmiştir. Farklı geometriye sahip döküm malzemelerin mekanik özellikleri sertlik ve çekme testi üzerinden değerlendirilmiştir. Mikro yapıda oluşan döküm hataları, optik ve tarama elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Sonuç olarak, sıvı metalin kalıp boşluğunu doldurduğu zaman aralığı sıvı metalin doldurduğu kesit alanına ve döküm geometrisine bağlı olarak değişmiştir. Farklı geometriye ve eşit hacime sahip kalıp boşluklarındaki dolum süresi ve akış oranları farklıdır. Mikro yapı görüntülerinde dendritik yapı, oksit filmler ve intermetalik fazlara rastlanmıştır. Makro

sertlik değerlerinde dikkate değer bir fark elde edilememiştir. Çekme test sonuçlarında ise, en yüksek çekme mukavemeti ve yüzde uzama değeri kare geometrili kalıp boşluğunda, en düşük çekme mukavemeti ve yüzde uzama değeri dikdörtgen geometrili kalıp boşluğunda elde edilmiştir. Kırık yüzey incelemelerinde bifilmlerin kopmada etkin rol aldığı grlmştir.

**Anahtar Szckler :** Al-Si-Mg alaşımları, yolluk sistemleri, akış oranı, mikroyapı ve mekanik zellikler.

**Bilim Kodu** : 91504

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **THE EFFECT OF FLOW RATE ON MECHANICAL PROPERTIES OF ALUMINUM ALLOY CASTING**

**Furkan BAYTAR**

**Karabük University**

**Institute of Graduate Programs**

**Department of Manufacturing Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Assoc. Prof. Dr. Tansel TUNÇAY**

**November 2020, 45 pages**

In this work, the effects of the flow rates of the runner systems on mechanical properties of casting parts has been studied. At the first stage of the work, casting cavities are designed with fixed runner system and different (circular, rectangular, square and isosceles triangle) runner system geometries with equal volume and weight. In the study, casting process was executed with Al-Si-Mg aluminium alloy. In order to determine the flow rate in the casting materials, liquid metal flow characteristics were examined with heat resistant glass. Mechanical properties of casting materials with different geometries were evaluated by hardness and tensile testing. Casting defects which formed in the microstructure were examined by optical and scanning electron microscopy. As a result, the time interval, when the liquid metal fills the mold cavity has changed depending on the cross-section area which the liquid metal fills in and the mold geometry. Filling time and flow rates in mold cavities with different

geometries and equal volumes are different. Dendritic structure, oxide films (bifilms) and intermetallic phases were found in the microstructure images (OM and SEM). Remarkable difference was not obtained in macro hardness values. In the tensile test results, the highest ultimate tensile strength and percent elongation value were obtained in the square geometry mold cavity, the lowest tensile strength and percent elongation value in the rectangle geometry mold cavity. From the examinations of the fracture surface, bifilms have been shown to take an active role in rupture.

**Key Word** : Al-Si-Mg alloys, runner systems, flow rate, microstructure and mechanical properties.

**Science Code** : 91504



## TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐmasının planlanmasında, literatür alıŐmalarında, deneysel aşamada ve sonulandırılmasında deneyimini, ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım ve çalıŐmamı bilimsel temeller ışığında Őekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Tansel TUNÇAY ve ArŐ. Gör. Dr. Talha SUNAR'a sonsuz teŐekkürlerimi sunarım. Bu alıŐma Karabük Üniversitesi Bilimsel AraŐtırma Proje Birimi tarafından KBÜBAP-18-YL-148 no'lu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Karabük Üniversitesi Bilimsel AraŐtırma Proje Birimi desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	3
ALÜMİNYUM DÖKÜM YÖNTEMİ.....	3
2.1. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARINA UYGULANAN DÖKÜM YÖNTEMLERİ.....	5
2.1.1. Kum Kalıba Döküm.....	6
2.1.1.2. Bağlayıcı ve Diğer Katkılar .....	6
2.1.3. Metal Kalıba Döküm .....	7
2.1.4. Basınçlı Döküm .....	7
2.1.4.1. Sıcak Hazneli Basınçlı Döküm .....	8
2.1.4.2. Soğuk Hazneli Basınçlı Döküm.....	8
2.2. YOLLUK SİSTEMLERİ .....	8
2.2.2. Yolluk Sistemi Bölümleri.....	10
2.2.2.1. Döküm Haznesi veya Havşası .....	10
2.2.2.2. Düşey Yolluk .....	10
2.2.2.3. Yatay Yolluk ve Meme Tasarımı.....	12
2.3. BESLEYİCİLER.....	12
2.4. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI.....	12

	<b><u>Sayfa</u></b>
2.4.1. Alüminyum Döküm Alaşımları .....	14
2.4.2. Alüminyum Alaşımlarındaki Alaşım Elementleri .....	14
2.4.3. Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemi .....	15
2.4.3.1. Solüsyona Alma .....	15
2.4.3.2. Su Verme .....	15
2.4.3.3. Yaşlandırma .....	16
2.5. 3xx ALAŞIMLARINDA MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİ EDEN FAKTÖRLER .....	16
BÖLÜM 3 .....	17
MALZEME VE METOT .....	17
3.1. MODEL .....	17
3.2. KALIPLAMA .....	19
3.3. SIVI METALİN HAZIRLANMASI VE DÖKÜM İŞLEMİ .....	21
3.4. T6 ISIL İŞLEMİ .....	22
3.5. KARAKTERİZASYON .....	22
3.5.1. Metalografik İşlemler .....	22
3.5.2. Optik Mikroskop İncelemesi .....	23
3.5.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemesi .....	23
3.5.4. Sertlik Ölçümleri .....	23
3.5.5. Çekme Numunelerinin Hazırlanması ve Çekme Testleri .....	24
BÖLÜM 4 .....	25
DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTISMA .....	25
4.1. DÖKÜM İŞLEMİNİN SONUÇLARI .....	25
4.2. SIVI METALİN HAREKETİNİN İNCELENMESİ .....	26
4.3. SERTLİK ÖLÇÜMLERİNİN İNCELENMESİ .....	30
4.4. ÇEKME DENEYİ SONUÇLARININ İNCELENMESİ .....	31
4.5. OPTİK MİKROSKOP İNCELENMELERİ .....	32
4.5. SEM GÖRÜNTÜLERİ VE EDS ANALİZİ SONUÇLARI .....	34

	<b><u>Sayfa</u></b>
BÖLÜM 5 .....	40
SONUÇ VE ÖNERİLER .....	40
KAYNAKLAR .....	42
ÖZGEÇMİŞ .....	45

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1.	Döküm metodundaki kalıp elemanları .....	6
Şekil 2.2.	Hazırlanmış döküm kalıbı örneği .....	9
Şekil 2.3.	Düz ve konik düşey yolluk sistemleri .....	11
Şekil 2.4.	Düşey yollukta oluşan kum erozyonu görünümü.....	11
Şekil 3.1.	Çalışmada kullanılan yolluk sistemi ölçüleri (a) ve görüntüsü (b). .....	18
Şekil 3.2.	Farklı geometrik döküm parçaların ölçüleri.....	19
Şekil 3.3.	Farklı geometriye sahip döküm maça kalıpları.....	19
Şekil 3.4.	Maça kalıplarının döküme hazır halindeki görüntüsü.....	20
Şekil 3.5.	Optik mikroskop cihazı görüntüsü.....	23
Şekil 3.6.	Hazırlanan çekme numunelerinin görüntüsü.....	24
Şekil 4.1.	Farklı geometriye sahip döküm parçaların görüntüsü.....	25
Şekil 4.2.	Dairesel geometriye sahip sıvı metalin kalıp boşluğundaki akışı. ....	26
Şekil 4.3.	Dikdörtgen geometriye sahip sıvı metalin kalıp boşluğundaki akışı. ....	27
Şekil 4.4.	Kare geometriye sahip sıvı metalin kalıp boşluğundaki akışı.....	28
Şekil 4.5.	Eşkenar üçgen geometriye sahip sıvı metalin kalıp boşluğundaki akışı. ....	29
Şekil 4.6.	Farklı geometriye sahip kalıp boşluklarından elde edilen döküm malzemelerden alınan sertlik değerleri. ....	30
Şekil 4.7.	Farklı geometriye sahip kalıp boşluklarından elde edilen döküm malzemelerden alınan çekme test sonuçları.....	31
Şekil 4.8.	Farklı geometriye sahip kalıp boşluklarından alınan mikroyapı görüntüleri dairesel (a), dikdörtgen (b), kare (c) ve eşkenar üçgen (d) (5X). ....	33
Şekil 4.9.	Farklı geometriye sahip kalıp boşluklarından alınan mikroyapı görüntüleri dairesel (a), dikdörtgen (b), kare (c) ve eşkenar üçgen (d) (50X). ....	33
Şekil 4.10.	Daire geometrili (a), dikdörtgen geometrili (b), kare geometrili (c) ve eşkenar üçgen geometrili (d) parçaların SEM görüntüleri.....	34
Şekil 4.11.	Dairesel geometriye sahip kalıp boşluğunu dolduran dökümden alınan SEM görüntüsü ve elementel haritalama görüntüleri.....	35
Şekil 4.12.	Dairesel geometriye sahip kalıp boşluğunu dolduran dökümden alınan SEM görüntüsü.....	35

**Sayfa**

Şekil 4.14. Eşkenar üçgen geometriye sahip dökümden alınan SEM görüntüsü..... 37

Şekil 4.15. Çekme testi yapılan numunelerin kırık yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri, daire geometrili (a), dikdörtgen geometrili (b), kare geometrili (c) ve eşkenar üçgen geometrili (d). ..... 38

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 2.1. Alüminyum metalinin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	4
Çizelge 2.2. Alüminyum alaşımları serileri. ....	13
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan silis kumunun özellikleri.....	20
Çizelge 3.2. Al-Si-Mg ingot malzemesinin kimyasal bileşimi. ....	21
Çizelge 3.3. Kullanılan direnç ocağı teknik özellikleri.....	22
Çizelge 4.1. Dikdörtgen geometriye sahip dökümden alınan EDS analizi sonucu....	35
Çizelge 4.2. Kare geometriye sahip dökümden alınan EDS analizi sonucu. ....	36
Çizelge 4.3. Eşkenar üçgen geometriye sahip dökümden alınan EDS analizi sonucu. ....	37
Çizelge 4.4. Çekme testi yapılan numunelerin kırık yüzeylerinden alınan EDS analizi sonuçları, daire geometrili (a), dikdörtgen geometrili (b), kare geometrili (c) ve eşkenar üçgen geometrili (d).....	39

## **SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

### **SİMGELER**

Al : alüminyum

Ar : argon

Au : altın

Cu : bakır

H<sub>2</sub> : hidrojen

He : helyum

Mo : molibden

Ni : nikel

### **KISALTMALAR**

ASTM: American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme  
Topluluğu)

TS : Türk Standardı

OM : Optik Mikroskop

SEM : Tarama Elektron Mikroskobu

EDS : Enerji Dağılım Spektrometre



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Alüminyum, dünyada oksijen ve silisyumdan sonra en fazla (%7,5- %8,1 aralığında) bulunan element olduğu bilinmektedir. Doğada çok az miktarda saf halde bulunduğundan eski zamanlarda değerli bir element olarak görülmüştür [1]. Düşük yoğunları ile beraber iyi mekanik özellikleri, iyi elektrik iletkenliği ve korozyon direnci gibi istenilen özelliklere sahip olduklarından, alüminyum alaşımları popülerliğini gün geçtikçe artırmaktadırlar [2]. Alüminyum parçalar veya bileşenler hafif ve aynı zamanda yüksek dayanım özelliklerini barındırdıklarından havacılık ve uzay sektörleri basta olmak üzere makine imalatı, taşımacılık ve inşaat sektöründe tercih edilirler. Alüminyum ve alaşımları dövme ve döküm olmak üzere iki ana kategoride incelenebilir. Özellikler döküm metodu ile üretimi oldukça popülerdir. Döküm metodu, karmaşık geometrili ve çok farklı parça aralığına sahip parçaların üretiminde kullanılmaktadır. Bu metot ile elde edilen ürünler parçanın sarfiyatına, ebatlarına, şekline ve alaşım sistemlerine uygun olarak; kuma döküm, hassas (seramik kabuk) döküm, köpük döküm, sürekli döküm, metalik kalıba (basınçlı) döküm ve yarı-katı v.b teknikleri ile üretilmektedir [2-6]. Döküm işlemi sürecinde, üretilen parça kalitesi, sıvı metalin yolluk sistemini ve kalıp boşluğunu doldurması ve kalıp boşluğunu dolduran sıvı metalin katılaşmasını kapsayan iki fiziksel olayla ilişkilidir. [3,6-9]. Yolluk sistemlerinde oluşması muhtemel tasarım hataları, sıvı metalin akısında süreksizliği (türbülansa), döküm havuzunda oluşan türbülansın etkisi ile hava sürüklenmesine, yatay ve dikey yolluklarda düzensiz sıvı metal akışına ve birleşim yerlerinde hız ve türbülansın değişmesi olarak sıralanabilir. Sıvı metalin akışı sırasındaki süreksizlik beraberinde sıvı metal yüzeyinde türbülansına ve oksit filmin kırılmasına sebep olmaktadır. Sıvı metalin yüzeyindeki koruyucu oksit film tabakasının kırılması, akış durumunda kendi üzerine katlanmasına, yeni yüzeylerin oksitlenmesine ve oksit filmlerin (bifilm) artmasına sebep olmaktadır [10-11]. Döküm parçaların servis ömrü, parçanın içerdiği oksit film tabakası miktarına, boşluk

miktarına (mikro ve makro), oluşan intermetalik fazların şekli ve miktarları tarafından doğrudan etkilenmektedir. Oksit film tabakaları, şarj malzemesinin ergitilmesi sırasında ve sıvı metali kalıp boşluğuna taşıyan yolluk sisteminden kaynaklanmaktadır [2, 3].

Bu çalışmada, döküm metodu ile Al-Si-Mg (EtiAl-177) alaşımından yolluk sisteminin sabit olduğu bir kalıp üzerinde değişken model geometrileri kullanılarak (eşkenar üçgen, kare, dikdörtgen ve daire) farklı numuneler üretilmiş ve dökümün akış oranının mekanik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Döküm esnasında sıvı metalin akış hareketi video ile kayıt altına alınmıştır. Döküm süresi içerisinde belirli saniyelerdeki sıvı metalin anlık görüntüsü üzerinden dolum hacmi belirlenmiştir. Döküm malzemesinin mekanik özelliklerini incelemek için, çekme ve sertlik testi uygulanmıştır.

## BÖLÜM 2

### ALÜMİNYÜM DÖKÜM YÖNTEMİ

Döküm yöntemi kısaca, seçilen bir metal veya alaşımdan üretilmesi arzu edilen bir şekle ait kalıp boşluğu oluşturarak daha sonra ergimiş metalin bu kalıp boşluğuna iletilmesi ve katılaşması işlemi olarak özetlenebilir. Kısaca iki temel fiziksel olayı barındırmaktadır. İlk olarak sıvı metalin kalıp boşluğuna iletilmesi daha sonra kalıp boşluğunda katılaşması olarak özetlenebilir.

Döküm yöntemiyle üretilen parçaların istenilen özelliklere sahip olmaları için gerekli bazı kriterler bulunmaktadır.

- İstenilen şartlara göre uygun döküm yönteminin seçimi.
- Belirlenen döküm yöntemine uygun kalıp dizaynı (yolluk ve besleyici hesaplamaları, çekme boşlukları, işleme payı vb.)
- Sıvı metal veya alaşımın hazırlanması, uygun ergitme aracının belirlenmesi, ergitme öncesi ve ergitme sırası işlemler (gaz giderme, flaks ekleme, aşılama, modifikasyon)
- Sıvı metalin kalıp boşluğuna uygun akış koşullarında iletiminin sağlanması
- Döküm sonrası katılaşmanın kontrolü.

En eski üretim yöntemlerinden birisi olan döküm yönteminin günümüzdeki en belirgin özelliklerinden biri olarak çok hızlı gelişimi gösterilebilir. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle ileri kalıp dizaynı ve döküm esnasında kalıp boşluğu dolununun detaylı incelenmesi gibi çeşitli yenilikçi ve pratik gelişmelerin Bunların yanında yine gelişen otomasyon teknolojileri kalıplamadaki kolaylık ve proseslerin daha hızlı gelişmesini sağlamaktadır [12].

Alüminyum ve alaşımların, yoğunluğunun düşük olması ve elektrik iletkenliğinin, ısı geçirgenliğinin iyi olması, sıcak ve soğuk şekillendirilebilirliğe elverişli olması ve geri dönüşümünün kolay olması gibi belirgin özellikler sayılabilir. Alüminyumun detaylı bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ise aşağıdaki Çizelge 2.1.'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Alüminyum metalinin fiziksel ve kimyasal özellikleri [13].

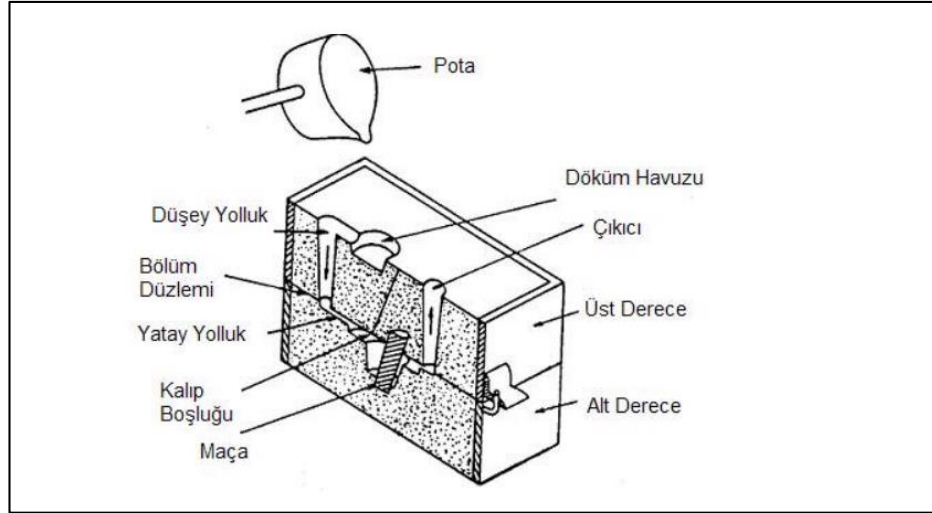
Atom numarası	13
Atom ağırlığı	23
Özgül ağırlığı:	katı halde $2,7/\text{cm}^3$ , sıvı halde ( $700\text{ }^\circ\text{C}$ ) $2,37\text{ gram}/\text{cm}^3$ 'tür
Ergime sıcaklığı	$660\text{ }^\circ\text{C}$
Kaynama sıcaklığı	$2500\text{ }^\circ\text{C}$
Özgür Ağırlığı:	$2,68\text{ gr}/\text{cm}^3$
Isısal iletkenlik:	$159\text{ W}/\text{mK}$

Döküm işleminde dökümün gerçekleştirileceği kalıp boşluğunun ölçüleri üretilecek numunenin ölçülerinden biraz daha fazla seçilir; bu şekilde soğuma veya katılaşma esnasındaki büzölmeler dengelenmiş olunur. Dökümün gerçekleştirileceği kalıplar açık veya kapalı olarak seçilirler fakat uygulamada daha yaygın kapalı kalıplar kullanılırlar. Bu tip kalıplarda ergiyik metali yönlendirmek için bir yolluk sistemi mevcuttur, Şekil 1.2. Kalıplar yüksek sıcaklığa dayanabilecek çeşitli malzemelerden üretilmiş olabilirler, bunlar silis kumu, alçı, seramik ve metal olarak örneklendirebilirler. Döküm için hazırlanan kalıplar kullanımına göre harcanan ve kalıcı kalıplar olarak ikiye ayrılırlar. Harcanan kalıp olarak nitelendirilen kalıplar döküm sonrası, katılaşma tamamlandığında ürüne ulaşmak için bozulurlar ve tekrar kullanılamazlar. Kalıcı kalıplar ise birden fazla kullanıma uygun olması amaçlanarak üretilirler ve aynı kalıp ile birden fazla döküm alınabilir. Seri üretime uygundur. Metal veya kokil kalıplar bu kalıp türlerine örnek olarak verilebilir.

## 2.1. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARINA UYGULANAN DÖKÜM YÖNTEMLERİ

Döküm yönteminin tarihinin M.Ö.4000'lere dayandığı bilinmektedir. İlk zamanlarda döküm parça açık refrakter özellikli muhtemelen kum içerikli kalıplarda, gerekli balta ve benzeri yassı parçaların üretimi için kullanılmaktaydı. Döküm tekniği, yuvarlak şekilli parçaların üretilmesinde, iki veya daha çok parçadan oluşan kalıpların tasarlanmasıyla geliştirildi. Daha sonra, M.Ö.2000 yıllarında, iç boşlukların elde edilmesi için pişirilmiş kilden maçalar oluşturuldu. Bunun yanında daha hassas parçaların üretimi için özel döküm teknikleri kullanılmaktadır. M.Ö.1500 yılından başlayarak döküm tekniğinin özellikle Batı'daki döküm uygulamaları, kiliselerin kontrolünde kilise çan dökülmesinde kullanıldı. Buna beraber, ilk bronz top, döküm ustası bir rahip tarafından 1313 yılında dökülmüştür. Ayrıca, İtalya'da çok sayıda görsel sanat ve bilim alanında döküm metodu tercih edilmiştir.

Basit bir döküm işlemi öncesinde dökülecek metal eritilir ve istenilen döküm sıcaklığında tutulur. Dökme işleminin başlangıcıyla, kalıba düzgünce dolan metal soğumaya başlar, sıcaklık belirli bir eşiğe geldiğinde ki bu metaller için farklılık gösterir, katılaşma başlar ve dökülen parça oda sıcaklığına kadar soğur. Bu esnada malzemede ciddi miktarda ısı geçişi meydana gelir ve içyapıda faz dönüşümleri oluşur. Bütün bu süreç üretilen malzemenin mikro ve makro yapıları, boyut ve yüzey özellikleri üzerinde birincil etkiye sahiptir. Soğuma tamamlandığında ürün kalıptan ayrılır, maça, yolluk, besleyici gibi parçaya ait olmayan bölümler ayrıştırılır, yüzey işlemleri veya ısıl işlemler gerekliyse gerçekleştirilir ve böylece döküm yöntemiyle imalat gerçekleşmiş olur. Şekil 2.1.'de örnek bir döküm yöntemine ait gerekli pota, kalıp gibi elemanlar gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Döküm metodundaki kalıp elemanları [14].

### 2.1.1. Kum Kalıba Döküm

Çoğunlukla gerçekleştirilen dökümlerin büyük miktarı kum kalıplar ile yapılmaktadır. Genel olarak döküm parça ağırlığının 4-5 katı kum kullanılmaktadır. Bahsedilen kum miktarları üretilecek malzemenin cinsine, parça boyutlarına ve kalıplama yöntemine bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Bu döküm yönteminde kullanılan kalıbın şekline göre gruplara ayrılabilir. Bunlar; kuru kum kalıp, yaş kum kalıp, maçaların bir araya getirilmesi ile maça kalıpları, kabuk kalıp (shell mould) gaz yöntemiyle sertleşen silikat yöntemi olarak bilinen CO<sub>2</sub> yöntemi ile hazırlanan kalıp, organik bağlayıcı ve katalizörler birleşimiyle oluşan ve sıvı reçinelerin polimerizasyonu ile havada sertleşen air-set kalıplara döküm yöntemleri olarak sıralanabilir [15].

#### 2.1.1.2. Bağlayıcı ve Diğer Katkılar

Bağlayıcılar, kum taneciklerinin sıkışarak birbirine bağlanması için, kuma ilave edilen doğal veya kimyasal bileşenlerdir. Genellikle, organik ve inorganik olarak ayrılırlar.

**İnorganik Bağlayıcılar:** Genellikle en sık kullanılan bağlayıcı kildir. İçerdikleri su miktarlarına göre bağlayıcılık etkisi değişir. Kum ile birlikte kıl ve su karışımı olan kalıp malzemelerinin bileşimi %80-90 kum, %8-14 kil ve %2-6 sudan meydana gelir. Kil dışındaki inorganik bağlayıcılara örnek olarak silikatlar ve çimento gösterilebilir.

Organik (Kimyasal) Bağlayıcılar: Bağlayıcı olarak kullanılan reçinelerin farklı bileşimlerde doğal ve doğal olmayan (yapay) türleri vardır. Birçok reçinede sertleşme reaksiyonunun meydana gelmesi için yüksek sıcaklıklar gereklidir. Diğer bir grup reçine de ise oda sıcaklığında bir katalizör yardımıyla sertleşme gerçekleştirilir. Yağ esaslı bağlayıcılar için genellikle küçük boyuttaki maçaların üretilmesi için kullanılmaktadır. Yağ esaslı bağlayıcılar neme duyarlı değildir [16].

### **2.1.2. Hassas Döküm**

Bu döküm yönteminde, üretilecek modelin (mumdan üretilir) etrafına çamurla kum karışımı bir kalıp hazırlanır. Çoğunlukla mumun kalıp içine enjekte edilmesi ve refrakter malzeme ile kaplanmasını takiben kalıplar hazırlanmaktadır. Daha sonra kalıp boşluğundaki mumun yakılarak kalıptan uzaklaştırılması ile kalıp boşluğu meydana getirilir. Kum kalıba döküm yönteminde modeller dayanıklı olması için ağaç veya metalden olup defalarca kez kullanılabilirler. Bu yöntemde elde edilen model mum ve modelleri oluşturan kalıpların gereksinimi metodun kısıtlayıcı özelliğidir [15-16].

### **2.1.3. Metal Kalıba Döküm**

Bu döküm yönteminde dar yüzey toleranslı, karmaşık şekilli ve seri üretilmesi istenen döküm parçalar için kullanılır. Bütün alaşımlar metal kalıba dökmeye uygun değildir, ergime derecesi düşük metallerin dökümünde kullanılabilir. Sıklıkla; alüminyum, bakır, magnezyum, çinko esaslı alaşımların dökülmesi için uygundur [17].

### **2.1.4. Basınçlı Döküm**

Bu döküm yönteminde sıvı metalin yüksek basınç altında metalden yapılmış yüzeyine kaydırıcı sürülmüş bir kalıba aktarılmasına dayanır. Uygulanan basınç sayesinde fazla miktarda sıvı metal kalıp boşluğuna doldurması sağlanır. Katılma süreci gerçekleşene kadar basınç uygulanmaya devam edilir ve ardından kalıp açılarak iticiler yardımıyla parça kalıptan ayrılır. Döküm tamamlanmış olur. Basınçlı döküm sayesinde çok karışık şekilli parçaların üretimi gerçekleştirilmiş olur. Basınçlı döküm

makinaları metal basma sisteminin farklı oluşuna göre sıcak hazneli ve soğuk hazneli olarak iki şekilde olur [17,18].

#### **2.1.4.1. Sıcak Hazneli Basınçlı Döküm**

Kalay, kurşun, magnezyum ve çinko gibi ergime sıcaklığı düşük metallerin dökümünde kullanılan ve yüksek miktarda parça üretmeye elverişli bir yöntemdir [18].

#### **2.1.4.2. Soğuk Hazneli Basınçlı Döküm**

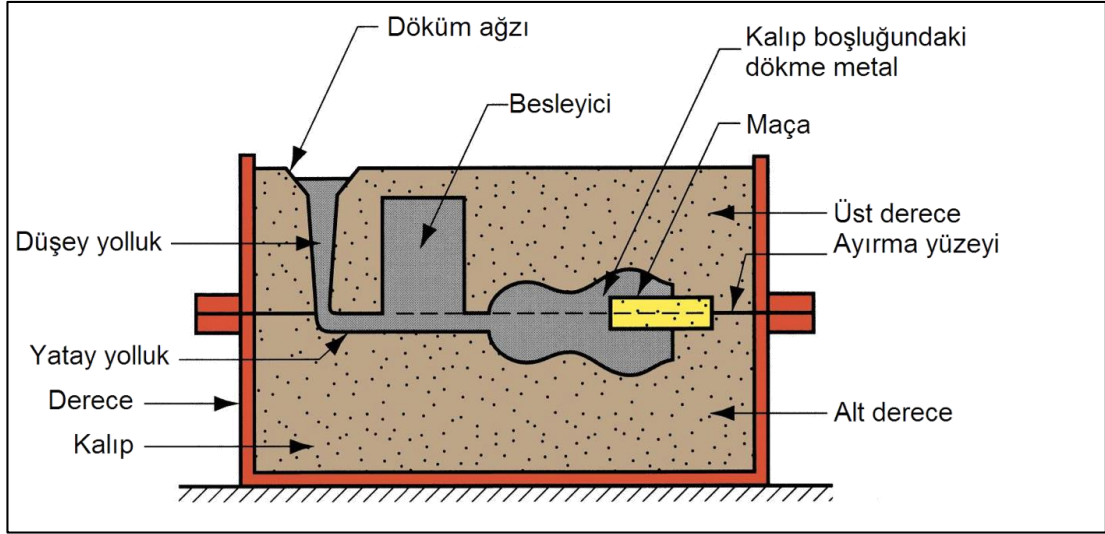
Yüksek sıcaklıkta eriyen ve makinaların çalışan parçaları ile sürekli temas halinde olması istenmeyen alaşımlarda (bakır, alüminyum) soğuk hazneli basınçlı döküm yöntemi kullanılır [18].

### **2.2. YOLLUK SİSTEMLERİ**

Yolluk sistemi, döküm havşasından dökülen sıvı metalin kalıp boşluğuna ulaşmasını sağlamaktadır. Sıvı metalin kalıp boşluğuna türbülanssız doldurulması ve parçanın kusursuz dolum hatasını sağlayan kalıp boşluklarının tamamına yolluk sistemi denilmektedir. Sırasıyla, döküm havşası (veya havuzu), dikey yolluk, yatay yolluk, dikey ve yatay yolluk arasındaki dirsek, meme gibi kalıp boşluklarından oluşmaktadır. Sıvı metal döküm havşasından ilk olarak dikey yolluğa, daha sonra dirsek üzerinden geçerek yatay yolluğa ulaşır. Yatay yolluktan kalıp boşluğuna açılan memeler ile de kalıp boşluğuna iletilir. Burada önemli olan bir nokta, düşey yolluğun sonuna bir çukur (topuk) konmasıdır, bu topuk sıvı metalin hızını ve yönünü değiştirmektedir. Ayrıca sıvı metalin dikey ve yatay yolluğa geçişi sırasındaki düzensizliği ortadan kaldırmak için dirsek uygulamaları da mevcuttur. Şekil 2.2’de bir döküm kalıptaki kalıp elemanların konumlandırılması [2,19].

- Döküm Havşası (havuzu)
- Düşey yolluk
- Yatay yolluk
- Topuk veya dirsek
- Besleyici
- Maça





Şekil 2.2. Hazırlanmış döküm kalıbı örneği [19].

Yolluk sisteminin tasarımı istenilen özellikteki döküm parçaları üretimi için önemli bir kısımdır. Parçanın şekli, iç kalitesi, yüzey kalitesi, mekanik özellikler, kalıp malzemesi, sıcaklık, aşınma ve metal sıcaklığının yanı sıra çıkıcılar, akıcılık, ısı içeriği ve mikro yapısı tasarım aşamasında en iyi şekilde belirlenmelidir [15].

Bir yolluk sisteminden beklentilerimizi, şu şekilde sıralanabilir;

- Öncelikle yolluk sistemi kesinlikle döküm hatasına sebep olmayacak türbülansı engelleyecek şekilde tasarlanmalıdır.
- Sıvı metalin keskin köşelerde ani hız değişimi olacağından keskin köşeler asla olmamalıdır.
- Sıvı metalin kalıp boşluğunu katılaşmadan önce sağlamalıdır.
- Eğer metal kalıba döküm yapılıyorsa, metal kalıp içinde düzgün şekilde hareket etmesi sağlanmalıdır.
- Cüruf veya yabancı maddelerin sıvı metal ile birlikte kalıp boşluğuna aktarılmasına engel olmalıdır. Bunun için filtre uygulaması kullanılmalıdır.
- Sıvı metalin meme kesit alanından kalıp boşluğuna girişi hızı kontrol altında olmalıdır, bu hız 0,50 m/sn olarak belirtilmektedir. Aksi takdirde oluşacak türbülansa neden olur.
- Aşırı ısı farklılıkları engellenmelidir, sebebi ise ısı farklılıkları erken veya çok geç katılaşmaya sebep olabilir ve çekme vb. hatalar meydana gelebilir.

- Kalıp boşluğuna sıvı metalin aktarılması zamanında ve gerekli olduğu miktarda gerçekleşmelidir.
- Yolluk sistemi için hesaplamaların en iyi şekilde yapılması ve dokum sonrası parçadan ayrılması sıkıntısız şekilde gerçekleşmelidir.

### **2.2.2. Yolluk Sistemi Bölümleri**

Yolluk sistemin doğru işleyebilmesi için sistemi oluşturan tüm elemanların doğru tasarlanmasının yanı sıra uygun sıcaklıkta sıvı metalin, parça geometrisi ve üretim hızına uygun döküm yöntemi ile dökülmesi oldukça önemlidir. Yolluk sisteminin bölümleri döküm haznesi ve havşası, düşey yolluk, yatay yolluk ve memeler olarak sayılabilir [18,19].

#### **2.2.2.1. Döküm Haznesi veya Havşası**

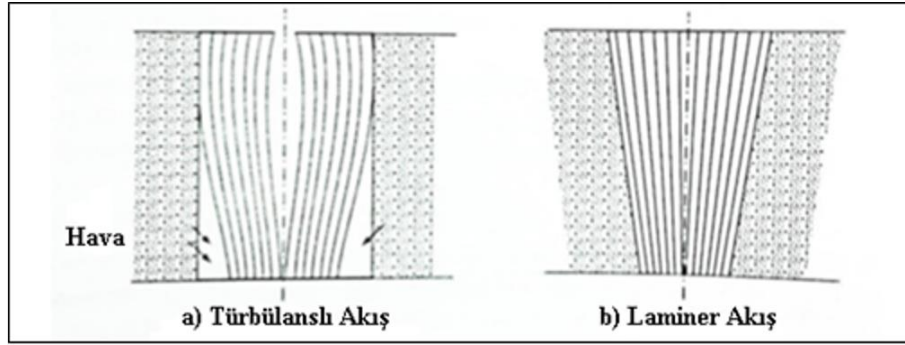
Döküm haznesi ve havşası sıvı metalin döküm yapılacak olan kalıp boşluğuna düzgün bir şekilde iletilmesini sağlayan yolluk sistemi bölümlerinin ilkidir. Bu yolluk sistemi bölümünün başlıca görevleri şu şekilde sıralanabilir;

- Sıvı metalin ocaktan veya potadan sıkıntısız ve basit bir şekilde düşey yolluğa aktarılmasını sağlamalıdır.
- Sıvı metalin belirlenen hızda kalıba ulaşmasını sağlamalıdır.
- Düşey yolluğa iletilen sıvı metalin girdap ve türbülans oluşumunu engellemelidir.
- Düşey yolluğa kesintisiz sıvı metal sağlamalıdır. Cüruf, metalik oksit, yabancı maddelerin ve hava girişine engellemelidir.

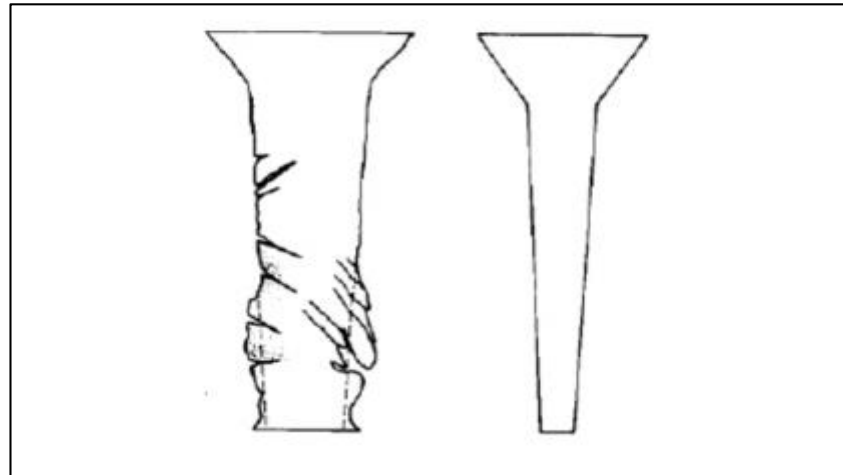
#### **2.2.2.2. Düşey Yolluk**

Düşey yolluk döküm haznesi ve havşasına gelen sıvı metalin yatay yolluk ve memeler üzerinden kalıp boşluğuna aktarıldığı bölümdür. Düşey yolluk düz veya konik şekilde tasarlanabilir. Şekil 2.3'de düşey yolluğun bazı görevleri ve tasarımındaki öneriler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Sıvı metalin memelere iletilmesi için yatay yolluğa girişini sağlamalıdır.
- Sıvı metalin akışını kolay ve türbülansız bir şekilde yatay yolluğa aktarmak için üst alanının, alt alanına doğru daralması gerekmektedir.
- Sıvı metalin topuk veya dirseğe ilk düştüğü anda hem sıvı metalin saçılmasını hem de hızını ani değiştirmesi engellemelidir.
- Düşey yolluğun giriş ve çıkış kesit alanları diğer yolluk sistemlerinden daha önemlidir. Yolluk sistemine giren sıvı metalin hızı ve döküm süresi üzerine etkilidir.
- Kalıbın sıvı metal ile dolması esnasında sıvı metalin akışının kesintisiz ve tamamen dolu olmasını sağlamalıdır. Aksi takdirde hava ile birlikte metalin kalıp içine dolumu hem içerideki havanın dışarı itilmesini zorlaştıracak hem de gazın metal tarafından tutulmasına yol açacaktır [18,19].



Şekil 2.3. Düz ve konik düşey yolluk sistemleri [2].



Şekil 2.4. Düşey yollukta oluşan kum erozyonu görünümü [2].

DüŖey yolluğa gelen sıvı metalde herhangi bir düzensiz veya türbölanslı akıŖ söz konusu ise düŖey yollukta Ŗekil 2.4.'deki gibi kum erozyonu görölabilir. Bu yüzden döküm haznesi ve düŖey yolluk ölçöleri iyi hesaplanmalıdır.

### **2.2.2.3. Yatay Yolluk ve Meme Tasarımı**

Yatay yolluk ve memeler düŖey yolluktan gelen sıvı metalin kalıp boşluğuna düzgünce iletilmesini sağlayan yolluk sistemi elemanlarıdır. Bu elemanların tasarımları aŖaĐıdaki kriterlere göre yapılmalıdır.

- Yatay yolluk ve meme kesit alanlarından sıvı metalin geçiŖi sırasında ani dönüŖler olmamalıdır. Ani hız ve yön deĐiŖimi sıvı metalin oksitlenmesine, dolumu sırasında hava giriŖine ve gaz boşluklarının oluŖmasına sebep olacaktır
- DüŖey-yatay yolluk ve meme kesit alanları arasında sıvı metalin hızına bağlı olarak oranlama olmalıdır.
- Sıvı metalin hızı ve kalıbın dolum süresi kesit alanlarına bağlı olarak kısıtlanmalı ve ayarlanmalıdır.
- Basınçlı yolluk sistemlerinde kesit meme alanı seğimine dikkat edilmelidir [14].

## **2.3. BESLEYİCİLER**

Besleyiciler, soğuyan ve katılaŖan malzemedeki büzülmelerden dolayı oluŖacak boyut azalmalarını engellemek amacıyla yolluk sistemine dahil edilen elemanlardır. Döküm esnasında ve sonrasında besleyicilerde kalan sıvı metal kalıp boşluğunu besleyerek tam dolma sağlar. Fakat besleyicileri verimli bir Ŗekilde kullanmak için dökülecek parçanın boyutuna, yolluk sistemi elemanlarının kesitine bağımlı olarak besleyicinin hacmi iyi hesaplanmalıdır [16].

## **2.4. ALÜMİNYUM ALAŖIMLARI**

Alüminyum alaŖımlarının ilave edilen alaŖım elementleri alaŖımın, mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerini ayrıca mikro yapısı ile ilişkilidir. Alüminyum alaŖımlarında

ilave edilen önemli alaşım elementleri bakır, silisyum, mangan, çinko ve magnezyumdur. Alüminyum alaşımları dövme ve döküm alaşımları olarak iki gruba ayrılabilir.

- Dövme alaşımları genellikle kütük halinde dökülür ve daha sonra plastik deformasyona maruz bırakılarak istenilen şekli verilir.
- Döküm alaşımları ise ergitme işlemi sonrası üretilecek parça şeklinin olduğu kalıba içeresine sıvı metal ilave edilir ve sonrasında katılaştırılır [17].

Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması Çizelge 2.2.'de gösterilmiştir. Alüminyum alaşımlarının dökülebilir olup olmadığı aşağıdaki maddedeki ifadeler ile belirleyebiliriz;

- Akışkanlık,
- Sıcak yırtılma eğilimi,
- Hacimsel çekme özelliklerinin değerlendirilebildiği özel numune kalıpları.

Kullanım sahasında bakıldığında genel kullanım amacıyla imal edilen alüminyum döküm parçalarında alaşım seçimi;

- İşlenebilme kabiliyeti,
- Korozyon direnci,
- Sertlik,
- Mekanik özellikler gibi özelliklerine uygun olarak yapılmaktadır.

Çizelge 2. 2. Alüminyum alaşımları serileri [17].

Gösterimi	Dövme Al. Alaşımları	Döküm Al. Alaşımları
1xx.x	Saf	Saf
2xx.x	Cu	Cu
3xx.x	Mn	Si-Cu-Mg
4xx.x	Si	Si
5xx.x	Mg	Mg
6xx.x	Mg-Si	-
7xx.x	Zn	Zn
8xx.x	Li	Sn

### **2.4.1. Alüminyum Döküm Alaşımları**

Döküm alaşımları başlıca iki kısımda inceleyebiliriz. Birinci kısımda ıslah edilen özellikler sadece alaşım ilavesi ile elde edilir. İkinci kısımda ise, özelliklerin daha fazla ıslah edilmesi için ısıtma işlemleri uygulanır. Dökümlerde kullanılan alaşım elementleri genellikle bakır, silisyum, magnezyum, çinko ve demir metalleridir. Bu elementlerin istenilen özelliklere erişebilecek miktarlarda ilave edilmesi ile alüminyumun mukavemeti ve sertliğinin artmasını sağlayabiliriz. Aynı zamanda süreklilik azalır. Alüminyum alaşımlarının dökümü sadece kum kalıplarında değil, metal kalıplarında da (kokil kalıpta) yapılabilir. Metal kalıplarda gerçekleşen dökümlerin yüzeyleri, kum kalıplarda yapılan dökümlerin yüzeylerine göre daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Bu sebepten dolayı üretilen parçanın ilave olarak işlemlerde zaman ve ekonomik olarak tasarruf elde edilmiş olur.

### **2.4.2. Alüminyum Alaşımlarındaki Alaşım Elementleri**

Alüminyum dökümde bakır elementi büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte bir başka element ise silisyumdur. Alüminyum alaşımlarında sıvı akışkanlığını iyileştiren metal olarak silisyumu gösterebiliriz. Özellikle Cu, Ni ve Mg gibi alaşımlar ile karıştırıldığında yaşlanma ile sertleştirilebilir. Bu alaşımların çekme mukavemetleri yüksek değildir ve 13,6-15,4 kg/mm<sup>2</sup> arasında değişkenlik göstermektedir [21]. Mukavemet artışı ise silisyum artışı ile doğru orantılıdır. Silisyum ilavesi ile akışkanlık, kaynak kabiliyeti artmasıyla birlikte korozyon direncinde azalma gerçekleşir. Tane küçültme ve modifikasyon işlemleri ile işlenebilme kabiliyeti artırılmaktadır. Ayrıca sıcak yırtılmada davranışı da iyileştirilir Mekanik özellikler, alaşımın elementlerinden çok silisyum içeren fazın dağılımına ve şekline bağlıdır. Küçük ve yuvarlak primer faz (veya ötektik yapı) yüksek mukavemet ve süneklik kazandırır. İğne şeklindeki silisyumlu faz çekme mukavemetini artırmayla birlikte süneklik, darbe ve yorulma mukavemetini düşürür. %5 silisyumlu alaşım özellikle ince ve karmaşık şekilli tasarımlar için kullanılır. Korozyon direnci yüksek olan bu malzemenin işlenebilme kabiliyeti azdır. Silisyum oranı %5'den fazla ise iri köşeli olan Si kristallerinin oluşumunu önlemek ve kristallerin yuvarlak şekil olmasını sağlamak

için sıvı metalin sodyumla modifiye edilmesi gerekir. Silisyum bulunduran dövme alaşımları doğal yaşlanma ile mukavemet artışı gözlenir. Yüksek silisyumlu alaşımlarda %1,5'a kadar demir bulunabilir. Fe artışı kırılğan ve iri kristalli bir yapı meydana getirir. Al- Si alaşımlarının ısı işleme düşüktür, bu özellik içten yanmalı motor pistonları gibi parçalarda istenilen özelliktir.

### **2.4.3. Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemi**

Alüminyum alaşımları için en kullanışlı işlem çökelme sertleştirme ısı işlemdir. Alüminyum döküm alaşımlarından 2xx, 3xx ve 7xx serileri ile dövme alaşımlarından 2xxx, 6xxx, 7xxx serisi alaşımlar bu yöntem ile sertleştirilebilmektedir. En çok kullanılan ısı işlem çeşidi ise T6 ısı işlemidir. T6 ısı işlemi 3 temel aşamadan oluşmaktadır. Bunlar solüsyona alma, su verme, yaslandırma aşamalarıdır [16, 18].

#### **2.4.3.1. Solüsyona Alma**

Isıl işlemin ilk aşaması solüsyona almadır. Bu aşamada çökelme sertleştirmesini sağlayacak alaşım elementlerinin alüminyum ana faz içine alınması aşamasıdır. Alaşım solvüs sıcaklığı üzerinde ısıtılır ve homojen bir katı eriyik oluşana kadar bu sıcaklıkta bekletilir. Çökelti ve segregasyonların ana faz içerisinde tamamen çözünmesi elde edilmiş olunur [13, 16].

#### **2.4.3.2. Su Verme**

Isıl işlemin sonraki aşaması su verme işlemidir. Solüsyona alma işleminde gerçekleşen iç yapının korunması için ani soğuma yöntemi ile iç yapının korunması sağlanmış olunur. Burada istenilen Solüsyona alma adımıdaki yüksek sıcaklığa bağlı difüzyon sonucu alüminyum ana faz içinde çözünen intermetalik bileşiklerin geri difüzyon ile çökmesini engellemek amacıyla sıcaklığın aniden düşürülmesi ve difüzyonun oluşmasının engellenmesidir [16,18].

### **2.4.3.3. Yaşlandırma**

Isıl işlemin son aşaması ise yaşlandırma işlemidir. Bu aşamada aşırı doymuş ana faz içinde intermetalik çökeltiler oluşturularak malzemenin mukavemet kazanması sağlanır. Bu son aşamada malzeme kritik bir sıcaklıkta (~ 160°C) birkaç saat tutulur. Asıl amaç solüsyona alma prosesi esnasında gerçekleşen difüzyon sayesinde elde edilen Al-Si-Mg bileşikleridir [18, 19].

## **2.5. 3xx ALAŞIMLARINDA MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİ EDEN FAKTÖRLER**

Alüminyum dökümünde en önemli etkenlerden biri metalin temizliğidir. Döküm işlemi boyunca porozite ve inklüzyonların azaltılması döküm sonrası parçanın mekanik özelliklerinin iyileşmesini sağlayacaktır [17-19].

Gaz boşlukları ve çekme boşlukları dökümde en çok rastlanan sorunlardandır. Gaz boşlukları gaz kabarcıkları sıvı metal içerisinde hapsediği zaman ortaya çıkar ve şekli genellikle daireseldir. Uygun gaz giderme metodu, yolluk dizaynı ve iyi bir döküm kabiliyeti ile azaltılmaya çalışılır. Çekme boşluğu katılma esnasında alüminyum alaşımı içerisinde oluşan büzülme sonucu meydana gelir ve düzensiz bir biçime sahiptir. Çekme boşluğu; iyi soğuma şartlarının sağlanması, iyi besleyici tasarımı ile azaltılabilir ve homojen dağılması sağlanabilir. Bu önlemler döküm parçanın yorulma özelliklerini iyileştirici etkiye sahiptir [18, 19].



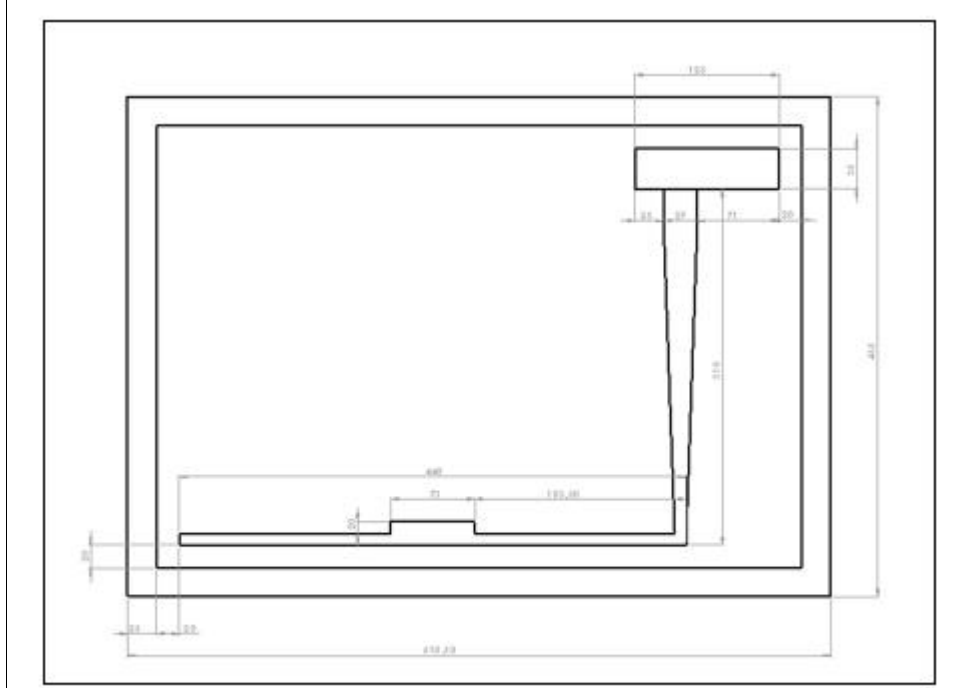
## BÖLÜM 3

### MALZEME VE METOT

Bu çalışmada, döküm metodunda sıvı metalin kalıp boşluğunu doldurması sırasındaki akış oranının mekanik özellikler üzerine etkisi araştırılmıştır. Al-Si-Mg alaşımının yolluk sistemi sabit olarak tasarlanan farklı döküm geometrili modellerde katılan alaşımın mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışmada öncelikle farklı geometriye sahip model maça sandıkları imal edildi, silis kumu ile maçalar üretildi, ergitme sürecinde A356 alaşımı kullanıldı, döküm sürecinde sıvı metal hareketi 420 fsp hızda CASIO marka video fotoğraf makinesi ile kayıt edildi. Elde edilen döküm parçalardan optik ve tarama elektron mikroskobu görüntüleri alındı. Mekanik özelliklerin araştırılması için çekme ve sertlik testleri uygulanmıştır.

#### 3.1. MODEL

Yolluk sistemlerinin ve kalıp boşluğunun oluşturulması için ahşap model maça sandığı kullanılmıştır. Yolluk sistemi ve elemanlarının kesit alanları ve sıvı metalin tahmini hızı, enerjinin korunumu kanunu ve süreklilik denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Dikey yolluğun kesit alanının hesaplanmasında, enerjinin korunumu denkliği ile etkin döküm yüksekliği ve toplam dikey yolluk yüksekliği kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan yolluk sistemi ölçüleri (Şekil 3.1. a), görüntüsü (Şekil 3.1. b) ve farklı geometrik döküm parçaların ölçüleri Şekil 3.2’te gösterilmiştir.

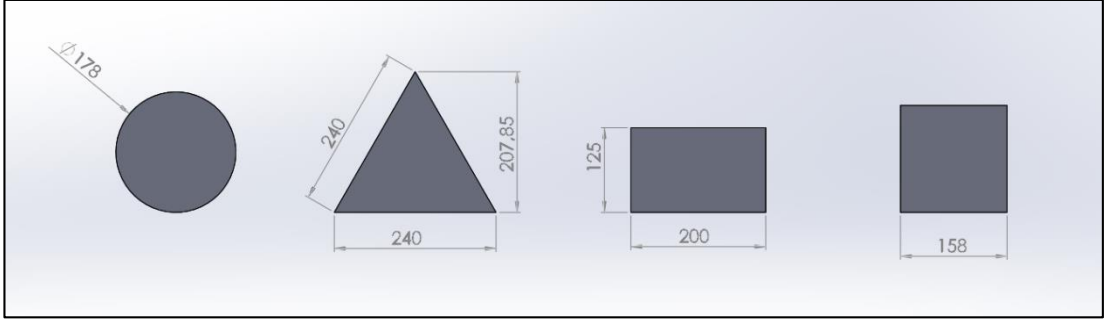


(a)



(b)

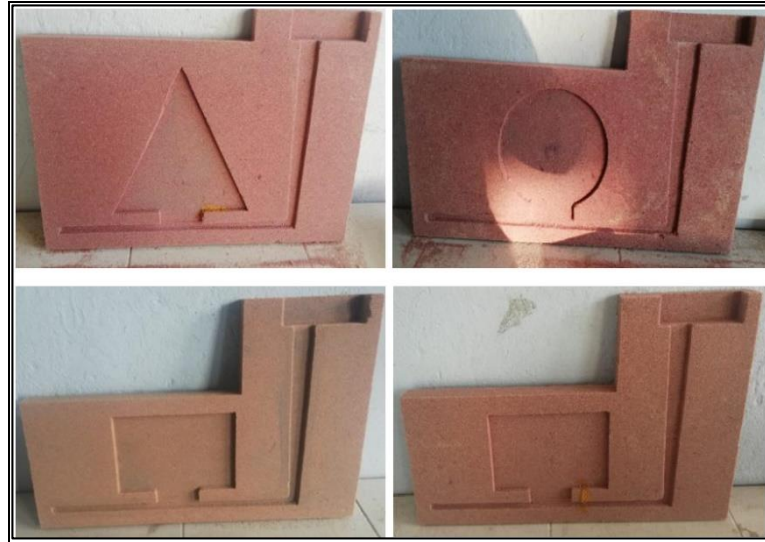
Şekil 3. 1. Çalışmada kullanılan yolluk sistemi ölçüleri (a) ve görüntüsü (b).



Şekil 3.2. Farklı geometrik döküm parçaların ölçüleri.

### 3.2. KALIPLAMA

Çalışmada kalıp malzemesi olarak SİLTAŞ AŞ'den alınan 60-70 AFS tane iriliğine sahip silis kumu kullanılmıştır. Bağlayıcı olarak, alfaset reçine ve Serter UNIKON metalürjiden temin edilmiştir. Maça kalıpları sıyırma zamanı bittikten sonra, kapatılmış, birbirine kelepçe ile bağlanıp 1 gün bekletilmiştir. Şekil 3.3'te ısıya dayanıklı cam monte edilmiş kalıp görüntüleri görülmektedir. Çizelge 3.1.'de kullanılan silis kumunun özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.3.Farklı geometriye sahip döküm maça kalıpları.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan silis kumunun özellikleri.

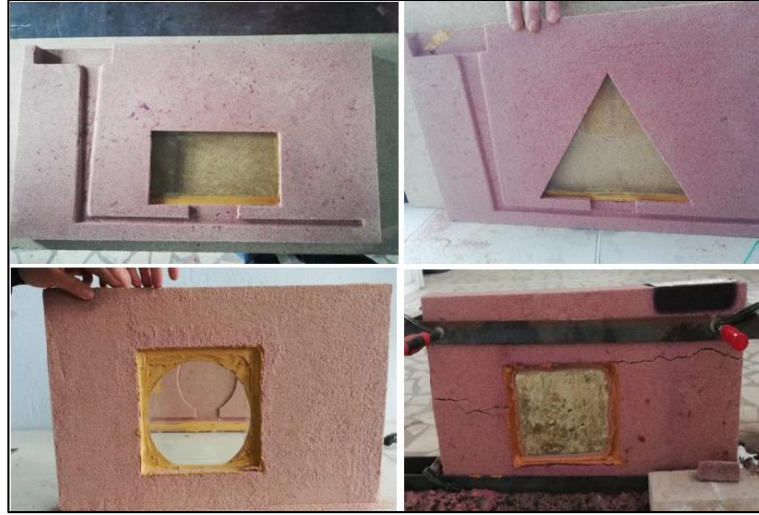
<b>Kum Cinsi</b>	<b>AFS T. boyutu</b>	<b>Kil Miktarı</b>	<b>% SiO<sub>2</sub></b>	<b>Sinterleşme sıcaklığı</b>	<b>Yanma Kaybı</b>	<b>Kumun Köşegenliği</b>
Silis kumu	60-70	0,15%	98	1500 °C	0.015-0.030	1.25-1.30

Silis kumu, silis kumun ağırlığının %0,02 kadar reçine (TPA38), reçine ağırlığının %0,25 kadar sertleştirici (TH 11) ilave edilerek maçaların kalıp kumu hazırlanmıştır. Maça kalıplarının döküme hazır halindeki görüntüsü Şekil 3.4’te verilmiştir.



Şekil 3.4. Maça kalıplarının döküme hazır halindeki görüntüsü.

Sıvı metalin döküm sırasındaki akış hızının kalıp boşluğundaki hareketini görüntüleyebilmek için hazırlanan bir tarafı ısıya dayanıklı cam monte edilmiş maça kalıpların görüntüsü Şekil 3.5’ te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Isıya dayanıklı cam monte edilmiş maça kalıpların görüntüsü.

### 3.3. SIVI METALİN HAZIRLANMASI VE DÖKÜM İŞLEMİ

Bu deneysel çalışmada kullanılan Al-Si-Mg alaşımı Tuncel Metal A.Ş.' den temin edilmiştir. Al-Si-Mg alaşımı ingotlar 19-26 kg ağırlığa sahiptir. Dökümde esnasında kalıp boşluğundaki sıvı metal hareketinin kayıt edilebilmesi için yüksek sıcaklıklara dayanıklı cam malzeme SCHOTT AG firmasından temin edilmiştir. Al-Si-Mg alaşımının kimyasal bileşimi Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Al-Si-Mg ingot malzemesinin kimyasal bileşimi.

Elementler (% Ağırlıkça)							
Si	Mg	Fe	Cu	Mn	Ti	Al	Diğer
8,714	0,337	0,156	0,474	0,002	0,090	90,056	0,261

İngotlar, Karabük Üniversitesi döküm laboratuvarında bulunan elektrik direnç ocağı Çizelge 3.4’de verilen özelliklere sahip ergitme fırınında ergitildi. Ergime işlemi öncesinde sıvı metal içerisinde yabancı madde oluşumunu engellemek için ingotlar temizlendi. Sıvı metal döküm sıcaklığı 730°C olarak, k-tipi termokupol ve kızıl ötesi sıcaklık ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Al-Si-Mg alaşımlı sıvı metal ısıtılmış el potası ile ergitme fırınından alındı ve daha sonra hazırlanan kum kalıbına transfer edilmiştir.

Çizelge 3.3. Kullanılan direnç ocağı teknik özellikleri.

Kullanılan Direnç Ocağının Teknik Özellikleri	
Kapasite	5,5 Kg Alüminyum ve alaşımları ergitme
Çalışma Gerilimi	220 V-3,7 Kw
Pota	Paslanmaz çelik pota (bornitrür ile kaplandı)

### 3.4. T6 ISIL İŞLEMİ

Al-Si-Mg Alaşımlarında T6 ısıl işlemi ile yapıda çökelti sertleşmesi ile mekanik özelliklerde iyileştirme gerçekleşmektedir. T6 ısıl işlemi Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği bölümünde bulunan PROTHERM marka PLF 120/27 model sıcaklık kontrollü ısıl işlem fırınında yapılmıştır. Çekme numuneleri 540 °C’de 8 saat solüsyona alındıktan sonra, suda soğuturmuştur. Çekme numuneleri oda sıcaklığında 24 saat doğal yaslandırma işleminden sonra 170°C 8 saat yapay yaşlandırılma sonrasında fırın içerisinde 24 saat bekletilerek soğutulmuştur.

### 3.5. KARAKTERİZASYON

Bu çalışmada, farklı geometrilere sahip döküm parçaların, mikro yapı karakterizasyonunda Optik Mikroskop (OM) ile Tarama Elektron Mikroskopu (SEM+EDS) kullanılmıştır. Mekanik özelliklerin belirlenmesi amacı ile, makro sertlik ve çekme testi uygulanmıştır.

#### 3.5.1. Metalografik İşlemler

Döküm malzemelerden alınan numunelere ASTM E04.01 standartlarına uygun biçimde metalografik numuneleri hazırlanmıştır [20]. Sırasıyla 240-320-600-800-1000 ve 2500 grid zımparalar ile zımparalanmıştır. Daha sonra alümina pasta ve keçe kullanılarak yüzey parlatılmış. Hazırlanan metalografik numunelerin yüzeyleri Keller solüsyonu ile 15-25 saniye dağlama işlemine tabi tutulmuştur.

### 3.5.2. Optik Mikroskop İncelemesi

Optik mikroskop incelemeleri Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği laboratuvarlarında bulunan Nikon marka optik mikroskop cihazı ile farklı büyütmelerde yapılmıştır. Optik mikroskop resmi Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Optik mikroskop cihazı görüntüsü.

### 3.5.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemesi

Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) incelemeleri, Karabük Üniversitesi, Demir Çelik enstitüsü laboratuvarlarında bulunan “CARL ZEISS ULTRA PLUS GEMINI (FEG)” (EDS’li) marka cihaz ile yapılmıştır.

### 3.5.4. Sertlik Ölçümleri

Sertlik ölçümleri Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği laboratuvarlarında bulunan AFFRI marka sertlik cihazında Brinell sertlik kriterine uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı incelemeleri için hazırlanan numunelerinden her gruptan 10 adet sertlik ölçümünün değerinin ortalaması alınarak sertlik değerleri belirlenmiştir. Brinell sertlik ölçümünde bilye çapı 2,5 mm ve 31,25 kg kuvvet altında 30 saniye yükleme süresi kullanılmıştır.

### 3.5.5. Çekme Numunelerinin Hazırlanması ve Çekme Testleri

Çekme testleri için çekme test numuneleri, ASTM: B557M-10 standartlarına uygun olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan çekme testi numunelerinin görüntüsü Şekil 3.6'da verilmiştir. Çekme testleri, Karabük Üniversitesi, İmalat Mühendisliği Laboratuvarlarında bulunan, AG-IS 50 kN kapasiteli SHIMADZU AG-IS model çekme cihazında 1mm/dk hızında yapılmıştır.



Şekil 3.6. Hazırlanan çekme numunelerinin görüntüsü.



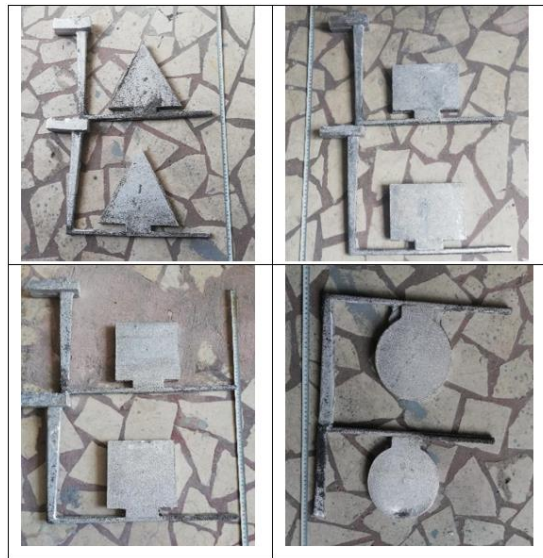
## BÖLÜM 4

### DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTISMA

Deneysel çalışmada, Al-Si-Mg (ETİAL 177) alaşımının dökümdeki farklı modellerin üzerinden sıvı metalin hareketi, mikro yapısı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışmamızda öncelikle sıvı metalin hareketi, daha sonra sırasıyla kimyasal analiz, mikro yapı incelemeleri (OM) ve taramalı elektron mikroskop (SEM) incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Mekanik özelliklerin araştırılması için de sertlik ve çekme testleri uygulanmıştır.

#### 4.1.DÖKÜM İŞLEMİNİN SONUÇLARI

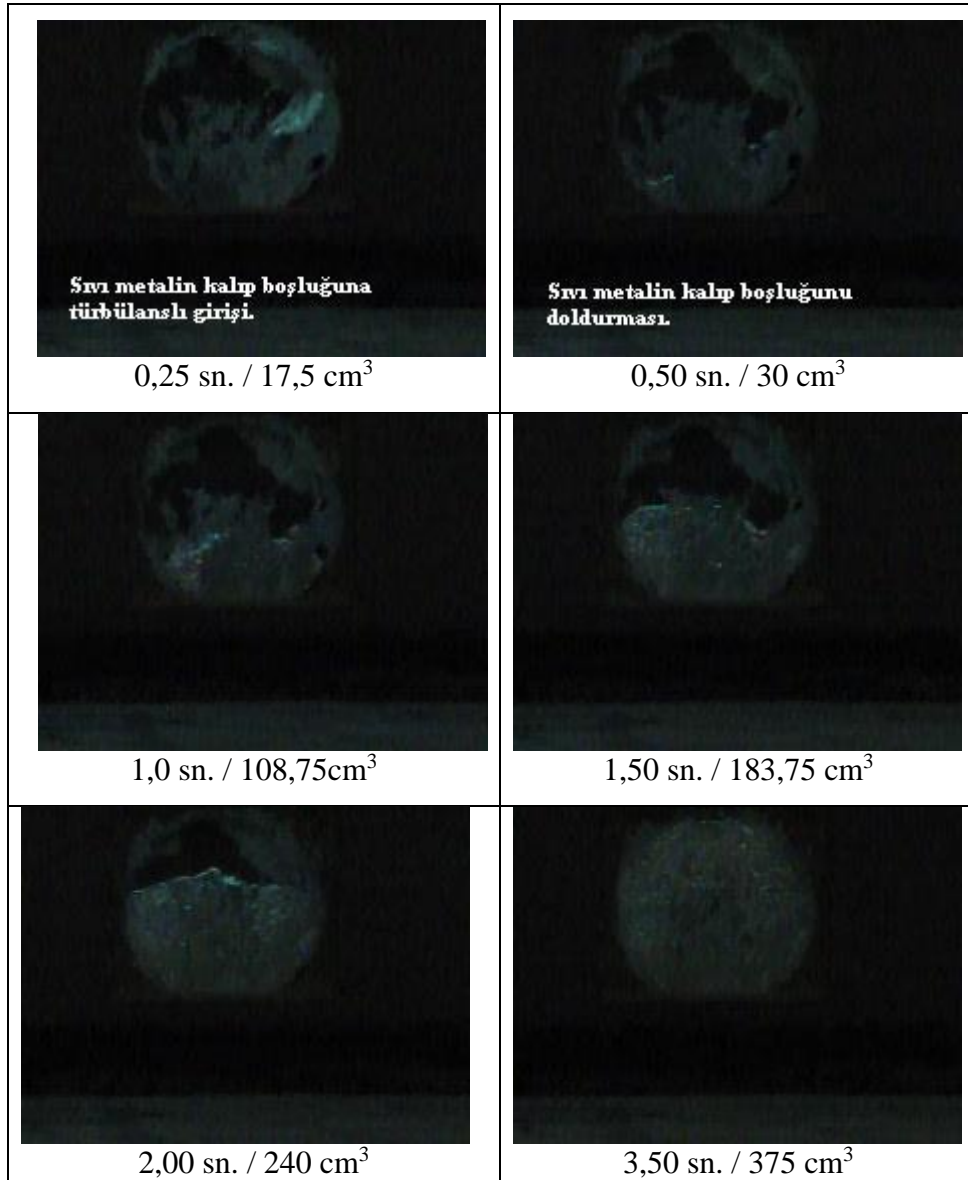
Çalışma kapsamında yapılan dökümlerin yolluk sistemiyle birlikte farklı geometrik şekle sahip döküm parçalarının görüntüleri (Şekil 4.1.) verilmiştir. Her gruptan üç adet parça dökülmüştür, iki tanesi karakterizasyonu aşamasında bir tanesi sıvı metalin hareketinde kullanılmıştır.



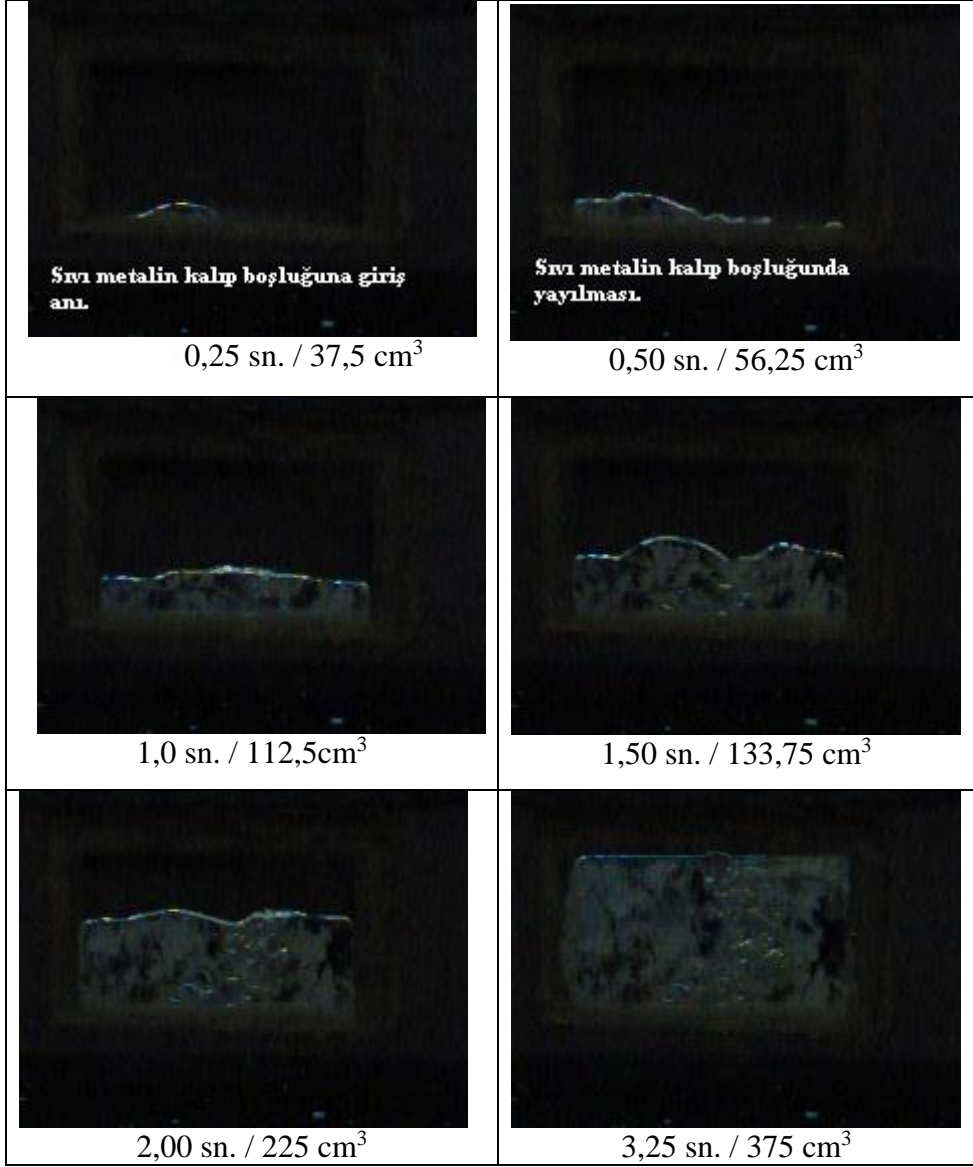
Şekil 4.1. Farklı geometriye sahip döküm parçaların görüntüsü.

## 4.2. SIVI METALİN HAREKETİNİN İNCELENMESİ

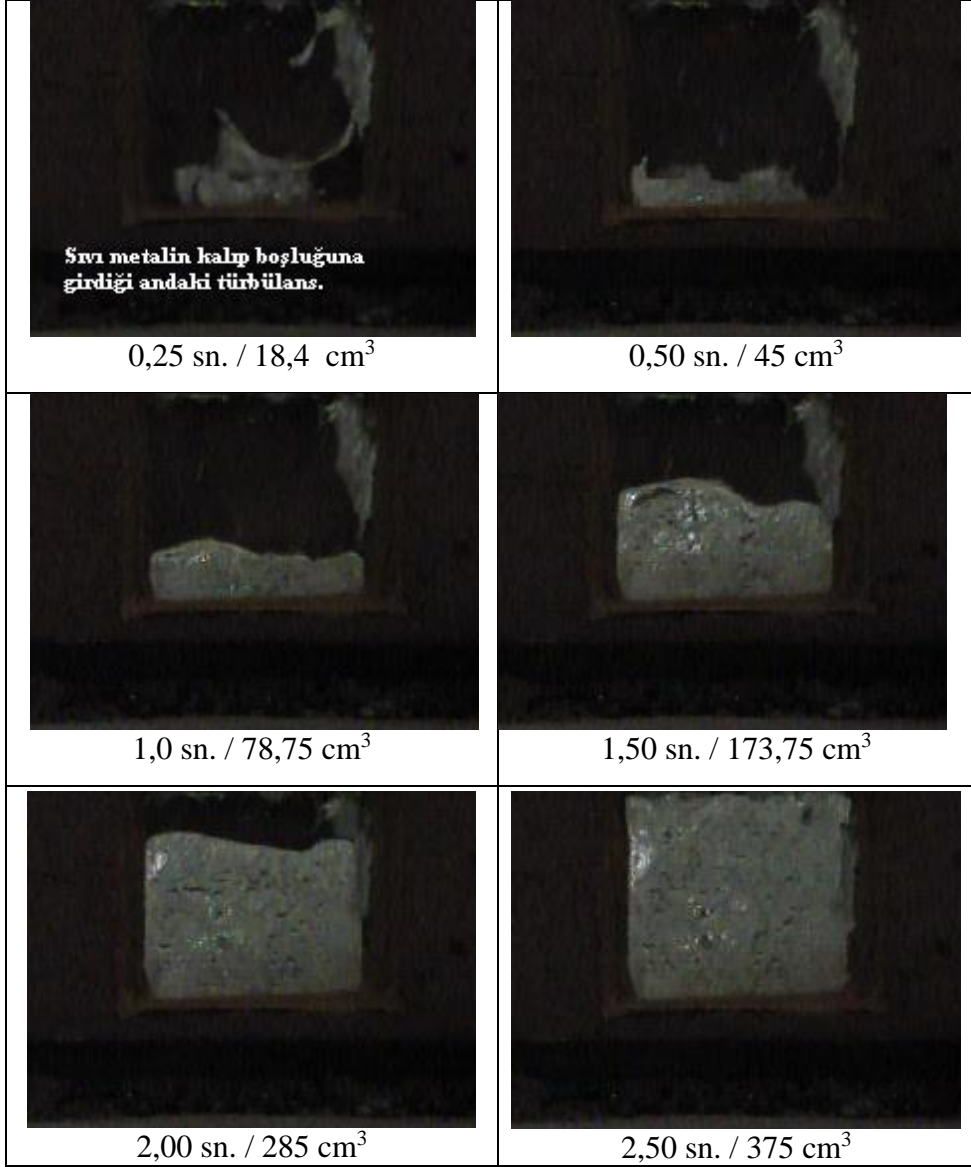
Çalışmada farklı geometrilerden oluşan kalıp boşluklarına tek yüzüne monte edilen ısıya dayanıklı cam ile kayıt edilen sıvı metal akışı ve anlık dolum miktarları sırası ile verilmiştir. Dairesel Şekil 4.2’de, dikdörtgen Şekil 4.3’te, kare Şekil 4.4’te ve eşkenar üçgen Şekil 4.5.’de verilmiştir.



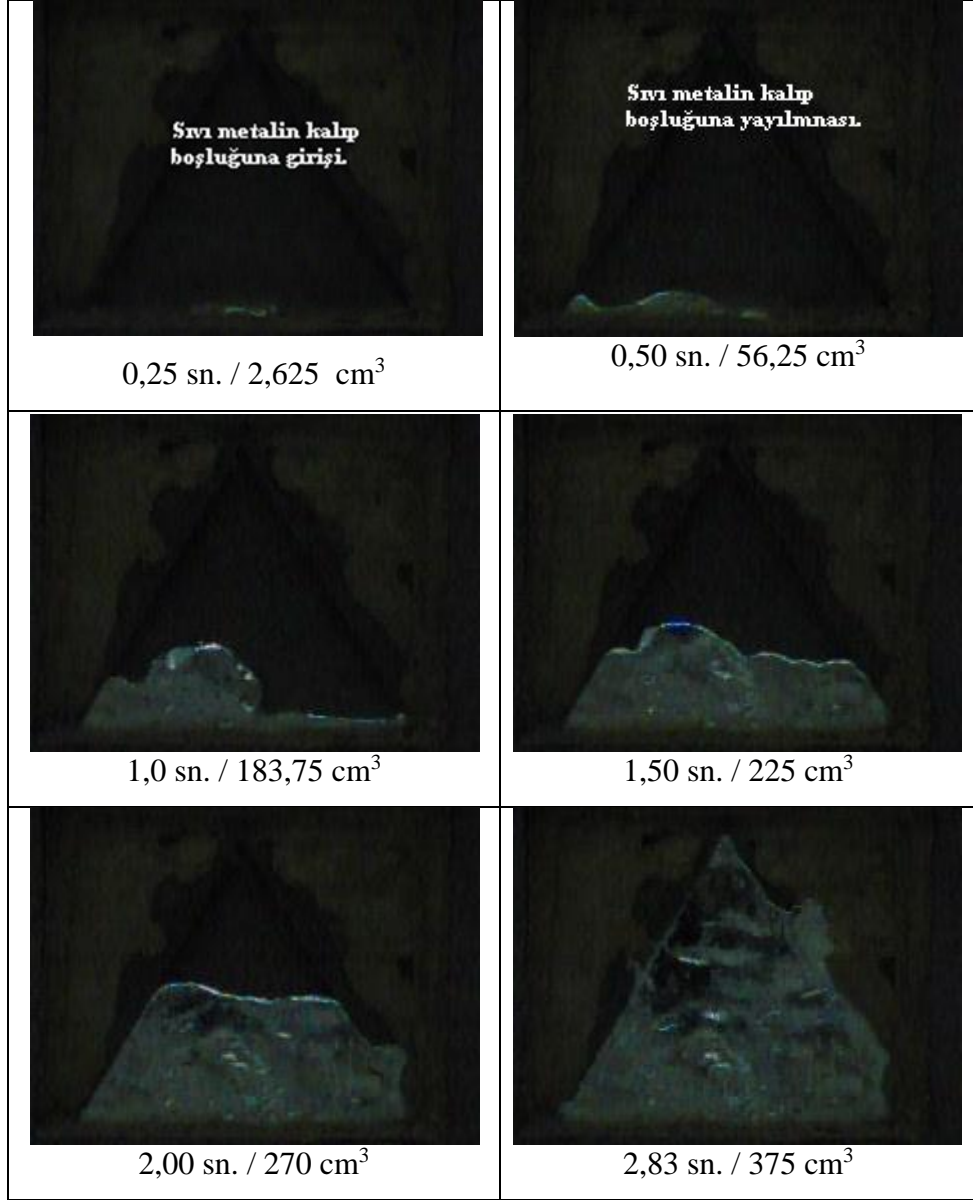
Şekil 4.2. Dairesel geometriye sahip sıvı metalin kalıp boşluğundaki akışı.



Şekil 4.3. Dikdörtgen geometriye sahip sıvı metalin kalıp boşluğundaki akışı.



Şekil 4.4. Kare geometriye sahip sıvı metalin kalıp boşluğundaki akışı.



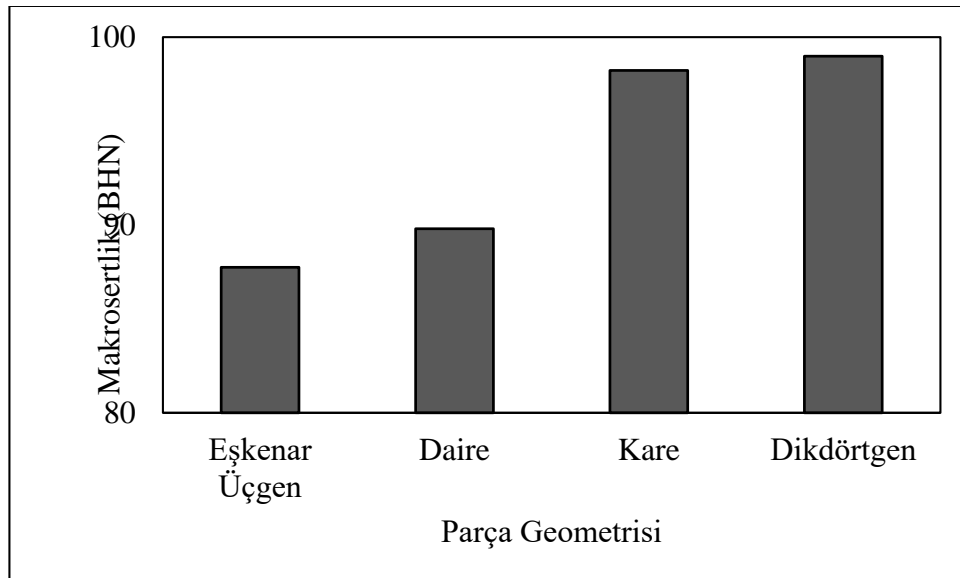
Şekil 4.5. Eşkenar üçgen geometriye sahip sıvı metalin kalıp boşluğundaki akışı.

Farklı geometrilere sahip eşit hacimli döküm kalıbı boşluklarının kalıp boşluğunu tamamen doldurdukları zaman aralıklarındaki farklılar görülmektedir. Bunun en temel sebebinin sıvı metalin kalıp boşluğunu oluşturan geometrik şekle bağlı olarak kalıp boşluğu yüksekliğidir. Buna ilave olarak, kalıp boşluğunu dolduran sıvı metalin yüksekliğine ve hacmine bağlı meme kesiti üzerine geri basıncı ve kalıp boşluğunda maça kalıp kumuna ilave edilen asit ve reçinenin buharlaşması, sıkışması olduğu düşünülmektedir. Kalıp boşluğunun tamamen dolum süreleri daire geometride ise 3,50 sn., dikdörtgen geometride 3,25 sn. kare geometride 2,50 sn, ve eşkenar üçgen geometride 2,83 sn.'dir. Sıvı metalin kalıp boşluğunu doldurmadan önce yolluk

sisteminde oksitlenmektedir. Yolluk sistemlerinin ürettikleri oksit filmler (bi-filmler) çekme test sonuçlarına göre Weibull analizi ile irdelendiğinde en iyi yolluk sisteminin yatay yolluk için dairesel kesitli olduğu bildirilmiştir [22]. Başka bir çalışmada ise yatay yolluk ve dikey yolluğun birleştiği noktayı oluşturan topuk üzerinde sıvı metalin akış karakteristiği ve hızındaki ani değişim sıvı metalin kirlenmesine sebep olmaktadır [23]. Sıvı metalin dikey eksenli santifürüj döküm gibi farklı döküm metotları kullanılsa bile akışına bağlı olarak oksitlendiği ve mekanik özellikleri üzerine etkisi olduğu bilinmektedir [24].

### 4.3. SERTLİK ÖLÇÜMLERİNİN İNCELENMESİ

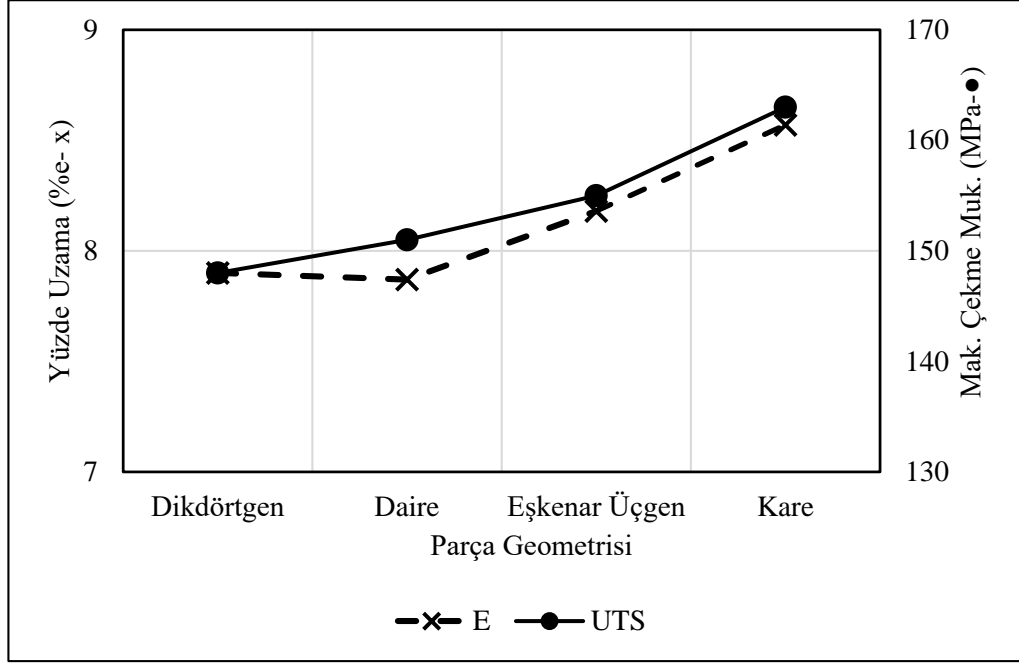
Bu çalışmada, döküm metodu ile Al-Si-Mg alaşımında yolluk sisteminin sabit olduğu farklı geometriye sahip kalıp boşluklarından elde edilen döküm malzemelerden alınan sertlik değerleri Şekil 4.6'da verilmiştir. En yüksek sertlik değeri dikdörtgen ve kare geometriye sahip döküm parça şeklinde 98 BHN olarak elde edilmiştir. Daire geometrili parçada 90 BHN, eşkenar üçgen geometrili parçada ise 88 BHN olarak ölçülmüştür. Sertlik sonuçlarına göre farklı kalıp geometrilerine sahip döküm malzemelerin sertlik değerlerinde %11,3 civarında bir artış söz konusudur.



Şekil 4.6. Farklı geometriye sahip kalıp boşluklarından elde edilen döküm malzemelerden alınan sertlik değerleri.

#### 4.4. ÇEKME DENEYİ SONUÇLARININ İNCELENMESİ

Al-Si-Mg alaşımında yolluk sisteminin sabit olduğu farklı geometriye sahip kalıp boşluklarından elde edilen döküm malzemelerden alınan çekme test sonuçları Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Farklı geometriye sahip kalıp boşluklarından elde edilen döküm malzemelerden alınan çekme test sonuçları.

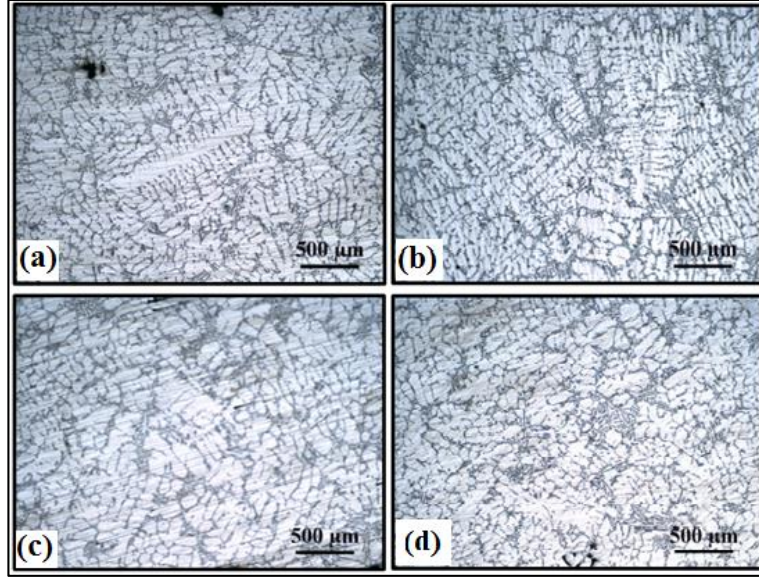
En düşük çekme mukavemeti ve yüzde uzama değeri ortalaması dikdörtgen kesitli geometriye sahip döküm boşluğunda (148 MPa, 7,80 %e), daire geometrili döküm boşluğunda (151 MPa, 7,87 %e), eşkenar üçgen geometrili döküm boşluğunda (158 MPa, 8,18 %e) ve en yüksek çekme mukavemeti ve yüzde uzama değeri ortalaması kare geometriye sahip döküm boşluğunda (163 MPa, 8,57 %e) elde edilmiştir. Sonuç olarak çekme test sonuçlarında döküm parça geometrisine bağlı olarak maksimum çekme mukavemetinde yaklaşık %10 civarında, yüzde uzama değerinde ise yaklaşık %9,8 civarında bir değişim gözlemlenmiştir. Özellikle alüminyum ve alaşımları dökümünde yolluk sistemlerinin ürettikleri oksit filmlerin mekanik özelliklere etkisi birçok makalede incelenmiştir. Yolluk sistemlerinde sıvı metalin hızının değişmesine bağlı olarak akıştaki süresizliği mekanik özellikleri olumsuz olarak etkilediği belirlenmiştir [23]. Bunun yanında kalıp boşluğunun doldurulması sırasında oluşan

oksit filmlerin birbirinden ayırmak pek mümkün değildir. Bunun sebebi oluşan oksitlerin zamana bağlı olarak kalınlaşması ve etkisinin artmasıyla ilgilidir [25-26]. Çekme test sonuçlarına göre, kalıp boşluğunun geometrisinin mekanik özelliklere etkisinin en az %10 civarında etki ettiği belirlenmiştir. Kalıp geometrisine bağlı olarak sıvı metal dolun süreleri dikkate alındığında, kare 2,50 sn., eşkenar üçgen 2,83 sn, dikdörtgen 3,25 sn. ve dairesel 3,50 sn.'de sıvı metal dolunu tamamlanmıştır. En hızlı dolun süresine sahip kare kesitte en yüksek çekme mukavemeti ve yüzde uzama değeri elde edilmiştir.

#### 4.5. OPTİK MİKROSKOP İNCELENMELERİ

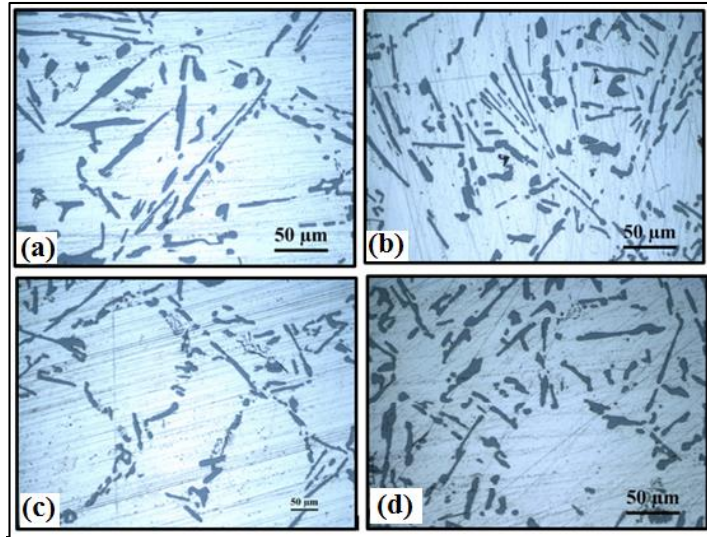
Bu çalışmada döküm metodu ile üretilen farklı geometrik parçalarından farklı büyütmelerde alınan OM görüntüleri Şekil 4.8 (5X) ve 4.9 (100X)'da verilmiştir. Al-Si-Mg alaşımlarında  $\alpha$ -al dendritler, dendritler arasında silisyum keskin köşeli tanecikler halinde bulunmaktadır. Ayrıca Al-Si-Fe intermetalığı yapıda oluşmaktadır. Uygulanana T6 ısıt işlemeine bağılı olarak yapıda  $Mg_2Si$  çökeltileri oluşmaktadır. Gustafson ve diğ. [27], A356 alaşımlarına Fe ve Cr ilavesinin mikroyapı üzerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında sonuç olarak ilave edilen Fe ve Cr miktarına bağılı olarak yapıda oluşan  $\alpha$ -al dendritler arasında  $(Cr, Fe)_4Si_4Al_{13}$  Çince yazıya benzeyen intermetaliklerin oluştuğunu belirlemişlerdir. Ayrıca uygulanan T6 ısıt işlemeine bağılı olarak yapıda  $Mg_2Si$  çökeltilerinin üniform dağıldığını not etmişlerdir. Shabestari ve Moemeni [28], Al-Si-Mg alaşımlarına Cu (0,25-2,5 aralığında) ilavesi ve katılma şartlarının etkisi araştırdıklarında, en iyi sonuçları %1,5 Cu içeren grafit kalıba dökülen alaşım sisteminde olduğunu belirlemişlerdir. Mikro yapıda ısıt işlem ile oluşan  $Al_2Cu$  çökeltilerinin, demir içrikli plakaların olumsuz özelliklerini minimuma indirdiklerini belirlemişlerdir.





Şekil 4.8. Farklı geometriye sahip kalıp boşluklarından alınan mikroyapı görüntüleri dairesel (a), dikdörtgen (b), kare (c) ve eşkenar üçgen (d) (5X).

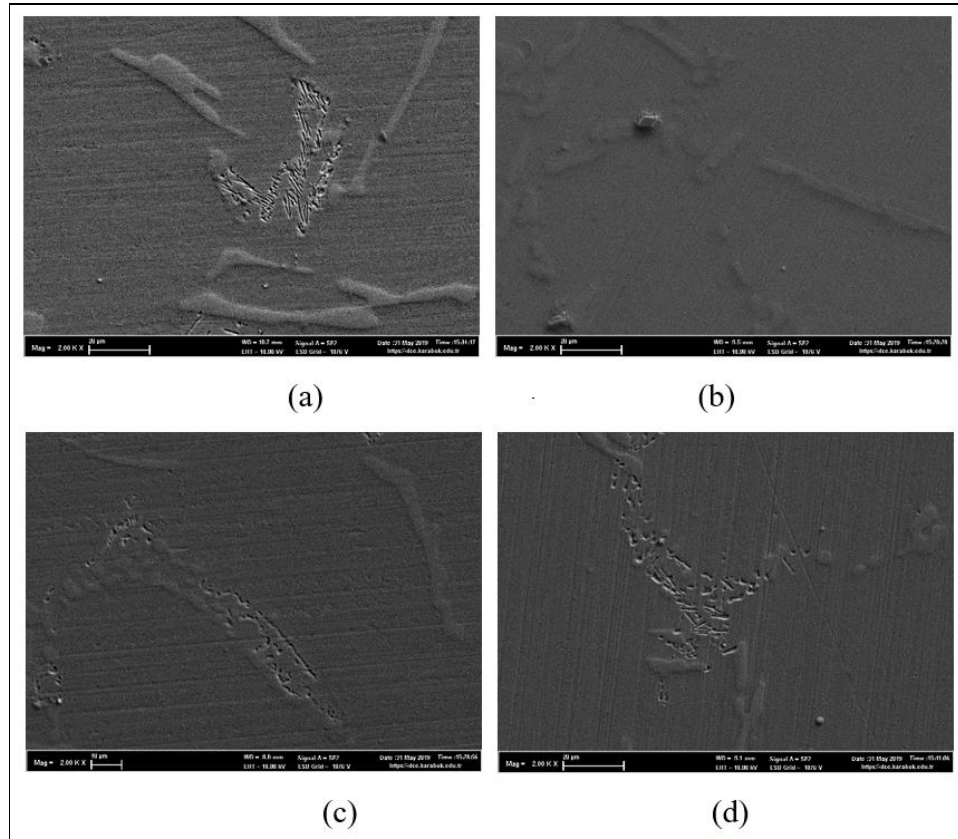
Ma ve ark. [29], Al-Si-Cu ve Al-Si-Mg alaşımlarında yönlü katılaşmayı sağlayan döküm kalıbında,  $\beta$ -intermetaliklerinin ve boşluk oluşumlarının oluşumlarını incelemişler ve sonuç olarak plaka şeklinde morfolojiye sahip  $\beta$ -Al<sub>15</sub>FeSi intermetaliklerin boyutlarının ve boşluk oluşumunun mekanik özellikleri olumsuz etkilediklerini bulmuşlardır.



Şekil 4.9. Farklı geometriye sahip kalıp boşluklarından alınan mikroyapı görüntüleri dairesel (a), dikdörtgen (b), kare (c) ve eşkenar üçgen (d) (50X).

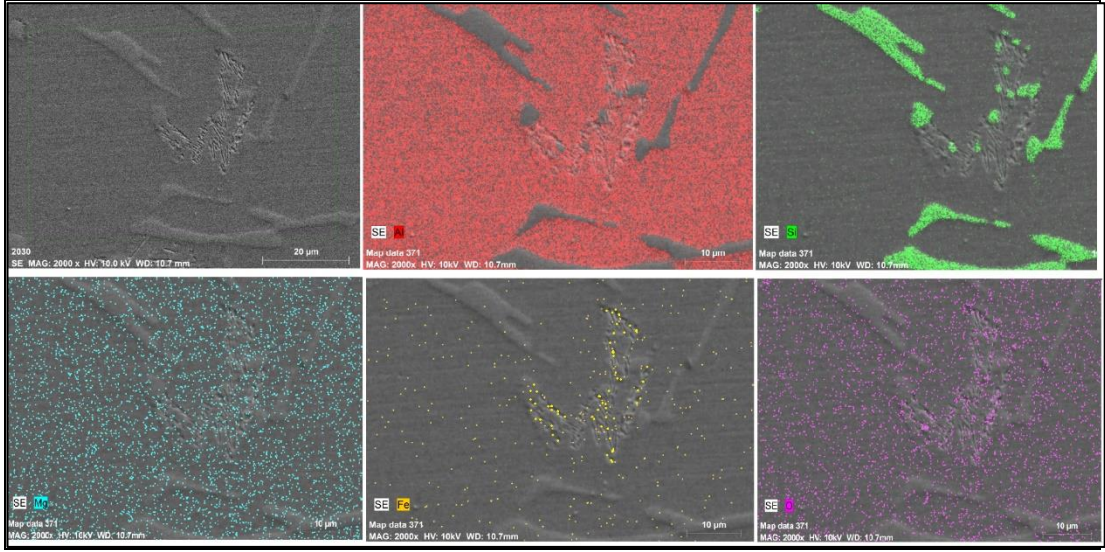
#### 4.5. SEM GÖRÜNTÜLERİ VE EDS ANALİZİ SONUÇLARI

Çalışmada döküm Al-Si-Mg alaşımının farklı geometriye sahip döküm boşluklarını doldurulan numunelerden alınan SEM görüntüleri Şekil 4.10.'da verilmiştir. Al-Si-Mg mikro yapısında  $\alpha$ -Al dendritler, silisyum tanecikleri, Al-Si ötektığı (al matris ve si taneciklerinden oluşan bölgeler), farklı şekil morfolojisine ve bileşime sahip Al-Si-Fe intermetalikleri bulunmaktadır. Ayrıca uygulanan T6 ısıl işlemine bağlı olarak yapıda  $Mg_2Si$  çökeltileri oluşmaktadır.



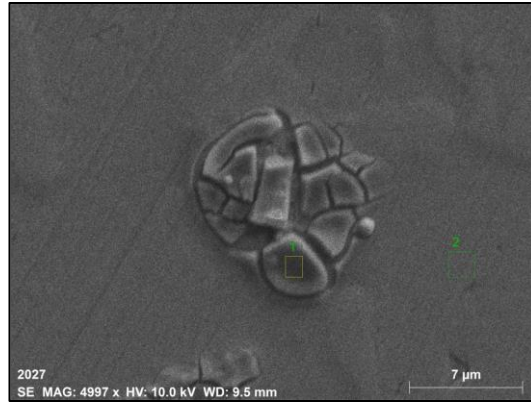
Şekil 4.10. Daire geometrili (a), dikdörtgen geometrili (b), kare geometrili (c) ve eşkenar üçgen geometrili (d) parçaların SEM görüntüleri.

Şekil 4.11'de dairesel geometriye sahip kalıp boşluğunu dolduran dökümden alınan SEM görüntüsü ve elementel haritalama görüntüleri verilmiştir. Haritalama görüntülerinde yapıdaki Al matris, Silisyum taneleri, Mg homojen dağıldığı ve bazı bölgelerde Al-Si-Fe intermetalığının oluştuğu görülmektedir.



Şekil 4.11. Dairesel geometriye sahip kalıp boşluğunu dolduran dökümden alınan SEM görüntüsü ve elementel haritalama görüntüleri.

Şekil 4.12’de dikdörtgen geometriye sahip kalıp boşluğunu dolduran dökümden alınan SEM görüntüsü ve EDS analizi sonucu Çizelge 4.1’de verilmiştir.

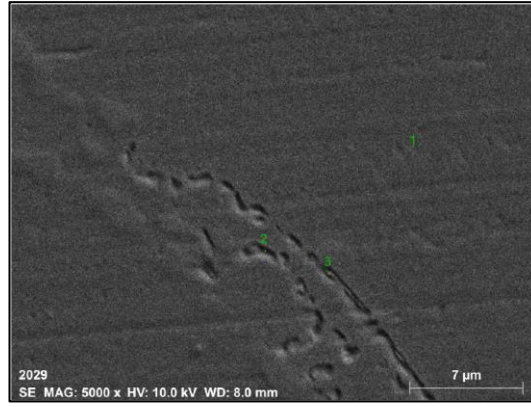


Şekil 4.12. Dairesel geometriye sahip kalıp boşluğunu dolduran dökümden alınan SEM görüntüsü.

Çizelge 4.1. Dikdörtgen geometriye sahip dökümden alınan EDS analizi sonucu.

Konum	Al	Si	Fe	Mg	O
1	41,54	0,62	-	0	57,84
2	93,24	1,19	0,35	0,78	4,30

Şekil 4.12'deki SEM görüntüsü ve Çizelge 4.1'te verilen EDS analizi incelendiğinde yapıdaki oksitlenmiş alüminyum ( $Al_2O_3$ ) matris fazına gömülmüş olarak görülmektedir. Döküm Al-Si-Mg alaşımlarında yapıda istenmeyen inklüzyonlar çoğunlukla literatürde döküm hataları olarak değinilmektedir. Bu inklüzyonlar genellikle oksit miktarının fazla olduğu metal olmayan oksitler olarak bilinmektedir.  $Al_2O_3$  veya içerdiği Mg miktarına bağlı olarak spinel yapıda mikro yapıda karşımıza çıkmaktadır. Oksit oluşumu genellikle kullanılan ingot malzemesinden veya sıvı metalin akışı sırasında oluşan türbülansa bağlı olarak oluşmaktadır [10,11]. Şekil 4.13'te kare geometriye sahip kalıp boşluğunu dolduran dökümden alınan SEM görüntüsü ve EDS analizi sonucu Çizelge 4.2'de verilmiştir.

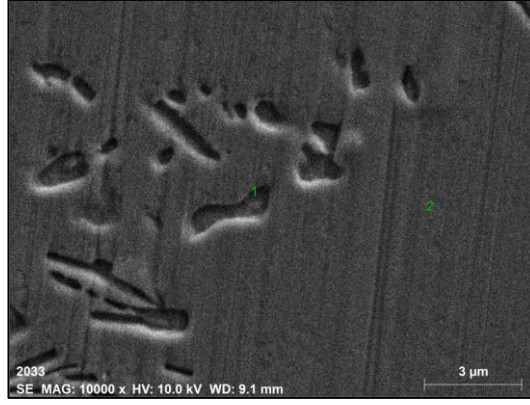


Şekil 4.13. Kare geometriye sahip kalıp boşluğunu dolduran dökümden alınan SEM görüntüsü.

Çizelge 4.2. Kare geometriye sahip dökümden alınan EDS analizi sonucu.

Konum	Al	Si	Fe	Mg	O
1	96,18	1,06	-	0,68	2,07
2	95,66	0,90	1,17	00,96	1,32
3	72,71	20,56	4,24	0,69	1,80

Şekil 4.14'de eşkenar üçgen geometriye sahip kalıp boşluğunu dolduran dökümden alınan SEM görüntüsü ve EDS analizi sonucu Çizelge 4.3'te verilmiştir. 1 nolu konumda Silisyum tanecikleri üzerinden alınan EDS analizinde yapıda bulunan elementler görülmektedir. 2 nolu konumda ise matrisden alınan EDS analizinde silisyum miktarı daha düşüktür.

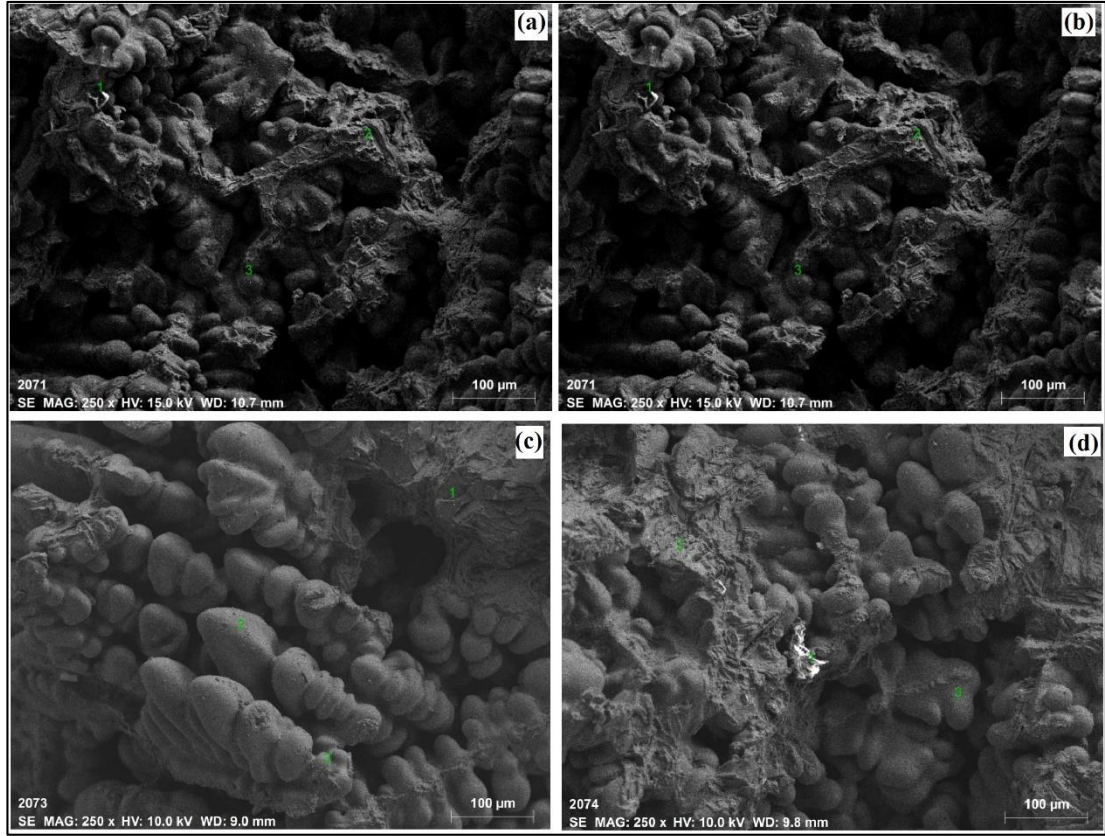


Şekil 4.14. Eşkenar üçgen geometriye sahip dökümden alınan SEM görüntüsü.

Çizelge 4.3. Eşkenar üçgen geometriye sahip dökümden alınan EDS analizi sonucu.

Konum	Al	Si	Fe	Mg	O
1	79,61	5,76	9,21	0,84	4,58
2	96,95	0,98	-	0,78	1,30

Şekil 4.15'te çekme testi yapılan numunelerin kırık yüzeylerinden alınan (daire geometrili (a), dikdörtgen geometrili (b), kare geometrili (c) ve eşkenar üçgen geometrili (d)) SEM görüntüleri verilmiştir. EDS analizleri sonucu Çizelge 4.x'te verilmiştir.



Şekil 4.15. Çekme testi yapılan numunelerin kırık yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri, daire geometrili (a), dikdörtgen geometrili (b), kare geometrili (c) ve eşkenar üçgen geometrili (d).

Şekil 4.15'te Çekme testi yapılan numunelerin kırık yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri, daire geometrili (a), dikdörtgen geometrili (b), kare geometrili (c) ve eşkenar üçgen geometrili (d) incelendiğinde, artan yük altında kopmanın dendritlerin yüzeylerinden başladığı ve alüminyum dendritler görülmektedir. Bununla birlikte kopmayı tetikleyen intermetalik faz veya inklüzyonlar EDS analizlerinde belirlenmiştir. Şekil 4.15. (a) 1., Şekil 4.15. (b) 1., Şekil 4.15. (c) 3. ve Şekil 4.15. (d) 1. Bölgelerindeki oksijen miktarının çok yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu metal oksitlerin sıvı metalin ergitilmesi veya kalıp boşluğuna dolması esnasında oluştuğu düşünülmektedir. Şekil 4.15. (a) 3. noktasında Al-Si miktarının çok yüksek olduğu bu bölgede silisyum tanesinin olduğunu göstermektedir. Silisyum taneleri genellikle plaka şeklinde bulunmasından dolayı artan yük altında çentik etkisi oluşturmakta ve kopmayı tetiklemektedir. Şekil 4.15. (b) 3. noktasında, Şekil 4.15. (c) 1 ve 3. noktasında benzer durum söz konusudur.

Çizelge 4.4. Çekme testi yapılan numunelerin kırık yüzeylerinden alınan EDS analizi sonuçları, daire geometrili (a), dikdörtgen geometrili (b), kare geometrili (c) ve eşkenar üçgen geometrili (d).

Şekil	Konum	Al	Si	Fe	Mg	O
Şekil 4.15. a	1	29,30	8,49	9,37	1,51	51,34
	2	79,19	5,45	0,09	1,69	13,59
	3	19,68	62,70	-	1,28	16,34
Şekil 4.15. b	1	7,81	5,92	7,49	0,74	78,04
	2	78,57	0,82	0,14	2,10	18,36
	3	15,64	70,01	-	1,26	12,38
Şekil 4.15. c	1	5,67	85,85	3,05	1,25	4,18
	2	73,05	10,29	-	1,55	15,11
	3	15,95	5,73	-	23,32	55,00
Şekil 4.15. d	1	3,69	1,49	0,12	22,19	72,51
	2	16,98	39,85	-	5,23	37,94
	3	46,62	3,20	-	5,99	44,19

## BÖLÜM 5

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, döküm parça şeklinin mekanik özellikleri üzerine araştırılmıştır. Yolluk sistemlerinin kalıp boşluğuna aktardığı sıvı metal yüksekliğine bağlı olarak değişen akış oranı yüzey türbülansı üzerine oldukça etkilidir. Bundan dolayı farklı parça şekline sahip kalıp boşlukları oluşturuldu ve sabit yolluk sistemleri ile sıvı metalin akışı sağlanmıştır. Bu çalışma sonucunda;

- Farklı kalıp şekline sahip döküm parçaların akış karakteristiğinin farklı olduğu belirlenmiştir.
- Eşit hacme sahip döküm parçaların sabit yolluk sistemi ile sıvı metalin aktarılması sırasında farklı döküm süreleri elde edilmiştir. Kare şekle sahip döküm boşluğu 2,50 sn.'de, eşkenar üçgen şekle sahip döküm boşluğu 2,83 sn.'de, Dikdörtgen şekle sahip döküm boşluğu 3,25 sn.'de ve daire şekline sahip döküm boşluğu 3,50 sn.'de kalıp boşluğu doldurulmuştur.
- Farklı kalıp şekline sahip döküm malzemelerin makro sertlik sonuçları üzerine fazla bir etkisi olmamakla birlikte, kare şekle sahip döküm boşluğunda 98 HBN, eşkenar üçgen şekle sahip döküm boşluğunda 88 HBN, dikdörtgen şekle sahip döküm boşluğunda 99 HBN ve daire şekline sahip döküm boşluğunda 90 HBN elde edilmiştir.
- Farklı kalıp şekline sahip döküm malzemelerin çekme test sonuçları maksimum çekme dayanımı ortalamaları, kare şekle sahip döküm boşluğunda 163 MPa, eşkenar üçgen şekle sahip döküm boşluğunda 155 MPa, dikdörtgen şekle sahip döküm boşluğunda 148 MPa ve daire şekline sahip döküm boşluğunda 151 MPa olarak elde edilmiştir.



- Faklı kalıp şekline sahip döküm malzemelerin çekme test sonuçları yüzde uzama (%e) ortalamaları, kare şekle sahip döküm boşluğunda 8,57 %e, eşkenar üçgen şekle sahip döküm boşluğunda 8,18 %e, dikdörtgen şekle sahip döküm boşluğunda 7,90 %e ve daire şekline sahip döküm boşluğunda 7,87 %e olarak elde edilmiştir.

## KAYNAKLAR

1. Özcömert, M., “Otomotiv Endüstrisinde Alüminyum”, *İstanbul Ticaret Odası Raporu*, (2006)
2. Campbell, J., Campbell, J., “Casting (Second Edition)”, *Butterworth-Heinemann*, Oxford, United Kingdom, 17-98. (2003)
3. Campbell, J., “Castings Practice The 10 Rules of Castings”, *Butterworth-Heinemann*, Oxford, United Kingdom, 9-113, (2004)
4. Yu, Kuang-O., “Modeling for Casting and Solidification Processing”, *Marcel Dekker*, New York, 1-54.(2002)
5. Flemings, M. C., “Solidification Processing”, *McGraw-Hill Series In Materials Science and Engineering*, New York, 219-229 (1974).
6. Stefanescu, D. M., “Science and Engineering of Casting Solidification”, *Springer*, New York, 1-3 ve 75-125 (2009)
7. Sutton, C., Eng, T, L., Ficme, H., “The Basic Principles of Fluid Dynamics Applied to Running Systems of Casting”, *The Institute of Casting Metals Engineers*, UK, 10-88 (2007)
8. Ravi, B., “Metal Casting Computer-Aided Desing and Analysis”, *Prencice-Hall of India Private Limited*, New Delhi, 1-24 ve 69-83 (2006)
9. Ruddle, R.W., “The Runing and Gating of Sand Casting”, *The Institute of Metals*, London, 1-168 (1956).
10. Fox, S., Campbell, J., “Visualisation of Oxide Film Defects During Solidification of Aluminium Alloys”, *Scripta materialia*, 43: 881–886 (2000).
11. Fox, S., Campbell, J., “Liquid Metal Quality”, *International Journal of Cast Metals Research*, 14: 335-340 (2002).
12. Goto, S., Levec, J., Smith, J. M., “Mass transfer in packed ebds with twophase flow”, *Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev.*, 14 (2): 473-485 (1975).
13. International, A. S. M., “ASM Handbook Volume 2B: Properties and Selection of Aluminum Alloys”, *ASM International*, USA, (2006).
14. İnternet: Hamit Arslan Dökümcülük Ders Notları, “Dökümcülük” <http://www.hamitarslan.com/dokumculuk.html>

15. Demir, E., (2008). “Alüminyum Alaşımlarda Isıl İşlem Etkilerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, (2008)
16. Mc Adams, W. H., “Heat Transmission 2nd ed.”, *Mc Graw Hill*, New York, 278-292 (1942).
17. Uludağ, M., Çetin, R., Dişpinar, D., Tiryakioğlu, M., “On the interpretation of melt quality assessment of A356 Aluminum alloy by the reduced pressure test: the Bifilm index and its physical meaning”, *International Journal of Metalcasting*, 12(4), 853-860 (2018).
18. Aran, A., “Döküm Teknolojisi İmal Usulleri Ders Notları”, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi*, İstanbul (2007)
19. Groover, M., P., “Fundamentals of Modern Manufacturing”, *John Weley & Sons*, (2007).
20. Standart, U., “ASTM E3-11, Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens”, *ASTM International*, West Conshohocken, PA, (2017)
21. Standart, U., “ASTM B557M-10, Standard Test Methods for Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products [Metric]”, *ASTM International*, West Conshohocken, PA, (2010)
22. Dai, X., Yang, X., Campbell, J., Wood, J., “Effects of runner system design on the mechanical strength of Al-7Si-Mg alloy castings”, *Materials Science and Engineering: A*, 354(1-2), 315-325 (2003).
23. Hsu, F. Y., Jolly, M. R., Campbell, J., “A multiple-gate runner system for gravity casting”, *Journal of Materials Processing Technology*, 209(17), 5736-5750 (2009).
24. Changyun, L., Haiyan, W., Shiping, W., Lei, X., Kuangfei, W., & Hengzhi, F., “Research on mould filling and solidification of titanium alloy in vertical centrifugal casting”, *Rare Metal Materials and Engineering*, 39(3), 388-392 (2010).
25. Sulaiman, S., Keen, T. C., “Flow analysis along the runner and gating system of a casting process”, *Journal of materials processing technology*, 63(1-3), 690-695 (1997).
26. Yang, X., Jolly, M., & Campbell, J. (2000). “Minimization of surface turbulence during filling using a Vortex-flow runner”, *Aluminum Transactions*, 2(1), 67-80.
27. Gustafsson, G., Thorvaldsson, T., & Dunlop, G. L. (1986). “The influence of Fe and Cr on the microstructure of cast Al-Si-Mg alloys”. *Metallurgical Transactions A*, 17(1), 45-52.

28. Shabestari, S. G., & Moemeni, H. (2004). "Effect of copper and solidification conditions on the microstructure and mechanical properties of Al–Si–Mg alloys", *Journal of Materials Processing Technology*, 153, 193-198.
29. Ma, Z., Samuel, A. M., Samuel, F. H., Doty, H. W., & Valtierra, S. (2008). "A study of tensile properties in Al–Si–Cu and Al–Si–Mg alloys: Effect of  $\beta$ -iron intermetallics and porosity". *Materials Science and Engineering: A*, 490(1-2), 36-51.

## ÖZGEÇMİŞ

Furkan BAYTAR 1990 yılında Sakarya’da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 2010- 2016 yılları arasında Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği’nde lisans eğitimini tamamladı. Daha sonra 01.02.2017 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimlerinde yüksek lisans eğitimine başladı.

### **ADRES BİLGİLERİ**

**Adres** : Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Balıklarkayası Mevkii / KARABÜK

**Tel** : (534) 646 4749

**E-posta** : furkanbaytar54@gmail.com