



**ETİAL 160 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ KOKİL
KALIBA DÖKÜMÜNDE VANADYUM ELEMENTİ
İLAVESİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Ömer AVCI

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği

Ana Bilim Dalı

Doç. Dr. Murat ÇOLAK

2024

(Her Hakkı Saklıdır)

T.C.
BAYBURT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

ETİAL 160 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ KOKİL KALIBA DÖKÜMÜNDE
VANADYUM ELEMENTİ İLAVESİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ömer AVCI

Danışman: Doç. Dr. Murat ÇOLAK

BAYBURT – 2024

KABUL VE ONAY

Doç. Dr. Murat ÇOLAK danışmanlığında, Ömer AVCI tarafından hazırlanan “Etial 160 Alüminyum Alaşımının Kokil Kalıba Dökümünde Vanadyum Elementi İlavesinin Etkisinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma, 30.12.2024 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Murat ÇOLAK

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Emin USLU

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Selçuk ŞİRİN

Bu tezin kabulü Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Bünyamin ALİM
Enstitü Müdürü

BEYANNAME

Bayburt Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Doç. Dr. Murat ÇOLAK danışmanlığında hazırlamış olduğum “Etial 160 Alüminyum Alaşımının Kokil Kalıba Dökümünde Vanadyum Elementi İlavesinin Etkisinin İncelenmesi” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

30.12.2024

Ömer AVCI



ÖN SÖZ

Lisans ve yüksek lisans dönemimde bilgisiyle, deneyimleriyle, sabrıyla bana örnek olan, yardımını esirgemeyen, deneyimlerini aktaran, en doğru yöntemlerle bize öğreten tez danışmanım Doç. Dr. Murat Çolak’a,

Bu süreçte bana arkadaşlık eden, her türlü desteğiyle yanımda olan, meslektaşım, sıra arkadaşım Çağrı Gültekin’e ve Yunus Emre Asan’a

Her zaman yanımda olup, kararlarımın destek veren, fikirlerime saygı duyan, tüm yaşantım boyunca bana doğruyu öğreten sevgili aileme teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunuyorum.

Ömer AVCI

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ETİAL160 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ KOKİL KALIBA DÖKÜMÜNDE VANADYUM ELEMENTİ İLAVESİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Ömer AVCI

Bayburt Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Murat ÇOLAK

Bayburt-2024, Sayfa: 51

Alüminyum alaşımları mukavemet, dayanım, sertlik gibi mekanik ve fiziksel özellikleri ile endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak teknolojinin gelişmesi ile döküm kaliteleri sürekli geliştirilme beklentileri söz konusudur. Tez kapsamında Etial 160 alüminyum alaşımına farklı oranlarda vanadyum elementi ilavesi ile sıvı metal temizliğine, akıcılığına mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkileri deneysel çalışmalar yapılarak incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda Etial 160 alaşımının dökümü ve %0,03, %0,05 ve %0,1 oranlarında V ilavesi ile kokil kalıplara dökümler yapılarak deney numuneleri elde edilerek testler uygulanmıştır. Deneylerde V ilavesi ile Etial 160 alaşımına etki eden karakteristik özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Döküm kalıpları; RPT (Azaltılmış Basınç Testi), K-Mold kalıbı, mekanik test kalıbı, farklı kesit kalınlıklarındaki 4 kanallı akıcılık ve spiral akıcılık kalıbı tercih edilmiştir. İncelenen sonuçlarda V ilavesi ile sıvı metal ilerleme mesafeleri artmış olup akıcılığa olumlu yönde etki etmiştir. Mekanik test sonuçlarında Etial 160 numunesinde 170 MPa'dan %0,1 V ilaveli numunede 338 MPa'ya kadar çekme gerilmesi artmıştır. Uzama miktarı Etial 160 numunesinde %2,72 olup %0,1 V ilaveli numunede maksimum %6,37'ye kadar artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Etial 160 alüminyum alaşımı, akıcılık, mekanik testler, vanadyum.

ABSTRACT

M. SC. THESIS

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ADDITION OF VANADIUM ELEMENT IN PERMANENT MOLD CASTING OF ETIAL160 ALUMINUM ALLOY

Ömer AVCI

Bayburt University

Institute of Graduate Studies

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Murat ÇOLAK

Bayburt-2024, Pages: 51

Aluminum alloys are widely used in the industry with their mechanical and physical properties such as strength, durability, hardness. However, with the development of technology, there is an expectation that casting qualities will be continuously improved. Within the scope of the thesis, the effects of the addition of vanadium element at different rates to Etial 160 aluminum alloy on liquid metal cleanliness, fluidity, microstructure and mechanical properties were investigated by conducting experimental studies. In the studies conducted, Etial 160 alloy was cast and castings were made in permanent molds with the addition of V at the rates of 0.03%, 0.05% and 0.1%, and test samples were obtained and tests were applied. In the experiments, the effects of the addition of V on the characteristic properties affecting Etial 160 alloy were investigated. Casting molds; RPT (Reduced Pressure Test), K-Mold mold, mechanical test mold, 4-channel fluidity and spiral fluidity mold with different section thicknesses were preferred. In the examined results, the liquid metal advance distances increased with the addition of V and it had a positive effect on fluidity. In the mechanical test results, the tensile stress increased from 170 MPa in the Etial 160 sample to 338 MPa in the sample with 0.1% V addition. The elongation was 2.72% in the Etial 160 sample and increased up to a maximum of 6.37% in the sample with 0.1% V addition.

Keywords: Etial 160 aluminum alloy, fluidity, mechanical tests, vanadium.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY.....	II
BEYANNAME.....	III
ÖN SÖZ.....	IV
ÖZET.....	V
ABSTRACT.....	VI
İÇİNDEKİLER.....	VII
TABLOLAR.....	IX
ŞEKİLLER.....	X
KISALTMALAR.....	XII
SİMGELER.....	XII
GİRİŞ.....	1
Araştırmanın Konusu ve Problemi	1
Araştırmanın Amacı	1
Araştırmanın Önemi ve Gerekçesi	2
Araştırmanın Sınırlılıkları	2
Terim ve Tanımları	2
BİRİNCİ BÖLÜM.....	3
1. KURAMSAL ÇERÇEVE	3
1.1. ALÜMİNYUM.....	3
1.2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI	3
1.2.1. Atom Yapısı ve Kristal Kafesi.....	4
1.2.2. Alüminyum Alaşımların Sınıflandırılması	5
1.2.2.1. Döküm alüminyum	5
1.2.2.2. Dövme alüminyum	5
1.2.3. Alüminyum ve Alaşımlarının Özellikleri	6
1.2.3.1. Yoğunluk	6
1.2.3.2. Yüksek mukavemet ve hafifliği.....	7
1.2.3.3. Korozyon direnci	7
1.2.3.4. Mekanik özellikleri.....	7
1.2.3.5. Kimyasal özellikleri.....	8
1.2.3.6. İletkenlik.....	8
1.2.3.7. İmalat ve şekillendirebilme özelliği	8
1.3. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI DÖKÜMÜNDE TANE İNCELTME İŞLEMLERİ	8
1.4. VANADYUM	10
1.4.1. Vanadyum Elementi Özellikleri	11
1.4.1.1. Atomik ve fiziksel özellikleri	12
1.4.1.2. Kimyasal özellikleri.....	12
1.4.2. Vanadyum Elementi Kullanım Alanları	13
1.4.3. Vanadyumun Alüminyum Alaşımlarına Etkisi	20
İKİNCİ BÖLÜM	15
2. YÖNTEM	15
2.1. DÖKÜM DENEYLERİNE HAZIRLIK İŞLEMLERİ	16
2.2. ERGİTME VE DÖKÜM İŞLEMLERİ	17

2.2.1. Sıvı-Metal Temizliği	17
2.3. DÖKÜMLERİN İNCELENMESİ.....	18
2.3.1. RPT Numunelerinin Analizi	19
2.3.2. K-Mold Numunelerinin Analizi	21
2.3.3. Dört Kanallı Akıcılık Numunelerinin Analizi	22
2.3.4. Spiral Akıcılık Kalıp Numunelerinin Analizi.....	23
2.3.5. Mekanik Test Kalıp Numunelerinin Analizi	24
2.3.6. Mikroyapı Analizleri	27
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM.....	28
3. BULGULAR	28
3.1. KİMYASAL BİLEŞİM UYGUNLUĞUNUN TESPİTİ	28
3.2. SIVI METAL KALİTESİNİN ANALİZİ	28
3.3. AKICILIK TESTİ SONUÇLARI.....	33
3.4. MEKANİK TEST SONUÇLARI.....	36
3.4.1. Çekme Test Sonuçları.....	36
3.4.2. Sertlik Test Sonuçları	40
3.5. MİKROYAPI SONUÇLARI.....	41
SONUÇ	45
KAYNAKÇA.....	48
ÖZ GEÇMİŞ	51

TABLÖLAR

Tablo 1: Alüminyuma İlave Edilen Önemli Alaşım Elementleri Etkileri	4
Tablo 2: Alüminyum Döküm Alaşımlarının Serileri.....	5
Tablo 3: Alüminyum Dövme Alaşımlarının Serileri	6
Tablo 4: Metalik Elementlerin Alüminyuma Göre Yoğunlukları	6
Tablo 5: Alüminyumun Elektriksel İletkenliğini Azaltan Alaşım Elementler	8
Tablo 6: Deney Parametreleri.....	15
Tablo 7: Döküm Deneylerinin Kimyasal Bileşim Sonuçları (% Ag.).....	28
Tablo 8: RPT Döküm Numuneleri Yoğunluk ve Gözenek Verileri	30
Tablo 9: K-Mold İnküzyon, Parça Sayıları ve K Değerleri.....	32
Tablo 10: Sıvı Metal İlerleme Mesafelerinin Ölçümleri	34
Tablo 11: Sertlik Ölçümü Değerleri	40



ŞEKİLLER

Şekil 1: Tane İnceltici Oluşumu a) Tane İnceltici Bulunmayan b) Tane İnceltici Bulunan.....	9
Şekil 2: Vanadyum Elementi Periyodik Tablodaki Yeri.....	11
Şekil 3: Vanadyum Elementini Dizilimi.....	11
Şekil 4: Vanadyumun Kristal Yapısı, $a = 302,4 \text{ pm}$	12
Şekil 5: Deneysel Çalışmalar Sırasında Süreç Aşamaları.....	16
Şekil 6: Isıtıcı Tabla.....	16
Şekil 7: a) Elektrik Direnç Ocağı, b) Döküm Ocağı Ön Yüz.....	17
Şekil 8: Sıvı Metal Temizleme İşlemi.....	18
Şekil 9: Döküm İşlemi ve Döküm Sonrası Kalıp Görüntüleri.....	18
Şekil 10: Azaltılmış Basınç Deney (RPT) Cihazı.....	19
Şekil 11: a) Yoğunluk Ölçüm Deneyi Gösterimi, b) Cihaz Görseli.....	20
Şekil 12: RPT Numunelerinin Gözenek Tespit Aşamaları ve Kesilen Yüzey Görüntüsü.....	21
Şekil 13: a) K-Mold Test Kalıbı İç, b) K-Mold Test Kalıbı Dış, c) Katı Model Görüntüsü ve Numune Ölçüleri.....	21
Şekil 14: a) 4 Kanallı Akıcılık Kalıbı, b) Numune Ölçüleri.....	22
Şekil 15: Sıvı Metal İlerleme Mesafe Tespiti Gösterimi.....	23
Şekil 16: a) Spiral Akıcılık Kalıbı Görseli, b) Spiral Akıcılık Kalıbı Katı Model Görseli.....	23
Şekil 17: a) Mekanik Test Kalıbı Ölçüleri, b) Kalıp Görseli.....	24
Şekil 18: Isıl İşlem Uygulama Şeması.....	25
Şekil 19: Çekme Deneyi Numunesi.....	25
Şekil 20: a) Çekme Deneyi Cihazı, b) Çekme Deneyi Numunesi.....	26
Şekil 21: Sertlik Deneyi Cihazı.....	26
Şekil 22: a) Zımparalama ve Parlatma Cihazı, b) Bakalit Kalıplı Numuneler.....	27
Şekil 23: RPT Test Numune Görüntüleri a) İlavesiz, b) %0,03 V İlaveli, c) %0,05 V İlaveli, d) %0,1 V İlaveli.....	29
Şekil 24: RPT Numunelerinin Kesit Fotoğrafları a) İlavesiz, b) %0,03 V İlaveli, c) %0,05 V İlaveli, d) %0,1 V İlaveli.....	29
Şekil 25: K-mold Kalıbında Yapılan Döküm Deneyleri Görüntüleri a) İlavesiz, b) %0,03 V İlaveli, c) %0,05 V İlaveli, d) %0,1 V İlaveli.....	31
Şekil 26: K- mold Numuneleri Kırık Yüzey Görüntüleri a) İlavesiz, b) %0,03 V İlaveli, c) %0,05 V İlaveli, d) %0,1 V İlaveli.....	32
Şekil 27: Döküm Sıcaklığına Bağlı Akıcılık Deney Numuneleri.....	34
Şekil 28: Spiral Akıcılık Kalıbıyla Oluşturulan Sıvı Metal İlerleme Mesafesi.....	35
Şekil 29: Dört Kanallı Akıcılık Kalıbıyla Oluşturulan Sıvı Metal İlerleme Mesafesi.....	35
Şekil 30: Mekanik Test Kalıbı Döküm Numune Görseli.....	37
Şekil 31: Döküm Deneylerine Ait Gerilme Birim Şekil Değiştirme Grafikleri.....	37
Şekil 32: Etial 160 Alaşımın V İlavesine Bağlı Maksimum Gerilme Değerleri.....	38
Şekil 33: Etial 160 Alaşımın V İlavesine Bağlı % Uzama Değerleri.....	38
Şekil 34: Etial 160 Alaşımın V İlavesine Bağlı Statik Tokluk Değerleri.....	39
Şekil 35: Sertlik Testi Sonuçlarının Grafik Gösterimi.....	40
Şekil 36: İlavesiz Etial 160 Dört Kanallı Akıcılık Kalıbı Mikroyapı Görselleri a)2mm, b)4mm, c)6mm, d)8mm.....	41

Şekil 37: %0,03 V İlaveli Etial 160 Dört Kanallı Akıcılık Kalıbı Mikroyapı Görselleri a)2mm, b)4mm, c)6mm, d)8mm	42
Şekil 38: %0,05 V İlaveli Etial 160 Dört Kanallı Akıcılık Kalıbına Mikroyapı Görselleri a)2mm, b)4mm, c)6mm, d)8mm	43
Şekil 39: %0,1 V İlaveli Etial 160 Dört Kanallı Akıcılık Kalıbına Mikroyapı Görselleri a)2mm, b)4mm, c)6mm, d)8mm	43
Şekil 40: Spiral akıcılık numunelerinden alınan 50X büyütmede çekilen mikroyapı resimleri a) İlavesiz Etial 160, b) %0,03 V İlaveli, c) %0,05 V İlaveli, d) %0,1 V İlaveli.....	45



KISALTMALAR

CNC	: Computer Numerical Control
SiC	: Silisyum Karbür
ETİAL	: ETİ Alüminyum
HRB	: Rockwell B Sertliği
RPT	: Reduced Pressure Test (Azaltılmış Basınç Testi)
HMK	: Hacim Merkezli Kübik
HB	: Brinel Sertlik
AKB	: Atomik Kütle Birimi

SİMGELER

Kgf	: Kilogramkuvvet
kW	: Kilowatt
kN	: Kilonewton
kW	: Kilowatt
Å	: Angstrom
J	: Jolue
KgK	: Kilogramkelvin
MJ	: Megajolue
°C	: Santigrad Derece
°F	: Fahrenheit
α	: Alfa
MPa	: Megapascal
Zn	: Çinko
Cu	: Bakır
Mn	: Mangan
V	: Vanadyum
Pb	: Kurşun
O₂	: Oksijen
Au	: Altın
Os	: Osmiyum
Nb	: Niyobyum
Cb	: Colombium
Ta	: Tantalyum
E ϵ	: Epsilon
Zr	: Zirkonyum
BN	: Bor Nitrür
Fe	: Demir
Si	: Silisyum
Er	: Erbiyum
HF	: Hidrojen Florür
HCl	: Hidroklorik Asit
HNO₃	: Nitrik Asit

Al₂O₃	: Alüminyum Oksit
NH₂O	: Amonyum Peroksit
AlB₂	: Alüminyum Borür
TiB₂	: Titanyum Borür
TiAl₃	: Titanyum Alüminyum Triklorür
µm	: Mikrometre
mm	: Milimetre
dk	: Dakika
mbar	: Milibar
g	: Gram



GİRİŞ

Alüminyum alaşımları, diğer metallere göre çok daha hafif ve düşük ergime sıcaklığına sahiptirler ve mekanik özellikleri geliştirilerek daha yüksek mukavemet gösterirler. Bu özellikler sayesinde endüstride yaygın olarak kullanımları mevcuttur. Otomotiv, hava, uzay ve deniz araçları gibi alanlarda alüminyum alaşımlarının her geçen yıl kullanımları artmaktadır. Kullanım alanlarına göre sürekli geliştirilmekte olan döküm ve dövme alüminyum alaşımlarının mukavemeti, sünekliği, sertliği, dayanımı ve mekanik özellikleri sürekli iyileştirilmektedir. Endüstride kullanılan alüminyum alaşımları günümüzdeki teknoloji ile birleşmesiyle üstün özellikler sergilemektedir. Alüminyum alaşımları artan ürün çeşitliliği ile gelişmekte olup ilave edilen alaşımlara ait özellikleri sınırlandırmaktadır. Bu konuda akademik araştırmalar ve endüstride çalışmalar yapılmış olup literatürde birçok alüminyum alaşım makaleleri mevcuttur.

Araştırmanın Konusu ve Problemi

Al alaşımlarında kullanılan ilave alaşım elementi ana malzemenin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinde miktarı ve türü ile değişiklikler sağlayacaktır. Bu kapsamda Etial 160 alüminyum alaşımına farklı oranlarda vanadyum elementi ilave edilmesiyle kokil kalıba döküm yöntemiyle etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda deneyler gerçekleştirilmiş olup, sıvı metal temizliğinin belirlenmesi amacıyla RPT (azaltılmış basınç testi) ile ve K-Mold kalıbı ile kokil kalıplara dökümler yapılarak numuneler elde edilmiştir. Farklı kesit kalınlıklarında özel olarak tasarlanan 4 kollu akıcılık ve spiral kokil kalıbı ile gerçekleştirilen dökümler ile akıcılık etkisi incelenmiştir ve mikroyapı incelemeleri için numuneler akıcılık numunelerinden elde edilmiştir. Mekanik özelliklerini belirlemek üzere mekanik test kokil kalıbına dökümler yapılarak numuneler elde edilmiş olup ısıtma işlemi uygulanmıştır. Isıtma işlemin ardından çekme ve sertlik testleri uygulanmıştır.

Araştırmanın Amacı

Alüminyum alaşımlarının farklı alaşım elementleri ilave edilerek mekanik ve fiziksel özelliklerinde değişiklikler olduğu sonuçlarda görülmüştür. Bu çalışmanın amacı, Etial 160 alüminyum alaşımına vanadyum alaşım elementi ilave edilmesi ile mekanik ve fiziksel özelliklerinin geliştirilmesidir. Vanadyum alaşım elementi farklı oranlarda ilave edilecek olup, sıvı metal temizliği, akıcılık üzerindeki etkileri ve mekanik özelliklerinin değerleri sayısal veriler ile sunulacaktır.

Araştırmanın Önemi ve Gerekçesi

Vanadyum alaşım elementinin Etial 160 alüminyum alaşımına ilave edilmesiyle özelliklerinde iyileştirmeler meydana gelmiştir. Farklı oranlarda ilave edilen vanadyum alaşım elementi, etkilerini gözlemlemek amacıyla araştırmanın önemini arz etmektedir. Genel olarak kullanılan alüminyum alaşımlarının teknolojiye bağlı olarak sürekli iyileştirme ve kullanım alanlarına göre geliştirilmektedir. Bu nedenle yaygın olan Etial 160 alüminyum alaşımına farklı oranlarda vanadyum alaşım elementi ilave edilerek mekanik özelliklerinin ve seri üretim açısından önemli olan akıcılığın etkisi incelenmiştir.

Araştırmanın Sınırlılıkları

İncelenen literatür araştırmalarının sonucunda Etial 160 alaşımına çeşitli ilave alaşım elementleri ilavesi incelenmiştir. Fakat Etial 160 alaşımına vanadyum ilavesinin etkisinin incelenmesi sınırlı olup literatürde araştırmalar sınırlıdır.

Terim ve Tanımları

Döküm, Metalin ergime ısısında olduğu ve sıvı halde olan sıvı metalin elde edilmesi istenen şekilde olan kalıba dökülerek, ardından soğuyan sıvı metalin katılaşmasıyla bulunduğu kalıbın şeklini almasıyla parçanın elde edilmesini sağlayan üretim yöntemidir.

Kokil Kalıp, Demir ya da çelikten yapılan kalıplara denir. Bu kalıplarda birden çok döküm yapılmaktadır.

Alüminyum, Doğada genellikle boksit cevheri halinde bulunan, atom numarası 13 olan, gümüş renkte ve sünek bir metaldir. Simgesi Al gösterilmektedir.

Vanadyum, Doğada genellikle nadiren bulunan bir geçiş metalidir. Korozyon direnci yüksek olup, atom numarası 23 olup, gri renkli metaldir.

Mekanik Özellik, Malzemenin dış kuvvet etkisi altında zorlamalar karşısında oluşan kalıcı şekil değişiklikleri ve gerilmelerdir.

Akışkanlık, Ergimiş sıvı metalin yüzey geriliminin artmasıyla biçim değiştirmesidir.

BİRİNCİ BÖLÜM

1. KURAMSAL ÇERÇEVE

1.1. ALÜMİNYUM

Alüminyum, yer kabuğunda boksit cevheri halinde bulunan bir elementtir. Demirden sonra sıklıkla kullanılan metaldir. II. Dünya Savaşından sonra enerji, dayanımlı ve hafifliğe sahip malzemeler, imalat açısından ve kolay geri dönüşümü sayesinde alüminyum daha önemli hale gelmiştir (Yağcı vd., 2021).

19. yy. sonlarına doğru endüstriyel sektör yolculuğuna başlayan alüminyum; boru imalatı, havacılık sektörü ve köprü yapımlarında piyasada yer edinmesinin ardından, 20.yy’da motor blokları, jant, zırh plakları üretiminde kullanılması sebebi ile git gide kullanılmaya devam etmiştir. Alüminyum alaşımları, mukavemet, korozyon direnci, iletkenlik, işlenebilirliği yüksek olması ve birçok özelliği ile havacılık, otomotiv ve diğer endüstriyel alanlarda çok tercih edilmiştir. Üretilen alüminyum parçalar ağırlıklarının az olması ve bu sebeple ortaya çıkan enerjiden elde edilen kardan dolayı diğer parçalara göre alüminyum ön kısımdadır. (Yağcı vd., 2021).

Alüminyum hafifliği, mukavemeti, yoğunluğu, işlenebilirliği ve korozyon direnci gibi mükemmel özelliklere sahiptir. Bu özellikleri sebebi ile mühendislik, otomotiv, havacılık endüstrisinde ciddi oranda kullanımı artmıştır. Bu sebeple alüminyum kullanımı git gide artarak, demir vb. metallerin ardından tercih bakımından en çok talep gören malzeme olmuştur (Epstein vd.,1994).

Alüminyum, Latince bir kelime olan “alumen” den gelir. Eski Yunanlılar ve Romalılar, ufalanan alüminyum tozlarını, boyalar ve kan durdurmada kullanmışlardır. Alumen günümüzde de kanı durdurmaya yaramaktadır (Binczewski, 1995).

Alüminyum, doğada demir veya bakırın aksine metal olarak bulunmamaktadır. Kimyasal aktivitesi ve oksijene olan ilgisi nedeniyle her zaman diğer elementlerle, özellikle alüminyum oksit gibi bileşikler halinde bulunur. Yine alüminyum oksit olan korindon, dünyada doğal olarak oluşan elmadan sonraki en sert maddedir. Bu sayede alüminyum, değerli bir metal ve yenilik olarak kabul edildi (Kissell, 1996).

1.2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Alüminyum döküm alaşımları, korozyon dayanımı, işlenebilirlik, iletkenlik, mukavemet vb. özelliklere sahiptir. Bu özellikler sebebi ile otomotiv sektöründe önemli bir yeri olmasına karşı diğer alanlarda da tercih edilir. Alüminyum alaşımlarına duyulan ilgi ile birlikte

kalitesinin artması ve maliyetinin düşmesi beklenir. Alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri ve diğer özelliklerinin geliştirilmesi gerekir. Alüminyum dökümlerinin nihai özellikleri arasında katılaşma en önemli yeri almaktadır. Alüminyum dökümlerde katılaşma işlemi çekirdeklenme ve büyüme sayesinde başlar. Dökümde amacımız yapılan dökümün iç yapısında ince taneli bir yapı elde etmektir ve bu sebeple dökümün katılaşma sırasında çekirdeklenen tanelerin yavaş büyümesi gerekir (Çolak, 2019).

İki veya daha fazla metalin, metal ve ametal ile birleştirilmesi sonucunda oluşan metallere alaşım denir. Saf olan metallerinde kendi özellikleri bulunmaktadır. Bu sebeple özelliklerini değiştirip iyileştirmek için, belirli özelliklerini daha da iyileştirme yapmak için alaşım oluşturulur. Alüminyum döküm alaşımlarının fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri eklenen alaşım elementlerine göre değişiklik gösterir. Alüminyum genelde saf olarak kullanılmaz. Alüminyum ile birleştirilen en önemli alaşım elementleri çinko bakır, mangan, silisyum ve magnezyumdur. Alüminyuma ilave edilen en önemli alaşım elementlerinin etkileri aşağıda verilen Tablo 1’ de gösterilmektedir. Alaşım oluşturabilmek için en önemli iki teknik ergitme ve toz karıştırma tekniğidir (Alım, 2017). Alüminyum alaşımlarının kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri alaşıma eklenen elementlere ve oluşan alaşımın mikroyapısına bağlıdır (Çetin, 2020).

Tablo 1: Alüminyuma İlave Edilen Önemli Alaşım Elementleri Etkileri

Alaşım elementleri	Alüminyum üzerindeki etkileri
(Zn)	Alaşımın sağlam ve sert olmasını sağlar.
(Cu)	Isıl işlem sayesinde sağlamlık ve sertlik kazandırır. Korozyon direncinin düşmesini sağlar.
(Mn)	Akma ve gerilme mukavemetinin artmasını sağlar. Korozyon sağlar.
(Si)	Magnezyum ile birlikte kullanılması ısıl işlem görebilme özelliği sağlar. Korozyon direncini artırır.
(Mg)	Sağlam ve sert yapı oluşturur. Korozyon direncini ve kaynak kabiliyetinin artmasına neden olur.

1.2.1. Atom Yapısı ve Kristal Kafesi

Alüminyum periyodik tabloda 3A grubunda ve 13 atom numarasına sahiptir., 1,43 Å atom çapı, 0,86 Å iyon çapı ve 26,97 g/mol atom ağırlığına sahiptir. Alüminyum YMK (yüzey merkezli kübik) yapıli atom kafesine sahiptir ve 12 koordinasyon sayısına sahiptir. %99,97

saflığa sahip metalde elementel küpünün kafes parametresi 4,046 Å ve %99,996'lık metalde 4,0413 Å 'dur. İki iyon arasındaki mesafe elementel küpte 2,86Å'dur (Beljajew vd., 1974).

1.2.2. Alüminyum Alaşımların Sınıflandırılması

Alüminyum alaşımlarının üretim yöntemini iki grupta adlandırırız. Bunlar dövme ve döküm alaşımları şeklinde yerini alır. Bu alaşımlar bileşenleri bakımından birbirleri ile benzerlik gösterir. Alüminyum alaşımlarının sertleşmesi için öncelikle özelliklere bakılıp sonrasında ısıtıl işlem uygulanarak sağlanabilir. Döküm özelliklerine deformasyon sertleşmesi önemli ölçüde etki etmemesi sebebi ile ilave edilecek olan alaşım elementleri dövme ve döküm alaşımlarına göre farklılık ortaya çıkabilir (Kaufman ve Rooy, 2004).

1.2.2.1. Döküm alüminyum

Alüminyum döküm alaşımlarının sınıflandırılması için 3 basamak ve virgülden sonra ondalık basamakta gösteriyoruz: Örnek olarak, 356.1 diyebiliriz. Bu nedenle bu yaklaşım sadece döküm alaşımları için geçerlidir. Dövme alaşımlar için farklı sınıflandırma sistemi tercih edilir. Tablo 2'de gösterildiği üzere yüzdelerdeki rakamlar alaşım elementinin içeriği hakkında bilgi vermektedir (Çetin, 2020).

Tablo 2: Alüminyum Döküm Alaşımlarının Serileri

SERİ	ÖZELLİKLER
100 serisi	Minimum %99 Al içeren alüminyumlar
200 serisi	Alüminyum-Bakır alaşımları (Al-Cu)
300 serisi	Al ve Si'ye ek olarak, Cu-Mg eklenen alaşımlar (Al-Si+Mg-Cu)
400 serisi	Alüminyum-Silisyum alaşımları (Al-Si)
500 serisi	Alüminyum-Magnezyum alaşımları (Al-Mg)
600 serisi	Kullanımda değil
700 serisi	Alüminyum-Çinko alaşımları (Al-Mg)
800 serisi	Alüminyum-Kalay alaşımları (Al-Sn)
900 serisi	Diğer Alüminyum döküm alaşımları

1.2.2.2. Dövme alüminyum

Dövme alaşımları, plastik deformasyon kabiliyeti iyi olduğundan dolayı kolay şekil verilir. Sürekli döküm yöntemi kullanılarak blok biçiminde farklı alaşıma sahip alüminyum alaşımlarının “blok homojenleştirme tavı” işlemi uygulanmasının ardından ekstrüzyon ya da haddeleme işlemi ile şekillendirilebilir. Tablo 3'te gösterilen dövme alaşımları dört basamaklı bir sistem ile numaralandırılır. 1. rakam temel alaşım elementini verir. 2. rakam sıradaki rakam ise, alaşım modifikasyonunu belirtir. Rakam sıfır ise alaşım orijinal anlamına gelir. 1 ile 9 arasında rakamlar, alaşımdaki değişikliği ifade eder. 3. ve 4. rakamlar grupta farklı alüminyum alaşımlarının olduğunu belirtir (Al-Saadi ve Tunay, 2017).

Tablo 3: Alüminyum Dövme Alaşımlarının Serileri

Alaşımlar	Açıklama
1xxx	Alaşımsız alüminyum
2xxx	Bakır, magnezyum bulunduran alüminyum
3xxx	Mangan alaşımlar alüminyum
4xxx	Silisyum alaşımlar alüminyum
5xxx	Magnezyum alaşımlar alüminyum
6xxx	Magnezyum ve silisyum alaşımlar alüminyum
7xxx	Çinko alaşımlar alüminyum
8xxx	Kalay alaşımlar alüminyum
9xxx	İleri zaman da belirlenecektir

1.2.3. Alüminyum ve Alaşımlarının Özellikleri

1.2.3.1. Yoğunluk

Alüminyum, esnek ve elde edilmek istenen yapıya kolay şekillendirilebildiği için günümüzde oldukça talep gören bir malzemedir. Talep edilmesinin bir diğer nedeni diğer metallerle göre daha hafif olmasıdır ve yoğunluğu çeliğin yoğunluğunun üçte birine tekabül eder. Alüminyum yoğunluğundan dolayı ve yapısı gereği hafif olsa dahi yüksek güç sağlamaktadır. Bu özellikler, işlenmesi oldukça basit, fakat dayanıklı ve farklı endüstriyel sektörlerde dayanım gösteren bir malzemeye dönüşmektedir. Yani alüminyum, hafif ve yumuşak bir malzeme olduğundan dolayı otomotiv ve havacılık sektörlerinden spor ekipmanlarına kadar birçok sektörde ön plana çıkmaktadır. Yoğunluğu düşüktür. Saf alüminyumun katı haldeki yoğunluğu 2699 kg/m^3 'tür. Sıvı haldeki eriyik alüminyumun yoğunluğu $700 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 2357 kg/m^3 ve $900 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 2304 kg/m^3 'tür (Url-1). Tablo 4'te gösterilen elementlerin alüminyum elementine göre yoğunlukları verilmiştir.

Tablo 4: Metalik Elementlerin Alüminyuma Göre Yoğunlukları

Element	Yoğunluk (g/cm^3)	Alüminyuma Göre Yoğunluk (%)
Lityum (Li)	0,53	20
Magnezyum (Mg)	1,74	64
Alüminyum (Al)	2,70	100
Titanyum (Ti)	4,51	167
Çinko (Zn)	7,13	264
Kalay (Sn)	7,28	270
Demir (Fe)	7,87	292
Bakır (Cu)	8,93	331
Gümüş (Ag)	10,53	389
Kurşun (Pb)	11,34	420
Altın (Au)	19,28	715
Osmiyum (Os)	22,58	837

1.2.3.2. Yüksek mukavemet ve hafifliği

Alüminyum alaşımları mukavemeti yüksek olan çeliklerden ve diğeri metallere göre güçlü dayanıma sahiptir. Alüminyum alaşımlarının mukavemeti 700 MPa'ya yaklaşabilir. Bir kütle alaşımların mukavemetini çekme mukavemeti yoğunluğuna böldüğümüzde ortaya çıkan sonuç şaşırtıcıdır yani 7075 alüminyum alaşımı mukavemeti yüksek olan bir çelikten ve titanyumdan sonra dayanım ve mukavemet açısından gelmektedir (Kissell, 1996).

Bu yüksek mukavemet ve hafiflik, alüminyum özellikle gemiler, vagonlar, uçaklar, kamyonlar ve otomobillerde kısacası tüm ulaşımda kullanıldığı gibi merdiven ve iskeleler gibi taşınabilir yapılar için de çok uygun hale getirir (Cobden ve Banbury, 1994).

1.2.3.3. Korozyon direnci

Alüminyum, oksijenle çok hızlı reaksiyona girer. Bu sebeple ince ve çok sıkı alüminyum oksit tabakası ile kaplanır. Bu sert oksit kabuğunun oluşumu, metalin daha fazla oksidasyonunu önler. Oksit bir film tabakasına sahip alüminyumda ince ve diğeri metallerde alüminyuma göre kalındır. Bu koruyucu tabaka yaklaşık 0,2 mikron kalınlığındadır. Elektron mikroskopunda bu durum incelendiğinde örtünün gözeneksiz olduğu gözlemlenmektedir. Bu ince, sert, renksiz oksit film, alüminyum yüzeye sıkıca yapışır ve hasar gördüğünde hızla yeniden oluşur. Bu sebepten dolayı örtü, metal oksitlenmesinin devam etmesine karşı korumaktadır ve bu örtüye yüksek bir korozyon mukavemeti sağlamaktadır (Karakışlak, 1992).

1.2.3.4. Mekanik özellikleri

Alüminyum alaşımlarının saflık derecesiyle mekanik özellikleri birbirlerine bağlıdır. Yüksek saflığa sahip alüminyum teknik saflığa sahip metale kıyasla plastik bir durum sergiler. Mekanik mukavemeti düşük olduğu görülür. %99,25'i alüminyum olan metalin elastik modülü 7100 kg/mm²'dir. İşlenmemiş saf haldeki alüminyumun 6700 kg/mm²'dir. Dövülmüş veya tavllanmış %99,2'lik alüminyum brinel sertlik değeri yaklaşık 24'tür. %99,996 saflıktaki soğuk haddeleme işlemi görmüş alüminyum %75'lik bir incelemesinden sonra yaklaşık 27, yumuşatılmış hali ise 12–15 kg/mm² brinel sertliğe sahip olmaktadır. Çok sayıda araştırmalar alüminyumun çekme mukavemetinin artan safiyetin azaldığını göstermiş bulunmaktadır. Yüksek saflıktaki alüminyumun kopma esnasında kesit yüzey alanı küçülmesi daha fazladır. Metalin %95 civarında şekil değiştirmesine kadar sabit kalmaktadır. Uzama miktarında artan safiyet ile büyümektedir. %99,996'lık saf alüminyumdaki çekme dayanımı (soğuk hadde görmüş) 10,9–13 kg/mm², (tavlanma işlemi görmüş) 3,4–6 kg/mm², basınç dayanımı 10,75 ve 1,2 kg/mm², uzama %5,45 ve %40–50 civarındadır (Beljajew vd., 1974).

1.2.3.5. Kimyasal özellikleri

Kimyasal olarak alüminyum metali yüksek aktivite göstermektedir. Al havada sıkı bir alüminyum oksit tabakasıyla kaplanmaktadır. Elektron mikroskopunda bakıldığı zaman bu örtü sıkı ve gözeneksizdir. Bu örtü, metalin oksitlenme işlemine devam etmesinde korur ve korozyon mukavemeti sağlamaktadır. Alüminyum oksit tabakası yaklaşık 0,2 mikron kalınlığa sahiptir. Al, havada ergime noktasına (660°C) kadar ısıtılırsa oksitlenme işlemi devam eder. Bu durumda ısı, oksidasyon, kütle ve saf diğer metaller ile orantılıdır. Alüminyumun oksijen ile tepkimesi kuvvetlidir ve birçok metalin oksitlenmesinde ısı verir (Beljajew vd., 1974).

1.2.3.6. İletkenlik

Alüminyumun elektrik iletkenliği tavlanmış bakırın iki katı kadardır. Düşük özkütlesi sayesinde saf alüminyum diğer metallerle karşılaştırıldığında elektrik iletkenliği olarak çoğu metale göre güçlü ve yüksek iletkenlik göstermektedir. Alüminyumun elektriksel özelliği, saflığı ile doğrudan orantıdadır. Araştırmalar sonucunda alüminyumun iletkenliğini azaltan alaşım elementleri 3 gruba ayırmış ve Tablo 5’de belirtilmiştir.

Tablo 5: Alüminyumun Elektriksel İletkenliğini Azaltan Alaşım Elementler

1. grup	Nikel, demir, çinko, berilyum ve altın	İletkenliği az düşürür.
2. grup	Bakır, gümüş ve magnezyum	İletkenliği kuvvetli düşürür.
3. grup	Vanadyum, mangan, titanyum ve krom	İletkenliği çok kuvvetli düşürür.

1.2.3.7. İmalat ve şekillendirebilme özelliği

Alüminyum, ekstrüzyon, bükme, haddeleme, çekme, dövme, döküm ve işleme gibi işlemlerden geçerek şekillendirilmesi ve imal edilmesi en kolay metallerden biridir. Saf halde bulunan Al yumuşak ve tel halinde kolayca işlenebildiğinden, pres işlemi, kalıplama işlemi vb. bilinen yöntemlerle kolayca şekil verilebilmektedir. Alüminyumun soğuk şekillenme sırasında pekleşme içerdiği için katkı elemanlarından farklı olarak kesiti daraldıkça, gerçek gerilmelerde yavaş yavaş yükseldiği görülmektedir (Ahlatçı, 1994).

1.3. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI DÖKÜMÜNDE TANE İNCELTME İŞLEMLERİ

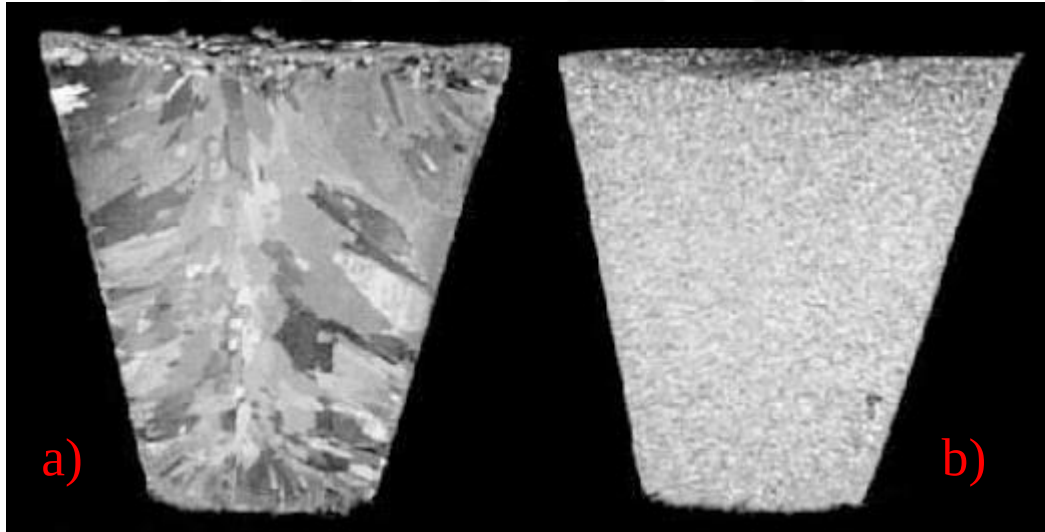
Tane inceltme ile ilgili ilk uygulamalar Ti ve B içeren flaksların sıvı metale ilavesiyle başlamıştır. Tuz halinde olan flakslar tane inceltmede olan verimliliklerine rağmen sıvı metaldeki hidrojen çözünürlüğünün artmasına, gaz üretmesine ve inceltme özelliği olan elementlerin özelliklerini gerçekleştirilememesi gibi birçok dezavantaja sahiptirler (Kaufman ve

Rooy, 2004).

Sıvı metale eklenen bileşimlerin eriyiğe karışmasıyla Al parçacıklarıyla çekirdeklenerek yeni yüzeyler oluşturmaktadırlar. Bunun sonucunda katılaşma dış yüzeylerden başladığı için birim hacim başına düşen tane miktarı artacaktır. Yani tane boyutunun küçülmesi ve oluşan yeni tanelerin incelerek meydana geldiği bilinmektedir.

Eriyik sıvı metale çeşitli flakslar ilave edilerek tane sayısında artış yaparak tane inceltme hedefi uygulanır. Yaygın olarak kullanılan alaşımlar Ti ve B elementleridir. Ti elementi özellikle B elementi ile bir arada olduklarında çekirdeklenmeleri güçlü yapıda oluşturarak en iyi tane inceltme yöntemini oluşturur. Al-Ti bileşimlerinde genelde %3 ile %10 arasında Ti bulunur. Ti ağırlıkça %0,02 ile %0,15 arasında takviye elementi olarak kullanılabilir ve 40 dakikada etkisini yitirmektedir. B elementine Ti elementi takviye edildiğinde maksimum seviyede ince tane oluşturur. Ti ve B inceltme elementleri alaşım halinde veya eriyik halinde takviye edilebilir.

Tane inceltici uygulanan örnek alaşım görseli Şekil 1’de verilmiştir (Brown, 1999; Kaufman ve Rooy, 2004).



Şekil 1: Tane İnceltici Oluşumu a) Tane İnceltici Bulunmayan b) Tane İnceltici Bulunan

Al alaşımlarına eklenen Ti elementi mekanik ve mikroyapı özelliklerinde değişiklikler ortaya çıkarmaktadır. Çekme, sertlik gibi mekanik ve mikroyapı özelliklerini iyileştiren Ti elementi ilavesinin %0,2 oranına kadar yapılması bu özellikleri iyileştirecektir. Tane inceltici özelliği bulunan Ti elementi ilavesi ile yapıda düzenli, küçük ve eş eksenli biçim oluşur. Bu sayede, mekanik özellikleri gelişecek olup daha mukavemetli olacaktır (Liu vd., 2011).

Etial 160 alüminyum alaşımlarının kullanıldığı kum kalıp döküm yönteminde beslemenin tane boyutunun küçülmesiyle arttığını ve makro porozitenin azaldığı görülmektedir. Tane incelticilerin beslenebilirliği arttırdığı görülmektedir (Kayıkçı vd., 2009).

Döküm kalitesinin iyileştirilmesi ve mekanik özelliklerinin artması için B elementi ilavesi kullanılmaktadır. Soğuma hızını etkileyen B elementi döküm esnasında homojen mikroyapı elde etmesini sağlar (Yunak vd., 2023).

Mekanik özellikleri, katılaşma süresi gibi özellikler üzerinde değişiklikler açan B elementi ilavesi intermetalik bileşikler oluşmasını etkiler. Yani, Al ile reaksiyona giren bor oksitlerinin yaşlandırma işlemini ve mekanik özelliklerini etkileyen AlB₂ ve AlB₁₂ gibi bileşikler oluşturur (Khatami vd., 2011).

Bor eklenmesi ile Al alaşımlarının üzerinde etkilere yol açarak korozyon direncini arttırmak, döküm sırasında oluşması beklenen oksidasyonu azaltmak ve safsızlıkları yok ederek döküm hataları giderilebilir (Tokatlı vd., 2011).

B₄C formda olan bor Al alaşımlarına sertlik, aşınma direnci ve mukavemet gibi özellikler kazandırdığı bilinmektedir. Bu özellikler döküm esnasında kolaylaştırılan ince taneli yapıdan kaynaklanarak elde edilmektedir. Al alaşımlarına B₄C formunda eklenerek matris içindeki kristallerin daha düzgün şekilde yayılmasını sağlar, bu sayede alaşımda tane yapısının incelendiği görülmektedir (Poovazhagan vd., 2016).

1.4. VANADYUM

Vanadyum, simgesi V, atom numarası 23 olan geçiş elementidir. Yapay olarak izole edildiğinde, oksit bir katmanın ortaya çıkmasıyla pasifleşir ve kararlı hâle gelen elementin oksitlenmesi biter (Encyclopedia Britannica, 2021).

Vanadyum doğa şartlarında mineral bileşik halinde 65 farklı çeşitte bulunur. Çin ve Rusya'da çelik üretiminde eriyik dökümde oluşan cürufun işlenmesi ile, diğer ülkelerde ise ağır yağ baca tozunun geri dönüşümüyle ya da uranyum madenciliğinin bir yan ürünü olarak üretilir. Özellikle yüksek hız çeliğine benzer yüksek alaşımlı çeliklerin üretiminde kullanılmaktadır. Vanadyum pentoksit (V₂O₅) bileşiği sülfirik asit üretimi için bir katalizördür. Çoğu canlıda bulunan vanadyum, bazı enzimlerin etkin bölgesi olarak kullanılmaktadır (Encyclopedia Britannica, 2021). Şekil 2'de Vanadyum elementinin periyodik tablodaki yeri gösterilmiştir.

Periyodik Tablo

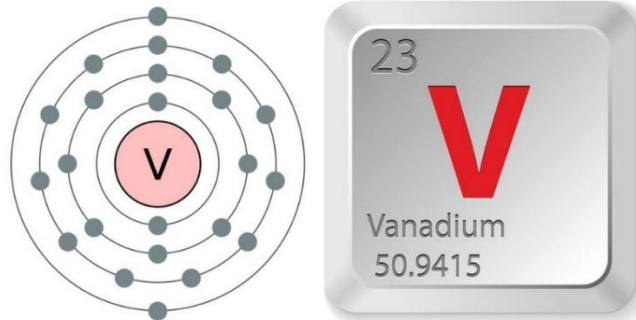
Şekil 2: Vanadyum Elementi Periyodik Tablodaki Yeri

1.4.1. Vanadyum Elementi Özellikleri

Vanadyum elementi özellikleri olarak; 23 elektron, 28 nötrona sahip olup periyodik cetvelde geçiş elementlerinden biridir. Vanadyum atomunun ortalama kütlesi 50,9415 birimdir (Pedersen, 2017).

Vanadyum; orta sertlikte olup çelik mavisi görünümü vardır. Havada kolayca kararmaz, ancak ısıtıldığında çoğu ametaller ile birleşir. Dövülebilir olması, korozyona dayanıklı olması gibi özellikleri olup ve az bilinen element olmasına rağmen imalat sanayinde oldukça değerlidir. Manyetit, vanadinit, karnotit ve patronit gibi mineral halinde bulunur. (Encyclopedia Britannica, 2021).

Vanadyum elementi bazı oksidasyonları gerçekleştirmektedir. Bunlar; +2, +3, +4 ve +5'tir. Sulu çözelti içinde iyonlar, oksidasyon durumunda farklı renkler görülebilir. Bu renkler; +2 durumunda lavanta renginde, +3 durumunda yeşil renginde, +4 durumunda mavi renginde ve +5 durumunda sarı renktedirler (Encyclopedia Britannica, 2021). Şekil 3'te verilen görselde V elementinin dizilimi gösterilmiştir.

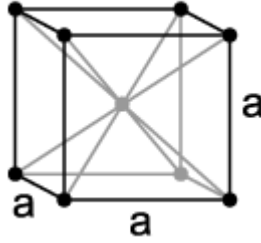


Şekil 3: Vanadyum Elementini Dizilimi

1.4.1.1. Atomik ve fiziksel özellikleri

Vanadyum, $6,11 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda manyetik yapısı olmayıp, sert, dövülebilir ve çelik mavisi bir ağır metaldir. Saf vanadyum nispeten yumuşaktır, ancak diğer elementler ile birleşip döküldüğünde dayanımı ve sertliği artacak olup mukavemeti daha da artacaktır. Özellikleri olarak titanyuma benzer. Saf vanadyumun erime noktası 1910°C 'dir, fakat karbon benzeri safsızlıklar nedeniyle önemli ölçüde artar. %10 karbon içeriği ile erime noktası 2700°C civarındadır (Metals Handbook, 1990).

Vanadyum, $5,13 \text{ K}$ geçiş sıcaklığının altında süper iletken halini alır. Saf vanadyum gibi, galyum, niyobyum ve zirkonyum içeren vanadyum alaşımları da süper iletken hale getirir. $5,13\text{K}$ 'nin altındaki sıcaklıklarda vanadyum, vanadyum grubu metalleri niyobyum ve tantalum gibi, açıklanmamış olan, elektrik polarizasyonu olan 200 atomluk küçük yuvarlaklar halinde metalik olmayan maddeler gibi görülebilir (Url-2). Şekil 4'te V elementinin kristal yapısı görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 4: Vanadyumun Kristal Yapısı, $a = 302,4 \text{ pm}$

Niyobyum, vanadyum ve tantalum sadece Hacim Merkezli Kübik yapı ve W-tipi yapılarında bulunmaktadır. Bu metallerin yüksek sıcaklıkta ve yüksek basınçta polimorfozları genel anlamda yoktur. Yumuşak ve sünek yapıdadırlar. Literatürde niyobyum ve tantalum'un yaklaşık olarak aynı atomik hacimlere sahip oldukları, yoğunluk bakımından farklılık olduğu belirtilmiştir (Metals Handbook, 1990).

1.4.1.2. Kimyasal özellikleri

Vanadyum, baz metali olduğu için metal olmayan elementler ile reaksiyona girebilir. Havada yaklaşık sürekli olarak parlak metalik görünümü vardır. Uzun zaman boyunca gözlem edildiğinde, mikroskop altında görülebilen yeşil pas oluştuğu görülür. Vanadyumu korozyondan korumanın yolu argon altında tutmaktır. Yüksek sıcaklıklarda oksijen ile tepkimesi kolaylaşır ve vanadyum okside oksitlenir. Karbon ve nitrojen sadece akkor haldeyken vanadyum ile reaksiyona girerken, flor ve klor ile reaksiyon düşük sıcaklıklarda reaksiyona girerler (Metals Handbook, 1990).

1.4.2. Vanadyum Elementi Kullanım Alanları

Vanadyum elementi daha çok çelik endüstrisinde kullanılmaktadır. Otomobil, uzay araçları ve uçak teknolojisinde titanyum içeren alaşımlarla birlikte vanadyumda kullanılmaktadır. Sülfirik asit üretiminde bir katalizör olarak, seramik ve kimya sanayisinde tüketilen vanadyum miktarı düşüktür. Yakın zamanda ABD kıyılarındaki petrol sondaj borularında vanadyum içeren alaşımlar kullanılmaya başlanmıştır. Rusya'da yüksek basınçlı gaz borularının üretiminde kullanılan, fakat bu alanda olan tüketim giderek azalmaktadır. Karbon ve mangan içeren diğer alaşımlarda pas oluşumuna karşı direnç gösterdiği için denizaltı yapımında kullanılmaya devam etmektedir. Vanadyum elementinin gelişen kullanım alanları gözlük camları, sanayi, rezidans camlarının ultraviole ışınlarla karşı filtreleme ve A vitamini tabletlerinin yapımında bulunmaktadır (Devlet Planlama Teşkilatı, 1994).

ABD'de kullanılan vanadyum ürün olarak %88 oranında çelik üretiminde, %12'si demir dışı alaşımlarda, pik demir, kimyasal ve katalizörlerde kullanılmaktadır. ABD'de kullanım alanları olarak %25 makine imalatı, %21 inşaat ve konstrüksiyon alanı, %32 ulaşım sektörü ve %22 diğer alanlarda kullanılmaktadır (Crowson, 1999).

Ülkemizde vanadyum tüketimi olup, üretimi bulunmamaktadır. Tüketimi gün geçtikçe artmakta olan vanadyum Türkiye'nin ithalat değerlerinden anlaşılmaktadır. Vanadyum demir alaşımları üretmek için demir-çelik sektöründe ithal edilmektedir. İthal edilen vanadyum alaşımları ferrovanadyum, vanadatlar ve vanadyum pentaoksittir (Devlet Planlama Teşkilatı, 1994).

1.4.3. Vanadyumun Alüminyum Alaşımlarına Etkisi

Vanadyum, mekanik özellikler açısından Al alaşımlarına etkileri olarak mukavemet, süneklik, sertlik ve dayanım arttıran özellik kazandırır. Yüksek mukavemet ve sertlik isteyen sektörlerde, havacılık ve otomotiv endüstrileri gibi alanlarda önemli bir alaşım elementidir. (Makhambetov vd., 2023).

Al alaşımlarına ilave edilen V alaşım elementi, tane yapısını incelterek ve mekanik özellikleri geliştirerek V içeren fazlar oluşturur (Shaha vd., 2015; Zhu vd., 2019).

V alaşım elementlerinin ilavesi ile döküm esnasında ince çökelti oluşturarak ferrit büyümesini engeller. Bu durum sayesinde, daha küçük ferrit kristalleri oluşur ve mukavemet, dayanım gibi özelliklerin artmasına neden olur (Choe vd., 2010).

Vanadyum alaşımları, 400 °C' ye kadar sıcaklıklarda bütünlüğünü koruyup termal kararlılıkları yüksektir. Bu nedenle, dış etkenler altında bozulması biraz daha geç olmaktadır.

Ayrıca V alaşım elementleri döküm esnasında akışkanlık sağlar ve bu sayede döküm kalitesini artırır (Voron vd., 2021).



İKİNCİ BÖLÜM

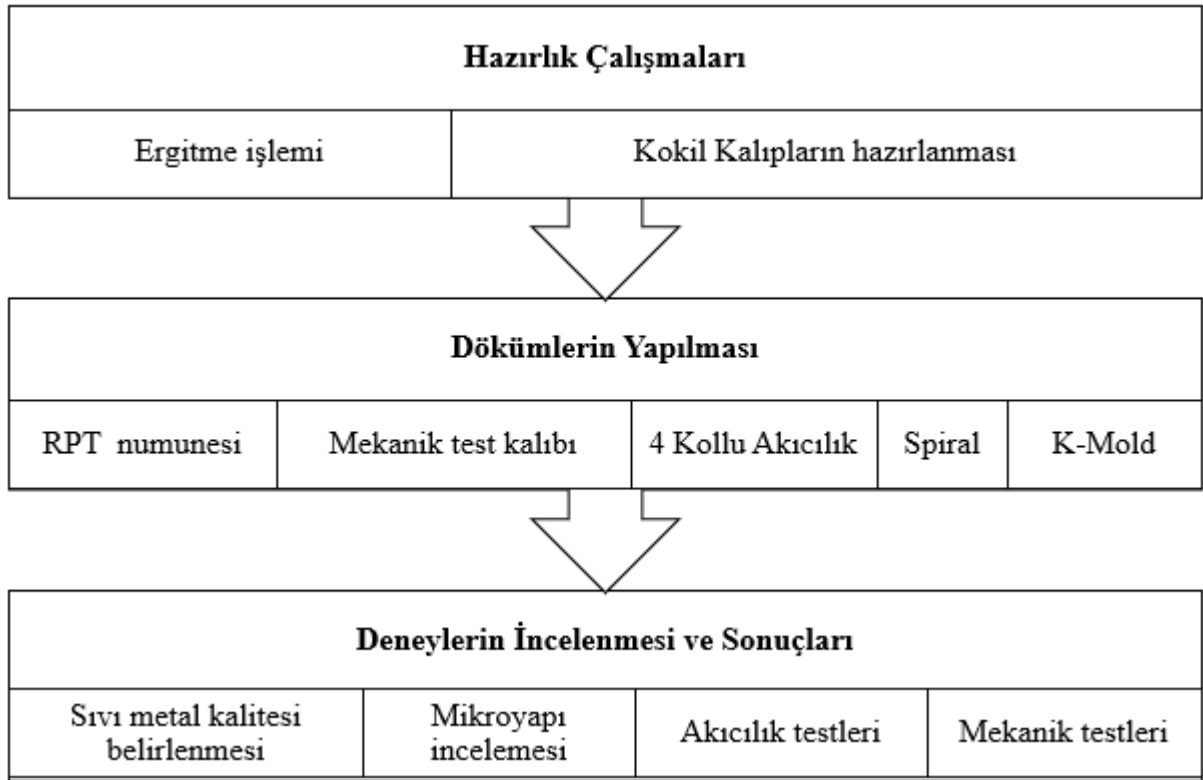
2. YÖNTEM

Tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalar hakkında yöntemsel olarak bilgiler bu bölümde verilecektir. Etial 160 standart alüminyum alaşımına farklı oranlarda belirlediğimiz Vanadyum (V) elementinin ilavesiyle alaşıma etki eden karakteristik özellikler bu bölümde incelenecektir. Yapılan dökümlerde ilk olarak ilavesiz Etial 160 alüminyum alaşım dökülecek olup ardından V elementi sırasıyla %0,03 %0,05 ve %0,1 miktarlarında ilave edilerek dökülecektir. Durum analizi için oluşan farkı gözlemlemek için kokil kalıba döküm yöntemi ile dökümler gerçekleştirilecektir. Farklı oranlardaki V elementi ilavesinin alaşım değerlerine etkisini gözlemlemek için 5 farklı kalıp kullanılarak yapılacaktır. Bu kalıplar öncelikle vakum altında katılaşma (RPT), K-Mold kalıbı, Spiral akıcılık kalıbı, 4 Kanallı akıcılık kalıbı ve Mekanik Test kalıbı ile yapılacaktır. Döküm öncesi kalıpların ısı olarak 250 °C'ye kadar ısıtılacaktır. Döküm esnasında ergiyen sıvı metal sıcaklığı 720 °C'de dökümler yapılacaktır. Deney parametreleri ve dökülen kalıpların detayları Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6: Deney Parametreleri

Etial 160	Döküm Sıcaklığı	Kalıp Sıcaklığı	RPT	K-Mold	Spiral Akıcılık	4 Kanallı Akıcılık	Mekanik Test Kalıbı
İlavesiz	720°C	250°C	+	+	+	+	+
%0,03 V	720°C	250°C	+	+	+	+	+
%0,05 V	720°C	250°C	+	+	+	+	+
%0,1 V	720°C	250°C	+	+	+	+	+

Sıvı metal temizliğinin kontrolünü değerlendirmek için K-mold kalıbı ve RPT numuneleri üretilmiştir. Akıcılık etkileşimini analizi amacıyla, özel olarak tasarımı yapılmış değişik kesitler bulunduran 4 kanala sahip akıcılık kalıbı ve spiral akıcılık kalıplarına döküm prosesi uygulanmıştır. Mikroyapı analizi için örnekler akıcılık test örneklerinden temini sağlanmıştır. Mekanik deney kalıbına uygulanan döküm prosesinden temin edilen numunelere ısı işlem tatbiki sonrasında çekme ve sertlik deneyleri yapılmıştır. Yapılan hazırlıklar ve süreç, Şekil 5'te ifade edilmiştir.



Şekil 5: Deneysel Çalışmalar Sırasında Süreç Aşamaları

2.1. DÖKÜM DENEYLERİNE HAZIRLIK İŞLEMLERİ

Deneylerde Etial 160 alüminyum döküm alaşımı kullanılmıştır. Vanadyum ilavesi için endüstride kullanılan Al5V master alaşımı kullanılmıştır.

Dökümler yapılmadan önce kalıplara uygulanan ön ısıtma işlemi Şekil 6’da verilen ısıtıcı cihazı ile yapılmıştır. Dökümden önce ısıtıcı tabla ile 300 °C’ ye kadar tabla ısıtılıp kokil kalıplar döküme için uygun ısıya ulaştırılmıştır. Ancak döküm esnasında kalıp sıcaklığı 250 °C olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6: Isıtıcı Tabla

2.2. ERGİTME VE DÖKÜM İŞLEMLERİ

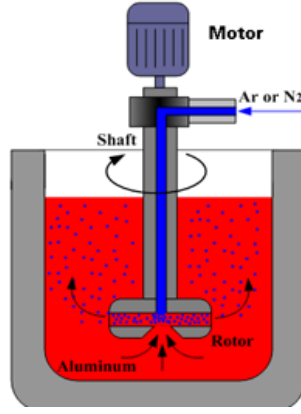
Sıvı metali eritmek için elektrik direnç ocağı kullanılmıştır. Ocağın gücü 10 kW'dır. Yaklaşık 8 kg sıvı metal ile doldurulan SiC pota kullanılarak yapılmıştır. Ergitme işleminde birincil Etial 160 külçeye sırasıyla ilavesiz ve değişen oranlarda V ilave edilerek dökümler yapılmıştır. V ilave oranlar %0,03, %0,05 ve %0,1 olarak belirlenmiştir. Fırında şarj malzemesi dilimlenmiş külçelerin 720 °C'ye kadar ısıtılıp tamamen eridikten sonra belirlediğimiz oranlarda Vanadyum ilavesi yapılmıştır. V ilavesi sonrası sıvı metal sıcaklığı 720 °C'ye ulaşır ve döküme hazır hale gelmesinin ardından döküm işlemi için pota tutacağı ile tutularak çıkarılmıştır. Şekil 7'de ergitme işlemlerinin kullanıldığı ocak verilmiştir.



Şekil 7: a) Elektrik Direnç Ocağı, b) Döküm Ocağı Ön Yüz

2.2.1. Sıvı-Metal Temizliği

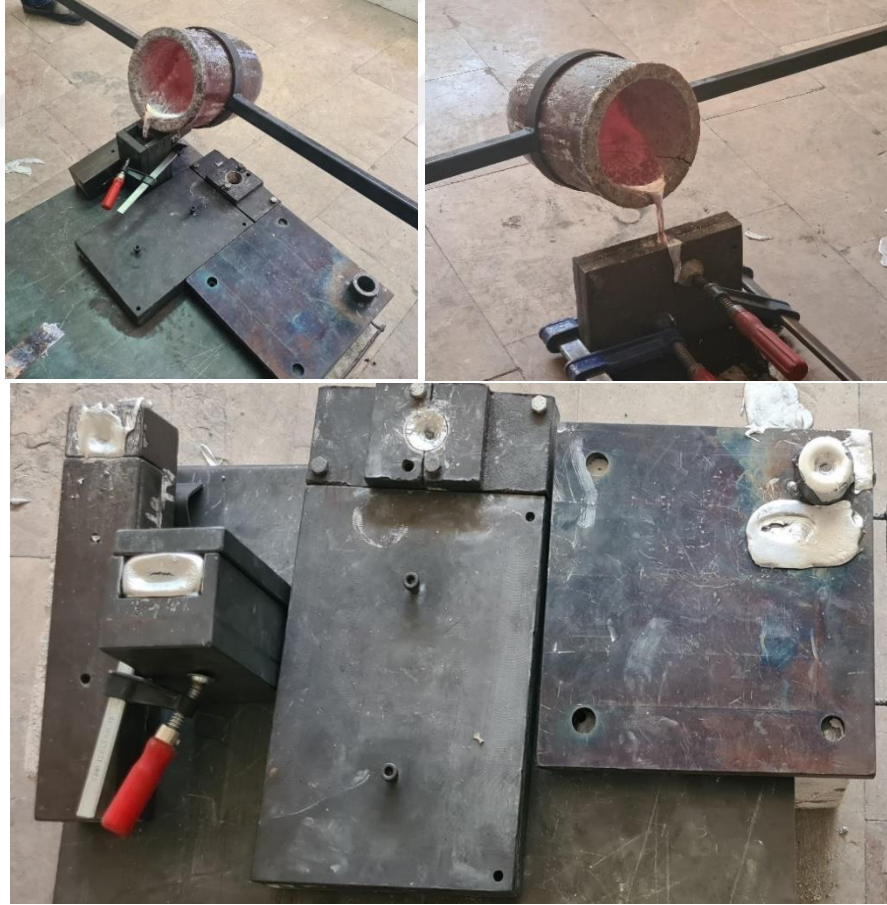
Döküm kalitesinin önemi açısından sıvı metal temizleme işlemi oldukça önemlidir. Eriyik alaşımın temizlenmesi endüstride yaygın olarak gaz alma ve sıvı azot ile temizleme yöntemleri kullanılmaktadır. Sıvı metaldeki çözünen hidrojen gazlarını eriyikten gidererek temizleme sağlanmaktadır. Döküm aşamasında azot gazı ile temizleme yöntemi kullanılmaktadır. Sıvı metale daldırılan azot gazı karıştırılarak homojen olarak yayılmasını sağlar. Bu esnada oluşan kabarcıklarındaki hidrojen yüzeye çıkarak atmosfere dağılarak temizleme işlemi tamamlanacaktır. Sıvı metalin temizlenmesi ve oluşan kabarcıklar Şekil 8'de gösterilmektedir.



Şekil 8: Sıvı Metal Temizleme İşlemi

2.3. DÖKÜMLERİN İNCELENMESİ

Eriyik olarak kalıplara dökülen sıvı metalin katılaşması ve kalıpların soğuması beklenir. Soğuyan kokil kalıplar açılarak dökülen deney numuneleri çıkarılmıştır. Deney numunelerini inceleyerek gerekli açıklamalar ilgili bölümlerde yapılmıştır. İlk aşamada döküm numunelerinin makro incelenmesi yapılarak numune görselleri çekilmiştir. Döküm esnası ve döküm işlemi yapılan kalıpların görselleri Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 9: Döküm İşlemi ve Döküm Sonrası Kalıp Görüntüleri

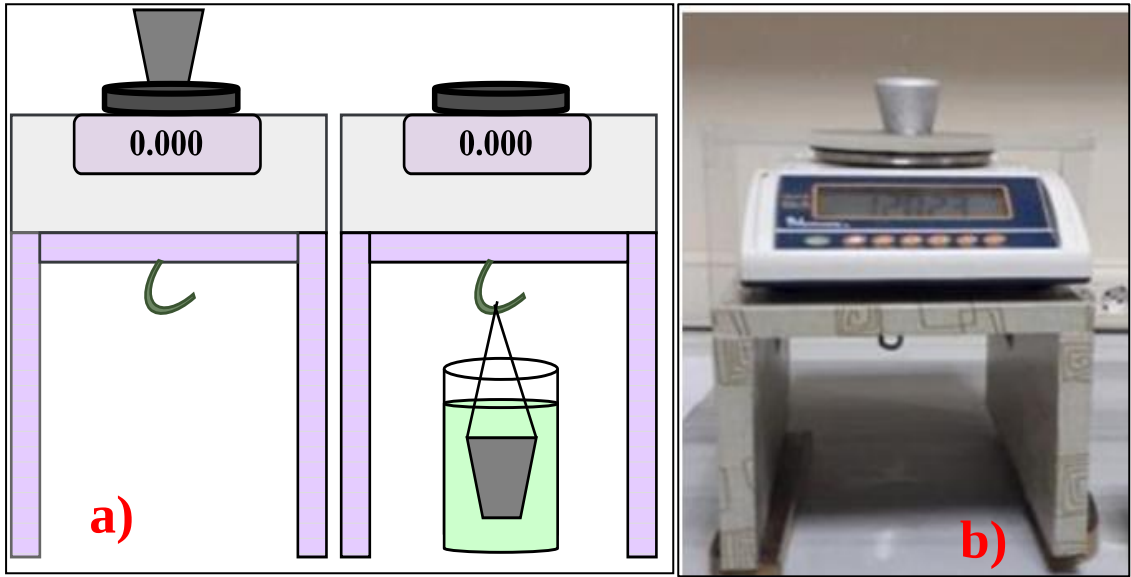
2.3.1. RPT Numunelerinin Analizi

RPT "Reduced Pressure Test" (Azaltılmış Basınç Testi) kısaltılmış halidir. Sıvı metal kalitesini ölçmek için yaygın olarak kullanılan test yöntemlerinden biridir. Burada amaç ergiyen döküm alaşımını RPT cihazı kalıbına dökerek düşük basınç altında soğutma işlemi yapılarak sıvı metalin katılaşmasını sağlamaktır. Bu yöntem sayesinde gözenekler vakum etkisi ile daha belirgin hale gelmektedir. Maliyet ve kolay uygulama yapıldığı için dökümhanelerde uygulanır. Düşük basınçta soğutulması beklenen alüminyum dökümünde gaz gözenekleri oluşacaktır. Bu gözenekleri meydana gelmesi için RPT cihazı sayesinde dökülen eriyiğin üstüne koruma kapağı kapatılarak yaklaşık 80 mbar'a basınç düşürülür. RPT numunesi tamamen katılaşana kadar bir süre bu basınç altında bekletilip işlem sonlandırılır. RPT cihazıyla döküm esnasında yapılan çalışmalar Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10: Azaltılmış Basınç Deney (RPT) Cihazı

Dökümü yapılacak RPT numunelerinin yoğunluk ölçümleri Arşimet metodu kullanılarak yapılmıştır. Yaptığımız döküm numunelerinin havada ve suda olan ağırlıkları ölçülerek yoğunluğu hesaplanmıştır. Ortam sıcaklığı ortalama 20 °C ve suyun yoğunluğu $\rho_s=0,99821 \text{ g/cm}^3$ olarak esas alınmıştır. Numuneler ilk olarak hassas terazi ile ağırlıkları ölçülüp ardından sudaki ağırlıkları ölçülmüştür. Şekil 11'de gösterildiği gibi yapılmıştır.



Şekil 11: a) Yoğunluk Ölçüm Deneyi Gösterimi, b) Cihaz Görseli

Elde edeceğimiz sonuçlar formül ile hesaplanacak olup, Eşitlik 1' de belirtilmiştir. Formülde dökülen numune yoğunluğu d_n , havadaki kütlesi m_h , saf sudaki kütlesi m_s ,oda sıcaklığındaki yoğunluğu d_s olarak belirtilmektedir. Numunelerde oluşacak % gözenek miktarı Eşitlik 2' de verilmiştir.

$$d_n = \frac{m_h}{m_h - m_s} \times d_s \quad (\text{Eşitlik 1})$$

d_n -numune yoğunluğu,

m_h –numune havadaki ağırlığı,

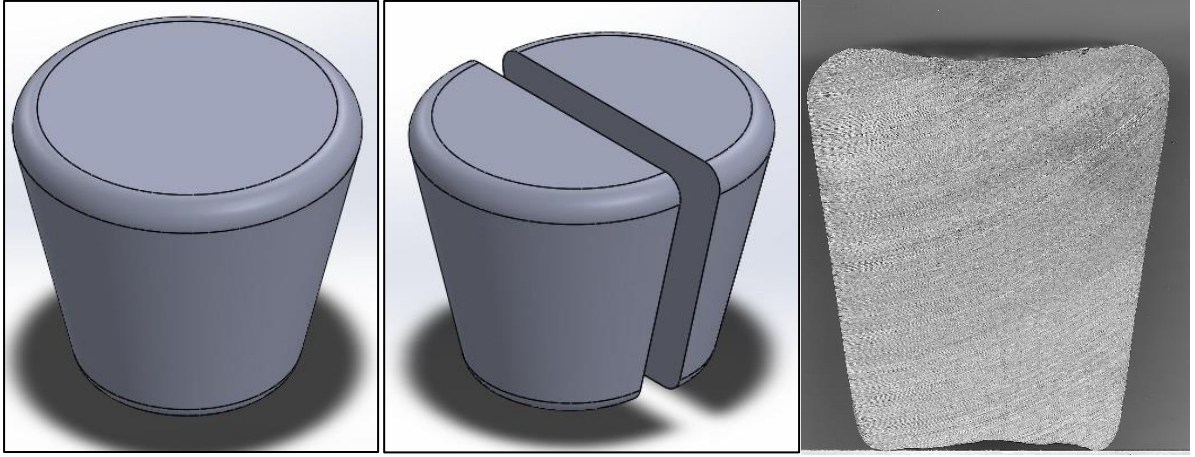
m_s -numune sudaki ağırlığı,

d_s - oda sıcaklığındaki suyun yoğunluğu

Gözenek miktarının yüzdelik gösterimi ise aşağıda belirtilmiştir.

$$\% \text{ Gözenek} = [(Teorikyoğ. - Deneyselyoğ.) / Teorikyoğ.] * 100 \quad (\text{Eşitlik 2})$$

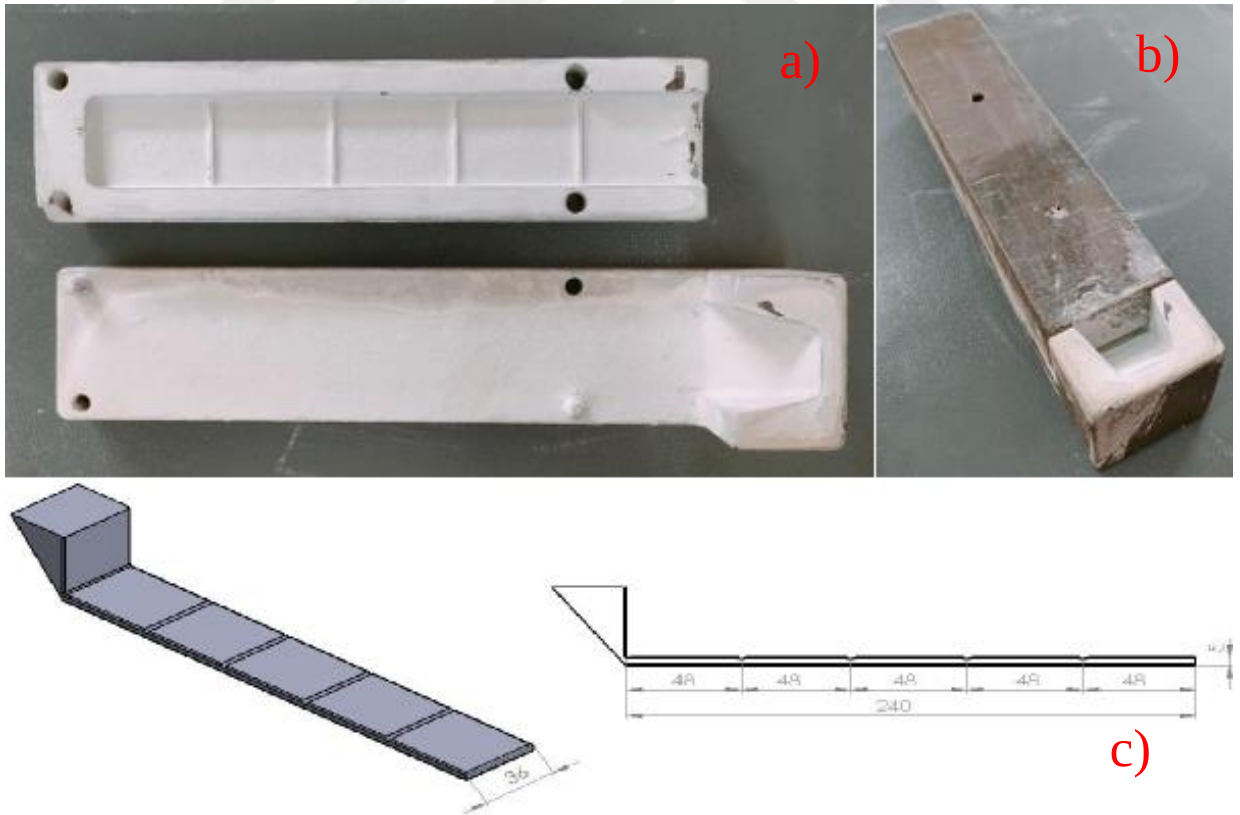
Gözeneklerin kontrolü için Şekil 12'de gösterilen görseller gibi dikey olarak ortadan ikiye bölünecek olup, kesilen yüzeyin zımpara ile temizlenecektir. Daha sonra tarayıcı ile taranıp tespitler yapılacaktır.



Şekil 12: RPT Numunelerinin Gözenek Tespit Aşamaları ve Kesilen Yüzey Görüntüsü

2.3.2. K-Mold Numunelerinin Analizi

K-Mold kalıbında dökülen numunelerin sıvı metalin temizliği ölçülmüştür. Şekil 13'te gösterilen 240x36x6 mm ebatlarına numune elde edilecek olan K-Mold kalıbında yaklaşık 200 gram sıvı metal dökülmüştür. Elde edilen dökümde soğuma işlemi tamamlandıktan sonra kalıptan çıkarılan numuneden 5 adet eşit kesit kalınlıkları ve ebatları olan numunelerimizin yüzeylerindeki kirlilik miktarı belirlenmiştir.

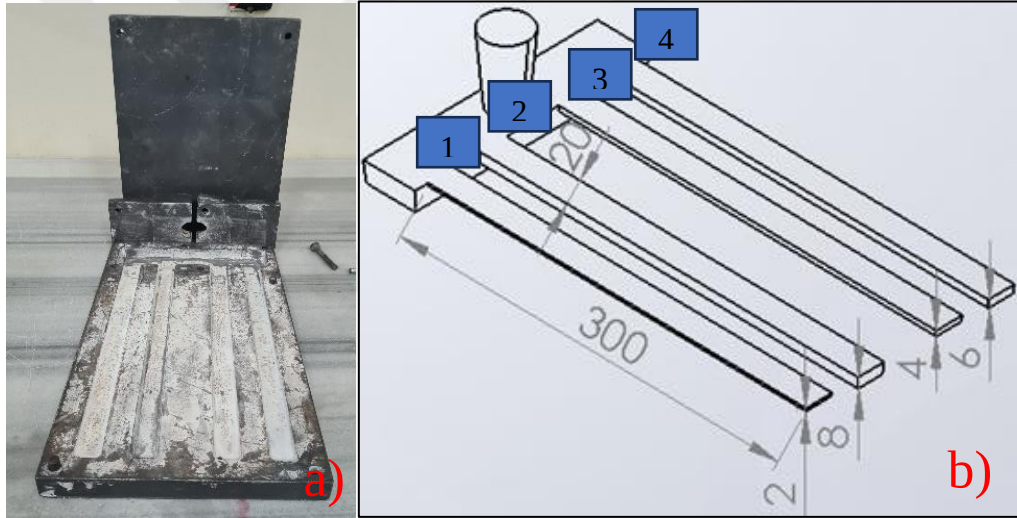


Şekil 13: a) K-Mold Test Kalıbı İç, b) K-Mold Test Kalıbı Dış, c) Katı Model Görüntüsü ve Numune Ölçüleri

Dökümden önce akışın düzenli olması, kalıbın ömrü ve yapışmaması için kalıp ısıya tabi tutulmaktadır. Kalıptan çıkan numuneleri kolay bir şekilde çentik çizgilerinden kırarak kırılan yüzeyler test edilmektedir. Kırık yüzeylerdeki inklüzyon ve gözenekleri analiz ederek sonuçlar değerlendirilmiştir.

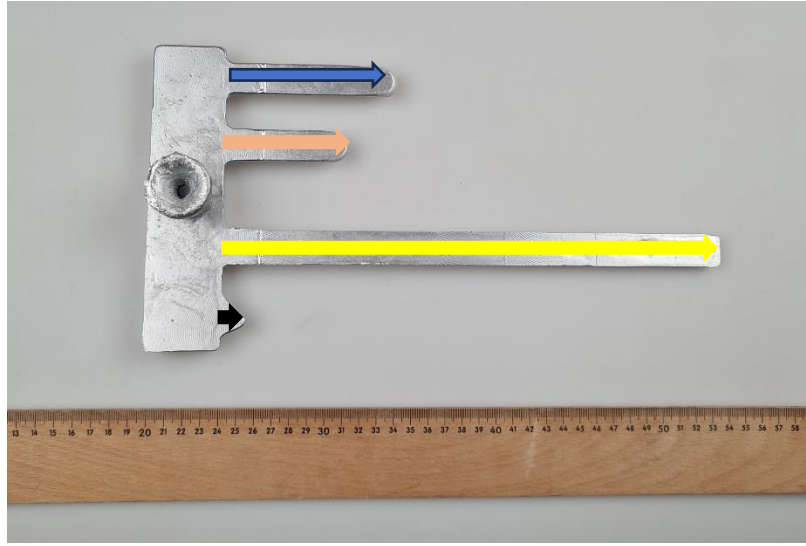
2.3.3. Dört Kanallı Akıcılık Numunelerinin Analizi

Akıcılık kalıbında 4 adet ayrı boyutlarda sıvı metalin ilerlemesinin ölçümünü yapmak için bu kalıp tasarlanmıştır. Alüminyum alaşımlarının akıcılığını kontrol edebilmemiz için en uygun kalıp olarak tercih edilmiştir. Akıcılık kalıbında 4 adet kanalın uzunluğu 300 mm'dir ve kesit kalınlıkları sırasıyla 2 mm, 8mm, 4 mm, 6mm'dir. Bu sayede sıvı metalin akıcılık mesafelerinin ölçümü kolay şekilde olacaktır. Akıcılık kalıbıyla farklı kesitlerde yapılan dökümler sayesinde hangi kalınlıklarda dökümlerin yapılacağını sıvı metalin ilerleyişinden test etmeleri mümkündür. 4 kanallı akıcılık kalıbı ve ölçüleri Şekil 14'te verilmiştir.



Şekil 14: a) 4 Kanallı Akıcılık Kalıbı, b) Numune Ölçüleri

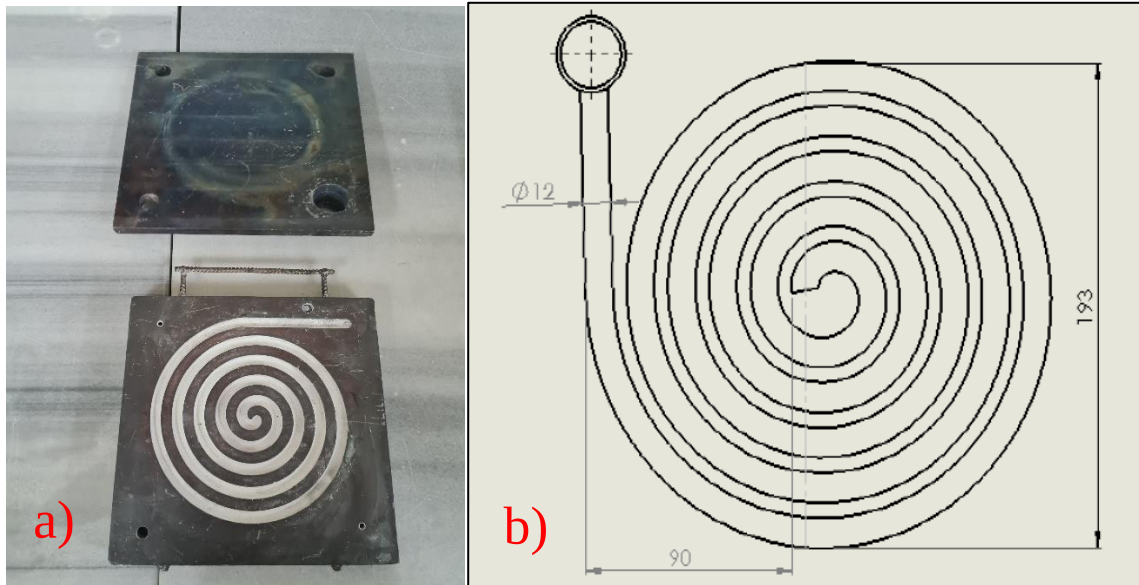
Farklı kesit kalınlıkları sayesinde değişken sıvı metal ilerlemesi ile elde edilen numunelerin uzunlukları ölçülmüştür. Sıvı metalin ilerlemesi Şekil 15'te gösterildiği gibi ölçülmektedir. Akıcılık numunelerinin tüm kesitlerinin uçlarından yaklaşık 3 mm parçalar kesilecektir. Kesilen bu parçalar numune olarak mikroyapı analizinde değerlendirilecektir.



Şekil 15: Sıvı Metal İlerleme Mesafe Tespiti Gösterimi

2.3.4. Spiral Akıcılık Kalıp Numunelerinin Analizi

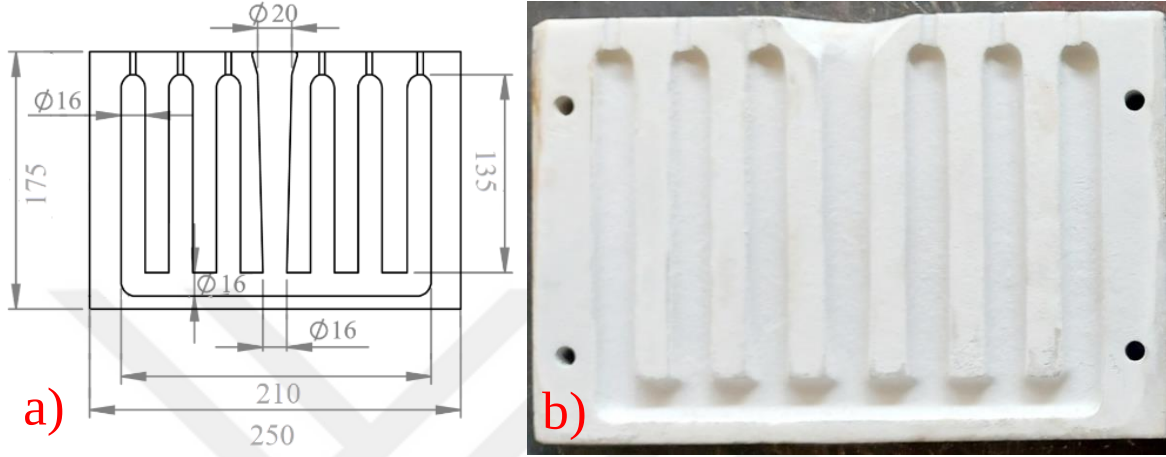
Kokil kalıba dökümünü yaptığımız bu dökümün yanı sıra kum kalıplama ile döküm yönteminde de kullanılan bir kalıp modelidir. Spiral akıcılık yöntemi ile farklı oranlardaki alaşımların akışkanlıkları baz alınıp akışkanın ölçümü ile sıvı metalin ilerlemesi analiz edilmiştir. Spiral akıcılık numunelerinin ölçümlerinin ardından, uç kısımlarından yaklaşık 3 mm parça kesilerek mikroyapı analizleri yapılmıştır. Spiral akıcılık kalıp ve numuneye ait katı model görüntüleri Şekil 16’da verilmiştir.



Şekil 16: a) Spiral Akıcılık Kalıbı Görseli, b) Spiral Akıcılık Kalıbı Katı Model Görseli

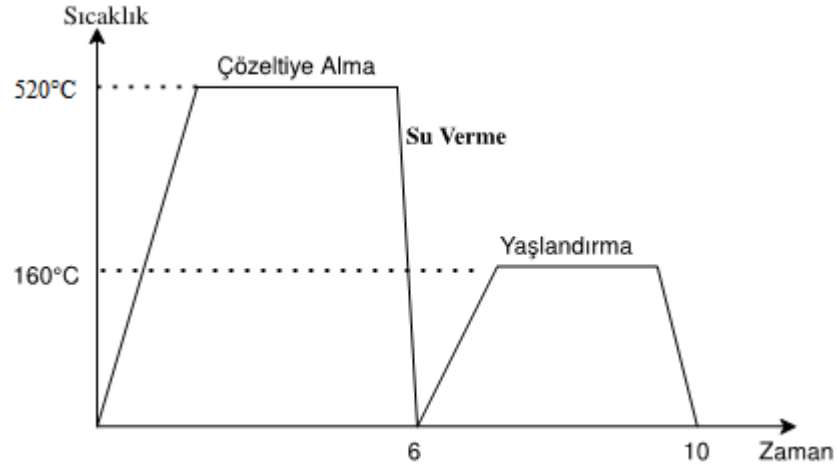
2.3.5. Mekanik Test Kalıp Numunelerinin Analizi

V ilavesiyle döküm yaptığımız Etial 160 alaşım alüminyumun mekanik özelliklerinin testi için mekanik test kalıbı kullanımı uygun bulunmuştur. Çekme deneyine tabi tutulacak numune çubuklarımız dört adet farklı alaşımlarda (Etial 160, %0,03, %0,05 ve %0,1 V ilaveli) kalıpta altı adet çubuk olacak şekilde dökülmüştür. Kullanılan kalıbın ölçüleri ve görseli Şekil 17’de gösterilmiştir.



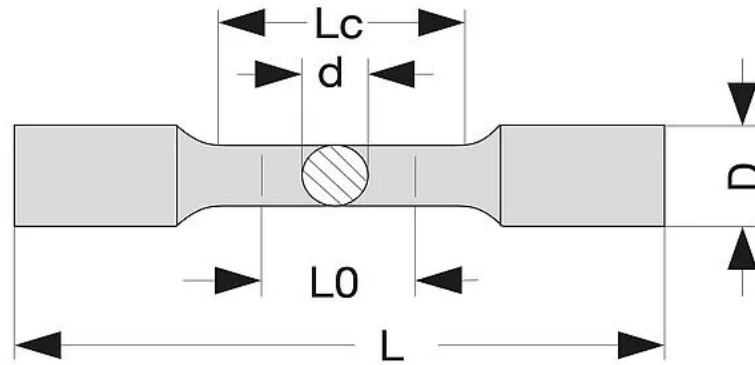
Şekil 17: a) Mekanik Test Kalıbı Ölçüleri, b) Kalıp Görseli

Mekanik test kalıbında farklı oranlardaki V ilaveli çekme numunelerini tek bir yolluktan eriyik dökülerek yapılmıştır. Elde edilen çekme çubuklarını mekanik teste tabi tutmadan önce T6 ısıtım işlemi uygulanmıştır. Bu ısıtım işlemi, esnek matris dizilimine sert ve ince çökeltilerin matrislere düzenli yayılarak mukavemetini arttırmak için kullanılmıştır. Yaşlandırma yöntemi, su verme, yaşlandırma, çözeltiye alma proseslerinden oluşur. Mekanik testler için elde ettiğimiz çubuk numuneleri ısıya maruz bırakmak için 520 °C'ye kadar ısıtılmış fırında 6 saat ısıtılmıştır. Bu sürenin ardından fırından çıkarılan numuneler 80 °C olan suda soğutulup su verme işlemi tamamlanmıştır ve bu işlemden sonra yaşlandırma işlemi için numuneler 160 °C'de ısıtılan fırına atılıp 4 saat ısıtılmıştır. Fırından çıkarılan numuneler ortam sıcaklığında soğutulup yaşlandırma işlemi tamamlanmıştır. Isıl işlemin aşamaları Şekil 18’de sunulmuştur.



Şekil 18: Isıl İşlem Uygulama Şeması

Çekme testlerini uygulayacağımız numuneleri ısıtıl işlemin ardından E8/E8M-13a standardına uygun şekilde tornada işlenmiştir. İşlenen numuneler Şekil 19’da gösterildiği gibi olup; L: 140 mm uzunluğunda, Lc: 62 mm uzunluğunda, L0: 54 mm, D: 13 mm çapında ve d: 9 mm çapında uzunluğundadır.



Şekil 19: Çekme Deneyi Numunesi

Şekil 14’te gösterilen ölçülere göre işlenen çekme deneyi numuneleri, Şekil 20’de gösterilen SHIMADZU marka AGS-X model numaralı çekme deneyi cihazında 1 mm/dk hızında çekilecektir. SHIMADZU çekme deneyi cihazı 100 kN yüke kadar çekme kapasitesiyle kopan numunelerin akma mukavemetini, çekme mukavemetini ve uzama yüzdesini değerlerini elde etmektedir.



Şekil 20: a) Çekme Deneyi Cihazı, b) Çekme Deneyi Numunesi

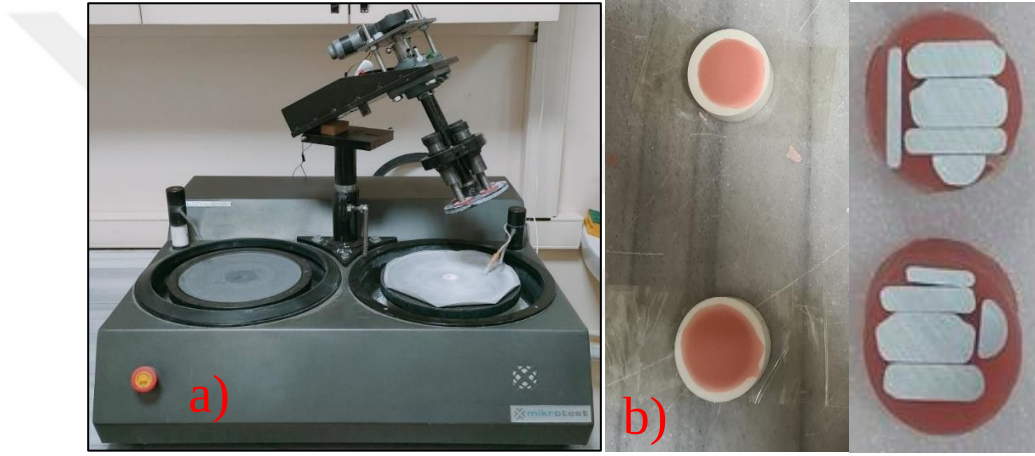
Sertlik ölçümü yapılacak olan numunelerin Brinell yöntemi kullanılmıştır. Ortam sıcaklığında, Şekil 21’de gösterilen BMS DIGIROCK-RBOV markalı sertlik deneyi cihazında deneyler gerçekleştirilmiştir. Kullanılan bilye 1,6 mm çapında olup, HRB test metoduyla yapılmıştır. Numunelere uygulanacak ön yük 2,5 kgf olup 62,5 kgf toplam yük ile sertlik ölçümü yapılacaktır. Her bir numune için çok sayıda sertlik ölçümü yapılarak ortalamaları alınmıştır.



Şekil 21: Sertlik Deneyi Cihazı

2.3.6. Mikroyapı Analizleri

Mikroyapı analizlerini gözlemek için dört kollu akıcılık döküm deneylerinin uç kısımlarından ve spiral akıcılık döküm numunelerinin uç kısımlarından numuneler alınmıştır. Alınan numuneler, işlemin kolaylığı ve birçok numuneyi aynı anda işlemek için bakalit ile numuneler kalıplanmıştır. Bakalit ile kalıplanan numuneler sırasıyla 180, 400, 800, 1200 ve 2500 numaralı zımparalar ile yüzey temizliği yapılmıştır. Yüzey temizliği yapılan numunelerin 3 µm alümina süspansiyonu ve sonrasında 0,05 µm kolodial silika çözeltisi ile parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Akabinde Keller çözeltisi kullanılarak numunelere dağlama işlemi uygulanmıştır. Bu işlemlerden sonra NMM-800/820 markalı metalürjik optik mikroskop yardımıyla mikroyapı analizleri gözlemlenmiştir. Zımparalama için kullanılan cihaz görseli ve bakalit ile kalıplanan numuneler Şekil 22’de gösterilmiştir.



Şekil 22: a) Zımparalama ve Parlatma Cihazı, b) Bakalit Kalıplı Numuneler

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. BULGULAR

Yapılan deneysel çalışmalar ile ilgili veriler ve değerlendirmeler bu bölümde ele alınacaktır. İlavesiz Etial 160 alüminyum alaşımı ve farklı oranlarda V ilavesiyse kokil kalıplara döküm yöntemi ile dökümler yapılmıştır. Yapılan dökümlerde, RPT analizi ve K-Mold kokil kalıplarına dökümler yapılmış olup sıvı metal kalitesinin analizi yapılmıştır. Spiral akıcılık ve 4 kanallı akıcılık dökümlerinde ilerleme mesafeleri ölçülerek ve uç kısımlarından alınan numunelerin mikroyapı analizleri yapılarak değerlendirmeler yapılacaktır. Mekanik testler için elde edilen numuneler ile çekme ve sertlik testleri yapıp değerlendirmesi yapılacaktır.

3.1. KİMYASAL BİLEŞİM UYGUNLUĞUNUN TESPİTİ

AMETE markalı Spectro Max X model cihazda sabit kıvılcım spektrometresi ile döküm numunelerinin alaşım içerikleri ve eşlik eden elementlerin testi uygulanmıştır. Döküm deneylerinde Etial 160 ilavesiz alaşıma ve alaşıma ilave edilen V seviyelerinin uygunluğunun denetimi için numunelerin kimyasal bileşimleri analiz edilerek sonuçları Tablo 7’de sunulmuştur.

Tablo 7: Döküm Deneylerinin Kimyasal Bileşim Sonuçları (% Ag.)

Alaşımlar	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Ti	V	Al
İlavesiz	0,204	8,68	3,16	0,121	0,107	0,0079	0,0075	0,0152	0,0122	Kalan
%0,03 V ilaveli	0,202	8,48	3,12	0,104	0,129	0,0086	0,0073	0,0125	0,0276	Kalan
%0,05 V ilaveli	0,200	7,83	3,07	0,097	0,104	0,0082	0,0241	0,0116	0,0624	Kalan
%0,1 V ilaveli	0,222	8,73	3,37	0,111	0,128	0,0089	0,0101	0,0142	0,0882	Kalan

Tablo 7’de görülen Etial 160 ilavesiz alaşımının standart bileşim aralığında olduğu görülmektedir. Numunelere yapılan kimyasal analiz sonuçlarında V ilavesinin kontrolünde, ilave edilen miktarlara göre yükselen V sonuçları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlarda Etial 160 alaşıma ilave edilen V miktarları; %0,03 V ilaveli yapılan deneyde %0,0276, %0,05 ilaveli deneyde %0,0624, %0,1 ilaveli deneyde %0,0882 değerleri ölçülmüştür. Değerlerde oluşan bu farklılıklar kimyasal analiz yapılan cihazdaki V elementine olan kalibresinden dolayı oluşabilmektedir. Genel olarak artan V değerlerinin olduğu tespit edilmiştir.

3.2. SIVI METAL KALİTESİNİN ANALİZİ

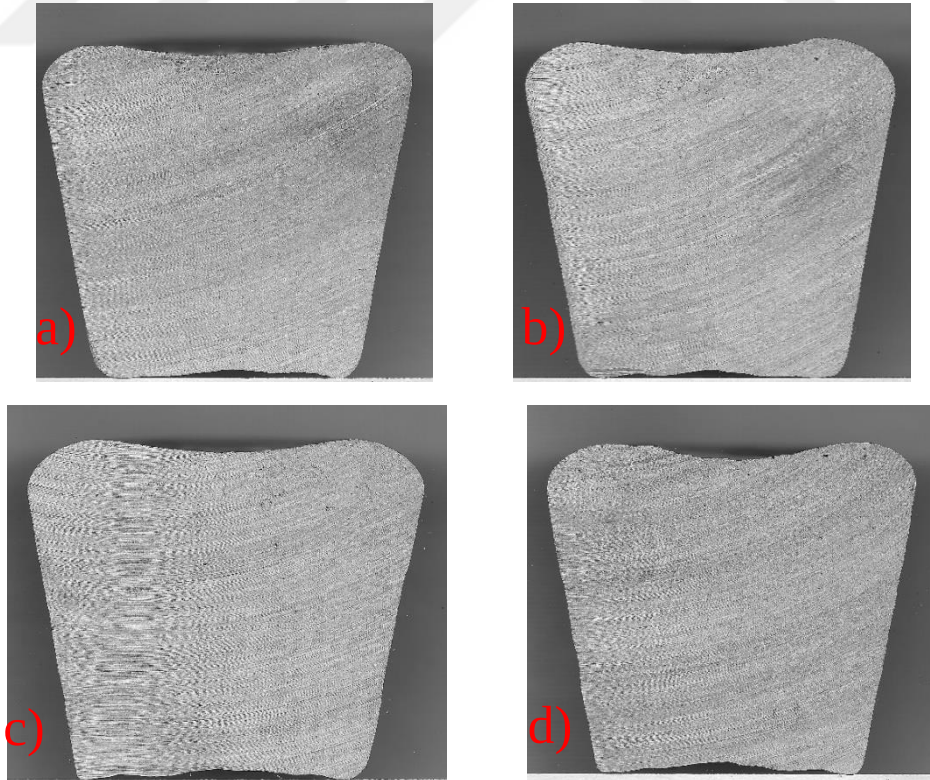
Tez kapsamında, ilave edilen farklı oranlardaki V takviyesinin alaşımın genel özelliklerine etkileri incelenecektir. Bu incelemelerde, sıvı metalin döküm öncesi azotla

temizleme prosesi uygulanıp sıvı metal temizliğinden kaynaklı oluşabilecek hataların oluşması büyük ölçüde engellenecektir. Azotla temizleme prosesi ardından, sıvı metalin kalitesinin kontrolü için sıvı metal RPT cihazında vakum altında katılaşması uygulanmıştır. Dökümü yapılan deneylerden elde edilen RPT numunelerinin görselleri Şekil 23'te verilmiştir.



Şekil 23: RPT Test Numune Görüntüleri a) İlavesiz, b) %0,03 V İlaveli, c) %0,05 V İlaveli, d) %0,1 V İlaveli

Şekil 23'te gösterilen görüntülerde RPT Test numunelerimizin üst kısımlarında oluşan çöküntüler belirlenmiştir. Vakum altında soğutulan sıvı metalin kendini çekmesinden dolayı oluşabilecek bu çöküntüler yanı sıra sıvı metal temizliğinin doğru yapılmasından da oluşabilmektedir. Ortadan ikiye dik bölünen RPT numunelerinin kesik yüzeyleri zımparalanmıştır. Kesik yüzeyler incelenmiş olup taranarak detaylı gözenek durumları incelenmiştir. RPT numunelerinin kesilen yüzeylerinin görüntüleri Şekil 24'te verilmiştir.



Şekil 24: RPT Numunelerinin Kesit Fotoğrafları a) İlavesiz, b) %0,03 V İlaveli, c) %0,05 V İlaveli, d) %0,1 V İlaveli

Şekil 24’te verilen kesit yüzeylerinin görüntülerini inceleyerek, yapılan dökümlerdeki sıvı metal temizliği kabul edilebilir düzeyde olduğu görülmektedir. Gözenek miktarlarının küçük olması ve yüzey çöküntüsü az olması bu durumu gösterilmektedir. RPT numunelerimiz yoğunluk ölçümlerine tabi tutularak gözenek değerleri belirlenmiştir. Arşimet yoğunluk prensibi kullanılarak yoğunluk ölçümleri hesaplanmıştır. Tablo 8’de verilen ağırlık ve yoğunluk değerleri ile gözenek oranı belirlenmiştir.

Tablo 8: RPT Döküm Numuneleri Yoğunluk ve Gözenek Verileri

Numune Adı	Havadaki Ağırlığı (g)	Sudaki Ağırlığı (g)	Deneysel Yoğunluk (g/cm ³)	Referans Yoğunluk (g/cm ³)	Hesaplanan Gözenek %
İlavesiz	127,26	81,02	2,747	2,76	0,462
%0,03 V İlaveli	128,44	81,78	2,748	2,76	0,444
%0,05 V İlaveli	112,26	71,53	2,751	2,76	0,316
%0,1 V İlaveli	120,22	76,61	2,752	2,76	0,298

Tablo 8’de suda ve havada ağırlıklarının ölçülmesi ardından yoğunluk hesabı yapılmıştır. Deneysel ve teorik yoğunluk hesaplama işleminden yüzdelik gözenek miktarı hesaplanmıştır. Referans yoğunluk olarak Etial 160 alaşımının kimyasal bileşimi ve standart değerlerinden uygulanmıştır. Tablo 8’de görülen tüm deneylerimizin gözenek miktarları %0,5’den düşük olması kabul edilebilir orandadır. Bu oranların numunelerin kesit yüzeyinin incelenmesi ardından sıvı metal kalitesi uygunluğu kontrol edilerek olumlu tespiti yapılmıştır. Literatür araştırmalarının aynı hususta olduğu savunulmuştur.

Tokatlı ve arkadaşlarının inceledikleri çalışmada endüstride önemli yere sahip olan alüminyumun, daha kaliteli ve ekonomik ürünler üretilmesi için sıvı metal kalitesinin artması gerektiğini amaçlamışlardır. Bu konuda sıvı metal kalitesinin artırılması için bazı yöntemler söz konusudur. Flakslar, rotary gaz giderme, kontrollü katılaşma ile gaz giderme, elektromanyetik yönlü gaz giderme, spreyci gaz giderme, ultrasonik gaz giderme ve vakum gaz giderme bahsedilen yöntemlerdendir (Tokatlı vd., 2022).

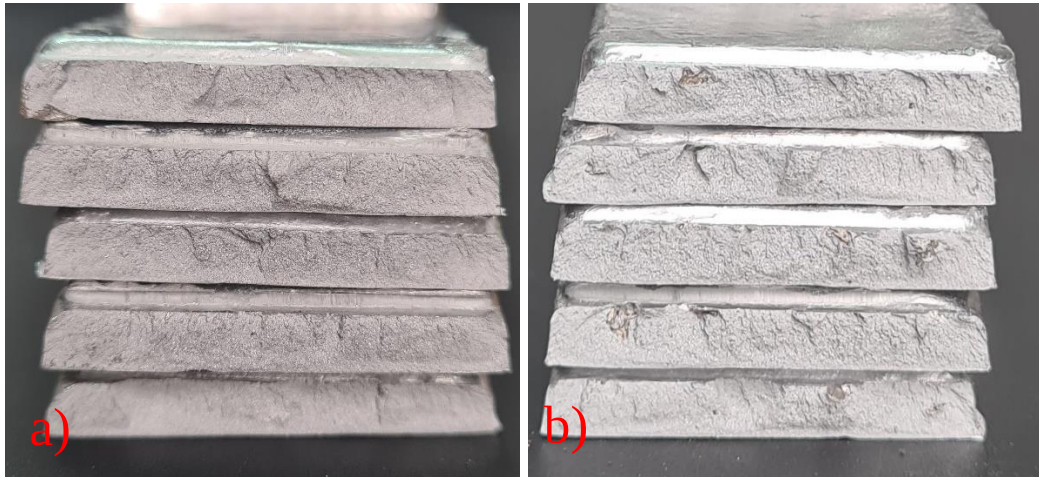
Dışpınar ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada sıvı metal kalitesinin uygunluğunun kontrolü için numuneler üzerinden tespitler yapmışlardır. Numunede çöküntüler meydana gelmekte olup, gözenek miktarının %0,5’in altında olması sıvı metal kalitesi açısından uygun olduğunu belirtmektedir (Dışpınar vd., 2018).

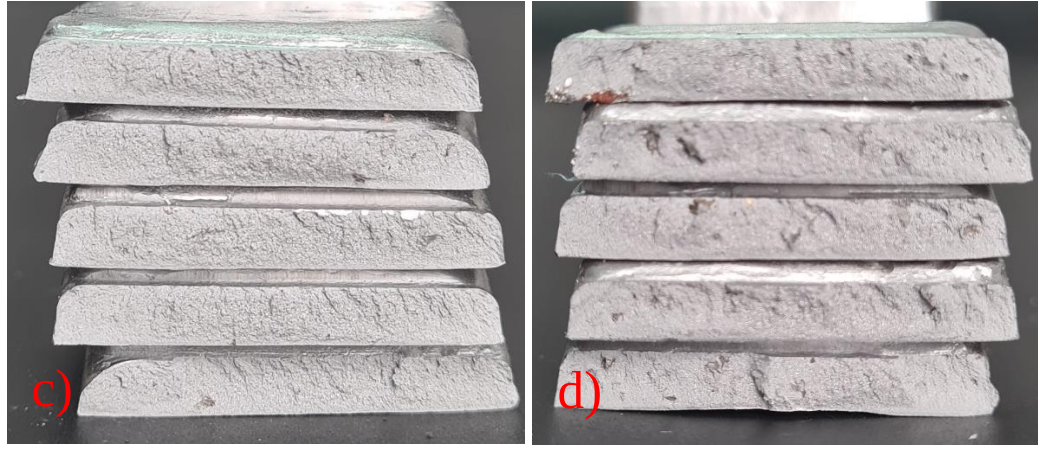
Sıvı metaldeki temizliğin kontrolünü sağlamak amacıyla yapılan bir diğer döküm K-Mold kalıbına döküm deneyidir. Şekil 25’te K-Mold kalıbına döküm yapılan numunelerin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 25: K-mold Kalıbında Yapılan Döküm Deneyleri Görüntüleri a) İlavesiz, b) %0,03 V İlaveli, c) %0,05 V İlaveli, d) %0,1 V İlaveli

Döküm deneyleri sonrasında K-Mold numunelerimiz iç yapısındaki kırık yüzeyleri incelemek için çentiklerden kırılarak 5 parçaya bölünmüştür. Şekil 26'da kırılan K-Mold numunelerinin kırık yüzeyleri görsel olarak sunulmuştur.





Şekil 26: K- mold Numuneleri Kırık Yüzey Görüntüleri a) İlavesiz, b) %0,03 V İlaveli, c) %0,05 V İlaveli, d) %0,1 V İlaveli

K-Mold kalıbına yapılan döküm ardından sıvı metalin hızlıca katılaşmasının ardından iç yapıda çok ince bir matris oluşur. Çentiklerden kırıdığımız numunelerin kırık yüzeylerinde inklüzyonların miktarı açıkça görülebilir. Şekil 26'daki görsellerde K-Mold numunelerinin uç bölgesinden kırılmaya başlanarak sıralı bir şekilde üst üste konulup görsel olarak sunulmuştur. K-Mold numunelerinin kırılan kesitlerden inklüzyon sayıları tespit edilmiş olup, belirlenen değerler Tablo 9'da sunulmuştur.

Tablo 9: K-Mold Inklüzyon, Parça Sayıları ve K Değerleri

Numune İsmi	K-Mold Numune Sayısı	Inklüzyon Tespit Sayısı	K değeri
İlavesiz (Etial 160)	5	1	0,2
%0,03 V İlaveli	5	3	0,6
%0,06 V İlaveli	5	2	0,4
%0,1 V İlaveli	5	4	0,8

Şekil 26'da görsel olarak sunulan kırık yüzeyler ve Tablo 9'daki verilere göre değerlendirme yapıp K değeri hesaplanmıştır. K-Mold numunelerinin K değerleri birbirine yakın ve 1'in altında olması sıvı metal temizliğinin kabul edilebilir seviyede olduğunu göstermektedir. Yapılan literatür araştırmaları bu hususta benzer uyum içerisindedir.

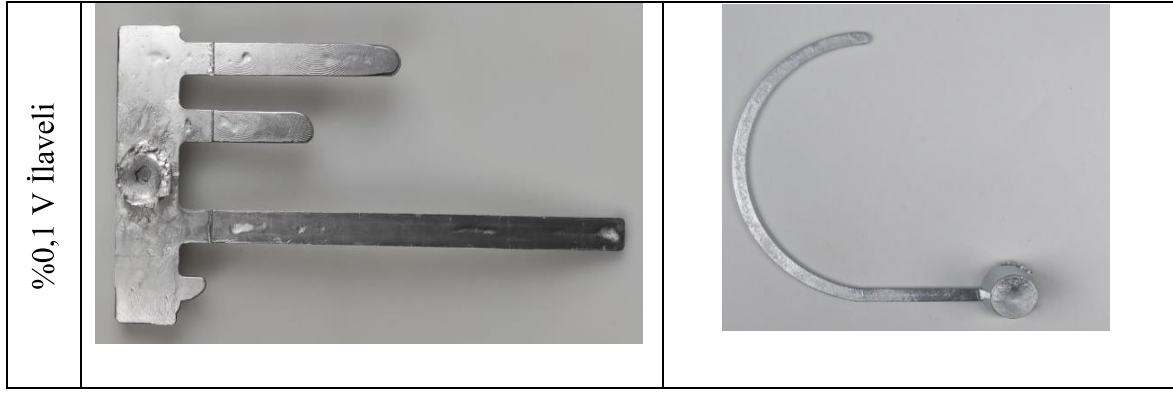
Djurđjević ve arkadaşlarının yaptıkları araştırmada K-Mold test yönteminin Japonya'da 1973 yılında Sanji Kitaoka tarafından uygulanarak yapılmış bir kırılma yöntemi olduğu vurgulanmıştır. Bu hususta amaç, alüminyum alaşımlarının döküm öncesi metal temizliğinin uygunluğunu kontrol etmektir. K-Mold yönteminin kullanılması bazı avantajlar sağlamaktadır. Bunlar; kolay kullanım, kısa sürede hızlı sonuç vermesi, numunelerin kolay elde edilmesi, taşınabilirlik, inklüzyonların gözle görülür düzeyde belirlenmesi ve maliyet açısından ekonomik olmasıdır (Djurđjevicvd., 2010).

Tokatlı ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada sıvı metal temizliğinde K değerinin 0,5'in altında olması gerektiğini savunmuştur. K değerinin 1'in altında olması halinde sıvı metal kalitesinin kabul edilebilir düzeydedir. Ancak K değerinin 1'den büyük olduğu seviyelerde sıvı metal kalitesi uygun olmadığını, sıvı metal temizliğinin yapılmasının gerektiğini belirtmiştir (Tokatlı vd., 2022).

3.3 AKICILIK TESTİ SONUÇLARI

Etial 160 alaşımına V ilavesinin sıvı metal akıcılığının etkisinin incelenmesi adına döküm deneylerinde spiral akıcılık ve dört kanallı akıcılık kalıbı kullanılmıştır. Döküm deneyi numunelerinin görselleri Şekil 27'de verilmiştir.

	4 Kanallı Akıcılık Kalıbı	Spiral Akıcılık Kalıbı
Etial 160 ilavesiz		
%0,03 V ilaveli		
%0,05 V ilaveli		



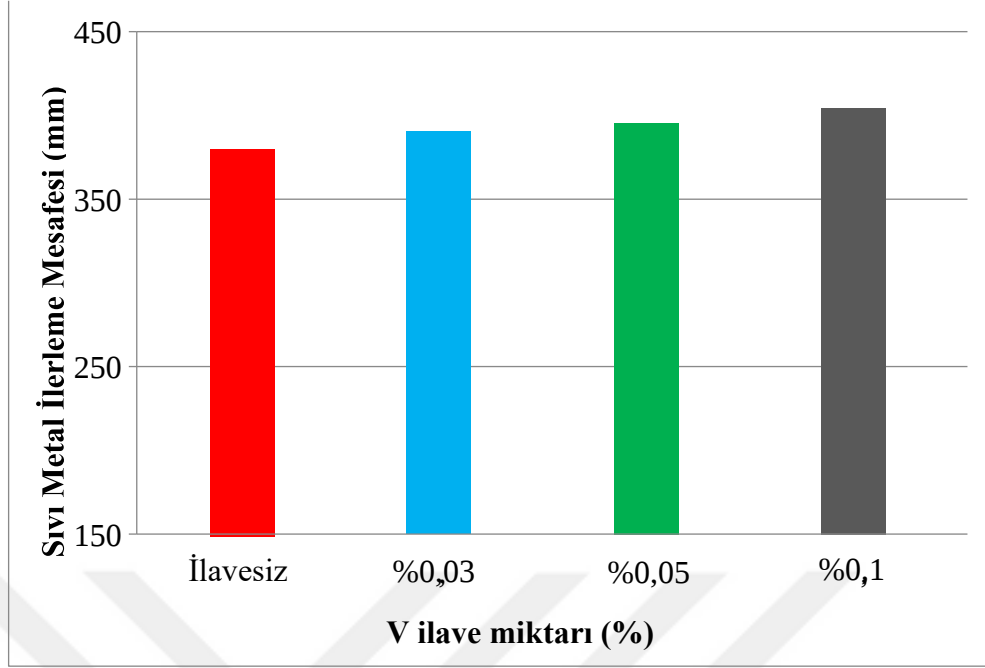
Şekil 27: Döküm Sıcaklığına Bağlı Akıcılık Deney Numuneleri

Şekil 27’de verilen görsellerde ilavesiz Etial 160 alüminyum alaşımına V ilavesinin akıcılığa olan etkilerinin olduğu gözlemlenmiştir. Döküm numunelerinin sıvı metal ilerleme ölçülerinin değerleri Tablo 10’da sunulmuştur.

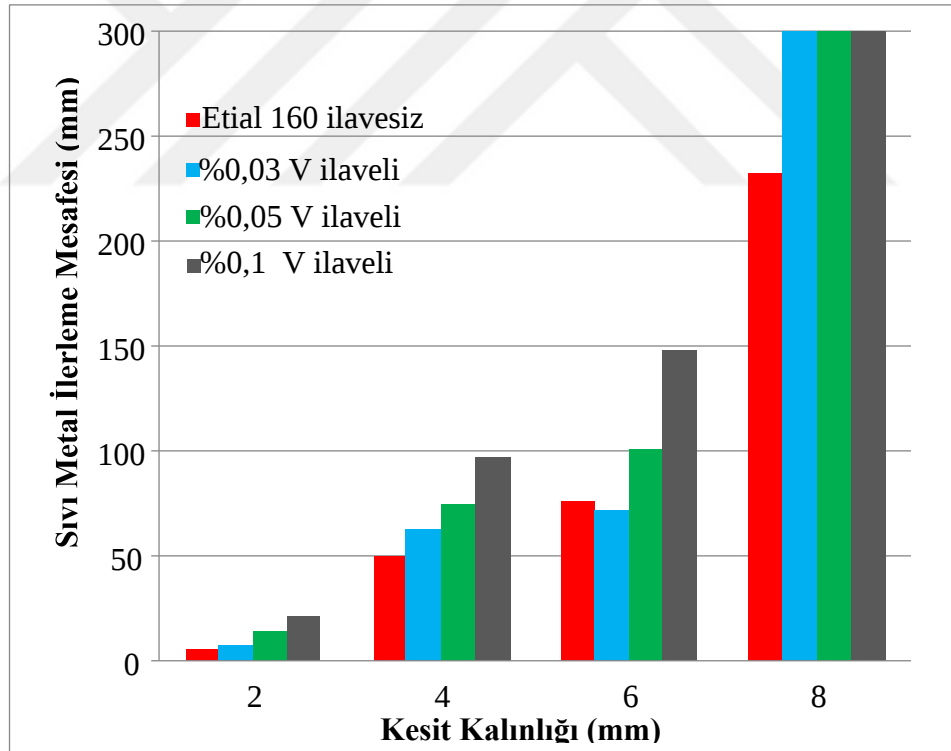
Tablo 10: Sıvı Metal İlerleme Mesafelerinin Ölçümleri

Döküm No	Alaşım İlavesi	Döküm Sıcaklığı (°C)	4 Kanallı (2 mm)	4 Kanallı (8 mm)	4 Kanallı (4 mm)	4 Kanallı (6 mm)	Spiral (mm)
1	İlavesiz Etial 160	720	2	229	50	74	372
2	%0,03 V İlaveli	720	3	300	61	69	386
3	%0,05 V İlaveli	720	14	300	72	101	392
4	%0,1 V İlaveli	720	22	300	95	147	395

Tablo 10’deki ilerleme mesafelerinin incelenmesiyle Etial160 ve farklı oranlardaki V ilavesinin akıcılığa etkisi olduğu belirlenmiştir. V ilavesinin Etial 160 alaşımının akıcılığına göre artan oranda akıcılık sağladığı görülmüştür. Spiral akıcılık kalıbında ilerleme ölçüleri %0,03 V ilavesiyle 372 mm’den 386 mm’ye artmıştır. %0,05 V ilavesiyle 392 mm’ye artmış olup, %0,1 V ilavesiyle 395 mm’ye artmıştır. Dört kanallı akıcılık numunelerinde farklı kesit kalınlıklarından dolayı değişken sıvı metal ilerleme ölçüleri görülmektedir. Bu kalıpta en ince 2 mm’lik kesit kalınlığındaki kanalda 2 mm ile 22 mm arasında, 8 mm’lik kanalda 229 mm ile 300 mm arasındadır. Şekil 28’de spiral akıcılık kalıbı ve Şekil 29’da dört kanallı akıcılık kalıbı ile dökülen numunelerin elde edilen sıvı metal ilerleme ölçülerinin grafikleri verilmiştir.



Şekil 28: Spiral Akıcılık Kalıbıyla Oluşturulan Sıvı Metal İlerleme Mesafesi



Şekil 29: Dört Kanallı Akıcılık Kalıbıyla Oluşturulan Sıvı Metal İlerleme Mesafesi

Sıvı metal ilerleme mesafesinin V ilavesi ile değiştiği gözlemlenmiştir.

Dört kollu ve spiral akıcılık döküm deneylerinin incelenmesiyle V ilavesine bağlı olarak sıvı metal ilerleme mesafelerinin değiştiği görülmektedir. Farklı kesit kalınlıklarının etkisi incelendiğinde, kesit kalınlıklarının artmasıyla ve V ilavesinin artışı ile sıvı metal ilerleme

mesafelerinin arttığı tespit edilmektedir. İlavesiz Etial 160 alüminyum alaşımının V ilavesine göre sıvı metal ilerleme mesafesi daha azdır. Bu durumda ilavesiz Etial 160 alüminyum alaşımının V ilavesi ile akıcılığının arttığı tespit edilmiştir. Döküm deney sonuçlarımıza göre ilavesiz Etial 160 alaşımında 2 mm kesit kalınlığındaki kanalda 2 mm olup, %0,03 V ilaveli döküm deneyinde 3 mm, %0,05 V ilaveli deneyde 14 mm, %0,1 V ilaveli deneyde 22 mm olarak ölçülmüştür. Bir diğer 4 mm kesit kalınlıkta olan kanalın sıvı metal ilerleme mesafeleri sırasıyla 50 mm, 61 mm, 72 mm, 95 mm olarak ölçülmüştür. 6 mm kesit kalınlığındaki kanalda ilgili değerler sırasıyla 74 mm, 69 mm, 101 mm, 147 mm olarak ölçülmüştür.

Yapılan çalışmalardan elde edilen akıcılık verileri ile literatürde yapılan çalışmalar benzer uyum içerisindedir. Farklı Al alaşımlarının akıcılığa sıcaklık, sıvı metal temizliği ve birçok neden ile etkisini ortaya koymaktadır.

Timelli ve Bonollo'nun yaptıkları çalışmada farklı aralıklarda arttırılan sıcaklıklardaki dökümlerde akıcılıkta artışın meydana geldiği görülmüştür. En yüksek sıcaklıklarda yapılan dökümlerde akışkanlığın en yüksek olduğu gözlemlenmiştir (Timelli ve Bonollo, 2007).

Ravi ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada farklı Al alaşımlarının kullanıldığı çalışmalarda akıcılığı katılaşma süresi, döküm sıcaklığı, döküm esnasında kalıp hızı gibi birçok faktörden etkilenmektedir (Ravi vd., 2008).

Durmuş ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada değişen kesit kalınlığına sahip akıcılık kalıbında karşılaştırma yapmak için akıcılık indeksi yaklaşımı söz konusudur. Bu yaklaşımda, her kesit uzunluğunun ilgili kesit kalınlığına bölünmesi ile elde edilen sayıların toplamı yapılan döküm deneyinin akıcılık indeksi değerini vermektedir (Durmuş vd., 2024).

3.4. MEKANİK TEST SONUÇLARI

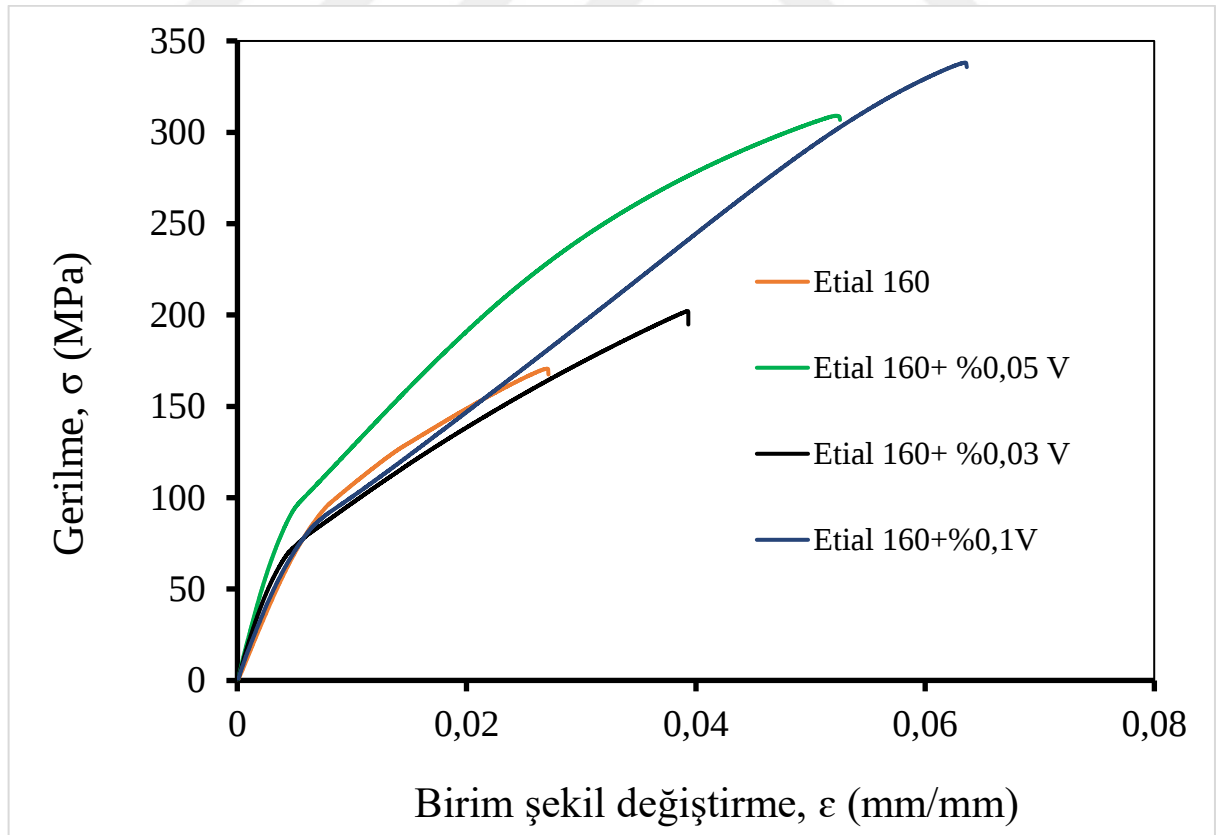
3.4.1. Çekme Test Sonuçları

Mekanik test kalıbı ile yapılan döküm deneylerinde, Etial 160 alüminyum alaşımına farklı oranlarda V ilavesiyle çekme testi sonuçlarının ve sertlik sonuçlarının değerlendirilmesi için numuneler dökülmüştür. Şekil 30'da mekanik test kalıbından elde edilen örnek numune görseli verilmiştir.



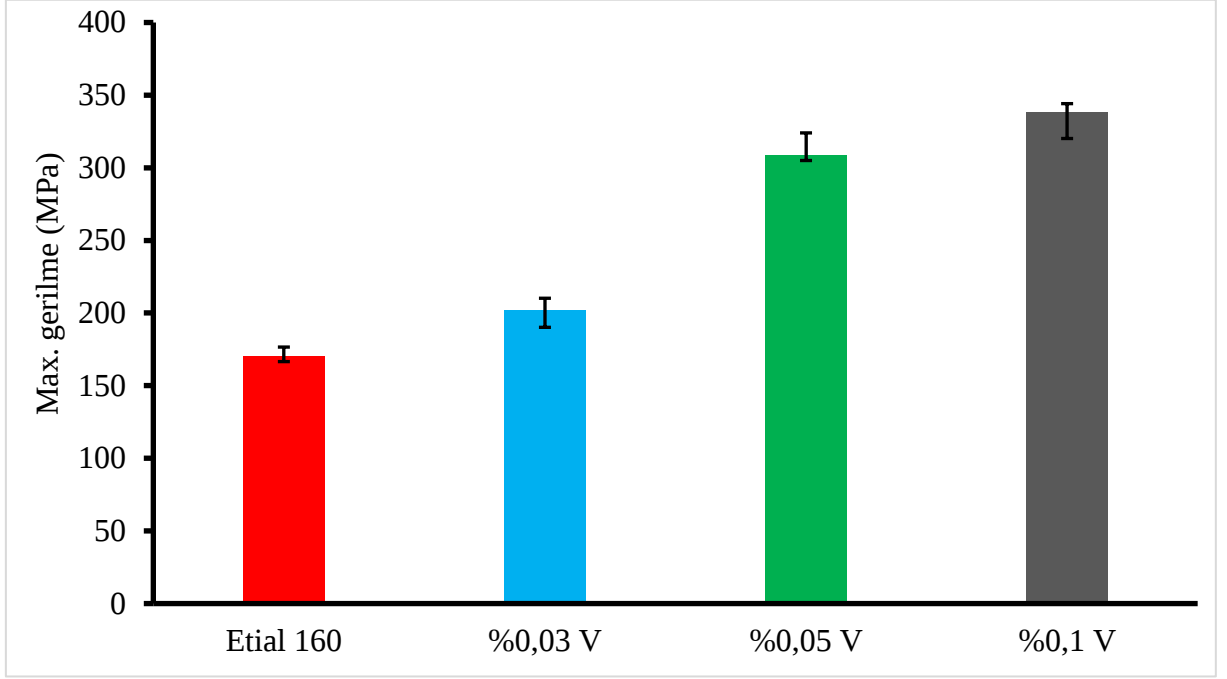
Şekil 30: Mekanik Test Kalıbı Döküm Numune Görseli

Tez kapsamında döküm deneylerinin mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi için çekme testleri ve sertlik testleri uygulanmıştır. İlavesiz ve ilaveli döküm deneylerinden her biri için en az üç adet numune elde edilip teste tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçların ortalaması kabul edilmiştir. Çekme testi yapılmış döküm deneylerinin gerilme, birim şekil değiştirme değerleri grafik olarak Şekil 31’de verilmiştir.

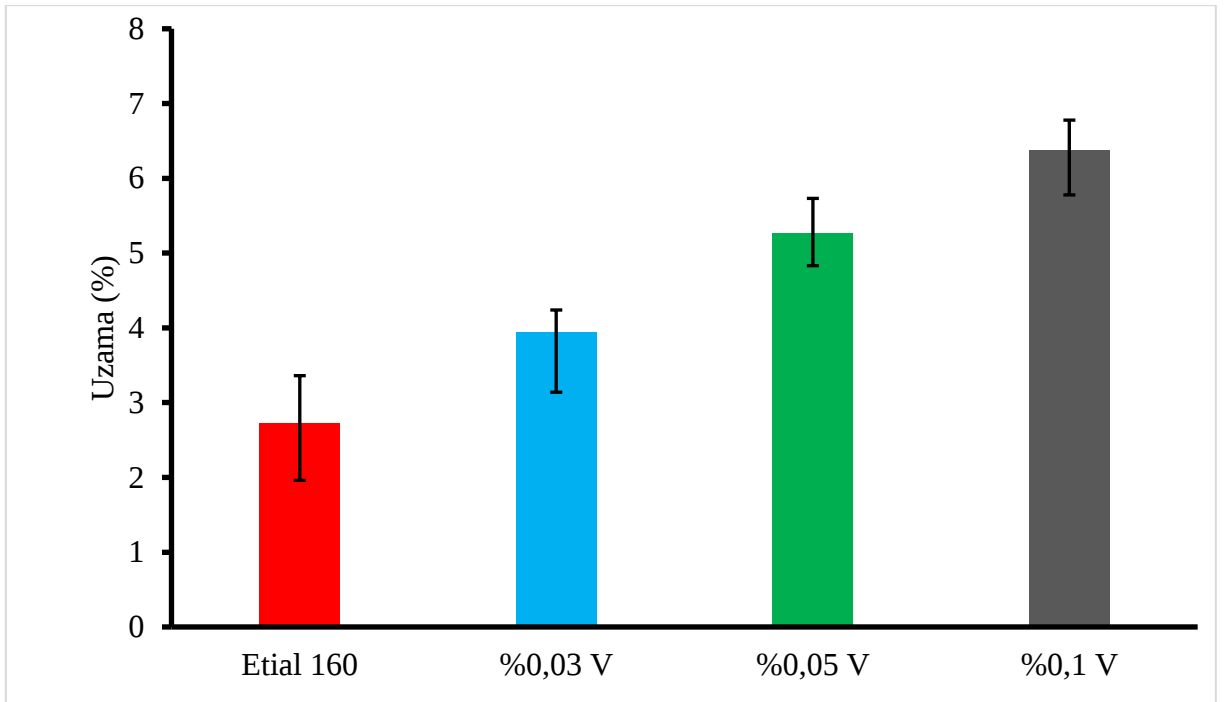


Şekil 31: Döküm Deneylerine Ait Gerilme Birim Şekil Değiştirme Grafikleri

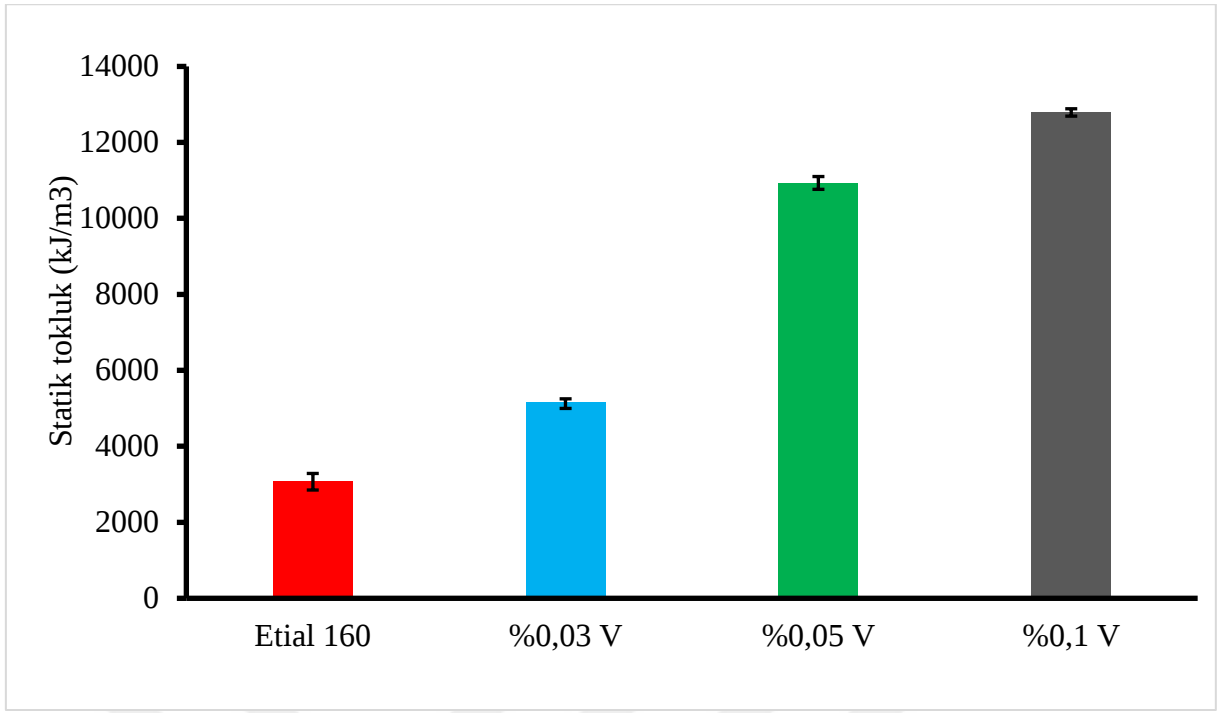
Şekil 31’de gerilme ve birim şekil değiştirme grafiğinde V ilavesinin Etial 160 alaşımına dayanım kazandırdığı görülmektedir. Çekme deneyi sonuçlarından anlaşılaçağı üzere en yüksek gerilme değeri V ilavesinin en yüksek oranda olduğı deneyde görülmektedir. Etial 160 alaşımının mekanik özelliklerine göre V ilaveli döküm deneylerinin değıştiğı ve gerilmelerin arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 32’de verilen grafikte çekme deneyi yapılan Etial 160 ve V ilaveli numunelerin maksimum gerilme değeri verilmiş olup Şekil 33’te numunelerin gerilme altında % uzama miktarları grafiğı ve Şekil 34’te statik tokluk değeri grafiğı verilmiştir.



Şekil 32: Etial 160 Alaşımın V İlavesine Bağlı Maksimum Gerilme Değerleri



Şekil 33: Etial 160 Alaşımın V İlavesine Bağlı % Uzama Değerleri



Şekil 34: Etial 160 Alaşımının V İlavesine Bağlı Statik Tokluk Değerleri

Şekil 32’de verilen değerlerde çekme deneyi numunelerinin maksimum gerilme değerleri ilavesiz testte 170,575 MPa olup %0,03 V ilaveli testte 202,175 MPa’ya, %0,05 V ilaveli testte 309,003 MPa’ya ve %0,1 V ilaveli testte 338,148 MPa’ya yükselerek gerilmelerin arttığını göstermektedir. Şekil 33’te ilavesiz Etial 160 alaşımasının % uzama değeri %2,722 olup %0,03 V ilaveli testte %3,939’a, %0,05 V ilaveli testte %5,262’ye ve %0,1 V ilaveli testte %6,369’a yükselmiştir. Şekil 34’te verilen statik tokluk değerleri ilavesiz Etial 160 alaşımının testinde 3081 kJ/m³, %0,03 V ilaveli testte 5165 kJ/m³, %0,05 V ilaveli testte 10934 kJ/m³ ve %0,1 V ilaveli testte 12801 kJ/m³ olup V ilavesinin tokluk kazandırdığı gözlemlenmiştir. Etial 160 alaşımasının mekanik özelliklerine göre V ilavesinin gerilme, dayanım, tokluk ve mukavemet özelliklerine yapılan testlerden elde edilen sonuçlar ile olumlu etki ettiği gözlemlenmiştir.

Literatürde yapılan araştırmalara göre Etial 160 alüminyuma yapılan ilave alaşımların mekanik özelliklerini iyileştirdiği belirlenmiştir. Bu konuda farklı Al alaşım elementlerinin ilaveleri araştırılmıştır.

Aydoğan ve ark. yaptıkları çalışmada ağırlıkça 0,03, 0,06 ve 0,1 Al-3Nb-0,55B master alaşımı ilavesiyle mekanik özelliklerinde değişim etkisini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlar üzerinde yapılan değerlendirmeler sonucunda V ilavesinin tane inceltici etkisi olduğu ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlara göre katılaşma hızının ve mekanik değerlerin arttığı tespit edilmiştir (Aydoğan vd., 2022). Švecová ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada V alaşımlarının Al-Si-Cu alaşımlarına ilave edilmesi ile mukavemetinin, sünekliğinin ve sertliğinin arttığını sonuçlandırmıştır (Švecová vd., 2017).

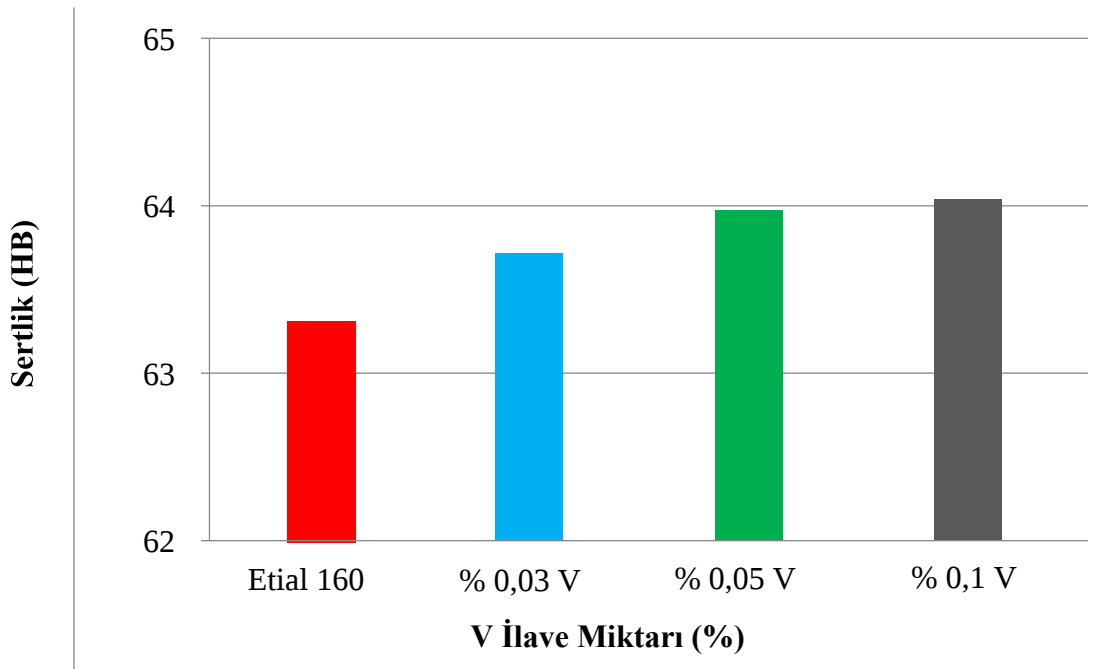
3.4.2. Sertlik Test Sonuçları

Mekanik test ile yapılan ilavesiz Etial160 ve V ilaveli döküm deneylerinden sertlik ölçümlerini gözlemlemek adına numuneler alınmıştır. Sertlik ölçümleri, oda sıcaklığında ve Brinell yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Brinell sertlik ölçüm yönteminde, 1,6 mm çaplı bilye ile 2,5 kgf ön yük ve 62,5 kgf toplam yüke maruz bırakılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir numuneden en az 6 adet ölçüm yapılarak elde edilen değerlerin ortalaması esas alınmıştır. Tablo 11’de sertlik değerleri hesaplanan numunelerin sonuçları verilmiştir. Yapılan ölçümlerde değeri ortalamaya göre çok ya da az çıkan değerler ortalamalara eklenmemiştir.

Tablo 11: Sertlik Ölçümü Değerleri

Numune ismi	Sertlik ölçüm değerleri (HB)						Ortalama
İlavesiz	62,1	63,6	66,3	60,1	63,3	64,4	63,30
% 0,03 V İlaveli	62,4	62,8	61,7	62,6	65,8	66,8	63,68
% 0,05 V İlaveli	66,7	64,5	62,1	63,5	63,7	63,2	63,95
% 0,1 V İlaveli	65,2	65,9	65,6	62,4	62,5	62,8	64,07

Tablo 11’de verilen sonuçlar Etial 160 alaşımının sertlik değeri ortalamasında olduğu görülmektedir. Sertlik ölçümü yapılan numunelerin V ilavesi ile sertlik özellikleri bakımından Etial 160 alaşımına göre daha sert olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 35’te değişen oranlardaki V ilavesinin sertlik değerlerinin grafik gösterimi sunulmuştur.



Şekil 35: Sertlik Testi Sonuçlarının Grafik Gösterimi

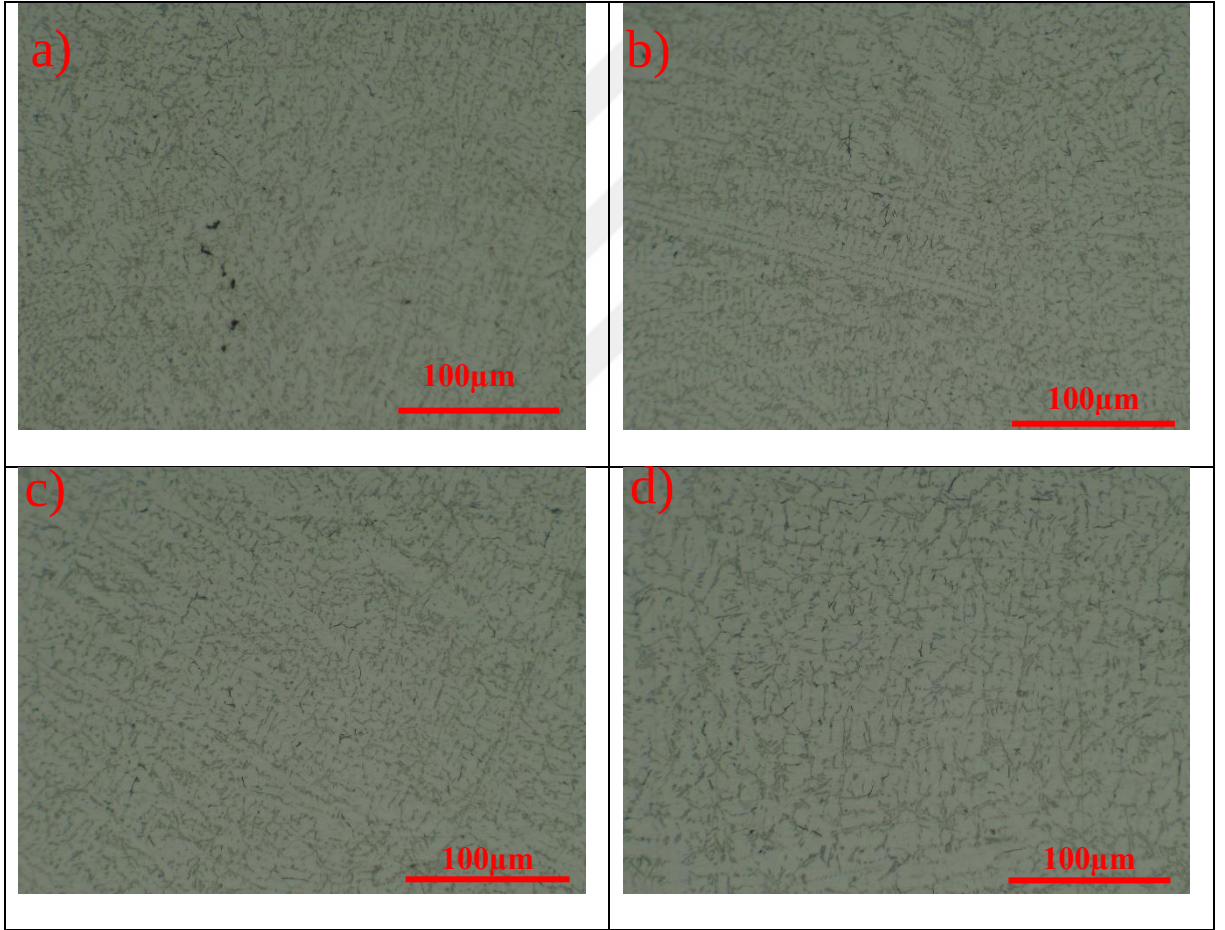
Şekil 35’teki grafikte verilen sonuçlara göre Etial 160 döküm deneyinde 63,30 HB, %0,01 V ilaveli döküm deneyinde 63,68 HB, %0,05 V ilaveli döküm deneyinde 63,95 HB,

%0,1 V ilaveli döküm deneyinde 64,07 HB olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda, V ilavesinin artışına göre sertlik sonuçlarının arttığı tespit edilmiştir.

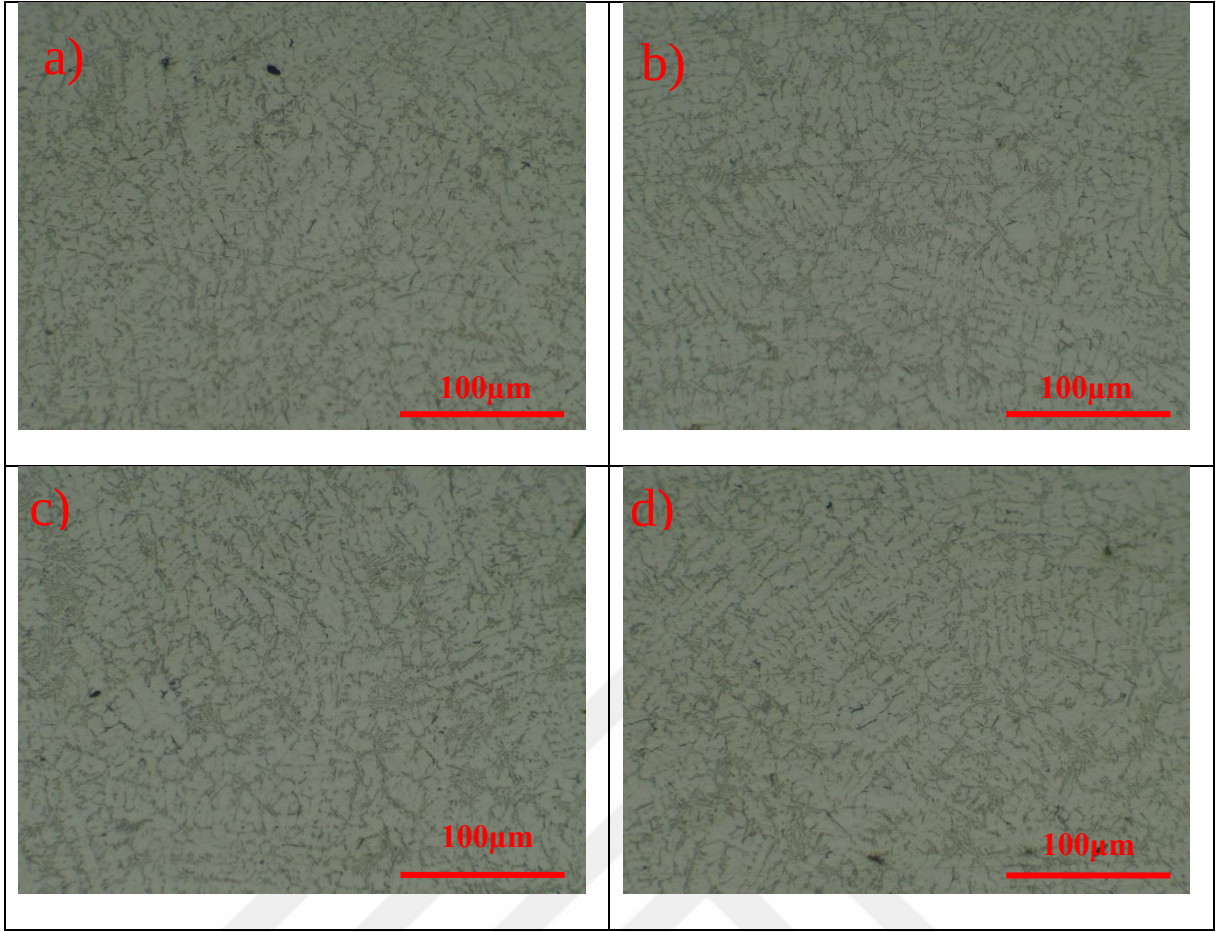
3.5. MİKROYAPI SONUÇLARI

3.5. Mikroyapı Sonuçları

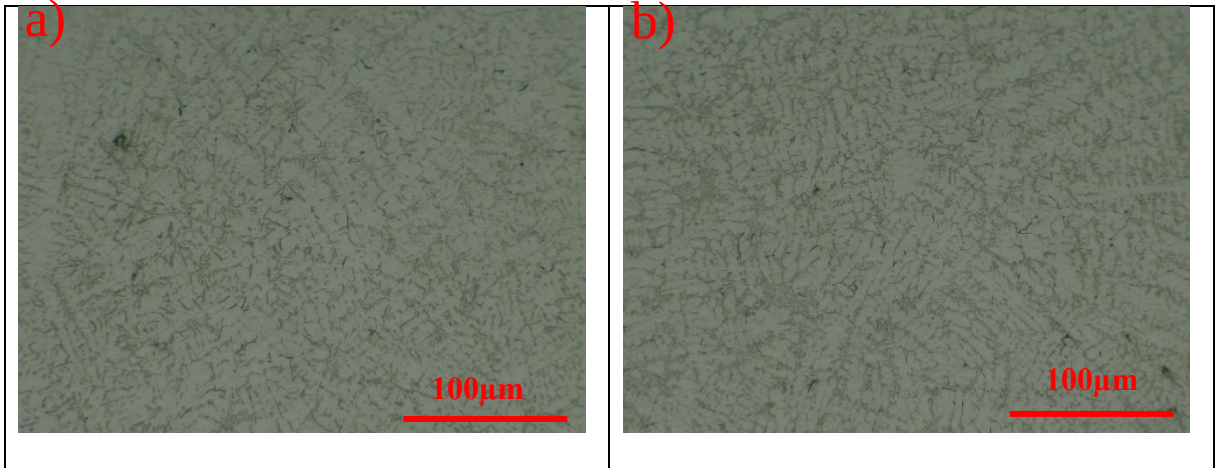
Mikroyapısını incelemek amacıyla Etial 160 alaşımı ve V ilaveli dört kanallı akıcılık dökümlerinden örnek numuneler alınmıştır. Örnekler farklı kesit kalınlıklarında olup iç yapısı incelenerek V ilavesinin etkileri mikroyapı analizi gözlemlenmiştir. Şekil 36'da Etial 160 alaşımın, Şekil 37'de %0,03 V ilavesinin, Şekil 38'de %0,05 V ilavesinin ve Şekil 39'da %0,1 V ilavesinin örnek numunelerin kesitlerinden 100X oranında büyütme ile mikroyapı görselleri verilmiştir.

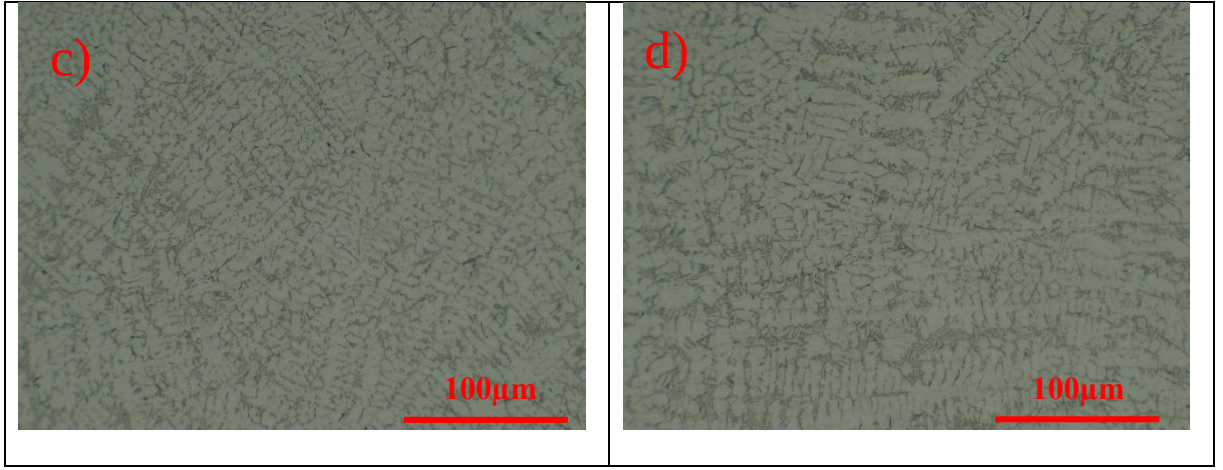


Şekil 36: İlavesiz Etial 160 Dört Kanallı Akıcılık Kalıbı Mikroyapı Görselleri a)2mm, b)4mm, c)6mm, d)8mm

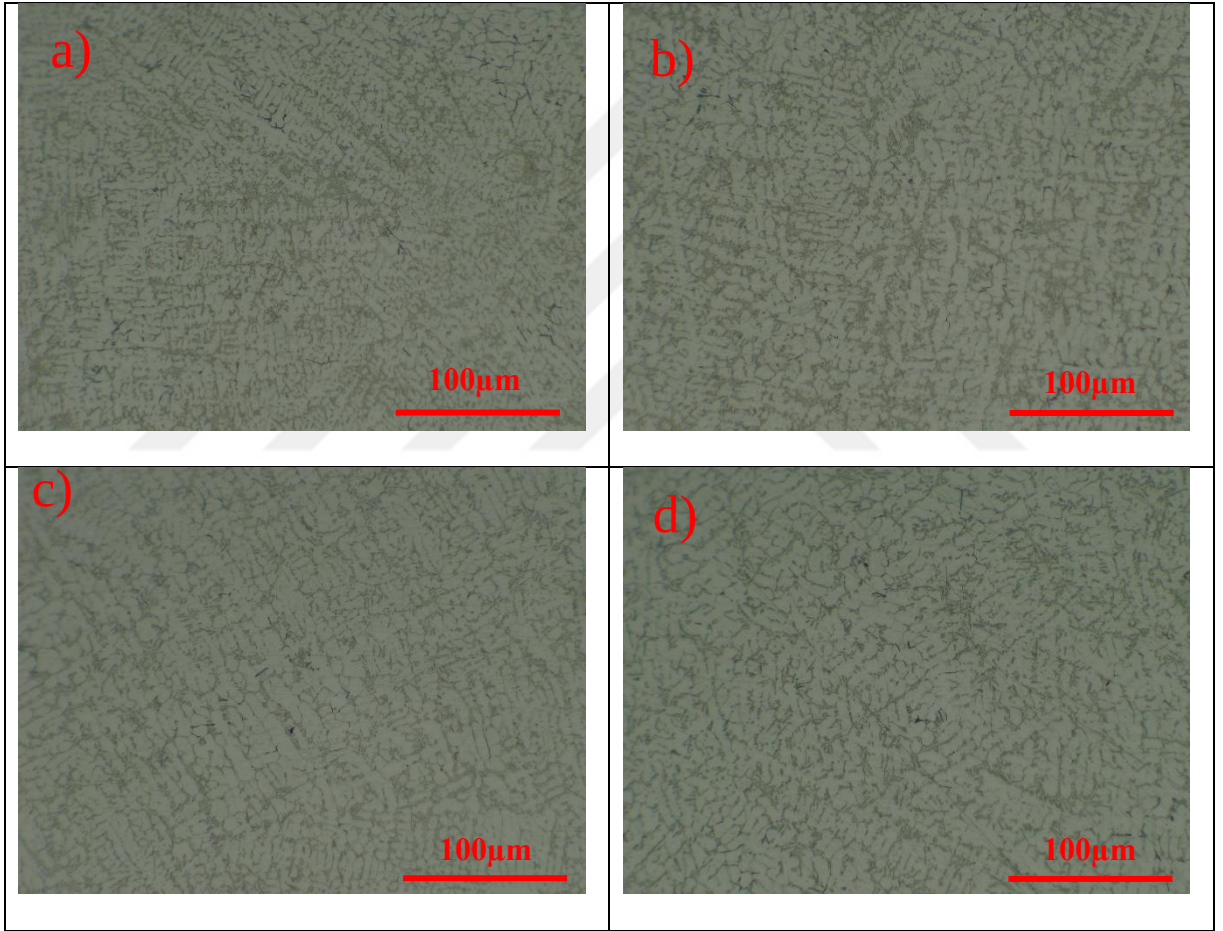


Şekil 37: %0,03 V İlaveli Etial 160 Dört Kanallı Akıcılık Kalıbı Mikroyapı Görselleri
a)2mm, b)4mm, c)6mm, d)8mm





Şekil 38: %0,05 V İlaveli Etial 160 Dört Kanallı Akıcılık Kalıbına Mikroyapı Görselleri
a)2mm, b)4mm, c)6mm, d)8mm



Şekil 39: %0,1 V İlaveli Etial 160 Dört Kanallı Akıcılık Kalıbına Mikroyapı Görselleri
a)2mm, b)4mm, c)6mm, d)8mm

Mikroyapısını incelemek amacıyla şekillerde verilen her döküm deneyi için farklı kesit kalınlıklarındaki resimler görülmektedir. Numunelerin mikroyapı görselleri incelendiğinde döküm şartları ve kesit kalınlıklarının farklı olmasıyla fazlarda değişiklikler meydana gelmiştir. Kimyasal bileşimlerinde meydana gelen α -Al ve ötektik-Si kristallerinin iç yapıyı etkilediği gözlemlenmiştir. Mikroyapı resimlerine göre artan kesit kalınlıklarına göre tane yapılarının artması ve Si kristallerinin büyük olduğu gözlemlenmektedir. Kesit kalınlığının artmasıyla ve

soğuma hızının etkisiyle taneciklerin büyümesi tespit edilmiştir. Kesitin incelmesi ile ötektik Si kristallerinin lamelli yapıdan çok az fiber yapıya kademeli bir şekilde azalarak geçiş yaptığı gözlemlenmiştir. Kesit kalınlıklarının değişmesiyle alaşımların katılaşma zamanı değişmekte olup, buna bağlı olarak ortaya çıkan fazların yapı ve boyutları değişkenlik göstermektedir. Değişen oranlardaki % V ilavesinin Etial 160 alaşımına göre mikro yapıların küçüldüğü tüm numune örneklerinden tespit edilmiştir. % V oranının artmasıyla iç yapıda değişiklikler olduğu gözlemlenmiştir.

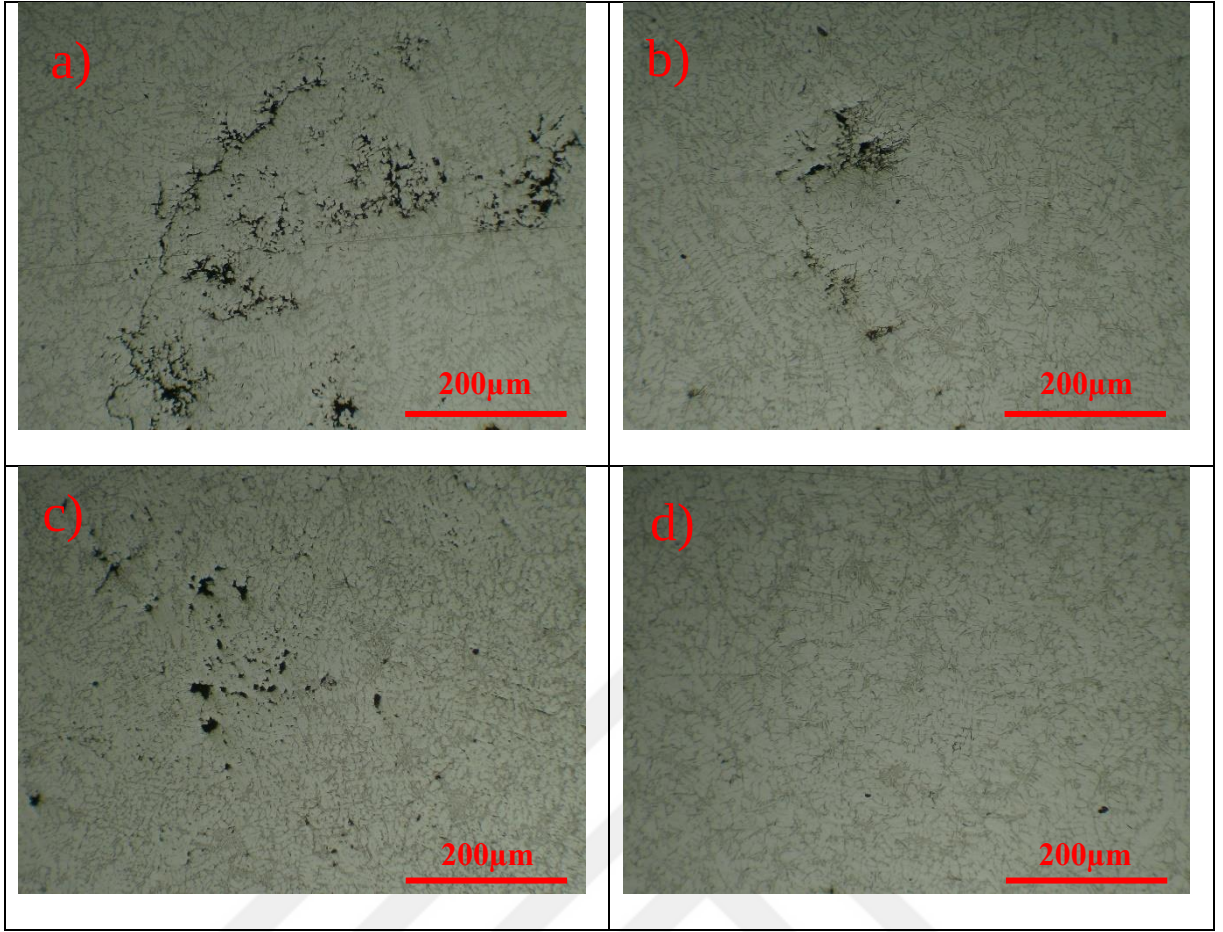
Yapılan araştırmalarda farklı Al alaşımları ile yapılan döküm çalışmaları bulgularla uyumludur.

Jeon ve Bae'in yaptıkları çalışmada kum kalıp hazırlayarak 5, 10, 15 ve 20 mm kalınlıklara döküm yapmışlardır. Farklı kalınlıklardaki dökümde soğuma hızının mikroyapı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Kalınlıklara göre soğuma hızları 5 mm kalınlıkta 1,9 K/saniye, 10 mm kalınlıkta 0,8 K/saniye, 15 mm kalınlıkta 0,5 K/saniye ve 20 mm kalınlıkta 0,3 K/saniye değerlerini elde etmişlerdir (Jeon ve Bae, 2019).

Uslu ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada Etial 160 alüminyum alaşımının dökümünde uygulanan yöntem ve değişen katılaşma zamanına göre kalıplara yapılan dökümlerin mikroyapısında değişiklik olduğunu savunmuşlardır. Katılaşma zamanı ve ısı iletim katsayısı Etial 160 alaşımının özelliklerini ve yapısını değiştirmektedir (Uslu vd., 2024).

Çolak ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada Al₄Cu alaşımının kum kalıba dökümü yapılan deneyde katılaşma zamanı ve tane inceltici ilavelerin etkisi incelenerek iç yapısında ve özelliklerinde değişiklikler meydana gelmiştir (Çolak vd., 2015).

Spiral akıcılık kalıbının uç kısımlarından aldığımız numunelerin mikroyapısı incelendiğinde yapıda oluşan gözenekler dikkat çekmiştir. Şekil 40' ta verilen numune görselleri 50X büyütmede çekilmiştir.



Şekil 40: Spiral akıcılık numunelerinden alınan 50X büyütmede çekilen mikroyapı resimleri a) İlavesiz Etial 160, b) %0,03 V İlaveli, c) %0,05 V İlaveli, d) %0,1 V İlaveli

Şekil 40'ta verilen görseller incelendiğinde ilavesiz Etial 160 dökümünde gözeneklerin daha çok olduğu ve V ilavesinin artmasıyla oldukça azaldığı, %0,1 V ilavesinde neredeyse gözenek olmadığı tespit edilmiştir. Spiral numunelerinin uç kısımlarından örnekler alındığı için yetersiz beslenmeden kaynaklı gözeneklerin olduğu bulgular arasındadır. Gözeneklerin V ilavesi ile azalması tane inceltici etki sağladığı düşünülmektedir. Gözeneklerin düzensiz olması gaz kaynaklı olmayıp, yetersiz beslenmeden kaynaklı olduğu için sıvı metal temizliği kalitesinin uygun olduğu kabul edilmiştir. Bu hususta yapılan literatür çalışmaları ile uyum içerisinde.

Kanlıca ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, alüminyum alaşımlarının dökümünde tane inceltici kullanılması sıvı metal temizliğini ve kullanılan kalıbın malzemesine göre ısı iletim katsayısının benzerlik üzerinde etkisi olduğunu belirtmiştir (Kanlıca vd., 2023).

Suenger ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada sıcaklık ile mikroyapının sertliği arasında korelasyon olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada daha yüksek sıcaklıklarda, eriyik içindeki safsızlıklar daha net bir şekilde çözülür ve homojen olarak dağıldığını ifade etmişlerdir (Suenger vd., 2014).

SONUÇ

Tez kapsamında yapılan Etial 160 alaşımına farklı oranlardaki V ilavesinin kokil kalıba dökümü yapılarak etkisi incelenmiştir. Farklı oranlardaki V miktarları sırasıyla %0,03, %0,05, %0,1 oranlarında Etial 160 alaşımının miktarına eklenerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen numunelerin V ilavesinin sıvı metal temizliği, akıcılık, mekanik özellikler ve mikroyapıdaki etkileşimi sayısal ve gözlemsel olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar maddeler halinde açıklanmıştır.

Yapılan döküm deneylerinde sıvı metalde oluşan gaz oluşumunu minimum seviyeye düşürmek için 5 dakika boyunca azot gazı ile sıvı metal temizliği uygulanmıştır. Sıvı metal temizliği açısından önemli olan RPT numunelerinin yüzey kontrolü gerçekleştirilmiş olup çöküntüler saptanmıştır ve K-Mold numunelerinin kırık yüzeylerinin kontrolü sağlanıp sıvı metal kalitesinin uygun olduğu görülmüştür.

Yoğunluk ölçümleri yapılan RPT numunelerinin gözenek değerleri %0,5'in altında olup bu değerler kesit yüzeylerine göre uygun sıvı metal kalitesinde olduğu belirlenmiştir.

K-Mold kalıbı ile elde edilen numunelerin kırık yüzeylerindeki inklüzyon sayıları belirlenmiş olup K değerlerinin 1'in altında olması sıvı metal temizliğinin uygun olduğu kabul edilmiştir.

RPT ve K-Mold numunelerinden elde edilen test verilerine göre sıvı metal temizliğinin gaz oluşumunu minimize edildiği görülmüştür. Dökümlerde oluşan gözeneklerin beklenmesi ve yetersiz beslemeden kaynaklı olması yorumlanmıştır.

Dört kanallı akıcılık kalıplarına yapılan dökümlerde Etial 160 alaşımına farklı oranlardaki V ilavesinin etkisi incelenmiş, artan oranda değişen değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Dört kollu akıcılık kalıbında yapılan 2 mm kalınlıktaki kanalda ilavesiz dökümde 2 mm, %0,03 V ilaveli dökümde 3 mm, %0,05 V ilaveli dökümde 14 mm ve %0,1 V ilaveli dökümde 22 mm olarak ilerleme mesafeleri ölçülmüştür. 4 mm kalınlıktaki kanalda yapılan ilavesiz dökümde 50 mm, %0,03 V ilaveli dökümde 61 mm, %0,05 V ilaveli dökümde 72 mm, %0,1 V ilaveli dökümde 95 mm olarak ilerleme mesafeleri ölçülmüştür. 6 mm kalınlıktaki kanaldaki ilavesiz dökümde 74 mm, %0,03 V ilaveli dökümde 69 mm, %0,05 V ilaveli dökümde 101 mm ve %0,1 V ilaveli dökümde 147 mm olarak ilerleme mesafeleri ölçülmüştür. 8 mm kalınlıktaki kanalda yapılan ilavesiz dökümde 229 mm olup V ilaveli dökümlerde kanal tamamen dolmuştur. Genel olarak V ilavesi ile ilerleme mesafelerinde artış olduğu 8 mm ve üzeri kalınlıklarda akıcılığın olumsuz olmayacağı tespit edilmiştir.

Spiral akıcılık kalıbına yapılan dökümlerde Etial 160 alaşımına farklı oranlardaki V ilavesinin etkisi incelenmiştir. İlavesiz Etial 160 alaşımına yapılan döküm deneyinde spiral uzunluğu 372 mm olup, %0,03 V ilaveli dökümde 386 mm, %0,05 V ilaveli dökümde 392 mm ve %0,1 V ilaveli dökümde 395 mm olarak ilerleme mesafeleri ölçülmüştür. Genel olarak V ilavesinin spiral akıcılık ile yapılan deneylerde artan V ilavesine göre artan ilerleme mesafelerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Dört kollu ve spiral akıcılık deneylerinden elde edilen verilere göre artan V ilavesine göre artan ilerleme mesafeleri olduğu ve akıcılığa olumlu yönde etki ettiği gözlemlenmiştir.

Mekanik test kalıbında yapılan dökümlerden elde edilen numuneler ile mekanik testler olarak çekme testi ve sertlik testi uygulanmıştır. İncelenen sonuçlara göre çekme testinde elde edilen çekme gerilmesinin ilavesiz dökümde 170,575 MPa, %0,03 V ilaveli dökümde 202,175 MPa, %0,05 V ilaveli dökümde 309,003 MPa ve %0,1 V ilaveli dökümde 338,149 MPa olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre artan V ilave oranının gerilme ile doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir.

Çekme testinde elde edilen % uzama verileri ilavesiz dökümde %2,722, %0,03 V ilaveli dökümde %3,939, %0,05 V ilaveli dökümde %5,262 ve %0,01 V ilaveli dökümde %6,369 olup artan V ilavesi ile % uzama miktarlarının arttığı tespit edilmiştir.

Çekme testinde elde edilen statik tokluk değerleri V ilavesi ile artan orantıda olduğu gözlemlenmiştir. İlavesiz dökümde 3081 kJ/m³, %0,03 V ilaveli dökümde 5165 kJ/m³, %0,05 V ilaveli dökümde 10934 kJ/m³ ve %0,1 V ilaveli dökümde 12801 kJ/m³ olarak elde edilmiştir.

Sertlik testinde elde edilen sonuçlar ilavesiz dökümde ortalama 63,30 HB, %0,03 V ilaveli dökümde ortalama 63,68 HB, %0,05 V ilaveli dökümde ortalama 63,95 HB ve %0,1 V ilaveli dökümde ortalama 64,07 HB olarak elde edilmiştir. Verilere göre değerler birbirine yakın olsa da V ilavesinin sertlik test sonuçlarına göre etki ettiği tespit edilmiştir.

Dört kanallı akıcılık kalıbının tüm kesitlerinden (2 mm, 4 mm, 6 mm ve 8 mm) ve spiral akıcılık kalıbından alınan numuneler ile mikroyapı analizleri gözlemlenmiştir. Elde edilen mikroyapı resimleri artan kesit kalınlıklarına göre tane yapılarının ve Si kristallenin büyüdüğü gözlemlenmiştir. Artan kesit kalınlığında soğuma hızı azalacağından tane büyümesi artacaktır. Farklı oranlardaki V ilavesinin ilavesiz Etial 160 alaşımına göre mikroyapıdaki tanelerin hacimsel olarak küçüldüğü ve tane miktarının arttığı tespit edilmiştir. V ilavesinin Etial 160 alaşımının mikroyapısını değiştirdiği ve olumlu yönde etki ettiği belirlenmiştir.

KAYNAKÇA

- Ahlatçı, H. (1994). *Al-Cu-Mg-Si Alaşımlarının deformasyonu ve yaşlandırılması* (Lisans Bitirme Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Alım, B. (2017). *Tavlama sıcaklığı, basınç ve dış manyetik alanın şekil hafızalı nanoalaşımların x-ışını şiddet oranları ve valens elektron yapıları üzerine etkilerinin incelenmesi* (Doktora Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No.)
- Al-saadi, H. I. A., & Tunay, R. F. (2017). Suni Yaşlandırma İşleminin Alüminyum Alaşımının Sertliği Üzerine Etkisi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(3), 525-532.
- Arslan, İ., Gavgalı, E., & Çolak, M. (2019). Kum kalıba dökülen farklı alüminyum alaşımlarının dökümünde Al5Ti1B ve Al10Sr ilavesinin mikroyapı özelliklere etkisinin incelenmesi. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 7(2), 237-244.
- Aydoğan, F., Dizdar, K. C., Sahin, H., Mentese, E., & Dispınar, D. (2022). Mechanical property comparison of Al11Si wheels grain refined by Ti, Nb and MTS. *Archives of Foundry Engineering*, 22.
- Beljajew A. I., Fğrsanowa L. A., & Rapoport M. B., (1974). Alüminyumun Metalürjisi, T.M.M.O.B Makine Mühendisleri Odası Yayın NO: 99,
- Binczewski, G. J. (1995). The point of a monument: A history of the aluminum cap of the Washington Monument. *JOM*, 47(11), 20-25.
- Choe, K., Lim, K., Lee, S., & Lee, K. (2010). The effect of vanadium and chromium on the precipitation of carbide in si-mo ferritic ductile cast iron. *Key Engineering Materials*, 457, 102-107.
- Crowson, P. (1999). Minerals handbook 1998-99.
- Çetin, A. (2017). Alüminyum Döküm Alaşımları, El Kitabı Dökümhane Eğitim Projesi Özel Sayı Serisi, İstanbul
- Devlet Planlama Teşkilatı Yayın ve Temsil Dairesi Başkanlığı Yayın ve Basım Şube Müdürlüğü. (1994). *Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Özel İhtisas Komisyonu Raporu: Çevre. Ankara*
- Djurdjević, M. B., Odanović, Z., & Pavlović-Krstić, J. (2010). Melt quality control at aluminum casting plants. *Metallurgical & Materials Engineering*, 16(1), 63-76.
- Durmuş, M., Dispınar, D., Gavgalı, M., Uslu, E., & Çolak, M. (2024). Evaluation of Fe content on the fluidity of A356 Aluminum alloy by new fluidity index. *International Journal of Metalcasting*, 1-15.
- Encyclopedia Britannica. (2021). Vanadium | Chemical Element.. Alındığı Yer: Encyclopedia Britannica
- Epstein, S. G., Kaufman, J. G., & Pollak, P. (1994). *Aluminum and its alloys*. Washington, DC: Aluminum Association.
- Cobden, R., & Banbury, A. (1994). Aluminium: Physical Properties. *Characteristics and Alloys, TALAT Lecture, 1501*.
- Jeon, J. H., & Bae, D. H. (2019). Effect of cooling rate on the thermal and electrical conductivities of an A356 sand cast alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 808, 151756.

- Kanlıca, M. M., Taş, Z., & Çolak, M. (2023). The effect of grain refiner and mechanical vibration on feedability in sand and plaster mold casting of Etial 177 aluminum alloy. *Eastern Anatolian Journal of Science*, 9(2), 1-9.
- Khatami, N., Mirdamadi, S., & Razavizadeh, H. (2011). The Boron Effect on Mechanical Properties of Aged 2024 Aluminum Alloy. *Advanced Materials Research*, 339, 152-156.
- Karakışlak, M. (1992). Alüminyum Alaşımları ve Isıl İşlemleri. İstanbul Teknik Üniversitesi Metalurji Fakültesi, İstanbul.
- Kaufman, J. G., & Rooy, E. L. (2004). *Aluminum alloy castings: Properties, processes, and applications*. Asm International.
- Kayıkçı, R., & Çolak, M. (2009). Kuma dökülen Etial160 alüminyum alaşımında tane inceltmenin beslenebilirlik üzerine etkisinin incelenmesi, 5th. In *International Advanced Technologies Symposium, May* (pp. 13-15).
- Kissell, J. R. (1996). Aluminum and its alloys. *Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers*, 6-53.
- Liu, N. C., Li, J. Q., & Li, G. (2011). Influence of different titanium alloying methods on the microstructure and wear behavior of ZL108 alloy. *Advanced Materials Research*, 311, 712-715.
- Makhambetov, E. N., Vorobkalo, N. R., Baisanov, A. S., & Mynzhasar, E. A. (2023). Smelting of vanadium-containing alloys with using non-standard reducing agents. *CIS Iron and Steel Review*, (25), 21, 25.
- Metals Handbook ASM. (1990). Metals Park, Ohio 10th Ed. Vol. 2,
- Pedersen, T. (2017). Facts About Vanadium.
- Poovazhagan, L., Kalaichelvan, K., & Sornakumar, T. (2016). Processing and performance characteristics of aluminum-nano boron carbide metal matrix nanocomposites. *Materials and Manufacturing Processes*, 31(10), 1275-1285.
- Shaha, S. K., Czerwinski, F., Kasprzak, W., Friedman, J., & Chen, D. L. (2015). Microstructure and mechanical properties of Al–Si cast alloy with additions of Zr–V–Ti. *Materials & Design*, 83, 801-812.
- Suenger, S., Kreissle, M., Kahnert, M., & Zaeh, M. F. (2014). Influence of process temperature on hardness of friction stir welded high strength aluminum alloys for aerospace applications. *Procedia CIRP*, 24, 120-124.
- Švecová, I., Tillová, E., & Kuchariková, L. (2017). Structural analysis of iron based intermetallic phases in secondary AlSi6Cu4 cast alloy. *Production Engineering Archives*, 15(15), 3-6.
- Timelli, G., & Bonollo, F. (2007). Fluidity of aluminium die castings alloy. *International Journal of Cast Metals Research*, 20(6), 304-311.
- Tokatlı, M., Uslu, E., Çolak, M., & Yüksel, Ç. (2022). Alüminyum alaşımlarına uygulanan sıvı metal temizliği kontrol yöntemlerinin incelenmesi. *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(2), 235-247.
- Tokatlı, M., Saydam, F., Hal, M., Koşatepe, A., Çolak, M., & Yüksel, Ç. (2022). Investigation of liquid metal cleaning methods commonly used in the casting of aluminium alloys. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(1), 423-434.

- Uludağ, M., Cetin, R., Dişpinar, D., & Tiryakioğlu, M. (2018). 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, 853-860.
- Voron, M. M., Pruss, M. F., & Byba, O. Y. (2021). Microalloying and modification of cast aluminum alloys for increasing their level of exploitation properties at elevated temperatures. A Review. *Foundry Process. Technol. Mater*, 145, 61-68.
- Yağcı, T., Cöcen, Ü., Çulha, O., & Korkmaz, A. (2021). Alüminyum döküm alaşımlarına dair son yıllardaki akademik ve endüstriyel gelişmelere genel bakış ve değerlendirme. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 26(3), 1191-1210.
- Yunak, T., Duru, E., Sevinç, S., & Aslan, S. (2023). Al-5Ti-0, 2B ve Al-5Ti-1B tane incelticilerin AA 1050 alüminyum alaşımının mekanik özellikleri üzerine etkileri. *Open Journal of Nano*, 8(2), 99-106.
- Zhu, Q. F., Meng, Y., Kang, Y. L., Kong, S. P., Ou, Y. P., & Zuo, Y. B. (2019). Effect of cooling rate on morphology and type of vanadium-containing phases in Al-10V master alloy. *China Foundry*, 16(5), 300-306.
- Url-1, <https://celik.photo.blog/aluminyumun-yogunlugu-neden-onemlidir/>
- Url-2, <https://tr.institut-seltene-erden.de/vanadium-v-ordnungszahl-23/>

ÖZ GEÇMİŞ

Ömer AVCI, [REDACTED] doğdu. İlk öğretimini Yazıçayır Ortaokulu'nda, lise eğitimini ise Kulu Düden Anadolu Lisesi'nde tamamladı. Lisans eğitimini ise 2020 yılında Bayburt Üniversitesi'nde tamamladı. 2022 yılında Makine Mühendisliği bölümünde Doç. Dr. Murat ÇOLAK danışmanlığına yüksek lisans eğitimine başladı. Şu an da makine mühendisi olarak Avcı Metal Ltd. Şti.'de çalışmaktadır.

