



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**GGG-60 KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME  
DEMİRDE KULLANILAN BARYUM VE  
LANTANLI AŞILARIN MEKANİK  
ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

**Mustafa ÇEKİCİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim  
Dalı**

**Şubat-2022**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Mustafa ÇEKİCİ tarafından hazırlanan “GGG-60 Küresel Grafitli Dökme Demirde Kullanılan Baryum ve Lantanlı Aşıların Mekanik Özelliklere Etkisi” adlı tez çalışması 04/02/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Doç. Dr. Volkan KALEM

.....

#### Danışman

Doç. Dr. Mehmet YILDIRIM

.....

#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan ARICI

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN  
Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Mustafa ÇEKİCİ

Tarih:

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## GGG-60 KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRDE KULLANILAN BARYUM VE LANTANLI AŞILARIN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Mustafa ÇEKİCİ

Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mehmet YILDIRIM

2022, 66 Sayfa

Jüri

Danışman: Doç. Dr. Mehmet YILDIRIM

Doç. Dr. Volkan Kalem

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan ARICI

Bu çalışmada küresel grafitli dökme demirlerin (KGDD) bir çeşidi olan GGG-60 malzeme devirmeli pota yöntemiyle üretilmiştir. Aşılaiıcı olarak Baryum (Ba) ve Lantan (La) esaslı aşılaiıcılar kullanılmıştır. Kullanılan aşılaiıcılar % 0,25 oranında eşit olarak kullanılmıştır. Küreselleştirici olarak ise % 1,3 oranında Ferro Silisyum Magnezyum (FeSiMg) alaşımı kullanılmıştır. Numune olarak kesit kalınlıkları 5, 15, 25, 35 ve 50 mm olan basamak kalıp modeli kullanılmış ve her bir basamaktan mikroyapı incelemesi yapılarak küre sayıları, küresellik ve ferrit/perlit oranları belirlenmiştir. Aşılaiıcı türünün mekanik özelliklere etkisi sertlik ve çekme testi ile incelenmiştir. Kesit kalınlığı arttıkça küre sayısında ve perlit oranında kademeli azalma meydana gelmiştir. Bu yüzden her iki aşılı numunenin sertlik değerleri kesit kalınlığı arttıkça azalmıştır. Lantan esaslı aşılaiıcı ile üretilen numunelerin küre sayıları nispeten daha az, perlit oranları belli miktarda daha yüksektir. Bunun neticesinde Lantan esaslı aşılaiıcı ile üretilen numunelerin sertlik ve dayanım değerleri Baryum esaslı aşılaiıcı ile üretilen numunenin sertlik ve dayanım değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** GGG-60, Küresel grafitli dökme demir, Aşılaiıcı, Baryum, Lantan, Mekanik özellikler, Mikroyapı

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **EFFECT OF BARIUM AND LANTHANUM-BASED INOCULANTS ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF GGG60 SPHEROIDAL GRAPHITE IRON**

**Mustafa ÇEKİCİ**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Metallurgical and Materials Engineering**

**Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet YILDIRIM**

**2022, 66 Pages**

**Jury**

**Assoc. Prof. Dr. Mehmet YILDIRIM  
Assoc. Prof. Dr. Volkan KALEM  
Asst. Prof. Dr. Gökhan ARICI**

In this study, GGG-60 standard ductile cast iron was produced by converter treatment ladle. Lanthanum (La) and Barium (Ba) based inoculants were used. The inoculants were added in equal amounts of 0.25 %. Ferro Silicon Magnesium (FeSiMg) alloy was used as a spherodizer at a rate of 1.3 %. A step model having section thickness of 5 mm, 15 mm, 25 mm, 35 mm and 50 mm was used in sand casting. The effect of the inoculant type on the microstructural and mechanical properties were studied in detail. The nodule count, nodularity and ferrite/pearlite ratio. The nodule count and pearlite amount decreased continuously with increasing section thickness. Therefore, the hardness decreased with increasing section thickness for both La and Ba inoculants. For La inoculants, the amount of pearlite was relatively high, while the nodule count was relatively low compared to that of Ba inoculants. Thus, the hardness and strength of La inoculants were relatively high.

**Keywords:** GGG-60, Spheroidal graphite cast iron, Inoculant, Barium, Lanthanum, Mechanical properties, Microstructure

## ÖNSÖZ

Bu çalışmamda desteklerini esirgemeyen, her durumda yanımda olan değerli danışman hocam Doç. Dr. Mehmet YILDIRIM'a sonsuz saygılarımı sunar, teşekkür ederim.

Çalışmam sürecinin başından sonuna kadar bana her türlü imkânı ve desteği sunan, hammadde ve teçhizat konusunda beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan EKDÖKSAN LTD. ŞTİ. yöneticilerine ve benimle birlikte bütün süreçlerde yanımda olan tüm mesai arkadaşlarıma teşekkürlerimi borç bilirim.

Beni sürekli teşvik eden, her zaman yanımda olan, her zaman olumlu bir duruş sergileyen sevgili eşime teşekkür ederim.

Mustafa ÇEKİCİ  
KONYA-2022

# İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	ix
1. GİRİŞ .....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	2
2.1 Dökme Demirler .....	2
2.1.1 Beyaz dökme demir .....	4
2.1.2 Gri dökme demir .....	4
2.1.3 Temper dökme demir .....	5
2.1.4 Vermiküler (kompakt) grafitli dökme demir .....	6
2.2 Küresel Grafitli Dökme Demirler .....	7
2.2.1 Küresel grafitli dökme demirlerin standartları .....	7
2.3 Küresel Grafitli Dökme Demirin Üretimi .....	9
2.3.1 Alaşım elementlerinin etkisi .....	10
2.3.1.1 Karbon .....	10
2.3.1.2 Silisyum .....	11
2.3.1.3 Mangan .....	11
2.3.1.4 Krom .....	11
2.3.1.5 Kükürt .....	11
2.3.1.6 Bakır .....	12
2.3.1.6 Fosfor .....	12
2.3.2 Küreselleştirme işlemi .....	12
2.3.2.1 Açık pota yöntemi .....	13
2.3.2.2 Sandviç yöntemi .....	14
2.3.2.3 Daldırma yöntemi .....	14
2.3.2.4 Devirmeli pota (konveyör) yöntemi .....	15
2.3.2.5 Tel tretman yöntemi .....	16
2.3.3 Aşılama işlemi .....	16
2.3.3.1 Aşılama yöntemleri .....	18
2.3.3.1.1 Ön aşılama .....	18
2.3.3.1.2 Potada aşılama .....	18
2.3.3.1.3 Akan metale aşılama .....	18
2.3.3.1.4 Tel aşılama .....	18
2.3.3.1.5 Kalıp içi aşılama .....	19
2.3.3.2 Ferro-Silisyumlu aşılardaki diğer elementler ve özellikleri .....	19
2.3.3.2.1 Kalsiyum .....	19
2.3.3.2.2 Baryum .....	19
2.3.3.2.3 Zirkonyum .....	20
2.3.3.2.4 Bizmut .....	20
2.3.3.2.5 Seryum .....	20

2.3.3.2.6 Lantan .....	20
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>21</b>
3.1 Üretim .....	21
3.1.1 Ergitme.....	21
3.1.2 Küreselleştirme ve aşılama .....	22
3.1.3 Döküm işlemi.....	24
3.2 Karakterizasyon işlemi .....	26
3.2.1 Kimyasal analiz.....	26
3.2.2 Mikroyapı analiz .....	26
3.2.3 Sertlik testi .....	27
3.2.4 Çekme testi .....	28
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>31</b>
4.1 Kimyasal Analiz Sonuçları .....	31
4.2 Mikroyapı Sonuçları .....	32
4.3 Sertlik Testi Sonuçları .....	47
4.3 Çekme Testi Sonuçları.....	49
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>54</b>
5.1 Sonuçlar .....	54
5.2 Öneriler .....	54
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>55</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

- Al : Alüminyum
- Ba: Baryum
- Bi: Bizmut
- Ca: Kalsiyum
- Ce : Seryum
- C<sub>eş</sub>: Karbon eşdeğerliği
- FeSiMg: Ferro Silisyum Magnezyum
- Kg: Kilogram
- Mg: Magnezyum
- Mn: Mangan
- MPa: Megapaskal
- mm: Milimetre
- P: Fosfor
- S: Kükürt
- Sb: Antimon
- Si: Silisyum
- Sn: Kalay
- Ti: Titanyum

### Kısaltmalar

- ASTM: Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu
- BMS: Bulut Makine Sanayi
- CE: Karbon Eşleniği
- DDK: Dökme Demir Küresel
- DIN: Alman Standartları Enstitüsü
- EN: Avrupa Standartları
- INCO: Uluslararası Nikel Grubu
- KGDD: Küresel Grafitli Dökme Demir
- HB: Brinell Sertlik

## 1. GİRİŞ

Dökme demirler, mukavemet, sertlik, işlenebilirlik, aşınma direnci ve korozyon direnci gibi mekanik özellikler gösterirler. Hem üretimlerinin kolay hem de maliyetlerinin düşük olmasından dolayı endüstride yaygın olarak kullanılan mühendislik malzemeleridir. Dökme demirin genel bileşenleri Demir (Fe), Karbon (C) ve Silisyumdur (Si). Küresel grafitli dökme demirler (KGDD) de dökme demirlerin bir çeşididir. Nodüler, küresel ya da sfero olarak da bilinmektedirler. Adını matris içindeki Karbonların küresel şekilde birleşmesinden almaktadır. (Çelik, 2001)

KGDD, 1943 yılında, International Nickel Company (INCO) araştırma laboratuvarlarında, ergimiş metale Magnezyum (Mg) eklenerek elde edilmiştir. (Demirlek, 2013) 1948'de ABD'de P. Gagnebin ve arkadaşları, İngiltere'de ise H. Morrogh ve W. J. Williams'ın üretimi ile dökme demirler ailesinde yerini almıştır. (Aydoğuş, 2019)

Dökme demirlerde aşılamanın da ayrıca önemi vardır. Bu aşılama KGDD'de oldukça önemlidir. Grafit kürelerinin şeklini, ergimiş metalin döküm süresini, kürelerin boyutlarını ve kürelerin sönümlenmeden döküm sonuna kadar kalmalarında aşılamanın önemi oldukça etkilidir. Ticari olarak birçok KGDD aşısı piyasada mevcuttur. Bunlardan bazıları Baryum, Silisyum ve Lantan esaslı aşılardır. Her bir aşının döküme ve döküm sonrası malzemeye etkisi farklıdır. Bu aşılardan kullanım miktarları da malzeme kalitesi ve özellikle mikroyapı üstünde etkili olmaktadır.

Küresel grafitli dökme demirler dünyada bazı standartlara göre sınıflandırılmıştır. Alman DIN 1963 standardına göre GGG önağıyla geçer. Bu sınıflandırmadaki GGG-60 malzeme yüksek aşınma direnci ve mukavemet değerlerine sahip bir metaldir. Bu nedenle özellikle kırıcı gövdeler, konveyör dirsekleri, pres makinaları, krank pres dişlileri ve pompaların, bu malzeme ile üretimi tercih edilmektedir. (Karadeniz ve Çolak, 2016)

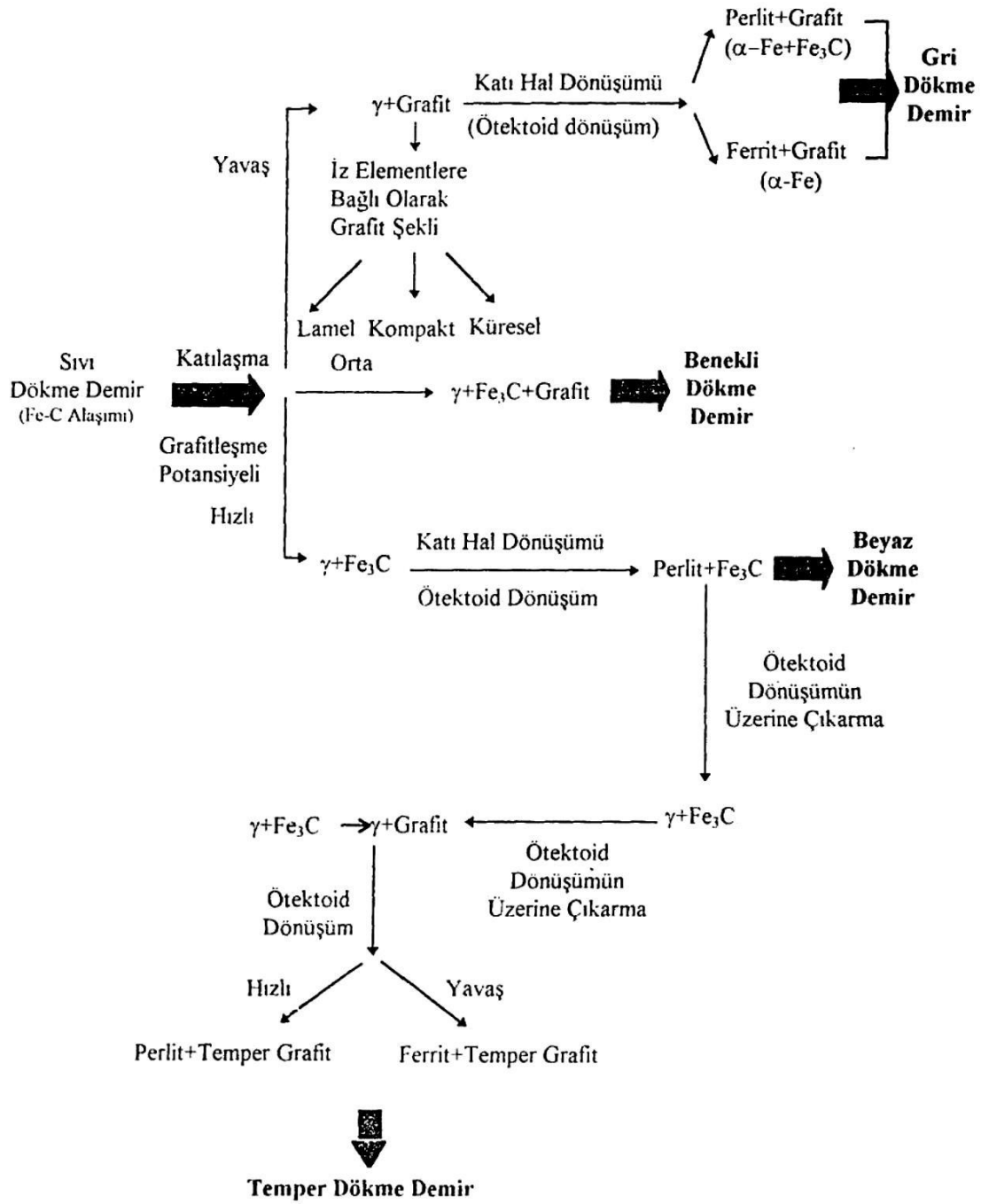
## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1 Dökme Demirler

Dökme demirler, geniş bir demir alaşımı ailesi içinde tanımlanırlar. Ötektik bir noktada katılaşılan Demir- Karbon esaslı dökme demirler, çeşitli oranlarda Silisyum (Si), Mangan (Mn), Fosfor (P), Kükürt (S) ve eser miktarda Titanyum (Ti), Antimon (Sb) ve Kalay (Sn) ihtiva ederler. (Stefanescu, 2008) Dökme demirler çeliklere göre yüksek Karbon ve Silisyum içeriğine sahiptir. (Stefanescu, 1990) Dökme demirler Karbon oranı %2 ile %6,67 arasında değişen demir Karbon alaşımları olmalarına rağmen, yüksek Karbon ihtiva eden dökme demirleri çok gevrek olması nedeniyle, ticari olarak üretilen dökme demirlerde Karbon oranı %2-4 arasında olmaktadır. Ana alaşım elementi olarak %1- 3,5 Silisyum da içermektedir. (Çelik, 2001) Bu elementlerden başka bileşimlerinde Mangan, Fosfor ve Kükürt de bulunur. Ayrıca, istenen mekanik özelliklere göre dökme demir tipine de bağlı olarak Nikel, Krom, Molibden (Mo), Magnezyum, Alüminyum (Al), Titanyum ve Bakır (Cu) gibi elementler de dökme demirin bileşiminde bulunabilir. (Demirlek, 2013)

Tarihsel olarak dökme demirlerin ilk sınıflandırılması kırılma yüzeyleri baz alınarak yapılmıştır. Bunlar beyaz demir ve gri dökme demirdir. Metal biliminin gelişmesiyle birlikte mikroyapılar baz alınarak sınıflandırma yapılmıştır. Bunlar grafit şekillerine göre ve matris yapılarına göreler. Grafit şekillerine göre lamel grafitli, küresel grafitli ve vermiküler grafitlidir. Matris yapılarına göre ferritik, perlitik, östenitik martenzitik ve beynitiktir. (Stefanescu, 1990)

Genel olarak mikroyapılarına göre sınıflandırılan dökme demirlerin mikroyapılarını, içeriğindeki Karbon oranı ve alaşım elementleri, katılma esnasında ya da dökümden sonra soğuma hızı ve daha sonra uygulanan ısı işlem gibi faktörler etkiler. Şekil 2.1'de dökme demirlerin üretimi ve yapıları şematik olarak gösterilmektedir. (Sevgi, 2019)



Şekil 2.1 Dökme demirlere ait mikroyapıya göre sınıflandırma (Sevgi, 2019)

Dökme demir yapısında bulunan Karbon, Silisyum, Fosfor gibi alaşım elementlerinin miktarındaki değişiklik, sıvılaşıma ve katılaşıma sıcaklığı, ötektik bileşim gibi parametreleri, bununla birlikte mekanik özellikleri de etkiler. Bu etkinin derecesi Karbon eşdeğeri ( $C_{eş}$ ) parametresi ile hesaplanır. (Çelik, 2001)

Denklem 2.1’de karbon eşdeğeri hesaplaması verilmektedir. (Çetin, 2016)

$$CE = \%C + \frac{\%Si + \%P}{3} \quad (2.1)$$

Bu formül alaşımın ötektik, ötektik altı veya ötektik üstü kompozisyonunda olup olmadığı hakkında bilgi vermektedir. Karbon eşdeğeri %4,25 üzerinde ise ötektik üstü, altında ise ötektik altı, %4,25 ise ötektik yapı vardır. Ötektik altı kompozisyona sahip alaşımlarda ergime sıcaklığı bileşime bağlı olarak değişir. (Demirlek, 2013)

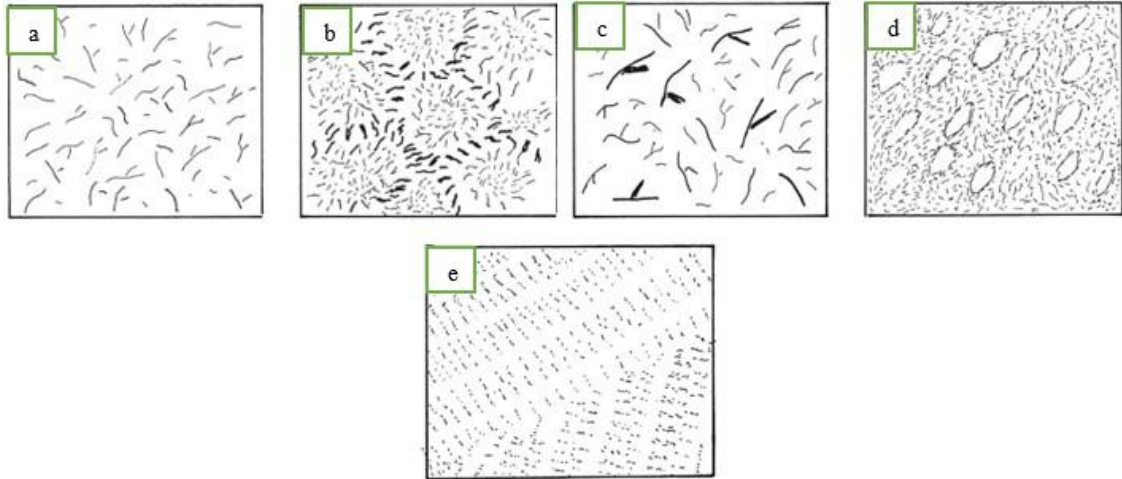
### 2.1.1 Beyaz dökme demir

Dökme demir malzemelerde, düşük Silisyum içeriği ve stabilize edici elementlerin varlığı ile yüksek soğutma hızında grafit oluşumu engellenmektedir. Karbon, yapıda genellikle karbürler oluşturmakta ve kırılma yüzeylerinde bu karbürlerden kaynaklı beyaz bir görüntü oluşmaktadır. Genellikle beyaz dökme demirler ötektik altı alaşımlardır. (Fırtına, 2019) Bu kırılma yüzeyi görüntüsü nedeniyle de bu dökme demirlere beyaz dökme demirler denilmektedir. Beyaz dökme demirler sert ve aşınmaya dayanıklıdır. Bu yüzden genellikle aşınmanın yüksek olduğu ve yüksek sertlik istenen işlerde kullanılmaktadır. (Karayel, 2019)

### 2.1.2 Gri dökme demir

Karbonların grafit yaprakları(lamelleri) şeklinde oluşturduğu Demir-Karbon alaşımlarına gri dökme demir denir. Gri dökme demirler gerçekte demir Karbon-Silisyum alaşımı olup ötektik sıcaklığında östenitin katı eriyik olarak ihtiva edebileceğinden fazla Karbonu içeren alaşımlardır. Bileşimdeki bu fazla Karbon grafit lamelleri halinde çöker. Gri dökme demirler içerik olarak %1,7 ile %4,5 Karbon ve %1 ile %3 Silisyum içerirler. (Özcan, 2018)

Gri dökme demirin mikroyapısı perlit matrisi içerisine yayılmış grafit lamellerinden oluşmaktadır. Grafit lamellerinin oranı ve mikroyapı içerisindeki dağılımı malzeme özelliklerini etkilemektedir. Grafitin miktarı, boyutu ve dağılımı malzeme özelliklerini belirlemede önem taşımaktadır. Grafitin mikroyapı içerisindeki şekli ve dağılımı farklı tipte gri dökme demirleri oluşturmaktadır. (Karayel, 2019)

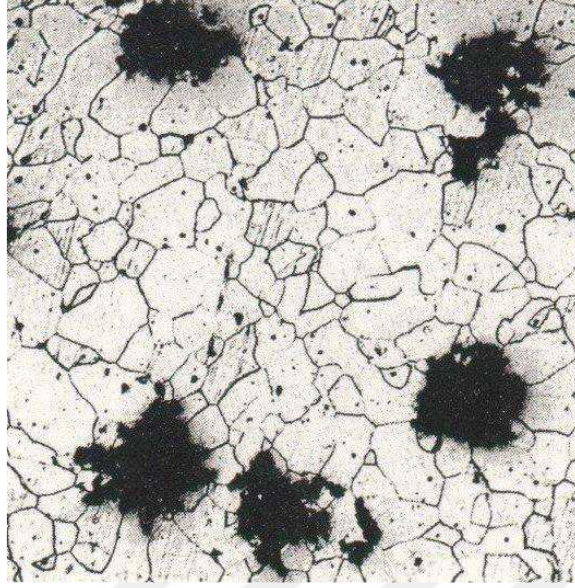


**Şekil 2.2** ASTM A247 standardına göre lamel (gri) grafitli dökme demirin mikroyapı görüntüleri (100x) a) A tipi grafit eş dağılımlı düzensiz yönelimli b) B tipi grafit çiçeksi kümelenme düzensiz yönelimli c) C tipi grafit farklı büyüklükte düzensiz yönelimli d) D tipi grafit dentritler arası düzensiz yönelimli e) E tipi grafit dentritler arası düzensiz yönelimli (Elliott, 1988)

### 2.1.3 Temper dökme demir

Temper dökme demir, sert ve kırılğan beyaz dökme demirin temperleme veya yumuşatma tavlaması denilen ısı işlem ile yapıdaki karbürlerinin dağıtılması sonucu oluşan yüksek mukavemetli, sünek, iyi işlenebilme özelliğine sahip, ayrıca mikroyapısı ferrit ve temper karbonundan meydana gelen bir dökme demir tipidir. (Çelik, 2001) Karbon içeriğinin büyük bir kısmı ya da tamamı temper karbonu denilen düzensiz rozetler şeklindedir (Aytaçoğlu, 2012)

Endüstriyel olarak üretilen ve en çok kullanılan ferritik temper dökme demirler, üretime göre siyah ve beyaz temper döküm olarak ikiye ayrılır. Elektrikli ergitme ocağında, oksitleyici bir atmosfer içerisinde Karbonun indirgenmesiyle beyaz temper dökme demir elde edilirken, siyah dökme demirler beyaz dökme demirlerin dekarbürizasyonu veya oksidasyonuna sebep olmayacak atmosferlerde tavlama denilen ısı işlem sonucunda elde edilmektedir. (Sevgi, 2019) Şekil 2.3’de tipik temper dökme demirin mikroyapıları verilmiştir. (Aytaçoğlu, 2012)



Şekil 2.3 Temper dökme demirin mikroyapısı (Aytaçoğlu, 2012)

#### 2.1.4 Vermiküler (kompakt) grafitli dökme demir

Vermiküler grafitli dökme demirler sahip oldukları mekanik özellikler açısından gri(lamel) ve KGDD arasında bir yerde bulunmaktadır. Vermiküler grafitli dökme demirler, yeteli olmayacak kadar magnezyum ve seryum ilaveleri sırasında tesadüfen bulunmuştur ve 1965'ten itibaren dökme demir ailesindeki yerini almıştır.

Vermiküler grafitli dökme demirler, içerisinde hiç lamel grafit olmayan, ortalama %20 oranında nodüler grafit ve %80 oranında vermiküler grafit olan bir mikroyapıya sahiptir. (Aytaçoğlu, 2012) Vermiküler dökme demirde bulunan grafitler gri dökme demirde olduğu gibi yapraksı bir şekilde ve birbirine bağlanmış halde ince tabakalar halindedir. Bu durum kompleks maçaların dökümünde kolaylık sağlayarak hatasız bir üretim imkânı sağlar. Vermiküler grafitlerin yuvarlatılmış ve ara açıklıkların kısa olan uçları, daha iyi bir mukavemet, kayda değer bir süneklik ve gri dökme demirden daha iyi bir işlenebilirlik faydası sağlamaktadır. Bu grafitlerin birbirine bağlı halde olması, daha fazla ısı iletkenliği, daha iyi bir sönümlenme özelliği ve küresel grafitli dökme demirlerde elde edilen daha iyi bir talaşlı imalat özelliği imkânı sunmaktadır. (Dinçtosun, 2019)

## 2.2 Küresel Grafitli Dökme Demirler

Küresel grafitli dökme demirler ilk olarak 1948 yılında ABD’de P. Gagnebin ve arkadaşları, İngiltere’de H. Morrogh ve W. J. Williams tarafından üretilip, dökme demirler ailesine eklenmiştir. (Demirlek, 2013) Yüksek mukavemet özellikleri sebebi ile döküm endüstrisinde büyük öneme sahip olan KGDD hakkında mühendislik malzemesi olarak geçmişten günümüze de çok önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Ayrıca işlenebilirlik, üretimindeki düşük maliyet gibi özellikleri sebebi ile rekabet gücü artmıştır. (Sevgi, 2019)

KGDD 1940’ların sonlarından beri bilinmekte ve önemi giderek artmaktadır. KGDD tüm dökme demir üretiminin yaklaşık %40’ına tekabül etmektedir ve günden güne de büyümektedir. (Brown, 2000) 2016 yılının ortalarında Türkiye’deki üretim verilerine bakıldığında KGDD üretiminin gri dökme demire denk bir oranda olduğu görülmektedir. (Çetin, 2016) Küresel grafitli dökme ayrıca nodüler dökme demir ve sfero dökme demir olarak da bilinmektedir. (Stefanescu, 2008)

Karakteristik olarak lamel grafitli dökme demir ile çeliğin özelliklerini kendisinde barındıran küresel grafitli dökme demirler bu özellikleri sebebiyle taşıt endüstrisi alanlarında tercih edilmektedir. Küresel grafitli dökme demirlerin iyi işlenebilirlik, maliyetinin düşüklüğü gibi özelliklerinin yanı sıra yorulma dayanımı, gri dökme demire göre yüksek elastite modülü özelliğinden dolayı krank mili üretiminde, yüksek akma dayanımı ve aşınma direnci gibi özelliklerinden dolayı ise dişli yapımında tercih edilmektedir. (Dinçtosun, 2019)

Klasik bir KGDD’nin ana kompozisyonu %3,7 Karbon, %2,5 Silisyum, %0,3 Manganez, %0,01 Kükürt, %0,01 Fosfor ve %0,04 Magnezyumdur. Küreselleştirme işleminde Magnezyum ya da Seryum kullanılabilir. Magnezyum çeşitli formlarda Ni-Mg, Ni-Si-Mg, Fe-Si-Mg şeklinde ya da Mg kok olarak eklenebilir. (Elliott, 1988) Küresel grafitli dökme demir üretiminde Magnezyum ve Seryum kullanılmasının nedeni ergimiş metalden Kükürt ve Oksijeni uzaklaştırmaktır. Bu sayede yüksek yüzey gerilimi grafitlerin küresel şekilde büyümesini sağlamaktadır.

### 2.2.1 Küresel grafitli dökme demirlerin standartları

KGDD, Türk Standartları Enstitüsü’ne göre DDK (Dökme Demir Küresel) şeklinde gösterilir. DDK sonuna gelen sayılar minimum çekme mukavemetini  $\text{kg/mm}^2$



cinsinden temsil ederler. (Aydoğuş, 2019) Örnek vermek gerekirse DDK60 şeklinde gösterilen malzemenin çekme mukavemeti minimum  $60\text{kg/mm}^2$ , akma mukavemeti minimum  $40\text{kg/mm}^2$  uzaması minimum %3 ve sertliği ise 192-269 BHN'dir. Çizelge 2.1'de Türk Standartları Enstitüsü'ne göre küresel grafitli dökme demirlerin sınıflandırılması gösterilmektedir. (Demirlek, 2013)

**Çizelge 2.1** Küresel grafitli dökme demirlerin TSE'ye göre sınıflandırılması (Demirlek, 2013)

Kısa Gösteriş	Çekme Muk. min. $\text{Kg/mm}^2$	Akma Muk. min. $\text{Kg/mm}^2$	Uzaman (%) min.	Sertlik (HB)	Mikroyapı
DDK40	42	28	12	140-201	Daha çok Ferritik
DDK50	50	35	7	170-241	Ferritik+ Perlitik
DDK60	60	40	3	192-269	Ferritik+ Perlitik
DDK70	70	45	2	229-302	Daha çok Perlitik
DDK80	80	50	2	248-352	Perlitik
DDK35.3	35	50	22	-	Ferritik
DDK40.3	40	22	18	-	Ferritik

Avrupa standardı olan EN 1563'de KGDD, GJS olarak tanımlanmaktadır ve bu harfleri min. çekme ve min. % uzamayı ifade eder. Çizelge 2.2'de EN 1563'e göre sınıflandırma gösterilmektedir. (Demirlek, 2013)

**Çizelge 2.2** Küresel grafitli dökme demirlerin EN 1563 standardına göre sınıflandırılması (Demirlek, 2013)

SINIF	Çekme Muk. min. (MPa)	Akma Muk. min. (MPa)	Uzaman (%) min.	Sertlik (HB)	Mikroyapı
EN-GJS-350-22	350	220	22	160'dan az	Ferritik
EN-GJS-400-18	400	250	18	130-175	Ferritik
EN-GJS-450-10	450	310	10	160-210	Ferritik
EN-GJS-500-7	500	320	7	170-230	Ferritik+Perlitik
EN-GJS-600-3	600	370	3	190-270	Perlitik+Ferritik
EN-GJS-700-2	700	420	2	225-305	Perlitik

Alman standardında ise DIN 1693'e göre küresel grafitli dökme demirin sınıflandırması Çizelge 2.3'de gösterilmektedir. (Demirlek, 2013)

**Çizelge 2.3** Alman DIN 1693 standardına göre küresel grafitli dökme demirlerin sınıflandırılması  
(Demirlek, 2013)

SINIF	Çekme Muk. min. (MPa)	Akma Muk. min. (MPa)	Uzaman (%) min.	Sertlik (HB)	Mikroyapı
GGG 35-3	350	220	22	-	-
GGG 40-3	400	250	18	-	-
GGG 40	400	250	15	120	Ferritik
GGG 50	500	320	7	156	Ferritik+Perlitik
GGG 60	600	380	3	170	Perlitik+Ferritik
GGG 70	700	440	3	302	Perlitik
GGG 80	800	500	2	210	Perlitik

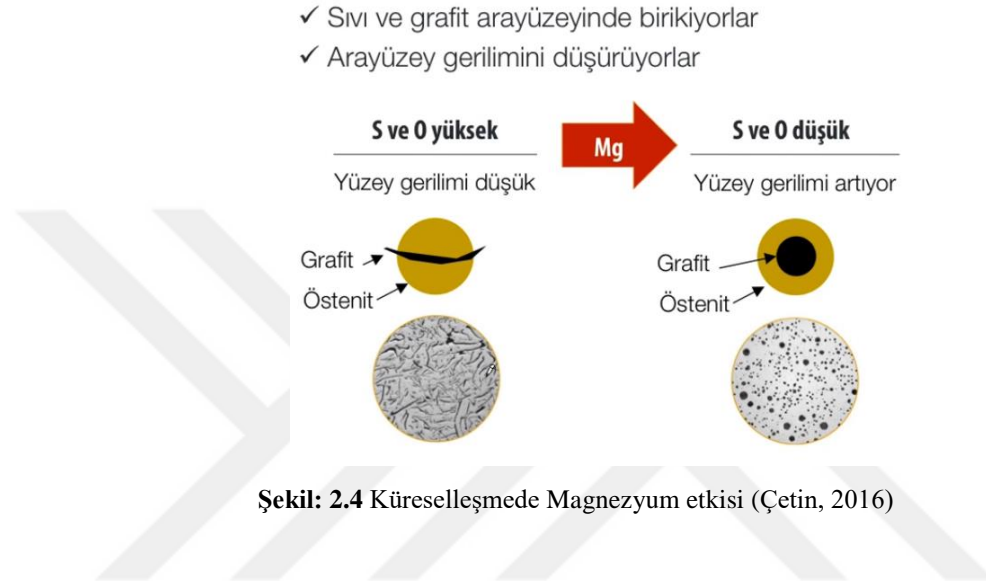
### 2.3 Küresel Grafitli Dökme Demirin Üretimi

KGDD'nin karbon eşdeğerliği 4,3'e eşittir. Ancak çoğu KGDD'nin karbon eşdeğerliği 4,2 ile 4,5 arasında tutulmaktadır. Literatürdeki çalışmalarda göstermektedir ki yüksek karbon eşdeğerliğine sahip bir KGDD kompozisyonunda küreler daha kompakt ve daha az şekil bozukluğuna sahiptir. Ancak yüksek karbon eşdeğerliği yüksek olasılıklı olarak karbon yüzmesi hatasına neden olmaktadır. Buna ek olarak, 4,3'den büyük karbon eşdeğerliği yaygın olarak chunky hatasına sebebiyet vermektedir. Bu nedenle kompozisyonu ötektik noktada ya da çok az yukarısında tutmak gerekmektedir. (Haycock, 2011)

KGDD üretiminde en önemli element Magnezyum ve Seryumdur. Küreselleştirme işlemi bu iki elementle yapılır. Ticari olarak sanayide ekonomik olmasından kaynaklı Magnezyum alaşımları kullanılmaktadır. En çok kullanılanı ise Fe-Si-Mg alaşımıdır. Belirli bir oranda kullanılan bu Magnezyum alaşımı ergimiş metaldeki Kükürt ve Oksijeni uzaklaştırarak ortamdaki Karbonların lamel şeklinde değil de küresel bir şekilde çökmesini sağlamaktadır. Lamel grafitli dökme demirlerde Karbon yani grafit yapraksı şekilde çökelmekte, KGDD'de ise grafitler küre şeklinde çökelmektedir. Grafit kürelerinin büyümesi Karbonun östenit fazından difüzyonu ile gerçekleşmektedir. (Demirlek, 2013)

Küreselleştirme işlemi belirli bir madeni başka bir potaya alıp belirli bir oranda Ferro-Silisyum-Magnezyum alaşımı ekleyerek yapılmaktadır. Magnezyumun ergimiş metale etkisi, metal içindeki Kükürt ve Oksijeni bağlayarak uzaklaştırıp yüzey gerilimini

arttırmak ve grafitin lamel şeklinde değil de küre şeklinde çökmesini sağlamaktır. Oksijen ve Kükürt yüzey aktif elementlerdir. Bunlar sıvı ve grafit ara yüzeyinde birikmektedirler ve ara yüzey gerilimini düşürmektedirler. Magnezyum eklendiğinde ergimiş metalden kükürt MgS ve oksijen MgO olarak uzaklaştırılmaktadır. Böylece yüzey gerilimi artmaktadır. Bu sayede Karbon atomları küre şeklinde grafit oluşturmaktadır. Magnezyumun küreselleştirmedeki etkisi Şekil 2.4’de gösterilmektedir. (Çetin, 2016)



### 2.3.1 Alaşım elementlerinin etkisi

KGDD’de başlıca alaşım elementleri Karbon ve Silisyumdur. Karbon grafitin temel taşıdır. Bunlardan başka mikroyapıyı ve mekanik özellikleri etkileyen alaşım elementleri de mevcuttur. Bunlar Krom, Mangan, Kükürt, Fosfor ve Bakır elementleridir.

#### 2.3.1.1 Karbon

Karbon, genel olarak dökme demirlerin ana bileşenidir. Yapıda %3-4 civarında bulunur. KGDD’de Karbon oranı arttıkça grafit oranı ve küre sayısı artmaktadır. Küre sayısının artması ile karbür oluşumu azalır. Karbon oranı artmasıyla perlit miktarı azalır ferritik yapı artar. Akışkanlık artmakla birlikte sıvı madenin dökülebilirliği de artmaktadır. Karbonun yapıda çok yüksek oranda bulunması grafit yapılarının hatalı oluşmasına ve mekanik özelliklerde olumsuz etkilere neden olur. (Çetin, 2016) (Yollu, 2020) Ne kadar yüksek Karbon o kadar iyi mekanik özellik demek değildir. Karbon

eşdeğerliğine bakıldığında %4,6'nın üzerinde olan kalın kesitli parçalarda karbon yüzmesi hatası meydana gelebilir.

### **2.3.1.2 Silisyum**

Silisyum da dökme demirlerin ana bileşenidir. KGDD'de %2-3 seviyesinde bulunur. Grafit yapıcıdır. Ötektik katılma esnasında görülen aşırı soğuma miktarını düşürür. Silisyum bir ferrit yapıcı olarak davranır. Mukavemeti ve sertliği artırır. Ancak yapıdaki Silisyum oranı %4,3'ü geçerse çekme ve akma değerleri büyük ölçüde düşer. (Yollu, 2020) (Stets, Löblich, Gassner ve Schumacher, 2014) (Çetin, 2016)

### **2.3.1.3 Manganez**

Karbür yapıcı özelliği vardır. KGDD'de %0,15-0,8 oranında bulunur. Perlit oluşumuna katkı sağlar. Sertlik değerini artırır. Kalın kesitli parçalarda sertliğin homojen şekilde dağılmasını engeller. Segregasyona yol açar. (Yollu, 2020)

### **2.3.1.4 Krom**

KGDD'de maksimum olarak %0,1'e kadar olmalıdır. Karbür yapıcı olarak ilk akla gelen elementtir. Çil oluşumunu destekler ve malzemenin çekme, süneklik ve işlenebilirliğini olumsuz yönde etkiler. (Yollu, 2020) (Çetin, 2016)

### **2.3.1.5 Kükürt**

KGDD'de Kükürt çok önemli ve istenmeyen bir elementtir. Kükürt Karbonun küresel şekilde büyümesini engeller. Ortamdan uzaklaştırılması gerekmektedir. Küreselleştirmeden önce maksimum %0,025 ve küreselleştirdikten sonra %0,01'e kadar ergimiş metalde olmalıdır. (Yollu, 2020)

### 2.3.1.6 Bakır

KGDD'de %1'e kadar Bakır kullanılmaktadır. Yapıyı perlit yapmaktadır. Mukavemet ve sertlikte artış göstermektedir. Isıl işlem yapılacak parçalarda ayrıca Bakır sertleşebilme özelliğini arttırmaktadır. (Yollu, 2020)

### 2.3.1.6 Fosfor

Fosfor sıvı metalin akışkanlığını arttırmaktadır. %0.04'e kadar tolere edilebilir. Bu değer üzerinde mekanik özelliklerde düşüş görülür. (Yollu, 2020) Mikroyapıda görülen steadit yapıya neden olur. (Aydoğuş, 2019)

### 2.3.2 Küreselleştirme işlemi

Küresel grafitli dökme demirlerin üretimi kısaca kompozisyonu belirli ergimiş metale başka bir potada Magnezyum ilavesiyle ergimiş metalin Kükürt ve Oksijenini alma işlemidir. Bir başka potadaki işleme tretman denir. Küreselleştirici olarak Magnezyum bu amaç için en etkili ve ekonomik elementtir. Magnezyum elementi Ferro-Silisyum-Magnezyum alaşımı olarak kullanılmaktadır. Küreselleştirme işlemi için kullanılan FeSiMg alaşımında yaklaşık %44-48 Silisyum %5,5- 6,6 Magnezyum %0,2-0,6 Kalsiyum %1,2 (maks) Alüminyum ve %0,4-0,8 toprak alkali metaller bulunmaktadır. Nihai olarak minimum %0,015-0,050 Magnezyum yeterli kabul edilir. (Demirlek, 2013)

Küreselleştirme işlemi için gerekli Magnezyum miktarı %0,01'den azdır. Ama eğer Magnezyum KGDD yapmak için eklenen tek element ise kullanılan miktar %0,02'den az olmamalıdır. Kükürt miktarına bağlı olarak eklenmesi gereken Magnezyum miktarı artabilir. Endüstride bu üst sınır %0,05 olarak alınmaktadır. (Aydoğuş, 2019) KGDD'in belirli bir kimyasal analizi tam olarak yoktur. Ancak genel kimyasal içeriği Çizelge 2.4'deki gibidir. (Karaman, 2011)

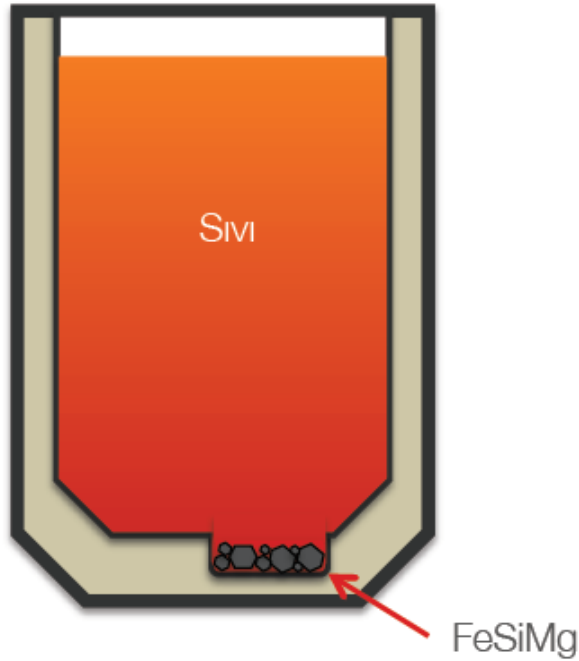
**Çizelge 2.4** Küresel grafitli dökme demirlerin genel kimyasal içeriği (Karaman, 2011)

% Karbon (C)	% Silisyum (Si)	% Mangan (Mn)	% Fosfor (P)	% Kükürt (S)	% Magnezyum (Mg)
3,00 – 4,00	2,00 – 3,00	0,1 – 0,9	0,10 (maks)	0,02 (maks)	0,030 –0,080

Bunlara ek olarak alaşım elementleri olarak istenilen standartlara göre Bakır, Nikel, Kalay, Molibden, Titanyum da kullanılmaktadır. Küreselleştirme işlemi birçok farklı yöntemle yapılmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

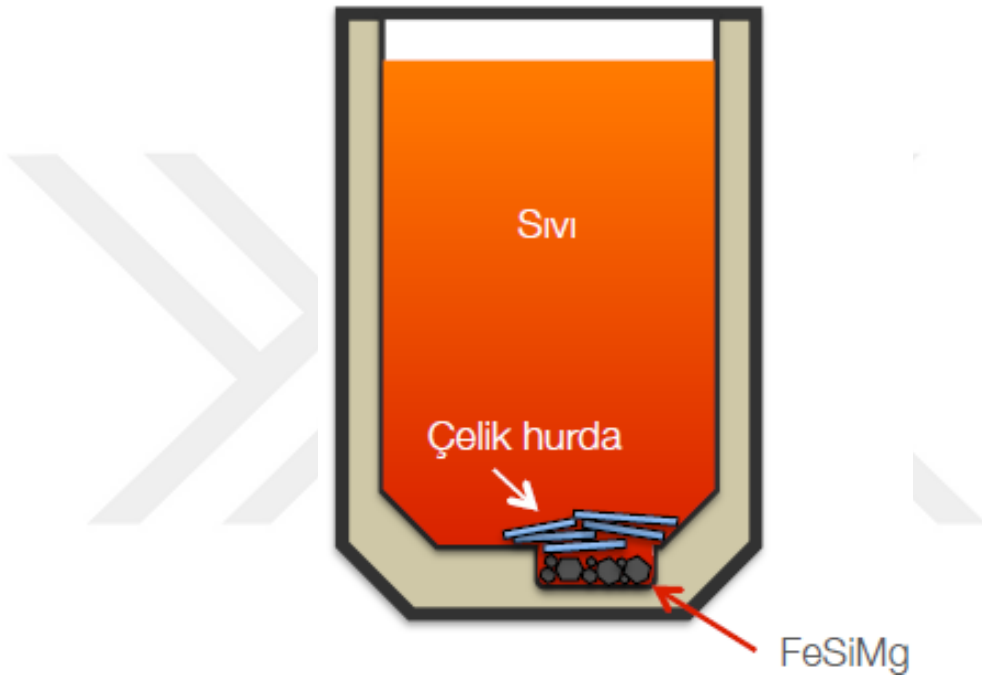
### 2.3.2.1 Açık pota yöntemi

FeSiMg alaşımı bir potanın dibine konur ve üstüne ocakta hazırlanan ergimiş metal eklenir. Küreselleştirme işlemi arasında en basit yöntemdir. Bu yöntemde Magnezyum yoğunluğu ergimiş demire göre daha az olduğu için yüzme eğilimi gösterir. İşlem verimi %20-30 arasındadır. (Çetin, 2016)

**Şekil 2.5** Açık pota yöntemi şematik gösterimi (Çetin, 2016)

### 2.3.2.2 Sandviç yöntemi

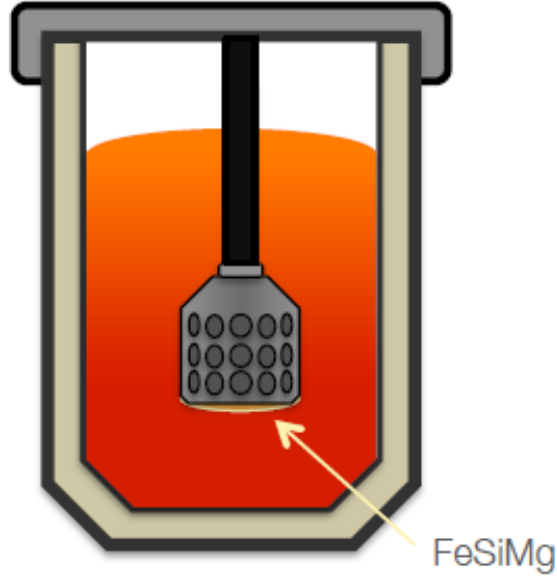
Küreselleştirici alaşımın potada ergimiş metalin üzerinde yüzmesini engellemek için üzeri genellikle çelik hurda ile kapatılır. Daha sonra ergimiş metal potaya alınır. Bu yöntemin dezavantajı ise örtü olarak kullanılan malzeme madeni soğutabilmektedir. Bu yöntemde verim %40-45 civarına çıkabilmektedir. Bu metot, Mg oranı %10'dan daha az olan küreselleştirici alaşımların kullanımlarında daha uygundur. (Brown, 2000)



Şekil 2.6 Sandviç metodu gösterimi (Çetin, 2016)

### 2.3.2.3 Daldırma yöntemi

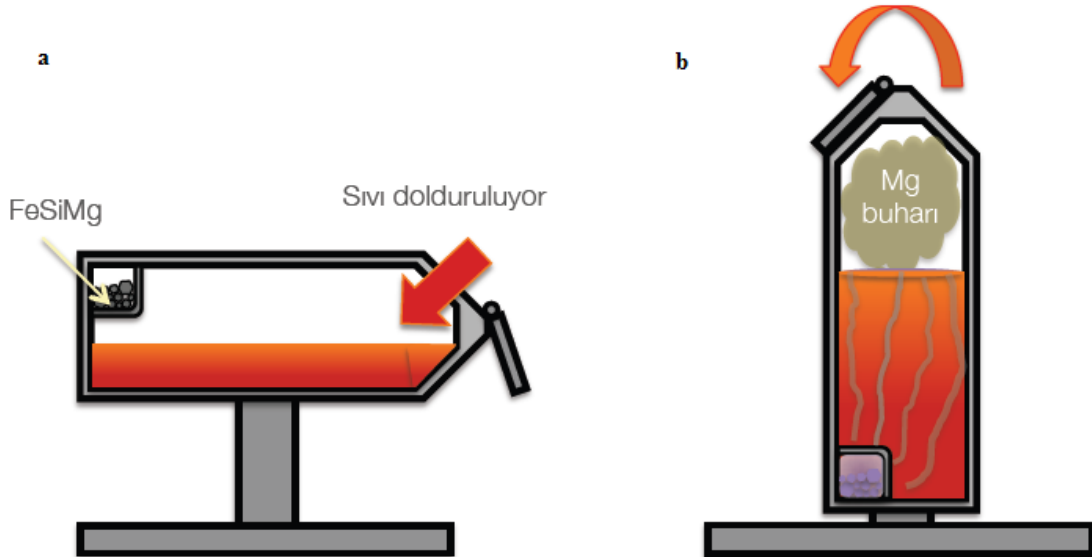
Bu yöntemin asıl amacı küreselleştirici FeSiMg alaşımının ergimiş metal içerisinde yüzmesini engellemektir. Bir aparat yardımıyla Magnezyum alaşımı ergimiş metalin içine daldırılır. Verim %50 ye kadar çıkmaktadır. Bu yöntemin dezavantajı ise daldırma aparatının ergimiş metali soğutmasıdır. (Aydoğuş, 2019)



Şekil 2.7 Daldırma yöntemi gösterimi (Çetin, 2016)

#### 2.3.2.4 Devirmeli pota (konveyör) yöntemi

Bu yöntem dökümhanelerde en çok kullanılan yöntemler arasındadır. Tretman potasına Magnezyum alaşımı koyulur. Daha sonra pota yan çevrilir ve içine ergimiş metal alınır. Kapak kapatılır ve pota cep tarafına doğru çevrilmek suretiyle ergimiş metal ile küreselleştirici alaşım buluşturulur. Kapağın etkisiyle Magnezyum buharının da verime etkisi oldukça fazladır ve bu yöntemde verim %50-60'ı bulmaktadır.

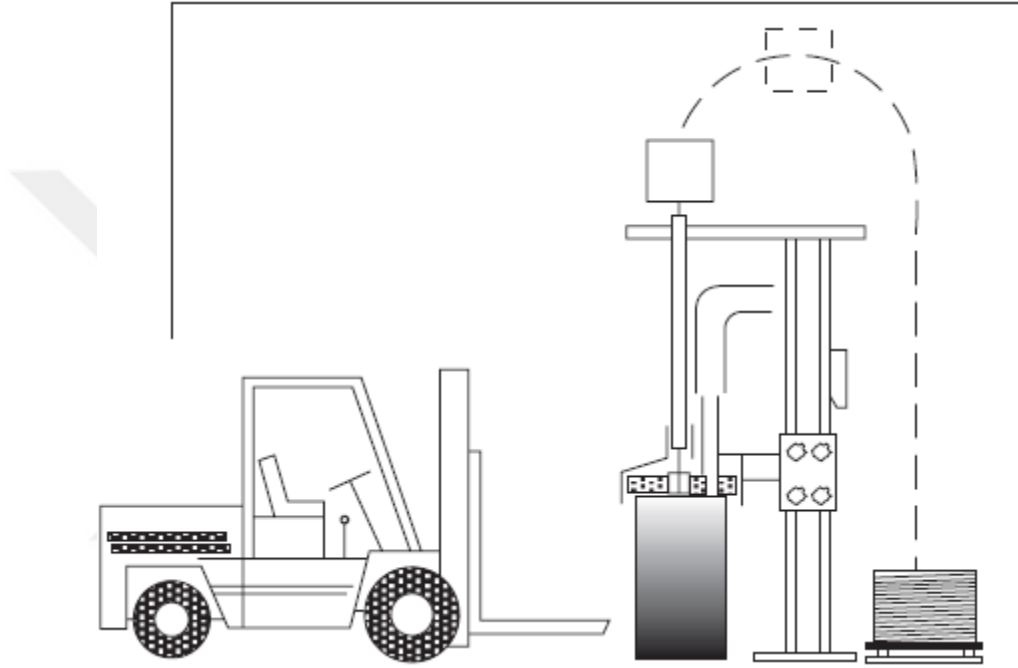


Şekil 2.8 Devirmeli (konveyör) pota yöntemi (Çetin, 2016)



### 2.3.2.5 Tel tretman yöntemi

İçinde Magnezyum şerit bulunan çelik boru, sarılı olduğu bobinden besleyici makine yardımıyla sürekli olarak ergimiş metal içerisine gönderilir. Tel Magnezyumun ne kadar kullanılması gerektiği ergimiş metal içindeki Kükürt oranına bağlıdır. Tel kalınlığı 4 mm'den 13 mm'ye kadar değişebilir. Yaklaşık olarak 9 mm kalınlığında tel, dakikada 30 – 50 metrelik bir beslemeyle 2 dakikalık bir sürede 1500 kg ergimiş metalin işlem görmesini ve küreselleşmesini sağlar. (Karaman, 2011)



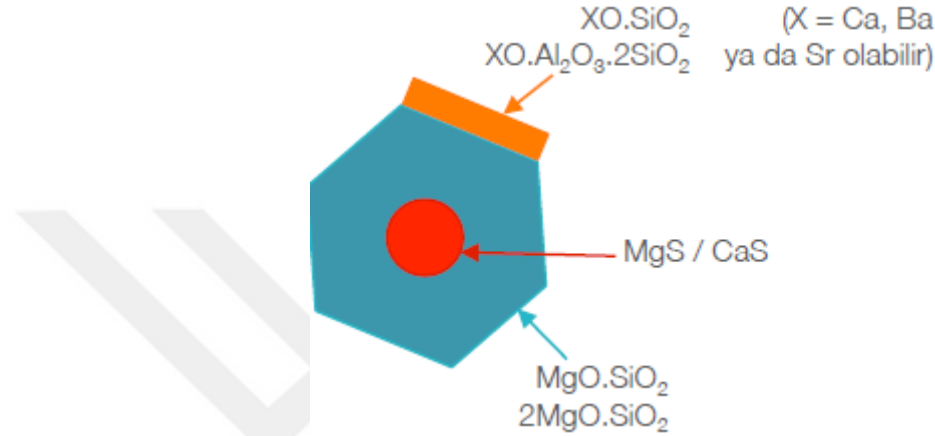
Şekil 2.9 Tel tretman şematik gösterimi (Brown, 2000)

### 2.3.3 Aşılama işlemi

Aşılama işlemi tretman potasında yapılır. Amaç ergimiş metalin düzensiz katılaşmasını, grafit kürelerinin fazla büyümesini engellemek ve karbür oluşumunu önlemektir. (Karaman, 2011) Aşılamadaki asıl amaç kürelerin oluşması için başlangıç çekirdekleri ergimiş metale atmaktır. Aşılama ayrıca döküm süresini ve kürelerin sönümlenme süresini uzatmak için yapılır.

Literatürde aşılama ile ilgili çeşitli farklı teoriler vardır. Bu teorilerden en önemlisi oksit teorisi. Bu teoriye göre aşılama işleminde  $\text{SiO}_2$  çekirdek çökeltileri oluşur ve Karbon bu  $\text{SiO}_2$  çekirdeklerinin üstünde büyür. Ancak bu çekirdekler diğer farklı yabancı çekirdeklerin varlığına da bağlıdır. Bu yabancı çekirdekler Oksijen ile bağ kurabilen

elementler tarafından oluşurlar. (Maschke ve Jonuleit, 2010) Sıvı içerisine eklenen aşı ilk olarak çözünmektedir. Yaklaşık 1  $\mu\text{m}$  civarında CaS ve MgS gibi inklüzyonları oluşturmaktadır. Akabinde bu sülfid inklüzyonları üzerinde  $\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$  gibi silikatlar oluşmaktadır. Daha sonra bu silikatların üzerinde Alüminyum, Baryum, Kalsiyum ve Stronsiyum gibi elementleri içeren farklı silikatlar çekirdeklenmektedir. Grafit ise, son aşamada meydana gelen bu silikatlar üzerinde çekirdeklenmektedir. (Çetin, 2016)



Şekil 2.10 Oksit ve sülfid teorisi gösterimi (Çetin, 2016)

Aşılama işleminin etkisi zamana bağlıdır. Buna aşının sönümlenme süresi denmektedir. Aşının sönümlenme zamanı aşının ilavesiyle birlikte başlar ve ötektik katılma sıcaklığına gelince sona erer. (Maschke ve Jonuleit, 2010) Aşılama ile küre sayısı artabilir, kürelerin sönümlenme süresi uzar. Bu sayede döküm daha uzun süre devam edebilir. Küreselleştirme işleminden sonra yaklaşık 7 dakika içinde döküm yapılmalıdır. Aşılama bu süreyi uzatmaktadır.

Kalın kesitli parçalarda katılma süresi uzadığı için aşılama malzeme etkinliği azalmasından dolayı daha az sayıda ve daha büyük küreler oluşur. Kalın kesitli parçalarda geç aşılama ve döküm sıcaklığını düşük tutmak küre sayıları artırılabilir. Geç aşılama metal akışında ya da kalıp içinde yapılmalıdır. (Aydoğuş, 2019) Aşılama, çil oluşma eğilimini azaltmaktadır. Böylece işlenebilirliği kolaylaştırmakta ve servis süresinde kırılmayı azaltmaktadır. (Olsen ve Skaland, 2007)

Ferro-Silisyumlu aşılama malzemelerinde Alüminyum, Baryum, Lantan, Kalsiyum ya da Stronsiyum gibi elementler bulunabilmektedir. Potada aşılama akan metale aşılama ve kalıpta aşılama yapılabilir.

### **2.3.3.1 Aşılama yöntemleri**

Çeşitli aşılama yöntemleri mevcuttur. Bunlar ön aşılama, potada aşılama, akan metale aşılama, tel aşılama ve kalıp içi aşılama. Aşağıda bu aşılama yöntemlerine ayrı ayrı değinilmektedir.

#### **2.3.3.1.1 Ön aşılama**

Direkt olarak ocaktaki sıvı madene üzerinden yapılan aşılama. Bunun amacı madendeki çekirdeklenmeyi arttırmaktır. Silisyum karbür ilavesi de bir ön aşılama olarak kabul edilebilir. (Maschke ve Jonuleit, 2010)

#### **2.3.3.1.2 Potada aşılama**

Bu aşılama yöntemi en çok kullanılan yöntemdir. Sıvı maden potaya alınırken ya da KGDD'de küreselleştirme işlemi yapıldıktan sonra döküm potasına maden alınırken yapılan aşılama işlemidir. Bu yöntemde sıvı metal miktarı da göz önünde bulundurularak 0,6 ya da 6 mm arasında tane boyutunda olan aşılar kullanılır. (Maschke ve Jonuleit, 2010)

#### **2.3.3.1.3 Akan metale aşılama**

Bu yöntemde direkt olarak kalıbın içine akan metale aşılama verilir. Burada kullanılan aşılara ağız aşısı da denilmektedir. Madenin debisiyle orantılı olarak azar azar aşılama döküm sonuna kadar verilmektedir. Aşının tane boyutu da küçük olmalıdır. Avantajı ise geç aşılama yapıldığı için sönümlenme olmadan aşılama çalışmaktadır. (Maschke ve Jonuleit, 2010)

#### **2.3.3.1.4 Tel aşılama**

Tıpkı tel tretman yöntemi gibi bir çelik borudan ergimiş madene aşılama kontrollü bir şekilde verilir. Tel aşılama hem potada hem de döküm ocaklarında kullanılabilen bir yöntemdir. (Maschke ve Jonuleit, 2010)

### 2.3.3.1.5 Kalıp içi aşılama

Topuk aşısı olarak da bilinen bu yöntem en verimli yöntemdir. Aşı kalıp içinde yollukta veya havşada olur. Bu yöntem için kalıp şeklinde aşılar kullanılmaktadır. Aşı direkt olarak kalıbın içinde ergimiş madenle buluşur. (Maschke ve Jonuleit, 2010)

### 2.3.3.2 Ferro-Silisyumlu aşılardaki diğer elementler ve özellikleri

Endüstride kullanılan aşılar Ferro-Silisyumlu aşılardır. Bu aşılar içerik olarak farklı elementleri farklı oranlarla ihtiva etmektedir. Aşıların içeriğindeki diğer elementlerin özellikleri aşağıda verilmektedir.

#### 2.3.3.2.1 Kalsiyum

Kalsiyum çok güçlü bir oksijen gidericidir. Birçok aşılama alaşımlarında içinde bulunmaktadır. (Koch ve Soulas, 2014)

#### 2.3.3.2.2 Baryum

Baryum elementi hem ön şartlandırıcılarda hem de aşılarında tercih edilmektedir. Bunun başlıca nedenlerinden bir tanesi, Baryumun hem Oksijenle hem de Kükürt ile bileşik oluşturabilen bir element olmasıdır. KGDD üretiminde Magnezyumla gerçekleştirilen küreselleştirme işleminin amacı sıvı içindeki Oksijen ve Kükürt elementlerini kontrol etmek olduğu için, benzer bir etkiye sahip olan Baryum hem tretman öncesinde ön koşullandırıcı olarak, hem tretman sırasında Magnezyum alaşımını örten bir örtü tozu olarak, hem de tretman sonrasında aşılama olarak tercih edilmektedir. Tretman sonrasında eklenen Baryumlu aşılar ise, temel olarak Magnezyum tretmanının etkisi ve döküm süresini uzatmak için eklenmektedir. Bu nedenle Baryumlu aşılar, özellikle uzun döküm süresi gerektiren dökümhanelerde tercih edilmektedir. (Çetin, 2016) Baryum da Kalsiyum gibi etkili bir oksijen gidericidir. Ayrıca yüksek oranda çekirdek yapıcıdır. Ek olarak Baryum yüksek sıcaklık aralıklarında Kalsiyuma göre daha etkilidir. Baryum 1480°C üzerindeki ergimiş metale eklendiğinde çekirdek yapıcı bir ajan gibi davranmaktadır. Ancak 1370°C- 1430°C arasındaki sıcaklıkta Kalsiyum daha fazla etkilidir. (Koch ve Soulas, 2014)

### **2.3.3.2.3 Zirkonyum**

Zirkonyum sıvı metal içerisindeki birçok safsızlığa kimyasal afilitesi olan bir elementtir. Azot ve Kükürt ile tepkimeye girebilen bir Oksijen gidericidir. (Koch ve Soulas, 2014)

### **2.3.3.2.4 Bizmut**

Bizmut küresel grafitli dökme demirde nodül sayısını arttıran çok güçlü bir elementtir. (Koch ve Soulas, 2014)

### **2.3.3.2.5 Seryum**

Küresel grafitli dökme demirde Seryumun varlığı birçok aşının aşılama etkisini ve sönme özelliğini değiştirmektedir. Birçok aşılama Seryumun varlığı nodül sayısını arttırmakta, çil oluşumunu azaltmakta ve sönme süresini uzatmaktadır.

### **2.3.3.2.6 Lantan**

Literatürde Lantan ile ilgili ilk araştırmalar göstermiştir ki yalnız Lantan kullanımı işlenebilirliği arttırmaktadır. Ayrıca başka bir araştırmada Lantan elementi mikro çekinti karşıtı olarak tanımlanmaktadır. (Sicclaira, Margaria, Berthelet, ve Fourmann, 2003)

Lantan küresel grafitli ve vermiküler dökme demirler için etkilidir. Çil oluşumunu azaltır ama temel özelliği küresel grafitli dökme demirlerde mikro çekintiyi azaltmaktır. Lantan klasik kolumnar (dik sıralı) katılma yerine eş eksenli katılma sağlamaktadır. Böylece soğuma sırasında demir partikülleri sıvıda tüm yönlerde büyümekte ve dökümün kendi kendini beslemesini sağlamaktadır. İnce segmentli parçaların dökümü için ideal bir malzemedir. (Koch ve Soulas, 2014)

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada küresel grafitli dökme demirlerin bir türü olan GGG60 (EN-GJS-600-3) standardındaki alaşımın aynı üretim yöntemiyle ve aynı orada Baryum ve Lantan esaslı aşılایıcılar kullanılarak mekanik özelliklerinin değişimi incelenmiştir. Çalışma, üretimle gerçek zamanlı olarak yapılmıştır. Çalışmada Sinto marka otomatik kalıplama makinesi kullanılmıştır. Kum hazırlamada Eiric marka mikser, metal ergitmede ise Eges marka indüksiyon ocağı kullanılmıştır.

#### 3.1 Üretim

Üretim işlemi, metalin ergitilme işlemi, tretman potasında küreselleştirme, aşılama işlemi ve son olarak yaş kum kalıba döküm işleminin tamamıdır.

##### 3.1.1 Ergitme

Bu çalışma kapsamında ergitme işlemi 4 ton kapasiteli Eges marka indüksiyon ocağında yapılmıştır. Çalışma üretimle gerçek zamanlı olarak devam etmiştir. Ergitmede kullanılan hammaddeler KGDD piki, KGDD çeliği, döngü malzemesi (yolluklar, besleyiciler vb.) Ferro-Karbon, Silisyum Karbür, Bakır ve Ferro Silisyumdur. Çalışmada kullanılan pikin kimyasal analizi Çizelge 3.1'de çeliğin analizi ise Çizelge 3.2'de verilmektedir.

**Çizelge 3.1** Çalışmada kullanılan pikin spektral analizi

% C	% Si	% Mn	% S	% P	% Cr	% Cu
4,45	0,170	0,0235	0,0091	0,0151	0,0543	0,0162

**Çizelge 3.2.** Çalışmada kullanılan çeliğin spektral analizi

% C	% Si	% Mn	% S	% P	% Cr	% Cu
0,0274	0,0094	0,210	0,0061	0,012	0,0036	0,0183

4 tonluk ergitme ocağına eklenen malzemeler şu şekildedir;

- KGDD piki: 2100 kg
- KGDD çeliği: 900 kg
- Ferro-Karbon: 25 kg
- Silisyum Karbür: 50 kg
- Döngü malzemesi (kalan kg)

### 3.1.2 Küreselleştirme ve aşılama

Çalışmada küreselleştirici olarak FeSiMg alaşımı kullanılmıştır. Çizelge 3.3'de çalışmada kullanılan FeSiMg alaşımının kimyasal analizi ve Şekil 3.1'de fotoğrafı verilmiştir. FeSiMg'nin tane boyut aralığı 2-10 mm'dir.

**Çizelge 3.3** Çalışmada kullanılan küreselleştirici alaşımın kimyasal analizi

% Si	% Mg	% Ca	% Al	% RE
43-48	6,5-7	1-1,5	0,7-0,8	0,6-0,8



**Şekil 3.1** Çalışmada kullanılan 2-10mm tane boyut aralığındaki FeSiMg küreselleştiricisi

Çalışmada devirmeli pota yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan FeSiMg oranı ise ağırlıkça % 1,3'tür. 700 kg ergimiş metal için 9,1 kg FeSiMg küreselleştiricisi kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan aşılar Baryumlu ve Lantanlı aşılardır. Her iki aşı için de aynı miktarda FeSiMg ve aynı miktarda ergimiş metal kullanılmıştır. Kullanılan ve asıl çalışmaya konu olan aşılar Baryum bazlı ve Lantan bazlı aşılardır. Aşıların tane boyutları aynıdır. Çizelge 3.4'de aşılardan kimyasal analizi verilmiştir.

**Çizelge 3.4** Çalışmada kullanılan Lantan esaslı (Aşı-La) ve Baryum esaslı (Aşı-Ba) aşılardan kimyasal analizi (tane boyut aralığı 2-10mm)

	% Si	% Ca	% Al	% Ba	% La
Aşı-Ba	70-77	0,8-1,5	0,8-1,5	1,5-2,5	
Aşı-La	45-50	1,5-2,5			1,8-2,2

Çalışmada kullanılan aşı oranı ağırlıkça % 0,25'dir. 700 kg ergimiş metal için 1,75 kg aşı, örtü aşı şeklinde tretman potasının cebine koyulan 9,1 kg FeSiMg'nin üzerine dökülmüştür.

İlk olarak Lantanlı aşı kullanılmıştır. 700 kg ergimiş metal potaya alınmış ve çevrilmiştir. Şekil 3.2'de çevirmeli pota gösterilmiştir. Küreselleştirme işlemi tamamlandıktan sonra sıvı metal kalıplara dökülmüştür. Her iki aşı için prosedür aynı şekilde yapılmıştır.





Şekil 3.2 Çevirmeli pota yöntemiyle küreselleştirme işlemi

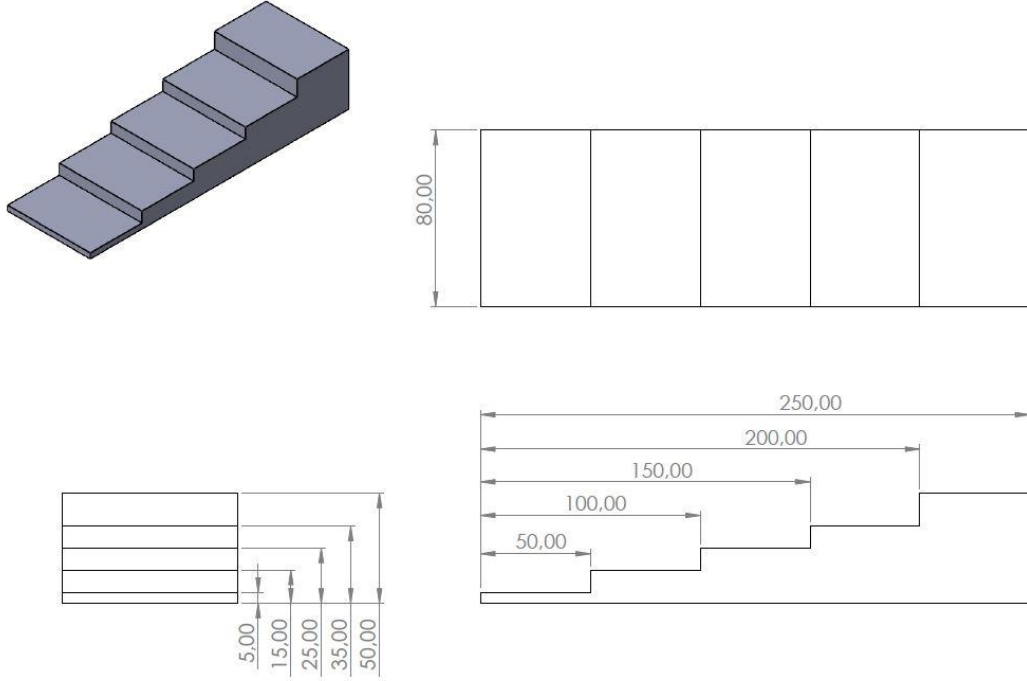
### 3.1.3 Döküm işlemi

Döküm işlemi normal iş parçası ile birlikte kalıplanmış basamak kalıp numunesine dökülmüştür. Döküm işleminde döküm robotu kullanılmıştır. Döküm sıcaklığı 1440 °C'dir. Döküm robotunda ayrıca ağız aşısı verilmiştir. Verilen ağız aşısı her iki numune için de aynı tip ve aynı miktardadır. Çizelge 3.5'de kimyasal analizi verilen % 0,1 bizmut bazlı ağız aşısı kullanılmıştır.

Çizelge 3.5 Çalışmada kullanılan Bizmut esaslı ağız aşısının kimyasal analizi (tane boyut aralığı 0,2-0,5mm)

% Si	% Ca	% Al	% Bi	% RE
70-75	1-2	0,7-1,4	0,8-1,3	0,4-0,7

Döküm için kullanılan kalıp, basamak kalıptır. Sırasıyla 5, 15, 25, 35 ve 50 mm kesit kalınlıkları vardır.



Şekil 3.3 Çalışmada kullanılan basamak kalıbın teknik resmi (ölçüler mm cinsindedir.)

Şekil 3.4'de döküm işlemi tamamlanan basamak kalıp numuneleri kumlanmış ve kenarlarındaki çapaklar taşlanmış.



Şekil 3.4 Döküm işlemi sonrası elde edilen basamak kalıp numune

## 3.2 Karakterizasyon işlemi

### 3.2.1 Kimyasal analiz

Kimyasal analiz işleminde Şekil 3.5’de gösterilen Spektrolab marka laboratuvar cinsi optik emisyon spektrometre (OES) cihazı kullanılmıştır. İlk olarak ocakta ergimiş metalin spektral analizi için numune alınmış daha sonra tretman potasında küreselleştirme işlemi yapıldıktan sonra her iki aşı için birer adet numune alınmıştır.



Şekil 3.5 Spektrolab marka spektral analiz cihazı

### 3.2.2 Mikroyapı analiz

Mikroyapı için her bir numuneden her bir basamaktan ayrı ayrı numuneler alınmıştır. Sırasıyla 180, 320, 400, 600, 800 ve 1200 gritlik zımparalar ile zımparalanmış ve 1 mikron elmas çözelti ile çuhada parlatılmıştır (Şekil 3.6). Daha sonra optik mikroskop ile 100x büyütme ile ayrı ayrı numuneler incelenmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.6 Taşlama parlatma cihazı



Şekil 3.7 Mikroskop

### 3.2.3 Sertlik testi

İki numune için her bir basamak (5, 15, 25, 35 ve 50 mm) ayrı ayrı kesilmiş (Şekil 3.8) yüzeyleri taşlanmış ve BMS OBPC marka sertlik cihazı (Şekil 3.9) ile Brinell cinsinden sertliklerine bakılmıştır. Testte 10 mm çelik bilye kullanılmış ve 3000 kg yük uygulanarak sertlikler ölçülmüştür.



Şekil 3.8 Sertlik testi için kesilmiş numuneler

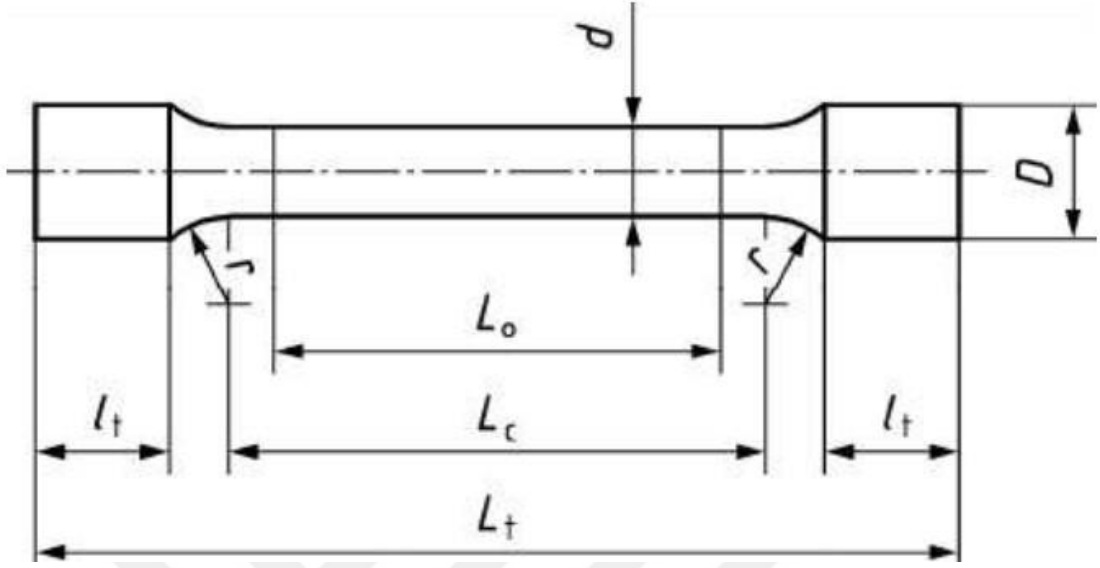


Şekil 3.9 BMS OPBC marka sertlik ölçüm cihazı

### 3.2.4 Çekme testi

Çekme numuneleri 50 mm ve 35 mm'lik kesitlerden alınmıştır. Çizelge 3.6'da TS EN 1563:2011 (Metalik malzemelerin oda sıcaklığında çekme deneyi) standardına göre çekme numunesi ölçüleri göz önüne alınarak işletilmiştir. Numuneler Şekil 3.10'da teknik resimi verilen TS EN 1563:2011 standardına göre işletilmiştir. Şekil 3.11 de gösterilen

çekme numunelerinin testi, Şekil 3.12’de gösterilen Alşa marka çekme cihazı ile yapılmıştır.

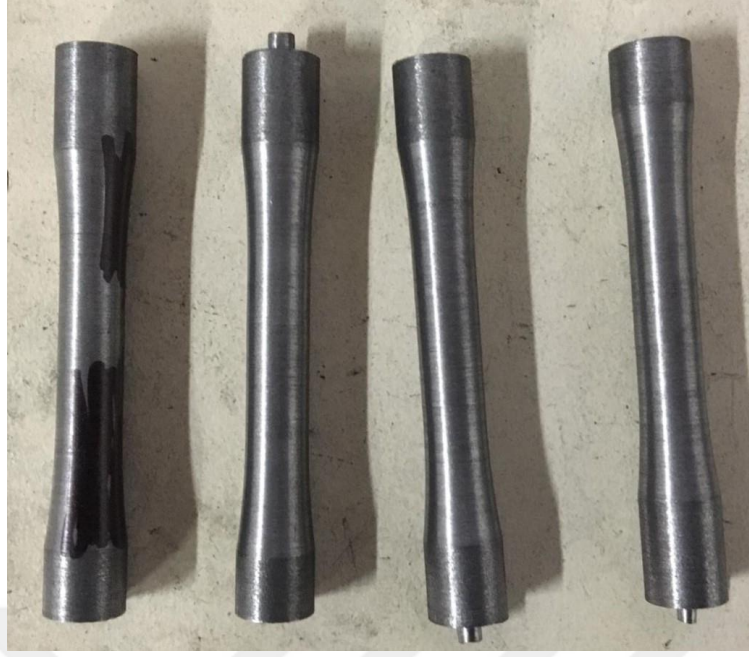


Şekil 3.10 TS EN 1563:2011 standardına göre çekme numunesi teknik resimi

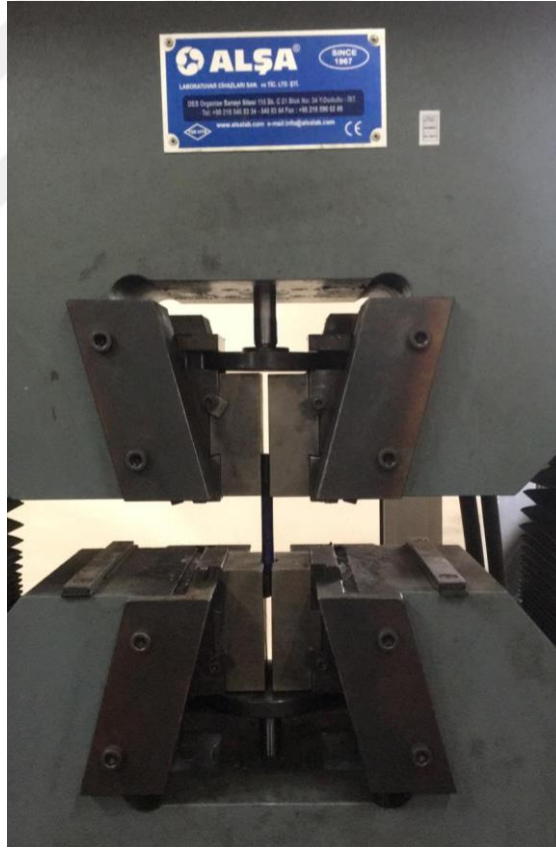
Çizelge 3.6 TS EN 1563:2011 standardına göre çekme numunesi ölçüleri

$d$	$L_0$	$L_c \text{ min.}$
5	25	30
7	35	42
8	40	48
10	50	60
20	100	120

Bu çalışmada  $d$ : 8mm ve  $L_0$  boyu 40mm olan numuneler kullanılmıştır.



Şekil 3.11 TS EN 1563:2011 standardına göre hazırlanan çekme numuneleri



Şekil 3.12 Alşa marka çekme cihazı

#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Çalışmada kimyasal analiz, mikroyapı, sertlik ve çekme sonuçları her iki numune için elde edilmiştir. Numunenin her kesitinden sertlik ve mikroyapı testleri yapılmış 50 mm ve 35 mm kesitlerden de çekme numunesi çıkartılarak çekme testi yapılmıştır.

##### 4.1 Kimyasal Analiz Sonuçları

Çalışmada Spektrolab spektral analiz cihazı kullanılmıştır. Ergimiş metalden alınan numunenin spektral analizi aşağıdaki Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.1** Ergitme sonucu ocaktaki madenin kimyasal analizi

% C	% Si	% Mn	% S	% P	% Cr	% Cu
3,78	1,52	0,491	0,0198	0,0284	0,0603	0,502

Çalışmada mevcut ergimiş metalin karbon eşdeğeri;

$$Ceş = 3,78 + \frac{1,52+0,0284}{3} \quad 4.1$$

$$Ceş = 4,29$$

Ergimiş metalin karbon eşdeğeri 4,29 olarak hesap edilmiştir. Normalde karbon eş değeri 4,3 olarak bilindiğine göre ocakta ergitilen alaşımın ötektik bileşimde olduğu söylenebilmektedir.

Çizelge 4.2 ve 4.3’de tretman potasından alınan numunelerin spektral analizleri gösterilmektedir.

**Çizelge 4.2** Lantanlı aşı kullanılan numunenin tretman potasından alınan spektral analizi

% C	% Si	% Mn	% S	% P	% Cr	% Cu	% La
3,78	2,38	0,486	0,0098	0,0302	0,0629	0,486	0,0045

$$Ceş = 3,78 + \frac{2,38+0,0302}{3} \quad 4.2$$

$$Ceş = 4,58$$



**Çizelge 4.3** Baryumlu aşı kullanılan numunenin tretman potasından alınan spektral analizi

% C	% Si	% Mn	% S	% P	% Cr	% Cu	% Ba
3,78	2,39	0,481	0,0148	0,0332	0,0629	0,493	0,0037

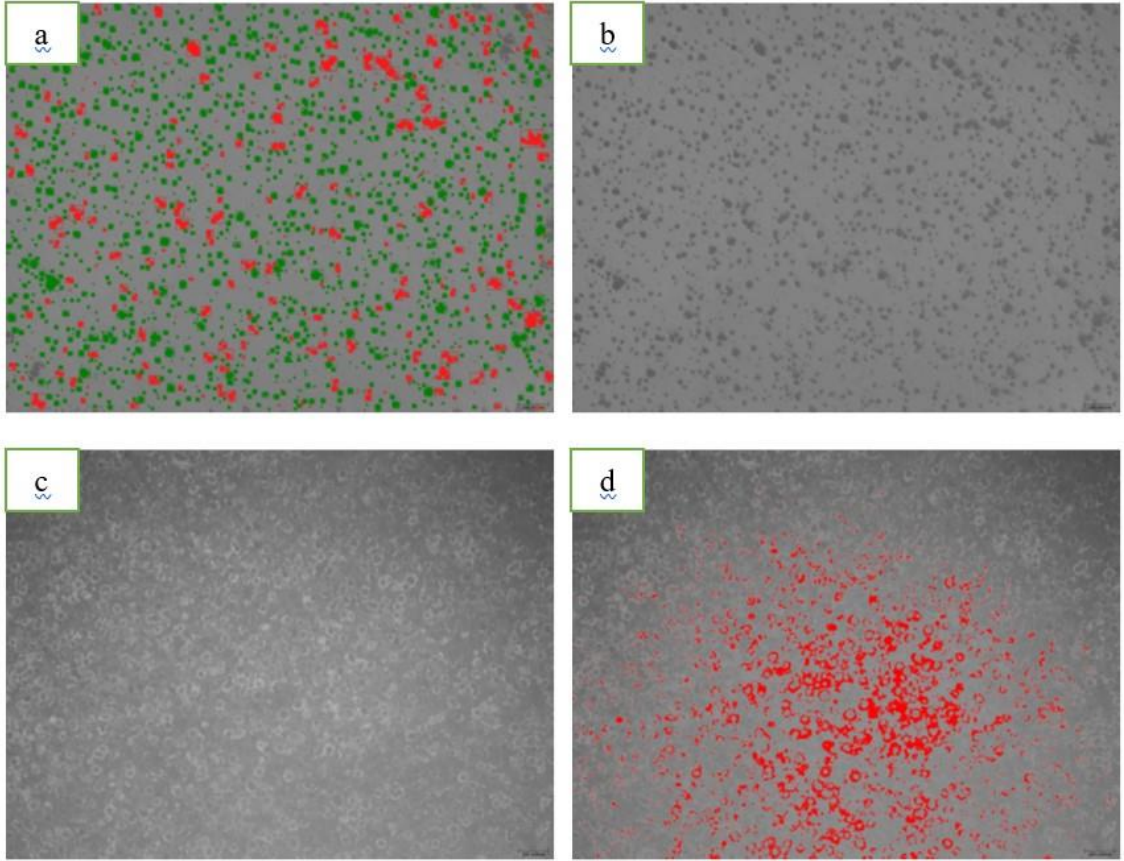
$$C_{eş} = 3,78 + \frac{2,39+0,0332}{3} \quad 4.3$$

$$C_{eş} = 4,58$$

Denklem 4.2 ve 4.3’de küreselleştirme işleminden sonra karbon eşdeğeri 4,58 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerden kalıba dökülen metalin ötektik üstü kompozisyonda olduğu görülmektedir. Karbon eş değerinin aşılama-küreselleştirme işleminden sonra ciddi oranda artması kullanılan aşılardaki ve küreselleştiricideki yüksek Si içeriğinden kaynaklanmaktadır.

## 4.2 Mikroyapı Sonuçları

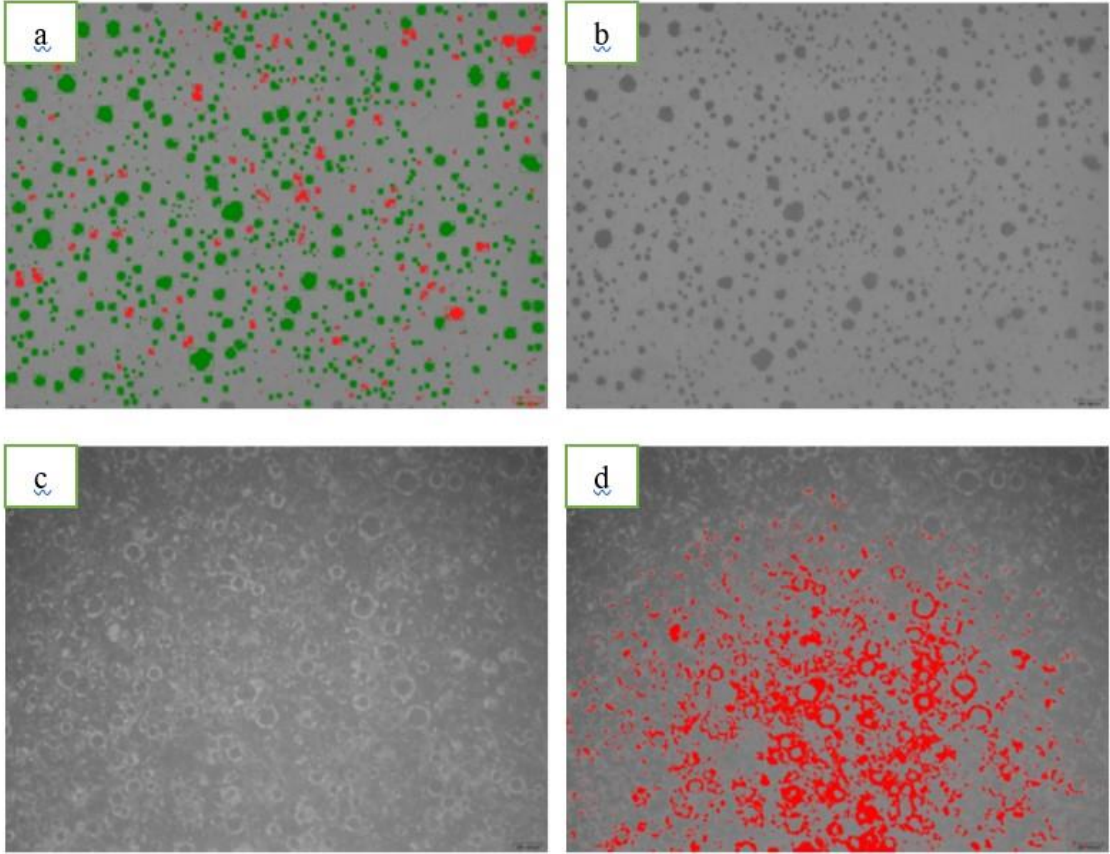
Ba ve La aşılı her iki numunenin tüm kesitleri için toplamda 10 tane mikroyapı analizi yapılmıştır. Bu analizlerde küresel grafitli dökme demirlerin mikroyapısal özelliklerinde önemli rol oynayan küre sayısı, küresellik, perlit/ferrit oranı gibi parametreler hesap edilmiştir. Sırasıyla Ba ve La aşılı numunelerin 5 mm’den 50 mm kesit kalınlığına göre mikroyapıları Şekiller 4.1 - 4.10’ da hesap edilen parametreler ise Çizelge 4.4 - 4.13’ te gösterilmektedir. Ayrıca Ba ve La aşılı numunelerin dağlanmış 100X, 200X ve 500X optik mikroyapı görüntüleri Şekiller 4.11 – 4.14’te gösterilmiştir. İncelenen tüm numunelerin mikroyapıları aşı türüne ve kesit kalınlığına bağlı olarak farklı oranlarda grafit (siyah küreler), ferrit (siyah kürelerin etrafındaki beyaz bölgeler) ve perlit (koyu renkli bölgeler) olmak üzere 3 fazdan meydana gelmektedir. Mikroyapılarda herhangi bir karbüre rastlanılmamıştır.



**Şekil 4.1** 5mm kalınlığındaki Baryumlu aşı ile üretilmiş numunenin mikroyapısı(100X). a) mikroyapı görseli b) küre sayımı yapılmış görsel c) %3 nital ile dağlanmış görüntü d) ferrit perlit dağılımı (kırmızı bölgeler ferrit)

**Çizelge 4.4** 5mm kesit kalınlığı olan Baryumlu aşı ile üretilen numunenin mikroyapı rapor sonucu

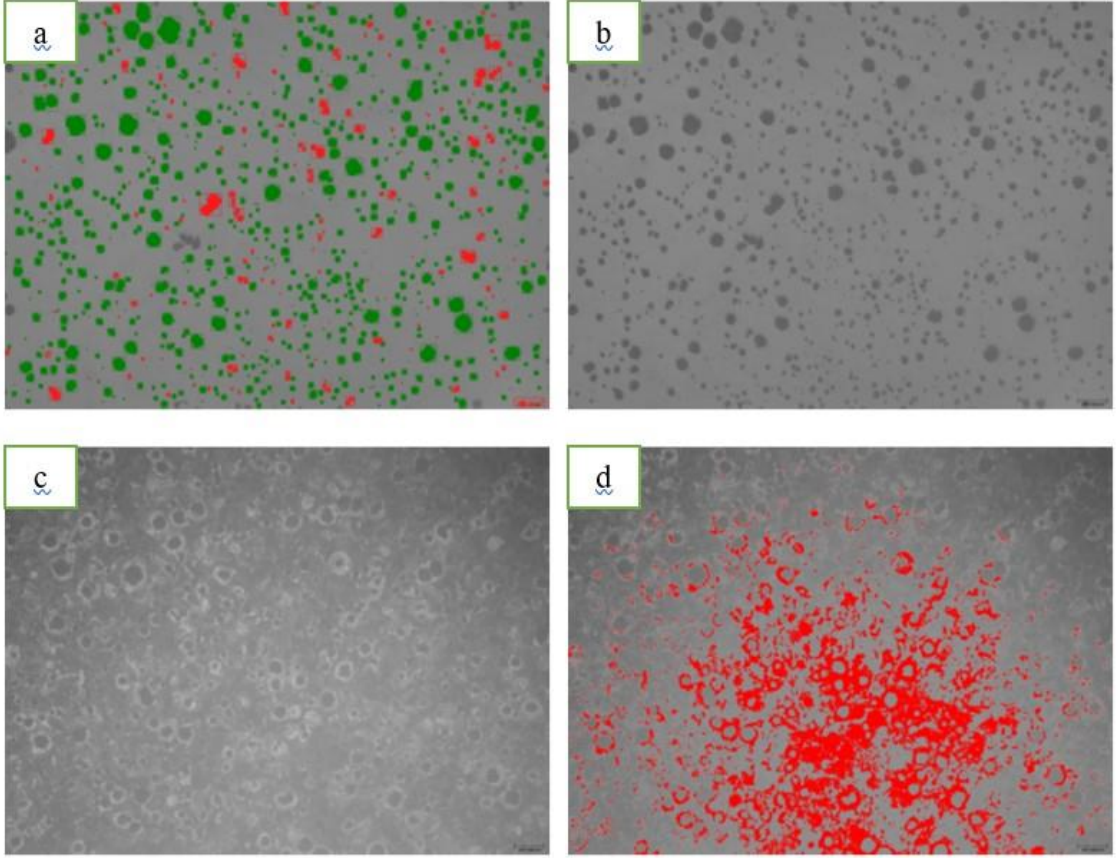
Küre sayısı	Grafit oranı %	Perlit oranı %	Ferrit oranı %
2009	11,39	90,96	9,04



**Şekil 4.2** 15mm kalınlığındaki Baryumlu aşı ile üretilmiş numunenin mikroyapısı(100X). a) mikroyapı görseli b) küre sayımı yapılmış görsel c) %3 nital ile dağlanmış görüntü d) ferrit perlit dağılımı (kırmızı bölgeler ferrit)

**Çizelge 4.5** 15mm kesit kalınlığı olan Baryumlu aşı ile üretilen numunenin mikroyapı rapor sonucu

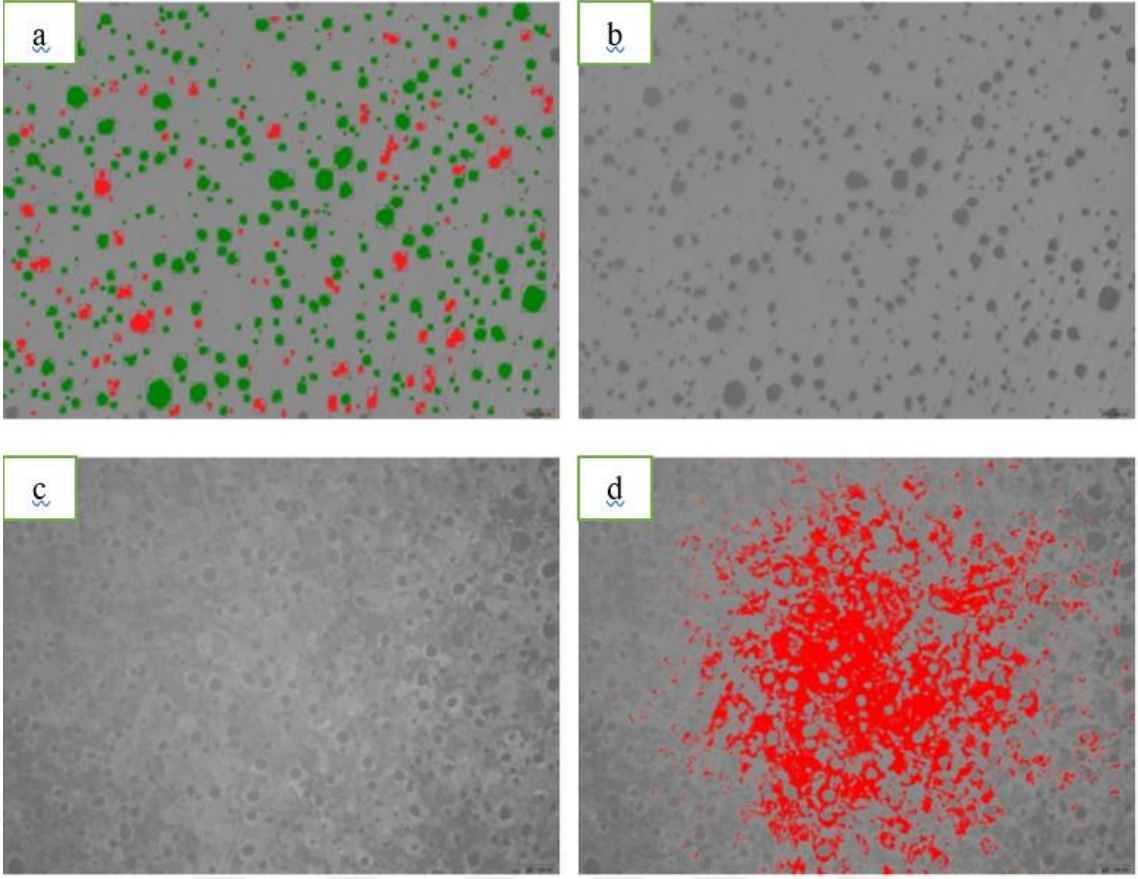
Küre sayısı	Grafit oranı %	Perlit oranı %	Ferrit oranı %
1151	10,15	85,87	14,13



**Şekil 4.3** 25mm kalınlığındaki Baryumlu aşı ile üretilmiş numunenin mikroyapısı(100X). a) mikroyapı görseli b) küre sayımı yapılmış görsel c) %3 nital ile dağlanmış görüntü d) ferrit perlit dağılımı (kırmızı bölgeler ferrit)

**Çizelge 4.6** 25mm kesit kalınlığı olan Baryumlu aşı ile üretilen numunenin mikroyapı rapor sonucu

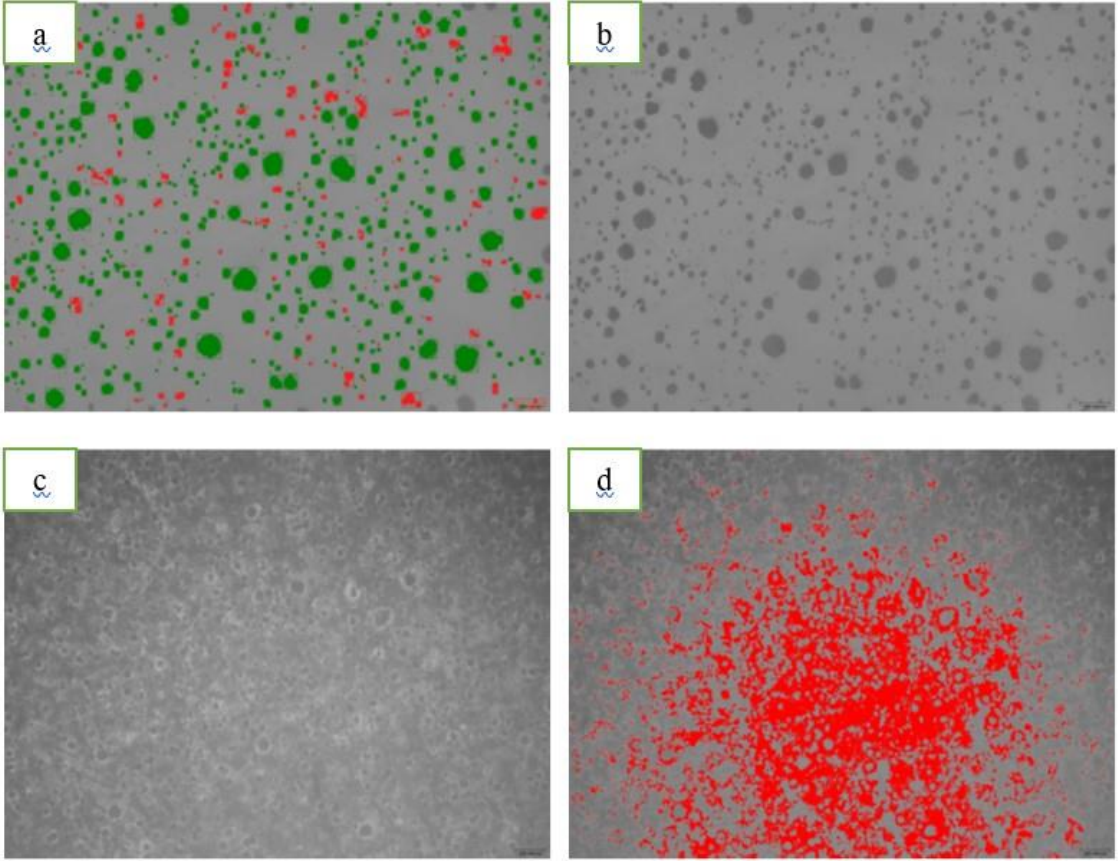
Küre sayısı	Grafit oranı %	Perlit oranı %	Ferrit oranı %
852	11,07	81,55	18,45



**Şekil 4.4** 35mm kalınlığındaki Baryumlu aşı ile üretilmiş numunenin mikroyapısı(100X). a) mikroyapı görseli b) küre sayımı yapılmış görsel c) %3 nital ile dağlanmış görüntü d) ferrit perlit dağılımı (kırmızı bölgeler ferrit)

**Çizelge 4.7** 35mm kesit kalınlığı olan Baryumlu aşı ile üretilen numunenin mikroyapı rapor sonucu

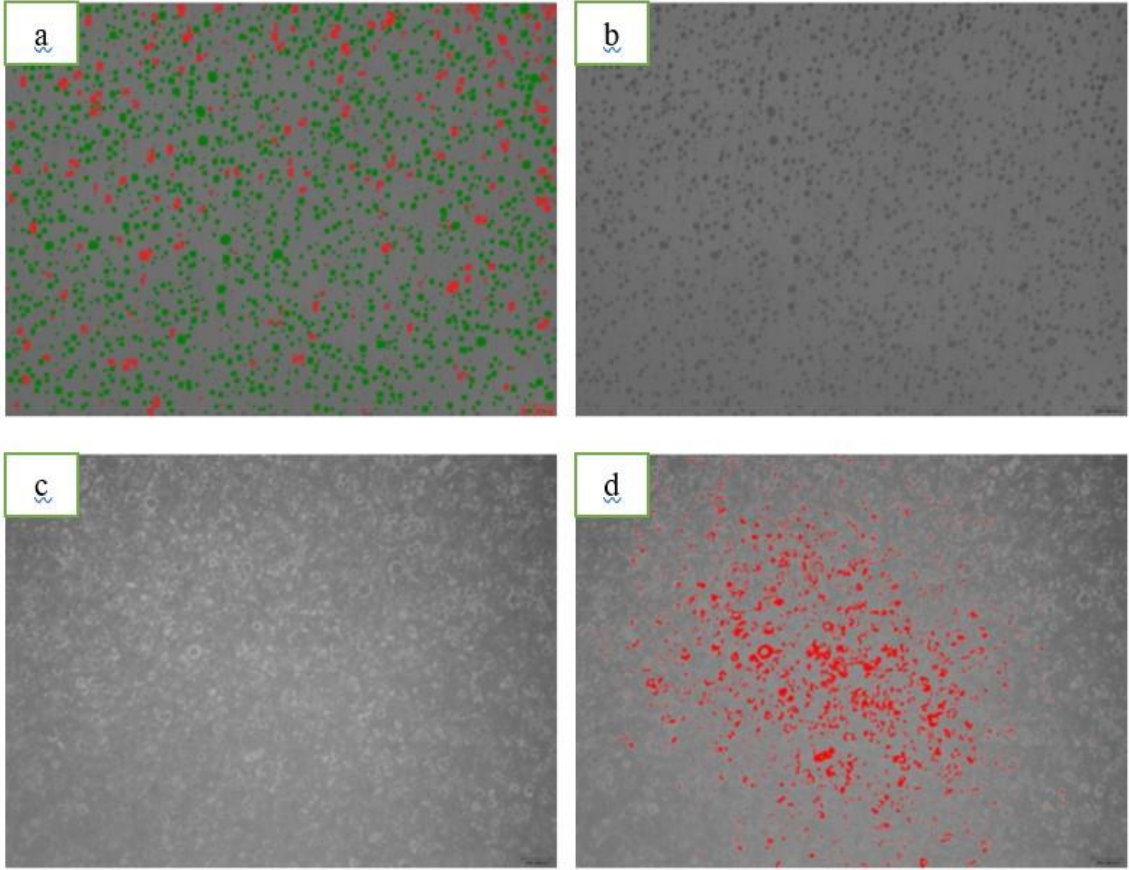
Küre sayısı	Grafit oranı %	Perlit oranı %	Ferrit oranı %
727	9,47	77,81	22,19



**Şekil 4.5** 50mm kalınlığındaki Baryumlu aşı ile üretilmiş numunenin mikroyapısı(100X). a) mikroyapı görseli b) küre sayımı yapılmış görsel c) %3 nital ile dağlanmış görüntü d) ferrit perlit dağılımı (kırmızı bölgeler ferrit)

**Çizelge 4.8** 50mm kesit kalınlığı olan Baryumlu aşı ile üretilen numunenin mikroyapı rapor sonucu

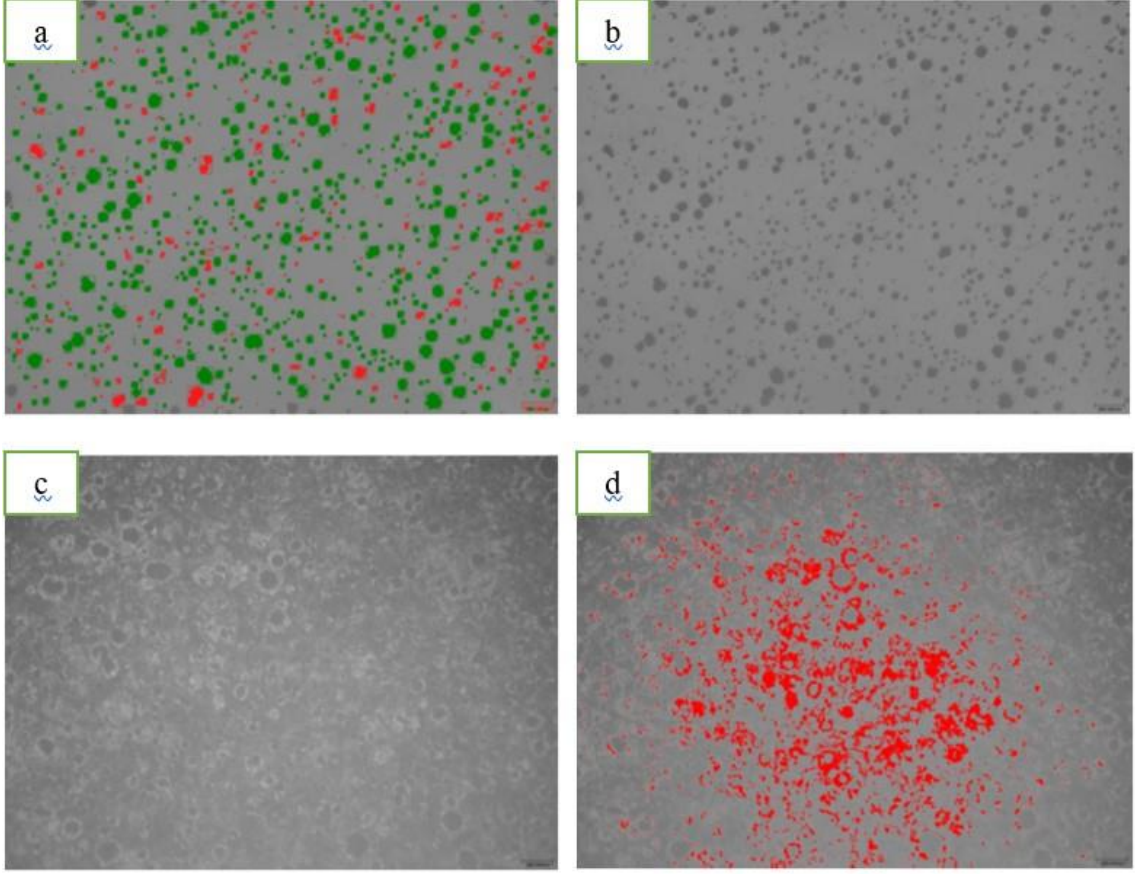
Küre sayısı	Grafit oranı %	Perlit oranı %	Ferrit oranı %
684	10,82	74,37	26,63



**Şekil 4.6** 5mm kalınlığındaki Lantanlı aşı ile üretilmiş numunenin mikroyapısı(100X). a) mikroyapı görseli b) küre sayımı yapılmış görsel c) %3 nital ile dağlanmış görüntü d) ferrit perlit dağılımı (kırmızı bölgeler ferrit)

**Çizelge 4.9** 5mm kesit kalınlığı olan Lantanlı aşı ile üretilen numunenin mikroyapı rapor sonucu

Küre sayısı	Grafit oranı %	Perlit oranı %	Ferrit oranı %
1921	9,99	94,41	5,59

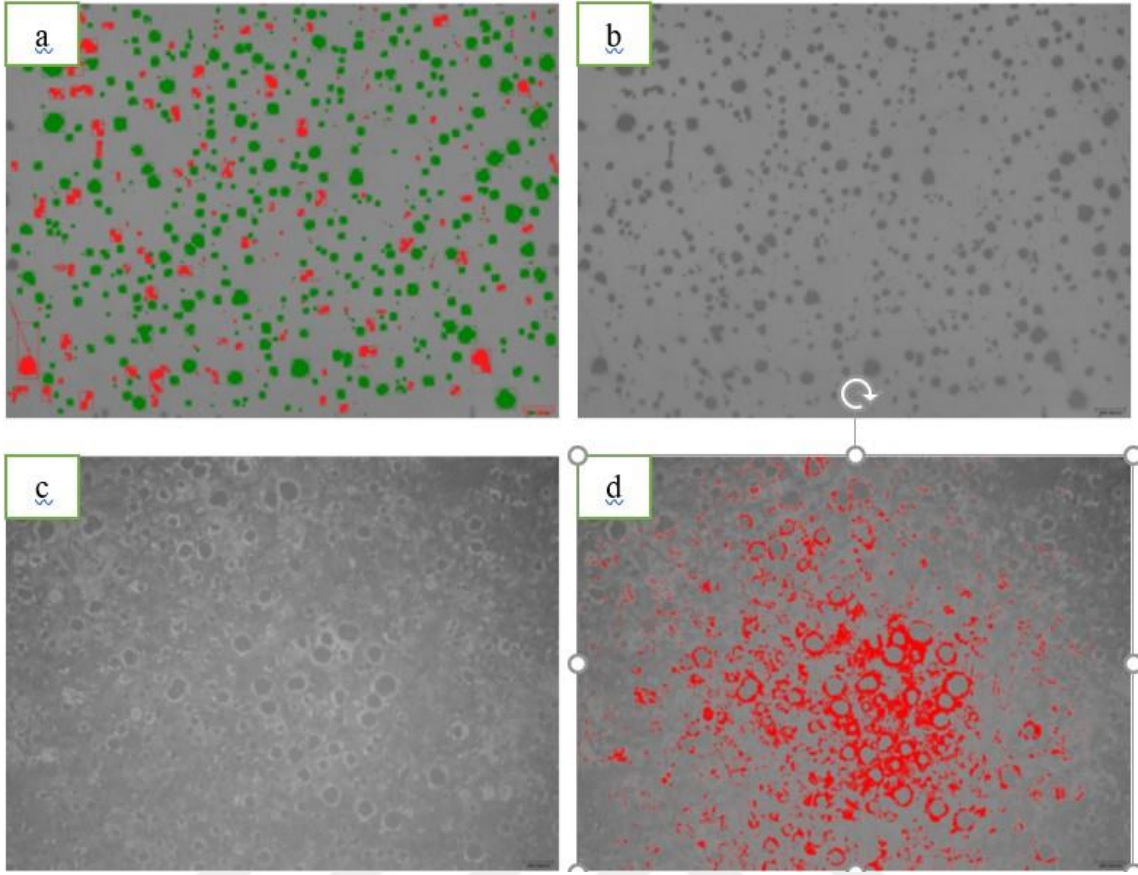


**Şekil 4.7** 15mm kalınlığındaki Lantanlı aşı ile üretilmiş numunenin mikroyapısı(100X). a) mikroyapı görseli b) küre sayımı yapılmış görsel c) %3 nital ile dağlanmış görüntü d) ferrit perlit dağılımı (kırmızı bölgeler ferrit)

**Çizelge 4.10** 15mm kesit kalınlığı olan Lantanlı aşı ile üretilen numunenin mikroyapı rapor sonucu

Küre sayısı	Grafit oranı %	Perlit oranı %	Ferrit oranı %
897	10,84	89,56	10,44

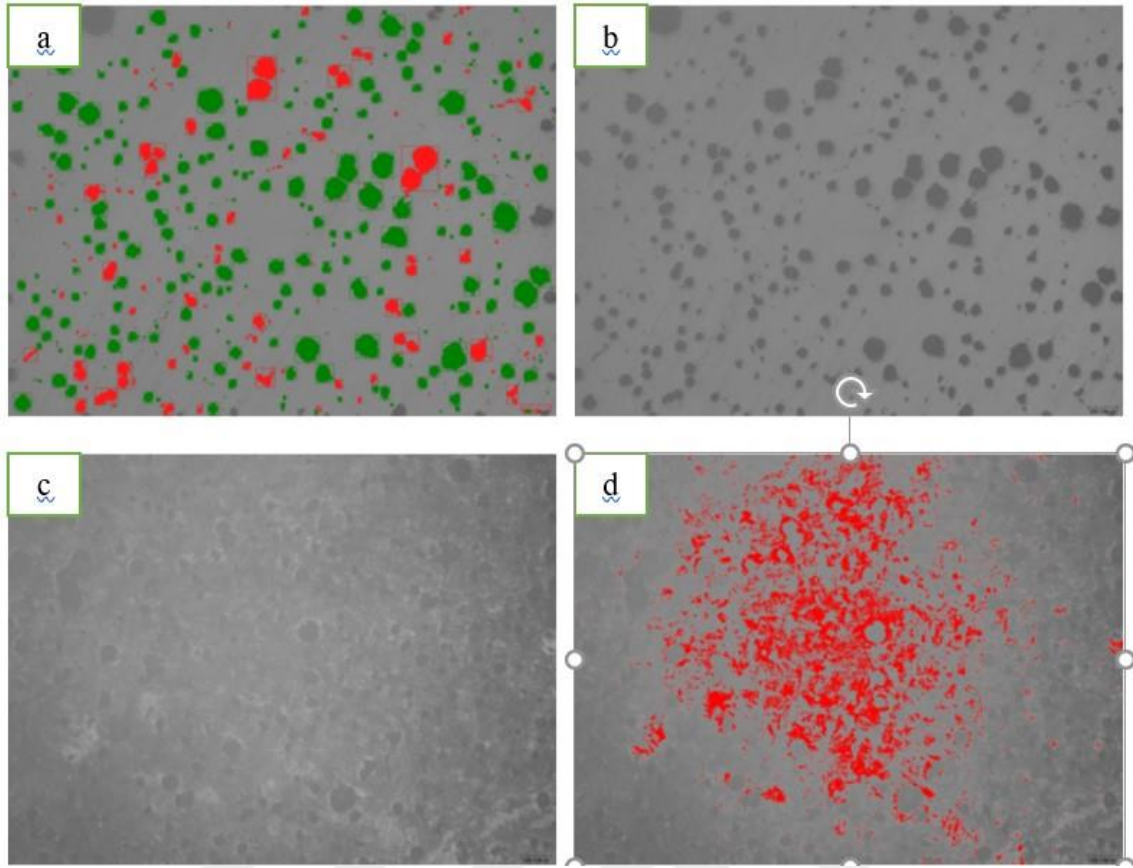




**Şekil 4.8** 25mm kalınlığındaki Lantanlı aşı ile üretilmiş numunenin mikroyapısı(100X). a) mikroyapı görseli b) küre sayımı yapılmış görsel c) %3 nital ile dağlanmış görüntü d) ferrit perlit dağılımı (kırmızı bölgeler ferrit)

**Çizelge 4.11** 25mm kesit kalınlığı olan Lantanlı aşı ile üretilen numunenin mikroyapı rapor sonucu

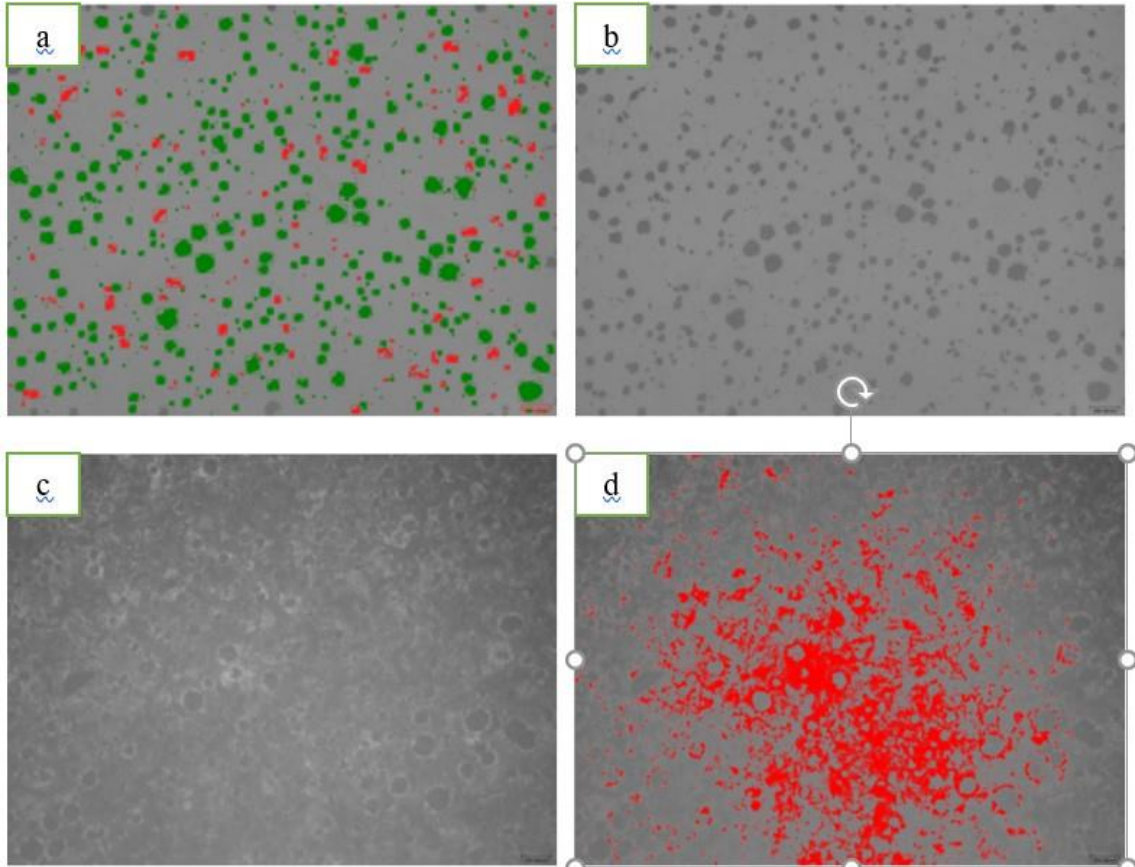
Küre sayısı	Grafit oranı %	Perlit oranı %	Ferrit oranı %
733	11,01	88,19	11,81



**Şekil 4.9** 35mm kalınlığındaki Lantanlı aşı ile üretilmiş numunenin mikroyapısı(100X). a) mikroyapı görseli b) küre sayımı yapılmış görsel c) %3 nital ile dağlanmış görüntü d) ferrit perlit dağılımı (kırmızı bölgeler ferrit)

**Çizelge 4.12** 35mm kesit kalınlığı olan Lantanlı aşı ile üretilen numunenin mikroyapı rapor sonucu

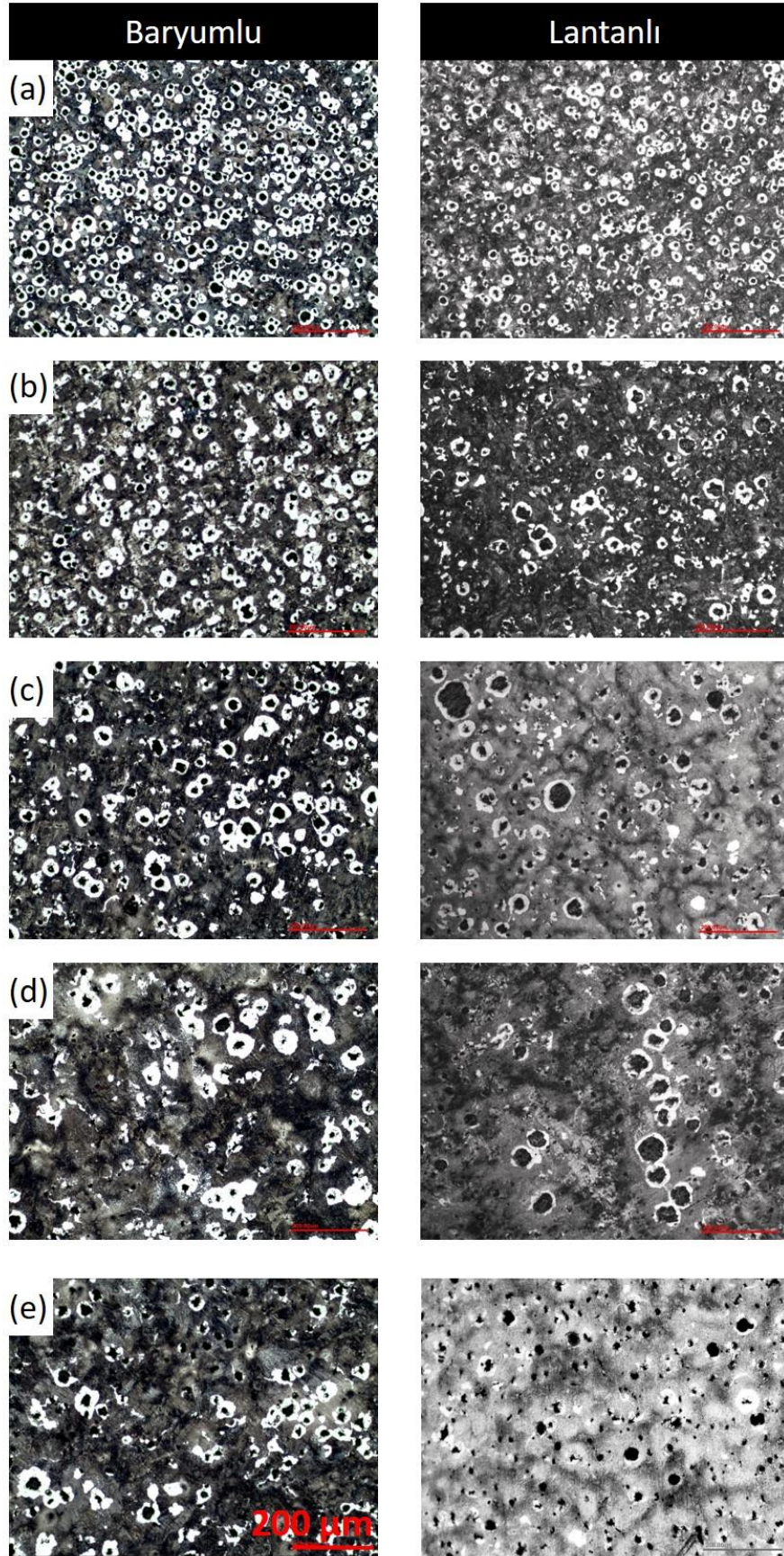
Küre sayısı	Grafit oranı %	Perlit oranı %	Ferrit oranı %
680	12,72	86,76	13,24



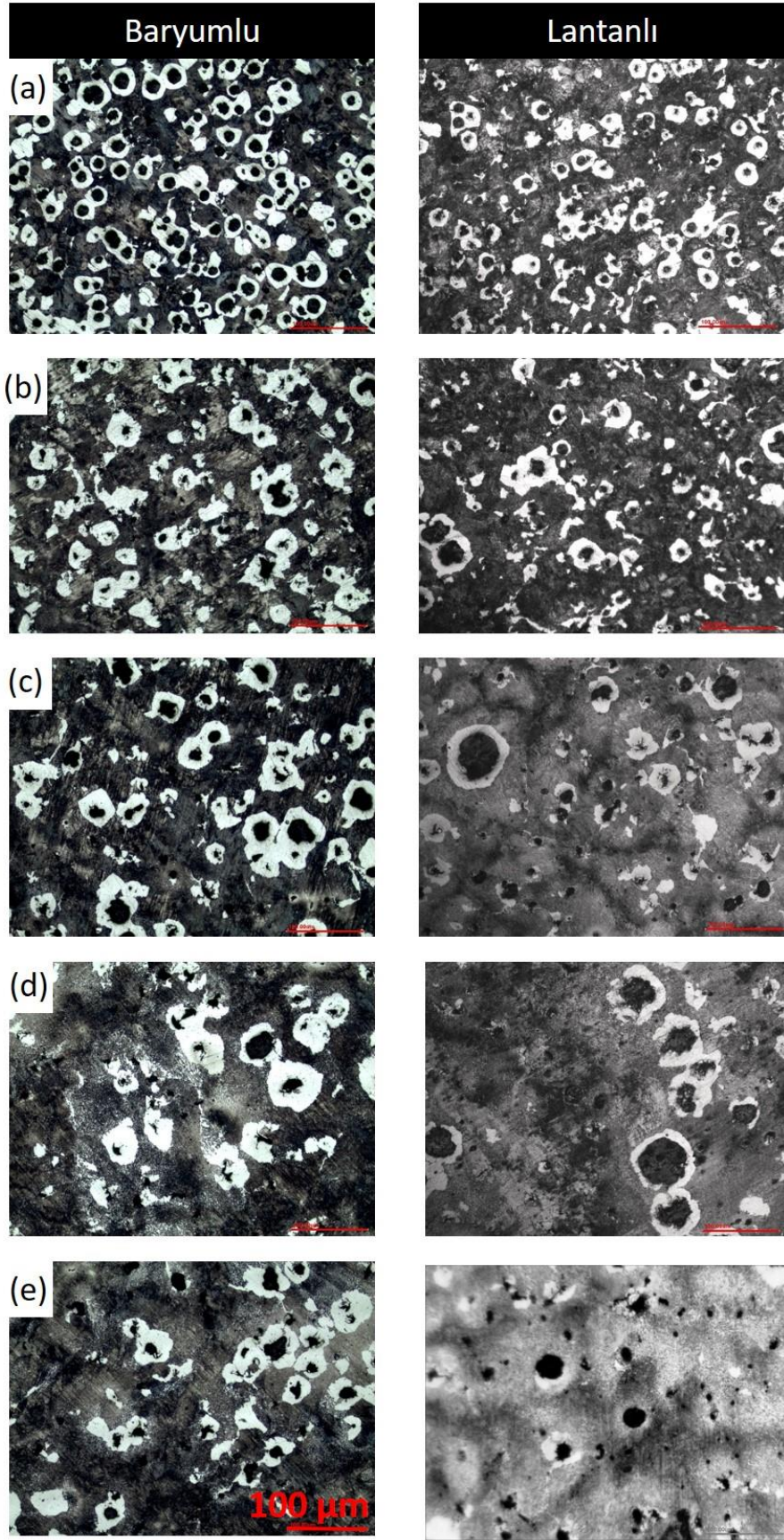
**Şekil 4.10** 50mm kalınlığındaki Lantanlı aşı ile üretilmiş numunenin mikroyapısı(100X). a) mikroyapı görseli b) küre sayımı yapılmış görsel c) %3 nital ile dağlanmış görüntü d) ferrit perlit dağılımı (kırmızı bölgeler ferrit)

**Çizelge 4.13** 50mm kesit kalınlığı olan Lantanlı aşı ile üretilen numunenin mikroyapı rapor sonucu

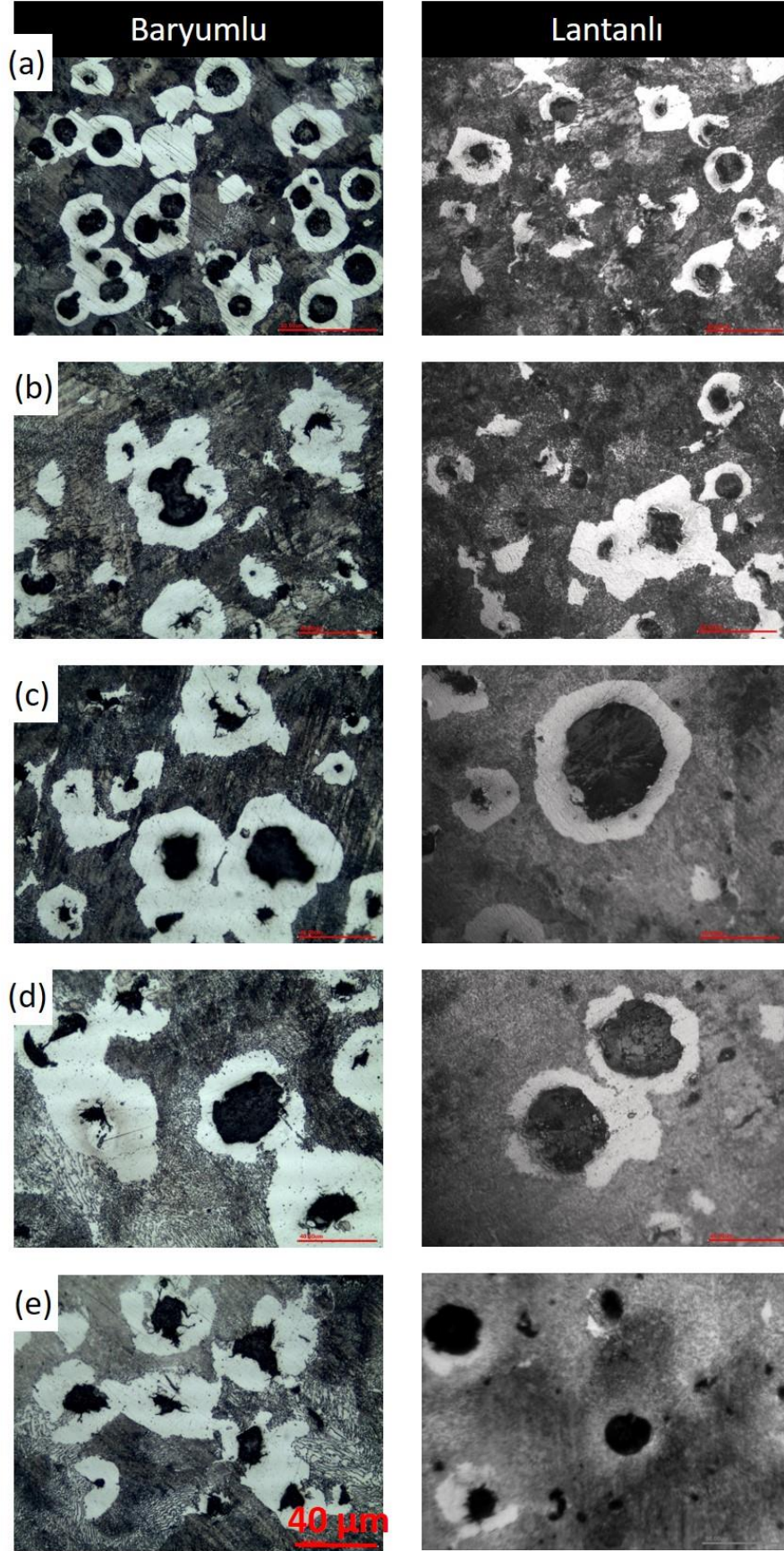
Küre sayısı	Grafit oranı %	Perlit oranı %	Ferrit oranı %
647	10,60	82,84	17,16



Şekil 4.11 Numunelerin dağlanmış 100x mikroyapı görüntüleri. a) 5 mm kesit b) 15 mm kesit c) 25 mm kesit d) 35 mm kesit e) 50 mm kesit



Şekil 4.12 Numunelerin dağlanmış 200x mikroyapı görüntüleri. a) 5 mm kesit b) 15 mm kesit c) 25 mm kesit d) 35 mm kesit e) 50 mm kesit



Şekil 4.13 Numunelerin dağlanmış 500x mikroyapı görüntüleri. a) 5 mm kesit b) 15 mm kesit c) 25 mm kesit d) 35 mm kesit e) 50 mm kesit

**Çizelge 4.14** Baryumlu aşı kullanılarak üretilen numunenin gelen mikroyapı değerleri

Aşı-Ba	Küre adedi	Grafit oranı %	Perlit oranı %	Ferit oranı %	Küresellik %
50mm	684	10,82	74,37	25,63	88,28
35mm	727	9,47	77,81	22,19	88,00
25mm	852	11,07	81,55	18,45	87,91
15mm	1151	10,15	85,87	14,13	87,10
5mm	2009	11,39	90,96	9,04	72,68

**Çizelge 4.15** Lantanlı aşı kullanılarak üretilen numunenin gelen mikroyapı değerleri

Aşı-La	Küre adedi	Grafit oranı %	Perlit oranı %	Ferit oranı %	Küresellik %
50mm	647	10,60	82,84	17,16	86,03
35mm	680	12,72	86,76	13,24	82,22
25mm	733	11,01	88,19	11,81	79,28
15mm	897	10,84	89,56	10,44	85,27
5mm	1921	9,99	94,41	5,59	82,85

Ba ve La aşıları numunelerin tüm kesitlerinden elde edilen mikroyapısal parametreler karşılaştırma yapılması açısından Çizelge 4.14 ve 4.15' te listelenmiştir. Öncelikli olarak her iki aşı numunenin mikroyapısal özelliklerinin birbirine benzediği görülmektedir. Her iki aşı numunelerin küresellik değerleri hemen hemen tüm kesitlerde yüksek ( $> \% 80$ ) olarak ölçülmüştür. Sadece 5 mm kesit kalınlığına sahip Ba aşı numunede diğer tüm numunelere kıyasla düşük küresellik ( $\% 73$ ) gözlemlenmiştir. Kesit kalınlığına göre küresellik değerlerinin değişimi incelendiğinde genel anlamda çok önemli farklar olmasa da kalınlık artışı ile birlikte küresellikte bir miktar artış gözlemlenmiştir.

Mikroyapısal inceleme sonucu elde edilen bir diğer sonuç ise grafit oranı (yüzdesi). Grafit oranı incelenen tüm numunelerde aşı ve kesit kalınlığından bağımsız  $\% 10-12$  arasındadır. Ba ve La aşı numunelerin küre sayıları incelendiğinde şu sonuçlara ulaşılmaktadır. Her iki aşı için de küre sayıları aynı kesit kalınlığına sahip numunelerde birbirine benzer olsa da Ba aşılanmış numunelerin küre sayıları daha fazladır. Her iki aşı numunelerde küre sayılarında kesit kalınlığı arttıkça önemli ölçüde azalma meydana gelmiştir. En hızlı katılaşmanın meydana geldiği en ince kesitte (5 mm) 2000 civarı küre bulunurken, soğumanın en yavaş olduğu kalın kesitte (50 mm) 650 civarı küre mevcuttur. Elde edilen bu sonuç küresel grafitli üretilen parçaların kesit kalınlığına (soğuma hızına) bağlı olarak küre sayısının değiştiğini göstermektedir.

İncelenen mikroyapısal parametrelerden bir tanesi de matris yapısıdır. Küresel grafitli dökme demirlerin matris yapısının (ferrit/perlit oranı) mekanik özellikleri önemli ölçüde etkilediği iyi bilinmektedir. Çizelge 4.14 ve 4.15'te verilen ferrit ve perlit oranı değerleri incelendiğinde aşılı türüne ve kesit kalınlığına bağlı farklı oranların olduğu görülmektedir. Küre sayısındaki eğilime çok benzer şekilde hızlı katılmanın meydana geldiği en ince kesitte perlit oranı her iki aşılı numune için de en yüksek seviyededir. Kesit kalınlığı arttıkça perlit oranı kademeli olarak artmış, ferrit oranı ise kademeli olarak azalmıştır.

Küresel grafitli dökme demirlerde perlit oranı kimyasal kompozisyona (örnek; perlit yapıcı etkisi dolayısı ile ilave edilen Cu ve Mn) bağlı olmasının yanında aynı zamanda soğuma hızına da bağlıdır. Bu yüzden döküm parçanın farklı kalınlığa sahip kesitlerinde değişen oranlarda ferrit ve perlit oluşmuştur. Hızlı soğumanın görüldüğü ince kesitlerde perlit oranı yüksek iken, yavaş soğumanın olduğu kalın kesitlerde ferrit miktarı nispeten artmıştır. Ferrit/perlit oranları aşılı türüne kıyaslandığında La aşılanmış numunelerin perlit oranları Ba aşılı numunelerinkine kıyasla bir miktar fazladır.

Mikroyapı analizinden elde edilen sonuçları özetlenecek olursa her iki aşılı da benzer küresellik ve grafit oranları elde edilirken. Ba içeren aşılı küre sayısını, La içeren aşılı ise perlit oranını arttırıcı etkiye sahiptir. Kesit kalınlığının artması ile beklenildiği gibi küre sayısı ve perlit oranı soğuma hızının azalmasından ötürü azalmıştır.

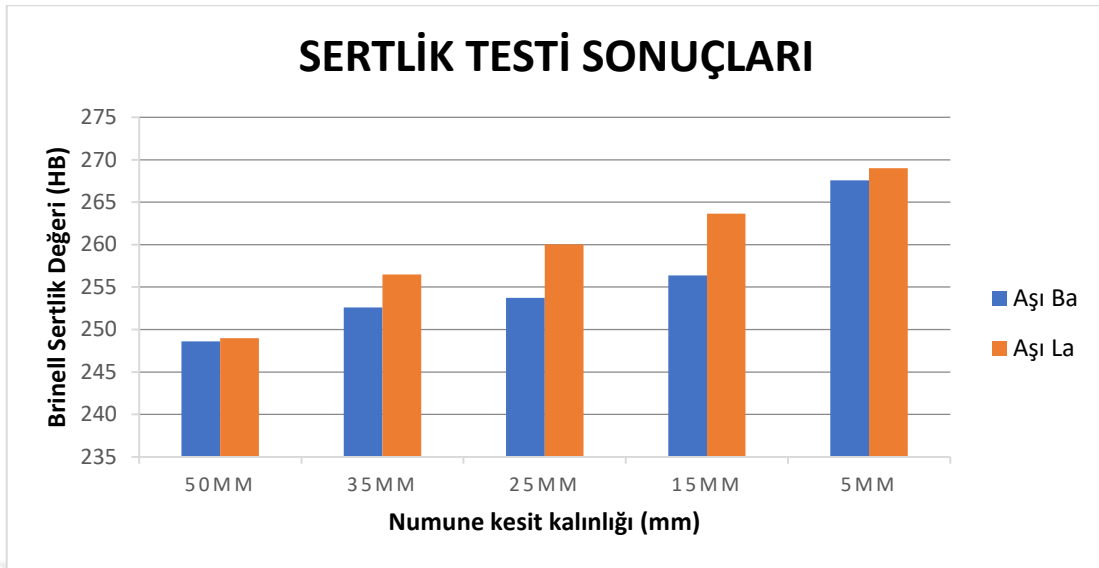
### 4.3 Sertlik Testi Sonuçları

Ba ve La aşılı numunelerin tüm kesit kalınlığına bağlı sertlik değerleri Çizelge 4.16' da listelenmiştir ve kıyaslama açısından sütun grafiği şeklinde Şekil 4.14'te verilmiştir. Ortalama sertlik değerleri kesit kalınlığı arttıkça azalmaktadır. En ince kesit ile en kalın kesit arasında her iki aşılı için 20 HB sertlik farklılığı bulunmaktadır. Aşıların sertliğe etkisi kıyaslandığında ise La aşılanmış numunelerin Ba aşılanmışlara kıyasla çok az da olsa biraz daha sert oldukları gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.16 Baryum ve Lantan esaslı aşılı kullanılarak üretilen numunelerin sertlik değerleri

	50 mm	35 mm	25 mm	15 mm	5 mm
<b>Aşılı-Ba</b>	248,59 HB	252,61 HB	253,72 HB	256,39 HB	267,59 HB
<b>Aşılı-La</b>	249,00 HB	256,50 HB	260,05 HB	263,67 HB	269,01 HB





Şekil 4.14 Sertlik testi sonuçlarını gösteren grafik

Küresel grafitli dökme demirlerin mekanik özelliklerini etkileyen faktörlerin en önemlilerinden birisi mikroyapısal özelliklerdir. Küre sayısı, küresellik, ferrit/perlit oranı, karbür miktarı vb. parametrelerin küresel grafitli dökme demirlerin mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Yapılan çalışmada üretilen dökme demirlerin bileşiminde Cr, Mo, V, W gibi karbür yapıcı elementler bulunmadığı ya da eser miktarda bulunduğu için incelenen mikroyapılarda karbür oluşumuna rastlanılmamıştır. Küresellik değerleri de aşırı türüne ve kesit kalınlığına göre çok fazla değişmediği için mekanik özelliklere etkisi göz ardı edilmiştir.

Mikroyapı analizlerinde gözlemlenen kesit kalınlığına ve aşırı türüne göre değişen küre sayısı ve matris yapısının sertlik üzerinde etkileri olduğu düşünülmektedir. Bazı kaynaklarda ve standartlarda nodül sayısı olarak ta bilinen küre sayısı 1 mm<sup>2</sup> alan içerisinde bulunan küre sayısını ifade etmektedir. Küre sayısının fazla olması mikroyapının incelendiğini ve homojenleştiği anlamına gelmektedir. Bu durumda nispeten ince mikroyapıya sahip kesitlerin sertlik değerlerinin de nispeten yüksek olduğu görülmüştür. İnce kesitli parçaların katılaşması kalın kesitli parçalara göre daha hızlı olduğu için grafit daha fazla büyüyemez ve küreler daha küçük olur. Küçük olan küreler daha fazla tane sınırına neden olmaktadır ve böylece sertlik artmaktadır. (Aydoğuş, 2019) Ayrıca küre sayısının fazla olması alaşım içerisinde eser miktarda bulunan zararlı elementlerin homojen dağılmasını sağlayarak bu elementlerin belirli bölgelerde birikmesini engelleyerek istenmeyen fazların oluşmasını da önler. (Çetin, 2016)

Küresel grafitli dökme demirlerde matris yapısında bulunan ferrit ve perlit oranlarının da mekanik özellikleri çok etkilediği bilinmektedir. Ferrit nispeten yumuşak bir faz olup düşük dayanıma ve iyi bir süneklığe sahiptir. Perlit ise nispeten sert, kırılğan ve dayanımı yüksek olan bir fazdır. Matris içerisinde perlit oranının artmasıyla sertlik ve dayanım artmaktadır. Mikroyapı analizlerinde kesit kalınlığının artmasıyla matristeki ferrit oranı artmış, perlit oranı ise azalmıştır. Bu durumda kesit kalınlığı arttıkça hem Ba hem de La aşılınmış numunelerin sertliği azalmaktadır. La aşılınmış numunelerin her ne kadar küre sayıları Ba aşılı olanlarından daha düşük olsa da perlit yüzdelерinin biraz fazla olması nispeten daha sert olmalarının sebebi olarak görülmektedir. Bu sonuçla perlit oranının mekanik özelliklerde küre sayısına kıyasla daha baskın olduğu da anlaşılmaktadır.

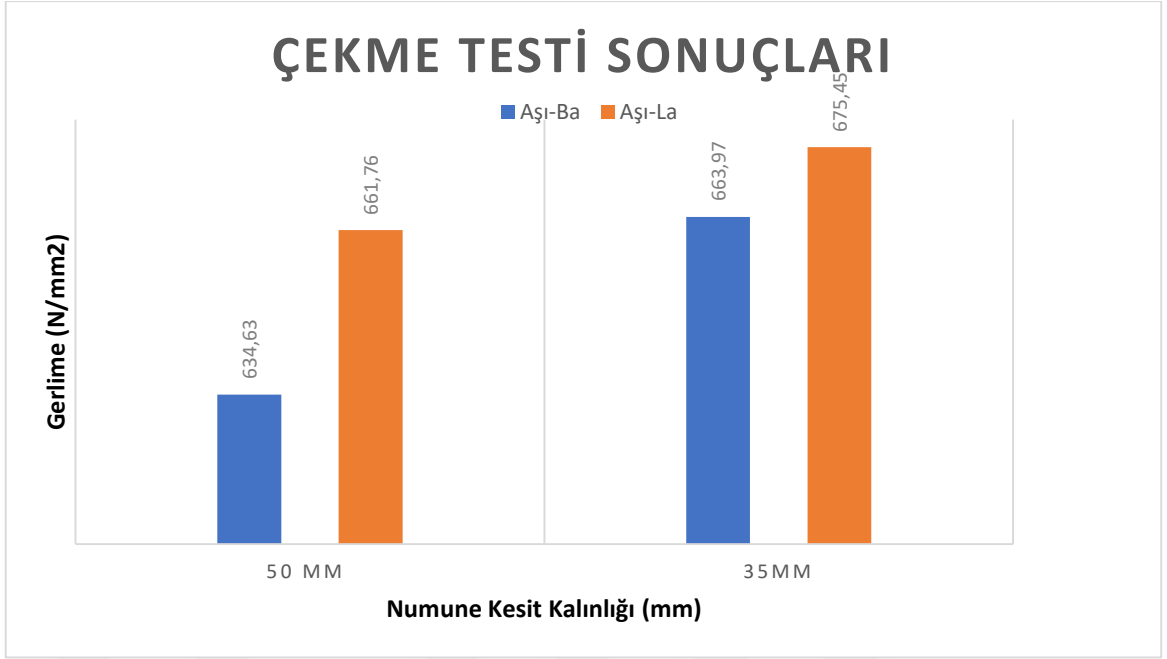
### 4.3 Çekme Testi Sonuçları

Ba ve La aşılı numunelerin mekanik özellikleri aynı zamanda oda sıcaklığında çekme testleri ile incelenmiştir ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.17' de ve Şekil 4.15' te verilmiştir. Çekme testi 50 mm ve 35 mm kesit kalınlıklarına sahip numunelere uygulanmıştır. Daha ince numunelere çekme testi uygulanmamıştır. Her iki aşılı numuneden ikişer olmak kaydıyla toplam 4 adet çekme numunesi hazırlanmıştır ve test edilmiştir (Şekil 4.16-4.19). Test edilen numunelerin  $l_0$  boyu 40 mm çapı 8 mm standart numunelerdir.

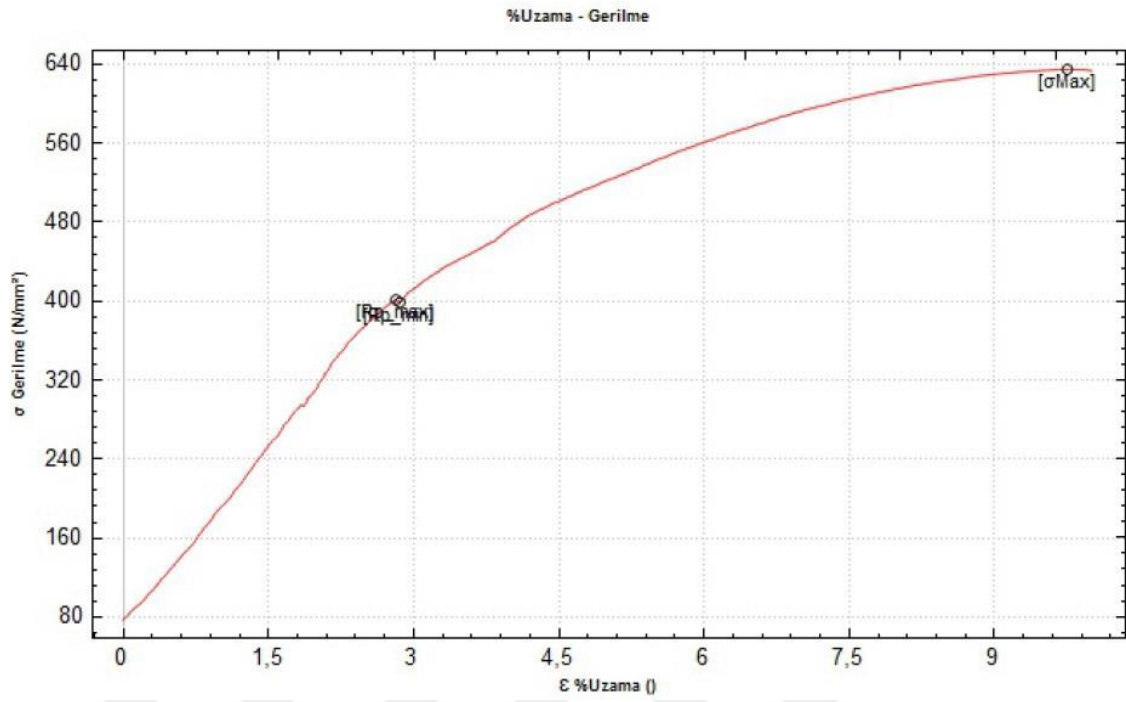
Çizelge 4.17 Baryumlu ve Lantanlı aşılar ile üretilen numunenin çekme testi sonuçları

Aşı- Ba	Çekme (N/mm <sup>2</sup> )	Akma (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama (%)
50mm kesit	634,63	398,56	10
35mm kesit	663,97	395,95	7,1
Aşı- La	Çekme (N/mm <sup>2</sup> )	Akma (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama (%)
50mm kesit	661,76	467,76	6,8
35mm kesit	675,45	432,14	7,1

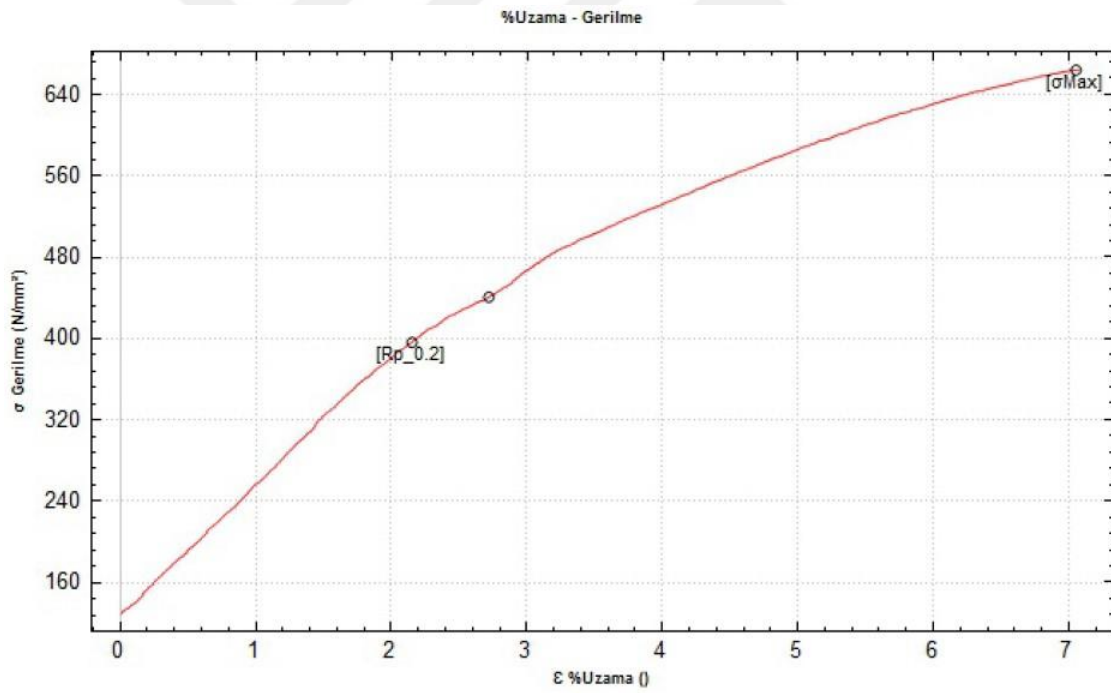
Sertlik sonuçlarına benzer olarak çekme testi sonuçlarında da La aşılınmış numunelerin akma ve çekme dayanım değerleri Ba aşılınmış numunelerin değerlerine kıyasla nispeten yüksektir. Ayrıca kesit kalınlığı 35 mm'den 50 mm'ye çıkınca çekme dayanımında belli bir miktar azalma görülmüştür.



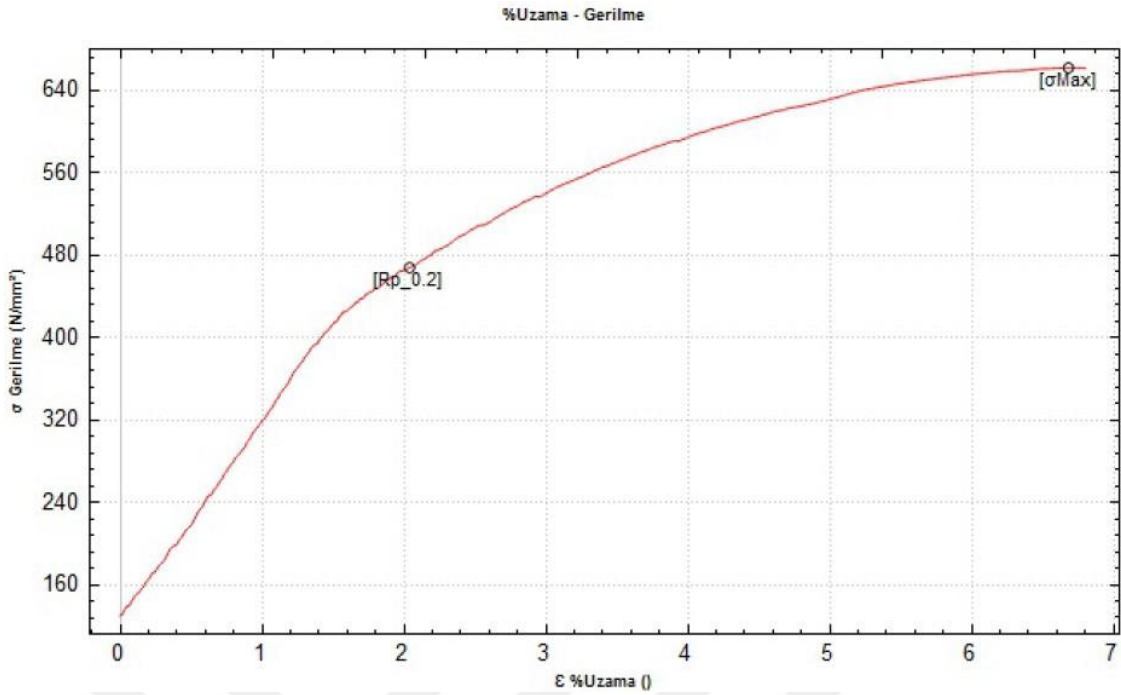
Şekil 4.15 Çekme testi sonuçlarının grafikte gösterimi



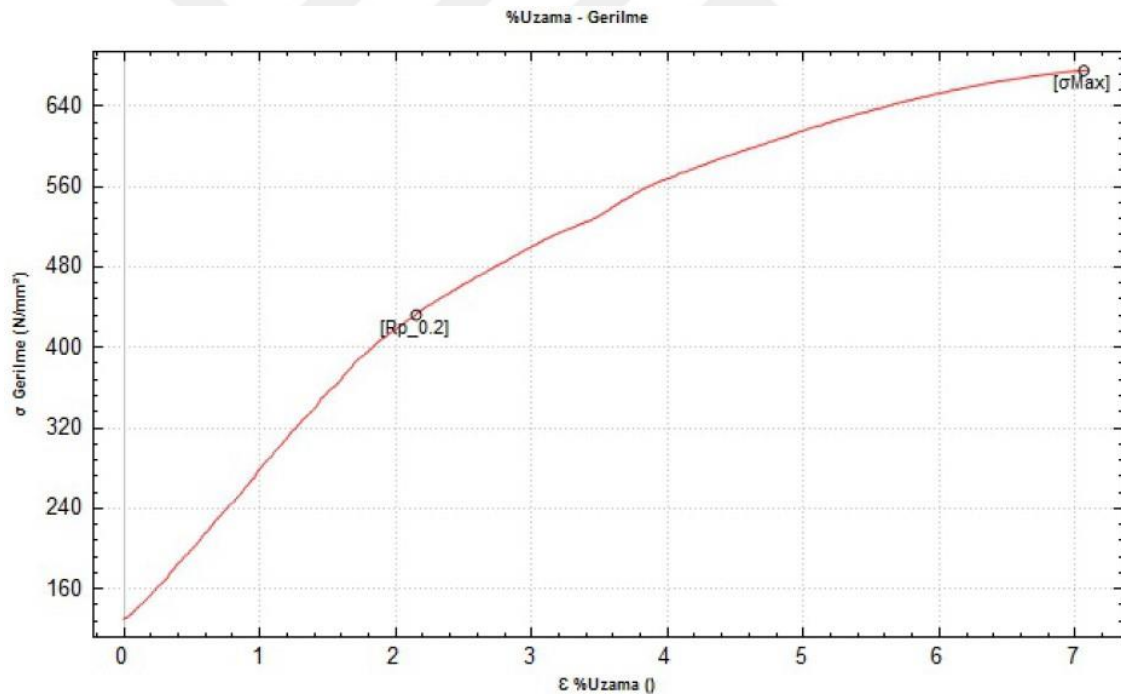
Şekil 4.16 50mm kesitli Baryumlu aşı kullanılarak üretilen numunenin çekme testi grafiği



Şekil 4.17 35mm kesitli Baryumlu aşı kullanılarak üretilen numunenin çekme testi grafiği



Şekil 4.18 50mm kesitli Lantanlı aşı kullanılarak üretilen numunenin çekme testi grafiği



Şekil 4.19 35mm Lantanlı aşı kullanılarak üretilen numunenin çekme testi grafiği

Tez çalışmasında elde ettiğimiz sonuçlar konu ile alakalı benzer çalışmalar ile kıyaslanmıştır ve benzer sonuçların ortaya çıktığı görülmüştür. Abdullah Aydoğuş tarafından yapılan “Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Aşılıyıcıların Mekanik Özellikler Mikroyapı ve Kükürt Üzerine Etkisi” adlı çalışmada benzer biçimde 5 mm kesitli numunenin en yüksek sertliğe, 50 mm kesitli numunenin ise en düşük sertliğe sahip olduğu belirtilmiştir. Kesit kalınlığı arttıkça malzemedeki kürelerin daha büyük olduğu

ve sertliğin de buna göre düştüğü görülmektedir. (Aydoğuş, 2019) Serhan Kahraman'ın yaptığı 'Küresel Grafitli Dökme Demirlerin (GGG-40, GGG-50, GGG-60, GGG-70) Üretim Sürecinin ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi' adlı çalışmada kesit kalınlığı azaldıkça perlit miktarının azaldığı ve çekme mukavemetin arttığı gözlemlenmiştir. (Karaman, 2011) Merve Demirlek 'in 'Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Yüksek Çevrimli Yorulma Davranışına Silisyum Oranının Etkisi' adlı çalışmasında yüksek Silisyumun küresel grafitli dökme demirin ferrit oluşumunu desteklediği ve yapının %100 ferrit olduğu görülmektedir. Ayrıca yüksek Silisyumun, malzemenin çekme değerini ve sertlik değerini düşürdüğü de çalışmada ifade edilmiştir. (Demirlek, 2013)

Özgür Çelik'in yaptığı 'Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Aşınma Davranışları' adlı çalışmada oda sıcaklığında  $Al_2O_3$  zımpara üzerinde yapığı aşınma deneyinde sertlik ile aşınma direncini doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir. (Çelik, 2001)

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada aynı küreselleştirici kullanılarak aynı oranda Ba ve La aşılınmış GGG 60 küresel grafitli dökme demir numunelerin mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Hem Ba hem de La aşılınmış numunelerde kesit kalınlığı arttıkça küre sayısı ve perlit oranında azalma, ferrit oranında artış gözlemlenmiştir.
- La aşılınmış numunelerin perlit oranı Ba aşılınmış numunelerdeki orana kıyasla daha yüksek, küre sayıları ise nispeten daha düşüktür.
- La aşılınmış numunelerdeki nispeten fazla perlit oranı bu numunelerin Ba aşılı numunelerden daha yüksek sertliğe ve dayanıma sahip olmasını sağlamıştır.
- Numunelerin sertlik değerleri kesit kalınlığı azaldıkça kademeli olarak azalmıştır.

### 5.2 Öneriler

- Kullanılan aşı miktarları değiştirilerek optimizasyon çalışması yapılabilir.
- Kullanılan aşılardan tane boyutları değiştirilerek farklı denemeler yapılabilir.
- Kullanılan aşılardan belirli oranlarda karıştırılarak bir çalışma yapılabilir.
- Uygulanan küreselleştirme işlemi değiştirilerek denemeler yapılabilir.
- İncelenen numunelere oda sıcaklığında darbe testi yapılabilir.
- Çekme numunelerinin kırılma yüzeyleri incelenebilir.

## KAYNAKLAR

- Aydoğuş, A. (2019). Küresel grafitli dökme demirlerde aşıluyıcıların mekanik özellikler mikroyapı ve kükürt üzerine etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*. Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aytaçoğlu, L. C. (2012). Dökme demirlerde termal analiz ve matematiksel yaklaşım. *Yüksek Lisans Tezi*. Sakarya: Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Brown, J. R. (2000). Foseco ferrous foundryman's handbook. Butterworht & Heinemann.
- Çelik, Ö. (2001). Küresel grafitli dökme demirlerin aşınma davranışları. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Çetin, A. (2016). Küresel grafitli dökme demir. *El Kitabı*.
- Demirlek, M. (2013). Küresel grafitli dökme demirlerin yüksek çevrimli yorulma davranışlarına silisyum oranının etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dinçtosun, M. (2019). Tekrarlı temperleme ısıl işleminin vermiküler dökme demirlerin işlenebilirliği üzerine etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*. Denizli: Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Elliott, R. (1988). Cast iron technology. Manchester: Butterworth & Heinemann.
- Fırtına, Ö. (2019). Küresel grafitli dökme demirlerin borik asit esaslı alternatif borlama karışımı ile borlanması ve karakterizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*. Manisa: Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Haycock, M. (2011). Effects of silicon content and cooling rate on mechanical properties of heavy section ductile cast iron. *Michigan Technological University*.
- Karadeniz, E., & Çolak, M. (2016). *GGG-60 küresel grafitli dökme demir üretiminde aşıluyıcı türü ve miktarının iç yapı ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi*. Niğde: Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi.
- Karaman, S. (2011). Küresel Grafitli Dökme Demirlerin(GGG40, GGG50, GGG60, GGG70) Üretim Sürecinin ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Edirne: Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karayel, G. (2019). Bor katkılı yüksek alaşımlı (Ni-Hard 4) beyaz dökme demirlerde tungsten ilavesinin mikroyapı aşınma ve mekanik özellikler üzerine etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*. Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Koch, M., & Soulas, K. (2014). *Inoculation of Grey and Ductile Iron*. İstanbul: FerroPem Groupe.



- Koch, M., & Soulas, K. (2014). *Inoculation of Grey and Ductile Iron*. İstanbul: FerroPerm Groupe .
- Lacaze, J., Aberg, L. M., & Sertucha, J. (2013). Review of Microstructural Features of Chunky Graphite in Ductile Cast Irons. *Keith Millis Symposium on Ductile Cast Iron*.
- Maschke, W., & Jonuleit, M. (2010). *Inoculation of cast iron*. Dublin, Ohio, USA: ASK Chemicals L.P.
- Olsen, S. O., & Skaland, T. (2007). *Inoculation of gray and ductile iron*. Norway: Elkem.
- Özcan, B. (2018). Gri dökme demir malzemelerin işlenebilirliğinin deneysel ve sayısal olarak incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sevgi, E. (2019). Küresel grafitli dökme demirlerin ısıtım şartlarının mekanik ve mikroyapı özelliklerine etkisinin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Manisa: Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sicclaira, R., Margaria, T., Berthelet, E., & Fourmann, J. (2003). Micro-Shrinkage in Ductile Iron/ Mechanism & Solution . *2003 Keith Millis Symposium on Ductile Cast Iron*. France: PEM (Pechiney Electrometallurgie).
- Stefanescu, D. M. (1990). *ASM Handbook, Volume 1: Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys*. ASM Handbook Committee.
- Stefanescu, D. M. (2008). *ASM Handbook, Vol 15 Casting*. ASM International.
- Stets, W., Löblich, H., Gassner, G., & Schumacher, P. (2014). SOLUTION STRENGTHENED FERRITIC DUCTILE CAST IRON PROPERTIES, PRODUCTION AND APPLICATION. American Foundry Society.
- Yollu, E. (2020). *Sfero Dökme Demir Üretim Pratiğı*. Aveks Aş.