

# KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERDE POROZİTE OLUŞUMUNUN ARAŞTIRILMASI

ÖNDER ALBAYRAK

Mersin Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği  
Ana Bilim Dalı

YÜKSEK LİSANS TEZİ

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Ahmet BALDAN

MERSİN  
MAYIS, 2001

116174

Bu tezin gerek bilimsel içerik, gerekse elde edilen sonuçlar açısından tüm gerekleri sağladığı kanaatine ulaşan aşağıda imzaları bulunan biz jüri üyeleri, sunulan tezi oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul ediyoruz.



Tez Danışmanı

Prof. Dr. Ahmet BALDAN

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Yusuf ZEREN

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Onur GÜVEN

Bu tezin Fen Bilimleri Enstitüsü yazım kurallarına uygun olarak yazıldığı, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 29.10.2021 tarih ve 2021/11-10 sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Özden BASTIÇEK



Not: Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

## ÖZ

Dökümlerde oluşan poroziteye, genel olarak çözünmüş gazlar ile sıvı ve katı metal yoğunlukları arasındaki fark nedeniyle oluşan çekinti sebep olmaktadır. Bu etkenler ayrı ayrı porozite oluşturabildiği gibi, birlikte de poroziteye sebep olabilmektedirler.

Küresel grafitli dökme demirlerin katılaşma sırasında oluşan grafit genişmesi nedeniyle, porozite hataları, diğer çeşit dökümlere göre daha fazla görülmektedir

Bu tezde, küresel grafitli dökme demirlerde porozite oluşumu hakkında genel bilgi verilmiş olup, bu bilgiler ışığında T-kesitli GGG40 küresel grafitli dökme demir parçada oluşan porozite miktarını azaltma amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Porozite oluşumunu önleme konusunda çalışılan parametreler, kalıp mukavemeti, kalıp malzemesi, besleyici etkisi, yolluk çeşidi, ped kalınlığı ve tipleridir.

Yapılan deneyler ile, üzerinde çalışılan T-kesitli GGG40 küresel grafitli dökme demir parçada yaklaşık %6.5'e kadar hurdaya sebebiyet veren porozite hataları azaltılarak, porozite kaynaklı hurdanın %1'in altına çekilmesi amaçlanmıştır.

Üzerinde çalışılan parça daha önce, yaş kum kalıp, besleyici yolluk, 10 mm kalınlığında ekzotermik karakterli ped kullanılarak üretilmekte iken; bu çalışmada yaş kum kalıp, meme yolluk, 10 mm kalınlığında yalıtkan karakterli ped kullanılması ve kalıbın alkollü boya ile boyanıp yakılarak kurutulması suretiyle mukavemetinin artırılmasıyla istenilen amaca ulaşılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Porozite, Küresel Grafitli Dökme Demir, Besleyici tasarımı

## **ABSTRACT**

Porosity in castings is generated by the evolution of dissolved gases and shrinkage created by density differences between liquid and solid metals. Though both effects can create porosity individually, they can also create porosity defects in cast metals together.

The porosity in ductile iron castings occur more than the other types of castings due to different characteristics of solidification of ductile iron.

In this work, the formation of porosity in ductile iron castings is reviewed. In addition, the possibility in reducing the porosity formation in a T-sectioned GGG40 ductile iron castings is investigated. The parameters studied in reducing the porosity level are as follows: Mold strength, mold materials, feeder effect, gating types, ped types and ped thickness.

The purpose of this study is to reduce the porosity defects which causes approximately 6.5% scrap metal for T-sectioned GGG40 ductile iron castings below than 1% of scrap metal.

The present work thus emphasizes the production of casting by using green sand mold, ingate-gating, isolated characteristic ped with 10 mm thickness and increase of the strength of the mold as opposed to the current traditional method that suggests production of the casting by using green sand mold, feeder-gating and exothermic characteristic ped with 10 mm thickness.

**Key Words:** Porosity, Ductile Iron Casting, Nodular Iron Casting, Feeder design

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamın yürütülmesini üstlenerek, derin bilgi ve tecrübeleri ile araştırmalarımaya yön veren, çalışmalarım süresince yardımlarımı esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Ahmet BALDAN 'a; ayrıca bu tezin hazırlanmasında yardım ve görüşlerinden dolayı bölüm başkanım sayın Prof. Dr. Yusuf ZEREN'e; çizimlerin yapılmasında emeği geçen bölümümüz araştırma görevlisi Erdem ÇAVUŐ ile dolaylı ve dolaysız katkı sağlayan diğer sayın hocalarıma; Mersin ÇİMSATAŞ Fabrikasında araştırma ve inceleme yapmama olanak sağlayan genel müdür yardımcısı sayın Özhan ŐİŐMAN'a, döküm bölümü müdürü sayın Erhan TEPSEVER'e ve çalışmalarımada bana yardımcı olup yakın ilgi gösteren metalurji mühendisi sayın Őefkat KOÇ 'a katkılarından dolayı teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZ</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b>	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b>	<b>iv</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b>	<b>vii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b>	<b>viii</b>
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b>	<b>4</b>
<b>2.1. KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİR</b>	<b>4</b>
2.1.1. Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Kullanım Alanları	4
2.1.2. Küresel Grafitli Dökme Demir Çeşitleri	5
2.1.3. Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Mekaniksel Özellikleri	9
2.1.4. Küresel Grafitli Dökme Demir Normları	9
2.1.5. Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Kullanılan Elementler	10
2.1.6. Grafit Genleşmesi	10
<b>2.2. KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERDE POROZİTE</b>	<b>10</b>
<b>2.3. KUM KALIPLARDA YOLLUK SİSTEMLERİ</b>	<b>17</b>
<b>2.4. BESLEYİCİ TASARIMI</b>	<b>18</b>
2.4.1. Besleyici Boynu	19
2.4.2. NRL (Naval Research Laboratory) Metodu ile Besleyici Boyutları Hesabı	21
<b>3. MATERYAL VE METOT</b>	<b>25</b>
<b>3.1. DENEY MALZEMESİ</b>	<b>25</b>
<b>3.2. KALIP KUMU</b>	<b>27</b>
3.2.1. Yaş Kum	27
3.2.2. Reçineli Kum	28
3.2.3. Kalıp Kumu Yenileme Sistemi	28

<b>3.3. MAÇA HAZIRLAMA</b>	<b>29</b>
3.3.1. Maça Malzemesi	29
3.3.2. Maça Üretimi	29
<b>3.4. KALIPLAMA</b>	<b>30</b>
3.4.1. Model	30
3.4.2. Kum Kalıplama Makinası	31
3.4.3. Kalıplama Aşamaları	31
<b>3.5. KULLANILAN PED KARAKTERİSTİKLERİ</b>	<b>31</b>
3.5.1. Ekzotermik Karakterli Ped	33
3.5.2. İzolasyon Karakterli Ped	33
<b>3.6. DÖKÜM AŞAMALARI</b>	<b>33</b>
3.6.1. Şarj Malzemesi	33
3.6.2. Ergitme Ocağı	34
3.6.3. Küreselleştirme İşlemi	34
3.6.3.1. Küreselleştirici malzeme	34
3.6.3.2. Küreselleştirme potası	35
3.6.4. Aşılama İşlemi	36
3.6.5. Kalıba Döküm	36
3.6.6. Kalıpta Soğuma	37
3.6.7. Kalıp Bozma	37
3.6.8. Yüzey Temizleme	37
3.6.9. Yolluk ve Çıkıcıların Ayrılması	37
3.6.10. Son Yüzey İşlemleri	37
<b>3.7. KİMYASAL KOMPOZİSYON TESBİTİ</b>	<b>38</b>
<b>3.8. POROZİTE TESBİTİ</b>	<b>38</b>
3.8.1. Radyografi ile Porozite Tespiti	38
3.8.2. Kesme ile Porozite Tespiti	38
<b>3.9. MİKROYAPI GÖRÜNTÜLENMESİ</b>	<b>38</b>
<b>3.10. KULLANILAN YOLLUK ÇEŞİTLERİ</b>	<b>39</b>
<b>3.11. BESLEYİCİ TASARIMI</b>	<b>40</b>

<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA</b>	<b>45</b>
4.1. KİMYASAL KOMPOZİSYON	45
4.2. POROZİTELİ VE SAĞLAM KISIMLARIN GÖRÜNTÜLERİ	46
4.3. POROZİTE OLUŞUMUNA ETKİYEN FAKTÖRLERİN, ÇALIŞILAN PARÇA ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	51
4.3.1. Besleyici Etkisi	51
4.3.1.1. Besleyici konumu	52
4.3.1.2. Besleyici tasarımı	53
4.3.2. Parça Kalınlığı Etkisi	54
4.3.3. Kalıp Malzemesi Etkisi	54
4.3.4. Yolluk Çeşidi Etkisi	55
4.3.5. Ekzotermik Karakterli Ped Kalınlığı Etkisi	57
4.3.6. Ped Cinsi Etkisi	57
4.3.7. Yalıtkan Karakterli Ped Kalınlığı Etkisi	58
4.3.8. Kalıp Mukavemeti Etkisi	59
4.3.9. Ped Kullanılmamasının Etkisi	60
4.3.10. Yapılan Çalışmaların Özeti	61
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b>	<b>62</b>
5.1. SONUÇLAR	62
5.2. ÖNERİLER	64
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>65</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>68</b>



## ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE	SAYFA
2.1. Küresel grafitli dökme demirlerin cinsine göre kullanım yerleri .....	8
2.2. Küresel grafitli dökme demirlerin mekaniksel özellikleri .....	9
2.3. Küresel grafitli dökme demir normları .....	9
2.4. Küresel grafitli dökme demirlerde var olan elementlerin başlıca etkileri ..	11
2.5. Besleyici boyun ölçüleri .....	20
2.6. Maça çapı ve et kalınlığına (K) bağlı olarak düzeltme faktörü değerleri ..	23
3.1. Üretilen parçanın (GGG40) kimyasal kompozisyonu (kütlece %) .....	26
3.2. Üretilen parçanın (GGG40) mekanik özellikleri (minimum) .....	26
3.3. Yaş kumun özellikleri .....	28
3.4. Ekzotermik karakterli pedlerin ürün özellikleri .....	33
3.5. İzolasyon karakterli pedlerin ürün özellikleri .....	33
3.6. Sorel pikinin kimyasal kompozisyonu .....	34
3.7. İndüksiyon ocağı kullanım aşamaları .....	34
3.8. Küreselleştirici malzemenin (BJOMET7) kimyasal kompozisyonu .....	35
3.9. Ferro-Silis'in (Superseed-75) kimyasal kompozisyonu .....	36
4.1. Kalıp kumunun poroziteye etkisi .....	55
4.2. Yolluk çeşidinin poroziteye etkisi .....	56
4.3. Ekzotermik karakterli ped kalınlığının poroziteye etkisi .....	57
4.4. Ekzotermik ped ile yalıtkan ped kullanımının poroziteye etkisi .....	58
4.5. Yalıtkan karakterli ped kalınlığının poroziteye etkisi .....	59
4.6. Yaş kum kalıp dayanımının poroziteye etkisi .....	59
4.7. Ped kullanmamanın poroziteye etkisi .....	60
4.8. Porozite giderme konusunda yapılan çalışmalar .....	61

## ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL	SAYFA
2.1. Ferritik küresel grafitli dökme demir. Büyütme: ×40. Nital ile dağlanmış .....	5
2.2. Perlitik-ferritik küresel grafitli dökme demir. Büyütme: ×40. Nital ile dağlanmış .....	6
2.3. Perlitik küresel grafitli dökme demir. Büyütme: ×100. Nital ile dağlanmış .....	7
2.4. Temperlenmiş martenzitik küresel grafitli dökme demir. Büyütme: ×400. Nital ile dağlanmış .....	7
2.5. Ostenitik küresel grafitli dökme demir. Büyütme: ×100. Nital ile dağlanmış ..	8
2.6. Yolluk sisteminin şematik gösterimi .....	17
2.7. Yönlü katılaşmanın şematik görünüşü .....	18
2.8. Besleyici boyunlarının, ölçüleriyle, şematik gösterimi .....	20
2.9. NRL'ye göre döküm hacmine ilave edilecek parazit hacmi yüzdesi .....	22
2.10. Şekil faktörüne bağlı olarak $V_b/V_d$ oranı değişimi .....	22
2.11. Besleyici hacmine göre besleyici boyutları .....	22
3.1. Üretilen parçanın şematik görünüşü .....	25
3.2. Kalıp kumu yenileme akım şeması .....	29
3.3. Alt derecede maça yerleşimi ve şekli .....	30
3.4. Üst derece modeli .....	30
3.5. Alt derece modelinde pedlerin yerleşimi .....	32
3.6. Alt derecede ped kullanımı .....	32
3.7. Kapaklı küreselleştirme potasının şematik gösterimi .....	35
3.8. Kullanılan besleyici yolluğun şematik gösterimi .....	39
3.9. Kullanılan meme yolluğun şematik gösterimi .....	40
3.10. Kör besleyicinin şematik gösterimi (yandan besleme) .....	41
3.11. "C", "Si+P" ve modüle bağlı olarak ST değerinin bulunması .....	42
3.12. Döküm parçasında, ısı transfer yönlerinin şematik gösterimi .....	43
3.13. T-kesit için döküm parçası modülü .....	43
3.14. Kesit değişimi olmayan yüzeylerde döküm parça modülü .....	44

<b>ŞEKİL</b>	<b>SAYFA</b>
4.1. Küreselleştirme işleminden önceki kompozisyon .....	45
4.2. Aşılama işleminden sonraki kompozisyon .....	46
4.3. Üzerinde çalışılan parçanın mikroyapısı. GGG40. Porozitesiz. Büyütme: ×50. %3 Nital ile dağlanmış .....	47
4.4. Üzerinde çalışılan parçanın mikroyapısı. GGG40. Poroziteli. Büyütme: ×50. %3 Nital ile dağlanmış .....	47
4.5. Üzerinde çalışılan parçanın mikroyapısı. GGG40. Porozitesiz. Büyütme: ×200. %3 Nital ile dağlanmış .....	48
4.6. Üzerinde çalışılan parçanın mikroyapısı. GGG40. Poroziteli. Büyütme: ×200. %3 Nital ile dağlanmış .....	48
4.7. Üzerinde çalışılan parçanın mikroyapısı-1. GGG40. Poroziteli. Büyütme: ×200 .....	49
4.8. Üzerinde çalışılan parçanın mikroyapısı-2. GGG40. Poroziteli. Büyütme: ×200 .....	49
4.9. Üzerinde çalışılan parçada oluşan porozitenin, radyografi ile görüntülenmesi .....	50
4.10. Radyografideki parça kısımlarının, döküm parçası üzerinde gösterimi ....	50
4.11. Modül hesabı için, üzerinde çalışılan parçanın bölümlere ayrılması .....	52

## 1. GİRİŞ

Porozite, genel olarak, çekinti hatalarından ve gaz hatalarından kaynaklanan, makroskobik veya gözle görülebilecek kadar büyük olan dağınık küçük boşluklardır. Gaz boşluğu ile çekinti boşluğu ayrı bölgelerde oluşabilir veya her iki boşluk da aynı yerde görünebilir. Çekinti boşlukları iğnemsî ve oksitli bir yapıya; gaz boşlukları ise genel olarak daha düzgün ve oksitsiz yüzeylere sahiptirler [1,2,3].

Gaz boşlukları, döküm parçasının yüzeyinde veya yüzeyin altında, dökümün bizzat içinde bulunan, balon şeklinde boşluklardır. Gaz geçirgenliği az olan kalıp kumundan dışarı çıkamayan gazlar, eriyik içinde çözünen gazların döküm parçasını terk edemeden katılaştıran bölgede hapsolmesi, gaz boşluğunu oluşturan etkenlerdendir [2,3,4].

Küresel grafitli dökme demirlerde çekinti boşlukları, kimyasal ve işlemsel değişkenleri kapsayan metalürjik faktörlerden, döküm parça tasarımından ve kalıp faktörlerinden etkilenirler. Döküm tasarımına bağlı faktörler içinde, döküm parça geometrisi, besleyici ve yolluk tasarımı, soğutucular ve ekzotermik gömlekler gibi beslemeye yardımcı etkenlerin kullanımı vardır. Kalıp faktörleri, kalıplama pratiğine ek olarak, yaş kum kompozisyonu ve işlenmesi ile ilgili değişkenleri içermektedirler. Metalürjik faktörler ise kimyasal ve işlemsel (eritme, aşılama, şarj etme) etkenlerden etkilenmektedirler [5,6].

Bu tezin deneylerinin yapıldığı Çukurova İnşaat Makinaları ve Ticaret A. Ş. (ÇİMSATAŞ), Döküm Bölümünde yılda yaklaşık 6000 ton döküm yapılmakta olup, bunun %25'i küresel grafitli dökme demirdir. Çalışmanın yapıldığı parça, küresel grafitli döküm yöntemiyle, ÇİMSATAŞ tarafından Almanya'daki ZF firması için üretilmektedir. Üretilen parça için, fabrika tarafından, ZF firmasının belirttiği kimyasal kompozisyon ve mekanik özellikler sağlanmış olup; kesitlerde hata kontrolünde poroziteye rastlanmıştır [7,8].

Bu çalışmada, piston dişli olarak adlandırılan T-kesitli ticari küresel grafitli dökme demirde, %6.5 civarında olan porozite kaynaklı harici hurdanın %1 civarına çekilmesi amaçlanmıştır [1]. Bu amaç doğrultusunda aşağıda belirtilen kapsamlarda araştırmalar yapılmıştır:

- Besleyici ve besleyici boynu tasarımı yapılarak, elde edilen boyutlar ile yapılan dökümlerde, porozite oluşumunun önlenip önlenemeyeceği,
- Parçadaki işleme payını, her iki yüzeyde de 1'er mm arttırarak porozitenin işleme payı içinde bırakılıp bırakılamayacağı,
- Reçineli kalıp ve yaş kum kalıp ile döküm yapılarak, kalıp mukavemetinin arttırılarak, üzerinde çalışılan parçada porozite oluşumunun önlenip önlenemeyeceği,
- Parça üretiminde kullanılmakta olan besleyici yolluk yerine meme yolluk kullanılarak, yeni yolluk sistemi ile porozite oluşumunun önlenip önlenemeyeceği,
- Parça üretiminde kullanılmakta olan ekzotermik karakterli pedlerin kalınlıkları değiştirilerek, porozite oluşumunun önlenmesi açısından hangi kalınlığın en uygun olduğu,
- Parça üretiminde, porozitenin bulunduğu, kesit daralması olan bölgede kullanılmakta olan ekzotermik karakterli ped yerine yalıtkan karakterli ped kullanılarak, porozite oluşumunun önlenip önlenemeyeceği,
- Yalıtkan karakterli pedlerin kalınlıkları değiştirilerek, porozite oluşumunun önlenmesi açısından hangi kalınlığın en uygun olduğu,
- Kalıp kumu olarak kullanılan yaş kumun, döküm parçayla temas yüzeyini alkollü boya ile boyayıp kurutma suretiyle, kalıp kumunun dayanımını arttırarak porozite oluşumunun önlenip önlenemeyeceği,
- Alkollü boya ile boyayıp kurutma suretiyle dayanımı arttırılan kalıplarda, ped kullanmadan döküm yapılarak porozite oluşumunun önlenip önlenemeyeceği.

Bu çalışmada, parça üzerinde modül farklarının bulunduğu yerlerde kullanılan ped civarında oluşan poroziteyi önleme konusunda çalışmalar yapılmıştır. Reçineli kalıplarda, ped kullanılmadan yapılan dökümlerde porozite görülmemiş, fakat zaman

ve maliyet açısından olumsuz olduğu için yaş kum kalıplamada bu sorunu çözme yoluna gidilmiştir.

Bu araştırma sonucunda elde edilen, üzerinde çalışılan parça için porozite oluşum sebepleri ve bunları giderme konusunda yapılan çalışma sistematığı; bu tür sorunlarla karşılaşan diğer endüstriyel birimlere yapacakları iyileştirme çalışmalarında bir önfikir vermektedir. Aynı zamanda ekzotermik ve yalıtkan pedlerin, pratikte, porozite giderme çalışmasında nasıl kullanıldığı gösterilmektedir.



## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİR

Küresel grafitli dökme demir, birbirinden bağımsız olarak “British Cast Iron Research Association (BCIRA)” ve “International Nickel Company (INCO)” tarafından geliştirilmiş ve ilk defa Amerikan Dökümcüler Cemiyetinin 1948 deki yıllık toplantısında döküm endüstrisi için yeni bir malzeme olarak tanıtılmıştır [9].

Bu tip dökme demir için “sphero”, “nodüler” ve “küresel grafitli” adları kullanılmakta olup; yurdumuzda kabul edilen daha çok “küresel grafitli dökme demir” deyimidir [10,11].

Küresel grafitli dökme demirler, gri dökme demirlerin başlıca avantajları (düşük ergime noktası, iyi akışkanlık ve döküm yapılabilme, mükemmel işlenebilme ve iyi aşınma direnci) ile çeliklerin mühendislik avantajlarını (yüksek mukavemet, tokluk, süneklik, sıcak işlenebilme, sertleştirilebilme) bünyelerinde bulundurmalarından dolayı endüstrinin birçok alanında yaygın olarak kullanılmaktadırlar [12,13].

#### 2.1.1. Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Kullanım Alanları

Küresel grafitli dökme demirler, otomotiv endüstrisinde (krank milleri, diferansiyel kutuları, direksiyon dişli kutusu, vb.), savurma boru sanayinde (su nakil boruları, akaryakıt nakil boruları, vb.), ziraat makinalarında (transmisyon kutuları, ön tekerlek çatalları, vb.), makina sanayinde (hidrolik presler, dövme presleri kafa ve silindirleri, dişliler, akslar, vb.), kimya sanayinde (rafineri valfleri, plastik ekstrüzyon silindirleri, doğal gaz boruları, vb.), inşaat sanayinde (kreyn parçaları, beton karıştırıcı parçaları, vb.), madencilik ve metalürji sanayinde (curuf potaları, kalıplama dereceleri, sıcak hadde merdaneleri, vb.), ulaştırma sanayinde (diferansiyel dişli kutusu, volanlar, vb.), güç sektöründe (brülör gövdeleri, sıcağa dayanıklı fırın parçaları, su türbinleri

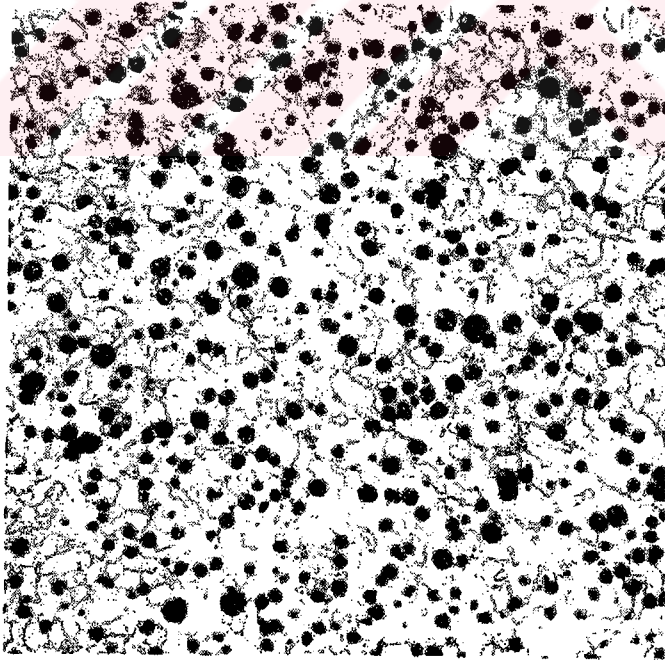


için dökme parçalar, gaz türbinleri için kompresör kutuları, vb.) yaygın olarak kullanılmaktadırlar [14,15].

### 2.1.2. Küresel Grafitli Dökme Demir Çeşitleri

Ferritik, perlitik-ferritik, perlitik, sertleştirilmiş-temperlenmiş ve ostenitik olmak üzere beş ana sınıfa ayırabileceğimiz küresel grafitli dökme demirler hakkında genel bilgiler aşağıda verilmektedir [16,17,18]:

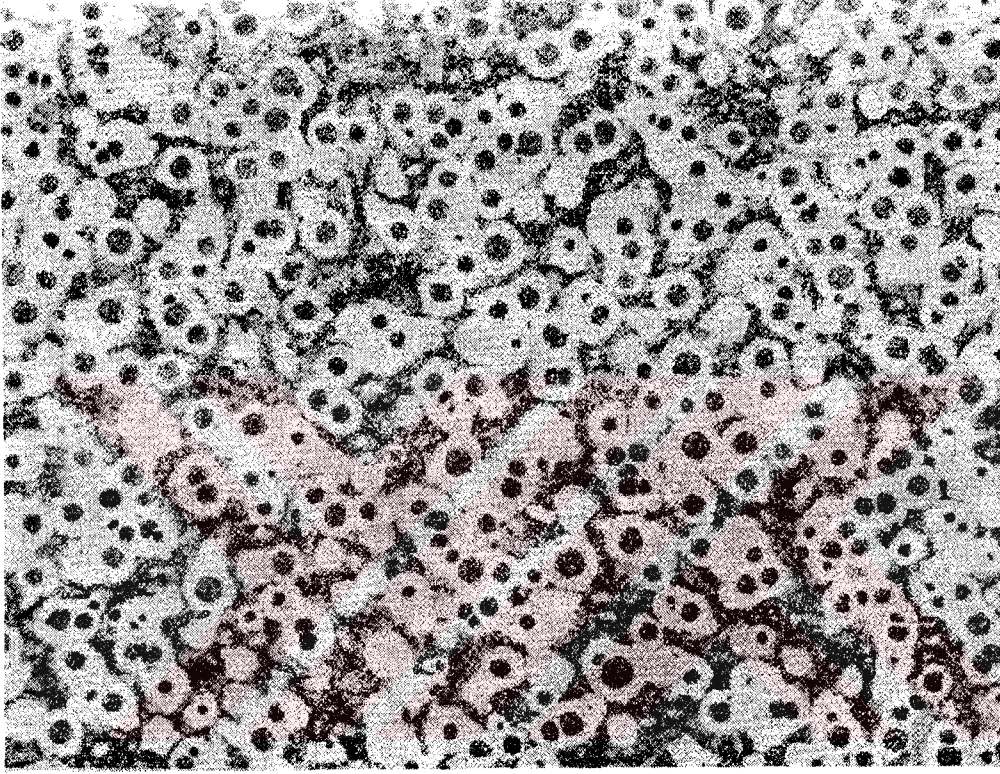
- a) Ferritik Küresel Grafitli Dökme Demirler (GGG 40): Ostenit içerisinde çözülen karbonun tamamı küresel grafitte dönüşmeye zaman bulursa, meydana gelecek malzemenin mikro-yapısı, ferritik bir matris ve bu matris içerisinde rasgele dağılmış küresel grafitten ibaret olur. Şekil 2.1'de ferritik küresel dökmenin mikroyapısı görülmektedir. Küresel grafitli dökme demir üretiminin önemli bir kısmını oluşturan bu grup, yüksek süneklik ve çentik darbe dayanımının yanı sıra çok iyi talaş kaldırılabilme özelliğine sahiptir [14,16,17].



Şekil 2.1. Ferritik küresel grafitli dökme demir. Büyütme:  $\times 40$ . Nital ile dağlanmış [17]

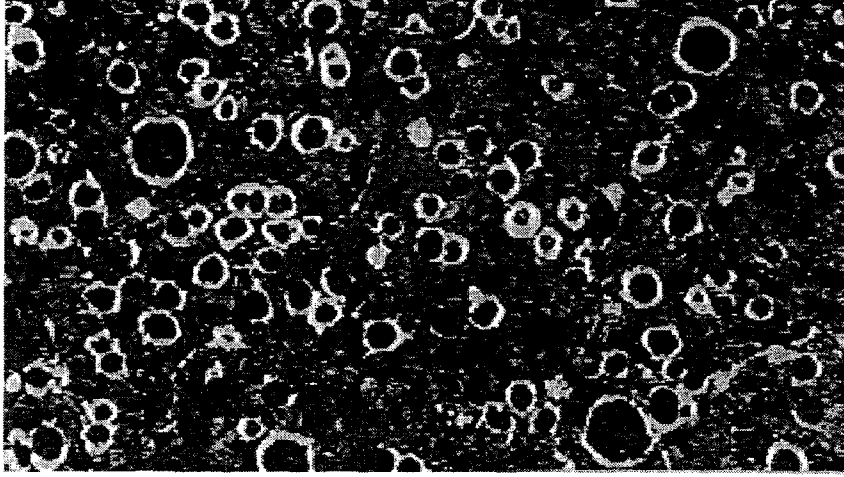


- b) Perlitik - Ferritik Küresel Grafitli Dökme Demirler (GGG 50-60): Şekil 2.2’de mikroyapısı gösterilen perlitik-ferritik ana dokulu küresel grafitli dökme demirler, ferritik yapıllara göre daha yüksek çekme değeri ve aşınma direncine sahiptirler. Aynı zamanda dökülmüş halde kullanılan perlitik malzemelere göre daha düzenli karbür dağılımına sahip oldukları için daha iyi mekanik özellikler gösterirler [14,17,18].



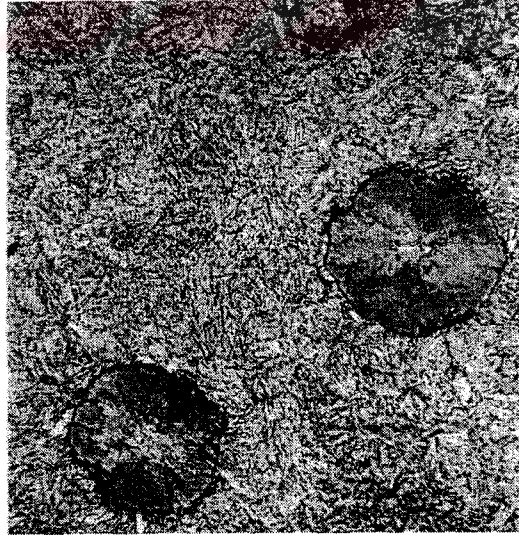
Şekil 2.2. Perlitik-ferritik küresel grafitli dökme demir. Büyütme:  $\times 40$ .  
Nital ile dağlanmış [17]

- c) Perlitik Küresel Grafitli Dökme Demirler (GGG 70): Ostenitten ayrılan karbon, grafitlerin bulunduğu bölgelere kadar ilerleyemediği ve orada katılaşmaya zaman bulamadığı durumlarda, grafitler ince demir levhalar şeklinde oluşurlar. Bu karbürlü levhalar ferritik matrisin devamlılığını bozarlar. Ferrit ve karbür levhaları devamlı olarak birbirlerine bitişik durumda oluşurlar. Böyle bir malzeme yapısına “perlit” ismi verilir. Perlitik küresel grafitli dökme demirlerin mikroyapısı Şekil 2.3’de gösterilmektedir [16,18].



Şekil 2.3. Perlitik küresel grafitli dökme demir. Büyütme:  $\times 100$ . Nital ile dağlanmış [18]

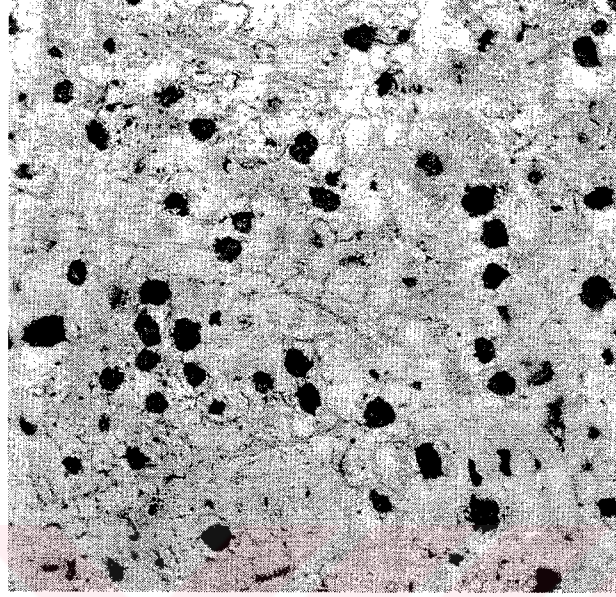
- d) Sertleştirilmiş ve Temperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirler: Özel alaşımlanmış, alaşımsız halde yağda su verilmiş veya temperlenmiş küresel grafitli dökme demirler ile ostemper veya martemper işlemlerine tabii tutulan küresel grafitli dökme demirler, maliyetleri yüksek olmakla birlikte çok üstün özellikler gösterirler. Bu grubun ana dokuları beynitik yada temperlenmiş martenzit'tir. Sertleştirilmiş ve temperlenmiş küresel grafitli dökme mikroyapısı Şekil 2.4'de gösterilmektedir [14,17,18].



Şekil 2.4. Temperlenmiş martenzitik küresel grafitli dökme demir. Büyütme:  $\times 400$ . Nital ile dağlanmış [17]



- e) Ostenitik Küresel Grafitli Dökme Demirler: İçerisinde %35'e kadar Nikel (Ni) bulunan ostenitik küresel grafitli dökme demirlerin (Şekil 2.5) korozyona mukavemetleri yüksektir [14,17].



Şekil 2.5. Ostenitik küresel grafitli dökme demir. Büyütme:  $\times 100$ . Nital ile dağlanmış [17]

Çizelge 2.1'de küresel grafitli dökme demirlerin, cinslerine göre kullanım yerleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Küresel grafitli dökme demirlerin cinsine göre kullanım yerleri [14,19]

Malzemenin Cinsi	Kullanım Yerleri
GGG-40	Fittingsler, inşaat iskele parçaları, fren merkezleri, büyük tekerlekler, pnömatik makina pistonları, potalar, fırın ve ocak kapakları, vb.
GGG-50	Kompresör pistonları, tekerlekler, pompa gövdeleri, dişli kutuları, traktör parçaları, tarım makinaları parçaları, valfler, vb.
GGG-60	Büyük dişliler, kağıt sanayiinde kullanılan haddeler, hidrolik kontrol alet yatakları, uçak motor parçaları, vb.
GGG-70	Kam milleri, kazıcı uçlar, kavramalar, pistonlar, kalıplar, makina parçaları, vb.
GGG-80	Piston kolları, hadde silindirleri, krank milleri, soğuk kalıplar, kam milleri, makine kılavuzları, palet makaraları, küçük dişliler, vb.
GGG-35.3	Darbe dayanımının önemli olduğu dökümler.
GGG-40.3	Darbe dayanımının önemli olduğu dökümler.

### 2.1.3. Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Mekaniksel Özellikleri

Çizelge 2.2’de küresel grafitli dökme demirlerin, cinslerine göre mekaniksel özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Küresel grafitli dökme demirlerin mekaniksel özellikleri [14,19,20]

	<b>Çekme Dayanımı (MPa)</b>	<b>Akma Sınırı (MPa)</b>	<b>Kopma Uzaması (%)</b>	<b>Kesit Daralması (%)</b>	<b>Brinel Sertlik (HB)</b>	<b>Mikroyapı (f: ferritik) (p: perlitik)</b>
<b>GGG-40</b>	400-550	250-350	15-27	15-30	135-185	f
<b>GGG-50</b>	500-650	320-420	7-18	2-20	170-220	f+p
<b>GGG-60</b>	600-750	380-480	3-8	3-8	200-250	p+f
<b>GGG-70</b>	700-850	440-600	2-6	2-6	235-285	p
<b>GGG-80</b>	800-1000	500-750	2-4	2-4	270-335	p
<b>GGG-35.3 (a),(b)</b>	350-400	220-280	22-30	20-35	110-150	f
<b>GGG-40.3 (b)</b>	400-450	250-300	18-27	17-32	120-165	f

a : Bu cinsler için ısı işlem gerekmektedir.  
b : Bunların çentik darbe değerlerinin garanti edilmesi gerekmektedir.

### 2.1.4. Küresel Grafitli Dökme Demir Normları

Çizelge 2.3’de küresel grafitli dökme demir normlarından bazıları gösterilmiştir. Üzerinde çalışılan parça ferritik küresel grafitli dökme demir

Çizelge 2.3. Küresel grafitli dökme demir normları [14,15,21]

<b>Ülke</b>	<b>Gösterim</b>	<b>Açıklama</b>
Almanya	GGG-40	GGG : küresel grafitli dökme demir gösterimi 40 : minimum çekme dayanımı
Uluslararası	SNG 40-15	SNG : küresel grafitli dökme demir gösterimi 40-15 : minimum çekme dayanımı - yüzde kopma uzaması
Türkiye	DDK-40	DDK : küresel grafitli dökme demir gösterimi 40 : minimum çekme dayanımı

### 2.1.5. Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Kullanılan Elementler

Çizelge 2.4'de küresel grafitli dökme demirlerde kullanılan elementlerin kullanım miktarları ile pozitif ve negatif etkilerinden başlıcaları verilmiştir.

### 2.1.6. Grafit Genleşmesi

Dökme demirin de dahil olduğu metallerin çoğu, sıvı halden katı hale geçerken önemli miktarda çekintiye, büzülme uğrarlar. Çeliklerde katılma büzülmesi hacimsel olarak %10 kadardır. Küresel grafitli dökme demirin katılma esnasında meydana gelen toplam hacimsel değişim ise, pratik olarak ele alındığında, önemsenmeyecek kadar küçüktür. Katı haldeki küresel grafitli dökme demirin özgül ağırlığı, katılma sıcaklığında bulunan sıvı metalin özgül ağırlığına eşit; yani  $6.8 \text{ gr/cm}^3$  dür. Küresel grafitli dökme demir, bünyesinde küresel grafitler içeren çelik gibi düşünülebilir. Büzülme maruz kalan çelik bileşeninde, grafit önce ayrışır ve sonra katılır. Grafitin özgül ağırlığı  $2.2 \text{ gr/cm}^3$  dür. Sıvı metal içerisinde çözülmüş %3-4 karbon grafit şeklinde katıldığı takdirde %9-12 kadar yer işgal eder [15].

Grafit oluşumu sebebiyle meydana gelen hacimsel genleşme demirin katılma büzülmesini yenmeye çalışır. Pratikte, grafit genleşmesi katılma başlangıcındaki büzülmeden daha fazla olabilir. Gerekli tedbirler alınmadığı takdirde dökümlerde porozite oluşur [15].

## 2.2. KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERDE POROZİTE

Dawson ve Smith [22], küresel grafitli dökme demirler üzerine yaptıkları çalışmalarda aşağıdaki sonuçları elde etmişlerdir:

- a) Küresel grafitli dökme demirlerde aşılmalı olarak kullanılan ferrosilikonlardaki alüminyum içeriği, küçük gözenek oluşumuna sebep olabilmektedir. Alüminyum miktarı arttıkça, sıvı metaldeki hidrojen miktarı da artmaktadır.

Çizelge 2.4. Küresel grafitli dökme demirlerde var olan elementlerin başlıca etkileri [15]

ELEMENTLER	KULLANIM MİKTARI	POZİTİF ETKİLER	NEGATİF ETKİLER
<b>Küreselleştirici Elementler</b>			
Mg	%0.02-0.08	sülfür ve oksijen içeriğini düşürür, grafitlerin küresel şekil alınmasına yardımcı olur.	karbür oluşumunu gereğinden fazla artırır
Toprak Alkaller ( RE )	%0.00-0.30	küreselleşmiş grafit sayısını ve magnezyum ile birleşme kalitesini düzenler, zararlı elementlerin etkilerini nötralize eder.	ince kesitlerde karbür, kalın kesitlerde ufalmış grafit oluşumunu gereğinden fazla artırır
Ca	belirli değil	küreselleşmiş grafit sayısını artırıp kalitesini geliştirir, aşlamayı optimize eder.	karbür oluşumunu gereğinden fazla artırır
Ba	belirli değil	küreselleşmiş grafit sayısını artırır, aşlamayı optimize eder.	—
<b>Temel Elementler</b>			
C	%3.00-4.00	grafit oluşumunu hızlandırıp, yapıda serbest karbür oluşma eğilimini azaltır	grafit oluşumunu fazlasıyla arttırabilir
Si	%1.80-3.00	katılaşma ve matris oluşumu esnasındaki grafitleşmeyi düzenler	ferriti sertleştirir ve kuvvetlendirir, ni-ductility sıcaklığını artırır
P	yaklaşık %0.02	—	tanelerarası karbür ağı oluşumunu şekillendirir
S	%0.01-0.02	magnezyum ve nadir toprak elementleriyle birleşir	magnezyum ekleme işleminin verimliliğini azaltır
Mn	%0.00-1.20	ham döküm ve normalize edilmiş demirlerdeki perlit oluşumunu düzenler	%0.70 in üzerinde bulunması durumunda tanelerarası karbür oluşturur
<b>Karbür ve Perlit Oluşturucu Elementler</b>			
Cr	%0.02-0.15	karbür oluşumunu arttırmada çok etkilidir	yumuşatma tavlamasında karbür direnci yaratır
B	< %0.0005	karbür oluşumunu artırır	yumuşatma tavlamasında direnç yaratan, tanelerarası karbür oluşturur
Sn	< %0.10	perlit oluşumunda çok etkilidir	tanelerarasında yaprak grafit oluşturur
As	Max. %0.01	perlitik yapı oluşumunda etkilidir	—
V	< %0.04	karbür oluşumunu artırır	tavlamaı yavaşlatır

Çizelge 2.4. Devam

ELEMENTLER	KULLANIM MİKTARI	POZİTİF ETKİLER	NEGATİF ETKİLER
<b>Alaşım Elementleri</b>			
Ni	%0.01-2.00	sertleştirilebilme için kullanılır	—
Mo	%0.01-0.75	sertleştirilebilme için kullanılır	tanelerarası karbür oluşumunu gereğinden fazla artırır
Cu	%0.01-0.90	perlitik sertleştirilebilme için düzenler	küreselleşmiş grafit sayısı veya kalitesi üzerinde önemli bir etkisi yoktur
<b>Zararlı Elementler</b>			
Te	< %0.005	kırıncı hataları kontrol etmek için kullanılır	nadir toprak elementleri yokluğunda küreselleşme üzerinde negatif etki yaratır
Pb	belirli değil	—	tanelerarasında yaprak grafit oluşumunu artırır
Ti	< %0.07	—	vermiküller grafit oluşumunu artırır
Al	%0.003-0.06	ferroalaşım larda çil etkisini basturmak için kullanılır	porozite oluşumunu artırır, özellikle kalın kesitlerde vermiküller grafit oluşumunu artırır
Sb	< %0.005	perlit oluşumunu destekler, kalın kesitlerdeki ufalanmış grafit oluşum eğilimini azaltır	nadir toprak elementleri yokluğunda, küreselleşmiş grafit yapısının bozulmasında çok etkilidir
Bi	< %0.01	nadir toprak elementleri varlığında, küreselleşmiş grafit sayısı ve kalitesini artırır	nadir elementlerin yokluğunda vermiküller grafit oluşumunu artırır
Zr	< %0.01	—	vermiküller grafit oluşumunu artırır
<b>Gaz Elementler</b>			
O	< %0.005	—	magnezyum ile birleşir
H	%0.0002-0.0015	—	merkez hatında karbür oluşumunu ve inverse çhili etkisini artırır, poroziteyi (kırıncı hatasını) artırır
N	belirli değil	—	yumuşak karbür oluşturma eğilimindedir, porozite oluşumunu artırabilir



- b) Küresel grafitli dökme demirlerde yaklaşık %0.04 titanyum bulunması, alüminyumun küçük gözenek oluşturma etkisini arttırmaktadır.
- c) Küresel grafitli dökme demirlerde %0.2'den fazla alüminyum kullanımı küçük gözenek oluşumunu azaltmaktadır.

Aras [15], "Küresel Grafitli Demir Dökümü" isimli kitabında porozite oluşum nedenlerini ve önleme tekniklerini aşağıdaki şekilde belirtmiştir:

Katılma çekintisi sonucunda oluşan porozite, gözenekli görünüşü ile kendini belli eder. Döküm yüzeylerinde ince bir tabaka oluştuktan sonra döküm bir bütün olarak genişmeye maruz kalır. Bu genişmenin yayılması kalıp sağlamlığına bağlıdır. Kalıp genişmesi önlediği takdirde porozite oluşumu azalır. Buna karşılık, yumuşak dövülmüş kalıplarda, gözenekli yapı oluşumu fazladır. Dökümün ısı merkezi çıkıcı içerisinde olursa, kullanılan çıkıcı porozite oluşumunu önler. Çoğu zaman bu hal, çıkıcının dökümden birkaç misli daha büyük olmasını gerektirir. Bu çözüm yolu pratik değildir. Soğutucu gibi katılaşmayı etkileyen araçların kullanılması biraz faydalı olabilir. Fakat porozite giderilmesinde, alınması gereken en iyi tedbir kalıbın sıkı olarak dövülmesidir. Kuru kum, çimento, seramik ve cam suyundan hazırlanan kalıplar yaş kum kalıplarına tercih edilmektedir. Buna rağmen, yaş kum kalıplar daha iktisadi olması nedeniyle halen kullanılmaktadırlar.

Toplu iğne başı büyüklüğündeki gaz boşluğu olarak kendini gösteren porozite, döküm yüzeyinin hemen altında oluşur. Rutubet ve kalıp duvarındaki gazların, sıvı metal içerisinde çözülmüş gazlara ilavesi sonucunda gaz boşlukları oluşur. Sıvı metalin katılaşması sırasında bu gazların bir kısmı kalıp yüzeyinden dışarı atılır. Bununla beraber, dökümden hemen sonra katılaşan ince bir metal tabakası bu gazların kalıp yüzeyinden dışarı atılmasını önlemektedir.

Carter ve ark. [23], gri ve küresel grafitli dökme demirlerde küçük gözenek (karınca hatası) oluşumuna etkiyen faktörler üzerinde yaptıkları çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçları elde etmişlerdir:



- a) Magnezyum işleminden sonra maruz kalınan nem, ciddi oranda küçük gözeneklere sebep olmaktadır. Bu da küresel grafitli dökme demirlerdeki magnezyum varlığının, kalıptaki nemli ekipmanlardan (yaş kum gibi) hidrojen emme eğilimini büyük ölçüde arttırdığını göstermektedir.
- b) Küresel grafitli dökme demirlerdeki nitrojen, magnezyum işleminin yan etkilerini ortadan kaldırdığı için probleme sebep olmamaktadır.
- c) Alaşıma titanyum ekleme gri dökme demirlerde küçük gözenekleri ortadan kaldırmakta; küresel grafitli dökme demirlerde ise ters etki yaparak gözenek oluşumuna sebep olmaktadır.
- d) Kalıp kumu olarak kullanılan yaş kumdaki nem oranı arttıkça, gözenek oluşma eğilimi de artmaktadır.

Naik ve Wallace [24], küresel grafitli dökme demirlerde gözenek oluşumunda yüzey gerilimi etkilerini inceleyerek aşağıdaki sonuçları elde etmişlerdir:

- a) Küresel grafitli dökme demirlerdeki bazı elementlerin varlığı veya eklenmesiyle veya sıvı metalin kalıptaki nem ile teması sonucu, yüzey gerilimi azaldığı takdirde, döküm parçada hidrojen gözenegine yatkınlık artmaktadır. Yüzey gerilimi arttıkça, hidrojen gözenegi oluşma eğilimi azalmaktadır.
- b) Küresel grafitli dökme demirlerde, alüminyum seviyesine göre yüzey gerilimi değişmektedir. Sıvı metaldeki alüminyum miktarı çok düşük ise yüzey gerilimi artmakta, dolayısıyla gözenek oluşumu azalmaktadır. Alüminyum seviyesi %0.01 ile %0.2 arasında olduğu takdirde yüzey gerilimi azalmakta; %0.2'yi geçtiği takdirde ise yüzey gerilimi tekrar artarak gözenek oluşumuna engel olmaktadır.
- c) Küresel grafitli dökme demirlerdeki tellür ve kalsiyum eklerinin artırılması, yüzey gerilimini düşürerek, gözenek oluşma eğilimini arttırmaktadır. %0.019'a kadar olan boron elementi ise yüzey gerilimini arttırmaktadır.

Ryntz ve ark. [25], küresel grafitli dökme demirlerde gözenek oluşumu hakkında yaptıkları çalışmalarda aşağıdaki sonuçları elde etmişlerdir:

- a) Küresel grafitli dökme demirlerde gözenek oluşum sebebi, potada akışkan halinde bulunan maden cürufunun, sıvı metaldeki karbon ile yaptığı tepkime sonucu ortaya çıkan karbon-monoksit gazlarıdır.
- b) Kalıp kumunda veya kalıp yüzeyinde gevşek halde bulunan ferrosiliko-magnezyum işlemlili alaşım, kalıp yüzeyinde küçük boşluklara sebep olmasına rağmen, yüzey altı gözenekleri oluşumunda etkili değildir.

Wallace ve ark.'nın [26] belirttiğine göre, küresel grafitli dökme demirlerde aşağıdaki faktörler çekinti boşluğunu, dolayısıyla porozite oluşumunu etkilemektedir:

- a) Kalıp Malzemesi: Kalıp deformasyonu, kalıp malzemesinin mukavemetine ve ısıl genişleme karakteristiğine direkt olarak bağlıdır. Yaş kum kalıp kullanımı, ekonomi, basitlik ve geniş kullanım sahası açısından avantajlı olmasına rağmen; reçineli kum kalıp gibi bir çok kalıp malzemesine kıyasla boyutsal kararlılığı azdır. Kalıp genişmesi, kullanılan kalıp kumuna göre farklılık gösterir. Kalıp genişmesi, döküm sıcaklığından, yaş kum nem oranından, kalıptaki yaş kumun sıkıştırılma yoğunluğundan ve ergimiş metalin katılma karakteristiğinden etkilenir. Kalıp kumunun genişmeye gösterdiği direnç azaldıkça, çekinti boşluğu artmaktadır. Yaş kumun kullanıldığı kalıplardaki çekinti hacmi, katılma esnasında deformasyon büyük olduğundan, alkali reçineli bağlayıcı kullanılan kalıplara göre ortalama %27 daha fazladır.
- b) Kimyasal Yapı: Küresel grafitli dökme demirlerde katılma çekmesi miktarı, oluşan ötektik grafit miktarından etkilenir. Karbon eşdeğeri 3.9 'a vardığı veya aştığı takdirde katılma çekmesi meydana gelmez.
- c) Döküm Sıcaklığı: Kalıptaki sıvı çekmesini belirleyen döküm sıcaklığı; kalıp malzemesinin ısıl genişmesini, dolayısıyla kalıp duvarı hareketini ve kabuk oluşumunun başlama zamanını etkilemektedir. Eğer alaşımda kabuk oluşumu meydana geliyorsa, kalıp duvarlarında oluşan basıncın etkisini azaltır. Yüksek döküm sıcaklıklarında, yani hızlı katılma zamanlarında, çekinti oluşumu artmaktadır.

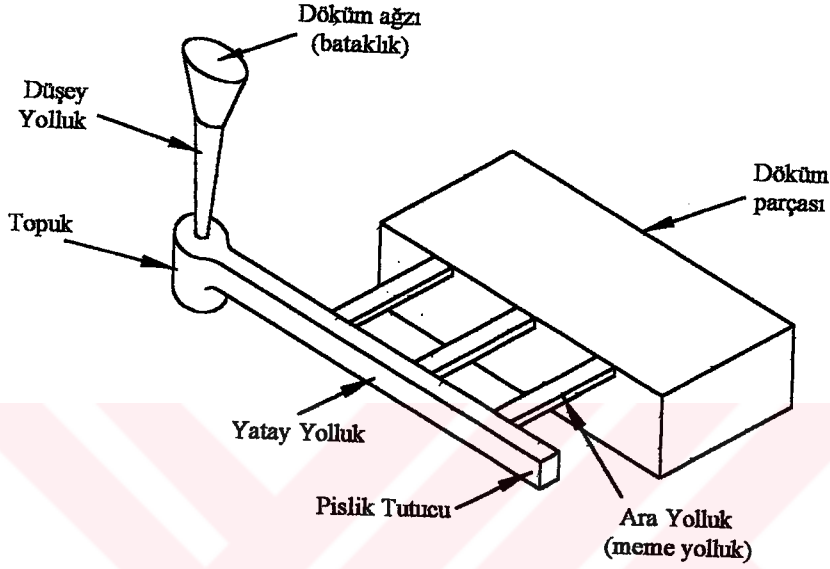
- d) Aşılama: Aşılama, ötektik hücre oluşumunu artırır. Eriyikte aşılamanın varlığı, grafitlerin büyümesine olanak sağlar. Küreselleşmiş tane sayısındaki artışla, sıvı metal akışına karşı direnç büyüyeceğinden, kalıp genişmesinde bir artış beklenir.
- e) Magnezyum İçeriği: Magnezyum, lamel grafitlerin oluşumunu önlemek, küresel grafit oluşumunu arttırmak için kullanılır. Sıvı metaldeki magnezyum içeriği çok düşük ise grafitlerin bir kısmı küresel şekil almayabilir. Buna nazaran, magnezyum içeriği yüksek ise, küreselleşmiş tane sayısında bir artış beklenir. Eğer magnezyum içeriği çok yüksek ise karbür oluşumu meydana gelebilir. Magnezyum ekleme işlemi zamanla etkisini yitirmektedir.
- f) “Yüzey Alanı – Hacim” Oranı: Döküm parçasının katılma hızı,  $(\text{yüzey alanı}) / (\text{hacim})$  bağıntısı ile orantılıdır. Katılma için gerekli zaman periyodu, bu iki parametre ile belirlenir. Kalıp duvarı hareketi, kalıbın “yüzey alanı - hacim” oranı, yani katılma zamanı yüksek ise, artış gösterir.

Wallace ve ark. [26] 'nın belirttiğine göre Nicholas ve Hughs (1958), çekinti ve porozite oluşumunu etkileyen faktörler üzerinde yaptıkları çalışmalarda, yaş kum kalıp kullanıldığı takdirde kalıp genişlemesinin, küresel grafitli dökme demirlerde, gri dökme demirlere göre daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca, CO ile sertleştirme veya silika bağlayıcı kullanımı gibi etkenlerle kalıp kumu sertliği artırıldığı takdirde, kalıp genişlemesinde, dolayısıyla çekinti boşluğu oluşumunda büyük oranda düşüş olduğunu gözlemlemişlerdir.

Bradley ve ark. [6], yandan besleyici kullanarak yaptıkları küresel grafitli T-kesitli dökümlerde, tasarıma bağımlı ve tasarıma bağımsız olmak üzere iki çeşit çekinti davranışına rastlamışlardır. Yaptıkları deneylerde, tasarıma bağımlı çekinti davranışının, besleyicinin ergimiş metali aktarabilmesine; dolayısıyla parça geometrisine bağımlı olduğunu ve bu tip çekinti boşluklarının, yatay besleme kesitinin azalmasıyla arttığını gözlemlemişlerdir. Tasarıma bağımsız çekintiler üzerinde yaptıkları çalışmalarda ise besleyicinin ergimiş metali aktarabilmesinin, çekinti oluşumunda etkin olmadığını; dolayısıyla bu tip çekintilerin, döküm geometrisiyle oynanarak düzeltilemeyeceğini gözlemlemişlerdir.

### 2.3. KUM KALIPLARDA YOLLUK SİSTEMLERİ

Sıvı metalin kalıp boşluğuna doldurulmasında yolluk sistemlerinden yararlanılmaktadır. Şekil 2.6’da gösterildiği gibi, yolluk sisteminin başlıca bölümleri döküm ağızı (bataklık), düşey yolluk, yatay yolluk, ara yolluk (meme) ve pislik tutucularıdır [27,28].



Şekil 2.6. Yolluk sisteminin şematik gösterimi [28]

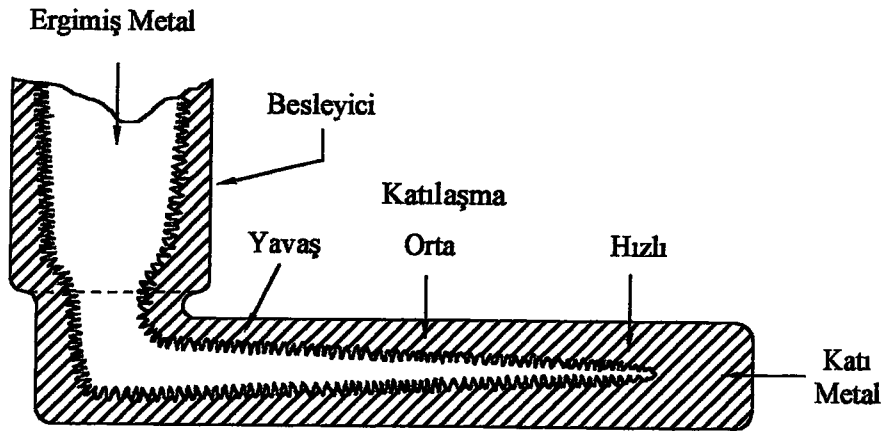
Kalıp boşluğuna doldurulacak sıvı metal, düşey yolluğun üstünde bulunan döküm ağızının (bataklık) içine dökülür. Bataklık yüzeyinde hidrostatik basınç sıfır, potansiyel enerji ise maksimum değerdedir. Ergimiş metal kalıba düşey yolluk vasıtası ile girer. Bu suretle potansiyel enerji kinetik enerjiye çevrilmiş olur. Hava aspirasyonunu önlemek ve düşey yolluk boyunca basıncın pozitif olması için düşey yolluk yukarıdan aşağıya, kesiti azalacak şekilde tasarlanmalıdır. Düşey yolluğun tabanında büyük kesitli bir hazne bulunur. Bu hazne vasıtasıyla, ergimiş metalin yavaşlaması sağlanarak, yatay yolluğa geçen metalin, erozyonla kalıbı bozmasına engel olunur. Yatay yolluklar, ergimiş metalin hızını azaltılıp daha düzgün bir akış sağlayarak, ergimiş metali ara yolluklar (memeler) vasıtasıyla kalıplara dağıtmak için kullanılmaktadırlar. Temizleme aşamasında döküm parçasından kolaylıkla ayrılabilmesi açısından, ara yollukların döküm parçası ile bağlantı yerindeki kesitleri küçüktür.

Yatay yolluğun ucunda bulunan pislik tutucular, ergimiş metal içinde hapsolan yabancı elemanların biriktiği yer görevini yapmaktadırlar [27,28].

#### 2.4. BESLEYİCİ TASARIMI

Metaller katılaştırırken, hacim küçülmeleri sonucunda, dökümlerde büzülme ve iç çekme boşlukları meydana getirirler. Bu boşlukların meydana gelmesini önlemek için en yaygın metot besleyici kullanmaktır. Toplam çekinti, besleyici içinde kaldığı için esas parça sağlam çıkmaktadır. Dökümün katılaşmasından sonra, besleyici esas parçadan kesilmekte veya darbe ile koparılıp alınmaktadır. Besleyicinin başlıca özelliği dökümdeki metali, katılaşmaya kadar beslemektir. Yani parçanın çekmesini dengeleyecek bir şekilde, eriyik metal ile dolmasını sağlamaktır [29,30].

Boşluksuz ve sağlam bir döküm elde etmek için katılaşmanın döküm parçasından, ergimiş metal haznesine yani besleyiciye doğru ilerlemesi gerekir. Katılaşmanın besleyiciden en uzak noktada başlaması ve besleyiciye doğru ilerlemesine yönlü katılaşma adı verilir, (Şekil 2.7). Yönlü katılaşmanın etkisiyle besleyici, ergimiş metali dökümün her noktasına iletir ve böylece döküm, boşluksuz ve sağlam elde edilmiş olur [9,31,32].



Şekil 2.7. Yönlü katılaşmanın şematik görünüşü [9,31]

Yönlü katılaşmanın olup olmayacağını, döküm parça kesitlerinin birbirlerini besleyip besleyemeyeceğini anlamak için modüllere bakılmalıdır. Katılaşma zamanı ile ilgili hesaplarda kullanılan ve “modül” adı verilen “Hacim/Yüzey Alanı” oranını “Chvorinov” bulmuştur. Bir kesitin, komşu kesitten daha uzun zaman sıvı kalabilmesi için daha fazla ısı ihtiva etmesi gereklidir. Daha uzun zamanda katılaşan kesitin modülü de daha büyüktür. Deneyle, bir kesitin, komşu kesiti besleyebilmesi için modülünün 1.1 kat fazla olması gerektiğini göstermektedir. Besleyicilerin modülü de, döküm parçasının en kalın kesitinin modülünün en az 1.2 katı olmalıdır [29,30].

#### 2.4.1. Besleyici Boynu

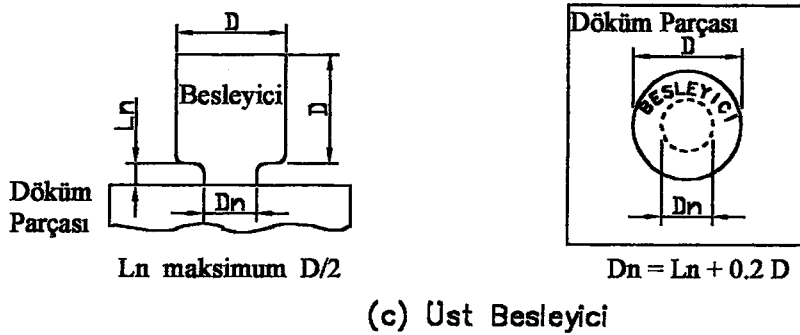
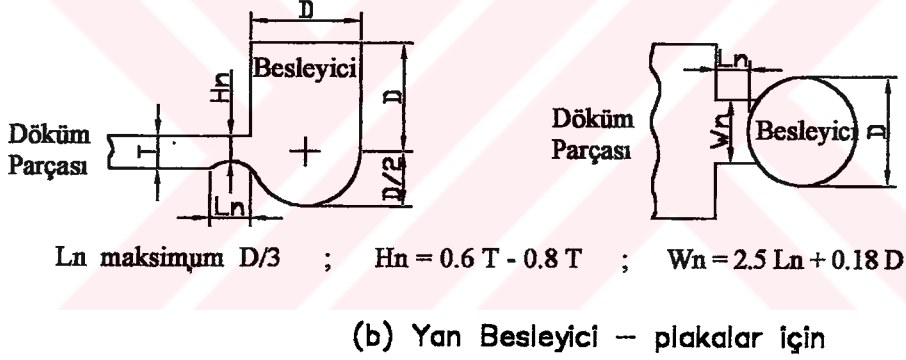
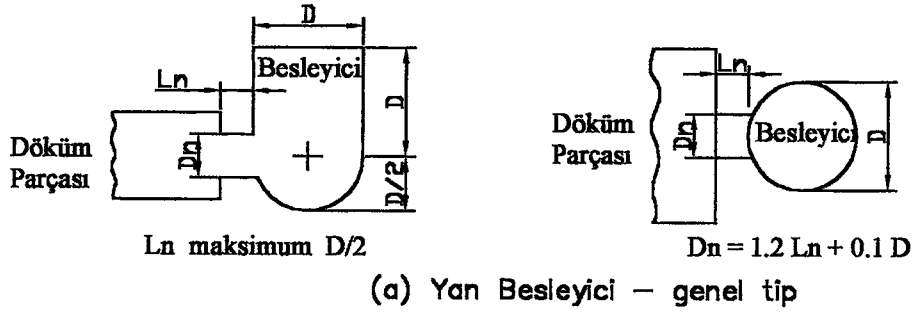
Besleyici boynu, besleyici ile döküm parçayı birleştiren besleyici uzantısıdır. Besleyicinin dökümü iyi besleyebilmesi ve besleyicinin dökümden kolayca ayrılabilmesi, besleyicinin döküm parçasına bağlantı yeri olan, besleyici boynuyla ilgilidir. Besleyici boynuları, besleyicinin dökümü iyi besleyebilmesi için geniş, besleyicinin dökümden kolayca ayrılabilmesi için dar olmalıdır. (Besleyicinin döküm parçadan kırılma olmaksızın ayrılabilmesi için besleyici boyun ölçüsü, bu bölgedeki et kalınlığının %80'ninden fazla olmamalıdır). Ayrıca bazı çeşit dökümlerde, besleyici boynu, besleyiciden önce katılaştırılarak, besleyicideki çekinti boşluğunun derinlik uzanımı kontrol edilebilir. Bu suretle boşluğun döküme ulaşması engellenerek, sadece besleyicide kalması sağlanır [9,30].

Çizelge 2.5’de verilen üç tip besleyici için besleyici boynu ölçüleri Şekil 2.8’de sematik olarak gösterilmiştir. Bu boyutlar besleyici boynunu çevreleyen malzeme, dökümde kullanılan malzeme ile aynı ısıl özelliklere sahipse kullanılır. Yalıtkan veya ekzotermik dolguların kullanımı halinde besleyici boyutları daha küçük olabilir [9,32].

Besleyici ile döküm parça arasında kalan besleyici boynu, hem döküm parçası hem de besleyici tarafından ısıtıldığından dolayı, boyundaki gerçek modül, kesit alanı kullanılmak sureti ile hesaplanan modülden büyük olabilmektedir. Bu nedenle, besleyici boynuları daha küçük ölçülerde kullanılabilir [29].

Çizelge 2.5. Besleyici boynu ölçüleri [9,32]

Besleyici Şekli	Besleyici-Döküm Parça Uzaklığı	Boyun Kesiti
Yan Besleyici (genel tip)	maksimum $D/2$	yuvarlak $r = 1.2 L_N + 0.1 D$
Yan Besleyici (plaka için)	maksimum $D/3$	dikdörtgen $H_N = 0.6 - 0.8 T$ $W_N = 2.5 L_N + 0.8 D$
Üst Besleyici	maksimum $D/2$	yuvarlak, $D_N = L + 0.2 D$



Şekil 2.8. Besleyici boyunlarının, ölçüleriyle, şematik gösterimi [9,32]



#### 2.4.2. NRL (Naval Research Laboratory) Metodu ile Besleyici Boyutları Hesabı

NRL metodunun [9,27,32] dayandığı ana prensip,  $A/V$  oranı küçük olan dökümlerde  $V_b/V_d$  oranının büyük olması gerekliliğidir. Metodun basitliği, yüzey alanının ölçülme zorluğunu gideren bir şekil faktörü var edışıdır. Bu faktör basit şekiller için çok kolay, kompleks şekiller için ise nispeten yaklaşık bir şekilde tayin edilmektedir.

$$\text{Şekil Faktörü} = \frac{U + G}{K}$$

Burada; U: uzunluk,  
G: genişlik,  
K: kalınlık, olmaktadır.

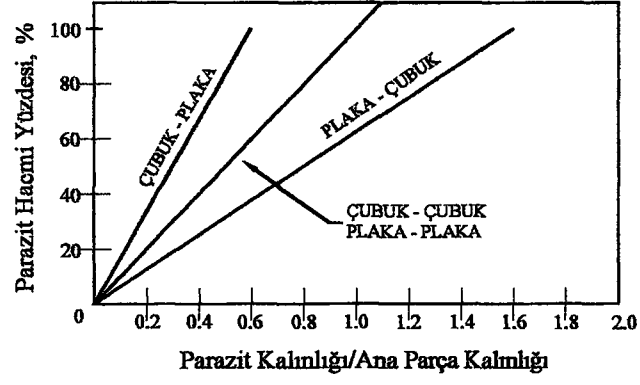
Kompleks şekilli dökümlerde bu boyutlar ana gövdenin en büyük boyutlarını temsil edecektir. Diğer kısımlar ise, yine bu metodun getirdiği bir kolaylık olarak, parazit kavramı altında hesaba katılırlar. Parazit olarak alınan kısımlar, şekil faktörüne iştirak etmezler.

Bütün parazit kısımlar iki ana şekile (çubuk veya plaka) benzetilerek, veya bu şekilde olduğu kabul edilerek hesaplamalara dahil edilir. Çubuk-plaka ayırımı için kriter, parçanın genişliği ve kalınlığı arasındaki bir bağıntıya dayanmaktadır:  $G > 3K$  olduğunda, parça “plaka” olarak;  $G \leq 3K$  olduğunda, parça “çubuk” olarak kabul edilir.

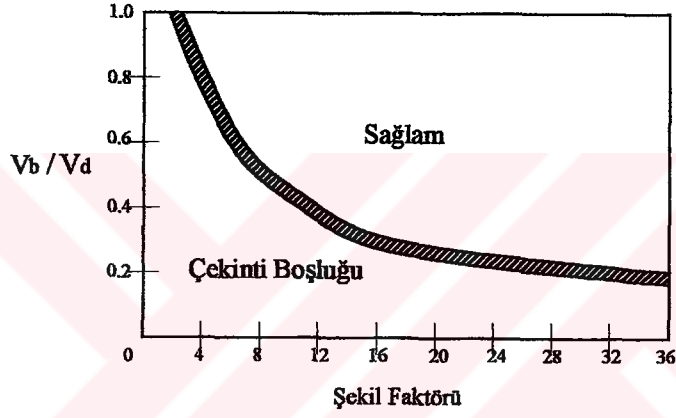
Parazit kısımların döküm hacmine ilavesi, belirli bir oran dahilinde olur. Bu oran, ana parçanın çubuk veya plaka şekilli oluşuna, parazit parçanın çubuk veya plaka şekilli oluşuna ve her ikisinin kalınlıklarına bağılı olarak değişmektedir (Şekil 2.9).

Şekil 2.10’da “şekil faktörü” ile “ $V_b/V_d$ ” oranı arasındaki bağıntı; Şekil 2.11’de ise “besleyici hacmi” ile “besleyici yüksekliği” arasındaki bağıntı gösterilmektedir.

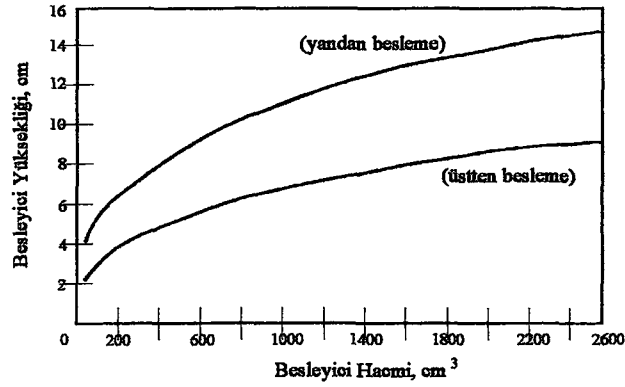




Şekil 2.9. NRL'ye göre döküm hacmine ilave edilecek parazit hacmi yüzdesi [27,32]



Şekil 2.10. Şekil faktörüne bağlı olarak  $V_b/V_d$  oranı değişimi [27,32]



Şekil 2.11. Besleyici hacmine göre besleyici boyutları [27,32]

Şekil 2.11. Besleyici hacmine göre besleyici boyutları [27,32]

NRL metodunun uygulanma aşamaları:

- Ana parça ve parazit parça(lar) tespit edilir.
- Ana parça ve parazit(ler)in çubuk veya plaka şekilli oluşları tespit edilir.
- Şekil 2.9'dan, " $V_d$ " hesabında kullanılacak parazit hacmi yüzdeleri bulunur.
- $V_d$  hesaplanır. ( $V_d = V_{\text{ana parça}} + \text{parazit hacmi yüzdesi} * V_{\text{parazit}}$ )
- Şekil faktörü hesaplanır. (Parazit olarak adlandırılan bölümler şekil faktörüne iştirak etmezler)
- Şekil 2.10'dan, hesaplanan şekil faktörüne karşılık gelen  $V_b/V_d$  oranı bulunur.
- $V_b/V_d$  oranı ve  $V_d$  ile  $V_b$  hesaplanır.
- Döküm esnasında üst besleyici mi, yan besleyici mi kullanılacağı belirlenir.
- $V_b$  ile  $h/d$  oranının kullanımıyla Şekil 2.11'den besleyici yüksekliği bulunur.
- Dökümde üst besleyici kullanılıyorsa " $h=0.5 d$ "; yan besleyici kullanılıyorsa " $h=d$ " eşitliğinden besleyici çapı hesaplanır.

Döküm şekli olarak içi boş silindirik şekiller (boru) alındığında, bunlara NRL metodunun uygulanmasında ayrı bir işlem gerekmektedir. Borular teorik olarak açılır ve elde edilen plakaya göre NRL metodu uygulanır. Ancak burada bir düzeltme faktörüne ihtiyaç vardır. Zira ortasında maça bulunan boru şekilli döküm, teorik olarak varsayıldığı plakadan daha yavaş soğuyacaktır. Dolayısıyla borunun gerçek et kalınlığı ( $K$ ), bir düzeltme faktörü ( $k$ ) ile çarpılarak efektif kalınlık ( $K_{\text{efektif}}$ ) hesaplanır. Böylece soğuma hızındaki farklılığı ortadan kaldırmak için hesaplamalarda döküm, gerçek kalınlığından daha kalın olarak alınmış olur.

$$K_{\text{efektif}} = K_{\text{gerçek}} * k$$

" $k$ " düzeltme faktörünün seçimi, Çizelge 2.6 yardımı ile yapılır.

Çizelge 2.6. Maça çapı ve et kalınlığına ( $K$ ) bağlı olarak düzeltme faktörü değerleri [9,27]

Maça Çapı	0.5 K	1 K	2 K	$\geq 4 K$
Düzeltilme Faktörü " $k$ "	1.17	1.14	1.02	1.0

Çizelge 2.6'da görüldüğü gibi maça çapı, döküm parçası et kalınlığının 4 katı veya daha fazla olduğı takdirde, düzeltme faktörüne ihtiyaç olmamaktadır. Yani döküm parça ile teorik olarak varsayıldığı plakanın soğuma hızları, herhangi bir düzeltmeyi gerektirecek derecede farklı olmamaktadır.

Bu bölümün birinci kısmında, çalışmanın yapıldığı malzeme olan küresel grafitli dökme demirlerden ve özelliklerinden ana hatlarıyla bahsedilmiş; ikinci kısmında, çeşitli araştırmacıların, küresel grafitli dökme demirlerde porozite oluşumu hakkında elde ettikleri verilere değinilmiştir. Üçüncü kısımda ana hatlarıyla kum kalıplarda yolluk sisteminden; dördüncü ve son kısımda ise besleyici tasarımından bahsedilmiştir. Bu verilerden yararlanılarak, küresel grafitli dökme demirden imal edilip piston dişli olarak adlandırılan parçada oluşan porozitelerin giderilmesi üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

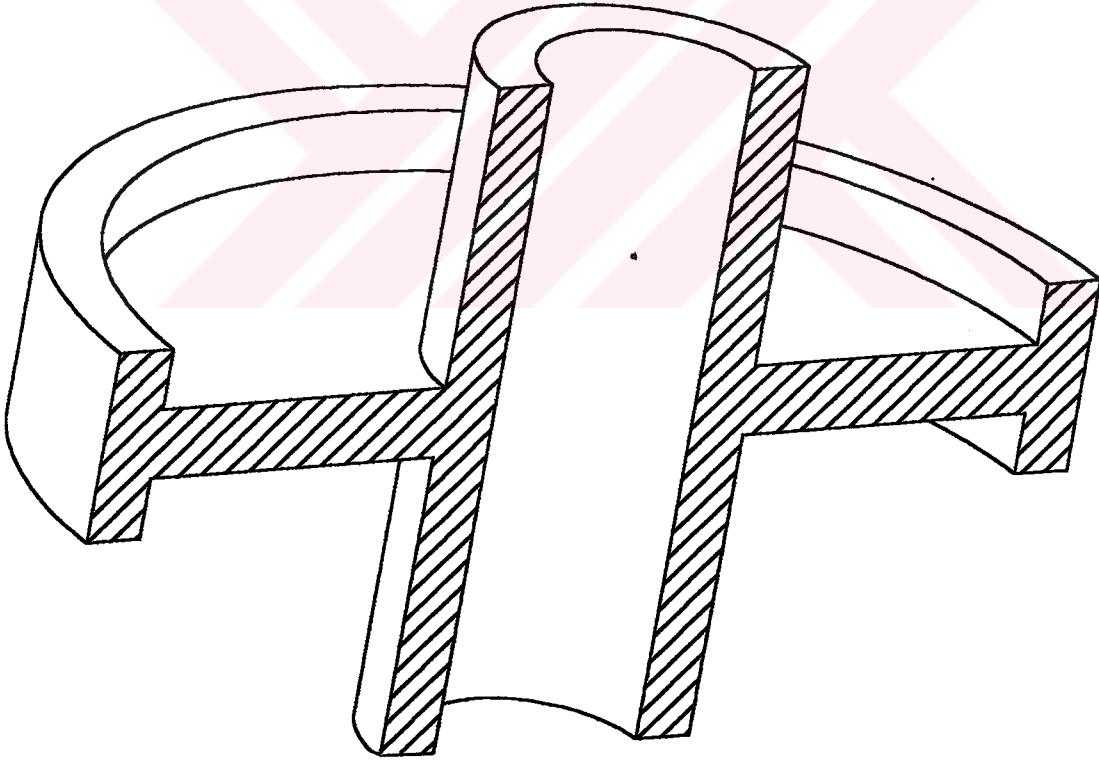


### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. DENEY MALZEMESİ

Bu tezin deneylerinin yapıldığı Çukurova İnşaat Makinaları ve Ticaret A. Ş. (ÇİMSATAŞ), Döküm Bölümü, 1980 yılında kurulmuştur. İçinde 4 adet indüksiyon ocağı olan dökümhanede, yılda 6000 ton döküm yapılmaktadır. Bunların %25'i küresel grafitli dökme demir, %75'i ise çelik dökümdür. Üretimin %75-80'i Almanya, Fransa, Belçika ve Norveç'e ihraç edilmektedir [7].

Çalışmanın yapıldığı parça (Şekil 3.1), küresel grafitli döküm yöntemiyle, ÇİMSATAŞ tarafından Almanya'daki ZF firması için üretilmekte olup "piston dişli" olarak adlandırılmaktadır [7].



Şekil 3.1. Üretilen parçanın şematik görünüşü

ZF firması, parçanın kimyasal kompozisyonunu ve mekanik özelliklerini Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de gösterilen şekilde belirtmiş olup, döküm kalitelerine doğrudan döküm yoluyla ulaşılmasını istemekte ve mikroyapının GGG40 ferritik (maksimum %10 perlitik) olması gerektiğini belirtmektedir [7,8].

Çizelge 3.1. Üretilen parçanın (GGG40) kimyasal kompozisyonu (kütlece %) [7,8]

C	Mn	Si	Ni	P	S	Mg
3.0 - 4.0	0.05 - 0.5	2.0 - 3.0	2.0 (maksimum)	0.1 (maksimum)	0.01 (maksimum)	0.03 (maksimum)

Çizelge 3.2. Üretilen parçanın (GGG40) mekanik özellikleri (minimum) [7,8]

Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)	Sertlik (HB)
400	250	15	17	135 / 185

Üretilen parça için, fabrika tarafından, Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de bahsi geçen kimyasal kompozisyon ve mekanik özellikler sağlanmış olup; kesitlerde hata kontrolünde poroziteye rastlanmıştır [7].

Bu çalışmada, piston dişlide, %6.5 civarında olan porozite kaynaklı harici hurdanın %1 civarına çekilmesi amaçlanmıştır [7]. Bu amaç doğrultusunda besleyici, parça kalınlığı, kalıp malzemesi, yolluk çeşidi, ekzotermik karakterli ped kalınlığı, ped cinsi, yalıtkan karakterli ped kalınlığı ve kalıp mukavemeti etkilerine değinilerek, poroziteyi giderme yolunda çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda elde edilen poroziteli kısımların tesbiti, parçaların 1'er mm'lik pasolarla kesilerek, oluşan yüzeylerde gözle muayene metodu ile yapılmıştır.

Üzerinde çalışılmakta olan parçada, porozite, parça üzerinde modül farklarının bulunduğu yerlerde kullanılan ped civarında oluşmaktadır. Reçineli kalıplarda, ped kullanılmadan yapılan dökümlerde porozite görülmemiş; fakat zaman ve maliyet açısından olumsuz olduğu için yaş kum kalıplamada bu sorunu çözme yoluna gidilmiştir.

## 3.2. KALIP KUMU

Yapılan çalışmalarda reçineli kalıp ve yaş kum kalıp kullanıldığından, ikisinin özellikleri de aşağıda verilmiştir.

### 3.2.1. Yaş Kum

Yaş kum kalıplamada kalıp malzemesi, kum tanecikleri, kil, su ve diğer katkıların bir karışımıdır. Kum tanecikleri kalıp malzemesinin esasını, bünyesine su alan kil ise bağlayıcıyı oluşturur. Kum kalıp malzemesi katkıları arasında, sıcaklık etkisi ile karbon oluşturan, kömür tozu gibi malzemeler önemli bir yer tutar. Bunların erimiş metal ile teması sırasında kum tanecikleri bir karbon tabakası ile kaplanır ve kumun sıvı metal tarafından ıslatılması güçleşir. Böylece daha düzgün ve temiz yüzeyler elde edilir. Kömür tozunun bir diğer faydası ise, yanması esnasında havanın oksijenini bağladığından yüzeyin oksitlenmesini bir ölçüde engellemesidir [28,30]. Yapılan çalışmada kullanılan kum karışımı, "Disa - George Fisher" marka mikserde 550 kg 'lık partiler halinde hazırlanmaktadır.

Miksere konulan girdiler [7]:

- 400 kg. 50 AFS no 'lu döngü kumu  
(%1 nem, %5-6 aktif kil, %2-3 ölü kil, %2 yanma kaybı)
- 100 kg. 60-65 AFS no 'lu silis kumu  
(%4.9 nem, %0.21 kil, %98 SiO<sub>2</sub> , yaklaşık 1500°C sinterleşme sıcaklığı)
- 30 kg. bentonit (inorganik bağlayıcı - kil)
- 20 kg. kömür tozudur.

AFS numarası kumun tane büyüklüğünü göstermektedir. AFS numarası büyüdükçe tane büyüklüğü küçülmektedir.

Mikserden çıkıp kullanıma hazır olan yaş kumun özellikleri Çizelge 3.3'de verilmektedir.

Çizelge 3.3. Yaş kumun özellikleri [33]

Yaş Basma Mukavemeti (MPa)	Gaz Geçirgenliği ( $cm^2/cm^3$ )	Yanma Kaybı (%)	Nem Oranı (%)	Sıkıştırılabilirlik (mm)
0.15 - 0.18	200-250	5	3 - 3.2	40-42

Kalıp yüzeyine bir miktar kalıp kumu döküldükten sonra, kalıbın geri kalan kısmı, dolgu kumu ile doldurulmaktadır. Dolgu kumunun tamamı döngü kumudur.

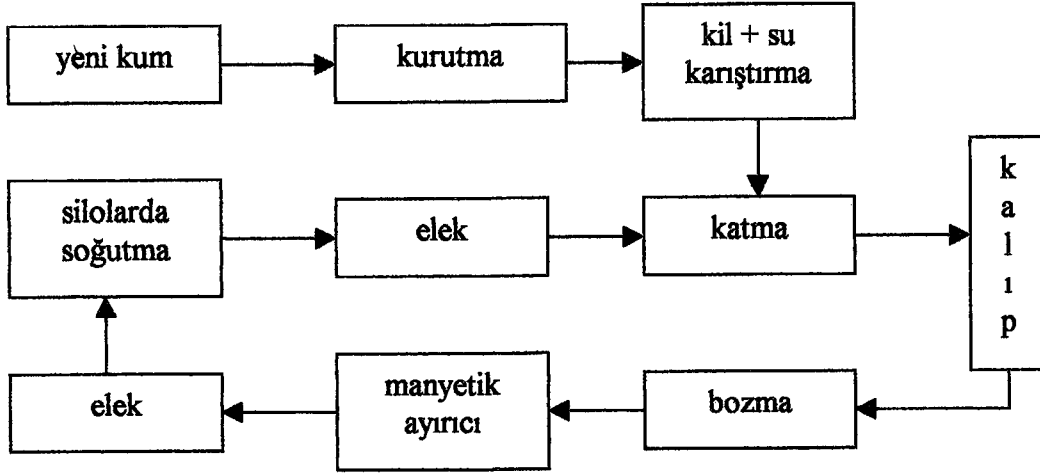
### 3.2.2. Reçineli Kum

Reçineli kum hazırlanmasında, Çukurova Kimya Endüstrisi ürünü TPA-48 Fenolik Rezol Reçinesi; Çukurova Kimya Endüstrisi ürünü ACE 1010 sertleştirici; 40-45 AFS no'lu silis kumu kullanılmaktadır [7].

12 ton/saat kapasiteli kontinü mikserde hazırlanan karışıma, kumun %1.5 kadarı reçine; reçinenin %20'si kadarı sertleştirici konulmaktadır. Bu kum ile hazırlanan numunelerde basma mukavemeti, 30 dakika sonunda 0.80-1.00 MPa değerine ulaşmaktadır [7,33].

### 3.2.3. Kalıp Kumu Yenileme Sistemi

Kalıp hazırlanmasında, alınan yeni kum ile, sıcak metalin çeşitli zorlamaları ile şeklini değiştirmiş ve topaklanmış eski kalıp kumu kullanılmaktadır. Bu sebepten kum hazırlanması, yeni kumun hazırlanması ile eski kumun hazırlanması olarak iki safhaya ayrılarak, akım şeması Şekil 3.2'de gösterilmektedir. Kalıp bozulmasıyla elde edilen eski kum, manyetik ayırıcı ile içindeki metalik parçalardan arındırılmakta, elekten geçirilerek boyutsal farklılıkları giderilmektedir. Kurutulup, kil ve su ile karıştırılmak suretiyle istenilen nem oranına sahip olunan yeni kum ile işlemlerden geçen eski kum karıştırılarak, kalıpta kullanılmaya hazır vaziyete gelmektedir.



Şekil 3.2. Kalıp kumu yenileme akım şeması

### 3.3. MAÇA HAZIRLAMA

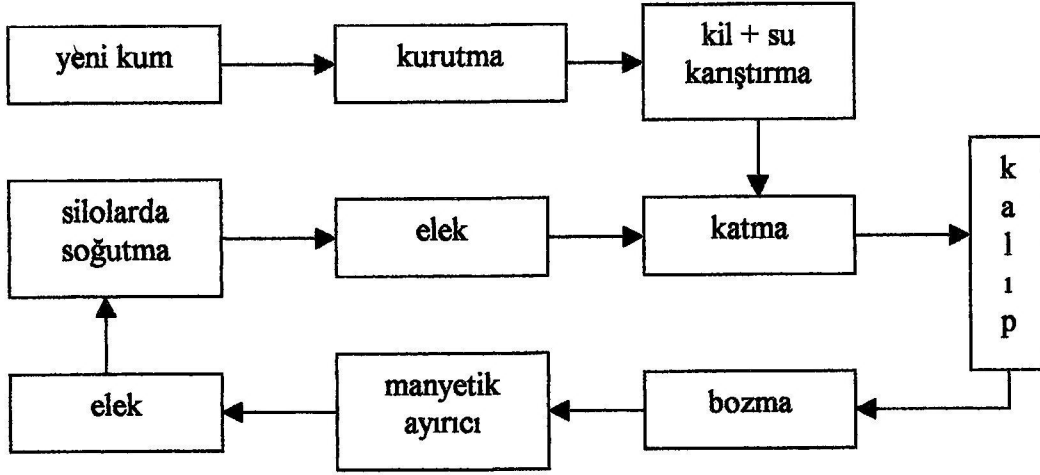
#### 3.3.1. Maça Malzemesi

Maça yapımında 40-45 AFS numaralı kum kullanılmaktadır.

#### 3.3.2. Maça Üretimi

Maça hazırlamada Integrated Sand Systems Limited'in, kum verme, gazlama ve gaz temizleme işlemlerinin otomatik olarak yapıldığı, 1992 model, Tricod marka makinası kullanılmaktadır. İki parçadan oluşan maça kalıbı birleştirilip, içine bir miktar maça kumu ve destekleyici tel koyulduktan sonra makinaya verilmektedir. Makinadan çıkartılan kalıp açılarak maça üzerindeki birleşim yerleri veya açma esnasında maçanın zarar gören yerleri düzeltilmektedir. Bu işlemlerden sonra Çukurova Kimya Ürünü Reflak 120 boya ile boyanan maçalar fırına verilerek, maçadaki ve boyadaki suyun atılması sağlanmaktadır. Çalışmada kullanılan maçanın yeri ve şekli Şekil 3.3'deki fotoğrafta görülmektedir.





Şekil 3.2. Kalıp kumu yenileme akım şeması

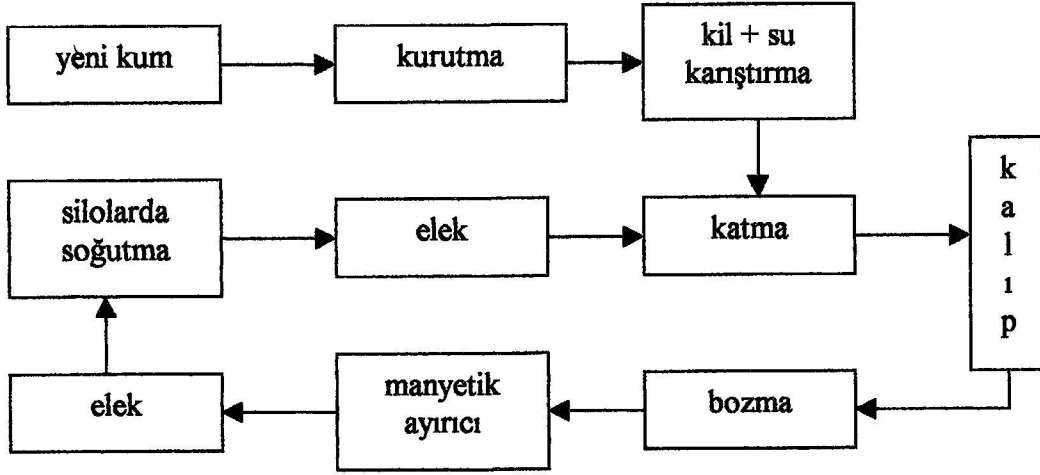
### 3.3. MAÇA HAZIRLAMA

#### 3.3.1. Maça Malzemesi

Maça yapımında 40-45 AFS numaralı kum kullanılmaktadır.

#### 3.3.2. Maça Üretimi

Maça hazırlamada Integrated Sand Systems Limited'in, kum verme, gazlama ve gaz temizleme işlemlerinin otomatik olarak yapıldığı, 1992 model, Tricod marka makinası kullanılmaktadır. İki parçadan oluşan maça kalıbı birleştirilip, içine bir miktar maça kumu ve destekleyici tel koyulduktan sonra makinaya verilmektedir. Makinadan çıkartılan kalıp açılarak maça üzerindeki birleşim yerleri veya açma esnasında maçanın zarar gören yerleri düzeltilmektedir. Bu işlemlerden sonra Çukurova Kimya Ürünü Reflak 120 boya ile boyanan maçalar fırına verilerek, maçadaki ve boyadaki suyun atılması sağlanmaktadır. Çalışmada kullanılan maçanın yeri ve şekli Şekil 3.3'deki fotoğrafta görülmektedir.



Şekil 3.2. Kalıp kumu yenileme akım şeması

### 3.3. MAÇA HAZIRLAMA

#### 3.3.1. Maça Malzemesi

Maça yapımında 40-45 AFS numaralı kum kullanılmaktadır.

#### 3.3.2. Maça Üretimi

Maça hazırlamada Integrated Sand Systems Limited'in, kum verme, gazlama ve gaz temizleme işlemlerinin otomatik olarak yapıldığı, 1992 model, Tricod marka makinası kullanılmaktadır. İki parçadan oluşan maça kalıbı birleştirilip, içine bir miktar maça kumu ve destekleyici tel koyulduktan sonra makinaya verilmektedir. Makinadan çıkartılan kalıp açılarak maça üzerindeki birleşim yerleri veya açma esnasında maçanın zarar gören yerleri düzeltilmektedir. Bu işlemlerden sonra Çukurova Kimya Ürünü Reflak 120 boya ile boyanan maçalar fırına verilerek, maçadaki ve boyadaki suyun atılması sağlanmaktadır. Çalışmada kullanılan maçanın yeri ve şekli Şekil 3.3'deki fotoğrafta görülmektedir.



### 3.5.1. Ekzotermik Karakterli Ped

Ekzotermik karakterli hazır pedlerin ürün özellikleri Çizelge 3.4'de verilmektedir.

Çizelge 3.4. Ekzotermik karakterli pedlerin ürün özellikleri [34]

Alüminyum (metalik)	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Reaksiyona Giriş Süresi (sn)	Reaksiyon Süresi (sn)	Nem (%)
% 25 (min)	0.65 - 0.70	50 - 80 (900 <sup>0</sup> C de)	80 -100	0.50 (max.)

### 3.5.2. İzolasyon Karakterli Ped

İzolasyon karakterli hazır pedlerin ürün özellikleri Çizelge 3.5'de verilmektedir.

Çizelge 3.5. İzolasyon karakterli pedlerin ürün özellikleri [34]

Alüminyum (metalik)	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Reaksiyona Giriş Süresi (sn)	Reaksiyon Süresi (sn)	Nem (%)
% 20 (min)	0.75 - 0.90	120-150 (900 <sup>0</sup> C de)	120 - 170	0.50 (max.)

## 3.6. DÖKÜM AŞAMALARI

### 3.6.1. Şarj Malzemesi

Ergitme işleminde şarj malzemesi olarak, %65 Sorel piki ve %35 döndü (çıkıcı, yolluk ve besleyici) kullanılmaktadır. Güney Afrika'daki RBM fabrikasından ithal edilen sorel pikinin kükürdü ve manganı düşük olup, kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.6'da verilmektedir. Döndü malzemesi olarak, dökümhanede, küresel grafitli demir dökümünden elde edilen çıkıcılar, yolluklar ve besleyiciler kullanılmakta olup; kimyasal analizi üretilen parça ile aynıdır.

Çizelge 3.6. Sorel pikinin kimyasal kompozisyonu [35]

Sorel-Metal Tipi	% C	% S	% Si	% Mn	% P
RF10	4.18	0.006	0.131	0.016	0.028

### 3.6.2. Ergitme Ocağı

Dökümhanede ergitme işlemi, 1980 yapımı, “Inductotherm” marka, asit astarlı, 1000 kg kapasiteli, nüvesiz indüksiyon ocağı ile yapılmaktadır.

İndüksiyon ocağı, şarj malzemesini eritip, döküm sıcaklığı olan 1480°C 'ye getirmek ve bu sıcaklıkta sabit tutmak için kullanılmaktadır. İndüksiyon ocağı, “daldırma thermocouple” ile ölçülen sıvı metalin sıcaklığı 1480°C 'ye gelinceye kadar ergitme aşamasında; döküm sıcaklığına ulaşıldıktan sonra ise sabit tutma aşamasında kullanılmaktadır, (Çizelge 3.7). Bu arada, sıvı metalde oluşan curufu toparlamak amacıyla ocağa zaman zaman perlit tozu serpilmiştir. Biriken curuf tabakası, kepçe yardımıyla alınıp atılmaktadır. Ocaktaki sıvı metal, döküm sıcaklığına gelince küreselleştirme potasına dökülmektedir.

Çizelge 3.7. İndüksiyon ocağı kullanım aşamaları [7]

	Güç	Frekans	Voltaj
Ergitme Aşaması	740 kW	1000 Hz	1400 volt
Sabit Tutma Aşaması	400 kW	850 Hz	800 volt

### 3.6.3. Küreselleştirme İşlemi

#### 3.6.3.1. Küreselleştirici malzeme

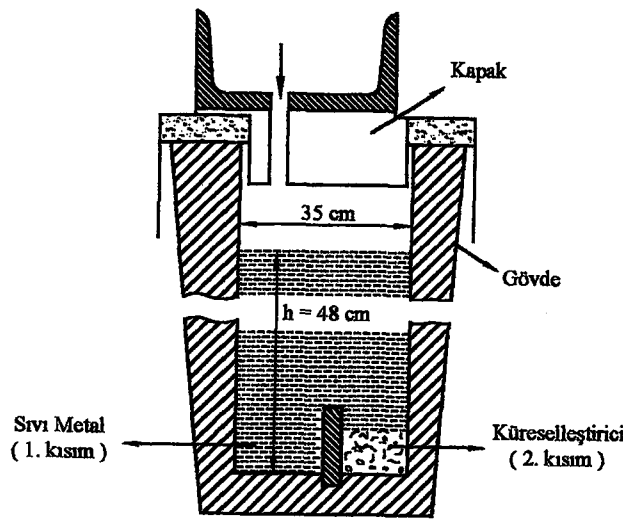
Küreselleştirici olarak 250 kg sıvı metal için 3.5 kg küreselleştirici kullanılmaktadır. Piston dişli taslağı üretiminde, ELKEM fabrikasında üretilip BJOMET7 olarak adlandırılan FeSiMg, küreselleştirici malzeme kullanılmakta olup; kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.8’de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Küreselleştirici malzemenin (BJOMET7) kimyasal kompozisyonu [36]

% Si	% Mg	% RE (toprak alkaliler)	% Ca	% Al
44 – 48	5.5 - 6.5	0.4 – 0.6	0.5 - 1.0	1.0 (max.)

### 3.6.3.2. Küreselleştirme potası

Küreselleştirme potası olarak, 250 kg kapasiteli kapaklı pota (BCIRA-Tundish Cover) kullanılmaktadır. Ocağın önünde, terazi üzerinde bulunan küreselleştirme potası kapak ve gövde olmak üzere iki kısımdan meydana gelmektedir. Şekil 3.7’de şematik olarak gösterilen küreselleştirme potasının gövde kısmı, belli bir yüksekliğe kadar ikiye bölünmüş durumdadır. Küreselleştiriciler 2. kısma koyulduktan sonra potanın kapağı kapatılarak, kapak vasıtasıyla, fırından dökülen sıvı metal, pota gövdesinin 1. kısmına yönlendirilmektedir. Yükseltiyi aşan sıvı metal, 2. kısımdaki küreselleştiricilerle temas edip reaksiyona girmektedir. Burada kapağın ikinci vazifesi (buharlaşan magnezyumun daha uzun süre potada kalmasını sağlamak) devreye girmektedir. Terazi yardımıyla küreselleştirme potasının dolduğu anlaşılınca fırından potaya döküm işi durdurulmaktadır. Dolu vaziyetteki küreselleştirme potasının kapak kısmı kaldırılarak, sıvı metal, aşılama hazır vaziyete getirilmektedir.



Şekil 3.7. Kapaklı küreselleştirme potasının şematik gösterimi [37]

Oksidasyon ile magnezyumun yanmasından dolayı, zamanla küreselleştirme işleminin etkisi azalacağından, küreselleştirme işlemi mümkün olduğunca hızlı yapılmaktadır.

#### 3.6.4. Aşılama İşlemi

Küreselleştirme işlemi ile yarı aşılammış durumda bulunan eriyik, aşılama yapılması ile çok sayıda çekirdeklere sahip olmaktadır. Aşılama sayesinde, eriyikte karbür oluşumu da önemli derecede önlenmektedir [11,37].

Küreselleştirme potasındaki sıvı metalin, 250 kg kapasiteli döküm potasına aktarılması esnasında, sıvı metale “ferro-silis” serpilerek aşılama yapılmaktadır.

Aşılama olarak kullanılan, ELKEM fabrikasında üretilip “Superseed-75” olarak adlandırılan ferro-silisin; kimyasal analizi Çizelge 3.9’da verilmektedir.

Çizelge 3.9. Ferro-Silis’in (Superseed-75) kimyasal kompozisyonu [36]

% Si	% Ca	% Sr	% Al
73 – 78	0.1 max.	0.6 – 1.0	0.5 max.

#### 3.6.5. Kalıba Döküm

Döküm potası dolduktan sonra üzerine perlit tozu serpilerek, hem sıvı metaldeki curuf tabakasının toplanması sağlanmakta hem de sıvı metalin hava ile temasının önlenmesiyle sıvı metal içindeki elementlerin buharlaşıp uzaklaşması ve sıvı metalin hidrojen, azot ve oksijen emmesi bir ölçüde önlenmektedir. Toplanan curuf tabakası sıvı metal üzerinde yüzerken kalıplara döküm yapılmakta; son döküm işleminden sonra ise curuf tabakası potadan atılmaktadır.



### 3.6.6. Kalıpta Soğuma

Kalıba döküm işlemi tamamlandıktan sonra, bataklık olarak adlandırılan yolluk ağzına çevresindeki kumdan bir miktar serpilerek daha geç katılaşması sağlanmaktadır. Kalıp şişmesini engellemek amacıyla, kalıp üzerine bir miktar ağırlık koyulmakta ve kalıp soğumaya bırakılmaktadır. Soğuma işlemi yaklaşık olarak 4 saat sürmektedir. Kalıp soğuduktan sonra ise kalıp bozma işlemine geçilmektedir.

### 3.6.7. Kalıp Bozma

Soğuyup bozulmaya hazır vaziyetteki kalıbın bozma işlemi, sarsma ızgaraları üzerinde yapılmaktadır. Burada kalıptan çıkartılan parçalar yüzey temizleme işlemine gönderilmektedir.

### 3.6.8. Yüzey Temizleme

Temizleme işlemi püskürtme metodu ile yapılmaktadır. İçinde 6 parça olan derece, yolluğundan askıya alınıp makineye sokulmaktadır. Makina içinde döndürülen parçaya 4 taraftan, yaklaşık 7 dakika saçma püskürtülmek suretiyle yüzey temizleme işlemi yapılmaktadır. Temizleyici olarak, 1.40 mm çapında, Çelik Granül Sanayiinden elde edilen S-550 kodlu bilyalar kullanılmaktadır.

### 3.6.9. Yolluk ve Çıkıcıların Ayrılması

Yolluk ve çıkıcıların ayrılması oksijen ile kesme yoluyla yapılmaktadır.

### 3.6.10. Son Yüzey İşlemleri

Yüzey pasoları taşlama ile giderilmektedir.

### 3.7. KİMYASAL KOMPOZİSYON TESPİTİ

Her parçanın dökümünde, birisi küreselleştirme işleminden önce, diğeri aşılama işleminden sonra olmak üzere iki defa kimyasal kompozisyon tespiti yapılmaktadır. Kimyasal kompozisyon tespitinde, Spectrolab marka, M5 model, “optik emisyon spektrometresi” kullanılmaktadır.

### 3.8. POROZİTE TESPİTİ

Yapılan çalışmada porozite tespiti için, radyografi ve kesip gözle muayene olmak üzere iki metot kullanılmıştır.

#### 3.8.1. Radyografi ile Porozite Tespiti

Parça içindeki boşlukları gösteren radyografi, Adana KOSGEB 'de sadece iki parça üzerinde yapılmıştır. Radyografi yöntemiyle porozite tespitinde, döküm parçası 55 cm mesafeden 12 dakika süreyle (her cm kalınlık için 1 dakika) X-ışınlarına tabii tutulmaktadır.

#### 3.8.2. Kesme ile Porozite Tespiti

Döküm parçaları, 1 'er mm paso alınmak suretiyle kesilerek, elde edilen her kesit üzerinde, gözle muayene sonucu, porozite olup olmadığına bakılmaktadır.

### 3.9. MİKROYAPI GÖRÜNTÜLENMESİ

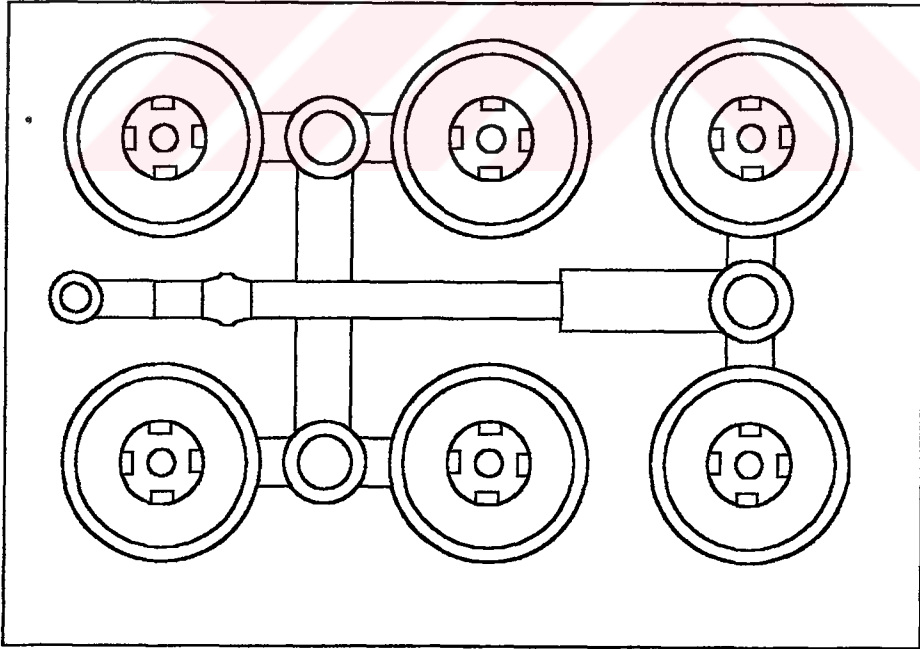
Üzerinde çalışılan parçanın mikroyapısını ve tespit edilen porozitelerin şeklini görmek amacıyla, optik mikroskopla incelenen numunenin uygun görülen yerlerinden fotoğrafları çekilmiştir. Parçayı, mikroyapı görüntülemesine hazırlamak amacıyla, parça üzerinde kesme, bakalite alma, taşlama, parlatma işlemleri uygulanmıştır.

Kesme, bakalite alma ve taşlama işlemlerinde sırasıyla Buehler LTD'nin "Cutter, Simplement 2 Mounting Press ve Grinder (silicon carbide resin bond cloth)" makinaları kullanılmıştır. Kullanılan Metkon marka parlatma cihazında ise önce sırasıyla, su ile birlikte 240, 320, 400, 600 'lük zımpara; sonra da keçe ve alümina tozu ile parlatma yapılmıştır. Hazırlanan numunelerin bazıları %3 Nital (%3 Nitrik asit, %97 alkol) ile dağlanmıştır.

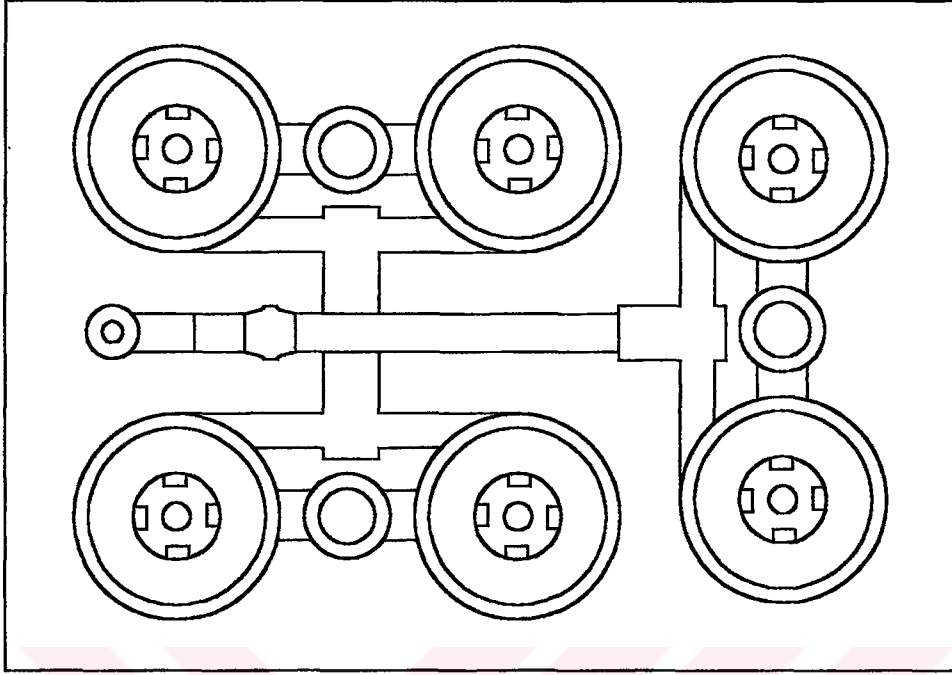
Mikroyapı görüntülenmesinde, Olympus marka, BH2-UMA model mikroskop ve aynı markanın mikroskoba bağlı C-35AD-4 model fotoğraf makinası kullanılmıştır.

### 3.10. KULLANILAN YOLLUK ÇEŞİTLERİ

Yapılan çalışmalarda, yolluk çeşidi etkisini gözlemlemek amacıyla kullanılan besleyici yolluk ve meme yolluğun şematik gösterimleri sırasıyla Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da verilmektedir.



Şekil 3.8. Kullanılan besleyici yolluğun şematik gösterimi



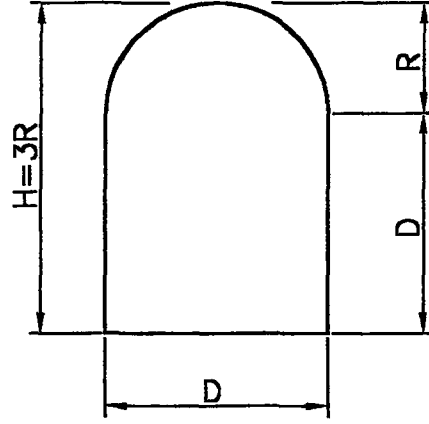
Şekil 3.9. Kullanılan meme yolluğun şematik gösterimi

### 3.11. BESLEYİCİ TASARIMI

Yapılan çalışmalarda kör besleyici kullanılmakta olup; Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'deki yolluk uygulamalarında da görüldüğü gibi yandan besleme yapılmaktadır. Genel tip yandan besleyici kullanıldığı için, Şekil 2.8'de de görüldüğü gibi, kullanılmakta olan besleyicinin çapı ile yüksekliği arasında 1/1.5 oranı bulunmaktadır. Şekil 3.10'da, şematik olarak gösterilen besleyicinin, modülü ( $M_b$ ) ile yarıçapı ( $R$ ) arasındaki bağıntı Eşitlik 3.1 de verilmektedir [37].

$$M_b = 0.38R = 0.19D \quad (3.1.)$$

Burada;  $M_b$ : besleyici modülü  
 $R$ : besleyici yarıçapı  
 $D$ : besleyici çapı'dır



Şekil 3.10. K r besleyicinin Şematik gösterimi (yandan besleme) [37]

Küresel grafitli dökme demirler için besleyici modülü ile döküm parça modülü ( $M_d$ ) arasındaki bağıntı EŞitlik 3.2’de verilmektedir [38].

$$M_b = M_d * 1.2 \sqrt{\frac{ST}{100}} \quad (3.2.)$$

Katılaşma zamanına göre % çekinti zamanı olan “ST”, Şekil 3.11’den bulunmaktadır. Şekil 3.11’de sağı alttaki 1 numaralı grafikten malzeme içindeki “%C” ve “%Si+P” değerlerinin kesim noktasından sağı üstteki 2 numaralı grafikteki parça modülüne kadar dik çizilir. Elde edilen nokta, soldaki 3 numaralı grafikteki, kalıp içindeki metal sıcaklığına kadar yatay olarak taŐınır. Kesim noktası, katılaşma zamanına göre % çekinti zamanını (ST) verir.

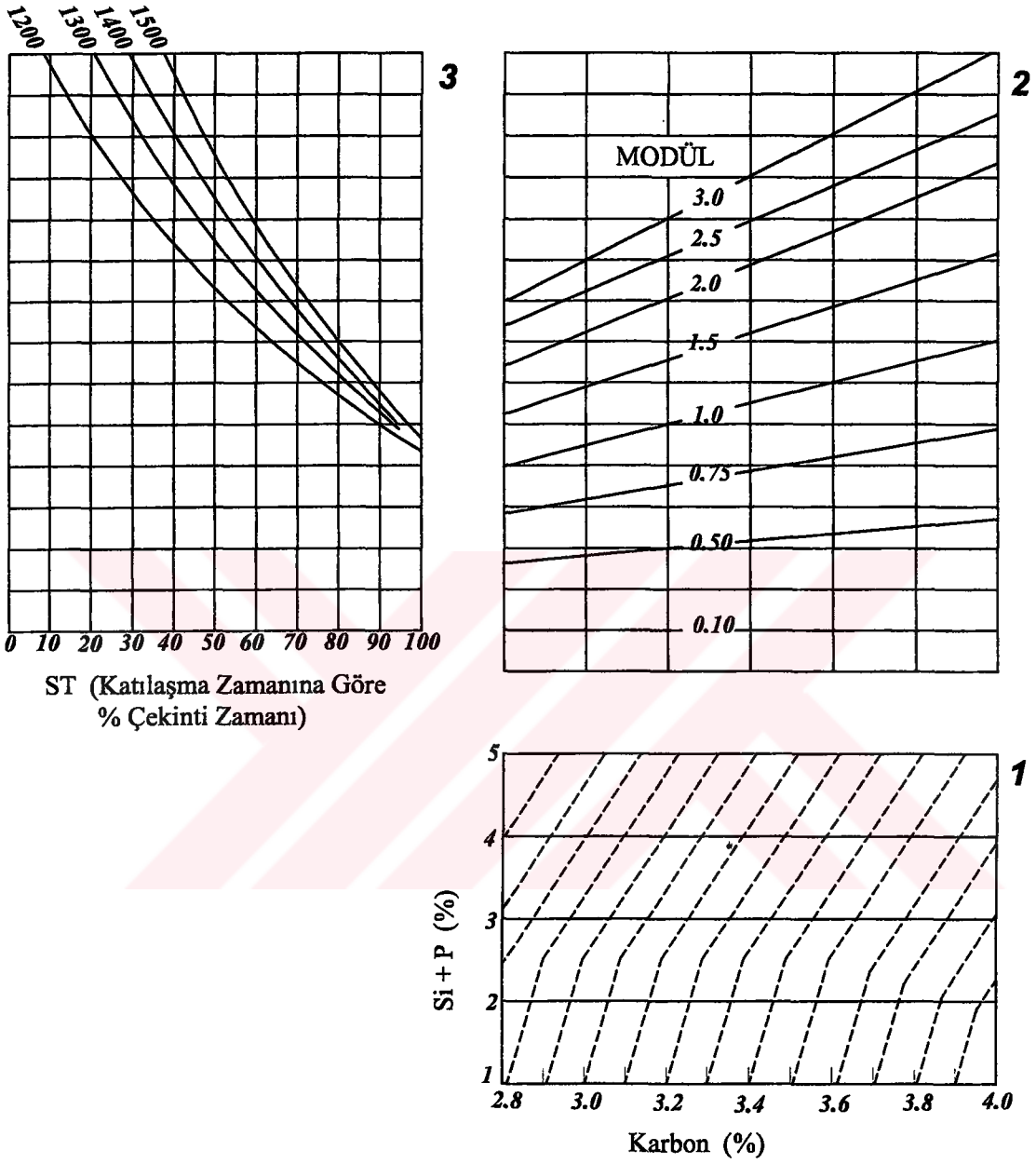
Döküm parça modülü genel olarak EŞitlik 3.3’deki bağıntıdan hesaplanmaktadır [9].

$$M_d = \frac{V}{S} \quad (3.3.)$$

Burada; V: döküm parçası hacmi ( $\text{cm}^3$ )

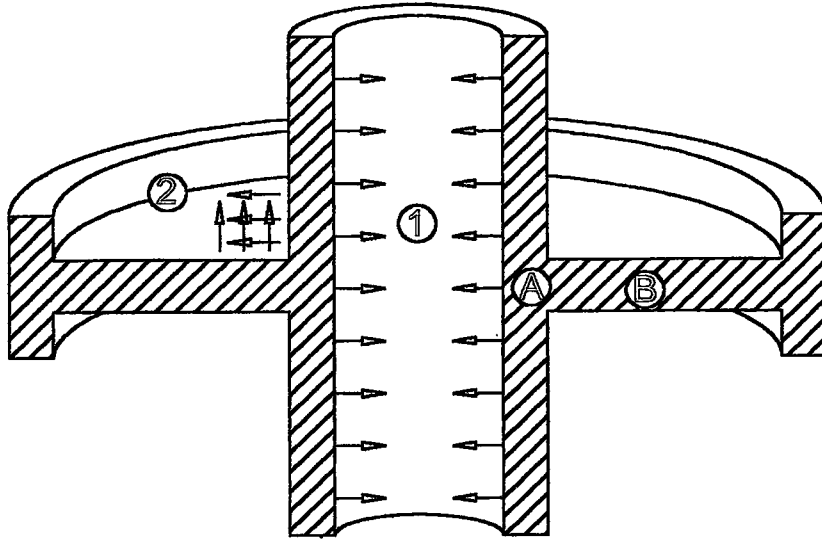
S: soğuma yüzey alanı ( $\text{cm}^2$ )’dir.

Kalıp İçindeki Metal Sıcaklığı (°C)



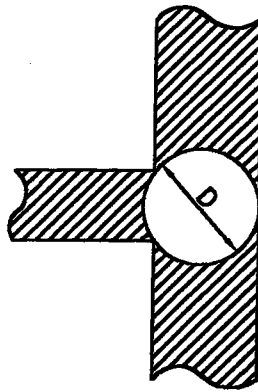
Şekil 3.11. "C", "Si+P" ve modüle bağlı olarak ST değerinin bulunması [38]

Üzerinde çalışılan parçada olduğu gibi, T-kesitli dökümlerin (Şekil 3.12) döküm parça modülü hesaplanırken, Eşitlik 3.3'den farklı bir yöntem kullanılmaktadır.



Şekil 3.12. Döküm parçasında, ısı transfer yönlerinin şematik gösterimi [39]

“1.” kısımda maça bulunduğundan dolayı ısı kaybı fazla olmamaktadır. “2.” bölgede ise her iki yüzeyden de ısı transferi olduğundan kalıp kumu çabuk ısınacak, dolayısıyla soğuma yavaşlayacaktır. Bu tipteki parçaların modülleri, en geç katılacak kısmı içine alan çemberin yarıçapıdır, (Şekil 3.13, Eşitlik 3.4). Bu şekilde hesaplanan modüllerde döküm parça modülü, en büyük kesite sahip kısmın modülüne eşittir [39].



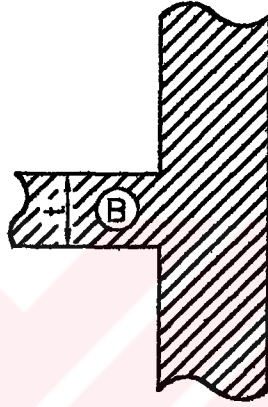
Şekil 3.13. T-kesit için döküm parçası modülü [39]



$$M_d = \frac{D}{2} \quad (3.4)$$

Burada;  $M_d$ : döküm parça modülü  
D: en geç katılan kısmı içine alan çember çapı 'dır

Şekil 3.12'de "B" ile gösterilen bölgenin modülü ise, pratik olarak, kesit kalınlığının yarısı kadardır, (Şekil 3.14, Eşitlik 3.5) [39].



Şekil 3.14. Kesit değişimi olmayan yüzeylerde döküm parça modülü [39]

$$M_d = \frac{t}{2} \quad (3.5)$$

Burada;  $M_d$ : döküm parça modülü  
t: kesit kalınlığı 'dır

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

ÇİMSATAŞ döküm bölümünde ZF firması için üretilip piston dişli olarak adlandırılan parçada, parça profilinin beslemeye elverişli olmaması nedeniyle, modül değişimi olan yerlerde katılaşmayı düzenlemek amacıyla ekzotermik ped kullanılmaktadır. Parçadaki problem, yolluğun önüne yerleştirilen üçgen biçimli ekzotermik karakterli ped üzerinde yoğunlaşan kum ve ekzotermik karakterli ped ile temas eden kısımlarda oluşan porozitedir. Parçada, porozite kaynaklı harici hurda, yaklaşık olarak %6.5 civarındadır.

##### 4.1. KİMYASAL KOMPOZİSYON

Üzerinde çalışılan parçanın kimyasal kompozisyonu Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de görüldüğü gibidir. Şekil 4.1’de küreselleştirme işleminden önceki haliyle; Şekil 4.2’de ise aşılama işleminden sonraki haliyle “optik emisyon spektrometre” cihazı ile yapılan tespitin değerleri bilgisayar çıktısı olarak gösterilmektedir.

Şekil 4.2’de verilen, aşılama işleminden sonraki kompozisyon, üretilen parçanın kimyasal kompozisyonu olup; Çizelge 1.1’de verilen, ZF firmasının istediği kimyasal kompozisyon değerlerini içermektedir.

İş / Program:	FECAIR / FECAIR		
Analiz Tarihi ve Zamanı:	02.12.2000 16:23:00		
Analiz Tipi:	Bilinmeyen konsantr		
Tekrar Sayısı:	2		
Döküm No :	68784	Malzeme :	66640
Parça No :	084	Parça Adı :	PISTONDİSLİ
Operator Name:	A.AKICI	Firma :	ZF

---

Run C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu	B	Mg	Ti	Sn	Al	Fe	Ce	FEZ
AVG 3.861	0.052	1.517	0.030	0.003	0.037	0.038	0.003	0.011	0.022	(-0.00034	(-0.000	0.005	0.002	0.014	(-0.001	(-0.005	94.4118

Şekil 4.1. Küreselleştirme işleminden önceki kompozisyon

İş / Nitelik / Program: FECAIR / GGG40 / FECAIR  
Analiz Tarihi ve Zamanı: 02.12.2000 18:56:18  
Analiz Tipi: Bilinmeyen konsantr  
Tekrar Sayısı: 2  
Dokun No : 68784 Malzeme : GGG40  
Parça No : 084 Parça Adı : P.DİSLI  
Operator Name: I.AKBUL Firma : ZF

Run C Mn Si P S Cr Ni Mo V Cu B Mg Ti Sn Al Te Ce FEZ  
AVG 3.725 0.080 2.732 0.030 0.007 0.036 0.038 0.003 0.010 0.023 (-0.00003 0.023 0.006 0.003 0.010 (-0.001 (-0.005 93.2602

#### Şekil 4.2. Aşılama işleminden sonraki kompozisyon

### 4.2. POROZİTELİ VE SAĞLAM KISIMLARIN GÖRÜNTÜLERİ

ÇİMSATAŞ'da üretilen parçalar üzerindeki poroziteli ve porozitesiz kısımlar kesilerek Adana KOSGEB'de bakalite alınmış ve elde edilen numuneye, optik mikroskop ile bakılarak fotoğrafının çekilmesi suretiyle, parçada oluşan porozite şekilleri elde edilmiştir. Elde edilen mikroyapı fotoğraflarından bazıları Şekil 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8'de gösterilmektedir.

Şekil 4.3 ve Şekil 4.5'deki, porozitesiz kısımlardan elde edilen fotoğraflar, ferritik küresel grafitli dökme demirin mikroyapısını gösteren Şekil 2.1 ile kıyaslandığında, üretilen parçada mikroyapı yönünden bir hata bulunmadığı görülmektedir. Üretilen parça, Şekil 2.1'de gösterilen mikroyapı gibi ferritik bir matris ve bu matris içinde rasgele dağılmış küresel şekilli grafitlerden oluşmakta olup patlamış veya lamel grafit içermemektedir.

Şekil 4.4 ve 4.6 ile Şekil 4.7 ve 4.8'de, iki farklı numunedan elde edilen poroziteli kısımların görünüşleri verilmektedir. Şekiller üzerindeki poroziteli kısımlar oklarla belirtilmiştir.

İş / Nitelik / Program: FECAIR / GGG40 / FECAIR  
Analiz Tarihi ve Zamanı: 02.12.2000 18:56:18  
Analiz Tipi: Bilinmeyen konsantr  
Tekrar Sayısı: 2  
Dokun No : 68784 Malzeme : GGG40  
Parça No : 084 Parça Adı : P.DİSLİ  
Operator Name: I.AKBUL Firma : ZF

Run C Mn Si P S Cr Ni Mo V Cu B Mg Ti Sn Al Te Ce FEZ  
AVG 3.725 0.080 2.732 0.030 0.007 0.036 0.038 0.003 0.010 0.023 (-0.00003 0.023 0.006 0.003 0.010 (-0.001 (-0.005 93.2602

#### Şekil 4.2. Aşılama işleminden sonraki kompozisyon

#### 4.2. POROZİTELİ VE SAĞLAM KISIMLARIN GÖRÜNTÜLERİ

ÇİMSATAŞ'da üretilen parçalar üzerindeki poroziteli ve porozitesiz kısımlar kesilerek Adana KOSGEB'de bakalite alınmış ve elde edilen numuneye, optik mikroskop ile bakılarak fotoğrafının çekilmesi suretiyle, parçada oluşan porozite şekilleri elde edilmiştir. Elde edilen mikroyapı fotoğraflarından bazıları Şekil 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8'de gösterilmektedir.

Şekil 4.3 ve Şekil 4.5'deki, porozitesiz kısımlardan elde edilen fotoğraflar, ferritik küresel grafitli dökme demirin mikroyapısını gösteren Şekil 2.1 ile kıyaslandığında, üretilen parçada mikroyapı yönünden bir hata bulunmadığı görülmektedir. Üretilen parça, Şekil 2.1'de gösterilen mikroyapı gibi ferritik bir matris ve bu matris içinde rasgele dağılmış küresel şekilli grafitlerden oluşmakta olup patlamış veya lamel grafit içermemektedir.

Şekil 4.4 ve 4.6 ile Şekil 4.7 ve 4.8'de, iki farklı numunedan elde edilen poroziteli kısımların görünüşleri verilmektedir. Şekiller üzerindeki poroziteli kısımlar oklarla belirtilmiştir.

İş / Nitelik / Program: FECAIR / GGG40 / FECAIR  
Analiz Tarihi ve Zamanı: 02.12.2000 18:56:18  
Analiz Tipi: Bilinmeyen konsantr  
Tekrar Sayısı: 2  
Dokun No : 68784 Malzeme : GGG40  
Parça No : 084 Parça Adı : P.DİSLİ  
Operator Name: I.AKBUL Firma : ZF

Run C Mn Si P S Cr Ni Mo V Cu B Mg Ti Sn Al Te Ce FEZ  
AVG 3.725 0.080 2.732 0.030 0.007 0.036 0.038 0.003 0.010 0.023 (-0.00003 0.023 0.006 0.003 0.010 (-0.001 (-0.005 93.2602

#### Şekil 4.2. Aşılama işleminden sonraki kompozisyon

#### 4.2. POROZİTELİ VE SAĞLAM KISIMLARIN GÖRÜNTÜLERİ

ÇİMSATAŞ'da üretilen parçalar üzerindeki poroziteli ve porozitesiz kısımlar kesilerek Adana KOSGEB'de bakalite alınmış ve elde edilen numuneye, optik mikroskop ile bakılarak fotoğrafının çekilmesi suretiyle, parçada oluşan porozite şekilleri elde edilmiştir. Elde edilen mikroyapı fotoğraflarından bazıları Şekil 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8'de gösterilmektedir.

Şekil 4.3 ve Şekil 4.5'deki, porozitesiz kısımlardan elde edilen fotoğraflar, ferritik küresel grafitli dökme demirin mikroyapısını gösteren Şekil 2.1 ile kıyaslandığında, üretilen parçada mikroyapı yönünden bir hata bulunmadığı görülmektedir. Üretilen parça, Şekil 2.1'de gösterilen mikroyapı gibi ferritik bir matris ve bu matris içinde rasgele dağılmış küresel şekilli grafitlerden oluşmakta olup patlamış veya lamel grafit içermemektedir.

Şekil 4.4 ve 4.6 ile Şekil 4.7 ve 4.8'de, iki farklı numunedan elde edilen poroziteli kısımların görünüşleri verilmektedir. Şekiller üzerindeki poroziteli kısımlar oklarla belirtilmiştir.

İş / Nitelik / Program: FECAIR / GGG40 / FECAIR  
Analiz Tarihi ve Zamanı: 02.12.2000 18:56:18  
Analiz Tipi: Bilinmeyen konsantr  
Tekrar Sayısı: 2  
Dokun No : 68784 Malzeme : GGG40  
Parça No : 084 Parça Adı : P.DİSLİ  
Operator Name: I.AKBUL Firma : ZF

Run C Mn Si P S Cr Ni Mo V Cu B Mg Ti Sn Al Te Ce FEZ  
AVG 3.725 0.080 2.732 0.030 0.007 0.036 0.038 0.003 0.010 0.023 (-0.00003 0.023 0.006 0.003 0.010 (-0.001 (-0.005 93.2602

#### Şekil 4.2. Aşılama işleminden sonraki kompozisyon

#### 4.2. POROZİTELİ VE SAĞLAM KISIMLARIN GÖRÜNTÜLERİ

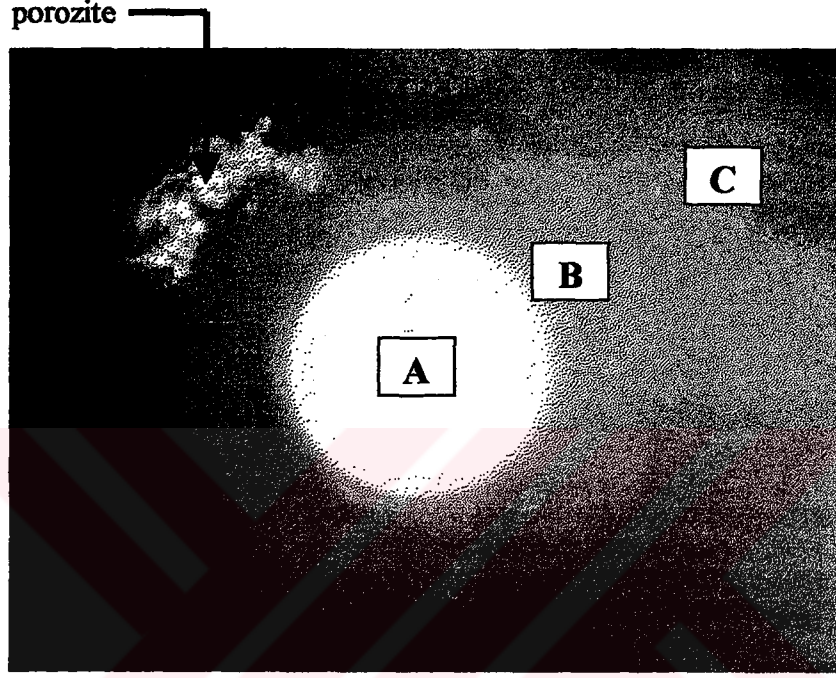
ÇİMSATAŞ'da üretilen parçalar üzerindeki poroziteli ve porozitesiz kısımlar kesilerek Adana KOSGEB'de bakalite alınmış ve elde edilen numuneye, optik mikroskop ile bakılarak fotoğrafının çekilmesi suretiyle, parçada oluşan porozite şekilleri elde edilmiştir. Elde edilen mikroyapı fotoğraflarından bazıları Şekil 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8'de gösterilmektedir.

Şekil 4.3 ve Şekil 4.5'deki, porozitesiz kısımlardan elde edilen fotoğraflar, ferritik küresel grafitli dökme demirin mikroyapısını gösteren Şekil 2.1 ile kıyaslandığında, üretilen parçada mikroyapı yönünden bir hata bulunmadığı görülmektedir. Üretilen parça, Şekil 2.1'de gösterilen mikroyapı gibi ferritik bir matris ve bu matris içinde rasgele dağılmış küresel şekilli grafitlerden oluşmakta olup patlamış veya lamel grafit içermemektedir.

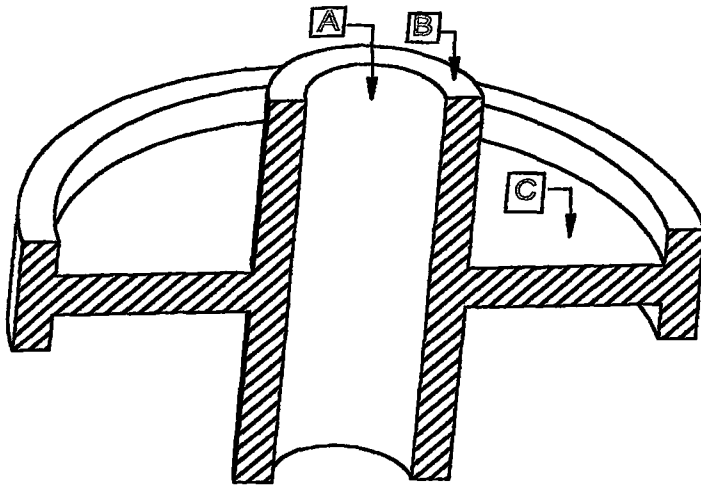
Şekil 4.4 ve 4.6 ile Şekil 4.7 ve 4.8'de, iki farklı numunedan elde edilen poroziteli kısımların görünüşleri verilmektedir. Şekiller üzerindeki poroziteli kısımlar oklarla belirtilmiştir.



Parçada bulunan poroziteli kısımların tespiti, radyografi deneyi veya döküm parçasının 1'er mm'lik pasolarla kesilmesiyle elde edilen yüzeylerde, göz ile muayene metodu kullanımıyla yapılmıştır.. Adana KOSGEB'de yapılan radyografi deneyinden elde edilen veriler Şekil 4.9'da gösterilmektedir. Şekil 4.9 üzerinde belirtilen "A, B ve C" kısımları, döküm parçası üzerinde Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Üzerinde çalışılan parçada oluşan porozitenin, radyografi ile görüntülenmesi



Şekil 4.10. Radyografideki parça kısımlarının, döküm parçası üzerinde gösterimi



Şekil 4.9’da görüldüğü gibi, porozite, parça profilinin beslemeye elverişli olmaması nedeniyle, modül değişimi olan yerlerde katılaşmayı düzenlemek amacıyla kullanılan ve yolluğun önüne yerleştirilen ped üzerinde, modül değişimi olan kısma doğru oluşmaktadır. Yapılan bütün çalışmalar için radyografi deneyi yapılamamasına karşın, poroziteyi giderme konusunda dökümü yapılan parçaların, kesme ile porozite tespitinde, porozite oluşum yerinin ve dağılımının Şekil 4.9’da gösterilen şekilde olduğu gözlemlenmiştir.

#### 4.3. POROZİTE OLUŞUMUNA ETKİYEN FAKTÖRLERİN, ÇALIŞILAN PARÇA ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Kaynak araştırmasının ikinci bölümünde, “Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Porozite” oluşumundaki etkenlerden bahsedilmiştir.

Yapılan çalışmada, aşağıda bahsi geçen etkenlere değinilerek, elde edilen veriler gösterilmiştir. Bu çalışmalarda elde edilen parçalardaki poroziteli kısımların tespiti, parçaların 1’er mm’lik pasolarla kesilerek, oluşan yüzeylerde gözle muayene ile yapılmıştır.

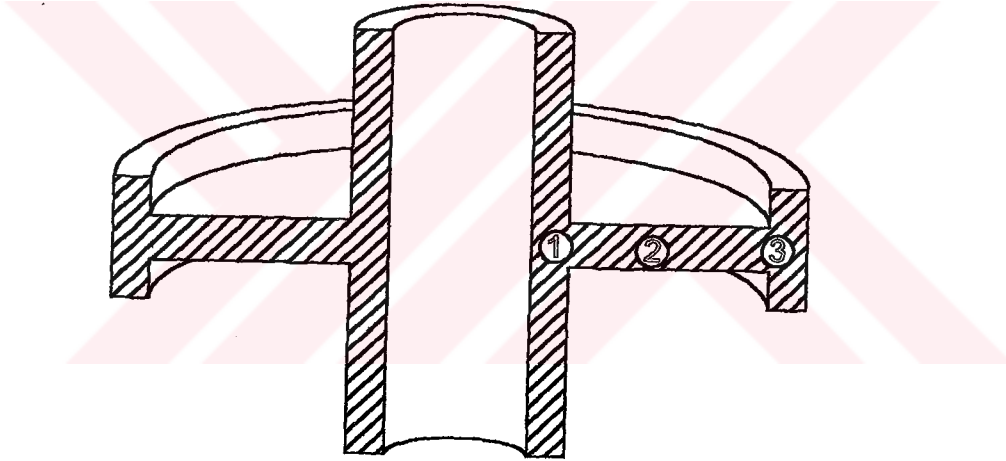
##### 4.3.1. Besleyici Etkisi

Besleyici nedeniyle oluşan porozite, besleyici boynunun geç katılaşması (bu durumda, katılaşma esnasında meydana gelen genişleme ile besleyiciye sıvı metal transferi olmaktadır) sonucunda veya besleyicinin, katılaşma esnasında meydana gelen çekintiyi karşılayamaması sonucunda oluşmaktadır. Elde edilecek veriler ile kullanılmakta olanların karşılaştırılması amacıyla, besleyici konumunu belirleyecek çalışmalar ve besleyici tasarımı yapılmıştır. Küresel grafitli dökme demirlerde kullanılan besleyicilerin, bu tip dökümlerdeki genişleme dolayısıyla, bütün döküm katılaşınca kadar besleme yapmasına ihtiyaç yoktur. Besleyici, dökümün kalın kısımları katılaşmaya başlayınca katılaşmış olmalıdır; aksi takdirde, genişleme dolayısıyla besleyici içine metal akışı olmakta ve malzemede porozite oluşmaktadır.

#### 4.3.1.1. Besleyici konumu

Boşluksuz ve sağlam bir döküm elde etmek için katılmanın döküm parçasından, ergimiş metal haznesine yani besleyiciye doğru ilerlemesi gerekmektedir [9,31]. Katılma zamanını parçanın modülü belirlemekte olup; değişik hacim ve alanlarda fakat aynı modüle sahip parçalar aynı sürede katılmaktadırlar. Bir kesitin komşu kesiti besleyebilmesi için modülünün 1.1 kat fazla olması gerekmektedir [29,30].

Kaynak araştırması bölümünde de değinilen bu verilerden yola çıkılarak, üretilen parça, Şekil 4.11'de görüldüğü gibi üç bölüme ayrılarak her bölümün modülünü hesaplamak suretiyle yönlü katılmanın sağlam sağlanamayacağına bakılmıştır.



Şekil 4.11. Modül hesabı için, üzerinde çalışılan parçanın bölümlere ayrılması

Şekil 4.11'de gösterilen her bir bölümün modül hesabı, Eşitlik 3.4 ve Eşitlik 3.5'de bahsi geçen yöntemle yapılmıştır. Buna göre, 1. bölümdeki çap 13.5 mm olduğundan, modülü ( $M_1$ ) 0.675 cm; 2. bölümdeki kalınlık 11 mm olduğundan 2. bölümün modülü ( $M_2$ ) 0.55 cm; ve 3. bölümdeki çap 16.5 mm olduğundan, modülü ( $M_3$ ) 0.825 cm olmaktadır.  $M_3 > M_1 > M_2$  olduğundan sırasıyla 2. bölüm, 1. bölüm ve 3. bölüm katılacaktır. Besleyici, en son katılacak bölgede olması gerektiğinden 3. bölüme bitişik olmalıdır. Bu durumda 3. ve 2. bölgenin katılmasında bir problem

olmamasına rağmen 1. bölgenin 2. bölgeden sonra katılaşmasından dolayı, beslenmesinde problem olacaktır. Bu nedenden dolayı, üzerinde çalışılmakta olan parça için en uygun besleyici konumu, üretim aşamasında kullanılmakta olan ve Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da gösterilen biçimdedir. Bu şekilde besleme yapıldığı takdirde 1. bölümün modülü 2. modülden büyük olduğundan, 1. ve 2. bölümlerin beslenmesinde bir problem olmamakta; 2. bölüm ile 3. bölüm arasında ise ped bulunduğundan (dolayısıyla katılaşma zamanı arttığından) dolayı 3. bölümün beslenmesinde de problem yaşanmamaktadır.

#### 4.3.1.2. Besleyici tasarımı

Bölüm 3.11'de bahsedilen yöntemle besleyici çapı ve yüksekliği hesaplanmıştır:

Şekil 3.13'den, üzerinde çalışılan döküm parçası modülünün 0.825 cm ( $D=16.5 \text{ mm} \Rightarrow M_d=0.825 \text{ cm}$ ) olduğu bulunmaktadır. Eşitlik 3.2'de besleyici modülü hesabında kullanılan ST değerini bulmak için Şekil 4.2'deki "%C, %Si ve %P" verileri kullanılmıştır (%C=3.725 ve %Si+P=2.732+0.030=2.762). Kalıp içindeki metal sıcaklığı 1380 °C olduğundan Şekil 3.11'den ST değeri 87 olarak bulunur. Bulunan ST değeri, Eşitlik 3.2'de kullanılarak besleyici modülü ( $M_b$ ) hesaplanmaktadır:

$$M_b = M_d * 1.2 \sqrt{\frac{ST}{100}} \Rightarrow M_b = 0.825 * 1.2 \sqrt{\frac{87}{100}} \Rightarrow M_b = 0.9234 \text{ cm}$$

0.9234 cm olarak hesaplanan besleyici modülü, Eşitlik 3.1'de kullanılarak besleyici çapı ve yüksekliği hesaplanmıştır:

$$M_b = 0.19D \Rightarrow D = \frac{M_b}{0.19} \Rightarrow D = \frac{0.9234}{0.19}$$

$$D = 4.86 \text{ cm} \Rightarrow D = 48.60 \text{ mm}$$

$$h = 3 * \frac{D}{2} \Rightarrow h = 72.9 \text{ mm}$$

Sırasıyla 48.60 mm ve 72.90 mm olarak hesaplanan besleyici çapı ve yüksekliği, kullanılmakta olan değerler ile aynı olduğundan dolayı, üzerinde çalışılmakta olan parça için en uygun besleyici tasarımı, üretim aşamasında kullanılmakta olmaktadır.

#### 4.3.2. Parça Kalınlığı Etkisi

Parça kalınlığı her iki yüzeyden de 1'er mm. (1+1) artırılarak, parça üretiminde kullanılmakta olan ped ile temas eden bölgelerde oluşan porozitenin bu ek kısımlara tekabül edip etmeyeceği araştırılmıştır. Bu araştırmalar, yapılan diğer çalışmalarda kullanılmış olup; sonuçlarına bahsi geçen çalışmalar içinde değinilmiştir.

#### 4.3.3. Kalıp Malzemesi Etkisi

Bölüm 2.2'de belirtildiği gibi, küresel grafitli dökme demirlerde, katılaşma esnasında meydana gelen genişleme nedeniyle, porozite oluşumu açısından, kalıp mukavemeti önem kazanmaktadır. Kalıp kumunun genişlemeye gösterdiği direnç azaldıkça, çekinti boşluğu artmaktadır. Yaş kumun kullanıldığı kalıplardaki çekinti hacmi, katılaşma esnasında deformasyon büyük olduğundan, reçineli kum kullanılan kalıplara göre ortalama %27 daha fazladır. Kaynak araştırması bölümünde değinilen bu nedenlerden dolayı, porozitenin önlenmesi açısından, dökümhanede, üzerinde çalışılan parça üretiminde kullanılmakta olan yaş kum kalıpla ve reçineli kalıpla deneyler yapılarak, sonuçlar Çizelge 4.1'de gösterilmiştir. Yapılan deneyler harf verilerek suretiyle kodlanmış; kalıp kumu etkisinin yanı sıra parça kalınlığı değişiminin etkisi de irdelenmiştir.

Yaş kum kalıp ile reçineli kalıp kullanımının porozite oluşumu üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla yapılan deneylerde, Çizelge 4.1'de de görüldüğü gibi besleyici yolluk ve 10 mm kalınlığında ekzotermik ped kullanılmıştır. "A" ve "B" kodlu dökümlerde parça kalınlığı değiştirilmemiş; "C" ve "D" kodlu dökümlerde ise parça kalınlığı her iki yüzeyden de 1'er mm artırılarak ekzotermik ped ile temas

halinde bulunan kısımlarda oluşan porozitelerin talaş kaldırma suretiyle giderilmesi amaçlanmıştır. Parça kalınlığı arttırımı reçineli kalıp kullanımında oluşan az miktarda poroziteyi gidermiş; yaş kum kalıp kullanımında oluşan porozite hatalarını ise bir miktar iyileştirmiştir.

Çizelge 4.1. Kalıp kumunun poroziteye etkisi

kod	adet	kalıp kumu çeşidi	yolluk çeşidi	ekzotermik ped kalınlığı (mm)	parça kalınlığı değişimi (mm)	poroziteli parça sayısı	sağlam parça sayısı
A	12	yaş kum	besleyici	10	---	9	3
B	11	reçineli	besleyici	10	---	2	9
C	12	yaş kum	besleyici	10	1+1	7	5
D	12	reçineli	besleyici	10	1+1	0	12
E	5	reçineli	besleyici	---	---	0	5

Çizelge 4.1’de görüldüğü ve Bölüm 2.2’de belirtildiği gibi, üzerinde çalışılan parça için, reçineli kalıp kullanımında, yaş kum kalıba göre daha az porozite oluşmuştur. Reçineli kalıp, besleyici yolluk, 10 mm kalınlığında ekzotermik karakterli ped ve 1+1 mm işleme payı bırakılan parçalarda porozite sorunu giderilmiştir. Ancak reçineli kalıp kullanımı işçilik ve maliyet yönünden dezavantajlı olduğundan, üretim aşamasında kullanılması durumunda maliyet artmaktadır. Bu yüzden yaş kum kalıp kullanılması durumunda poroziteyi azaltma yollarını aramak için yolluk çeşidinin, ped kalınlığının, kullanılan ped cinsinin değiştirilmesine ve yaş kum kalıbın dayanımının arttırılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır.

#### 4.3.4. Yolluk Çeşidi Etkisi

Döküm parçası ile birleşme durumuna göre yolluklar, “besleyici yolluk” ve “meme yolluk” olmak üzere ikiye ayrılırlar. Yolluk seçimi yapılırken, yolluk vasıtasıyla kalıp boşluğuna giren sıvı metalin, fazla soğumadan döküm parçasının her noktasına ulaşmasına dikkat edilmelidir.

Parça üretiminde, besleyicinin etkisini arttırmak amacıyla “besleyici yolluk” kullanılmaktadır. “Besleyici yolluk” uygulamasında sıvı metal önce besleyiciye girerek onu ısıtmakta ve sıvı metalin yolluktan besleyiciye, oradan da kalıp boşluğuna geçişi esnasında, besleyici sıcak kalmaktadır. Bu çeşit uygulamalarda besleyicinin katılma zamanı artmakta aynı zamanda yolluk ve besleyicinin parçaya bağlantı noktası aynı olduğundan, döküm sonrası temizleme işleminde zaman ve işçilik açısından kazanç sağlanmaktadır. “Meme yolluk” uygulamasında ise parçaya besleyicinin yanısıra, (ped kullanımından dolayı) yolluktan da besleme yapılmakta ve oluşacak çekinti boşlukları bir ölçüde azaltılabilmektedir.

Bu iki yolluk çeşidinin, üzerinde çalışılan parçada porozite oluşumuna etkisini gözlemlemek amacıyla, “meme yolluk” kullanılarak yapılan “F”, “G” ve “T” kodlu deney sonuçlarının, “besleyici yolluk” kullanılarak yapılan “A”, “C” ve “H” kodlu deney sonuçlarıyla karşılaştırılması Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Yolluk çeşidinin poroziteye etkisi

kod	adet	yolluk çeşidi	kalıp kumu çeşidi	ekzotermik ped kalınlığı (mm)	parça kalınlığı değişimi (mm)	poroziteli parça sayısı	sağlam parça sayısı
A	12	besleyici	yaş kum	10	---	9	3
F	12	meme	yaş kum	10	---	7	5
C	12	besleyici	yaş kum	10	1+1	7	5
G	12	meme	yaş kum	10	1+1	2	10
H	12	besleyici	yaş kum	8	1+1	12	0
I	12	meme	yaş kum	8	1+1	6	5

Yapılan çalışmalarda, yaş kum kalıp ve 10 mm kalınlığında ekzotermik karakterli ped kullanılmıştır. Parça kalınlığı arttırımı, kalıp kumu çalışmasında da görüldüğü gibi, poroziteli parça sayısını bir miktar azaltmıştır. Ayrıca Çizelge 4.2’de, porozite oluşumu açısından, “meme yolluk” kullanımının “besleyici yolluk” kullanımına göre daha avantajlı olduğu görülmektedir.

#### 4.3.5. Ekzotermik Karakterli Ped Kalınlığı Etkisi

Üzerinde çalışılan parçada oluşan porozite, parçanın ekzotermik karakterli ped ile temas eden yüzeylerinde oluşmaktadır. Ekzotermik karakterli ped, parçadaki modül farklarının bulunduğu bölgelerdeki katılaşmayı düzenlemek amacı ile kullanılmaktadır. Ekzotermik karakterli ped kalınlığının porozite üzerinde etkilerini incelemek amacıyla, parça kalınlığı her iki yüzeyden 1'er mm artırılarak ve yaş kum kalıp kullanılarak yapılan çalışma sonuçları Çizelge 4.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Ekzotermik karakterli ped kalınlığının poroziteye etkisi

kod	adet	yolluk çeşidi	kalıp kumu çeşidi	ekzotermik ped kalınlığı (mm)	parça kalınlığı değişimi (mm)	poroziteli parça sayısı	sağlam parça sayısı
C	12	besleyici	yaş kum	10	1+1	7	5
K	12	besleyici	yaş kum	9	1+1	8	4
H	12	besleyici	yaş kum	8	1+1	12	0
G	12	meme	yaş kum	10	1+1	2	10
I	12	meme	yaş kum	8	1+1	6	6

Çizelge 4.3'de görüldüğü gibi, porozite oluşumu açısından, kullanılan ekzotermik karakterli pedlerde en uygun kalınlık 10 mm'dir. Kalınlık azaldıkça oluşan poroziteli parça sayısı artmaktadır.

#### 4.3.6. Ped Cinsi Etkisi

Ekzotermik karakterli pedlerde, Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5'de gösterildiği gibi, yalıtkan karakterli pedlere göre daha fazla alüminyum vardır. Çizelge 2.4'de, alüminyumun porozite oluşumunu arttırdığı görülmektedir. Alüminyum, oksijen ile tepkimeye girerek, kalıp kumundaki nemden oksijeni çekmektedir. Bundan dolayı H<sub>2</sub>O'daki hidrojen serbest kalmakta ve serbest kalan hidrojen de metal içine çöküp poroziteye sebep olmaktadır [21]. Bu sebeplerden dolayı ped cinsini değiştirme



yoluna gidilmiş ve alüminyum miktarı daha az olan yalıtkan karakterli ped kullanımının porozite oluşumundaki etkisini incelemek amacıyla çalışmalar yapıp, sonuçlar Çizelge 4.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Ekzotermik ped ile yalıtkan ped kullanımının poroziteye etkisi

kod	adet	ped cinsi	yolluk çeşidi	kalıp kumu çeşidi	ped kalınlığı (mm)	parça kalınlığı değişimi (mm)	poroziteli parça sayısı	sağlam parça sayısı
A	12	ekzotermik	besleyici	yaş kum	10	---	9	3
L	12	yalıtkan	besleyici	yaş kum	10	---	6	6
C	12	ekzotermik	besleyici	yaş kum	10	1+1	7	5
M	12	yalıtkan	besleyici	yaş kum	10	1+1	5	7

Önceki deneylerde kullanılan “A” ve “C” kodlu parçalar ile yeni hazırlanan “L” ve “M” kodlu parçaların kıyaslanmasından, yalıtkan karakterli ped kullanımının, porozite oluşumu üzerinde, ekzotermik karakterliye göre daha uygun olduğu gözlemlenmiştir.

#### 4.3.7. Yalıtkan Karakterli Ped Kalınlığı Etkisi

Çizelge 4.4’de görüldüğü üzere yalıtkan karakterli ped kullanımıyla poroziteli parça sayısı azaltılmış ama tam olarak giderilememiştir. Ekzotermik karakterliye göre daha uygun olan yalıtkan karakterli ped kullanımının verimini arttırmak amacıyla kalınlığı üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Yalıtkan karakterli ped kalınlığının porozite üzerinde etkilerini incelemek amacıyla, kalınlığı azaltılarak, tepkimeye giren alüminyum miktarını azaltma yoluna gidilmiş ve yaş kum kalıp kullanılarak yapılan çalışma sonuçları Çizelge 4.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5’de de görüldüğü gibi kullanılan yalıtkan karakterli ped’in kalınlığı azaltıldığı takdirde, oluşan poroziteli parça sayısında artış olmaktadır. Kalınlık azaltımıyla her ne kadar tepkimeye giren alüminyum miktarı azaltılmış olsa da,

tepkimeye giren diğer elementler de azaldığından, ped yeterli derecede etkili olamamaktadır.

Çizelge 4.5. Yalıtkan karakterli ped kalınlığının poroziteye etkisi

kod	adet	yolluk çeşidi	kalıp kumu çeşidi	yalıtkan ped kalınlığı (mm)	parça kalınlığı değişimi (mm)	poroziteli parça sayısı	sağlam parça sayısı
N	12	meme	yaş kum	10	---	3	9
P	12	meme	yaş kum	9	---	6	6
R	12	meme	yaş kum	10	1+1	1	11
S	12	meme	yaş kum	9	1+1	5	7

#### 4.3.8. Kalıp Mukavemeti Etkisi

Kalıp kumu ile ilgili yapılan çalışmada ve Bölüm 2.2’de değinildiği gibi kalıp genişmesi önlenmediği, kalıp mukavemeti artırıldığı takdirde porozite oluşumu azalmaktadır. Kalıp genişmesi, döküm sıcaklığından, yaş kum nem oranından, kalıptaki yaş kumun sıkıştırılma yoğunluğundan ve ergimiş metalin katılma karakteristiğinden etkilenmektedir. Bu nedenle üretim aşamasında kullanılan yaş kum kalıbın dayanımını arttırmak için, kalıp alkollü boya ile boyanıp yakılmak suretiyle kurutulmuş (yaş kumun nem oranı azaltılarak) döküm yapılmış ve sonuçlar Çizelge 4.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Yaş kum kalıp dayanımının poroziteye etkisi

kod	adet	yolluk çeşidi	kalıp kumu	yalıtkan ped kalınlığı (mm)	parça kalınlığı değişimi (mm)	poroziteli parça sayısı	sağlam parça sayısı
N	12	meme	yaş kum	10 mm	---	3	9
T	12	meme	yaş kum	10 mm	---	0	12
U	22	meme	yaş kum	10 mm	---	0	22

“T” kodlu parça üretiminde kalıp alkollü boya ile boyanıp, yakılarak kurutulmuştur  
“U” kodlu parça üretiminde kalıp alkollü boya ile boyanıp, yakılarak kurutulmuştur

Çizelge 4.6’da da görüldüğü gibi kalıp kumu olarak kullanılan yaş kumun, alkollü boya ile boyanıp yakılarak kurutulmasıyla, nem oranını azaltılarak (dolayısıyla kalıp mukavemeti artırılarak) yapılan dökümlerde poroziteye rastlanmamıştır.

#### 4.3.9. Ped Kullanılmamasının Etkisi

Bölüm 4.3.1.1’de, parça kesitindeki modül değişimi dolayısıyla oluşacak besleme problemlerinden kaçınmak amacıyla, ped kullanmak gereğinden bahsedilerek; porozite giderme konusunda yapılan çalışmalarda ped kullanılmıştır. Bölüm 2.1.6’da bahsedildiği üzere küresel grafitli dökme demirlerde grafit oluşumu esnasında hacimsel genişleme meydana gelmekte ve bu genişleme katılaşma büzülmesini yenmeye çalışmaktadır. Bu bilgiden yola çıkarak ve parçada oluşan porozite daima ped ile temas eden yüzeylerde olduğundan, ped kullanmadan döküm yapılarak sonuçları Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Ped kullanılmamasının poroziteye etkisi

kod	adet	yolluk çeşidi	kalıp kumu çeşidi	ped kalınlığı (mm)	parça kalınlığı değişimi (mm)	poroziteli parça sayısı	sağlam parça sayısı
V	12	meme	yaş kum	---	---	1	11
Y	23	meme	yaş kum	---	---	2	21
Z	12	meme	yaş kum	---	1+1	0	12
<p>“V” kodlu parça üretiminde kalıp alkollü boya ile boyanıp, yakılarak kurutulmuştur  “Y” kodlu parça üretiminde kalıp alkollü boya ile boyanıp, yakılarak kurutulmuştur  “Z” kodlu parça üretiminde kalıp alkollü boya ile boyanıp, yakılarak kurutulmuştur</p>							

Çizelge 4.6’da görüldüğü gibi kalıp dayanımı artırılarak, meme yolluk, yaş kum kalıp, 10 mm kalınlığında yalıtkan ped kullanılarak, parça kalınlığı değiştirilmeden yapılan dökümlerde ve Çizelge 4.7’de görüldüğü gibi kalıp dayanımı artırılarak, meme yolluk, yaş kum kalıp kullanılarak, parça kalınlığı her iki yüzeyden 1’er mm artırılarak yapılan dökümlerde poroziteye rastlanmamıştır. Son işlem maliyeti (zaman,

işçilik) ve metal tasarrufu göz önüne alındığında ped kullanımının, parça kalınlığı arttırımından daha ekonomik olduğu görülmektedir.

#### 4.3.10. Yapılan Çalışmaların Özeti

Çizelge 4.8’de, T-kesitli küresel grafitli dökme demirde oluşan poroziteleri giderme yolunda yapılan uygulamalar birarada gösterilmektedir.

Çizelge 4.8. Porozite giderme konusunda yapılan çalışmalar

kod	adet	kalıp kumu çeşidi	yolluk çeşidi	ped kalınlığı (mm) ve çeşidi	parça kalınlığı değişimi (mm)	poroziteli parça sayısı	sağlam parça sayısı	açıklama (ek işlem)
A	12	yaş kum	besleyici	10; ekzo	---	9	3	
B	11	reçineli	besleyici	10; ekzo	---	2	9	
C	12	yaş kum	besleyici	10; ekzo	1+1	7	5	
D	12	reçineli	besleyici	10; ekzo	1+1	0	12	
E	5	reçineli	besleyici	-0-	---	0	5	
F	12	yaş kum	meme	10; ekzo	---	7	5	
G	12	yaş kum	meme	10; ekzo	1+1	2	10	
H	12	yaş kum	besleyici	8; ekzo	1+1	12	0	
I	12	yaş kum	meme	8; ekzo	1+1*	6	6	
K	12	yaş kum	besleyici	9; ekzo	1+1	8	4	
L	12	yaş kum	besleyici	10; yalıtkan	---	6	6	
M	12	yaş kum	besleyici	10; yalıtkan	1+1	5	7	
N	12	yaş kum	meme	10; yalıtkan	---	3	9	
P	12	yaş kum	meme	9; yalıtkan	---	6	6	
R	12	yaş kum	meme	10; yalıtkan	1+1	1	11	
S	12	yaş kum	meme	9; yalıtkan	1+1	5	7	
T	12	yaş kum	meme	10; yalıtkan	---	0	12	Boya+kurutma
U	22	yaş kum	meme	10; yalıtkan	---	0	22	Boya+kurutma
V	12	yaş kum	meme	-0-	---	1	11	Boya+kurutma
Y	23	yaş kum	meme	-0-	---	2	21	Boya+kurutma
Z	12	yaş kum	meme	-0-	1+1	0	12	Boya+kurutma

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada, piston dişli olarak adlandırılan T-kesitli küresel grafitli dökme demir parçada oluşan poroziteyi giderme konusunda yapılan uygulamalar, sonuçları ile birlikte aşağıda verilmektedir: (Yapılan çalışmalar “•” ile, o çalışmaya ait sonuç ise “-” ile gösterilmektedir)

- Besleyici ve besleyici boynu tasarımı yapılarak, elde edilen boyutlar ile yapılan dökümlerde, porozite oluşumunun önlenip önlenemeyeceği,
  - Yapılan hesaplamalar ile elde edilen besleyici boyutlarının ve besleyici konumunun, kullanılmakta olanlar ile aynı olduğu görülmüştür.
- Parçadaki işleme payını, her iki yüzeyde de 1'er mm arttırarak porozitenin işleme payı içinde bırakılıp bırakılamayacağı,
  - Parça kalınlığı arttırımı, oluşan porozite miktarını azaltmasına rağmen son işlem ve malzeme maliyetini arttırmaktadır.
- Reçineli kalıp ve yaş kum kalıp ile döküm yapılarak, kalıp mukavemetinin arttırılarak, üzerinde çalışılan parçada porozite oluşumunun önlenip önlenemeyeceği,
  - Reçineli kalıp kullanımıyla porozite giderilmektedir. Ancak reçineli kalıp kullanımı işçilik ve maliyet yönünden dezavantajlı olduğundan, üretim aşamasında kullanılması durumunda maliyet artmaktadır.
- Parça üretiminde kullanılmakta olan “besleyici yolluk” yerine “meme yolluk” kullanılarak, yeni yolluk sistemi ile porozite oluşumunun önlenip önlenemeyeceği,
  - Porozite miktarı azaltımında, “meme yolluk” kullanımı, “besleyici yolluk” kullanımına göre daha avantajlıdır. “Meme yolluk” kullanımı oluşan porozite miktarını azaltmaktadır.

- Parça üretiminde kullanılmakta olan ekzotermik karakterli pedlerin kalınlıkları değiştirilerek, porozite oluşumunun önlenmesi açısından hangi kalınlığın en uygun olduğu,
  - 10 mm kalınlığında ekzotermik karakterli ped kullanıldığı takdirde, diğer kalınlıklara göre daha az porozite oluşmaktadır.
- Parça üretiminde, porozitenin bulunduğu, kesit daralması olan bölgede kullanılmakta olan ekzotermik karakterli ped yerine yalıtkan karakterli ped kullanılarak, porozite oluşumunun önlenip önlenemeyeceği,
  - Porozite miktarı azaltımında, “yalıtkan karakterli ped” kullanımı, “ekzotermik karakterli ped” kullanımına göre daha avantajlıdır. “Yalıtkan karakterli ped” kullanımı oluşan porozite miktarını azaltmaktadır.
- Yalıtkan karakterli pedlerin kalınlıkları değiştirilerek, porozite oluşumunun önlenmesi açısından hangi kalınlığın en uygun olduğu,
  - 10 mm kalınlığında yalıtkan karakterli ped kullanıldığı takdirde, diğer kalınlıklara göre daha az porozite oluşmaktadır.
- Kalıp kumu olarak kullanılan yaş kumun, döküm parçayla temas yüzeyini alkollü boya ile boyayıp kurutma suretiyle, kalıp kumunun dayanımını artırarak porozite oluşumunun önlenip önlenemeyeceği,
  - Kalıp kumu dayanımını arttırmak (yaş kumun, döküm parçayla temas yüzeyi alkollü boya ile boyayıp kurutulmak suretiyle) oluşan poroziteyi azaltmaktadır.
- Alkollü boya ile boyayıp kurutma suretiyle dayanımı artırılan kalıplarda, ped kullanmadan döküm yapılarak porozite oluşumunun önlenip önlenemeyeceği.
  - Ped kullanılmadan, kalıp dayanımını artırarak yapılan dökümlerde, oluşan porozite miktarı azalmasına rağmen tam olarak giderilememektedir.

Yaş kum kalıp, besleyici yolluk, 10 mm kalınlığında ekzotermik karakterli ped kullanılarak üretilmekte olan T-kesitli ticari küresel grafitli dökme demirde

porozite oluşum sebebinin, genel olarak, (1) ekzotermik karakterli ped'in alüminyum içeriği ve döküm aşamasında yarattığı reaksiyon; (2) kullanılmakta olan besleyicinin aynı zamanda yolluk olması ve ped'in yolluk önüne yerleştiriliyor olması nedeniyle bu bölgenin, parçanın diğer kısımlarına göre daha sıcak olması dolayısıyla daha geç katılaşması; (3) yaş kum kalıbın mukavemeti, olduğu görülmüştür.

Parça kalınlığı arttırılmadan, yaş kum kalıp, meme yolluk, 10 mm kalınlığında yalıtkan karakterli ped kullanımı ve kalıp mukavemeti arttırımıyla (kalıp alkollü boya ile boyanıp yakılarak kurutulması suretiyle), elde edilen dökümlerde poroziteye rastlanılmamaktadır.

## 5.2. ÖNERİLER

Poroziteyi giderme konusunda yapılan çalışmalarda, her uygulamada, oluşan poroziteli kısımların tespiti, döküm parçalarının 1'er mm'lik pasolarla kesilmesiyle elde edilen yüzeylerde, göz ile muayene metoduyla yapılmaktadır. Bu yüzden elde edilen veriler "poroziteli parça" veya "sağlam parça" sayısını vermekte olup oluşan porozite miktarları konusunda sayısal bir veri elde edilememektedir.

Yapılan her çalışma, önden ve yandan, radyografi deneyine tabii tutulursa, uygulamalardaki porozite oluşumları için görsel bir veri elde edilip; uygulamaların hangisinin daha etkili olduğuna bakılabilir ve uygulamalar aralarında kıyaslanabilirler.



## KAYNAKLAR

- [1] Vaughan, B. J., Faron, D. R. and Sully, L. J. D. "Porosity Characterization by Industrial Volumetric Computed Tomography", AFS Transactions, **100**: 281-288, (1992)
- [2] Chiou, I. J. and Tsai, H. L. "Modeling of Porosity Formation in Casting", AFS Transactions, **98**: 823-830, (1990)
- [3] Kubo, K. and Pehlke, R. D. "Porosity Formation in Solidifying Castings", AFS Transactions, **94**: 753-756, (1986)
- [4] Goodrich, G. "Ductile Iron Casting Defects", M. Burditt (ed), Ductile Iron Handbook, Illinois, s. 222-234, (1993).
- [5] Sigworth, G. K. and Wang, C. "Evaluation of Porosity During Solidification: Part 1: A Literature Review", AFS Transactions, **100**: 979-987, (1992)
- [6] Bradley, F. J., Bartelt, P. F., Fung, C. A. and Heine, R. W. "Consideration in the Application of Numerical Simulation to Shrinkage Prediction in Ductile Iron Castings" AFS Transactions, **100**: 155-172. (1992)
- [7] ÇİMSATAŞ. ZF 084 - Piston Dişli Dosyası, Mersin, (yayınlanmamış)
- [8] ÇİMSATAŞ. ZF Firması Gelen Evrak Dosyası, Mersin, (yayınlanmamış)
- [9] Heine, R., Loper, C. and Rosenthal, P. "Principles of Metal Casting", 2<sup>nd</sup> Edition, Toshio Printing, Tokyo, 736s., (1967)
- [10] Çavuşoğlu, E. "Döküm Teknolojisi I", İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul, 518 s., (1981)
- [11] ASM Handbook Committee "Melting and Casting", T. Lyman (ed), Metals Handbook – Volume 5, 8<sup>th</sup> Edition, Ohio, s.149-448, (1977)
- [12] ASM Handbook Committee "Properties and Selection: Irons and Steels", B. Bardes (ed), Metals Handbook – Volume 1, 2<sup>nd</sup> Edition, Ohio, s.126-208, (1978)
- [13] American Society for Metals. Casting Design Handbook, 2<sup>nd</sup> Edition, s:299-314, Ohio, (1969)
- [14] KOSGEB. Demir Döküm Teknolojisi, s:39-187, Ankara, (1994)

- [15] Aras, N., "Küresel Grafitli Demir Dökümü", Makina Mühendisleri Odası Matbaası, Ankara, 138 s., (1970)
- [16] Gray and Ductile Iron Founders' Society Inc. "Metallurgy of Cast Iron", C. F. Walton (ed), Gray and Ductile Iron Castings Handbook, Cleveland, s.93-135, (1971)
- [17] QIT – Fer et Titane. Ductile Iron I, Production, s:9-36, Quebec, (1992)
- [18] Mullins, J. "Engineering Properties, Specifications and Physical Constants of Specific Ductile Irons", M. Burditt (ed), Ductile Iron Handbook, Illinois, s. 21-51, (1993).
- [19] Gray and Ductile Iron Founders' Society Inc. "Economic Considerations and Procurement", C. F. Walton (ed), Gray and Ductile Iron Castings Handbook, Cleveland, s.31-91, (1971)
- [20] Gray and Ductile Iron Founders' Society Inc. "Mechanical Properties of Iron Castings", C. F. Walton (ed), Gray and Ductile Iron Castings Handbook, Cleveland, s.187-291, (1971)GDICH
- [21] Gundlach, R., Loper, C. and Morgensteren, B. "Composition of Ductile Iron", M. Burditt (ed), Ductile Iron Handbook, Illinois, s. 66-109, (1993).
- [22] Dawson, J.V. and Smith, L.W. "Gases in Cast Iron With Special Reference to Pickup of Hydrojen in Sand Mold", AFS Transactions, **66**: 189-202, (1958)
- [23] Carter, S.F., Evans, W.J., Harkness, J.C. and Wallace, J.F. "Factors Influencing the Formation of Pinholes in Gray and Ductile Iron", AFS Transactions, **87**: 245-268, (1979)
- [24] Naik, R.V. and Wallace, J.F. "Surface Tension – Nucleation Relations in Cast Iron Pinhole Formation", AFS Transactions, **88**: 203-224, (1980)
- [25] Ryntz, E.F., Schroeder, R.E., Chaput, W.W. and Rassenfoss, W.O. "The Formation of Blowholes in Nodular Iron Castings", AFS Transactions, **91**: 62-65, (1983)
- [26] Wallace, J.F., Samal, P.K. and Voss, J.D. "Factors Influencing a Shrinkage Cavity Formation In Ductile Iron", AFS Transactions, **92**: 103-120, (1984)

- [27] Baldan, A. Mak. Müh. Böl. Malzeme-II Ders Notları, Mersin, (yayınlanmamış)
- [28] Aran, A. "Metal Döküm Teknolojisi", Birsen Yayınevi, İstanbul, 172 s., (1993)
- [29] KÜSGET. Çelik Döküm, s:189-253, Ankara, (1988)
- [30] Ersümer, A. "Demir Döküm", Coşkun Ofset, İstanbul, 335 s., (1986)
- [31] Sigworth, G. K. and Wang, C. "Evaluation of Porosity During Solidification: Part 2: A Theoretical Analysis", AFS Transactions, 100: 989-1004, (1992)
- [32] Sylvia, J. "Cast Metals Technology", Addison-Wesley Publishing, California, 286 s., (1972)
- [33] ÇİMSATAŞ. Laboratuar Dosyası, Mersin, (yayınlanmamış)
- [34] Çukurova Kimya Endüstrisi. Peğ Karakteristikleri, Mersin, 48s., (1999)
- [35] Richards bay Minerals. Sorelmetal RF10, Laboratory Analysis Report, (yayınlanmamış)
- [36] Elkem Products for Ferrous Foundries. Chemical Analysis of Nodulizers and Inoculates, (yayınlanmamış)
- [37] İzgiz, S. "Küresel Grafitli Dökme Demir", Sınai Eğitim ve Geliştirme Merkezi Matbaası, Ankara, 374 s., (1988)
- [38] ÇİMSATAŞ. Dökümhane Teknik Yayın No:9, Besleyici Hesapları, (yayınlanmamış)
- [39] TMMOB Metalürji Mühendisleri Odası. Çelik Dökümlerde Besleyici ve Soğutucu Hesapları, s:18-48, Ankara, (1985)

## ÖZGEÇMİŞ

15.09.1974 Tarsus/İçel doğumluyum. İlk ve orta öğrenimimi sırasıyla Barbaros İlkokulu ve Dumlupınar Lisesinde, lise öğrenimimi ise 1991 yılında Mersin Tevfik Sırrı Gür Lisesi'nde tamamladım. Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünden mezun olduktan sonra Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi kadrosunda yüksek lisansa başladım.

1997 yılından itibaren SCSPF'de (Türkiye Sualtı sporları, Cankurtarma, Su kayağı ve Paletli yüzme Federasyonu) "Milli Hakem" ve 1995 yılından itibaren GSGM'ye (T.C. Başbakanlık Gençlik ve Spor Genel Müdürlüğü) bağlı Gençlik Kamplarında "Lider" olarak görev yapmaktayım.

ASME (American Society of Mechanical Engineering) ve TMMOB (Makine Mühendisleri Odası) üyesiyim.

YÜKSEK ÖZETİM KURULU  
GİZLİ  
GİZLİ