



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

**ÖSTEMPERLEME SICAKLIĞININ KÜRESEL  
GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERİN  
MİKROYAPI VE MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**EMRE ÖZTÜRK**

**YÜKSEK LİSANS**

**Anabilim Dalı**  
**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği**

**EYLÜL-2019**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Emre ÖZTÜRK tarafından hazırlanan “Östemperleme Sıcaklığının Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Etkisi” adlı tez çalışması 03/09/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Prof. Dr. Mesut UYANER

#### Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet YILDIRIM

#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KOCABAŞ

### İmza

  
.....  
  
.....  
  
.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK  
Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

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

## DECLARATION PAGE

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

  
Emre ÖZTÜRK

02/03/2019

**ÖZET****YÜKSEK LİSANS TEZİ****ÖSTEMPERLEME SICAKLIĞININ KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME  
DEMİRLERİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ****EMRE ÖZTÜRK****Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı****Danışman: Doktor Öğretim Üyesi Mehmet Yıldırım****2019, 50 Sayfa****Jüri****Dr. Öğr. Üyesi Mehmet YILDIRIM  
Prof. Dr. Mesut UYANER  
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KOCABAŞ**

Küresel grafitli dökme demirler (KGDD), dökümden önce eriyik metale az miktarda Mg ve Ce gibi elementlerin ilave edilmesi ile grafitin (karbonun) küresel şekilde oluştuğu dökme demir türüdür. Sfero dökme demir olarak da bilinen bu dökme demir türü diğer dökme demirlere kıyasla daha yüksek mukavemet, tokluk, süneklik ve işlenebilirliğe sahiptir. Bu üstün özelliklerinden ötürü otomotiv sanayi, makine imalat sanayi, savunma sanayi, iş makinaları, demiryolları ve tarım makinaları gibi birçok farklı sektörde geniş uygulama alanına sahiptir. KGDD'lerin sahip olduğu üstün mekanik özellikler östemperleme adı verilen ısıtma işlemi ile daha da iyileştirilmektedir. Östemperlenmiş sünek dökme demirler sahip oldukları yüksek dayanım, yüksek tokluk, yüksek aşınma ve sürünme direnci ve süneklik gibi mükemmel mekanik özelliklerin yanı sıra düşük yoğunluk ve yüksek dayanım/ağırlık oranlarından ötürü dövme çeliklerin yerini alabilecek yeni nesil malzemelerdir. Östemperlenmiş sünek dökme demirlerin eşsiz fiziksel ve mekanik özellikleri ısıtma işlemi neticesinde ortaya çıkan ösferrit (beynitik iğnemsî ferrit) ve yüksek karbonlu östenitten oluşan mikro yapılarından kaynaklanmaktadır.

Yapılan bu çalışmada ticari olarak üretilen GGG-50 kalite küresel grafitli dökme demirlere uygulanan östemperleme ısıtma işlemi sonucunda, malzemenin mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Tez çalışmasında kullanılan döküm malzeme alaşimsız olarak üretilmiştir. Alaşım elementi ilavesi olmadığı için üretim maliyeti daha düşük olmuştur. Ticari olarak üretilen malzeme üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu sayede çekme numunesinde soğuma hızının çabuk olması östemperleme işleminin daha kolay gerçekleşmesi gibi nedenlerden yanılma ihtimalinin fazla olması sebebiyle çekme numunesi kullanmak yerine ticari olarak kullanılan döküm malzemesi kullanılmıştır.

Dökümü yapılan küresel grafitli dökme demire östemperleme işlemi olarak 930°C'de 120 dakika östenitleme ısıl işlemi yapılmış ve yapının tamamen östenit olması sağlanmıştır. 2. İşlem olarak 320 ve 350°C derecede 90 ve 120 dakika boyunca tuz banyosunda ısıl işlem yapılmıştır. Östemperleme ısıl işlemi sonucunda malzemenin mikroyapısının östemperleme sıcaklığı ve tuz banyosu sıcaklığına bağlı olarak değişimi gözlemlenmiş, XRD işlemi ile östenit içerisindeki karbon oranları tespit edilerek sertlik değişimi karşılaştırılmıştır. Döküm haldeki numunenin sertlik değeri ile östemperleme ısıl işlem sonucu sertlik değerlerindeki artış görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Dökme Demirler, Küresel Grafitli Dökme Demirler, Östemperleme Isıl İşlemi, Mekanik Özellikler



**ABSTRACT****MS THESIS****EFFECT OF AUSTEMPERING TIME AND TEMPERATURE ON  
MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF NODULAR  
CAST IRONS****Emre ÖZTÜRK****Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
IN METALLURGICAL AND MATERIALS ENGINEERING****Advisor: Assist Prof. Dr. Mehmet YILDIRIM****2019,50 Pages****Jury****Assist Prof. Dr. Mehmet YILDIRIM****Prof. Dr. Mesut UYANER****Assist Prof. Dr. Mustafa KOCABAŞ**

Austempered ductile cast iron (ADI) prior to casting molten metal with a small amount of Mg and the addition of elements such as Ce, graphite (carbon) is a type of cast iron thus formed spherical. This type of cast iron, also known as ductile cast iron, has higher strength, toughness, ductility and workability than other cast irons. Due to these superior properties, it has wide application area in many different sectors such as automotive industry, machinery manufacturing industry, defense industry, construction machinery, railways and agricultural machinery. By heat treatment, the superior mechanical properties possessed by the ADI austempering name is further improved. Austempered ductile cast irons are new generation materials that can replace forged steels due to their excellent mechanical properties such as high strength, high toughness, high abrasion and creep resistance and ductility, as well as low density and high strength / weight ratios. The unique physical and mechanical properties of austempered ductile cast iron are due to the microstructure of oesferrite (bainitic needle ferrite) and high-carbon austenite resulting from heat treatment.

In this study, as a result of the austempering heat treatment applied to commercially produced GGG-50 grade ductile cast irons, the effect of the material on microstructure and mechanical properties was investigated. The cast material used in the thesis was produced without alloy. The production cost was lower as no alloying elements were added. Experiments were performed on commercially produced material. In this way, the commercially used casting material was used instead of using tensile sample due to the fact that the cooling rate was faster in the tensile sample and the error rate was higher due to reasons such as austempering process easier. As austempering process to austempered ductile cast iron, austenitizing heat treatment was performed for 120 minutes at 930°C and the structure was completely austenite. The second treatment was heat treatment in a salt bath for 90 and 120 minutes at 320 and 350°C. As a result of the austempering heat treatment, the microstructure of the material was observed to change depending on the austempering temperature and the salt bath temperature. Carbon content in austenite was determined by XRD process and hardness change was compared. The hardness values of the specimen in casting and the hardness values were observed as a result of austempering heat treatment.

**Keywords:** Cast Iron, ADI, Austempering Heat Treatment, Mechanical Properties

## ÖNSÖZ

Tez çalışmalarım boyunca bilgi ve deneyimleri ile döküm ve ısıtım işlem çalışmalarının gerçekleştirilmesine, sonuçlarının değerlendirilmesinden, tez yazımına kadar çalışmanın her aşamasında her türlü desteğini esirgemeyen Tez Danışmanı hocam Sayın Doktor Öğretim Üyesi Mehmet YILDIRIM' a teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmasında kullanılan dökme demirlerin üretimini sağlayan Kurtsan Porya Sanayi ve östemperleme ısıtım işlemlerinin yapıldığı Döksan Isıtım İşlem firmalarına katkılarından dolayı teşekkür ederim.

EMRE ÖZTÜRK  
KONYA-2019



## İÇİNDEKİLER

<b>ABSTRACT</b> .....	<b>3</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>4</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>5</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	<b>6</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>7</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>9</b>
<b>3. DÖKME DEMİRLER</b> .....	<b>11</b>
3.1. Küresel Grafitli Dökme Demir .....	15
3.2. Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Üretimi .....	16
3.2.1. Küresel Grafitli Dökme Demirin Mekanik Özellikleri.....	18
3.2.2. Küresel Grafitli Dökme Demirlere Uygulanan Isıl İşlemler .....	20
3.2.3. Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Kullanım Alanları.....	21
3.3. Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirler.....	22
3.4. Östemperleme Isıl İşlemi .....	24
3.4.1. ÖKGDD Avantajları ve Kullanım Alanları .....	26
<b>4. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>29</b>
4.1 Üretim .....	29
4.2. Östemperleme Isıl İşlemi .....	31
4.3. Karakterizasyon .....	33
<b>5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA</b> .....	<b>35</b>
5.1 Mikoyapı İncelemeleri.....	36
5.2. Sertlik Deneyi Sonuçları .....	41
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b> .....	<b>43</b>
6.1 Sonuçlar ve Öneriler .....	43
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>45</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>47</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
C	Karbon
Fe	Demir
Si	Silisyum
Mn	Mangan
Ni	Nikel
Mo	Molibden
Ce	Seryum
Mg	Magnezım
P	Fosfor
Cr	Krom
$\alpha$	Ferrit
$\gamma$	Östenit
Å	Angstrom
<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
KGDD	Küresel Grafitli Dökme Demir
ÖGDD	Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demir
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
DIN	Alman Standardizyon Enstitüsü
ASTM	Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
MPa	Mega Paskal
HB	Brinell Sertlik
XRD	X-Işını Difraksiyonu

## 1. GİRİŞ

Dökme demirlerin kullanılması milattan öncesine kadar uzanan bir geçmişe dayanmakta olup ülkemizde de uzun yıllardır kullanılmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte üretim yöntemleri dökme demir çeşitleri ve ısıl işlemlerle dökme demirlerin kaliteleri ve mekanik özellikleri artmıştır. Küresel grafitli dökme demirler (KGDD), dökme demirler sınıfının diğer türlerine göre daha yüksek süneklik, dayanım gibi mekanik özelliklere sahiptir ve bu özelliklerini uygun ısıl işlemler ile daha da yükseltilebilmektedir. 1970 yılında uygulanmaya başlanan östemperleme ısıl işlemi ülkemizde de yakın dönemde başlamış ve yoğun olarak kullanılmaya devam edilmektedir.

KGDD, dökümden önce eriyik metale az miktarda Mg ve Ce gibi elementlerin ilavesi ile grafitin yapısının küresel şekilde oluştuğu dökme demirlerdir. KGDD'ler çeliklerin mekanik özelliklerine ve dökme demirlerin üretim özelliklerine sahip olması bu dökme demir grubunu avantajlı kılmaktadır.

KGDD' lere uygulanan östemperleme ısıl işlemi östenit ve ferrit matris yapısını oluşturmaktır. Östemperleme ısıl işlemi çok dikkatli bir şekilde uygulanmalı ki yapı içerisinde perlit, beynit ve martenzit oluşumu engellenmelidir. Bu oluşan yapı sayesinde malzemenin dayanım ve tokluk özellikleri iyileşmektedir. KGDD' lerin çeliklere göre % 10 daha hafif olmaları, üretim yönteminin çeliklere göre daha kolay ve maliyetinin daha uygun olması nedeniyle kullanım alanları oldukça fazladır. Ayrıca yüksek dayanım/ağırlık oranlarından ötürü dövme çeliklerin yerini alabilecek yeni nesil malzemelerdir. Östemperlenmiş sünek dökme demirlerin eşsiz fiziksel ve mekanik özellikleri ısıl işlem sonrasında ortaya çıkan ösferrit (beynitik iğnemsî ferrit) ve yüksek karbonlu östenitten oluşan mikro yapılarından kaynaklanmaktadır. (Trudel & Gagne, 1997) Östemperlenmiş küresel grafitli demirler krank milleri, dişliler gibi makine parçası olarak otomotiv sanayi, makine imalat sanayi, savunma sanayi, iş makinaları, demiryolları ve tarım makinaları gibi pek çok farklı sektörde geniş uygulama alanına sahiptir.

Bu tez çalışmasında yüksek mekanik özellikleri ile ön planda olan küresel grafitli dökme demir malzemenin östemperleme işlemi ile yapısal özelliklerindeki ve sertliğindeki değişimi tespit edilmiştir. Ticari olarak GGG 50 kalite standardında olan ferritik küresel grafitli dökme demir malzeme 930° C’de 120 dakika boyunca östenitleme işlemine gerçekleştirilmiştir.

Daha sonra farklı kalınlıklardaki numuneleri 320 ve 350°C’ de tuz banyosuna bırakılarak 90 ve 120 dakika östemperleme ısı işlemi uygulanmıştır. Farklı kalınlıklardaki her numune için aynı işlem uygulanarak malzemelerde meydana gelen mikroyapı ve mekanik özellik değişimi karşılaştırılmıştır. Östemperleme ısıl işlemi üç basamaktan oluşmaktadır: ilk aşama yapının tamamen östenitik matris olması için 850-1050°C’de yeterli sürede tutulması ikinci aşama 250-400°C’ aralığında su verme ve son olarak bu sıcaklıkta 1-4 saat östemperleme işleminin gerçekleşmesidir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

A. Trudel ve M. Gagne (1997), yapmış oldukları çalışmada kompozisyon ve ısıtım işlem parametrelerinin östemperlenmiş sünek demirlerin mekanik özellikleri üzerine etkisi hakkında bilgi vermişlerdir.

Çetin C. ve arkadaşları (2005), GGG40 ve GGG60 malzemelerin kuru ve yağlanmış koşullarda aşınmaya karşı performanslarını incelemişlerdir. En iyi aşınma direnci için perlitik yapının avantajlı olduğunu gözlemlemişlerdir.

Sohi ve arkadaşları (2004), yaptıkları çalışmada ÖKGDD' lerde östemperleme süresinin ve sıcaklığının mikro yapı ve mekanik özellikler üzerine etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Östemperleme süresi arttıkça akma dayanımı, çekme dayanımı ve % uzamada artış olduğu gözlenmiştir. Ayrıca östemperleme sıcaklığı 315°C olan numunelerin çekme ve akma dayanımlarının 350°C'de östemperlenen numunelerden daha yüksek olduğu, bunun tam tersi olarak ta yüksek östemperleme sıcaklığında % uzamanın daha fazla olduğu görülmüştür.

J. Zimba ve arkadaşları (2003) yaptıkları çalışmada tarım aletleri için çelik malzeme yerine östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirin mekanik ve abrasiv aşınma özelliklerini temperlenmiş çelik ile karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri verilere göre 340-375 °C arasındaki östemperleme sıcaklığında yapılan ısıtım işlem ile elde edilen mikroyapının KGDD' in aşınma direncini ve çekme dayanımını önemli ölçüde arttırmıştır. ÖKGDD' in aşınma direnci benzer sertlikteki çelik ile karşılaştırıldığında aşınma direncinin çok iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Meena El Mansori (2012) otomotiv uygulamalarında kullanılan östemperlenmiş KGDD malzemenin kuru ve minimum miktarda yağlama koşullarında delinmesini incelemiştir.

Haseeb ve arkadaşları (2000) yaptıkları çalışmada küresel grafitli dökme demiri 860°C de 2 saat östenitleme ısıtım işlemi yaptıktan sonra 360°C 2 dakika kurşun banyosunda östemperleme işlemi yapmışlardır. Östemperleme işlemi ile elde edilen malzeme ile aynı sertliği sağlamak için aynı bileşimdeki küresel grafitli dökme demiri 860 °C de iki saat östenitledikten sonra tuzlu suda soğutulmuştur. Son olarak malzeme içerisindeki gerilmeleri gidermek için 350 °C temperleme işlemi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirin aşınma oranının daima temperlenmiş küresel grafitli dökme demirin aşınma oranından küçük olmuştur.

Şen (2003), yaptığı çalışmada KGDD üretimini, üretimde temel aşamalarını ve işlem yöntemleri hakkında detaylı bilgi vermiş işlem yöntemlerinin karşılaştırılmasını sağlamıştır.

Labrecque ve Gagne (1998), yaptıkları çalışmada KGDD'lerin üretimini ve üretim yöntemleri hakkında bilgi vermiştir. Küreselleştirme işlemi, Mg küreselleştirme alışımları ve kullanılan işlem yöntemleri hakkında araştırma yapmışlardır.

Dorazil ve arkadaşları (1991), tarafından yapılan çalışmada östemperleme süresinin ve sıcaklığının artması tane sınırında karbürlerin çökmesine ve darbe direncinin azalmasına neden olduğunu ve sertliğin östemperleme sıcaklığının artmasıyla azalmadığını belirtmektedir.

Şeker ve Hasırcı (2005), 370°C sıcaklığında 60, 90, 180 ve 200 dakika östemperlenmiş farklı miktarda Ni ve Cu içeren KGDD'lerin işlenebilirliklerini, kesme kuvvetlerini ve yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir.

Shea ve Ryntz (1986), tarafından yapılan çalışmada ÖKGDD'lerin avantajları ve kullanım alanları hakkında bilgilere değinilmiştir.

Dubensky ve Rundman (1985), yapılan çalışmada ÖKGDD'lerin avantajlarını ve kullanım alanları hakkında bilgi vermişlerdir.

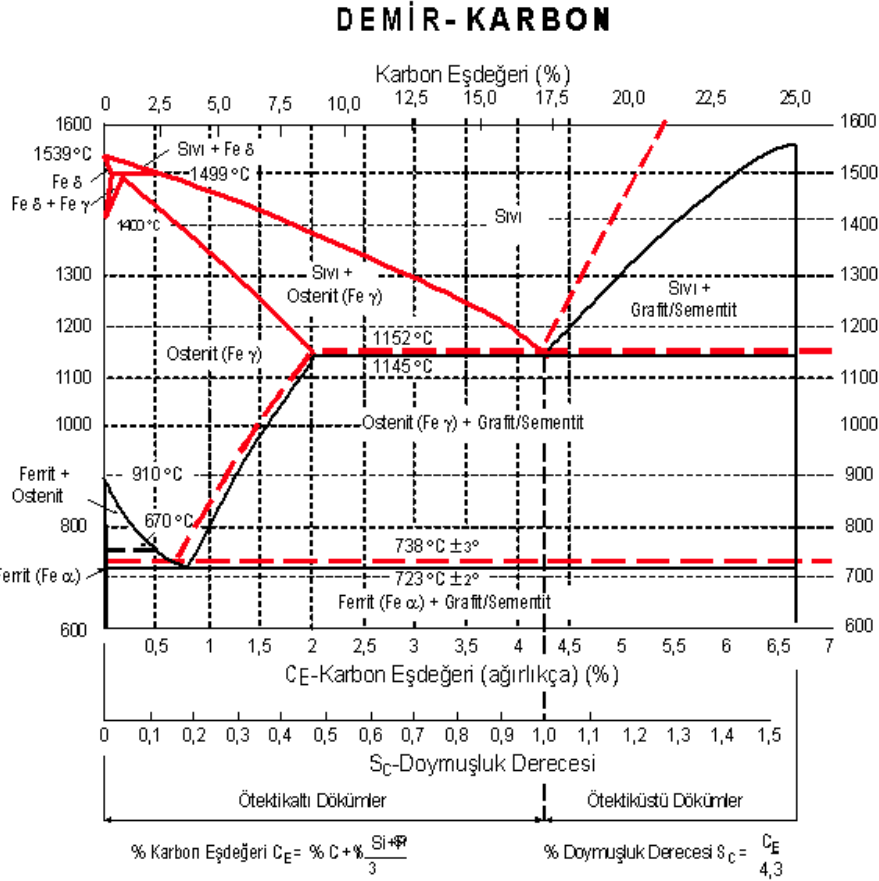
R.A. Harding (2006) yaptığı çalışmada östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin üretim özellikleri ve kullanım alanları ile ilgili çalışmalar yapmışlardır.

Eric ve arkadaşları (2005), yaptıkları çalışmada östemperlenmiş KGDD'lerde östemperleme süresinin ve sıcaklığının mikro yapı ve mekanik özelliklere etkilerini incelemişlerdir. Östemperleme süresinin kısa olması durumunda martenzit yapının oluştuğu ve yapının kırılmalığa neden olduğunu, ayrıca östemperleme süresi arttıkça yapının beynit, ferrit halini aldığını gözlemlemişlerdir.

Komaç ve Çelik (2004), yaptıkları çalışmada farklı kimyasal bileşimlere sahip KGDD numunelere üç farklı sıcaklık ve beş farklı sürede östemperleme ısıl işlemi yapılmıştır. Genel olarak sertliğin tüm alışımlar için östemperleme süresine bağlı olarak düştüğü görülmüştür. Ayrıca, alışımlar elementlerinin sertlik üzerine etkili olduğu saptanmıştır. Alaşımsız numunelere göre Ni alaşımlı numunelerde elde edilen sertlik değerleri, yapıdaki Ni miktarı arttıkça artış göstermektedir.

### 3. DÖKME DEMİRLER

Dökme demirler, % 2'den fazla karbon oranı içeren demir karbon alaşımlarıdır. Ayrıca, % 1 ile % 3 arasında silisyum içerirler. Dökme demirler Fe-C denge diyagramında % 2-6.67 aralığında bulunmaktadır. Fakat ticari olarak bu değer yüksek karbon oranından dolayı kırılmalığa sebep olması nedeniyle yaklaşık % 4 C içerirler. Fe-C denge diyagramını Şekil 3.1 deki gibi gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Fe-C denge diyagramı

Dökme demirler üstün özellikleri nedeniyle çok geniş kullanım alanına sahiptir. (Kumruoğlu, 2003)

Dökme demirlerin üstün bir mühendislik malzemesi olması, üretim maliyetinin düşük olması gibi nedenlerden ötürü talepleri her geçen gün artmaktadır. Dökme demirlerin yapısından dolayı süneklik özellikleri düşük olmaları nedeniyle sıcak ve soğuk şekillendirme işlemi uygulanmaz. Dökme demirlerde daima serbest karbon veya demir-karbür bulunduğu için sıcak işlenebilirlik özellikleri yoktur bu yüzden dökme demirler döküm yöntemi ile karmaşık, büyük boyutlarda üretim yapılarak şekillendirilmektedir. Dökme demirlerin üstün özellikleri şu şekilde sıralanabilir;

- Düşük ergime sıcaklığı (1150-1300°C)
- Ötektik birleşimine yakın olması ile iyi akışkanlık özelliği
- Ergitme işlemlerinin maliyetinin düşük olması
- Kimyasal kompozisyonun geniş olması
- Büyük iş parçalarının tek işlem ile üretilebilmesi
- Basma mukavemetinin yüksek olması
- Aşınma ve korozyon direncinin iyi olması
- Talaşlı imalat yönteminin iyi sonuç vermesi
- Titreşim söndürme özelliğinin iyi olması

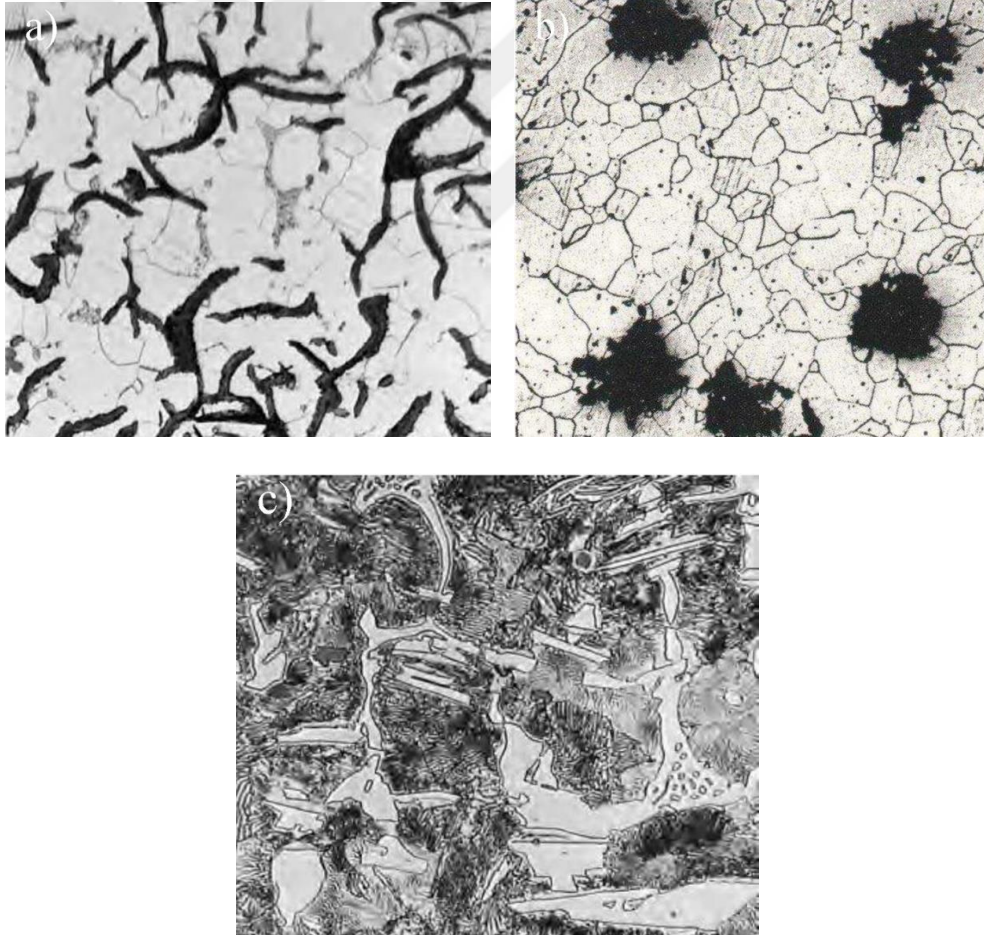
Bu özellikleri sayesinde dökme demirlerin kullanım alanları çok geniş olup otomotiv endüstrisinde, tarım makinalarında, kimya sanayisinde, inşaat ve ulaşım sanayileri gibi farklı iş kollarında yaygın kullanılmaktadır. (Yılmaz, 2003)

Dökme demirlerin kimyasal bileşiminde karbon ve silisyum oranları değiştirildiğinde ve aşılama yapıldığında malzemenin sertlik, mukavemet, işlenebilirlik ve korozyon dirençlerinde değişimler meydana gelmektedir. Dökme demirlerin sınıflandırılmasında en iyi yöntem döküm mikroyapısına göre sınıflandırılmasıdır. Karbon içeriği, alaşım elementi, soğuma hızı yapı içerisindeki karbonun morfolojisini belirler. Dökme demirler Çizelge 3.1 deki gibi mikroyapılarına göre sınıflara ayrılmıştır. (Erdoğan, 2000) (Bilici, 2004)

**Çizelge 3.1** Dökme Demir Türleri ve Kimyasal Bileşimi (%)

Element	Küresel Grafitli D.D	Gri Dökme Demir	Beyaz Dökme Demir	Temper Dökme Demir
Karbon	3-4	2.5-4	1.3-3.6	2-2.6
Silisyum	1.8-2.8	1-3	0.5-1.9	1.1-1.6
Mangan	0.10-1	0.25-1	0.25-0.8	0.2-1
Kükürt	0.03	0.02-0.25	0.06-0.2	0.04-0.018
Fosfor	0.10	0.05-1	0.06-0.18	0.18

Dökme demirler günümüz endüstride en çok ve yaygın kullanımına göre; beyaz dökme demir, gri dökme demir, küresel grafitli dökme demir ve temper dökme demir olarak dörde ayrılmaktadır. Şekil 3.2’ de dökme demir türlerinin mikroyapı görüntüleri verilmiştir.



**Şekil 3.2** Farklı dökme demir türlerinin mikroyapıları a) Gri dökme demir, b) Temper dökme demir  
c) Beyaz dökme demir




Beyaz dökme demir katılaşıma sıcaklığından hızlı soğuma ile elde edilen ötektik altı alaşımlardır. Karbonun sementit halinde oluştuğu ve kırılma yüzeyü beyaz görünen dökme demir türüdür. Mikro yapılarını sementit ve perlitten oluşmaktadır. Sementitten dolayı sert ve aşınma dirençleri yüksektir.

Temper dökme demir sert ve kırılğan bir yapıya sahip olup beyaz dökme demirin temperlenmesi ile karbürlerin parçalanması sonucu yüksek mukavemetli, sünek özelliğine sahip bir yapı oluşmaktadır.

Gri dökme demir en çok kullanılan dökme demir türü olup bileşimindeki karbonun büyük kısmı grafit lamelleri şeklinde bulunmaktadır. Karbon atomlarının esas itibarıyla grafit kristalleri halinde yapı içerisinde yer aldığı ve kırılma yüzeylerinin koyu (gri) görüldüğü için bu gri dökme demir olarak adlandırılmaktadırlar. Ötektik üstü alaşımlardır.

Küresel grafitli dökme demir mikro yapısında karbonun grafit küresel halinde bulunduğu dökme demir türüdür. Grafitin küresel olması süneklik ve mukavemet kazandırır. (Bilici, 2004) Şekil 3.3' te KGDD'in diğer dökme demirler ile özelliklerinin kıyaslanması verilmiştir.

Özellik	Küresel Grafitli Dökme Demir	Temper Dökme Demir	Gri Dökme Demir	Döküm Çelik	Beyaz Dökme Demir
Dökülebilirlik	iyi	iyi	kötü	iyi	iyi
Talaşlı İşlenebilirlik	iyi	iyi	kötü	iyi	iyi
Titreşim Sönümleme	iyi	iyi	kötü	iyi	iyi
Yüzey Sertleştirilme	iyi	iyi	kötü	iyi	iyi
Elastisite Modülü	iyi	iyi	iyi	kötü	iyi
Darbe Dayanımı	iyi	iyi	iyi	kötü	iyi
Korozyon Dayanımı	iyi	iyi	kötü	iyi	iyi
Mukavemet/Ağırlık	iyi	iyi	iyi	iyi	iyi
Aşınma Direnci	iyi	iyi	iyi	iyi	kötü
Üretim Maliyeti	iyi	iyi	kötü	iyi	iyi

iyi  kötü

Şekil 3.3 KGDD'in diğer dökme demirlerle kıyaslanması

### 3.1. Küresel Grafitli Dökme Demir

Gelişen teknoloji ile beraber kullanılan malzemelerin yerine yeni ve özellikleri daha iyi olan malzemelere olan ihtiyaç artmaktadır. Malzemelerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesiyle beraber kullanım alanları da genişlemiştir. Küresel grafitli dökme demir ilk olarak 1948 yılında H. Morrogh tarafından Amerika Dökümcüler Birliği toplantısında resmi olarak tanıtılmıştır. Üstün mekanik özellikleri ve dökme demirlerin üretim yöntemi sayesinde çok hızlı bir şekilde kullanımını artmıştır. KGDD, dökme demirlerin üretim özelliklerine sahip olması mikro yapısının kontrol ediliyor olması ve daha düşük maliyeti bu malzemelerin en önemli avantajı olmuştur. (Trudel & Gagne, 1997)

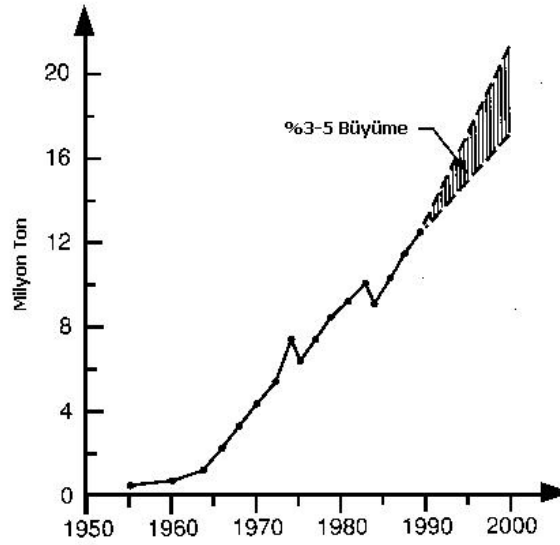
Küresel grafitli dökme demirler, yaklaşık olarak % 3.4- 3.9 oranında karbon ve % 1.8- 3.1 oranında da silisyum içermektedir. Küresel grafitli dökme demirler, sfero, nodüler ve sünek demir olarak bilinmektedirler. Katılaşma sırasında grafitlerin küresel formda olmasını Mg ve Ce ilave edilen elementler sağlamaktadır. Küresel biçimin oluşmasını sağlamak için eriyik metalin kükürt oranının % 0.015'in altında bir değerde olması gerekmektedir. (Stefanescu, 1992)

KGDD' lerin gri dökme demirlere göre avantajları düşük ergime sıcaklığı, daha iyi akış ve dökülebilirlik, yüksek dayanım, tokluk ve süneklik gibi özellikleridir. Bu özelliklerin ısı işlem ile döküm durumundaki özelliklerinin iyileştirilmesi de mümkündür. (Goodrich, 2003) (Karsay, 1975)

Şekil 3.4' te gösterildiği gibi 1970 yılından itibaren üretimi artan küresel grafitli dökme demirler magnezyum (Mg) ve seryum (Ce) ile alaşım yapıldığında demir içerisindeki grafitler küresel biçimde katılaşırlar bu sayede yüksek dayanım özellikleri elde ederler. Grafitlerin küresel hal alması sayesinde sünekliği artar ve çeliğe benzer bir matris içerisinde dağılmış küresel partiküller halinde bulunur.

Küresel grafitli dökme demirler;

- Çeliklere göre %10 daha hafiflerdir.
- Yapısında bulunan grafitler, sönüm kapasitesini artırmaktadır.
- Hammadde olarak çeliklerden daha ucuzdur.
- İşlenebilirlik özellikleri tavllanmış çeliklerden daha iyidir.
- Üretim esnasında kullanılan enerji çelik üretimine göre % 50' ye varan tasarruf sağlamaktadır.(Yavuz, 2006) (Kayalı, 2006)



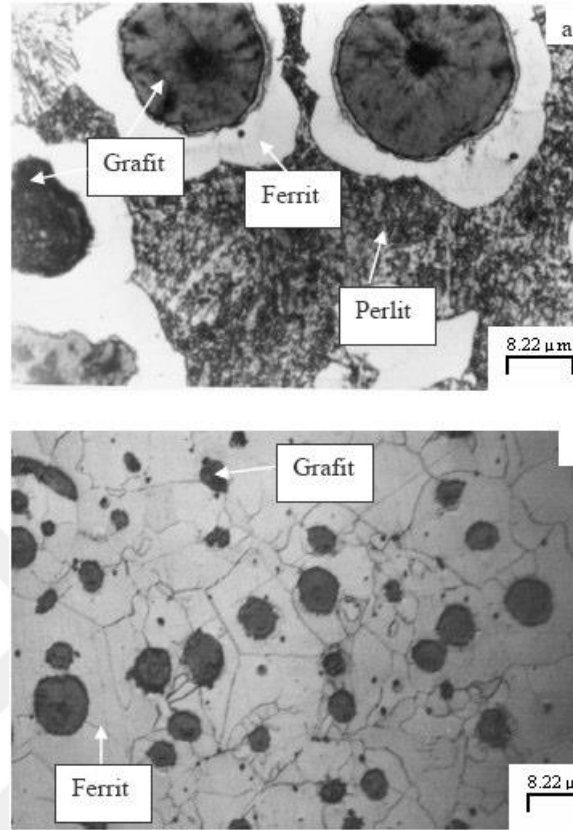
Şekil 3.4 1950-2000 yılları arasında KGDD üretimi

### 3.2. Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Üretimi

Küresel grafitli dökme demir üretimi için şarj çok önemlidir. Elementleri doğru bir oranda kullanılması gerekmektedir. Üretim esnasında çelik hurdası ve diğer malzemelerin kimyasal kompozisyonları bilinmesi gerekmektedir. Yapıyı kontrol etmek için alaşım elementlerinin yüzdeleri kontrol edilmesi gerekmektedir. C ve Si, ferrit oluşumuna eğimli, Mn, Ni, C, Mo gibi elementler perlit oluşumunu desteklemektedir.

Ergitme işleminden sonra oluşan grafitlerin küreselleşme işleminin yapılması gerekmektedir. Bu işlem için Mg ve Ce gibi elementler kullanılmaktadır. Aşılama üretim için çok önemlidir. Aşılama sayesinde KGDD'in mikro yapısında küresel grafit sayısını artırmaktadır. Aşılama eriyik malzeme soğumaya başladığında etkisini kaybeder bu yüzden döküm işlemi hızlı bir şekilde yapılmalıdır. (Labrecque & Gagne, 1998)

KGDD' de Şekil 3.5' de gösterildiği gibi matris perlit, ferrit ve ikisinin beraber bulunduğu halde meydana gelmektedir.

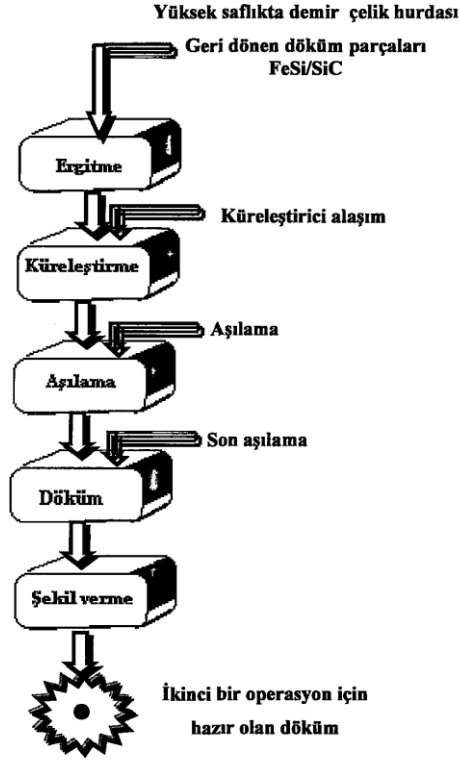


Şekil 3.5 KGDD'in mikro yapı fotoğrafı a) Perlit +Ferrit b) Tamamen Ferrit

KDGG' ler döküm durumunda grafit kürelerinin etrafında ferrit ve perlitten oluşan matris yapısına sahiptir. Oluşan bu matristeki ferrit ve perlit hacim oranları soğuma hızına, alaşım elementlerine göre değişiklik gösterebilmektedir. Döküm yönteminden kaynaklı kullanılan şarj malzemelerinden dolayı segregasyon oluşumu gerçekleştirebilmektedir. (Çetin & Gül, 2005)

Üretim sırasında magnezyum yeteri miktarda ilave edilerek demir aşılır ve döküm işlemi gerçekleştirilir. Magnezyum ilavesi en önemli ve zor aşamalardan birisidir. Magnezyum düşük sıcaklıkta (1090°C) kaynar, pota içerisindeki metal ile magnezyumun birleşmesinde şiddetli bir reaksiyon oluşur ve parlak ışık yayılmasına neden olur. Mg ilavesi ile oluşan oksit tabakasının yapılmadan önce tamamen temizlenmesi gerekmektedir. (Şen, 2003)

Üretim aşaması titizlik gösterilmesi gereken bir işlemdir. Döküm esnasında küreselleştirme ve aşılama küresel oluşumu yüksek kalitede bir döküm elde edebilmek için Şekil 3.6' da gösterilen akış şemasına çok dikkat edilmelidir. (Trudel & Gagne, 1997)



Şekil 3.6 Küresel Grafitli Dökme Demirin Üretim Şeması

### 3.2.1. Küresel Grafitli Dökme Demirin Mekanik Özellikleri

KGDD' ler genellikle döküm olarak kullanılır ve yapılarında çoğunlukla perlit ve ferrit birlikte bulunmaktadır. Isıl işlem ile mukavemetin artmasının yanı sıra süneklik ve dayanımın artması da mümkün olabilir.

KGDD'lerin korozif ortamlarda aşınma dirençleri gri dökme demire göre daha iyidir. Ani sıcaklık değişimlerinde gösterdiği direnç gri dökme demir ve çoğu çelikten daha iyidir. Çeliklerde olduğu gibi küresel grafitli dökme demirlerin darbe direnci sıcaklığa bağlı değişmekte yapı ve kimyasal bileşimi önemli derecede etkilemektedir. Matris yapısı tamamen ferritik olan küresel grafitli dökme demir en yüksek tokluk değerine sahiptir. Perlit hacim oranı arttıkça tokluk azalmaktadır. (G.N.J., 2003)

Türk Standartları Enstitüsü (TSE) KGDD' leri Çizelge 3.2' deki gibi adlandırılmaktadır. Dökme Demir Küresel Grafitli (DDK) ile kısa gösteriliş yapılmaktadır.

**Çizelge 3.2** TSE (526) Standardına Göre Küresel Grafitli Dökme Demir Sınıflandırması (TS-EN-1563, 2018)

Kısa Gösterimi	Mikro yapısı	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Sertlik (HB)
DDK-40	Daha çok ferritik	400	280	12	140-201
DDK-50	Ferritik-Perlitik	500	360	7	170-241
DDK-60	Perlitik-Ferritik	600	400	3	192-269
DDK-70	Daha çok perlitik	700	450	2	229-302
DDK-80	Perlitik	800	500	2	248-352
DDK-35,3	Ferritik	350	220	22	-
DDK-40,3		400	250	18	-

Ülkemizde endüstriyel kullanım olarak daha çok Alman DIN standardı kullanılmaktadır. Benzer şekilde Çizelge 3.3'te gösterilen Alman DIN standartlarında küresel grafitli dökme demirlerin mekanik özellikleri verilmektedir.

**Çizelge 3.3** DIN EN 1563 standartına göre KGDD'lerin sınıflandırılması (DIN-EN-1563, 2015)

Kısa gösterimi	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Mikro yapı
GGG-40	400	250	15	Çoğunlukla ferritik
GGG-50	500	320	7	Ferritik-perlitik
GGG-60	600	380	3	Perlitik-ferritik
GGG-70	700	440	4	Çoğunlukla perlitik
GGG-80	800	500	2	Perlitik

Ferritik matris yapı içerisinde bulunan grafitler iyi bir süneklik ve darbe direnci ile düşük karbonlu çeliklere benzer çekme ve akma mukavemeti sağlamaktadır. Ferritik yapı katılaşmanın çok yavaş olması ile elde edilmektedir.

Ferritik ve perlitik yapının bir arada bulunduğu küresel grafitli dökme demirlerde işlenebilirlikleri iyidir ve üretim maliyeti düşüktür. Perlitik matris yapı içerisinde grafitlerin olduğu küresel grafitli dökme demirlerde yüksek mukavemet, iyi aşınma direnci ortalama süneklik kazandırmaktadır. (Kırçalı, 2006)

Küresel grafitli dökme demirlerde kesit kalınlığının özelliklere direkt etkisi yoktur. İnce kesitli bölgelerde soğuma hızı daha yüksek olduğu için tane boyutu ve anafazın türünü belirler. Küçük taneli ve perlitik bir mikroyapı daha mukavemetli olmaktadır fakat düşük süneklik göstermektedir.

Küresel grafitli dökme demirlerde, mikro yapının oluşumunda grafitlerin küre oluşumu boyutu ve dağılımı katılaşma sürecinde oluşmaktadır. Bu özellikler ısı işlem ile değiştirilemez. Kürelerin boyutu ve dağılımı dökme demirin mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Üretim sırasında doğru ve yeterli aşılama yapılmasıyla grafitlerin küreselleşmesi istenmektedir. Küresel oluşumu mukavemet ve sünekliği doğrudan etkilemektedir. (Çavuşoğlu, 1981)

### 3.2.2. Küresel Grafitli Dökme Demirlere Uygulanan Isıl İşlemler

Küresel grafitli dökme demirlerin yapıları ısı işlem yapmak için uygundur. KGDD'lerin üretim kaynaklı kötü özelliklerinin veya mevcut mekanik ve mikroyapılarının iyileştirilmesi için ısı işlem yapılmaktadır.

Gerilim giderme; düşük sıcaklıkta uygulanan ısı işlemi olup dökümden sonra dökme demirlerde oluşan iç gerilmeleri azaltmak ya da tamamen gidermek için uygulanmaktadır.

Tavlama; dökme demirlerin sünekliğini ve tokluğunu iyileştirmek, sertliğini ve yapıda ki karbürleri gidermek için uygulanmaktadır.

Normalleştirme; süneklik ve dayanımı arttırmak için uygulanmaktadır.

Sertleştirme ve temperleme; sertliği, mukavemeti daha da arttırmak için uygulanmaktadır.

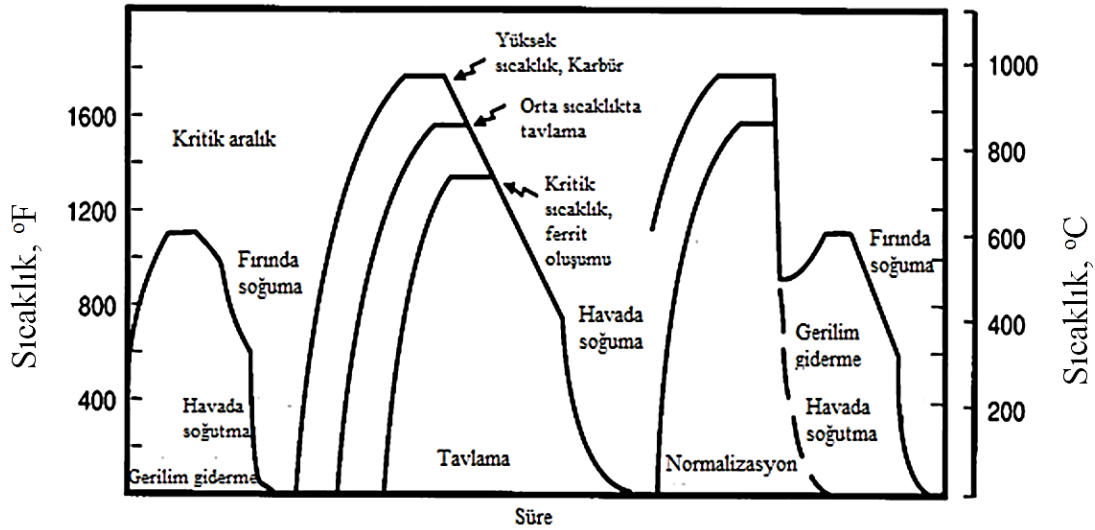
Östemperleme; yüksek mukavemet, süneklik ve iyi bir aşınma direnci kazanmak için uygulanmaktadır.

Yüzey sertleştirme; indüksiyon ile bölgesel olarak malzemenin sertlik kazanmasını sağlamak için uygulanmaktadır. (Elliott, 1988) (Walton, 1991)

Genel olarak KGDD' lerde ısıl işlemler aşağıdaki sebeplerden ötürü uygulanmaktadır.

- Tokluk ve sünekliği arttırmak
- Mukavemet ve aşınma direncini arttırmak
- Korozyon direncini arttırmak
- Mikroyapıyı kararlı hale getirmek
- Mekanik özellikleri geliştirmek
- İşlenebilirliği geliştirmek (Karaca, 2013)

KGDD'lerin mekanik özelliklerini geliştirmek için yukarıdaki ısıl işlemler uygulanmıştır. Bu ısıl işlemlerden en yüksek tokluk ve dayanım özelliklerini östempereleme ısıl işlemi ile sağlanmaktadır. KGDD' lere uygulanan ısıl işlemlerin sıcaklık ve süresini Şekil 3.7' de gösterilmektedir.



Şekil 3.7 KGDD' lere uygulanan farklı ısıl işlemler (Funatani, 2001)

### 3.2.3. Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Kullanım Alanları

Demir döküm sektörü yeni ve gelişen teknoloji ile birlikte büyük bir gelişme göstermektedir. Türkiye, Çin, Hindistan gibi ülkelerin döküm sektöründe ilerlemesi ile başta otomotiv olmak üzere tüm alanlarda kullanımını artırmıştır.



KGDD, yüksek akma ve çekme mukavemeti, kolay işlenebilirliği ve korozyon direncinin yüksek olması gibi nedenleriyle kullanım alanı geniştir. KGDD'ler diğer dökme demirlerin yanı sıra dövme çelik ve demir dışı alaşımların yerine kullanılmaya başlanmıştır. Bu sektörler aşağıda listelenmiştir. (Karamusaoğlu, 2009)

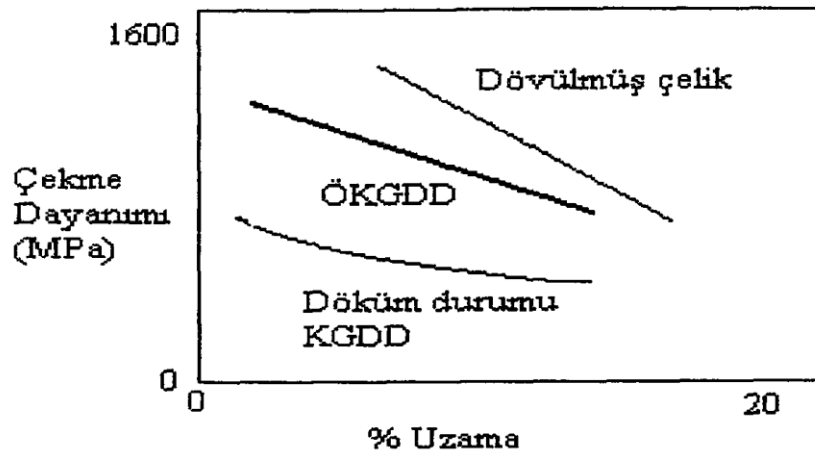
- Madencilik ve metalürji sektöründe kırıcı gövdeler, cüruf potaları, kalıp dereceleri
- Hidrolik presler, dövme presleri, eğme makinaları gibi parçalarda
- Traktör parçaları, ön tekerlek çatalları, pedalları ziraat sektöründe
- Kimya sektöründe valfler, pompalar,
- Güç aktarımında uçak konstrüksiyon, diferansiyel dişli, volanlar

### 3.3. Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirler

1948 yılında KGDD'in keşfinden sonra bu malzemeleri iyileştirmek için önce alaşım elementleri ilave edilmeye başlanmıştır. 1970'li yıllara östemperleme ısıl işlemi ilk kez Finlandiya'daki Kymi Kymmene Mühendislik şirketine uygulanmaya başlamıştır. (Chang, 1998)

Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirler, östenitleme sıcaklığı ve süresi, östemperleme sıcaklık ve süresine bağlı olarak çok geniş bir aralıkta işlem görmektedir. ÖKGDD'in sünekliği KDGG'e göre eşit fakat mukavemeti yaklaşık 2 katından fazladır. (Özel, 1994)

KGDD diğer dökme demir türlerine göre daha iyi mekanik özelliklere sahiptir ve östemperleme ısıl işlemi ile dayanım ve tokluk değerleri daha da artmaktadır. (Şekil 3.8) ÖKGDD yüksek mekanik özelliklere sahip olmasının nedeni mikro yapısının ferrit ve yüksek karbonlu östenit içermesinden kaynaklanmaktadır. (Hayrynen, 1999)



Şekil 3.8 ÖKGDD'in diğer malzemelerle mekanik özelliklerinin karşılaştırılması

ÖKGDD'nin çok geniş mekanik özellik sunması bu malzemelerin araştırılmasını sağlamıştır. Özellikle 325-400 °C sıcaklık aralığında östemperlenen KGDD'ler daha çok dikkat çekmiştir. Bu aralıkta yapılan işlemler sonucunda malzemenin yüksek çekme dayanımı, tokluk ve aşınma dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Bu mekanik özellikleri nedeniyle inşaat alanında kullanımını arttırmıştır. (Zimba, Simbi, Navara, & composites, 2003)

Çizelge 3.4 Dövme çelik, KGDD ve ÖKGDD'in mekanik özelliklerinin karşılaştırılması

	*Dövme çelik	KGDD	ÖKGDD
Akma Dayanımı (MPa)	520	480	830
Çekme Dayanımı (MPa)	790	690	1100
% Uzama	10	3	10
Sertlik (HB)	262	262	286
Darbe Dayanımı (joule)	175	55	165
* Mikro alaşımlı orta karbonlu bir çelik			

Çizelge 3.4'te görüldüğü gibi ÖKGDD ve dövme çeliğin % uzama ve darbe dayanımları aynı olmasına karşın ÖKGDD'in akma ve çekme dayanımları dövme çeliklere göre çok daha yüksektir. Üretim maliyeti açısından karşılaştırma yapıldığında ÖKGDD'lerin daha düşük üretim maliyetine sahip olmaları nedeniyle dövme çeliklere göre daha avantajlı konuma getirmektedir. (Kovacs & Keough, 1988)

ÖKGDD'ler Harneyn'in çalışmalarıyla ASTM standartlaşmasını sağlamıştır. (Çizelge 3.5)

**Çizelge 3.5** ÖKGDD malzemenin ASTM (897-90) standardı (ASTM-A897-90, 1997)

Sınıf	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	% Uzama	Sertlik Aralığı (HV)
1	850	550	10	269-321
2	1050	700	7	302-363
3	1200	850	4	341-444
4	1400	1100	1	338-477
5	1600	1300	-	444-555

KGDD'lerde farklı sıcaklıklarda yapılan östemperleme ısıl işlemi sonucunda yapıda değişimler meydana gelmektedir. Çizelge 3.6'te gösterildiği gibi temperleme koşullarının değişmesi mikro yapının da değişmesini sağlamaktadır. (Toktaş, Tayanc, & Toktaş, 2006)

**Çizelge 3.6** Östenitleme işlemi sonrası farklı sıcaklıklarda temperleme sonucu oluşan mikroyapılar

Mikroyapı	Östenitleme sıcaklığı	Temperleme Koşulları
Ferritik	925°C/ 7 saat	500° C'ye fırında soğutma ardından havada soğutma
Perlitik- Ferritik	900°C/ 1 saat	660° C' ye soğutma ardından havada soğutma
Perlitik	900°C/ 1 saat	650° C ye soğutma ardından havada soğutma
Temperlenmiş Martenzit	900°C/ 1 saat	400° C' de 1 saat temperleme ardından havada soğutma
Alt Beynit	900°C/ 1 saat	300° C' de 1 saat östemperleme ardından havada soğutma
Üst Beynit	900°C/ 1 saat	365° C 1 saat östemperleme ardından havada soğutma

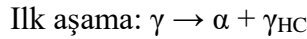
### 3.4. Östemperleme Isıl İşlemi

Östemperleme ısıl işlemi ilk olarak çelik malzemelerde 1930'ların başında Baint ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir. 1940 yılının başlarında Flinn özellikle gri dökme demir malzemelerde uygulama yapmıştır. 1950 yıllarında ise östenitlenmiş

küresel grafitli dökme demirlerde uygulanmıştır. Östenitleme sırasında 850-950 °C'lik bir sıcaklık aralığında yapının tamamen östenit olması sağlanmaktadır.

Östemperleme işleminde ikinci aşamada 200-400 °C sıcaklıkları arasında tuz banyosuna daldırılarak belirli zaman bekletilmesi sağlanmaktadır. Bu işlemden sonra malzeme havada soğumaya bırakılır. Östemperleme işleminde havada soğutma sırasında oluşan yapı yüksek karbon içeren östenit fazıdır. (Catipovic, Zivkovic, & Dadic, 2018)

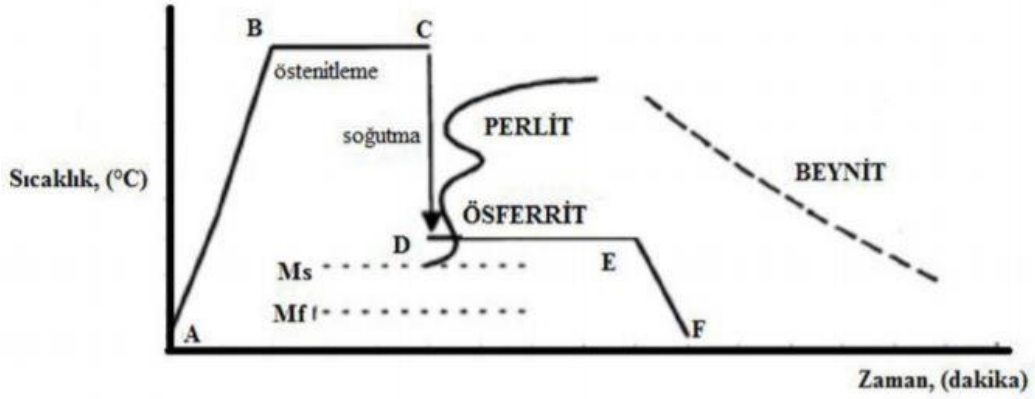
Östemperleme işleminde iki aşamalı dönüşüm meydana gelmektedir.



Birinci aşamada östenit beynitik ferrit ve yüksek karbonlu östenite dönüşmektedir. Bu aşamada dayanım ve tokluk en yüksek değerlere ulaşmaktadır. Eğer birinci aşama uzun sürerse yüksek karbonlu östenit ferrit ve karbüre dönüşmektedir. İkinci aşama dönüşüm oluşan karbürlerin mekanik özelliklere olumsuz etkisinden ötürü çok istenilmemektedir.

Mikro yapıda karbürlerin bulunması süneklik ve tokluğu önemli ölçüde azalmasına sebep olur ayrıca işlenebilirliği de olumsuz yönde etkilemektedir. (Meena & El Mansori, 2012)

Şekil 3.9' da gösterilen östemperleme ısıl işlemi çok dikkatli bir şekilde uygulanmalıdır. Perlit, beynit ve martenzit oluşumu engellenmelidir. (Harding, 2007)



Şekil 3.9 Östemperleme ısıl işlemini gösteren izotermal diyagram

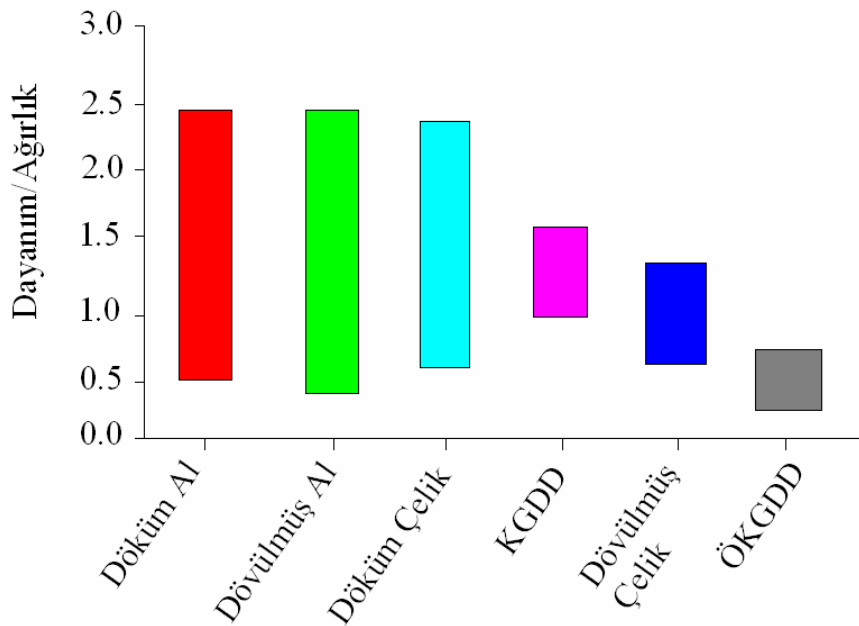
1. 850-950°C sıcaklıkları arasında 1 saat östenitleme (B-C)
2. 235-450°C sıcaklıkları arasında hızlı soğutma. Östemperleme sıcaklığına soğuma hızı, perlit tepkimesini önleyecek kadar yüksek sıcaklıkta olması gerekmektedir. Bu durum gerçekleşmezse döküm sırasında yapıya Mo, Cu ve Ni gibi alaşım elementleri ilave edilmelidir.
3. Östemperleme sıcaklığında bekletme (D-E). Bu sıcaklıkta östenit beynitik ferrit oluşturur. Bekleme süresi alaşım elementi miktarı, östenitleme süresi ve sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir.
4. Oda sıcaklığında havada soğutma (Keough, 2001)

Östenitleme ve östemperleme işlemlerinin sıcaklığı ve süreleri yapının mekanik özelliklerini direkt etkilemektedir. Yapılan araştırmalar bu etkilerin en önemlisinin östemperleme süresi ve sıcaklığında kaynaklandığını ve bu sıcaklığın beynitik yapıyı doğrudan etkilediğini göstermiştir. (Dorazil, 1991)

### 3.4.1. ÖKGDD Avantajları ve Kullanım Alanları

ÖKGDD malzemeler talaşlı imalata uygun olmaları, kimyasal bileşimi ve mikroyapılarının uygun olması ısıl işlem için gerekli sürenin kısa olmaları ve dövme çeliklere göre hafif olmaları gibi avantajları vardır. (Shea & Ryntz, 1986)

Şekil 3.10' da görüldüğü gibi birçok malzemeden daha iyi mekanik özellik göstermektedir. (Şeker ve Hasırcı 2005)



Şekil 3.10 Dayanım/ağırlık açısından ÖKGDD'in diğer malzemelerle karşılaştırılması

ÖKGDD'ler kullanılmasının birçok avantajı vardır bunlar;

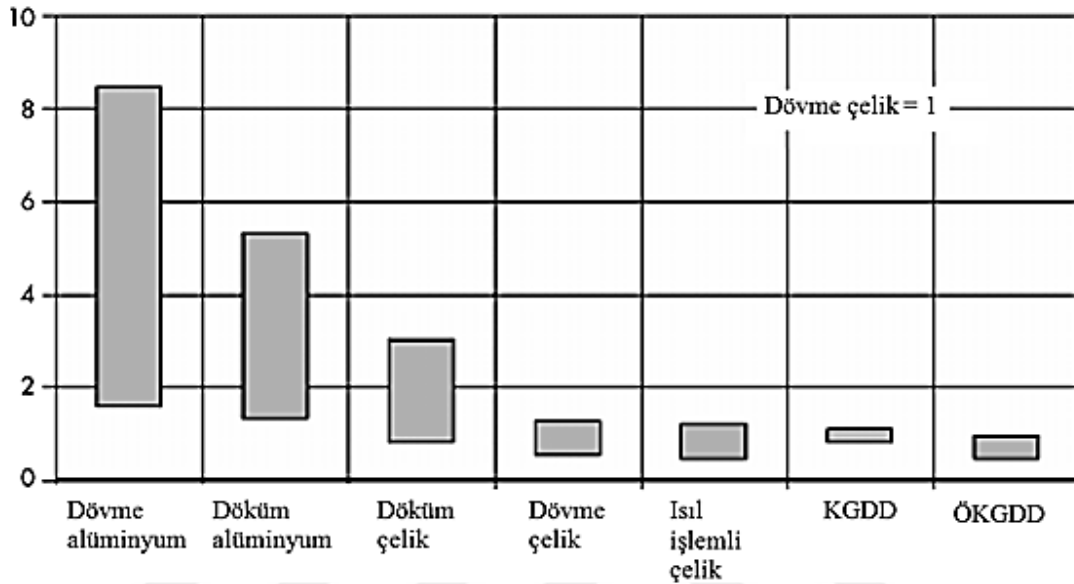
- Hassas kalıplama yöntemi gereken uygulamalarda yüzey işleme gerektirmeden kullanılırlar.
- Fiyat/performans açısından ÖKGDD çok büyük bir avantaja sahiptir. Çok geniş kullanım alanına sahiptirler.
- Dişli dövme imalatında dövme çelik malzemeye göre üretim maliyeti düşüktür.
- Yağlamanın yetersiz olduğu yerlerde aşınma ömürleri dövme çeliklere göre yüksektir.

•

Kullanım alanları olarak;

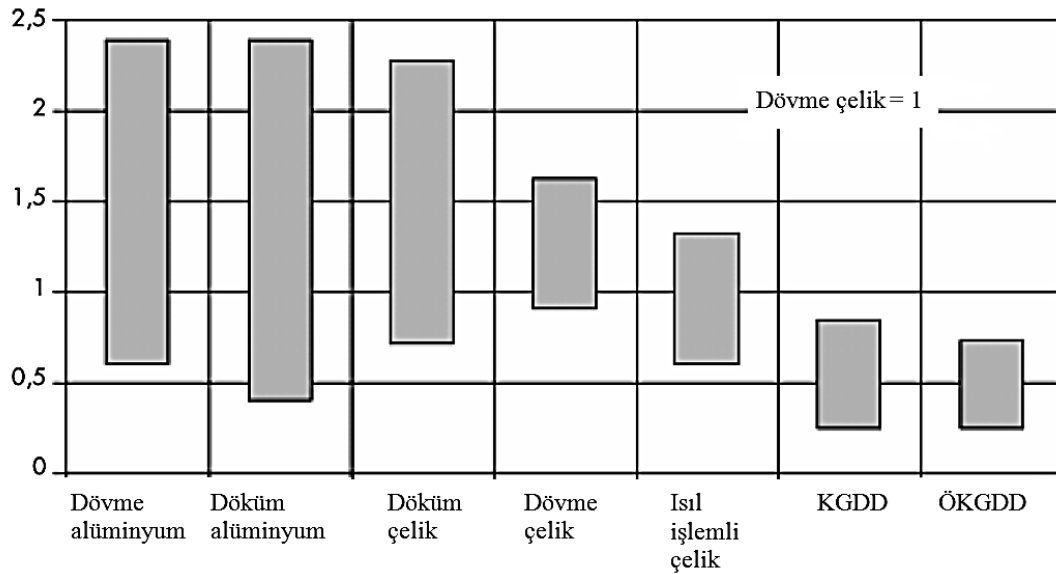
- Otomotiv alanında; krank milleri, volan dişli çerçevesi
- Madencilik; dişli çarklar, zincirler, raylı taşıma plakaları
- Pompalar; valf gövdeleri, kompresör muhafazası
- Yapı elemanları; ray makarası, hidrolik silindiri, ayar mili
- Demiryollarında yüksek aşınma direnci, statik ve yorulma dayanımlarına gerekli olduğu motor parçaları gibi birçok alanda kullanılmaktadır. (Hasırcı, 2000)
- Askeri uygulamalarda; roket gövdeleri, rotorlarda kullanılmakta, kamyon parçaları ve silahlarda kullanılmaktadır. (Dubensky & Rundman, 1985)

ÖKGDD' in farklı malzemelerle çekme dayanımının maliyetleri açısından karşılaştırılması Şekil 3.11' de verilmiştir. Bu grafiğe göre dövme çelik malzeme 1 olarak görülmektedir. ÖKGDD' in çekme dayanımı çelik ve alüminyuma göre düşük olmasına rağmen maliyet olarak çok daha uygundur. (Procast, 2006)



Şekil 3.11 Farklı malzemelerin birim çekme dayanımına olan birim maliyetleri

Şekil 3.12' de birim çekme dayanımın birim ağırlık ilişkisi verilmiştir. Bu grafikte görüldüğü gibi ÖKGDD daha az ağırlıkla yani daha az malzeme kullanımı sayesinde diğer malzemelerden daha avantajlıdır.



Şekil 3.12 Farklı malzemelerin birim çekme dayanımına olan birim ağırlıkları

## 4. MATERYAL VE YÖNTEM

### 4.1 Üretim

Bu çalışmada Çizelge 4.1’ de verilen kimyasal kompozisyona sahip ticari olarak dökülen GGG-50 kalite küresel grafitli dökme demir malzemeler kullanılmıştır.

**Çizelge 4.1** GGG-50 KGDD numuneye ait kimyasal analiz değerleri.

Fe	C	Si	Mn	Cu	P	S	Mg	Cr	Ni	Mo
denge	3.78	2.40	0.221	0.609	0.029	0.011	0.046	0.025	0.019	<0.001

Numunelerin döküm işlemi Konya Organize Sanayi Bölgesinde bulunan KurtSan Porya Sanayi tesislerinde yapılmıştır. Ergitme işleminde 1500 kg kapasiteli Inductotherm marka orta frekanslı indüksiyon ocağı kullanılmıştır. Ocağa şarj olarak sfero piki, çelik hurdası ve sfero döndü hurdası yüklenmiştir. (Şekil 4.1)



**Şekil 4.1** İndüksiyon ocağına şarj yüklemesi



Ergime işleminden sonra sıvı metale döküm sıcaklığında (1450 °C) küreselleştirme ve aşılama işlemleri uygulanmıştır. (Şekil 4.2) Küreselleştirme işlemi tundish potasında FeSiMg<sub>7</sub> küreselleştirici kullanılarak yapılmış olup, aşılama işlemi ise döküm potasında Fe-Si (75% Si) alaşımı kullanılarak yapılmıştır. Daha sonra sıvı metal kum kalıplara dökülerek soğutulmaya bırakılmıştır.



Şekil 4.2 Ergitme Ocağı

Numunelerin kimyasal analizi OBLF RS1000-162 model optik emisyon spektrometresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Karbon eşdeğeri aşağıdaki eşitlik kullanılarak % 4.59 olarak hesap edilmiştir. (3.1)

$$CE = \%C + \frac{\%Si + \%P}{3} \quad (3.1)$$

## 4.2. Östemperleme Isıl İşlemi

Üretilen GGG-50 kalite dökme demirlerin ısıl işlemi için Ankara Sincan Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan Döksan Isıl İşlem tesislerinde gerçekleştirilmiştir. Numunelerin ilk aşama olarak 950 °C' de 2 saat östenitleme ısıl işlemi uygulandıktan sonra 320 ve 350 °C sıcaklıklarda 90 ve 120 dakika süre ile östemperleme yapılmıştır. (Şekil 4.3)



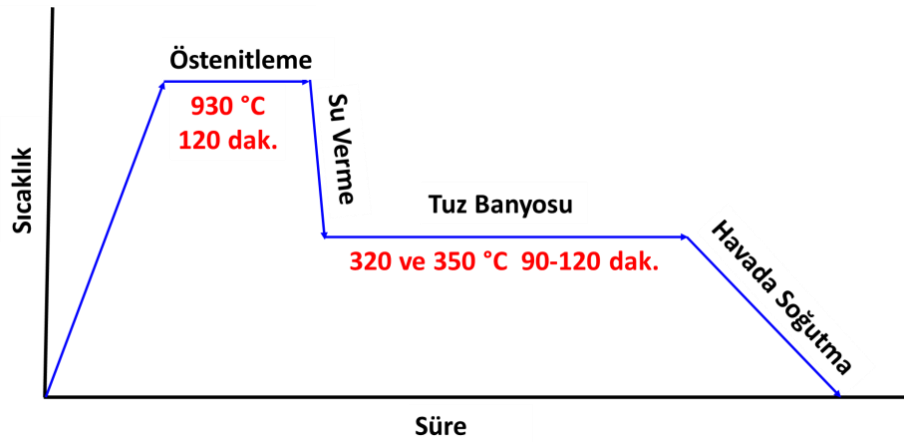
Şekil 4.3 Tipik östenitleme Isıl İşlem Fırını

Östemperleme koşulları Şekil 4.1' de verilmiştir. Östemperleme işlemi Petrofer AS135 ısıl işlem tuzu (50%NaNO<sub>3</sub>-50% KNO<sub>3</sub>) içeren sıcaklık kontrollü tuz banyosunda gerçekleştirilmiştir. Tuz banyosu östemperleme süresince motorlu mikser tarafından karıştırılmıştır.(Şekil 4.4)



Şekil 4.4 Tipik bir tuz Banyosu

Östempereleme işlemleri tamamlandıktan sonra numuneler oda sıcaklığına soğutulmaya bırakılmış ve sonrasında yüzeyindeki tuz tabakasının giderilmesi için yıkanmıştır. Östempereleme koşullarının şematik gösterimi Şekil 4.5’ te gösterilmiştir.



Şekil 4.5 KGDD'lere uygulanan östempereleme ısıl işleminin grafiksel gösterimi.

### 4.3. Karakterizasyon

Numunelerin karakterizasyon çalışmaları için Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalografi Laboratuvarında yapılmıştır. Çalışmada kullanılan numuneler mikro yapısal inceleme için standart metalografik numune hazırlama işlemleri kullanılarak hazırlanmıştır. 3 farklı numune hazırlanmış bu numunelerin kalınlıklarına göre ince (10 mm), orta (15 mm) ve kalın (25 )mm numune olarak isimlendirilmiştir. Bu işlemler kapsamında numuneler sırasıyla 180-1200 meş boyut aralığındaki zımpara ile zımparalanmış sonrasında  $1\mu\text{m Al}_2\text{O}_3$  ile parlatma işlemi yapılmıştır.

Son işlem olarak %2 Nital çözeltisi ile dağlama işlemi gerçekleştirilerek görüntü almaya hazır hale getirilmiştir. Numuneler ısıl işlem öncesi ve sonrasında mikroyapı incelemesini Nikon Eclipse MA100 model optik mikroskop kullanılarak yapılmıştır. (Şekil 4.6)



Şekil 4.6 Optik mikroskop

Alaşımın faz analizi Bruker D8 Advance model X-ışını kırınım cihazı (XRD) kullanılarak yapılmıştır. Ölçümler, tarama hızı  $2^\circ/\text{dk}$  ile  $2\theta=40-100^\circ$  aralığında olacak şekilde ve dalga boyu  $1.5406 \text{ \AA}$  olan Cu-K $\alpha$  ışınması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. (Şekil 4.7)



Şekil 4.7 Bruker marka X-ışını kırınım cihazı

Numunelerin Brinell sertlik değerleri EMCO Test DuraVision 300 model sertlik ölçme cihazı kullanılarak 182.5 kgf yük altında ve 2.5 mm bilye ile yapılmıştır. Numunelerden en az 5 farklı ölçüm alınarak ortalama sertlik değerleri hesap edilmiştir.(Şekil 4.8)



Şekil 4.8 Brinell sertlik cihazı

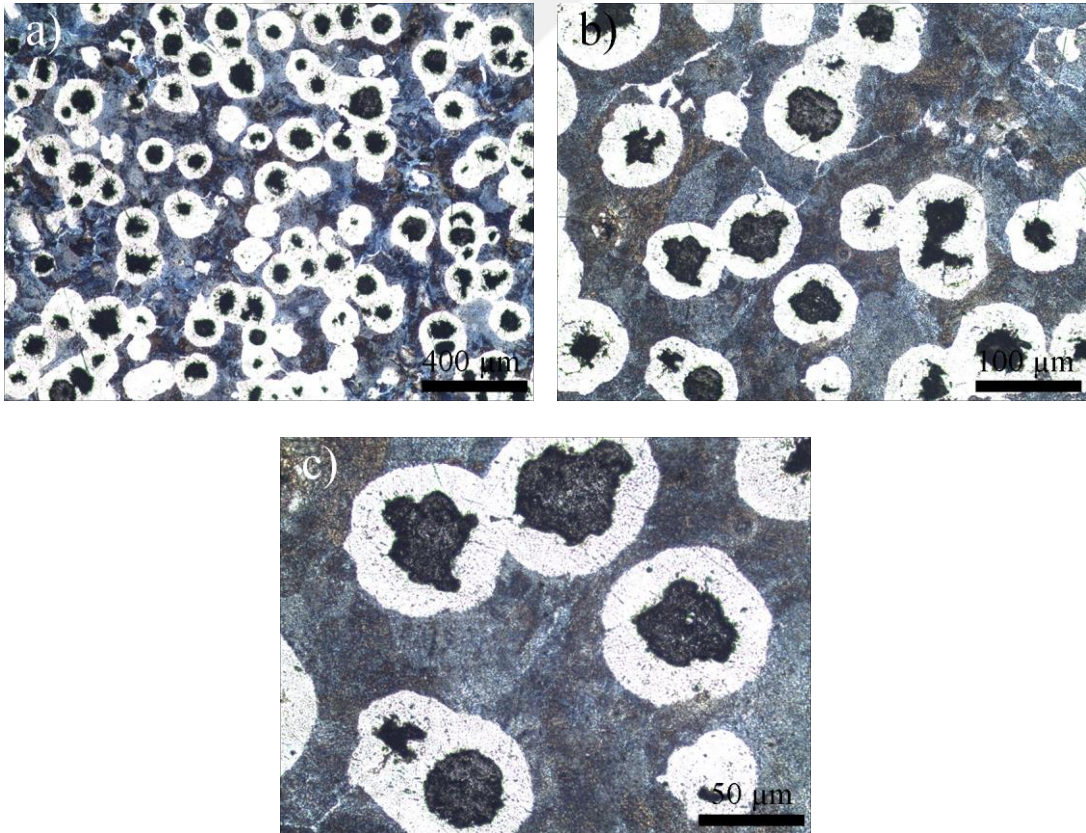


## 5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

KGDD malzemelerin farklı kalınlık ve farklı sıcaklıklarda mikroyapı ve mekanik özelliklerinin değişimine etkilerin incelenmiştir. Tez çalışmasında kullanılan GGG-50 KGDD'e ait ısıtıl işlem görmemiş dökülmüş haldeki fotoğrafları Şekil 5.1'de verilmektedir. Numune mikroyapısı küresel grafitler, ferrit (beyaz renkli bölgeler) ve perlitten (koyu renkli bölge) meydana gelmektedir. Mikro yapıda herhangi bir karbüre ve döküm hatasına rastlanılmamıştır.

Dökülmüş haldeki sertlik değeri ise yaklaşık 175 HB olarak ölçülmüştür. Çizelge 3.2' de TSE standartları tablosunda görüldüğü üzere sertlik değerleri 170-241 HB aralığında olması gerekmektedir. Tez numunesinin sertlik değeri bu değerler arasında bulunmaktadır ve standartlara uymaktadır.

Küre sayısı ölçümü için Clemex Image Analysis System for Microscopy yazılımıyla ölçülmüştür. Ölçüm sonucunda (küre/mm<sup>2</sup>) oranı yaklaşık olarak 240 tespit edilmiştir. Küresellik oranı yaklaşık olarak % 80' in üzerinde tespit edilerek yapılan işlemlerin başarılı olduğu tespit edilmiştir.

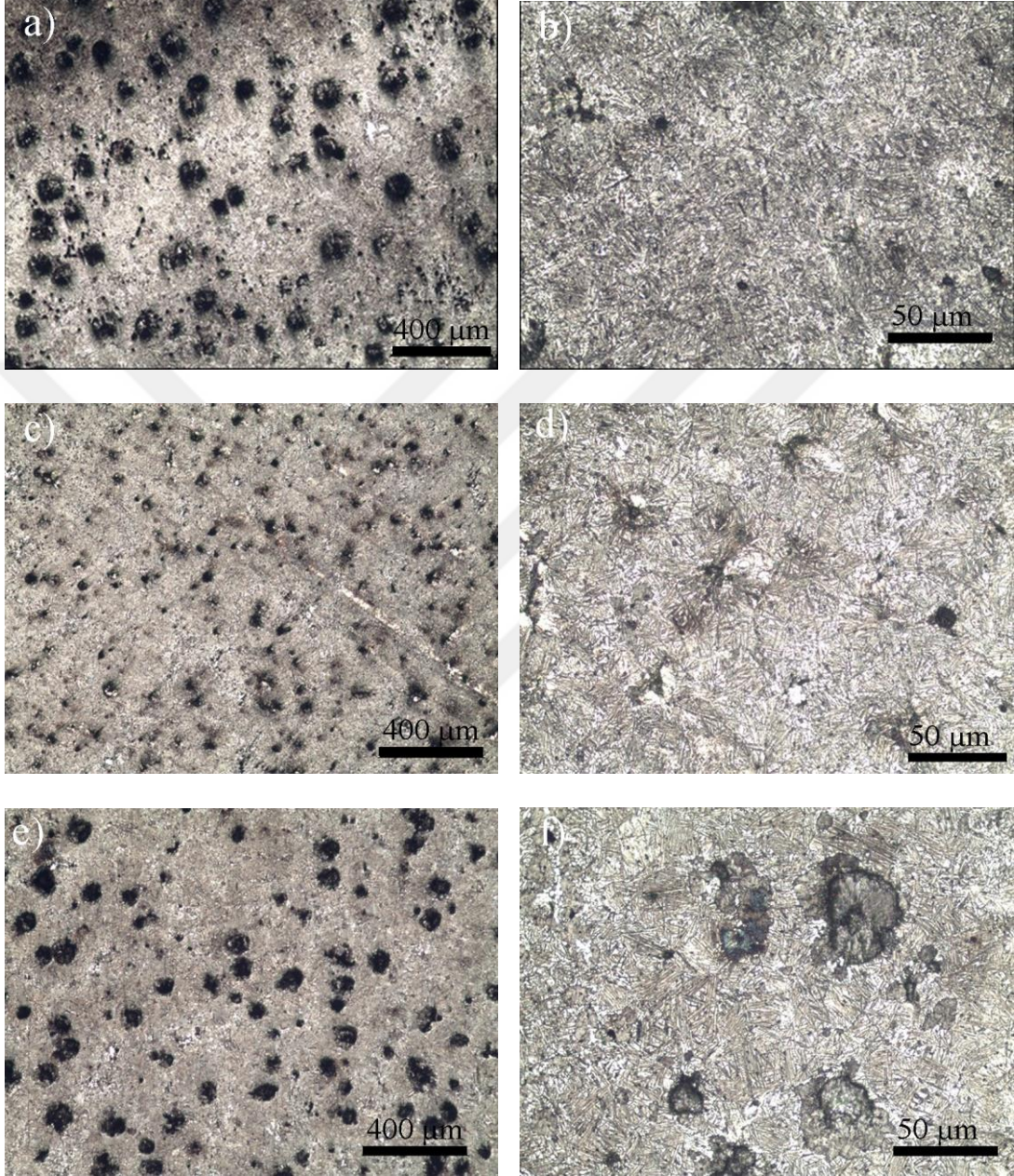


Şekil 5.1 Dökülmüş haldeki GGG-50 küresel grafitli dökme demir numuneye ait mikroyapı fotoğrafları: (a) 50x büyütme (b) 100x büyütme (c) 200x büyütme



### 5.1 Mikoyapı İncelemeleri

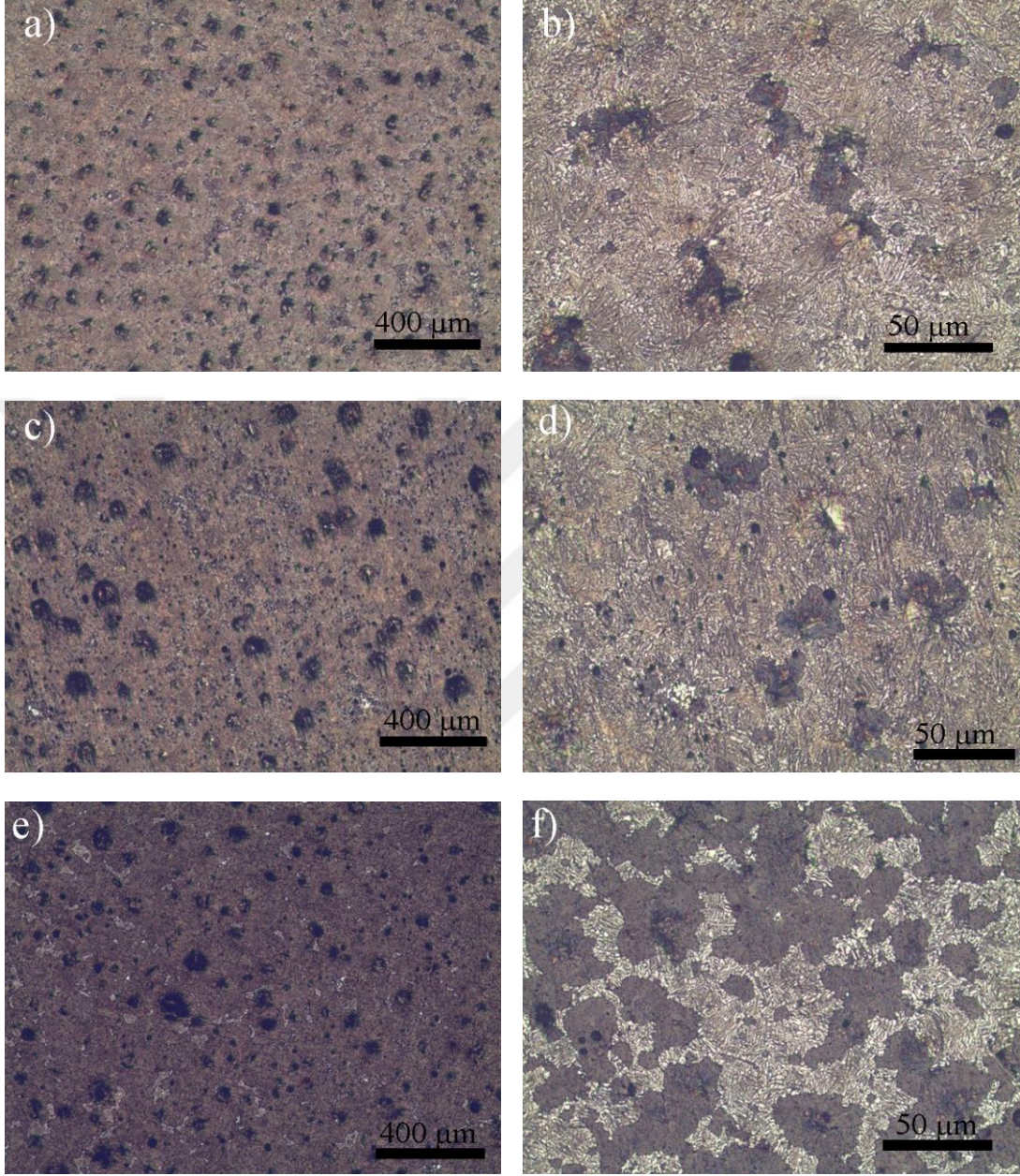
320 °C 90 dakika tuz banyosuna bırakılan ince, orta ve kalın kesitli dağlanmış GGG-50 KGDD' e ait fotoğraflar Şekil 5.2' de verilmektedir.



Şekil 5.2 320 °C 90 dk boyunca tuz banyosunda kalan östemperlenmiş KGDD'lere ait mikroyapı fotoğrafları: (a) İnce kesit 50μm (b) İnce kesit 200 μm (c) Orta kesit 50 μm (d) Orta kesit 200 μm (e) Kalın kesit 50 μm (f) Kalın kesit 200 μm



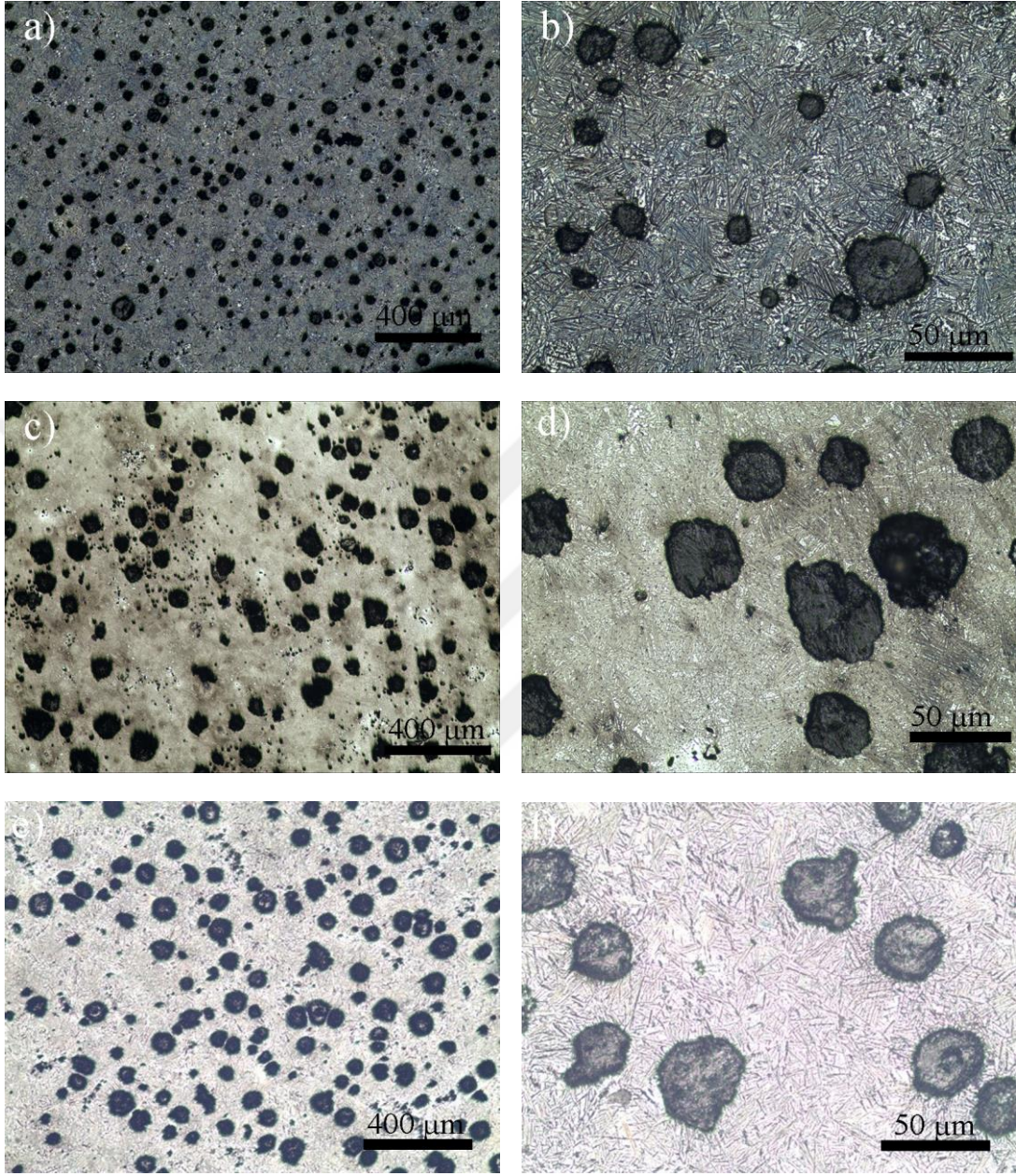
320 °C 120 dakika boyunca tuz banyosuna bırakılan ince, orta ve kalın kesit GGG-50 KGDD' lere ait mikroyapı fotoğrafları Şekil 5.3' te verilmiştir.



**Şekil 5.3** 320 °C 120 dk boyunca tuz banyosunda kalan östemperlenmiş KGDD'lere ait mikroyapı fotoğrafları: (a) İnce kesit 50µm (b) İnce kesit 200 µm (c) Orta kesit 50 µm (d) Orta kesit 200 µm (e) Kalın kesit 50 µm (f) Kalın kesit 200 µm



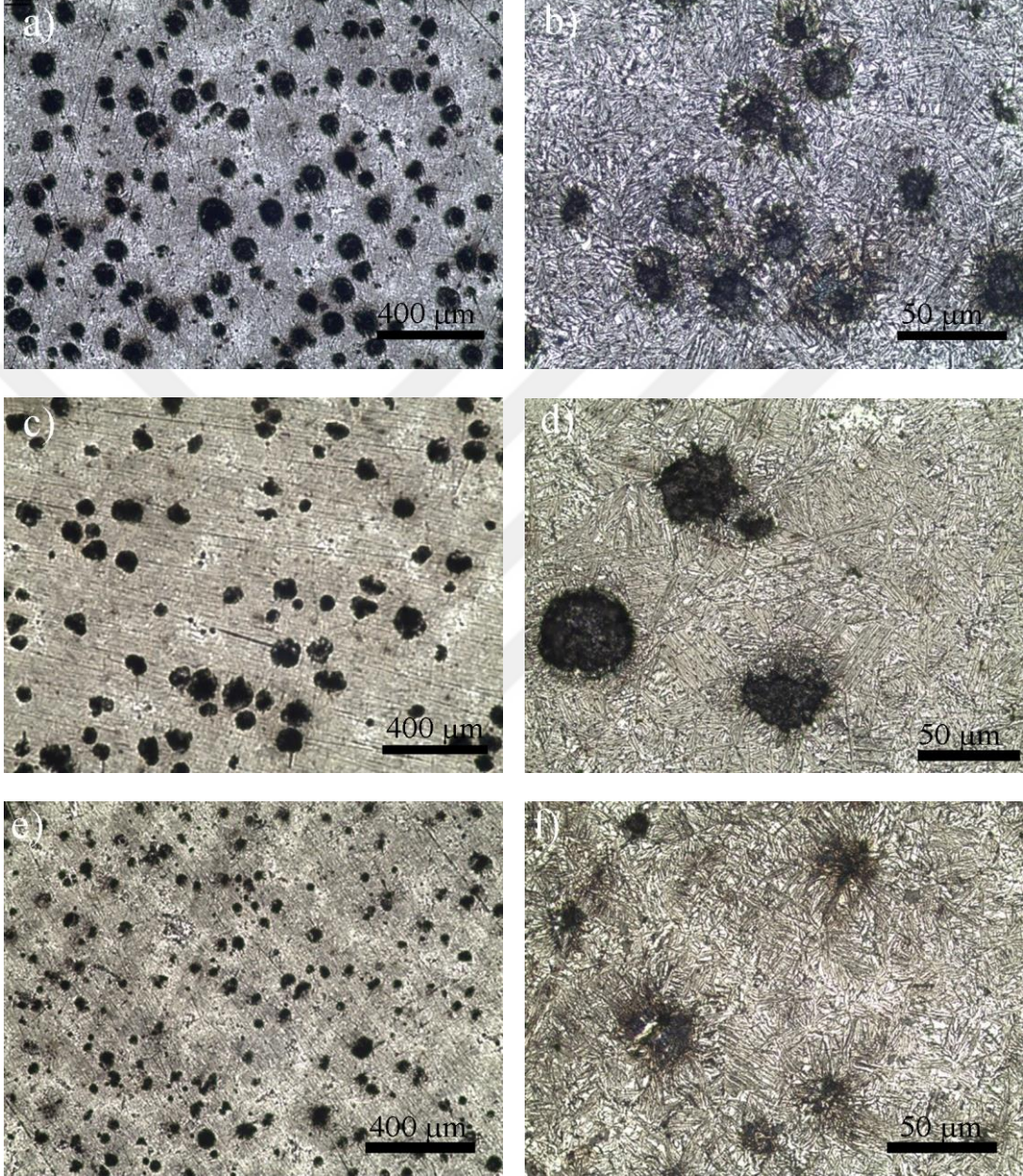
350 °C 90 dakika boyunca tuz banyosunda bırakılan ince, orta ve kalın kesit GGG-50 KGDD'lere ait mikroyapı fotoğrafları Şekil 5.4'te verilmiştir.



**Şekil 5.4** 350 °C 90 dk boyunca tuz banyosunda kalan östemperlenmiş KGDD'lere ait mikroyapı fotoğrafları: (a) İnce kesit 50μm (b) İnce kesit 200 μm (c) Orta kesit 50 μm (d) Orta kesit 200 μm (e) Kalın kesit 50 μm (f) Kalın kesit 200 μm



350 °C 120 dakika boyunca tuz banyosunda bırakılan ince, orta ve kalın kesit GGG-50 KGDD'lere ait mikroyapı fotoğrafları Şekil 5.5'te verilmiştir.



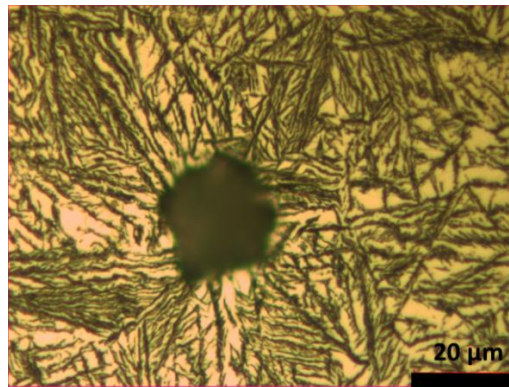
Şekil 5.5 350 °C 120 dk boyunca tuz banyosunda kalan östemperlenmiş KGDD'lere ait mikroyapı fotoğrafları: (a) İnce kesit 50μm (b) İnce kesit 200 μm (c) Orta kesit 50 μm (d) Orta kesit 200 μm (e) Kalın kesit 50 μm (f) Kalın kesit 200 μm

320 ve 350 °C’de 90 ve 120 dakika östemperleme işlemine maruz bırakılan numuneye ait mikroyapı fotoğraflarında görüldüğü gibi numunelerin tamamında östemperlenmiş sünek dökme demir mikroyapısı gözlemlenmiştir. Bu tip mikro yapı ayrıntılı incelendiğinde (Şekil 5.6) küresel grafitler ile birlikte koyu renkli ösferrit (beynitik veya iğnemsî ferrit) ve açık renkli yüksek karbonlu (kalıntı) östenit açıkça görülmektedir. Ayrıca östemperleme ısıl işlemi sonrasında mikro yapılarda az miktarda da olsa karbürlerin oluştuğu (beyaz renkli) gözlemlenmiştir.

Mikro yapı fotoğrafları detaylı olarak incelendiğinde östemperleme sıcaklık ve süresinin fazların büyüklüğü, miktarı ve dağılımı gibi mikro yapısal özelliklere çok fazla etki etmediği sadece mikro yapının sıcaklığın azalmasıyla birlikte bir miktar incelendiği gözlemlenmiştir. Yüksek östemperleme sıcaklıklarında karbonun difüzyon hızı yüksek olup daha kalın morfolojide ösferrit fazı oluşmasına neden olmaktadır.

Çeliklerdeki duruma çok benzer KGDD metallerde de izotermal dönüşüm (östemperleme) sıcaklığına bağlı olarak üst ve alt beynit (beynitik ferrit, ösferrit) oluşmaktadır. Nispeten daha düşük sıcaklıklarda oluşan alt beynitin sertliği, dayanımı ve kırılabilirliği üst beynite göre daha yüksektir.

İnce kesitten kalın kesitli numunelere doğru inceleme yapıldığında grafit boyunun büyüdüğü gözlemlenmiştir buna bağlı olarak küre sayısının azaldığı gözlemlenmiştir. Östemperleme ısıl işlemi sonucunda kalın kesitli numune de (Şekil 5.3) perlit oluşumu gözlemlenmiştir. Perlit yapının oluşma nedeni kalın kesitli numunede soğuma hızının yavaş olmasından kaynaklanmaktadır.



**Şekil 5.6** 350 °C’de 90 dakika östemperleme uygulanmış numuneye ait ayrıntı mikroyapı (1000x büyütme) fotoğrafı

## 5.2. Sertlik Deneyi Sonuçları

Brinell sertlik sonuçlarına göre östemperleme sıcaklık ve süresinin mekanik özelliklere önemli ölçüde etkilediği ortaya çıkmıştır. Sonuçlara göre östemperleme sıcaklığı azaldıkça ve östemperleme süresi arttıkça numunelerin sertliği artmıştır. Ayrıca östemperlenmiş halde ölçülen tüm sertlik değerleri dökülmüş haldeki sertlik değerine göre önemli ölçüde fazladır. Aşağıdaki çizelgelerde sertlik değerleri verilmiştir.

**Çizelge 5.1** Isıl İşlem Görmüş (320 °C 90 dk tuz banyosu) GGG-50 KGDD Brinell Sertlik Değerleri

Kalın Kesit	Orta Kesit	İnce Kesit
304.4 ± 4,6	301.7 ± 3,9	302.6 ± 3,5

**Çizelge 5.2** Isıl İşlem Görmüş (320 °C 120 dk tuz banyosu) GGG-50 KGDD Brinell Sertlik Değerleri

Kalın Kesit	Orta Kesit	İnce Kesit
291.5 ± 2,2	308.5 ± 2,3	298.0 ± 1,0

**Çizelge 5.3** Isıl İşlem Görmüş (350 °C 90 dk tuz banyosu) GGG-50 KGDD Brinell Sertlik Değerleri

Kalın Kesit	Orta Kesit	İnce Kesit
278 ± 0,8	267.6 ± 1,5	239 ± 2,2

**Çizelge 5.4** Isıl İşlem Görmüş (350 °C 120 dk tuz banyosu) GGG-50 KGDD Brinell Sertlik Değerleri

Kalın Kesit	Orta Kesit	İnce Kesit
273.6 ± 2,0	272.8 ± 5,0	274 ± 1,0

Östemperleme süresinin artmasıyla sertlikte meydana gelen artış yüksek karbonlu östenitin karbon içeriğinin östemperleme süresinin artmasıyla doğrudan ilişkilidir. Bu ilişkiyi doğrulamak için östemperleme ısıl işlemine maruz bırakılan numunelere X-ışınları kırınım analizi uygulanmış ve elde edilen kırınım desenlerinden (Şekil 5.7) yüksek karbonlu östenitin kafes parametresi ve kafes parametresinden de aşağıdaki (5.1) ampirik eşitlik kullanılarak östenitin karbon konsantrasyonu hesaplanmıştır.

$$a_{\gamma} = 0.3548 + 0.0044C_{\gamma} \quad (5.1)$$

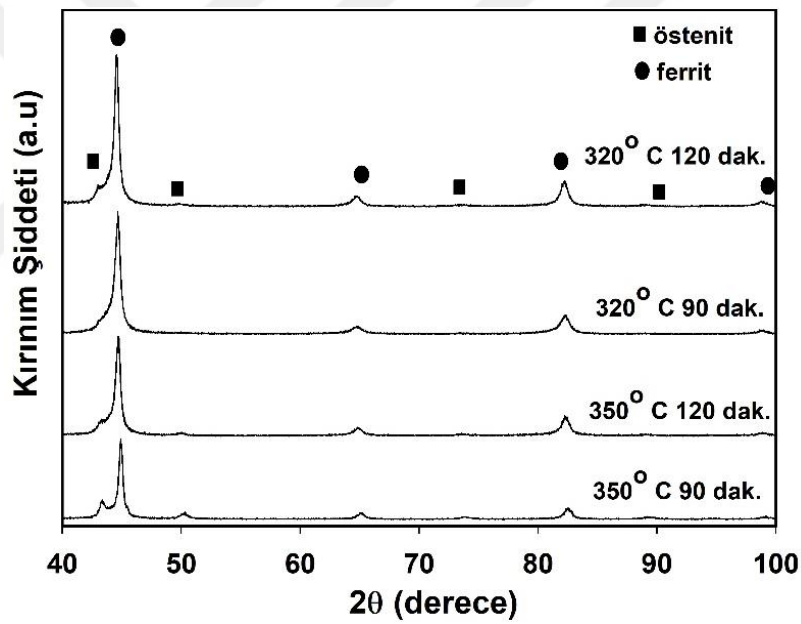
Bu eşitlikte  $a_{\gamma}$  östenitin kafes parametresi (nm) ve  $C_{\gamma}$  östenitin ağırlıkça karbon yüzdesidir. Hesaplama östenite ait (111), (220) ve (311) düzlemlerine ait Bragg açıları dikkate alınmıştır. östenitin hesaplanan kafes parametresi ve karbon yüzdeleri



Çizelge 5.5'te verilmiştir. Bu sonuçlara göre östenitin kafes parametresi ve dolayısıyla karbon yüzdesinin östemperleme süresi ile doğru orantılı olduğu ortaya çıkmıştır. Östenitin karbon miktarındaki artış numunelerin sertliğinin artmasına sebep olmuştur.

**Çizelge 5.5** Isıl işlem şartlarına göre hesap edilmiş yüksek karbonlu östenitin kafes parametresi ve karbon miktarı

Numune	Östenit Kafes Parametresi (Å)	Östenit Karbon İçeriği (% ağı.)
350 °C 90 dakika	3,6355	1,9877
350 °C 120 dakika	3,6418	2,1309
320 °C 90 dakika	3,6435	2,1706
320 °C 120 dakika	3,6457	2,2212



**Şekil 5.7** Farklı sıcaklık ve sürelerde östemperlenmiş numunelere ait x-ışınları kırınım desenleri

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 6.1 Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma kapsamında iki farklı sıcaklıkta (320 ve 350°C) ve iki farklı sürede (90 ve 120 dakika) östemperleme ısısal işlemine maruz bırakılan GGG-50 KGDD'in mikro yapısında meydana gelen değişiklikler ve bu değişikliklerin sertliğe etkisi incelenmiştir.

GGG- 50 sınıfı küresel grafitli dökme demirin matris yapısı ferrit ve perlitten oluşmaktadır. Küresel grafitler ferrit matrisin içinde yer almaktadır.

Her iki sıcaklık ve sürede de ösferrit ve yüksek karbonlu östenitten oluşan östemperlenmiş küresel dökme demir mikro yapısı elde edilmiştir. Östemperleme ısısal işlemi neticesinde dökülmüş numunenin sertliği önemli ölçüde artmıştır. Östemperleme sıcaklığı azaldıkça ve östemperleme süresi arttıkça numunelerin sertliğinin de artış gözlemlenmiştir. Sertlikte meydana gelen artışın sebebi sıcaklığın azalmasıyla alt beynitik bölgeye yaklaşma ve sürenin artması ile yüksek karbonlu östenitin içindeki karbon yüzdesindeki artışa bağlıdır.

Sertlikte meydana gelen artışın sebebi sıcaklığın azalmasıyla alt beynitik bölgeye yaklaşma ve sürenin artması ile de yüksek karbonlu östenitin içindeki karbon yüzdesindeki artışa bağlıdır.

XRD analizinde de görüldüğü üzere 320°C 120 dakika boyunca yapılan östemperleme ısısal işlemi sonunda östenitin karbon içeriği oranına bağlı olarak sertlikteki artış görülmüştür.

Ticari olarak dökülen GGG-50 numunenin tüm ısısal işlem ve sürelerde östemperlenmiş mikroyapı görüntüsü elde edilmiştir. Kalın kesitli numunenin soğuma koşullarına rağmen bu yapıyı elde etmeyi başarmış bulunmaktayız. Kalın kesitli numunelerde diğer numunelere oranla sertlikteki artış mikroyapıda perlit oluşumu sonucudur.

KGDD' kalitesi ve döküm mikroyapısı östemperleme işlemi sonrasında mekanik özellikleri önemli ölçüde etkilemektedir. Bu mekanik özellikler alaşım elementlerine, östenitleme ve östemperleme sıcaklıklarına ve sürelerine bağlıdır. Isısal işlem görmemiş KGDD' in sertlik değeri 175 HB iken ısısal işlem sonunda 300 HB değerine kadar yükseldiği görülmüştür.

ÖKGDD'lerin sertlik ve çekme mukavemetinin KGDD'lere göre daha üstün olmasının mikroyapıda oluşan ösferrit fazının etkisi ile oluşmaktadır.

Östemperleme süresi arttıkça birim alana düşen küre sayısı azalırken küre boyutları artmaktadır.

KGDD'e Cu katkısı mikroyapı ve mekanik özelliklere % 1.5 Cu ilavesine kadar olumlu yönde etki ederken bu orandan fazla eklenmesi durumunda yapıdaki grafitlerin küresellikten sapması sonucu olumsuz yönde etkilemektedir.

ÖKGDD numunelerinde Cu elementinin katkısı sertlik, çekme ve akma mukavemetine hiçbir etkisi yoktur.

Alaşımız üretilen GGG-50 numune Ni ve Mo gibi maliyeti yüksek alaşımlar olmadan östemperleme kabiliyeti sağlanmış bu sayede üretim maliyetinin daha alt seviyelere çekilmesi sağlanmıştır.



## KAYNAKLAR

- ASTM-A897-90. (1997). Standard Specification for Austempered Ductile Iron Castings In.
- Bilici, M. K. (2004). *Alaşımsız Dökme Demirlerin Aşınma Özelliği*. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Catipovic, N., Zivkovic, D., & Dadic, Z. (2018). The Effects of Molybdenum and Manganese on the Mechanical Properties of Austempered Ductile Iron. *Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette*, 25(2), 635-642. doi:10.17559/Tv-20170124120729
- Chang, L. J. S. M. (1998). Carbon content of austenite in austempered ductile iron. 39(1).
- Çavuşoğlu, E. N. (1981). *Döküm Teknolojisi 1*. İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları: İstanbul.
- Çetin, M., & Gül, F. (2005). *Alaşımsız Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirin Abrasif Aşınma Davranışına Aşındırıcı Parçacık Boyutu ve Östenitleme Süresinin Etkisi*. Paper presented at the 4th International Advanced Technologies Symposium, Konya.
- DIN-EN-1563. (2015). Founding- Spheroidal Graphite Cast Irons. In.
- Dorazil, E. (1991). *High strength austempered ductile cast iron*: Prentice Hall.
- Dubensky, W., & Rundman, K. J. T. o. t. A. F. s. S. (1985). An electron microscope study of carbide formation in austempered ductile iron. 93, 389-394.
- Elliott, R. (1988). *Cast iron technology*: Butterworth-Heinemann.
- Erdoğan, M. J. N. Y., Ankara. (2000). Mühendislik alaşımlarının yapı ve özellikleri.
- Funatani, K. (2001). Heat Treating. In (Vol. 2, pp. 1503-1507): ASM International.
- G.N.J., G. (2003). *An Introduction to the Mechanical Properties of Nodular Cast Iron*. Retrieved from BCIRA:
- Goodrich, G. M. (2003). Metallurgy of Cast Irons. In *Iron Castings Engineering Handbook* (pp. 47-61). United States of America: American Foundry Society.
- Harding, R. A. (2007). The production, properties and automotive applications of austempered ductile iron. *Kovove Materialy-Metallic Materials*, 45(1), 1-16.
- Hasırcı, H. (2000). *Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerde alaşım elementleri (Cu ve Ni) ve östemperleme süresinin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerine etkileri*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara,
- Hayrynen, K. L. J. L. (1999). ADI: another avenue for ductile iron foundries. 41(4), 111-114.
- Karaca, S. (2013). *Östemperlenmiş DDK 70 Dökme Demirde Aşınma Özelliklerinin Mikroyapı ile İlişkisinin İncelenmesi*. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Karamusaoğlu, H. A. (2009). *Küresel Grafitli Dökme Demir'in İşlenmesinde Kesici Takım Geometrisinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi*. Karabük Üniversitesi, Karabük.
- Karsay, S. I. (1975). *Ductile Iron Production Practices*: American Foundrymen's Society.
- Kayalı, Y. J. F. B. E., Afyonkarahisar. (2006). Bortemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirin Mekanik Özellikleri ve Aşınma Davranışının Araştırılması Yüksek Lisans Tezi, AK Ü.
- Keough, J. J. E. C. S. (2001). ADI: ideal for high-strength, high-wear applications. 3(1), 42-44.
- Kırçalı, K. J. B. U. Ü. F. B. E., Bursa. (2006). Farklı matris yapılarına sahip küresel grafitli dökme demirlerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması. 5-20.



- Kovacs, B., & Keough, J. J. H. I. C. (1988). ADI, an Engineering Material. 91-98.
- Kumruoğlu, L. C. (2003). *Lamel Grafitli ve Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Karbon Eşdeğerinin Mekanik Özellikler ve Mikroyapıya Etkisinin İncelenmesi*. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Labrecque, C., & Gagne, M. (1998). Ductile iron: Fifty years of continuous development. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 37(5), 343-378. doi:Doi 10.1016/S0008-4433(98)00031-7
- Meena, A., & El Mansori, M. (2012). Material Characterization of Austempered Ductile Iron (ADI) Produced by a Sustainable Continuous Casting-Heat Treatment Process. *Metallurgical and Materials Transactions a-Physical Metallurgy and Materials Science*, 43a(12), 4755-4766. doi:10.1007/s11661-012-1271-9
- Özel, A. (1994). *GGG 40-80 sınıfı küresel grafitli dökme demirlerde östemperleme ısıtma işleminin darbe direnci ve darbe geçiş sıcaklığına etkisinin incelenmesi*. Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Procast. (2006). *Austempered Ductile Iron* Retrieved from Technical Information
- Shea, M., & Ryntz, E. J. T. o. t. A. F. s. S. (1986). Austempering nodular iron for optimum toughness. 94, 683-688.
- Stefanescu, D. M., Chairman. (1992). *CASTING* (9 ed. Vol. 15). ASM Handbook: ASM International.
- Şen, Ö. J. M. D. (2003). *Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Üretimi ve Değerlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması*.
- Toktaş, G., Tayanc, M., & Toktaş, A. J. M. C. (2006). Effect of matrix structure on the impact properties of an alloyed ductile iron. 57(4-5), 290-299.
- Trudel, A., & Gagne, M. (1997). Effect of composition and heat treatment parameters on the characteristics of austempered ductile irons. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 36(5), 289-298. doi:Doi 10.1016/S0008-4433(97)00028-1
- TS-EN-1563. (2018). Founding - Spheroidal graphite cast irons. In.
- Walton, C. J. A. I., ASM Handbook. (1991). Introduction to Heat Treating of Cast Irons. 4, 667-669.
- Yavuz, K. (2006). *GGG-70 Sınıfı Küresel Grafitli Dökme Demir Kam Millerinin İşlenebilirliğinin Deneysel Olarak Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye,
- Yılmaz, F. (2003). *İçme-atık su ve gaz dağıtım şebekelerinde dökme demirler ve düktil demir uygulamaları: İSKİ*.
- Zimba, J., Simbi, D., Navara, E. J. C., & composites, C. (2003). Austempered ductile iron: an alternative material for earth moving components. 25(6), 643-649.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Emre Öztürk  
**Uyruğu** : T.C  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Karatay / 1994  
**Telefon** : 05314948780  
**Faks** : -  
**e-mail** : oztrk.emre94@gmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Selçuklu Cumhuriyet Anadolu Lisesi, Konya	2012
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Konya	2016
Yüksek Lisans	:	
Doktora	:	

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
-----	-------	--------

### UZMANLIK ALANI

DÖKME DEMİRLER  
ISIL İŞLEM

### YABANCI DİLLER

İNGİLİZCE

### BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

### YAYINLAR

ÖZTÜRK, E., YILDIRIM, M. (2019). "Effect of Austempering Temperature And Time on Microstructure and Hardness of Austempered Ductile Cast Irons (ADI)" Konya Technical University, Engineering and Natural Sciences Faculty,, Metallurgical and Materials Engineering Department, Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi, c.7, s.3, ss. 603-610, Konya, TURKEY