

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERİN ISIL İŞLEM
ŞARTLARININ MEKANİK VE MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Ezgi SEVGİ

**Danışman
Doç. Dr. Osman ÇULHA**




MANİSA-2019

TEZ ONAYI

Ezgi SEVGİ tarafından hazırlanan "Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Isıl İşlem Şartlarının Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi" adlı tez çalışması 29/11/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak başarı ile savunulmuştur.

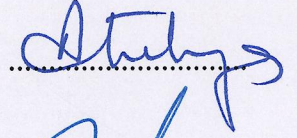
Danışman

Doç. Dr. Osman ÇULHA
Manisa Celal Bayar Üniversitesi




Jüri Üyesi

Doç. Dr. Hülya DURMUŞ
Manisa Celal Bayar Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Mehmet Faruk EBEOĞLUGİL
Dokuz Eylül Üniversitesi



TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Ezgi SEVGİ



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	III
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IV
TABLO DİZİNİ	IX
TEŞEKKÜR.....	X
ÖZET.....	XI
ABSTRACT.....	XII
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı	3
2 GENEL BİLGİLER	4
2.1 Dökme Demirler.....	4
2.1.1 Beyaz Dökme Demirler.....	7
2.1.2 Gri (Lamel Grafitli) Dökme Demirler.....	7
2.1.3 Benekli Dökme Demirler	7
2.1.4 Temper Grafitli Dökme Demirler	8
2.1.5 Vermiküler (Kompakt) Grafitli Dökme Demirler.....	8
2.1.6 Küresel Grafitli Dökme Demirler	9
2.2 Küresel Grafitli Dökme Demir.....	9
2.2.1 KGDD'lerin Çeşitleri.....	10
2.2.1.1 Ferritik KGDD	11
2.2.1.2 Perlitik KGDD.....	11
2.2.1.3 Ferritik – Perlitik KGDD.....	12
2.2.1.4 Martenzitik KGDD.....	13
2.2.1.5 Beynitik KGDD.....	13
2.2.1.6 Östenitik KGDD.....	13
2.2.2 KGDD'lerin Mekanik Özellikleri	15
2.2.2.1 KGDD İçin Mühendislik Özellikleri.....	16
2.2.2.1.1 Çekme Mukavemeti.....	16
2.2.2.1.2 Yorulma Mukavemeti	17
2.2.2.1.3 Aşınma Dayanımı	17
2.2.2.1.4 Titreşim Söndürme	17
2.2.2.1.5 Termik Şok	17
2.2.2.1.6 Korozyon Dayanımı.....	17
2.2.2.2 KGDD'lerin Özelliklerini Etkileyen Parametreler.....	18

2.2.3	KGDD Kullanım Alanları	19
2.2.4	KGDD'lere Uygulanan Isıl İşlemler	20
2.2.4.1	Gerilim Giderme Isıl İşlemi	20
2.2.4.2	Yumuşatma Isıl İşlemi.....	20
2.2.4.3	Sertleştirme Isıl İşlemi.....	21
2.2.4.3.1	Normalleştirme	21
2.2.4.3.2	Su Verme ve Temperleme	21
3	DENEYSEL KISIM	22
3.1	Materyal.....	22
3.2	Yöntem	24
3.2.1	JMatPro Yazılımı	24
3.2.2	Soğutma Hızlarının Malzeme Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi Aşamasında Kullanılan Yöntemler	28
3.2.2.1	Soğutma Ortamları	29
3.2.2.2	Östenitleme İşlemi.....	30
3.2.2.3	Laboratuvar Çalışmaları	31
3.2.2.3.1	Sertlik Ölçümü.....	31
3.2.2.3.1.1	Sertlik Dönüşüm Hesaplamaları.....	32
3.2.2.3.1.2	Sertlik-Çekme Mukavemeti Dönüşüm Hesaplamaları.....	32
3.2.2.3.2	Mikroyapı İncelemeleri.....	35
4	ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	38
4.1	Laboratuvar Çalışma Sonuçları	38
4.1.1	Sertlik Ölçümü Sonuçları.....	38
4.1.1.2	Sertlik-Çekme Mukavemeti Dönüşüm Hesaplama Sonuçları.....	46
4.1.2	Mikroyapı İnceleme Sonuçları.....	50
5	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	102
	KAYNAKLAR	104
	ÖZGEÇMİŞ	107

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CCT	Sürekli soğuma dönüşüm diyagramı
HB	Brinell sertlik
HV	Vickers sertlik
KGDD	Küresel grafitli dökme demir
TTT	Zaman sıcaklık dönüşüm diyagramı
σ_c	Çekme dayanımı



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Demir-karbon denge diyagramı	1
Şekil 1.2 Dökme demirlere uygulanan ısıt işlemler türleri	2
Şekil 2.1 Dökme demirlere ait mikroyapıya göre sınıflandırma	5
Şekil 2.2 Grafit yapısına göre; a)Lamel grafitli dökme demir, b)Kompakt grafitli dökme demir, c)Küresel grafitli dökme demir d)Temper grafitli dökme demir	9
Şekil 2.3 Ferritik KGDD için içyapı, büyütme: x 200 (50 µm).	11
Şekil 2.4 Sferoid yapı, büyütme: x 600 (20 µm).....	12
Şekil 2.5 % 50 Ferritik % 50 perlitik yapı, büyütme: X 500 (20 µm)	12
Şekil 2.6 Temperleme ısıt işlemler sonrasında, Martenzitik KGDD'ye ait mikroyapı görüntüsü (x100)	13
Şekil 2.7 KGDD çeşitlerine ait içyapılar ve çekme dayanımları	14
Şekil 3.1 Deneysel çalışmalarda kullanılan küresel grafitli dökme demir numuneleri	22
Şekil 3.2 Döküm sonrası küresel grafitli dökme demirlerin 100 x büyütmede inklüzyon görüntüleri; (a) 1. Numune, (b) 2. Numune ve (c) 3. Numune	23
Şekil 3.3 Döküm sonrası küresel grafitli dökme demirlerin 100 x büyütmede mikroyapı görüntüleri; (a) 1. Numune, (b) 2. Numune ve (c) 3. Numune.....	24
Şekil 3.4 JMatPro yazılımı açılış sayfası	24
Şekil 3.5 JMatPro yazılımı arayüzü	25
Şekil 3.6 1°C/s soğutma hızında deney malzemesine ait soğuma eğrisi	25
Şekil 3.7 3°C/s soğutma hızında deney malzemesine ait soğuma eğrisi	26
Şekil 3.8 5°C/s soğutma hızında deney malzemesine ait soğuma eğrisi	26
Şekil 3.9 Deney malzemesinin kimyasal kompozisyonuna ait sürekli soğuma dönüşüm diyagramı	27
Şekil 3.10 Deney malzemesinin kimyasal kompozisyonuna ait zaman sıcaklık dönüşüm diyagramı.....	27
Şekil 3.11 JMatPro yazılımından elde edilen termodinamik özellik çıktıları; (a) Entalpi, (b) Entropi, (c) Gibbs Enerjisi ve (d) Isı Kapasitesi	28
Şekil 3.12 JMatPro yazılımından elde edilen mekanik özellik çıktıları; (a) Young modülü ve (b) Mekanik özellikler.....	28
Şekil 3.13 Protherm marka ısıt işlemler fırını	29
Şekil 3.14 Qness marka Q10 model mikro-sertlik ölçüm cihazı	31
Şekil 3.15 (a) Numune inceleme yüzeyi ve (b) Mikro-sertlik ölçüm doğrultusu	31
Şekil 3.16 Sertlik dönüşüm çizelgesi [30].....	32
Şekil 3.17 Çelik, pirinç ve dökme demir için sertlik ve çekme dayanımı arasındaki ilişki.....	33
Şekil 3.18 Dökme demirlerin sertlik-çekme mukavemeti dönüşümü hesabı için gerekli noktaların gösterimi	34
Şekil 3.19 Mikroyapı incelemeleri için hazırlanan numuneler; (a) Fırında soğutma şartlarında, (b) Havada soğutma şartlarında, (c) Fanda soğutma şartlarında, (d) Yağda soğutma şartlarında ve (e) Suda soğutma şartlarında.....	35
Şekil 3.20 Numune hazırlama cihazları; (a) ATM marka Opal 410 model sıcak bakalitleme cihazı ve (b) ATM marka Saphir 530 model parlatma cihazında	36
Şekil 3.21 Nikon marka Eclipse MA 100 model optik mikroskop.....	36
Şekil 3.22 Mikroyapı inceleme bölgeleri	37
Şekil 4.1 Deney verilerine göre elde edilen soğuma eğrileri	38

Şekil 4.2 Farklı soğuma şartlarındaki ortalama vickers sertlik verileri	42
Şekil 4.3 Farklı soğuma şartlarındaki ortalama vickers sertlik verilerinin kıyaslanması.....	43
Şekil 4.4 Farklı soğuma şartlarındaki ortalama brinell sertlik verileri	45
Şekil 4.5 Farklı soğuma şartlarındaki ortalama brinell sertlik verilerinin kıyaslanması	45
Şekil 4.6 Farklı soğuma şartlarındaki Denklem 3.1'e göre hesaplanan ortalama çekme mukavemeti verileri $\sigma_c(\text{MPa})=3,45 \times \text{HB}$	47
Şekil 4.7 Farklı soğuma şartlarındaki Denklem 3.2'e göre hesaplanan ortalama çekme mukavemeti verileri $[\sigma_c(\text{MPa})=(5,4 \times \text{HB}) - 490]$	49
Şekil 4.8 KGDD'lerde sertlik ve dayanım arasındaki ilişki.....	50
Şekil 4.9 Fırında soğutulan 1. numunenin parlatılmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge.....	51
Şekil 4.10 Fırında soğutulan 2. numunenin parlatılmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge.....	51
Şekil 4.11 Fırında soğutulan 3. numunenin parlatılmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge.....	52
Şekil 4.12 Havada soğutulan 1. numunenin parlatılmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge.....	52
Şekil 4.13 Havada soğutulan 2. numunenin parlatılmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge.....	53
Şekil 4.14 Havada soğutulan 3. numunenin parlatılmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge	53
Şekil 4.15 Fanda soğutulan 1. numunenin parlatılmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge.....	54
Şekil 4.16 Fanda soğutulan 2. numunenin parlatılmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge.....	54
Şekil 4.17 Fanda soğutulan 3. numunenin parlatılmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge.....	55
Şekil 4.18 Yağda soğutulan 1. numunenin parlatılmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge.....	55
Şekil 4.19 Yağda soğutulan 2. numunenin parlatılmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge.....	56
Şekil 4.20 Yağda soğutulan 3. numunenin parlatılmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge.....	56
Şekil 4.21 Suda soğutulan 1. numunenin parlatılmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge.....	57
Şekil 4.22 Suda soğutulan 2. numunenin parlatılmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge.....	57
Şekil 4.23 Suda soğutulan 3. numunenin parlatılmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge.....	58
Şekil 4.24 Fırında soğutulan 1. numunenin dağlanmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge.....	59
Şekil 4.25 Fırında soğutulan 2. numunenin dağlanmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge.....	59
Şekil 4.26 Fırında soğutulan 3. numunenin dağlanmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge.....	60
Şekil 4.27 Havada soğutulan 1. numunenin dağlanmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge.....	60

Şekil 4.28 Havada soğutulan 2. numunenin dağlanmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge.....	61
Şekil 4.29 Havada soğutulan 3. numunenin dağlanmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge.....	61
Şekil 4.30 Fanda soğutulan 1. numunenin dağlanmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge.....	62
Şekil 4.31 Fanda soğutulan 2. numunenin dağlanmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge.....	62
Şekil 4.32 Fanda soğutulan 3. numunenin dağlanmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge.....	63
Şekil 4.33 Yağda soğutulan 1. numunenin dağlanmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge.....	63
Şekil 4.34 Yağda soğutulan 2. numunenin dağlanmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge.....	64
Şekil 4.35 Yağda soğutulan 3. numunenin dağlanmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge.....	64
Şekil 4.36 Suda soğutulan 1. numunenin dağlanmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge	65
Şekil 4.37 Suda soğutulan 2. numunenin dağlanmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge	65
Şekil 4.38 Suda soğutulan 3. numunenin dağlanmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge	66
Şekil 4.39 Fırında soğutulan 1. numunenin mikroyapı görüntülerine ait faz dağılımları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge	67
Şekil 4.40 Fırında soğutulan 1. numunenin parlatılmış yüzey görüntülerine ait grafit yüzdeleri; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge.....	67
Şekil 4.41 Fırında soğutulan 2. numunenin mikroyapı görüntülerine ait faz dağılımları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge	68
Şekil 4.42 Fırında soğutulan 2. numunenin parlatılmış yüzey görüntülerine ait grafit yüzdeleri; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge.....	69
Şekil 4.43 Fırında soğutulan 3. numunenin mikroyapı görüntülerine ait faz dağılımları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge	70
Şekil 4.44 Fırında soğutulan 3. numunenin parlatılmış yüzey görüntülerine ait grafit yüzdeleri; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge.....	70
Şekil 4.45 Fırında soğutulan numunelerin faz dağılımı grafiği	71
Şekil 4.46 Havada soğutulan 1. numunenin mikroyapı görüntülerine ait faz dağılımları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge	72
Şekil 4.47 Havada soğutulan 1. numunenin parlatılmış yüzey görüntülerine ait grafit yüzdeleri; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge.....	72
Şekil 4.48 Havada soğutulan 2. numunenin mikroyapı görüntülerine ait faz dağılımları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge	73
Şekil 4.49 Havada soğutulan 2. numunenin parlatılmış yüzey görüntülerine ait grafit yüzdeleri; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge.....	74
Şekil 4.50 Havada soğutulan 3. numunenin mikroyapı görüntülerine ait faz dağılımları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge	75
Şekil 4.51 Havada soğutulan 3. numunenin parlatılmış yüzey görüntülerine ait grafit yüzdeleri; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge.....	75
Şekil 4.52 Havada soğutulan numunelerin faz dağılımı grafiği.....	76
Şekil 4.53 Fanda soğutulan 1. numunenin mikroyapı görüntülerine ait faz dağılımları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge	77

Şekil 4.54 Fanda soğutulan 1. numunenin parlatılmış yüzey görüntülerine ait grafit yüzdeleri; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge.....	77
Şekil 4.55 Fanda soğutulan 2. numunenin mikroyapı görüntülerine ait faz dağılımları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge	78
Şekil 4.56 Fanda soğutulan 2. numunenin parlatılmış yüzey görüntülerine ait grafit yüzdeleri; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge.....	79
Şekil 4.57 Fanda soğutulan 3. numunenin mikroyapı görüntülerine ait faz dağılımları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge	80
Şekil 4.58 Fanda soğutulan 3. numunenin parlatılmış yüzey görüntülerine ait grafit yüzdeleri; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge.....	80
Şekil 4.59 Fanda soğutulan numunelerin faz dağılımı grafiği	81
Şekil 4.60 Yağda soğutulan 1. numunenin mikroyapı görüntülerine ait faz dağılımları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge	82
Şekil 4.61 Yağda soğutulan 1. numunenin parlatılmış yüzey görüntülerine ait grafit yüzdeleri; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge.....	82
Şekil 4.62 Yağda soğutulan 2. numunenin mikroyapı görüntülerine ait faz dağılımları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge	83
Şekil 4.63 Yağda soğutulan 2. numunenin parlatılmış yüzey görüntülerine ait grafit yüzdeleri; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge.....	84
Şekil 4.64 Yağda soğutulan 3. numunenin mikroyapı görüntülerine ait faz dağılımları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge	85
Şekil 4.65 Yağda soğutulan 3. numunenin parlatılmış yüzey görüntülerine ait grafit yüzdeleri; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge.....	85
Şekil 4.66 Yağda soğutulan numunelerin faz dağılımı grafiği	86
Şekil 4.67 Suda soğutulan 1. numunenin mikroyapı görüntülerine ait faz dağılımları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge.....	87
Şekil 4.68 Suda soğutulan 1. numunenin parlatılmış yüzey görüntülerine ait grafit yüzdeleri; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge.....	87
Şekil 4.69 Suda soğutulan 2. numunenin mikroyapı görüntülerine ait faz dağılımları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge.....	88
Şekil 4.70 Suda soğutulan 2. numunenin parlatılmış yüzey görüntülerine ait grafit yüzdeleri; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge.....	89
Şekil 4.71 Suda soğutulan 3. numunenin mikroyapı görüntülerine ait faz dağılımları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge.....	90
Şekil 4.72 Suda soğutulan 3. numunenin parlatılmış yüzey görüntülerine ait grafit yüzdeleri; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge.....	90
Şekil 4.73 Suda soğutulan numunelerin faz dağılımı grafiği.....	91
Şekil 4.74 Test gruplarına ait ortalama faz dağılımları.....	92
Şekil 4.75 Fırında soğutulan 1. numunenin mikroyapı görüntülerine ait ASTM tane boyutu numaraları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge	93
Şekil 4.76 Fırında soğutulan 2. numunenin mikroyapı görüntülerine ait ASTM tane boyutu numaraları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. Bölge.....	94
Şekil 4.77 Fırında soğutulan 3. numunenin mikroyapı görüntülerine ait ASTM tane boyutu numaraları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge	94
Şekil 4.78 Havada soğutulan 1. numunenin mikroyapı görüntülerine ait ASTM tane boyutu numaraları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge	95
Şekil 4.79 Havada soğutulan 2. numunenin mikroyapı görüntülerine ait ASTM tane boyutu numaraları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge	95
Şekil 4.80 Havada soğutulan 3. numunenin mikroyapı görüntülerine ait ASTM tane boyutu numaraları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge	96

Şekil 4.81 Fanda soğutulan 1. numunenin mikroyapı görüntülerine ait ASTM tane boyutu numaraları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge	96
Şekil 4.82 Fanda soğutulan 2. numunenin mikroyapı görüntülerine ait ASTM tane boyutu numaraları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge	97
Şekil 4.83 Fanda soğutulan 3. numunenin mikroyapı görüntülerine ait ASTM tane boyutu numaraları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge	97
Şekil 4.84 Yağda soğutulan 1. numunenin mikroyapı görüntülerine ait ASTM tane boyutu numaraları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge	98
Şekil 4.85 Yağda soğutulan 2. numunenin mikroyapı görüntülerine ait ASTM tane boyutu numaraları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge	98
Şekil 4.86 Yağda soğutulan 3. numunenin mikroyapı görüntülerine ait ASTM tane boyutu numaraları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge	99
Şekil 4.87 Suda soğutulan 1. numunenin mikroyapı görüntülerine ait ASTM tane boyutu numaraları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge	99
Şekil 4.88 Suda soğutulan 2. numunenin mikroyapı görüntülerine ait ASTM tane boyutu numaraları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge	100
Şekil 4.89 Suda soğutulan 3. numunenin mikroyapı görüntülerine ait ASTM tane boyutu numaraları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge	100

TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Mikroyapı ve kırılma özelliklerine göre dökme demirlere ait sınıflandırma	6
Tablo 2.2 KGDD'ye ait bazı çeşitler ve mikro yapı detayları.	10
Tablo 2.3 KGDD ve diğer malzemelerin mühendislik özelliklerinin karşılaştırılması	15
Tablo 3.1 Döküm malzeme kimyasal kompozisyonu	22
Tablo 3.2 Döküm malzemeye ait mekanik özellikler	22
Tablo 3.3 Deneysel çalışmalarda kullanılacak ısıtma işlem soğutma ortamları ve östenitlemeye ait içerikler	30
Tablo 4.1 Su soğuma şartlarındaki vickers sertlik değişimleri	39
Tablo 4.2 Yağ soğuma şartlarındaki vickers sertlik değişimleri	40
Tablo 4.3 Fan soğuma şartlarındaki vickers sertlik değişimleri	40
Tablo 4.4 Havada soğuma şartlarındaki vickers sertlik değişimleri	41
Tablo 4.5 Fırında soğuma şartlarındaki vickers sertlik değişimleri	41
Tablo 4.6 Farklı soğuma şartlarındaki vickers sertlik değişimleri	42
Tablo 4.7 Sertlik dönüşümü ile hesaplanan farklı soğuma hızlarındaki brinell sertlik değerleri	44
Tablo 4.8 Denklem 3.1 ile hesaplanan farklı soğuma hızlarındaki çekme mukavemeti değerleri [$\sigma_c(\text{MPa})=3,45 \times \text{HB}$]	46
Tablo 4.9 Denklem 3.2 ile hesaplanan farklı soğuma hızlarındaki çekme mukavemeti değerleri [$\sigma_c(\text{MPa})=(5,4 \times \text{HB}) - 490$]	48
Tablo 4.10 Fırında soğutulan 1. numuneye ait faz dağılımları	68
Tablo 4.11 Fırında soğutulan 2. numuneye ait faz dağılımları	69
Tablo 4.12 Fırında soğutulan 3. numuneye ait faz dağılımları	71
Tablo 4.13 Havada soğutulan 1. numuneye ait faz dağılımları	73
Tablo 4.14 Havada soğutulan 2. numuneye ait faz dağılımları	74
Tablo 4.15 Havada soğutulan 3. numuneye ait faz dağılımları	76
Tablo 4.16 Fanda soğutulan 1. numuneye ait faz dağılımları	78
Tablo 4.17 Fanda soğutulan 2. numuneye ait faz dağılımları	79
Tablo 4.18 Fanda soğutulan 3. numuneye ait faz dağılımları	81
Tablo 4.19 Yağda soğutulan 1. numuneye ait faz dağılımları	83
Tablo 4.20 Yağda soğutulan 2. numuneye ait faz dağılımları	84
Tablo 4.21 Yağda soğutulan 3. numuneye ait faz dağılımları	86
Tablo 4.22 Suda soğutulan 1. numuneye ait faz dağılımları	88
Tablo 4.23 Suda soğutulan 2. numuneye ait faz dağılımları	89
Tablo 4.24 Suda soğutulan 3. numuneye ait faz dağılımları	91
Tablo 4.25 ASTM tane boyut numaraları ve 100X büyütmede 1 inch ² 'deki toplam tane sayıları	101

TEŞEKKÜR

Mesleğimin gelişmesi aşamasında attığım önemli adımlardan biri olan yüksek lisans eğitimimin sonuna gelmiş bulunmaktayım. Mesleğim gelişmesi için aşacağım birçok engel, öğreneceğim pek çok bilgi olduğunun bilincinde olarak;

Öğrencisi olmaktan mutluluk ve gurur duyduğum, zor durumlarımda ‘‘Sen yapabilirsin’’ diyerek beni her zaman destekleyen, tecrübe ve bilgilerini her koşulda paylaşarak beni yönlendiren ve mesleğimi sevdiren, danışman hocam Sayın Doç. Dr. Osman ÇULHA’ya,

Bilgi ve tecrübelerini lisansüstü öğrenim hayatımın tüm zorlu aşamalarında maddi manevi her yönden yardımcı olan, tecrübeleri ile beni aydınlatan ve desteklerini hiç eksik etmeyen tüm hocalarıma

Tez hazırlık süreci kapsamında, çalışmalarımı devam ettirebilmem için tüm olanaklarını bu süreçte benimle paylaşan ve kullanımına imkân sağlayan Kocaer Haddecilik San. ve Tic. A.Ş.’ye

Deneysel çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen değerli Kocaer Haddecilik San. ve Tic. A.Ş. çalışanlarına,

Ayrıca her zaman yanımda olan ve bugünlere gelmem için beni destekleyen anneme, babama ve ablama,

Zor zamanımda hiçbir zaman yalnız olmadığımı hissettiren ve her koşulda başarabileceğime inandıran en kıymetli ve en büyük destekçim olan arkadaşım Metalurji ve Malzeme Mühendisi Sayın Musa Mert ÖZDEMİR’e ,

Teşekkürü bir borç bilirim.

Ezgi SEVGİ
Manisa, 2019

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Isıl İşlem Şartlarının Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi

Ezgi SEVGİ

Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Osman ÇULHA

Yapılan çalışmada, küresel grafitli dökme demirlere uygulanan ısıl işlem sırasında, parçaların östenitleme sıcaklığına ısıtılmasından sonra farklı soğutma ortamlarında (fırında, havada, fanda, yağda ve suda) soğutulmuştur. İşlem sonrasında parçadaki mikroyapı değişimleri ve bu değişimlerin malzeme özelliklerine olan etkisi araştırılmıştır. Deneysel malzemesine ait farklı soğuma şartlarının soğumaya etkisinin incelenmesi ve bu şartlardaki soğutma hızının belirlenmesi aşamasında, ısıl işlem öncesi JMatPro simülasyon yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım ile malzemeye ait 1°C/s, 3°C/s ve 5°C/s soğutma hızlarındaki soğuma eğrileri, TTT ile CTT diyagramları ve diğer özelliklerine ait grafikler elde edilmiştir. Deneysel çalışmalar kapsamında, ısıl işlem fırını ile 940°C sıcaklıkta 38 dk östenitlenen GGG 40 kalite küresel grafitli dökme demir parçalar, 10,44°C/sn (suda soğutma), 4,48°C/sn (yağda soğutma), 1,04°C/sn (fanda soğutma), 0,31°C/sn (havada soğutma) ve 0,17°C/sn (fırında soğutma) soğuma hızlarında soğutulmuştur. Isıl işlemden sonra, farklı soğutma oranlarından dolayı faz dağılımı ve tane büyüklüğündeki değişiklikleri belirlemek için metalografik araştırmalar yapılmıştır. Ayrıca, farklı soğutma oranlarının malzeme sertliğine etkisinin incelenmesi amacı ile mikro-sertlik testi uygulanmıştır. Elde edilen sertlik değerleri ile mukavemet dönüşümü yapılmıştır. Yapılan çekme mukavemeti değerleri elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Küresel Grafitli Dökme Demir, Isıl İşlem, JMatPro, Soğuma Hızı, Faz Dağılımı, Sertlik, Çekme Mukavemeti

2019, 107 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Investigation of Effects on Mechanical and Microstructure Properties Of Heat Treatment Conditions Of Spheroidal Graphite Cast Iron

Ezgi SEVGİ

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Metallurgical and Materials Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Osman ÇULHA

In this study, during the heat treatment applied to spheroidal graphite cast iron, the parts were cooled in different cooling environments (heat treatment furnace, air, cooling fan, oil and water) after heating to austenitizing temperature. After the process, microstructure changes in the part and the effect of these changes on the material properties were investigated. Before the heat treatment, JMatPro simulation software was used to investigate the effect of different cooling conditions of the test material on cooling and to determine the cooling rate under these conditions. With this software, cooling curves of the material at cooling rates of 1°C/s, 3°C/s and 5°C/s, graphs of TTT and CTT diagrams and diagrams of other properties were obtained. Within the scope of experimental studies, GGG40 quality spheroidal graphite cast iron parts which were austenitized for 38 minutes at 940°C temperature with heat treatment furnace were cooled at cooling rates of 10,44°C/sn (cooling in water), 4,48°C/sn (cooling in oil), 1,04°C/sn (cooling in fan), 0,31°C/sn (cooling in air) and 0,17°C/sn (cooling in heat treatment furnace) respectively. After the heat treatment, metallographic investigations were performed to determine the changes in phase distribution and grain size due to different cooling rates. In addition, micro-hardness test was applied to investigate the effect of different cooling rates on the material hardness. Strength transformation was performed with the obtained hardness values. Tensile strength values were obtained.

Keywords: Spheroidal Graphite Cast Iron, Heat Treatment, JMatPro, Cooling Rate, Phase Distribution, Hardness, Tensile Strength

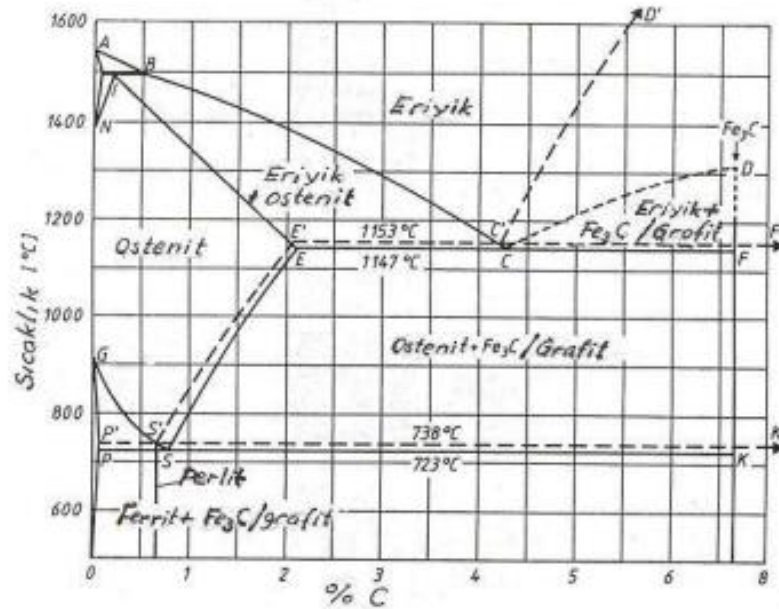
2019, 107 pages

1 GİRİŞ

Pek çok yapısal uygulama ve otomotiv sanayi gibi endüstriyel alanlarda kullanılan dökme demirlerin, düşük ergime sıcaklığı, iyi akışkanlık özelliği, yüksek şekil alabilme kabiliyeti, üretim maliyetinin az olması ve karmaşık şekillerde üretime imkân sağlaması, iyi aşınma ve korozyon dayanımı gibi özellikleri sebebi ile tercih sebebi haline gelmiştir [1].

Döküm sektörünün başlangıç türü, ilk olarak gri dökmedir. Akabinde Millis ve arkadaşları tarafından ilk olarak KGDD'ler tanıtılmış ve mekanik özellikleri sebebi ile günümüzde çeliğe en yakın tür olarak belirlenmiştir [2,3]. KGDD'lere uygulanan ısıtım işlem sayesinde, bu türün üstün mekanik ve döküm özelliklerine sahip olması sağlanarak, endüstriyel uygulamalar için vazgeçilmez bir hal almıştır

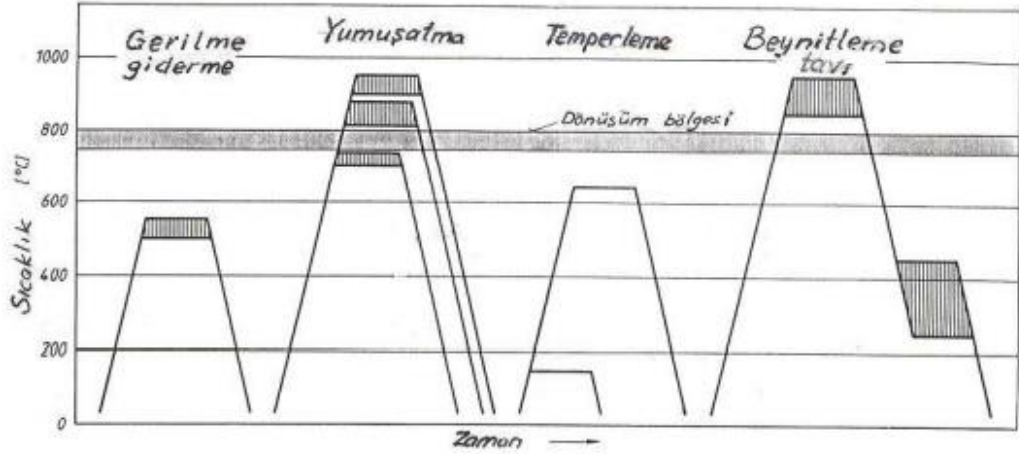
KGDD parçaların kullanım yerlerine göre, istenilen özelliklerin sağlanabilmesi için, döküm sonrası uygulanacak ısıtım işlemin önemi oldukça yüksektir. Isıtım işlem ile içyapıda bulunan bağlı C'nun oranı, döküm parçanın kullanım yerine optimum özellikler sağlanabilir [4].



Şekil 1.1 Demir-karbon denge diyagramı [4]

KGDD'lere uygulanan başlıca ısı işlemleri; gerilme giderme tavlama, yumuşatma tavlama, normalizasyon (perlitlenme), su verme ve ıslah işlemi ile beynitleme (ostemperleme) olarak sıralanabilir. Bu ısı işlemleri ile elde edilecek yapılarının oluşturulması esaslı demir-karbon denge diyagramı ile anlaşılabilir [4].

KGDD'lere uygulanan ısı işlemlerinde, Şekil 1.2' de verilen sıcaklık-zaman değişimleri geçerlidir. Buradan hareketle, dökme demirlere uygulanan ısı işlemleri çeliklerinkine benzerlik göstermektedir. Fakat dökme demirlerin içerisinde bulunabilecek farklı alaşımlar dönüşümlerin kararlı veya yarı-kararlı olmasını etkiler. Bu durumda çeliklerin ısı işleminden farklılıklar gösterirler. Ayrıca, dökme demirlerde bağlı C uygun bir sıcaklıkta grafit olarak ayrıştırılabilir [4].



Şekil 1.2 Dökme demirlere uygulanan ısı işlem türleri [4]

KGDD'lerde dönüşüm östenit fazından ferrit ve perlit fazına doğrudur ve bu durum çeliklerdeki dönüşüme benzer niteliktedir. Yapı oluşumu çelikten farklı olarak, ferrit ve perlit oluşum oranının difüzyon ile kontrolüdür. Difüzyon hızı, alaşım elementi cinsine ve oranına, zamana, sıcaklık ve soğutma hızına bağlıdır. Döküm ile elde edilemeyen mikroyapının ısı işlemleri ile sağlanmasını gerektiren durumlarda hem ısıtma hem de soğutma sırasında meydana gelen yapı değişiminin detaylı olarak incelenmesi faydalıdır [5].

Temper veya östenit sıcaklığına kadar çıkartılmış parçanın soğutulması sırasında meydana gelen dönüşüm, soğuma hızına bağlıdır. Yavaş soğutmada (fırında), soğuma hızı difüzyon devamlığına imkân sağlar ve ferrit fazı oluşumu

devam etmektedir. Havada soğutma durumundaysa, soğutma hızı genellikle difüzyona az miktarda olanak sağlar ve ısıtma sırasında oluşmuş yapı nazaran az miktarda değişmektedir. Östenitleme sıcaklığına kadar ısıtılmış olan ve hava ortamında soğumaya bırakılmış malzemelerin soğuma hızı, çoğunlukla kalıp içerisinde meydana gelen katılma sonrasındaki soğuma hızından daha yüksektir. Bu kapsamda havada soğutulan parçalarda perlit fazı oranı, dökümde sağlanan perlit oranına göre daha yüksektir [5].

Yeşiltepe ve ark 2017 yılında, 900 ve 1000° C' deki sıcaklıklarda, grafit kürelerinin davranışını incelemiştir. Hava ve suda soğutulmuş parçalarda, C'nun grafit'ten ferritik yapıya difüzyon olup perlitik yapıya dönüştüğünün saptamışlardır [6].

1.1 Tezin Amacı

Yapılan çalışmada, 940°C sıcaklıkta 38 dk östenitlenen GGG 40 kalite küresel grafitli dökme demir parçalar, farklı soğutma ortamlarında (fırında, havada, fanda, yağda ve suda) soğutularak, bu malzemedeki mikroyapı değişimleri ve bu değişimlerin malzeme sertliğine olan etkisi araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, bu parçalara mikroyapısal incelemeler ve mikro-sertlik incelemeleri yapılacaktır.

2 GENEL BİLGİLER

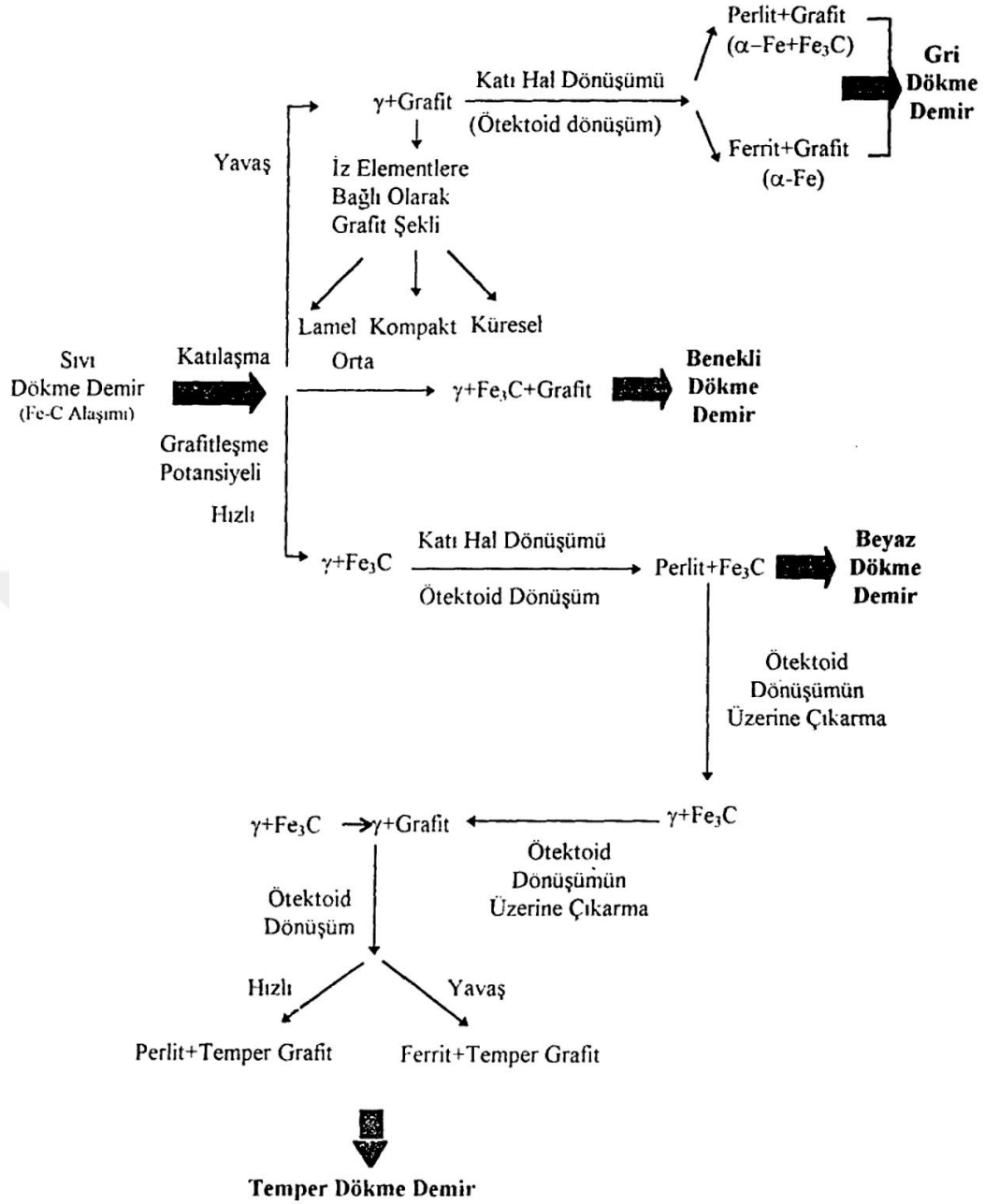
2.1 Dökme Demirler

Çeliklere benzer olarak demir alaşımlarının geniş bir ailesi olan dökme demirler, içeriğinde bulundurduğu %2 ve fazlası karbon nedeni ile bir demir-karbon alaşımıdır. Fazla karbon içeriği, dökme demirlerde gevrekleşmeye yol açar ve bundan dolayı ticari kullanımları için karbon miktarının %2,5 ve %4 oranları arasında tutulur. Bunun yanı sıra içeriğinde C ve Si elementlerini barındıran dökme demirlerde bu elementlerin oranları oldukça yüksektir. Ötektik bölgede karbonca zengin faz olan Fe₃C fazı içermesi durumunda yarı kararlıdır ve kararlı durumunda ise ötektik bölgede grafit fazını içerir [7].

Plastik şekil alma kabiliyetleri düşük olan dökme demirlere şekil değiştirme işlemleri uygulanmaz. Bunun yanı sıra, kolay ergitme imkânı olan dökme demirler ile kompleks parçalar üretilebilmektedir. Bu malzemeler çeliklere nazaran daha düşük mukavemete sahiptir, ancak daha düşük maliyet ile üretilebilirler [8, 9].

Genel olarak mikroyapıya göre sınıflandırılan dökme demirlerin mikroyapı durumunu içeriğindeki karbon oranı, alaşım elementleri veya empürite oranı, katılaşma esnasında veya akabinde soğuma hızı ve döküm işlemlerinden sonra uygulanan ısıl işlem gibi faktörler etkiler [8, 9].

Şekil 2.1’de yaygınca kullanılmakta olan dökme demirlere ait türlerin, yapıların ve üretimin şematize olarak gösterimi verilmiştir. İki ötektik türleri olan ‘‘yarı kararlı ostenit+sementit (Fe₃C)’’ veya ‘‘kararlı ostenit+grafit’’ için mukavemet, sertlik, süneklik ve tokluk gibi özellikleri kıyaslandığında, ikisi arasında fazla oranda farklılıklar vardır. Bu sebep ile dökme demirin metalürjideki üretim alanları, miktarları, işlenmesi ve istenen özellikler için göz önünde bulundurulması gereken en önemli etken ötektik yapı bilgisidir [7].



Şekil 2.1 Dökme demirlere ait mikroyapıya göre sınıflandırma [7,9]

İlk defa kırılma durumuna göre yapılan sınıflandırmaya göre dökme demirler; beyaz dökme demir ve gri dökme demir olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır. Buna ek olarak yapılan sınıflandırma ise; malzeme mikroyapısı ve kütle özellikleridir. Tablo 2.1 de mikroyapı ve kırılma özelliklerine göre dökme demirlerin sınıflandırılması verilmiştir [9].

Tablo 2.1 Mikroyapı ve kırılma özelliklerine göre dökme demirlere ait sınıflandırma [9, 10]

Dökme Demir Sınıfı	C'ca zengin Faz	Matris ^(a)	Kırılma Yüzeyi	Yapı Nedeni
Gri Dökme Demir	Lamel Grafitli	P	Gri	Katılaşma
Küresel Grafitli Dökme Demir	Küresel Grafitli	F, P, O	Gümüş Gri	Katılaşma +Isıl İşlem
Kompakt Grafitli Dökme Demir	Kompakt Vermiküler Grafitli	F, P	Gri	Katılaşma
Beyaz Dökme Demir	Fe ₃ C	P, M	Beyaz	Katılaşma+Isıl İşlem ^(b)
Vermiküler Grafitli Dökme Demir	Lamel Grafitli+Fe ₃ C	P	Benekli	Katılaşma
Temper Dökme Demir	Temper Grafitli	F, P	Gümüş Gri	Isıl İşlem
Ostemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demir	Küresel grafitli	B	Gümüş Gri	Isıl İşlem

a) F ferrit'i, P perlit'i, O ostenit'i, M martenzit'i ve B beynit'i ifade eder.

b) Beyaz dökme demire genel olarak ısıl işlem uygulanmaz, ancak bazı durumlarda kalıntı gerilmeleri gidermek ve ostenitik dönüşüm yapabilmek amacı ile uygulanabilir.

Grafit şekilleri incelendiğinde, dökme demirleri ‘lamel grafitli, küresel grafitli ve temper grafitli’ olmak üzere üç grupta sınıflandırırken, matris yapılarına göre; ‘ferritik, perlitik, ferrit+perlitik, ostenitik, martenzitik ve beynitik olarak sınıflandırabiliriz [7, 9].

Dökme demirler için, geleneksel dökme demirler ve özel dökme demirler olarak farklı bir sınıflandırma söz konusudur. Geleneksel dökme demirler olarak tanımlanan malzemeler uygulama amacıyla kullanılmakta olan alaşımsız ya da düşük alaşımlıdır. Buna ek olarak özel uygulamalarda kullanılmakta olan yüksek alaşımlı dökme demirler ise özel dökme demir olarak tanımlanır [7, 9].

Karbonun içyapıda bulunma durumuna göre, dökme demirler 5 sınıfta toplanmakta olup; bunlar lamel grafitli dökme demir, temper grafitli dökme demir, küresel grafitli dökme demir, beyaz dökme demir ve kompakt grafitli dökme demirdir.

2.1.1 Beyaz Dökme Demirler

Beyaz dökme demirlerin içyapısı incelendiğinde karbon, sementit (Fe_3C) formunda olup mikroyapı perlit ve sementittir. Bu durum katılaşma sıcaklığında hızlı soğuma işlemi ile sağlanır. Ötektik altı alaşım olan tüm beyaz dökme demirler yüksek miktarda sementite sahiptirler, bundan dolayı sert yapılarının yanı sıra aşınmaya karşı dayanıklıdırlar. Bu sebeple, aşınma direncinin önemli olduğu se sünekliğin olmasının istenmemesi durumlarında kullanılan bu dökme demirler gevrek bir yapıdadır ve işlenmeleri zahmetlidir. Tüm bunlar toparlandığında, beyaz dökme demirlerin darbe dayanımları düşüktür ve işlenme yetenekleri iyi değildir, bu sebep ile kullanım alanları belirli yerler olup, azdır [10].

2.1.2 Gri (Lamel Grafitli) Dökme Demirler

Gri dökme demirleri diğer dökme demirlerine kıyasla kullanımları daha fazladır. İçerik bakımından C oranı %2.5-4 aralığında değişmektedir. Bu C'ların birçoğu, grafit lamel halde bulunmaktadır. Şekil 2.1 incelendiğinde, beyaz dökme demirlerin iki farklı şekilde oluştuğu görülmektedir. Katı hal dönüşümü esnasında yavaş soğutulması durumunda, yapı "ferrit+grafit", hızlı soğutulması durumunda perlit+grafit formunda olmaktadır. Bu durumda mekanik özelliklerde etkilenmektedir. Ferrit+grafit yapı biçimi en az mukavemet değerine sahiptir. Sertlik ve mukavemetin artmasını, içeriğindeki C miktarı sağlamaktadır. Geniş kullanım alanlarında tercih edilen beyaz dökme demirlerin çeşitli özellikleri bulunmasından dolayı onları tercih edilebilir kılmıştır. En önemli özellikleri sıralandığında, titreşim sönümlenme yeteneği, yüksek bakma mukavemeti ve ekonomik olarak belirtilebilir [11,12].

2.1.3 Benekli Dökme Demirler

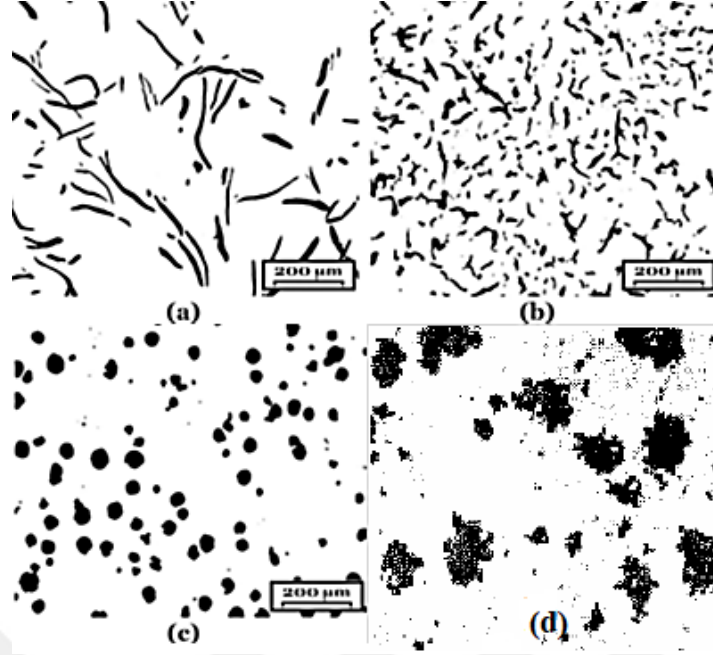
Hızlı ve yavaş soğuma koşullarına göre ortaya çıkan dökme demir grubu farklıdır, hızlı soğumada beyaz, yavaş soğumada ise gri dökme demir elde edilir. Beyaz ve gri yapının bir arada çıkma durumu ise, soğuma hızının dökülmekte olan parçanın beyaz yapıdan gri yapıya geçişi sırasında oluşması ile meydana gelmektedir. Bu sebeple benekli dökme demirlerin kesiti gözlemlendiğinde beyaz yapı üzerinde gri yapının meydana geldiği görülmektedir [13].

2.1.4 Temper Grafitli Dökme Demirler

Temper grafitli dökme demirler, uygun sıcaklıklarda beyaz dökme demirlerin tavlama işlemi ile sementit ve perlitin parçalanması ile oluşmaktadır. Serbest karbonun yavaş olarak soğuması sonucunda, karbon içeriğini meydana getiren ve temper grafit olarak bilinmekte olan düzensiz yapılar oluşmaktadır. Bu grup dökme demirlerin yapılarına göre ferritik ve perlitik olarak iki çeşidi vardır. Endüstriyel olarak en çok kullanılan ferritik temper dökme demirler, üretime göre siyah ve beyaz temper döküm olarak ikiye ayrılır. Elektrikli ergitme ocağında, oksitleyici bir atmosfer içerisinde karbonun indirgenmesiyle beyaz temper dökme demir elde edilirken, siyah dökme demirler beyaz dökme demirlerin dekarburizasyonu veya oksidasyonuna sebep olmayacak atmosferlerde tavlama sonucunda elde edilmektedir [9, 14].

2.1.5 Vermiküler (Kompakt) Grafitli Dökme Demirler

Yapı biçimi incelendiğinde, gri ve kürese grafitli dökme demirler arasında bulunan vermiküler (kompakt) grafitli dökme demirler, ‘’ vermiküler grafitli dökme demir, kompakt grafitli dökme demir, quasi-flake dökme demir, yüksek mukavemetli gri dökme demir ve silindirik grafitli dökme demir’’ olarak birçok isim ile tanımlanmaktadır. Vermiküler grafitli dökme demirler, küresel grafitli dökme demirin üretim sırasında yapılan küreselleştirme işlemlerinde aşılama elementi olan Mg’un az eklenmesi ile grafitler küresel hale geçerek, yapının küresel-lamel bir yapı arasında oluşması ile elde edilmektedir. Mekanik özellikleri bakımından gri dökme demirlere kıyas ile daha iyi olan ve küresel grafitli demirlerin değerlerine yaklaşık olan vermiküler grafitli dökme demirlerin ısı iletkenliği gri dökme demir kadar olsa da küresel grafitli dökme demire göre daha yüksektir. Bu sebeple yüksek dayanım ve ısı iletkenliğinin istenmesi durumlarında en ideal malzeme grubu olan kompakt grafitli dökme demirler ısıl şok dayanımları sebebi ile günümüzde üretimleri ve kullanım yerleri giderek artmıştır. Kullanım yerlerine örnek verilecek olursa, egzoz manifoldları, dizel motor silindir kapakları ve hadde merdaneleri gibi pek çok alana sahip olduğu görülmektedir [14].



Şekil 2.2 Grafit yapısına göre; a)Lamel grafitli dökme demir, b)Kompakt grafitli dökme demir, c)Küresel grafitli dökme demir d)Temper grafitli dökme demir [13,14]

2.1.6 Küresel Grafitli Dökme Demirler

Serbest karbonun, küresel formda bulunan malzeme grubu olan küresel grafitli dökme demirle, “nodüler, duktıl ve sfero” demir gibi isimler ile adlandırılmaktadır. Küresel grafitler, döküm işlemleri öncesinde ergiyiğe çok az miktarda Mg ve Ce ilavesi neticesinde sementit oluşunun engellenmesi sureti ile oluşmaktadır. Kimyasal içerik olarak gri dökme demirlere benzemekte olan küresel grafitli dökme demirlerde, kükürt ve fosfor az miktarda bulunmaktadır. Temper dökme demire kıyasla boyutsal olarak geniş bir aralıkta dökülebilen küresel grafitli dökme demirler iyi akma mukavemetine sahiptir [10, 12, 16, 17].

2.2 Küresel Grafitli Dökme Demir

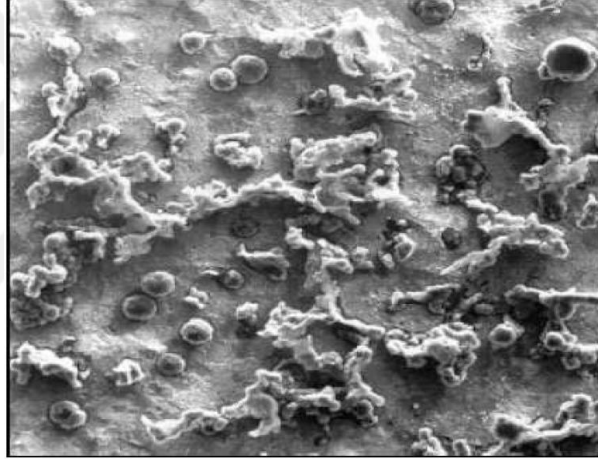
1948’li yılların ilk zamanlarında Amerika Dökümcüler Birliği’nde resmi olarak tanıtılan KGDD, 1951 yılı itibari ile ticari olarak üretilmeye ve kullanılmaya başlamıştır [18].

Yüksek mukavemet özellikleri sebebi ile endüstride büyük öneme sahip olan KGDD’ler hakkında mühendislik malzemesi olarak geçmişten günümüze de çok

2.2.1.1 Ferritik KGDD

Ferrit içine dağılmış olan grafit küreleri, dökme demirler için iyi süneklik ve darbe enerjisi ile düşük karbon içerikli çelikler için eşdeğer çekme ve akma dayanımı sağlamaktadır.

Ferritik yapılı küresel grafitli dökme demir elde etmek için; ergiyiğe ağırlığına uygun olarak Mg alaşımı eklemek, perlitik yapılı KGDD'ye ısıtma işlemi uygulamak ve ergiyik KGDD'i çok yavaş biçimde katılaştırarak ferritik KGDD elde etmek üzere üç ayrı yolu bulunmaktadır. Döküm yolu ile elde edilebilen ferritik KGDD, bunun yanı sıra sertleştirme tavlama işlemi uygulanarak max. süneklik ve düşük sıcaklıktaki tokluk özelliklerine sahip olabilir. Ferritik KGDD için içyapıya ait görünüm Şekil 2.3'te verilmiştir [21].



Şekil 2.3 Ferritik KGDD için içyapı, büyütme: x 200 (50 µm) [22].

2.2.1.2 Perlitik KGDD

Perlit içinde bulunan grafit küreleri, dökme demirler için yüksek dayanım, iyi aşınma dayanımı, ortalama süneklik ve darbe enerjisi özelliklerini kazandırmaktadır. Benzer mekanik özelliklere sahip olan çelikler ile kıyaslandığında ise işlenebilirlikleri oldukça iyidir. Farklı içyapıya sahip KGDD elde edebilmek için ısıtma işlemi uygulanmaktadır. Perlitik KGDD için içyapıya ait görünüm Şekil 2.4'te verilmiştir.

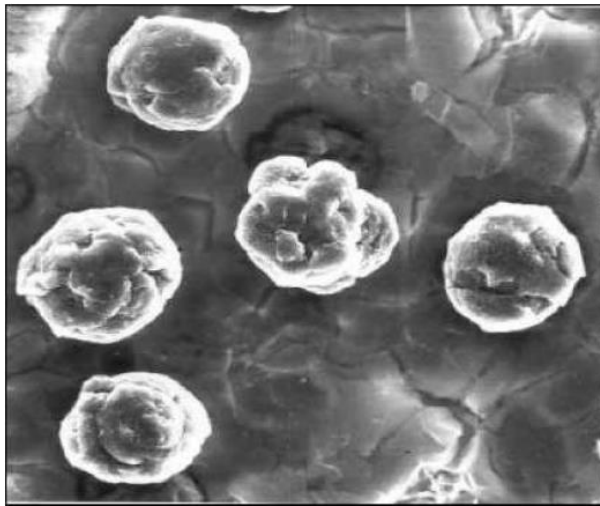


Şekil 2.4 Sferoid yapı, büyütme: x 600 (20 µm) [22].

2.2.1.3 Ferritik – Perlitik KGDD

Genel olarak doğrudan döküm yöntemi ile elde edilen bu tarz malzemeler en sık kullanılan KGDD'lerdir. Grafitler, ferrit ve perlit matris yapıları içerisinde dağılmıştır [22].

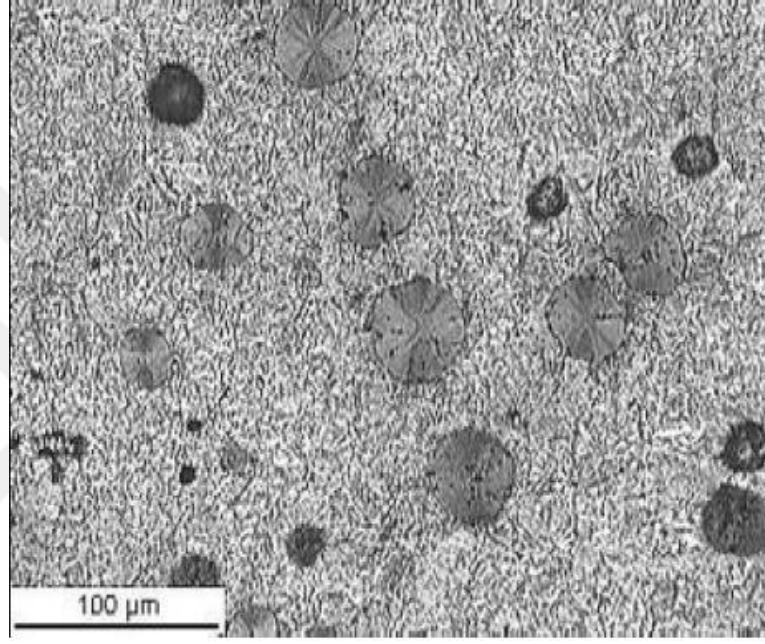
Mekanik özellikleri bakımından değerlendirildiğinde perlitik ve ferritik KGDD'lerin özellikleri arasında yer almaktadır. Buna ek olarak, işlenebilirliği iyi olan bu malzemelerin üretim maliyeti azdır. Ferrit-Perlit KGDD için içyapıya ait görünüm Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5 % 50 Ferritik % 50 perlitik yapı, büyütme: X 500 (20 µm) [23].

2.2.1.4 Martenzitik KGDD

Bu tip küresel grafitli dökme demirlerde perlitin oluşumunu engellemek amacı ile yeterli alaşım ilavesi yapılmaktadır. Veya su verme ve temperleme ısı işlemi uygulanmaktadır. Isıl işlem sonucu olarak meydana gelen temperlenmiş martenzit, yüksek statik mukavemete ek olarak aşınma dayanımı sağlamaktadır. Bununla birlikte düşük süneklik ve tokluk özellikleri elde edilir. Martenzitik KGDD için içyapıya ait görünüm Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6 Temperleme ısı işlemi sonrasında, Martenzitik KGDD'ye ait mikroyapı görüntüsü (x100) [21]

2.2.1.5 Beynitik KGDD

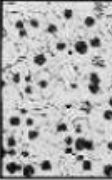
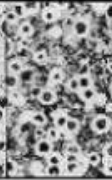

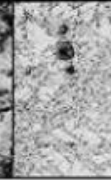




Küresel grafitli dökme demirlerin bu çeşidi için alaşımlama veya ısı işlem uygulanır. Yapılan işlem sonrasında elde edilen yapının sertliği ve aşınma dayanımı iyidir.

2.2.1.6 Östenitik KGDD

KGDD çeşidi olan bu dökme demirlerde östenitik yapı elde etmek amacı ile alaşımlama yapılmaktadır. Böylece korozyon direnci, manyetik özellikleri, statik mukavemeti ve yüksek sıcaklıklarda boyutsal değişimin kararlı olması gibi özelliklerin iyi olması sağlanır. Östenitik küresel grafitli dökme demirlerin yapısı

östenit ve az oranda perlitten oluşmaktadır. Grafit küreselliği belirli bir oranda formunu kaybetmektedir. Bu malzemeler, genel olarak yüksek oranda Ni içerirler [21].

Östenitik KGDD için mekanik özelliklerini belirleyen etkenler, yapı içerisinde bulunan yüksek orandaki grafit ve matris yapısıdır. Şekil 2.7’de KGDD çeşitlerine ait içyapı ile çekme dayanımını arası ilişki verilmiştir. Yapıdaki bu durum sebebi ile küresel grafitli dökme demir sınıflandırılması içyapıya göre yapılmaktadır.

MATRİS YAPISI							
Ferrit	Ferrit-Perlit	Perlitik	Martenzitik	Temperlenmiş Martenziti	OKGDD	OKGDD	Östenitik
414 MPa	552 MPa	690 MPa	-	793 MPa	1050 MPa	1600 MPa	310 MPa
							

Şekil 2.7 KGDD çeşitlerine ait içyapılar ve çekme dayanımları [21]

Elliot, R’in, küresel grafitli dökme demirlere ait mühendislik özellikleri, temper dökme demir, gri dökme demir, %0,3 karbonlu çelik döküm ve beyaz dökme demirlerin özelliklerine ait yaptığı karşılaştırmaya ait veriler iyiden kötüye değerlendirilmiş olup, ilgili veriler Tablo 2.3’te verilmiştir.

Tablo 2.3 KGDD ve diğer malzemelerin mühendislik özelliklerinin karşılaştırılması [24]

Özellik	KGDD	Temper Dökme Demir	Gri Dökme Demir	Beyaz Dökme Demir	%0,3 Karbonlu Çelik Döküm
Dökülebilirlik	1	2	1	3	5
İşlenebilirlik	2	2	1	-	3
Titreşim Sönümlenme	2	2	1	5	4
Yüzey Sertleştirilebilirlik	1	1	1	-	3
Elastik Modülü	1	2	3	-	1
Darbe Dayanımı	2	3	5	-	1
Korozyon Dayanımı	1	2	1	5	4
Dayanım/ağırlık Oranı	1	4	5	-	3
Aşınma Dayanımı	2	4	3	1	5
Üretim Maliyeti	2	3	1	2	4

1 En İyi	2 →	3 →	4 →	5 En Kötü
-------------	--------	--------	--------	--------------

2.2.2 KGDD'lerin Mekanik Özellikleri

Sahip olduğu özellikleri bakımından çelik ve dökme demirler arasında yer almakta olan KGDD'lerin mekanik özellikleri çeliğine benzer olup; fiziksel ve kimyasal özellikleri dökme demirlere yakındır. Çelik ve dökme demir özelliklerine birlikte sahip olduklarından, günümüzde KGDD'lere olan talep artmıştır ve kullanım alanları geniş bir yer almıştır. Özellikle, sürtünmeli ortamlarda kullanılmakta olan küresel grafitli dökme demirlerin yapısal ve yüzeysel performanslarını artırıcı çalışmalar yapılmaktadır [20]. KGDD'lerde yapı kontrolü; proses ve bileşen kontrolü

veya ısıtıl işlem ile yapılabilmektedir. Bu durum KGDD'lerin farklı mekanik özellikler sahip olmasını sağlamaktadır. Ferritik yapılı KGDD'lerde %18-30 arasında uzama mevcuttur ve bu değer ile çekme mukavemeti, düşük karbonlu çeliklere yaklaşıktır. Çekme mukavemeti değeri 825 MPa ve üzeri olan perlitik yapılı KGDD'lerde bu durum avantaj sağlasa da, süneklik değeri azalmaktadır. Çok daha iyi mekanik özellik ve aşınma dayanımına sahip dökme demirler ise östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirler (ÖKGDD)'dir [21].

KGDD'lerde meydana gelen aşınma, çatlama ve kırılmaların onarımı için kullanılan kaynak yönetimi, ayrıca, döküm yöntemi ile elde edilmiş olan döküm parçaların veya döküm parça ile farklı bir malzemenin birleştirilmesinde de aynı işlem kullanılır. Kaynaklı birleştirmeler, büyük ekonomik avantaj sağlamaktadır ki bu durum döküm zamanı ve fazla malzeme kullanımı açısından değerlendirildiğinde oldukça önemlidir. KGDD'lerin kaynak işlemlerinde sıcak yırtılma riski daha az olup bunun sebebi diğer dökme demirlere oranla daha az fosfor ve kükürt içermeleridir [22].

2.2.2.1 KGDD İçin Mühendislik Özellikleri

Özellikleri çelik ve dökme demirler arasında bulunan KGDD'in mekanik özellikleri çeliklere benzemektedir, buna ek olarak kimyasal ve fiziksel özellikleri bakımından ise dökme demirlere yaklaşıktır. Bu sebep ile geniş kullanım alanları mevcuttur.

2.2.2.1.1 Çekme Mukavemeti

Isıl işlem veya alaşımlandırmaya göre çekme mukavemeti 40-80 kg/mm² arasında değişen KGDD'lerde uzama/gerilme diyagramı, çeliklere benzemektedir. Temper dökme demirler ile kıyaslandığında akma noktaları daha büyüktür. Bu nedenle KGDD'ler ağır yükleri, kalıcı şekil değişimine uğramaksızın kaldırabilirler. Elastik özellikleri yüksek olan KGDD çeşitleri incelendiğinde; bu durum perlitik ve ferritiklerde 1,8 x 10⁴ kg/mm², yüksek alaşımlı östenitiklerde 1,0 x 10⁴ kg/mm² seviyelerindedir [25].

2.2.2.1.2 Yorulma Mukavemeti

Yorulma dayanımının çekme dayanımına oranı olarak bilinen dayanma miktarı karbonlu çeliklere nazaran yüksektir. Buna ek olarak, gerilme değişme faktörü çeliğe göre daha azdır, bu sebep ile özellikle saft imalatına elverişlidir [25].

2.2.2.1.3 Aşınma Dayanımı

Küresel grafitli dökme demirlerin genel karakteristiğini oluşturan aşınma dayanımı, ilgili ürünlerde oldukça yüksektir. Statik ve dinamik yük altında rastgele dağılmış olan gerilimlere göre KGDD çok iyi dayanım göstermektedir. Bu neden ile özellikle dişli çarkların imalatında ve bundan farklı pek çok alanda çeliğin yerini almaya başlamıştır [25].

2.2.2.1.4 Titreşim Söndürme

Kır dökme demirlere göre titreşim söndürme özellikleri daha iyi olan KGDD'lerin bu özellikleri yapıda bulunan grafitlerin küresel halde olmasından kaynaklanmaktadır.

2.2.2.1.5 Termik Şok

Termik şok altında hemen kırılan kır dökme demire göre küresel grafitli dökme demirlerin bu özelliği daha iyidir. Ani sıcaklık ile birlikte KGDD'lerde çatlama görülebilir ve bu çatlak parçanın içerisine doğru yönlenebilir. Fakat ilerleyen bir çatlağın engellenmesi amacı ile çatlak ucuna delik açılmalıdır. Çatlağın ilerleyebilmesi için yeni bir nokta bulması gerekir. KGDD'lerde bu vazifeyi yapı içerisinde bulunan grafitler üstlenmiştir [25].

2.2.2.1.6 Korozyon Dayanımı

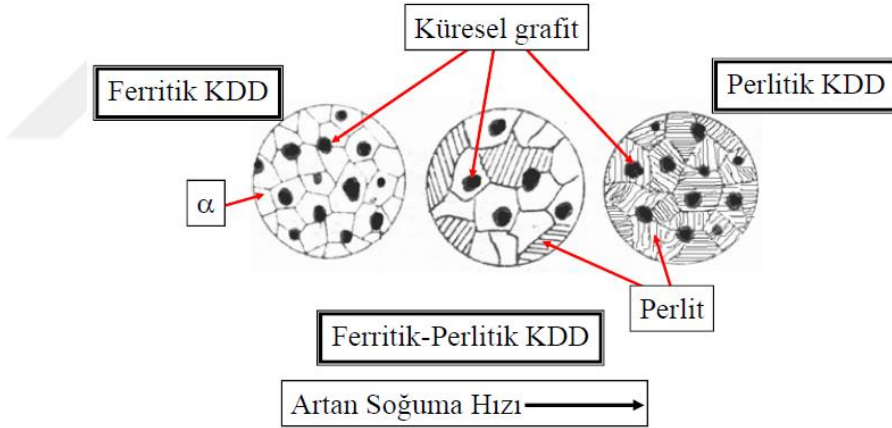
Kır dökme demirlerin sahip olduğu korozyon dayanımı küresel grafitli dökme demirlerde de aynıdır. Deniz suyu, alkali ve zayıf asite oldukça mukavemetlidirler. Çeliğe nazaran daha iyi korozyon dayanımına sahip olan ve yüksek mukavemetli KGDD'ler özellikle petrol ve kimya endüstrisinde sıklıkla kullanılmaktadır.

2.2.2.2 KGDD'lerin Özelliklerini Etkileyen Parametreler

KGDD'lere katılma sırasında gözlemlenen yapı östenitiktir. Bu esnada, kalıntılar ve yapı içerisinde çözünebilir max. C oranının fazlası grafit olarak ayrılmaktadır.

Sıcaklığın düşmesi ile östenitin içerisinde C çözünürlüğü azalır. Bundan dolayı östenitten ayrılmış C difüze olup grafit formunu alır. Ayrılmış olduğu kısmı karbonsuzlaştırır ve ferrit oluşur. Bu yapıda malzeme yüksek uzama kapasitesine sahip olmaktadır. Perlite göre, ferritik yapı oluşumu yüksek sıcaklıklarda meydana gelir.

Ferrit ve perlitin birbirine göre oranları, malzeme kompozisyonu ile soğuma oranlarının bir fonksiyonu olup, malzemenin akma, çekme, sertlik ve uzama gibi bazı özelliklerini direkt olarak etkilemektedir [26].



Şekil 5.3 Dökme demirlere soğuma hızının etkileri

Yukarıdaki verilen Şekil 5.3'e göre, soğuma hızının artması malzeme mikroyapısını tümüyle değiştirmiştir. Ayrıca buradan grafit dışında ana yapının dönüştüğü görülebilir. Bu durumda yalnızca mikroyapısal olarak etki göstermek, bununla birlikte malzemeye ait mekanik özelliklerin tümü değişmektedir. Örnek olarak, perlitik KGDD sert ve kırılgan özellik gösterirken, ferritik KGDD sünek yapıdadır [26].

2.2.3 KGDD Kullanım Alanları

İş parçası boyut ve kesitleri için herhangi bir sınırlama olmayan KGDD, yüksek çekme ve akma dayanımı, yüksek elastik modül, kolay işlenebilme ve iyi korozyon dayanımına sahip malzemelerdir. KGDD, pek çok yerde kır dökme demir, temper dökme demir ve dövme çelik ile demir dışı alaşımların yerini tutmuştur. Aşağıda verilen maddelerde bu kullanım alanlarına ait detaylı bilgi verilmiştir.

1. Maden ve metalürji sektöründe kullanılan KGDD ile üretilmekte olan parçalar; kırıcı gövdesi, popa gövdesi, alüminyum ve kurşun ergitme potası, cüruf potası, pres makinesi, kalıplama derecesi ve sıcak hadde merdanesi olarak sıralanmaktadır.
2. Bazı makine parçalarında KGDD'ler, hidrolik pres, silindirler, dövme pres kafası ve silindiri, krank presi, dişliler, eğme makinesi çerçevesi, aks, bilumum dişlileri olmak üzere alanlarda kullanılır.
3. Ziraat sektöründe KGDD'ler, traktör parçası, ön tekerlek çatalları, transmisyon kutusu ve pedal gibi alanlarda kullanılmaktadır.
4. İnşaat sektöründe KGDD'ler kreyn parçası, beton karıştırıcılar, yol inşaat makinesi gibi alanlarda kullanılmak üzere üretilmektedir.
5. Kimya sektöründe KGDD'ler kurutma silindiri, valf ve pompalar, plastik ekstrüzyon silindiri, plastik karıştırıcı ve rafineri valfleri gibi alanlarda kullanılmaktadırlar.
6. Güç aktarımında KGDD'ler uçak konstrüksiyonu, diferansiyel dişli kutuları, volan, dişli kutusu, dişli selektör çatalları, tekerlek kalıpları gibi alanlarda kullanılmak üzere üretilmektedir.
7. Güç üretiminde KGDD'ler kompresör gövde ve kafası, gaz türbin kompresör kutusu, kontrol halkası, su türbin parçaları, sıcağa dayanıklı fırın malzemeleri, brülör gövdesi gibi alanlarda kullanılmak üzere üretilmektedir.

İki sınıf KGDD için kullanım alanları örnek verilecek olur ise;

DDK-60 farklı disk, yatak gövdesi, piston, krank, şaft, dayanım ve aşınma gibi özelliklerinin yüksek olması istendiği otomotiv ve uçak malzemeleri, ağır makine parçaları, madencilik, kâğıt ve tekstil sanayi ve çeşitli yerlerde kullanılırken; DDK-42 basınca dayanımı olan malzemelerde, kompresör gövdesi, valf, merdane, bağlantı parçaları, darbeye dayanımı yüksek olması istenen otomotiv parçalarında, dayanım ve süneklik özelliği istendiği parçalarda kullanılmaktadır [25].

2.2.4 KGDD'lere Uygulanan Isıl İşlemler

Birçok ısıl işlem prosesinin uygulanabildiği KGDD'ler, sahip oldukları özellikleri değiştirebilecek formatta üretilirler. Yapısındaki C oranı, alaşım elementi katkısı, dökümhane proseslerinin kontrolü ve ısıl işlemler ile birlikte, yaklaşık sıfırdan %0,80 ve yukseği arasındaki değerlere uyarlanabilir. Böylece mikroyapıları, tümüyle ferrit, perlit+ferrit, tümüyle perlit, martensit, beynit veya tümüyle östenit olabilir.

Üretim şartlarının kontrolü ile ikincil bir işlem olan ısıl işleme gerek kalmadan, standartlara uygun bir KGDD üretilebilmektedir. İstenilen özelliklerin elde edilmesi amacı ile KGDD'lere genel olarak ısıl işlem prosesleri uygulanmaktadır [26].

2.2.4.1 Gerilim Giderme Isıl İşlemi

Bu işlem türü yüksek sıcaklıklarda boyut hassasiyetinin önemli olduğu durumlarda uygulanır. Şekil ve boyuta göre tüm döküm malzemelerin katılaşması sonrasında iç gerilmeler giderilmektedir. İç gerilmelerin maksimum oranda giderilmesi amacı ile malzemeler 538-677°C sıcaklık aralığında kesit kalınlığının tüm 2,5 cm'si için 1 saat olmak üzere tutulur ve 300°C sıcaklığa dek 550°C/saat hız ile sonra havada soğutulur [27].

2.2.4.2 Yumuşatma Isıl İşlemi

Döküm formunda mevcut karbürlerin çözülmesi ve ferritik yapının sağlanabilmesi amacı ile bu ısıl işlem uygulanmaktadır. Karbür çözülmesinin yapılabilmesi amacı ile malzemeler 100 °C/saat'lik ısıtma hızı ile birlikte 900°C'ye

kadar ısıtılmaktadır. İlgili sıcaklıkta 25 mm'lik et kalınlığında ilk olarak 2 saat saat bekletilen malzemenin sonraki 25 mm et kalınlığı için 1 saat bekletilmektedir. Akabinde, malzemeler alt kritik sıcaklığının 55°C altına kadar fırında soğumaya tabi tutulur. İlgili sıcaklıkta 5 saat süresince bekletilmiş olan malzemeler, akabinde havada soğumaya tabi tutularak oda sıcaklığına düşürülür [27].

2.2.4.3 Sertleştirme Isıl İşlemi

Su verme ve temperleme ile normalleştirme proseslerini kapsayan bu ısıl işlem türü için bu iki ısıl işlem çeşidi sıralanabilir.

2.2.4.3.1 Normalleştirme

Yapının östenit haline gelmesi için ihtiyaç duruyuan sıcaklık, eğer karbür var ise 900°C, eğer yok ise A1 sıcaklığının 30°C üstünde seçilmektedir. Bu sıcaklıkta bekleme süresi ise her 2,5 cm için 1 saattir. Soğutma genel olarak hava ortamında yapılmaktadır. 25 cm den fazla kalınlığa sahip olan malzemelerde normalizasyon işleminin kolaylıkla yapılabilmesi amacı ile yapıya %0.5-2 aralığında Cu elementi eklenmektedir. Bu ısıl işlem sonrası nispeten hızlı soğumaya bağlı olarak oluşabilecek gerilimlerin giderilmesi amacı ile akabinde gerilim giderme ısıl işlemi yapılabilir.

Normalleştirme işleminin uygulama şekillerinden birisi ise; ise 900°C'den kritik sıcaklığın (A1) 30°C üstüne kadar fırın ortamında soğutulması ve bu sıcaklıkta belirli bir zaman bekletilmesi şeklindedir [27].

2.2.4.3.2 Su Verme ve Temperleme

Normalleştirme işlemlerine göre malzemedeki meydana gelebilecek çatlak riski sebebi ile genel olarak çok fazla tercih edilmez. Malzemeler, A1 sıcaklığının 50°C üzerinde yaklaşık 1 saat tutulur ve akabinde yaklaşık 100°C'deki yağ banyosunda su verilir. Böylece yapı martenzitik hale gelmektedir. Ayrıca östenit ve martenzit dönüşümünde soğuma hızı ve alaşımlandırma etkilidir [28].

3 DENEYSEL KISIM

3.1 Materyal

Deneylerde kullanılan Küresel Grafitli Dökme Demir malzemeler GGG 40 kalitesindedir. Bu numunelerin boyutlarına ait bilgi Şekil 3.1’de, kimyasal kompozisyon bilgisi Tablo 3.1’de ve mekanik özellikleri ise Tablo 3.2’de verilmiştir.



Çap (mm)	Uzunluk (mm)
36	25

Şekil 3.1 Deneysel çalışmalarda kullanılan küresel grafitli dökme demir numuneleri

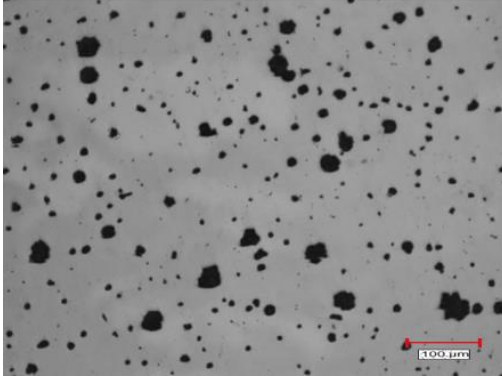
Tablo 3.1 Döküm malzeme kimyasal kompozisyonu

%C	%Si	%S	%Cr	%Cu	%Mn	%Mg	%P
3,725	2,900	0,010	0,050	0,059	0,240	0,074	0,105

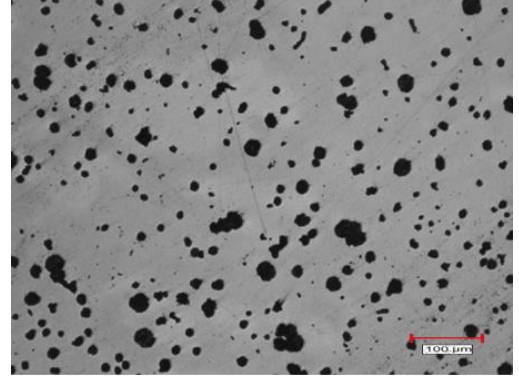
Tablo 3.2 Döküm malzemeye ait mekanik özellikler

Çekme Mukavemeti (MPa)	553
Akma Mukavemeti (MPa)	382
%Uzama	13,1
Sertlik, HB	175

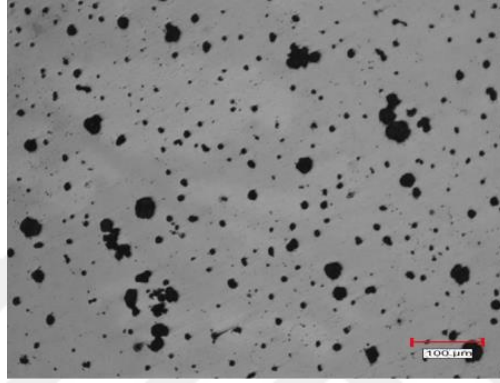
Deneyisel çalışma süresince kullanılan döküm malzemeye ait numunelere 100x büyütmede 3 numuneye uygulanmış metalografik incelemeler neticesinde, parlatılmış yüzeyde elde edilen görüntüler Şekil 3.2’de ve dağlanmış yüzeyden elde edilen görüntüleri ise Şekil 3.3’de verilmiştir.



(a)

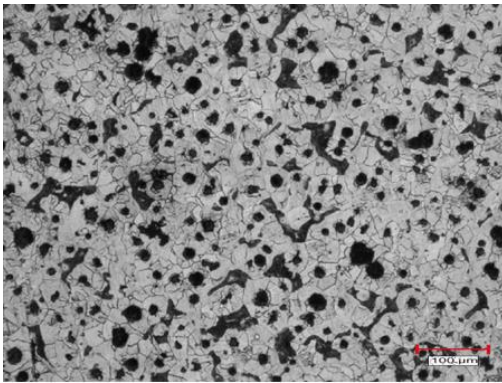


(b)

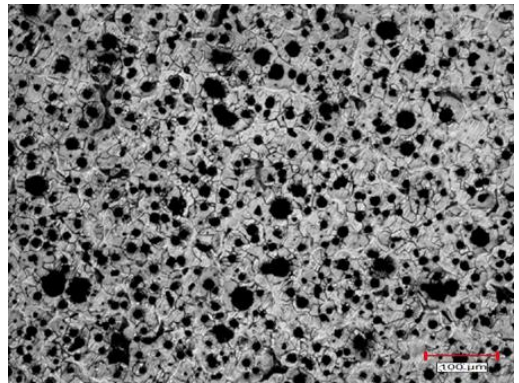


(c)

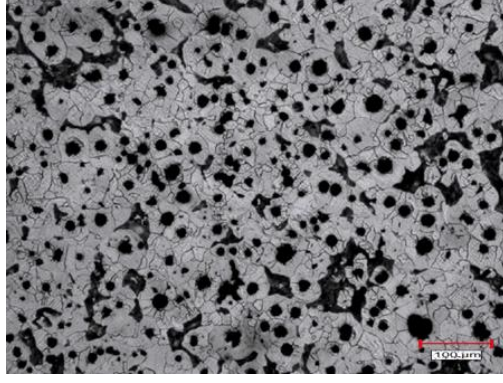
Şekil 3.2 Döküm sonrası küresel grafitli dökme demirlerin 100 x büyütmede inklüzyon görüntüleri; (a) 1. Numune, (b) 2. Numune ve (c) 3. Numune



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.3 Döküm sonrası küresel grafitli dökme demirlerin 100 x büyütmede mikroyapı görüntüleri; (a) 1. Numune, (b) 2. Numune ve (c) 3. Numune

3.2 Yöntem

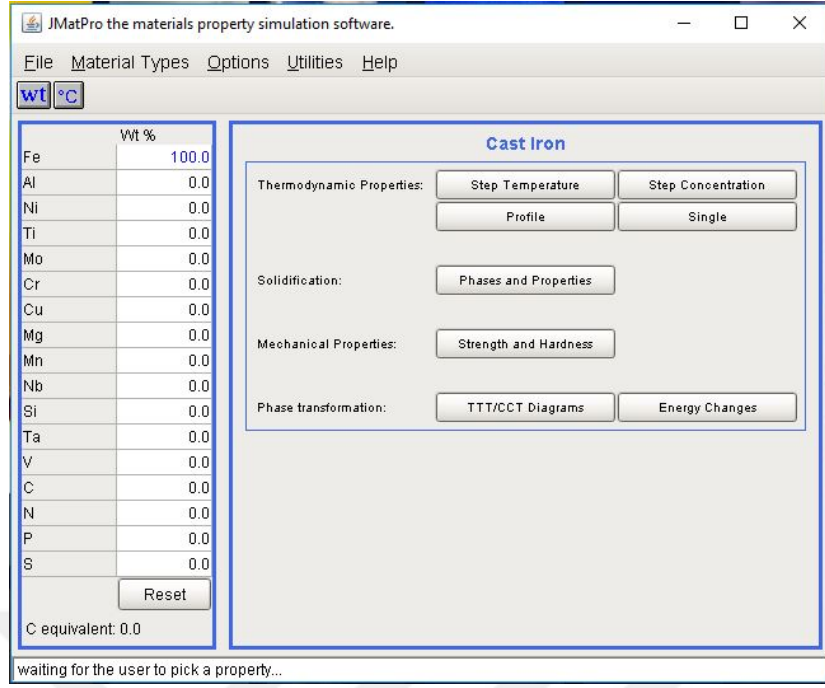
3.2.1 JMatPro Yazılımı

JMatPro, endüstriyel uygulamalarda kullanılmakta olan alaşımlar için çeşitli malzeme özelliklerini hesaplayan simülasyon yazılımıdır. JMatPro kullanarak aşağıdaki malzeme özellikleri elde edilebilir;

- Kararlı ve kararlı faz dengesi
- Katılma davranışı ve özellikleri
- Mekanik özellikler
- Termo-fiziksel ve fiziksel özellikler
- Faz dönüşümleri
- Kimyasal özellikler

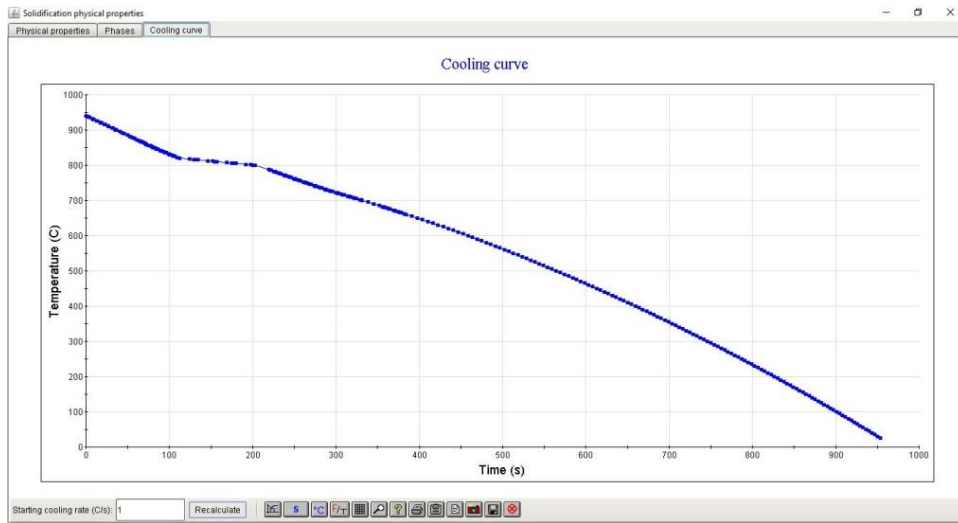


Şekil 3.4 JMatPro yazılımı açılış sayfası

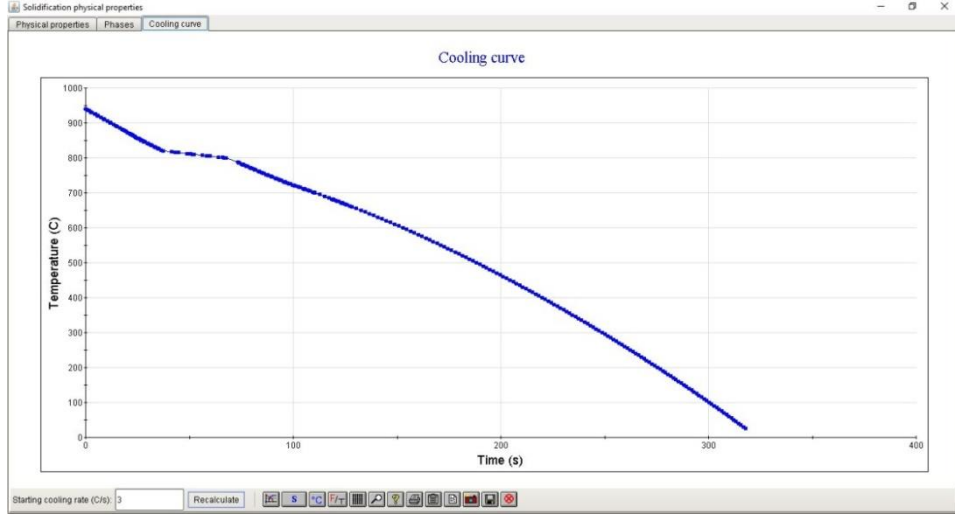


Şekil 3.5 JMatPro yazılımı arayüzü

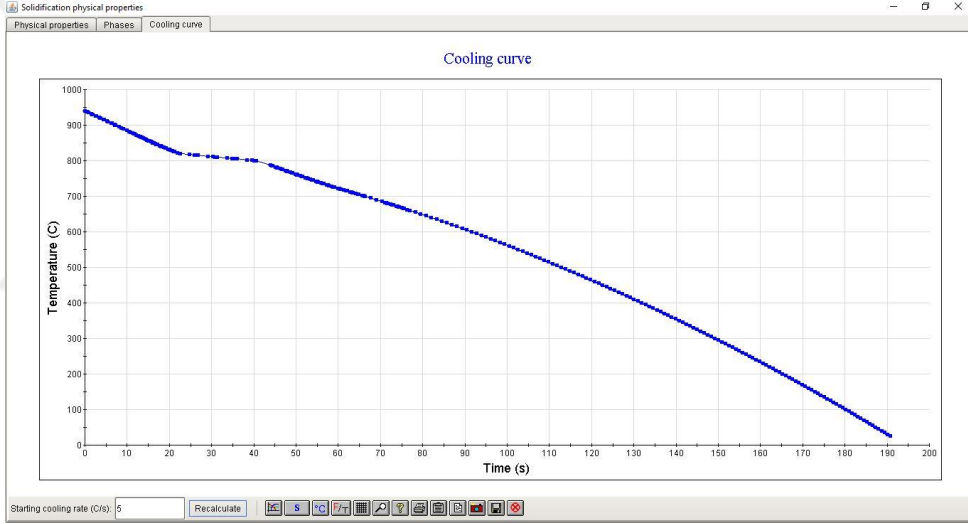
Bu tezde, deney malzemesine ait farklı soğuma şartlarının soğumaya etkisinin incelenmesi ve bu şartlardaki soğutma hızının belirlenmesi aşamasında JMatPro simülasyon yazılımı kullanılmıştır. Bu kapsamda, 1°C/s , 3°C/s ve 5°C/s soğutma hızlarında deney malzemesine ait soğuma eğrileri ve TTT ile CTT diyagramları elde edilmiştir.



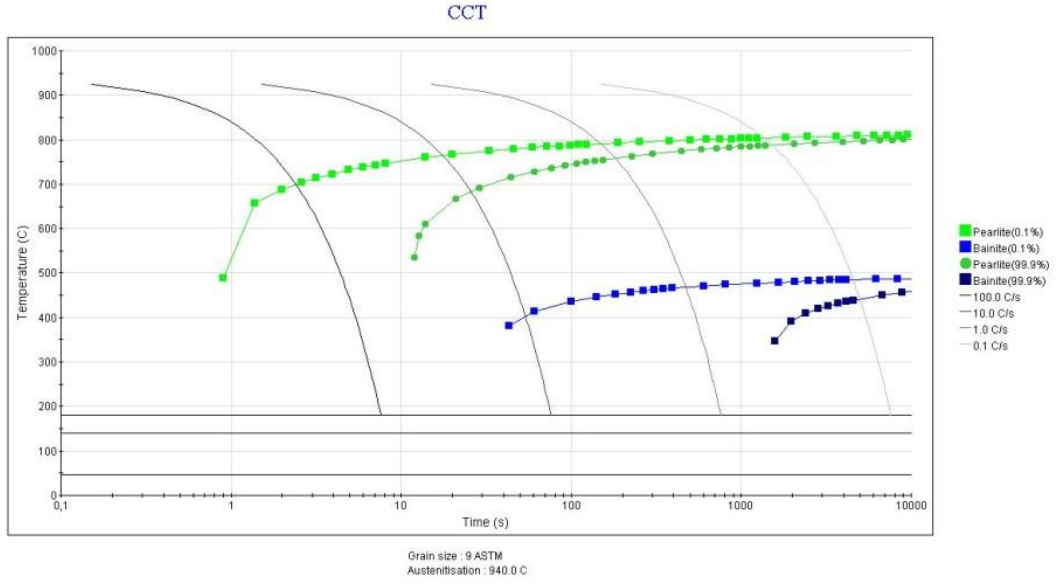
Şekil 3.6 1°C/s soğutma hızında deney malzemesine ait soğuma eğrisi



Şekil 3.7 3°C/s soğutma hızında deney malzemesine ait soğuma eğrisi

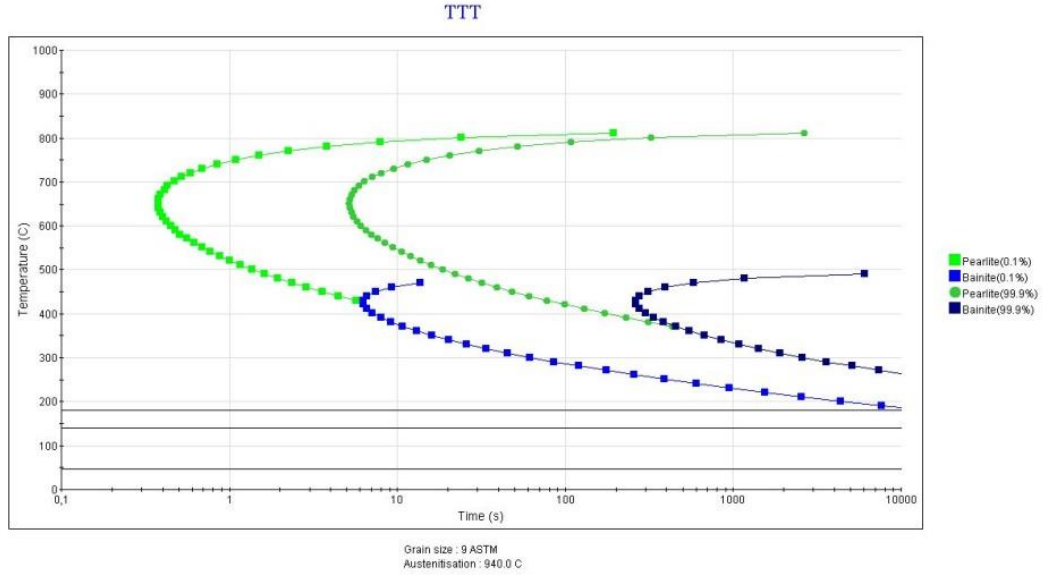


Şekil 3.8 5°C/s soğutma hızında deney malzemesine ait soğuma eğrisi

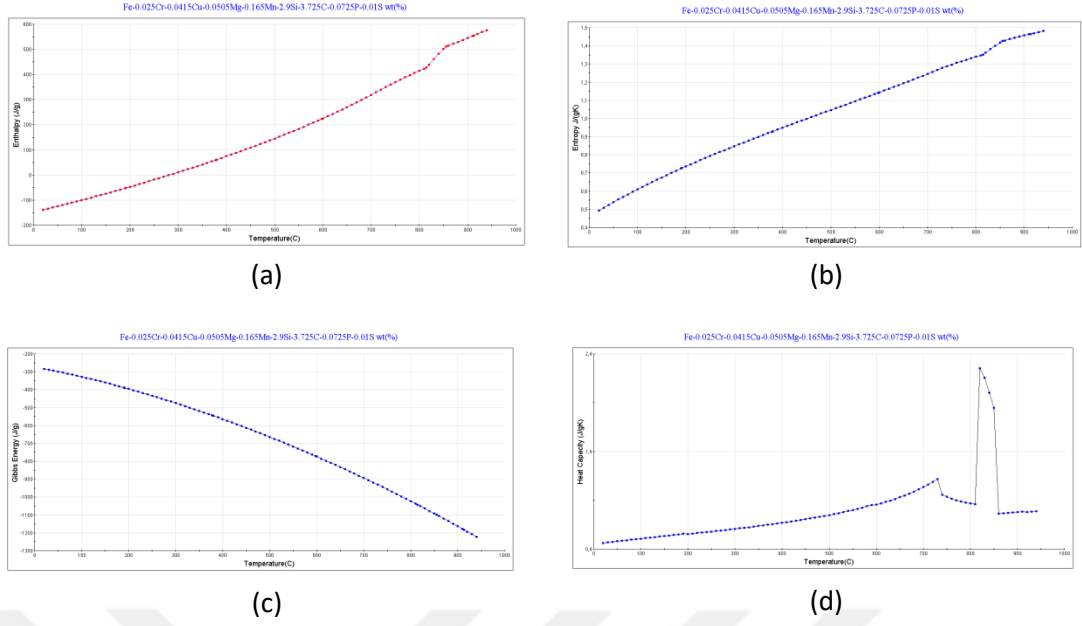


Şekil 3.9 Deney malzemesinin kimyasal kompozisyonuna ait sürekli soğuma dönüşüm diyagramı

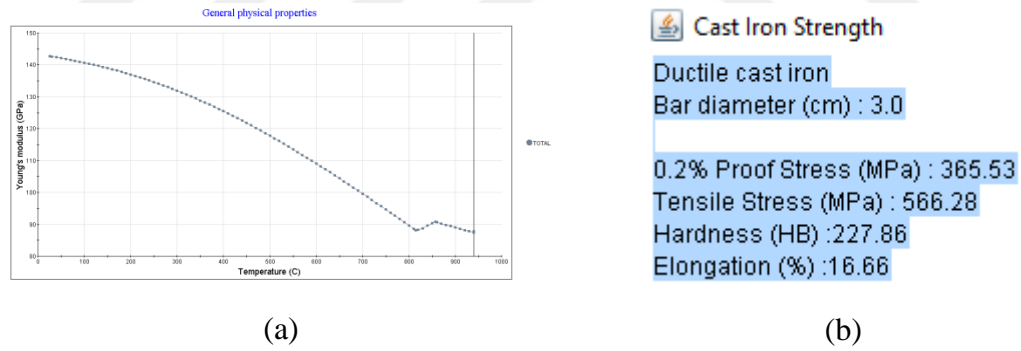
TTT plot



Şekil 3.10 Deney malzemesinin kimyasal kompozisyonuna ait zaman sıcaklık dönüşüm diyagramı



Şekil 3.11 JMatPro yazılımından elde edilen termodinamik özellik çıktıları; (a) Entalpi, (b) Entropi, (c) Gibbs Enerjisi ve (d) Isı Kapasitesi



Şekil 3.12 JMatPro yazılımından elde edilen mekanik özellik çıktıları; (a) Young modülü ve (b) Mekanik özellikler

3.2.2 Soğutma Hızlarının Malzeme Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi Aşamasında Kullanılan Yöntemler

Isıl işlem deneylerinde kullanılmak üzere 36 mm çapında, 25 mm uzunluğundaki silindirik deney numuneleri kullanılmıştır. Deney süresince, 5 farklı

soğuma ortamında 3'er adet deneme yapılabilmesi toplamda 15 adet numune kullanılmıştır.

3.2.2.1 Soğutma Ortamları

DeneySEL çalışma süresince, soğutma ortamı olarak fırın, hava, fan, yağ ve su seçilmiştir. Su soğutma ortamı için 20°C şebeke suyu, yağ soğutma ortamı için "Total Azolla ZS 68" marka yağ ve fan soğutma ortamı için ise 25°C ortam havasında 1x3400 m³/h debili endüstriyel fan kullanılmıştır. Fırın soğutma ortamı olarak Şekil 3.13'de gösterilen ve östenitleme aşamasında kullanılan Protherm marka cihaz kullanılmıştır.



Şekil 3.13 Protherm marka ısı işlem fırını

3.2.2.2 Östenitleme İşlemi

Deneysel çalışma süresince, deney numunelerinin östenitleme işlemlerinde, Şekil 3.13’de verilen elektrikli ısıtım fırını olan Protherm marka cihaz kullanılmıştır. Bu cihaz maksimum 1600°C sıcaklığa çıkabilmekte ve sıcaklığı zamana bağlı olarak kontrol edilebilmektedir. Östenitleme işlemi süresince fırında bekletme süresi ve sıcaklığı Tablo 3.3’te verilmiş olup, belirlenen sıcaklıkta bekletilen numuneler, işlem sonrasında fırından çıkarılarak belirlenen soğutma ortamlarında soğutulmuştur.

Tablo 3.3 Deneysel çalışmalarda kullanılacak ısıtım işlem soğutma ortamları ve östenitlemeye ait içerikler

Soğutma Ortamı	Numune Sayısı	Östenitleme Sıcaklığı (°C)	Bekleme Süresi (dk)
Fırın	3	940°C	38
Hava	3	940°C	38
Fan	3	940°C	38
Yağ	3	940°C	38
Su	3	940°C	38

Numunelerin fırında istenen sıcaklığa ulaşmasının akabinde östenitleme işleminin tamamlanabilmesi amacı ile fırında bekletme süresinin tespiti için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$\text{Bekletme Süresi} = 20 + (D/2) \text{ (Dakika)}$$

Bu formülde; ‘D’ mm olarak deney numunesinin çapını ifade etmektedir [29].

Numuneler 940°C östenitleme sıcaklığına 15,67 °C/dk hız ile çıkarılmıştır. Isıtım işlem sonrasında, metalografik özelliklerin tespiti için numuneler, belirlenen östenitleme sıcaklığında 38’er dakika bekletilmiştir.

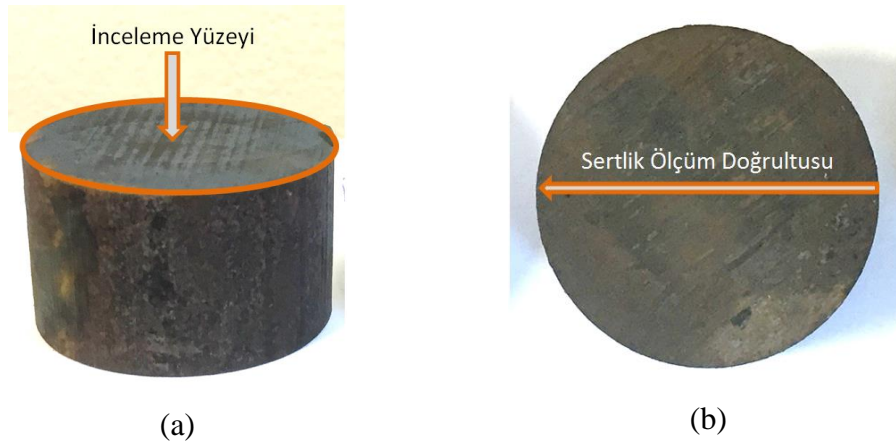
3.2.2.3 Laboratuvar Çalışmaları

3.2.2.3.1 Sertlik Ölçümü

Deneyel çalışmada, ısıl işlem sonrasında soğutma şartlarına bağlı olarak sertlik değişimlerinin tespit edilmesi amacı ile mikro-sertlik testi gerçekleştirilmiştir. Mikro-sertlik ölçümleri için Şekil 3.14’de verilmiş olan Qness marka Q10 model cihaz kullanılmıştır. Bu cihazın uygulayabildiği yük aralığı 50 gr ile 10 kg arasında olup, deneyel çalışma süresince sertlik ölçümlerinde uygulanan yük 1 kg’dır. Isıl işlem uygulanmış 36 mm çapındaki deney numunelerinin kesiti boyunca 0,2 mm’lik aralıklarla ölçümler yapılmıştır. Şekil 3.15’te deney numunelerine uygulanan sertlik ölçümlerinde izlenen doğrultu verilmiştir.



Şekil 3.14 Qness marka Q10 model mikro-sertlik ölçüm cihazı



Şekil 3.15 (a) Numune inceleme yüzeyi ve (b) Mikro-sertlik ölçüm doğrultusu

Ölçüm öncesinde, ısıl işlemleri tamamlanan numuneler metalografik hazırlama yöntemleri ile hazırlanmıştır. Bu kapsamda numuneler sırası ile 120, 240, 320, 600, 800 ve 1200 grid'lik zımparalardan ve 3µm'luk parlatma keçasinden geçirilmiştir.

3.2.2.3.1.1 Sertlik Dönüşüm Hesaplamaları

Deneysel çalışma kapsamında, brinell sertlik dönüşümü için; Şekil 3.16'da verilen sertlik dönüşüm tablosundan vickers/brinell oranı hesaplanmış ve bu oran ile deneysel çalışmada elde edilmiş olan vickers sertlik değerleri kullanılarak brinell değerleri bulunmuştur.

BRINELL SERTLİĞİ	VICKERS SERTLİĞİ	ROCKWELL	ÇEKME DAYANIMI	BRINELL SERTLİĞİ	VICKERS SERTLİĞİ	ROCKWELL	ÇEKME DAYANIMI	BRINELL SERTLİĞİ	VICKERS SERTLİĞİ	ROCKWELL	ÇEKME DAYANIMI
HB	HV	HRc	N/mm ²	HB	HV	HRc	N/mm ²	HB	HV	HRc	N/mm ²
76,0	80	-	265	228	240	20,3	770	(475)	500	49,1	1630
80,7	85	-	270	233	245	21,3	785	(485)	510	49,8	1665
85,5	90	-	285	238	250	22,2	800	(494)	520	50,5	1700
90,2	95	-	305	242	255	23,1	820	(504)	530	51,7	1740
95,0	100	-	320	247	260	24,0	835	(513)	540	51,7	1775
98,8	105	-	335	252	265	24,8	850	(523)	550	52,3	1810
105	110	-	350	257	270	25,6	865	(532)	560	53,0	1845
109	115	-	370	261	275	26,4	880	(542)	570	53,6	1880
114	120	-	385	266	280	27,1	900	(551)	580	54,1	1920
119	125	-	400	271	285	27,8	915	(561)	590	54,7	1955
124	130	-	415	276	290	28,5	930	(570)	600	55,2	1995
128	135	-	430	280	295	29,2	950	(580)	610	55,7	2030
133	140	-	450	285	300	29,8	965	(589)	620	56,3	2070
138	145	-	465	295	310	31,0	995	(599)	630	56,8	2105
143	150	-	480	304	320	32,2	1030	(608)	640	57,3	2145
147	155	-	465	314	330	33,3	1060	(618)	650	57,8	2180
152	160	-	480	323	340	34,4	1095	-	660	58,3	-
156	165	-	530	333	350	35,5	1125	-	670	58,3	-
162	170	-	545	342	360	36,6	1155	-	680	59,2	-
166	175	-	560	352	370	37,7	1190	-	690	59,7	-
171	180	-	575	361	380	38,8	1220	-	700	60,1	-
176	185	-	595	371	390	39,8	1255	-	720	61,0	-
181	190	-	610	380	400	40,8	1290	-	740	61,8	-
185	195	-	625	390	410	41,8	1320	-	760	62,5	-
190	200	-	640	399	420	42,7	1350	-	780	63,3	-
195	205	-	660	409	430	43,6	1385	-	800	64,0	-
199	210	-	675	418	440	44,5	1420	-	820	64,7	-
204	215	-	690	428	450	45,3	1455	-	840	65,3	-
209	220	-	705	437	460	46,1	1485	-	860	65,9	-
214	225	-	720	447	470	46,9	1520	-	880	66,4	-
219	230	-	740	(456)	480	47,7	1555	-	900	67,0	-
223	235	-	755	(466)	490	48,4	1595	-	920	67,5	-

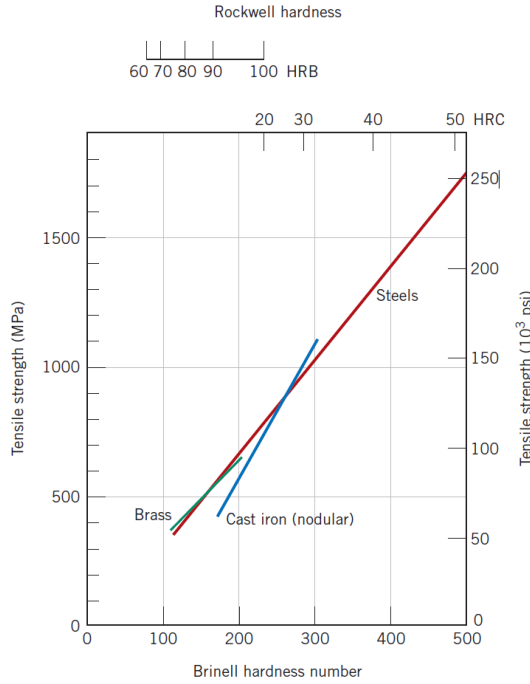
Şekil 3.16 Sertlik dönüşüm çizelgesi [30]

3.2.2.3.1.2 Sertlik-Çekme Mukavemeti Dönüşüm Hesaplamaları

Hem çekme dayanımı hem de sertlik, metalin plastik deformasyona karşı direncinin bir göstergesidir. Sonuç olarak, Şekil 3.17'de gösterildiği gibi, HB'nin dökme demir, çelik ve pirinç için bir fonksiyonu olarak çekme dayanımı için

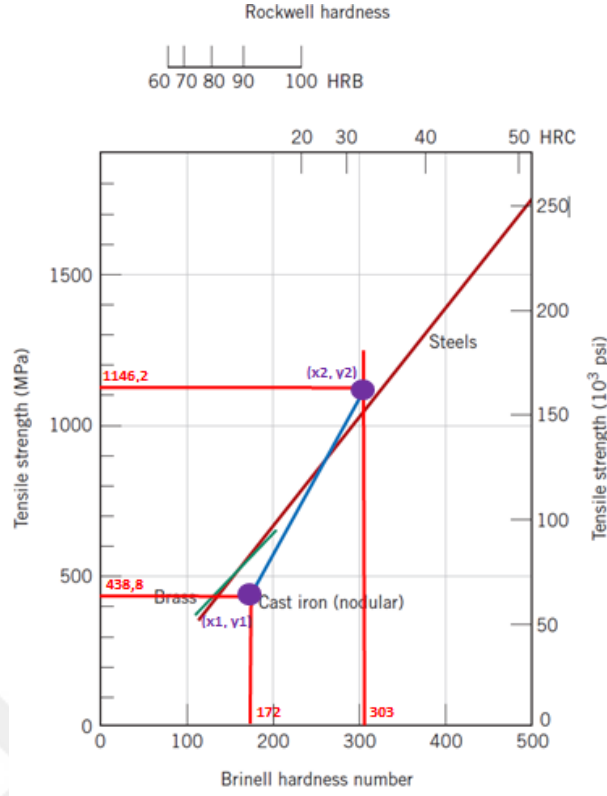
orantılıdır. Şekil 3.17'deki gibi aynı ilişki tüm metaller için geçerli değildir. Çoğu çelik için temel kural olarak, HB ve çekme dayanımı; aşağıdaki formül ile açıklanmaktadır [31].

$$\sigma_c(\text{MPa}) = 3,45 \times \text{HB} \quad (3.1)$$



Şekil 3.17 Çelik, pirinç ve dökme demir için sertlik ve çekme dayanımı arasındaki ilişki [31]

Denklem 3.1'de verilen formül genel olarak çeliklerin sertlik-çekme mukavemeti dönüşümünde kullanılmaktadır. Bu sebep ile dökme demirlerin sertlik-çekme mukavemeti dönüşümünün hesaplanabilmesi için Şekil 3.17'de verilen grafikten yararlanılarak, dökme demir eğrisinin eğimi Şekil 3.18' de gösterildiği gibi elde edilmiştir.



Şekil 3.18 Dökme demirlerin sertlik-çekme mukavemeti dönüşümü hesabı için gerekli noktaların gösterimi

Şekil 3.18 de verilen noktalar kullanılarak, dökme demirler için eğim hesaplanmıştır.

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$m = \frac{1146,2 - 438,8}{303 - 172} = 5,4$$

İki noktası bilinen doğrunun eğimi formülü ve eğriye ait herhangi bir x ve y noktasına ait değerler kullanılarak, dökme demir için sertlik-mukavemet dönüşüm formülü elde edilmiştir. Burada (x, y) için (200, 500) noktası seçilmiştir.

İki noktası verilen doğrunun eğiminden sertlik-mukavemet dönüşüm denkleminin bulunması;

$$y - y' = m (x - x')$$

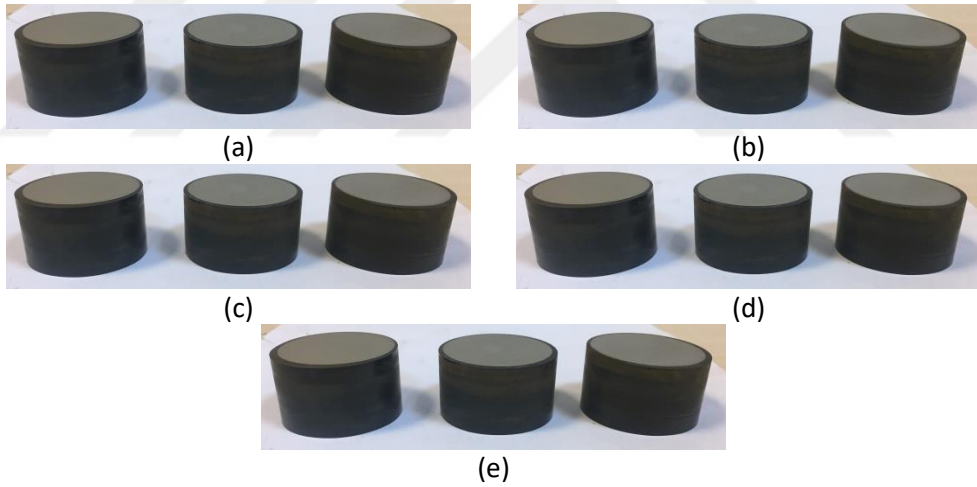
$$y - 590 = 5,4 (x - 200)$$

$$y = 5,4 x - 490$$

$$\sigma_c(\text{MPa}) = 5,4 \text{ HB} - 490 \quad (3.2)$$

3.2.2.3.2 Mikroyapı İncelemeleri

Östenitleme sıcaklığında 38 dk bekletildikten sonra farklı soğuma hızlarında soğutulan numunelerin mikroyapı değişimleri, faz dağılımları ve tane boyutunda meydana gelen değişikliklerin tespit edilmesi için numuneler Şekil 3.19'da ki gibi hazırlanmıştır.



Şekil 3.19 Mikroyapı incelemeleri için hazırlanan numuneler; (a) Fırında soğutma şartlarında, (b) Havada soğutma şartlarında, (c) Fanda soğutma şartlarında, (d) Yağda soğutma şartlarında ve (e) Suda soğutma şartlarında

Mikroyapı incelemeleri için 5 deney grubuna ait toplam 15 adet numune, ısıtma işlem sonrasında Şekil 3.20 (a)'de verilmiş olan ATM marka Opal 410 model sıcak bakalitleme cihazında bakalite alınıp, Şekil 3.20 (b)'de verilmiş olan ATM marka Saphir 530 model parlatma cihazında sırası ile 120, 240, 320, 600, 800 ve 1200

grid'lik zımparalarda zımparalama işlemi uygulanmış ve akabinde $3\mu\text{m}$ 'luk alümina pasta ile parlatılmıştır. Parlatma işlemi sonrasında numuneler %2 nital çözeltisinde dağlanmıştır. Numune hazırlama işlemlerinden sonra mikroyapı görüntüleri Şekil 3.21'de gösterilen Clemex Marka görüntü işleme sistemine sahip Nikon marka Eclipse MA 100 model optik mikroskop ile 100x, 200x ve 500x büyütme yapılarak alınmıştır.



(a)



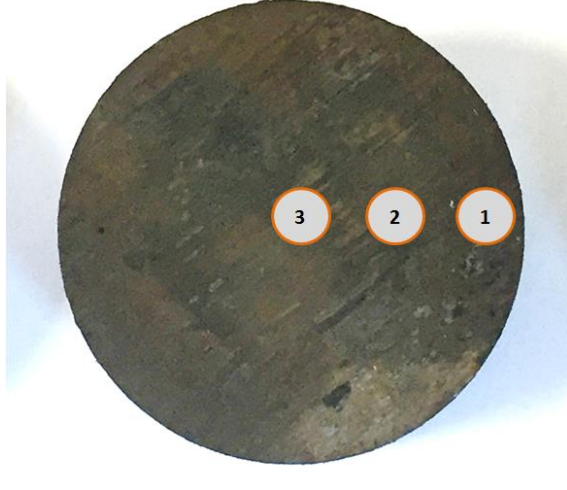
(b)

Şekil 3.20 Numune hazırlama cihazları; (a) ATM marka Opal 410 model sıcak bakalitleme cihazı ve (b) ATM marka Saphir 530 model parlatma cihazında



Şekil 3.21 Nikon marka Eclipse MA 100 model optik mikroskop

Numune hazırlama işlemleri sonrasında, numunelerin mikroyapı incelemeleri Şekil 3.22’de verilmiş olan bölgelerden yapılmıştır.



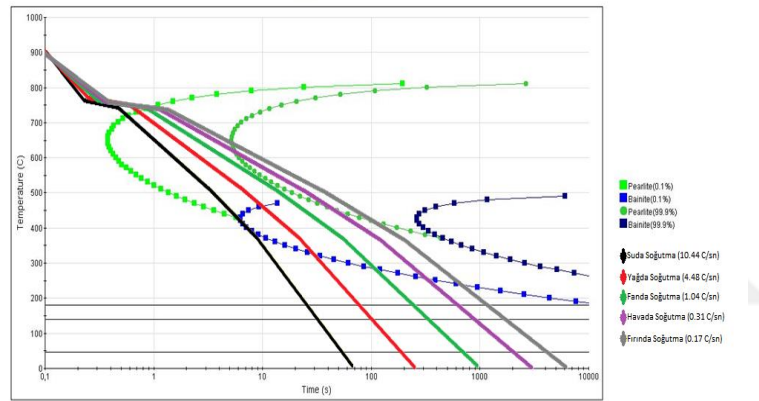
Şekil 3.22 Mikroyapı inceleme bölgeleri

4 ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1 Laboratuvar Çalışma Sonuçları

4.1.1 Sertlik Ölçümü Sonuçları

940°C sıcaklıkta östenitlenen numunelerin fırında, havada, fanda, yağda ve suda yapılan soğutma şartlarına ait soğuma eğrilerinin elde edilmesi için deney boyunca pirometre kullanılarak ölçümler alınmıştır. Ölçülen değerlere göre soğuma eğrileri elde edilmiştir. Bu doğrultuda; fırın ortamında 0,17 °C/sn, hava ortamında 0,31 °C/sn, fan ortamında 1,04 °C/sn, yağ ortamında 4,48 °C/sn ve su ortamında 10,44 °C/sn hızla soğutulmaya bırakıldığı belirlenmiştir.



Şekil 4.1 Deney verilerine göre elde edilen soğuma eğrileri

Elde edilen soğuma hızlarına göre, 10,44 °C/sn ve 4,48 °C/sn soğuma hızlarına sahip deney numuneleri için metalografik inceleme yapıldığında faz dağılımlarının ferritik-beynitik yapı içereceğinden dolayı, yağ ve su ortamlarında soğutulan numunelerin sertlik değerlerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. 0,31 °C/sn ve 1,04 °C/sn soğutma hızlarında faz dağılımları incelendiğinde perlitik ile ferritik yapıların ve 0,17 °C/sn soğutma hızında ise ferritik yapıların oluşacağından dolayı, minimum sertlik değerlerinin elde edilmiştir.

Bu kapsamda, farklı soğuma hızlarında malzeme sertliğinin değişiminin incelenmesi için Vickers mikro-sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Östenitleme sıcaklığına kadar çıkarılmış ve bu sıcaklıkta bekletilmiş ve sonrasında suya atılarak hızlı bir şekilde soğuması sağlanan numunelerde, C atomları hızlı soğutma şartlarının etkisi ile birlikte kafes yapılarını terk edememekte ve bu durumda kafes sistemindeki çarpılmalar nedeniyle bey nitik yapının meydana geleceği öngörülmektedir. Bu durumu şu şekilde de özetlenebilir; içerisinde maksimum oranda karbon çözüdürebilen ostenit fazı, su soğutma şartları ile birlikte, içerisinde aşağı yukarı hiç karbon çözüdüremeyen ferritik faza dönüşmez. Aksine Şekil 4.1’de verilen diyagramdan da görüleceği gibi hızlı soğutma etkisi ile birlikte, ostenit faz gerekli soğuma hızı ile bey nitik-martenzitik faz elde edilmiştir.

Su ile hızlı soğutulan numunelere ait ölçülen değerlere ait veriler Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1 Su soğuma şartlarındaki vickers sertlik değişimleri

Soğutma Grubu	Numune Sırası	HV 1 Sertlik Değerleri		
		Maksimum	Minimum	Ortalama
Suda Soğutma	1	680	397	517,47
	2	668	402	517,63
	3	687	390	520,38
	1,2 ve 3 Ortalama	678,33	396,33	518,49

Su ortamında soğutulan numunelerin HV 1 sertlik verileri incelendiğinde, minimum ve maksimum değerlere göre elde edilen değerlerin çok fazla değişmediği gözlemlenirken, genel olarak değerlendirildiğinde ortalama sertlik değerinin 518,49 HV 1 yani yaklaşık 519 HV 1’dir.

Yağ ortamında soğutma işlemlerinde ise suda soğutma işlemi elde edilen martenzitik yapının yağ ortamında daha düşük seviyelerde olduğu Şekil 4.1’de verilen CCT diyagramında görülmektedir. 940°C’de 38 dakika süre ile östenitlenen numuneler 4,48 °C/sn soğutma hızı ile soğutulmuş ve ilgili numunelere mikro-sertlik ölçümü yapılmıştır. Yapılan ölçüm sonrasında elde edilen sertlik ölçüm verileri ise Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2 Yağ soğuma şartlarındaki vickers sertlik değişimleri

Soğutma Grubu	Numune Sırası	HV 1 Sertlik Değerleri		
		Maksimum	Minimum	Ortalama
Yağda Soğutma	1	561	262	395,49
	2	560	289	405,76
	3	571	276	408,11
	1,2 ve 3 Ortalama	556,33	282,33	403,12

Yağda soğutma sonrasında numuneler uygulanan sertlik testi sonuçları ve dağılımları değerlendirildiğinde; her numunenin maksimum ve minimum değerlerinin birbirlerine göre çok fazla değişmediği görülmektedir. Suda soğutulan numunelerin ortalama sertlik değerleri ile karşılaştırıldığında, suda soğutmada yaklaşık olarak 519 HV 1 iken yağda soğutmada ise yaklaşık olarak 403 HV 1'dir. Bu durumda soğuma hızlarına göre değerlendirildiğinde, hızlı soğutma ile birlikte sertlik değerlerinde artma gözlemlenebileceği açıktır.

940°C'de 38 dakika süre ile östenitlenen numunelerin fanda soğutulması (soğuma hızı 1,04 °C/sn) sonrasında uygulanan sertlik ölçümleri sonucunda elde edilen maksimum, minimum ve ortalama sertlik değerleri ise Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3 Fan soğuma şartlarındaki vickers sertlik değişimleri

Soğutma Grubu	Numune Sırası	HV 1 Sertlik Değerleri		
		Maksimum	Minimum	Ortalama
Fanda Soğutma	1	362	224	290,57
	2	360	230	291,83
	3	360	235	290,58
	1,2 ve 3 Ortalama	355,33	235,67	290,99

Tablo 4.3 değerlendirildiğinde, fan soğutma ortamında soğutulan numunelerin ortalama sertlik değerinin, suda ve yağda soğutulan numunelerin sertlik değerlerinden daha düşük olacağı görülmektedir.

940°C'de 38 dakika süre ile östenitlenen numunelerin havada soğutulması (soğuma hızı 0,31 °C/s) sonrasında uygulanan mikro-sertlik ölçümlerinde elde edilen maksimum, minimum ve ortalama değerler ise Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4 Havada soğuma şartlarındaki vickers sertlik değişimleri

Soğutma Grubu	Numune Sırası	HV 1 Sertlik Değerleri		
		Maksimum	Minimum	Ortalama
Havada Soğutma	1	305	177	219,39
	2	302	170	217,45
	3	310	170	220,9
	1,2 ve 3 Ortalama	305	173	219,25

Tablo 4.4 değerlendirildiğinde, hava soğutma ortamında soğutulan numunelerin ortalama sertlik değerinin, suda, yağda ve fanda soğutulan numunelerin sertlik değerlerinden daha düşük olacağı görülmektedir.

940°C’de 38 dakika süre ile östenitlenen numunelerin fırında soğutulması (soğuma hızı 0,17 °C/sn) sonrasında uygulanan mikro-sertlik ölçümlerinde elde edilen maksimum, minimum ve ortalama değerler ise Tablo 4.5’te verilmiştir.

Tablo 4.5 Fırında soğuma şartlarındaki vickers sertlik değişimleri

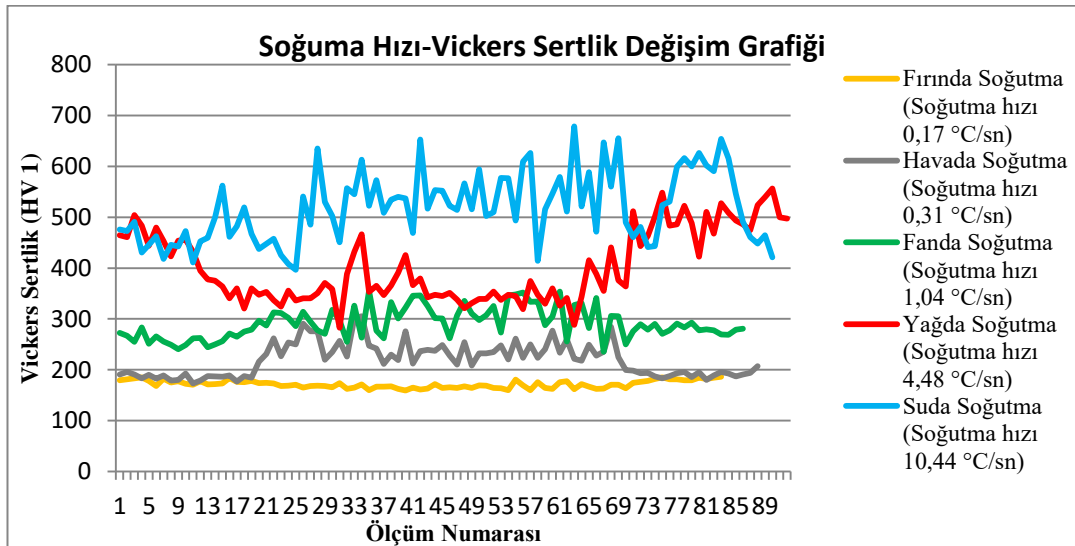
Soğutma Grubu	Numune Sırası	HV 1 Sertlik Değerleri		
		Maksimum	Minimum	Ortalama
Fırında Soğutma	1	186	152	169,86
	2	186	157	171,92
	3	188	160	173,02
	1,2 ve 3 Ortalama	186,33	159,33	171,6

Tablo 4.5 değerlendirildiğinde, fırın soğutma ortamında soğutulan numunelerin ortalama sertlik değerinin, suda, yağda, fanda ve fırında soğutulan numunelerin sertlik değerlerinden daha düşük olacağı görülmektedir.

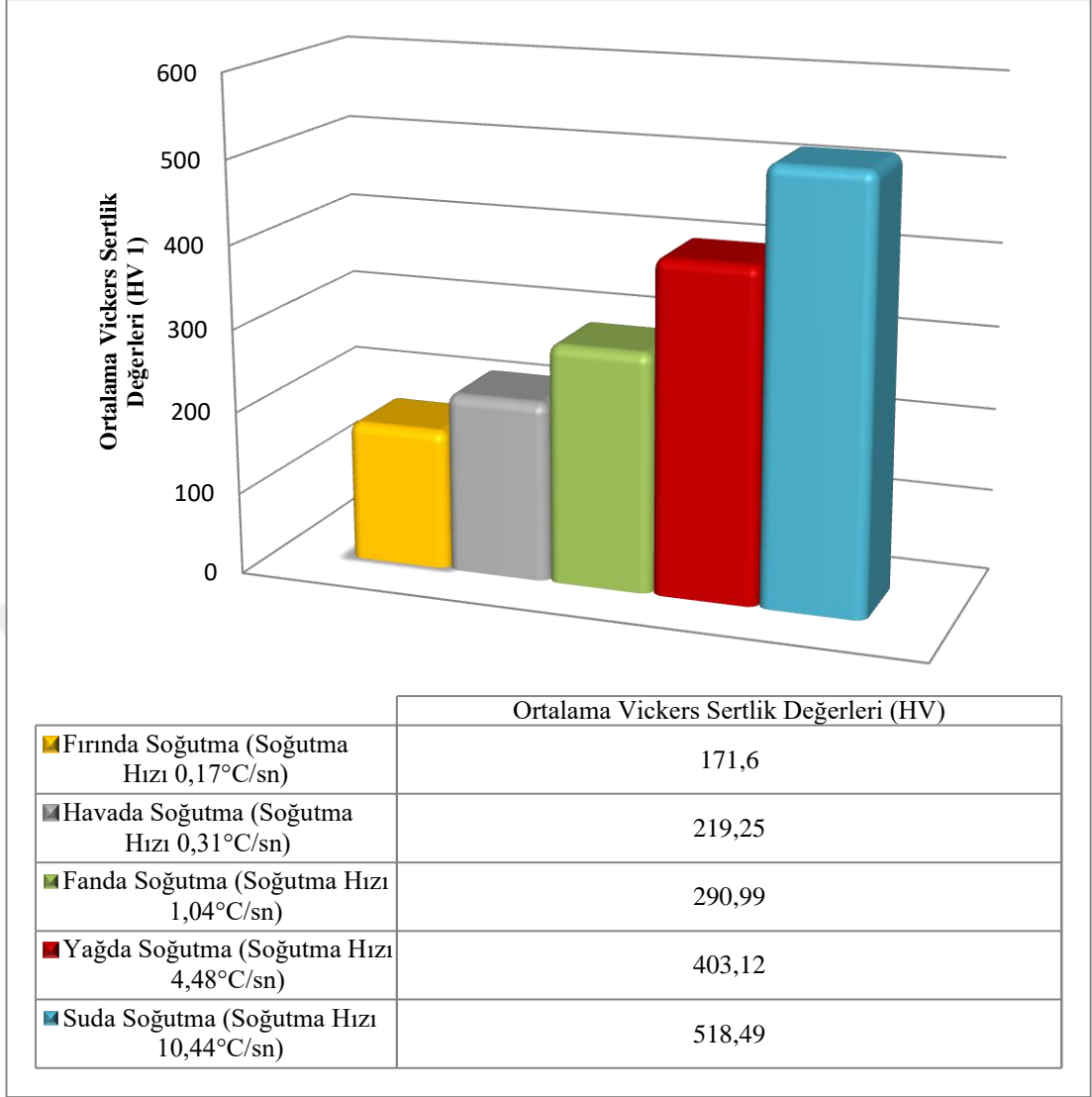
Farklı soğuma ortamlarında soğutulmuş numunelere uygulanmış sertlik ölçümleri sonuçları incelendiğinde, soğuma hızındaki artışın sertliği arttırdığı görülmektedir. Bu durumda, farklı soğuma şartlarında soğutulmuş numunelerin ortalama sertlik değerleri Şekil 4.2’de, sertlik verilerinin kıyaslandığı grafik Şekil 4.3’deki grafikte, sertlik testinde ölçülen maksimum, minimum ve ortalama sertlik değerleri Tablo 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.6 Farklı soğuma şartlarındaki vickers sertlik değişimleri

Soğutma Grubu	Numune Sırası	HV 1 Sertlik Değerleri		
		Maksimum	Minimum	Ortalama
Fırında Soğutma (Soğutma Hızı 0,17°C/sn)	1	186	152	169,86
	2	186	157	171,92
	3	188	160	173,02
	1,2 ve 3 Ortalama	186,33	159,33	171,6
Havada Soğutma (Soğutma Hızı 0,31°C/sn)	1	305	177	219,39
	2	302	170	217,45
	3	310	170	220,9
	1,2 ve 3 Ortalama	305	173	219,25
Fanda Soğutma (Soğutma Hızı 1,04°C/sn)	1	362	224	290,57
	2	360	230	291,83
	3	360	235	290,58
	1,2 ve 3 Ortalama	355,33	235,67	290,99
Yağda Soğutma (Soğutma Hızı 4,48°C/sn)	1	561	262	395,49
	2	560	289	405,76
	3	571	276	408,11
	1,2 ve 3 Ortalama	556,33	282,33	403,12
Suda Soğutma (Soğutma Hızı 10,44°C/sn)	1	680	397	517,47
	2	668	402	517,63
	3	687	390	520,38
	1,2 ve 3 Ortalama	678,33	396,33	518,49



Şekil 4.2 Farklı soğuma şartlarındaki ortalama vickers sertlik verileri



Şekil 4.3 Farklı soğuma şartlarındaki ortalama vickers sertlik verilerinin kıyaslanması

Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Tablo 4.6'daki veriler incelendiğinde, soğuma hızının artması sonucunda malzeme içyapısında beynitik fazın oluşması sebebi ile sertlik değerlerinde artış yaşanmıştır. Ayrıca soğuma hızının artması ile birlikte tane boyutlarında da küçülme meydana gelir. Bu durumda artan tane sınırları ile dislokasyon hareketleri zorlanır ve tane sınırlarında dislokasyon yığılmaları meydana gelir. Böylece sertliğe ek olarak mukavemette de artış gözlemlenir.

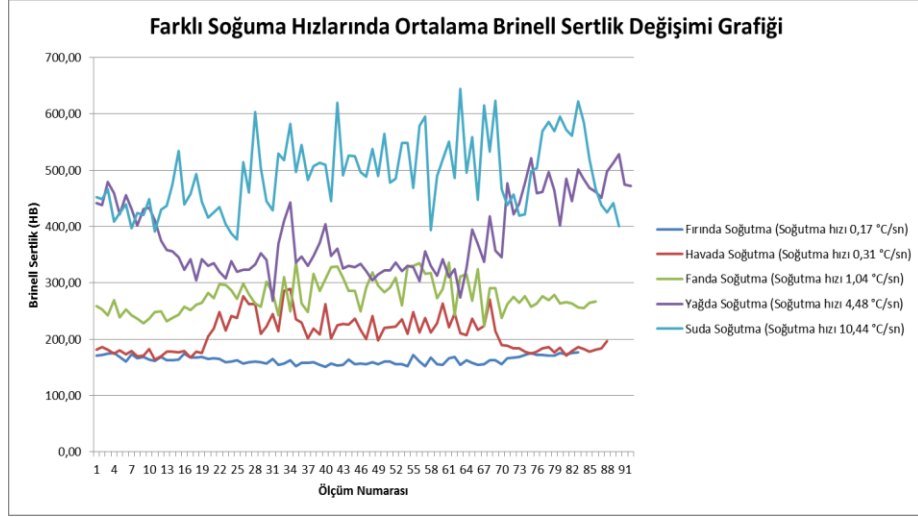
4.1.1.1 Sertlik Dönüşüm Hesaplama Sonuçları

940°C'de 38 dakika süre ile östenitlenen numunelerin farklı soğuma hızlarında soğutulması sonrasında uygulanan mikro-sertlik ölçümlerinde sonucunda

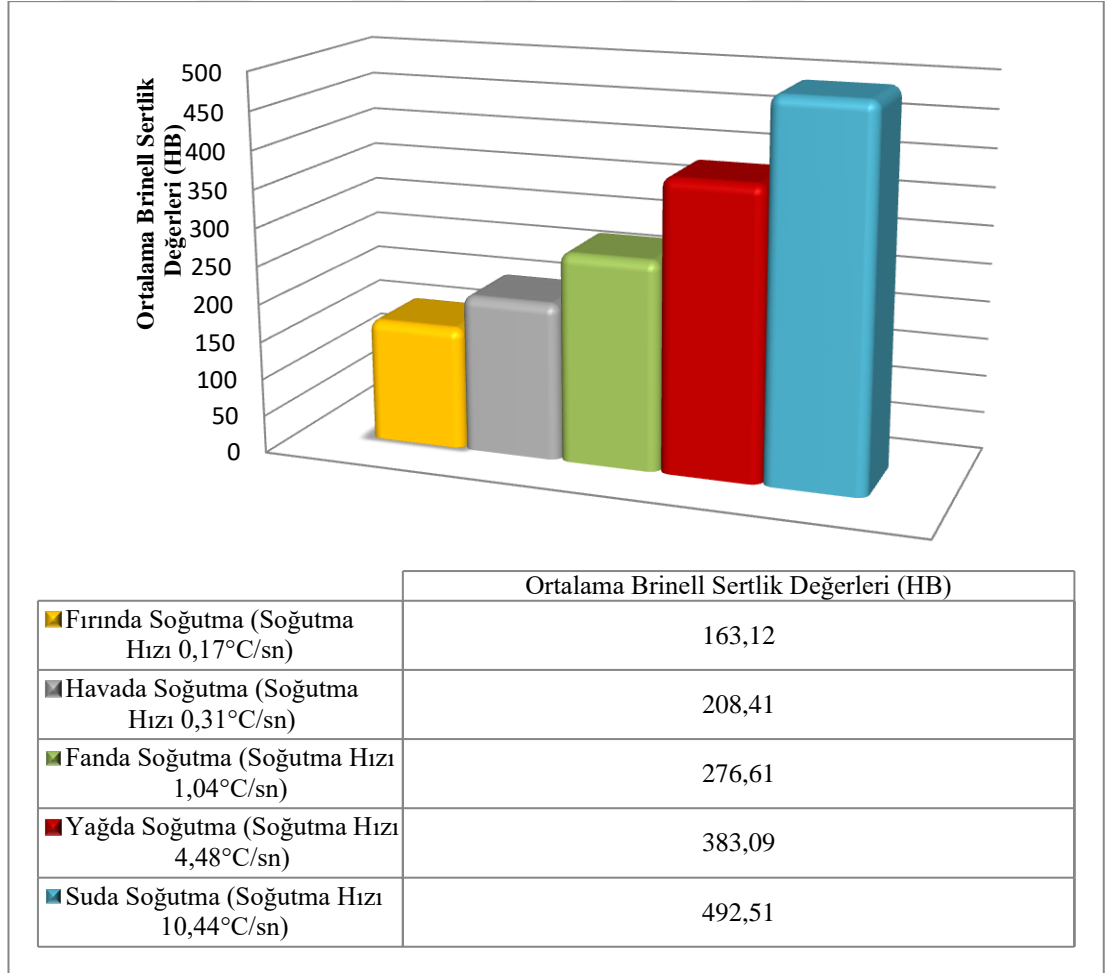
elde edilen vickers sertlik değerleri, Şekil 3.16'dan elde edilen 1.052 Vickers/Brinell oranına bölünmüŐ ve brinell değerleri elde edilmiştir. Elde edilen brinell sertlik değerlerine ait elde edilen grafikler Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te ve llen maksimum, minimum ve ortalama değerler ise Tablo 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4.7 Sertlik dönüşümü ile hesaplanan farklı soğutma hızlarındaki brinell sertlik değerleri

Soğutma Grubu	Numune Sırası	Brinell Sertlik Değerleri		
		Maksimum	Minimum	Ortalama
Fırında Soğutma (Soğutma Hızı 0,17°C/sn)	1	176,81	144,49	161,46
	2	176,81	149,24	163,42
	3	178,71	152,09	164,47
	1, 2 ve 3 Ortalama	177,12	151,46	163,12
Havada Soğutma (Soğutma Hızı 0,31°C/sn)	1	289,92	168,25	208,54
	2	287,07	161,60	206,71
	3	294,68	161,60	209,98
	1, 2 ve 3 Ortalama	289,92	164,45	208,41
Fanda Soğutma (Soğutma Hızı 1,04°C/sn)	1	344,11	212,93	276,21
	2	342,21	218,63	277,40
	3	342,21	223,38	276,22
	1, 2 ve 3 Ortalama	337,77	224,02	276,61
Yağda Soğutma (Soğutma Hızı 4,48°C/sn)	1	533,27	249,05	375,94
	2	532,32	274,71	385,70
	3	542,78	262,36	387,63
	1, 2 ve 3 Ortalama	528,83	268,38	383,09
Suda Soğutma (Soğutma Hızı 10,44°C/sn)	1	646,39	377,38	491,89
	2	634,98	382,13	490,99
	3	653,04	370,72	494,66
	1, 2 ve 3 Ortalama	644,80	376,74	492,51



Şekil 4.4 Farklı soğuma şartlarındaki ortalama brinell sertlik verileri



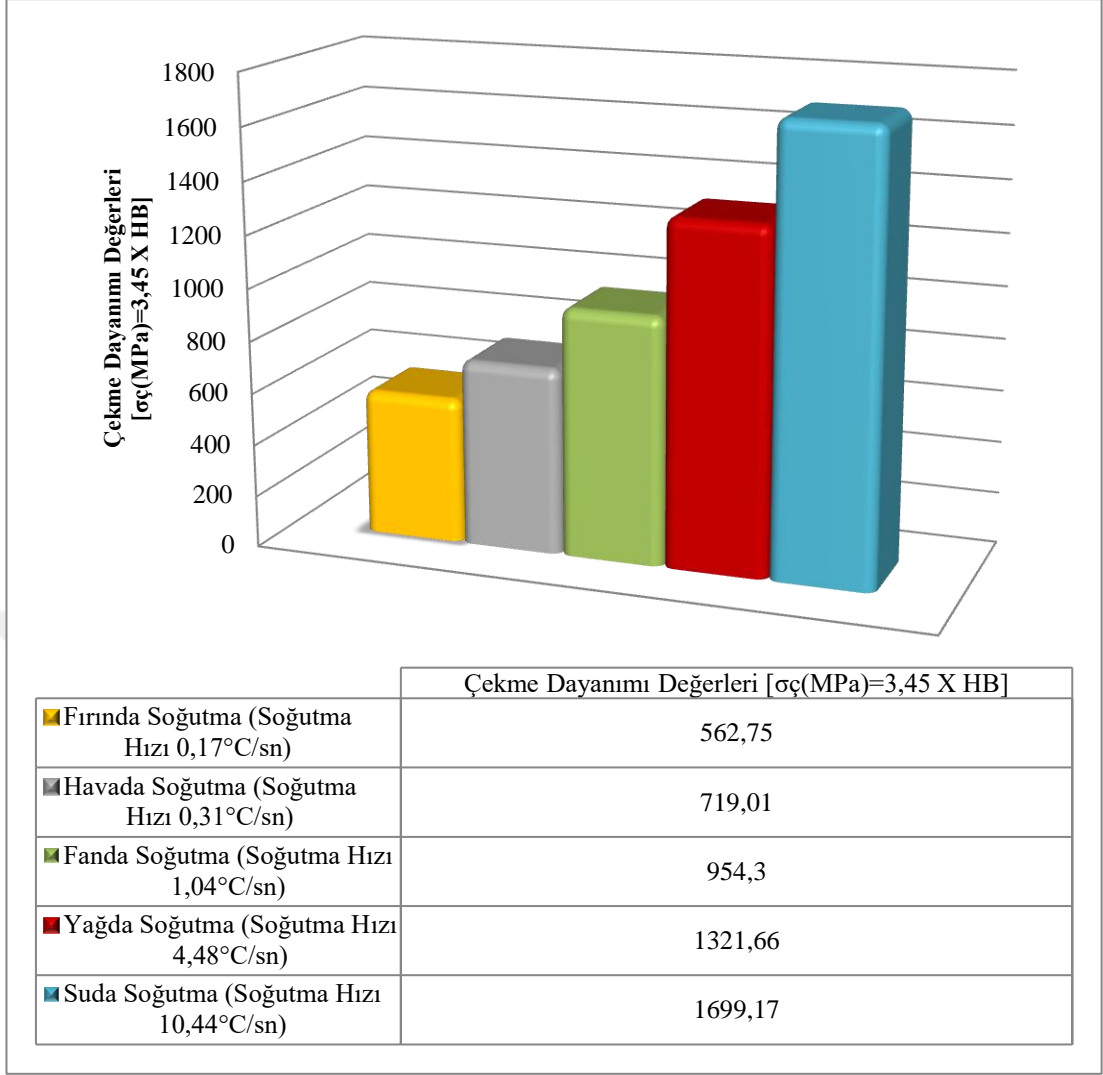
Şekil 4.5 Farklı soğuma şartlarındaki ortalama brinell sertlik verilerinin kıyaslanması

4.1.1.2 Sertlik-Çekme Mukavemeti Dönüşüm Hesaplama Sonuçları

940°C’de 38 dakika süre ile östenitlenen numunelerin farklı soğuma hızlarında soğutulması sonrasında uygulanan mikro-sertlik ölçümlerinde sonucunda elde edilen vickers sertlik değerlerinin brinell sertlik değerlerine dönüştürülmesinden sonra, Denklem 3.1’de verilen sertlik-çekme mukavemeti formülü kullanılarak elde edilen çekme mukavemeti değerleri Tablo 4.8’de ve bu değerlere ait grafik Şekil 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.8 Denklem 3.1 ile hesaplanan farklı soğuma hızlarındaki çekme mukavemeti değerleri [$\sigma_c(\text{MPa})=3,45 \times \text{HB}$]

Soğutma Grubu	Numune Sırası	Çekme Mukavemeti Değerleri [$\sigma_c(\text{Mpa})=3,45 \times \text{HB}$]		
		Maksimum	Minimum	Ortalama
Fırında Soğutma (Soğutma Hızı 0,17°C/sn)	1	609,98	498,48	557,04
	2	609,98	514,88	563,79
	3	616,54	524,71	567,43
	1, 2 ve 3 Ortalama	611,07	522,53	562,75
Havada Soğutma (Soğutma Hızı 0,31°C/sn)	1	1000,24	580,47	719,47
	2	990,40	557,51	713,14
	3	1016,63	557,51	724,43
	1, 2 ve 3 Ortalama	1000,24	567,35	719,01
Fanda Soğutma (Soğutma Hızı 1,04°C/sn)	1	1187,17	734,60	952,91
	2	1180,61	754,28	957,03
	3	1180,61	770,67	952,95
	1, 2 ve 3 Ortalama	1165,29	772,86	954,30
Yağda Soğutma (Soğutma Hızı 4,48°C/sn)	1	1839,78	859,22	1296,99
	2	1836,50	947,77	1330,68
	3	1872,58	905,13	1337,31
	1, 2 ve 3 Ortalama	1824,47	925,90	1321,66
Suda Soğutma (Soğutma Hızı 10,44°C/sn)	1	2230,04	1301,95	1697,02
	2	2190,68	1318,35	1693,92
	3	2252,99	1278,99	1706,56
	1, 2 ve 3 Ortalama	2224,57	1299,76	1699,17

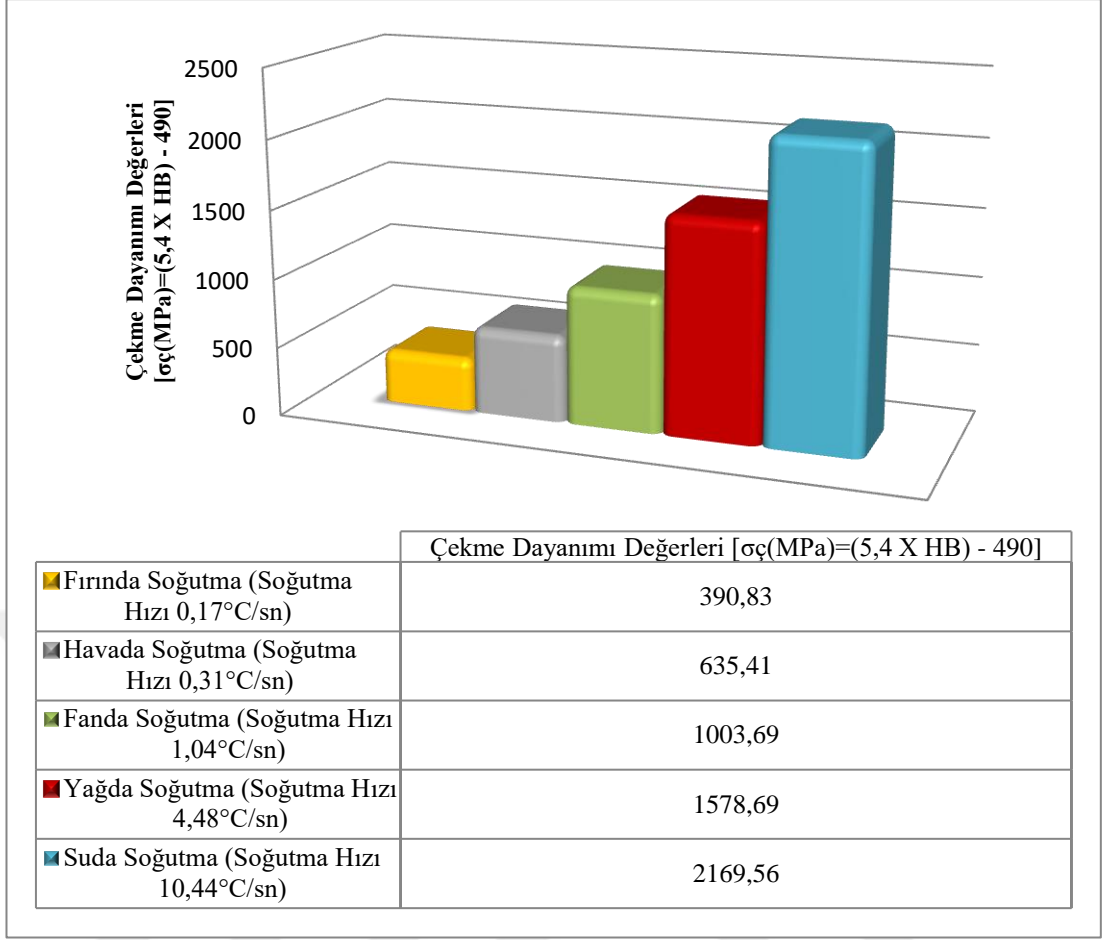


Şekil 4.6 Farklı soğuma şartlarındaki Denklem 3.1'e göre hesaplanan ortalama çekme mukavemeti verileri $\sigma_c(\text{MPa})=3,45 \times \text{HB}$

940°C'de 38 dakika süre ile östenitlenen numunelerin farklı soğuma hızlarında soğutulması sonrasında uygulanan mikro-sertlik ölçümlerinde sonucunda elde edilen vickers sertlik değerlerinin brinell sertlik değerlerine dönüştürülmesinden sonra, Denklem 3.2'de verilen sertlik-çekme mukavemeti formülü kullanılarak elde edilen çekme mukavemeti değerleri Tablo 4.9'da ve bu değerlere ait grafik Şekil 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4.9 Denklem 3.2 ile hesaplanan farklı soğuma hızlarındaki çekme mukavemeti değerleri [$\sigma_c(\text{MPa})=(5,4 \times \text{HB}) - 490$]

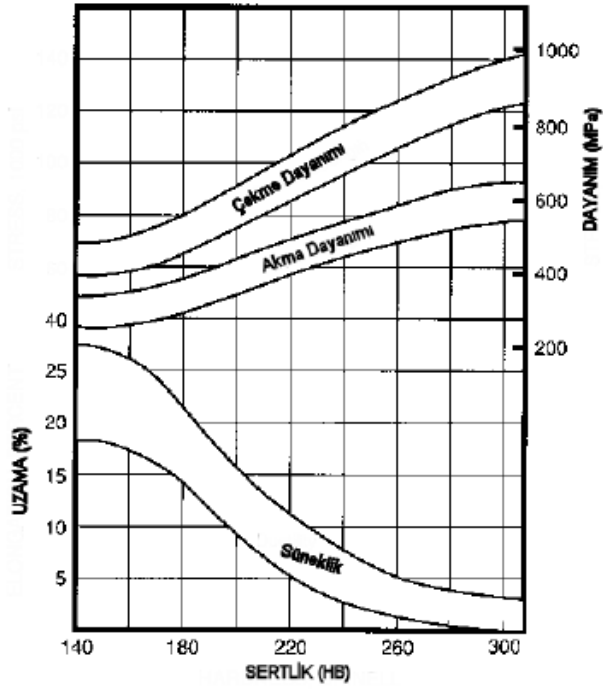
Soğutma Grubu	Numune Sırası	Çekme Mukavemeti Değerleri [$\sigma_c(\text{MPa})=(5,4 \times \text{HB}) - 490$]		
		Maksimum	Minimum	Ortalama
Fırında Soğutma (Soğutma Hızı 0,17°C/sn)	1	464,75	290,23	381,88
	2	464,75	315,89	392,46
	3	475,02	331,29	398,15
	1, 2 ve 3 Ortalama	466,46	327,87	390,83
Havada Soğutma (Soğutma Hızı 0,31°C/sn)	1	1075,59	418,56	636,13
	2	1060,19	382,62	626,21
	3	1101,25	382,62	643,89
	1, 2 ve 3 Ortalama	1075,59	398,02	635,41
Fanda Soğutma (Soğutma Hızı 1,04°C/sn)	1	1368,17	659,81	1001,52
	2	1357,91	690,61	1007,96
	3	1357,91	716,27	1001,58
	1, 2 ve 3 Ortalama	1333,94	719,70	1003,69
Yağda Soğutma (Soğutma Hızı 4,48°C/sn)	1	2389,66	854,87	1540,08
	2	2384,52	993,46	1592,80
	3	2440,99	926,73	1603,18
	1, 2 ve 3 Ortalama	2365,69	959,24	1578,69
Suda Soğutma (Soğutma Hızı 10,44°C/sn)	1	3000,49	1547,83	2166,20
	2	2938,90	1573,50	2161,35
	3	3036,43	1511,90	2181,14
	1, 2 ve 3 Ortalama	2991,94	1544,41	2169,56



Şekil 4.7 Farklı soğuma şartlarındaki Denklem 3.2'e göre hesaplanan ortalama çekme mukavemeti verileri [$\sigma_{\text{ç}}(\text{MPa})=(5,4 \times \text{HB}) - 490$]

Erdoğdu Güzel tarafında 2012 yılında yapılan yüksek lisans tezinde, verilen küresel grafitli dökme demirlerin sertlik ve dayanımı ilişkisi gösteren ve Şekil 4.8'de verilen grafik ile artan sertlik sonucunda çekme mukavemetinde arttığı görülmektedir.

Yüksek lisans tez çalışmasında formüle dayalı olarak hesaplanan çekme dayanımı değerlerinin, artan sertlik ile artacağı tespit edilmiş olup, E.Güzel'in tezinde yer alan Şekil 4.8'de verilen grafik ile kıyaslandığında elde edilen çıktılarının doğru olabileceği öngörülebilir.



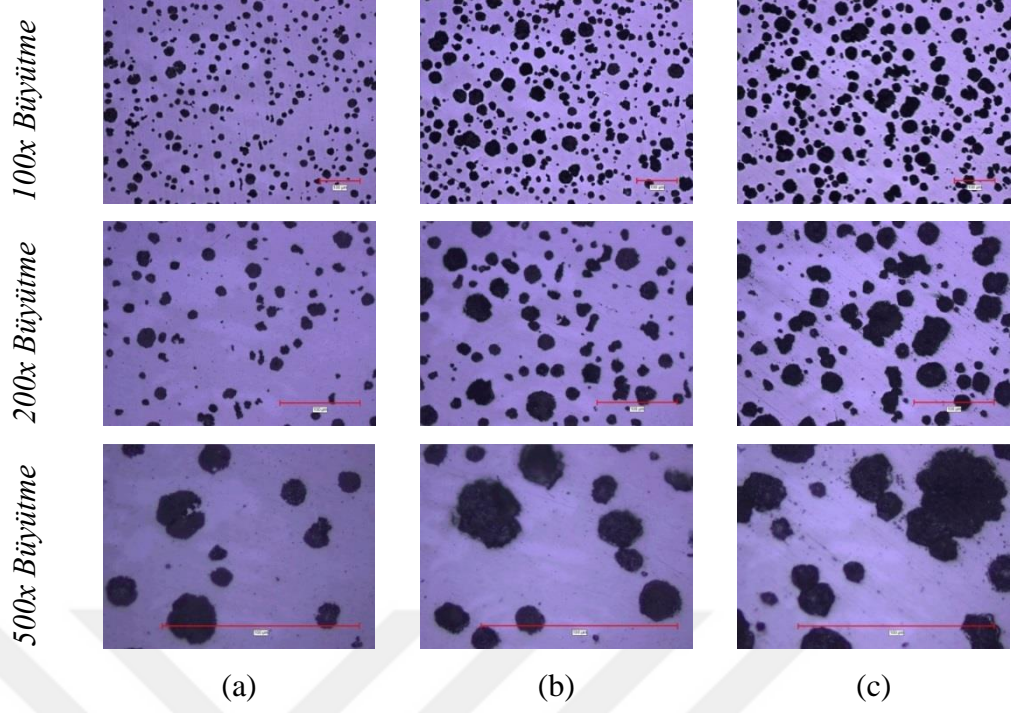
Şekil 4.8 KGDD'lerde sertlik ve dayanım arasındaki ilişki [32]

4.1.2 Mikroyapı İnceleme Sonuçları

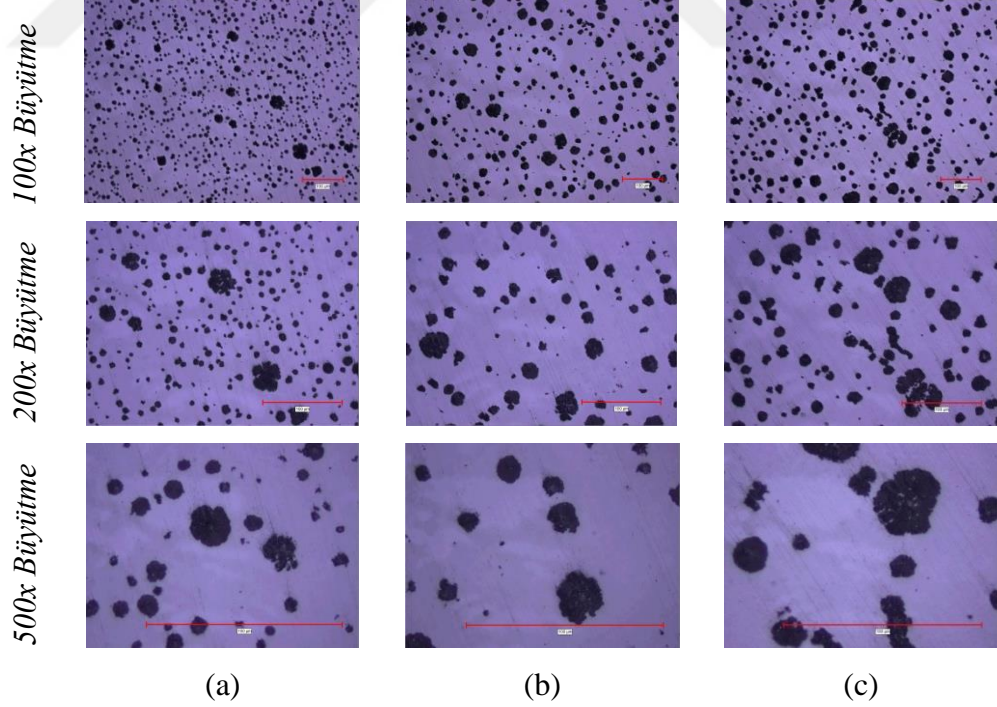
940°C'de östenitleme sıcaklığında 38 dakika bekletildikten sonra farklı soğuma şartlarında soğutulan deney parçalarında meydana gelen mikroyapı değişimlerinin ve buna ek olarak faz dağılımı ve tane boyutlarının tespit edilmesi amacı ile mikroyapı incelemeleri yapılmıştır.

Bu kapsamda sıcak bakalite alınan numuneler sırası ile 120, 240, 320, 600, 800 ve 1200 grit zımparalardan ve akabinde 3µm elmas pasta süspansiyonu ile parlatma keçesinde parlatılmıştır. parlatma keçesinden geçirilerek zımparalama ve parlatma işlemleri tamamlanmıştır. Parlatılmış numuneler %3 Nital çözeltisinde dağlanmış ve dağlanmış yüzeyler Şekil 3.22'de verilmiş olan bölgeler referans alınarak optik mikroskop ile incelenmiştir.

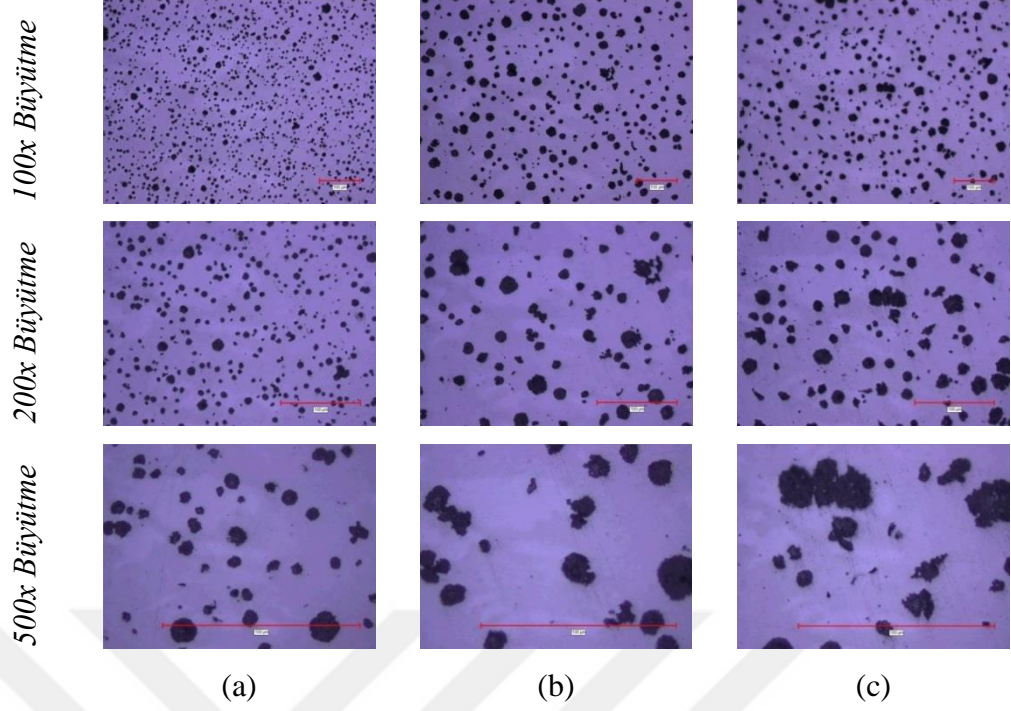
Fırında, havada, fanda, yağda ve suda soğutulan numunelerin Şekil 3.22'de verilen bölgelerine göre, parlatılmış yüzeylerinden alınmış görüntüleri sırası ile Şekil 4.9- Şekil 4.23 arasında verilmiştir.



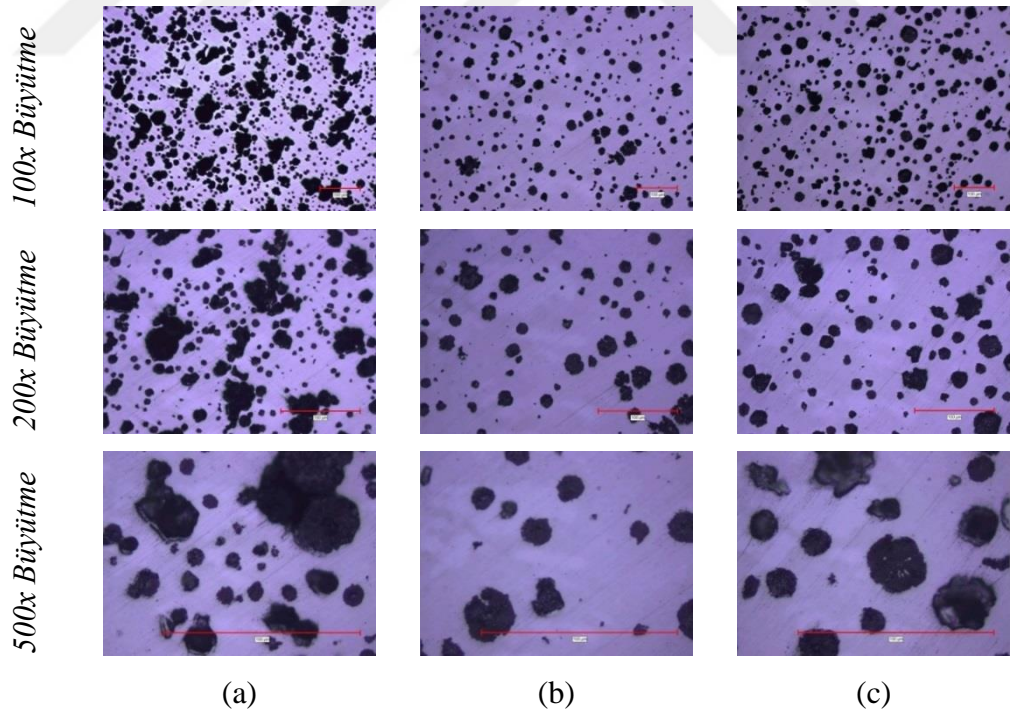
Şekil 4.9 Fırında soğutulan 1. numunenin parlatılmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge



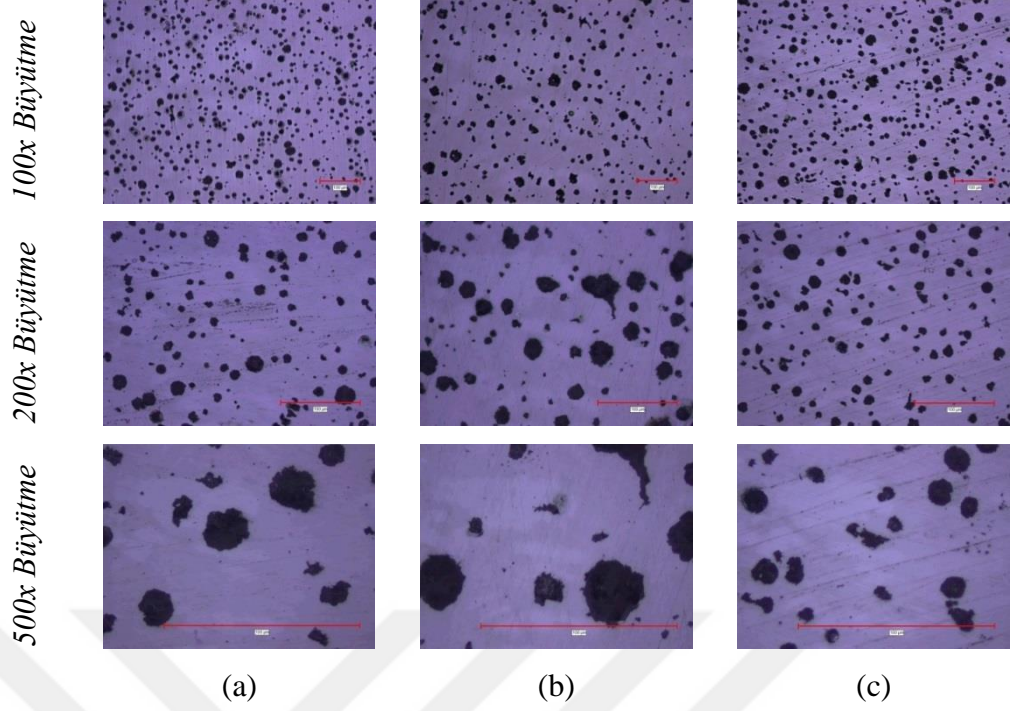
Şekil 4.10 Fırında soğutulan 2. numunenin parlatılmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge



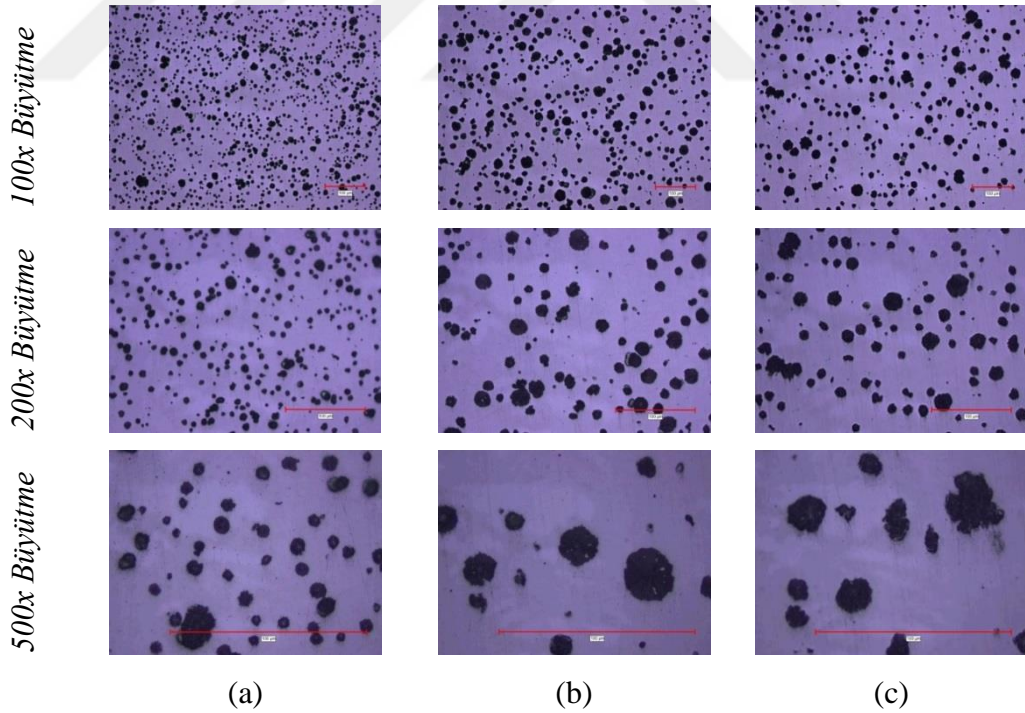
Şekil 4.11 Fırında soğutulan 3. numunenin parlatılmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge



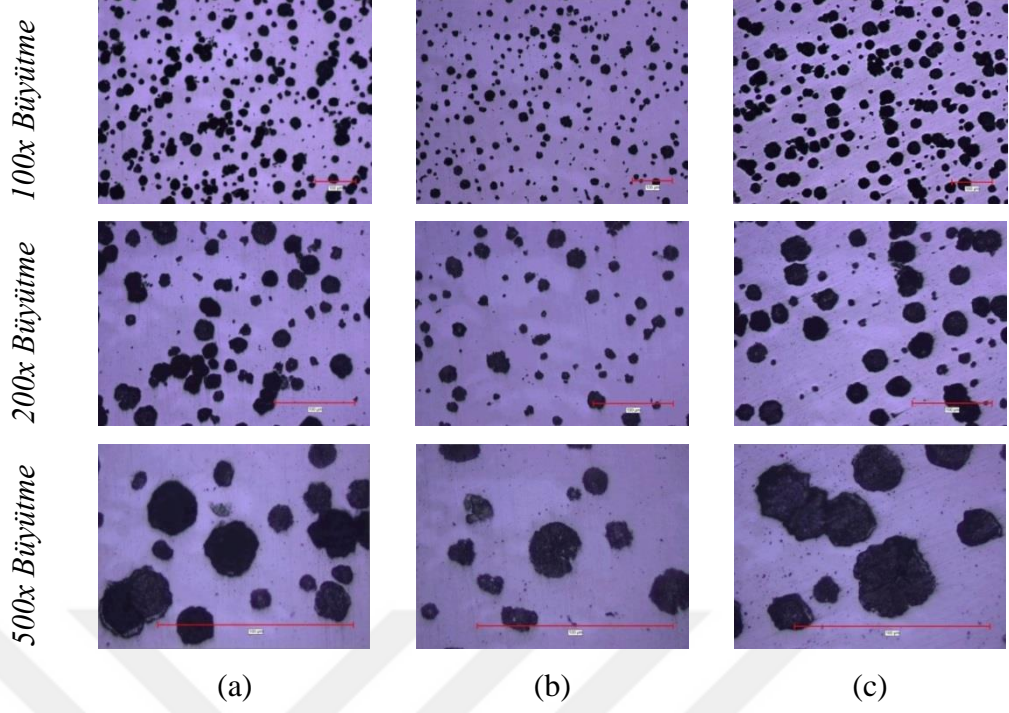
Şekil 4.12 Havada soğutulan 1. numunenin parlatılmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge



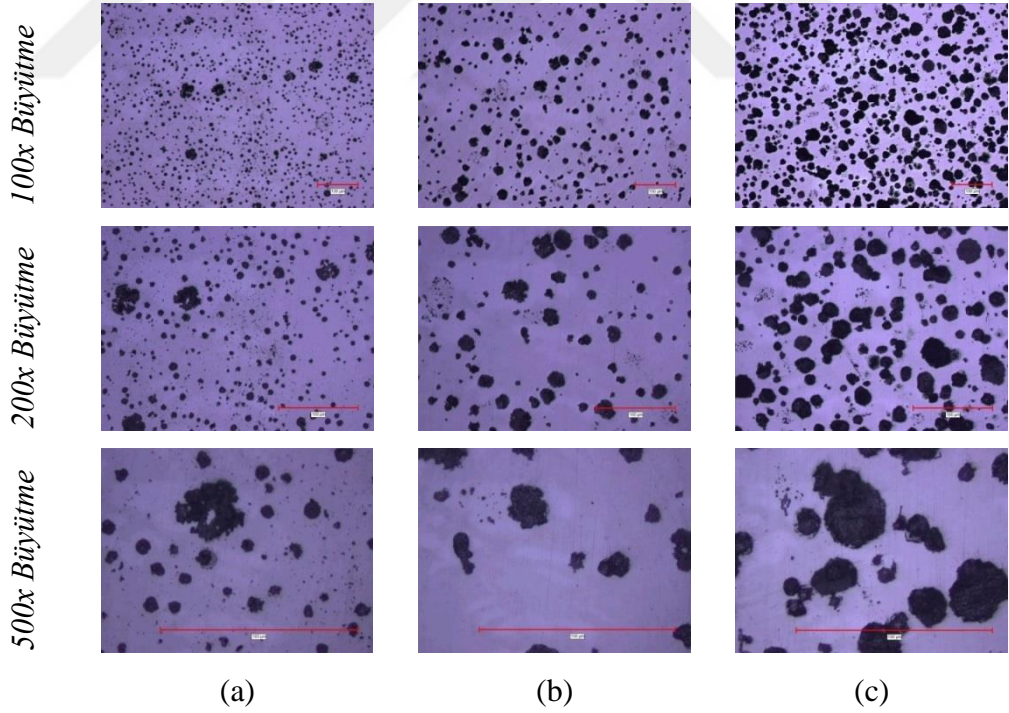
Şekil 4.13 Havada soğutulan 2. numunenin parlatılmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge



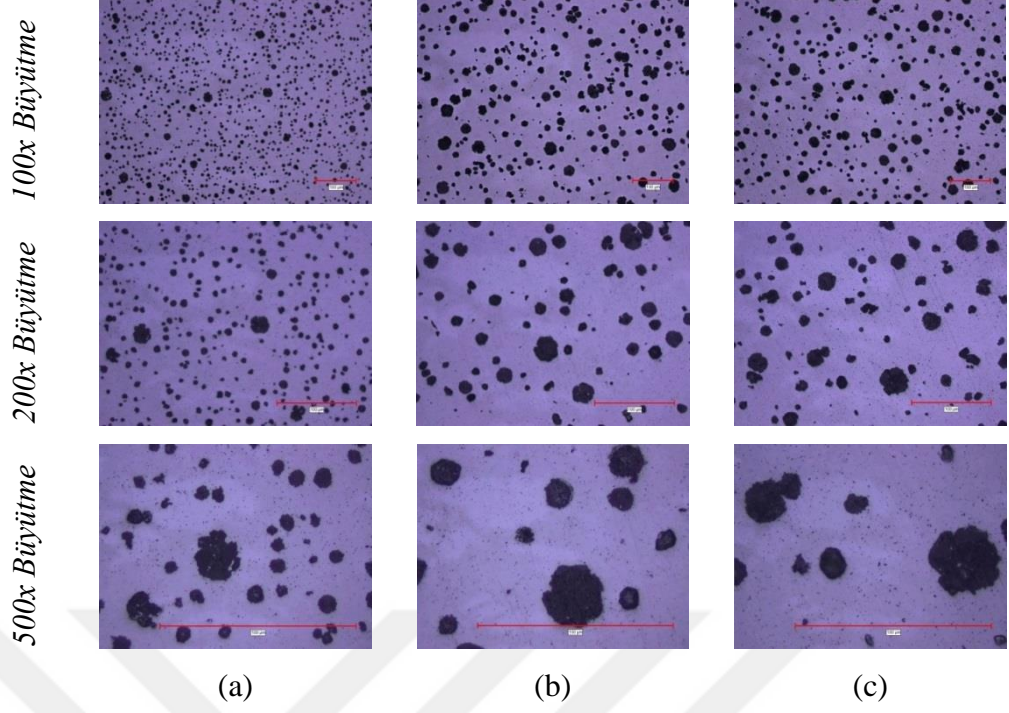
Şekil 4.14 Havada soğutulan 3. numunenin parlatılmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge



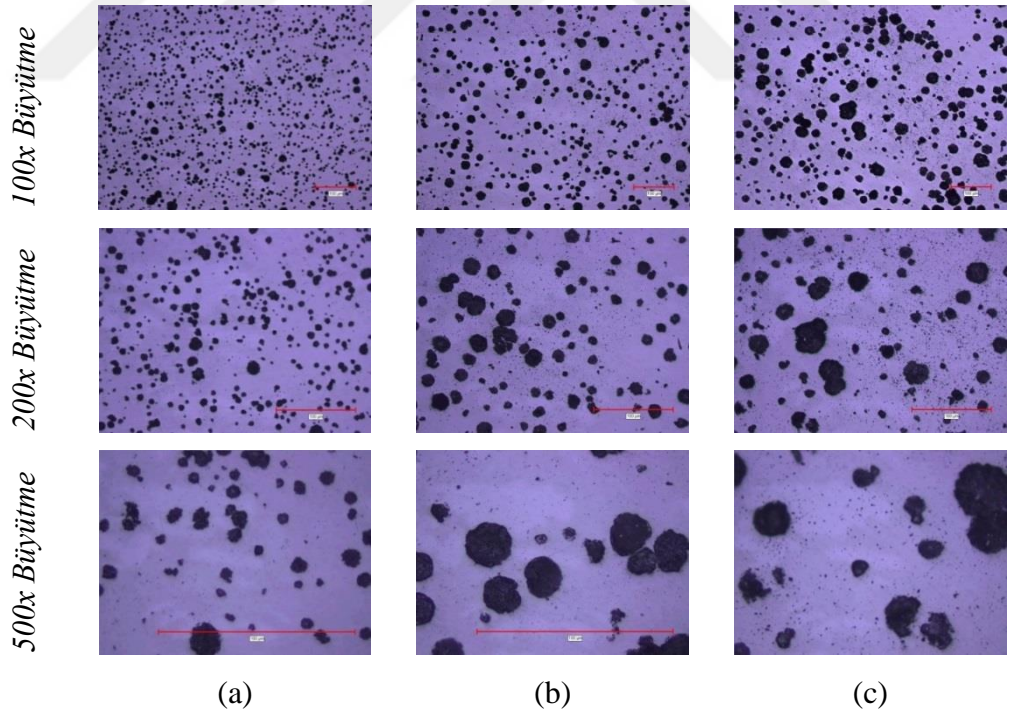
Şekil 4.15 Fanda soğutulan 1. numunenin parlatılmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge



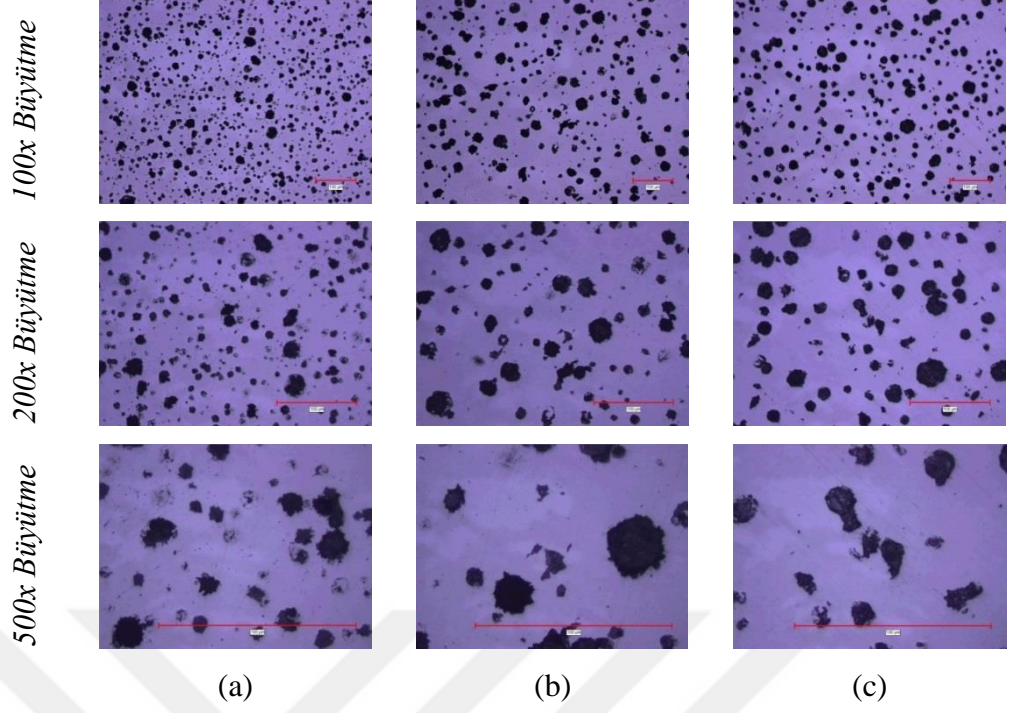
Şekil 4.16 Fanda soğutulan 2. numunenin parlatılmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge



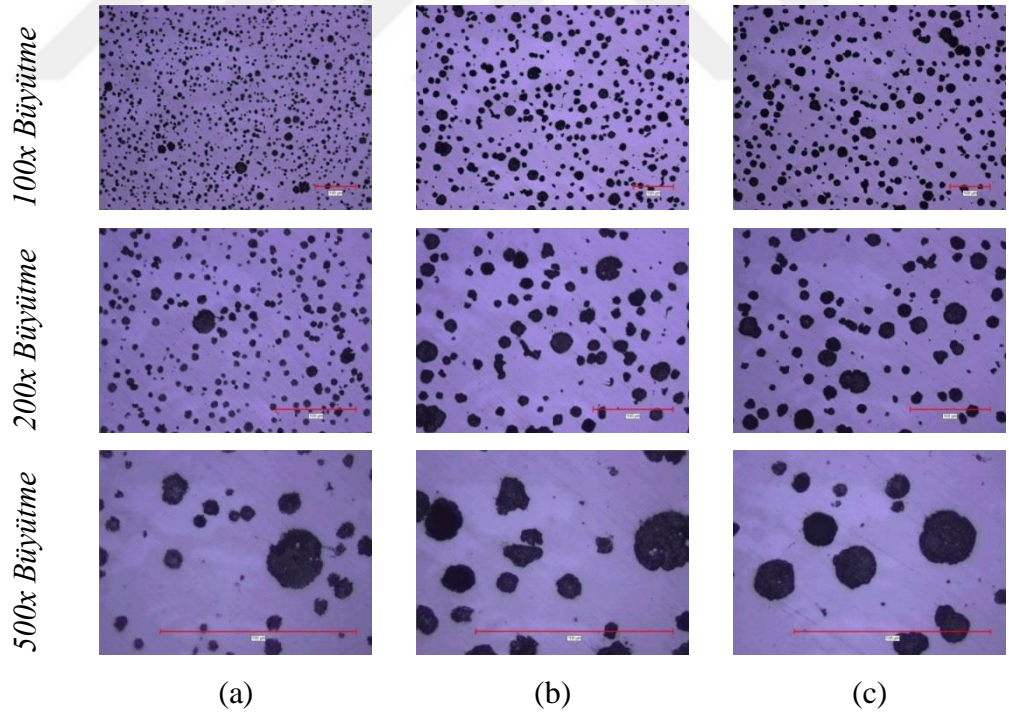
Şekil 4.17 Fanda soğutulan 3. numunenin parlatılmış yüzeyinden alınan görüntüler;
(a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge



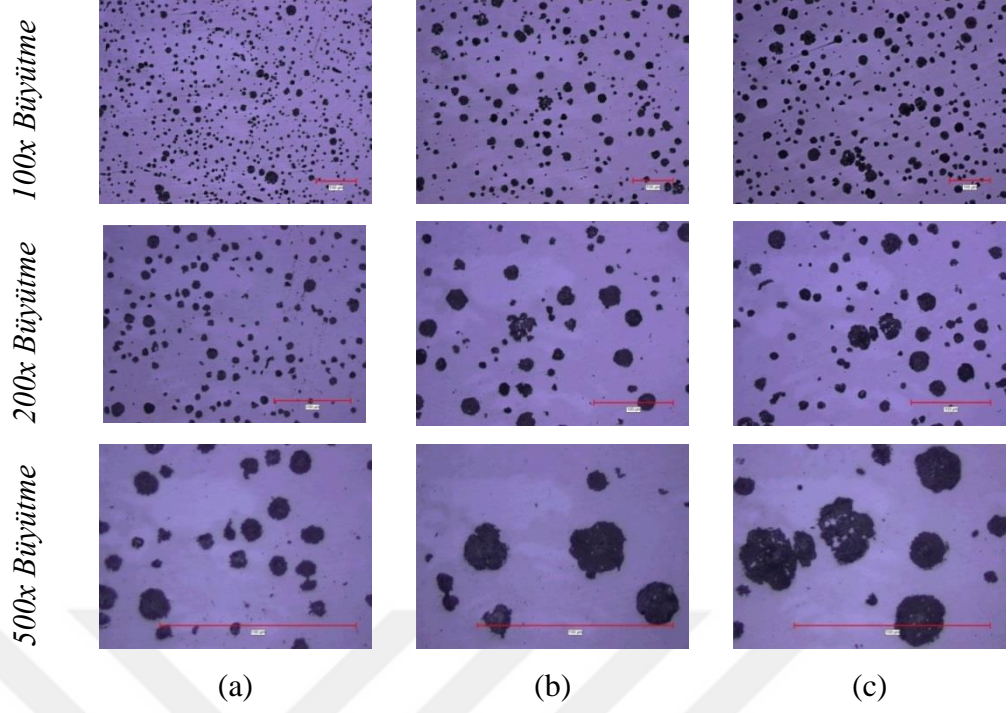
Şekil 4.18 Yağda soğutulan 1. numunenin parlatılmış yüzeyinden alınan görüntüler;
(a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge



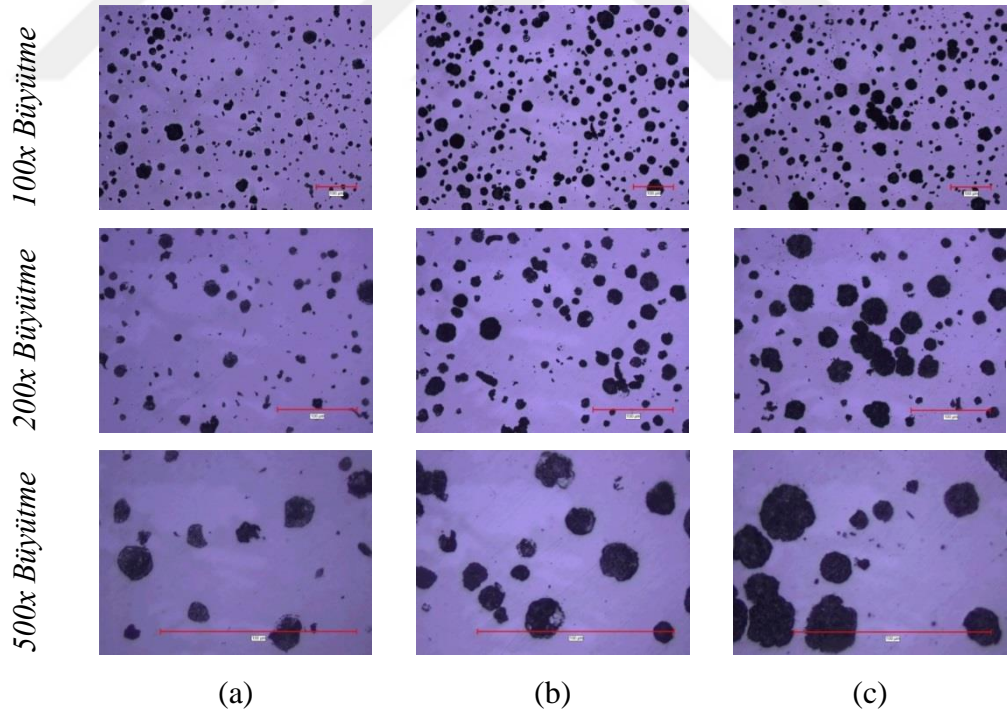
Şekil 4.19 Yağda soğutulan 2. numunenin parlatılmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge



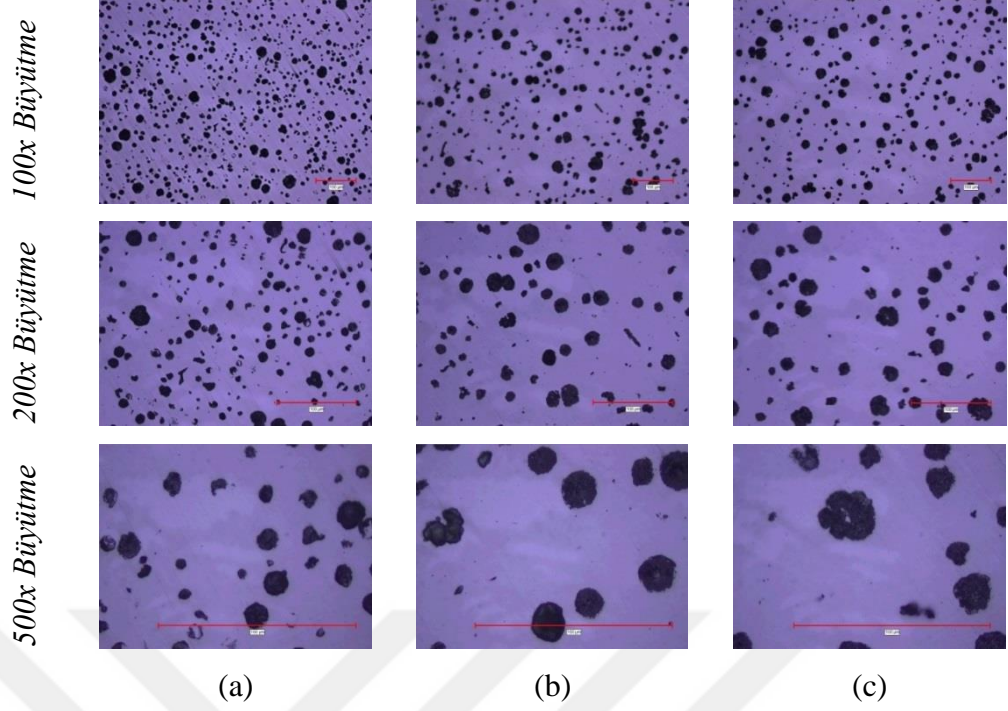
Şekil 4.20 Yağda soğutulan 3. numunenin parlatılmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge



Şekil 4.21 Suda soğutulan 1. numunenin parlatılmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge

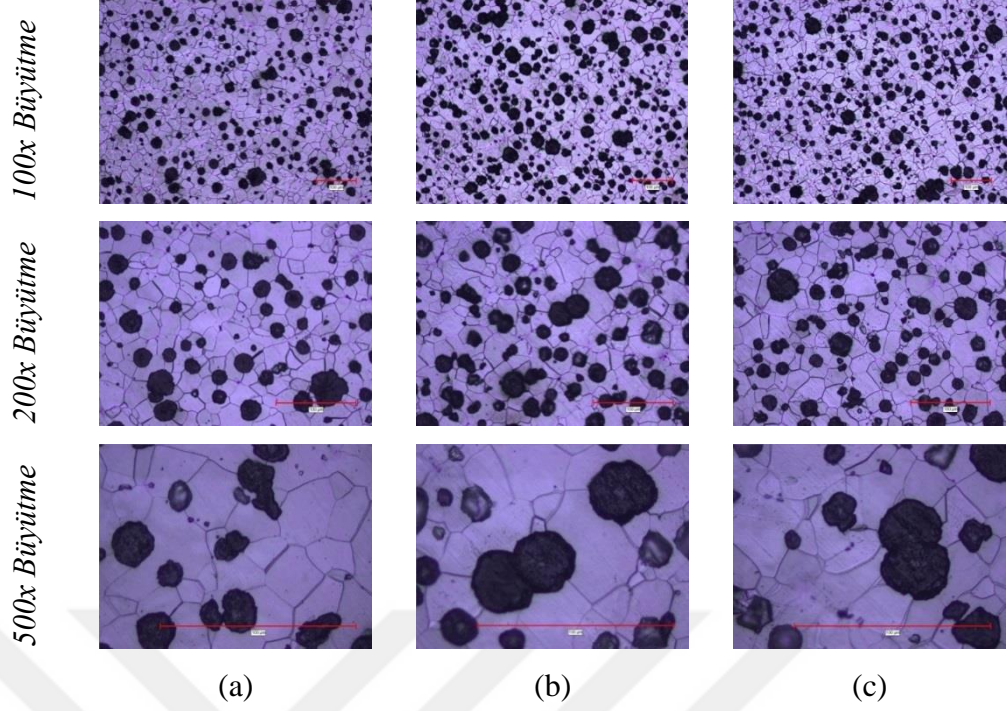


Şekil 4.22 Suda soğutulan 2. numunenin parlatılmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge

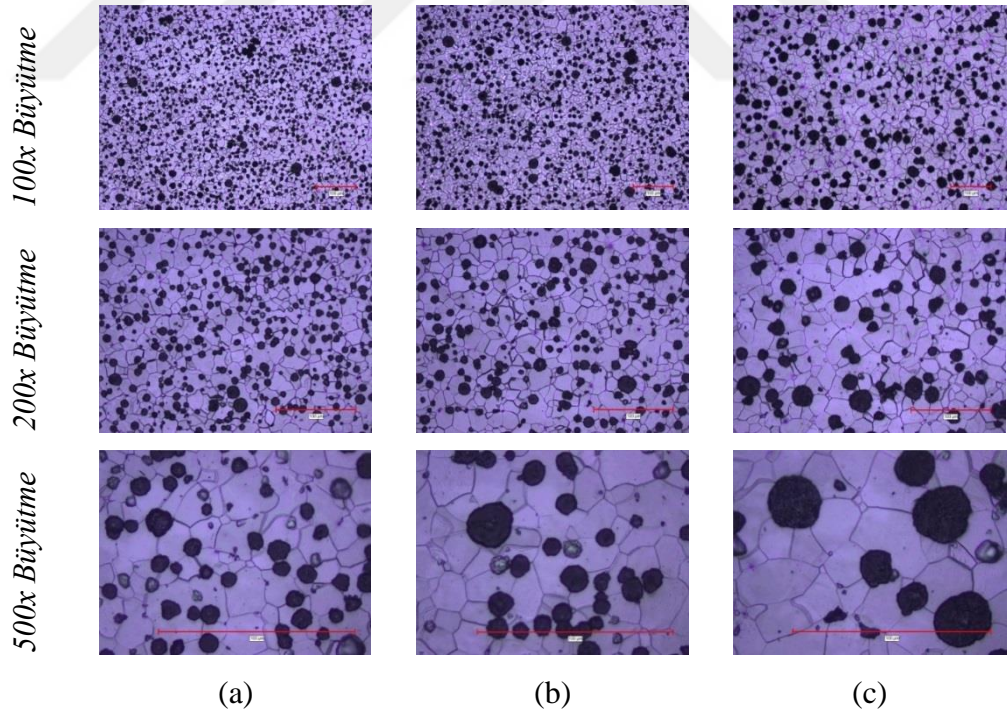


Şekil 4.23 Suda soğutulan 3. numunenin parlatılmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge

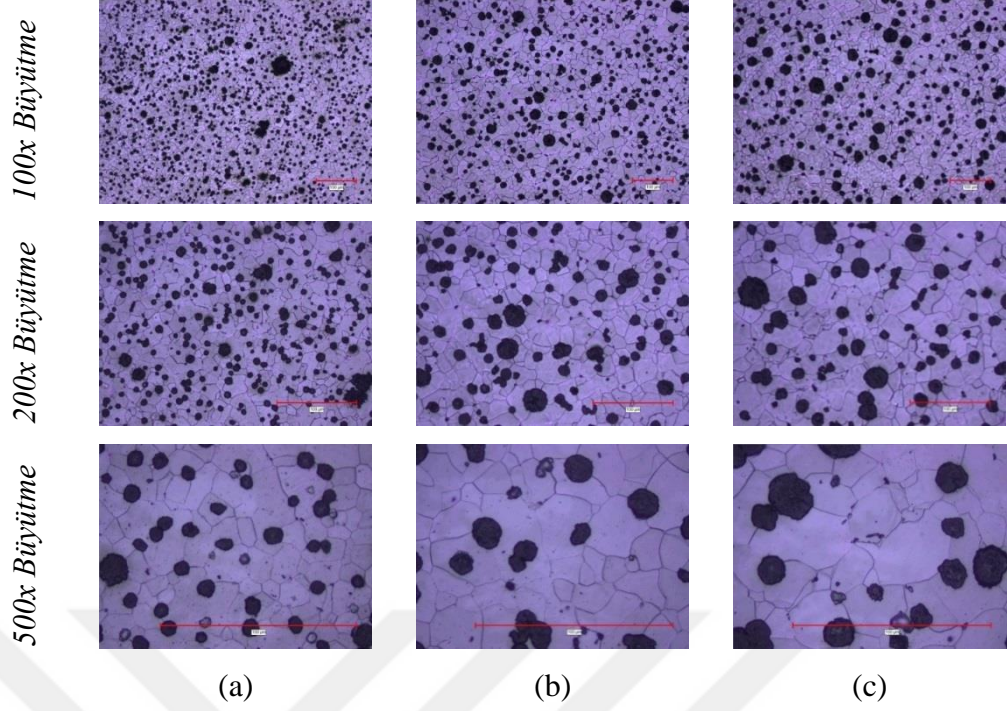
Fırında, havada, fanda, yağda ve suda soğutulan numunelerin Şekil 3.22’de verilen bölgelerine göre, dağlanmış yüzeylerinden alınmış görüntüler sırasıyla, Şekil 4.24 - Şekil 4.38 arasında verilmiştir. Yapılan mikroyapı incelemeleri sonucunda elde edilen görüntülerde açık renkli olan kısımlar ferriti, koyu renkliler, ise perlitini ifade etmektedir. Küre formundaki yapılar ise, grafiti belirtir. Fırında soğutulan numunelerin mikroyapılarında, ferritin yavaş soğuma sebebi ile baskın bir şekilde görülmektedir. Havada soğutulan numunelerin mikroyapılarında, perlitin, fırında soğuma şartlarına nazaran arttığı, ferritin azaldığı görülmektedir. Fanda soğutulan numunelerin mikroyapılarında, perlitin, fırın ve havada soğuma şartlarına nazaran arttığı, ferritin azaldığı görülmektedir. Yağda soğutulan numunelerin mikroyapılarında, perlitin, fırın, hava ve fanda soğuma şartlarına nazaran arttığı, ferritin azaldığı görülmektedir. Ayrıca tane morfolojisinin değişerek yapının iğnemsisi hale geldiği ve bu durumda yapıda ince taneli beynit yapılarının elde edildiği tespit edilmiştir. Suda soğutulan numunelerin mikroyapıları incelendiğinde ise, perlitin fırın, hava, fan ve yağda soğuma şartlarına nazaran arttığı, ferritin azaldığı görülmektedir. Ayrıca tane morfolojisinin değişerek yapının iğnemsisi hale geldiği ve bu durumda yapıda ferrit+beynit elde edildiği tespit edilmiştir.



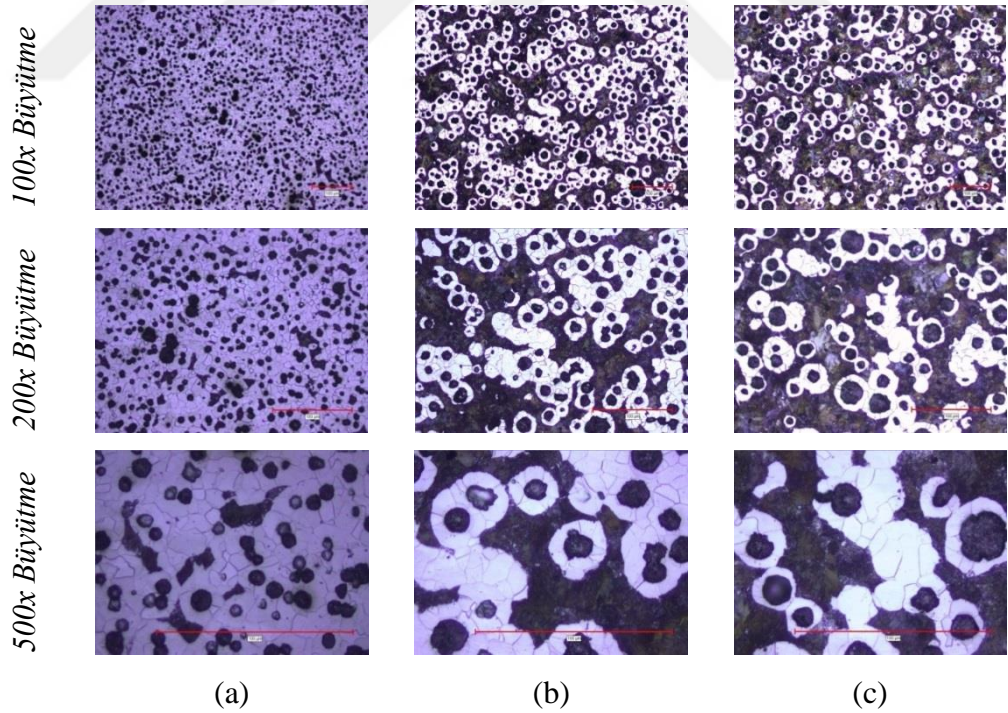
Şekil 4.24 Fırında soğutulan 1. numunenin dağlanmış yüzeyinden alınan görüntüler;
 (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge



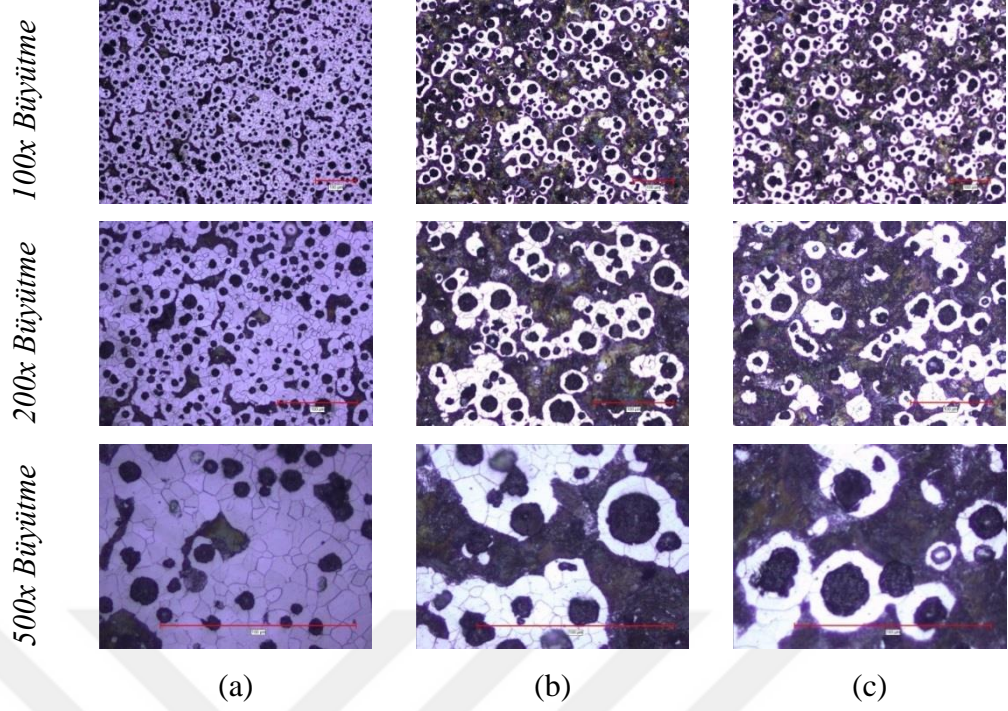
Şekil 4.25 Fırında soğutulan 2. numunenin dağlanmış yüzeyinden alınan görüntüler;
 (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge



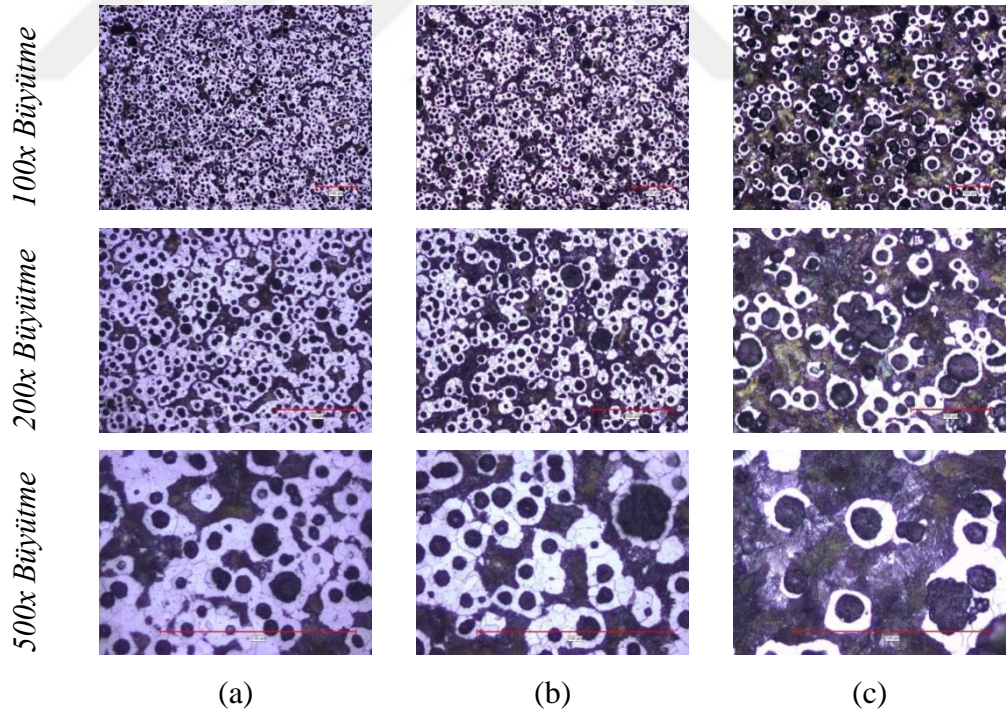
Şekil 4.26 Fırında soğutulan 3. numunenin dağlanmış yüzeyinden alınan görüntüler;
(a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge



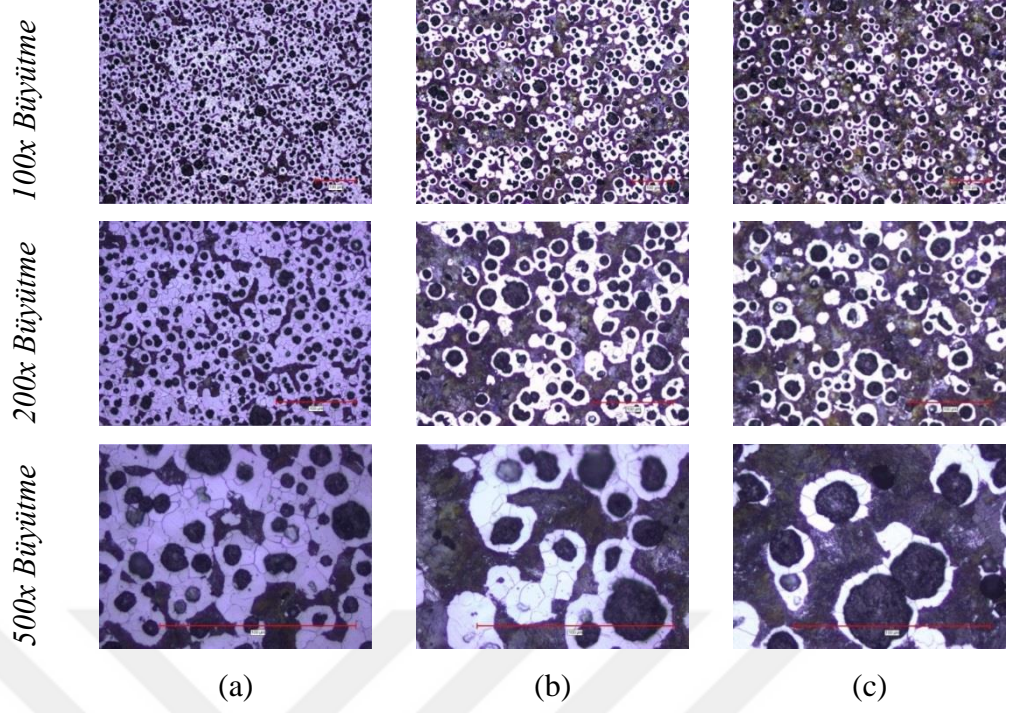
Şekil 4.27 Havada soğutulan 1. numunenin dağlanmış yüzeyinden alınan görüntüler;
(a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge



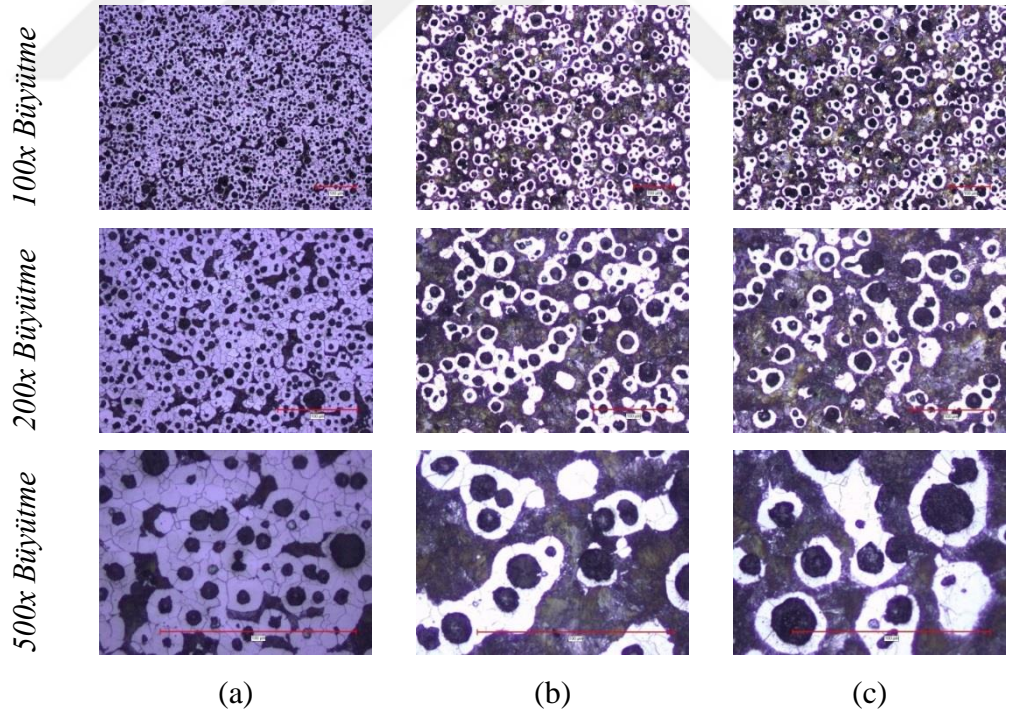
Şekil 4.28 Havada soğutulan 2. numunenin dağlanmış yüzeyinden alınan görüntüler;
(a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge



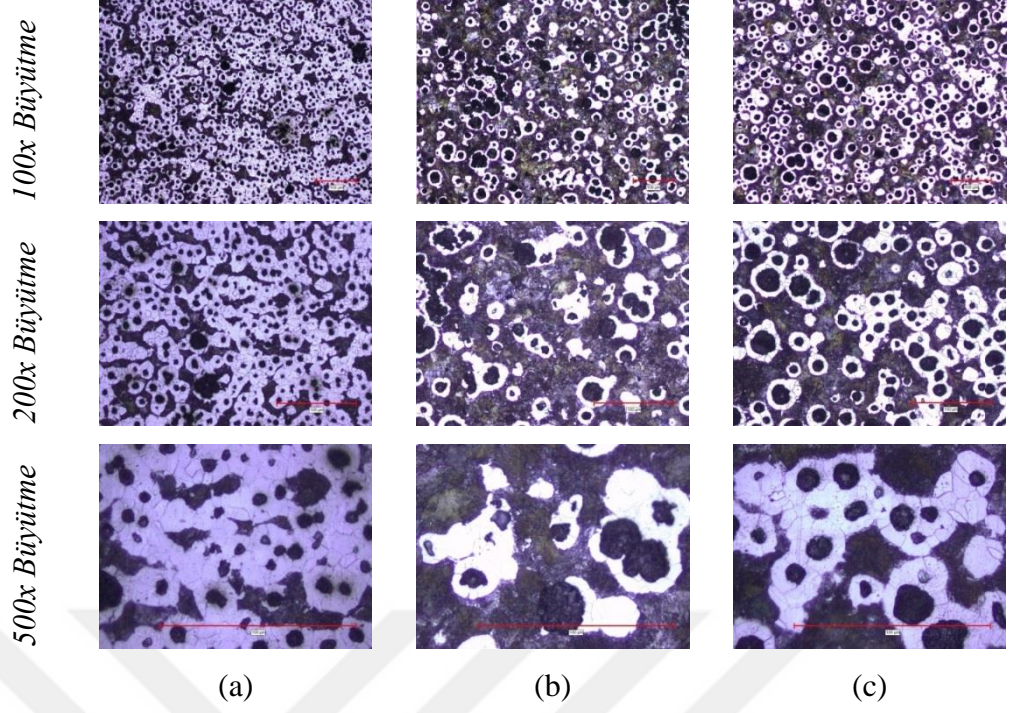
Şekil 4.29 Havada soğutulan 3. numunenin dağlanmış yüzeyinden alınan görüntüler;
(a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge



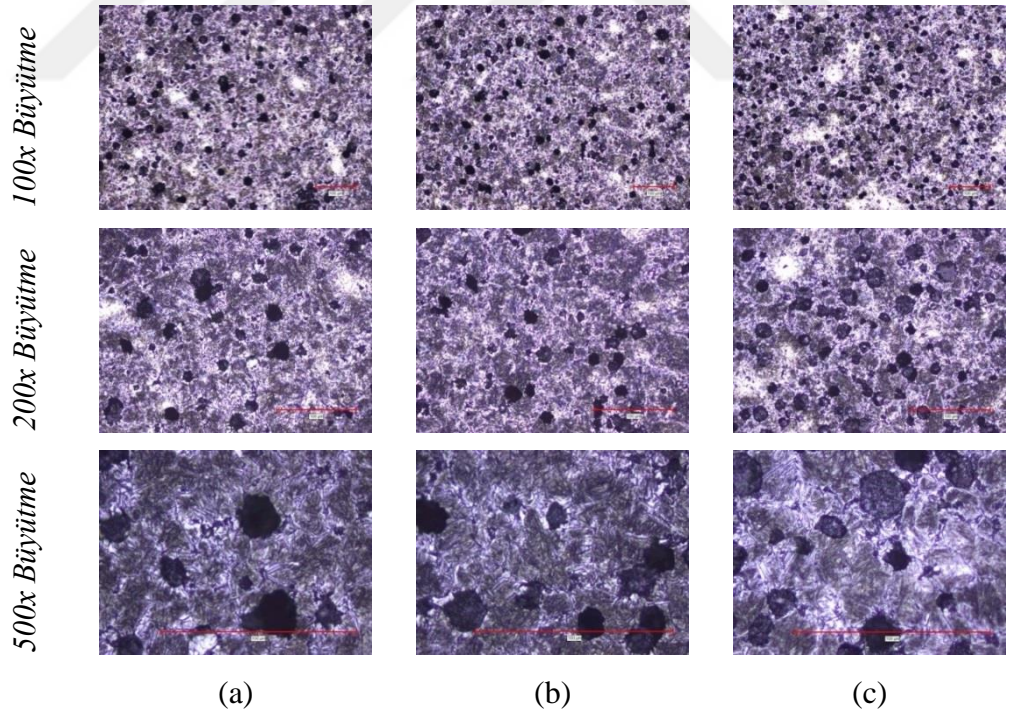
Şekil 4.30 Fanda soğutulan 1. numunenin dağlanmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge



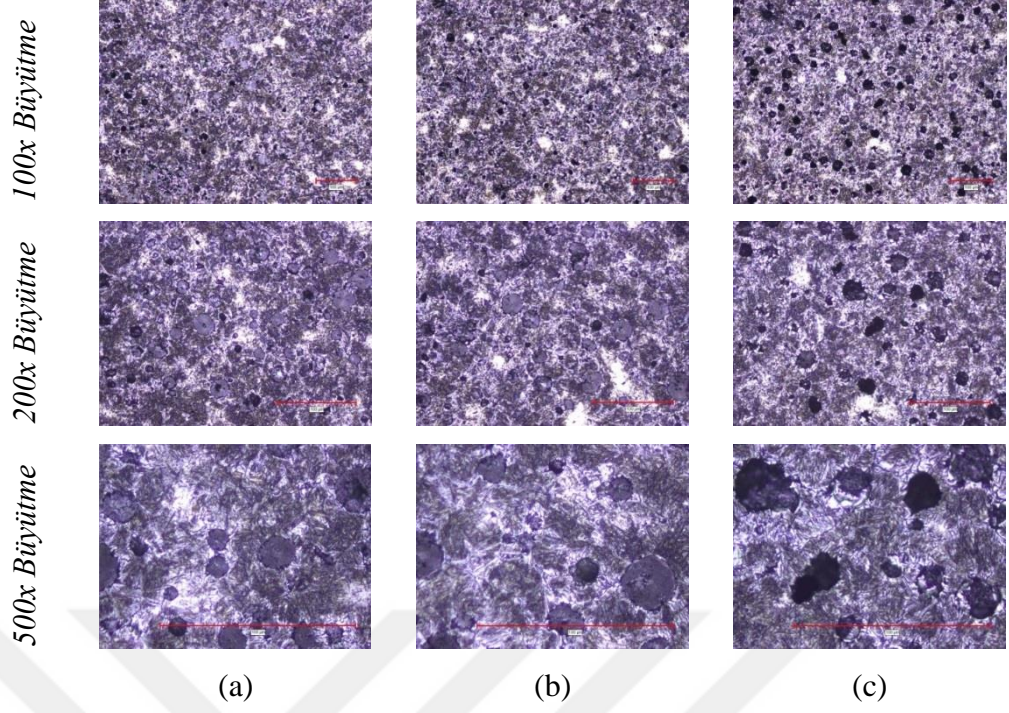
Şekil 4.31 Fanda soğutulan 2. numunenin dağlanmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge



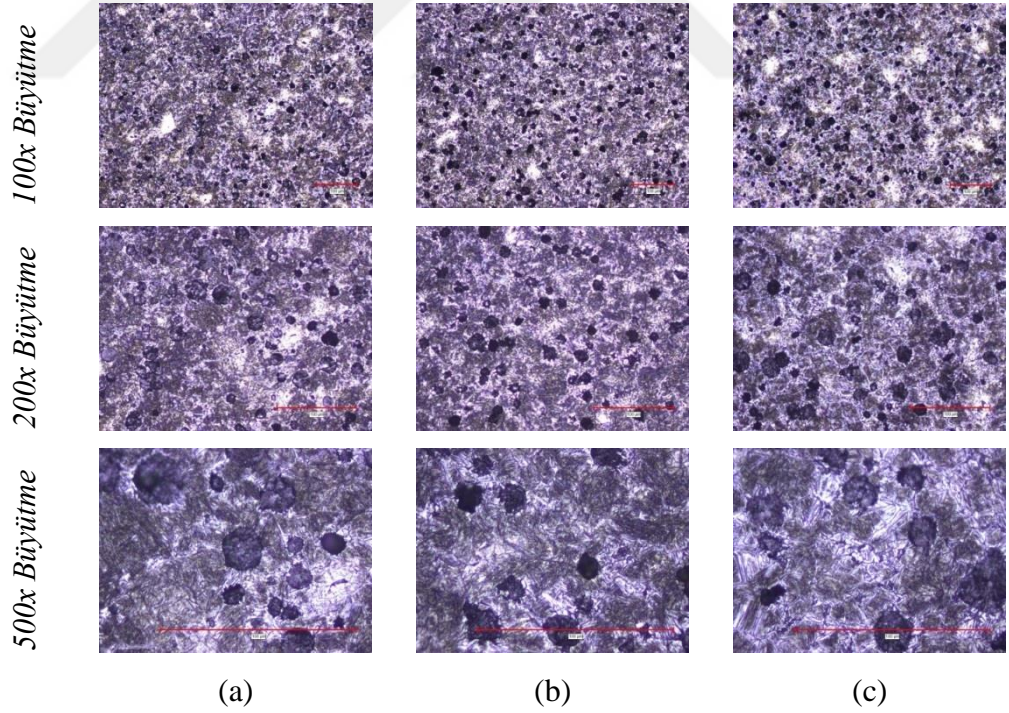
Şekil 4.32 Fanda soğutulan 3. numunenin dağlanmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge



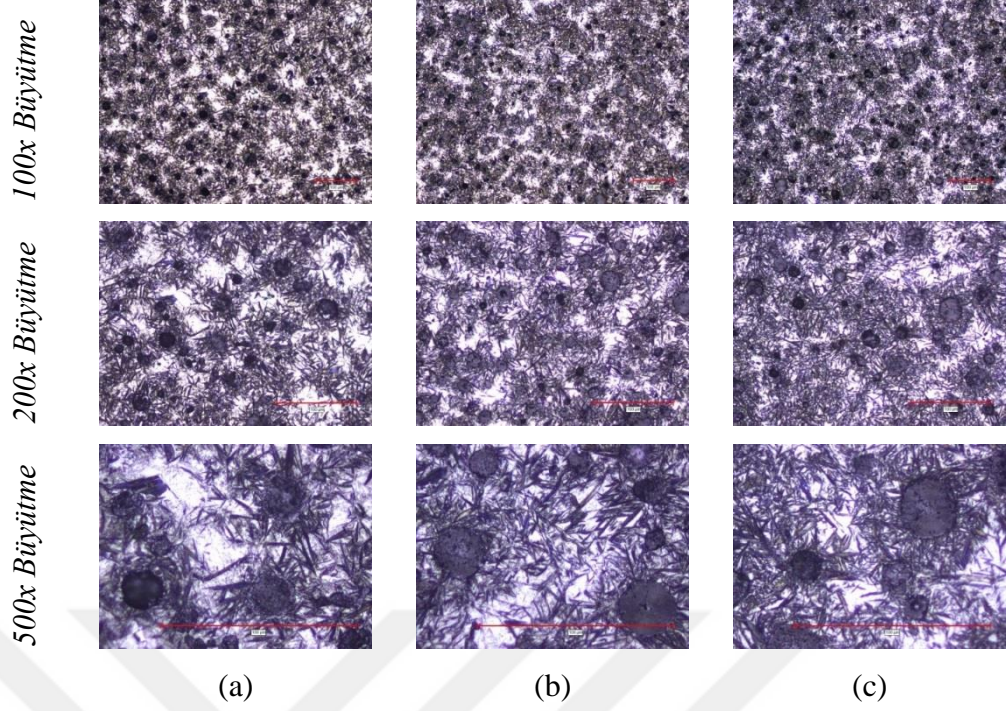
Şekil 4.33 Yağda soğutulan 1. numunenin dağlanmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge



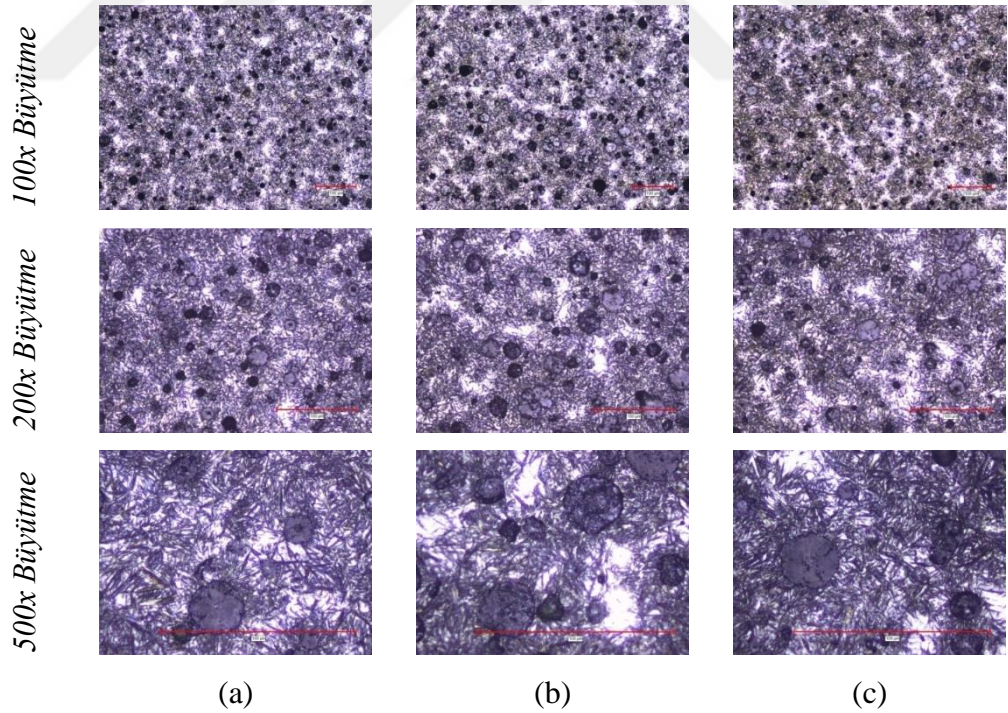
Şekil 4.34 Yağda soğutulan 2. numunenin dağlanmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge



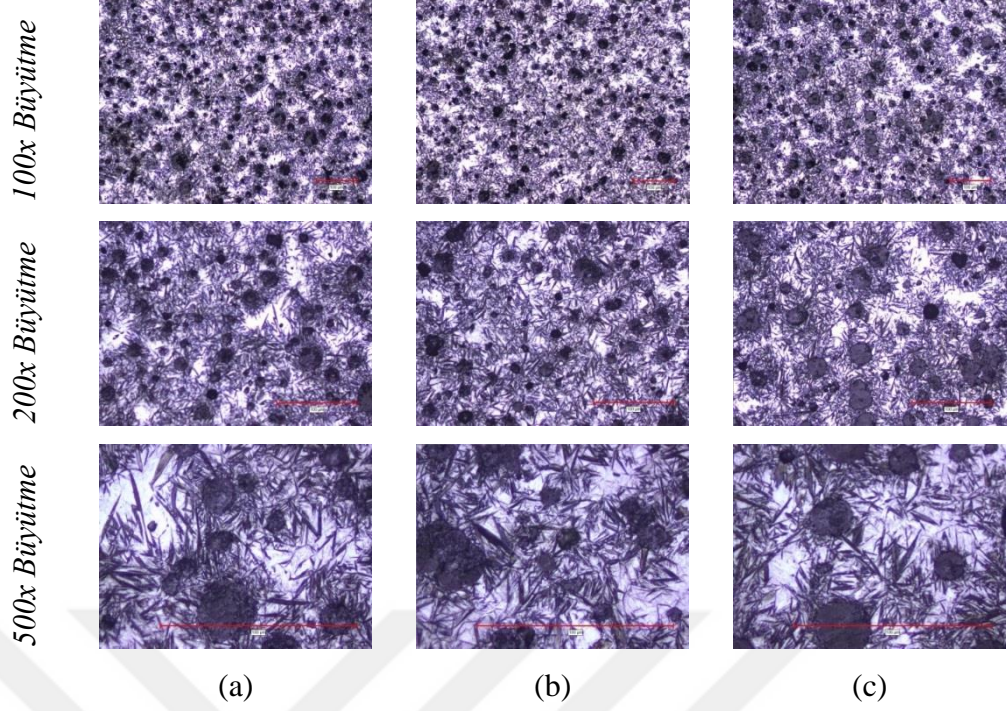
Şekil 4.35 Yağda soğutulan 3. numunenin dağlanmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge



Şekil 4.36 Suda soğutulan 1. numunenin dağlanmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge



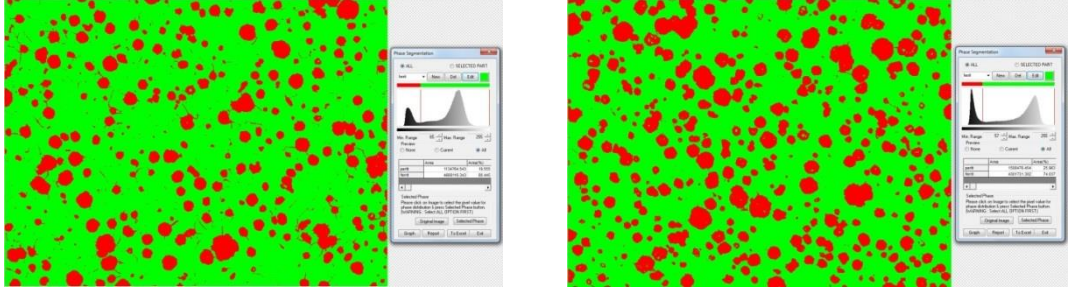
Şekil 4.37 Suda soğutulan 2. numunenin dağlanmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge



Şekil 4.38 Suda soğutulan 3. numunenin dağlanmış yüzeyinden alınan görüntüler; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3.bölge

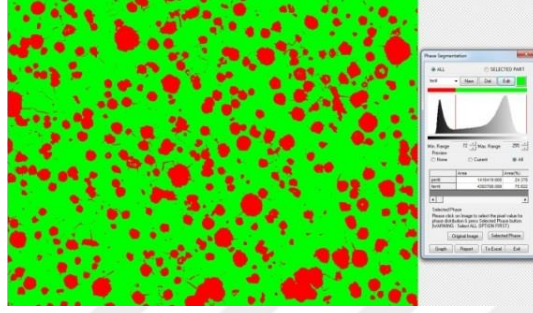
Elde edilen mikroyapı görüntüleri ile faz dağılımları Material Plus yazılımı ile ölçülmüştür. Ancak şekillerde görüldüğü gibi program küresel grafit ve perlitleri aynı faz olarak değerlendirmektedir. Bu sebep ile gerçek perlit yüzdesinin elde edilmesi amacıyla ilgili bölgelerin parlatılmış yüzeylerinden alınan görüntülerden yüzde grafit oranları belirlenmiştir. Elde edilen grafit yüzdesi, dağlanmış yüzeyden elde edilen perlit+grafit yüzdesinden çıkarılmıştır ve gerçek perlit yüzdesi elde edilmiştir.

Fırında soğutulan numune 1'in, Şekil 3.22'de verilen bölgelerine göre alınmış mikroyapı görüntülerinden elde edilen faz dağılımları Şekil 4.39'da, grafit yüzdesi Şekil 4.44'de verilmiştir. Elde edilen faz dağılımlarına ait veriler ise Tablo 4.10'daki gibidir.



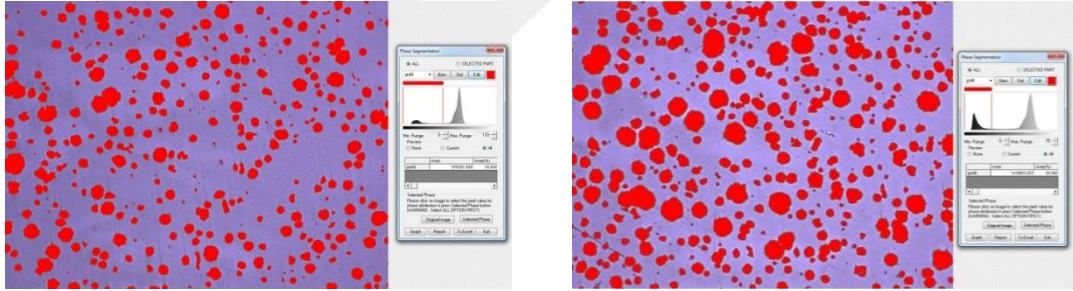
(a)

(b)



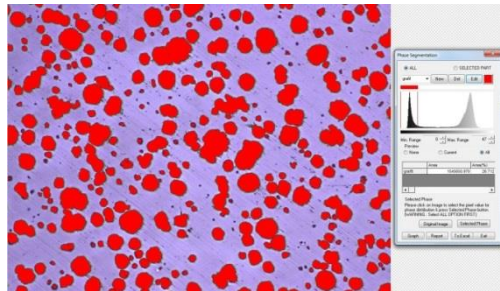
(c)

Şekil 4.39 Fırında soğutulan 1. numunenin mikroyapı görüntülerine ait faz dağılımları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge



(a)

(b)



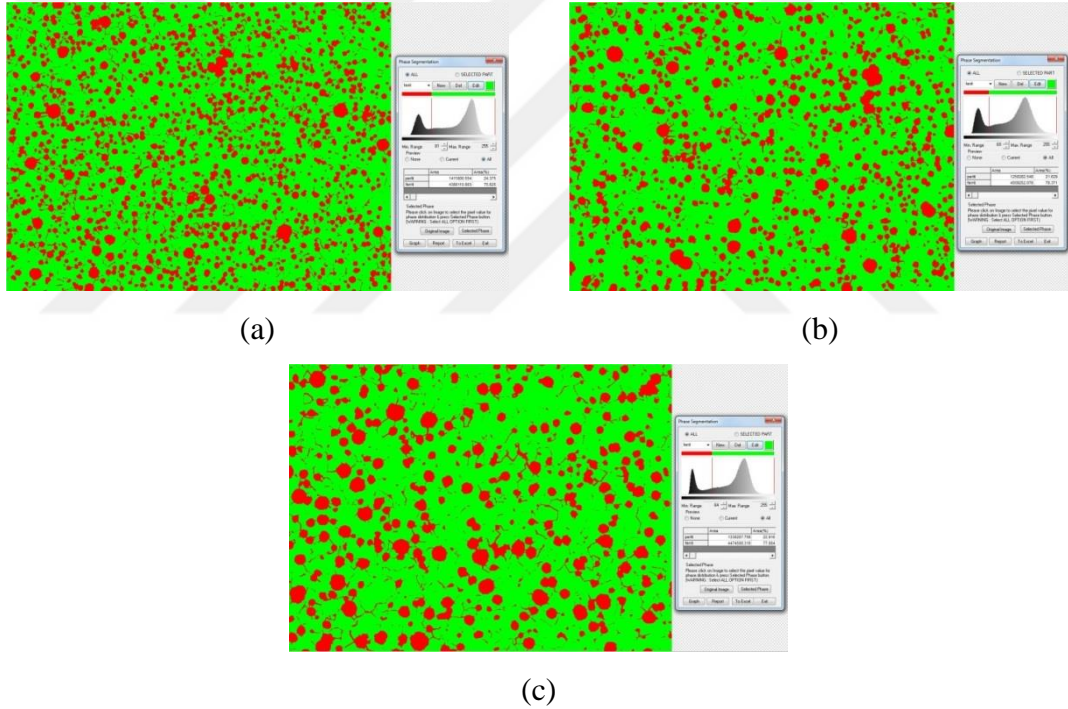
(c)

Şekil 4.40 Fırında soğutulan 1. numunenin parlatılmış yüzey görüntülerine ait grafit yüzdeleri; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge

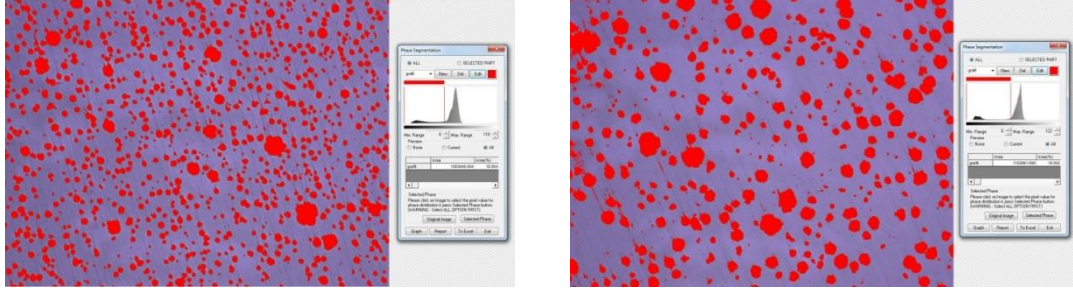
Tablo 4.10 Fırında soğutulan 1. numuneye ait faz dağılımları

Fırında Soğutulan 1.Numune	Faz Oranları (%)			
	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	Ortalama
Ferit	80,445	74,037	75,622	76,701
Perlit+Grafit	19,550	25,963	24,378	23,297
Grafit	16,830	24,562	26,712	22,701
Perlit	2,720	1,401	1,400	1,840

Fırında soğutulan numune 2'nin, Şekil 3.22'de verilen bölgelerine göre alınmış mikroyapı görüntülerinden elde edilen faz dağılımları Şekil 4.41'de, grafit yüzdesi Şekil 4.42'de verilmiştir. Elde edilen faz dağılımlarına ait veriler ise Tablo 4.11'deki gibidir.

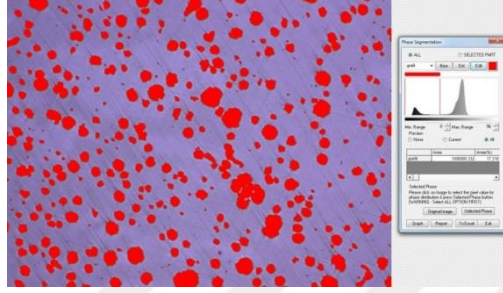


Şekil 4.41 Fırında soğutulan 2. numunenin mikroyapı görüntülerine ait faz dağılımları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge



(a)

(b)



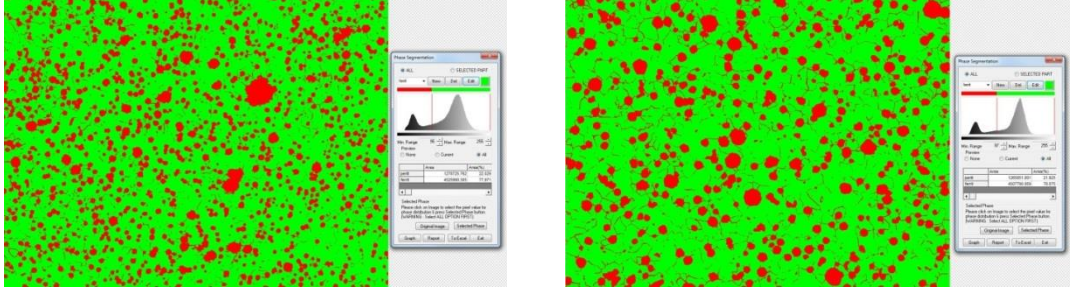
(c)

Şekil 4.42 Fırında soğutulan 2. numunenin parlatılmış yüzey görüntülerine ait grafit yüzdeleri; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge

Tablo 4.11 Fırında soğutulan 2. numuneye ait faz dağılımları

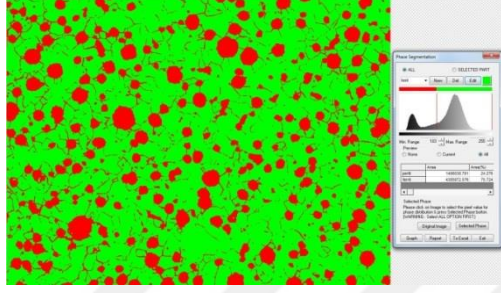
Fırında Soğutulan 2.Numune	Faz Oranları (%)			
	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	Ortalama
Ferrit	75,625	78,371	77,084	77,027
Perlit+Grafit	24,375	21,629	22,916	22,973
Grafit	18,954	19,002	17,316	18,424
Perlit	5,421	2,627	5,600	4,549

Fırında soğutulan numune 3'ün, Şekil 3.22'de verilen bölgelerine göre alınmış mikroyapı görüntülerinden elde edilen faz dağılımları Şekil 4.43'te, grafit yüzdesi Şekil 4.44'de verilmiştir. Elde edilen faz dağılımlarına ait veriler ise Tablo 4.12'deki gibidir.



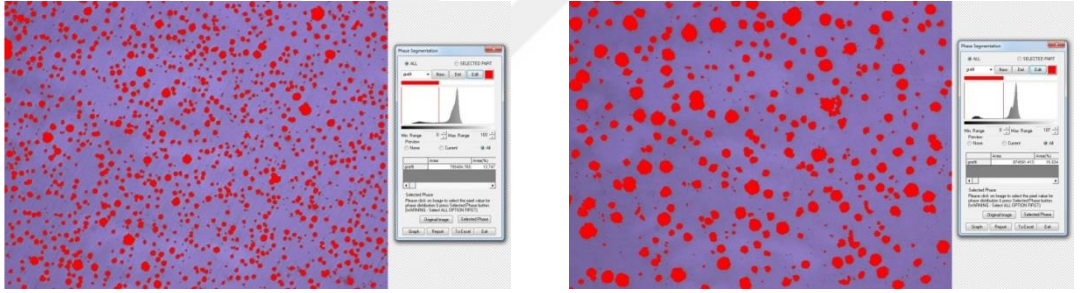
(a)

(b)



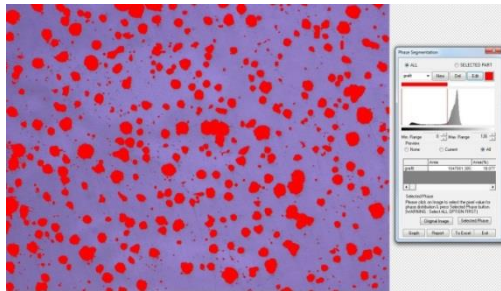
(c)

Şekil 4.43 Fırında soğutulan 3. numunenin mikroyapı görüntülerine ait faz dağılımları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge



(a)

(b)



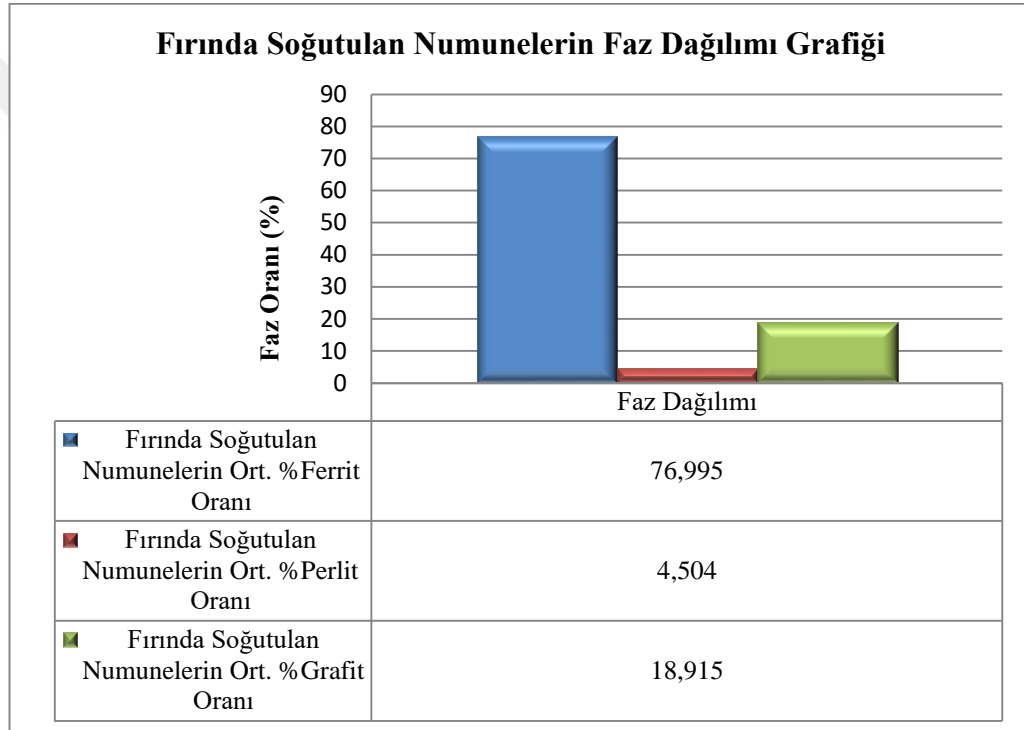
(c)

Şekil 4.44 Fırında soğutulan 3. numunenin parlatılmış yüzey görüntülerine ait grafit yüzdeleri; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge

Tablo 4.12 Fırında soğutulan 3. numuneye ait faz dağılımları

Fırında Soğutulan 3.Numune	Faz Oranları (%)			
	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	Ortalama
Ferrit	77,971	78,075	75,724	77,257
Perlit+Grafit	22,029	21,925	24,276	22,743
Grafit	13,747	15,034	18,077	15,619
Perlit	8,282	6,891	6,199	7,124

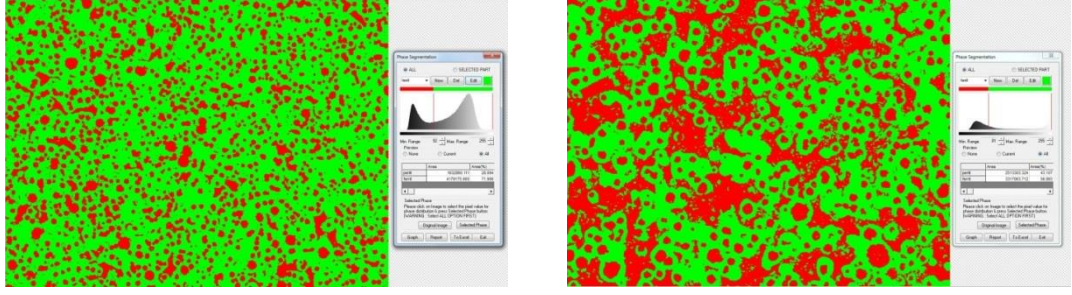
Fırında soğutulan numunelerin ortalama faz dağılımlarına grafik Şekil 4.45'te verilmiştir.



Şekil 4.45 Fırında soğutulan numunelerin faz dağılımı grafiği

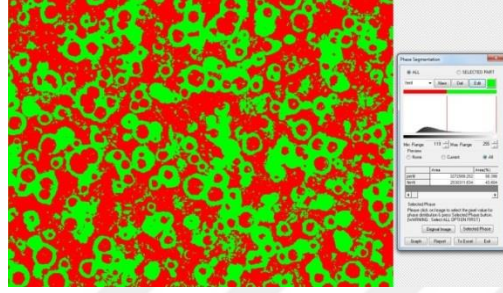
Fırında soğutulan numunelerin faz dağılımları incelendiğinde, ortalama ferrit oranının %76,995 olduğu tespit edilmiş olup, bu soğuma şartlarında yapının ferritik olduğu görülmektedir.

Havada soğutulan numune 1'in, Şekil 3.22'de verilen bölgelerine göre alınmış mikroyapı görüntülerinden elde edilen faz dağılımları Şekil 4.46'da, grafit yüzdesi Şekil 4.47'de verilmiştir. Elde edilen faz dağılımlarına ait veriler ise Tablo 4.13'deki gibidir.



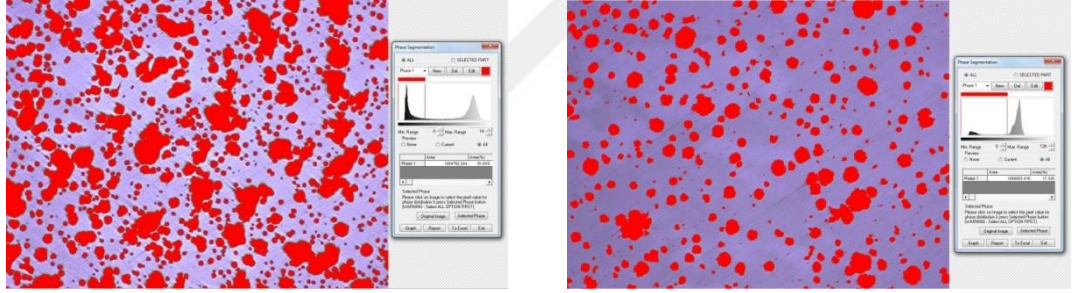
(a)

(b)



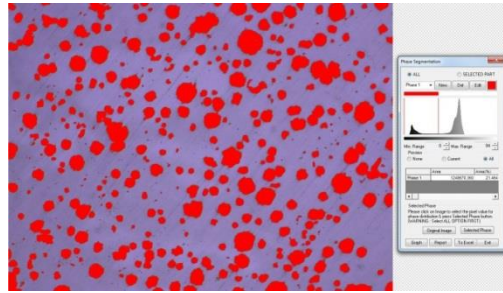
(c)

Şekil 4.46 Havada soğutulan 1. numunenin mikroyapı görüntülerine ait faz dağılımları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge



(a)

(b)



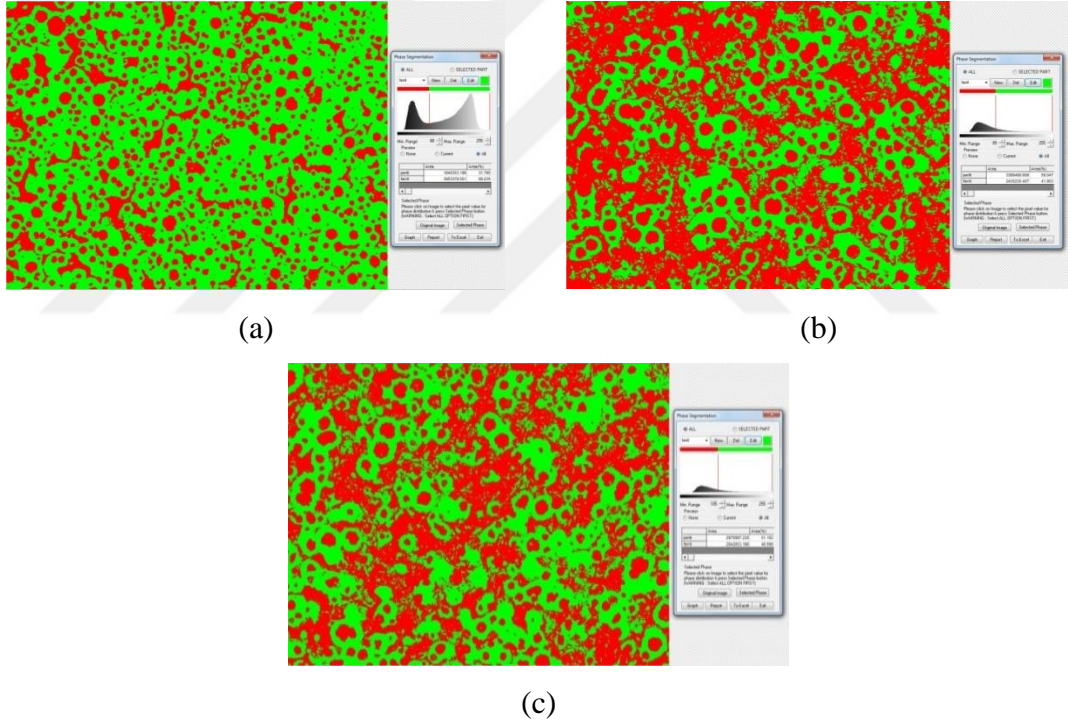
(c)

Şekil 4.47 Havada soğutulan 1. numunenin parlatılmış yüzey görüntülerine ait grafit yüzdeleri; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge

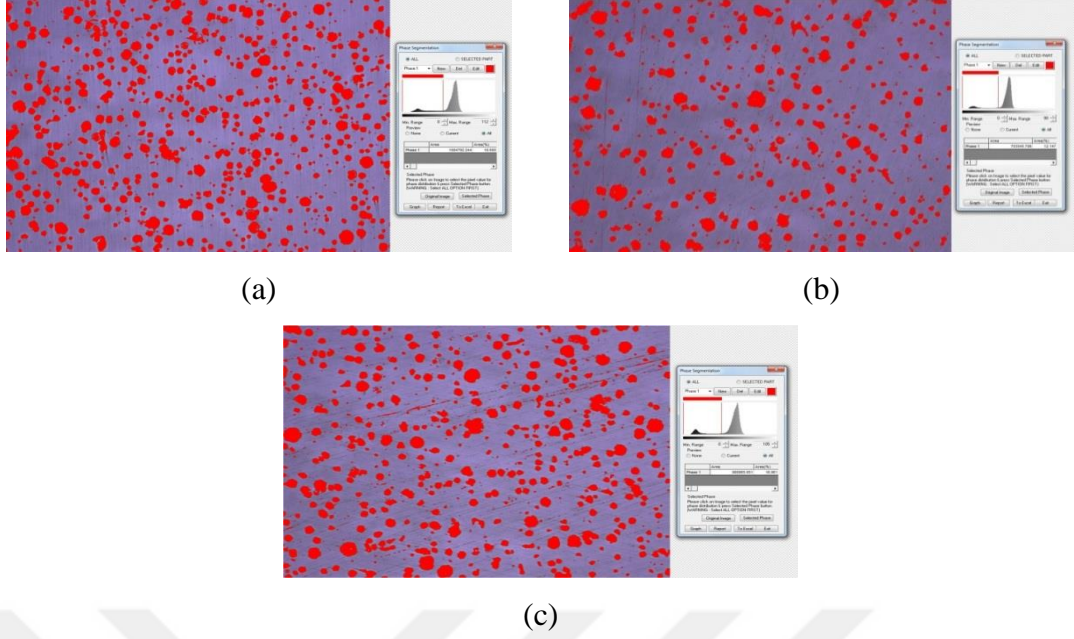
Tablo 4.13 Havada soğutulan 1. numuneye ait faz dağılımları

Havada Soğutulan 1.Numune	Faz Oranları (%)			
	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	Ortalama
Ferrit	71,906	56,893	43,604	57,468
Perlit+Grafit	28,094	43,107	56,396	42,532
Grafit	18,600	17,336	21,464	19,133
Perlit	9,494	25,771	34,932	23,399

Havada soğutulan numune 2'nin, Şekil 3.22'de verilen bölgelerine göre alınmış mikroyapı görüntülerinden elde edilen faz dağılımları Şekil 4.48'de, grafit yüzdesi Şekil 4.49'da verilmiştir. Elde edilen faz dağılımlarına ait veriler ise Tablo 4.14'deki gibidir.



Şekil 4.48 Havada soğutulan 2. numunenin mikroyapı görüntülerine ait faz dağılımları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge

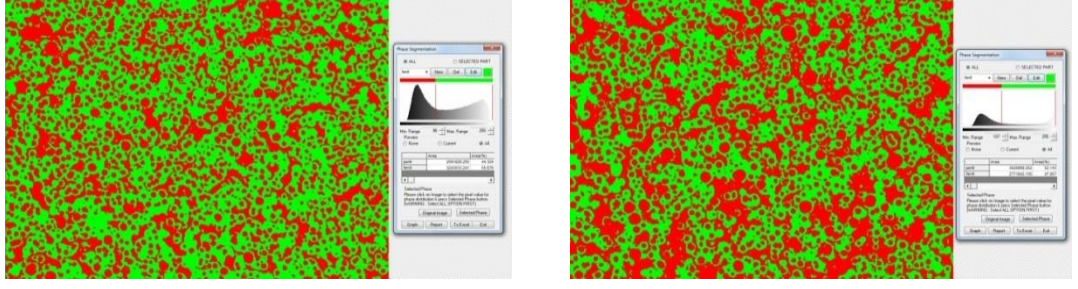


Şekil 4.49 Havada soğutulan 2. numunenin parlatılmış yüzey görüntülerine ait grafit yüzdeleri; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge

Tablo 4.14 Havada soğutulan 2. numuneye ait faz dağılımları

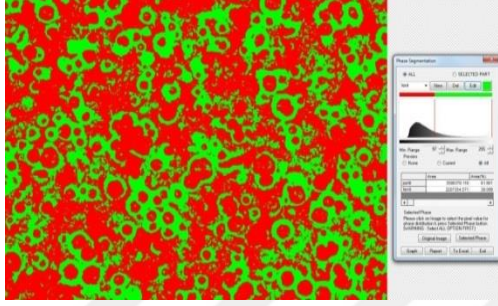
Havada Soğutulan 2.Numune	Faz Oranları (%)			
	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	Ortalama
Ferrit	68,235	41,953	48,898	53,029
Perlit+Grafit	31,765	58,047	51,102	46,971
Grafit	18,600	12,147	16,861	15,869
Perlit	13,165	45,900	34,241	31,102

Havada soğutulan numune 3'ün, Şekil 3.22'de verilen bölgelerine göre alınmış mikroyapı görüntülerinden elde edilen faz dağılımları Şekil 4.50'de, grafit yüzdesi Şekil 4.51'de verilmiştir. Elde edilen faz dağılımlarına ait veriler ise Tablo 4.15'deki gibidir.



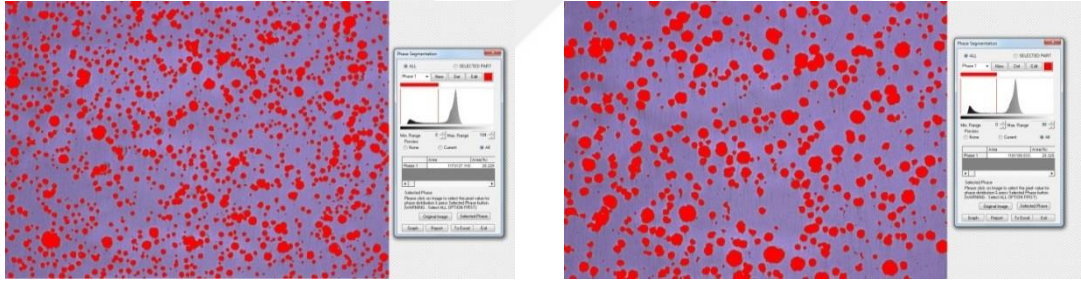
(a)

(b)



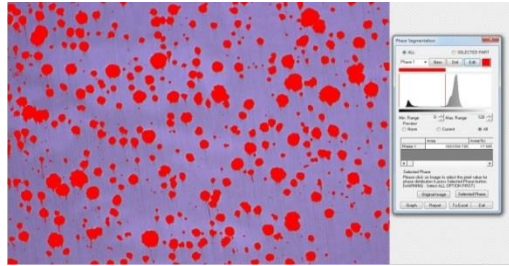
(c)

Şekil 4.50 Havada soğutulan 3. numunenin mikroyapı görüntülerine ait faz dağılımları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge



(a)

(b)



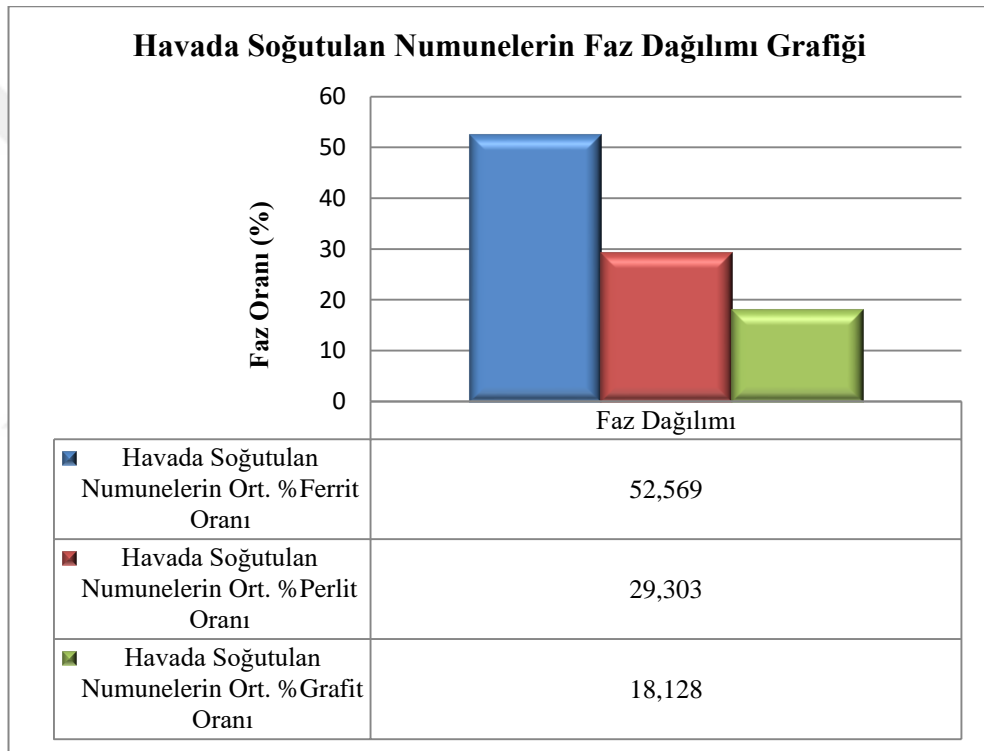
(c)

Şekil 4.51 Havada soğutulan 3. numunenin parlatılmış yüzey görüntülerine ait grafit yüzdeleri; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge

Tablo 4.15 Havada soğutulan 3. numuneye ait faz dağılımları

Havada Soğutulan 3.Numune	Faz Oranları (%)			
	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	Ortalama
Ferrit	55,676	47,857	38,099	47,211
Perlit+Grafit	44,324	52,143	61,901	52,789
Grafit	20,229	20,328	17,585	19,381
Perlit	24,095	31,815	44,316	33,409

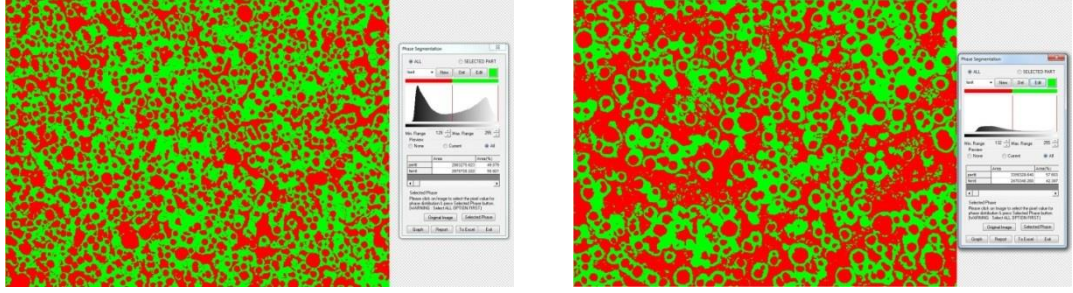
Havada soğutulan numunelerin ortalama faz dağılımlarına grafik Şekil 4.52’de verilmiştir.



Şekil 4.52 Havada soğutulan numunelerin faz dağılımı grafiği

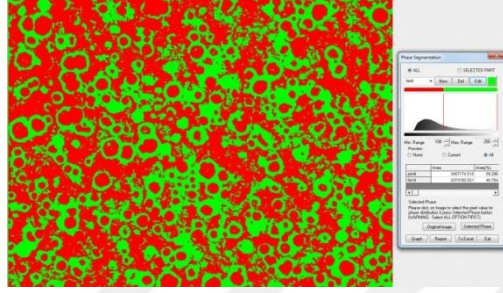
Havada soğutulan numunelerin faz dağılımları incelendiğinde, ortalama ferrit oranının %52,569 olduğu tespit edilmiş olup, bu soğuma şartlarında yapının ferritik olduğu görülmektedir.

Fanda soğutulan numune 1’in, Şekil 3.22’de verilen bölgelerine göre alınmış mikroyapı görüntülerinden elde edilen faz dağılımları Şekil 4.53’de, grafit yüzdesi Şekil 4.54’te verilmiştir. Elde edilen faz dağılımlarına ait veriler ise Tablo 4.16’daki gibidir.



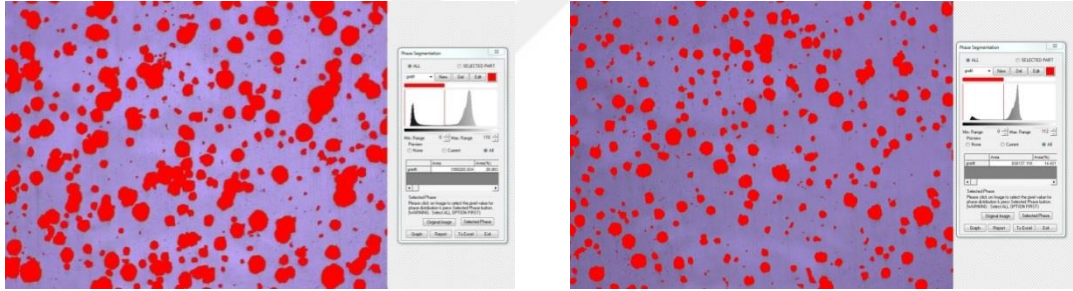
(a)

(b)



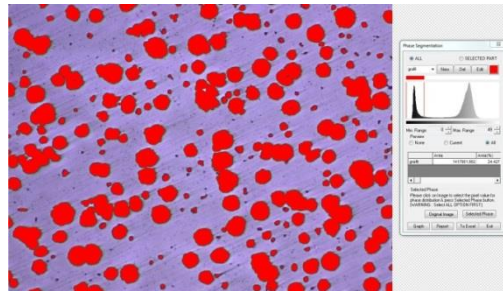
(c)

Şekil 4.53 Fanda soğutulan 1. numunenin mikroyapı görüntülerine ait faz dağılımları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge



(a)

(b)



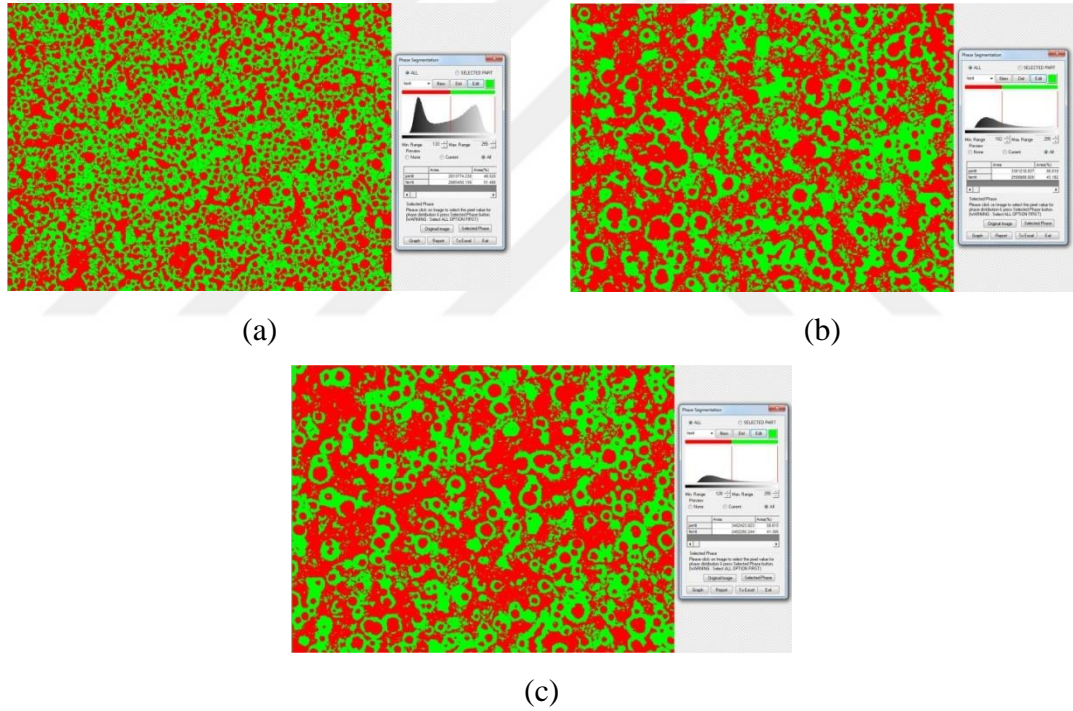
(c)

Şekil 4.54 Fanda soğutulan 1. numunenin parlatılmış yüzey görüntülerine ait grafit yüzdeleri; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge

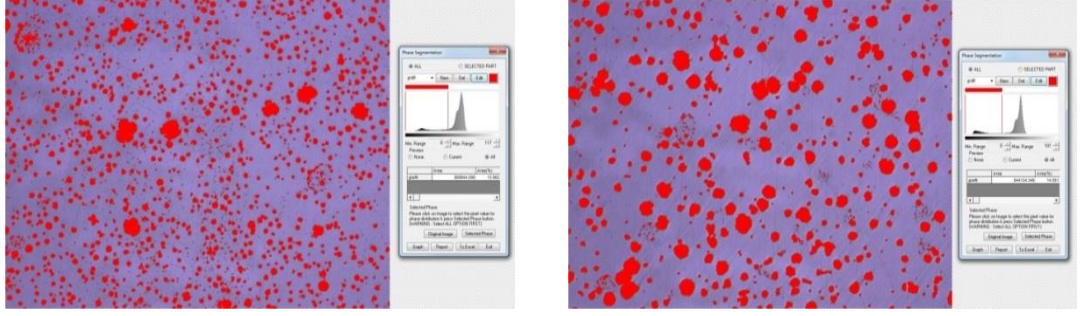
Tablo 4.16 Fanda soğutulan 1. numuneye ait faz dağılımları

Fanda Soğutulan 1.Numune	Faz Oranları (%)			
	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	Ortalama
Ferrit	50,921	42,397	40,704	44,674
Perlit+Grafit	49,079	57,603	59,296	55,326
Grafit	26,863	14,421	24,427	21,904
Perlit	22,216	43,182	34,869	33,422

Fanda soğutulan numune 2'nin, Şekil 3.22'de verilen bölgelerine göre alınmış mikroyapı görüntülerinden elde edilen faz dağılımları Şekil 4.55'te, grafit yüzdesi Şekil 4.56'da verilmiştir. Elde edilen faz dağılımlarına ait veriler ise Tablo 4.17'deki gibidir.

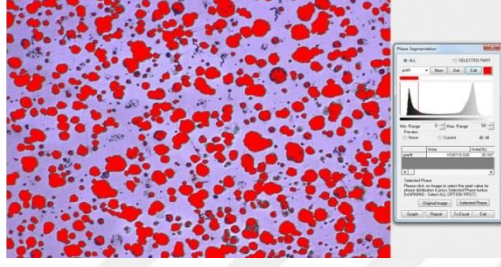


Şekil 4.55 Fanda soğutulan 2. numunenin mikroyapı görüntülerine ait faz dağılımları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge



(a)

(b)



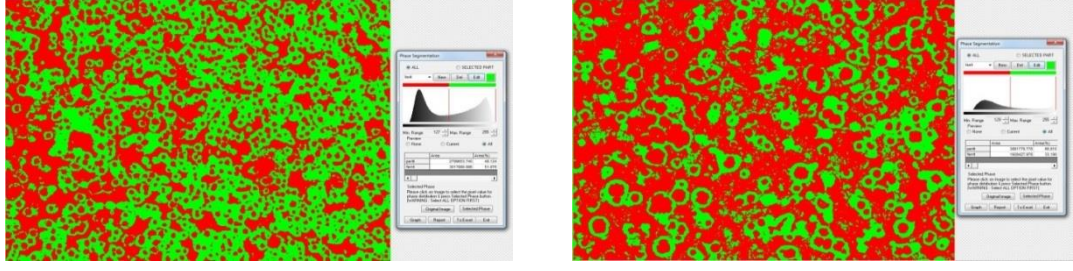
(c)

Şekil 4.56 Fanda soğutulan 2. numunenin parlatılmış yüzey görüntülerine ait grafit yüzdeleri; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge

Tablo 4.17 Fanda soğutulan 2. numuneye ait faz dağılımları

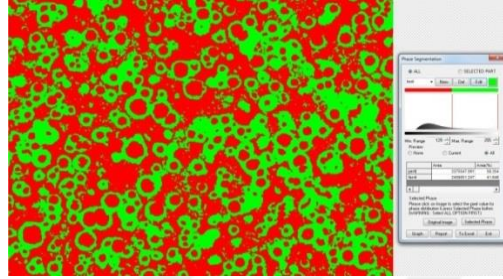
Fanda Soğutulan 2.Numune	Faz Oranları (%)			
	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	Ortalama
Ferrit	51,480	43,182	41,385	45,349
Perlit+Grafit	48,520	56,818	58,615	54,651
Grafit	13,962	14,561	26,507	18,343
Perlit	34,558	42,257	32,108	36,308

Fanda soğutulan numune 3'ün, Şekil 3.22'de verilen bölgelerine göre alınmış mikroyapı görüntülerinden elde edilen faz dağılımları Şekil 4.57'de, grafit yüzdesi Şekil 4.58'de verilmiştir. Elde edilen faz dağılımlarına ait veriler ise Tablo 4.18'teki gibidir.



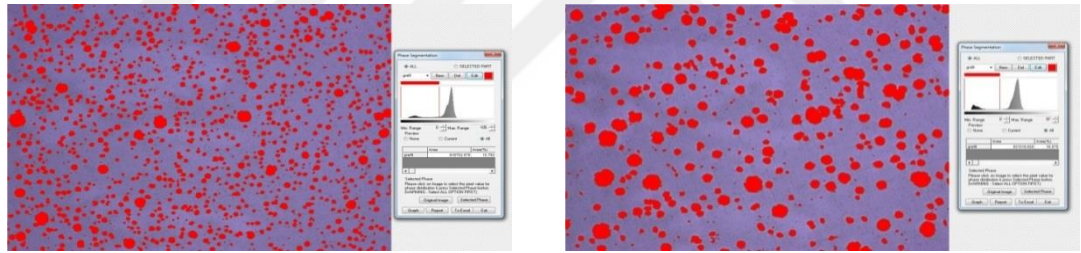
(a)

(b)



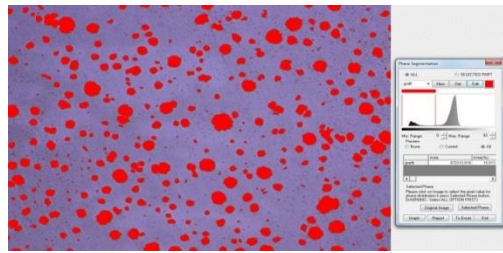
(c)

Şekil 4.57 Fanda soğutulan 3. numunenin mikroyapı görüntülerine ait faz dağılımları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge



(a)

(b)



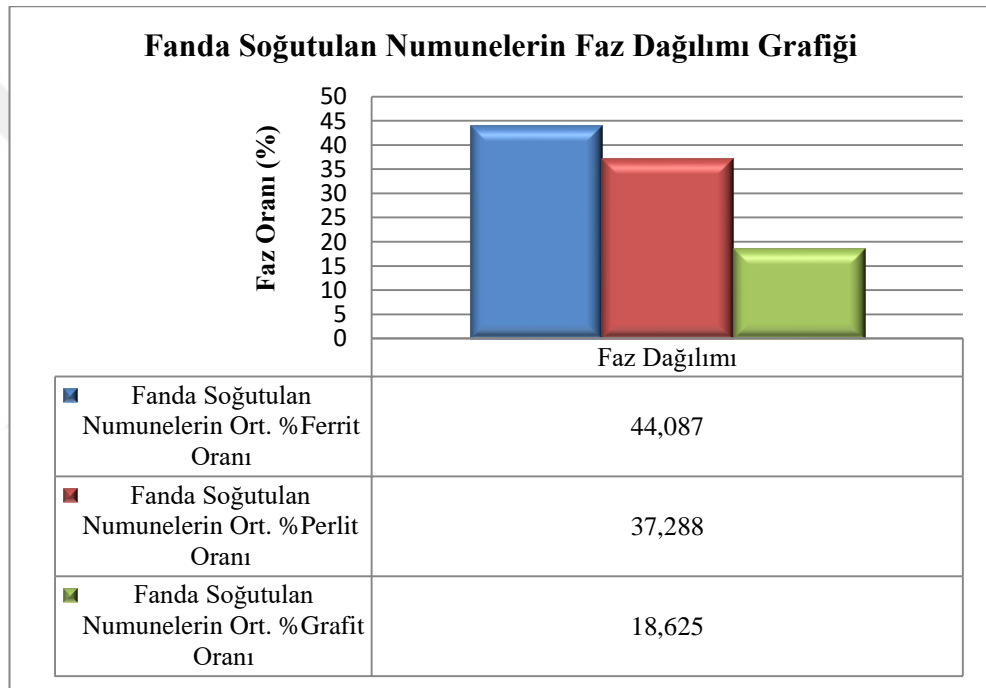
(c)

Şekil 4.58 Fanda soğutulan 3. numunenin parlatılmış yüzey görüntülerine ait grafit yüzdeleri; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge

Tablo 4.18 Fanda soğutulan 3. numuneye ait faz dağılımları

Fanda Soğutulan 3.Numune	Faz Oranları (%)			
	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	Ortalama
Ferrit	51,876	33,190	41,646	42,237
Perlit+Grafit	48,124	66,810	58,354	57,763
Grafit	15,793	16,078	15,013	15,628
Perlit	32,331	50,732	43,341	42,135

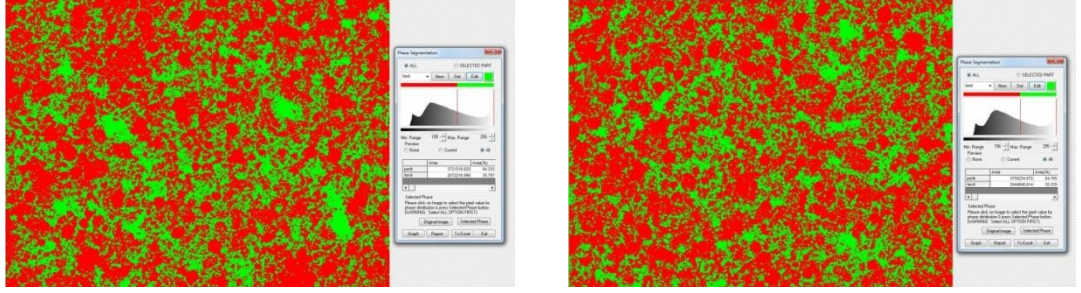
Fanda soğutulan numunelerin ortalama faz dağılımlarına grafik Şekil 4.59'da verilmiştir.



Şekil 4.59 Fanda soğutulan numunelerin faz dağılımı grafiği

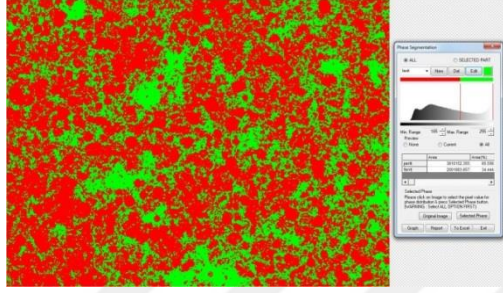
Fanda soğutulan numunelerin faz dağılımları incelendiğinde, ortalama ferrit oranının %44,087 olduğu tespit edilmiş olup, bu soğuma şartlarında yapının ferritik olduğu görülmektedir.

Yağda soğutulan numune 1'in, Şekil 3.22'de verilen bölgelerine göre alınmış mikroyapı görüntülerinden elde edilen faz dağılımları Şekil 4.60'da, grafit yüzdesi Şekil 4.61'de verilmiştir. Elde edilen faz dağılımlarına ait veriler ise Tablo 4.19'daki gibidir.



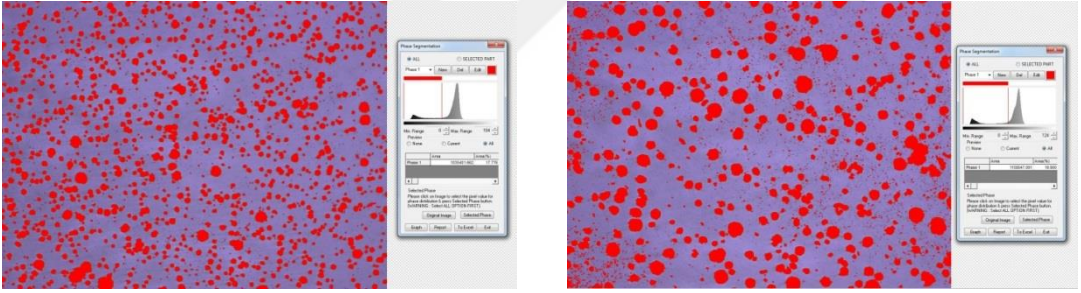
(a)

(b)



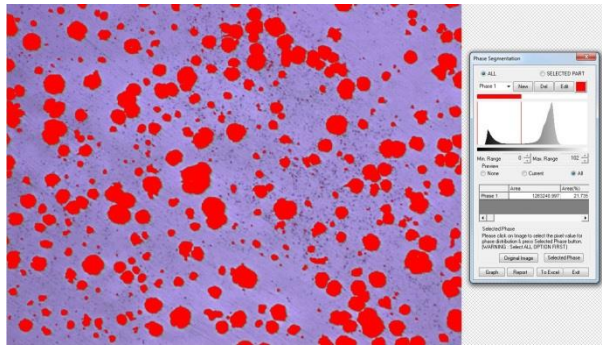
(c)

Şekil 4.60 Yağda soğutulan 1. numunenin mikroyapı görüntülerine ait faz dağılımları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge



(a)

(b)



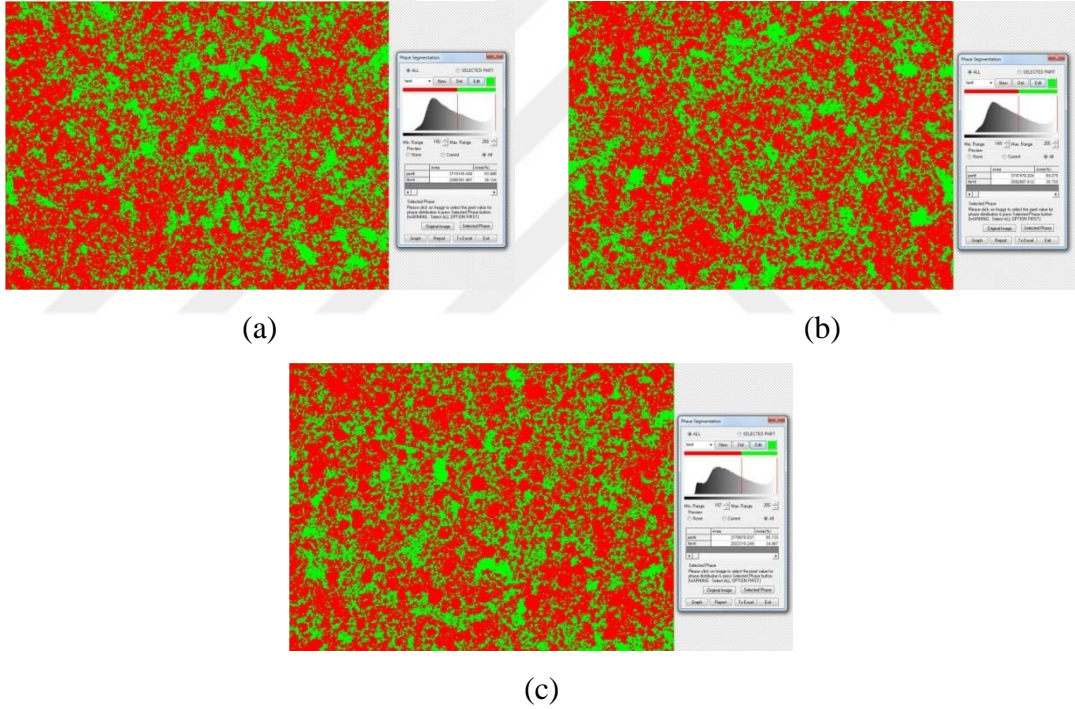
(c)

Şekil 4.61 Yağda soğutulan 1. numunenin parlatılmış yüzey görüntülerine ait grafit yüzdeleri; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge

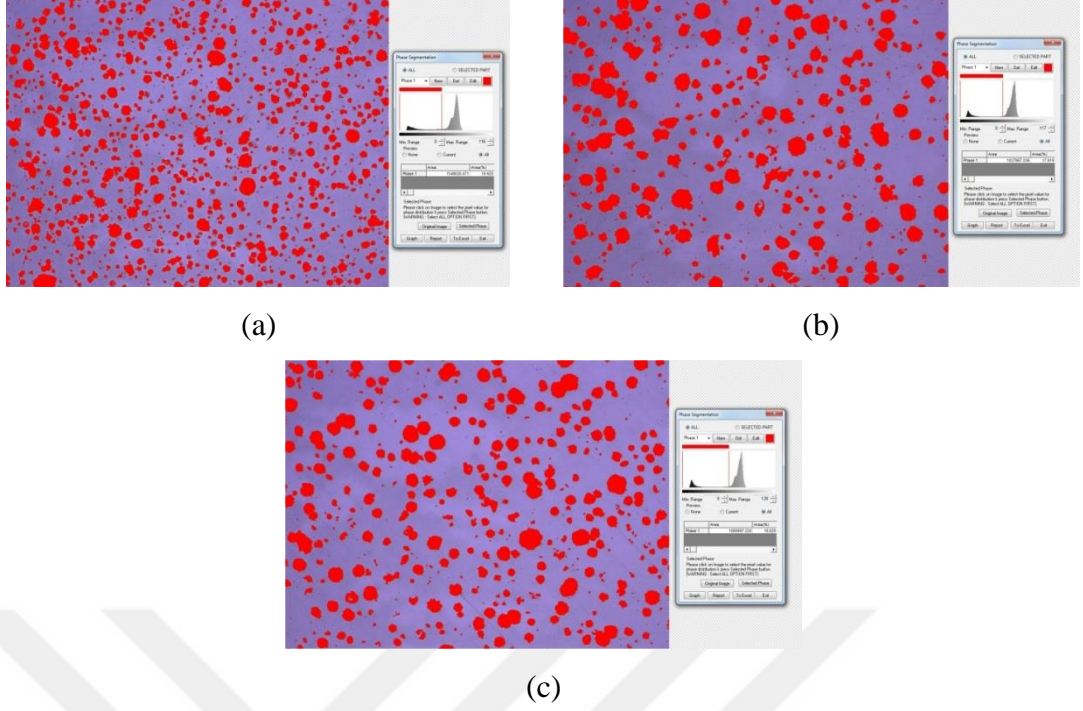
Tablo 4.19 Yağda soğutulan 1. numuneye ait faz dağılımları

Yağda Soğutulan 1.Numune	Faz Oranları (%)			
	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	Ortalama
Ferrit	35,767	35,235	34,444	35,149
Perlit+Grafit	64,233	64,765	65,556	64,851
Grafit	17,776	19,900	21,735	19,804
Perlit	46,457	44,865	43,821	45,048

Yağda soğutulan numune 2'nin, Şekil 3.22'de verilen bölgelerine göre alınmış mikroyapı görüntülerinden elde edilen faz dağılımları Şekil 4.62'de, grafit yüzdesi Şekil 4.63'te verilmiştir. Elde edilen faz dağılımlarına ait veriler ise Tablo 4.20'deki gibidir.



Şekil 4.62 Yağda soğutulan 2. numunenin mikroyapı görüntülerine ait faz dağılımları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge

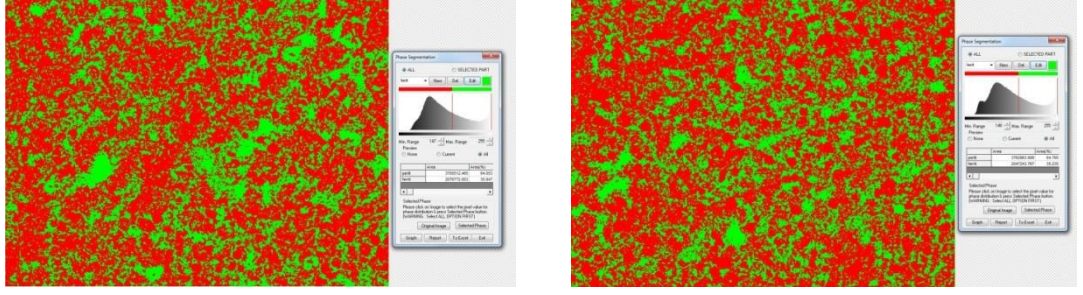


Şekil 4.63 Yağda soğutulan 2. numunenin parlatılmış yüzey görüntülerine ait grafit yüzdeleri; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge

Tablo 4.20 Yağda soğutulan 2. numuneye ait faz dağılımları

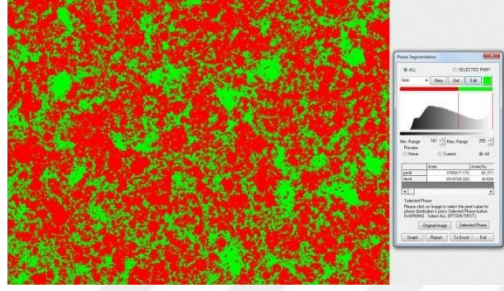
Yağda Soğutulan 2.Numune	Faz Oranları (%)			
	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	Ortalama
Ferrit	36,104	35,725	35,867	35,899
Perlit+Grafit	63,896	64,275	64,133	64,101
Grafit	19,920	17,919	18,629	18,823
Perlit	43,976	46,356	45,504	45,279

Yağda soğutulan numune 3'ün, Şekil 3.22'de verilen bölgelerine göre alınmış mikroyapı görüntülerinden elde edilen faz dağılımları Şekil 4.64'te, grafit yüzdesi Şekil 4.65'te verilmiştir. Elde edilen faz dağılımlarına ait veriler ise Tablo 4.21'deki gibidir.



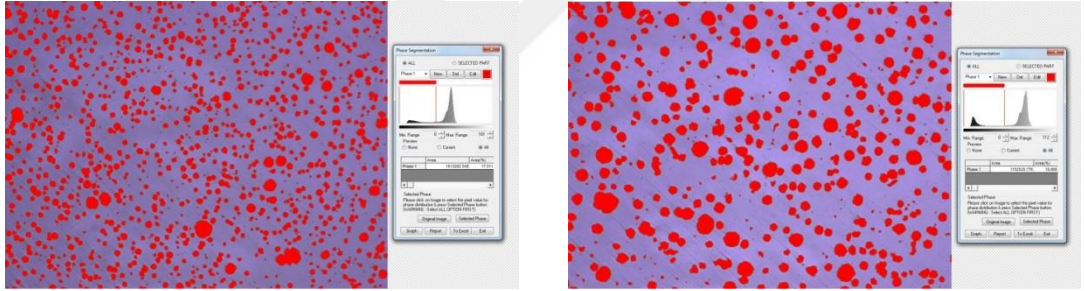
(a)

(b)



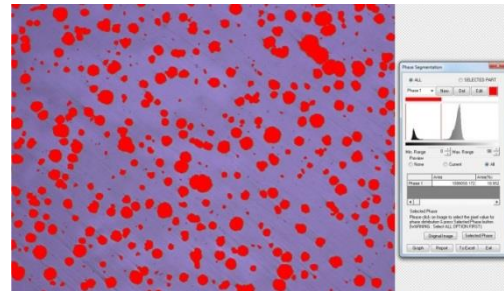
(c)

Şekil 4.64 Yağda soğutulan 3. numunenin mikroyapı görüntülerine ait faz dağılımları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge



(a)

(b)



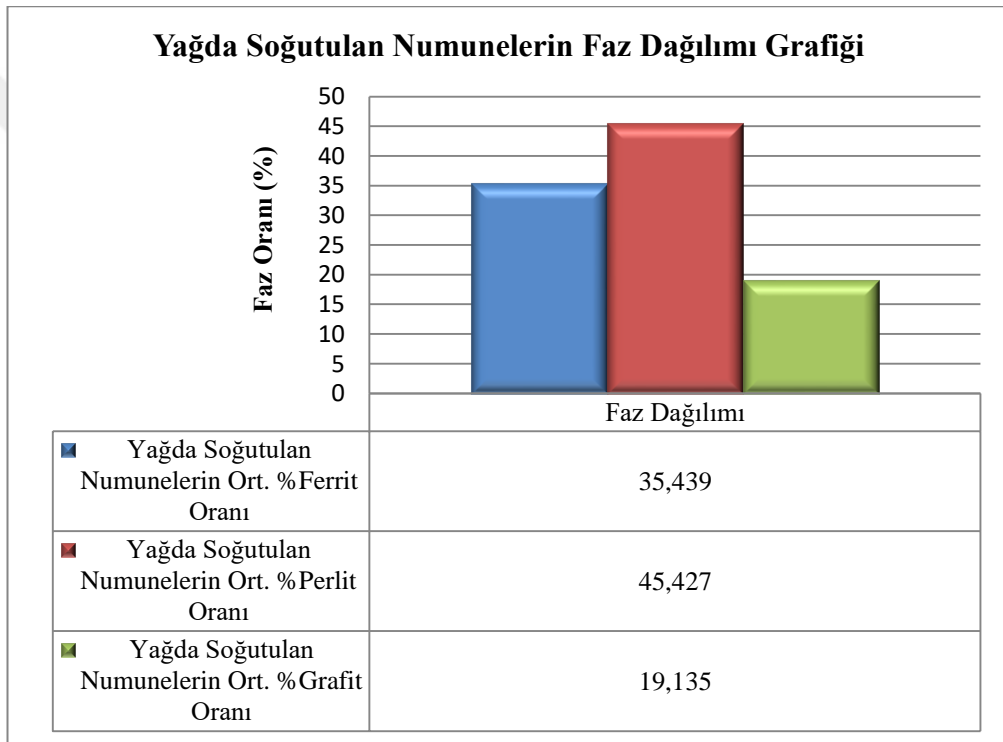
(c)

Şekil 4.65 Yağda soğutulan 3. numunenin parlatılmış yüzey görüntülerine ait grafit yüzdeleri; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge

Tablo 4.21 Yağda soğutulan 3. numuneye ait faz dağılımları

Yağda Soğutulan 3.Numune	Faz Oranları (%)			
	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	Ortalama
Ferrit	35,947	35,235	34,629	35,270
Perlit+Grafit	64,053	64,765	65,371	64,730
Grafit	17,511	19,868	18,952	18,777
Perlit	46,542	44,897	46,419	45,953

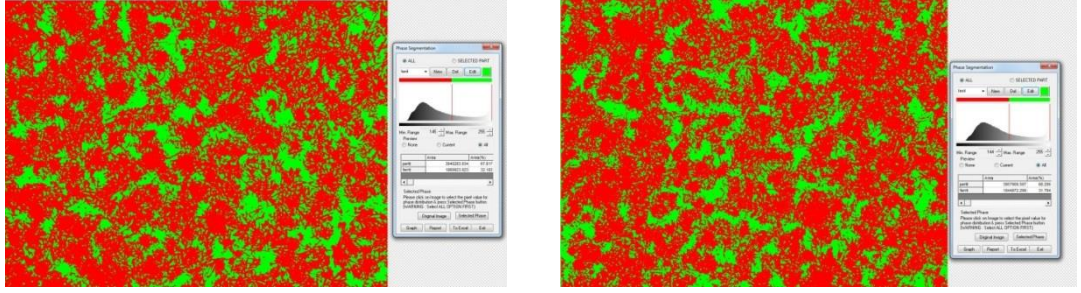
Yağda soğutulan numunelerin ortalama faz dağılımlarına grafik Şekil 4.66'da verilmiştir.



Şekil 4.66 Yağda soğutulan numunelerin faz dağılımı grafiği

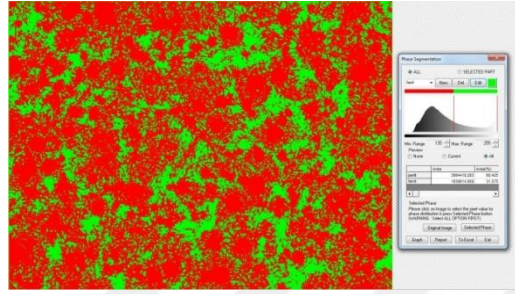
Yağda soğutulan numunelerin faz dağılımları incelendiğinde, ortalama ferrit oranının %35,439 olduğu tespit edilmiş olup, bu soğuma şartlarında yapının ferritik+beynitik olduğu görülmektedir.

Suda soğutulan numune 1'in, Şekil 3.22'de verilen bölgelerine göre alınmış mikroyapı görüntülerinden elde edilen faz dağılımları Şekil 4.67'de, grafit yüzdesi Şekil 4.68'de verilmiştir. Elde edilen faz dağılımlarına ait veriler ise Tablo 4.22'deki gibidir.



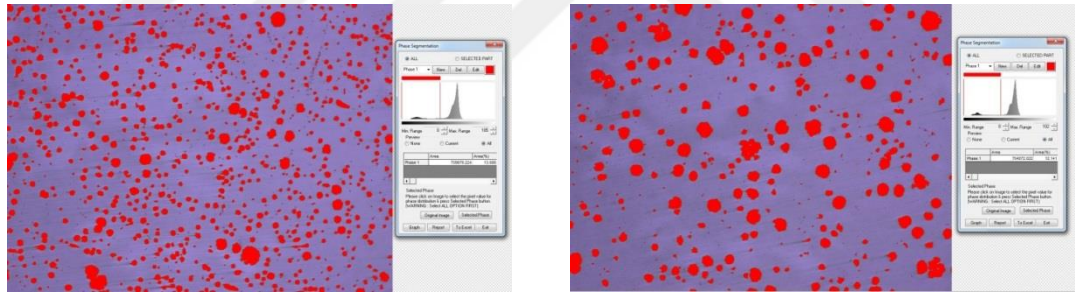
(a)

(b)



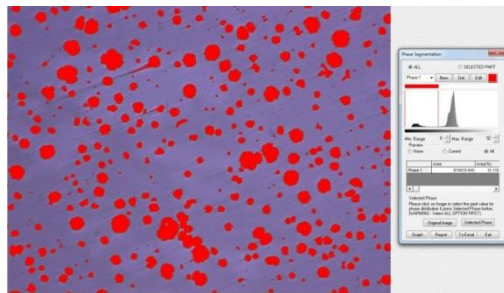
(c)

Şekil 4.67 Suda soğutulan 1. numunenin mikroyapı görüntülerine ait faz dağılımları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge



(a)

(b)



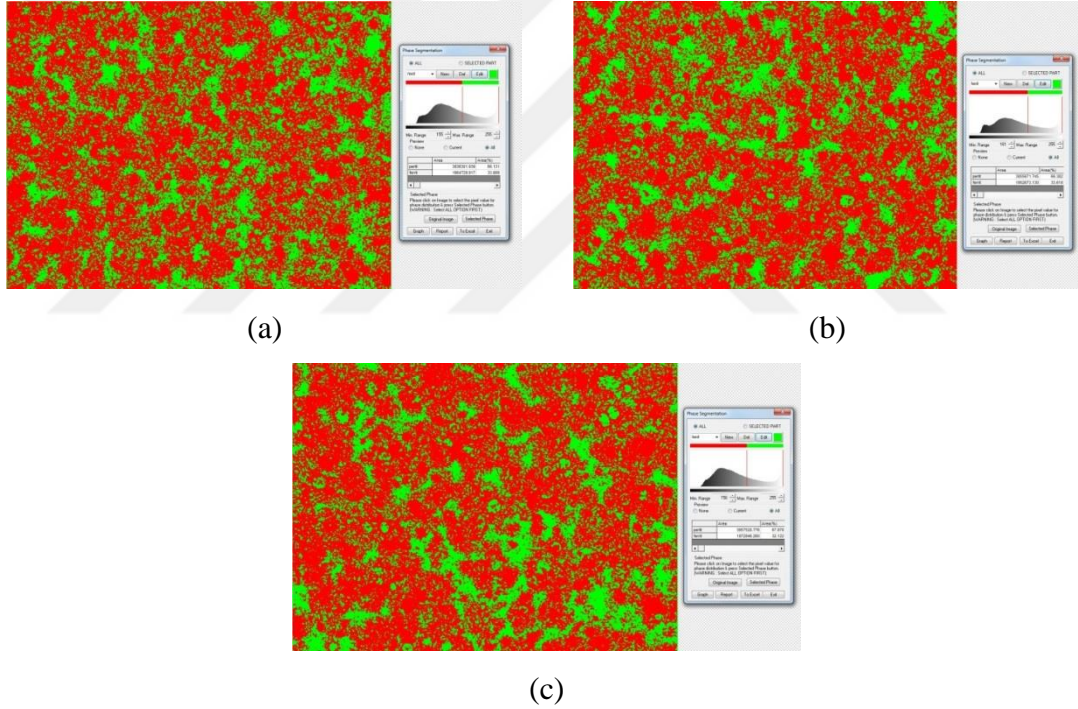
(c)

Şekil 4.68 Suda soğutulan 1. numunenin parlatılmış yüzey görüntülerine ait grafit yüzdeleri; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge

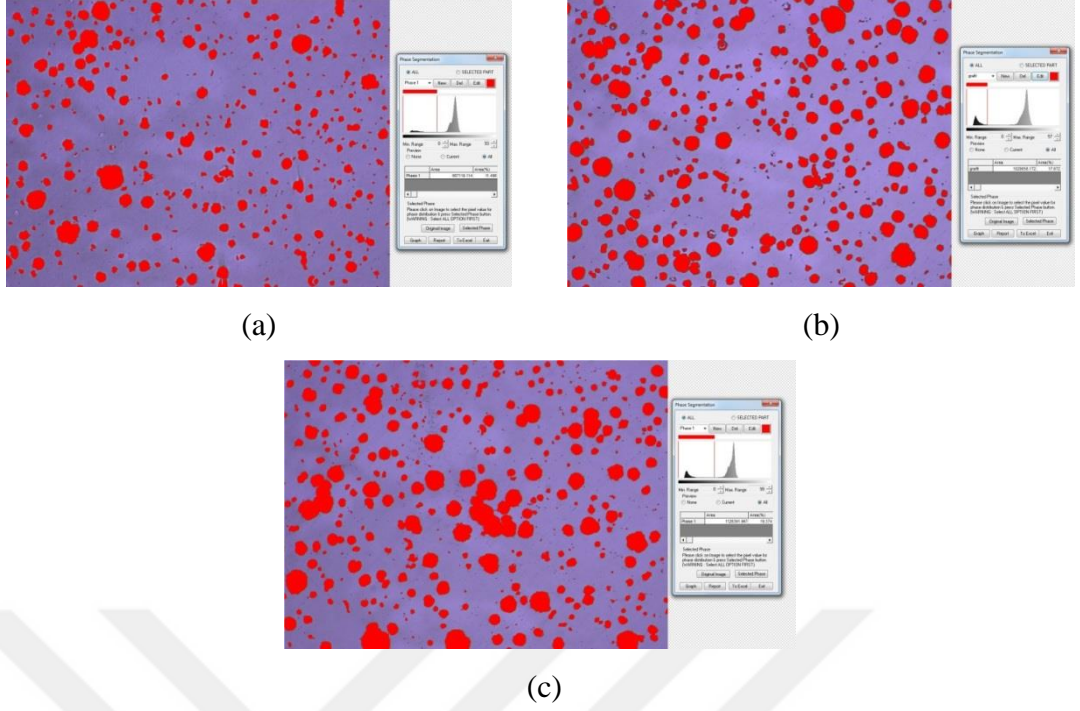
Tablo 4.22 Suda soğutulan 1. numuneye ait faz dağılımları

Suda Soğutulan 1.Numune	Faz Oranları (%)			
	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	Ortalama
Ferrit	32,183	31,794	31,575	31,851
Perlit+Grafit	67,817	68,206	68,425	68,149
Grafit	13,088	12,141	15,118	13,449
Perlit	54,729	56,065	53,307	54,700

Suda soğutulan numune 2'nin, Şekil 3.22'de verilen bölgelerine göre alınmış mikroyapı görüntülerinden elde edilen faz dağılımları Şekil 4.69'da, grafit yüzdesi Şekil 4.70'de verilmiştir. Elde edilen faz dağılımlarına ait veriler ise Tablo 4.23'deki gibidir.



Şekil 4.69 Suda soğutulan 2. numunenin mikroyapı görüntülerine ait faz dağılımları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge

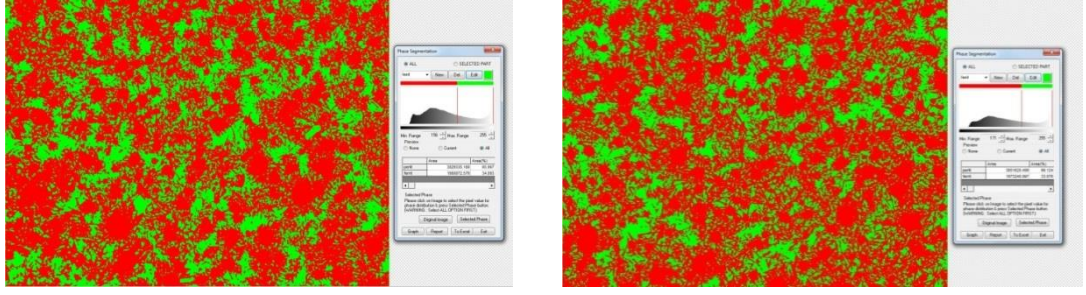


Şekil 4.70 Suda soğutulan 2. numunenin parlatılmış yüzey görüntülerine ait grafit yüzdeleri; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge

Tablo 4.23 Suda soğutulan 2. numuneye ait faz dağılımları

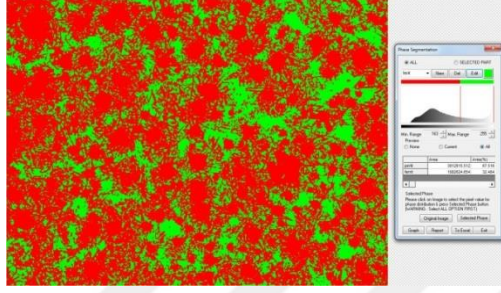
Suda Soğutulan 2.Numune	Faz Oranları (%)			
	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	Ortalama
Ferrit	33,869	33,618	32,122	33,203
Perlit+Grafit	66,131	66,382	67,878	66,797
Grafit	11,496	17,672	19,374	16,181
Perlit	54,635	48,71	48,504	50,616

Suda soğutulan numune 3'nin, Şekil 3.22'de verilen bölgelerine göre alınmış mikroyapı görüntülerinden elde edilen faz dağılımları Şekil 4.71'de, grafit yüzdesi Şekil 4.72'de verilmiştir. Elde edilen faz dağılımlarına ait veriler ise Tablo 4.24'deki gibidir.



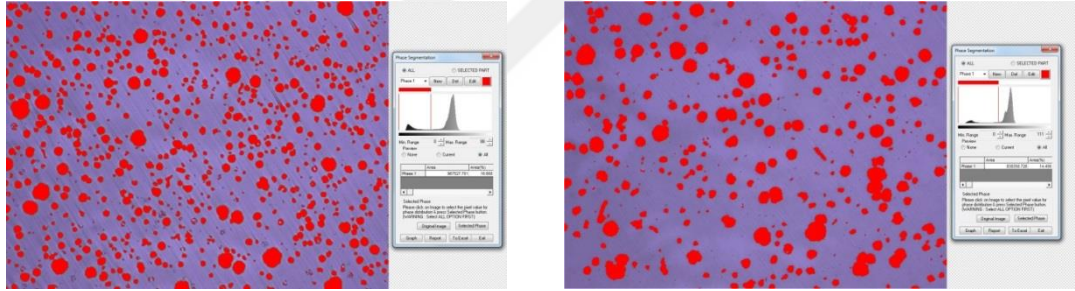
(a)

(b)



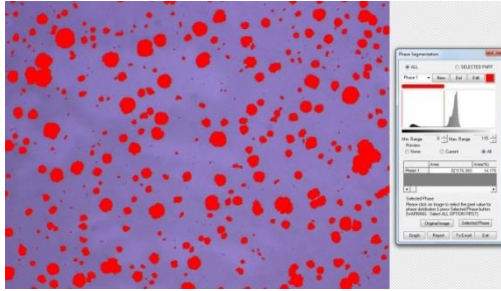
(c)

Şekil 4.71 Suda soğutulan 3. numunenin mikroyapı görüntülerine ait faz dağılımları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge



(a)

(b)



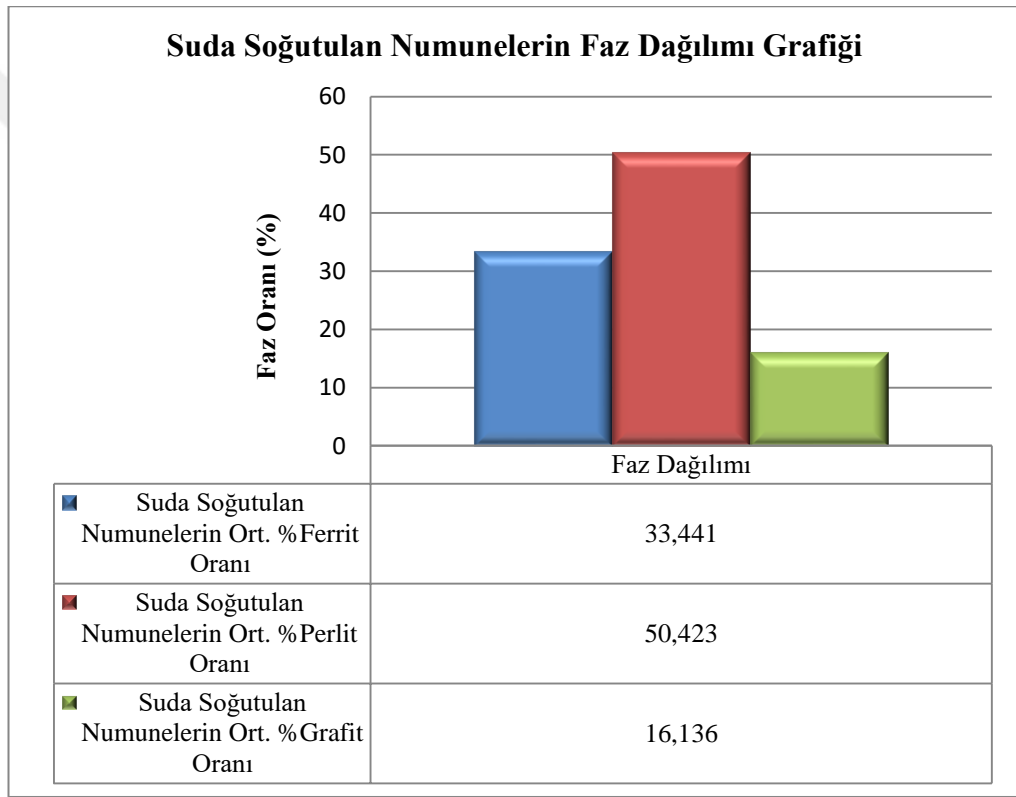
(c)

Şekil 4.72 Suda soğutulan 3. numunenin parlatılmış yüzey görüntülerine ait grafit yüzdeleri; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge

Tablo 4.24 Suda soğutulan 3. numuneye ait faz dağılımları

Suda Soğutulan 3.Numune	Faz Oranları (%)			
	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	Ortalama
Ferrit	35,947	35,235	34,629	35,270
Perlit+Grafit	64,053	64,765	65,371	64,730
Grafit	17,511	19,868	18,952	18,777
Perlit	46,542	44,897	46,419	45,953

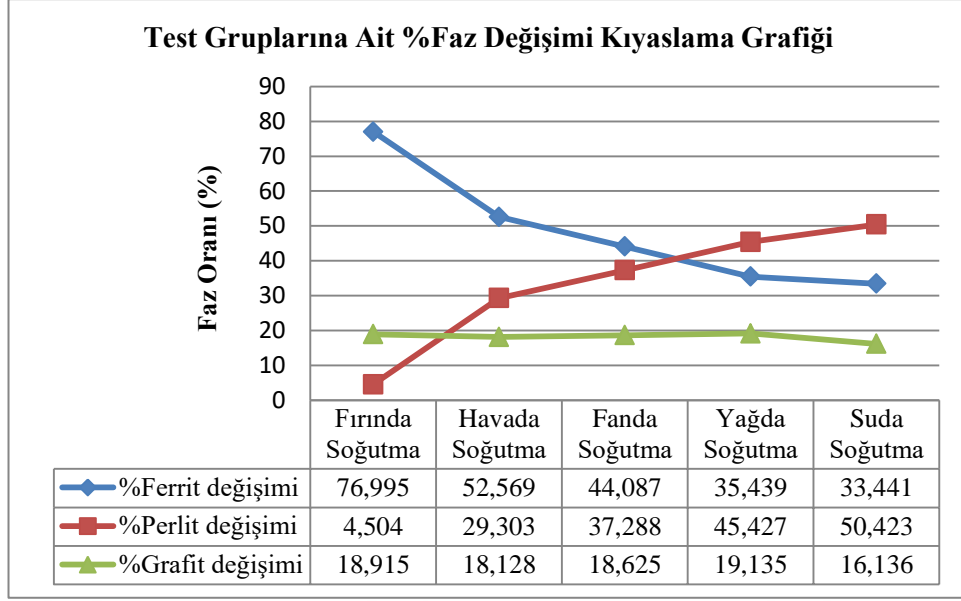
Suda soğutulan numunelerin ortalama faz dağılımlarına grafik Şekil 4.73'te verilmiştir.



Şekil 4.73 Suda soğutulan numunelerin faz dağılımı grafiği

Suda soğutulan numunelerin faz dağılımları incelendiğinde, ortalama ferrit oranının %33,441 olduğu tespit edilmiş olup, bu soğuma şartlarında yapının ferritik+beynitik olduğu görülmektedir.

Fırında, havada, fanda, yağda ve suda soğutulan numunelere ait ortalama olarak hesaplanan faz dağılımları Şekil 4.74'te verilmiştir.



Şekil 4.74 Test gruplarına ait ortalama faz dağılımları

S. Yeşiltepe ve M.K. Şeşen tarafından 2017 yılında yapılan çalışmada, küresel grafitli dökme demir numuneler farklı tavlama sürelerinde (1,2 ve 4 saat) 900 ve 1000°C de tavlansmıştır. Sonrasında havada ve suda soğutulan numunelere metalografik ve sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümler neticesinde yavaş soğuma şartlarında malzeme mikroyapısı ferritik olup, hızlı soğuma şartlarında perlitik ve martenzitik yapı olarak elde edilmiş, aynı zamanda soğuma hızının artması ile sertlik değerlerinde artış gözlemlenmiştir [6].

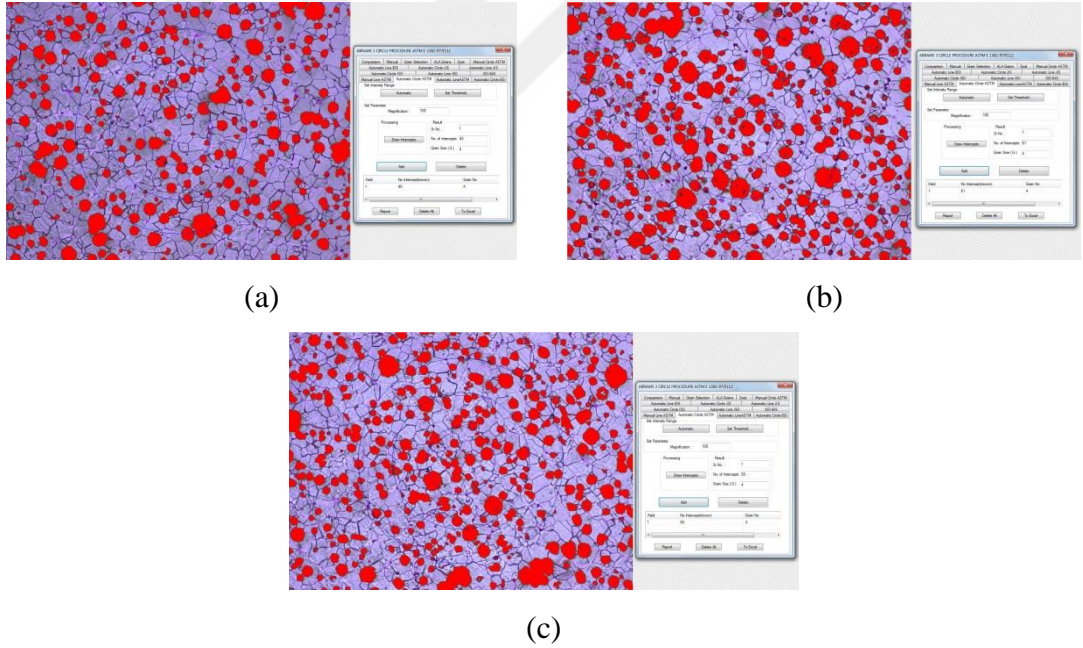
Bu çalışmaya istinaden yapmış olduğumuz testler sonucu hızlı soğuma şartlarında yüksek sertlik değeri elde edilmiştir. Ancak S. Yeşiltepe ve M.K. Şeşen tarafından yapılan çalışmada, 1 saat süre ile 900°C sıcaklığında tavlanan numunelerin suda soğutulması ile elde edilen sertlik değerlerinin, bu tez çalışmasında elde edilen değerlerden daha düşük olduğu görülmektedir. Bu kapsamda elde edilmiş olan sertlik değerlerinin bu tez çalışmasında proses şartlarına göre daha iyi değerlerde elde edileceği görülmüştür. Ayrıca bu tez çalışmasında elde edilen faz yapısının da, S. Yeşiltepe ve M.K. Şeşen tarafından yapılmış olan çalışmadaki ile benzerlik gösterdiği belirlenmiştir. Böylece artan soğuma hızının etkisi ile ferritin azalacağı ve perlitin artacağı görülür iken, sertlik değerlerinin artacağı belirlenmiştir.

Malzemelerin tane boyutunun sayısal olarak belirlenmesinde ASTM E112 standartlarından yararlanılmaktadır. Buradan elde edilen ASTM tane boyutu numarası, tane büyüklüğü hakkında bilgi vermektedir. Bu kapsamda, bu tez çalışmasında Material Plus yazılımı vasıtasıyla, elde edilen 100X büyütmedeki mikroyapı görüntüleri ile ASTM tane boyut numaraları ölçülmüştür. Fırında, havada, fanda, yağda ve suda soğutulan numunelerin hesaplanan ASTM tane boyutu numaraları ölçümlerine ait görüntüleri Şekil 4.75 - Şekil 4.89 arasında verilmiştir.

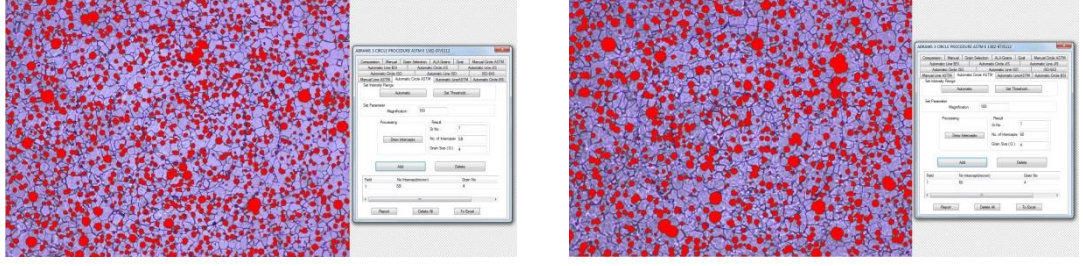
Elde edilen ASTM tane boyutu numaralarından, 100x büyütmede 1 inch²'deki toplam tane sayısının belirlenmesi amacı ile ASTM tane boyutu numarası hesaplama formülü kullanılmış ve toplam tane sayıları hesaplanmıştır.

$$N = 2^{n-1}$$

Bu formülde; 'n' ASTM tane boyutu numarasını temsil ederken, 'N' 100x büyütmede 1 inch²'deki toplam tane sayısını ifade etmektedir.

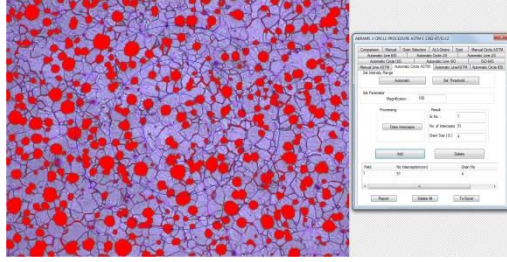


Şekil 4.75 Fırında soğutulan 1. numunenin mikroyapı görüntülerine ait ASTM tane boyutu numaraları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge



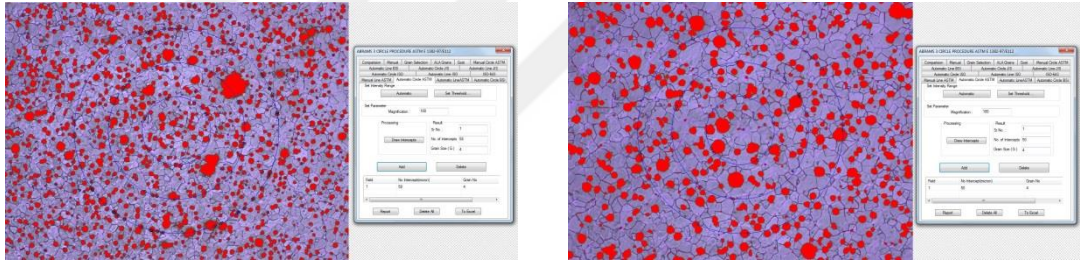
(a)

(b)



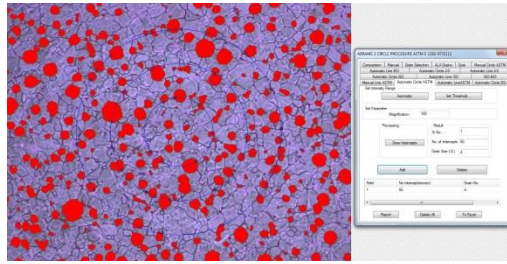
(c)

Şekil 4.76 Fırında soğutulan 2. numunenin mikroyapı görüntülerine ait ASTM tane boyutu numaraları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. Bölge



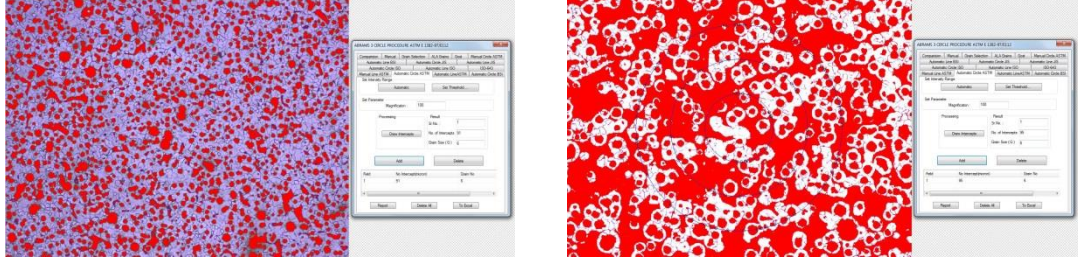
(a)

(b)



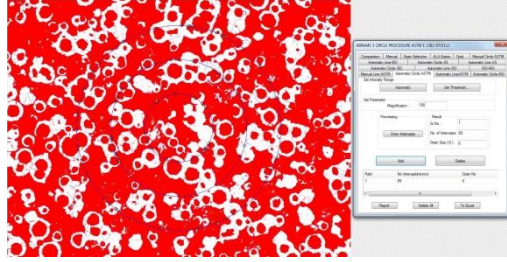
(c)

Şekil 4.77 Fırında soğutulan 3. numunenin mikroyapı görüntülerine ait ASTM tane boyutu numaraları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge



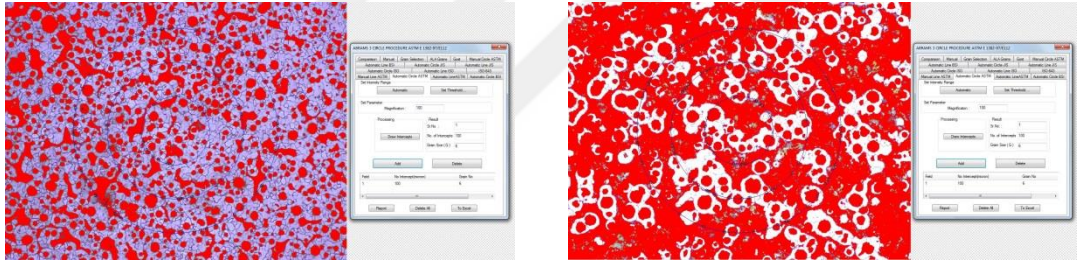
(a)

(b)



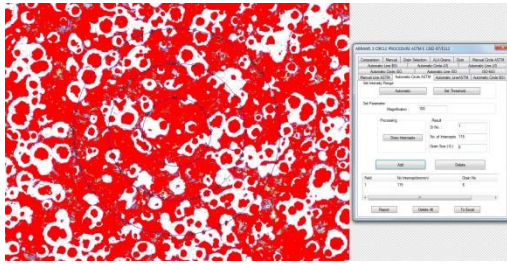
(c)

Şekil 4.78 Havada soğutulan 1. numunenin mikroyapı görüntülerine ait ASTM tane boyutu numaraları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge



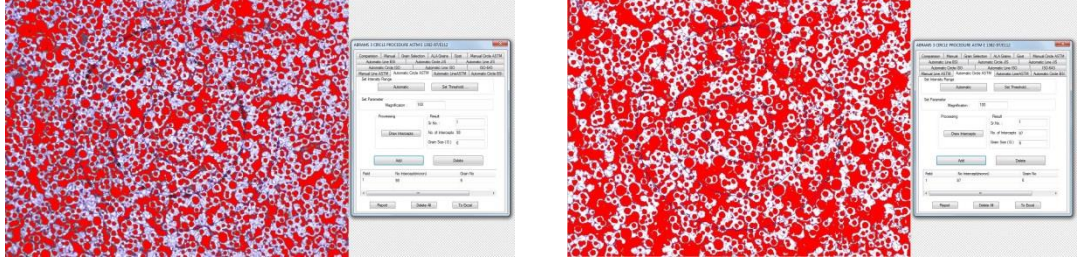
(a)

(b)



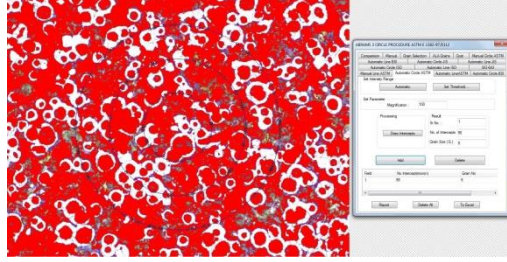
(c)

Şekil 4.79 Havada soğutulan 2. numunenin mikroyapı görüntülerine ait ASTM tane boyutu numaraları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge



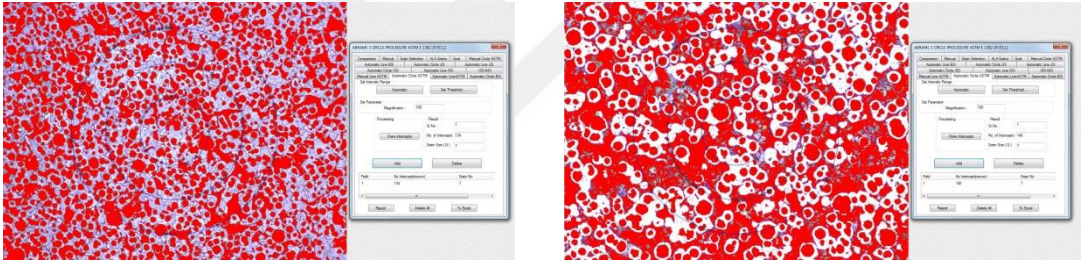
(a)

(b)



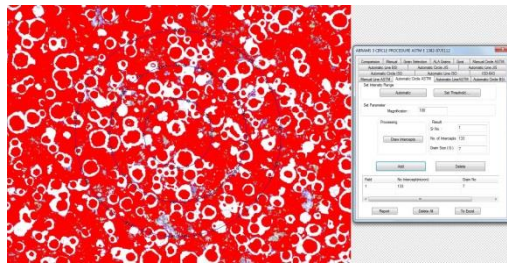
(c)

Şekil 4.80 Havada soğutulan 3. numunenin mikroyapı görüntülerine ait ASTM tane boyutu numaraları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge



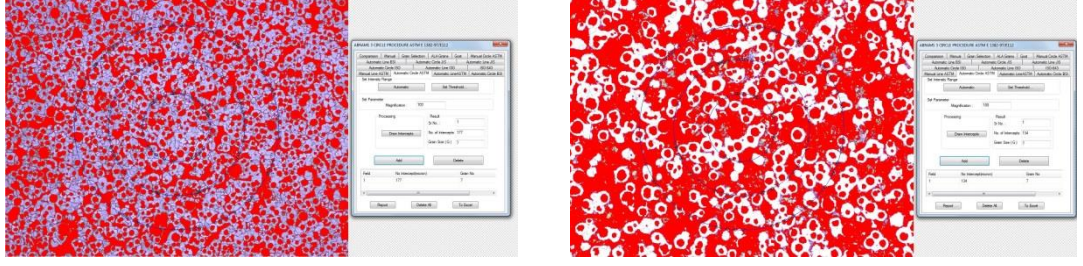
(a)

(b)



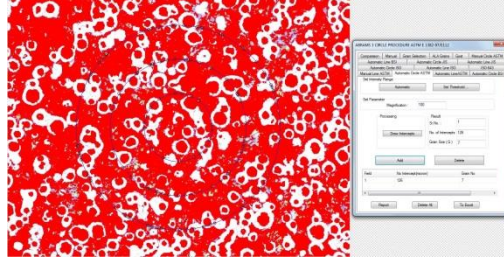
(c)

Şekil 4.81 Fanda soğutulan 1. numunenin mikroyapı görüntülerine ait ASTM tane boyutu numaraları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge



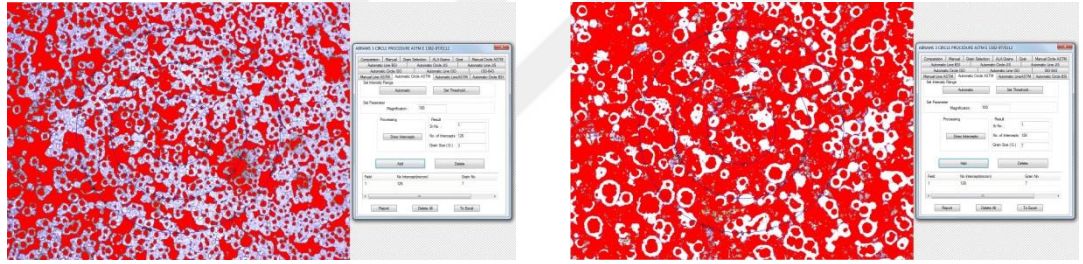
(a)

(b)



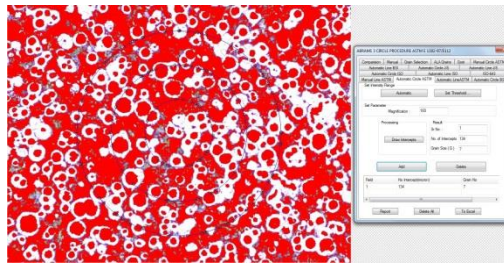
(c)

Şekil 4.82 Fanda soğutulan 2. numunenin mikroyapı görüntülerine ait ASTM tane boyutu numaraları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge



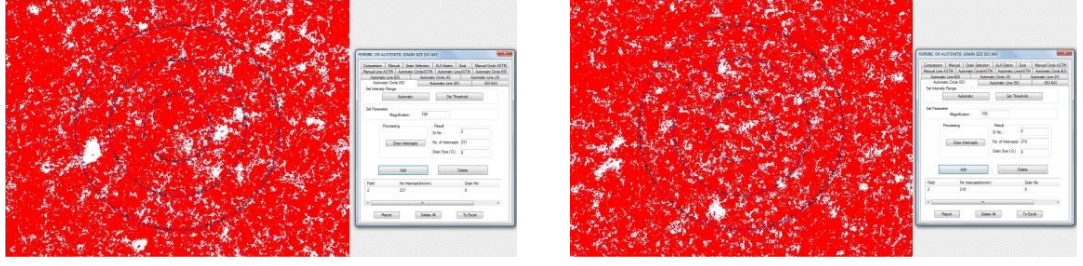
(a)

(b)



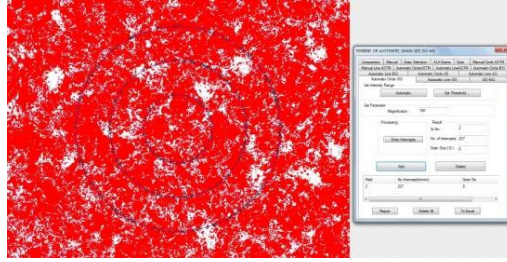
(c)

Şekil 4.83 Fanda soğutulan 3. numunenin mikroyapı görüntülerine ait ASTM tane boyutu numaraları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge



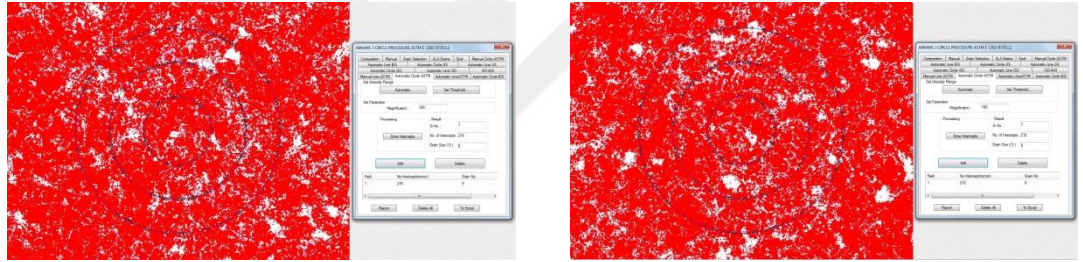
(a)

(b)



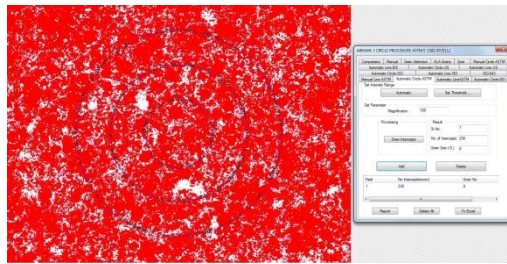
(c)

Şekil 4.84 Yağda soğutulmuş 1. numunenin mikroyapı görüntülerine ait ASTM tane boyutu numaraları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge



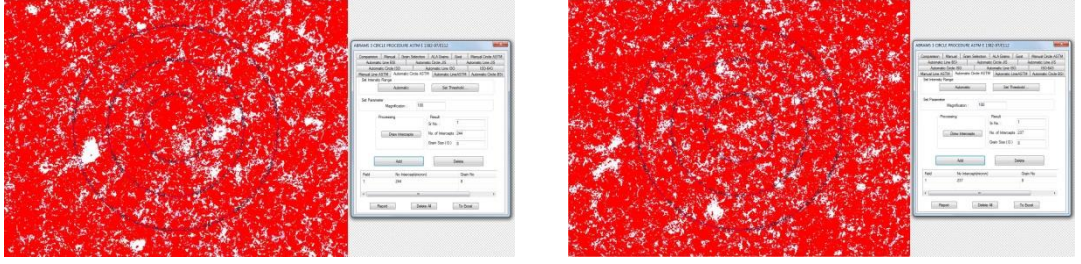
(a)

(b)



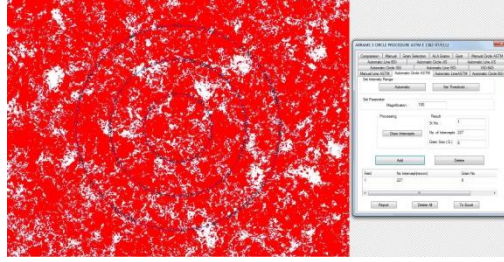
(c)

Şekil 4.85 Yağda soğutulmuş 2. numunenin mikroyapı görüntülerine ait ASTM tane boyutu numaraları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge



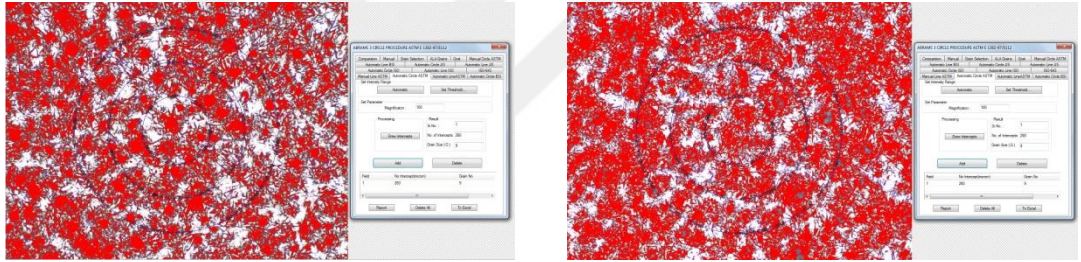
(a)

(b)



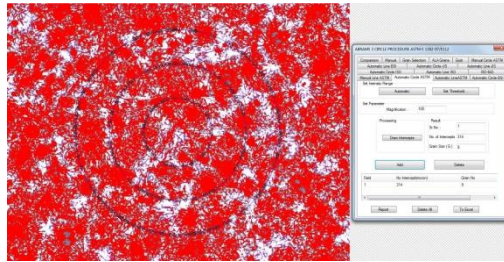
(c)

Şekil 4.86 Yağda soğutulan 3. numunenin mikroyapı görüntülerine ait ASTM tane boyutu numaraları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge



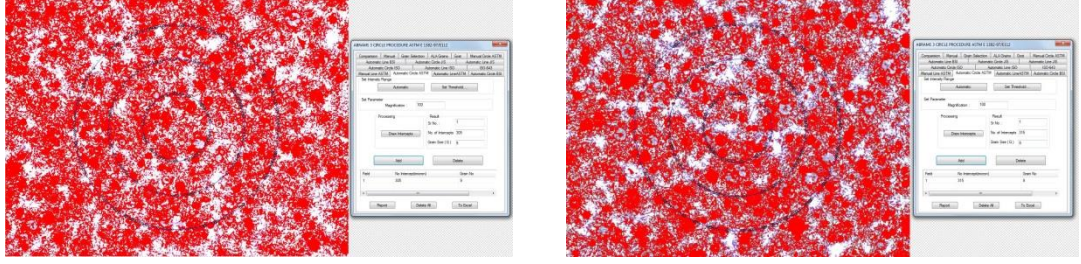
(a)

(b)



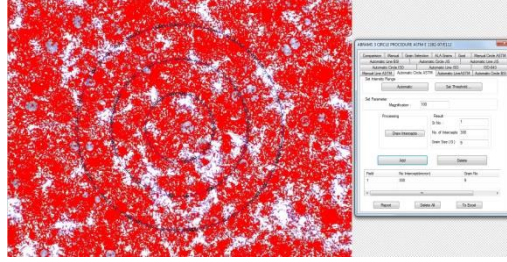
(c)

Şekil 4.87 Suda soğutulan 1. numunenin mikroyapı görüntülerine ait ASTM tane boyutu numaraları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge



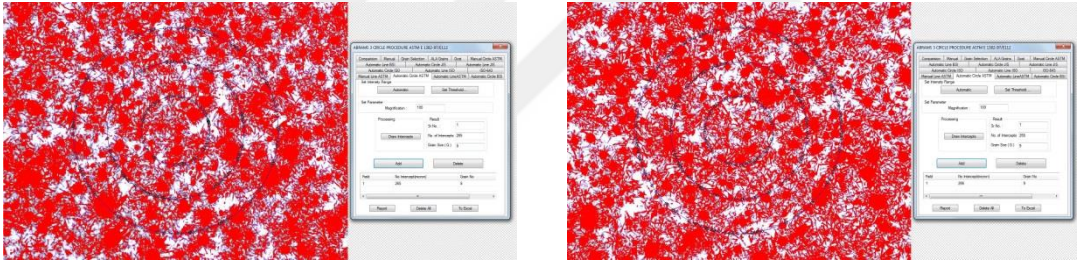
(a)

(b)



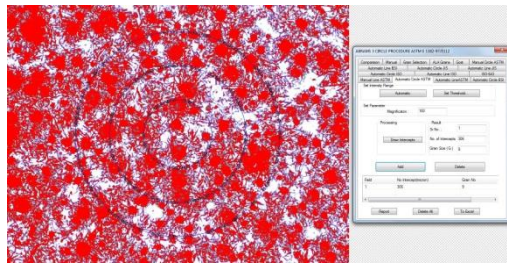
(c)

Şekil 4.88 Suda soğutulan 2. numunenin mikroyapı görüntülerine ait ASTM tane boyutu numaraları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge



(a)

(b)



(c)

Şekil 4.89 Suda soğutulan 3. numunenin mikroyapı görüntülerine ait ASTM tane boyutu numaraları; (a) 1.bölge, (b) 2.bölge ve (c) 3. bölge

Yapılan ölçümler ve hesaplamalar neticesinde tane boyutu numaralarına ve 100X büyütmede 1 inch²'deki toplam tane sayılarına ait veriler Tablo XX'de verilmiştir.

Tablo 4.25 ASTM tane boyut numaraları ve 100X büyütmede 1 inch²'deki toplam tane sayıları

Soğutma Grubu	Numune Sırası	ASTM Tane Boyutu Numaraları				100x Büyütmede 1 Inch ² 'deki Toplam Tane Sayısı			
		1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	Ortalama	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	Ortalama
Fırında Soğutma (Soğutma Hızı 0,17°C/sn)	1	4	4	4	4	8	8	8	8
	2	4	4	4	4	8	8	8	8
	3	4	4	4	4	8	8	8	8
	1, 2 ve 3 Ortalama	4	4	4	4	8	8	8	8
Havada Soğutma (Soğutma Hızı 0,31°C/sn)	1	6	6	6	6	32	32	32	32
	2	6	6	6	6	32	32	32	32
	3	6	6	6	6	32	32	32	32
	1, 2 ve 3 Ortalama	6	6	6	6	32	32	32	32
Fanda Soğutma (Soğutma Hızı 1,04°C/sn)	1	7	7	7	7	64	64	64	64
	2	7	7	7	7	64	64	64	64
	3	7	7	7	7	64	64	64	64
	1, 2 ve 3 Ortalama	7	7	7	7	64	64	64	64
Yağda Soğutma (Soğutma Hızı 4,48°C/sn)	1	8	8	8	8	128	128	128	128
	2	8	8	8	8	128	128	128	128
	3	8	8	8	8	128	128	128	128
	1, 2 ve 3 Ortalama	8	8	8	8	128	128	128	128
Suda Soğutma (Soğutma Hızı 10,44°C/sn)	1	9	9	9	9	256	256	256	256
	2	9	9	9	9	256	256	256	256
	3	9	9	9	9	256	256	256	256
	1, 2 ve 3 Ortalama	9	9	9	9	256	256	256	256

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

GGG 40 kalite küresel grafitli dökme demir numunelerine farklı soğuma hızlarında ısı işleminin sonrasında elde edilen numunelere mikro-sertlik ve metalografik incelemeler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

940°C sıcaklıkta östenitlenen numunelerin fırında, havada, fanda, yağda ve suda yapılan soğutma şartlarına ait soğuma eğrilerinin elde edilmesi için deney boyunca pirometre kullanılarak ölçümler alınmıştır. Ölçülen değerlere göre soğuma eğrileri elde edilmiştir. Bu doğrultuda; fırın ortamında 0,17 °C/sn, hava ortamında 0,31 °C/sn, fan ortamında 1,04 °C/sn, yağ ortamında 4,48 °C/sn ve su ortamında 10,44 °C/sn hızla soğutulmaya bırakıldığı belirlenmiştir. Elde edilen soğuma eğrileri, JMatPro yazılımı ile elde edilmiş olan TTT diyagramı üzerine çizdirilmiştir. TTT diyagramı üzerine çizdirilen bu soğuma eğrileri ile metalografik incelemeler sonucunda farklı soğuma hızlarına ait mikroyapılar kıyaslandığında, elde edilen çıktıların birbiri ile örtüştüğü tespit edilmiştir.

Elde edilen farklı soğuma hızlarına ait mikro-sertlik incelemeleri neticesinde, en yüksek sertlik değerinin suda soğutulan (Soğutma hızı; 10, 44 °C/sn) numunelere, en düşük sertlik değerinin ise fırında soğutulan (Soğutma hızı; 0,17 °C/sn) numunelere ait olduğu tespit edilmiştir. Böylece, artan soğuma hızı sonucunda malzeme içyapısında beynitik fazın oluşmasına bağlı olarak sertlik değerlerinde artış yaşanmıştır. Ayrıca soğuma hızının artması ile birlikte tane boyutlarında da küçülme meydana gelir. Bu durumda artan tane sınırları ile dislokasyon hareketleri zorlanır ve tane sınırlarında dislokasyon yığılımları meydana gelir. Böylece sertliğe ek olarak mukavemette de artış gözlemlenir.

Elde edilen farklı soğuma hızlarına ait metalografik incelemeler neticesinde, artan soğuma hızlarına bağlı olarak içyapıda iğnemsî yapıların oluştuğu tespit edilmiş olup, fırın soğuma için yapı ferritik olurken suda soğuma için beynitik yapıdır. Bu kapsamda, ayrıca soğuma hızının artması ile tane boyutundaki küçülme sonucunda mikroyapıda iğnemsî yapıların varlığı görülmüştür.

Yapılan vickers sertlik değerlerinin brinell sertlik değerlerine sönüşümü sonrası, farklı soğuma hızlarına ait çelikler için literatürde yer alan sertlik-çekme mukavemeti dönüşüm formülü (Denklem 3.1) kullanılarak hesaplanan değerler incelendiğinde, sertlik değerlerinin artması ile birlikte çekme mukavemeti değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Ayrıca sertlik-çekme mukavemeti ilişkisini gösteren grafikte dökme demir için verilen eğrinin eğimi hesaplanmıştır. Buradan, iki noktası bilinen doğrunun eğimi formülü ve eğriye ait herhangi bir x ve y noktasına ait değerler kullanılarak, dökme demir için elde edilen sertlik-mukavemet dönüşüm formülü (Denklem 3.2) ile hesaplanan değerler incelendiğinde, standart formülde olduğu gibi artan sertlik değerleri ile birlikte çekme mukavemetinde artış gözlemlenmiştir.

JMatPro yazılımı ile yapılacak olan farklı bir ısı işlem şartının doğruluk payının yüksek olacağı ve bu doğrultuda geliştirilebilecek kimyasal kompozisyonlara göre farklı ısı işlem parametreleri ayarlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Yılmaz, F. İçme-atık su ve gaz dağıtım şebekelerinde dökme demirler ve düktil demir uygulamaları. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi. İstanbul. 2003. 9-10s.
- [2] Çelik, Ö. Küresel grafitli dökme demirlerin aşınma davranışları. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2001, 115 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [3] Larker, R. Solution strengthened ferritic ductile iron ISO 1083/JS/500-10 provides superior consistent properties in hydraulic rotators. China Foundry. 2009, 6(4) 343-351.
- [4] Aran, A. Lamel ve küresel grafitli dökme demirlerin ısıtma işlemleri. TMMOB Makine Mühendisleri Odası Döküm Teknolojisi Seminer Notu. İstanbul, 1991, 19 s., 1991.
- [5] Koç Ş. Küresel grafitli dökme demirlerde GGG50 mekanik özelliklerinin ısıtma işlemi ile sağlanması. TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Metalurji Dergisi, 2008, 151, 20-27.
- [6] Yeşiltepe S., Şeşen M.K. Heat treatment effect on spheroidal graphite, microstructure and mechanical properties of Ni-resist ductile cast iron. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi. 2017, 5(3), 479 - 482.
- [7] Stafenescu, D. M. Classification and basic metalurgy of cast iron. Metals Handbook. 1990, 1, 3-55.
- [8] Karsay, I. S. Ductile iron-production practices. American Foundrymen's Society Inc., USA, 1990, 188 s.
- [9] Sen, U. Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Bor Kaplanması ve Kaplama Özellikleri, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 1997, 177 s. (Doktora Tezi).
- [10] Toptaş, M. Farklı Isıl İşlemlerin Küresel Grafitli Dökme Demirin Yorulma Davranışına Etkisi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Afyonkarahisar, 2009, 85s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [11] Kayalı, Y. Bortemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirin Mekanik Özellikleri ve Aşınma Davranışının Araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Afyonkarahisar, 2006, 113 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [12] Döngel, A. Bortemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirin Yüksek Sıcaklık Aşınma Davranışının İncelenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Afyonkarahisar, 2008, 96 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [13] Akman, C. GG 22 Lamel Grafitli Dökme Demirden Üretilen Motor Silindir Gömleklerinin CNC Torna Tezgahında İşlenebilirliğinin İncelenmesi. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir, 2006, 119 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [14] Söğüt, A. Küresel Grafitli Dökme Demirde Küreleşme Oranının Mekanik Etkisinin İncelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 1998, 111 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [15] Ghasemi, R. The Influence of Microstructure on Mechanical and Tribological Properties of Lamellar and Compacted Irons in Engine Applications. Jönköping University, School of Engineering, Department of Materials and Manufacturing, Sweden, 2016, 94 s. (Doctoral Thesis).

- [16] Çelik, O. N. Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Cu, Ni ve Mo Alaşım Elementlerinin Östemperleme Sonucu Beynit Oluşumuna Etkisinin İncelenmesi ve Sinirsel Ağ Modeli İle Değerlendirilmesi. Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 1996, 129 s. (Doktora Tezi).
- [17] Ayday, A. Elektrolitik Plazma Teknolojisi İle Küresel Grafitli Dökme Demir Malzemesinin Yüzey Özelliklerinin Geliştirilmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, 2013, 218 s. (Doktora Tezi).
- [18] Hasırcı, H. Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerde alaşım elementlerinin (Cu ve Ni) ve östemperleme süresinin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerine etkisi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 2000, 92 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [19] Toprak, H. Borlanmış ve PVD ile TiN kaplanmış KGDD kam milleri ile kaplamasız ve sertleştirilmiş çelik dövme kam millerinin çalışma performanslarının incelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı. Ankara, 2002, 104 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [20] Yazıcı, A. M. Küresel grafitli dökme demirin bortemperlenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Afyon, 2006, 93 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [21] Kırçalı, K. K. Farklı matris yapıları sahip küresel grafitli dökme demirlerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması. Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, 2006, 106 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [22] Yalçın, N. Ark kaynağı ile kaynatılan ferritik küresel grafitli dökme demirlere öntav sıcaklığının mikro yapı ve mekanik özelliklere etkisi. Politeknik Dergisi. 2008, 11 (2), 153-195.
- [23] Yavuz, K. GGG-70 sınıfı küresel grafitli dökme demir kam millerinin işlenebilirliğinin deneysel olarak araştırılması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 2006, 117 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [24] Elliot, R. Cast iron Technology. Butterworths & Co Ltd., London, 1988, 247 s.
- [25] Akkaya, H. Küresel Grafitli Dökme Demirler. Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Öğretmenliği Bölümü. Sakarya, 2000, 38-39 s.
- [26] Karaman S. Küresel Grafitli Dökme Demirlerin (Ggg40, Ggg50, Ggg60, Ggg70) Üretim Sürecinin Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Edirne, 2011, 116 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [27] Uçun, İ. Seramik kesici takımlar kullanarak östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin işlenebilirliğinin araştırılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Afyon, 2007, 82 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [28] Seyfi, A. Östemperlenmiş GGG60 sınıfı küresel grafitli dökme demirlerin işlenebilirliğinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirilmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 2006, 146 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [29] Topbaş, M. A. Isıl işlemler, Prestij Basın, İstanbul, 1993, 199 s.
- [30] www.yukselen.com/teknik/sertlik-donusum-cizelgesi (Erişim tarihi: 30.10.2019)
- [31] Callister, D. W. Materials Science and Engineering; an introduction. John Wiley & Sons, Inc. USA, 2007, 975 s.

[32] Güzel, E. Rüzgar Türbini Dkmlerinde Hassas Metalürjik Değişkenlerin Optimizasyonu. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2012, 164 s. (Yüksek Lisans Tezi).



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ezgi SEVGİ
Doğum Yeri ve Yılı : Manisa, 1995
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : ezgisevgi02@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Manisa Saruhanlı Anadolu Lisesi, 2013
Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 2017

Mesleki Deneyim

Kocaer Haddecilik San. ve Tic. A.Ş. 2017-...(halen)

Yayınları

Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Isıl İşlem Şartlarının Mekanik Ve Metalurjik Özelliklere Etkisi, (Hazırlık Aşaması Devam Ediyor)