

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KÜRE GRAFİTLİ DÖKME DEMİR ALAŞIMLARININ
ISIL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Tankut ATEŞ

Tez Yöneticisi:
Prof. Dr. Abdulkadir YILDIZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2006

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KÜRE GRAFİTLİ DÖKME DEMİR ALAŞIMLARININ ISIL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Tankut ATEŞ

Yüksek Lisans Tezi
Fizik Anabilim Dalı

Bu tez, tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman:

Üye:

Üye:

Üye:

Üye:

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

“Küre Grafitli Dökme Demir Alaşımlarının Isıl Özelliklerinin İncelenmesi” adlı yüksek lisans tezimin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Abdulkadir YILDIZ’a şükranlarımı sunarım.

Ayrıca, tez yazım süresinde her türlü desteğini esirgemeyen Doç.Dr. Fahrettin Yakuphanoglu’na, Fırat Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği öğretim üyesi Yrd.Doç.Dr. Ertan EVİN ve Bölüm Başkanı Doç.Dr. Mehmet EROĞLU’na, Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliği’nden Arş.Gör. Duygu EVİN’e ve değerli arkadaşım Arş.Gör. Ömer KAYGILI’ya çok teşekkür ederim. Her zaman benimle olup türlü maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili aileme saygılarımı sunarım.

Tez çalışmalarına FÜBAP-957 nolu proje kapsamında maddi destek sağlayan Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi’ne teşekkür ederim.

Tankut ATEŞ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
İÇİNDEKİLER.....	I
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	III
TABLOLAR LİSTESİ.....	VI
SİMGELER LİSTESİ.....	VIII
KISALTMALAR LİSTESİ.....	IX
ÖZET.....	XI
ABSTRACT.....	XII
1.GİRİŞ.....	1
2. ALAŞIMLAR VE ÖZELLİKLERİ.....	3
2.1. Alaşım Tipleri.....	4
2.2. Atomik Seviyede Metallerin İncelenmesi.....	5
2.3. Malzemelerin Fiziksel Özellikler.....	8
2.3.1. Elektriksel Özellikler.....	10
2.4. Termal Analiz Yöntemleri.....	12
3.DEMİR ESASLI METALLERİN SINIFLANDIRILMASI.....	15
3.1. Demir Esaslı Metaller.....	15
3.1.1. Demir-Karbon Alaşımlarının Üretimi.....	16
3.1.2. Demir-Karbon Alaşımlarının Sınıflandırılması, Genel Özellikleri ve Kullanma Alanları.....	18
3.2. Dökme Demirler.....	18
3.2.1. Dökme Demirler ve Özellikleri.....	19
4. DENEYSEL İŞLEMLER VE SONUÇLAR.....	23
4.1. X-Işını Difraksiyon Ölçümleri ve Sonuçları.....	25
4.2. Termogravimetrik Analiz (TGA) Ölçümleri ve Sonuçları.....	41
4.3. Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC) Ölçümleri ve Sonuçları.....	42

4.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Gözlemleri ve Sonuçları.....	58
4.5. Isıl İletkenlik Ölçümleri ve Sonuçları.....	67
 5. TARTIŞMA.....	69
KAYNAKLAR.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	75

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1. a) %0,2C'lu çelik b) %0,3C'lu çelik c) %1,2C'lu çelik d) Beyaz dökme demir e) Gri dökme demir.....	17
Şekil 3.2. Dört dökme demirin şematik çizimi (a) Gri dökme demir (b) Beyaz dökme demir (c) Temper dökme demir (d) Sünek (sfero), küresel grafitli dökme demir.....	22
Şekil 4.1 Küre grafitli I-Blok dökme demir malzemenin boyutları.....	23
Şekil 4.2. TA numunesinin X-ışını difraksiyon deseni.....	26
Şekil 4.3. TB numunesinin X-ışını difraksiyon deseni.....	27
Şekil 4.4. TC numunesinin X-ışını difraksiyon deseni.....	28
Şekil 4.5. TD numunesinin X-ışını difraksiyon deseni.....	29
Şekil 4.6. TE numunesinin X-ışını difraksiyon deseni.....	30
Şekil 4.7. TF numunesinin X-ışını difraksiyon deseni.....	31
Şekil 4.8. TG numunesinin X-ışını difraksiyon deseni.....	32
Şekil 4.9. TH numunesinin X-ışını difraksiyon deseni.....	33
Şekil 4.10. TI numunesinin X-ışını difraksiyon deseni.....	34
Şekil 4.11. TJ numunesinin X-ışını difraksiyon deseni.....	35
Şekil 4.12. TK numunesinin X-ışını difraksiyon deseni.....	36
Şekil 4.13. TL numunesinin X-ışını difraksiyon deseni.....	37
Şekil 4.14. TM numunesinin X-ışını difraksiyon deseni.....	38
Şekil 4.15. TN numunesinin X-ışını difraksiyon deseni.....	39
Şekil 4.16. TO numunesinin X-ışını difraksiyon deseni.....	40
Şekil 4.17. TP numunesinin X-ışını difraksiyon deseni.....	41

Şekil 4.18 TA numunesinin 10°C/dk., 15°C/dk., 20°C/dk., 25°C/dk. ısıtma hızları için DSC eğrileri.....	42
Şekil 4.19 TA numunesi için $\ln(\beta/T_p^2) - 1000/T_p$ grafiği	43
Şekil 4.20 TB numunesinin 10°C/dk., 15°C/dk., 20°C/dk., 25°C/dk. ısıtma hızları için DSC eğrileri.....	44
Şekil 4.21 TB numunesi için $\ln(\beta/T_p^2) - 1000/T_p$ grafiği	44
Şekil 4.22 TC numunesinin 10°C/dk., 15°C/dk., 20°C/dk., 25°C/dk. ısıtma hızları için DSC eğrileri.....	45
Şekil 4.23 TC numunesi için $\ln(\beta/T_p^2) - 1000/T_p$ grafiği	46
Şekil 4.24 TD numunesinin 10°C/dk., 15°C/dk., 20°C/dk., 25°C/dk. ısıtma hızları için DSC eğrileri.....	47
Şekil 4.25 TD numunesi için $\ln(\beta/T_p^2) - 1000/T_p$ grafiği	47
Şekil 4.26 TE numunesinin 10°C/dk., 15°C/dk., 20°C/dk., 25°C/dk. ısıtma hızları için DSC eğrileri.....	48
Şekil 4.27 TE numunesi için $\ln(\beta/T_p^2) - 1000/T_p$ grafiği	49
Şekil 4.28 TF numunesinin 10°C/dk., 15°C/dk., 20°C/dk. ısıtma hızları için DSC eğrileri.....	50
Şekil 4.29 TF numunesi için $\ln(\beta/T_p^2) - 1000/T_p$ grafiği	50
Şekil 4.30 TG numunesinin 10°C/dk., 15°C/dk., 20°C/dk., 25°C/dk. ısıtma hızları için DSC eğrileri.....	51
Şekil 4.31 TG numunesi için $\ln(\beta/T_p^2) - 1000/T_p$ grafiği	52
Şekil 4.32 TH numunesinin 10°C/dk., 15°C/dk., 20°C/dk., 25°C/dk. ısıtma hızları için DSC eğrileri.....	53
Şekil 4.33 TH numunesi için $\ln(\beta/T_p^2) - 1000/T_p$ grafiği	53
Şekil 4.34 TI numunesinin 10°C/dk., 15°C/dk., 20°C/dk., 25°C/dk. ısıtma hızları için DSC eğrileri.....	54
Şekil 4.35 TI numunesi için $\ln(\beta/T_p^2) - 1000/T_p$ grafiği	55

Şekil 4.36 TM numunesinin 10°C/dk., 15°C/dk., 20°C/dk., 25°C/dk. ısıtma hızları için DSC eğrileri.....	56
Şekil 4.37 TM numunesi için $\ln(\beta/T_p^2) - 1000/T_p$ grafiği	56
Şekil 4.38 TA numunesinin SEM fotoğrafı.....	58
Şekil 4.39 TB numunesinin SEM fotoğrafı.....	59
Şekil 4.40 TC numunesinin SEM fotoğrafı.....	59
Şekil 4.41 TD numunesinin SEM fotoğrafı.....	60
Şekil 4.42 TE numunesinin SEM fotoğrafı.....	61
Şekil 4.43 TF numunesinin SEM fotoğrafı.....	61
Şekil 4.44 TG numunesinin SEM fotoğrafı.....	62
Şekil 4.45 TH numunesinin SEM fotoğrafı.....	62
Şekil 4.46 TI numunesinin SEM fotoğrafı.....	63
Şekil 4.47 TJ numunesinin SEM fotoğrafı.....	63
Şekil 4.48 TK numunesinin SEM fotoğrafı.....	64
Şekil 4.49 TL numunesinin SEM fotoğrafı.....	65
Şekil 4.50 TM numunesinin SEM fotoğrafı.....	66
Şekil 4.51 TO numunesinin SEM fotoğrafı.....	66
Şekil 4.52 TP numunesinin SEM fotoğrafı.....	67

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 4.1 Deneylerde kullanılan numunelerin kimyasal bileşimi.....	23
Tablo 4.2. Numunelerin ısıtıldıkları sıcaklıklar ve bekletme süreleri.....	24
Tablo 4.3. TA numunesi için ölçülen X-ışını difraksiyon dataları ve faz bileşenleri.....	26
Tablo 4.4. TB numunesi için ölçülen X-ışını difraksiyon dataları ve faz bileşenleri.....	27
Tablo 4.5. TC numunesi için ölçülen X-ışını difraksiyon dataları ve faz bileşenleri.....	28
Tablo 4.6. TD numunesi için ölçülen X-ışını difraksiyon dataları ve faz bileşenleri.....	29
Tablo 4.7. TE numunesi için ölçülen X-ışını difraksiyon dataları ve faz bileşenleri.....	30
Tablo 4.8. TF numunesi için ölçülen X-ışını difraksiyon dataları ve faz bileşenleri.....	31
Tablo 4.9. TG numunesi için ölçülen X-ışını difraksiyon dataları ve faz bileşenleri.....	32
Tablo 4.10. TH numunesi için ölçülen X-ışını difraksiyon dataları ve faz bileşenleri....	33
Tablo 4.11. TI numunesi için ölçülen X-ışını difraksiyon dataları ve faz bileşenleri....	34
Tablo 4.12. TJ numunesi için ölçülen X-ışını difraksiyon dataları ve faz bileşenleri....	35
Tablo 4.13. TK numunesi için ölçülen X-ışını difraksiyon dataları ve faz bileşenleri....	36
Tablo 4.14. TL numunesi için ölçülen X-ışını difraksiyon dataları ve faz bileşenleri....	37
Tablo 4.15. TM numunesi için ölçülen X-ışını difraksiyon dataları ve faz bileşenleri....	38
Tablo 4.16. TN numunesi için ölçülen X-ışını difraksiyon dataları ve faz bileşenleri....	39
Tablo 4.17. TO numunesi için ölçülen X-ışını difraksiyon dataları ve faz bileşenleri....	40
Tablo 4.18. TP numunesi için ölçülen X-ışını difraksiyon dataları ve faz bileşenleri....	41
Tablo 4.19 TA numunesi için ölçülen ve hesaplanan parametreler.....	43
Tablo 4.20 TB numunesi için ölçülen ve hesaplanan parametreler.....	45
Tablo 4.21 TC numunesi için ölçülen ve hesaplanan parametreler.....	46
Tablo 4.22 TD numunesi için ölçülen ve hesaplanan parametreler.....	48

Tablo 4.23	TE numunesi için ölçülen ve hesaplanan parametreler.....	49
Tablo 4.24	TF numunesi için ölçülen ve hesaplanan parametreler.....	51
Tablo 4.25	TG numunesi için ölçülen ve hesaplanan parametreler.....	52
Tablo 4.26	TH numunesi için ölçülen ve hesaplanan parametreler.....	54
Tablo 4.27	TI numunesi için ölçülen ve hesaplanan parametreler.....	55
Tablo 4.28	TM numunesi için ölçülen ve hesaplanan parametreler.....	57
Tablo 4.29.	Tablo.4.2’de verilen numunelerin 5W, 10W, 15W, 20W ısı değerleri için ısı iletkenlik değerleri (W/mK).....	68

SİMGELER LİSTESİ

σ	: Elektriksel İletkenlik
v	: Elektronların Ortalama Hızı
μ	: Mobilite
θ	: Bragg Yansıma Açısı
λ	: Dalga Boyu
β	: Isıtma Hızı
α	: Maksimum Şiddetli Pikin Yarı Genişliği
A	: Numunenin Kesit Alanı
c	: Isı Kapasitesi
d	: Düzlemler Arası Mesafe
D	: Tane Büyüklüğü
e	: Elektronun Yüğü
E	: Elektriksel Alan
E_a	: Aktivasyon Enerjisi
ΔH	: Entalpi Değişimi
J	: Akım Yoğunluğu
k	: Isıl İletkenlik
l	: Ortalama Serbest Yol
L	: Lorentz Sayısı
m	: Kütle
n	: Birim Hacimdeki Elektron Sayısı
Q	: Isı Miktarı
T	: Sıcaklık
T_p	: DSC’de Gözlenen Maksimum Pik Sıcaklığı
ΔT	: Sıcaklık Farkı
V	: Potansiyel
Δx	: Numune Kalınlığı

KISALTMALAR LİSTESİ

TGA	: Termogravimetrik Analiz
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
DTA	: Diferansiyel Termal Analiz
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
hmk	: Hacim Merkezli Kübik Yapı
ymk	: Yüzey Merkezli Kübik Yapı
TA	: 800°C'ye kadar ısıtılıp 10dk. bekletildikten sonra yağda hızlı soğutulan küre grafitli dökme demir numune
TB	: 800°C'ye kadar ısıtılıp 20dk. bekletildikten sonra yağda hızlı soğutulan küre grafitli dökme demir numune
TC	: 800°C'ye kadar ısıtılıp 30dk. bekletildikten sonra yağda hızlı soğutulan küre grafitli dökme demir numune
TD	: 800°C'ye kadar ısıtılıp 40dk. bekletildikten sonra yağda hızlı soğutulan küre grafitli dökme demir numune
TE	: 900°C'ye kadar ısıtılıp 10dk. bekletildikten sonra yağda hızlı soğutulan küre grafitli dökme demir numune
TF	: 900°C'ye kadar ısıtılıp 20dk. bekletildikten sonra yağda hızlı soğutulan küre grafitli dökme demir numune
TG	: 900°C'ye kadar ısıtılıp 30dk. bekletildikten sonra yağda hızlı soğutulan küre grafitli dökme demir numune
TH	: 900°C'ye kadar ısıtılıp 40dk. bekletildikten sonra yağda hızlı soğutulan küre grafitli dökme demir numune
TI	: 1000°C'ye kadar ısıtılıp 10dk. bekletildikten sonra fırın ağzında yavaş soğutulan küre grafitli dökme demir numune
TJ	: 1000°C'ye kadar ısıtılıp 20dk. bekletildikten sonra fırın ağzında yavaş soğutulan küre grafitli dökme demir numune
TK	: 1000°C'ye kadar ısıtılıp 30dk. bekletildikten sonra fırın ağzında yavaş soğutulan küre grafitli dökme demir numune
TL	: 1000°C'ye kadar ısıtılıp 40dk. bekletildikten sonra fırın ağzında yavaş soğutulan küre grafitli dökme demir numune

- TM** : 1100°C'ye kadar ısıtılıp 10dk. bekletildikten sonra fırın ağzında yavaş soğutulan küre grafitli dökme demir numune
- TN** : 1100°C'ye kadar ısıtılıp 20dk. bekletildikten sonra fırın ağzında yavaş soğutulan küre grafitli dökme demir numune
- TO** : 1100°C'ye kadar ısıtılıp 30dk. bekletildikten sonra fırın ağzında yavaş soğutulan küre grafitli dökme demir numune
- TP** : 1100°C'ye kadar ısıtılıp 40dk. bekletildikten sonra fırın ağzında yavaş soğutulan küre grafitli dökme demir numune

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KÜRE GRAFİTLİ DÖKME DEMİR ALAŞIMLARININ ISIL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Tankut ATEŞ

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

2006, Sayfa : 87

Bu çalışmada, küre grafitli bir dökme demir alaşımı farklı ısı işlemlere ve bekletme sürelerine tabii tutularak 16 numune elde edildi ve ısı özellikleri incelendi. Uygulamaya tabii tutulmuş toplam 16 farklı numunenin faz bileşenlerini ve tane büyüklüklerini belirlemek amacıyla X-ışınları difraksiyon analizleri yapıldı ve hesaplanan tane büyüklükleri karşılaştırıldı, aktivasyon enerjisi ve dönüşüm entalpilerini belirlemek amacıyla DSC ölçümleri alındı ve hesaplanan aktivasyon enerjileri karşılaştırıldı. Oksitlenme veya korozyonu, dolayısıyla kütle kaybını belirlemek için TGA ölçümleri yapıldı, yapıdaki fazları belirlemek amacıyla SEM analizi alındı, ısı iletkenlik katsayılarını belirlemek için Isı İletim Ünitesi ölçümleri yapıldı ve hesaplanan ısı iletkenlik katsayıları karşılaştırıldı.

Anahtar Kelimeler: Alaşımlar, Demir-Karbon Alaşımları, Dökme Demir, Küre Grafitli Dökme Demir.

ABSTRACT

M.Sc Thesis

INVESTIGATION OF THERMAL PROPERTIES OF SPHEROIDAL GRAPHITE IRON ALLOYS

Tankut ATEŞ

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

2006, Page : 87

In this study, thermal properties of a spheroidal graphite ductile iron alloy have been investigated after being subjected to different thermal treatments and annealing, in which 16 samples were produced. In order to determine phase compositions and grain sizes of 16 different samples, X-ray diffraction analysis have been done and the grain sizes are compared with each other. DSC measurements of the each sample have been taken to determine the activation energies and transformation enthalpies. TGA measurements have been taken to observe the oxidation (or corrosion), obviously mass loss, SEM analysis to specify the phases, and the heat conduction unit measurements to determine the thermal conduction coefficients and in the end the results are compared with each others.

Keywords: Alloys, Iron-Carbon alloys, Spheroidal graphite ductile iron

1. GİRİŞ

Metal bilimi en eski bilimlerden biri olup tarihi M.Ö 6000’li yıllara kadar gitmektedir. 18. yüzyıla kadar sadece 12 metal çeşidi bilinmekte iken, 19. yüzyıl öncesinde bu sayı 24’e kadar ulaşmıştı ve bu sayı günümüzde 86 adet olarak bilinmektedir. Literatürde her bir metalin nasıl bulunduğu dair kronolojik bilgi artık detaylı olarak verilmektedir [1].

Bir metalin tanımının genel sınırları içerisinde, metallerin özellikleri geniş bir şekilde değişir. Genellikle yapılarında bulundurdıkları serbest elektronlar sayesinde elektrik yüklerini ve ısı enerjisiyi kolaylıkla transfer edebildikleri için [2] iyi elektriksel ve ısı iletkenliğe sahip elementler olup, periyodik tablodaki elementlerin çoğunluğunu metaller oluşturmaktadır (Al, Cl, Co, Cu, Au, Fe, Pb, Li, Mg, Mn, Hg, Mo, Ni, v.s.). Saf bir metal malzeme, sadece bu elementlerin herhangi birisinden oluşan malzeme [1] olup opaklık (ışığı geçirmezler) ve genellikle parlaklık özelliği gösterirler [2]. Katı yapıda olduklarında kristal yapıya sahip ve çoğu grimsi renktedir (bismut pembemsi, bakır kırmızı ve altın sarı). Bazı metaller birden fazla rengi gösterirler, bu olaya çok renklilik (çok kromatik) denir. Ayrıca, arsenik ve antimonyum gibi bazı elementler hem metalik hem de metalik olmayan özellikler gösterirler ve bunlara metalloidler denir. Bundan başka tüm metaller kristalleri oluşturmalarına rağmen, bu özellik metal olmayan karbon ve sülfür gibi elementler tarafından da gösterilir.

Her ne kadar bir metalden diğerine dikkate değer bir değişme varsa da genellikle metallerin aşınma direnci, elastikliği, şekil hatırlama, v.s gibi özellikleri, metal olmayanlardan ayırt edici bazı özellikleri oluşturmaktadır. Metaller ısıtıldıklarında genişlerken soğutulduklarında ise büzülürler, fakat platin ve iridyum gibi muayyen alaşımlar çok düşük genleşme katsayılarına sahiptirler. Endüstride birçok alandaki kullanımlar için, erime noktaları önemlidir ve erime noktaları civa için -39°C civarından tungsten için 3410°C aralığına kadar değişir. Farklı tipteki gerilimlere karşı çok güçlü ve dirençlidirler. En sert temel metal krom, en yumuşakları sezyum, bakır, altın ve gümüş olup kolayca şekillenebilirler. Özellikle üstün mekanik özelliklere sahip olduklarından en önemli yapı ve araçların malzemesi olarak kullanılırlar. Saf halde yumuşak ve düşük mukavemetli olmalarına karşılık alaşımlandırma, soğuk şekil verme ve ısı işlemleriyle sertlik ve mukavemetleri birkaç kat artırılabilir. Ayrıca üretim sırasında döküme, plastik şekil vermeye, keserek ve talaş karıştırarak işlemeye, kaynak, perçin ve vida ile birleştirmeye elverişlidirler. Bütün bunlara rağmen birkaç türü hariç genellikle korozyona karşı dirençleri düşüktür. Günümüzde metallerin biyolojik işlemlerde de kullanımı günden güne önem kazanmaktadır. Örneğin Alzheimer hastalığında Zn malzemesinin kullanımı, ilaç sanayinde, ziraatta, biyo-teknolojide yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca, bir çok

metal ve metal alaşımları yüksek yoğunluklara sahip olduklarından dolayı bazı kullanım alanlarında bu özelliğin gerekliliği kullanım avantajını sağlamaktadır. Örneğin, alüminyum ve magnezyum düşük yoğunluklu metallerdir. Alüminyum esaslı bazı alaşımlar, uçak sanayisi gibi uygulamalarda kullanılırlar. Başka bir özellik ise metal içindeki kusurdan kaynaklanabilen *kırılma tokluğu* (malzemenin yeteneği olarak tanımlanır) ve *plastik deformasyon* (bir malzemenin kırılmadan önce bükülme yada eğilme yeteneği)’ dur[3].

Endüstride kullanılan metallerin ve metal alaşımlarının türleri oldukça fazladır ve her biri belirli amaç için geliştirilmiştir. Metaller *demir esaslı* ve *demir dışı metaller* olarak bilinmektedirler. Demir esaslı metallerde ana eleman demirdir, bunun yanında karbon daima bir alaşım elemanı olarak bulunur. Demire karbondan başka elemanlar katılarak üstün nitelikte çeşitli alaşımlı çelikler elde edilir. Öte yandan, demir dışı metaller içerdikleri ana elemana göre adlandırılırlar. Ana elemanların yanına bir ve birden fazla alaşım elemanı katılarak değişik türde demir dışı alaşımlar üretilir. Demir dışı metallerden en önemli olanları alüminyum ve alaşımları ile bakır ve alaşımlarıdır. Endüstride kullanılan metallerin yaklaşık %90’ı demir esaslı metallerdir. Ülkelerin gelişmişlik düzeyleri yükseldikçe demir dışı metallerin kullanma oranlarının arttığı görülmektedir[4].

Bu çalışmada, farklı sıcaklık şartları ve süreleri değiştirilerek elde edilen bir küre grafitli dökme demir alaşımının; ısıl özellikleri deneysel olarak incelendi.

2. ALAŞIMLAR VE ÖZELLİKLERİ

En az iki metalin veya biri metal diğerleri metal olmayan elementlerin bir araya gelerek oluşturdukları yeni malzemeye alaşım olarak tanımlanır. Çoğunlukla, alaşımlar fiziksel özelliklerinden dolayı saf metallere göre daha çok kullanılmaktadır. Çelik, işlenmemiş demirden daha güçlü ve serttir. Krom, magnezyum, nikel, vanadyum gibi metallerden oluşan çelik alaşımları, çeliğin kendisinden daha sağlam ve serttir; birçoğu korozyona karşı daha dayanıklıdır. Daha çok çeşidi bulunan bu alaşımların ileri teknolojiye (roket, uçak, uzay araçları, v.s) kullanımı günümüzde daha da artmıştır[4].

Saf metaller ısıtılma işlemleri ve çeşitli biçimlendirme yöntemleri ile yeni özellikler kazanmaktadırlar. Ancak bu özellikler, endüstrinin nitelikli malzeme ihtiyaçlarını karşılamamaktadır. Bundan dolayı, çok fazla farklı özellikler elde etmek, malzemeyi çalışacağı yerin şartlarına ve ısıtılma işlemlere uygun hale getirmek ve ucuz maliyetli malzemeyi kaliteli hale getirmek gibi nedenlerle alaşımlar yapılmaktadır. Alaşımlar, kendini oluşturan malzemelerin temel özelliklerini taşıyabildikleri gibi yeni özellikler de gösterebilmektedirler. Alaşım yapmak için malzemeler istenilen oranlarda birbirleri ile karıştırılabilirler. Ancak kimyasal bileşiklerde olduğu gibi yeni bir madde meydana gelmez. Buna karşın alaşımı oluşturan malzemeler, diğer fiziksel karışımlar gibi kolaylıkla ayrıştırılamazlar[3].

En sık görülen alaşım türü, metallerin birbirleri ile yaptıkları alaşım türleridir. Bunlara örnek, bronz, pirinç, lehim kalayı gösterilebilir. Diğer görülen alaşım türleri ise hem bir metal(ya da metaller) hem de metal olmayanı(özellikle karbonu) ihtiva eden bileşiklerdir[3, 4]. Bu tür alaşımlar genellikle karbür, sülfür ve nitrür şeklindedirler ve bunlara verilebilecek en güzel örnek, çelik malzemelerdir. Çelik, demir metalinin, metal olmayan karbon elementi ile yapmış olduğu bir demir karbür alaşımıdır[3]. Basit karbon çelikleri yaklaşık % 0.5 magnezyum ve % 0.8 e kadar karbon ve diğeri de demirden oluşan malzemelerdir. Ayrıca bir alaşım, katı bir çözeltiyi, metalik elementlere çok yakın bir kristal karışımını, bir ara metalik bileşiği ve çözeltilerin herhangi bir bileşenini de içerebilir. $NaAu_2$, $CuSn$, ve $CuAl_2$ gibi ara metalik bileşikler bilinen elektronik dağılım kuralına uymazlar. Alaşımlar genellikle sert ve kırılğan olmalarına rağmen günümüzde önemi artmaktadır, çünkü fiziksel karakteristikleri daha iyidir.

Geçmişte, çoğu metaller eritilmiş malzemelerin karışımı ile hazırlanıp üretilirken, günümüzde özel karakteristikli malzemelerin veya alaşımların hazırlanması değişik teknikler mevcuttur. Bunlardan *toz metalurjisi* en yaygın olanlarından olup kuru malzeme tozları karıştırılır, yüksek basınç altında sıkıştırılır ve daha sonra erime noktasına yakın ısıtılıp hazırlanır. Bir başka teknik ise iyon implantasyonudur (aşılması). Bu teknik bilgisayar çiplerini

üretmek amacıyla; vakum ortamda, güçlü ve ince bir alaşım tabakası oluşturmak için karbon, nitrojen ve diğer elementler metal yüzey üzerine ateşlenir. Örneğin, titanyumla nitrojenin bombardımana tabii tutulması ile süper bir alaşım elde edilir. 14-karat altın, beyaz altın, platin-iridyum çok kıymetli metal alaşımlarıdır. Öte yandan, Alman gümüşü, pirinç, lehim, kalay gibileri ise yukarıdakilere göre az kıymetli metallerdir.

Alaşımlar birden fazla metal elementi içerdiklerinden bileşik olup, metallerin ilave edilmesi ile elektriksel iletkenlikleri, plastik deformasyonları, kırılmalık toklukları, gerilimleri, yoğunlukları gibi özellikleri etkilenir. Örneğin, bir miktar Al'un Fe'e ilave edilmesi malzemeyi kuvvetlendirir. Keza çeliğe biraz krom ilave edilirse paslanma sürecini azaltırken, kırılmalığını artırır. Çoğu metalin iletkenliği alaşım durumuna getirilerek daha da düşürülebilir[4].

2.1 Alaşım Tipleri

Alaşımlar, meydana geliş şekillerine göre iki farklı tipte faz yapısına sahip olabilmektedirler.

a) Tek Fazlı Alaşımlar: Alaşımları oluşturan malzemelerden birinin diğerinin içerisinde çözünmesi ile oluşan tek kafes yapılu alaşımlara Tek Fazlı Alaşımlar denir. Tek fazlı kristal kafes yapısı iki farklı şekilde meydana gelebilmektedir. Bunlardan biri yer alan karışımı, diğeri de ara yer karışımıdır. Alaşımların yer alan karışımli faz yapısına sahip olabilmeleri için kafes türleri aynı ve atom çapları birbirlerine yakın büyüklükte($\pm 15\%$) olmalıdır. Bu faz yapısını oluşturmak için elementlerin biri, diğeri içerisinde çözünür ve atomları diğeri elementin atomlarının yerine geçer. Alaşımı oluşturan elementlerden hangisinin valans elektronu az ise diğeri kendi içerisinde çözündürmektedir. Bakır ve nikel metallerinin yapmış olduğı alaşımlar, bu faz yapısına örnek olarak verilebilir. Öte yandan, alaşımı oluşturan malzemelerin, atomları atom çapları arasında ki fark büyük ise ($\pm 15\%$ 'den) ara yer karışımli faz yapısı meydana getirirler. Bu tür faz yapısında, küçük atom çapına sahip malzeme, atom çapı büyük olan malzeme içerisinde çözünür ve atomları diğeri malzemenin kristal kafesleri arasındaki boşluklara yerleşir. Genellikle atom çapları $1\text{\AA}$ 'den küçük olan hidrojen, bor, karbon, azot ve oksijen elementleri, başka bir malzemenin içerisinde çözünerek ara yer karışımli faz yapısı oluşturmaktadırlar. Demir ve karbonun yapmış olduğı alaşımlar, bu faz yapısına örnek olarak verilebilir. Farklı elementlerin bir araya gelerek oluşturdıkları tek fazlı alaşımların kristal kafes yapılarında düzensizlikler olduğundan iç gerilimleri fazladır. Bundan dolayı bu tür alaşımlar sert, dayanıklı ve aşınmaya karşı dirençleri yüksektir.

b) Çift Fazlı Alaşımlar: Çift fazlı alaşımlarda, alaşımı oluşturan elementler birbiri içerisinde çözünmeden, kendi kristal kafes yapılarını korumaktadırlar. Bundan dolayı çift fazlı alaşımlarda homojen olarak dağılmış birden fazla kristal kafes yapısı vardır. Bu alaşımlar, kendini oluşturan elementlerin özelliklerine veya en fazla oranı olan elementin temel özelliklerine sahiptirler. Farklı elementlerin olumlu özelliklerinden yararlanmak için yapılan bu alaşımlarda, tek fazlılarda olduğu gibi önemli ölçüde yeni özellikler kazanılamamaktadır. Çift fazlı alaşımı oluşturacak elementlerin, aynı kristal kafes yapılı ve atom çaplarının birbirlerine yakın olmaları gerekmemektedir. Farklı kristal yapısına ve atom çapına sahip kadmiyum ve bizmut elementlerinden oluşan alaşım, çift fazlı alaşımlara bir örnektir[3].

2.2 Atomik Seviyede Metallerin İncelenmesi

İlk çalışmalarda, metallerin elektronik konfigürasyonlarını açıklamak için bilim adamları, metallerin iyonlaşmış atomları ihtiva ettiği teorisini desteklemek amacıyla yüksek elektrik ve ısı iletkenliğe sahip olduklarını iddia ettiler. İyon halindeki atomlarda negatif yüklü homojen serbest elektronlar elektron denizi oluşturur düşüncesi baskın iken, pozitif metal iyonları ve serbestçe hareket eden bu homojen elektron denizinin metaller arasındaki bantları oluşturması aynı düşüncenin bir sonucudur. Dolayısıyla, yüksek elektrik ve ısı iletkenliğinin sebebi de serbestçe hareket eden elektronlardır.

Metallerin fiziksel özellikleri (yoğunluk, özgül ağırlık, elektriksel iletkenlik, ısı iletkenlik, ısı genleşme, manyetik özellikler, optiksel özellikler ve erime noktaları v.s.) atomların elektronik özellikleri ile doğrudan ilişkili olduğundan bu özelliklerin tam olarak anlaşılması için atomik seviyede neler olduğunun araştırılması gerekir. Yani elektronların davranışı, bağ yapısı gibi özellikler incelenmelidir. Kuantum mekaniksel olarak her atomdaki elektronlar etkileşerek her atom için bir moment kazandırırlar. Örneğin, atomik seviyedeki bir değişme olan momentlerin etkileşme şekline bağlı olarak malzemenin manyetik özelliği *Paramagnetik*, *ferromagnetik*, *antiferromatik* ve *ferrimagnetizma* olmak üzere dört farklı şekilde etkilenmektedir. Sıcaklık, gerilim ve safsızlıklar gibi etkiler de bu özellikleri değiştirir ve mühendislik uygulamalarında önemli bir yer işgal ederler [4].

Bir malzemedeki atomların yapısına ilave olarak atomlar arası bağlanış şekilleri büyük bir önem teşkil eder[3]. Çünkü atomlar veya moleküller arası bağlanmalar da malzemenin özellikleri üzerinde doğrudan etkilidir. Örneğin, malzemelerin yoğunluğu, elektrik iletkenliği, ısı genleşmesi, mekanik özellikleri, korozyon davranışları, optik özellikleri atomlar arası bağ türleri ve atomlar arası mesafeye bağlı olarak değişir [5].

Bir atomdaki en dış elektronlar, metal içindeki diğer atomlar arasındaki paylaşım şekline[6] ve atomları bir arada tutan coulomb çekme kuvvetlerinin büyüklüğüne göre[5], *Kuvvetli(Birincil)* ve *Zayıf(ikincil)* bağlar olarak ikiye ayrılır. İyonik, Kovalent ve Metalik Bağlar kuvvetli bağlar sınıfına girer. İyonik bağ için gerekli bağ enerjisi 150-370 kcal/mol iken, kovalent bağ için 125-300 kcal/mol ve metalik bağ için 25-200 kcal/mol'dür. Seramik ve metal atomları kuvvetli bağlarla bağlıdır. Bağ enerjileri kuvvetli bağların onda biri kadar olan Van der Waals Bağı(1-10 kcal/mol) zayıf bağ olarak adlandırılır. Zayıf bağlar hemen hemen bütün maddelerde bulunur [5, 6].

Metalik Bağ, asal olmayan metaller arasında sıkça görülen bir bağ çeşidi olup doymamış metal atomlarının dış kabuklarındaki valans elektronları, iç kabuklardaki elektronlara göre, atom çekirdeğine daha zayıf bağlıdır. Serbest hale geçen valans elektronları rahatça hareket edebildikleri için metallerin elektrik ve ısı iletkenliği yüksektir. Atomların valans elektron sayıları ne kadar az ise, bu valans elektronların serbestçe hareket etmesi o kadar daha hızlıdır. Bakır, altın ve gümüş metallerinin valans elektron sayıları 1 olduğu için, valans elektronlarının serbest hareket kabiliyeti çok fazladır. Dolayısıyla bu metaller elektrik ve ısıyı çok daha iyi iletirler [3, 5, 6].

Metalik bağa sahip malzemelerin dış kuvvetlere karşı dayanımları fazladır. Ayrıca büyük kuvvetlerin etkisiyle birbirine göre kayan atom grupları arasında, elektron bulutu sayesinde yeniden bağlantı sağlandığından, metalik bağlı malzemeler plastik şekil değiştirmeye elverişlidirler. Metalik bağa sahip malzemelerde kristal yapıdadır ve parçacıklar kafeste sıkı paketli olduğundan yoğundurlar. Yüksek erime ve kaynama noktasına sahiptirler. Dövülgen ve sünek ve parlaktırlar. Metalik bağlı malzeme üzerine gelen ışık demetleri, elektron bulutu içerisinden geçemediklerinden, geriye yansır[3, 5].

İyonik bağ ise, metal atomları (Na, Mg gibi) ile metal olmayan elementlerin(Cl, O gibi) arasında oluşur. Elementler, atomlarının dış kabuklarındaki valans elektron sayısına bağlı olarak ya bu elektronları vererek ya da dış kabuğuna başka bir element atomundan elektron alarak, kararlı hale geçme eğilimindedirler. Genellikle metal olmayan element atomlarının dış yörüngesinde bulunan valans elektron sayısı fazla, metal atomlarında ise azdır. Metal atomları son yörüngelerindeki valans elektronlarını vererek artı yüklü iyon haline geçerler. Metal olmayan elementlerin atomları ise, metal atomlarının dışarıya verdiği elektronları alarak eksi yüklü iyon haline geçerler. Negatif iyon ile pozitif iyon arasındaki coulomb çekme kuvveti, bir iyonik bağ oluşturur [3, 5, 6].

İyonik bağlı malzemelerde elektrik yükü, iyonların hareket etmeleri ile sağlanır. İyonlar elektronlar kadar kolay hareket edemediklerinden, iyonik bağlı malzemelerin elektrik iletkenliği zayıftır. Ayrıca ısı iletimi de metalik bağlı malzemelere nazaran düşüktür. Erime ve kaynama

noktaları yüksektir. İyonik bağla bağlanan atomların meydana getirdiği malzemeler, sert, kırılğan ve gevrek olurlar. Çünkü, üzerlerine kuvvet uygulanması sonucu, iyonlar birbiri üzerinde kaydığında, aynı yüklü iyonların yan yana gelmesiyle bir itme kuvveti doğmakta, bu durum da kırılmalara neden olmaktadır. Şekil değiştirme özellikleri çok zayıftır. İyonik bağ genellikle seramiklerde rastlanan bir bağ türüdür. İyonik bağla bağlanan elementlerin iyon çaplarına bakıldığı zaman, negatif iyonların çapı pozitif iyonların çapından daha büyük olduğu tespit edilmiştir[3, 5].

Kovalent bağ, en dış yörüngesindeki elektronlarını dışarıya vererek veya dışarıdan elektron alarak iyonlaşmayan, aynı veya farklı cins atomlar, valans elektronlarını paylaşarak kararlı hale geçiyorlarsa, bu tür elektron paylaşımından ortaya çıkan bağdır [3, 5, 6]. Atom çekirdekleri artı yüklü, elektronlar eksi yüklü olduklarından, son yörüngedeki ortak elektronların tüm komşu atomlar tarafından çekilmeye çalışılması sonucu, bu atomlar arsında sıkı bir Kovalent bağ oluşur[3]. Daha çok metalik olmayan element moleküllerinde (H_2 , CL_2 , F_2 gibi) ve farklı atom içeren moleküllerde (CH_4 , H_2O , HNO_3 gibi) kovalent bağ mevcuttur. Ayrıca seramikler, elmas(karbon), silisyum ve germanyum elementlerinde de bu bağ mekanizması vardır. Ancak bunların dışında farklı bir halde bulunan gazların birçoğu da kovalent bağ ile bağlıdırlar. Atomları kovalent bağ ile bağlı katı malzemeler oldukça sert yapıdadırlar ve düşük sünekliğe sahip olup, elektrik ve ısı iletkenlikleri de zayıftır. Ayrıca erime ve kaynama noktaları düşüktür.[3, 5].

Öte yandan Van der waals bağ, iyonik, kovalent ve metalik bağlardan daha zayıf bir bağ olup sahip olduğu enerji kuvvetli bağların onda biri kadardır. Van der waals bağları, moleküller veya atomlar arasındaki kutuplaşma sonucu ortaya çıktığı için soygaz atomları arasında ve elektron ihtiyacı kalmamış su, bazı plastik ve seramiklerin molekülleri arasında olmak üzere iki farklı şekilde oluşur. Sudaki van der waals bağı Hidrojen Bağı olup oldukça zayıf güçte ve düşük ısı ve kuvvetler sonucu hemen kopmaktadır [3, 5].

Ayrıca, malzemelerde kuvvetli ve zayıf bağlar ayrı ayrı bulunabileceği gibi, tek bir malzemede birden fazla bağ türüne de rastlanır. Kalsiyum sülfatta($CaSO_4$) hem iyonik hem de kovalent bağların her ikisi de mevcuttur. Ca ile SO_4 iyonu arasında bir iyonik bağ varken, kükürt(S) ile oksijen(O) arasında da kovalent bağ bulunur. $NaZn_3$ gibi metaller arası bileşiklerde hem iyonik hem de metalik bağ vardır buda karışık bağ olarak ifade edilir. Ayrıca ortama bağlı olarak bazı malzemelerde bağ yapısı değişebilir. Örneğin, HCl sıvı çözeltilerde klor hidrojenin elektronunu alarak iyonik bağ yapar. Gaz halinde ise hidrojen elektronunu klor ile paylaşarak kovalent bağ yaparlar. Ayrıca, kuvvetli bağlarla bağlanmış atomlardan oluşan moleküller, birbirleri ile zayıf bağlarla bağlanarak bir arada bulunuyorlarsa bu tür yapılara da moleküler yapı denir. Moleküler yapı malzemelerde, molekül içerisinde düzenli bir diziliş söz konusu

iken moleküller arası rasgele bir dizilişe sahiptirler. Su, karbon dioksit, O₂, N₂ ve birçok polimer malzemeler moleküler yapıya sahiptirler [5].

2.3 Malzemelerin Fiziksel Özellikleri:

Malzemelerin atomik sevideki elektriksel özellikleri, yoğunluk, ısı kapasitesi, ısıl iletkenlik gibi fiziksel özelliklerinin bilinmesi, malzemenin mekanik özellikleri bakımında büyük bir önem teşkil eder. Örneğin, genel olarak dökme demirin yoğunluğunun oda sıcaklığı için kabul edilen değeri 7,1 g/cm³'dür. Yoğunluğun yüksek karbon ferritik ve düşük karbon perlitik demirler için sırasıyla 6,8 g/cm³'den 7,4 6,8 g/cm³'e kadar değişmesi grafitlenmiş karbonun yüzdesinden etkilendiğini gözlenmiştir [7].

Isı Kapasitesi : Isıl iletkenlik, ısıl genleşme ve ısıl iletim durumunda elektronlarla enerji transferini içeren ısıl özellikler atomik titreşimle etkilenir. Malzemeye ısı verildiğinde atomlar ısıl enerji kazanırlar ve belirli bir genlikte ve frekansta titreşirler. Bu titreşim fonon olarak bilinen elastik bir dalga üretir. Dolayısıyla malzemeler fononları kazanarak veya kaybederek ısı kazanırlar veya kaybederler. Maddenin bu şekilde ısı transferi, ısı kapasitesi ile ilgilidir[8-11]. En yaygın tanımıyla ısı kapasitesi (c); cismin birim kütlesinin sıcaklığını bir derece değiştirmek için cisme verilmesi veya alınması gereken ısı miktarıdır ve

$$c = \frac{1}{m} \frac{\Delta Q}{\Delta T} \quad (2.1)$$

bağıntısı ile verilir. Isı kapasitesi sıcaklıkla değiştiği için malzemelerin ısı kapasiteleri ancak belli sıcaklık aralığında sabit kabul edilebilir. T_{ilk} sıcaklığındaki cismin sıcaklığını T_{son}'a arttırmak için cisme verilmesi gereken ısı miktarı Q bu denklemden kolayca hesaplanır [12-16]. Metallerin ısı kapasitesi çok düşüktür. Örneğin bakırın ısı kapasitesi 0,4 kJ/kg.K, demirin 0,5 kJ/kg.K'dir. Seramik malzemelerin ısı kapasiteleri yaklaşık olarak 0,8 kJ/kg.K olarak alınabilir. Önemli miktarda hidrojen ihtiva eden organik maddelerin ısı kapasiteleri ise 1,2 ile 2,0 kJ/kg.K aralığında değişir [14].

Isıl İletkenlik: Katı cisimlerden metallerde ısıl enerji fononların ve serbest elektronların dalga hareketi ile iyonik ve kovalent bağlı yalıtkanlarda ise yalnız fononların dalga hareketi ile iletilir ki buna *kondüksiyon yolu ile ısı iletimi* denir. Katı maddelerde genellikle ısı iletimi yoğunlukla artar ve ısıl iletkenlikleri düşük olan katı maddeler yalıtkan olarak kullanılabilir. Sıvı ve gaz haldeki ortamlar için ısı iletimi *konveksiyon yolu ile sağlanır* [8, 9, 17, 18].

Metallerdeki ısı iletimin temelini oluşturan fononlar ve elektronlar davranışı bir gaz içinde bulunan atomların ve moleküllerin davranışına benzetilirse, sıcak bölgedeki yüksek enerjili fononlar termoelastik dalgalar halinde yayılır ve civardaki soğuk bölgedeki fononlara çarparak bir kısım enerjilerini verir ve hareketlerini şiddetlendirir. Böylece enerji sıcak bölgeden soğuk bölgeye doğru iletilmiş olur. Ayrıca fononların, yüksek sıcaklıklarda yüksek enerjilerinden dolayı ısı iletim hızını artırması beklenebilir. Aynı şekilde yüksek enerjili serbest elektronlar da dalga hareketi ile ısı enerjisi soğuk bölgedekilere iletirler. Valans elektronları iletim bandına kolaylıkla uyarılması durumunda, transfer edilen enerji miktarı uyarılan elektronların sayısına ve hareketliliğine bağlıdır[8, 9, 12, 19].

Kesit alanı A olan bir silindirik cismin birim zamandaki iletim ifadesi

$$\frac{Q}{A} = -k \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2.2)$$

bağıntısı ile verilir. Burada k ısı iletkenlik katsayısı, $\frac{\Delta T}{\Delta x}$ sıcaklık gradyentidir. Isı iletkenlik ortamın türüne, yapısına ve sıcaklığa bağlı olarak değişir. Örneğin, kusursuz kristaller 0 K' de bir fonon dalgasının yayılması için ideal bir ortamdır, yansıma olmadan uzak mesafelere kadar yayılabilirler, dolayısıyla ortalama serbest yol l büyük olur. Ancak sıcaklık yükseldiği zaman fononların sayısı artar ve kristal yapıda kusurlar doğar. Değişik türdeki kusurların meydana gelmesi ısı iletkenliğinin azalmasına neden olur. Amorf yapıli cisimlerde ise ortalama serbest yolun küçük olması çok küçüktür ve sıcaklıktan etkilenmez. Sadece özgül ısı c sıcaklıkla biraz artar, v hızı ise değişmez. Kısaca, bu tür malzemelerde ısı iletkenlik sıcaklıkla sürekli olarak biraz artar. İyonik ve kovalent bağlı yalıtkanlarda ısı enerji yalnız fonon dalgaları ile taşınır, bu nedenle ısı iletkenlikleri metallerinkine göre çok düşüktür. Bu malzemeler kristal yapıli ise ısı iletkenlikleri sıcaklıkla azalır, amorf yapıli iseler biraz artar. Tek kristalli metallerde ısı iletkenlik anizotropi nite nite ile kristal doğrultusuna bağlıdır, ancak çok kristalliler izotrop sayıldığından bu özellik her doğrultuda aynıdır. Soğuk şekil değiştirmenin oluşturduğu anizotropi lükta ısı iletkenliği etkiler. Yüksek alaşımların iletkenliği saf metallerden daha düşüktür ve ortalama 1/10'u civarındadır. Örneğin östenitik çelikler pratik olarak bu yönden yalıtkan sayılırlar. İçlerindeki yabancı atomlar hem fonon ve hem de elektron dalgalarını yansıtırlar, bu nedenle ortalama serbest yol küçük, dolayısıyla ısı iletkenlik k küçük olur[8, 20].

Metallerde ısı iletkenliği sağlayan her ne kadar fononlar ve elektronlar ise de elektronların katkısı çok daha baskındır. Yüksek iletkenlerde (Cu ve Ag gibi) elektronların hem

hızı hem de ortalama serbest yolu fononlarınkinden 10–100 kat daha fazladır ki bu da ısıl iletkenlik fononların 10-100 kat daha fazla olacağı anlamına gelir. Yüksek sıcaklıklarda metallerin hareketliliğinin ve ısıl iletkenliğinin azalması beklenir. Buna karşın yüksek sıcaklık aynı zamanda elektronların enerjisini artırır ve kafes titreşimi ile ısı'nın transfer olmasına izin verir. Metallerde genellikle ısıl iletkenlik başlangıçta sıcaklıkla azalır, hemen hemen sabitleşir daha sonra hafifçe yükselir.

2.3.1 Elektriksel Özellikler

Malzemelerin elektriksel özellikleri elektron yapıları ve elektron hareketleri ile ilgilidir. Elektronların elektriksel alan, manyetik alan, elektromanyetik radyasyon ve sıcaklık etkisinde davranışları elektriksel özellikleri oluşturur. Elektronların dış alanlarla etkileşmesi sonucu meydana gelen olaylar; elektriksel iletkenlik, elektriksel kutuplaşma, manyetiklik, elektromanyetik radyasyon ve emilme olarak sıralanabilir. Bu olayların dışında ayrıca ısıl enerji de elektronların kinetik enerjilerini arttırarak kütle içinde hareket etmelerini dolayısıyla elektriksel yük ve ısı iletimi sağlar[21, 22].

a) Elektriksel İletkenlik: Elektriksel iletkenlik; bir malzemeye uygulanan elektriksel alanın oluşturduğu coulomb kuvvetleri etkisinde elektriksel yük taşıyıcılarının (elektronlar veya iyonlar) malzeme içinde uzak mesafeli hareketleri sonucu oluşur. Bu özelliğe sahip malzemelere *iletken malzemeler* denir. Özellikle saf metallerde valans elektronlar çok sayıda ve serbest halde bulunduklarından kolaylıkla yüksek iletkenlik elde edilebilir. İyonik ve kovalent malzemelerde serbest elektron bulunmadığından normal olarak *yalıtkan* sayılırlar. Ancak bazı kovalent bağlı malzemelerde (Si, Ge gibi) yeterli elektriksel alan veya yüksek sıcaklık uygulanırsa yeterli sayıda elektron aktive edilerek serbest hale geçirilir ve iletkenlik sağlanabilir. Bu tür malzemelere *yarı iletken malzemeler* denir[14, 21, 23]. Bir iletkenin tek boyuttaki akım yoğunluğu (J) potansiyel gradyenti cinsinden

$$J = \sigma \frac{\partial V}{\partial x} \quad (2.3)$$

ile verilir ve burada σ maddenin öz iletkenliğidir [21, 24].

b) Metallerde Elektriksel İletkenlik: Metallerde valans elektronların kütle içindeki rasgele serbest hareketi duran dalga türündedir. Normal halde dış etki yoksa herhangi bir yöne giden

ortalama yük ile ters yöne giden ortalama yük eşit olup toplamı sıfırdır. Metallerde birim kesitteki akım, herbiri bir negatif e yükü taşıyan elektronlarla iletilir. Akış için, 1m^3 deki elektron sayısını (n), bunların akış yönündeki ortalama hızlarını (v) ve herbirinin taşıdığı yük cinsinden (e) $J = n v e = \sigma E$ yazılırsa, elektriksel iletkenliğin E ile ters orantılı olduğu görülür. Ayrıca, taşıyıcıların mobilitesi cinsinden hız ve elektrik alan $v = \mu E$ ile verilir. Buradaki orantı sabiti μ *mobilité*dir.

Elektriksel alan etkisinde yayınan elektron dalgalarının hızı sürekli artar ve momentum kazanırlar. Ancak dalga bir atoma veya bir engele çarparsa yön değiştirir, hız düşer ve kinetik enerji azalır. Çarpma sonucu atomun titreşimi artar, aldığı enerjiyi ısı enerjisiye dönüştürerek kütle içine yayar, dolayısıyla iletken ısınır ki bu *joule kaybı* olarak ifade edilir. Yön değiştiren elektron dalgası alan etkisinde tekrar hızlanır ve bu şekilde her engelde sürekli yön değiştirerek yoluna devam eder. Ancak bir elektronun ortalama serbest yolunu azaltan ısı titreşimleri, yabancı atomlar ve iç yapı kusurları direnci artırıcı, iletkenliği azaltıcı yönde etkirler[21, 23-25]. Bu etkiler kısaca şöyle açıklanabilir:

a) Sıcaklık: Elektron dalgalarının serbest hareketi için en ideal ortam, ısı titreşimlerin bulunmadığı 0 K 'de kusursuz kristallerdir. Elektron dalgaları böyle bir ortamda elektriksel alan etkisinde, kafes aralarından hiçbir engele rastlamadan sürekli hızlanarak yollarına devam ederler, direnç sıfıra yaklaşır ve büyük ölçüde akım akar. Ancak sıcaklık yükseldiği zaman atomlar denge konumunda sürekli titreşim yaparlar ve titreşimlerin genliği sıcaklıkla artar. Bu durumda elektron dalgalarına çarpma olasılığı artar, ortalama serbest hareket yolu kısalmır, direnç artar.

b) Yabancı Atomlar: Kristal kafes yapıda ana atomların yanında değişik büyüklükteki yabancı atomlar (alaşım elemanları) düzeni bozar, elektron dalgaları ile çarpışma olasılığı artar ve ortalama serbest yol kısalmır, dolayısıyla direnç artar.

c) Kristal Yapı Kusurları: Örgü yapıda kusur yoğunluğu artarsa elektron dalgalarının saptırılma olasılığı artar, ortalama serbest yol kısalmır ve direnç yükselir. Bu kusurlar yer değiştirmiş atomlar, dislokasyonlar ve tane sınırları olabilir. Ayrıca plastik şekil değiştirme dislokasyon yoğunluğunu ve distorsiyonları artıracağından ortalama serbest yol azalır, dolayısıyla direnç büyür.

Ayrıca, metallerin ısı iletkenlikleri ile elektrik iletkenlikleri arasında lineer bir bağıntı vardır. *Wiedemann-Franz* yasasına göre, bir metalin ısı iletkenliğinin elektrik iletkenliğine oranı belli bir sıcaklıkta sabittir. Bu değer mutlak sıcaklıkla orantılıdır. Normal sıcaklıklarda bütün saf

metaller bu yasaya uyum gösterir[14, 26]. Transfer edilen enerji miktarının uyarılan elektronların sayısına ve hareketliliğine bağlı olmasından dolayı k ısı ve σ elektriksel iletkenlik arasındaki ilişki

$$\frac{k}{\sigma \cdot T} = L \quad (2.4)$$

ile verilir. $k/\sigma T$ oranı Lorentz sayısı olarak adlandırılır ve L ile gösterilir [9, 25, 26].

2.4 Termal Analiz Yöntemleri

Bilindiği gibi termal analiz, bir örneğe ait fiziksel ve kimyasal özelliklerin sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçüldüğü teknik yöntemleri ifade eder. Termal (ısı) analiz cihazlarının ölçüm temeli, analiz edilecek madde üzerine sıcaklığın (ısıtma veya soğutma şeklinde) belirli bir program altında verilmesi, verilen sıcaklığa bağlı olarak madde üzerindeki değişimlerin belli tayin sistemleri ile ölçülmesi ve sıcaklığa karşı bu değişimin grafiğe geçirilmesidir [27].

Maddeler ısıtıldıklarında veya soğutulduklarında çeşitli değişimlere maruz kalırlar. Bu değişimler maddenin hal değişimleri, maddenin entalpisindeki değişimler, yapıdaki uçucu bileşenlerin belirli sıcaklıklarda yapıdan uzaklaşmasından dolayı ağırlık kayıpları, belirli sıcaklıklarda ortamdaki gazlar ile etkileşip reaksiyon vermeleri ve bu nedenle olan ağırlık artışları, bazı sıcaklıklarda maddenin boyutlarındaki değişim (genişleme, büzülme v.b.), yine sıcaklığa bağlı olarak maddenin elektriksel direncindeki değişimler olarak ortaya çıkmaktadır [28]. Bu değişimler madde ısıtılırken farklı cihazlar kullanılarak ölçümler elde edilir. Bütün bu ölçüm yöntemleri ısı analiz yöntemleridir. Bu ölçümler, Termogravimetrik Analiz(TGA), Diferansiyel Termal Analiz(DTA) ve Diferansiyel Taramalı Kalorimetri(DSC) olmak üzere üç yöntemle yapılır. Ayrıca, örneğin boyutundaki değişim Termal Mekanik Analizör(TMA), sıcaklık ile direnç değişimlerinin ölçülmesi Elektrotermal Analiz(ETA), sıcaklık ile ısı iletkenliğinin değişimlerinin ölçülmesi Termal İletkenlik Analiz(TCA) ve örnekten uzaklaşan gazların analizi Evolved Gaz Analizör(EGA) metotları ile yapılır[29]. Biz burada sadece yaygın olarak kullanılan TGA, DTA ve DSC ölçüm yöntemlerini kısaca özetleyeceğiz.

a) Termogravimetrik Analiz (TGA) : Termogravimetri (TG) yönteminde, sıcaklık artışına karşılık numunenin kütesindeki değişim ölçülür. Sonuçta bir sıcaklık – kütle eğrisi veya sıcaklık – % kütle kaybı eğrisi elde edilir. Bu sıcaklık – kütle eğrilerine termogram adı

verilir[30]. K t le değişiminin olduğu herhangi bir olay termogravimetri ile incelenebilir. Genel olarak k t le değişiminin nedeni:

- a) Su, etanol gibi uçucu bir bileşenin maddenin yapısından uzaklaşması.
- b) Maddenin belirli bir sıcaklıkta ayrışması.
- c) Maddenin belirli bir sıcaklıkta ortam gazları ile reaksiyonu.
- d) Maddenin y ksek sıcaklıklarda bozulması.
- e) Polimerik matrikste c z c n n ortamdan uzaklaşması v.b.

Ancak, erime gibi k t le değişimine neden olmayan faz değişimleri TG ile incelenmez. Termogravimetrik analiz cihazları beş ana kısımdan oluşur. Bunlar; terazi, ısıtma cihazı, sıcaklık  lę m ve kontrol birimi, k t le ve sıcaklık değişimlerini kaydeden sistem ve atmosfer kontrol d zeneğidir. Termogravimetrik analizde madde ısıtılırken numunenin k t lesi de bir mikro terazi ile s rekli  lę l r. Bu işlem herhangi bir  zel atmosfer (azot, argon v.b.) koşulunda da yapılabilir. Cihazlar genellikle 1200   C' ye kadar ısıtma yapabilir. TGA cihazları, metallerin oksidasyonu, kristalizasyon suyunun  lę m , maddelerin bozulma sıcaklıkları, aktivasyon enerjisi  lę m , killerin dehidrasyonu, suyun saptanması, gibi alanlar olarak sıralanabilir.

b) Diferansiyel Termal Analiz (DTA)

Diferansiyel termal analizde (DTA),  rnek ile termal olarak sabit olan bir referans maddesi arasındaki sıcaklık farkı, her iki maddeye de aynı sıcaklık programı uygulanarak  lę l r. Termal eğri, sıcaklık farkının iki maddeden birinin sıcaklığın fonksiyonu olarak c zilmesi ile elde edilir.  rnek numune ile referans maddesi arasında sıcaklık farkı, numunede belirli sıcaklıkta bir kimyasal tepkime, bir faz değişimi, madde bozunumu, maddeden c z nme sıcaklığı veya k   k bir molek l ısı ile uzaklaşması gibi olaylarla kendini g sterir. Bu gibi olaylarda ΔH pozitif ise endotermik tepkime, eğer ΔH negatif ise ekzotermik tepkime s z konusudur.

DTA' nın kullanımı TGA' dan daha yaygındır, c nk  sadece k t le değişimi i eren tepkimelerle sınırlı değildir, ısının absorplandığı veya verildiği her tepkimede kullanılabilir. Endotermik olaylara  rnek erime, buharlaşma, s blimleşme, absorpsiyon ve desorpsiyon sayılabilir. Adsorpsiyon genellikle ekzotermik bir değişmedir, buna karşılık kristal faz değişimleri ve kimyasal tepkimeler ekzotermik veya endotermik olabilir.

DTA eğrileri hem nitel hem de nicel analize uygundur. Piklerin hangi sıcaklıkta g zlendiği ve şekli,  rneğin bileşiminin tayininde kullanılabilir. Pikin alanı ise tepkime ısısı ve madde miktarı ile doğru orantılıdır. Orantı katsayısı, fırının ilk sıcaklığı, ısıtma hızı  rneğin tanecik boyutu gibi deneysel parametrelerden etkilenir. Bu nedenle  rnek analizden  nce iyice

öğütülür ve madde miktarı çok hassas tartılır. Analizlenecek örnek fazla yüksek sıcaklıklara ısıtılmayacaksa alümina(Al_2O_3), çok yüksek sıcaklıklara ısıtılacak ise platin kaplar kullanılır. Örnek ve referans aynı miktarda tartılır ve analizlenir.

c) Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC)

Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) yönteminde, örnek ile referans maddesinde aynı sıcaklık programı uygulanırken örnekte veya referansta bir değişiklik olması durumunda örneğe veya referansa dışarıdan sıcaklık eklenerek her iki maddenin de aynı sıcaklıkta kalması sağlanır. DSC eğrileri bu eklenen ısıнын sıcaklığa karşı çizilmesi ile elde edilir. Bu egride oluşan piklerin altında kalan alan, tepkimede absorplanan veya açığa çıkan ısı ile doğru orantılıdır. Pik yüksekliği ise tepkime hızı ile doğru orantılıdır. DSC yalnız entalpi değişiminin olduğu olaylara karşı değil aynı zamanda örnek ile referansın ısı kapasiteleri arasındaki farka karşı da çok duyarlıdır. DSC’ de bir madde için camsı geçiş, kristallenme, erime, oksitlenme, bozunma v.b. olayların tamamını görebiliriz. Ayrıca bir maddenin saflığının belirlenmesi gibi özel analizlerde rahatlıkla yapılabilir.

Bu yöntemde örnek ile referans maddesi, birbirlerinden yalıtılmış aynı kaplara yerleştirilir. Isıtıcılar örnek ile referans hücrelerine mümkün olduğu kadar yakın konulmuştur. Termoçift bir sıcaklık farkı gösterdiğinde, soğuk olan tarafa sıcaklık farkı eşitleninceye kadar ısı eklenir. Sıcaklıkları eşit tutabilmek için uygulanan ısıtma hızı, örnek sıcaklığının fonksiyonu olarak kaydedilir. Diferansiyel termogramın y eksenini mW/s veya mcal/s birimleri ile verilir.

DSC’ nin kullanım alanları başlıklar halinde şöyle sıralanabilir:

- a) Erime noktası ve erime enerjisinin ölçümü
- b) Kristalizasyon ölçümleri
- c) Isı kapasitesi ölçümü
- d) Polimerizasyon ölçümü

DTA eğrilerini etkileyen faktörlerin (ısıtma hızı, ısı iletkenliği, örnek boyutları gibi) , DSC eğrileri üzerindeki etkileri azdır.

Termal yöntemler, doğal ve üretilmiş maddelerin bileşimlerinin tayin edilmesinde çok yaygın olarak kullanılırlar. Diferansiyel termal ölçümler silikatlar, ferritler, oksitler, seramikler ve camlar gibi inorganik maddelerin termal davranışlarının incelenmesinde kullanılır. Yöntemin en önemli uygulamalarından biri ise faz diyagramlarının oluşturulması ve faz geçişlerinin incelenmesidir. Ayrıca organik bileşiklerin erime, kaynama ve ayrışma noktalarının kolay ve kesin olarak saptanmasını sağlar.

3. DEMİR ESASLI METALLERİN SINIFLANDIRILMASI

Daha önceki bölümde, metallerin *demir esaslı* ve *demir dışı metaller* olmak üzere iki grupta incelenebileceği ifade edilmişti. Bu bölümde, demir esaslı metaller ve bu gruba giren dökme demirler üzerinde duracağız.

3.1 Demir Esaslı Metaller

Çok ender olmasına rağmen demir doğada meteor demiri (meteortaşı) olarak ve bazen de bazalt yığınları içinde küçük tanecikler olarak saf halde bulunur. Buna karşılık demirin doğada bulunuşu genellikle kimyasal bileşikli ve fiziksel karışımli filizler halindedir. En önemli filizleri; Mağnetik demir taşı (Mağnet taşı, Mağnetit), Kırmızı demir taşı (Kantaşı, Hematit), Esmer demir taşı (Hemotit, Limonit), Spat demir taşı (Siderit), Demir sülfid (Pirit) , Manganlı demir filizleri olarak bilinmektedir. Demirler çok yumuşak ve düşük mukavemetli olmakla beraber plastik işlenebilme yetenekleri yüksektir. Korozyona dayanıklılıkları iyidir, ayrıca galvanizasyon ve emaye işlemleri ile bu özellik daha da artırılır.

Saf demir üretimi, %99,5 - %99,90 Fe ihtiva eden teknik aralıktaki demir veya yumuşak demir, büyük işletmelerce elde edilmektedir. *Ham demir üretimi ise*; çelik, dökme çelik, dökme demir ve temper dökümü gibi çeşitli Fe-C alaşımlarının üretimi için bir ön üretimdir. Yüksek fırında elde edilen ham demirin büyük bir kısmı genellikle çelik eldesi için kullanılır[31]. Saf demirin korozyona karşı tutumu ve mekanik özelliklerinin yetersizliği, kullanma alanının diğer metallerinkine nazaran oldukça dar ve daha sınırlı olmasına neden olur. Bununla beraber, demir metalinin alaşımları ve özellikle karbon elemanı ile olan alaşımı, gelişen endüstrinin ağır koşullarına ve türlü işlemlerine kolayca cevap verebildiğinden teknik gelişmelerin başından beri bu tür demir alaşımları çok aranılır ve kullanılır hale gelmiştir. Demir için en önemli alaşım elemanı olan karbon hem ucuzdur, hem de küçük miktarlardaki ilavelerle bile alaşımın özelliklerinde saf demire göre önemli ve büyük farklar meydana getirir. Demir esaslı metaller; *demir-karbon* alaşımları ve *alaşımlı çelikler* olmak üzere iki gruba ayrılırlar[21]. Burada sadece çalışmamızın kapsamında olan demir-karbon alaşımlarını detaylı inceleyeceğiz.

Günümüzde, teknik ve ekonomik yönden demir alaşımları (özellikle Fe-C alaşımları) en çok aranan, kullanılan ve çok önemli bir malzeme veya alaşım grubudur. Demir-karbon döküm alaşımları endüstrinin önemli bir malzeme grubunu oluşturmaktadır. Normal çeliklerle bu döküm malzemeleri arasında artık kesin bir ayrım yapılamaz. Genel olarak normal çeliklerde karbon %2,2' ye hatta 2,94' e kadar varabilmektedir. Çelik dökümlerde ise karbon %1,8' e

kadar varmaktadır. Buna karşılık dökme demir grubunda karbon %2-5 arasındadır, fakat bazı daha az karbonlu dökme demirlerde mevcuttur[31].

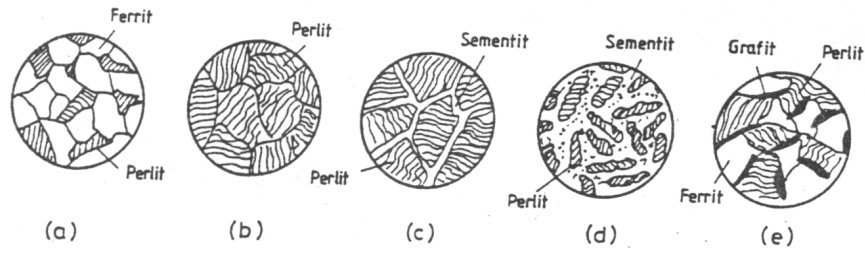
3.1.1 Demir-Karbon Alaşımlarının Üretimi

Doğada çoğunlukla Fe_2O_3 ve Fe_3O_4 bileşikleri halinde bulunan demir filizleri yüksek fırında redüklenerek ham demire dönüştürülür. Yüksek fırında bir tabaka kok kömürü, bir tabaka demir filizi ve ayrıca bir miktar kireç taşı konur. Yüksek sıcaklıkta redüklenen demir bileşiklerinden elde edilen ham demirde %3-4 oranında karbon bulunur. Bu şekilde elde edilen ham demir ergimiş halde çelik fırınlarına konur, içindeki oksijen geçirilerek karbonun fazlası yakılır istenen düzeye indirilir. Çelik fırınından alınan sıvı metal kokil denilen kalıplara dökülerek ham çelik elde edilir. Döküm sırasında erimiş kütle içinde kalan FeO karbon tarafından deokside edilir, bu sırada oluşan CO gazı katılaşma tamamlanıncaya kadar kısmen kabarcıklar halinde yüzeye çıkmaya devam eder, kısmen de kütle içinde kalır. Kaynama şeklindeki görüntü nedeni ile elde edilen bu tür çeliğe *kaynar dökülmüş* veya *sakinleşmemiş çelik* denir. İçeride kalan gaz boşlukları çoğunlukla haddeleme sırasında kaynaklanarak kapanır. Bununla beraber bu çeliklerin kalitesi bağıl olarak düşüktür. Diğer taraftan döküm sırasında potaya katılan silisyum, alüminyum veya benzer katkıları doğrudan FeO' i deokside eder ve gaz kabarcıklarının oluşması önlenir, dolayısıyla kaynama gözlenmez. Bu şekilde elde edilen çeliğe *sakinleşmiş çelik* denir. Sakinleşmiş çelikler mekanik özellikler ve kaynak kabiliyeti yönünden üstün nitelikli sayılırlar.

Çeliklerin bileşiminde üretim sırasında bir miktar fosfor ve kükürt bulunur. Bu elemanlar çeliği gevrekleştirir, kaynak kabiliyetini azaltır ve kaliteyi düşürür, bu nedenle bunların miktarını sınırlı tutmak gerekir. Bu alaşımların iç yapıları ise şöyle özetlenebilir. Polimorfik özelliğe sahip olan saf demirin katı halde üç değişik kafes yapısı vardır. $1538^{\circ}C$ ' de sıvı halden katı hale geçerken önce hacim merkezli kübik kafes (hmk) yapı oluşur, buna *ferrit* veya δ -demiri denir. $1400^{\circ}C$ ' de (hmk) demir yüzey merkezli kübik (ymk) demire dönüşür. Bu yeni faza *östenit* veya γ -demiri denir. Östenit $910^{\circ}C$ ' de (ymk) yapısından tekrar (hmk)' ya dönüşür. Bu sonuncu faza *ferrit* veya α -demiri denir. $910^{\circ}C$ ' de oluşan bu polimorfik dönüşme çeliğe su verme işleminde ana etkindir.

Demir-karbon alaşımlarının iç yapısını açıklamak için belirli bileşim bölgelerinde örnek alaşımlar alarak soğuma sırasında oluşan fazlar ve faz dönüşümleri ele alınacaktır. Demir-karbon sisteminin en ilginç bileşimi %0,8 karbondur. Bu alaşım sıvı halden soğutulacak olursa önce östenit fazına dönüşür. Şekil 4.1 b' de görüldüğü gibi bu iki faz ince sık tabakalar halinde oluşur. Kırıldığı zaman inciyi andıran görünüşü nedeni ile *perlit* adını alır. %0,8' den az karbon

içeren alaşımlarda önce östenit katı eriyiği oluşur, daha sonra östenitten ferrit fazı çökelir. 727 ° C' ye gelince geriye kalan (ymk) östenit yine sık tabakalar halinde ferrit ve sementit içeren perlite dönüşür. İç yapıda Şekil 4.1 a' da görüldüğü gibi ferrit ile perlit taneleri bulunur. %0,8 ile 2 arasında karbon içeren alaşımlar soğurken önce östenit katı eriyiği oluşur, sıcaklık düşüncü karbonca doymuş hale gelen östenit tanelerinin çevresinde ağ şeklinde demir karbür fazı çökmeye başlar. 727 ° C' ye gelince geriye kalan östenit perlite dönüşür. Bu bölgedeki alaşımlar, Şekil 4.1 c' de görüldüğü gibi perlit ile onu ağ şeklinde çevreleyen demir karbür fazından oluşur.



Şekil 3.1 a) %0,2C'lu çelik b) %0,3C'lu çelik c) %1,2C'lu çelik d) Beyaz dökme demir e) Gri dökme demir

Karbon oranı %2-6,7 arasında olan alaşımlarda karbondan başka soğuma hızı ve içerdikleri Si ve Mn oranı da iç yapı oluşumunu etkiler. Aşağıda iki değişik koşulda oluşan iç yapılar ele alınacak.

%2-4 arasında karbon ve %1'den az Si içeren demir-karbon alaşımı hızlı soğursa ana faz demir karbür ile içinde dağılmış perlit adacıklarından oluşan bir yapı elde edilir(Şekil 4.1 d). Kırıldığı zaman beyaz renkte görülen bu metale *beyaz dökme demir* denir. Et kalınlığı az olan parçalar kum kalıpta da oldukça hızlı soğuduklarından beyaz dökme demire dönüşürler. Metal kalıba (kokil dökümü) dökülen alaşımlar doğal olarak beyaz dökme demir yapısına sahip olurlar.

Genellikle %2-4 karbon ve %1-3 Si içeren demir-karbon alaşımları kum kalıba dökülürse soğuma yavaş olur, kararsız Fe₃C bileşiği ferrit ve grafitte ayrışır. Ayrışma kısmen olursa iç yapıda Şekil 4.1 e' de görüldüğü gibi yassı çubuklar halinde grafit, ferrit ve perlit görülür. Ayrışma tam olursa yalnız ferrit ve yaprak şeklinde grafit meydana gelir. Kırıldığı zaman gri renkte görüldüğünden bu metale *gri dökme demir* denir[21].

3.1.2 Demir-Karbon Alaşımlarının Sınıflandırılması, Genel Özellikleri ve Kullanma Alanları

Demir-karbon alaşımları genellikle içerdikleri karbon oranına göre, demirler ($C < \%0,1$), çelikler ($\%0,1 < C < \%2$) ve dökme demirler şeklinde üç gruba ayrılırlar.

Çelikler : Çeliklerde karbon oranı yükseldikçe iç yapıda yumuşak ferrit fazının yanında sert ve gevrek olan demir karbür fazının miktarı artar, şekil değiştirme zorlaşır dolayısıyla sertlik ve mukavemeti artar, buna karşılık süneklik azalır. Çeliklerin elastisite modülleri karbona bağlı değildir, düşük mukavemetli yumuşak çeliklerle yüksek mukavemetli çeliklerin elastisite modülleri aynı olup ortalama 210.000 N/m^2 'dir.

Çeliklere şekil verme işleminin uygulandığı sıcaklığın düzeyi mekanik özellikleri etkiler. Yeniden kristalleştirme sıcaklığının üstünde şekil verilmiş (sıcak haddeleme) çeliklere *doğal sertlikte çelikler* denir. Çeliklerde yeniden kristalleştirme sıcaklığı 600°C civarındadır. Bu sıcaklığın altında şekil verilenlere *soğuk işlenmiş çelikler* denir. Bunların sertlik ve mukavemetleri şekil verme oranına bağlı olarak çok değişebilir. Az karbonlu çeliklerin sertlik ve mukavemetleri düşüktür, kolay işlenir ve kolay kaynak yapılabilir. Su verme ile sertleştirilemezler, sertlik ve mukavemetleri soğuk şekil verme ile artırılır. Genel amaçlar için kullanılan en ucuz çeliklerdir. Orta karbonlu çeliklerin mukavemetleri ve toklukları yüksektir, plastik şekil vererek işlenebilirler. Yüksek karbonlu çeliklerde sertlik ve mukavemet yüksek olmakla beraber, süneklikleri ve toklukları düşüktür, şekil verme zordur. Kaynak yetenekleri iyi değildir, kaynak sırasında yerel sertleşme ve gevrekleşme oluşur, çatlamlar meydana gelebilir. Bu çelikler genellikle takım, kalıp ve yay çelikleri olarak kullanılırlar. Şekil vermeden önce 700°C civarında uzun süre tavlanirsa tabaka ve ağ şeklindeki demir karbür fazı küresel şekil alır. Bu küreleştirme işleminden sonra yumuşak ferrit fazı içinde dağılmış küresel demir karbür tanelerinden oluşan çelik kolay işlenir, daha sonra su verme ile sertleştirilir[21].

3.2 Dökme Demirler

Dökme demirlerin özellikleri geniş bir aralıkta değişir ve adından da anlaşılacağı gibi, istenen şekle katı halde işlenerek değil dökülerek getirilir. Çoğunlukla $\%1$ ' den az karbon içeren çeliklerin aksine, dökme demirler normal olarak $\%2-4$ karbon ve $\%1-3$ silisyum içerir. Bileşiminde, bazı özellikleri denetlemek ve değiştirmek için diğer alaşım elementleri de bulunabilir. Bu alaşımlara diğer metallerde katılarak çeşitli özelliklerin değiştirilebilmesi olanağı vardır (örneğin; haddeleme gibi).

Dökme demir, metastabil sisteme göre katılaşılan dökme çeliğin aksine, daha çok stabil sisteme göre katılma gösterir ve karbon element olarak grafit şeklinde iç yapıda yer alır. Ancak, hem stabil hem de metastabil sisteme göre, yani katılma her iki sistemin de doku yapılarını bir arada gösteren döküm çeşitleri de vardır. İlke olarak yapılarında daha fazla silisyum bulunduran dökme demirler stabil sisteme, daha fazla mangan bulunduran dökme demirler de metastabil sisteme göre katılma eğilimi gösterirler. Yine stabil veya metastabil sistemlere göre katılmaların gerçekleşmesi, tamamen soğutma hızı ile ilgili olduğundan, silisyum ve mangan içeriğinin dışında katılmayı parça kalınlığı ve hatta dökümde kullanılan kalıbın cinsi de etkiler.

Dökme demirler kolaylıkla eritildiğinden mükemmel döküm alaşımıdır, sıvı halde çok akışkandır ve katılırken istenilmeyen yüzey filmi oluşturmaz. Dökme demirler katılırken ve soğurken çok az veya orta derecede büzülme gösterir. Bu alaşımların dayanım ve sertlikleri geniş bir aralıkta değişir ve çoğunlukla kolaylıkla talaşlı işlenebilir. Alaşımlarınca üstün yıpranma, aşınma, yenim dayanımına sahip olabilir. Buna rağmen, dökme demirler nispeten düşük darbe dayanımına ve sünekliğe sahiptir ve bu onların uygulama alanlarını daraltmaktadır[32, 33].

3.2.1 Dökme Demirler ve Özellikleri

A-) Beyaz Dökme demir: Erimiş dökme demir katılırken karbonun çoğu grafit yerine demir karbür oluşturduğunda beyaz dökme demir meydana gelir. %2.5-3.0 C ve %0.5-1.5 Si içerirler. Döküm halindeki, alaşımsız beyaz dökme demirin mikro yapısı perlitli ana faz içinde büyük miktarda demir karbürden oluşur. Beyaz dökme demirin beyaz diye adlandırılmasının nedeni, kırılma yüzeyinin beyaz veya parlak kristalsi bir yapıda olmasıdır. Beyaz dökme demir, temper dökme demir üretiminde bir ara üretim olarak kullanılır.

Beyaz dökme demirler çoğunlukla mükemmel aşınma ve yıpranma dirençleri için kullanılırlar[32, 34, 35]. Beyaz dökme demirlerde ana faz olan demir karbür sert ve gevrek, keserek veya plastik şekil vererek işlenemez. Uygulamada aşınma direncinin mukavemetten daha önemli olan yerlerde kullanılır. Çimento endüstrisinde öğütme değışmenlerinde aşındırıcı bilyalar, çamur pompaları, kazı makinaları ve benzeri yerlerde aşınmaya maruz parçaların üretimine elverişlidir[21].

Beyaz dökme demirlerde karbon ve silisyumdan farklı olarak kullanılan krom, nikel ve molibden gibi elementler, katılma sırasında alaşımda karbür oluşumunu sağlamasına ilaveten takip eden ısı işleminde martensit oluşturmak için ilave edilirler[34].

B-) Gri Dökme Demir: Gri dökme demir; gri dökme demir, lamel grafitli dökme demir, esmer dökme demir ve pik döküm gibi değişik isimlerle anılır. Alaşımın içindeki karbon, bir miktarı *östenitte* çözünecek ve grafit yaprakları olarak çökecek miktara ulaştınca gri dökme demir meydana gelir. Katılaşma bir bölgede birbirine yapışmış birçok birbirleri ile bağlantılı grafit lamelleri oluşturur. Bu tür dökme demir kırıldığında, açığa çıkan grafitler nedeniyle kırılma yüzeyi gridir.

Kır dökme demirin nispeten ucuz olması, üretimin kolaylığı, kalıbı iyi doldurması ve soğukken çok az büzülmesi, keserek kolay işlenmesi, sınırlı bir yağlama ile aşınma ve kaynamaya karşı mükemmel direnç gösterecek bir sertliğin olması ve mükemmel titreşim söndürme kapasitesi nedeniyle önemli bir mühendislik malzemesidir. Fakat çekme mukavemeti (dayanımı) düşüktür.

Gri dökme demirin en önemli elementleri karbon ve silisyumdur. Genellikle %2,5 – 4 arası karbon, %1-3 arası silisyum içerir. Silisyum, dökme demirlerde grafit kararlaştırıcı bir element olduğundan, grafitin oluşabilmesi için nispeten yüksek miktarlarda silisyuma ihtiyaç vardır. Katılaşma hızı grafitin ne miktarda oluşacağını belirleyen en önemli etkidir. Orta veya yavaş katılaşma hızı grafit oluşumunu kolaylaştırır. Katılaşma hızı aynı zamanda dökme demirde meydana gelecek ana fazın cinsini de belirler. Orta soğuma hızlarında perlitli ana faz, yavaş soğuma hızlarında ferritli ana faz baskındır. Alaşımsız bir gri dökme demirde tümüyle ferritli bir ana faz oluşturmak için genellikle uygulanan yöntem, dökme demiri tavlayarak ana fazda kalan karbonun grafit yaprakları üzerinde toplanmasını sağlamaktır.

C-) Temper Dökme Demir: Temper dökme demir, alaşımsız beyaz dökme demirin ısıl işlemiyle üretilir. Önce, büyük miktarlarda demir karbür içeren, grafiti olmayan beyaz dökme demir halinde dökülür. Karbon ve silisyum miktarları %2,0 – 2,6 C ve %1,2 – 1,6 Si arasında iken, karbon ve silisyum içerikleri toplamı %3,8' i aşmamalıdır. Temper dökme demirler dökülebilirlik, talaşlı işlenebilirlik, orta dayanım, tokluk, bazı uygulamalarda yenim direnci ve bütün parça işlem gördüğünden tek biçimli yapı gibi özellikleri nedeniyle önemli mühendislik malzemeleridir[21, 32-34].

D-) Küresel Grafitli Dökme Demir (Sünek veya Nodüler (Sfero)) : 1938 yılında patentlenen küresel grafitli dökme demir hakkında, ilk kez 1948 yılında açıklayıcı bilgiler edinilebilmiştir. Magnezyum, seryum ve sodyum gibi elementlerin dökme demirlere katılma yüzdesi arttıkça döküm yapısında ayrıışan grafitin küresel duruma geçtiği belirlenmiştir. Küresel grafitli dökme demir katılaşma esnasında küresel grafitin büyümesine neden olan magnezyum veya seryumlu

ve nispeten yüksek karbon eşdeğerli, sıvı dökme demirin işlem görmesi ile üretilir. Bu dökme demiri üretmek için birçok aşama gerekir [33, 34, 36].

Küresel grafitli dökme demirler gri dökme demirin üretim üstünlükleri ile çeliğin mühendislik üstünlüklerini birleştirir. Küresel grafitli dökme demir iyi bir akışkanlığa, dökülebilirliğe, mükemmel talaşlı işlenebilirliğe ve iyi aşınma direncine sahiptir. Ayrıca bu tür dökme demirin, yüksek dayanım, tokluk, süneklik, sıcak işlenebilirlik ve sertleşebilirlik gibi, çeliğe benzer özellikleri de vardır.

Küresel grafitli dökme demirin mükemmel mühendislik özelliklerinin nedeni yapısındaki küresel grafitlerdir. Küreler arasındaki nispeten sünek anafaz, kırılmadan önemli miktarda biçim değiştirmeye imkan verir. Alaşımsız küresel grafitli dökme demirin bileşimi karbon ve silisyum bakımından gri dökme demirle aynıdır. Alaşımsız küresel grafitli dökme demirin karbon miktarı %3 – 4 arasında, silisyum miktarıda %1,8 – 2,8 arasında değişmektedir. İyi kaliteli küresel grafitli dökme demirde kükürt ve fosfor miktarları çok düşük tutulmalı, kükürt miktarı en yüksek %0,03 ve fosfor miktarı en yüksek %0,1 olmalıdır, bu ise gri dökme demirdeki miktarlardan on kat daha azdır. Küresel grafitli dökme demirde grafit kürelerinin oluşumunu engellediğinden diğer katkılarında düşük olması gerekmektedir.

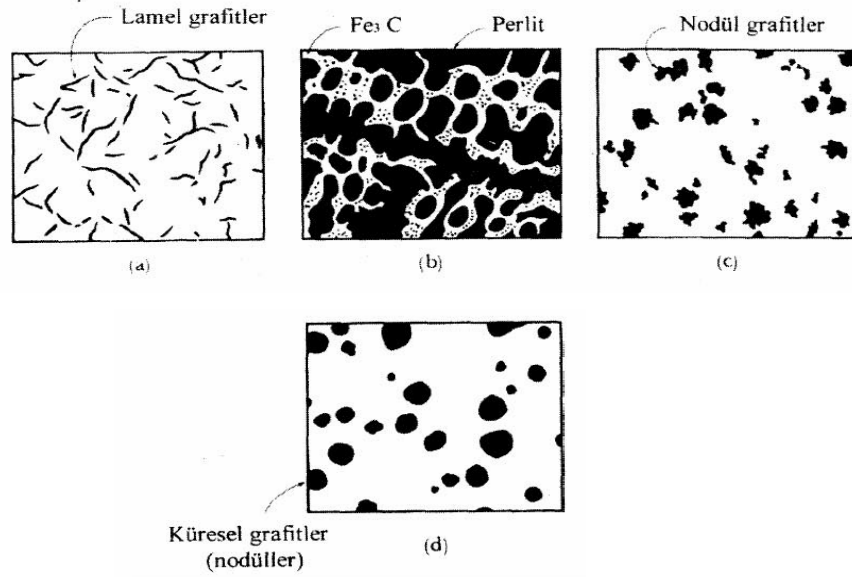
Alaşımsız küresel grafitli dökme demirin mikro yapısı çoğunlukla, perlit ana faz içinde serbest ferritin çevrelediği küresel grafitlerden oluşmaktadır. Alaşımlama ile anafazı tümüyle ferrit veya tümüyle perlit döküm yapıları da oluşturulabilir. Daha sonraki ısı işlemlerle döküm halindeki küresel grafitli dökme demirin bu yapısı ve böylece mekanik özellikleri değiştirilebilir.

Küresel grafitli dökme demir alaşımlarının kullanım alanları ise; Krank milleri, Dişli kutuları, Pistonlar, Hadde silindirleri, Soğuk dökülebilir borular, Metal parçalarını dövmede kullanılan kalıplar, Fırın kapıları, Vanalar, Ağaç işlerinde kullanılan malzemelerin yapımı olarak yazılabilir.

Son zamanlarda üretimi en hızlı artan dökme demir malzeme östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerdir. Küresel grafitli dökme demirlere uygulanan östemperleme işlemleri ile, günümüzde bu malzemelerin üretim tekniğinde birçok alanlarda kalite çeliklerinin yerine kullanılmaları mümkün olmuştur. Bunun nedeni ise yapıdaki beynitin, malzemeye birçok alanda çeliğin yerine kullanılabilecek mekanik özelliği vermesidir [32, 33, 36].

Şekil 4.2'de dört önemli dökme demir tipi gösterilmiştir. Gri dökme demir düşük dayanım ve sünekliğe neden olan küçük, birbirleriyle bağlantılı grafit lamelleri içerir. Beyaz dökme demir fazla miktarda Fe_3C içeren sert kırılğan işlenemeyen alaşımdır. Temper dökme demir, grafitin düzensiz fakat yuvarlaklaşmış parçacıklarının çökmesine neden olan beyaz dökme demirin ısı işleminde üretilir. Bu grafit yapıları dökme demirde iyi dayanım, süneklik ve

tokluk sağlar. Sünnek veya küresel grafitli dökme demir, katılaşma sırasında eriyik demire az miktarlarda magnezyum ilavesiyle elde edilen grafit küreler içerir. Özellikleri, temper dökme demire benzer.



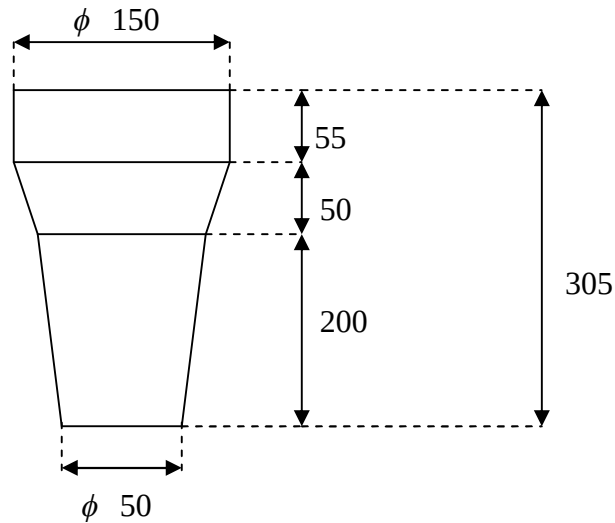
Şekil 3.2 Dört dökme demirin şematik çizimi (a) Gri dökme demir (b) Beyaz dökme demir (c) Temper dökme demir (d) Sünnek (sfero), küresel grafitli dökme demir [34]

4. DENEYSEL İŞLEMLER VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, kullanılan küre grafitli I-Blok dökme demir malzemesi[37] Fırat Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nden temin edildi. Bu malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 4.1'de ve boyutları ise Şekil 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1 Deneylerde kullanılan numunelerin kimyasal bileşimi

Alaşım Elementi	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mg	Mo	Cu	Fe
% miktar	3,59	1,92	0,26	0,50	0,64	0,05	0,62	0,27	92,15



Şekil 4.1 Küre grafitli I-Blok dökme demir malzemenin boyutları (mm)

Numuneler 200mm boyundaki bölgeden herhangi bir ısı tesiri altında kalmadan çıkartılmıştır. Bu bölge önce tornada yüzeylerinden 10mm kalınlığında kaba talaş alınarak temizlenmiş bu sayede dökümden kaynaklanan sert yapı yüzeyden uzaklaştırılmış daha sonra kesme taşı ile tezgahta sürekli su ile soğutularak numuneler çıkarılmıştır.

I-Blok döküm malzemenin tabanından 10mm yükseklikte iki adet disk kesildi ve bu diskler 10mm'lik çubuklar şeklinde parçalara ayrıldı. Bu kesilen dikdörtgenler prizması şeklindeki çubuklardan tornada çapı 10mm olacak şekilde toplam 16 adet silindir haline

getirilmiş numune elde edildi. Daha sonra incelenmeye hazır duruma getirilecek bu işlenmemiş numunelere ısı işlem yapıldı.

Elde edilen 16 adet ham numunenin ısı işlemleri Fırat Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği bölümündeki laboratuarda yapıldı. Silindir şeklindeki numunelerden alınan ilk 4 tanesi (TA, TB, TC, TD) 800°C'ye kadar ısıtılıp bu sıcaklıkta sırasıyla 10dk., 20dk., 30dk., 40dk. fırında bekletilip, yağda hızlı soğutuldu; ikinci bir 4'lü grup (TE, TF, TG, TH) 900°C'ye kadar ısıtılıp bu sıcaklıkta aynı bekletme süreleri ile aynı soğutma işlemine tabi tutuldu. Üçüncü 4'lü (TI, TJ, TK, TL) grup ise, 1000°C'ye kadar ısıtılıp bu sıcaklıkta aynı bekletme sürelerinden sonra fırın kapağında yavaş soğumaya bırakıldı. Son 4'lü (TM, TN, TO, TP) grup ise 1100°C'ye kadar ısıtılıp bu sıcaklıkta fırında aynı bekletme sürelerine maruz bırakılıp, fırın kapağında yavaş soğumaya bırakıldı. Böylece 16 adet numune elde edildi. Bu numunelere uygulanan ısı işlemleri ve bekletme süreleri Tablo.4.2'de verildi.

Tablo 4.2. Numunelerin ısıtıldıkları sıcaklıklar ve bekletme süreleri

Süre Sıcaklık	10 dk.	20 dk.	30 dk.	40 dk.	Soğutma
800°C	TA	TB	TC	TD	Yağda
900°C	TE	TF	TG	TH	Yağda
1000°C	TI	TJ	TK	TL	Yavaş
1100°C	TM	TN	TO	TP	Yavaş

Isıl işlem sürecine tabii tutulup elde edilen 16 numunenin incelenmeye hazır duruma getirilmesi için önce 2 mm yüksekliğinde ve 10mm çapında silindir diskler şeklinde kesildi. Daha sonra sırasıyla bu büyüklükteki örnekler 60, 180, 260, 320, 400, 600, 1000, 1200'lük zımparalardan geçirilerek çuha bezinde yüzeyleri parlatıldı. Parlatılan yüzeylere nitrik asit + alkol karışımından elde edilen %1'lik Nital karışımı ile dağlama işlemi yapıldı. Böylece numuneler metalurjik olarak incelenebilir hale getirildi. İncelenmeye hazır duruma getirilen bu örneklerin faz bileşenlerini ve tane büyüklüklerini belirlemek amacıyla X-ışınları difraksiyon analizleri, aktivasyon enerjisi ve entalpi değişimlerini belirlemek amacıyla DSC ölçümleri, oksitlenme veya korozyonu, dolayısıyla kütle kaybını belirlemek için TGA ölçümleri, yapıdaki fazları belirlemek amacıyla SEM analizi, ısı iletkenlik katsayılarını belirlemek için Isı İletim Ünitesi ölçümleri yapıldı.

16 adet numunenin X-ışınları difraksiyon ölçümleri yapılırken, sadece numunelerin 10 tanesinin ısıtma DSC eğrileri ve TGA ölçümleri alındı. Tüm numunelerin SEM fotoğrafları çeşitli büyütme ölçeklerinde çekildi. Numunelerin 14 tanesinin ısı iletkenlik ölçümü yapıldı. Elektriksel

iletkenlik ölçümleri ise, araştırma dönemi içerisinde değişik yerlere ölçümlerin alınması için başvurmamıza rağmen uygun ölçüm cihazı bulunamadığından sağlıklı ölçümler alınamadı.

4.1 X-Işını Difraksiyon Ölçümleri ve Sonuçları

Hazırlanan 2mm yüksekliğinde, 10mm çapında silindir diskler şeklindeki 16 numune Tablo 4.2’de belirtildiği şekilde farklı sıcaklık ve bekletme sürelerinde ısıtılma işlemine tabi tutulduktan sonra numune yüzeylerinin parlatılması ve dağlanması işlemleri gerçekleştirilmiştir. X-ışınları spektrumları İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi’nde bilgisayar kontrollü bir Rigaku Rad.B Dmax 2 X-ışını difraktometresinde Döner Kristal Metodu ile elde edildi. Difraktometrede süzölmüş 1,54056Å dalga boylu Cu-K_{α1} ışını kullanıldı. Alınan tüm spektrumlar sırasında difraktometrenin 2θ açısı için tarama hızı 5°/dk. olarak seçildi.

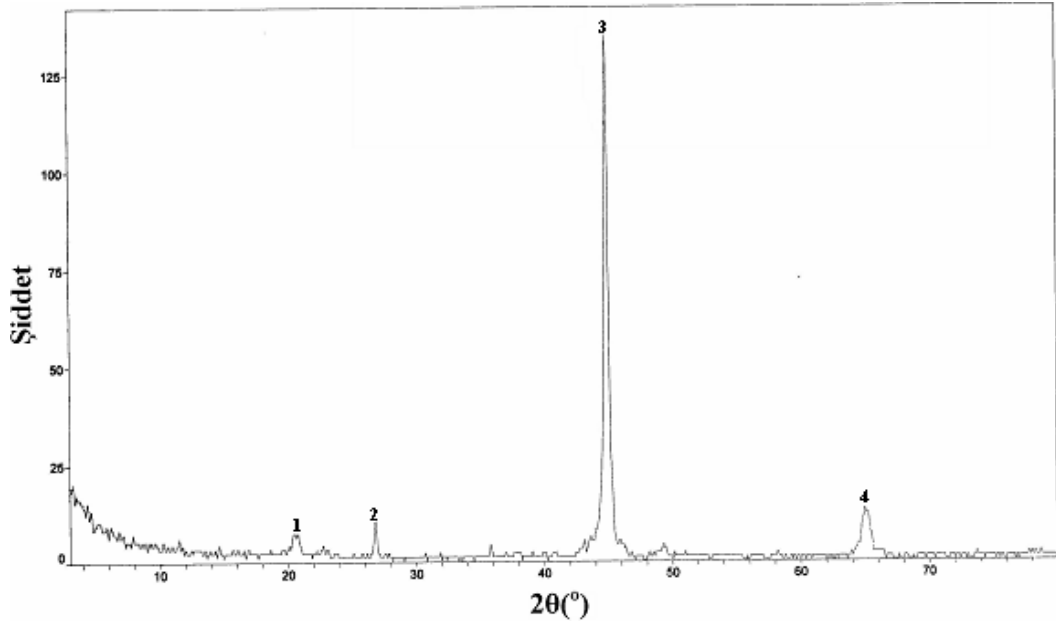
Elde edilen piklerin hangi faz bileşenine karşılık geldiği bulundu. Her numune için tane büyüklüğü Scherrer yöntemi ile hesaplandı. Tane büyüklüklerinin nasıl değişiklik gösterdiği belirlendi.

Elde edilen X-ışını difraksiyonlarında düzlemler arası mesafe (d), 2θ değerleri ve faz bileşenleri her numune için verildi (Tablo 4.3-18). Spektrum sonuçları kullanılarak tane büyüklükleri Scherrer metoduyla hesaplandı. Bu metoda göre,

$$D = \frac{0,9 \cdot \lambda}{\alpha \cdot \cos \theta} \quad (4.1)$$

bağıntısı kullanılarak tane büyüklüğü hesaplandı. Burada λ kullanılan ışığın dalga boyunu, α maksimum şiddetli pikin yarı genişliğini, θ Bragg açısını belirtmektedir[38]. Å cinsinden bulunan tane büyüklüğü değerleri nm cinsine çevrildi.

TA numunesinden alınan difraksiyon deseni pik numaraları belirtilerek Şekil 4.2’de verilmiştir. Bu piklerden maksimum şiddetli pik 3 nolu pik olup bu pikin difraksiyon açısı 2θ=44,842 ve kristal düzlemleri arası mesafesi d=2,0196’dır. Bu değerler ile faz bileşenleri Tablo 4.3’de belirtilmiştir. Ayrıca maksimum şiddetli pikin yarı genişliği α=0,375’dir. TA numunesinin tane büyüklüğü D=0,39997 nm’dir.

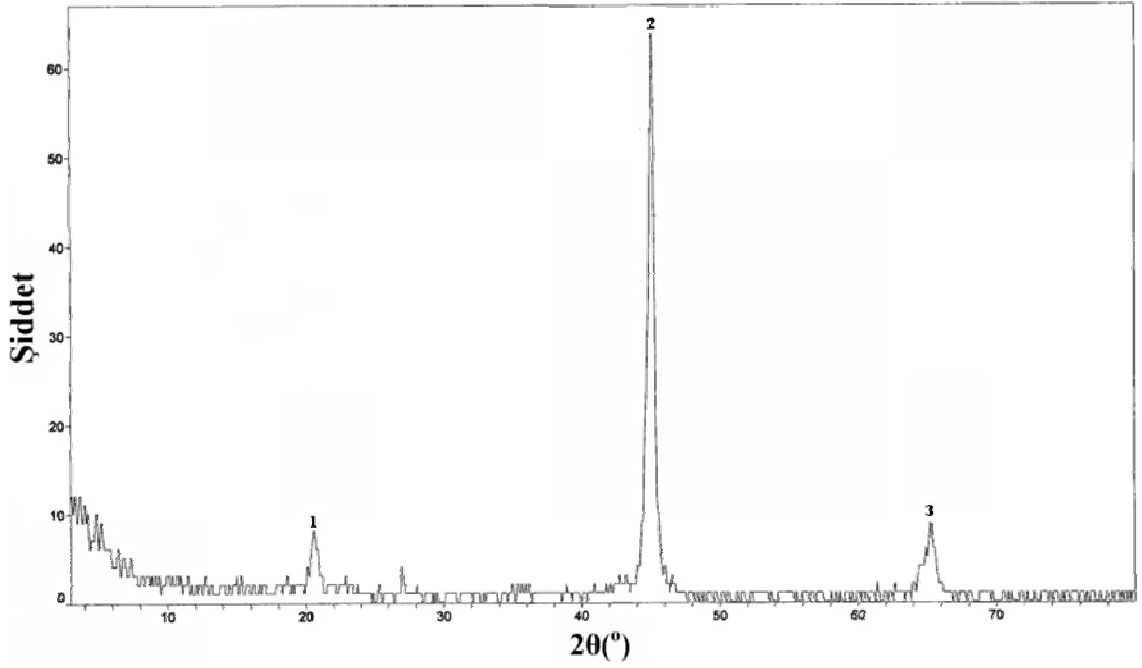


Şekil 4.2. TA numunesinin X-ışını difraksiyon deseni

Tablo 4.3. TA numunesi için ölçülen X-ışını difraksiyon dataları ve faz bileşenleri

Pik No	d(Å)	2θ(°)	faz bileşenleri
1	4,3204	20,540	karbon
2	3,3284	26,762	C (grafit) – 2H
3	2,0196	44,842	Fe, Cr,Ni,C,Mn
4	1,4348	64,941	Cr

TB numunesinden alınan difraksiyon deseni pik numaraları Şekil 4.3’de verilmiştir. Bu piklerden maksimum şiddetli pik 2 nolu pik olup bu pikin difraksiyon açısı $2\theta=45,061$ ve kristalin düzlemleri arası mesafesi $d=2,0103$ ’dır. Bu değerler ile faz bileşenleri Tablo 4.4’de veriliyor. Ayrıca maksimum şiddetli pikin yarı genişliği $\alpha=0,443$ ’dür. TB numunesinin tane büyüklüğü $D=0,33891$ nm’dir.

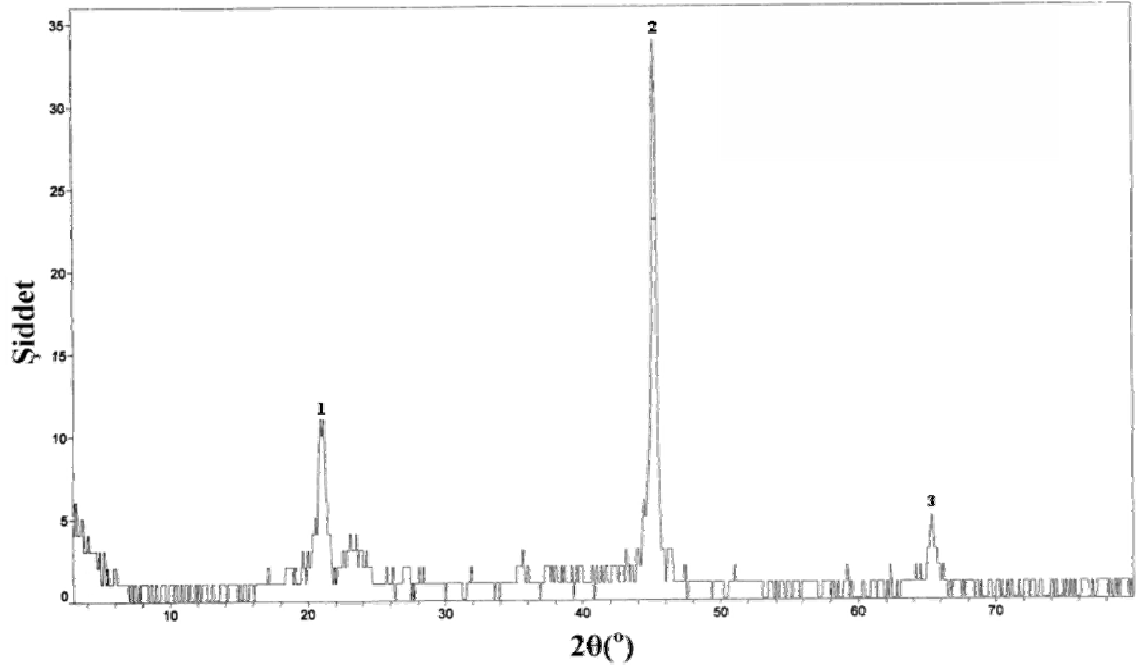


Şekil 4.3. TB numunesinin X-ışını difraksiyon deseni

Tablo 4.4. TB numunesi için ölçülen X-ışını difraksiyon dataları ve faz bileşenleri

Pik No	d(Å)	2θ(°)	faz bileşenleri
1	4,3159	20,562	karbon
2	2,0103	45,061	Fe, Cr,Ni,C,Mn
3	1,4300	65,183	Cr

TC numunesinden alınan difraksiyon deseni pik numaraları belirtilerek Şekil 4.4’de verilmiştir. Bu piklerden maksimum şiddetli pik 2 nolu pik olup bu pikin difraksiyon açısı $2\theta=45,162$ ve kristal düzlemleri arası mesafesi $d=2,0060$ ’dır. Bu değerler ile faz bileşenleri Tablo 4.5’de belirtilmiştir. Ayrıca maksimum şiddetli pikin yarı genişliği $\alpha=0,451$ ’dir. TC numunesinin tane büyüklüğü $D=0,332966$ nm’dir.

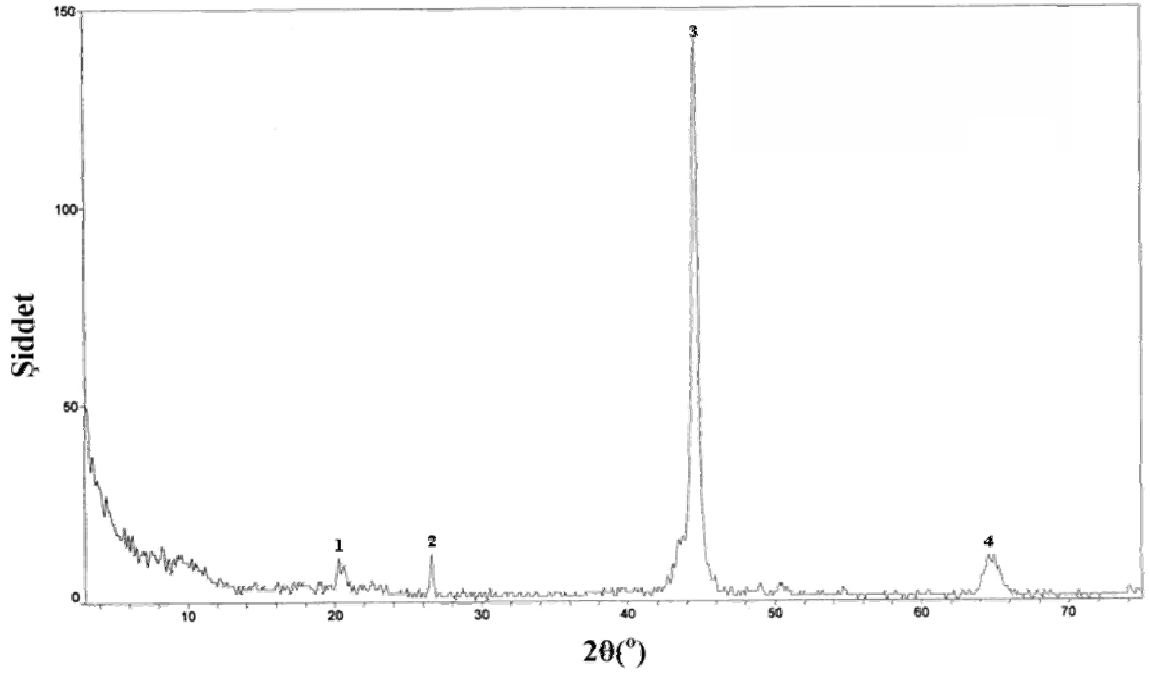


Şekil 4.4. TC numunesinin X-ışını difraksiyon deseni

Tablo 4.5. TC numunesi için ölçülen X-ışını difraksiyon dataları ve faz bileşenleri

Pik No	d(Å)	2θ(°)	faz bileşenleri
1	4,1989	21,141	karbon
2	2,0060	45,162	Fe, Cr,Ni,C,Mn
3	1,4266	65,360	Cr

TD numunesinden alınan difraksiyon deseni pik numaraları belirtilerek Şekil 4.5’de verilmiştir. Bu piklerden maksimum şiddetli pik 3 nolu pik olup bu pikin difraksiyon açısı $2\theta=44,542$ ve kristal düzlemleri arası mesafesi $d=2,0325$ ’dir. Bu değerler ile faz bileşenleri Tablo 4.6’de verilmiştir. Ayrıca maksimum şiddetli pikin yarı genişliği $\alpha=0,415$ ’dir. TD numunesinin tane büyüklüğü $D=0,361182$ nm’dir.

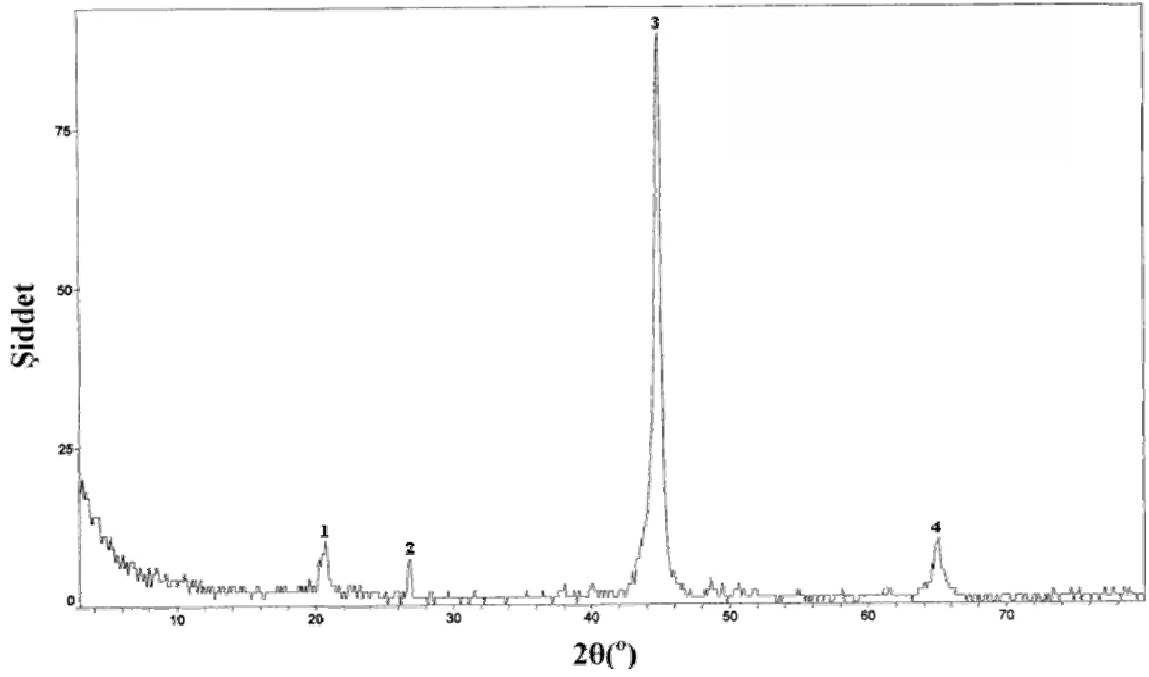


Şekil 4.5. TD numunesinin X-ışını difraksiyon deseni

Tablo 4.6. TD numunesi için ölçülen X-ışını difraksiyon dataları ve faz bileşenleri

Pik No	$d(\text{\AA})$	$2\theta(^{\circ})$	faz bileşenleri
1	4,3710	20,300	karbon
2	3,3483	26,600	C (grafit) – 2H
3	2,0325	44,542	Fe, Cr,Ni,C,Mn
4	1,4396	64,699	Cr

TE numunesinden alınan difraksiyon deseni pik numaraları belirtilerek Şekil 4.6’de verilmiştir. Bu piklerden maksimum şiddetli pik 3 nolu pik olup bu pikin difraksiyon açısı $2\theta=44,841$ ve kristal düzlemleri arası mesafesi $d=2,0196$ ’dır. Bu değerler ile faz bileşenleri Tablo 4.7’de belirtilmiştir. Ayrıca maksimum şiddetli pikin yarı genişliği $\alpha=0,521$ ’dir. TE numunesinin tane büyüklüğü $D=0,288027$ nm’dir.

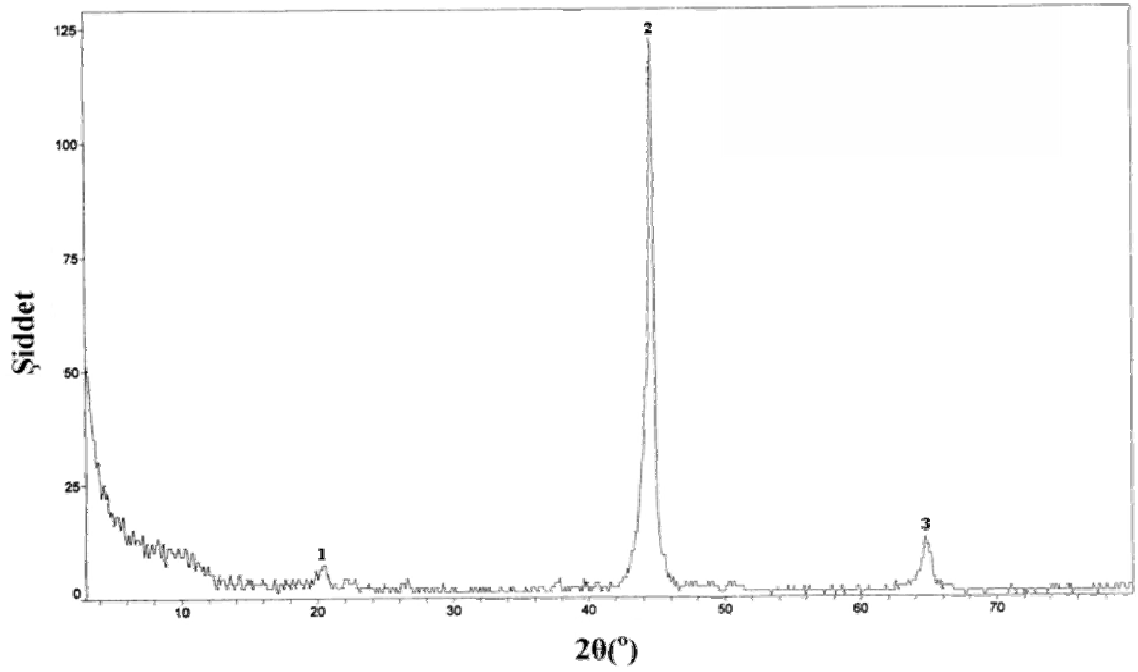


Şekil 4.6. TE numunesinin X-ışını difraksiyon deseni

Tablo 4.7. TE numunesi için ölçülen X-ışını difraksiyon dataları ve faz bileşenleri

Pik No	d(Å)	2θ(°)	faz bileşenleri
1	4,2911	20,682	karbon
2	3,3167	26,859	C (grafit) – 2H
3	2,0196	44,841	Fe, Cr,Ni,C,Mn
4	1,4332	65,022	Cr

TF numunesinden alınan difraksiyon deseni pik numaraları belirtilerek Şekil 4.7’de verilmiştir. Bu piklerden maksimum şiddetli pik 2 nolu pik olup bu pikin difraksiyon açısı $2\theta=44,640$ ve kristal düzlemleri arası mesafesi $d=2,0282$ ’dir. Bu değerler ile faz bileşenleri Tablo 4.8’de belirtilmiştir. Ayrıca maksimum şiddetli pikin yarı genişliği $\alpha=0,458$ ’dir. TF numunesinin tane büyüklüğü $D=0,327268$ nm’dir.

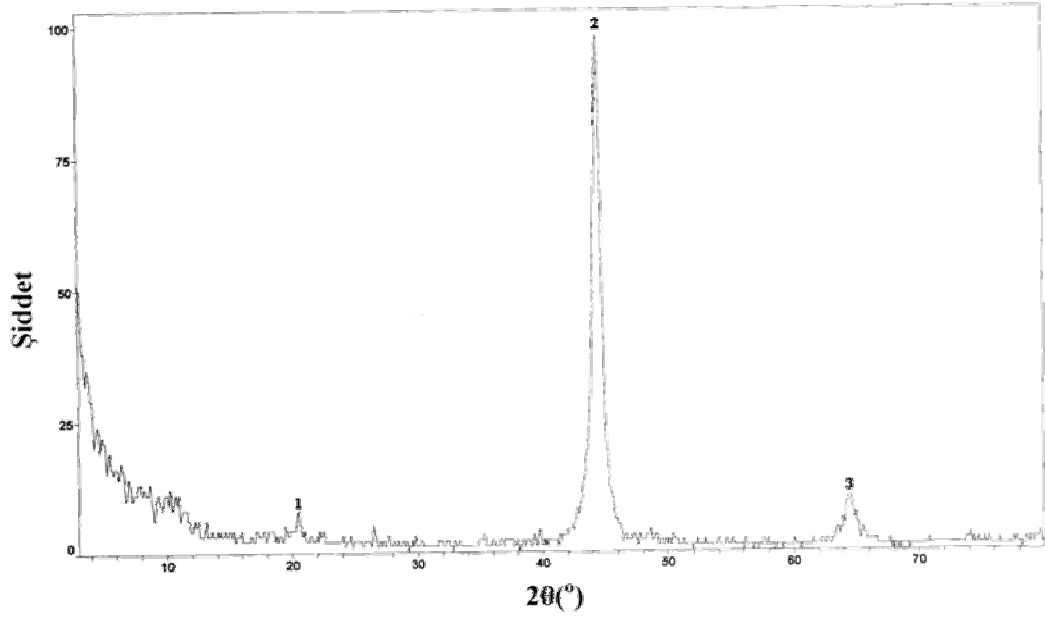


Şekil 4.7. TF numunesinin X-ışını difraksiyon deseni

Tablo 4.8. TF numunesi için ölçülen X-ışını difraksiyon dataları ve faz bileşenleri

Pik No	d(Å)	2θ(°)	faz bileşenleri
1	4,3456	20,420	karbon
2	2,0282	44,640	Fe, Cr,Ni,C,Mn
3	1,4352	64,920	Cr

TG numunesinden alınan difraksiyon deseni pik numaraları belirtilerek Şekil 4.8’de verilmiştir. Bu piklerden maksimum şiddetli pik 2 nolu pik olup bu pikin difraksiyon açısı $2\theta=44,480$ ve kristal düzlemleri arası mesafesi $d=2,0351$ ’dir. Bu değerler ile faz bileşenleri Tablo 4.9’de belirtilmiştir. Ayrıca maksimum şiddetli pikin yarı genişliği $\alpha=0,638$ ’dir. TG numunesinin tane büyüklüğü $D=0,234738$ nm’dir.

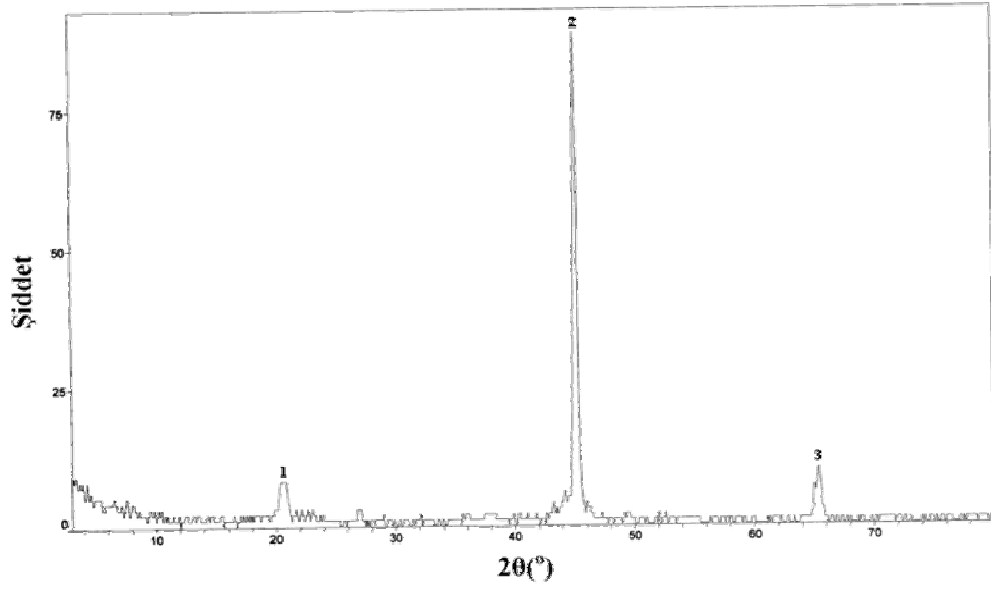


Şekil 4.8. TG numunesinin X-ışını difraksiyon deseni

Tablo 4.9. TG numunesi için ölçülen X-ışını difraksiyon dataları ve faz bileşenleri

Pik No	d(Å)	2θ(°)	faz bileşenleri
1	4,3491	20,403	karbon
2	2,0351	44,480	Fe, Cr,Ni,C,Mn
3	1,4459	64,380	Cr

TH numunesinden alınan difraksiyon deseni pik numaraları belirtilerek Şekil 4.9’de verilmiştir. Bu piklerden maksimum şiddetli pik 2 nolu pik olup bu pikin difraksiyon açısı $2\theta=45,100$ ve kristal düzlemleri arası mesafesi $d=2,0086$ ’dır. Bu değerler ile faz bileşenleri Tablo 4.10’de belirtilmiştir. Ayrıca maksimum şiddetli pikin yarı genişliği $\alpha=0,303$ ’dür. TH numunesinin tane büyüklüğü $D=0,495481$ nm’dir.

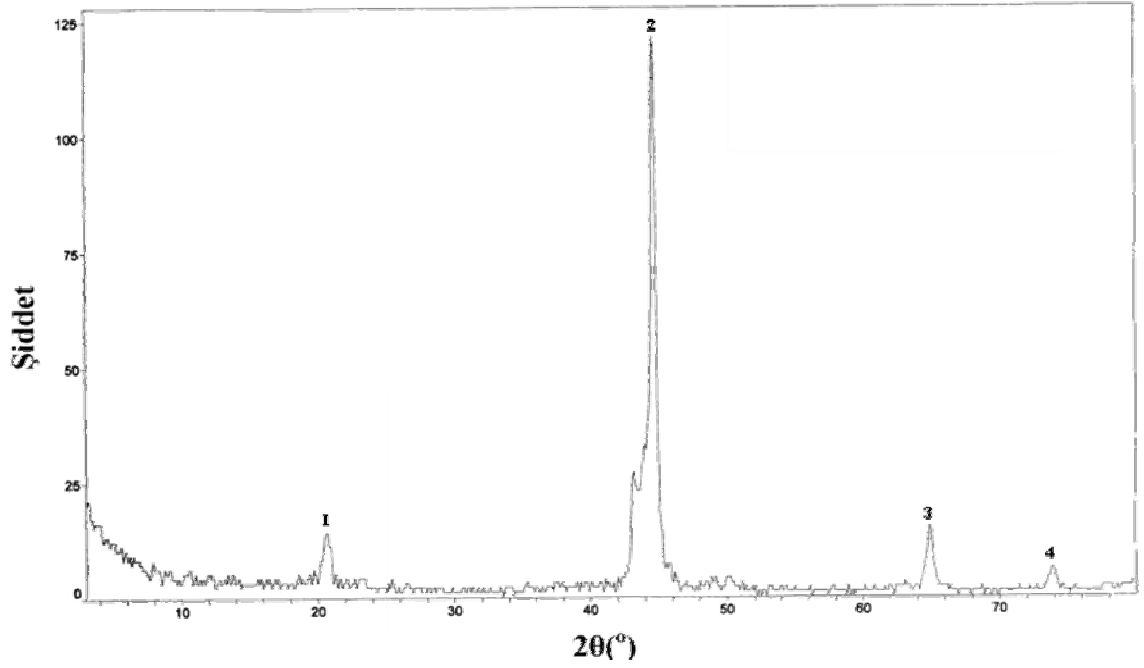


Şekil 4.9. TH numunesinin X-ışını difraksiyon deseni

Tablo 4.10. TH numunesi için ölçülen X-ışını difraksiyon dataları ve faz bileşenleri

Pik No	d(Å)	2θ(°)	faz bileşenleri
1	4,3204	20,540	karbon
2	2,0086	45,100	Fe, Cr,Ni,C,Mn
3	1,4266	65,360	Cr

TI numunesinden alınan difraksiyon deseni pik numaraları belirtilerek Şekil 4.10'de verilmiştir. Bu piklerden maksimum şiddetli pik 2 nolu pik olup bu pikin difraksiyon açısı $2\theta=44,641$ ve kristal düzlemleri arası mesafesi $d=2,0282$ 'dir. Bu değerler ile faz bileşenleri Tablo 4.11'de belirtilmiştir. Ayrıca maksimum şiddetli pikin yarı genişliği $\alpha=0,491$ 'dir. TI numunesinin tane büyüklüğü $D=0,305276$ nm'dir.

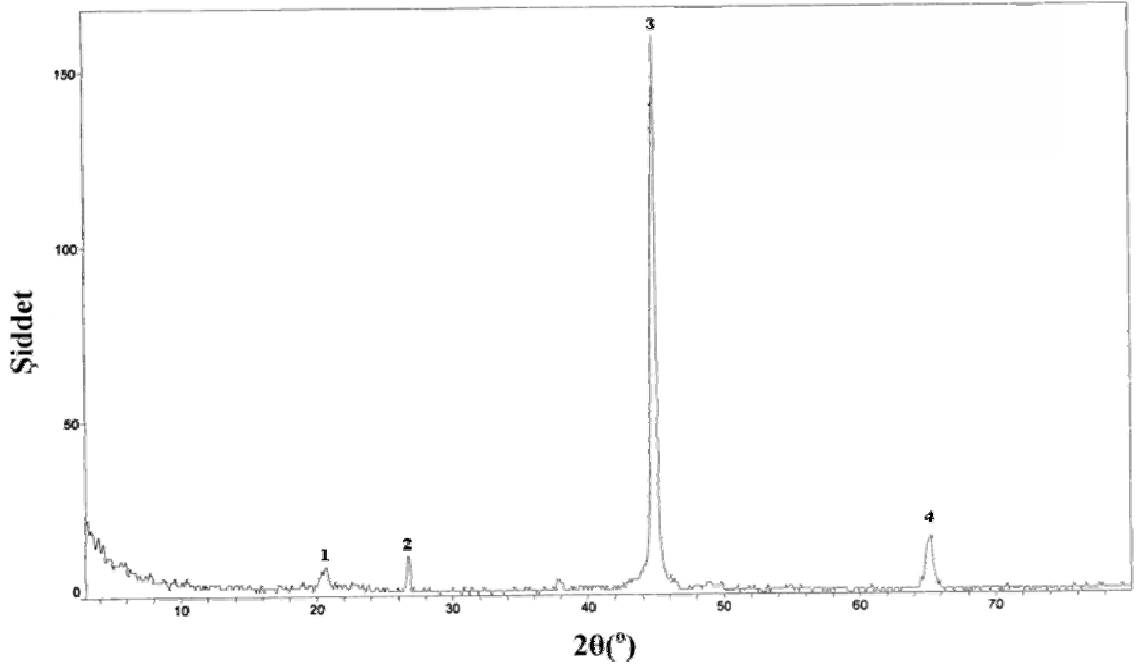


Şekil 4.10. TI numunesinin X-ışını difraksiyon deseni

Tablo 4.11. TI numunesi için ölçülen X-ışını difraksiyon dataları ve faz bileşenleri

Pik No	d(Å)	2θ(°)	faz bileşenleri
1	4,3161	20,561	karbon
2	2,0282	44,641	Fe, Cr,Ni,C,Mn
3	1,4367	64,841	Cr
4	1,2811	73,920	

TJ numunesinden alınan difraksiyon deseni pik numaraları belirtilerek Şekil 4.11’de verilmiştir. Bu piklerden maksimum şiddetli pik 3 nolu pik olup bu pikin difraksiyon açısı $2\theta=44,900$ ve kristal düzlemleri arası mesafesi $d=2,0171$ ’dir. Bu değerler ile faz bileşenleri Tablo 4.12’de belirtilmiştir. Ayrıca maksimum şiddetli pikin yarı genişliği $\alpha=0,373$ ’dür. TJ numunesinin tane büyüklüğü $D=0,402118$ nm’dir.

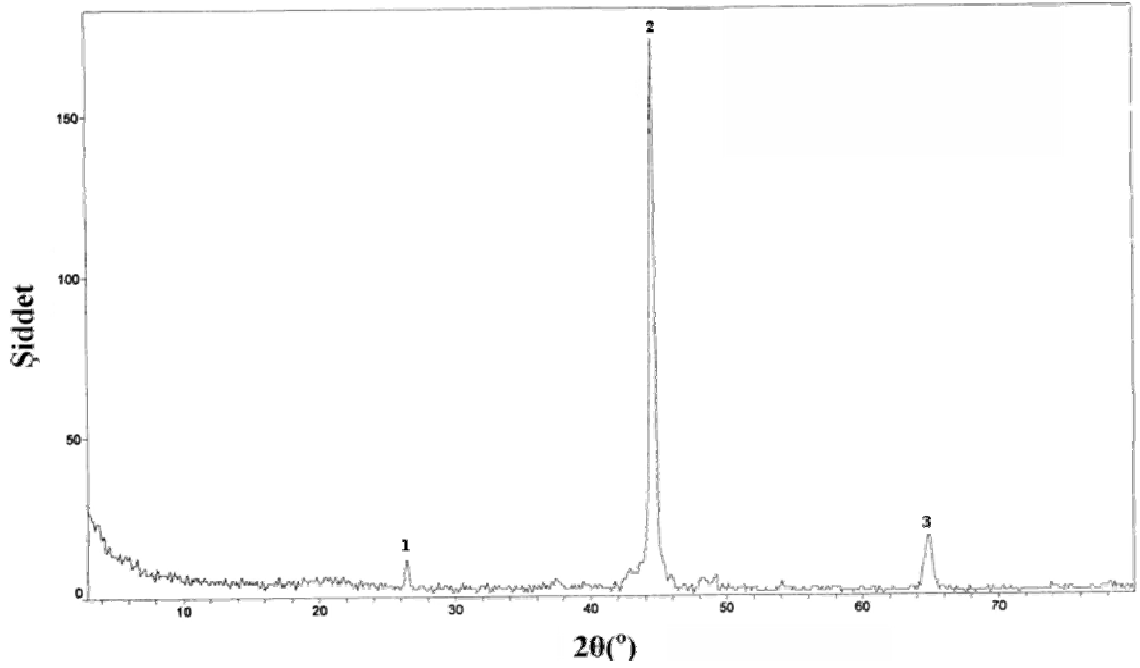


Şekil 4.11. TJ numunesinin X-ışını difraksiyon deseni

Tablo 4.12. TJ numunesi için ölçülen X-ışını difraksiyon dataları ve faz bileşenleri

Pik No	d(Å)	$2\theta(^{\circ})$	faz bileşenleri
1	4,3076	20,602	karbon
2	3,3286	26,761	C (grafit)– 2H
3	2,0171	44,900	Fe, Cr,Ni,C,Mn
4	1,4297	65,201	Cr

TK numunesinden alınan difraksiyon deseni pik numaraları belirtilerek Şekil 4.12’de verilmiştir. Bu piklerden maksimum şiddetli pik 2 nolu pik olup bu pikin difraksiyon açısı $2\theta=44,658$ ve kristal düzlemleri arası mesafesi $d=2,0275$ ’dir. Bu değerler ile faz bileşenleri Tablo 4.13’de belirtilmiştir. Ayrıca maksimum şiddetli pikin yarı genişliği $\alpha=0,345$ ’dir. TK numunesinin tane büyüklüğü $D=0,434382$ nm’dir.

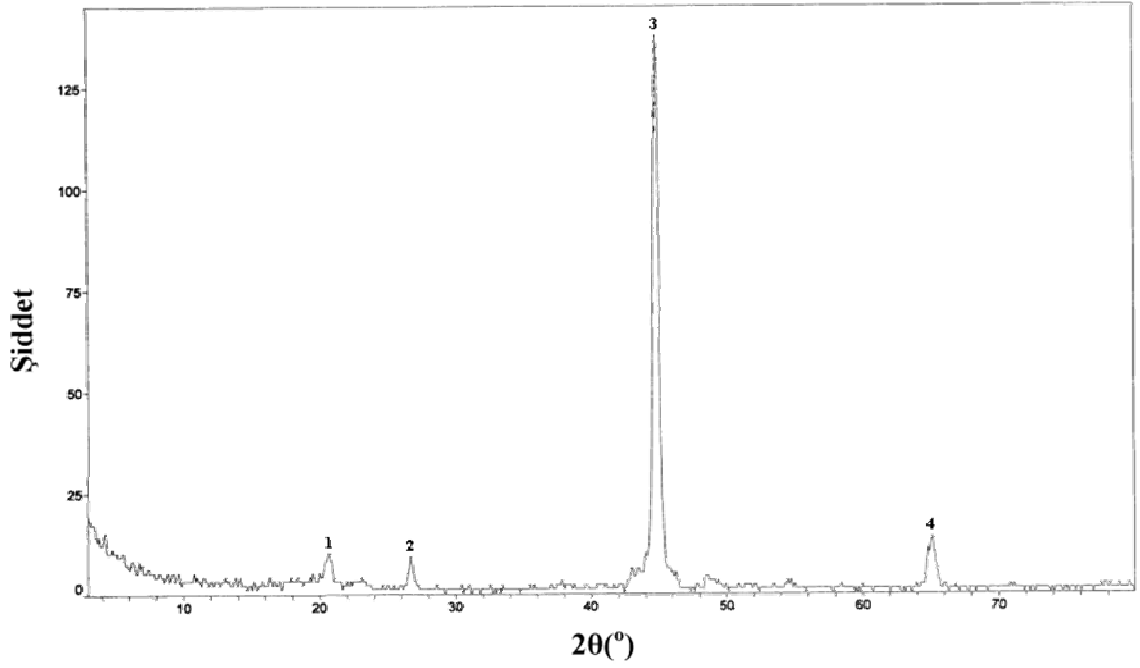


Şekil 4.12. TK numunesinin X-ışını difraksiyon deseni

Tablo 4.13. TK numunesi için ölçülen X-ışını difraksiyon dataları ve faz bileşenleri

Pik No	d(Å)	2θ(°)	faz bileşenleri
1	3,3679	26,442	C (grafit) – 2H
2	2,0275	44,658	Fe, Cr,Ni,C,Mn
3	1,4367	64,841	Cr

TL numunesinden alınan difraksiyon deseni pik numaraları belirtilerek Şekil 4.13’de verilmiştir. Bu piklerden maksimum şiddetli pik 3 nolu pik olup bu pikin difraksiyon açısı $2\theta=44,879$ ve kristal düzlemleri arası mesafesi $d=2,0180$ ’dır. Bu değerler ile faz bileşenleri Tablo 4.14’de belirtilmiştir. Ayrıca maksimum şiddetli pikin yarı genişliği $\alpha=0,485$ ’dir. TL numunesinin tane büyüklüğü $D=0,309149$ nm’dir.

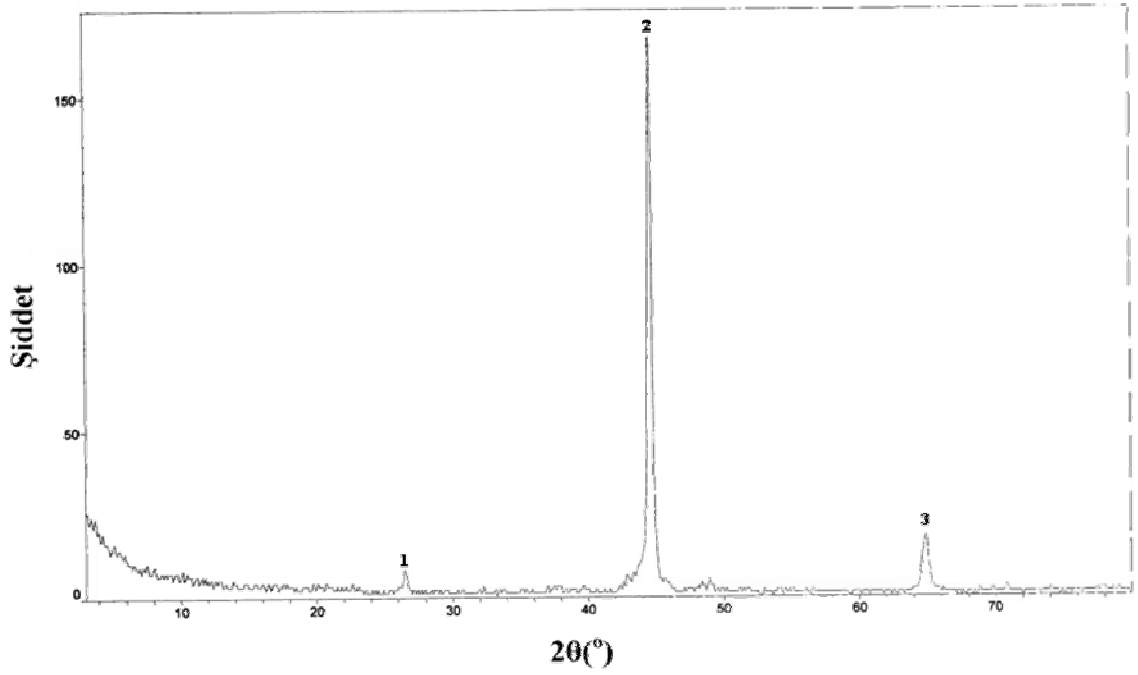


Şekil 4.13. TL numunesinin X-ışını difraksiyon deseni

Tablo 4.14. TL numunesi için ölçülen X-ışını difraksiyon dataları ve faz bileşenleri

Pik No	d(Å)	2θ(°)	faz bileşenleri
1	4,2994	20,642	karbon
2	3,3358	26,702	C (grafit) – 2H
3	2,0180	44,879	Fe, Cr,Ni,C,Mn
4	1,4309	65,140	Cr

TM numunesinden alınan difraksiyon deseni pik numaraları belirtilerek Şekil 4.14’de verilmiştir. Bu piklerden maksimum şiddetli pik 2 nolu pik olup bu pikin difraksiyon açısı $2\theta=44,659$ ve kristal düzlemleri arası mesafesi $d=2,0274$ ’dır. Bu değerler ile faz bileşenleri Tablo 4.15’de belirtilmiştir. Ayrıca maksimum şiddetli pikin yarı genişliği $\alpha=0,318$ ’dir. TM numunesinin tane büyüklüğü $D=0,471295$ nm’dir.

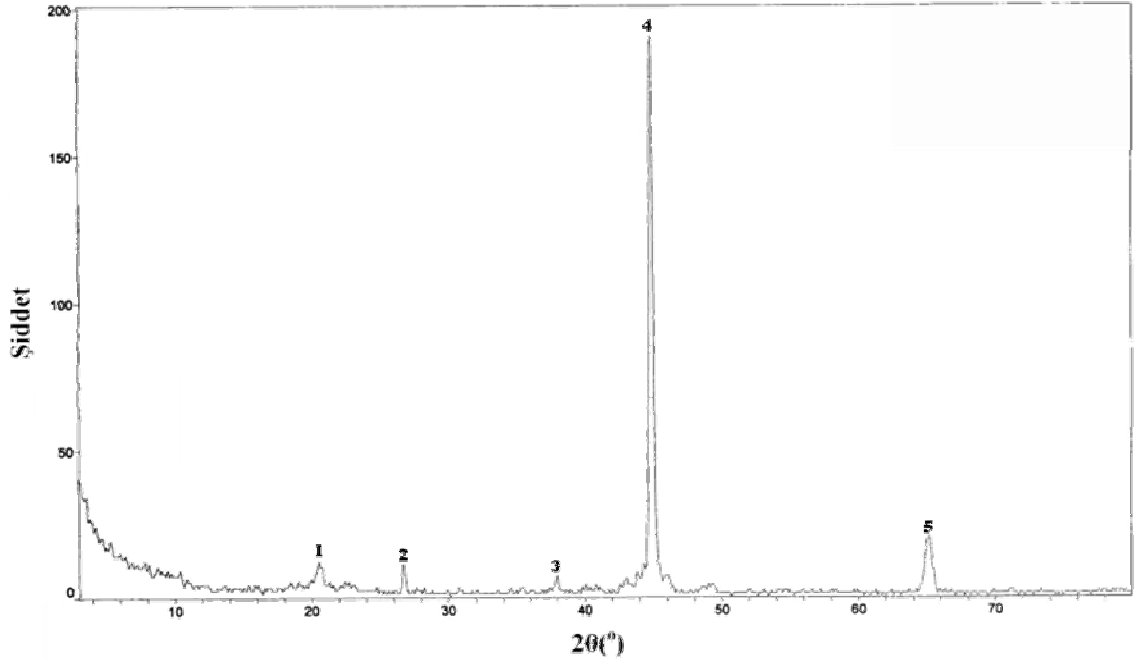


Şekil 4.14. TM numunesinin X-ışını difraksiyon deseni

Tablo 4.15. TM numunesi için ölçülen X-ışını difraksiyon dataları ve faz bileşenleri

Pik No	d(Å)	2θ(°)	faz bileşenleri
1	3,3655	26,462	C (grafit) – 2H
2	2,0274	44,659	Fe, Cr,Ni,C,Mn
3	1,4383	64,762	Cr

TN numunesinden alınan difraksiyon deseni pik numaraları belirtilerek Şekil 4.15’de verilmiştir. Bu piklerden maksimum şiddetli pik 4 nolu pik olup bu pikin difraksiyon açısı $2\theta=44,840$ ve kristal düzlemleri arası mesafesi $d=2,0196$ ’dır. Bu değerler ile faz bileşenleri Tablo 4.16’de belirtilmiştir. Ayrıca maksimum şiddetli pikin yarı genişliği $\alpha=0,293$ ’dür. TN numunesinin tane büyüklüğü $D=0,511908$ nm’dir.

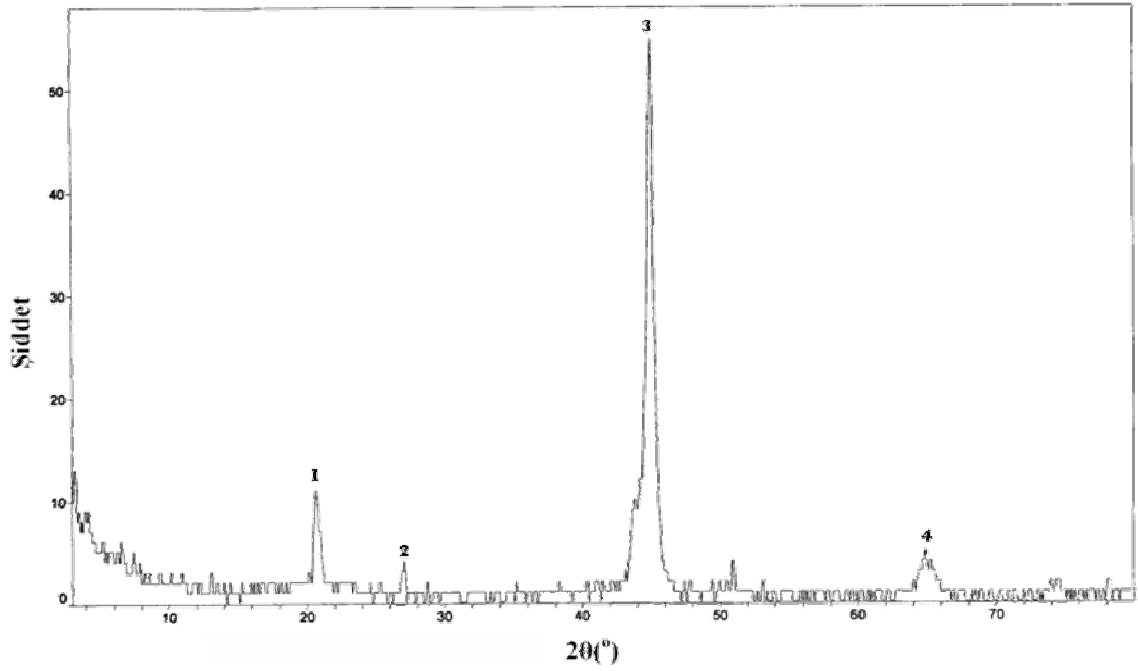


Şekil 4.15. TN numunesinin X-ışını difraksiyon deseni

Tablo 4.16. TN numunesi için ölçülen X-ışını difraksiyon dataları ve faz bileşenleri

Pik No	d(Å)	2θ(°)	faz bileşenleri
1	4,3287	20,500	karbon
2	3,3357	26,702	C (grafit) – 2H
3	2,3718	37,902	Mn
4	2,0196	44,840	Fe, Cr,Ni,C,Mn
5	1,4320	65,081	Cr

TO numunesinden alınan difraksiyon deseni pik numaraları belirtilerek Şekil 4.16’de verilmiştir. Bu piklerden maksimum şiddetli pik 3 nolu pik olup bu pikin difraksiyon açısı $2\theta=44,960$ ve kristal düzlemleri arası mesafesi $d=2,0145$ ’dir. Bu değerler ile faz bileşenleri Tablo 4.17’de belirtilmiştir. Ayrıca maksimum şiddetli pikin yarı genişliği $\alpha=0,494$ ’dür. TO numunesinin tane büyüklüğü $D=0,303751$ nm’dir.

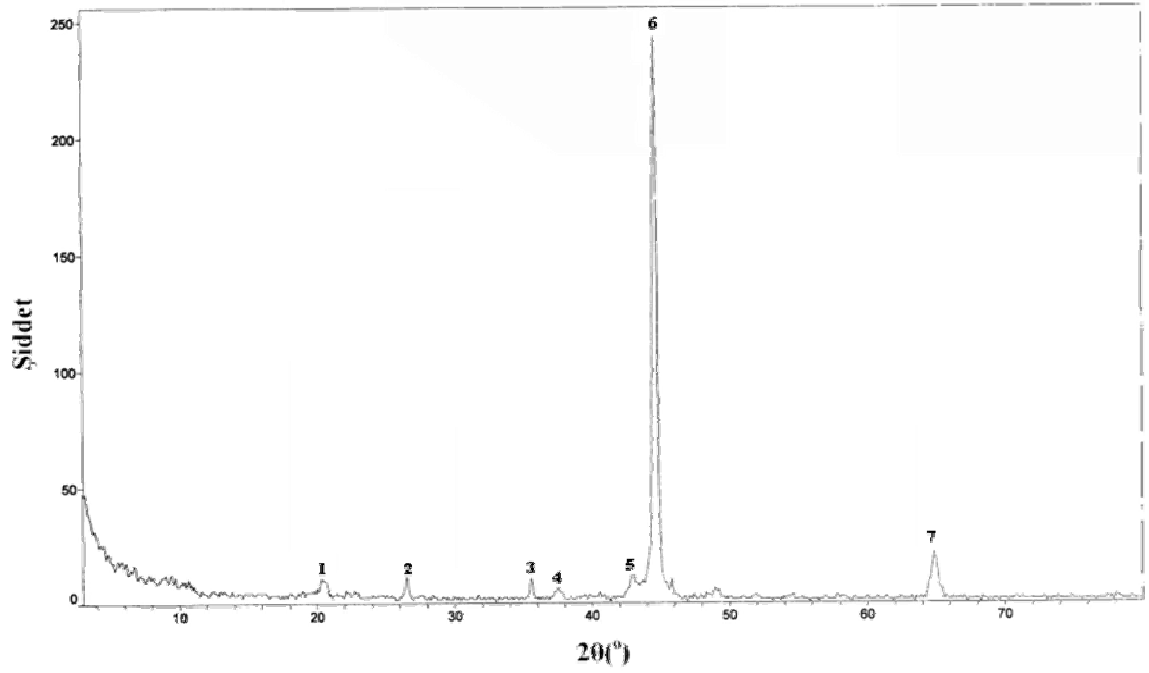


Şekil 4.16. TO numunesinin X-ışını difraksiyon deseni

Tablo 4.17. TO numunesi için ölçülen X-ışını difraksiyon dataları ve faz bileşenleri

Pik No	d(Å)	2θ(°)	faz bileşenleri
1	4,2996	20,641	karbon
2	3,2900	27,080	C (grafit) – 2H
3	2,0145	44,960	Fe, Cr,Ni,C,Mn
4	1,4368	64,840	Cr

TP numunesinden alınan difraksiyon deseni pik numaraları belirtilerek Şekil 4.17’de verilmiştir. Bu piklerden maksimum şiddetli pik 6 nolu pik olup bu pikin difraksiyon açısı $2\theta=44,659$ ve kristal düzlemleri arası mesafesi $d=2,0274$ ’dır. Bu değerler ile faz bileşenleri Tablo 4.18’de belirtilmiştir. Ayrıca maksimum şiddetli pikin yarı genişliği $\alpha=0,308$ ’dir. TP numunesinin tane büyüklüğü $D=0,486646$ nm’dir.



Şekil 4.17. TP numunesinin X-ışını difraksiyon deseni

Tablo 4.18. TP numunesi için ölçülen X-ışını difraksiyon dataları ve faz bileşenleri

Pik No	d(Å)	2θ(°)	faz bileşenleri
1	4,3458	20,419	karbon
2	3,3582	26,520	C (grafit) – 2H
3	2,5251	35,522	Si
4	2,3940	37,538	Mn
5	2,1063	42,902	NiC*
6	2,0274	44,659	Fe, Cr,Ni,C,Mn
7	1,4379	64,782	Cr

4.2 Termogravimetrik Analiz (TGA) Ölçümleri ve Sonuçları

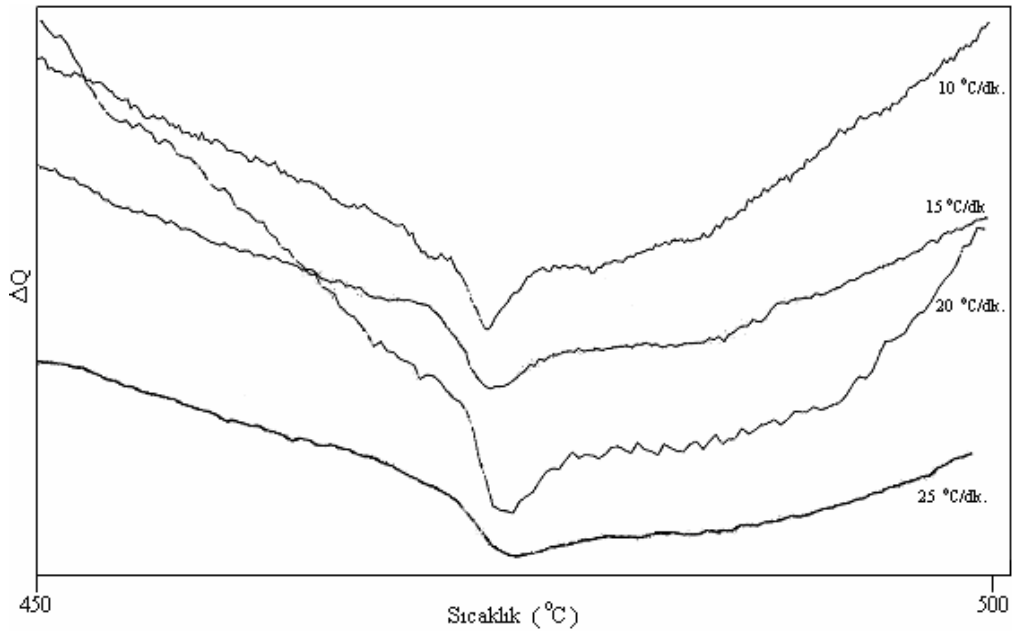
Numunelerin Termogravimetrik Analizleri Fırat Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Termal Analiz Laboratuvarı'nda SHIMADZU TGA-50 cihazında yapıldı. Ölçümler 0-500°C sıcaklık aralığında 10, 15, 20, 25 °C/dk. ısıtma hızlarında yapılmıştır.

Araştırılan sıcaklık bölgesinde numunelerin Termogravimetrik Analiz(TGA) ölçümlerinden, numunelerde oksitlenme veya korozyon meydana gelmediği görüldü. Bunun sebebi olarak malzemenin erime noktasına kadar ısıtılamaması söylenebilir.

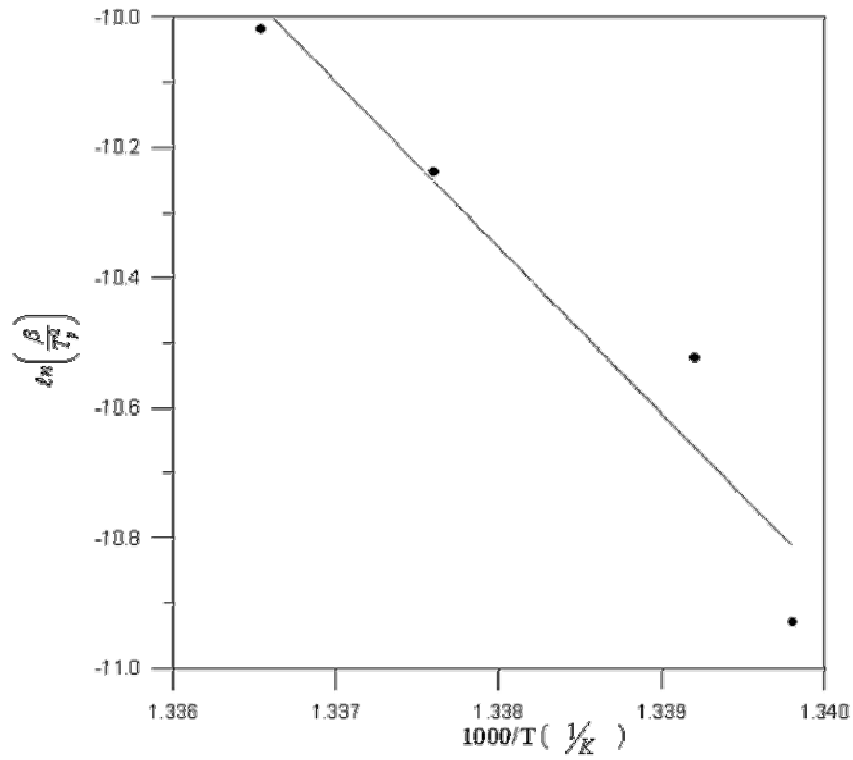
4.3. Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC) Ölçümleri ve Sonuçları

Numunelerden küçük parçacıklar kırılarak bu parçacıklardan DSC ölçümleri alındı. Ancak 6 numuneden parçacık kırılmadığından sadece 10 numune için ölçüm yapılabildi. İncelenilen numunelerin DSC ölçümleri Fırat Üniversitesi Termal Analiz Laboratuvarı'nda SHIMADZU DSC-50 cihazında yapıldı. DSC ölçümleri 0-500°C sıcaklık aralığında 10, 15, 20, 25 °C/dk. ısıtma hızlarında yapılmıştır. Elde edilen ısıtma eğrilerinden T_p pik sıcaklıkları belirlenerek Kissinger Metodu yardımıyla aktivasyon enerjileri hesaplandı. 10 numune için hesaplanan aktivasyon enerjileri karşılaştırıldı. Ayrıca numuneler için entalpi değişimleri(ΔH) belirlendi.

Silindir numunelerden kırılarak elde edilen parçacıklara 10,15,20,25 °C/dk. ısıtma programları uygulanarak DSC ölçümleri alındı. Elde edilen ısıtma eğrilerinden T_p pik sıcaklıkları belirlenerek Aktivasyon Enerjisini(E_a) hesaplamak için Kissinger Metodundan $\ln(\beta/T_p^2) - 1000/T_p$ grafiği çizildi[39]. Bu grafiklerin eğiminden faydalanarak Aktivasyon Enerjileri (E_a) hesaplandı. Ayrıca her numune için her ısıtma hızında elde edilen pikler tek grafik ile gösterildi.



Şekil 4.18 TA numunesinin 10°C/dk., 15°C/dk., 20°C/dk., 25°C/dk. ısıtma hızları için DSC eğrileri

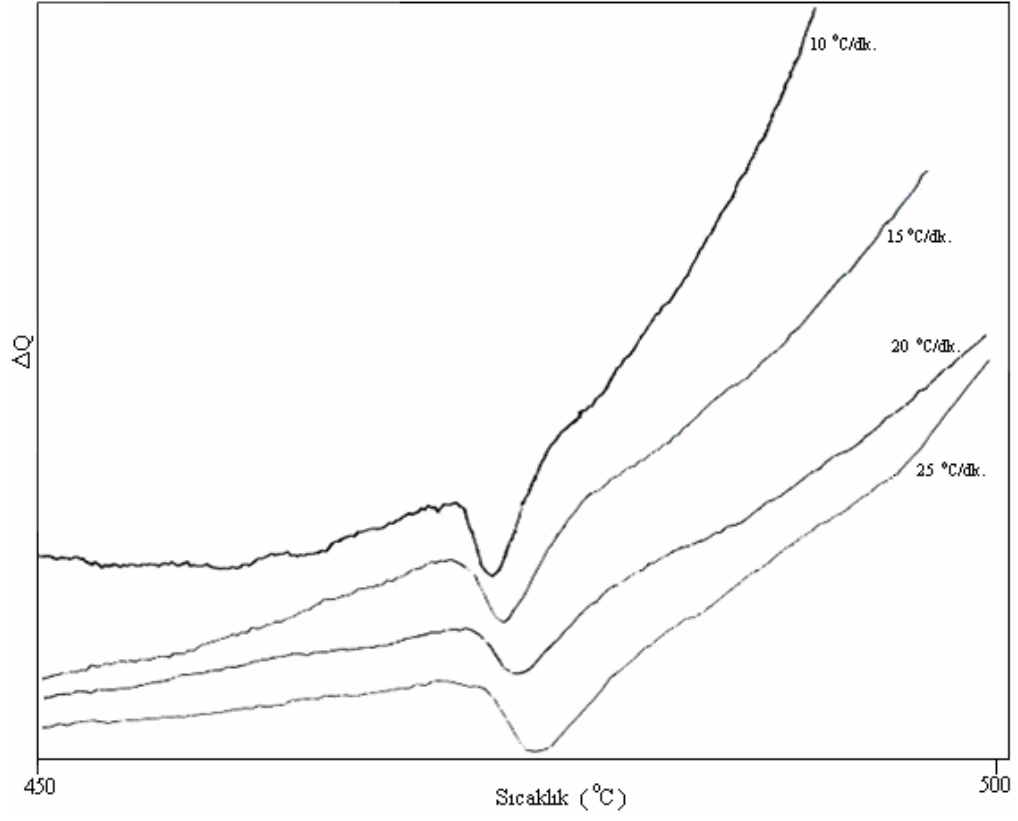


Şekil 4.19 TA numunesi için $\ln(\beta/T_p^2) - 1000/T_p$ grafiği

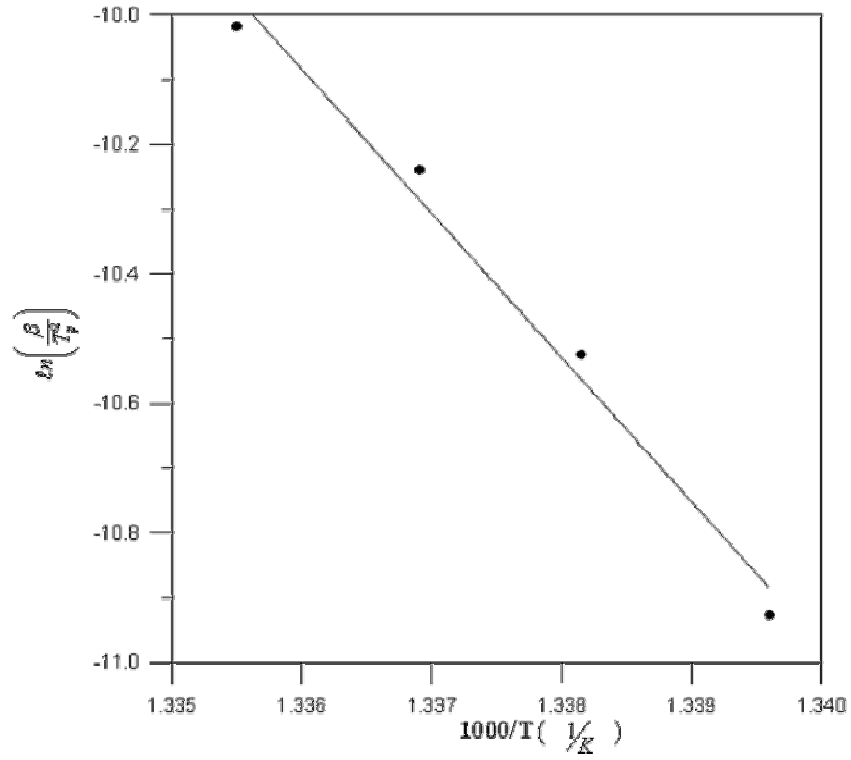
Tablo 4.19 TA numunesi için ölçülen ve hesaplanan parametreler

$\beta(^{\circ}\text{C}/\text{dk.})$	$T_p(^{\circ}\text{C})$	$\Delta H(\text{J/g})$	$E_a(\text{kJ/mol})$
10	473,40	0,05	182,146
15	473,70	0,02	
20	474,60	0,01	
25	475,20	0,03	

TA numunesi için 10°C/dk., 15°C/dk., 20°C/dk., 25°C/dk. ısıtma hızlarına ait DSC eğrileri şekil 4.18’de gösterilmiştir. Bu numune için endotermik reaksiyona ait $\ln(\beta/T_p^2) - 1000/T_p$ grafiği şekil 4.19’ de gösterilmiştir. TA numunesinin hesaplanan aktivasyon enerjisi, 4 farklı ısıtma hızı için ölçülen pik sıcaklıkları ve entalpi değişimleri Tablo 4.19’de verilmiştir.



Şekil 4.20 TB numunesinin 10°C/dk., 15°C/dk., 20°C/dk., 25°C/dk. ısıtma hızları için DSC eğrileri

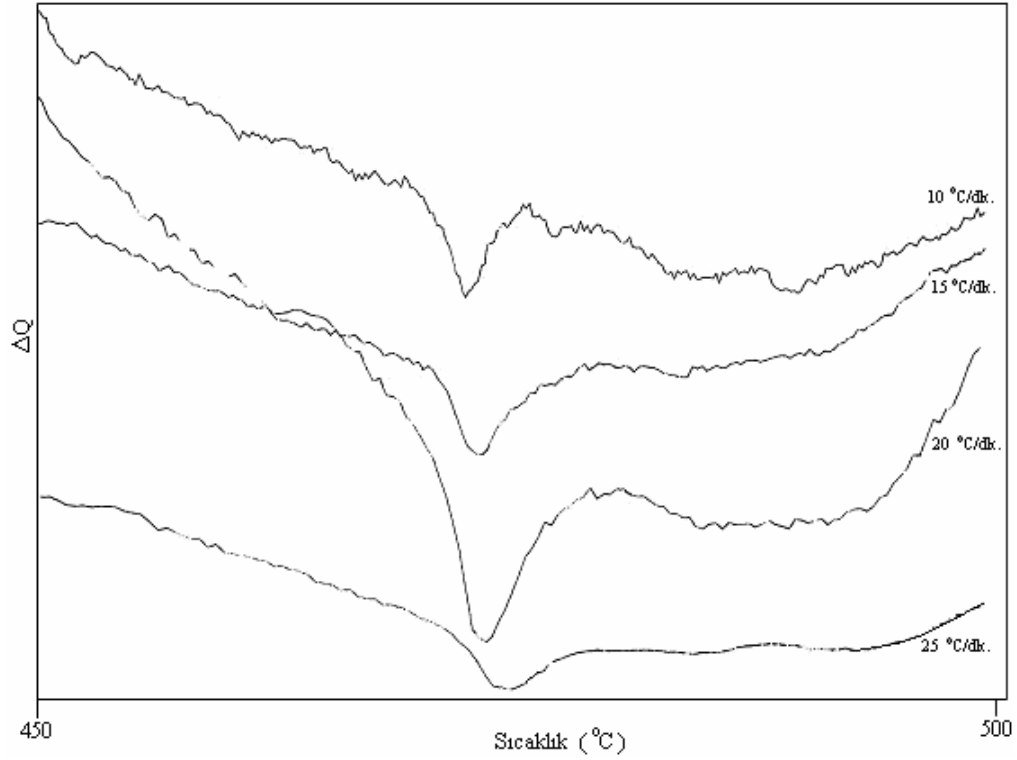


Şekil 4.21 TB numunesi için $\ln(\beta/T_p^2) - 1000/T_p$ grafiği

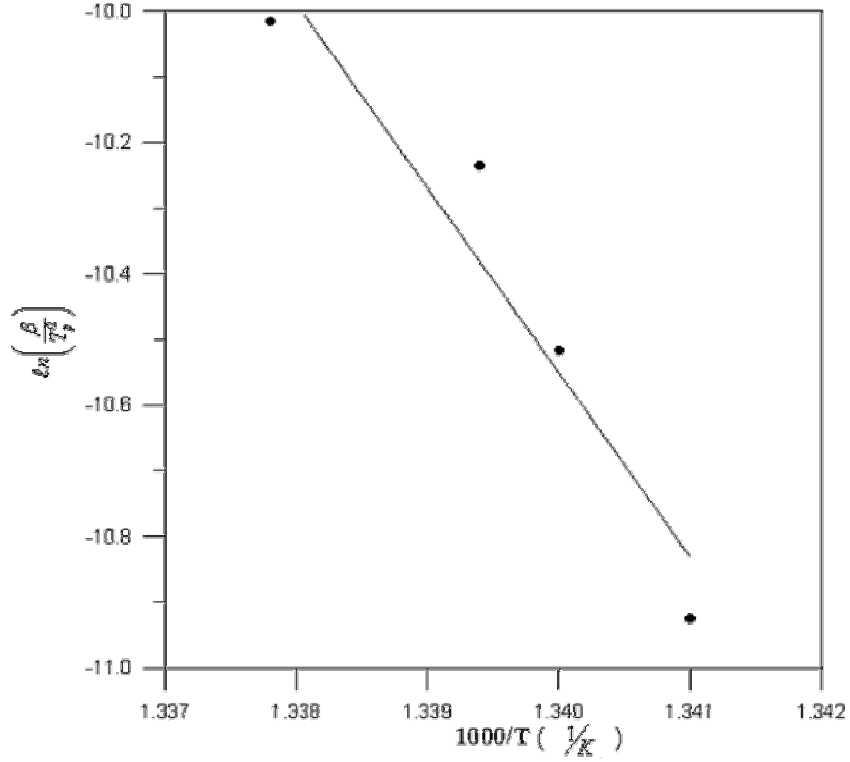
Tablo 4.20 TB numunesi için ölçülen ve hesaplanan parametreler

$\beta(^{\circ}\text{C}/\text{dk.})$	$T_p(^{\circ}\text{C})$	$\Delta H(\text{J/g})$	$E_a(\text{kJ/mol})$
10	473,50	0,02	159,321
15	474,30	0,02	
20	475,00	0,02	
25	475,80	0,02	

TB numunesi için 10°C/dk., 15°C/dk., 20°C/dk., 25°C/dk. ısıtma hızlarına ait DSC eğrileri şekil 4.20’da gösterilmiştir. Bu numune için endotermik reaksiyona ait $\ln(\beta/T_p^2) - 1000/T_p$ grafiği şekil 4.21’ de gösterilmiştir. TB numunesinin hesaplanan aktivasyon enerjisi, 4 farklı ısıtma hızı için ölçülen pik sıcaklıkları ve entalpi değişimleri Tablo 4.20’de verilmiştir.



Şekil 4.22 TC numunesinin 10°C/dk., 15°C/dk., 20°C/dk., 25°C/dk. ısıtma hızları için DSC eğrileri

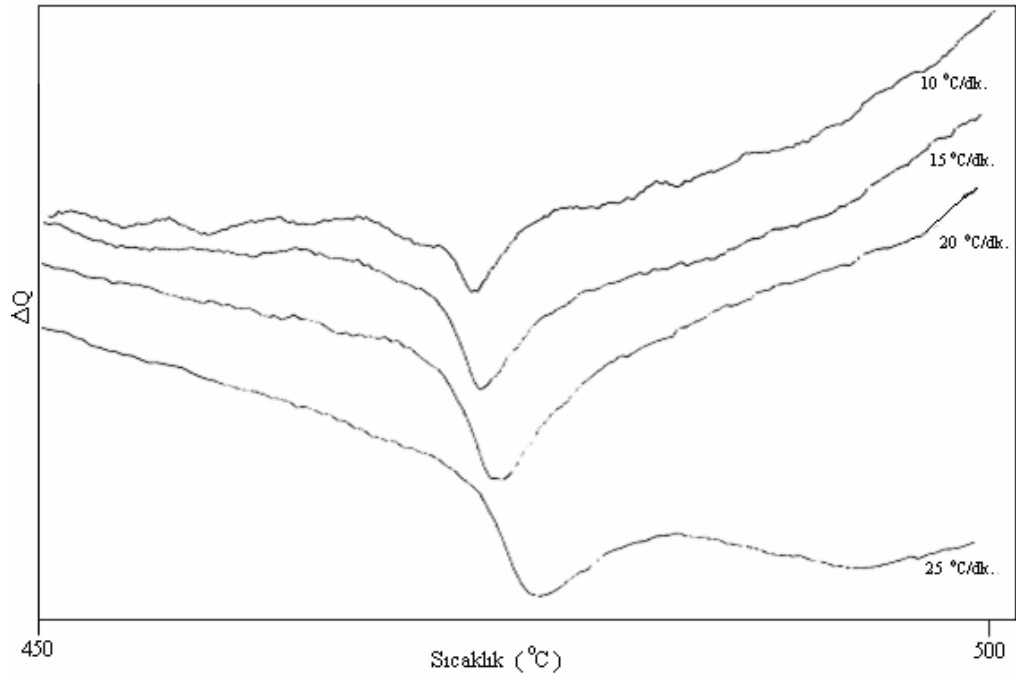


Şekil 4.23 TC numunesi için $\ln(\beta/T_p^2) - 1000/T_p$ grafiği

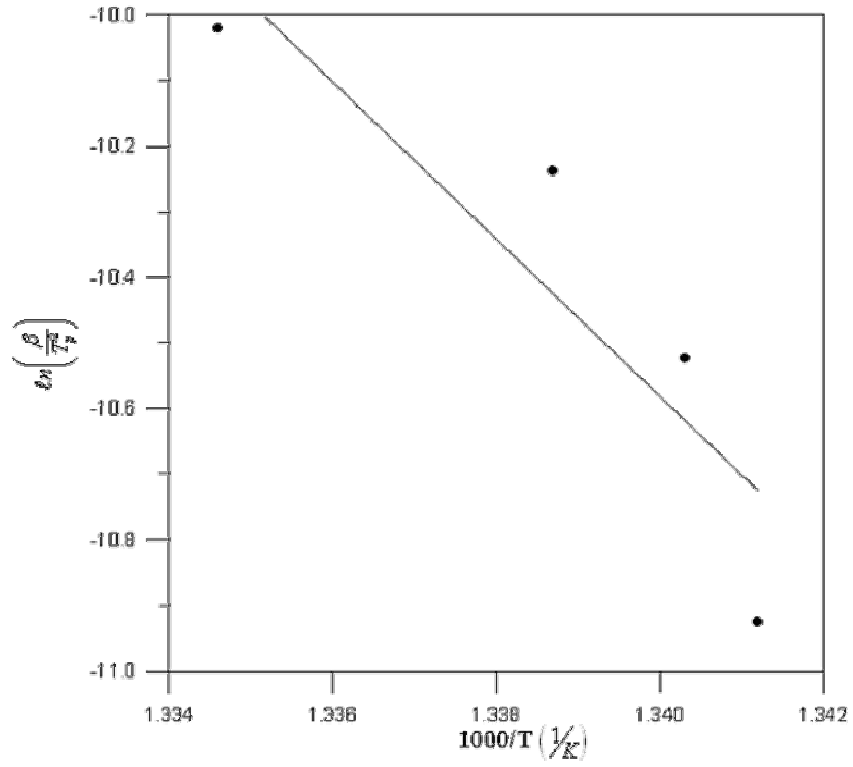
Tablo 4.21 TC numunesi için ölçülen ve hesaplanan parametreler

$\beta(^{\circ}\text{C}/\text{dk.})$	$T_p(^{\circ}\text{C})$	$\Delta H(\text{J/g})$	$E_a(\text{kJ/mol})$
10	472,80	0,01	200,968
15	473,10	0,02	
20	473,60	0,03	
25	474,50	0,01	

TC numunesi için $10^{\circ}\text{C}/\text{dk.}$, $15^{\circ}\text{C}/\text{dk.}$, $20^{\circ}\text{C}/\text{dk.}$, $25^{\circ}\text{C}/\text{dk.}$ ısıtma hızlarına ait DSC eğrileri şekil 4.22’de gösterilmiştir. Bu numune için endotermik reaksiyona ait $\ln(\beta/T_p^2) - 1000/T_p$ grafiği şekil 4.23’ de gösterilmiştir. TC numunesinin hesaplanan aktivasyon enerjisi, 4 farklı ısıtma hızı için ölçülen pik sıcaklıkları ve entalpi değişimleri Tablo 4.21’de verilmiştir.



Şekil 4.24 TD numunesinin 10°C/dk., 15°C/dk., 20°C/dk., 25°C/dk. ısıtma hızları için DSC eğrileri

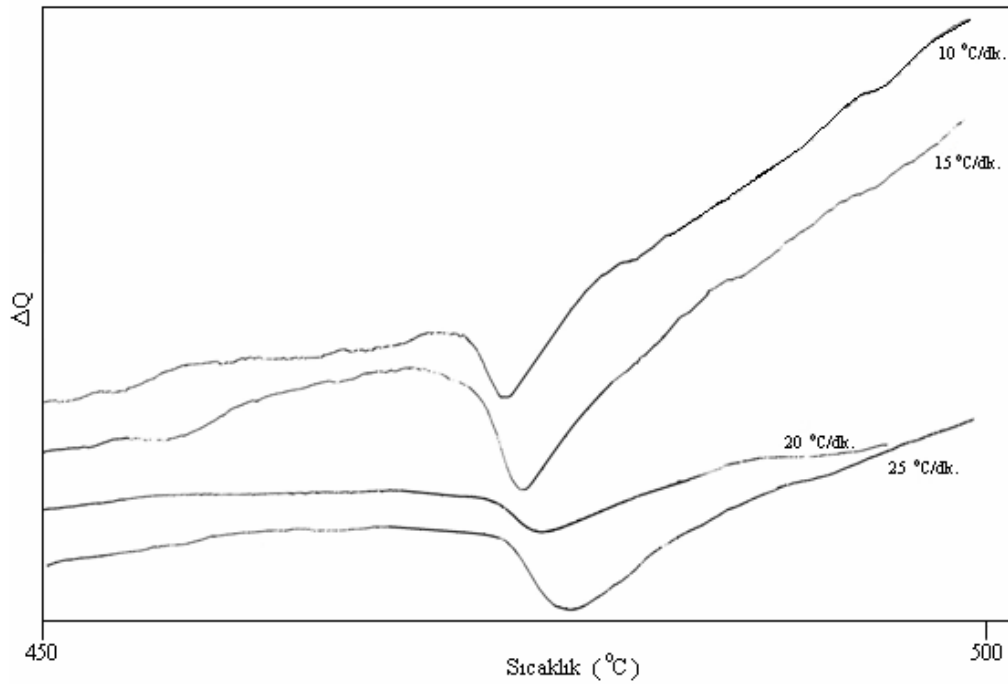


Şekil 4.25 TD numunesi için $\ln(\beta/T_p^2) - 1000/T_p$ grafiği

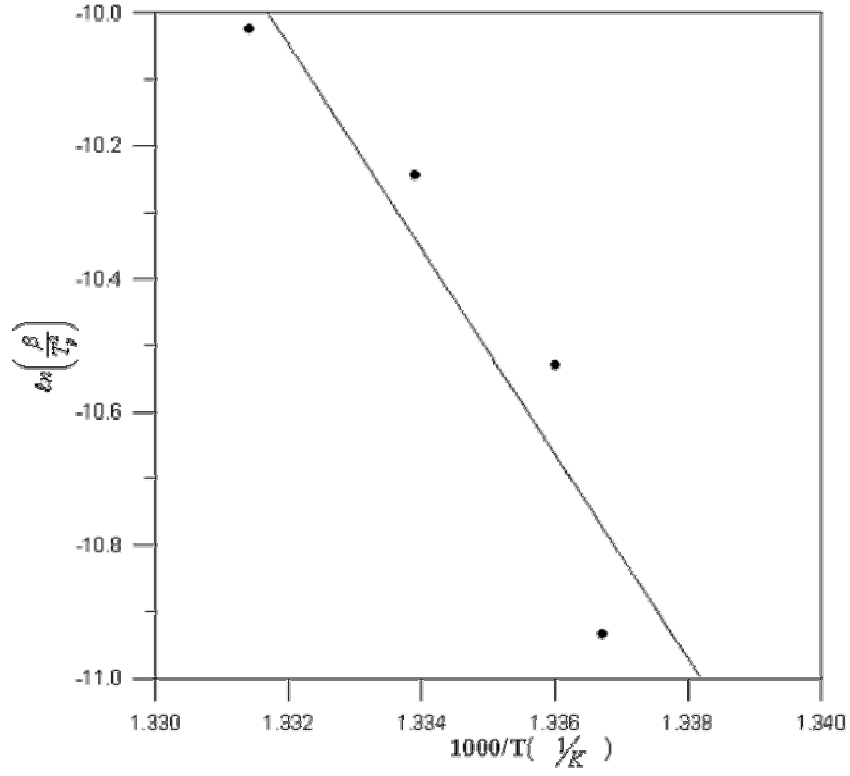
Tablo 4.22 TD numunesi için ölçülen ve hesaplanan parametreler

$\beta(^{\circ}\text{C}/\text{dk.})$	$T_p(^{\circ}\text{C})$	$\Delta H(\text{J/g})$	$E_a(\text{kJ/mol})$
10	472,60	0,03	85,419
15	473,10	0,03	
20	474,00	0,04	
25	476,30	0,02	

TD numunesi için 10°C/dk., 15°C/dk., 20°C/dk., 25°C/dk. ısıtma hızlarına ait DSC eğrileri şekil 4.24’de gösterilmiştir. Bu numune için endotermik reaksiyona ait $\ln(\beta/T_p^2) - 1000/T_p$ grafiği Şekil 4.25’ de gösterilmiştir. TD numunesinin hesaplanan aktivasyon enerjisi, 4 farklı ısıtma hızı için ölçülen pik sıcaklıkları ve entalpi değişimleri Tablo 4.22’de verilmiştir.



Şekil 4.26 TE numunesinin 10°C/dk., 15°C/dk., 20°C/dk., 25°C/dk. ısıtma hızları için DSC eğrileri

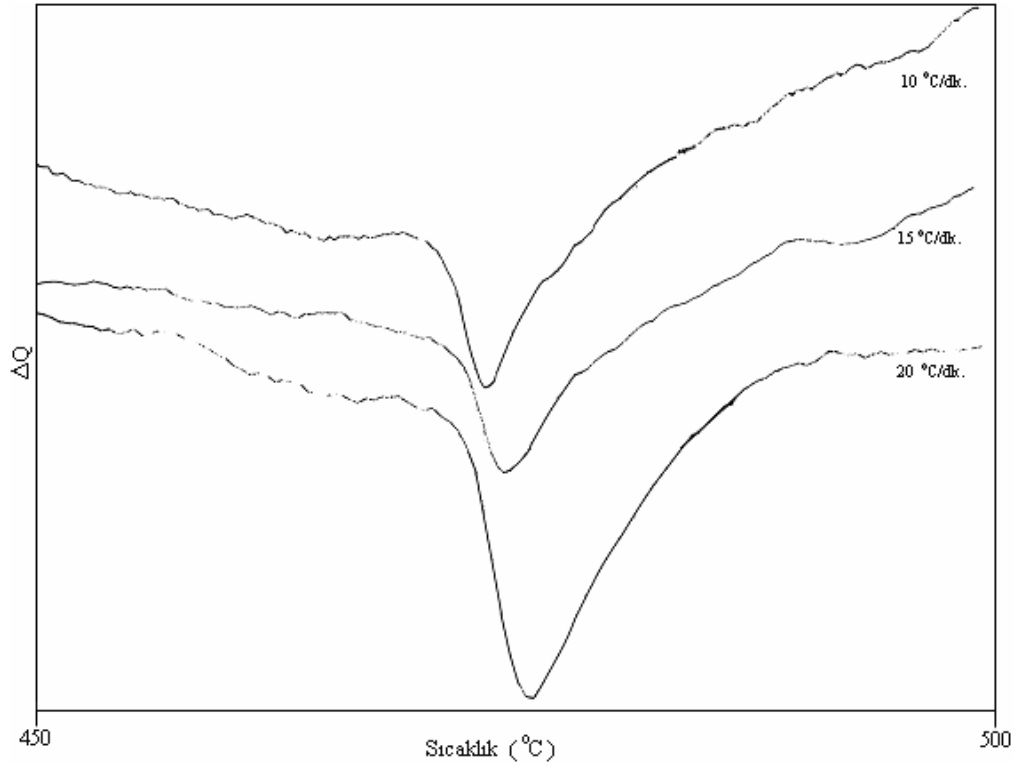


Şekil 4.27 TE numunesi için $\ln(\beta/T_p^2) - 1000/T_p$ grafiği

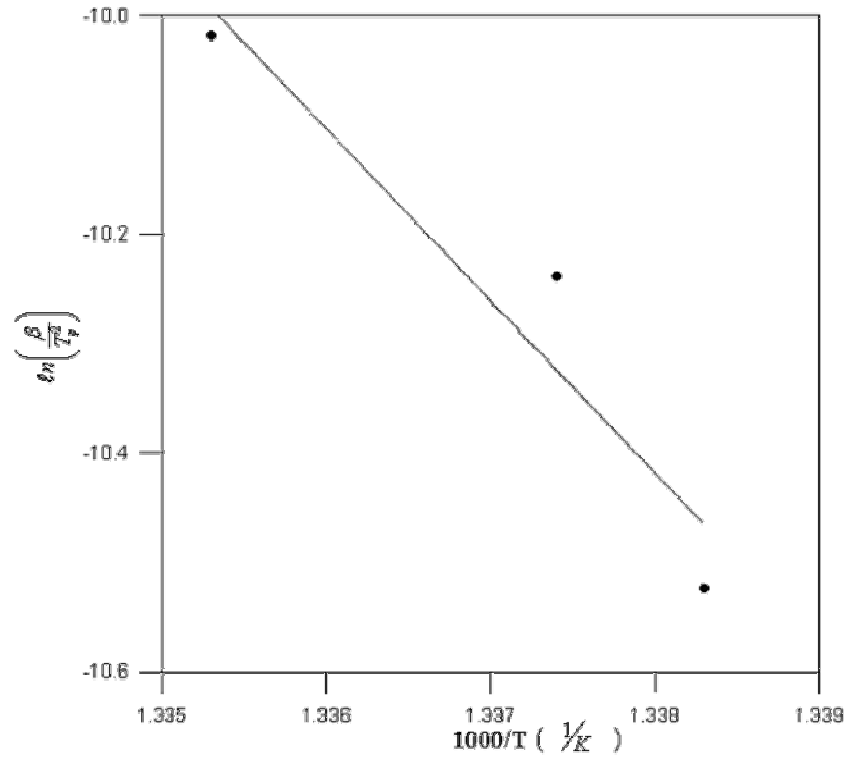
Tablo 4.23 TE numunesi için ölçülen ve hesaplanan parametreler

$\beta(^{\circ}\text{C}/\text{dk.})$	$T_p(^{\circ}\text{C})$	$\Delta H(\text{J/g})$	$E_a(\text{kJ/mol})$
10	475,10	0,02	109,598
15	475,50	0,03	
20	476,70	0,02	
25	478,10	0,02	

TE numunesi için 10°C/dk., 15°C/dk., 20°C/dk., 25°C/dk. ısıtma hızlarına ait DSC eğrileri şekil 4.26’de gösterilmiştir. Bu numune için endotermik reaksiyona ait $\ln(\beta/T_p^2) - 1000/T_p$ grafiği şekil 4.27’ de gösterilmiştir. TE numunesinin hesaplanan aktivasyon enerjisi, 4 farklı ısıtma hızı için ölçülen pik sıcaklıkları ve entalpi değişimleri Tablo 4.23’de verilmiştir.



Şekil 4.28 TF numunesinin 10°C/dk., 15°C/dk., 20°C/dk. ısıtma hızları için DSC eğrileri

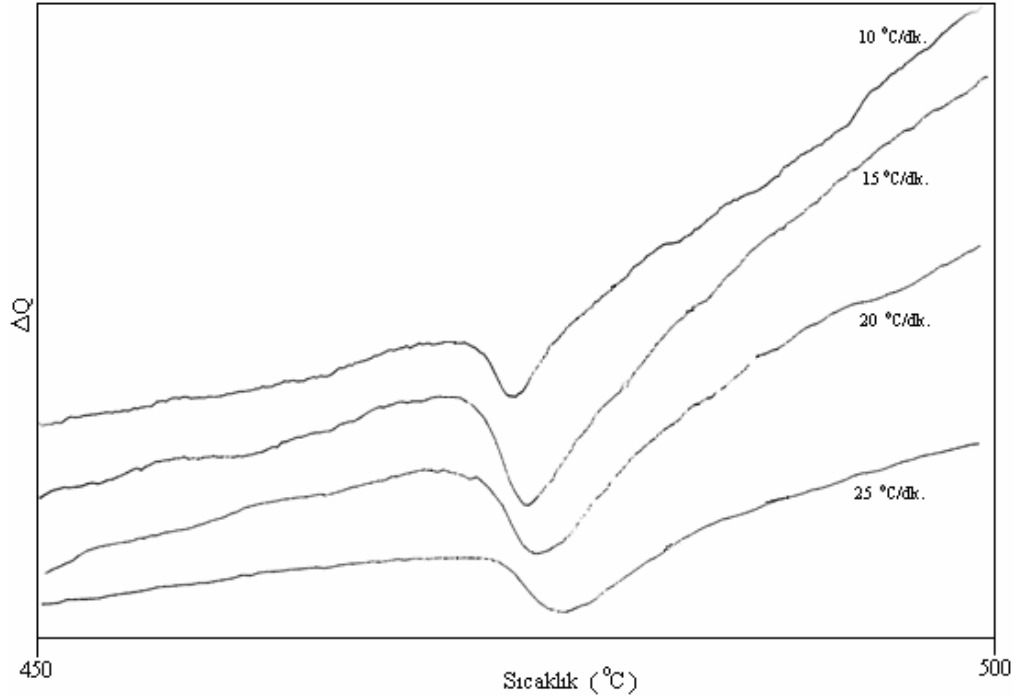


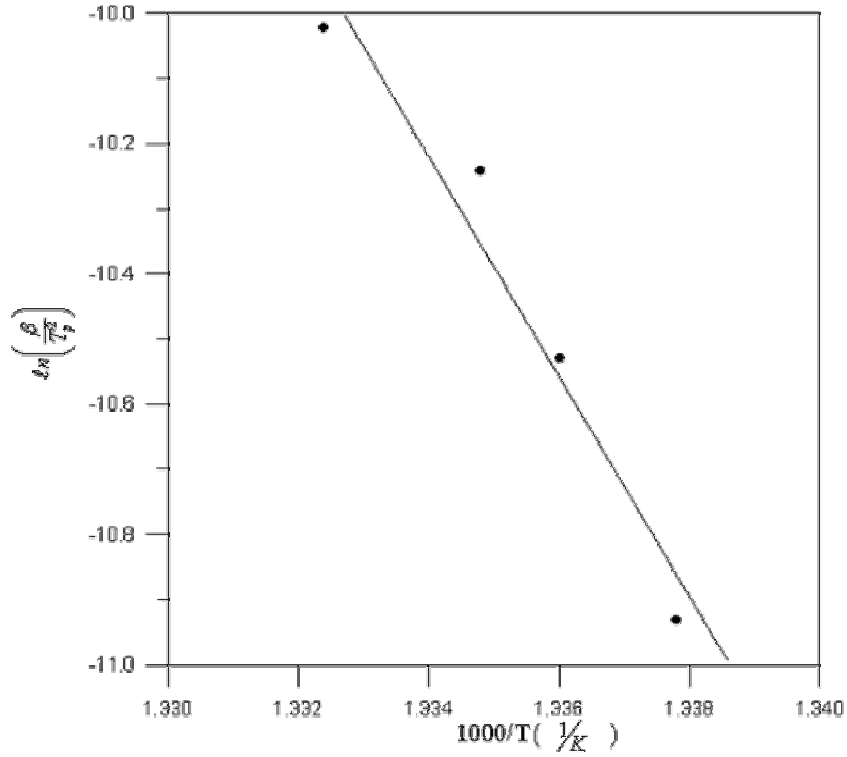
Şekil 4.29 TF numunesi için $\ln(\beta/T_p^2) - 1000/T_p$ grafiği

Tablo 4.24 TF numunesi için ölçülen ve hesaplanan parametreler

$\beta(^{\circ}\text{C}/\text{dk.})$	$T_p(^{\circ}\text{C})$	$\Delta H(\text{J/g})$	$E_a(\text{kJ/mol})$
15	474,20	0,04	112,599
20	474,70	0,03	
25	475,90	0,04	

TF numunesi için $10^{\circ}\text{C}/\text{dk.}$, $15^{\circ}\text{C}/\text{dk.}$, $20^{\circ}\text{C}/\text{dk.}$, $25^{\circ}\text{C}/\text{dk.}$ ısıtma hızlarına ait DSC eğrileri şekil 4.28’de gösterilmiştir. Bu numune için endotermik reaksiyona ait $\ln(\beta/T_p^2) - 1000/T_p$ grafiği şekil 4.29’ de gösterilmiştir. TF numunesinin hesaplanan aktivasyon enerjisi, 3 farklı ısıtma hızı için ölçülen pik sıcaklıkları ve entalpi değişimleri Tablo 4.24’ de verilmiştir.

**Şekil 4.30** TG numunesinin $10^{\circ}\text{C}/\text{dk.}$, $15^{\circ}\text{C}/\text{dk.}$, $20^{\circ}\text{C}/\text{dk.}$, $25^{\circ}\text{C}/\text{dk.}$ ısıtma hızları için DSC eğrileri

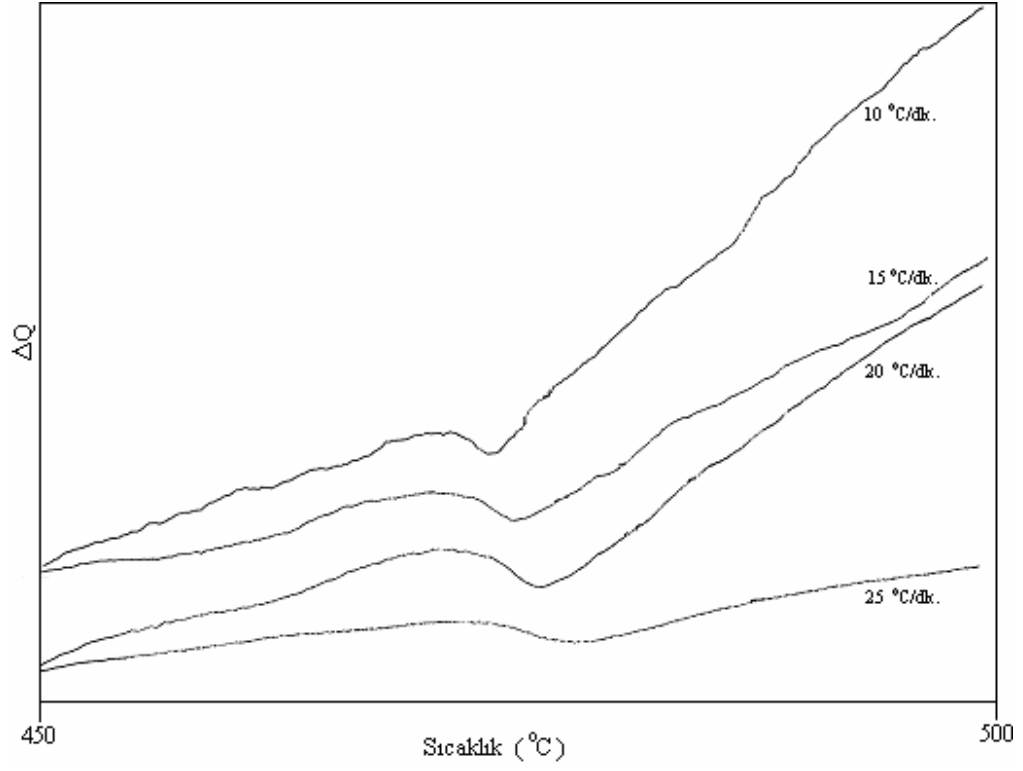


Şekil 4.31 TG numunesi için $\ln(\beta/T_p^2) - 1000/T_p$ grafiği

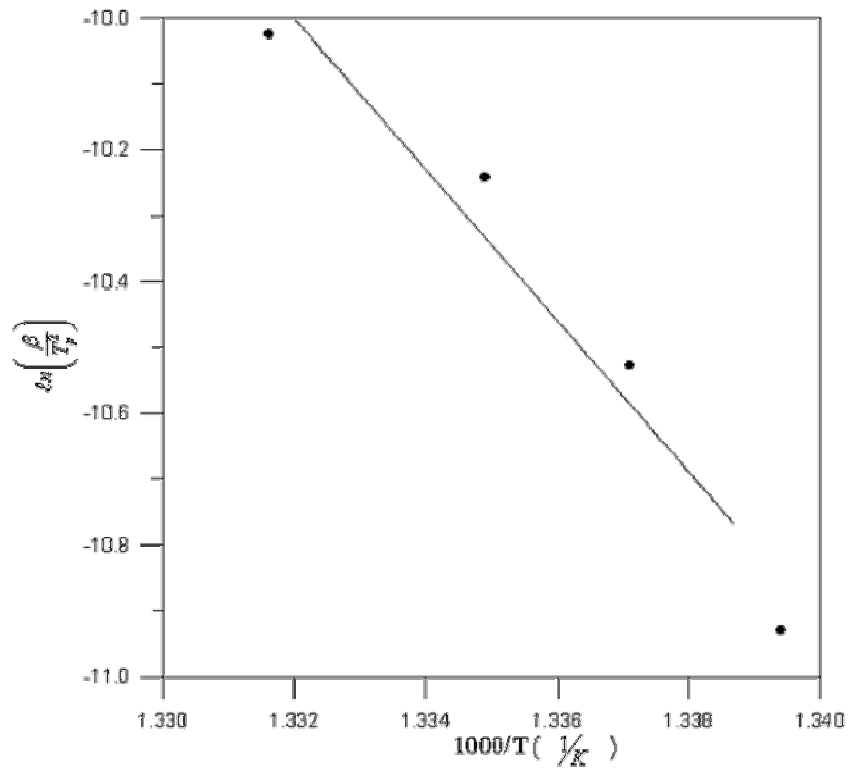
Tablo 4.25 TG numunesi için ölçülen ve hesaplanan parametreler

$\beta(^{\circ}\text{C}/\text{dk.})$	$T_p(^{\circ}\text{C})$	$\Delta H(\text{J/g})$	$E_a(\text{kJ/mol})$
10	474,50	0,02	120,683
15	475,50	0,03	
20	476,20	0,03	
25	477,50	0,02	

TG numunesi için 10°C/dk., 15°C/dk., 20°C/dk., 25°C/dk. ısıtma hızlarına ait DSC eğrileri şekil 4.30’de gösterilmiştir. Bu numune için endotermik reaksiyona ait $\ln(\beta/T_p^2) - 1000/T_p$ grafiği şekil 4.31’ de gösterilmiştir. TG numunesinin hesaplanan aktivasyon enerjisi, 4 farklı ısıtma hızı için ölçülen pik sıcaklıkları ve entalpi değişimleri Tablo 4.25’de verilmiştir.



Şekil 4.32 TH numunesinin 10°C/dk., 15°C/dk., 20°C/dk., 25°C/dk. ısıtma hızları için DSC eğrileri

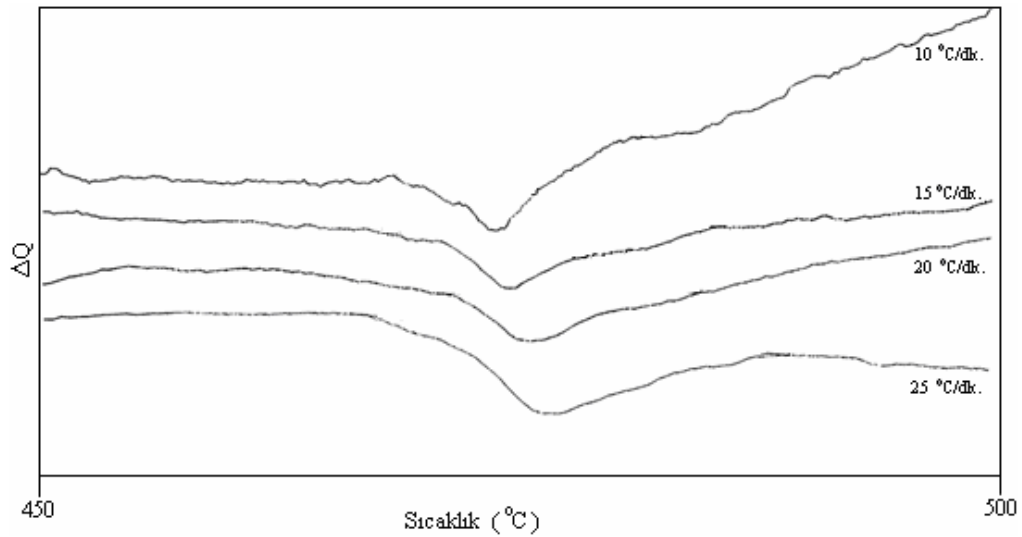


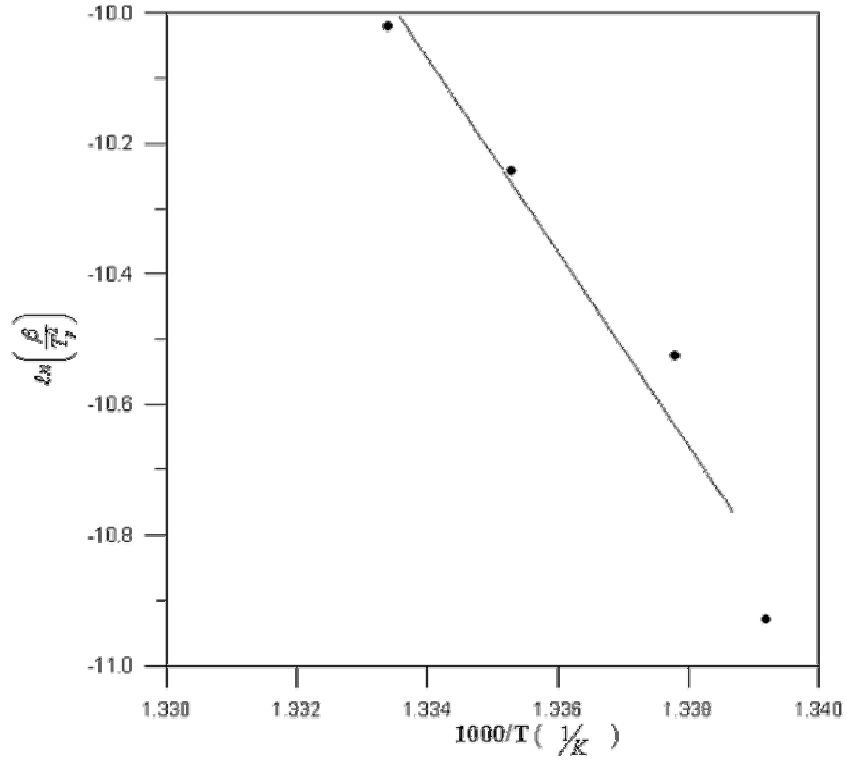
Şekil 4.33 TH numunesi için $\ln(\beta/T_p^2) - 1000/T_p$ grafiği

Tablo 4.26 TH numunesi için ölçülen ve hesaplanan parametreler

$\beta(^{\circ}\text{C}/\text{dk.})$	$T_p(^{\circ}\text{C})$	$\Delta H(\text{J/g})$	$E_a(\text{kJ/mol})$
10	473,60	0,01	82,025
15	474,90	0,01	
20	476,10	0,01	
25	478,00	0,01	

TH numunesi için 10°C/dk., 15°C/dk., 20°C/dk., 25°C/dk. ısıtma hızlarına ait DSC eğrileri şekil 4.32’de gösterilmiştir. Bu numune için endotermik reaksiyona ait $\ln(\beta/T_p^2) - 1000/T_p$ grafiği şekil 4.33’ de gösterilmiştir. TH numunesinin hesaplanan aktivasyon enerjisi, 4 farklı ısıtma hızı için ölçülen pik sıcaklıkları ve entalpi değişimleri Tablo 4.26’de verilmiştir.

**Şekil 4.34** TI numunesinin 10°C/dk., 15°C/dk., 20°C/dk., 25°C/dk. ısıtma hızları için DSC eğrileri

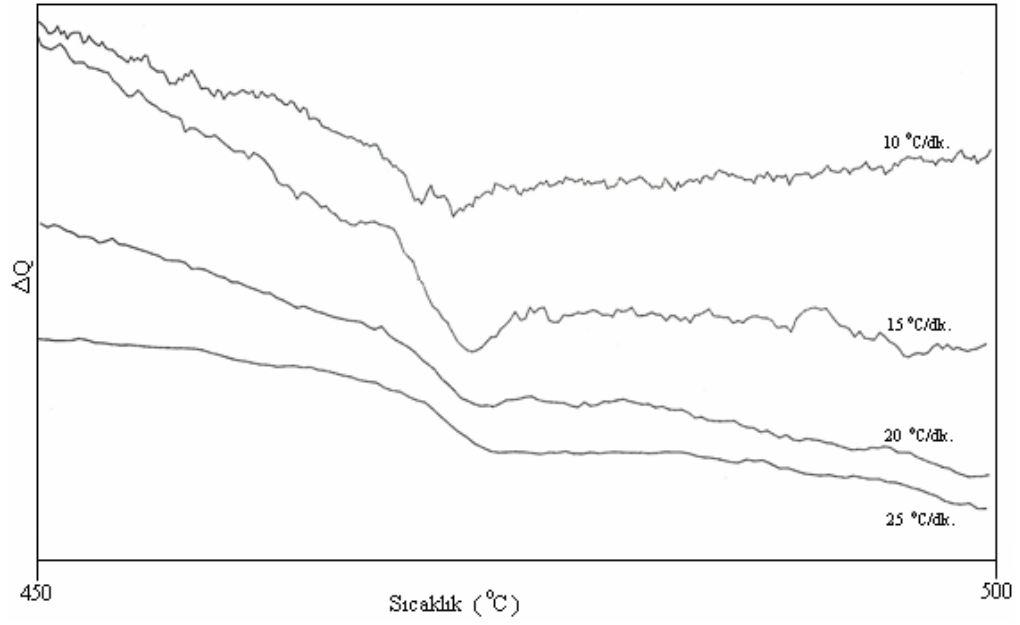


Şekil 4.35 TI numunesi için $\ln(\beta/T_p^2) - 1000/T_p$ grafiği

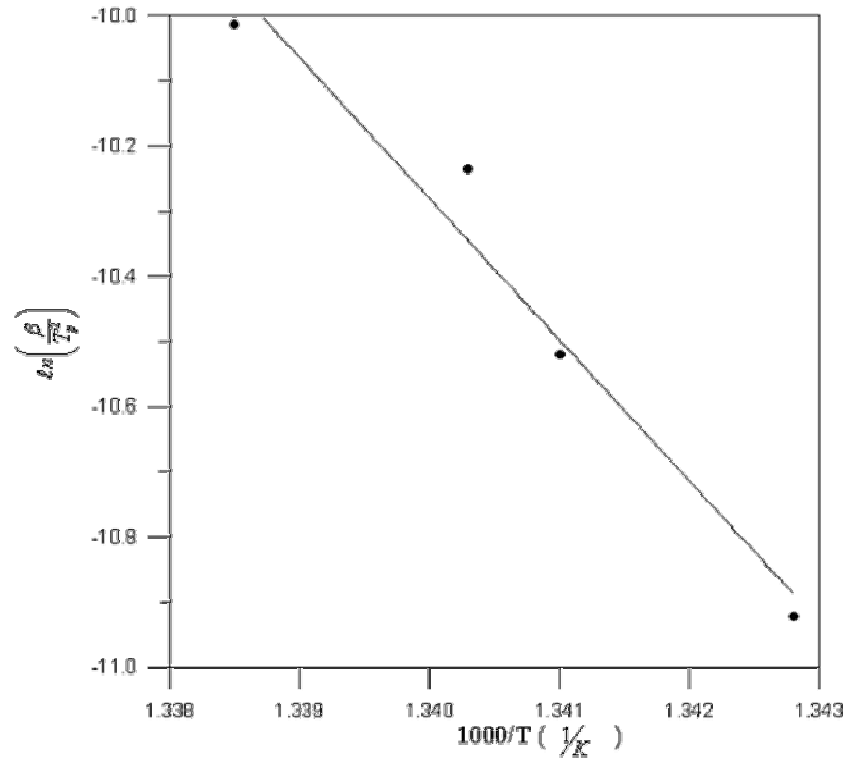
Tablo 4.27 TI numunesi için ölçülen ve hesaplanan parametreler

$\beta(^{\circ}\text{C}/\text{dk.})$	$T_p(^{\circ}\text{C})$	$\Delta H(\text{J/g})$	$E_a(\text{kJ/mol})$
10	473,70	0,02	106,087
15	474,50	0,02	
20	475,90	0,01	
25	476,60	0,02	

TI numunesi için 10°C/dk., 15°C/dk., 20°C/dk., 25°C/dk. ısıtma hızlarına ait DSC eğrileri şekil 4.34’de gösterilmiştir. Bu numune için endotermik reaksiyona ait $\ln(\beta/T_p^2) - 1000/T_p$ grafiği şekil 4.35’ de gösterilmiştir. TI numunesinin hesaplanan aktivasyon enerjisi, 4 farklı ısıtma hızı için ölçülen pik sıcaklıkları ve entalpi değişimleri Tablo 4.27’de verilmiştir.



Şekil 4.36 TM numunesinin 10 $^{\circ}\text{C}/\text{dk.}$, 15 $^{\circ}\text{C}/\text{dk.}$, 20 $^{\circ}\text{C}/\text{dk.}$, 25 $^{\circ}\text{C}/\text{dk.}$ ısıtma hızları için DSC eğrileri



Şekil 4.37 TM numunesi için $\ln(\beta/T_p^2) - 1000/T_p$ grafiği

Tablo 4.28 TM numunesi için ölçülen ve hesaplanan parametreler

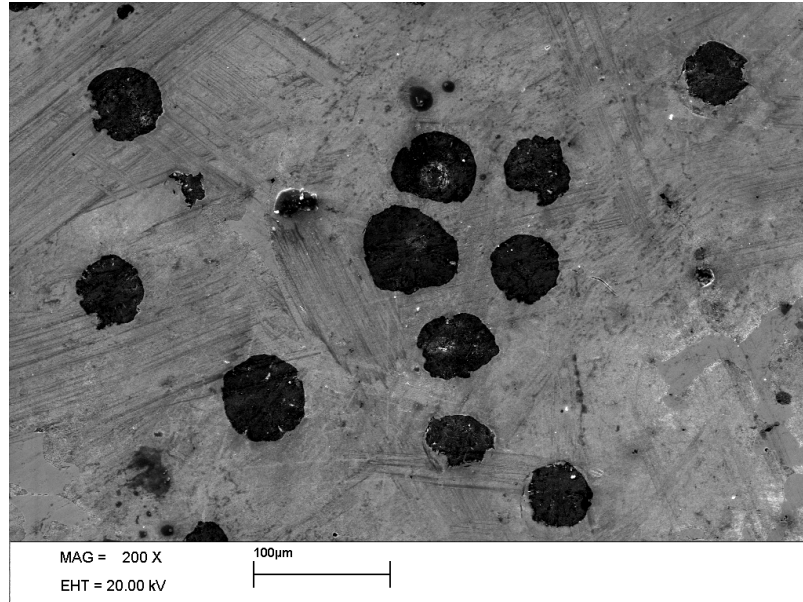
$\beta(^{\circ}\text{C}/\text{dk.})$	$T_p(^{\circ}\text{C})$	$\Delta H(\text{J/g})$	$E_a(\text{kJ/mol})$
10	471,70	0,06	155,006
15	472,70	0,02	
20	473,10	0,02	
25	474,10	0,03	

TM numunesi için 10°C/dk., 15°C/dk., 20°C/dk., 25°C/dk. ısıtma hızlarına ait DSC eğrileri şekil 4.36’de gösterilmiştir. Bu numune için endotermik reaksiyona ait $\ln(\beta/T_p^2) - 1000/T_p$ grafiği şekil 4.37’ de gösterilmiştir. TM numunesinin hesaplanan aktivasyon enerjisi, 4 farklı ısıtma hızı için ölçülen pik sıcaklıkları ve entalpi değişimleri Tablo 4.28’de verilmiştir.

4.4 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Gözlemleri ve Sonuçları

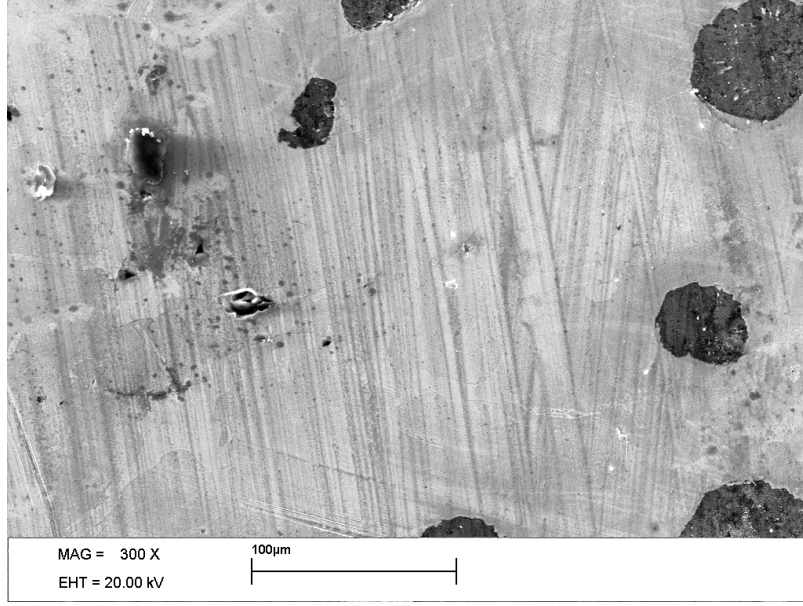
Uygulanan ısıl işlemler ve bekletme süreleri sonucu numunelerde meydana gelen faz dönüşümlerini belirlemek amacıyla Tablo 4.2’de belirtilen numunelere SEM incelemeleri yapıldı ve numunelerin yüzey fotoğrafları elde edildi. Bu gözlemler Erciyes Üniversitesi KOSGEB Teknoloji Geliştirme Merkezi’nde LEO 440 model taramalı elektron mikroskobu ile yapıldı.

Tablo 4.2’de belirtilen numunelerin SEM fotoğrafları Şekil.4.38 -52’de verilmiştir. Bu fotoğraflardan hareketle yapıdaki fazlar belirlendi.



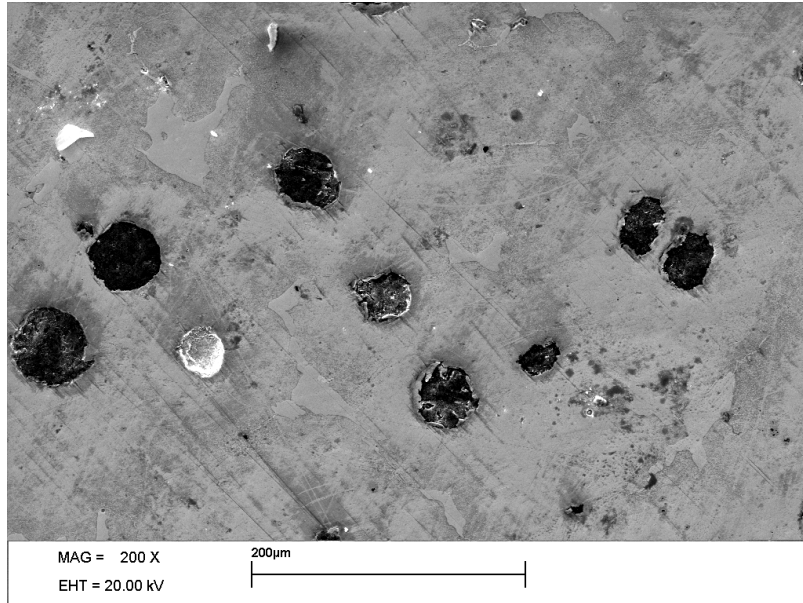
Şekil 4.38 TA numunesinin SEM fotoğrafı

TA numunesi için Şekil 4.38’de verilen SEM fotoğrafında, yapıda Küresel Grafit, Martensit ve Kalıntı Östenit gözlenmektedir.



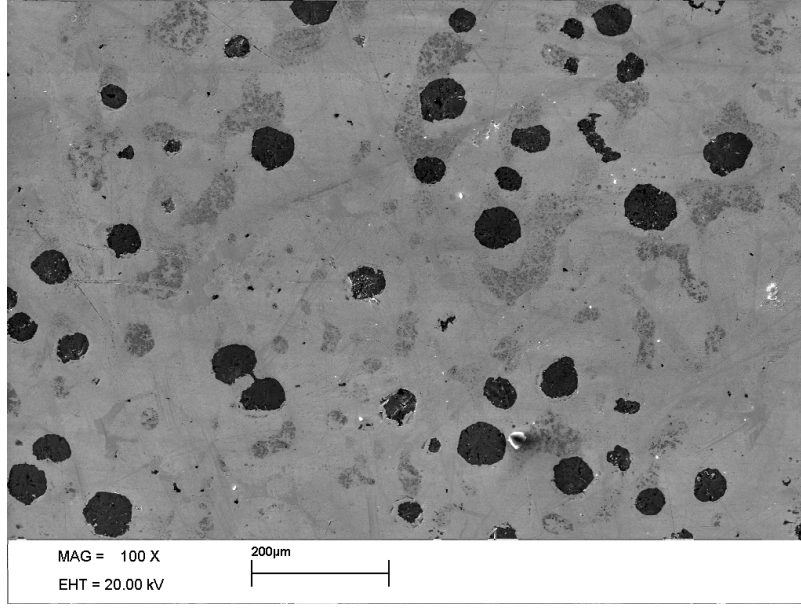
Şekil 4.39 TB numunesinin SEM fotoğrafı

TB numunesi için Şekil 4.39’de verilen SEM fotoğrafında, yapıda Küresel Grafit, Martensit ve Kalıntı Östenit gözlenmektedir.



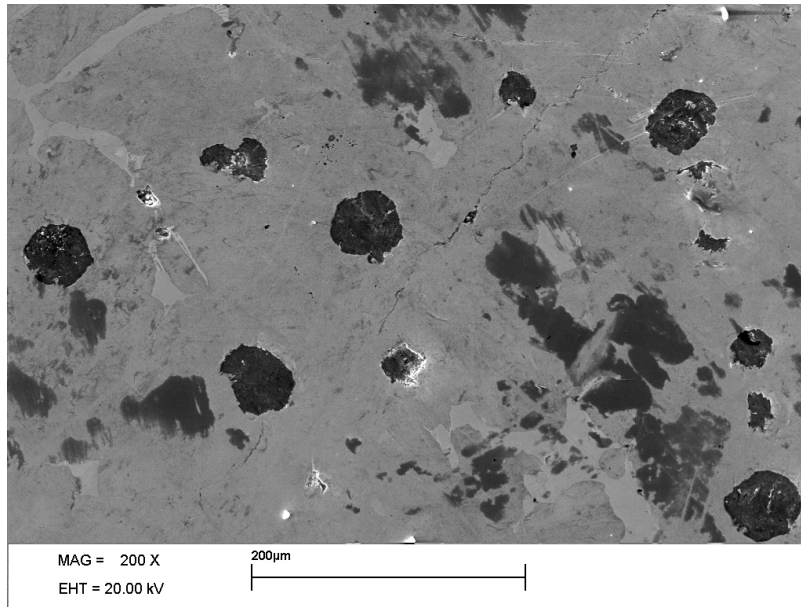
Şekil 4.40 TC numunesinin SEM fotoğrafı

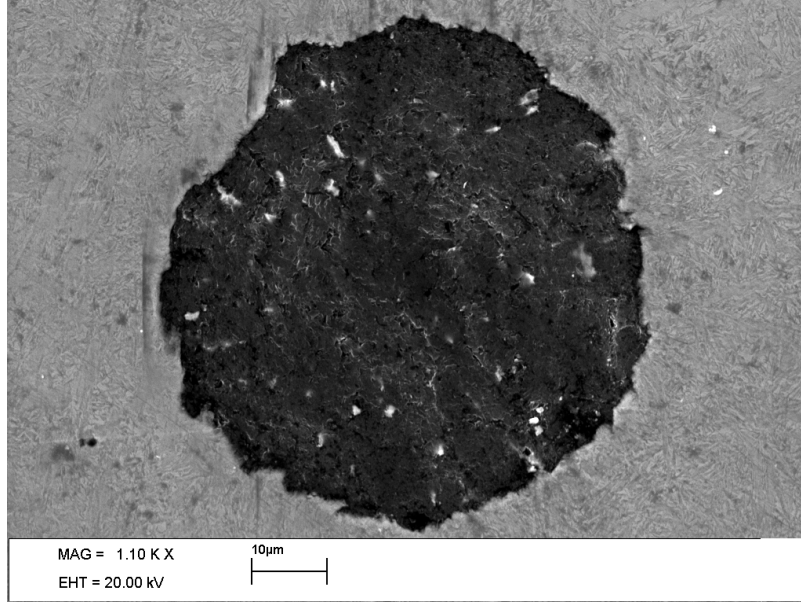
TC numunesi için Şekil 4.40’de verilen SEM fotoğrafında, yapıda Küresel Grafit, Martensit ve Kalıntı Östenit gözlenmektedir.



Şekil 4.41 TD numunesinin SEM fotoğrafı

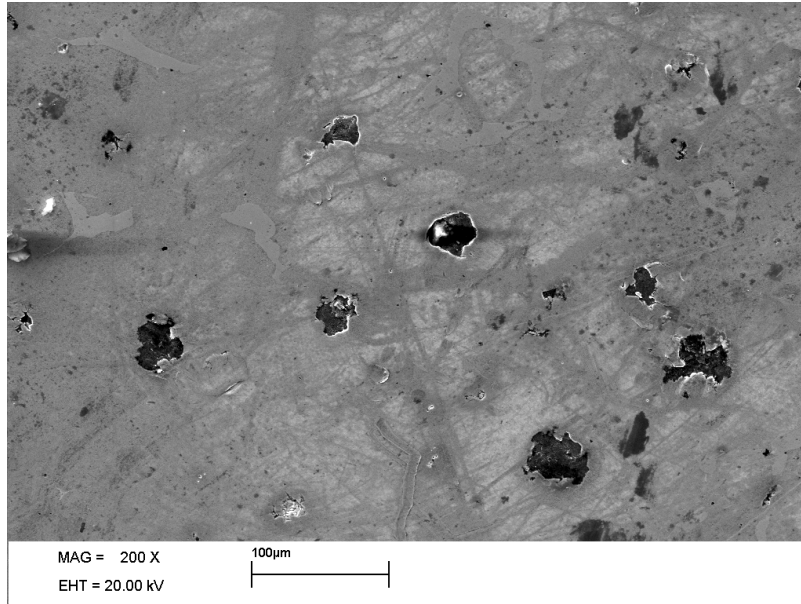
TD numunesi için Şekil 4.41’da verilen SEM fotoğrafında, yapıda Küresel Grafit, Martensit ve Kalıntı Östenit gözlenmektedir.





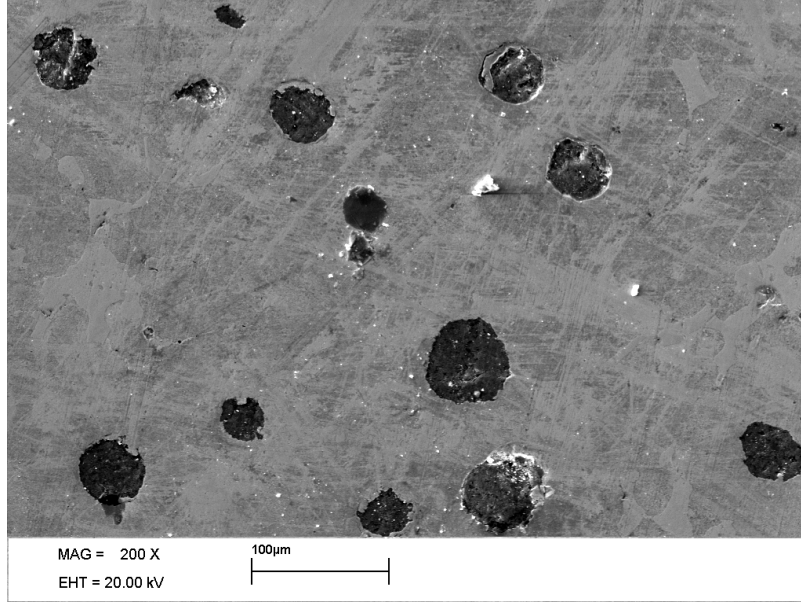
Şekil 4.42 TE numunesinin SEM fotoğrafları

TE numunesi için Şekil 4.42’de verilen SEM fotoğraflarında, yapıda Küresel Grafit, Martensit ve Kalıntı Östenit gözlenmektedir.



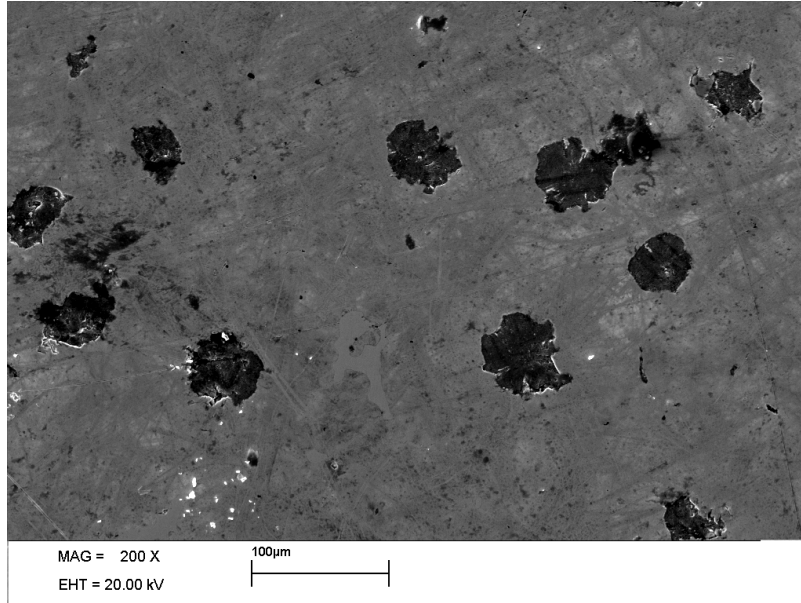
Şekil 4.43 TF numunesinin SEM fotoğrafı

TF numunesi için Şekil 4.43’de verilen SEM fotoğrafında, yapıda Küresel Grafit, Martensit ve Kalıntı Östenit gözlenmektedir.



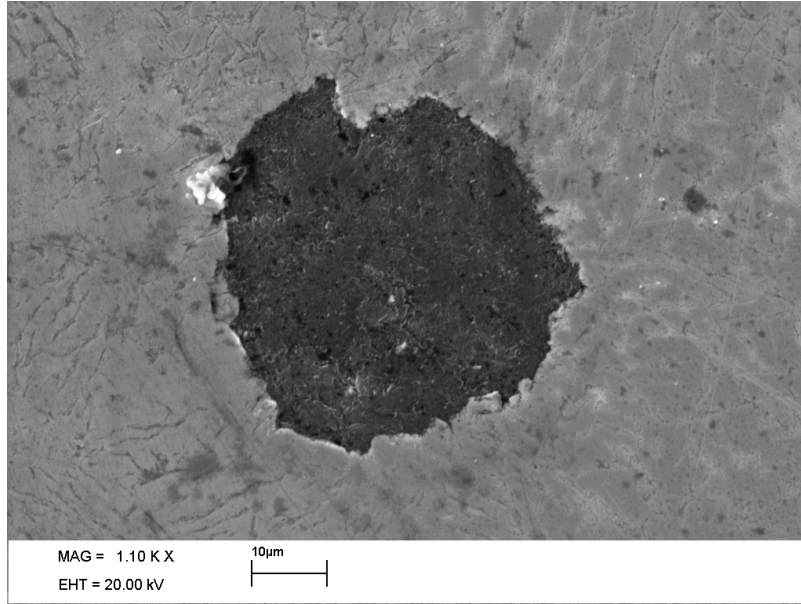
Şekil 4.44 TG numunesinin SEM fotoğrafı

TG numunesi için Şekil 4.44’de verilen SEM fotoğrafında, yapıda Küresel Grafit, Martensit ve Kalıntı Östenit gözlenmektedir.



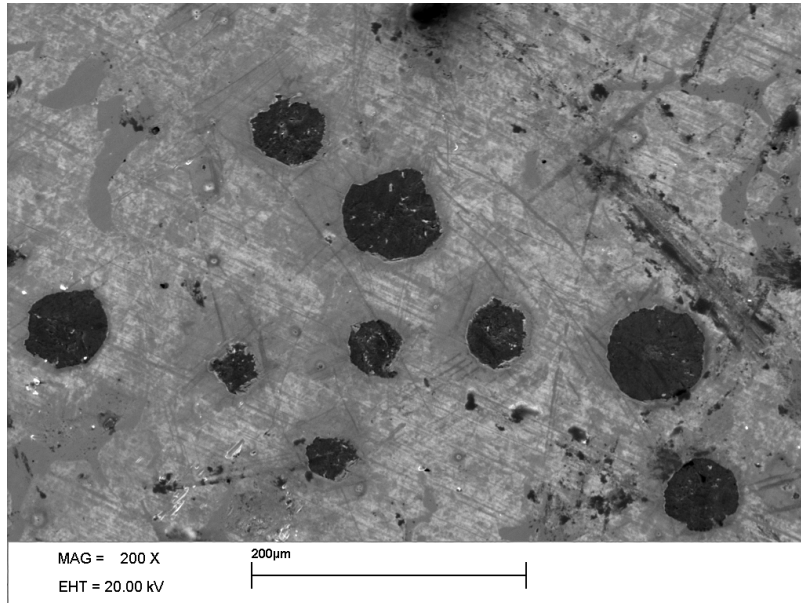
Şekil 4.45 TH numunesinin SEM fotoğrafı

TH numunesi için Şekil 4.45’de verilen SEM fotoğrafında, yapıda Küresel Grafit, Martensit ve Kalıntı Östenit gözlenmektedir.



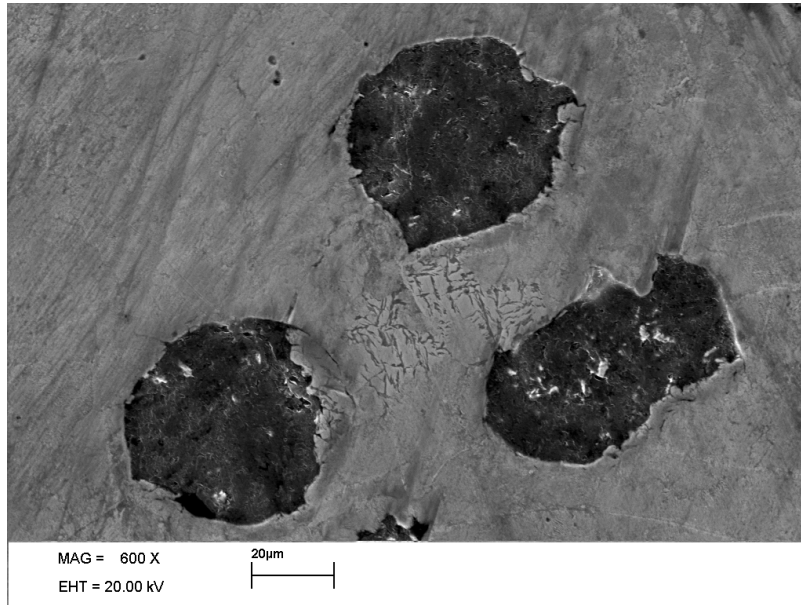
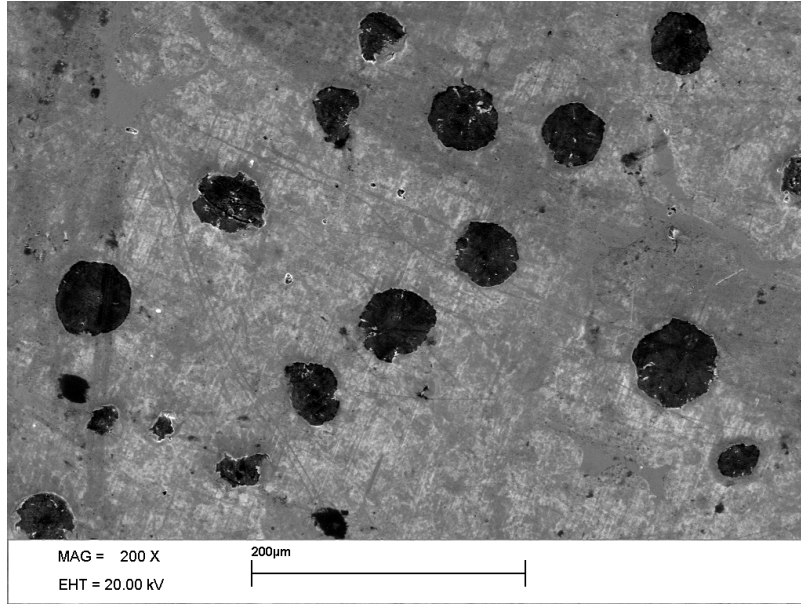
Şekil 4.46 TI numunesinin SEM fotoğrafı

TI numunesi için Şekil 4.46’de verilen SEM fotoğrafında, yapıda Küresel Grafit, Martensit, Beynit ve Kalıntı Östenit gözlenmektedir.



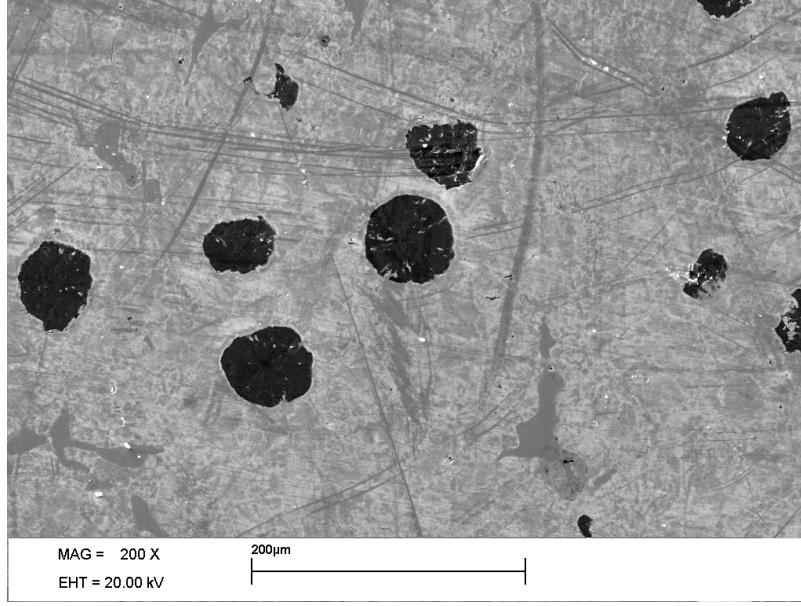
Şekil 4.47 TJ numunesinin SEM fotoğrafı

TJ numunesi için Şekil 4.47’da verilen SEM fotoğrafında, yapıda Küresel Grafit, Martensit, Beynit ve Kalıntı Östenit gözlenmektedir.



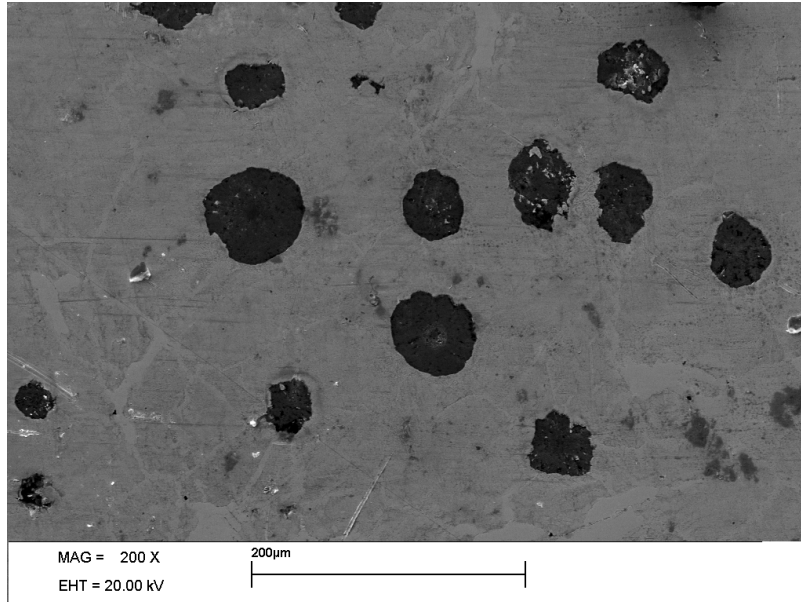
Şekil 4.48 TK numunesinin SEM fotoğrafları

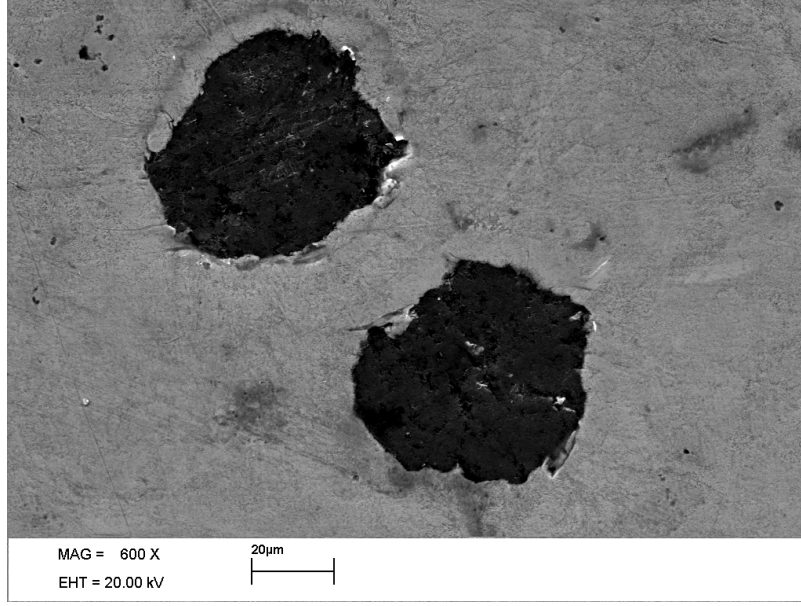
TK numunesi için Şekil 4.48’da verilen SEM fotoğraflarında, yapıda Küresel Grafit, Martensit, Beynit ve Kalıntı Östenit gözlenmektedir.



Şekil 4.49 TL numunesinin SEM fotoğrafı

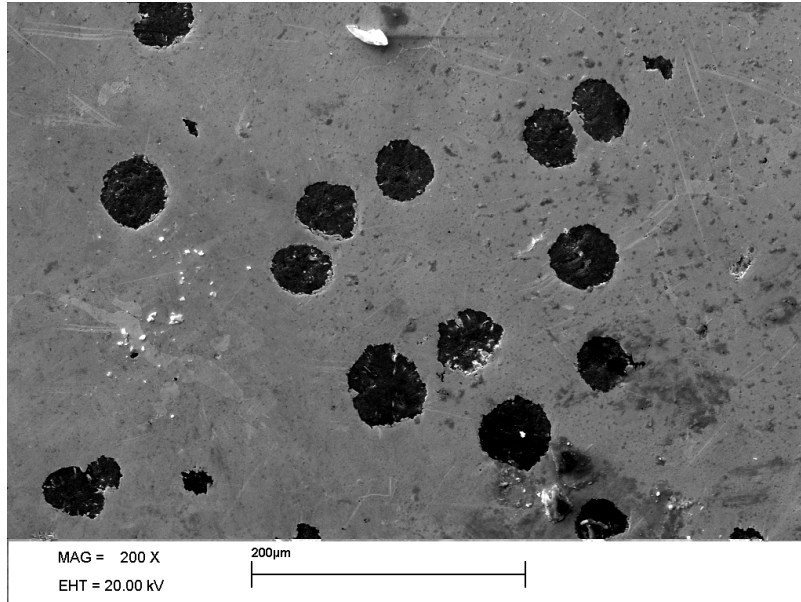
TL numunesi için Şekil 4.49’da verilen SEM fotoğrafında, yapıda Küresel Grafit, Martensit, Beynit ve Kalıntı Östenit gözlenmektedir.





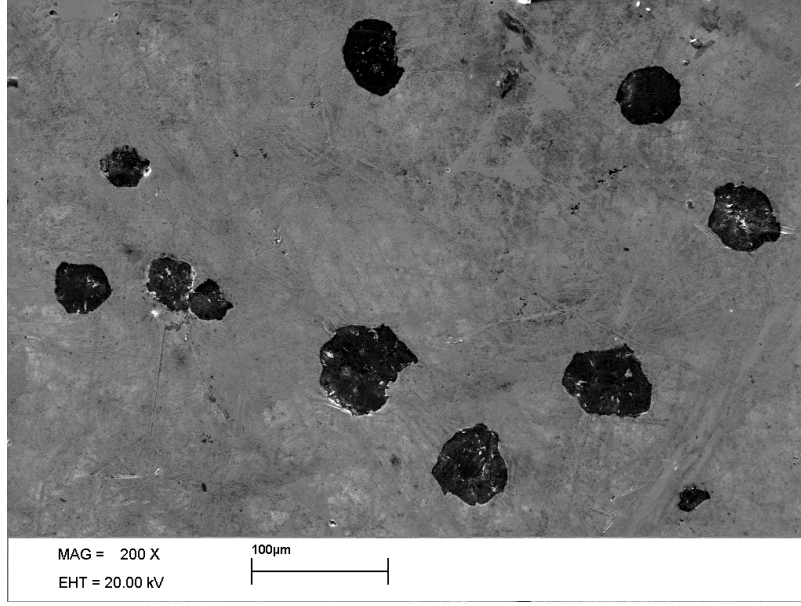
Şekil 4.50 TM numunesinin SEM fotoğrafları

TM numunesi için Şekil 4.50’da verilen SEM fotoğraflarında, yapıda Küresel Grafit, Martensit, Beynit ve Kalıntı Östenit gözlenmektedir.



Şekil 4.51 TO numunesinin SEM fotoğrafı

TO numunesi için Şekil 4.51’da verilen SEM fotoğrafında, yapıda Küresel Grafit, Martensit, Beynit ve Kalıntı Östenit gözlenmektedir.



Şekil 4.52 TP numunesinin SEM fotoğrafı

TP numunesi için Şekil 4.52’da verilen SEM fotoğrafında, yapıda Küresel Grafit, Martensit, Beynit ve Kalıntı Östenit gözlenmektedir.

4.5 Isıl İletkenlik Ölçümleri ve Sonuçları

Uygulanan ısıl işlemler ve bekletme süreleri sonucu elde edilen Tablo 4.2’deki numunelerin ısıl iletkenlik katsayıları, F. Ü. Müh. Fak. Makine Mühendisliği bölümünde Isı İletim Ünitesi (P.A.Hilton Ltd. Serial No: H940/12064) kullanılarak hesaplandı. Isı iletim katsayılarının hesaplanmasında Fourier Isı İletim Kanunundan yararlanıldı. Ölçümler her numune için 5W, 10W, 15W, 20W olmak üzere dört farklı ısı akısı ile tekrarlandı.

Isıl iletkenlik katsayısı hesaplanacak numune deney düzeneğinde 25mm çapında 30mm uzunluğunda ısı iletim katsayısı bilinen iki silindirik pirinç çubuk arasına yerleştirildi. Temas direncini minimuma düşürebilmek için numune ile pirinç çubukların temas yüzeylerine gümüş pasta sürüldü. Tek boyutta ısı iletimi elde edebilmek için numune ve pirinç çubukların yanal yüzeyleri yalıtılarak dış ortama olan konveksiyonla ısı transferi ihmal edildi. Pirinç çubuklardan biri sabit ısı akısı sınır şartı ile ısıtılırken diğerinin temas halinde bulunduğu yüzeyden su geçmektedir. Oluşturulan sıcaklık farkı ısı transferi için bir itici güç teşkil ettiğinden yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru iletim yoluyla (kondüksiyon) ısı transferi gerçekleşiyor. Her iki pirinç çubuk üzerine 10’ar mm aralıklarla ısı çiftler yerleştirilmiştir. Isıl çiftler bir konsola bağlıdır ve bağlandıkları noktaların sıcaklık değerleri sistem sürekli rejime ulaştığında dijital

olarak okunmaktadır. Ölçülen bu sıcaklık değerleri yardımıyla numunenin iki ucundaki sıcaklık değerleri bulunmaktadır.

Uygulanan ısı işlemleri ve bekletme süreleri sonucu elde edilen Tablo 4.2'deki numunelerin ısı iletkenlik katsayıları, numunenin uçlarındaki sıcaklık değerlerinin fourier ısı iletim kanununda kullanılmasıyla hesaplandı. Bu işlem her numune için 5W, 10W, 15W, 20W olmak üzere dört farklı ısı akısı ile tekrarlandı. Fourier ısı iletim kanunu denklem 2.2'den faydalanılarak şu şekilde yazılabilir:

$$k = -\frac{Q}{A} \frac{\Delta x}{\Delta T} \quad (4.3)$$

Tüm numuneler için $A=7,857 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$, $\Delta x=2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ 'dir. Ölçülen, numunelerin uçlarındaki, sıcaklık değerleri yardımıyla numunenin iki ucu arasındaki sıcaklık farkı $\Delta T=T_{\text{son}} - T_{\text{ilk}}$ ile hesaplandı. Her numune için 4 farklı ısı değeri kullanılarak hesaplanan ısı iletim katsayıları Tablo.4.27'de verilmektedir.

Tablo 4.29. Tablo.4.2'de verilen numunelerin 5W, 10W, 15W, 20W ısı değerleri için ısı iletkenlik değerleri(W/mK)

Numune Adı	Q = 5W	Q = 10W	Q = 15W	Q = 20W
TA	12,0377	6,62879	13,08313	12,88811
TB	10,87875	13,82918	14,56521	14,87387
TC	12,42898	12,46013	12,96937	13,52814
TD	6,23006	10,01327	11,84652	
TE	11,53501	14,30673	14,29988	14,03413
TF	11,35066	14,30673	15,40782	15,51198
TG	10,40082	11,45528	11,31621	
TH	9,84473	14,55810	15,65034	17,27746
TJ	11,42894	11,83712	11,84652	
TK	10,02337	11,65672	11,85594	
TL	11,78102	12,55452	12,95810	13,05736
TM	14,32735	13,82918	13,80997	13,61147
TN	9,82528	12,14063	12,58630	12,76403
TO	16,03739	17,14341	17,34276	17,86735

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada, küre grafitli bir dökme demir alaşımının belirli bazı ısıtma işlem ve bekletme sürelerine tabi tutulması sonucu termodinamik özelliklerinin nasıl değişmeye maruz kaldığı incelendi. Bu amaçla, elde edilen numunelerdeki fazları ve tane büyüklüğünü belirlemek için X-Işını Difraksiyonu ölçümleri, oksitlenme veya korozyonu, dolayısıyla kütle kaybını belirlemek için Termogravimetrik Analiz (TGA) ölçümleri, aktivasyon enerjisi ve dönüşüm entalpilerini belirlemek için Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC) ölçümleri, yapıdaki fazları belirlemek için Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) fotoğrafları, ısı iletkenlik katsayılarını belirlemek için ısı iletim ünitesi ölçümlerinden faydalanılmıştır.

X-Işını difraksiyonu ölçümleri alınarak, bu ölçümlerden elde edilen difraksiyonlar Şekil 4.2-17’de verildi. Bu difraksiyon spektrumlarından elde edilen piklerin d ve 2θ değerlerine bakılıp numunedeki fazlar belirlendi. Daha sonra Scherer metodu kullanılarak tane büyüklükleri hesaplandı. Tane büyüklüğü değerlerini karşılaştırılacak olursak, 1000°C ’de elde edilen numuneler hariç diğerlerinde en küçük tane büyüklüğü 30 dk. bekletilmiş numunede, 1000°C ’de ise 10 dk. bekletilmiş numunede görülmektedir. Tane büyüklüğünün en büyük değeri ise her sıcaklık için farklı bekletme sürelerinde görülmektedir. Tüm sıcaklık ve bekletme süreleri göz önüne alınıp bir karşılaştırma yapılırsa, en küçük tane büyüklüğü (0,234738 nm) 900°C ’de 30 dk. bekletilen numunede, en büyük tane büyüklüğü (0,511908 nm) ise 1100°C ’de 20 dk. bekletilen numunede görülmektedir.

Tane büyüklüğünün büyük olması tane sınırı alanının bağıl olarak azalmasına neden olur. Bu durumda genellikle dislokasyonların yoğunluğu düşer. Dislokasyon yoğunluğunun düşmesi demek malzemenin şekillendirilebilme kabiliyetinin düşmesi demektir. Tanelerin ince olması yani boyutunun küçük olması ise malzemenin şekillendirilebilmesini kolaylaştırır. Tane sınırın alanı büyük olduğu için dislokasyon yoğunluğu fazladır. Dolayısıyla şekillendirilebilme kabiliyeti yüksektir[40,41].

Termogravimetrik Analiz (TGA) ölçümlerinden, araştırılan sıcaklık bölgesinde numunelerde oksitlenme veya korozyon meydana gelmediği görüldü.

Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC) ile, her numune için 4 farklı ısıtma hızlarında ölçümler yapılarak DSC eğrileri elde edildi. Her numune için, farklı ısıtma hızlarında elde edilen DSC eğrileri tek grafik üzerine yerleştirildi Kissinger Metodu kullanılarak $\ln(\beta/T_p^2) - 1000/T_p$ grafikleri çizilerek buradan Aktivasyon Enerjileri hesaplandı.

DSC eğrilerinden belirlenen endotermik pik sıcaklığı (T_p) değerleri genel olarak 473°C civarındadır. Bu sıcaklık yapıdaki martensitin temperlenmiş martensite dönüşümüne karşılık gelir. Karbon difüzyon yolu ile örgüden dışarı çıkmıştır. Böylelikle örgü parametreleri ve sertlik

düşer. Ayrıca süneklik artar. İç enerji azalınca örgünün iç gerilmeleri azalır. Bekleme süresi arttıkça östenite dönüşüm miktarı artar. Östenite dönüşüm miktarı artınca yapıda martensit miktarı artar ve yine aynı şekilde martensit dalları kalınlaşır ve uzar. Düşük süre ve sıcaklıklarda su verme (sertleştirme) ısı işlemi sonucu ince ve küçük boyutlu martensitler gözlenir. Yüksek süre ve sıcaklıklarda sertleştirme ısı işlemi sonucu kaba martensitler gözlenir ve martensit dalları kalınlaşır[40,42].

DSC eğrilerinden bulunan pik sıcaklıkları (T_p) Kissinger Metodunda kullanılarak aktivasyon enerji değerleri hesaplandı. Hesaplanan aktivasyon enerji değerleri karşılaştırılacak olursa; en yüksek aktivasyon enerjisi değeri 800°C 'ye kadar ısıtılıp yağda soğutulan numunelerde görülmektedir. Aynı sıcaklıkta aynı soğutma işlemi yapılan numunelerin kendi aralarında; 30 dk bekletilenlerde en yüksek aktivasyon enerjisi değeri, 40 dk bekletilenlerde en düşük aktivasyon enerjisi değeri gözlenmektedir. Fakat bekletme sürelerinin değişiminde aktivasyon enerjisi değerlerinde lineer değişim görülmemektedir. Aynı bekletme süresi için sıcaklığı artırarak bir karşılaştırma yapıldığında aktivasyon enerjisi değerlerinde önce düşüş 1100°C 'de ise artış gözlenmektedir.

Sonuçlara bakılırsa, dönüşüm entalpi değerlerine bakılırsa lineer bir değişimin olmadığı ve değişimlerin çok küçük aralıklarda gerçekleştiği gözlenmektedir.

Numunelerden çekilen SEM fotoğrafları Şekil 4.38-52'de gösterildi. Numunelerin başlangıç mikro yapıları Ferrit, Perlit ve Küresel Grafittir. Isıl işlemler ve bekletme süreleri uygulanarak elde edilen numunelerden çekilen SEM fotoğraflarından mikro yapıda faz dönüşümleri meydana geldiği ve oluşan fazların yapılarının ve miktarlarının uygulanan ısı işlem ve bekletme sürelerine bağlı olarak değişiklik gösterdiği görüldü.

800°C ve 900°C 'ye kadar ısıtılıp 10 dk., 20 dk., 30 dk., 40 dk. bekletildikten sonra yağda hızlı soğumaya bırakılan numunelerin mikro yapıları; Küresel Grafit, Martensit ve Kalıntı Östenitten oluşmaktadır. 1000°C ve 1100°C 'ye kadar ısıtılıp 10 dk., 20 dk., 30 dk., 40 dk. bekletildikten sonra fırın ağzında yavaş soğumaya bırakılan numunelerin mikro yapıları; Küresel Grafit, Martensit, Beynit ve Kalıntı Östenitten oluşmaktadır.

Isıtılma sıcaklık değerleri ve bekletme süreleri arttıkça numunelerin mikro yapılarındaki Kalıntı Östenit miktarının arttığı gözlemlendi.

Numunelerin Isıl İletkenlik Katsayıları Fourier ısı iletim kanunundan hesaplanarak Tablo 4.29'de verilmiştir. Bu tablodaki değerlere bakılacak olursa ısı akısı miktarının artmasıyla ısı iletim katsayısının arttığı söylenebilir. Numunelerin ısıtılma sıcaklıklarının veya bekletilme sürelerinin değişmesiyle ısı iletim katsayı değerlerinde düzenli bir değişim söz konusu değildir.

KAYNAKLAR

1. http://encarta.msn.com/encyclopedia_761578923/Metals.html
2. Van Vlack, L. H., 1994, Elements of Materials Science and Engineering. Literatür Yayıncılık, İstanbul
3. Güngör, Y., 2001 Malzeme Bilgisi. Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul
4. <http://www.mse.cornell.edu/courses/engri111/metal.htm>
5. Uzun, H., Fındık, F., Salman, S., 2003, Malzeme Biliminin Temelleri. Değişim Yayınları, İstanbul
6. <http://www.sciencemuseum.org.uk/on-line/challenge/what/molecules.asp>
7. <http://www.ductile.org/didata/section3/3part1.htm>
8. Onaran, K., 1985, Malzeme Bilimi. Çağlayan Basımevi, İstanbul
9. Erdoğan, M., 1998, Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri-2. Yayın Dağıtım, Ankara
10. <http://www.taftan.com/thermodynamics/CP.HTM>
11. http://www.engineeringtoolbox.com/36_292.html
12. Erk, Ş., 1994, Fizik Ders Notları Cilt:2 Sıcaklık ve Isı. İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Basımevi, İstanbul
13. Van Vlack, L. H., 1990, Malzeme Bilimine Giriş. Çeviri “Safoglu, R. A.”, Birsen Yayınevi, İstanbul
14. Yalçın, H., Gürü, M., 2002, Malzeme Bilgisi. Palme Yayıncılık, Ankara

15. Richards, J. A., Sears, F. W., Wehr, M. R., Zemansky, M. W., 1974, Mekanik, Isı ve Termodinamik. Çeviri “Domaniç, F., Erdik, E., Zengin, N.”, Çağlayan Basımevi, İstanbul
16. Erdik, E., 1973, Isı ve Termodinamik. Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara
17. Incropera, F. P., De Witt, D. P., 2001, Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri. Çeviri “Derbentli, T., Genceli, O. F., Güngör, A., Hepbaşlı, A., İlken, Z., Özbalta, N., Özgüç, F., Parmaksızoğlu, C.”, Literatür Yayıncılık, İstanbul
18. Yılmaz, T., 1999, Teorik ve Uygulamalı Isı Transferi. Papatya Yayıncılık, İstanbul
19. <http://www.chemguide.co.uk/atoms/structure/metals.html#top>
20. Parrott, J. E., Stuckes, A. D., 1975, Thermal Conductivity of Solids. Pion Limited, London
21. Onaran, K., 1995, Malzeme Bilimi. Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul
22. <http://chemed.chem.purdue.edu/genchem/topicreview/bp/ch13/structure.php>
23. Solymar, L., Walsh, D., 1998, Electrical Properties of Materials. Oxford University Press, New York
24. Uyanık, G., 1978, Fizikokimya 2. Karadeniz Gazetecilik ve Matbaacılık A.Ş., Trabzon
25. Hook, J. R., Hall, H. E., 1999, Katıhal Fiziği. Çeviri “Köksal, F., Altunbaş, M., Dinçer, M., Başaran, E.”, Literatür Yayıncılık, İstanbul
26. Ashcroft, N. W., Mermin, N. D., 1976, Solid State Physics. Saunders College Publishing, Florida
27. Wilson, M.J., 1994, Clay Mineralogy, London.U.K.

- 28.** İncekara Grubu Termal Analiz Seminer Notları, TSE -Ankara 23-24 Mart 1995
- 29.** Dodd, J.W., Tonge, K.H., Currell, B.R., 1987, Thermal Methods. Great Britain
- 30.** Yıldız, A., Genç, Ö., 1993, Enstrümantel Analiz. Hacettepe Üniversitesi Yayınları, Ankara
- 31.** Tükel, N., Demir-Karbon Alaşımları. Yalkın Ofset Matbaası, İstanbul
- 32.** Kınıkoğlu, N.G., 2001, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği. Literatür Yayınları, İstanbul
- 33.** Yıldırım, M., Doğan, Z.S., Çakan, A., Pakdil, M., 2001, Mühendislik Malzemeleri-3. Mustafa Kemal Üniversitesi Basımevi, İskenderun
- 34.** Erdoğan, M., 1998 , Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri-1. Yayın Dağıtım, Ankara
- 35.** <http://www.atlasfdry.com/white-iron.htm>
- 36.** Trudel, A., Gagne, M., 1997, Effect of Composition and Heat Treatment Parameters on the Characteristics of Austempered Ductile Irons. Canadian Metallurgical Quarterly, Vol:36, No:5, Canada, pp:289-292
- 37.** Evin, E., 1996, Östemperlenmiş Küre Grafitli Dökme Demirin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ
- 38.** Whang, Y., Zhang, Z., Wang, W., Bian, X., 2004, Microstructural Evolution and microhardness of a melt-spun Al-5Ti-1B alloy during annealing. Mater. Sci. Eng. A366, pp:17-24
- 39.** Yakuphanoglu, F., Ying, S. M., 2005, The Thermal Decomposition Kinetics of $[\text{Co}(\text{bipy})(\text{H}_2\text{O})_4](\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Z. Phys. Chem. 219, pp:1159-1168

40. Smith, W.F., 2000, Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri. Çeviri “Erdoğan, M.”, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
41. Savaşkan, T., 2000, Malzeme Bilgisi ve Muayenesi. Eser Ofset, Trabzon.
42. Bargel, H.J., Schulze, G., 1985, Malzeme Bilgisi-1. Çeviri“Güleç, Ş., Aran, A.”, Tügam Matbaası, Gebze.

ÖZGEÇMİŞ

Tankut ATEŞ

Kişisel Bilgiler:

Doğum Tarihi : 10.09.1981
Doğum Yeri : Elazığ
Uyruğu : T.C.
Medeni Hali : Bekar

Eğitim:

İlköğretim

1987 – 1992 Fırat İlkokulu(Malatya)

Ortaöğretim

1992 – 1995 Atatürk Ortaokulu(Malatya)

Lise

1995 – 1998 Hacı Ahmet Akıncı Lisesi(Malatya)

Lisans

1998 – 2002 Erciyes Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Kayseri

Yüksek Lisans

2002 – 2006 Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ

Tez: Küre Grafitli Dökme Demir Alaşımlarının Isıl Özelliklerinin
İncelenmesi

Danışman: Prof.Dr. Abdulkadir YILDIZ